
"İlim tercüme ile değil, tetkikle olur..."
Mustafa Kemal

VI. ULUSAL
HİDROLOJİ KONGRESİ

BİLDİRİLER KİTABI

22-24 EYLÜL 2010

PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ

KONGRE KÜLTÜR MERKEZİ-DENİZLİ

EDİTÖRLER
Prof. Dr. Halil KARAHAN
Prof. Dr. N. Orhan BAYKAN

ISBN: 978-605-8830

Baskı: Kozan Ofset Matbaacılık San. ve Tic. Ltd. Şti., Ankara
Tel: 0 (312) 384 2003
Fax: 0 (312) 3412860

Bu bildiriler kitabının yayım hakkı, Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesine aittir. Bu kitapta yer alan bildirilerin aynen yayımlanması yazar(lar)ından izin alınması koşuluyla mümkündür. Alıntı için kaynak gösterilmesi yeterlidir. Bildiriler, Bilimsel Kurul tarafından seçilmiştir Bildirilerin içeriklerinin tüm sorumluluğu yazar(lar)ına aittir.

Kapak tasarımı:
Ali Selmani
Halil Karahan
N. Orhan Baykan

ÖNSÖZ

Hidroloji bilimi, suyun oluşumunu, dolanımını, dağılımını, devinimini, zamansal ve yersel değişimini, çevre ve insanlarla ilişkisini ortaya koyan bir bilim dalıdır. Yeryüzündeki yaşam için en önemli öğe olan ve üretilemeyen suyun nitelik ve niceliğinin iyi araştırılması ve incelenmesi gerekir. Suyun denetlenmesi ve çeşitli amaçlara yönelik olarak kullanılması için yapılan mühendislik çalışmalarının planlama, proje, inşaat, işletme, bakım ve onarım aşamalarında öncelikle hidrolojik bilgilere gereksinme duyulur. Suyun sürdürülebilir yönetimi; ekonomik, sosyal, çevresel ve kültürel bileşenlerin birlikte ve uyum içerisinde değerlendirilmesi ile olanaklıdır. Bu denge doğru kurulamazsa, sürdürülebilir yönetim sekteye uğrar. Bu nedenle hidroloji sosyal açıdan da önemli bir boyut kazanmaktadır.

Türkiye, 75 milyona yanaşan nüfusuyla, su kaynaklarının kısıtlı olduğu bir bölgede, kalkınma çabasını sürdürmekte olan bir ülkedir. 20. yüzyılın ikinci yarısında, ülkenin su kaynaklarını geliştirmek için önemli çalışmalar yapılmış olmakla birlikte, nüfusun, endüstrinin ve yaşam düzeyinin artışı yeni barajlar, hidroelektrik tesisleri ve sulama projeleri yapılmasını gerektirmektedir. Bugün için su kaynakları potansiyelinin ancak yarısına yakını değerlendirilebilmiştir. Dolayısıyla bu alanda araştırma ve uygulama yapacak çok sayıda tüzel ve özel girişimcilere gereksinme vardır.

Türkiye'de hidroloji çalışmalarının 1935 yılında Elektrik İşleri Etüd İdaresi'nin kurulmasıyla başladığı söylenebilir. Bu kuruluş halen başlıca akarsulardaki hidrometri çalışmalarını yürütmektedir. 1953 yılında kurulan Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü de akarsular üzerinde projelere bağlı ölçüm çalışmaları yapmaktadır. Her iki kuruluşun da Türkiye'de hidrolojinin gelişmesine ve ilerlemesine yönelik katkıları sürmektedir. Hidroloji konusundaki araştırma çalışmaları ise büyük oranda üniversitelerde yürütülmektedir. 1970'lerden başlayarak birçok üniversitede İnşaat Mühendisliği öğretiminde "Hidroloji" öğretim planına alınmıştır. Yurt içinde hidroloji konusunda çok sayıda yayın yapıldığı gibi, İnşaat Mühendisliği alanında yurt dışında yapılan yayınların önemli bir bölümü de Hidroloji ile ilgilidir. Son yıllarda, İnşaat Mühendisliğinin dışında başta Meteoroloji Mühendisliği olmak üzere, Ziraat ve Orman Mühendisliği disiplinleri için de hidroloji ortak bir ilgi alanı olmuştur.

Ulusal Hidroloji Kongreleri'nin ilki 1979'da, ikincisi ise 1998 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi tarafından düzenlenmiştir. Dokuz Eylül Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü ile aynı üniversitenin Su Kaynakları Araştırma ve Uygulama Merkezi tarafından düzenlenen üçüncü kongrenin ardından, dördüncüsü İTÜ İnşaat Fakültesi, beşincisi ise ODTÜ İnşaat Mühendisliği Bölümü tarafından düzenlenmiştir. İkinci kongreden itibaren düzenli olarak üç yılda bir düzenlenen Ulusal Hidroloji Kongresi'nin altıncısı ilk kez üç büyük kent dışında, Pamukkale Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü tarafından düzenlenmektedir.

Gerçekleştirilen diğer kongrelerde olduğu gibi Altıncı Ulusal Hidroloji Kongresi'nin amacı da, su kaynakları konusundaki gereksinmelere yanıt vermek üzere, ülkemizde sürdürülen çalışmaları ve hidroloji konusunda çalışan uzmanları bir araya getirmek; mevcut bilgi birikiminin paylaşılmasına olanak sağlamak ve elde edilen bilimsel sonuçları ülke hizmetine sunmaktır.

Kongrenin konuları; İklim Değişikliği ve Hidrolojik Etkileri, Hidrolojinin Tarihsel Yönü, Havza Yönetimi, Hidrolojide Çağdaş Yöntemler-Yaklaşımlar, Hidrolojik Süreçler, Kar Hidrolojisi, Karst Hidrolojisi, Hidrojeoloji Taşkın Hidrolojisi, Hidrolojik Ölçüm Ağları ve Veri Tabanı, Niteliksel ve Niceliksel Hidroloji, Bütünleşik Havza Yönetimi, Tarımsal Hidroloji, Yeraltısuyu Hidrolojisi, Hidrolojik Modelleme, Hidrolojide Sürdürülebilirlik, Hidroloji ve Coğrafi Bilgi Sistemleri biçiminde ele alınmıştır.

Kongre'de bu konularla ilgili olarak beşi çağrılı olmak üzere toplam 80 bildiri sunulmuştur. Çeşitli üniversite kamu kurum ve kuruluşları ile özel sektörden gelen bildiri sahipleri yanında, farklı kurum ve kuruluşlardan önemli ölçüde bildirisiz katılım da gerçekleşmiştir.

Kongre bildirileri kitabında yer alan bildirileri titizlikle değerlendiren Bilim Kurulu üyelerine, bildirili/bildirisiz katılan değerli bilim insanları ile kamu ve özel sektör kurum ve kuruluşlarının değerli mensuplarına içtenlikle teşekkür ederiz. Kongre'nin gerçekleştirilmesine maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen Pamukkale Üniversitesi Rektörlüğü, Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü, TÜBİTAK, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası Denizli Şubesi ile Bereket Enerji, Temelsu ve CE Yapı Anonim Şirketleri'ne teşekkürü borç biliriz.

VI. Ulusal Hidroloji Kongresi'nin ilgili tüm kurum ve kuruluşlar arasında iletişim ve işbirliğini güçlendirmesini, hidrolojiye gönül ve emek veren meslektaşlarımız ve ülkemiz için yararlı olmasını dileriz.

VI. Ulusal Hidroloji Kongresi
Yürütme ve Düzenleme Kurulu

VI. Ulusal Hidroloji Kongresi

Düzenleme/Yürütme Kurulu

Halil KARAHAN
N. Orhan BAYKAN
Betül SAF
Ülker GUNER BACANLI
A. Cem KOÇ
Fatih DİKBAŞ
M. Tamer AYVAZ
Gürhan GÜRASLAN
Ceyhun ÖZÇELİK
Mutlu YAŞAR

Kongre Sekreteryası

Ülker GÜNER BACANLI (PAÜ) ugbacanli@pau.edu.tr
M. Tamer AYVAZ (PAÜ) tayvaz@pau.edu.tr

Bilim Kurulu

Turhan ACATAY (DEÜ)
Necati AĞIRALİOĞLU (İTÜ)
Hafzullah AKSOY (İTÜ)
Zühal AKYÜREK (ODTÜ)
Doğan ALTINBİLEK (ODTÜ)
Alparslan ARIKAN (HÜ)
İlhan AVCI (İTÜ)
Türkay BARAN (DEÜ)
Mehmetçik BAYAZIT (İTÜ)
N. Orhan BAYKAN (PAÜ)
Ertuğrul BENZEDEN (DEÜ)
Atıl BULU (OÜ)
Kerem CIĞIZOĞLU (İTÜ)
Mahmut ÇETİN (ÇÜ)
İsmail DURANYILDIZ (İTÜ)
M. Emin EMİROĞLU (FÜ)
İbrahim GÜRER (GÜ)
Tefaruk HAKTANIR (Erciyes Ü)
Nilgün HARMANCIOĞLU (DEÜ)
Halil KARAHAN (PAÜ)
M. Erol KESKİN (SDÜ)
Özgür KİŞİ (Erciyes Ü)
Eren OMAY (İTÜ)
Halil ÖNDER (ODTÜ)
Bihrat ÖNÖZ (İTÜ)
Hızır ÖNSOY (KTÜ)
Tülay ÖZBEK (GÜ)
Ünal ÖZİŞ (DEÜ)
Zekai ŞEN (İTÜ)
A. Ünal ŞORMAN (ODTÜ)
Gökmen TAYFUR (İYTE)
Ferhat TÜRKMAN (ALÜ)
Orhan USLU (Bahçeşehir Ü)
Melih YANMAZ (ODTÜ)
Doğan YAŞAR (DEÜ)
Beyhan YEĞEN (İTÜ)
M. Ali YURDUSEV (CBÜ)

İÇİNDEKİLER

Önsöz……..... i
Düzenleme ve Yürütme Kurulu……..... iii
Bilim Kurulu……..... iii
İçindekiler…… iv
Çağrılı Bildiriler……..…..... ix
Tarihi Su Tünelleri ve Benzeri Örtme Yapılarının Hidrolik Kapasiteleri ve Karşı Gelen Taşkınların Dönegelim Süreleri..... x
Ünal ÖZİŞ, Nilgün HARMANCIOĞLU, Ahmet ALKAN
İnşaat Mühendisliği'nde Hidrolik Eğitimi..... xxxii
S. Turhan ACATAY
Application of Geographic Information Systems in Hydrology and Elsewhere: Myth and Reality..... xxxiii
Yuri Gorokhovich
Recent Achievements in Macroscale Hydrological Modelling..... xxxiv
T. Oki, H. Kim, N. Hanasaki, S. Kanae, S. Seto, and P. Yeh
Su Kaynaklarının Geliştirilmesi ve Çevre..... xxxix
Orhan USLU

HİDROLOJİK SÜREÇLER - İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ VE HİDROLOJİK ETKİLERİ

İstanbul Aylık Yağışlarının Gidişler Analizi……..... 2
Bihrat ÖNÖZ, Tuğba CANGEL

Fırat, Yeşilırmak Ve Kızıırmak Havzalarında Taşkınların Mevsimselliğinin Belirlenmesi…….. 11
Beyhan YEĞEN, Bihrat ÖNÖZ, Bariş ALTIPARMAK, Orhan BİLEN, Mehmet PALA

Yukarı Fırat Havzasında Kar Kaplı Alanların Mekânsal Zamansal Eğiliminin
Uzaktan Algılama Yöntemleri İle Belirlenmesi…… 22
Serdar SÜRER, Zuhal AKYÜREK, A. Ünal ŞORMAN

Doğu Karadeniz Havzasında Syi İle Kuraklık Analizi Ve Çevresel Etkileri…….. 32
Derya ÖZTÜRK, Filiz MALKOÇ, Hilal TUNA, Saffet ÖZTÜRK

HİDROLOJİNİN TARİHSEL YÖNÜ

1925 Talimatnamesi, Türkiye'de Akarsu Ölçümlerinin Başlangıcı……
Galip BÜYÜKYILDIRIM 45

Manisa'da Cumhuriyet Öncesi Dönemi Çeşmeleri……. 64
Onur Abay, N. Orhan BAYKAN

Bezirgan (Eskil Pirha Kenti) Kapalı Havzası Eskil Tüneli Akaçlaması……. 77
Sedef GENÇ, N. Orhan BAYKAN, Nesrin BAYKAN, Ülker GÜNER BACANLI

Orta Kıyı Ege (Eolya) Ve Batı Ve Orta Akdeniz (Karya Ve Likya) Bölgeleri
Eskil Su Mühendisliği Sistemlerinin Eksik Kalan Araştırma Konuları……..... 88
Nesrin BAYKAN, Y. Ersel TANRIÖVER, N. Ezgi TÜRKEN, Seyhun TÜRK, N. Orhan BAYKAN, Ferhat TÜRKMAN, Birol KAYA

Likya (Orta Akdeniz) Bölgesi Eskil Su Mühendisliği Sistemleri……..... 110
Seyhun TÜRK, N. Orhan BAYKAN, Y. Ersel TANRIÖVER, Birol KAYA

TAŞKIN HİDROLOJİSİ

Doğu Karadeniz Havzası İçin Uygulanan Taşkın Tahmin Yöntemlerinin Doğruluğunun Araştırılması…….. 127
Filiz MALKOÇ, Derya ÖZTÜRK, Yüksel MALKOÇ, Hilal TUNA, Mehmet YILDIZ

Açık Kanallarda Taşkın Dalgası Yayılmasının Deneysel Ve Teorik Olarak Araştırılması…… 141
M. Şükrü GÜNEY, Emre KEBAPCIOĞLU, Ayşegül ÖZGENÇ AKSOY

Kentsel Geciktirme Havuzlarında Yağmur Suyu Hidrografının Ötelenmesi…….. 154
Mesut ÇİMEN

Akım Derinliği Ve Seviye Verisi Kullanılarak Taşkın Hidrografının
Genetik Algoritma Yardımı İle Tahmini……..…….....166
Gökmen TAYFUR
Radyal Kapaklı Savakta Debi – Göl Su Kotu İlişkisi İçin Bilgisayar Programı…….……... 176
Tefaruk HAKTANIR, Hatice ÇITAKOĞLU

HİDROLOJİDE ÇAĞDAŞ YÖNTEMLER-YAKLAŞIMLAR

Gediz Havzası Örneğinde, Beklenen Aylık Toplam Yağışların Entropi Yöntemiyle Tayini……..... 188
Özgür TEMİZ, Türkay BARAN

Taban Akışı İndeksi İle Düşük Akım Karakteristikleri Arasındaki İlişkiler……... 201
Ertuğrul BENZEDEN, Emre KÖKEN

Şiddet-Süre-Frekans Bağıntısının Armoni Araştırma Tekniği İle Belirlenmesi ve
Ege Bölgesi İstasyonları İçin Uygulama…… 210
Halil KARAHAN

Yapay Sinir Ağları İle Evapotranspirasyon Miktarının Tahmini…… 229
Burhan ÜNAL, Murat ÇOBANER, Özgür KİŞİ

Günlük Akışlardaki Boşlukların Yapay Sinir Ağları Yöntemiyle Doldurulması…… 243
Mutlu YAŞAR, N. Orhan BAYKAN

Gediz Nehri İçin Eksik Sediment Verilerinin Tahmin Edilmesi……. 254
Aslı ÜLKE, Sevinç ÖZKUL, Gökmen TAYFUR, İsmail GÜNDOĞDU

Çoruh Havzasında Eksik Akım Verilerinin YSA Yöntemi İle Tamamlanması ve
Hidrolojik Kuraklık Eğilimlerinin Belirlenmesi……... 265
Hilal TUNA, Filiz MALKOÇ, Derya ÖZTÜRK, Yüksel MALKOÇ

HİDROLOJİK ÖLÇÜM AĞLARI VE VERİ TABANI

Akarsu Gözlem İstasyonlarında Akım Ölçümü Ve Debi Hesaplanması……. 282

İmdat KARAMAN, Mustafa ÖZKAYA, Fehmi ARSLAN

Eie'de Yüzeysel Sularda Hidrometrik Gözlemler……... 310
Mustafa ÖZKAYA, Mehmet YILDIZ, İsmail UÇAR

Çoruh Havzası Ve Çevresinde Yer Ve Uydu Tabanlı Yağış Verilerinin Zamansal ve
Mekânsal Olarak Karşılaştırılması…….……...327
Arzu SOYTEKİN, Zuhal AKYÜREK

Türkiye'deki Yağış Serileri İçin Homojenlik Testleri…… 339
A. Cem KOÇ, Mahmut FIRAT, Fatih DİKBAŞ, Mahmud GÜNGÖR

Türkiye İçin Gözlem Veri Modeli İle Hidrolik Bilgi Sistemlerine Giriş…… 349
Nermin ŞARLAK, David G. TARBOTON, Kim SCHREUDERS, Jeff S. HORSBURGH

Adv (Akustik Dopler) İle Elde Edilen Akım Hız Kayıtlarında Görülen
Aykırı Değerlerin Elimine Edilmesinde Kullanılan Filtreler Ve Özellikleri……..……..360
Ömer KÖSE

Proje Kesitlerinde Akım Gözlem İstasyonlarının Önemi…… 369
Feryal BİÇKİCİ

Standart Süreli Yıllık Maksimum Yağış Verilerinin Güvenilirlik Analizi ve Ege Bölgesi İçin Bir Uygulama…… 379
Halil KARAHAN

Acıgöl'ü (Denizli) Besleyen Doğal Suların Su Kimyası Değerlendirmesi……...388
Muhittin KARAMAN, Suat TAŞDELEN, Murat BUDAKOĞLU, Mustafa KUMRAL

HİDROLOJİK MODELLEME (I. OTURUM)

Bulanık Mantık Yöntemi İle Güneş Işınımı Tahmini…….. 408
Özlem TERZİ, Erol KESKİN, Melike BARAK, Gülşah ERGİN

Dicle Havzası Billoris Yıllık Ve Aylık Akımları Stokastik Modellenmesi…… 416
Özkan ÇAKMAK, Özgür TEMİZ, Türkay BARAN

Kıyı Alanlarında Kıyı Şeklinin Yağış Dağılımına Etkisi…… 428
Ebru ERİŞ, Necati AĞIRALİOĞLU

Bulanık Kural-Tabanlı Bir Model Kullanılarak Gerede-Ulusu Çayı'nın İleriki Akımlarının Tahmini……. 439
Elçin KENTEL

KAR HİDROLOJİSİ

Kar Gözlem İstasyonlarında Kar Derinlikleri Ve Kar Su Eşdeğerlerindeki Aylık Değişimler……... 452
Yücel KAYA, Mustafa ÖZKAYA, Eşref BATUR, Mustafa SABAN

Eie'de Kar Gözlemleri Ve Ölçüm Yöntemleri…… 469
Mustafa ÖZKAYA, Yücel KAYA

Doğu Anadolu Bölgesi İçin Hidrometeorolojik Tahmin Çalışmalarının Değerlendirilmesi……... 491
Aynur ŞENSOY, A. Arda ŞORMAN, Gökçen UYSAL, A. Ünal ŞORMAN

Harmanlanan Uydu Görüntülerinin Karla Kaplı Alanlardaki Etkisi……... 510
A. Arda ŞORMAN, Aynur ŞENSOY, Egemen YAMANKURT, Ersin GÖZEL

HİDROLOJİK MODELLEME (II. OTURUM)

Üçgensel Hidrolojik Enterpolasyon (Mth) Yöntemi İle Rastgele Değişkenlerin Enterpolasyonu…….. 522
Hızır ÖNSOY, M. İhsan KÖMÜRCÜ, Adem BAYRAM, Murat KANKAL

Ankara İçin 1-24 Saat Arasında Standart Süreli Yağışların Statistiği Ve Modellemesi…… 536
Reşat ACAR, Serkan ŞENOCAK

Tahtalı Havzası İçin Aylık Su Bütçesi Modeli…… 546
Okan FISTIKOĞLU, Umut OKKAN

Kemer Barajı Aktif Hazne Hacminin Farklı Tasarım Yöntemleri İle İrdelenmesi……. 555
H. Yıldırım DALKILIÇ, Umut OKKAN

YERALTI SUYU HİDROLOJİSİ

Heterojen Bir Akiferdeki İzinsiz Kuyu Yerlerinin Ve Zamana Bağlı Pompaj Debilerinin Genetik Algoritma İle Belirlenmesi…… 569
M. Tamer AYVAZ, Halil KARAHAN

İklim Değişikliğinin İzmir-Tahtalı Havzası Yeraltı Suyu Sistemine Etkisinin Modellenmesi…….. 583
Alper ELÇİ, Okan FISTIKOĞLU

Yüksek Mertebeden Bir Maccormack Şeması Kullanılarak Adveksiyon-Difüzyon
Denkleminin Sayısal Çözümü…… 601
Gürhan GÜRARSLAN, Halil KARAHAN

Göl-Yeraltı Suyu-İklim İlişkisinin Yeraltısuyu Akım Modeli ve
Coğrafi Bilgi Sistemleri (Cbs) Yardımıyla Belirlenerek Gölün Optimum
Dinamik İşletme Modelinin Oluşturulması: Beyşehir Gölü Modeli……..……...612
Ahmet DOĞAN, Onur ARSLAN

HİDROLOJİK MODELLEME (III. OTURUM)

Akarsularda Su Seviyesi-Debi İlişkisinin Yapay Sinir Ağları İle Belirlenmesi…….. 629
Hüsnü DEMİRPENÇE

Göksu Deresi Ve Havzası'nın Hidrolojik Ve Kirlilik Taşınımı Modellemesi…… 637
Ezgi ÜNAL, Betül DEĞER, Cevza Melek KAZEZYILMAZ-Alhan, İbrahim IŞLAK

Akarsu Havzalarında Erozyon Ve Katı Madde Hareketi İçin Yağış Simülatörü Geliştirilmesi…… 651
*Kaan KOCA, Hafzullah AKSOY, Özgür DURMUŞ, N. Erdem ÜNAL, Şevket ÇOKGÖR,
Abdullah GEDİKLİ, Jaeyoung YOON*

Gr4j Günlük Yağış Akış Modeli Ve Gediz Havzasında Uygulanması…….. 663
Ahmet Ali KUMANLIOĞLU, Okan FISTIKOĞLU

Sultan Sazlığı Göl Su Seviyelerinin Yapay Sinir Ağı - Dalgacık Modeli İle Tahmini……... 674
Özgür KİŞİ, Mehmet GÜNEŞ, Ersin YAŞLI

Akım Ölçümü Olmayan Derelerde Ysa Ve Regresyon Analizi İle Veri Tahmini…….. 686
Osman SÖNMEZ, Emrah DOĞAN

Aylık Akımların Modellenmesi……... 700
Volkan BİRİNCİ, Bihrat ÖNÖZ

Adaptif Ağ Temelli Bulanık Çıkarım Sistemi İle Sediment Taşınımı Tahmini…….. 710
M. Erol KESKİN, E. Dilek TAYLAN

Doğrusal Olmayan Çekilme Eğrisi Analizi İle Taban Akışının Ayrılması……. 719
Hafzullah AKSOY, Hartmut WITTENBERG

Sınır Otogresif (Sar) Modelleriyle Akım Serilerinin Analizi…….. 731
Veysel GÜLDAL, Hakan TONGAL

Gap Alanında Günlük Maksimum Ve Minimum Sıcaklıkların
İçsel Bağımlı (Otoregresif) Modellerle İncelenmesi…….. 745
Tahsin TONKAZ, Mahmut ÇETİN

NİTELİKSEL VE NİCELİKSEL HİDROLOJİ

Ankara Çamlıdere Barajı Havzasında Bütünleştirilmiş İndeks İle Kuraklık Analizi…….. 755
Fatih KESKİN, Ali Ünal ŞORMAN

Moran Ve Gould Olasılık Matris Yöntemlerinin Değerlendirilmesi: Adıgüzel Barajı……... 770
Mehmet PİLGİR, Ülker GÜNER BACANLI

Akışların Aktarımında Yükselti-Alansal Üs İlişkisinin Belirlenmesi……. 781

Behiye ÖNAL, N. Orhan BAYKAN, Mutlu YAŞAR

Sarnıçlar: KKTC'de Yoğunlaşacak Su Kıtlığına Karşı Alınacak Önlemlere Ne Ölçüde Katkıda Bulunabilir… 793
Gözen ELKIRAN, Ferhat TÜRKMAN

Kuzey Ege Bölgesi İçin Meteorolojik Kuraklık Analizi……. 804
Ülker GÜNER BACANLI, Fatih DİKBAŞ, Türkay BARAN

Çevre-Enerji İlişkileri Açısından Akarsularımızın Durumu…… 815
Mehmet YILDIZ, Filiz MALKOÇ, Yüksel MALKOÇ

HİDROLOJİ VE CBS

Tahtalı Ve Şaşal Derelerine Taşınan Katı Madde Miktarının Tahmini…….. 826
Aslı BOR, Şebnem ELÇİ, Gökmen TAYFUR

Ankara-Haymana Sırçasaray Barajı Mühendislik Hidrolojisinde Coğrafi Bilgi Sistemlerinin Kullanılması… 838
İnci İNAL, Hakan KIRMIZIGÜL

Farklı Öntemlerle Olasılıklı Ortalama Sıcaklık Değerlerinin Coğrafi Bilgi Sistemleri
Ortamında Haritalanması Ve Karşılaştırılması: Seyhan Havzası Örneği……. 848
Ali Demir KESKİNER, Mahmut ÇETİN

HİDROLOJİDE SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK

Sediment Açısından Barajların Ömrü……..…… 863
Maksut SARAÇ

Harşit Çayı Hidrolik Yapılarının Askı Madde Hareketine Etkileri……. 873
Adem BAYRAM, Murat KANKAL, Hızır ÖNSOY, Volkan N. BULUT

Türkiye'deki 24 Saatlik En Büyük Yağışların Eğilim Analizi …….. 883
A. Deniz ÖZDEMİR, M. Kemal ERKUŞ

Türkiye'nin Yüzeysel Su Potansiyeli…….. 892
Mehmet YILDIZ, Mustafa ÖZKAYA, İsmail UÇAR, Ömer AYHAN

HAVZA YÖNETİMİ

Hidroelektrik Santraller Ve Havza Yönetimi…….. 902
İsmail KÜÇÜK

Havza Yönetimi Ve Kentsel Atıksu Arıtımının Havza Yönetimine Etkisi……. 917
Mahmud GÜNGÖR, Sibel YILDIZ, İ. Engin DEMİRCİ, M. Akif DİKBAŞ

Küçük Su Kuvvetinin Türkiye'deki Durumu Üzerine Bir Değerlendirme……. 933
Onur ABAY, N. Orhan BAYKAN, Mutlu YAŞAR

Su Hukuku Öğretileri…….. 943
Nesrin BAYKAN, Onur ABAY, N. Orhan BAYKAN, Mutlu YAŞAR

Hidroenerji, Hidroloji Ve Su Kaynakları Yönetimi İlişkisi……. 958
Dursun YILDIZ

ÇAĞRILI BİLDİRİLER

Tarihi Su Tünelleri ve Benzeri Örtme Yapılarının Hidrolik Kapasiteleri ve Karşı Gelen Taşkınların Dönegelim Süreleri

Ünal ÖZİŞ[1] , Nilgün HARMANCIOĞLU[2] , Ahmet ALKAN[3]

Özet: Hatay ilindeki Çevlik tüneli, Bergama'da, Sultanhisar'da (Nisa), Efes yakınında Acarlar'da akarsu yatağını tünel gibi örten tonoz biçimi yapılar, içlerinden akarsuların hemen bütünün geçtiği, Roma döneminde dünyadaki en büyük boyutlu kapalı mecraların önde gelen örnekleridir. Kalkan'ın doğusundaki Bezirgan tüneli ise kapalı havzaların taşkın boşaltım tünellerine ilginç bir örnektir. Bu kapalı mecraların hidrolik kapasiteleri ile karşı gelen taşkın zirve debilerinin ortalama dönegelim süreleri belirlenmiş; ancak bu bulgulara dayanarak bir genelleme yapmak mümkün olmamıştır.

Anahtar sözcükler: tünel, taşkın, Çevlik, Bergama, Nisa, Acarlar, Bezirgan.

Hydraulic Capacity and Corresponding Flood Return Periods of Historical Water Tunnels and Similar Covering Structures

Abstract: The Çevlik (Seleucia Pieria) tunnel in Hatay province, vaulted structures covering the river bed in Bergama (Pergamon), in Sultanhisar (Nysa), in Acarlar near Ephesus are leading examples of largest closed conduits from Roman times in the world, through which almost the entire discharge of watercourses were flowing. The Bezirgan tunnel east of Kalkan is an interesting example of emissary conduits draining the floods of closed basins. The hydraulic capacities of these conduits and the corresponding flood return periods are determined; however, it was not possible to deduce any generalized conclusion based on these results.

Keywords: tunnel, flood, Seleucia Pieria, Pergamon, Nysa, Acarlar, Bezirgan.

1. GİRİŞ

Binlerce yıl öncesinden beri yeraltında su ile ilgili tüneller yapılagelmiş; ender de olsa akarsuyun üstünü örten yapılar inşa edilmiştir [Bonnin 1984; Garbrecht 1985, 1995;

[1] Em.Prof.Dr., Dokuz Eylül Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Buca, İzmir

[2] Prof.Dr., Dokuz Eylül Üniversitesi, SUMER & İnşaat Mühendisliği Bölümü, Buca, İzmir, nilgun.harmancioglu@deu.edu.tr

[3] Yrd.Doç.Dr., Dokuz Eylül Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Buca, İzmir, ahmet.alkan@deu.edu.tr

Grewe 1985a, 1998; Tölle-Kastenbein 1990; Hodge 1992; Öziş 1994, 1995, 1996, 2006; Viollet 2000; Öziş, Baykan vd. 2006, 2009; Öziş, Arısoy vd. 2007; D.S.İ. 2008].

Tarihi su yapıları dönemlerinin siyasal, sosyal ve ekonomik koşullarına ışık tuttuğu gibi, inşaat teknolojisi hakkında da önemli bilgiler sağlamaktadır. Bu bağlamda, tarihi tünel kapsiteleri ile karşı geldikleri taşkın dönegelim sürelerinin kıyaslanması, bir yandan o dönemlerin hidroloji bilgisi, diğer yandan günümüzdeki taşkın hidrograf yöntemlerinin 'zaman tüneli'nde sınanması açılarından ilgi çekici niteliktedir.

2. TARİHİ SU TÜNELLERİ VE BENZERİ ÖRTME YAPILARINA GENEL BAKIŞ

2.1. Kehrizler

Suyu yerin altında toprak içinde kazılmış ve taşla örülmüş kehrizlerle uzun mesafelere iletme ve dağıtma esasına dayanan, M.Ö.I.binyıldan beri başta İran olmak üzere [I.C.Q.H.S. 2009], özellikle Ortadoğu ve Kuzey Afrika'daki kurak ülkelerde yaygın uygulama alanı bulmuş olan kehriz ('karız', 'qanat', 'foggara') sistemine [Grewe 1998, 2005], Türkiye'de ilk olarak Urartu'larda rastlanmakta, Van yöresinde yeralan ve günümüzde de hizmet gören kehrizlerin bir bölümünün Urartulardan kalmış olduğu sanılmaktadır [Öziş 1994].

İtalya'da M.Ö.I.binyılın ilk yarısında Etrüsk yerleşim bölgelerinde, yeraltı sularının derlenmesi ve iletiminde, genişliği 0,6-0,7 m, yüksekliği 1,7-2,0 m mertebesinde olan kehrizlerden ('cuniculus') yararlanılmıştır [Bonnin 1973; Grewe 1986, 1989, 1998]. Çin Halk Cumhuriyeti'nin Sincan Uygur Özerk Bölgesinde, Uygur Türk Devletinden kalma kehrizlerden ('karız') halen etkin biçimde yararlanılmaktadır [Özden 2006].

2.2. Boru hattıyla su geçirilen tüneller

M.Ö.I.binyılın ortalarında, galeriyle derlenen yeraltı suyu 'Enneakronos' adını taşıyan tünel sistemiyle Atina'ya iletilmiştir [Kienast 1987; Tölle-Kastenbein 1990, 1994; Grewe 1998]. M.Ö.6.yüzyılda, Sisam adasında Eupalinos tarafından 1 km'yi aşan uzunlukta bir tünel açılması, taban kenarında oluşturulan kanala pişmiş toprak boru hattı döşenerek, dağın altından geçirilmesi, döneminin en büyük mühendislik yapılarından biri niteliğindedir [Kienast 1984, 1990; Grewe 1985b, 1998].

M.Ö.I.binyılın ikinci yarısında, Madradağ'dan Bergama'ya su ileten, dünyanın en büyük basıncı altında çalışan kurşun boru ters sifonun da yeraldığı, yanyana üç pişmiş toprak boru dizisinden oluşan iletim hattı, 180 m uzunluğunda bir tünel kesiminden de geçmiştir [Garbrecht 1987; Fahlbusch 1987a,b]. Almanya'da, Koblenz yakınında Brey tüneli ile Saarbrücken yakınında Halberg tüneli, içine taş mecra döşeli su yolu tünelleridir [Haberey 1972; Grewe 1988, 1998]. Düren yakınında 1660 m uzunluğundaki Drover-Berg tünelinin de içinden su yolu mecrası geçmektedir [Grewe 1988, 1998].

2.3. Su temini tünelleri

Filistin'de tepeler üstüne kurulmuş kentlerin, kuşatılma sırasında çevrelerindeki su kaynaklarına ulaşılması amacıyla açılan, 'sinnor' olarak anılan tünellerin en ilginç örneği, Kudüs'ü besleyen Gihon pınarıyla ilgilidir. Bu pınarın suları M.Ö.I.binin ilk yarısında Siloam kanalı, daha sonra 530 m uzunluğunda Hezekiah/Hiskia tüneli ile Kudüs'e iletilmiştir [Kienast 1984; Mazar 1984; Grewe 1986, 1998; Garbrecht 1988]. Bu tünelin düzgün olmayan geçgisinin, karst boşluklarından yararlanma sebebiyle meydana geldiği belirtilmektedir [Gill 1991]. Amasya kalesinde M.Ö.4.-2.yüzyıllarda yapıldığı sanılan 'dehliz'ler de savunma amaçlı su tünelleri niteliğindedir [Mesci, Göztaş vd. 2008a].

M.Ö.I.binyılın ikinci yarısı ile M.S.I.binyılın ilk yarısında, özellikle Roma döneminde, kentlere uzun mesafeden su iletiminde, tünelin kendisi mecra olarak kullanılmıştır [Grewe 1985a, 1986]. Roma dönemi su getirme sistemlerinde kayada oyulmuş tünel kesimleri, çoğunlukla 0,6-1,0 m genişlik, 1,8-2,2 m yükseklikte kesitlerle, özellikle İtalya dışındaki bazı suyollarında da yer yer görülmektedir.

Bologna'nın M.S.1.yüzyıl sonlarına doğru inşa edilen su yolunun 18 km uzunluğunda bir kesimi tünel biçimindedir; genellikle 0,65 m genişliğinde ve 1,9 m yüksekliğinde bir enkeside sahip olan bu mecra, yakın zamana kadar dünyanın en uzun su tüneli ünvanını taşımıştır [Giorgetti 1988; Grewe 1998]. Roma'ya su getiren, birçoğu kemerleriyle ünlü onbir iletim sisteminden, M.Ö.3.yüzyıldan Anio Vetus, M.Ö.2.yüzyıldan Aqua Marcia, M.S.1.yüzyıldan Aqua Claudia ve Anio Novus'un geçgilerinde birçok tünel kesimi de yeralmaktadır [Martini 1976; Pace 1983; Panimolle 1984; Garbrecht 1984; Grewe 1985a, 1998; Werner 1986; Öziş 1987].

Fransa'da Lyon'a su ileten dört büyük sistemden, M.S.1.yüzyılda inşa edilmiş Gier su yolunda, uzunlukları 80 m ile 825 m arasında değişen 11 tünel kesimi bulunmaktadır [Burdy 1988, 1996, 2002; Grewe 1992]. Nîmes'e su ileten sistemde ise, dünyanın en yüksek su kemeri Pont du Gard'ın yakınında Sernhac civarında, biri 65 m, diğeri 60 m uzunluğunda, yaklaşık 1,9 m genişliğinde ve 2,5 m yüksekliğinde, ilginç iki tünel kesimi de bulunmaktadır [Fiches ve Paillet 1988; Fabre, Fiches vd. 1991; Grewe 1998]. Lüksemburg'da Walferdingen yakınında, yaklaşık 600 m uzunluğundaki Raschpëtzer tüneli ise 'qanat' yöntemiyle açılmış bir su tünelidir [Grewe 1998, 2005; Kayser ve Waringo 2005].

Ürdün'ün kuzeyinde Umm Qais'te, geçgisi yakın zamanda belirlenen Gadara suyolunun, 94 km'si tünel/kehriz biçiminde, toplam 170 km uzunluğunda olduğu, tünel genişliğinin 1,4-1,8 m, yüksekliğinin 2,6-3,0 m mertebesinde bulunduğu, M.S.130-210 döneminde yapıldığı belirtilmektedir [Döring 2007, 2008]. Cezayir'de antik dönemde Saldae adını taşıyan Bejaia'ya M.S.2.yüzyılda su ileten sistemde tünel yapımında karşılaşılan sorunları anlatan, bulunduğu yerin adıyla Lambaesis yazıtı olarak anılan bir yazıt, teknoloji tarihi açısından da özel değer taşımaktadır [Grewe 1985a, 1986, 1998; Leveau 1988].

Türkiye'de, gerek antik dönemde, gerekse osmanlı döneminde uzun mesafeden su ileten sistemlerin birçoğunda önemli tünel kesimleri yeralmıştır.

Bu bağlamda, genellikle M.S.1.-2.yüzyıllardan, Bergama'ya Bakırçay havzasındaki pınarlardan su ileten Aksu suyolu [Garbrecht 1987, Fahlbusch 1987a]; Foça suyolu [Öziş 1994, 1995, 1996; Baykan, Öziş vd. 2008]; Efes'in Değirmendere suyolu [Atalay, Öziş vd. 1997, 2001, 2003; Öziş, Atalay vd. 1998, 2005a,b, 2008; Öziş ve Atalay 1999; Wiplinger 2006; Acatay 2008]; Tralles suyolu [Baykan ve Tanrıöver 2006; Bağcık, Sandal vd. 2008]; Magnesia suyolu [Baykan, Tanrıöver vd. 2001; Çiftçi, Baykan vd. 2008]; Hierapolis suyolu [Kayhan, Kurban vd. 2008]; Herakleia suyolu [Türken, Can vd. 2008]; Side suyolu [İzmirligil 1979; Fahlbusch 1987c; Büyükyıldırım 1994; Grewe 1994, 1998]; Aspendos suyolu [Fahlbusch 1987d; Grewe 1998; Kessener 2001]; Lamas havzasındaki Diocaeserea [Arısoy, Öziş vd. 1987; Çangırı ve Akpınar 1994; Kaya, Arısoy vd. 2008], Olba [Arısoy, Öziş vd. 1987; Özbay 1998; Kaya, Arısoy vd. 2008], Elaiussa Sebaste ve Korykos [Arısoy, Öziş vd. 1987; Özbay 2001; Kaya, Arısoy vd. 2008] suyolları; Amasya'nın Ferhat suyolu [Mesci, Göztaş vd. 2008b] ilginç tünel kesimlerine sahiptir. M.S.4.yüzyılda Trakya'dan, Istranca dağlarının güneybatı yamaçlarından İstanbul'a su getiren, 242 km ile dünyanın antik dönemdeki en uzun suyolunun da bazı kesimleri tünel niteliğindedir [Çeçen 1996a,b].

Osmanlı dönemi suyollarında da 'lağım' olarak anılan tünel kesimleri, özellikle 'Mühendis ve Mimar' Sinan'ın suyollarında yeralmıştır. Edirne'nin Taşlımüsellim suyolunda, en uzun ikisi 1,5'ar km olmak üzere, toplam 3,8 km uzunluğunda beş tünel vardır [Akmandor 1968; Onur 1985; Öziş ve Arısoy 1986, 1987, 2000, 2003; Öziş, Arısoy vd. 2007; Arısoy 2008; Arısoy ve Öziş 2008]. İstanbul'un Halkalı'dan gelen 16 suyolunun en büyüğü olan Süleymaniye suyolunda, aralarında 1,5 km uzunluğunda Topçular lağımı, 1,3 km uzunluğunda Taşlağım olmak üzere, birçok tünel yeralmıştır [Çeçen 1979, 1986, 1991a, 2000; Öziş ve Arısoy 1987, 2000, 2003; Öziş, Arısoy vd. 2007]. İstanbul'un görkemli kemerlere sahip Kırkçeşme suyolunun kente yakın bölümlerinde, 0,9 km uzunluğundaki Sepetlihan 'delme'si başta olmak üzere, bazı tüneller de vardır [Özand 1968; Çeçen 1979, 1988, 1990, 2000; Çeçen ve Kolay 1997; Öziş ve Arısoy 1987, 2000, 2003; Öziş, Arısoy vd. 2007; Aysel 2008]. Üsküdar suyollarına ait resimli haritalarda da, gerek yeraltı suyunu derleme, gerekse iletim mecrası olarak 'lağım'lara rastlanmaktadır [Çeçen 1991b].

2.4. Kapalı havzaların taşkın boşaltım tünelleri

Kapalı havzalarda, özellikle erime boşluklu kireçtaşlarının oluşturduğu karst ortamlardaki polye'lerde (polje), taşkın kontrolu veya kurutma amaçlı olarak, antik dönemde boşaltım tünelleri de açılmıştır. M.Ö.II.binin ortalarına doğru, Yunanistan'da Kopais gölü seddeler ve kanallardan oluşan, eski karst su yollarını da kullanan bir sistemle kurutulmağa başlanmıştır. M.Ö.12.yüzyılda, Kopais gölünün kuzeydoğu ucundaki Kephalari boşaltım tüneli türünün ilk örneklerindendir. Bu çalışmalara M.Ö.I.binin ikinci yarısında, özellikle Büyük İskender döneminde de katkılarda bulunulmuş; M.S.1.yüzyılda Roma döneminde tamamlanmıştır [Knauss 1987, 1990].

İtalya'da Etrüsk döneminde, M.Ö.I.binin ortalarında, kapalı havza niteliğindeki göllere gelen taşkın sularını uzaklaştıracak su tünelleri inşa edilmiştir. M.Ö.6.yüzyılda, Roma yakınında Ariccia krater gölü kurutulmuş; daha üst yükseltideki Nemi gölü de 1,6 km uzunluğunda bir tünelle Ariccia üzerinden boşaltılıp, taşkınları kontrol edilmiştir. En geç M.Ö.4.yüzyıl başlarında, yakındaki Albano gölü de 1,4 km uzunluğunda, yaklaşık 1 m genişlik ve 3 m yükseklikte bir tünelle boşaltılmıştır [Grewe 1986, 1989, 1998;

Castellani ve Dragoni 1991]. Roma'nın 100 km kadar doğusunda, Avezzano yakınındaki Fucino gölü 140 km^2 alana sahip bir kapalı havzada yeralmaktadır. M.S.1.yüzyıl ortalarında, 5,6 km uzunluğunda, ‰o 1,5 eğimli, imparatorun adını taşıyan 'Claudius tüneli'yle Fucino gölü taşkınlarının Liri ırmağına boşaltımı sağlanmıştır. Kehriz yöntemiyle açılan tünelin, 4,3 m x 4,3 m kesitli düşey bacaları 122 m derinliğe kadar ulaşmış, doruğu tünelin 310 m yukarısında bulunan dağın (Monte Salviano) altında yeralan 0,9 km'lik bölümünde ise eğik galerilerle çalışılmıştır [Grewe 1986, 1989, 1998; Döring 1996].

Fransa'da Fontvieille yakınında Les Taillades tüneli [Grewe 1998], İsviçre'de Aare-Hagneck-Biel gölü kanalının geçgisinde kaybolmuş bulunan, 670 m uzunluğunda Hagneck tüneli [Schnitter 1989; Vischer 1992; Grewe 1998] antik dönemin diğer boşaltım tüneli örnekleridir. Almanya'da 12.yüzyıldan Laach gölü yakınındaki 880 m uzunluğundaki Fulbert tüneli, 14.yüzyıldan Bad Frankenhausen yakınındaki 540 m uzunluğundaki Wipper tüneli, esas olarak taşkın kontrolu amacına yönelik ortaçağ tünelleridir [Grewe 1985b, 1991, 1998].

Türkiye'de de, özellikle kiraçtaşlarının egemen olduğu bölgelerdeki kapalı havzaların taşkın sularının boşaltımını sağlayan tarihi tüneller vardır. Beyşehir çayı civarında Dikilitaş köyü yakınında, Durucagöl'ün suları yaklaşık 300 m uzunluğunda, 0,5 m genişliğinde, 1,0 m yüksekliğinde, cidarları kesme taşla kaplı, üstü taş levhalarla örtülü bir tünelle boşaltılmakta ve aşağı ovada sulamada kullanılmaktadır [Grewe 1998].

Kalkan yakınında, antik Pirha kentinin bulunduğu Bezirgan kapalı havzasının taşkın suları 250 m uzunluğunda, 1,1 m genişliğinde, 2,2 m yüksekliğinde bir tünelle boşaltılmıştır. Bu tünel bir bitirme projesi kapsamında incelenmiş olup [Genç 2009], bir bildiri olarak yayınlanmaktadır [Genç, Baykan vd. 2010].

2.5. Akarsuların geçtiği tarihi tüneller

Antik dönemde, bir akarsuyun hemen bütün akışının içinden geçirildiği, en büyük boyutlu üç tünelden biri Hatay ilindeki Çevlik tünelidir. Türünün dünyadaki en ilginç örneği olan [Aygen 1985; Garbrecht 1991, 1995; Schnitter 1994; Grewe 1998; Pamir 2004] Çevlik tünel sisteminin, akışı geçirme kapasitesi ve karşı geldiği taşkın zirve akışının ortalama dönegelim süresi, ilk kez bir yüksek lisans tezi [Alkan 1988, 1990] çerçevesinde incelenmiş; ayrıntıları ayrıca yayınlanmış [Alkan ve Öziş 1991a,b, 2008]; Öziş'in Türkiye genelindeki tarihi su yapılarını ele alan yayınlarının bazılarında da [Öziş 1994, 1995, 1996, 1999] yeralmıştır.

M.S.1.-2.yüzyılda, Antakya'nın 35 km batısında, Çevlik (Mağaracık) köyü yakınındaki antik Seleuceia Pieria limanının rüsubatla dolmasını önlemek amacıyla, akarsu çevrilmiştir. Çevlik tünel sistemi, Kapısuyu deresi üstünde 15 m yüksekliğinde bir baraj, toplam 120 m uzunluğunda ve 6-7 m mertebesinde boyutları olan, 150 m^3/s kapasiteli iki tünel kesimini de içeren, uzaklaştırma kanalı 70 m^3/s kapasiteli ve toplam uzunluğu 875 m'ye ulaşan bir mecradan oluşmaktadır.

Ürdün'de eski Petra kentine ulaşım boğazının, Musa vadisinden gelecek ve 200 m^3/s 'ye erişebilecek taşkınlardan korunması için, tarihi Petra bendiyle çevrilen suyu akıtan, 4,8 m genişlik, 6-8 m yükseklik, 90 m uzunluğundaki Mudhlim tüneli de büyük boyutlu

diğer bir önemli örnektir [Lindner 1987; Grewe 1998; Bellwald 2006]. Ispanya'nın kuzey-batı bölgesinde, Las Medulas altın madeninin atıklarıyla Sil ırmağına gelen altını ayırmak amacıyla, kıvrımlar yapan ırmak Montefurado'da bir boyunda tünelle çevrilmiş ve tünel tabanı derinleştirilerek çökeltme havuzu da oluşturulmuştur. Tünelin genişliği 4-5 m, normal yüksekliği 8 m, uzunluğu 110 m civarındadır [Grewe 1998].

2.6. Akarsu yatağını örten tarihi yapılar

Akarsu yatağını bir tünel gibi örten, tonoz biçimi tarihi su yapılarının dünyadaki en büyük örneği Bergama'da, biraz daha küçük boyutlara sahip bir başkası Nisa'da (Nysa) (Sultanhisar), az daha küçüğü Efes yakınında Acarlar'da bulunmakta olup, bu alanda Türkiye'ye dünyada özel bir yer sağlamaktadır. İçinden akarsuyun hemen bütünün geçtiği bu yapıların, akışı geçirme kapasiteleri ve karşı geldikleri taşkın zirve akışlarının ortalama dönegelim süreleri, ilk kez biri Bergama [Ünal 1978], diğeri Nisa [Tolkun 1979] için iki bitirme projesi çerçevesinde incelenmiş; ayrıntıları üç dilde yayınlanmış [Öziş, Harmancıoğlu v.d. 1979a,b; Grewe, Öziş v.d. 1994; Harmancıoğlu, Öziş v.d. 2008]; Öziş'in Türkiye genelindeki tarihi su yapılarını ele alan yayınlarının bazılarında da [Öziş 1994, 1995, 1996] yeralmıştır. Acarlar örtü yapısı ise yeni bir bitirme projesinin konusu olmuştur [Bükey 2010].

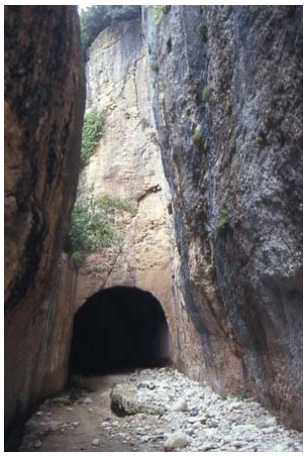
Bergama'da aynı adlı çayı örten, 9 m genişlik ve 7,5 m yükseklikte basit atnalı kesitli, yaklaşık 200 m uzunluğundaki ikiz tonoz biçimi tarihi su yapısı türünün dünyadaki en büyük örneğidir. Nisa'da Tekkecik (Çakırcak) çayını örten, benzer kesitli, genişliği 6-7 m, yüksekliği 6 m, uzunluğu 100 m civarında olan yapı da önemli boyutlara sahiptir. Acarlar'da Karakaya deresini örten, genişliği 4,9-5,0 m, yüksekliği 3,3 m, uzunluğu 25 m olan yapı da ilgi çekici niteliktedir.

2.7. Tünellerin hidrolik kapasiteleri ve karşı gelen taşkın dönegelim süreleri

Kehrizler, içinden boru hattıyla su iletilen tüneller, kentsel ve/veya tarımsal su getirme tünelleri için taşkın dönegelim süreleri söz konusu olmamaktadır. Karst polyeleri gibi kapalı havzaların boşaltım tünelleri için taşkınları incelenmiş tek örnek Bezirgan tünelidir (Şekil 1). Boşaltım tünellerinin kapasite hesaplarında, basınçlı iletim de söz konusu olabilmektedir. Akarsuyun hemen bütünün geçtiği Çevlik tüneli (Şekil 2), Türkiye'deki tek örnek olarak ele alınmıştır. Akarsuları örten tünel biçimi yapılar olarak Bergama (Şekil 3),



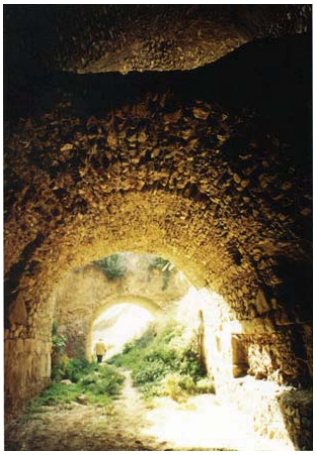
Şekil 1. Bezirgan tünel (foto: .Baykan)



Şekil 2. Çevlik I.tüneli (foto: Ü.Öziş).



Şekil 3. Bergama çayını örten ikiz yapı (foto: Ü.Öziş).



Şekil 4. Nisa'da çayı örten yapı (foto: Ü.Öziş).



Şekil 5. Acarlar'da dereyi örten yapı (foto: A.Alkan).

Nisa (Şekil 4), Acarlar (Şekil 5) incelenmiştir. Türkiye dışındaki tünellerle ilgili, özellikle taşkın konusunda yeterli veriler edinilemediğinden, kıyaslamalara yalnızca Türkiye'deki bu beş tarihi su yapısı esas alınmıştır.

Tünel kapasiteleri Brahms-Chézy bağıntısı ile, sürtünme katsayısı için Gauckler-Manning-Strickler bağıntısı yardımıyla hesaplanmıştır [Chow 1959; Öziş 1983]. Çevlik sistem kapasitesi adım adım entegrasyon yöntemiyle belirlenmiştir [Ünsal 1978]. Taşkın doruk akışları Ege bölgesi için geliştirilmiş olan Günerman [Günerman 1974, 1975a, 1976], Türkiye için geliştirilmiş olan DSİ Sentetik [Mat 1964; Özdemir 1969], A.B.D. için geliştirilmiş olan Mockus [Ogrosky ve Mockus 1964; Bureau of Reclamation 1965; Günerman 1975b] ve Snyder [Chow 1964; Öztek 1968] yapay birim hidrograf yöntemleriyle belirlenmiştir. Taşkınların tekerrürü, her zaman doğrusal biçime uymasa da, Gumbel çift üstel log-ekstrem olasılık dağılımı [Yevjevich 1972; Kite 1977] esas alınarak incelenmiştir.

3. HATAY'DA ÇEVLİK TÜNELİ

3.1. Tünel kapasitesi

Antik Seleuceia Pieria limanının rüsubatla dolmasını önlemek amacıyla dere yatağını çeviren Çevlik tünel sistemi aşağı şehrin kuzeybatısında bulunmaktadır. Tünelin yapımı M.S.1.yüzyılda Roma imparatorları Vespasianus (M.S.69-79) zamanında başlamış, oğlu Titus (M.S.79-81) zamanında devam etmiş ve M.S.2.yüzyılda Antonius Pius devrinde tamamlanmıştır.

Limana dökülen Kapısuyu deresi, uzunluğu 175 m, genişliği 4,5 m ve yüksekliği 15 m olan kargir bir baraj ile tünele çevrilmektedir. Planda kırık bir geçgiye sahip olan sistemde 55 m uzunluğunda bir yaklaşım kanalından sonra, I.tünel giriş kesidi basit atnalı biçiminde olup, genişliği 6,3 m, yüksekliği 5,8 m, uzunluğu 90 m'dir. Tünel girişinden 3 m sonra kesit dikdörtgenleşmekte, çıkışta genişliği 6,9 m ve yüksekliği 6,5 m olmaktadır. I.tünel ile II.tünel arasındaki açık kanal kısmının genişliği 5,5 m'ye kadar düşmekte, karstik boşluklar dolayısıyla yüksekliği 25-30 m civarında değişerek ve kesit daralarak arazi yüzeyine ulaşmakta, uzunluğu ise 64 m olmaktadır.

II.tünel 31 m uzunluğunda, tabanı 5,5 m ve tepesi 4 m genişliğinde, 7 m yüksekliğinde yamuk kesitlidir. Tünel çıkışından 60 m kadar sonra, tek açıklıklı bir su kemeri mecranın üstünden geçmektedir. Sistem dikdörtgen kesitli, 4 ila 7 m mertebesinde taban genişliği, 4 ila 11 m mertebesinde cidar yüksekliği olan, genellikle kayada açılmış 635 m uzunluğunda bir açık kanalla düzlüğe açılmaktadır. Çevirme sisteminin toplam uzunluğu 875 m'yi bulmaktadır.

Dere yatağını tünele çeviren bendin kret yükseltisi 44,3 m, I.tünel giriş kesidinin üst yükseltisi 43,35 m'dir; dolayısıyla bend tüneli dolu akıtabilecek debiyi çevirebilecek durumdadır. Basit enkesit hali için adım adım entegrasyon metodu ile geçgi boykesidi ve enkesitler kullanılarak sistemin hidrolik kapasitesi belirlenmeğe çalışılmıştır. Mecra pürüzlülüğü n= 0,033 esas alınarak ve mansaptan membaya doğru hesap yapılarak bend yerinde enerji seviyesi kret kotuna ulaşan debi araştırılmış ve tünel kapsitesinin 150 m^3/s, sistemin genel kapasitesinin ise 70 m^3/s civarında olduğu belirlenmiştir.

3.2. Taşkınlar

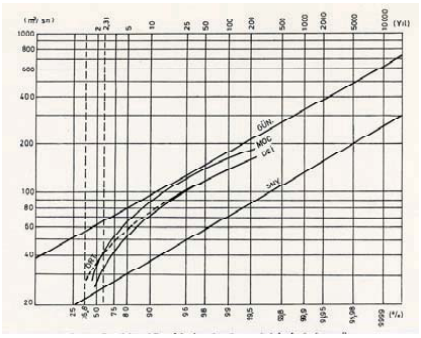
Yörenin 1:25.000 ölçekli topografik haritasından drenaj alanı sınırları saptanmış; sistemin yeraldığı dere üzerinde akış gözlemi yapılmamakta olduğundan, sentetik birim hidrograf yöntemlerinin uygulanmasında gerekli olan havza özellikleri belirlenmiş; bu havza özellikleri kullanılarak farklı dört yöntem için (Günerman, D.S.İ., Mockus, Snyder) birim hidrograf karakteristikleri hesaplanmıştır. Bölgede DMİ ve DSİ tarafından çalıştırılan yağış gözlem istasyonlarının yıllık yağışları kullanılarak eş sapma yöntemi yardımıyla eş yağış haritaları hazırlanmış, Çevlik tünelinin 13 km^2'lik drenaj alanı üzerinde yıllık ortalama yağışın 1000 ila 1350 mm arasında değiştiği ve 1225 mm ortalama değer mertebesinde olduğu belirlenmiştir.

Çevlik tüneli drenaj alanına oldukça yakın olan Samandağ istasyonunun belli tekerrürlü standart yağışları drenaj alanına aktarılarak, bu yağışların yüzeysel akışa geçebilen kısımlarının tahmininde 85 numaralı yağış-akış eğrisinin kullanılmasına karar verilerek, akışa geçebilecek kısımları belirlenmiştir. Bu yağış değerleri birim hidrograf zirve değerleri ile çarpılarak olası taşkın zirve debileri kestirilmiştir. Mecranın genel kapasitesine eşit zirve debisinin 70 m^3/s olarak dikkate alınması halinde, dört yönteme göre taşkın dönegelim sürelerinin Günerman'da 3, Mockus'ta 6, DSİ'de 9,5, Snyder'de 100 yıl ve yöntemlerin ortalamasına göre 9 yıl mertebesinde olduğu belirlenmiştir (Şekil 6a). Dolayısıyla ortalama on yılda bir, taşkın akışlarının kapasiteyi aşan kısmı barajın üstünden aşarak (dolusavak yeri belirlenememiştir), limanı doldurmağa gecikerek de olsa devam etmiştir.

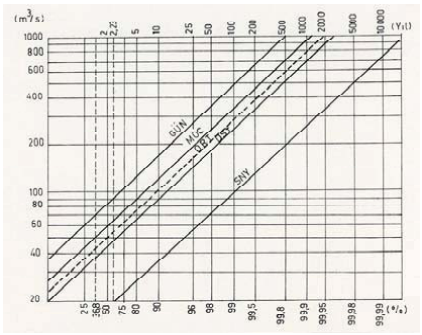
4. BERGAMA ÇAYINI ÖRTEN YAPI

Bergamada M.S.130 civarında yapılan Serapis tapınağının 'Kızılavlu' olarak anılan büyük avlusunun altından, çayın üzerini örten, biri 196 m, diğeri 183 m uzunluğunda ikiz bir tonoz biçimli mecradan, Bergama çayı bugün de akmaktadır. Yüksekliği 7,5 m, genişliği 9 m olan basit atnalı kesitli, % 0,6 eğimli örtme yapılarının, pürüzlülük katsayısı n= 0,020 için herbirinin kapasitesi 360 m^3/s olarak belirlenmiştir.

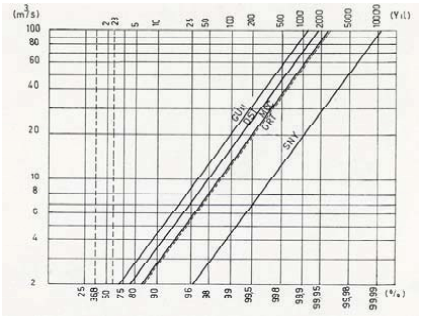
101 km^2'lik yağış alanından gelecek taşkın zirve akışları, dört sentetik birim hidrograf (D.S.İ., Günerman, Mockus, Snyder) yöntemiyle belirlenmiştir. Toplam 720 m^3/s tünel kapasitesinin, Günerman yöntemiyle 250, Mockus yöntemiyle 550, D.S.İ. yöntemiyle 1.100, Snyder yöntemiyle 8.500, genel ortalamalara göre 700 yılda bir aşılması beklenecek taşkın zirve akışını geçirecek mertebede olduğu anlaşılmıştır (Şekil 6b).



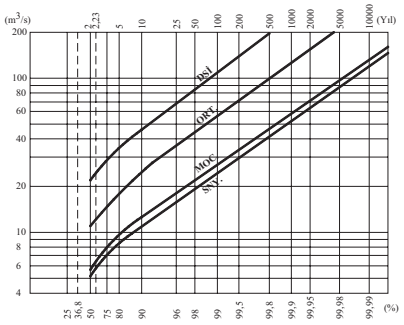
(a)



(b)



(c)



(d)

Şekil 6. Tünel veya örtme yapısı girişinde taşkın zirve akımlarının sıklık dağılımı (a) Çevlik [Alkan 1988, 1990; Alkan ve Öziş 1991a,b, 2008]; (b) Bergama ve (c) Nisa [Öziş, Harmancıoğlu vd. 1979a,b, 2008; Grewe, Öziş vd. 1994]; (d) Acarlar [Bükey 2010].

5. NİSA-SULTANHİSAR'DA TEKKECİK DERESİNİ ÖRTEN YAPI

Antik Nisa'da (Nysa) (Sultanhisar) Tekkecik deresi, içinde bir de yazıt bulunan tonoz biçimi bir yapıyla üstü örtülü olarak, dere vadisinin her iki yamacında oturma yerleri bulunan stadyuma yönelmektedir. Planda kırık bir geçgiye sahip olan mecranın kesidi basit atnalı biçimindedir; memba kısmında genişliği 7,0 m, yüksekliği 5,7 m, uzunluğu 25,5 m; yön değişiminden sonra mansap kısmının genişliği 5,7 m, yüksekliği 5,9 m ve uzunluğu 50 m olmakta; böylece toplam uzunluğu 75 m, eğimi de % 3,3 mertebesinde bulunmaktadır. Ancak mansabında, 10 m kadar sonra bulunan ve köprü olarak adlandırılan yapının da aslında örtülü mecranın bir bölümü olduğu yapısal benzerlikten anlaşılmaktadır; dolayısıyla toplam uzunluğunun 100 m'yi aşmış olması muhtemeldir.

Mecra kesidinin alt kısmında duvarların kesme taştan, kemerli üst kısmında ise moloz taşlardan oluştuğu ve geçgideki kırıklık da dikkate alınarak, pürüzlülük katsayısı n= 0,025 için örtme yapısının kapasitesi 290 m^3/s olarak belirlenmiştir. 4 km^2'lik yağış alanından gelecek taşkın zirve akışları, dört sentetik birim hidrograf yöntemiyle (D.S.İ., Günerman, Mockus, Snyder) belirlenmiştir. 290 m^3/s tünel kapasitesinin, Günerman yöntemiyle 7.500, D.S.İ. yöntemiyle 10.500, Mockus yöntemiyle 13.000, Snyder yöntemiyle 68.000, genel ortalamalara göre 13.500 yılda bir aşılması beklenecek taşkın zirve akışını geçirecek mertebede olduğu anlaşılmıştır (Şekil 6c).

6. EFES-ACARLAR'DA KARAKAYA DERESİNİ ÖRTEN YAPI

Efes civarında Acarlar köyü yakınında, Karakaya deresinin üstü basit atnalı kesidine yakın, tüneli andıran tonoz biçimi bir yapıyla örtülmüştür. Taban genişliği 4,9 m, yüksekliği 2,1+1,2= 3,3 m mertebesinde olan örtme yapısının geçgisi 10 derece açıyla hafif kırık olup, toplam uzunluğu 6,4+18,6= 25 m, eğimi % 3,8 civarındadır. Pürüzlülük katsayısı n= 0,035 için örtme yapısının kapasitesi 68 m^3/s olarak belirlenmiştir.

2,3 km^2'lik yağış alanından gelecek taşkın zirve akışları, üç sentetik birim hidrograf yöntemiyle (D.S.İ., Mockus, Snyder) belirlenmiştir. Yağış alanının çok küçük olması nedeniyle Günerman yöntemi uygulanamamıştır. 68 m^3/s tünel kapasitesinin, D.S.İ. yöntemiyle 25, Mockus yöntemiyle 1800, Snyder yöntemiyle 2500, genel ortalamalara göre 170 yılda bir aşılması beklenecek taşkın zirve akışını geçirecek mertebede olduğu anlaşılmıştır (Şekil 6d).

7. KALKAN'IN DOĞUSUNDA BEZİRGAN TÜNELİ

Kalkan'ın doğusunda, antik Pirha kentinin bulunduğu Bezirgan köyü kapalı havzasının taşkınlarını boşaltmak amcıyla tarihi bir tünel yapılmıştır. Esası dikdörtgen kesit olan tünelin, üst kısmı sivri tonoz biçimi olup, genişliği 1,08 m, yüksekliği 1,55+0,67= 2,22 m, uzunluğu 250 m, eğimi % 1,6'dır. Pürüzlülük katsayısı n= 0,030 için serbest yüzeyli akış kapasitesi 5 m^3/s; tünel üstünde 6 m yükselti farkına kadar su seviyesi arttığında, basınçlı akış kapasitesi 8 m^3/s mertebesindedir.
22 km^2'lik yağış alanından gelecek taşkın zirve akışları, üç sentetik birim hidrograf yöntemiyle (D.S.İ., Mockus, Snyder) belirlenmiştir. 8 m^3/s tünel kapasitesinin, bütün yöntemler için her yıl aşılması beklenecek taşkın zirve akışı niceliğinde olduğu anlaşılmıştır. Ancak, kırk yılı aşkın süredir böyle bir durumla karşılaşılmamış olduğu

belirtildiğinden, yağış alanındaki karst ortamın yağışı büyük ölçüde yeraltına yutarak, yapay hidrograf yöntemlerinde havza topografyası, zemin cinsi ve bitki örtüsü için hesaba katılan parametrelerin bu hususu yansıtamadığı düşünülebilir.

8. SONUÇ

Akarsuyun hemen bütün debisini içinden akıtan tarihi tüneller arasında, Çevlik tüneli dünyada en önde gelen örneklerden biridir. Akarsu yatağını bir tünel gibi örten, tonoz biçimi tarihi su yapılarının dünyadaki en büyük örneği Bergama'da, biraz daha küçük boyutlara sahip bir başkası Nisa'da (Sultanhisar), az daha küçüğü Efes yakınında Acarlar'da bulunmakta olup, bu alanda Türkiye'ye dünyada özel bir yer sağlamaktadır. Kapalı havza taşkınlarını boşaltan tüneller arasında Bezirgan tüneli ilginç bir örnektir.

Mecra kapasiteleri, Çevlik'te ortalama 9 yılda bir, Bergama'da 700 yılda bir, Nysa'da 13.500 yılda bir, Acarlar'da 170 yılda bir, Bezirgan'da her yıl aşılması beklenecek taşkın zirve akımını geçirecek mertebededir. Bu bulgulardan hareketle, taşkın hidrolojisi alanında antik dönem için bir genelleme yapabilmek mümkün görülmemektedir.

9. TEŞEKKÜR

Yazarlar, ilgili lisans bitirme projeleri kapsamındaki çalışmalarından ötürü eski öğrencileri, İnşaat Mühendisleri Şahin Ünal (Bergama), Mehmet Tolkun (Nisa), Cansu Bükey (Acarlar), Sedef Genç'e (Bezirgan); arazi ve yayın çalışmalarındaki katkılarından ötürü Prof.Dr. Orhan Baykan ve İnş.Yük.Müh. Ayhan Atalay'a; teşvik ve katkılarından ötürü Dr. Klaus Grewe'ye; desteklerinden ötürü Ege Üniversitesi (Bergama, Nisa), Pamukkale Üniversitesi (Bezirgan), özellikle Dokuz Eylül Üniversitesi (Çevlik, Acarlar) yetkililerine müteşekkirdir.

10. KAYNAKLAR

ACATAY, T.: Efes'in tarihi suyolları. İzmir, Devlet Su İşleri II.Bölge Müdürlüğü, "Tarihi su yapıları konferansı, Bildiriler kitabı", 189-193, 2008.

AKMANDOR, N. : Koca Sinan'ın plancılığı, eserleri mühendisliği. Ankara, "Türkiye Mühendislik Haberleri", 13 (154), 1-6 & İstanbul, Sinan Komitesi, "Koca Sinan", (Ed.: C. Bektaş), 49-62, 1968.

ALKAN, A.: "Tarihi su tünellerinin hidrolik ve hidrolojik özelliklerinin değerlendirilmesi açısından Çevlik Tüneli". İzmir, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek lisans tezi, (yön. :Ü. Öziş), 1988.

ALKAN, A.: "Tarihi su tünellerinin hidrolik ve hidrolojik özelliklerinin değerlendirilmesi açısından Çevlik Tüneli". İzmir, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Araştırma Raporları, FBE/İNŞ-89-AR-097, 16 s, 1990.

ALKAN, A.; ÖZİŞ, Ü.: Su mühendisliği tarihi açısından Çevlik kanal ve tünelleri. Ankara, İnşaat Mühendisleri Odası, "Teknik Dergi", 2 (3), 353-366, 1991a.

ALKAN, A.; ÖZİŞ, Ü.: Çevlik canals and tunnels from the point of view of hydraulics engineering history. Ankara, İnşaat Mühendisleri Odası, "Digest'91", 92-95, 1991b.

ALKAN, A.; ÖZİŞ, Ü.: Çevlik tarihi su tünelli çevirme sistemi. İzmir, Devlet Su İşleri II.Bölge Müdürlüğü. "Tarihi su yapıları konferansı, Bildiriler kitabı", 93-96, 2008.

ARISOY, Y.: Selçuklu ve Osmanlı dönemleri su yapıları. İzmir, Devlet Su İşleri II.Bölge Müdürlüğü, "Tarihi su yapıları konferansı, Bildiriler kitabı", 63-72, 2008.

ARISOY, Y.; ÖZİŞ, Ü.: Edirne'nin tarihi Taşlımüsellim suyolları. İzmir, Devlet Su İşleri II.Bölge Müdürlüğü, "Tarihi su yapıları konferansı, Bildiriler kitabı", 241-244, 2008.

ARISOY, Y.; ÖZİŞ, Ü.; KAYA, B.: Lamas havzası tarihi su getirme sistemleri. Ankara, İnşaat Mühendisleri Odası, "IX. Teknik Kongre Bildiriler Kitabı, c.II: Su Kaynakları Mühendisliği", 363-376, 1987.

ATALAY, A.; ÖZİŞ, Ü.; BECERİK, M.; ÖZDİKMEN, K.: Efes kentinin tarihi suyolları. İzmir, İnşaat Mühendisleri Odası, "Türkiye İnşaat Mühendisliği 14. Teknik Kongresi", 1083-1098, 1997.

ATALAY, A.; ÖZİŞ, Ü.; BECERİK, M.; ÖZDİKMEN, K.: Kuşadası yönünden Efes'e tarihi Değirmendere suyolu. Kuşadası, Kuşadası Belediyesi, "Geçmişten Geleceğe Kuşadası" (2000 Sempozyumu Bildirileri), (Ed.: A. Şerifoğlu), 103-111, 2001.

ATALAY, A.; ÖZİŞ, Ü.; BECERİK, M.; ÖZDİKMEN, K.: Efes'i besleyen tarihi Değirmendere suyolunda tüneller. İzmir, İnşaat Mühendisleri Odası, "İ.M.O. İzmir Şubesi - Bülten", 19 (114), 29-33, 2003.

AYGEN, T.: 2000 Yıllık bir mühendislik şaheseri : Vespasianus-Titus barajı, "İlgi", 19 (43), 7-10, 1985.

AYSEL, N.: İstanbul'un tarihi su sistemleri: Kırkçeşme tesisleri. İzmir, Devlet Su İşleri II.Bölge Müdürlüğü, "Tarihi su yapıları konferansı, Bildiriler kitabı", 223-228, 2008.

BAĞCIK, R.; SANDAL, U.; BAYKAN, O.; TANRIÖVER, E.; ATALAY, A.: Tralles'in taşkemeri. İzmir, Devlet Su İşleri II.Bölge Müdürlüğü, "Tarihi su yapıları konferansı, Bildiriler kitabı", 177-180, 2008.

BAYKAN, O.; TANRIÖVER, E.: Water supply system of the ancient city Tralleis. Wien, Österreichisches Archäologisches Institut & Leuven, Peeters, "Cura Aquarum in Ephesus 2004" (Ed.: G. Wiplinger), I, 133-136, 2006.

BAYKAN, O.; ÖZİŞ, Ü.; SARICA (ÖNEN), N.; ALPAK (ÖZYURT), S.; BÜKET (YAĞCI), G.: Foça'nın eskil suyolu. İzmir, Devlet Su İşleri II.Bölge Müdürlüğü, "Tarihi su yapıları konferansı, Bildiriler kitabı", 211-214, 2008.

BAYKAN, O.; TANRIÖVER, E.; ÇİFTÇİ, Ş.: Historical water supply system of Magnesia on the Meander/ Söke/ Aydın/ Türkiye". İstanbul, Istanbul Water and

Sewerage Authority (İ.S.K.İ.), "International Symposium on water resources and environmental impact assessment", 2001.

BELLWALD, U.: The hydraulic infrastructure of Petra. Wien, Österreichisches Archäologisches Institut & Leuven, Peeters, "Cura Aquarum in Ephesus 2004" (Ed.: G.Wiplinger), I, 225-235, 2006.

BONNIN, J.: Les hydrauliciens étrusques, des précurseurs. "La Houille Blanche", 641-649, 1973.

BONNIN, J.: "L'eau dans l'antiquité: l'hydraulique avant notre ère". Paris, Eyrolles, 1984.

BÜKEY, C.: "Efes-Acarlar tarihi tünelin kapasitesi ile taşkın akımlarının karşılaştırılması". İzmir, Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Diploma çalışması (yön.: A.Alkan, A.Gül), 2010.

BURDY, J.: Beispiele antiker Wasserversorgungsanlagen: Lugdunum/Lyon. Mainz, Zabern, "Die Wasserversorgung antiker Städte", 3, 190-198, 1988.

BURDY, J.: "Lyon - IV: L'aqueduc romain du Gier". Lyon, Département du Rhône, Préinventaire des monuments et richesses artistiques, 408 p. + 1 c, 1996.

BURDY, J.: "Les aqueducs romains de Lyon". Lyon, Presses Universitaires, 209 p, 2002.

BUREAU OF RECLAMATION : "Design of small dams". Denver, Bureau of Reclamation, 2. ed., 611 s, 1965.

BÜYÜKYILDIRIM, G.: "Antalya bölgesi tarihi su yapıları". Ankara, Devlet Su İşleri, DSI'nin 40.ıncı Kuruluş Yılı Yayını, 211 s, 1994.

CASTELLANI, V.; DRAGONI, W.: Italian tunnels in antiquity. "Tunnels & Tunneling", (3), 55-58, 1991.

CHOW, V.T.: "Open-channel hydraulics". New-York, McGraw-Hill; Tokyo, Kogakusha, 680 p, 1959.

CHOW, V.T.: Runoff. New-York, Mc Graw-Hill, "Handbook of applied hydrology" (Ed.: V.T.Chow), Section 14, 1964.

ÇANGIRI, A.; AKPINAR, M.: Içel-Silifke-Kızılgeçit tarihi su yapıları. Ankara, Devlet Su İşleri, "Su ve Toprak Kaynaklarının Geliştirilmesi Konferansı Bildirileri", 1, 47-61, 1994.

ÇEÇEN, K.: Osmanische Wasserbauten in İstanbul. Braunschweig, Technische Universität, "Leichtweiss-Institut für Wasserbau, Mitteilungen", 64, 21 S, 1979.

ÇEÇEN, K.: "Süleymaniye su yolları". İstanbul. İ.T.Ü. Bilim ve Teknoloji Tarihi Araştırma Merkezi, 91 s, 1986.

ÇEÇEN, K.: "Mimar Sinan ve Kırkçeşme Tesisleri". İstanbul, İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi, 238 s. + 11 L, 1988.

ÇEÇEN, K.: "Sinan's water supply system in İstanbul". İstanbul, İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi, 218 p.+ 9 Pl, 1990.

ÇEÇEN, K.: "Halkalı Suları". İstanbul, İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi, 176 s. + 9 L, 1991a.

ÇEÇEN, K.: "Üsküdar suları". İstanbul, İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi, 188 s. + 7 L, 1991b.

ÇEÇEN, K.: "Roma suyollarının en uzunu". İstanbul, Türkiye Sınai Kalkınma Bankası, 230 s. + 8 L, 1996a.

ÇEÇEN, K.: "The longest roman water supply line". İstanbul, Türkiye Sınai Kalkınma Bankası, 230 p. + 8 Pl, 1996b.

ÇEÇEN, K.: "İstanbul'un Osmanlı dönemi suyolları". İstanbul, İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi, (Red.: C. Kolay), 336 s. + 37 L, 2000.

ÇEÇEN, K.; KOLAY, C.: "Topkapı sarayının suyunu sağlayan isale hatları". İstanbul, İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi, 96 s. + 9 L, 1997.

ÇİFTÇİ, Ş.; BAYKAN, O.; TANRIÖVER, E.; ATALAY, A.: Menderes Magnezyası eskil su sistemi. İzmir, Devlet Su İşleri II.Bölge Müdürlüğü, "Tarihi su yapıları konferansı, Bildiriler kitabı", 185-188, 2008.

D.S.İ.: "Tarihi su yapıları konferansı, Bildiriler kitabı". İzmir, Devlet Su İşleri II.Bölge Müdürlüğü, 244 s., 2008.

DÖRİNG, M.: The tunnel of Lake Fucino, Italy. Cairo, International Commission on Irrigation and Drainage, "16. International Congress on Irrigation and Drainage, Transactions", 1-G, 195-214, 1996.

DÖRING, M.: Wasser für Gadara. "Die Wasserwirtschaft", 97 (8), 21-25, 2007.

DÖRING, M.: Qanat Firaoun, 106 km langer unterirdischer Aquädukt im nordjordanischen Bergland. "Schriften der Deutschen Wasserhistorischen Gesellschaft", 10, 1-16, 2008.

FABRE, G.; FICHES, J.-L.; PAILLET, J.-L.): "L'aqueduc de Nîmes et le Pont du Gard". Nîmes, Conseil Général du Gard, 1991.

FAHLBUSCH, H. : Elemente griechischer und römischer Wasserversorgunsanlagen. Mainz, Zabern, "Die Wasserversorgung antiker Städte", 2, 133-163, 1987a.

FAHLBUSCH, H.: Die Wasserversorgung des hellenistischen Pergamon. Braunschweig, Technische Universität, "Leichtweiss-Institut für Wasserbau, Mitteilungen", 97, 65-98, 1987b.

FAHLBUSCH, H.: Beispiele antiker Wasserversorgungsanlagen: Side. Mainz, Zabern, "Die Wasserversorgung antiker Städte", 2, 218-221, 1987c.

FAHLBUSCH, H.: Beispiele antiker Wasserversorgungsanlagen: Aspendos. Mainz, Zabern, "Die Wasserversorgung antiker Städte", 2, 172-175, 1987d.

FICHES, J.-L.; PAILLET, J.-L. : Beispiele antiker Wasserversorgungsanlagen: Nîmes. Mainz, Zabern, "Die Wasserversorgung antiker Städte", 3, 207-214, 1988.

GARBRECHT, G.: Die antiken Wasserleitungen Roms. "Antike Welt", 15 (2), 2-13, 1984.

GARBRECHT, G.: "Wasser; Vorrat, Bedarf und Nutzung in der Geschichte und Gegenwart". Hamburg, Rohwolt, 279 s, 1985.

GARBRECHT, G.: Die Wasserversorgung des antiken Pergamon. Mainz, Zabern, "Die Wasserversorgung antiker Städte", 2, 11-48, 1987.

GARBRECHT, G.: Die Wasserversorgung des geschichtlichen Jerusalem. "Wasser + Boden", (12), 676-680, 1988.

GARBRECHT, G. : Talsperre und Tunnel am Hafen Seleukeia, Historische Talsperren 2, Stuttgart, Wittwer, (Ed.: G. Garbrecht), 83-89, 1991.

GARBRECHT, G.: Meisterwerke antiker Hydrotechnik, Stuttgart, Teubner, 154 s, 1995.

GENÇ, S.: "Bezirgan Eskil Tüneli Akaçlaması", Denizli, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, Diploma Çalışması, (yön. N.O.Baykan), 2009.

GENÇ, S.; BAYKAN, O.; BAYKAN, N.; BACANLI, Ü.: Bezirgan (eskil Pirha kenti) kapalı havzası eskil tüneli akaçlama olayı. Denizli, Pamukkale Üniversitesi, "VI.Ulusal Hidroloji Kongresi, Bildiriler Kitabı" (yayınlanacak), 2010.

GILL, D.: Subterranean waterworks of biblical Jerusalem: adaptation of a karst system. "Science", (254), 1467-1471, 1991.

GIORGETTI, D.: Beispiele antiker Wasserversorgungsanlagen: Bologna. Mainz, Zabern, "Die Wasserversorgung antiker Städte", 3, 180-185, 1988.
GREWE, K.: "Planung und Trassierung römischer Wasserleitungen". Wiesbaden, Frontinus-Gesellschaft, Supplementband I, 1985a.

GREWE, K.: Von Eupalinos bis Fulbert - Zur Geschichte des Wasserleitungstunnels. Bergisch-Gladbach, Frontinus-Gesellschaft, "Symposium über die Historie der Wasserförderung, Berlin 1985", 8, 4-19, 1985b.

GREWE, K.: Zur Geschichte des Wasserleitungstunnels. "Antike Welt", 17 (2.Sondernummer), 65-76, 1986.

GREWE, K.: Römische Wasserleitungen nördlich der Alpen. Mainz, Zabern, "Die Wasserversorgung antiker Städte", 3, 43-97, 1988.

GREWE, K.: Etruskische und römische Tunnelbauten in Italien. Braunschweig, Technische Universität, "Leichtweiss-Institut für Wasserbau, Mitteilungen", 103, 131-152, 1989.

GREWE, K.: Der Fulbert-Stollen am Laacher See. Mainz, Zabern, "Die Wasserversorgung im Mittelalter", 4, 277-281 ,1991.

GREWE, K.: Lugdunum/Lyon: Der Aquädukt aus dem Fluss Gier. "Antike Welt", 23 (2), 82-90, 1992.

GREWE, K. : Die römische Wasserleitung nach Side (Türkei). "Antike Welt", 25, (2), 192-203, 1994.

GREWE, K.: "Licht am Ende des Tunnels: Planung und Trassierung im antiken Tunnelbau". Mainz, Zabern, 218 S, 1998.

GREWE, K.: Wasserversorgung aus Qanaten - Qanate als Vorbilder im Tunnelbau. Bonn, Frontinus-Gesellschaft, "Internationales Frontinus-Symposium 2003 in Walferdange", 26, 9-25, 2005.

GREWE, K.; ÖZİŞ, Ü.; BAYKAN, O.; ATALAY, A.: Die antiken Flussüberbauungen von Pergamon und Nysa (Türkei). Mainz, "Antike Welt", 25 (4), 348-352, 1994.

GÜNERMAN, H.: "Küçük havzalarda proje taşkın hidrograflarının elde edilmesi için bir yöntem". İzmir, Ege Üniversitesi, Mühendislik Bilimleri Fakültesi, İnşaat Bölümü, Doktora tezi (yön.: Ü. Öziş), 1974.

GÜNERMAN, H.: Küçük akarsular için bir proje taşkın hidrografı türetme yöntemi. "Devlet Su İşleri Teknik Bülteni", (33), 45-56, 1975a.

GÜNERMAN, H.: Küçük drenaj alanları için Mockus sentetik birim hidrograf yöntemi. İzmir, "Devlet Su İşleri Hidroloji Semineri", 20 s, 1975b.

GÜNERMAN, H.: A method to determine design hydrographs for small watersheds. İzmir, "Ege Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Fakültesi Dergisi", 3, 36-59, 1976.
HABEREY, W.: "Die römischen Wasserleitungen nach Köln". Bonn, Habelt, 158 S., 1972.

HARMANCIOĞLU, N.; ÖZİŞ, Ü.; BAYKAN, O.; ATALAY, A.; ÜNAL, Ş.; TOLKUN, M.: Bergama ve Nysa çaylarını örten tünel biçimi tarihi su yapıları. İzmir, Devlet Su İşleri II.Bölge Müdürlüğü, "Tarihi su yapıları konferansı, Bildiriler kitabı", 161-164, 2008.

HODGE, T.: "Roman aqueducts and water supply". London, Duckworth, 504 p, 1992.

I.C.Q.H.S.: "An introduction to Qanats". Yazd, International Center on Qanats and Historic Hydraulic Structures,1, 2009.

İZMİRLİGİL, Ü.: Die Wasserversorgunsanlagen von Side. Braunschweig, Technische Universität, "Leichtweiss-Institut für Wasserbau, Mitteilungen", 64, 25 S, 1979.

KAYA, B.; ARISOY, Y.; ÖZİŞ, Ü.: Limonlu havzası tarihi su yolları. İzmir, Devlet Su İşleri II.Bölge Müdürlüğü, "Tarihi su yapıları konferansı, Bildiriler kitabı", 97-100, 2008.

KAYHAN, M.; KURBAN, A.; VARDAR, B.; AKINAL, E.; BAYKAN, O.; TANRIÖVER, E.: Hierapolis eskil suyolu ve haznesi. İzmir, Devlet Su İşleri II.Bölge Müdürlüğü, "Tarihi su yapıları konferansı, Bildiriler kitabı", 145-148, 2008.

KAYSER, P.; WARINGO, G.: Die unterirdische Wasserleitung der Raschpëtzer, ein Monument antiker Ingenieurkunst aus Luxemburg. Bonn, Frontinus-Gesellschaft, "Internationales Frontinus-Symposium 2003 in Walferdange", 26, 277-292, 2005.

KESSENER, P.: The Aspendos Aqueduct, an outstanding example of Roman hydraulic technology. Bergisch-Gladbach, Frontinus-Gesellschaft, "Frontinus-Tagung 2000 in Berlin und weitere historische und wasserwirtschaftliche Beiträge", 24, 95-108, 2001.

KIENAST, H.: Hezekiah's water tunnel and the Eupalinos tunnel of Samos, a comparison - Der Hezekiah-Tunnel und der Eupalinos-Tunnel auf Samos, ein Vergleich. Braunschweig, Technische Universität, "Leichtweiss-Institut für Wasserbau, Mitteilungen", 82, 20 S, 1984.

KIENAST, H.: Beispiele antiker Wasserversorgungsanlagen: Athen. Mainz, Zabern, "Die Wasserversorgung antiker Städte", 2, 167-171, 1987.

KIENAST, H.: Die Wasserleitung des Eupalinos auf Samos. Bergisch-Gladbach, Frontinus-Gesellschaft, "Frontinus- Symposium beim Kongress 'Wasser Berlin', Jahrestagung 1989 in Hannover und weitere Beiträge zur historischen Entwicklung der Technik", 14, 81-91, 1990.

KITE, G.W. : "Frequency and risk analysis in hydrology". Fort Collins, Water Resources Publications, 223 p, 1977.

KNAUSS, J.: Die Melioration des Kopaisbeckens durch die Minyer im 2.Jt.v.Chr. -Kopais 2- Wasserbau und Siedlungsbedingungen im Altertum. München, Technische Universität, "Institut für Wasserbau und Wassermengenwirtschaft, Berichte", 57, 304 S, 1987.

KNAUSS, J.: Mykenische Wasserbauten in Arkadien, Böotien und Thessalien - mutmassliche Zielsetzung und rekonstruierbare Wirkungsweise. Bergisch-Gladbach, "Frontinus Symposium beim Kongress 'Wasser Berlin', Jahrestagung 1989 in Hannover und weitere Beiträge zur historischen Entwicklung der Technik", 14, S.17-56; & "Wasser Berlin, Kongressband", 31-70, 1990.

LEVEAU, P.: Beispiele antiker Wasserversorgungsanlagen: Saldae. Mainz, Zabern, "Die Wasserversorgung antiker Städte", 3, 215-218, 1988.

LINDNER, M.: Beispiele antiker Wasserversorgungsanlagen: Petra. Mainz, Zabern, "Die Wasserversorgung antiker Städte", 2, 196-201, 1987.

MARTINI, P.: A review of the history of the aqueducts of Rome. "Journal of the American Water Work Association", 68 (11), 1976.

MAT, A.: "Sentetik metot". Ankara, Devlet Su İşleri, Etüt ve Plan Dairesi , 1964.

MAZAR, A.: Survey of the Jerusalem Aqueducts. Braunschweig, Technische Universität, "Leichtweiss-Institut für Wasserbau, Mitteilungen", 82, 18 S, 1984.

MESCİ, Y.; GÖZTAŞ, H.; ÖZDEMİR, C.; DOĞANBAŞ, M.: Amasya kalesi su iletim yapıları ve dehlizler. İzmir, Devlet Su İşleri II.Bölge Müdürlüğü, "Tarihi su yapıları konferansı, Bildiriler kitabı", 85-88, 2008a.

MESCİ, Y.; GÖZTAŞ, H.; ÖZDEMİR, C.; DOĞANBAŞ, M.: Amasya Roma dönemi Ferhat su kanalı. İzmir, Devlet Su İşleri II.Bölge Müdürlüğü, "Tarihi su yapıları konferansı, Bildiriler kitabı", 89-92, 2008b.

OGROSKY, H.D.; MOCKUS, V. : Hydrology of agricultural lands. New-York, McGraw-Hill, "Handbook of applied hydraulics" (Ed.: V.T. Chow), Section 21, 1964.

ONUR, O.: "Edirne su kültürü". İstanbul, Acar, 80 s, 1985.

ÖZAND, E.: Koca Sinan'ın en büyük mühendislik eserlerinden biri olan İstanbul'un Kırkçeşme tesisleri. "Türkiye Mühendislik Haberleri", (157), 8-10. & Istanbul, Sinan Komitesi, "Koca Sinan", (Ed.: C. Bektaş), 34-47, 1968.

ÖZBAY, F.: Olba/Diokaisareia su sistemi. Mersin, Mersin Üniversitesi, Kilikya Arkeolojisini Araştırma Merkezi, "Olba I", 121-129 + L.25-26, 1998.

ÖZBAY, F.: Elaiussa Sebaste ve Korykos su sistemi. Mersin, Mersin Üniversitesi, Kilikya Arkeolojisini Araştırma Merkezi, "Olba IV", 145-161 + L.37-42, 2001.

ÖZDEMİR, H.: "Akım rasadı yapılamayanm akarsularda çeşitli metotlarla taşkın sarfiyatının hesaplanması". Ankara, Devlet Su İşleri, Proje Hidrolojisi Uzman Müşavirliği, 48 s., 1969.

ÖZDEN, D.: "Uygur karızlarına yolculuk". İstanbul, Kaynak, 128 s, 2006.

ÖZİŞ, Ü.: "Su yapıları". İzmir, Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, 608 s, 1983.

ÖZİŞ, Ü.: Historical parallels in the water supply development of Roma and İstanbul. Rotterdam, Balkema, "Water Resources Developments in Perspective", (Ed.:W.O. Wunderlich, J.E.Prins), 35-44, 1987.

ÖZİŞ, Ü.: "Su mühendisliği tarihi açısından Türkiye'deki eski su yapıları". Ankara, Devlet Su İşleri, DSİ'nin 40'ıncı Kuruluş Yılı Yayını, 203 s, 1994.

ÖZİŞ, Ü.: "Çağlar boyunca Anadolu'da su mühendisliği". İstanbul, İnşaat Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi, 40.Yıl Yayını, 64 s, 1995.

ÖZİŞ, Ü.: Historical water schemes in Turkey. "International Journal of Water Resources Development", 12 (3), 347-383, 1996.

ÖZİŞ, Ü.: "Historical dams in Turkey". Ankara, Turkish National Committee of International Commission on Large Dams (TRCOLD), 100 p, 1999.

ÖZİŞ, Ü.: Wasserbauten im Laufe von vier Jahrtausenden in der Türkei. Wien, Österreichisches Archäologisches Institut & Leuven, Peeters, "Cura Aquarum in Ephesus 2004" (Ed.: G. Wiplinger), 115-120, 2006.

ÖZİŞ, Ü.; ARISOY, Y.: Edirne water conveyance system constructed by the Great Mimar Sinan. İstanbul, İstanbul Technical University, Research Center of History of Science and Technology, "II. International Congress on the History of Turkish and Islamic Science and Technology, Proceedings", II, 135-144, 1986.

ÖZİŞ, Ü.; ARISOY, Y.: "Mimar Sinan'ın Suyolları". İzmir, Dokuz Eylül Üniversitesi, 0908.87.YDK.005.041, 80 S, 1987.

ÖZİŞ, Ü.; ARISOY, Y.: Sinan's aqueducts. İstanbul, International Association of Shell and Spatial Structures & Mimar Sinan University, "International Symposium: Bridging Large Spans (BLS) - From Antiquity to Present", 11-20, 2000.

ÖZİŞ, Ü.; ARISOY, Y.: Mühendis ve Mimar Sinan'ın suyolları. İstanbul, Türk Bilim Tarihi Kurumu & İ.S.K.İ., "Türk Teknoloji Tarihi" (I. Türk Bilim ve Teknoloji Tarihi Kongresi Bildirileri, 2001) (Ed.: E. Dölen, M. Kaçar; Takdim: E. İhsanoğlu), 259-277, 2003.

ÖZİŞ, Ü.; ARISOY, Y.; ALKAN, A.; ÖZDEMİR, Y.: "Brücken und Wasserbauten aus seldschukischer und osmanischer Zeit in der Türkei". Zürich, Spur, 75 S., 2007.

ÖZİŞ, Ü.; ATALAY, A.: Fernwasserleitungen von Ephesos. Wien, Österreichische Akademie der Wissenschaften, "100 Jahre Österreichische Forschungen in Ephesos, Akten des Symposions Wien 1995" (Eds.: H. Friesinger, F. Krinzinger; Red.: B. Brandt, K.R. Krierer), Archäologische Forschungen 1, Denkschriften 260, 405-411 + Taf.73/3 bis 75/4, 1999.

ÖZİŞ, Ü.; ATALAY, A.; BECERİK, M.; ÖZDİKMEN, K.: Historical water conveyance systems to Ephesus. Selçuk, Selçuk Municipality & Ege University, "From Past to Present, Selçuk, First International Symposium 1997, Proceedings", 125-136, 1998.

ÖZİŞ, Ü.; ATALAY, A; BECERİK, M.; ÖZDİKMEN, K.: Tunnelstrecken in Qanatbauweise: der Kenchrios-(Değirmendere)-Fernwassereitung nach Ephesus. Bonn,

Frontinus-Gesellschaft, "Internationales Frontinus-Symposium 2003 in Walferdange", 26, 293-300, 2005a.

ÖZİŞ, Ü.; ATALAY, A.; BECERİK, M.; ÖZDİKMEN, K.: Aqua Iulia. Die Kenchrios-(Değirmendere)-Fernwasserleitung von Ephesos. Wien, Phoibos, "Synergia. Festschrift für Friedrich Krinzinger", I, 213-219, 2005b.

ÖZİŞ, Ü.; ATALAY, A.; BECERİK, M.; ÖZDİKMEN, K.: Efes'in tarihi suyolları. İzmir, Devlet Su İşleri II.Bölge Müdürlüğü, "Tarihi su yapıları konferansı, Bildiriler kitabı", 195-198, 2008.

ÖZİŞ, Ü.; BAYKAN, O.; ATALAY, A.; ARISOY, Y.; ALKAN, A.; ÖZDEMİR, Y.: Su yapılarının tarihi gelişimi. İzmir, Dokuz Eylül Üniversitesi, SUMER, Su Yapıları I, "Su kaynaklarının geliştirilmesi", (Ed.: Ü. Öziş, F. Türkman, T. Baran), 1, 1-1>1-36 (2.b.: 2009), 2006.

ÖZİŞ, Ü.; BAYKAN, O.; ATALAY, A.; ARISOY, Y.; ALKAN, A.; ÖZDEMİR, Y.: "Water bridging civilizations through four millenia in Turkey". Ankara, D.S.İ. - State Hydraulic Works, 5.th World Water Forum (İstanbul 2009), Side Event, General presentation, 20 p, 2009.

ÖZİŞ, Ü.; HARMANCIOĞLU, M.; BAYKAN, O,; ÜNAL, Ş.; TOLKUN, M.: Flood flows and capacities of the historical Pergamon and Nysa tunnels in Anatolia. Cagliari, International Association for Hydraulic Research, "IAHR XVIII. Congress, Proceedings", 6, 695-698, 1979a.

ÖZİŞ, Ü.; HARMANCIOĞLU, N.; BAYKAN, O.; ÜNAL, Ş.; TOLKUN, N.: Tarihi Bergama ve Nysa tünellerinin kapasiteleri ile giriş taşkın zirve akımlarının karşılaştırılması. İstanbul, İstanbul Teknik Üniversitesi, "I. Ulusal Hidroloji Kongresi", 369-376, 1979b.

ÖZTEK, S.: Snyder metodu.. Ankara, Devlet Su İşleri, Etüt ve Plan Dairesi, "Taşkınlar Hidrolojisi", 4-1 ila 4-14, 1968.

PACE, P.: "Gli acquedotti di Roma e il acquedotto di Frontino". Roma, Eligio, 330 p, 1983.

PAMİR, H.: "Eine Stadt stellt sich vor: Seleukia Pieria und ihre Ruinen". Antike Welt, 35 (2), 17-21, 2004.

PANIMOLLE, G.: "Gli acquedotti di Roma antica". Roma, 1&2, 584 s, 1984.

SCHNITTER, N.: Römischer Wasserbau in der Schweiz. "Schweizer Baublatt", (29) 57-65, 1989.

SCHNITTER, N.: "A history of dams". Rotterdam, Balkema, 266 p, 1994.

TOLKUN, M.: "Nysa'daki tarihi tünelin kapasitesi ile taşkın zirve akımlarının karşılaştırılması". İzmir, Ege Üniversitesi, Mühendislik Bilimleri Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Diploma çalışması (yön: Ü.Öziş, N.Harmancıoğlu), 1979.

TÖLLE-KASTENBEIN, R.: "Antike Wasserkultur". München, Beck, 231 S, 1990.

TÖLLE-KASTENBEIN, R.: "Das archaische Wasserleitungsnetz für Athen und seine späteren Bauphasen". Mainz, Zabern, Bildbände zur Archäologie, 19, 1994.

TÜRKEN, E.; CAN, K.; BAYKAN, O.; TANRIÖVER, E. : Babadağ Herakliyası yeraltısuyu derleme yapısı. İzmir, Devlet Su İşleri II.Bölge Müdürlüğü, "Tarihi su yapıları konferansı, Bildiriler kitabı", 133-136, 2008.

ÜNAL, Ş.: "Bergama Çayı üzerinde tarihi ikiz tünelin kapasitesi ile giriş zirve taşkın akımlarının karşılaştırılması". İzmir, Ege Üniversitesi, Mühendislik Bilimleri Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Diploma çalışması (yön: Ü.Öziş, N.Harmancıoğlu), 1978.

ÜNSAL, İ.: "Değişken akımların hidroliği". İstanbul, İstanbul Teknik Üniversitesi, 1108, 286 s, 1978.

VIOLLET, P.-L.: "L'hydraulique dans les civilisations anciennes". Paris, Ponts et Chaussées, 374 p, 2000.

VISCHER, D.: Der römische Stollen bei Hagneck. "Industriarchäologie", (2), 21-23, 1992.

WERNER, D.: "Wasser für das antike Rom". Berlin, VEB, 156 S, 1986.

WIPLINGER, G.: Wasser für Ephesos - Stand der Erforschung der Wasserversorgung. Wien, Österreichisches Archäologisches Institut & Leuven, Peeters, "Cura Aquarum in Ephesus 2004" (Ed.: G. Wiplinger), I, 23-37 + 1 T, 2006.

YEVJEVICH, V.: "Probability and statistics in hydrology". Fort Collins, Water Resources Publications, 302 p, 1972.

İnşaat Mühendisliği'nde Hidrolik Eğitimi

S. Turhan ACATAY[1]

Özet: Sunuşta, İnşaat Mühendisliği eğitimi içinde Hidrolik eğitimine yönelik olarak önce Ege, 1983'ten sonra da Dokuz Eylül Üniversitesi'ndeki Mühendislik Fakültelerinin İnşaat Bölümlerinde uygulanan Hidrolik ve su ile ilgili ders programlarının düzenlenmesindeki ana fikir anlatılacaktır. Uygulamada alınan sonuçlar değerlendirilerek, daha iyi bir su mühendisliği eğitimi için tavsiyelerde bulunulacaktır.

[1] Em.Prof.Dr., Dokuz Eylül Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Buca, İzmir

Application of Geographic Information Systems in Hydrology and Elsewhere: Myth and Reality

Yuri Gorokhovich[1]

Widespread applications of Geographic Information Systems (GIS) in hydrology and other branches of geosciences stimulated rapid growth of practical applications unparalleled in technical complexity and topical diversity. There are uses of GIS in flood modeling, water resources management, disaster mapping and simulation of potential impacts of natural hazards on population among others. Traditional use of GIS software as a stand-alone package is being replaced by the fast growing number of web-based applications that have changed the traditional hierarchy of GIS work flow when only "GIS expert" could provide answers to problems. Today the majority of ordinary users can perform GIS operations not previously available to the public. The expansion of technology and wide-spread "know-how" of GIS knowledge extremely simplified its capabilities. It also led public and decision makers to the perception about GIS-based analysis and GIS-based maps as always "correct". It also masked the original purpose of GIS at the time of its design, i.e. spatial data modeling. This presentation will focus on the history of GIS development, its current strengths and weaknesses, illustrated by examples from hydrologic, geologic and natural resource management applications.

[1] Assistant Professor, Lehman College, City University of New York (CUNY), Department of Environmental, Geographical and Geological Sciences, Gillet Hall 315, 250 Bedford Park Blvd. West, Bronx, NY 10468 Tel: 718-960-1981; Fax: 718-960-8584

Recent Achievements in Macroscale Hydrological Modelling

T. Oki[1], H. Kim[1], N. Hanasaki[2], S. Kanae[3], S. Seto[1], and P. Yeh[1]

In the early 1990s, during the planning stage of the GEWEX Asian Monsoon Experiment (GAME), the topic of "how to develop macroscale hydrological models" was seriously discussed among Japanese scientists related to land-atmosphere interaction studies. Two approaches for this were identified by this group. The first approach was to expand a conventional microscale rainfall-runoff hydrological model into a macroscale model that could run on the continental scale with a detailed energy balance and vegetation representation. The alternative approach was to enhance hydrological processes in land surface models (LSMs) and couple them with horizontal water flow processes, particularly with river flow.

The river routing scheme, "Total Runoff Integrating Pathways (TRIP)" (Oki and Sud, 1998; Oki et al., 1999), was developed with a global flow direction map. This scheme can be coupled with any LSM, and also used as a post-processor by integrating the runoff estimated by LSMs into river discharge. The first version of TRIP adopted a primitive fixed velocity scheme (Miller et al., 1994). A variable velocity version was later developed (Ngo-Duc et al., 2007). TRIP was coupled with some of the Global Circulation Model (GCM) projections used in the Intergovernmental Panel on Climate Change's (IPCC) Fourth Assessment Report (AR4) to identify the impact of climate change on hydrological cycles (Faloon and Betts, 2006), and there have been some studies of future assessment on the world water resources and global flood disasters utilizing the TRIP model as well (Oki and Kanae, 2006; Hirabayashi and Kanae, 2009). Further, Kim et al. (2009) underscored the importance of river components in terrestrial water storage (TWS) variation over global river basins. To reduce simulation uncertainty, ensemble simulations were performed with multiple precipitation data, and a localized Bayesian model averaging technique was applied to the TRIP simulation.

The figure at the top of the next page shows that river storage not only explains different portions of total TWS variations, but also plays different roles in different climatic regions. It is the most dominant water storage component in wet basins (e.g., Amazon, Brazil) in terms of amplitude, and it acts as a "buffer" which smoothes the seasonal variation of total TWS especially in snow-dominated basins (e.g., Amur, Russian and China). It signifies that the model simulation of TWS may not be able to properly

[1] Institute of Industrial Science, University of Tokyo
[2] National Institute for Environmental Studies
[3] Tokyo Institute of Technology

reproduce the amplitude and seasonal pattern of observed TWS variation by GRACE (the Gravity Recovery And Climate Experiment, see Tapley et al., 2004) without an appropriate representation of river storage component. The dominant role of river storage had already been indicated in a pilot study which compared total TWS changes estimated by the atmospheric water balance method and a GCM simulation coupled with TRIP in the Amazon River Basin (Oki et al., 1996). However, the message was not fully convincing until recent years when satellite-observed GRACE data became available. Using a geodesy approach, Han et al. (2009) employed a fixed velocity version of TRIP in the Amazon River Basin and its vicinity, and compared the model simulations to the residual of GRACE raw measurements derived from removing all the gravity-influencing factors except for the horizontally moving water. They demonstrated that the optimal flow velocity of TRIP in the Amazon varies between rising and falling water levels.

Macroscale hydrological models have also been developed in response to societal expectations for solving current and future world water issues. There is an increasing demand for information on water resources and the future prediction of these. Conventionally, available freshwater resources are commonly defined as annual runoff estimated by historical river discharge data or water balance calculation (Baumgartner and Reichel, 1975; Korzun, 1978). Such an approach has been used to provide valuable information on the annual freshwater resources in many countries. Atmospheric water balance using the water vapor flux convergence data could alternatively be used to estimate global distribution of runoff owing to the advent of atmospheric reanalysis and data assimilation system (Oki et al., 1995).

Simple analytical water balance models have been widely used to estimate global-scale available freshwater resources in the world since the beginning of this century (Alcamo et al., 2000; Vörösmarty et al., 2000). Later, LSMs were used to simulate global water cycles (Oki et al., 2001; Dirmeyer et al., 2006), and to assess global water resources by estimating the water demand under future climate change scenarios (Shen et al., 2008). Some of those estimations were calibrated by multiplying an empirical factor for the river basins where observed discharge data are available. However, recent model simulations with advanced climate forcing data can estimate global runoff distribution with adequate accuracy without the need for calibration (Hanasaki et al., 2008a).

Several recently developed macroscale hydrological models for water resources assessment also include a reservoir operation scheme (Haddeland et al., 2006; Hanasaki et al., 2006) to simulate the “real” hydrological cycles that are significantly influenced by anthropogenic activities and modified from “natural” hydrological cycles on the global scale in “Anthropocene” (Crutzen, 2002). An integrated water resources model is further coupled with a crop growth submodel, which can simulate the timing and quantity of irrigation requirement, and a submodel, which can estimate environmental flow requirement (Hanasaki et al., 2008a). Such an approach is able to assess the balances of water demand and supply on a daily time scale. A gap in the subannual distribution of water availability and water use can be detected in the Sahel, the Asian monsoon region and southern Africa, where conventional water scarcity indices such as the ratio of annual water withdrawal to water availability and available annual water resources per capita (Falkenmark and Rockström, 2004) can not properly detect the stringent balance between demand and supply (Hanasaki et al., 2008b).

Numerical models can be associated with a scheme tracing the origin and flow path as if tracing the isotopic ratio of water (Yoshimura et al., 2004). Such a flow tracing function of water in the integrated water resources model (Hanasaki et al., 2008a) with the consideration on the sources of water withdrawal from stream flow, medium-size reservoirs and nonrenewable groundwater in addition to precipitation to croplands enabled the assessment of the origin of water producing major crops (Hanasaki et al., 2009). See figure below. Areas highly dependent on nonrenewable groundwater are detected in the Pakistan, Bangladesh, western part of India, north and western parts of China, some regions in the Arabian Peninsula and the western part of the United States through Mexico. Cumulative nonrenewable groundwater withdrawals estimated by the model are corresponding fairly well with the country statistics of total groundwater withdrawals, and such an integrated model has the ability to quantify the global virtual water flow (Allan, 1998; Oki and Kanae, 2004) or "water footprint" (Hoekstra and Chapagain, 2007) through major crop consumption (Hanasaki et al., 2009).

It seems that these achievements illustrate how the framework of global offline simulation of land surface models coupled with lateral river flow model and/or anthropogenic activities, driven by best estimates of meteorological "forcing" data, such as precipitation and downward radiation, is relevant for estimating global energy and water cycles, validating the estimates and sometimes the quality of "forcing" data with independent observations, and improving the models. There are attempts to utilize this framework for assessing the impacts of climate change on future hydrological cycles, which would demand adaptation measures in water resources management, flood management and food production. For such purposes, it is necessary to develop reliable "forcing" data for the future based on GCM projections probably with bias corrections and spatial and temporal downscaling, as well as developing best estimates for the future boundary conditions for hydrological simulations such as vegetation type and land use/land cover. It should be also examined how much the framework can be applied to finer spatial and temporal scales, such as 1-km grid spacing and hourly simulations. For such researches, observational data from regional studies provide significant information, and efforts to integrate data sets from various regional studies should be promoted. It is for sure that cooperation among Global Environmental Change Programs under ICSU, including WCRP, is and will be accelerating the macroscale hydrological studies effectively.

References

Alcamo, J., T. Henrichs, and T. Rösch, 2000. World Water in 2025—Global modelling and scenario analysis for the World Commission on Water for the 21st Century, Tech. Report, Centre for Environmental Systems Research, University of Kassel, Kassel, Germany.

Allan, J. A., 1998. Virtual Water: A strategic resource. Global Solution to Regional Deficits, *Groundwater*, 36(4), 545–546.

Baumgartner F., and E. Reichel, 1975. The World Water Balance: Mean Annual Global, Continental and Maritime Precipitation, Evaporation and Runoff, Ordenbourg: Munchen, p. 179.

Crutzen, P. J., 2002. Geology of mankind—the Anthropocene, *Nature*, 415, 23.

Dirmeyer, P. A., X. A. Gao, M. Zhao, Z. C. Guo, T. Oki, and N. Hanasaki, 2006. GSWP-2 Multimodel anlysis and implications for our perception of the land surface, *Bull. Amer. Meteorol*. Soc., 87, 1381–1397.

Falkenmark, M., and J. Rockström, 2004. Balancing water for humans and nature, Earthscan, London, UK, 247 pp.

Falloon, P. D., and R. A. Betts, 2006. The impact of climate change on global river flow in HadGEM1 simulations, *Atmos. Sci. Let*., 7, 62–68.

Haddeland, I., D. P. Lettenmaier, and T. Skaugen, 2006. Effects of irrigation on the water and energy balances of the Colorado and Mekong river basins, *J. Hydrol*., 324, 210–223.

Han, S.-C., H. Kim, I.-Y. Yeo, P. J.-F. Yeh, T. Oki, K-W. Seo, D. Alsdorf, and S. B. Luthcke, 2009. Dynamics of surface water storage in the Amazon inferred from measurements of inter-satellite distance change, *Geophys. Res. Lett.*, 36, L09403, doi:10.1029/2009GL037910.

Hanasaki, N., S. Kanae, T. Oki, K. Masuda, K. Motoya, N. Shirakawa, Y. Shen, and K. Tanaka, 2008a. An integrated model for the assessment of global water resources – Part 1: Model description and input meteorological forcing. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 12, 1007–1025.

Hanasaki, N., S. Kanae, and T. Oki, et al., 2008b. An integrated model for the assessment of global water resources – Part 2: Applications and assessments. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 12, 1027–1037.

Hanasaki, N., S. Kanae, and T. Oki, 2006: A reservoir operation scheme for global river routing models, *J. Hydrol*., 327, 22-41.

Hanasaki, N., T. Inuzuka, S. Kanae, and T. Oki, 2009. A model-based estimation of global virtual water flows and sources of water withdrawals, *J. Hydrol*., submitted.

Hirabayashi, Y. and S. Kanae, 2009. First estimate of the future global population at risk of flooding, *Hydro. Res. Lett.*, 3, 6-9.

Hoekstra, A. Y. and A. K. Chapagain, 2007. Water footprints of nations: water use by people as a function of their consumption pattern, *Water Resources Management*, 21, 35-48.

Kim, H., P. Yeh, T. Oki, S. Kanae, 2009. The role of river storage in the seasonal variation of terrestrial water storage over global river basins, *Geoph. Res. Lett.*, submitted.

Korzun, V. I., 1978. World water balance and water resources of the earth, Studies and Reports in Hydrology, Vol. 25, UNESCO, Paris.

Miller, J. R., G. L. Russell, and G. Caliri, 1994. Continental-scale river flow in climate models, *J. Climate*, 7, 914–928.

Ngo-Duc, T., T. Oki, and S. Kanae, 2007. A variable streamflow velocity method for global river routing model: model description and preliminary results, *Hydrol. Earth Syst. Sci*. Discuss., 4, 4389-4414.

Oki, T., Y. Agata, S. Kanae, T. Saruhashi, D.W. Yang, and K. Musiake, 2001. Global assessment of current water resources using total runoff integrating pathways, *Hydrol. Sci. J.*, 46, 983–995.

Oki, T. and Kanae, S., 2004. Virtual water trade and world water resources, Water Science & Technology, 49(7), 203–209.

Oki, T. and S. Kanae, 2006. Global Hydrological Cycles and World Water Resources, Science, 313(5790), 1068-1072.

Oki, T., S. Kanae, and K. Musiake, 1996. River routing in the global water cycle, *GEWEX News*, 6, WCRP, International GEWEX Project Office, 4-5.

Oki, T., K. Musiake, H. Matsuyama, and K. Masuda, 1995. Global atmospheric water balance and runoff from large river basins, *Hydro. Processes,* 9, 655–678.

Oki, T., T. Nishimura, and P. Dirmeyer, 1999. Assessment of annual runoff from land surface models using Total Runoff Integrating Pathways (TRIP), *J. Meteor. Soc. Japan*, 77, 235-255.

Oki T., and Y. C. Sud, 1998. Design of Total Runoff Integrating Pathways (TRIP) A global river channel network, Earth Interactions, 2.

Shen, Y., T. Oki, N. Utsumi, S. Kanae, and N. Hanasaki, 2008. Projection of future world water resources under SRES scenarios: water withdrawal, *Hydrol. Sci. J.*, 53(1), 11-33.

Tapley, B. D., S. Bettadpur, J. C. Ries, P. F. Thompson, and M. M. Watkins 2004. GRACE measurements of mass variability in the Earth system, *Science*, 305 (5683), 503-505.

Vörösmarty, C. J., P. Green, J. Salisbury, R.B. Lammers, 2000. Global water resources: vulnerability from climate change and population growth, *Science,* 289, 284–288.

Yoshimura, K., T. Oki, N. Ohte, and S. Kanae, 2004. Colored moisture analysis estimates of variations in 1998 Asian monsoon water sources, *J. Meteorol. Soc*. Japan., 82, 1315– 1329

Su Kaynaklarının Geliştirilmesi ve Çevre

Orhan USLU[1]

Özet: Dünyanın hızla artan nüfusu, giderek azalan enerji kaynaklarına karşın hızla artan enerji talebi, iklim değişikliği, su kaynaklarının ve çevrenin hızla kirlenmesi, tükenen her tür doğal kaynak ve küresel ölçekte yaşanan ekonomik krizler birbirinden bağımsız olgular değildir. Bu nedenle su kaynaklarının geliştirilmesinde salt çevre boyutunun ele alınmasından öte bu sunumda özellikle sürdürülebilirlik üzerinde durulacaktır.

İçme, kullanma ve tarımsal sulama amaçlı su temini çabaları insanlık tarihi kadar eski olsa da, modern anlamıyla su kaynaklarının geliştirilmesinin dayandığı mühendislik esaslarının büyük bir kısmı, son iki yüz yıl içinde, suyun bol olduğu ülkelerde ve çevre sorunlarının bugünkü boyutlarda hissedilmediği dönemlerde şekillenmiştir. Örneğin giderek büyüyen kentlere su temini, her geçen gün daha uzaklardaki su kaynaklarından artan miktarlarda enerji tüketerek getirilmiş ve kullanımdan sonra kirlenen suların çevreye verdikleri zararların önlenebilmesi için giderek daha fazla enerji ve kimyasal maddeler tüketen arıtma teknolojileri geliştirilmiştir. Suyun bu yapay döngülerini sağlamak için gerekli olan enerjinin üretilmesi de ayrıca çevre kirliliği yaratmaya devam etmiştir.

Dünyadaki pek çok su kaynağı fiziksel olarak yok olmaktadır. Kentsel, endüstriyel ve tarımsal kullanımlardan sonra pek çok akarsu denize ulaşamadan tükenmektedir. Tükenen bu su kaynakları büyük ölçekli ekolojik bozulmaları beraberinde getirmektedir.

Atmosferdeki sera gazlarının artışının neden olduğu iklim değişikliği, alışılagelen hidrolojik sistem davranışlarını hızla değiştirmektedir. Bunun sonucunda kuraklıklar ve sel baskınları daha şiddetli olmaktadır. Bu değişimlere karşı yeni stratejilerin ve paradigmaların geliştirilmesi gerekmektedir. Su kaynağının kullanımındaki her aşama, sürdürülebilirlik açısından yeniden değerlendirilmelidir. Suyun kullanımındaki döngüler tekrar irdelenmeli, kaynakta tasarruf, geri dönüşüm ve yeniden kullanım strateji ve teknolojileri geliştirilmelidir.

[1] Bahçeşehir Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi,Çevre Mühendisliği Bölümü, Beşiktaş-İstanbul

HİDROLOJİK SÜREÇLER- İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ VE HİDROLOJİK ETKİLERİ

İstanbul Aylık Yağışlarının Gidişler Analizi

Bihrat ÖNÖZ [1], Tuğba CANGEL [2]

Özet: Kuraklığın sosyo-ekonomik yaşam üzerinde etkileri çok yüksektir. Özellikle büyük kentlerde bu etkilerin toplum üzerine yansımaları maddi ve manevi birçok sorunu da beraberinde getirmektedir. Bu nedenlerden dolayı, yönetici ve planlamacılar, kurak dönemlerin uzunluklarını ve bu dönemlerde oluşabilecek su eksikliklerini bilmeyi veya güvenilir bir şekilde tahmin edebilmeyi isterler. Bu çalışmada, İstanbul'daki 8 adet Devlet Meteoroloji Gözlem İstasyonuna ait aylık yağış verileri kullanılarak Gidişler analizi yardımıyla Medyan kesim seviyesi için gidiş uzunlukları, gidiş toplamları ve gidiş şiddetleri hesaplanmıştır. İstanbul için belirlenen kurak dönemlerin nedenleri, alınabilecek önlemler ve su kaynaklarına etkisi değerlendirilmiştir.

Anahtar Sözcükler: Kuraklık, Gidişler Analizi, Gidiş Uzunluğu, Gidişler Toplamı, Kurak dönem uzunluğu

Run Analysis of İstanbul's Monthly Rainfall

Abstract: Drought has so many effects on human's social-economic lives. Especially in big cities, the results of these effects brings so many problems with in. Because of these reasons, planners and managers want to know or at least want to guess in a safe condition, how long the length of these periods and the rainfall needed in these times. In this study, using the monthly and annual rainfall data observed at 8 rainfall observation stations of Meteorology, negative run lengths, negative run sums and run intensities are found for threshold level q=0.5 (median). The reasons of this drought periods and the effects of this drought on water resources are defined for İstanbul.

Keywords: Drought, Run Analysis, Run Length, Run Sum, Drought Period

1. GİRİŞ

Dünya nüfusunun artması, şehirleşme, iklim değişmeleri, orman tahribatları, çölleşme sonucunda kuraklık toplum, çevre ve ülkeleri tehdit eden boyutlara ulaşmaktadır. Kuraklıkların ekonomik ve toplumsal boyutları vardır. Toplumun ekonomisi, sağlığı, psikolojisi ve ticareti ile yakından ilgilidir. Kuraklık dünyada etkisini gittikçe

[1] İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul E-Posta: onoz@itu.edu.tr

[2] İstanbul Teknik Üniversitesi, FBE, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Dr Öğrencisi, İstanbul, E-Posta: tugbacangel@gmail.com

arttırmasına rağmen kapsamı henüz tam anlaşılmamış ve etkileri yeterince değerlendirilmemiştir. Bunun doğal sonucu olarak da kuraklığın kesin tanımı yapılamamaktadır. Yapılan tanımlar mesleklere göre meteorolojik, hidrolojik, tarımsal, coğrafik veya endüstriyel, enerji üretimi, su temini, denizcilik, mesire yerleri bakımından olmaktadır (Şen, 2001).

Araştırmacılar, kuraklığı ortaya koymak ve aralarındaki ilişkileri belirlemek için, Thorntwaite, Palmer kuraklık şiddet indisi, gidişler analizi, istatistiksel ve stokastik yöntemler gibi çeşitli yöntemleri günümüze kadar kullanmışlardır. Yevjevich (1967), kuraklık özelliklerini, nesnel tanımı sağlamanın yolu olarak "Gidişler Kuramı"nın kullanımını önermiştir.

Bayazıt (1974), kurak devreleri incelemek için, gidiş uzunluğunun ortalama değeri, varyansı, gidiş uzunluğunun maksimum değeri ve gidiş toplamının maksimum değeri olan parametreleri kullanmıştır. 10 akarsu için, gözlenmiş olan bu parametre değerlerini, gözlenmiş otokorelasyon katsayısını haiz 1. mertebe Markov modelinden elde edilen aynı parametre değerleriyle karşılaştırmıştır. Gözlenmiş kuraklıklar genellikle, 1. mertebe Markov modelinin verdiği kuraklıklardan daha şiddetli olduğu sonucuna varmıştır.

Yevjevich (1975), negatif gidişleri kullanarak, kararlı zaman serilerinin kuraklıkların analitik araştırılması, kararlı stokastik süreçlerin kuraklık özelliklerini saptamak için deneysel yaklaşım, deneysel sonuçlar ile saptanmış sonuçların analizini, periyodik-stokastik süreçlerin yardımı ile gerçekleştirmiştir.

Şen (1976), kuraklık şiddeti ve süresiyle ilgili birçok çalışmalar yapmıştır. Gözlemlerin birinci mertebeden lineer bağımlı olmaları halinde, gidiş özelliklerinin, çeşitli istatistiksel ve olasılık büyüklükleri hakkında sayısal sonuçlara ulaşmayı olanaklı kılacak analitik bir yaklaşım geliştirilmiştir.

Lee ve diğerleri (1986), yıllık akış serileriyle uzun yıllar kuraklık süresinin sıklık analizi yaklaşımını geliştirmişlerdir.

Koçak (1992), yağış verilerinin autorun analizi konusunda yaptığı çalışmasında, gidiş analizinin medyan düzeyinde kesimi ile elde ettiği verilerden olasılık hesaplamalarına geçiş yapmıştır.

Sırdaş ve Şen (2003), çalışmalarında, Türkiye'de bulunan 60 büyük klima istasyonunun yaklaşık olarak 1930–1990 yılları arasındaki aylık yağış verilerini kullanarak, gidişler analizi yapmıştır. Gidişler analizi sonucunda elde edilen sonuçlara bağlı olarak Türkiye genelinde, maksimum kuraklıktaki, gidiş uzunluğu, gidiş toplamı ve gidiş şiddetlerini hesaplamış; Türkiye için genel bir dağılım haritası çıkarmıştır.

Bu çalışmada, İstanbul su temini sistemine etki edebilecek kurak dönemlerin belirlenmesi hedeflenmiştir. Akış kayıtlarının olmaması sebebi ile yağış verileri ile kurak dönemin uzunluğu ve bu dönemde ortaya çıkabilecek toplam eksiklikleri ve bu değerlerin frekans analizi yapılmıştır. Çalışmada gidişler analizi kullanılmıştır.

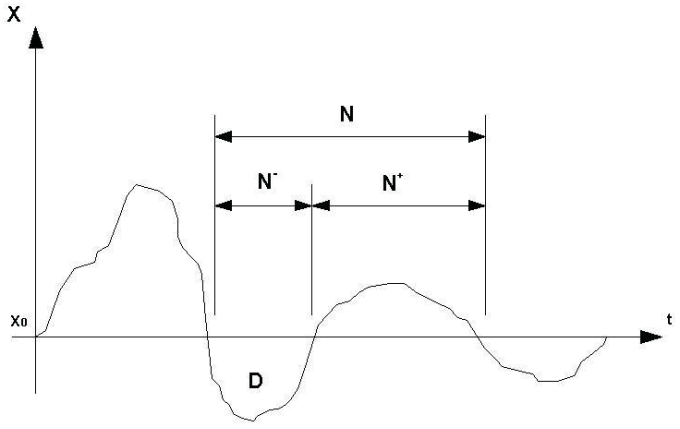
2. GİDİŞLER ANALİZİ

Bir yağış serisine ait, kurak ve yağışlı periyotların bilinmesi, su kaynaklarının planlanmasında ve işletilmesinde önemli rol oynar. Bir planlamacı, yağışlı ve kurak sürelerin ortalama periyodunu, kurak bir dönemin maksimum uzunluğunu ve yağışlı bir periyot süresince meydana gelecek su miktarını bilmeyi, en azından güvenilir bir şekilde tahmin etmeyi ister. Bu niceliklerden her biri, su mühendisliğinde önemli bir yer tutar (Şen, 1978).

Bir gidiş (run), arkasında ve önünde farklı olaylar bulunmak üzere, birbirini takip eden, aynı karakterde olaylar serisine verilen addır. Bu şekilde tanımlanan run'ların uzunlukları, bir rastgele değişken olarak ele alınıp, istatistik yöntemlerle incelenebilir (Bayazıt, 1973).

Bir X rastgele değişkeninin, herhangi bir x(t) stokastik süreci içerisinde, bir Δt zaman aralığı içerindeki durumunu göz önüne alalım (Şekil 2.1). Burada x_0, kesim seviyesini göstersin. Bu durumda, bazı zaman aralıklarında x(t) kesim seviyesinden büyük (N^+); bazı zaman aralıklarında ise küçük (N^-) kalabilmektedir.

Herhangi bir Δt zaman aralığında, x(t)'nin kesim seviyesinin üstünde kaldığı süreye pozitif run (gidiş) denir ve bu süre sulak dönem süresini belirler. Bu dönem boyunca, çizilen grafiğin pozitif bölgesinde kalan su hacimleri, sulak dönem boyunca ölçülen fazla su miktarını belirler. Aynı şekilde, x(t)'nin kesim seviyesinin altında kaldığı süreye negatif run (gidiş) denir ve bu süre ise kurak dönem süresini belirler. Bu dönem boyunca, çizilen grafiğin negatif bölgesinde kalan su hacimleri, kurak dönem boyunca ölçülen eksik su miktarını belirler. Her iki devre için de, gidiş uzunluklarının gidiş toplamlarına oranlanmasıyla ise run (gidiş) şiddeti hesaplanmış olunur.



Şekil 2.1 Gidiş Karakteristiklerinin Tanımı

Runs (gidişler) analizinde, run uzunluğu, run toplamı ve run şiddeti rastgele değişkenlerinin frekans dağılımları ve parametreleri incelenir. Elde edilen sonuçlar, kurak dönemlerde su temini, sulama, hidroelektrik üretimi, atıkların seyreltilmesi,

ekolojinin düzenlenmesi çalışmalarının planlanmasında kullanılır. Run uzunluğu, özellikle kuraklığın süresinin önem taşıdığı, sulama, run toplamı ise su temini, hidroelektrik ve atık su projelerinde kullanılır (Bayazıt ve Önöz, 2008).

3. UYGULAMA

Bu bölümde İstanbul ve civarında yer alan yağış gözlem istasyonlarının, yıllık genel istatistik bilgileri Çizelge 3.1'de verilmiştir. Çalışma ise istasyona ait aylık veriler ile yürütülmüştür (Cangel, 2010).

İlk olarak, tüm aylara ait q=0.5 (medyan) seviyesi hesaplanmıştır. Tüm aylar için, aylık yağış grafikleri çizilmiştir. Aylık yağış değerleri incelenerek aylar ya da yıllar arasındaki benzerlikler incelenmiştir. Çizilen grafikler üzerine eğilim çizgileri çizilerek eğilim korelasyon katsayıları bulunmuştur.

İkinci olarak, seçilen kesim seviyelerinin altında kalan yani eksik yağışların olduğu aylar hesaplanmıştır. Bu eksik yağışlardan, her istasyona ait, tüm ölçüm periyodu boyunca eksik kalan yağışların gidişler toplamı (run sum), gidişler uzunluğu (run length) ve gidişler şiddeti (run intensity) hesaplanmıştır. Elde edilen gidişler uzunluğu, gidişler toplamı ve gidişler şiddetlerine ait, toplam, ortalama, standart sapma değerleri belirlenmiştir. Gidişler uzunluğu ile gidişler toplamı arasındaki ve gidişler uzunluğu ile gidişler şiddeti arasındaki korelasyon katsayıları hesaplanmıştır.

Çalışmanın daha sonraki kısmında, her bir istasyona ait gidiş uzunluklarının frekans değerleri hesaplanarak o istasyona ait, frekans (f(n))-zaman (n) histogramları çizilmiştir. Çizilen histogramlar yorumlanmış ve diğer istasyonlara ait histogramlar ile kıyaslanmıştır.

Son olarak, her bir istasyona ait gidiş uzunluklarının, her bir değeri için (n=1,…,i), gidiş uzunluğu frekansı hesaplanmış; o istasyona ait, frekans (f(s))-gidişler değer aralığı histogramları çizilmiştir. Çizilen histogramlar yorumlanmış ve diğer istasyonlara ait histogramlar ile kıyaslanmıştır.

Çizelge 3.1 Meteoroloji İstasyonlarına ait Yıllık İstatistik Bilgiler

İstasyon Adı	Ölçüm Yapılan Yıl Aralığı	Gözlem Süresi (Yıl)	Yıllık Yağış Toplamı (mm)	Yıllık Yağış Ort. (mm)	St. Sapma (mm)	Çarpıklık Katsayısı (Cv)
Göztepe (Kartal)	1929-2008	79	4502.00	56.28	9.97	0.44
Sarıyer	1949-2008	59	3955.82	65.93	13.13	-0.51
Florya	1937-2008	71	3844.10	53.39	8.62	0.45
Kumköy	1951-2008	57	3765.21	64.92	12.99	0.52
Şile	1982-2008	26	1920.26	71.12	13.28	0.45
Atatürk	1995-2008	13	700.14	50.01	12.44	0.83
Bahçeköy	1948-2006	58	5441.09	92.22	16.52	0.48
Kartal	1950-2004	54	2995.30	54.46	10.54	0.37

DMİ'ye ait 8 yağış gözlem istasyonundan örnek olarak Florya Yağış Gözlem İstasyonuna ait gidişler analizi sonuçları aşağıdaki gibidir:

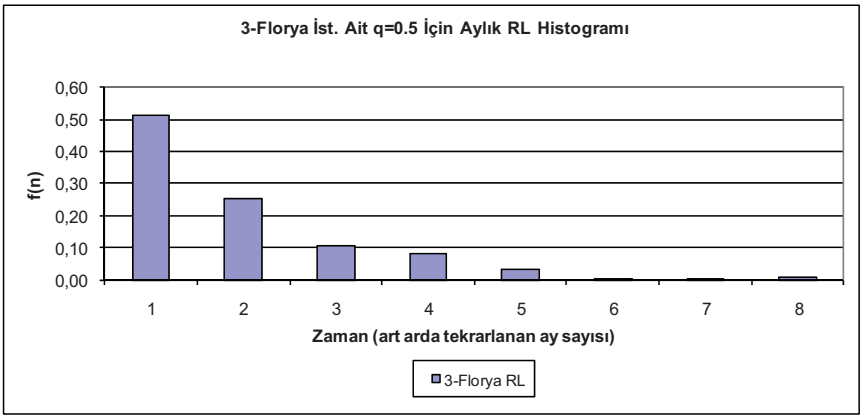
Çizelge 3.2 Florya Meteoroloji İstasyonu için Gidişler Analizi Verileri

	Toplam	Ortalama	Standart Sapma	Korelasyon Katsayısı
Kesim Seviyeleri	**q=0.5**	**q=0.5**	**q=0.5**	**q=0.5**
Gidiş Toplamı (RS) (mm)	7922.20	35.69	36.08	RS-RL=0.78
Gidiş Uzunluğu (RL) (ay)	431	1.94	1.32	RI-RL=0.08
Gidiş Şiddeti (RI) (mm/ay)	3948.55	17.79	11.44	

İstasyona ait eksik yağış düşme dönemleri aylık n=1, … , i şeklinde gruplara ayrılarak, ölçüm zamanı boyunca eksik yağış düşme dönemi ay olarak en fazla ve en az kaç ay sürdüğü hesaplanmıştır. Ardından da bu ayların ölçüm yılları sırasında kaç kere tekrarlandığı ve toplamda ne kadar bir yağış eksikliği oluşturdukları hesaplanmıştır. Kesim seviyesi medyan için sonuçlar Çizelge 3.3'de verilmiştir.

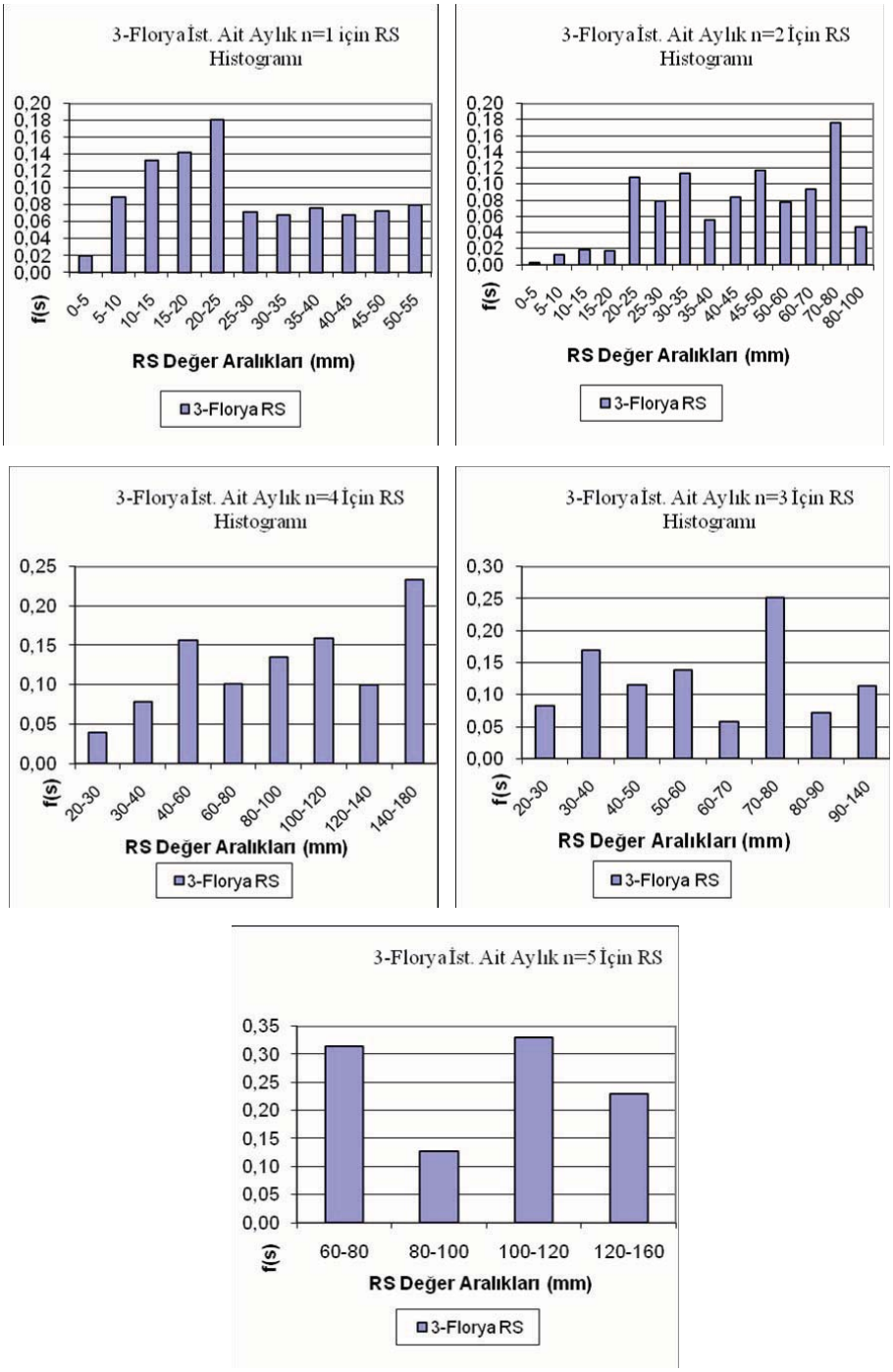
Çizelge 3.3 Florya Meteoroloji İst. q=0.5 İçin Gidiş Uzunluklarına Ait Veriler

Run Uzunluğu (RL)	n=1 için	n=2 için	n=3 için	n=4 için	n=5 için	n=6 için	n=7 için	n=8 için	Toplam
Tekrar (ay)	114	56	23	18	7	1	1	2	222
Toplam (mm)	1958.6	2058.5	1174.4	1359.8	672.9	75.1	242.4	380.5	7922.2
Oran (%)	24.7	26.0	14.8	17.2	8.5	0.9	3.1	4.8	100



Şekil 3.1 Florya İstasyonuna Ait q=0.5 İçin Gidişler Uzunluğu (RL) Histogramı

Kesim seviyesi q=0.5 için, belirlenen gidiş uzunluklarından n=1,…n=5'e kadar olan gidiş toplamlarına ait histogramlar çizilmiştir (Çizelge 3.2).



Şekil 3.2 Florya İstasyonuna Ait q=0.5 İçin Gidişler Toplamı (RS) Histogramları

4. SONUÇLAR

Devlet Meteoroloji İstasyonuna ait, 8 adet yağış gözlem istasyonunun aylık yağış verilerinden yararlanılarak, belirli kesim seviyesi q=0.5 için, eksik yağışlar hesaplanmıştır. Bu eksik yağışlara ait çeşitli bilgiler Çizelge 4.1 ve 4.2'de sunulmuştur.

Çizelge 4.1 Tüm İstasyonlara Ait Aylık Eksik Yağış Değerleri

İstasyon Adı	Ölçüm Yapılan Yıl Aralığı	Ölçüm Yapılan Toplam Ay Sayısı	Toplam Eksik Yağış (mm)	Eksik Yağışların Olduğu Aylar Toplamı	Eksik Yağış Ort. (mm)
			q=0.5	q=0.5	q=0.5
Göztepe (Kartal)	1929-2008	948	9756.4	479	20.37
Sarıyer	1949-2008	708	8462.60	355	23.84
Florya	1937-2008	852	7922.20	431	18.38
Kumköy	1951-2008	684	7889.60	347	22.74
Şile	1982-2008	312	4712.70	155	30.41
Atatürk	1995-2008	156	1408.30	75	18.78
Bahçeköy	1948-2006	696	10734.25	347	30.93
Kartal	1950-2004	648	5848.10	324	18.05

Çizelge 4.2 Tüm Gidiş Uzunluklarına Ait Aylık Eksik Yağış Değerleri

Gidiş Uz.	İstasyonlar	Göztepe	Sarıyer	Florya	Kumköy	Şile	Atatürk	Bahçeköy	Kartal
n=1	**Top. Ek. Y. (mm)**	2443,55	2180,90	1958,60	2012,80	1243,70	387,60	2675,10	1604,10
	Ay Sayısı	117	90	114	83	41	21	84	84
n=2	**Top. Ek. Y. (mm)**	2888,80	1739,20	2058,50	2205,20	885,40	450,00	2095,70	1052,10
	Ay Sayısı	69	37	56	51	17	12	42	32
n=3	**Top. Ek. Y. (mm)**	1521,05	1922,20	1174,40	1408,90	571,10	279,30	2320,50	1060,40
	Ay Sayısı	25	27	23	26	8	6	27	20
n=4	**Top. Ek. Y. (mm)**	1277,30	1138,50	1359,80	1574,90	1027,40	0,00	1904,05	947,30
	Ay Sayısı	18	13	18	14	8	0	12	12
n=5	**Top. Ek. Y. (mm)**	999,45	676,30	672,90	398,20	597,60	42,70	787,95	293,90
	Ay Sayısı	8	4	7	3	3	1	4	3
n=6	**Top. Ek. Y. (mm)**	159,95	218,20	75,10	148,60	0,00	0,00	223,75	493,90
	Ay Sayısı	2	2	1	1	0	0	1	5
n=7	**Top. Ek. Y. (mm)**	107,75	301,20	242,40	141,10	0,00	248,70	385,55	132,20
	Ay Sayısı	1	2	1	1	0	1	2	1
n=8	**Top. Ek. Y. (mm)**	107,75	301,20	242,40	141,10	383,50	248,70	385,55	132,20
	Ay Sayısı	1	2	1	1	1	1	2	1
n=9	**Top. Ek. Y. (mm)**	0,00	0,00	-	-	-	-	0,00	-
	Ay Sayısı	0,00	0,00	-	-	-	-	0,00	-
n=10	**Top. Ek. Y. (mm)**	223,10	0,00	-	-	-	-	341,65	-
	Ay Sayısı	1,00	0,00	-	-	-	-	1,00	-
n=11	**Top. Ek. Y. (mm)**	-	0,00	-	-	-	-	-	-
	Ay Sayısı	-	0,00	-	-	-	-	-	-
n=12	**Top. Ek. Y. (mm)**	-	286,30	-	-	-	-	-	-
	Ay Sayısı	-	1,00	-	-	-	-	-	-

İlk olarak, gidiş uzunluğuna ait histogramlar kıyaslandığında, tüm istasyonlarda en yüksek sıklık (frekansın), n=1 de olduğu görülmektedir. Gidiş toplamına ait histogramlar kıyaslandığında ise, Sarıyer, Şile, Bahçeköy ve Kartal Meteoroloji İstasyonlarda sıklığın (frekansın), n=1 de; Göztepe, Florya, Kumköy ve Atatürk Meteoroloji İstasyonlarında ise, sıklığın (frekansın), n=2 de olduğu görülmektedir.

İkinci olarak, tüm istasyonlarda gidiş analizi sonucunda elde edilen, gidiş uzunluğu değeri ile gidiş toplamı değeri arasındaki korelasyon yüksektir. Buna karşılık aynı hesaplamalarda, gidiş uzunluğu değeri ile gidiş şiddeti değeri arasındaki korelasyon değeri ise oldukça küçük, kimi zaman negatif değerlerde olduğu görülmüştür. Bu sonuçlar literatürde verilenlerle uygunluk göstermektedir.

Üçüncü olarak yağış dağılımları genel olarak kıyaslandığında, en yüksek yağış değerlerinin, genellikle Bahçeköy Meteoroloji İstasyonunda olduğu görülmektedir. Bu durum istasyonun kot olarak en yüksek değere sahip olması ve ormanlık alanda olması ile açıklanabilir. Çalışmanın sonuçları ile karşılaştırılmak üzere İstanbul su teminine önemli katkı sağlayan Melen Çayı akım ve yağış gözlem istasyonlarına ait veriler ile yapılan çalışmalar devam etmektedir.

Son olarak, tüm bu değerlendirmeler göz önünde bulundurulduğunda, İstanbul gibi potansiyel su ihtiyacı çok yüksek olan bir kentte, yağış değerleri sürekli izlenmeli ve analiz edilmedir. Bu şekilde kurak dönemlerde temin edilmesi zorunlu olan eksik su hacimleri belirlenerek, bu ihtiyacı karşılamak için alternatif çözümler üretilebilecektir (yakın bölgelerden su transferi gibi). Böylece kurak dönemlerde, su kaynakları sistemleri için uygun işletme politikaları seçilerek ve gerekli önlemler alınarak, bu dönemlerin olumsuz etkileri minimuma indirilebilecektir. Ayrıca akım verilerinin incelenmesi de bu çalışmalar kapsamında önemli olduğundan akım ölçümlerinin yapılması planlı bir şekilde yürütülmelidir.

5. KAYNAKLAR

Bayazıt M, "Yıllık ortalama akış serilerinin istatistiksel analizi", Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu, Mühendislik Araştırma Grubu, Proje No: MAG-307, İTÜ. İstanbul, 1973.

Bayazıt M, "Türkiye akarsularında kurak devrelerin istatistiksel analizi", İstanbul Teknik Üniversitesi Bülteni, Vol. 27, No. 2, 24-35, 1974.

Bayazıt M ve Önöz B, "Taşkın ve Kuraklık Hidrolojisi, Nobel Yayın Dağıtım, İstanbul, 2008.

Cangel T, "İstanbul Yağışlarının Gidişler Analizi", Yüksek Lisans Tezi, İTÜ, İstanbul, 2010.

Koçak K, "Yağış Verilerinin Autorun Analizi", Yüksek Lisans Tezi, İTÜ, İstanbul, 1992.

Lee KS, Sadeghipour J ve Dracup JA, “An Approach for frequency analysis of multiyear drought durations”, Water Resur. Res., Vol. 22, No. 5, pp. 655-662, 1986.
Sırdaş S ve Şen Z, “Meteorolojik Kuraklık Modellemesi ve Türkiye Uygulaması”, İTÜ Dergisi, Mühendislik, Cilt:2, Sayı:2, pp. 95-103, 2003.

Şen Z, “Wet and Dry Periods of Annual Flow Series”, Journal of the Hydroulics Division, ASCE, Vol. 102, No:Hy10, Proc. Paper 12457, pp.1503-1514, 1976.

Şen Z, “Autorun Analysis of the Hydrologic Time Series”, Journal of Hydrology, Vol. 36, pp. 75-85, 1978.

Şen Z, “Kuraklık Kıranı Yuvarlak Masası Toplantısı”, 20 Mart 2001, Ankara, 2001.

Yevjevich VM, “An Objective Approach to Definitions and Investigations of Continental Hydrologic Droughts”, Hydrology Papers, No. 23, Colo. St. Univ., Fort Collins, Colo., U.S.A., 1967.

Yevjevich VM ve Salazar PG, “Analysis of Drought Chracteristics by the Theory of runs”, Hyrol. Pap., No. 80, Colorado State Univ., Fort Collins, Colo., U.S.A., 1975.

Fırat, Yeşilırmak ve Kızılırmak Havzalarında Taşkınların Mevsimselliğinin Belirlenmesi

Beyhan Yeğen [1], **Bihrat Önöz** [2], **Barış Altıparmak, Orhan Bilen, Mehmet Pala**

Özet: Taşkınlar, su yapılarının planlama, tasarlama, inşa ve işletme evrelerinin herbirinde önemli yer tutmaktadır. Bu çalışmada Türkiye'nin Fırat,Yeşilırmak ve Kızılırmak havzalarında yıllık anlık en büyük taşkınların mevsimselliği incelenmiştir. Her üç havzadaki veriler mevcut su yapıları tarafından etkilenmeyecek şekilde ayıklanarak çalışmada kullanılmıştır. Taşkınların mevsimselliği yönsel istatistik metodu ve rölatif frekanslar metodu olarak bilinen iki farklı yöntemle incelenmiştir. Yönsel istatistik metoduyla bir istasyondaki taşkınların ortalama olarak yılın kaçıncı gününde görüldüğü hesaplanmıştır. Rölatif frekanslar metoduyla da bir istasyonda yılın herhangi bir ayında taşkın görülme sıklığı bulunmuştur. Yönsel istatistik metodu ile çalışılırken havzadaki herhangi iki istasyon arasındaki taşkın mevsimselliği açısından benzerlik Öklid mesafesi cinsinden belirlenebilmektedir. Burada iki istasyon arasındaki Öklid mesafesi, istasyonların ortalama taşkın tarihlerinin x ve y koordinatları cinsinden tanımlanmaktadır. Rölatif frekanslar metoduyla çalışıldığında ise havzadaki herhangi iki istasyonun benzerliği için iki istasyonun rölatif frekans değerlerinin kök ortalama karesel hata (KOKH) değerleri kullanılmaktadır. İki istasyonun taşkın mevsimselliği bakımından benzer olması için gerek aralarındaki Öklid mesafesinin gerekse KOKH değerlerinin küçük olması gerekmektedir. Çalışmada her üç havzada mevcut tüm istasyonlar için sözkonusu hesaplamalar yapılmıştır. Her havza için ve hem Öklid mesafeleri ve hem de KOKH değerleri için kritik değerler hesaplanmıştır. Bu kritik değerlere göre herbir havzada taşkın mevsimselliği açısından benzer olan istasyonlar belirlenmiştir.

Anahtar Sözcükler: Taşkın Mevsimselliği, Yönsel İstatistik, Rölatif Frekans, Benzerlik

[1] İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü,
E-Posta: emineb@itu.edu.tr; Tel: (212) 2853725

[2] İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü
E-Posta: onoz@itu.edu.tr; Tel: (212) 2853723

Determination of Flood Seasonality in Fırat, Yeşilırmak and Kızılırmak Basins

Abstract: Floods are significant for all the phases of water structures as planning, design, construction and operation. In this study seasonality of annual instantaneous maximum floods in Fırat, Yeşilırmak and Kızılırmak basins of Turkey has been investigated. The data of the three catchments have been organized so as to retrieve the data from the effect of the existing dams in the basin. The seasonality of floods have been investigated by two different methods known as directional statistics and relative frequencies in literature. By directional statistics method the average date on which the floods are seen at a station is determined. By relative frequencies method the frequency of having floods in a specific month of the year is calculated. While working with the directional statistics method in a basin the similarity between two stations from the aspect of flood seasonality can be determined in terms of Euclid distances. Here the Euclidian distance between two stations is defined in terms of x and y coordinates of the mean flood dates of the stations. On the other hand when working with relative frequencies method, for the similarity between any two stations in the catchment the root mean square error (RMSE) value of the relative frequency values of the two stations is used. For two stations to be considered as similar from point of view of flood seasonality, both the Euclidian distance between the stations and the RMSE value must be small. Throughout the study, for all three basins and for all existing data these calculations have been performed. For each of the three basins and both for the Euclidian distances and for RMSE values critical values have been assessed. According to these critical values, the stations which are similar from flood seasonality perspective are determined.

Keywords: Flood Seasonality, Directional Statistics, Relative Frequency, Similarity

1. GİRİŞ

Taşkınların mevsimselliği taşkın oluşum olasılıklarının yüksek ve düşük olduğu mevsimlerin belirlenmesi anlamına gelmektedir. Taşkınların mevsimselliğinin belirlenmesi günümüzde pek çok hidroloji ve su kaynakları yönetimi uygulamasında kullanılmaktadır. Örneğin mevsimsel akım tahminlerinde, akarsu havzası taşkın kontrolunda, taşkın ovası yönetiminde ve su kaynakları alt yapı işletmesinde taşkınların mevsimselliğinden faydalanılmaktadır. Taşkınların mevsimselliği bir istasyonda veya bir bölgede meydana gelen taşkınların yılın hangi zamanında meydana geldiklerinin bir göstergesidir. 1994 ten bu yana taşkınların mesvsimselliği üzerine çok sayıda araştırma yürütülmüştür. Taşkınların mevsimselliğini analiz etmek üzere çeşitli istatistik metotlar öne sürülmüştür. Bunlardan en yaygın olarak kullanılanları Yönsel İstatistik (Directional Statistics) metodu ve Rölatif Frekanslar (Relative Frequencies) metodudur. Bu çalışmada istasyonlardaki yıllık anlık en büyük akımlar ele alınmıştır. Taşkın mevsimselliği çalışmalarının eşik üzeri akımlarla da yapılması mümkündür.

Bazı durumlarda ilgi konusu olan dönüş aralığından daha küçük gözlem süresi olan istasyonlarda veya ölçüm yapılamamış noktalardaki taşkın tahminlerini daha doğru yapabilmek adına bölgesel taşkın frekans analizi kullanılır. Böylece bölgesel taşkın frekans analizi, kayıtları var olan bir istasyonda bu istasyona dair bilgileri civardaki benzer istasyonların ekstrem akım bilgileriyle kuvvetlendirmek üzere kullanılır. Ayrıca

bu analiz hiç kaydı olmayan bir noktadaki taşkın bilgilerini civardaki benzer istasyonların taşkın bilgileri vasıtasıyla karakterize etmekte kullanılır. Taşkınların mevsimselliğinin, havzaların taşkın responsu açısından benzerliklerinin kurulmasında kullanılacak uygun bir ölçü olduğu önem kazanmaktadır (Burn, 1997). Bir başka deyişle, taşkınlar açısından benzer bölgeler oluştururken, taşkınların mevsimselliğinin bir ölçü olabileceği bildirilmektedir.

Bu bildiri üç yüksek lisans tez çalışmasının bir arada değerlendirilmesidir (Pala, 2008; Altıparmak, 2008; Bilen, 2009). Bu çalışmalar Türkiye'nin üç havzası olan Fırat, Yeşilırmak ve Kızılırmak havzalarında sürdürülmüştür. Bu üç havzada mümkün olan en fazla taşkın verisi derlenmiştir. Bu derleme yapılırken istasyonların havzalarda mevcut su yapıları tarafından etkilenmemeleri gözetilmiştir. Öncelikle her istasyonun taşkın mevsimselliği belirlenmiştir. Ardından literatürde yaygın olarak kullanılan taşkın mevsimselliği benzerliği için tanımlanmış olan büyüklükler kullanılarak taşkın mevsimselliği açısından benzer olan istasyonlar belirlenmiştir.

2. YÖNTEM

Fırat, Yeşilırmak ve Kızılırmak havzalarındaki çeşitli istasyonlarda ölçülmüş yıllık anlık en büyük akımların mevsimsellik analizi için Yönsel İstatistik ve Rölatif Frekanslar metodları kullanılmıştır. Bu metotlar aşağıda açıklanmaktadır.

2.1. Yönsel İstatistik Metodu

Yönsel istatistik metoduna Mardia (1972) temel oluşturmaktadır. Bu yöntemde 1 Ocak 1. gun ve 31 Aralık 365. gün olmak uzere i taşkınının görüldüğü Jülyen tarih Denklem (1) ile açısal bir değere dönüştürülebilmektedir.

$$\theta_i = (JülyenTarih)_i \left(\frac{2\pi}{365} \right) \tag{1}$$

Burada θ_i i taşkın olayının tarihi için radyan cinsinden bir açısal değerdir.Böylelikle bir taşkın tarihi büyüklüğü birim olan ve yönü θi olan bir vektör olarak yorumlanmaktadır. Bir istasyonun yağış alanının hidrolojik rejimini görmek üzere bu istasyondaki n taşkın olayına ait tüm vektörler birim daire üzerine çizilebilir (Burn,1996). Eldeki n taşkın olayı örneğinden artık ortalama taşkın tarihinin x ve y koordinatları Denklem (2 a,b) ile belirlenebilmektedir.

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} \cos(\theta_i) \tag{2 a}$$

$$\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} \sin(\theta_i) \tag{2 b}$$

Burada $\overline{x}$ ve $\overline{y}$ ortalama taşkın tarihinin x ve y koordinatları olup birim dairenin üzerinde veya içerisinde yer almaktadır. Taşkın tarihlerinin ortalama yönü ise Denklem (3) ile bulunmaktadır.

$$\overline{\theta} = \tan^{-1}\left(\frac{\overline{y}}{\overline{x}}\right) \tag{3}$$

Ortalama yön, $\overline{\theta}$ Denklem (4) kullanılarak tekrar yılın bir gününe çevrilmektedir.

$$OY = \overline{\theta}\left(\frac{365}{2\pi}\right) \tag{4}$$

OY değişkeni, verilen bir istasyondaki taşkın olaylarının ortalama zamanının bir ölçüsü olmaktadır. Benzer OY değerlerine sahip istasyon havzalarının diğer önemli hidrolojik özelliklerinde de benzerlik gösterecekleri beklenir. OY nin özellikle havza büyüklüğü ve kar erimesinin etkili olduğu taşkın havzalarında havzanın coğrafi konumuyla ilişkili olduğu beklenir.

Ayrıca n taşkın olayının ortalama tarih etrafındaki değişkenliğinin bir ölçüsü de belirlenebilmektedir. Değişkenlik ölçüsü ortalama bileşke olarak Denklem (5) ile tanımlanmaktadır.

$$r = \sqrt{(x)^2 + (y)^2} \tag{5}$$

Burada r verilerin yayılımının boyutsuz bir ölçüsü olup, sıfır ile bir arasında değerler almaktadır. r'nin bir değeri alması örnekteki bütün taşkınların yılın aynı gününde meydana geldiğini, sıfıra yakın değerler alması ise havzadaki taşkınların meydana gelme zamanlarının değişkenliğinin büyük olduğunu göstermektedir. r'nin tamamlayıcısı olan (1-r) değeri de yönsel varyansı göstermektedir.

Yukarıda anlatılan mevsimsellik kavramları kullanılarak havzalar arasında benzerlik tanımı yapılmaktadır. Bu benzerlik ölçüsü havzaların ortalama taşkın tarihleri arasındaki Öklid mesafesidir. Böylelikle benzerlik ölçüsü SIM1 Denklem (6) ile tanımlanmaktadır.

$$SIM1_{i,j} = \left[\left(\overline{x_i} - \overline{x_j}\right)^2 + \left(\overline{y_i} - \overline{y_j}\right)^2\right]^{0.5} \tag{6}$$

Burada SIM1 i ve j havzaları arasındaki benzerliği ölçmekte olup, $\overline{x_i}$ ve $\overline{y_i}$ i havzasının ortalama taşkın tarihinin x ve y koordinatlarıdır. Görüleceği üzere SIM1 değeri ne kadar küçükse iki istasyonun taşkın mevsimselliği açısından benzerliği o kadar büyüktür (Burn, 1997).

2.2. Rölatif Frekanslar Metodu

Taşkın mevsimselliği hakkında detaylı bilgi taşkın tarihlerinin takvim aylarına gruplandırılmasıyla elde edilebilir. Her ay için aylık taşkın rölatif frekansları (bir aydaki

taşkın meydana gelme olasılıkları) hesaplanmaktadır. Veriler aylara gruplandırıldığı zaman zamanları açılara dönüştürmede bir ayarlama yapılması gerekmektedir. Mardia 1972'nin önerisine göre başlangıç frekansları her ayın eşit uzunlukta olması ve her günün 1^o olmasına göre ayarlanmaktadır. 31 günlük aylarda başlangıç frekansları 30/31 değeri ile, Şubat ayı için de normal ve artık yıllar için sırasıyla 30/28 ve 30/29 ile çarpılarak düzeltlmiş frekanslar elde edilir. Bu şekilde bir yıl 360 güne indirgenmekte fakat başlangıç frekanslarının (RF_i) toplamı (s), düzeltilmiş frekansların (RF_i') toplamına (s′) eşit olmamaktadır. s toplamını korumak için son düzeltilmiş frekanslar RF_i' değerlerini s/s′ ile çarparak bulunur.

$$\sum_{i=1}^{12} RF_i = \sum_{i=1}^{12} RF_i^{'}(\frac{s}{s'}) \tag{7}$$

Rölatif frekanslar metodunda iki taşkın rejimi i ve j arasındaki benzerlik aşağıdaki şekilde ifade edilmektedir (Cunderlik ,Ouarda, Bobee, 2004; Cunderlik ve Burn, 2002):

$$SIM2_{i,j} = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^{12}\left(RF_i^k - RF_j^k\right)^2}{12}} \tag{8}$$

Burada RF_i^k ve RF_j^k, k. ayda i ve j havzalarındaki son düzeltilmiş frekanslardır. Görüleceği üzere SIM2 değeri ne kadar küçükse iki istasyonun taşkın mevsimselliği açısından benzerliği o kadar büyük olmaktadır.

3. UYGULAMA

3.1. Veri

Çalışmada kullanılan veriler Türkiye'nin Fırat, Yeşilırmak ve Kızılırmak havzalarına aittir. Bu havzaların Türkiye içerisindeki konumları Şekil 1'deki haritada verilmektedir.



Şekil 1. Çalışmada kullanılan havzaların konumları

Havzalarda kullanılan veriler havza üzerindeki çeşitli akım ölçme istasyonlarında kaydedilmiş yıllık anlık en büyük debilerdir. Havzalarda mevcut istasyonlar dikkatle incelenmiş ve doğal verilerin bozulduğu saptanan istasyonlar çalışmaya dahil edilmemiştir. Bir başka deyişle çalışmada kullanılan veriler havza üzerinde var olan biriktirmeli ve biriktirmesiz su yapılarının etkilerinden arındırılmıştır.

Çalışmada kullanılan verilerin özellikleri Fırat havzası için Çizelge 1a'da, Yeşilırmak havzası için Çizelge 1b'de ve Kızılırmak havzası için Çizelge 1c'de gösterilmektedir. Çizelge 1a,b,c'de sözkonusu havzalardaki istasyonlar, numaraları, gözlem süreleri, yağış alanları ve kotları verilmektedir.

Fırat Havzası'nda 15 istasyonla çalışılmış olup bunların hepsi de EİEİ istasyonlarıdır. 15 istasyonun yıllık anlık en büyük debi değerlerinden en küçüğü 3.5 m^3/s olarak 2131 numaralı AGİ'de ve 1994 yılında ölçülmüştür. Bu değerlerin en büyüğü ise 3591 m^3/s olarak 2102 numaralı AGİ'de 1988 yılında ölçülmüştür. Taşkın değerlerinin standart sapmaları 20.6 ile 734.5 m^3/s arasında, değişim katsayıları ise 0.35 ve 1.07 arasında değerler almaktadır.

Yeşilırmak Havzası'nda ele alınan istasyonların 14-15 numaralı istasyon dışındakilerin hepsi EİEİ istasyonudur. Bu çalışmada verileri kullanılan 13 istasyonun yıllık anlık en büyük debi değerlerinden en küçüğü 10.9 m^3/s olarak 1424 numaralı AGİ'de ve 2001 yılında ölçülmüştür. Bu değerlerin en büyüğü ise 1914 m^3/s olarak 1408 numaralı AGİ'de 1967 yılında ölçülmüştür.

Kızılırmak Havzası'nda ise 19 istasyonla çalışılmış olup bunların hepsi de EİEİ istasyonlarıdır. 19 istasyonun yıllık anlık en büyük debi değerlerinden en küçüğü 4.33 m^3/s olarak 1505 numaralı AGİ'de ve 1965 yılında ölçülmüştür. Bu değerlerin en büyüğü ise 1673 m^3/s olarak 1533 numaralı AGİ'de 1968 yılında ölçülmüştür. Taşkın değerlerinin standart sapmaları 4.51 ile 294.82 m^3/s arasında, değişim katsayıları ise 0.34 ve 1.01 arasında değerler almaktadır.

3.2. Mevsimsellik Analizi

Fırat, Yeşilırmak ve Kızılırmak verilerine ayrı ayrı olmak üzere 2.1. paragrafında anlatılan yöntem uygulanarak herbir istasyonun taşkın mevsimselliği hesaplanmıştır. Buradaki taşkın mevsimselliği istasyonun gözlem süresi içerisindeki taşkınların görülme zamanlarının ortalaması anlamındadır. Bu ortalama değerler herbir istasyon için tek bir değer olmak üzere Şekil 2 a,b,c de verilmektedir.

Bu şekillerde x-y kadranında bir birim daire kullanılmaktadır. x-y kadranının sağa yönlü x ekseni yılın ilk gününe karşı gelmekte ve yılın ilerleyen günleri saat ibresinin tersi yönde alınmaktadır. Bir başka deyişle istasyona ait yönsel ortalama ve yönsel varyans polar koordinatlarda yönü θ ve orijine mesafesi r olan bir vektörle gösterilmektedir.

Böylelikle örneğin Şekil 2b'de Yeşilırmak Havzası'ndaki 13 istasyonun ortalama taşkın görülme zamanları birer çarpı ile gösterilmiştir. Bu havzada incelenen istasyon ve kayıt dönemleri içinde yer alan anlık taşkınların yılın 87. günü ile 122. günü arasında kaldığı anlaşılmaktadır.

Çizelge 1 (a), (b), (c). Havzalara ait bazı bilgiler

(a)

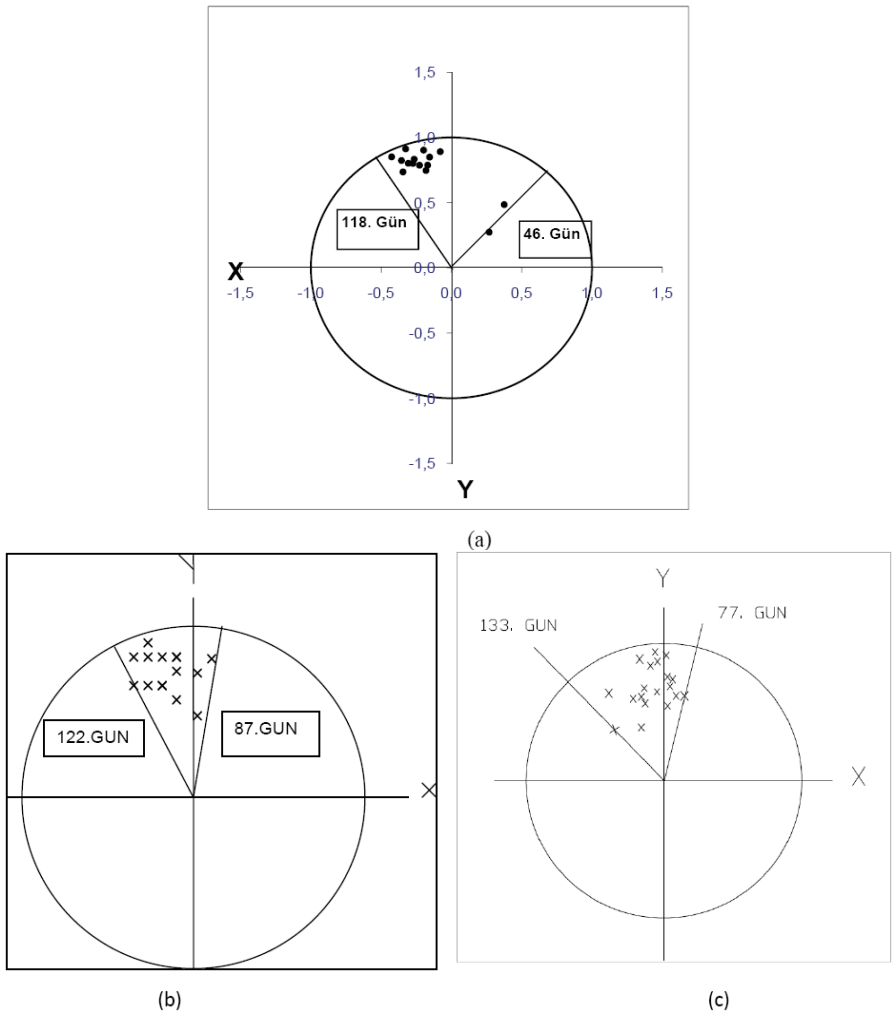
İST. NO	SU VE İSTASYON ADI	GÖZLEM SÜRESİ (YIL)	YAĞIŞ ALANI (KM^2)	KOT (M)
2102	MURAT SUYU – PALU	1968-2004	25515,6	859
2122	MURAT SUYU – TUTAK	1962-2004	5882,4	1552
2123	ÇAĞ SUYU – ÇINARKÖY – NUSAYBİN	1961-1993	863,6	560
2124	TOHMA SUYU – YAZIKÖY	1963-2004	1256,1	1180
2131	BEY DERESİ – KILAYIK	1957-2004	277,6	925
2133	MUNZUR SUYU – MELEKBAHÇE	1969-2004	3284,8	875
2135	BULAM ÇAYI – FATOPAŞA	1961-2004	154,8	1252
2145	TOHMA SUYU – HİSARCIK	1963-2004	5780,8	935
2147	MUNZUR SUYU – DEDİKUŞAĞI	1964-1997	875,0	1195
2154	KARASU - AŞAĞI KAĞDARİÇ	1969-2004	2886,0	1675
2156	FIRAT NEHRİ – BAĞIŞTAŞ	1969-2004	15562,0	865
2157	KARASU – KARAKÖPRÜ	1969-2004	2098,4	1250
2158	BİNGÖL ÇAYI - ABDURAHMANPAŞA	1969-2004	1577,6	1310
2164	GÖYNÜK ÇAYI – ÇAYAĞZI	1969-2004	2232,0	995
2166	PERİSUYU – LOĞMAR	1970-2004	5385,8	847

(b)

İST.NO	SU VE İSTASYON ADI	GÖZLEM SÜRESİ (YIL)	YAĞIŞ ALANI (KM2)	KOT (m)
1401	KELKİT NEHRİ-FATLI (EİE)	1938-1990	10048,80	375
1402	YEŞİLIRMAK-KALE (EİE)	1939-2003	33904,00	190
1408	YEŞİLIRMAK-ÇARŞAMBA (EİE)	1963-1998	35958,00	10
1409	ÇEKEREK ÇAYI-AKÇAK KÖPR. (EİE)	1953-1996	5267,60	730
1411	YEŞİLIRMAK-AMASYA (EİE)	1953-1974	18758,00	385
1412	ÇORUM ÇAT IRMAĞI-ŞEHOĞLU (EİE)	1954-1996	3668,80	530
1413	YEŞİLIRMAK-DURUCASU (EİE)	1955-2003	21666,20	301
1414	YEŞİLIRMAK-SÜTLÜCE (EİE)	1955-2003	5409,20	510
1418	YEŞİLIRMAK-GÖMELÖNÜ (EİE)	1964-2003	1608,00	820
1419	TERSAKAN ÇAYI-HAVZA (EİE)	1952-1990	513,20	630
1422	YEŞİLIRMAK-KELKİT ÇAYI (EİE)	1969-2003	1714,00	1350
1424	ÇEKEREK ÇAYI-ÇIRDAK KÖPRÜSÜ (EİE)	1969-2003	1032,80	1040
14-15	ÇOBANLI SUYU-ROSKİ (DSİ)	1963-1983	725,50	1307

(c)

İST.NO	SU VE İSTASYON ADI	GÖZLEM SÜRESİ (YIL)	YAĞIŞ ALANI (KM^2)	KOT (m)
1501	KIZILIRMAK-YAMULA	1938-2005	15582	995
1503	KIZILIRMAK- YAHŞİYAN	1939-1980	30186	673
1505	SIZIR SUYU-SIZIR	1944-1969	352	1350
1508	KANAK ÇAYI-KALE BOĞAZI	1952-1990	2918	960
1511	KILIÇÖZÜ DERESİ-EŞEK YALISI	1953-1968	2313	675
1512	DELİCE ÇAYI-CACIKLAR	1953-1965	17218	540
1516	GÖKIRMAK-DURAĞAN	1953-1972	6796	180
1517	KARANLIK DERE-ŞEFAATLİ	1953-2005	8592	895
1523	SARIMSAKLI SUYU-BOĞAZKÖY	1954-1981	2325	1025
1524	GÖKIRMAK-KUYLUŞ	1954-1998	4192	475
1528	KIZILIRMAK-SALUR	1955-1996	57612	494
1531	KIZILIRMAK-ÇEPNİ KÖPRÜSÜ	1962-1974	12613	1130
1532	KIZILIRMAK-GÜLŞEHİR	1960-1998	20622	895
1533	KIZILIRMAK-İNÖZÜ	1961-1988	75120	47
1536	KIZILIRMAK-AVŞAR KÖPRÜSÜ	1966-2002	60559	310
1538	DEVRES ÇAYI-ÇELTİKÇİBAŞI	1971-2005	1962	775
1539	KIZILIRMAK-BULAKBAŞI	1972-2005	1642	1298
1540	DELİCE IRMAĞI-KULA KÖPRÜSÜ	1967-1980	17228	535
1541	DELİCE ÇAYI-ÇADIRHÖYÜK	1980-2005	16762	557



Şekil 2 (a), (b), (c). İstasyonlarda taşkınların görülme zamanlarının ortalamaları

Tüm istasyonların diğer istasyonlarla taşkın mevsimselliği bakımından benzerliğini belirten SIM1 değerleri hesaplanmıştır. Bu değerler Denklem 6 kullanılarak hesaplanan Öklid mesafeleridir. Bu değerler bir simetrik matris şeklinde gösterilebilmektedir. Bildiride yer kazanmak amacıyla bu simetrik matris verilmemektedir.

Fırat Havzası'nda hesaplanan SIM1 değerlerinin en küçüğü 0.033, en büyüğü ise 0.903 tür. Yeşilırmak Havzası'ndaki SIM1 değerlerinin en küçüğü 0.031 en büyüğü ise 0.20 dir. Kızılırmak havzasında hesaplanan SIM1 değerleri ise 0.035 ile 0.593 arasında yer almaktadır.

Paragraf 2.2. de anlatılan Rölatif Frekanslar metodu da Fırat, Yeşilırmak ve Kızılırmak Havzaları anlık taşkın debilerine uygulanmıştır. Bu metotta bir istasyonda ve n-yıllık bir

dönemde her ay kaç taşkın görüldüğü belirlenerek, her bir ay için bir taşkın frekansının belirlenmesidir. Gerekli düzeltmeler de yapılarak son düzeltilmiş rölatif frekanslar elde edilmektedir.

Tüm istasyonların diğer istasyonlarla taşkın mevsimselliği bakımından benzerliğini belirten SIM2 değerleri Denklem 8 ile hesaplanmıştır. Bu değerler bir simetrik matris şeklinde gösterilebilmektedir ancak bildiride yer kazanmak amacıyla burada verilmemektedir.

Fırat Havzası'nda hesaplanan SIM2 değerlerinin en küçüğü 0.016, en büyüğü ise 0.232 dir. Yeşilırmak Havzası'ndaki SIM2 değerlerinin en küçüğü 0.034 en büyüğü ise 0.189 dur. Kızılırmak havzasında hesaplanan SIM2 değerleri ise 0.022 ile 0.155 arasında yer almaktadır.

3.3. Benzer İstasyonlar

Herbir havzanın içerisinde birbiri ile taşkın mevsimselliği bakımından benzer olan istasyonların belirlenmesi için bir çalışma yapılmıştır. İki istasyonun hem SIM1 hem SIM2 ölçütlerine göre benzer olması halinde bu iki istasyonun taşkın mevsimselliği açısından benzer olduklarına karar verilmiştir.

SIM1 veya SIM2 ölçütüne göre benzer olup olmama hususuna da şöyle karar verilmiştir. Sözkonusu havza için SIM1 veya SIM2 değerlerinin içinde kaldığı aralığın alt üçte birinde kalan SIM1 ve SIM2 değerlerine sahip iki istasyon birbiri ile benzer kabul edilmiştir.

İki istasyonun benzer kabul edilme üst sınırları çeşitli havzalar ve SIM1 ve SIM2 büyüklükleri için şu şekilde özetlenebilir. SIM1 için benzer olma üst sınırı Fırat Havzası'nda 0.323, Yeşilırmak Havzası'nda 0.20, Kızılırmak Havzası'nda ise 0.221 dir. SIM2 için ise benzer olma üst sınırı Fırat Havzası'nda 0.088, Yeşilırmak Havzası'nda 0.85, Kızılırmak Havzası'nda 0.066 dır.

Fırat, Yeşilırmak ve Kızılırmak Havzaları'nda hem SIM1 hem SIM2 ölçütüne göre birbiri ile benzer olan istasyonlar Çizelge 2. a,b,c'de işaretlenmiştir.

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada Türkiye'nin Fırat,Yeşilırmak ve Kızılırmak havzalarında yıllık anlık en büyük taşkınların mevsimselliği incelenmiştir. Bu amaçla yönsel istatistik metodu ve rölatif frekanslar metodu olarak bilinen iki farklı yöntem kullanılmıştır. Taşkınlarn oluşma günleri ve bu günler arasındaki zaman farkı birbirine komşu olan üç havzada farklılıklar göstermektedir. Taşkınların görülme aralıkları Yeşilırmak havzasında 35, Kızılırmak havzasında 56 ve Fırat havzasında 72 gündür. Taşkınların yıliçinde başlaması açısından sıralama Fırat, Kızılırmak ve Yeşilırmak havzaları olup sona ermesinde ise sıralama Kızılırmak, Yeşilırmak ve Fırat havzaları şeklinde gerçekleşmiştir. Sözkonusu bulguların havzalardaki su kaynaklarının işletme aşamasında önemli katkıları olabilecektir.

Çizelge 2 (a), (b), (c). Havzalarda birbiri ile benzer olan istasyonlar

(a)

FIRAT	2102	2122	2123	2124	2131	2133	2135	2145	2147	2154	2156	2157	2158	2164
2122	*													
2123														
2124														
2131	*	*		*										
2133	*	*			*									
2135														
2145				*	*	*								
2147	*	*			*	*								
2154		*			*	*			*					
2156		*			*	*			*	*				
2157	*			*	*	*		*						
2158	*	*				*			*					
2164	*	*			*	*		*	*		*	*	*	
2166	*	*			*	*		*	*	*	*	*	*	*

(b)

YEŞİLIRMAK	1401	1402	1408	1409	1411	1412	1413	1414	1418	1419	1422	1424	14-15
1401													
1402	*												
1408													
1409			*										
1411													
1412			*										
1413				*	*								
1414					*		*						
1418							*						
1419													
1422	*		*										
1424					*			*					
14-15	*	*											

(C)

KIZILIRMAK	1501	1503	1505	1508	1517	1523	1524	1528	1532	1533	1536	1538	1539	1541
1501														
1503														
1505														
1508														
1517				*										
1523														
1524				*	*									
1528				*	*		*							
1532	*													
1533								*						
1536				*				*		*				
1538										*	*			
1539	*								*					
1541										*	*			

Çalışmada ayrıca herbir havzanın içerisinde birbiri ile taşkın mevsimselliği bakımından benzer olan istasyonların belirlenmesi için bir çalışma yapılmıştır. Yukarıda anlatılan benzerlik araştırılmasında aralarında en fazla benzerlik tespit edilen istasyon çifti 52 adet ile Fırat havzası olmuştur. Bunu 17 adet benzer istasyon çifti ile Kızılırmak ve 14 ile Yeşilirmak havzası takip etmiştir. Fırat havzasındaki akım istasyonlarının taşkınları arasındaki yüksek benzerliğin taşkınların kar erimesi kaynaklı olması nedeni ile görüldüğü düşünülmektedir.

5. KAYNAKLAR

ALTIPARMAK B, "Fırat Havzası taşkın mevsimselliğinin belirlenmesi" , YL tezi, İTÜ, 2008.

BİLEN O, "Kızılırmak Havzası taşkınlarının mevsimselliğinin incelenmesi", YL tezi, İTÜ, 2009.

BURN DH, "The use of seasonality measures in hydrology" In:Brunelle, P.E. (ed) Proceedings, Annual Conference of the Canadian Society for Civil Engineering, Montreal, Quebec, Vol.I. 264-273, 1996.

BURN DH, "Catchment similarity for regional flood frequency analysis using seasonality measures", Journal of Hydrology, 202: 212-230, 1997.

CUNDERLIK JM, BURN DH, "Analysis of the linkage between rain and flood regime and its aplication to regional flood frequency estimation", Journal of Hydrology, 261: 115-131, 2002.

CUNDERLIK JM, OUARDA TBMJ, BOBEE B, "Determination of flood seasonality from hydrologic records", Hydrological Sciences Journal, 49(3): 511-526, 2004.

MARDIA KV, "Statistics of Directional Data", Academic Press, New York, NY, 1972.

PALA M, "Yeşilırmak Havzası taşkınlarının mevsimselliğinin incelenmesi", YL tezi, İTÜ 2008.

Yukarı Fırat Havzasında Kar Kaplı Alanların Mekansal-Zamansal Eğiliminin Uzaktan Algılama Yöntemleri ile Belirlenmesi

Serdar Sürer[1], Zuhal Akyürek[2], A. Ünal Şorman[3]

Özet: Bu çalışmada Yukarı Fırat (Karasu) havzasında kar kaplı alanların mekansal ve zamansal değişimini uydu görüntüleri kullanarak gözlemek ve kar kaplı alanlar ile akım değerleri arasındaki ilişkiyi irdelemek hedeflenmektedir. 2000-2009 yılları arasında kar kaplı alan değerleri MOD10C2 8-günlük kar ürününden elde edilmiş ve mevsimsel değişimi incelenmiştir. Karasu havzasında kar kaplı alan yüzdesinin kış aylarında %80-90 arasında gerçekleştiği belirlenmiştir. Karın erime dönemi olan bahar aylarındaki akım değerleri ile kar kaplı alan arasında olan ilişkisi 2004-2009 yılları arası için analiz edilmiştir. Normalize edilen akım ve normalize edilen kar kaplı alan değerleri arasında negatif doğrusal ilişki elde edilmiştir (r=0.74). Havzadaki hidrometeoroji istasyonlarında gözlenen yağış, sıcaklık ve kar derinliği miktarları da dikkate alınarak 2008 ve 2009 yıllarında kar erime döneminde gerçekleşen aylık ortalama sıcaklıklardaki artış ve aylık toplam yağışlarda gerçekleşen azalmanın pik akım miktarlarında düşmeye ve erken oluşmasına neden olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Sözcükler: MODIS; Kar; Akım; Modelleme

Evaluating The Spatio-Temporal Distribution of Snow Covered Area in the Upper Euphrates Basin by using Remote Sensing Techniques

Abstract: In this study, it is aimed to analyze the spatio-temporal variation of snow covered area, derived from satellite images, in the upper Euphrates (Karasu) basin. The snow covered area is obtained from MOD10C2 snow products for the period of 2000-2009. The snow covered area percentage for the winter period in Karasu basin is obtained as 80-90%. The relationship between the snow covered area and the runoff during the spring period is analyzed for the period of 2004-2009. A negative linear

[1] ODTU, Jeodezi ve Coğrafi Bilgi Teknolojileri ABD, Ankara
e-Posta: serdarsurer@gmail.com; Tel: (312) 2102495
[2] ODTU, İnşaat Müh. Böl. Su Kaynakaları Lab., Ankara
e-Posta: zakyurek@metu.edu.tr; Tel: (312) 2102481
[3] ODTU, İnşaat Müh. Böl. Su Kaynakaları Lab., Ankara
e-Posta: sorman@metu.edu.tr; Tel: (312) 2105442

relationship between the normalized snow covered area and normalized runoff values is obtained (r=0.74). Considering the monthly mean temperature, total precipitation and snow depth values observed at meteorological stations in the basin, it is observed that the decrease in the peak discharges and eraly occurances of the peak discharges in 2008 and 2009 are due to the increase in the mean temperature and decrease in the precipitation in April.

Key Words: MODIS; Snow, Discharge, Modeling

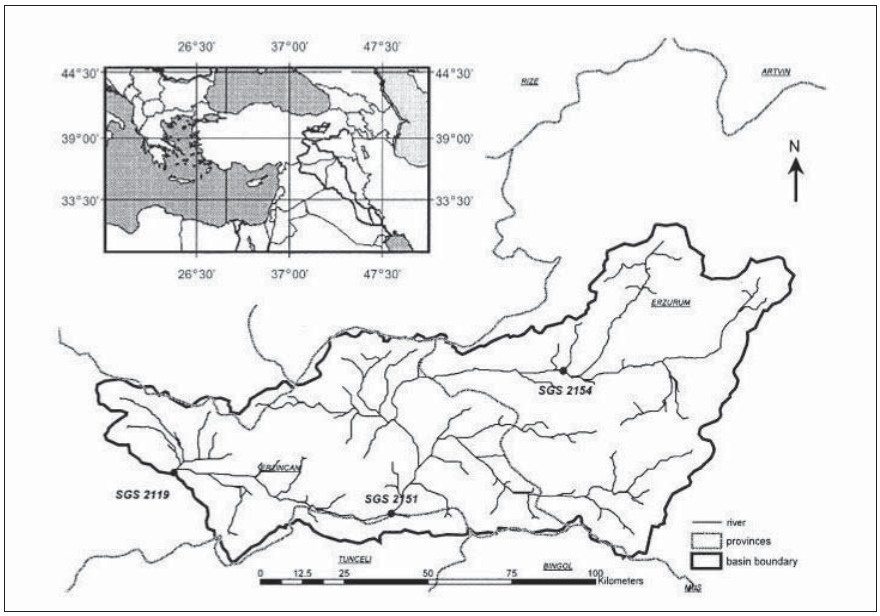
1. GİRİŞ

Kar kaplı alanlar hidrolojik çevrimin ve iklimin önemli bir parametresidir (Hall ve Martinec, 1985; Kolberg vd., 2006). Karın karakteristik olan yüksek albedo yansıtma değeri kar yüzeyinin üzerine gelen radyasyonun büyük bir kısmını yansıtmasını sağlamaktadır. Ayrıca karın yüksek ısı kapasitesi, karla kaplı toprak yüzeyini atmosferden ayırmakta ve bahar aylarında ısınmayı geciktirmektedir. Dolayısıyla kar havzanın enerji emilimi ve termal ısınmasını sağlayarak mikro ve makro atmosferik çevrim modellerini etkilemektedir. Kar kaplı alan ve toprak nem miktarları atmosfer ve dünya yüzeyindeki ısı ve su buharı etkileşiminde en etkili değişkenler olmaktadırlar. Havzadaki kar, nem değerlerini kuvvetli olarak etkilemekte ve yakın gelecekte akıma dönüşmektedir (Maurer vd., 2003). Bu nedenle mevsimsel olarak karın izlenmesi iklimsel, hidrometeorolojik, su kullanımı, taşkın tahmini gibi hidroloji ve su kaynakları uygulamalarında büyük önem taşımaktadır.

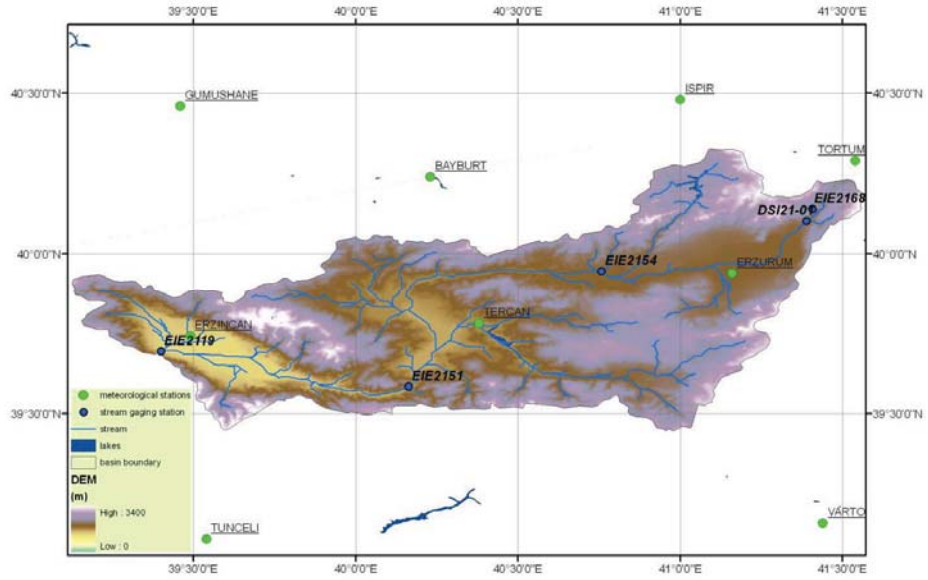
IPCC raporlarında belirtildiği gibi küresel ısınmanın etkilerinin yüksek enlemlerde ve karasal alanlarda daha fazla olacağı öngörülmektedir (IPCC, 2001a; IPCC, 2001b). Dağlık alanlardaki sıcaklık artışının düşük enlemlere göre daha fazla artacağı belirtilmektedir (Bradley vd., 2006). Kanada'da dağlık bir havzada kar kaplı alan değişiminin akım ile olan ilişkisi incelenmiş ve bu havzada kar erimesinden dolayı oluşan akımın havza çıkışındaki etkisinin 32 gün sonra olduğu belirlenmiştir (Tong vd., 2009). Üst Rio Grande Nehir havzasında MODIS günlük ve 8-günlük kar ürünleri ile akım değerleri arasında ilişki aranmış ve 8-günlük kar ürünlerinin uzun süreli akım değerlerini belirlemede daha etkili olduğu belirlenmiştir (Zhou vd., 2005). Bu çalışmanın amacı kar kaplı alan dinamiğini uzaktan algılama yöntemleri kullanarak zamansal ve mekansal olarak incelemektir. Karasu havzasında MODIS kar ürünleri kullanılarak kar erimesi akımları Tekeli vd. (2005a) tarafından modellenmiştir. Bu çalışmada Yukarı Fırat havzasında kar kaplı alanların mekansal ve zamansal değişimini gözlemek ve kar kaplı alanlar ile akım değerleri arasındaki ilişkiyi irdelemek hedeflenmektedir.

2. ÇALIŞMA ALANI ve VERİLER

Çalışma alanı olarak Yukarı Fırat havzası'nda yer alan Karasu havzası seçilmiştir (**Şekil 1**). Havza 1125m ve 3487m yükseklik değişimine sahip ve 10 215 km^2 alanı kapsamaktadır (**Şekil 2**). Havzaya ait çalışmalara göre havzanın yıllık akımının %60-70 kadarı kar erimesinden meydana gelmektedir (Tekeli, 2005b).



Şekil 1. Çalışma alanı ve alandaki akım gözlem istasyonları



Şekil 2. Karasu havzası sayısal yükseklik modeli, akım gözlem ve meteoroloji istasyonları

Uydu Verisi:
Havzada kar kaplı alanların belirlenmesinde 2000-2009 yılları için MODIS/Terra 8 günlük kar ürünü (MOD10C2) kullanılmıştır. Veri "National Snow and Ice Data Center (NSIDC) (nsidc.org/data/modis/index.html)" kanalıyla temin edilmiştir. Elde edilen veri "Modis Reprojection Tool (MRT)" uygulaması ile koordinatlandırılmış ve çalışma alanı için veritabanı oluşturulmuştur. Çalışmada 0.05 derece mekansal çözünürlüğe sahip 460 adet MOD10C2 ürünü kullanılmıştır.

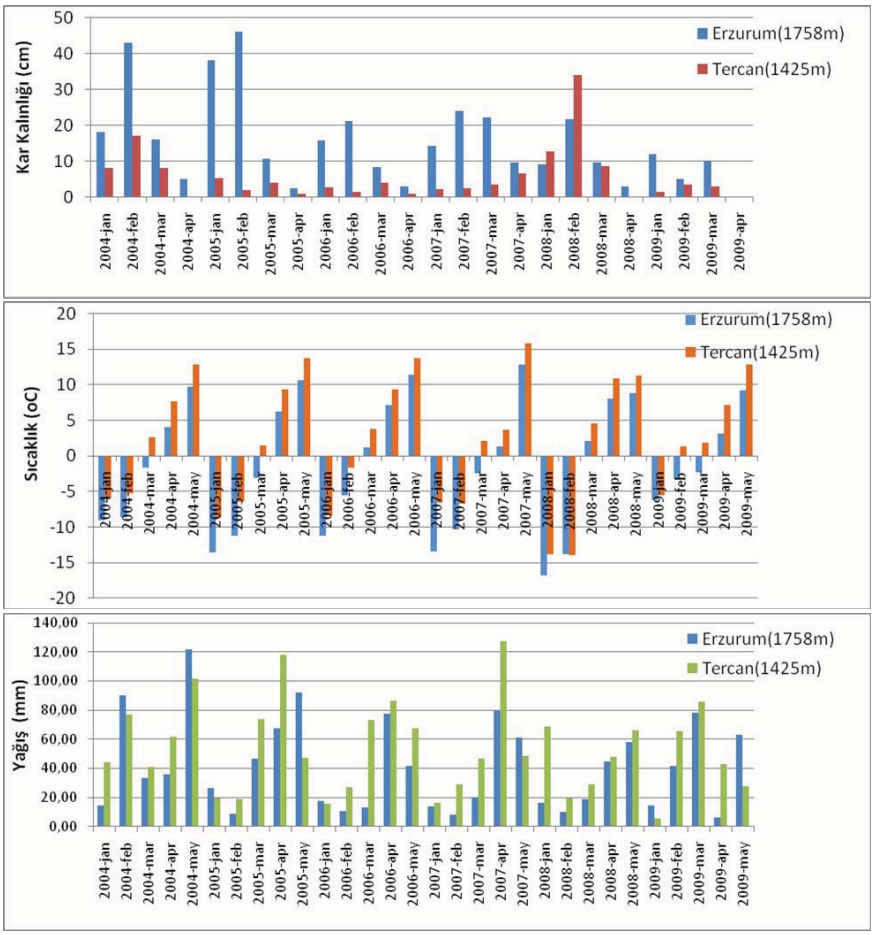
MODIS verisi, doğrulanmış günlük global kar haritalarını otomatik olarak elde etmede 2000 yılından bu yana kullanılmaktadır. Bu haritalar çeşitli mekansal çözünürlükte (500m, 0.05 ^{0} ve 0.25 ^{0}) kar kaplı alan, etkili kar kaplı alan ve kar albedosu ürünlerini (Hall ve Riggs, 2007) sunmaktadır. Bu ürün ayrıca girdi olarak sunulan MODIS bulut maskesi (Ackerman vd., 1998), kara/su maskesi, yer belirleme ürünü (Wolfe vd., 2002), radyans ve yüzey yansıma ürünlerini de kapsamaktadır. MODIS kar örtüsü ürünü normalize fark kar indeksi (NDSI) dikkate alınarak elde edilmektedir (**Denklem 1**). Normalize fark kar indeksi karın görünür dalga boylarındaki yüksek yansıma değeri ile yakın kızılötesi banttaki düşük yansıma değeri farklarını kullanan bir indekstir.

$$NDSI = \frac{MODIS_{B4} - MODIS_{B6}}{MODIS_{B4} + MODIS_{B6}} \quad (1)$$

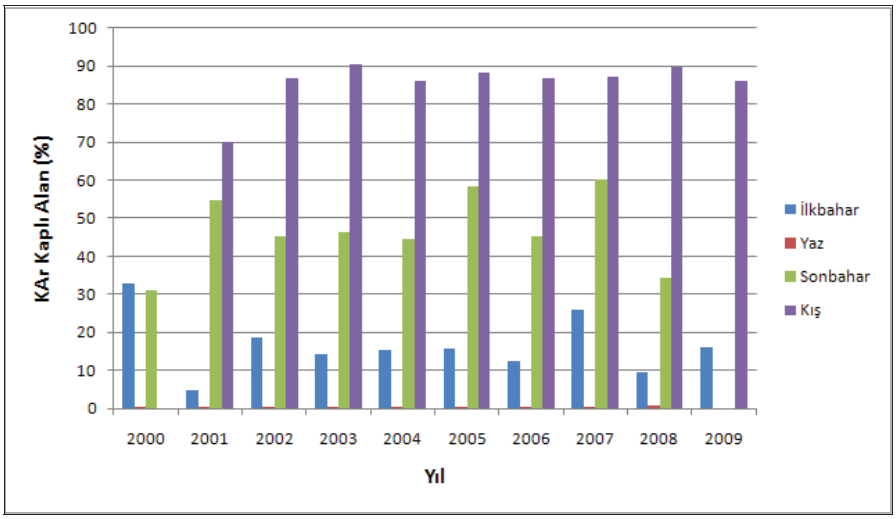
Hidrometeoroloji Verisi:
Karasu havzası akım gözlem değerleri EIE2119 istasyonu verilerinden elde edilmiştir (**Şekil 2**). 1.Ekim.2004-30.Eylül.2009 yılları arasındaki günlük akım değerleri analiz edilmiştir. Ele alınan sürede havza içinde yer alan Erzurum ve Tercan meteoroloji istasyonlarında gözlenen kar derinliği, aylık ortalama sıcaklık ve aylık yağış değerleri kullanılmıştır (**Şekil 3**).

3. ANALİZLER

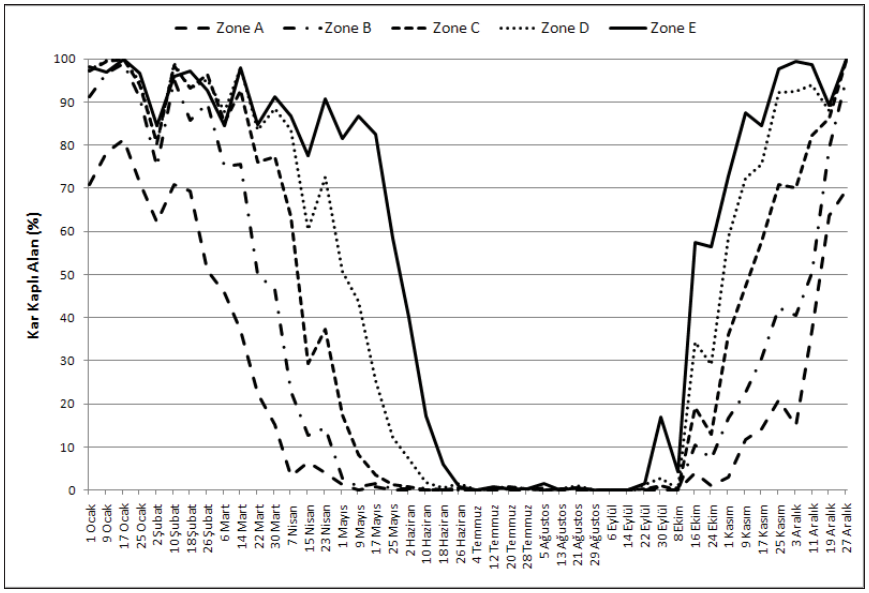
Dağlık alanlarda kar kaplı alanlar ile özellikle bahar ve yaz aylarında gözlenen akım değerleri arasında kuvvetli bir ilişki vardır. Çalışma alanı için kar kaplı alanların zamansal değişimini gösteren kar çekilme eğrileri elde edilmiştir. Mekansal koordinatlandırılması yapılmış 460 adet uydu görüntüsünden kar kaplı alan yüzdeleri CBS analizi ile elde edilmiştir. Elde edilen kar kaplı alan miktarının mevsimsel olarak değişimi 2000-2009 yılları için belirlenmiştir (**Şekil 4**). Karasu havzası 1125m-3487 m yükseklik farkına sahiptir. Bu nedenle kar kaplı alan miktarı farklı yükseklik sınıflarına göre belirlenerek her bir yükseklik sınıfı için 2000-2009 yılları arası ortalama kar çekilme eğrileri elde edilmiştir (**Şekil 5**).



Şekil 3. Kar kalınlığı, aylık sıcaklık ve yağış değerleri

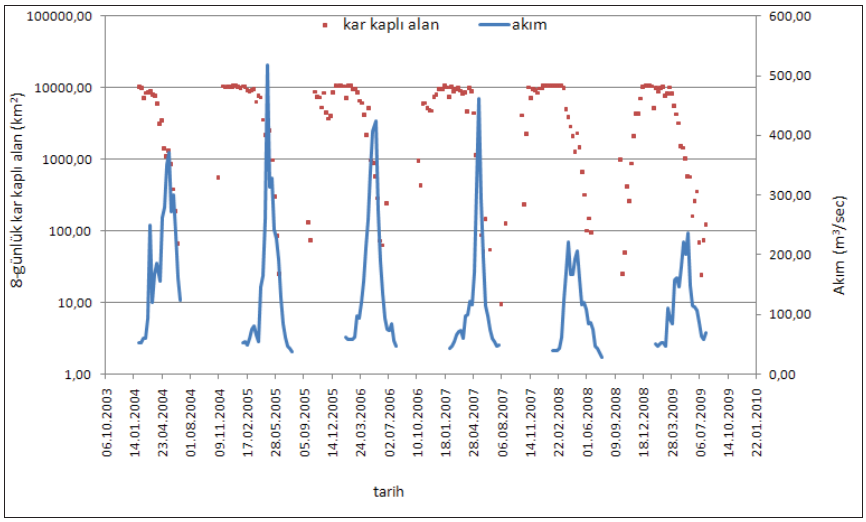


Şekil 4. Karasu havzasında kar kaplı alan miktarının mevsimsel değişimi (2000-2009)



Şekil 5. Karasu havzasında farklı yükseklik sınıflarına göre ortalama kar çekilme eğrileri (2000-2009) (Zone A=1125-1500m, Zone B=1500-1900m, Zone C=1900-2300m, Zone D=2300-2900m, Zone E=2900-3487m)

Kar erimesinden dolayı oluşan akımlar ile kar kaplı alan miktarları arasındaki ilişkiyi belirlemek amacıyla elde edilen kar kaplı alan miktarları ile günlük akım değerleri arasında istatistiksel olarak ilişki aranmıştır (**Şekil 6**). Öncelikle günlük akım değerlerinden 8-günlük akım değerleri elde edilmiş ve 8-günlük kar kaplı alan değerleri ile doğrusal regresyon analizi uygulanmıştır. Bu analiz sonucunda negatif doğrusal ilişki elde edilmiştir (r=0.6). Yüksek akım değerleri su yılları arasında farklılık göstermektedir. Bu nedenle akım değerleri ve kar kaplı alan değerleri normalize edilerek benzer bir ilişki elde edilmeye çalışılmıştır. Normalize edilen değerler kullanılarak korelasyon katsayısı daha yüksek (r=0.74) negatif bir ilişki elde edilmiştir (**Şekil 7**).



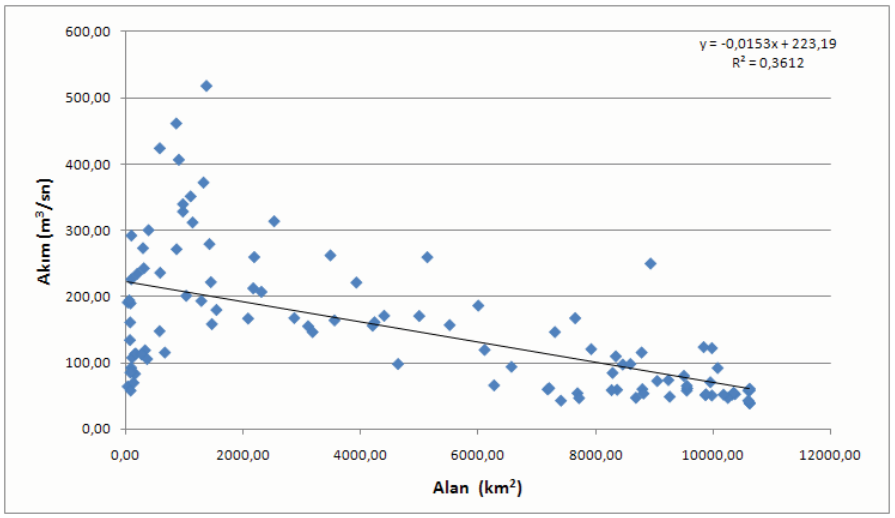
Şekil 6. Kar kaplı alan ve akım değerleri (Ekim 2004-Eylül 2009)

4. DEĞERLENDİRİLME ve SONUÇLAR

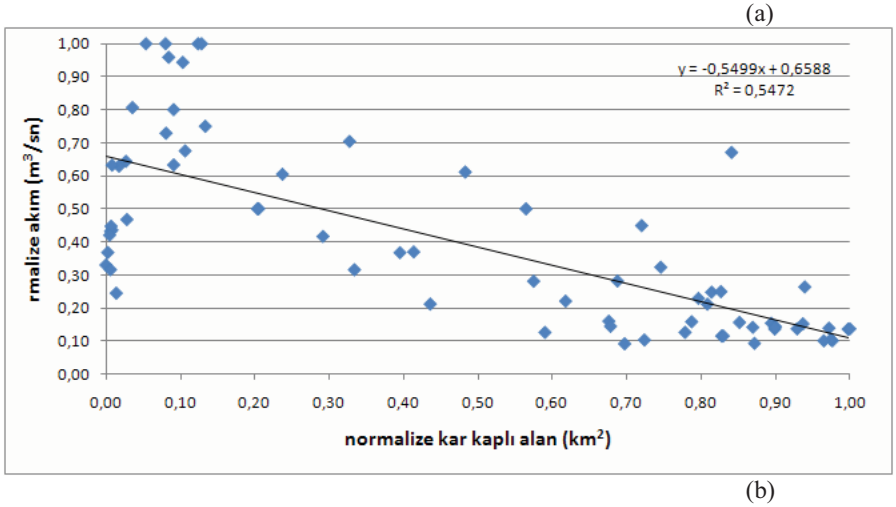
Karasu havzasında 2000-2009 yılları arasındaki 10 yıllık sürede kış aylarında kar kaplı alan miktarının %80-90, ilkbahar aylarında %10-25, sonbahar aylarında ise %35-60 olduğu belirlenmiştir. Şubat aylarında kar sınır çizgisinin 1125-1500 m arasında Mart ayında 1500-1900 m, Nisan ayı başlarında 1900-2300m ve Nisan ayı sonlarında 2300-2900 m arasına gerçekleştiği belirlenmiştir. Havzada Haziran ayı itibari ile kar kalmamaktadır.

Kar kaplı alan ve akım değerleri arasındaki ilişki incelendiğinde kar kaplı alan miktarının 2004 ve 2009 yılları arasında değişiklik göstermediği görülmektedir. Fakat özellikle 2008 ve 2009 akım değerleri dikkate alındığında pik değerlerde ciddi miktarlarda düşüşün olduğu görülmektedir. Özellikle 2006 ve 2009 yılları arasındaki erime döneminde (Mart, Nisan, Mayıs) sıcaklık ve yağış değerleri karşılaştırılmıştır (**Tablo 1**). 2008 yılında yağış değerleri diğer yıllara göre çok daha az gözlenmiş ve aylık ortalama sıcaklık değerlerine bakıldığında Mart ayı ortalama sıcaklığının diğer yıllardaki ortalama sıcaklığa göre oldukça yüksek olduğu belirlenmiştir. 2009 yılında

sıcaklık değerleri diğer yıllarda gözlenen değerlere yakın olmakla birlikte yağış miktarında düşme gözlenmektedir. Aylık ortalama sıcaklık değerinin yüksek olmasından da anlaşılacağı gibi yağmur olarak gerçekleşen yağışın özellikle Nisan ayında oldukça düşük olması yağışın kar üzerinde oluşması ile gerçekleşen kar erimesini ciddi anlamda azaltmış olduğu tespit edilmiştir. 2008 ve 2009 yıllarında gözlenen akım pik değerlerinin düşük olması yağışın Nisan ayında yeterince gerçekleşmemiş olmasındandır. 2008 yılında gözlenen yüksek sıcaklıklar da kar erimesini öne çekmiş ve akım pik değerinin Mart ayı sonlarında gözlenmesine neden olmuştur. Diğer yıllardaki akım değerleri incelendiğinde akım pik değeri Mayıs ayı başlarında gerçekleşmektedir.



(a)



(b)

Şekil 7. Kar kaplı alan ve akım arasındaki ilişki (a), Normalize kar kaplı alan ve normalize akım arasındaki ilişki (b).

Tablo 1. 2006-2009 yılları arasında erime döneminde Erzurum istasyonunda gözlenen aylık yağış ve ortalama sıcaklık değerleri ile Karasu havzasında kar kaplı alan yüzdeleri.

Yıllar	Mart			Nisan			Mayıs		
	P (mm)	T (°C)	SCA (%)	P (mm)	T (°C)	SCA (%)	P (mm)	T (°C)	SCA (%)
2006	13.4	1.2	89.98	77.40	7.2	39.52	41.6	11.4	8.43
2007	20.4	-2.5	93.70	79.4	1.3	43.59	61.2	12.8	10.64
2008	18.6	2.1	100	45.0	8.1	26.94	58	8.1	13.74
2009	78.2	-2.4	72.64	6.4	3.2	51.88	63.2	9.3	13.57

Kar kaplı alanların mevsimsel değişimi incelendiğinde Yukarı Fırat havzası'nda kış mevsimi için 2001 yılı dışındaki yıllarda kar kaplı alan miktarının ortalamada %90 olduğu belirlenmiştir. 2001 yılı kış mevsiminde kar kaplı alan miktarı %70 olarak gözlenmiştir. Sonbahar aylarında ortalama kar kaplı alan miktarının ilkbahar aylarına göre daha fazla olduğu gözlenmiştir. 2004-2009 yılları arasında kar kaplı alan miktarının çok değişmediği fakat kar kalınlığının son iki yılda azaldığı gözlenmektedir (**Şekil 3**).

Kar kaplı alan ve akım değerleri arasındaki ilişki regresyon analizi ile doğrusal azalan bir fonksiyon olarak modellenmiştir. Böylece kar kaplı alan miktarı elde edilerek pik akım değerlerinin tahmin edilmesi mümkün olmaktadır. Kar kaplı alan miktarı 2008 yılında Mart ayı için %100, Nisan ayı için %27 ve Mayıs ayı için %14 olarak elde edilmiştir. Özellikle sıcaklık artışının 2008 yılında erime periyodu olan Mart, Nisan ve Mayıs aylarında fazla olması ve bu sürede toplamda daha az yağışın gözlenmesi 2008 yılı akım değerlerinde ciddi azalmaya neden olmuştur.

Özellikle kış aylarında ulaşımın mümkün olmadığı ve yersel ölçüm sayısının ve kalitesinin sınırlı olduğu havzalar için uydu görüntülerinden elde edilen kar kaplı alanların zamansal ve mekansal analizi iklimsel ve hidrolojik dinamiklerin belirlenmesinde faydalı olduğu görülmüştür. Yer gözlemleri ile uydu görüntülerinin birlikte değerlendirilmesi modelleme çalışmalarında fayda sağlamaktadır.

5. KAYNAKLAR

Ackerman, S.A., Strabala, K. I., Menzel, W.P., Frey, R.A., Moeller, C.C. and Gumley, L.E., 1998, Discriminating clear sky from clouds with MODIS. Journal of Geophysical Research, **103**, pp. 32141-32157.

Bradley, S. B., Vuille, M., Diaz, H.F., and Vergara, W., 2006, Threats to water supplies in the tropical Andes. Science, 312,1755-1756. doi:10.1126/science.118087.

Hall, D. K. and Martinec, J.: Remote Sensing of Ice and Snow, London: Chapman and Hall, 189 pp., 1985.

Hall, D.K. and Riggs, G.A., 2007. Accuracy assessment of the MODIS snow-cover products, Hydrological Processes, 21, pp. 1534-1547.

IPCC (2001a): Climate Change 2001: The Scientific Basis Summary for Policymakers andTechnical Summary of the Working Group I Report. WMO/UNEP, Cambridge UniversityPress, 98 pp.

IPCC (2001b): Climate Change 2001: Impacts, Adaptation and Vulnerability – Summary for Policymakers and Technical Summary of the Working Group II Report. WMO/UNEP, Cambridge University Press, 54 pp.

Kolberg, S., Rue, H., ve Gottschalk, L.: A Bayesian spatial assimilation scheme for snow coverage observations in a gridded snow model, Hydrol. Earth Syst. Sci., 10, 369–381, 2006.

Maurer, E. P., Rhoads, J. D., Dubayah, R. O., ve Lettenmaier, D. P.: Evaluation of snow-covered area data product from MODIS, Hydrol. Proc., 17, 59–71 doi:10.1002/hyp.1193, 2003.

Tekeli, E., Akyurek, Z., Sorman, A.A., Sensoy, A. and Sorman, A.U., 2005a. Modelling the temporal variation in snow covered area derived from satellite images for simulating/forecasting of snowmelt runoff in Turkey. Hydrological Science Journal, 50, pp. 669-682.

Tekeli, E., Akyurek, Z., Sorman, A.A., Sensoy, A. and Sorman, A.U., 2005b.Using MODIS Snow Cover Maps in Modeling Snowmelt Runoff Process in the Eastern Part of Turkey, Remote Sensing of Environment, 97, pp. 216-230.

Tong J., Dery, S.J., Jackson, P. L.: Interrelationship between MODIS/Terra remotely sensed snow cover and the hydrometeorology of the Quesnel River Basin, British Columbia, Canada, Hydro. Earth Syst. Sci., 13, 1439-1452.

Wolfe, R.E., Nishihama, M., Fleig, A.J., Kuyper, J.A., Roy, D.P., Storey, J.C., and Patt, F.S., 2002. Achieving sub-pixel geolocation accuracy in support of MODIS land science. Remote Sensing of Environment, 83, pp. 31-49.

Zhou, X., Xie, H., Hendrickx, J.M.H.:Statistical evaluation of remotely sensed snow-cover products with constraints from streamflow and SNOTEL measurements. Remote Sensing of Environment, 94, 214-231.

Doğu Karadeniz Havzasında SYİ İle Kuraklık Analizi ve Çevresel Etkileri

Derya Öztürk[1], Filiz Malkoç[2], Hilal Tuna[3] , Saffet Öztürk[4]

Özet: Bu çalışmada Doğu Karadeniz Havzası çalışma bölgesi olarak seçilmiştir. Çalışmanın ilk aşamasında; Doğu Karadeniz Havzası içerisinde bulunan 8 Akım Gözlem İstasyonuna ait 1965-2008 dönemi aylık ortalama debi serileri kullanılarak, SYİ (Standartlaştırılmış Yağış İndeksi) yöntemine göre havzanın hidrolojik kuraklık değerlerinin olası eğilimleri belirlenmiştir. AGİ'ler toplu olarak incelendiğinde; 1970, 1985, 1995, 2002-2003 ve 2008 su yıllarında çeşitli derecelerde kuraklıklar tespit edilmiştir. Çalışmada kullanılan tüm AGİ'ler için, çeşitli derecelerde kuraklık tespit edilen ay sayısı minimum 225 ay olmuştur. İncelemede çok şiddetli kuraklık derecesinde olan ay sayısının 6 AGİ de 10 aydan fazla olduğu görülmüştür. 2238 nolu AGİ'de 2001 yılı Haziran ayında "-2.95" gibi minimum SPİ değerinin ifade ettiği "çok şiddetli kuraklık" derecesine kadar ekstrem kuraklıklar tespit edilmiştir. İkinci aşamasında ise hem tespit edilen kurak dönemlerde hem de ıslak dönemlerde çevresel akış miktarları belirlenerek aralarındaki farklılıkların önemi ortaya konmaya çalışılmıştır. Tüm AGİ'lerin çevresel akış değerlerinde belli oranlarda azalmalar olmakla birlikte en fazla azalma 2228 nolu AGİ de görülmüştür. Tüm zamanlarda %70 - %99 aralığındaki azalma oranları sırasıyla %18.3, %19.4, %18.7, %21.9, %29, %48.1 olmuştur.

Anahtar Sözcükler: Çevresel Akış Hesabı; Hidrolojik Kuraklık; Doğu Karadeniz Havzası; SPİ Yöntemi

[1] Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü, Hidrolik Etütler Dairesi Başkanlığı, Ankara
Eposta : dozturk@eie.gov.tr ; Tel : 0312.2955205

[2] Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü, Hidrolik Etütler Dairesi Başkanlığı, Ankara
Eposta : fmalkoc@eie.gov.tr ; Tel : 0312.2955217

[3] Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü, Hidrolik Etütler Dairesi Başkanlığı, Ankara
Eposta : htuna@eie.gov.tr ; Tel : 0312.2955217

[4] Devlet Hava Meydanları İşletmesi Genel Müdürlüğü, Seyrüsefer Dairesi Başkanlığı, Ankara
Eposta : saffet.ozturk@dhmi.gov.tr ; Tel : 0312.2042288

Drought Analysis by the means of SPI and It's Environmental Effects in Doğu Karadeniz Basin

Abstract: In this study, Doğu Karadeniz Basin is selected as work area. In first process of the study; the probable inclinations of hydrologic drought values belongs to the basin are determined by the means of SPI (Standardized Precipitation Index) on studying monthly mean flow data of the 8 flow observing stations in Doğu Karadeniz Basin between the years 1965-2008.

On the base of all flow observing stations, droughts at variable degrees are determined in the years 1970, 1985, 1995, 2002-2003 ,2008 and there are at least 225 months in which drought is determined. Months more than 10, which are at degree of very intense drougth, are found out at 6 flow observing stations. Extreme droughts which is extended to the minimum SPI value "-2.95" indicating very intense droughts are determined at the station number 2238 for June of the year 2001. Then, Values of Environmental Flow at both dry and wet term are determined and the importance of differences amongst them is tried to present. Some spesific decreasings on the values of Environmental Flow are seen, particularly at the observing station number 2228, the most decreasing. The decreasing rates between %70-%99 in the all years are %18.3, %19.4, %18.7, %21.9, %29, %48.1 respectively.

Keywords: The Calculation of Environmental Flow; Hydrological Drought; Doğu Karadeniz Basin; Standardized Precipitation Index.

1. GİRİŞ

Dünya nüfusunun artması, şehirleşme, iklim değişmeleri, orman tahribatları, çölleşme sonucunda kuraklık; toplum, çevre ve ülkeleri tehdit eden boyutlara ulaşmaktadır. Özellikle sanayi devriminden sonra atmosfere kontrolsüzce salınan sera gazları, gerek ozon tabakasını inceltmek gerekse atmosferin ısı tutma kapasitesini artırmak suretiyle yerküre üzerindeki sıcaklığın yükselmesine neden olmuştur. Bunun sonucunda, dünyanın değişik bölgelerinde daha önceleri pek görülmeyen kuraklık ve taşkın gibi ekstrem hava olayları gözlenmeye başlanmıştır (Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 1996). Çölleşmeyle Mücadele Sözleşmesi'ndeki (UNCCD, 1995) tanımlamalara göre, 'kuraklık', yağışın, normal düzeyinin oldukça altında olduğunda ortaya çıkan ve arazi kaynakları üretim sistemlerini olumsuzca etkileyerek ciddi hidrolojik dengesizliklere yol açan, doğal oluşumlu bir olaydır. Türkeş (1998)'e göre kuraklık, iklimsel değişimlerin neden olduğu geçici bir özelliktir; kurak ve yarı kurak bölgelerin yanı sıra, orta enlemlerin nemli-denizel iklimleri vb. öteki iklim bölgelerinde de oluşabilir (TEMA, 2001). Dünya Meteoroloji Teşkilatının 87 ülke arasında yapmış olduğu anket sonuçlarına göre, aralarında Türkiye'nin de bulunduğu 74 ülkenin kuraklıktan etkilendiği tespit edilmiştir (WMO, 1992). IPCC' ye göre, 2030 yılında bu yüzyılın başındaki CO_2 miktarının iki katına çıkması ve Türkiye dahil Güney Avrupa'yı içine alan bölgede sıcaklıkların kışın 2 ºC, yazın ise 2-3 ºC arasında yükselmesi beklenmektedir. Sıcaklıkların artması, kurak bölgelerimizin çölleşmesine neden olabilecektir. Kuraklığın artması ile şehir ve ülke sınırlarını aşan nehirlerin kullanımı dahil bir çok uluslar arası, ulusal ve yerel su kaynağının paylaşımı ve yönetimi daha da zorlaşacaktır. Yavaş gelişmesi nedeniyle kuraklık, diğer ülkelerde olduğu gibi

ülkemizde de farklı kuraklık indisleri ile sürekli olarak izlenmelidir (MMO, 1999). Bu amaçla dünyada kuraklığın izlenmesi için çeşitli indeksler ve indikatörler geliştirilmiştir. Son yıllarda, farklı zaman ölçeklerinde elde edilen Standartlaştırılmış Yağış İndeksi (SYİ) serilerinin yer üstü su kaynaklarında kuraklık takibi çalışmalarında kullanıldığı görülmektedir (Szalai, 2000; Vicente-Serrano, 2005; Yıldız, 2007).

Kuraklık ile ilgili yapılan tanımlar mesleklere göre meteorolojik, hidrolojik, tarımsal, coğrafik veya endüstriyel, enerji üretimi, su temini, denizcilik, mesire yerleri bakımından olmaktadır (Sırdaş ve Şen, 2003). Bu tanımlamalardan biri olan hidrolojik kuraklık, uzun süre devam eden yağış eksikliği neticesinde ortaya çıkan yeryüzü ve yeraltı sularındaki azalma ve eksiklikleri ifade eder. Uzun süren hidrolojik kuraklık süreci yeraltı sularının, nehirlerin ve göllerin seviyesinde keskin bir düşüşe sebep olarak; insan, bitki ve hayvan yaşamı için büyük bir tehlike yaratır. Bu nedenle hidrolojik kuraklık nehir akım ölçümleri ve göl, rezervuar, yer altı su seviyesi ölçümleri ile takip edilebilir. Özellikle havzalardaki düşük akımların gözlenmesi su ihtiyaçları arasında dengeli dağılım yapmak ve kuraklık tekerrürleri için modeller oluşturmak için büyük önem taşımaktadır. Düşük akımlardan bahsedildiğinde ise en önemli parametre "çevresel akış" tanımı olmaktadır. Çevresel akış; nehirlerdeki habitatların sürdürülebilirliği için gerekli olan akış miktarı olarak tanımlanır. Başka bir deyişle hidrolojik kuraklık meydana gelen bir nehirde, çevresel akış miktarının olumsuz yönde ne kadar etkilediğinin belirlenmesi; nehirdeki canlı hayatı korumak için alınacak önlemler açısından son derece önemlidir. Bu nedenle bu çalışmada ilk aşamada; Doğu Karadeniz Havzası içerisinde çeşitli nehirler üzerinde yer alan 8 Akım Gözlem İstasyonuna ait uzun yıllar (1965–2008) aylık ortalama debi serileri kullanılarak SPİ yöntemine göre Doğu Karadeniz Havzasının hidrolojik kuraklık değerlendirilmesinin araştırılması amaçlanmıştır. Sonraki aşamada ise kendi orijinal gözlem periyodu yeteri kadar uzun olan 5 Akım Gözlem İstasyonu için tespit edilen kurak dönemlerde ve kurak olmayan diğer dönemlerde çevresel akış miktarları belirlenerek aralarındaki farklılıkların önemi ortaya konmaya çalışılmıştır.

2. STANDARTLAŞTIRILMIŞ YAĞIŞ İNDEKSİ YÖNTEMİ

Farklı iklimlere sahip bölgelerin kuraklığını tanımlamak amacıyla, Standartlaştırılmış Yağış İndeksi (SYİ) yöntemi meteorolojik kuraklığın ifadesinde tek değişkenli olup, bu değişken meteorolojik parametresini tek bir sayısal değere dönüştüren ve yaygın olarak kullanılan bir yaklaşımdır. Standartlaştırılmış Yağış İndeksi (SYİ) yöntemi ilk olarak Mckee ve diğ. (1993) tarafından geliştirilmiştir. SYİ, seçilmiş bir zaman dilimi içinde yağışın ortalamadan olan farkının standart sapmaya bölünmesi ile elde edilir.

$$SY\dot{I} = \frac{X_i - \overline{X}_i}{\sigma} \tag{1}$$

Bu yöntemde tek meteorolojik değişken gerekli olduğundan uygulaması oldukça kolaydır. Diğer bir önemli avantajı ise farklı zaman ölçekleri için kuraklığı ölçmede gösterdiği esnekliktir. Örneğin, standart yağış serisini hesaplamada yalnızca yağış serisinin aritmetik ortalaması ve standart sapmasına ihtiyaç duyulur. Sonuç olarak; elde edilen negatif değerler yağış eksikliğini ya da kurak dönemleri gösterirken, pozitif değerler yağış fazlalığını ya da sulak dönemleri gösterir (Çizelge 1). Bu nedenlerden dolayı bu çalışmada, aylık debi serilerine ilişkin hidrolojik kuraklık değerlerinin

belirlenmesinde SYİ yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntem, McKee ve diğ. (1993) ve Paulo ve diğ. (2005) yayınlarında ayrıntılı olarak verilmiştir. SYİ yönteminde şu sıra izlenir: Kullanılan değişken için aylık veri setleri en az 30 yıllık kesintisiz periyot için düzenlenir. Yağış eksikliğinin farklı su kaynaklarına etkisi dikkate alınarak indekslerdeki değişimlerin gözleneceği 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 15, 18, 24,30, 36, 48, 60 ve 72 aylık gibi farklı zaman dilimleri belirlenir (Keskin ve diğ., 2007). Bu çalışmada; yöntemin uygulanmasında, hidrolojik ve mühendislik açısından önemli olan kaydırma periyotlarından 12 ay için SYİ değerleri hesaplanmıştır.

Çizelge 1. SYİ Kuraklık Kategorisi (Tsakiris and Vangelis, 2004)

SPİ değeri	Kuraklık Katagorisi
≥ 2	Çok Şiddetli Yağışlı
1.50 ~ 1.99	Çok Yağışlı
1.00 ~ 1.49	Orta Şiddetli Yağışlı
0.99 ~ 0	Normal
0 ~ -0.99	Normale Yakın Kuraklık
-1.00 ~ -1.49	Orta Şiddetli Kuraklık
-1.50 ~ -1.99	Şiddetli Kuraklık
≤ -2	Çok Şiddetli Kuraklık

3. ÇEVRESEL AKIŞI HESAPLAMA YÖNTEMLERİ

Bu yöntemler oldukça çeşitli olup farklı ülkelerde farklı yöntemler kullanılmaktadır. Bunlar genel olarak; 1) Hidrolojik Metotlar, 2) Hidrolik Oran Metotları, 3) Habitat Simulasyon Metotları ve 4) Holistik Metotlar diye gruplandırılırlar. Hidrolik, habitat ve holistik metotlar daha detaylı bilgiler verirler; ancak daha fazla zamana, veriye, çalışmaya ve havza hakkında daha fazla bilgiye ihtiyaç duyarlar. Hidrolojik metotlar ise çevresel akış hakkında tavsiyelerde bulunabilmek amacıyla günlük veya aylık akış verilerini kullanan tekniklerdir. Bu metot ile ayrıca akım ölçüm istasyonu olan veya olmayan nehirler için bir minimum akış değeri elde etmeye çalışılır. Ayrıca su kaynaklarının geliştirilmesi çalışmaları sırasında planlama aşamasında uygulaması kolay ve uygun bir metottur. Bu çalışmada da çevresel akış değişimlerinin belirlenmesinde; hidrolojik metotlardan olan debi-süre indisleri (aşılma yüzdeleri) kullanılmıştır. Debi-süreklilik eğrisi en düşük akımlardan taşkınlara kadar nehrin akış durumunu gösteren en uygun araçlardır. Günlük ortalama akış verilerini kullanarak elde edilen debi-süreklilik eğrileri geçekte istenilen bir periyotta belirlenen bir debi değerinin zamanın kaçta kaçında mevcut olduğunu gösteren kümülatif (yığışmalı) frekans dağılımıdır. Smakhtin (2001), Debi-süreklilik eğrisinin %70-%99 aralığının dizayn amaçlı düşük akım aralığı veya Q**70**-Q**99** aralığı olduğunu ifade etmiştir. Q**90** ve Q**95** akımları akademik çalışmalarda ve çeşitli ülkelerdeki konuyla ilgili kurumlarda en sık kullanılan düşük akım indisleridir. Q**75**, Q**84**, Q**96**, Q**97**, Q**98** ve Q**99** akımlarının da kullanıldığına literatürde rastlanmaktadır (Özdemir ve diğ., 2004).

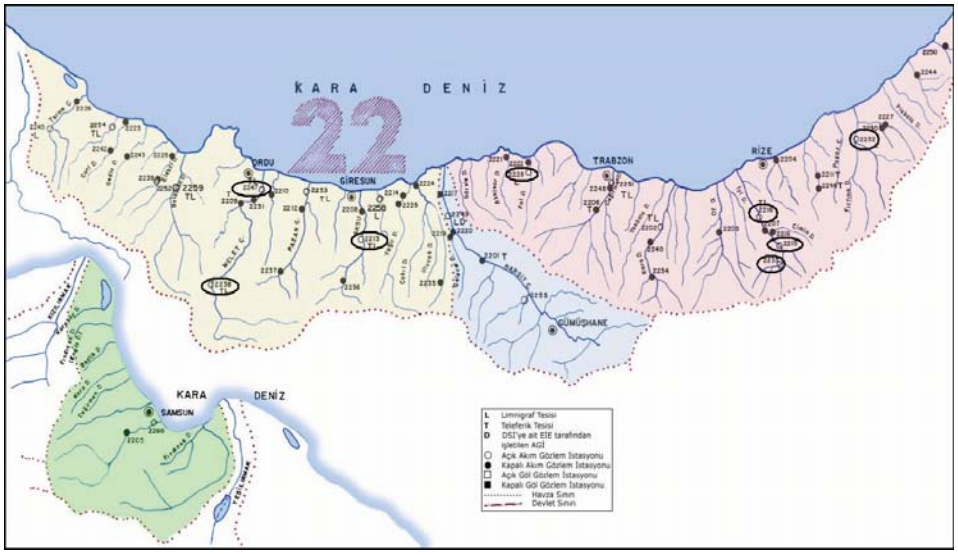
4. ÇALIŞMA BÖLGESİ VE VERİLER

Bu araştırmada, çalışma bölgesi olan 22 nolu Doğu Karadeniz Havzasında çeşitli nehirler üzerinde bulunan ve çalışmada kullanılacak yöntem için yeterli gözlem süresine sahip Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü (EİE) tarafından işletilmekte olan 8 adet Akım Gözlem İstasyonu (AGİ) nun 1965–2008 dönemine ait aylık ortalama debi verileri kullanılmıştır. İstasyonlar havzanın mümkün olduğunca genelini temsil edecek şekilde seçilmiştir.

Çizelge 2. Kullanılan AGİ'lere Ait Bilgiler

AGİ NO	AGİ İSİM	KOT(m)	Gözlem Süresi	Yağış Alanı (km^2)
***2213**	Aksu D.- Dereli	248	1962-2004	713.0
2215	Çamlık D.- Dereköy	942	1965-2008	445.2
***2218**	İyi Dere - Şemdirli	308	1955-2008	834.9
***2228**	Fol Dere - Bahadırlı	17	1962-2008	191.4
***2232**	Fırtına Dere - Topluca	237	1964-2008	763.2
2233	Tozköy Dere - Tozköy	1296	1964-2008	223.1
2238	Melet Çayı - Arıcılar	949	1965-2008	1024.4
***2247**	Melet Çayı - Gocallı Köp.	41	1967-2008	1859.2

Not: * İşaretli olan AGİ'lerin debi-süreklilik eğrileri çizilmiştir

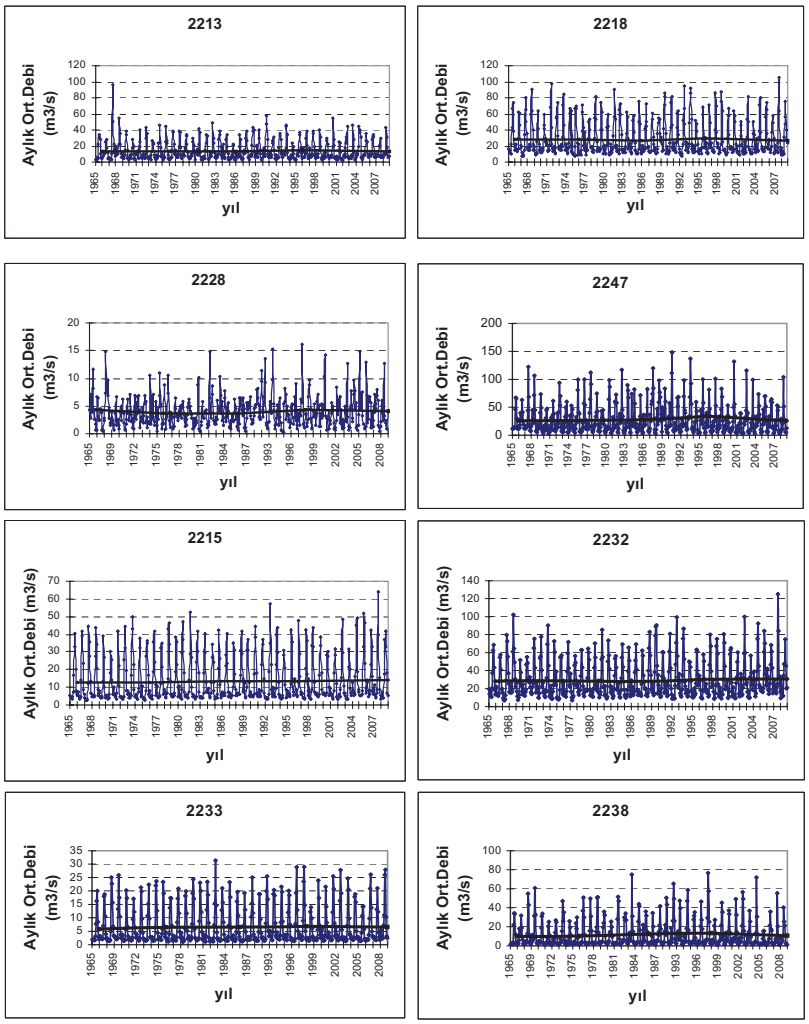


Şekil 1. 22 Nolu Doğu Karadeniz Havzası ve Çalışmada Kullanılan AGİ'ler

Son olarak; Debi-Süreklilik Eğrilerinin çizimi için sentetik olarak türetilmemiş, yeterli uzunluktaki gözlem süresine sahip 5 Akım Gözlem İstasyonunun günlük debi değerleri kullanılmıştır.

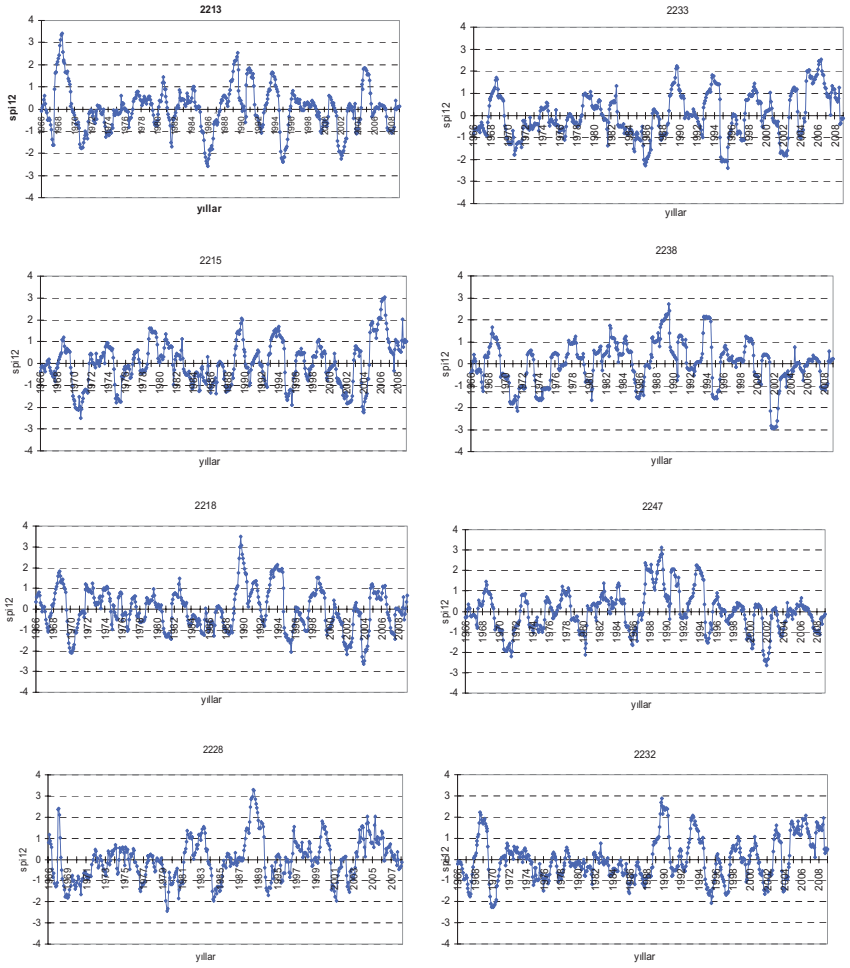
5. BULGULAR

Doğu Karadeniz havzasında kuraklık analizi yapılabilmesi için; Çizelge 2'de bilgileri verildiği üzere, bölgede çeşitli nehirler üzerinde yer alan 8 AGİ ye ait aylık ortalama akım değerleri Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü'nden elde edilmiştir. SYİ yönteminin uygulanabilmesi için McKee ve diğ. (1993)'e göre ideal olarak en az 30 yıllık ve kesintisiz değişken verileri gerekmektedir. Bu çalışmada, Doğu Karadeniz havzasına ait 8 AGİ için ortak periyot olarak 1965–2008 yılları arası esas alınmıştır. Bu periyotta olmayan AGİ'lerin akım verileri sürekliliği sağlamak için en uygun bulunan regresyon eşitlikleri yardımı ile elde edilmiştir (Şekil 3).



Şekil 3. Doğu Karadeniz Havzasındaki AGİ lerin Akımlarının Zamansal Değişimi

Şekil 3'te verilen AGİ lere ait zamana göre akım değişimi incelendiğinde, 10 yıllık ortalama değerlere göre oluşturulan seriye bakıldığında 2213, 2218, 2228, 2233, 2238 ve 2247 nolu AGİ'lerin akımlarının azalma eğiliminde olduğu görülmektedir. AGİ'lerin elde edilen ortak dönem akım verileri ile SYİ yöntemi 12 aylık periyot için (SYİ12) kuraklık analizinde kullanılmıştır. Denklem (1) kullanılarak standart hale getirilmiş 8 AGİ'ye ait akım verileri, Çizelge 1'de verilen kuraklık kategorilerine göre sınıflandırıldıktan sonra elde edilen zaman serileri Şekil 4'te verilmiştir.



Şekil 4. Doğu Karadeniz Havzasında Bulunan AGİ lere Ait 12 Aylık SYİ Zaman Serileri

Çizelge 3. SYİ Metoduna Göre Doğu Karadeniz Havzasında AGİ lere Ait Kurak Aylar Sayısı

SPİ Metoduna Göre Kurak Aylar Sayısı					
AGİ	Normale Yakın Kuraklık 0 - (-0.99)	Orta Şiddetli Kuraklık -1 - (-1.49)	Şiddetli Kuraklık -1.5-(-1.99)	Çok Şiddetli Kuraklık <= -2	Toplam
2213	168	33	27	15	243
2215	170	44	34	10	258
2218	168	57	23	10	258
2228	145	57	21	2	225
2232	214	42	20	8	284
2233	199	42	22	14	277
2238	134	48	32	13	227
2247	171	45	22	11	249

Şekil 4'e göre Doğu Karadeniz Havzasında en büyük kuraklık değerleri (minimum SYİ değerleri) Melet Çayı üzerindeki **2238** nolu AGİ'nin 2001 su yılının Haziran ayında -2.95 ve İyi Dere üzerinde bulunan **2218** nolu AGİ'nin 2003 su yılının Eylül ayında -2.65 olarak bulunmuştur.

Diğer AGİ ler için sırasıyla en büyük kuraklık değerleri ve yılları şöyledir: **2247** nolu AGİ için 2002 su yılının Ekim ayında -2.64, **2213** nolu AGİ için 1985 su yılının Eylül ayında -2.56, **2215** nolu AGİ için 1970 su yılının Haziran ayında -2.49, **2228** nolu AGİ için 1980 su yılının Şubat ayında -2.45, **2233** nolu AGİ için 1995 su yılının Nisan ayında -2.37 ve **2232** nolu AGİ için 1970 su yılının Kasım ayında -2.25 olarak bulunmuştur. Çizelge 3'te her bir istasyona ait kurak ayların sayısı verilmiştir. Görüldüğü üzere çalışmada kullanılan tüm AGİ'ler için, çeşitli derecelerde kuraklık tespit edilen ay sayısı minimum 225 ay olmuştur.

Yukarıda anlatıldığı üzere Doğu Karadeniz Havzasında çeşitli dereler üzerinde bulunan 8 AGİ için hidrolojik kurak dönemler belirlenmiştir. Çevresel akışın belirlenmesi için, bu 8 AGİ'den kuraklık analizi çalışılan 1965–2008 periyodunu kapsayacak şekilde gözlem periyoduna sahip; 2213, 2218, 2228, 2232 ve 2247 nolu AGİ'lerin debi-süreklilik eğrileri çizilmiştir. Sonrasında; bu AGİ' ler için belirlenen SPİ değerlerinin "-1" değerinden küçük olduğu yıllar; başka bir deyişle orta şiddetli kuraklığın başladığı ve bazı yıllarda çok şiddetli kuraklığa dönüştüğü dönemleri kapsayan yılların debi-süreklilik eğrileri çizilmiştir. Söz konusu yıllar Çizelge 4'te verilmiştir.

Çizelge 4. AGİ' ler İçin Kurak Olan Su Yılları

2213	2218	2228	2232	2247
1967	1967	1966	1966	1967
1970	1970	1969	1967	1970
1971	1974	1970	1970	1971
1972	1975	1971	1974	1972
1973	1976	1972	1975	1974
1974	1978	1973	1976	1979
1976	1980	1975	1978	1980
1979	1981	1977	1981	1985
1981	1983	1979	1983	1986
1985	1984	1980	1984	1995
1986	1985	1981	1985	1997
1992	1986	1985	1986	2000
1995	1987	1994	1987	2002
1999	1988	1995	1995	2003
2000	1992	1996	2001	2007
2002	1995	2002		2008
2003	1996	2003		
2005	1997	2008		
2008	1999			
	2001			
	2002			
	2003			
	2004			
	2007			
	2008			

Daha önceki bölümlerde; debi-süreklilik eğrilerinin %70-%99 aralığının dizayn amaçlı düşük akım aralığı veya Q70-Q99 aralığı olduğu ifade edilmişti. Bu nedenle her bir AGİ için çizilen debi süreklilik eğrilerinin Q70, Q75, Q84, Q90, Q95, Q99 değerleri düşük akım yani çevresel akış olarak belirlenmiş ve Çizelge 5'te çalışma sonuçları verilmiştir. Çizelge 5'ten görüldüğü üzere kurak dönem için ıslak dönemine göre en büyük azalma oranlarına 2228 nolu AGİ sahiptir (sırasıyla azalma oranları; %18.3, %19.4, %18.7, %21.9, %29 ve %48.1). Ortalama olarak her bir AGİ için ıslak döneminden kurak dönemine azalma oranları incelendiğinde; 2213, 2218, 2228, 2232 ve 2247 için sırasıyla %.3, %11.5, %25.9, 6,1 ve %14.4 miktarlarında olmaktadır. Dolayısı ile tüm indisler arasında en büyük ortalama azalma oranına 2228 nolu AGİ ve daha sonra da 2247 nolu AGİ sahiptir.

Çizelge 5. AGİ'ler İçin Çevresel Akış Hesap Sonuçları

AGİ'ler	Çevresel Akış Değerleri (m^3/s)					
	Q70	**Q75**	**Q84**	**Q90**	**Q95**	**Q99**
2213 (Islak Dönem)	6.18	5.60	4.36	3.60	2.98	2.12
2213 (Kurak Dönem)	5.30	4.82	3.91	3.35	2.76	2.06
%	14.2	13.9	10.3	6.9	7.4	2.8
2218 (Islak Dönem)	14.30	13.50	11.90	10.80	9.76	8.19
2218 (Kurak Dönem)	12.7	11.9	10.7	9.64	8.8	6.96
%	11.2	11.9	10.1	10.7	9.8	15.0
2228 (Islak Dönem)	1.53	1.29	0.91	0.73	0.56	0.39
2228 (Kurak Dönem)	1.25	1.04	0.74	0.57	0.39	0.20
%	18.3	19.4	18.7	21.9	29.0	48.1
2232 (Islak Dönem)	14.30	13.00	11.20	10.10	8.83	7.14
2232 (Kurak Dönem)	13.60	12.40	10.80	9.40	8.00	6.64
%	4.9	4.6	3.6	6.9	9.4	7.0
2247 (Islak Dönem)	8.77	7.30	5.29	4.36	3.57	2.60
2247 (Kurak Dönem)	7.80	6.45	4.76	3.85	2.85	2.04
%	11.1	11.6	10.0	11.7	20.2	21.5

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Hidrolojik kuraklık ve etkilerinin ortaya konulmaya çalışıldığı bu yayında; Doğu Karadeniz havzasını temsil edecek şekilde havzadaki 8 adet AGİ toplu olarak incelendiğinde; 1970, 1985, 1995, 2002-2003 ve 2008 su yıllarında "-2.95" gibi minimum SPİ değerinin ifade ettiği "çok şiddetli kuraklık" derecesine kadar görülen ekstrem kuraklıklar tespit edilmiştir. Tüm AGİ ler; 1965 ve 2008 yılları arasında mevcut toplam 528 ay içinden hidrolojik olarak en az 225 ay kurak döneme sahiptir. Ayrıca 5 AGİ için elde edilen debi süreklilik eğrilerine havza genelinde bakıldığında, 2228 nolu AGİ'de zamanın %99 da %48,1'e kadar azalma gözlenmiştir.

Nehirlerdeki habitatların sürdürülebilirliği için gerekli olan akış miktarı olarak tanımlanan çevresel akışda, kurak dönemde tüm AGİ'lerde %2,8 den %48,1'e kadar oranlarda azalmalar görülmüştür. Sonuç olarak, Doğu Karadeniz havzası nemli ve yağışlı bir iklime sahip olmasına rağmen su kaynakları projelerinin hayata geçirilmesinde, bölgede meydana gelen hidrolojik kuraklığın şiddet ve süre etkilerinin göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Özellikle kuraklık eğilimi görülen ayların izlenmesi ve su kaynakları planlayıcılarının olası kuraklık için gerekli tedbirleri alması önem arz etmektedir.

Nehir havzalarında mansap su hakları haricinde canlı hayatın devamlılığı için bırakılacak su miktarının hesaplanması için tek bir global yöntem kullanılması sakıncalıdır. Canlı hayat için su hesabı yapılmadan önce hem planlayıcılar hem ihtisas kurumları havzayı iyi tanımlamalıdır. Öncelikle nehrin tesis yerindeki uzun dönemli doğal akımları yorumlanmalıdır. Nehir havzasının beslenme durumu, karstik kaynaklar, yeraltı suyu beslemesi, maksimum ve minimum akımlar incelenmelidir. Doğal akımlar ile Debi Süreklilik Eğrisi çizilmeli ve yorumlanmalıdır. Havzanın membaındaki

müdahale durumu incelenmelidir. Nehrin uzun dönemli güvenilir akımları gözden geçirilmeli, önerilen projenin membaında ve mansabında işletmede olan veya planlanan depolamalı ve/veya depolamasız tesis olup olmadığı ve bu tesislerin su bırakma/kullanma durumları bilinmelidir. Unutulmamalıdır ki, depolamalı ve pike iştirak eden bir tesisin mansabında projelendirilen bir tesis membadan gelen suyu işletecektir. Bu da canlı hayat için bırakılan su miktarını etkileyebilecektir.

İhtisas kuruluşları ve akademisyenlerin gerçekleştirebileceği ülke havzaları çapında ve uzun soluklu bir " Sucul Hayat Tespit ve Habitat İhtiyaçları" çalışmasının ivedilikle gerçekleştirilmesi gerekmektedir.

4628 Sayılı Kanun Kapsamında verilen formata göre fizibilite çalışması yapan firmalardan "Bölüm 4 İklim ve Su Kaynakları" bölümünde incelenen "Proje Taşkın Durumu" na benzer olarak üzerinde çalışılan suya ait "Düşük Akım Analizi ve Çevresel Akım Analizi" istemek için gerekli düzenlemenin yapılması yararlı olacaktır. İlgili kurumlarca onaylanan yöntemlere dayanan bu analizlerin önceden yapılması projenin ÇED aşamasında değerlendirilmesini kolaylaştıracak ve yatırımcı işletme çalışması özetinde bu akımlara dayanan faydalarını anında görüp gerekli hazırlıkları yapabilecektir.

KAYNAKLAR

MMO, Meteorolojik Karakterli Doğal Afetler ve Meteorolojik Önlemler, TMMOB Meteoroloji Müh. Odası, Ankara, 1999.

IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) WGI, Climate Change 1995: The Science of Climate Change, edited by Houghton et al., Cambridge Univ. Press, New York, 1996.

Keskin, ME., Terzi, Ö., Taylan, E.D. ve Keskin, A.G., "Isparta Bölgesi Meteorolojik Kuraklık Analizi", I. Türkiye İklim Değişikliği Kongresi – TİKDEK, İTÜ, İstanbul, 2007.

McKee, T. B., Doesken, N. J. ve Kleist, J., "The Relationship of Droght Frequency and Duration to Time Scales Reprints", 8th Conference on Applied Climatalogy, Anaheim, CA, USA, 179-184, 1993.

Özdemir, A.D., Karaca, Ö., Erkuş, M.K., "Akarsularda Ekolojik Dengenin Korunması İçin Düşük Akım Hesabı", Nehir Havzaları Yönetimi Uluslararası Kongresi, Antalya, 2007.

Paulo, A.A., Ferreira, E., Coelho, C. ve Pereira, L. S., "Drought class transition analysis through Markov and Loglinear models, an approach to early warning", Agricultural Water Management, 77: 59–81, 2005.

Sırdaş, S. ve Şen, Z., "Meteorolojik kuraklık modellemesi ve Türkiye uygulaması", İTÜ Dergisi/d Mühendislik, Cilt:2, Sayı:2, 95-103, 2003.

Szalai, S., Szinell, C. S., and Zoboki, J., "Drought monitoring in Hungary, in: Early warning systems for drought preparedness and drought management", World Meteorological Organization, Lisboa, 182-199, 2000.

TEMA Vakfı, Kuraklık Etkilerinin Azaltılmasında Kurağa Dayanıklı Bitki Çeşit Islahı ve Kurak Koşullarda Yetiştirme Tekniği Konulu Toplu Tartışma, Ankara, 2001.

Tsakiris, G. and Vangelis, H., "Towards a drought watch system based on spatial SPI", Water Resources Management, 18: 1-1, 2004.

Vicente-Serrano, S.M. and Lopez-Moreno, J.I., "Hydrological response to different time scales of climatological drought: an evaulation of the standardized precipitation index in a mountainous mediterranean basin", HESSD, 2, 1221-1246., 2005.

WMO, Monitoring, Assesment and Combat of Drought and Desertification, , Ceneva, TD-No.55., 1992.

Türkeş M, "İklimsel değişebilirlik açısından Türkiye'de çölleşmeye eğilimli alanlar" DMİ/İTÜ II. Hidrometeoroloji Sempozyumu Bildiri Kitabı, , Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü, Ankara, 45-57,1998.

UNCCD, The United Nations Convention to Combat Desertification in those Countries Experiencing Serious Drought and/or Desertification, Particularly in Africa. Text withAnnexes, United Nations Environment Programme (UNEP), Geneva,1995.

Smakhtin, Low-flow hydrology: a review. Journal of Hydrology. v240. 147-186, 2001

Yıldız, O., "Yukarı Kızılırmak Havzası'nda SYİ Metodu İle Hidrolojik Kuraklık Değerlendirmesi", V. Ulusal Hidroloji Kongresi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara, 2007.

HİDROLOJİNİN TARİHSEL YÖNÜ

1925 Talimatnamesi, Türkiye'de Akarsu Ölçümlerinin Başlangıcı

Galip Büyükyıldırım[1)]

Özet: "Su İdarelerinin Taksimat, Teşkilat ve Vezaifi Hakkında Talimatname" 22 Temmuz 1925 günlü Resmi Gazete'de yayınlanmıştır. Su yönetimlerinin oluşturulup, bölgelendirilmesi ve görevlerinin belirlenmesi başlığını taşıyan bu kararname, bildiri içeriğinde kısaca **"**1925 Sular Talimatnamesi" olarak adlandırılacaktır. Türkiye Cumhuriyeti'nin ikinci Bayındırlık Bakanı, su mühendisliğinin öncüsü Süleyman Sırrı'nın hazırladığı, Bakanlar Kurulu ve Reisicumhur Gazi Mustafa Kemal'in onayları ile yayınlanan bu yönetmelik Türkiye'de su işleri çalışmalarının başlangıç adımını oluşturur.

Eski çağlarda ve Osmanlı döneminde de Anadolu'da kurulup işletilmiş pek çok su yapısı vardır; ancak su işleri 20. yüzyıl başındaki yıkıcı savaşlar nedeniyle duraklamış, çağdaş bilimsel temellere oturmaktan çok uzak kalmıştır. 1925 Sular Talimatnamesi, öncelikle ülke kaynaklarının, akarsularının araştırılmasını, ölçülmesini, harita ve tutanaklara geçirilerek, daha sonra başlatılacak yapım çalışmaları için güvenilir verilerin, sağlam bir teknik altyapının oluşturulmasını amaçlamaktadır. Bu amaçla akarsuların ve havzalarının topoğrafik, meteorolojik, hidrolojik, jeolojik ölçümlerinin nasıl yapılacağı talimatname içeriğinde çok ayrıntılı olarak belirtilmiştir.

1925 Sular Talimatnamesi ile:

- Türkiye'de çağdaş bilimsel, teknik anlamda hidrolojik ölçümler başlamış ve başarılmış; bu çalışmalar erken Cumhuriyet döneminde "Akarsu İstikşaf Seferberliği" olarak adlandırılmıştır.
- İlk hidrolojik ölçüm ve değerlendirmelerle birlikte bunlara dayanılarak, 1930'lardan başlamak üzere pek çok su işleri çalışmaları ve yapıları gerçekleştirilmiş, ulusun yararına sunulmuştur.

Anahtar Sözcükler: 1925 Sular Talimatnamesi; Süleyman Sırrı; Akarsu İstikşaf Seferberliği.

[1)] ADO Enerji-ANTALYA, e-posta: galipbm@hotmail.com

Regulations of 1925,
Begin of Flow-Measurements in Turkey

Abstract: The waterworks done in the first decade of Turkish Republic and until the 1940's is called "Mobilization of Exploring Streams". "Regulations of Division, Organization and Duty of the Bureau of Water" which had been established by the cabinet in July 22, 1925 is the beginning of this mobilization movement. Regulations of Waterworks 1925 had been prepared by Süleyman Sırrı who is the advance courier of water engineering in Turkey and the second Minister of Public Works of Turkish Republic.

Not only projects of drainage, flood mitigation, irrigation and domestic water; but also projects of research, exploring, planning and water programming have been realized by the governmental waterworks organizations established during that period. As a result of the researches done in Antalya, important work was observed to be done in this region during 1930's and 40's. Many correspondences, projects, documents and photographs found in the archives of 13th Directorate of Waterworks (DSİ)/Antalya/Turkey that can cast light on matters throughout Turkey were observed and evaluated.

Keywords: Regulations of Waterworks 1925; Süleyman Sırrı; Mobilization of Exploring Streams

1. TALİMATNAME'NİN YAYINLANIŞI VE İMZASI BULUNANLAR

(Metin içerisindeki eğik yazılar o dönemin özgün anlatımıdır.)

2245 aded basılıp yayınlanan kararname suretinde "***Su İdarelerinin Taksimat, Teşkilat Ve Vezaifi*** (görevleri) ***Hakkında Talimatname****, İcra Vekilleri Heyeti'nin* (Bakanlar Kurulu) *22 Temmuz sene 341 tarihli içtimaında* (toplantısında) *kabul ve tasdik edilmiştir."* denilmekte olup altında *Türkiye Reisicumhuru* **Gazi Mustafa Kemal** ve *Başvekil* ***İsmet*** olmak üzere 8 bakanın adı ve imzaları bulunmaktadır (Demirbilek 1996).

Cumhuriyet ilan edileli iki yıl olmamış, yeni yazı ve soyadı yasaları çıkmamış, bakanlar yalnızca adları ile anılmakta, resmi gazete Arap harfleri ile basılmaktadır. Millet fakr-ü zaruret içerisinde harap ve bitap düşmüş; savaş yaraları sarılmakta iken Hükümetin su ölçümlerini düzenleyen teknik ayrıntıları da içeren bir kararname yayınlaması, büyük Atatürk'ün de böyle bir kararnameye Cumhurbaşkanı olarak imza atması o günlerde genç Cumhuriyetin ülkenin geleceğini çağdaş bilimsel, teknik temellere dayandırma azim ve kararlılığının bir göstergesidir. Talimatnamenin 14. maddesinde su idarelerinin kuruluş amaçları günümüzde için de anlamlı ve geçerli olabilecek şu sözlerle özetlenmektedir.

"*Memlekette akar ve durağan sular ile bunların havzaları hakkında tetkikat yaptırılarak suların ahval-i umumiyesi hakkında malumat elde etmek ve bu suretle müsait olan yerlerde araziyi sulamak ve sulardan kudret-i elektrikiyye istihsal ve sanayie tatbik etmek, iktisadi menafia* (ekonomik yararlar) *temin ederek şehir ve kasabaların tenevvürü* (aydınlatılması) *suretiyle kasabaları imar etmek ve muharrik kuvvetlerden istifade ederek sanayiin itilasına* (yükselmesine) *yardım etmek ve akarsularla ziraatte*

sulama usulünün tatbiki ile ana toprağımıza bereket, köylümüze refah ve saadet ve bazı tahripkar, serseri suların tevlid ettiği öldürücü ve zehirnak bataklıkları kurutarak millete yeniden nur ve hayat vermekten ibarettir."

Günümüzdeki 24 bakanlığa karşın 1925 Kararname suretinde 11 bakanlık bulunmakta; 3 bakan vekalet yoluyla aynı zamanda ikişer bakanlığı yürüttükleri için o günlerde Türkiye'de sekiz bakan bulunduğu anlaşılmaktadır.

Cumhurbaşkanı büyük Atatürk ve Başbakan İsmet İnönü dışında bu kararnamede imzası bulunan sayın bakanları geçen 85 yıllık *"perde-i nisyan"*ın (unutulma) ardından bu bildiri kapsamında kısaca anımsamakta yarar görülmektedir.

Adliye Vekili Mahmut Esat (**Bozkurt** 1892-1943): Hukuk eğitimi ve Avrupa'da doktorasının ardından Kuvayı Milliye'ye katılarak, önemli yararlıklar gösterdi. TBMM 1. Dönem milletvekili olarak Meclis'e girdi, bu görevini 1943'de ölümüne değin sürdürdü. 1922-1923 iktisat; 1923-1930 yılları arasında adliye vekilliği yaptı. Türkiye Cumhuriyeti laik hukuk sisteminin temel yasaları, Mahmut Esat Bozkurt'un adalet bakanlığı döneminde yürürlüğe girdi. 1925'te Ankara Hukuk Mektebi'nin açılmasında büyük katkıları oldu. Bozkurt adlı Türk gemisiyle Lotus adlı Fransız gemisinin Ege'de çarpışması nedeniyle iki ülke arasında çıkan anlaşmazlıkta Türkiye Cumhuriyeti Hükümeti'ni Lahey Uluslararası Adalet Divanı'nda temsil etti. 1930'dan sonra Ankara Üniversitesi Hukuk ve Siyasal Bilgiler Fakülteleri'nde Anayasa ve Devletler Hukuku profesörlüğü yaptı.

Müdafa-i Milliye Vekili Recep (**Peker** 1889-1950): 1907 yılında Mekteb-i Harbiye'yi bitirdi. Kurtuluş Savaşı'na katıldı, 1923'de Kütahya Mebusu seçildi. 1924-1930 yılları arasında iç işleri, savunma, bayındırlık bakanlıkları; 1931-36 arası CHP genel sekreterliği, 1946-47'de başbakanlık yaptı.

Hariciye Vekili Dr. Tevfik Rüştü (**Aras** 1883-1972): Tıbbiye'yi bitirdi, doktor olarak çeşitli görevlerde bulundu. İttihat Terakki'ye girdi, Selanik'te Mustafa Kemal ile yakın arkadaş oldu. 1920 yılında 1. dönem Menteşe (Muğla) milletvekili seçildi, İstiklal Mahkemesi üyeliğine getirildi. Beş dönem milletvekilliği, 1923-1939 yılları arasında on beş yıl Dışişleri Bakanlığı yaptı.

Maarif Vekili: Hamdullah Suphi (**Tanrıöver** 1885-1966): Mekteb-i Sultani (Galatasaray Lisesi)'ni tamamladı. Öğretim üyeliğinin yanısıra edebiyat ve politika ile uğraştı. Meclis-i Mebusan ve ilk TBMM'ne Antalya üyesi olarak girdi. İstanbul'da işgalci güçlere karşı düzenlenen açık hava toplantılarında, daha sonra TBMM'de ve Kurtuluş Savaşı yıllarında coşkulu, etkili konuşmalar yaptı. Mehmet Akif Ersoy'un yazdığı şiir TBMM'nin 12 Mart 1921 tarihindeki toplantısında ilk kez Hamdullah Suphi tarafından büyük bir coşkuyla okundu ve ayakta alkışlarla İstiklal Marşı olarak kabul edildi. 1920 ve 1925 yıllarında iki kez Milli Eğitim Bakanı oldu, sonraki dönemlerde de milletvekilliği, büyükelçilik yaptı.

Dahiliye ve Bahriye Vekili İhsan (Topçu İhsan, soyadı: **Eryavuz** 1877-1947) **:** Topçu subayı oldu. Binbaşı rütbesindeyken emekli olarak ticarete atıldı. Kurtuluş Savaşı'na

katıldı. Cebelibereket (Osmaniye) mebusu olarak TBMM'nde bulundu. Ankara İstiklal Mahkemesi başkanı, 1924-1928 arasında bahriye vekili olarak görev yaptı. Yavuz zırhlısının onarımı için havuz alımı sırasında bir Fransız şirketinden rüşvet aldığı iddiasıyla yüce divanda yargılandı, hüküm giydi.

Ticaret ve Maliye Vekili Ali Cenani (1872 1934): Osmanlı Meclisi Mebusanı'nda 4 dönem, TBMM'de 3 dönem milletvekilliği, 1924-1926 yılları arasında ticaret bakanlığı yaptı. Genç Türkiye Cumhuriyeti'ni tanıtmak üzere Karadeniz sergi gemisi onun bakanlığı döneminde Avrupa limanlarına gönderilmiştir. Emrine verilen 500 bin liranın harcanmasında usulsüzlük yapıldığı gerekçesiyle Mecliste hakkında soruşturma komisyonu oluşturuldu. 1928'de dokunulmazlığı kaldırılarak yüce divana sevk edildi. 1 ay hapis ve para cezası aldı.

Ziraat Vekili (tarım bakanı) **Mehmet Sabri** (**Toprak** 1877-1938): Hukuk fakültesini bitirdi, PTT Genel Müdürlüğü, 1915-1916 yılları arasında Fenerbahçe Spor Kulübü başkanlığı yaptı. Meclis-i Mebusan ve TBMM'de Saruhan (Manisa) ve Cebelibereket (Osmaniye) milletvekili, 4. Hükümet'te (1925-1927) ziraat vekili olarak görev aldı.

Nafıa ve Sıhhat ve Muavenet-i İçtimaiye (sosyal yardım) **Vekili Süleyman Sırrı**: Sular Talimatnamesi'ni hazırlayıp Bakanlar Kurulu ve Cumhurbaşkanı Mustafa Kemal'in onayını alarak uygulamayı başlatan Süleyman Sırrı üzerinde 2. bölümde ayrıntılı olarak durulacaktır.

2. TÜRKİYE'DE SU MÜHENDİSLİĞİNİN ÖNCÜSÜ, 2. BAYINDIRLIK BAKANI SÜLEYMAN SIRRI

(Selanik 1874 - Ankara 15.12.1925; Belge 1)

Cumhuriyet öncesinde de önemli hizmetler yapmış bu değerli mühendis ve öğretmen Osmanlı döneminde yetişmiş az sayıda teknik adamdan biri olarak daha başlangıçta Cumhuriyet'e bağlanıp Ankara'ya gelerek milletvekili olmuş, önemli görevler almış, 1924-1925 yıllarındaki kısa bakanlık döneminde başarılı işler yapmıştır. Süleyman Sırrı Bey hazırladığı Sular Kararnamesi'nin yayımından 5 ay sonra 15.12.1925 günü, 51 yaşında yaşamdan ayrılmış; Cumhuriyet'in su mühendisleri 1930, 40'lı yıllarda onun öngörülerini uygulamış, yaşama geçirmişleridir.

2.1. Neden Öncü

Süleyman Sırrı'nın "Türkiye'de su mühendisliğinin öncüsü" olarak nitelenmesinin gerekçeleri aşağıda sıralanmıştır (Büyükyıldırım 2009):

-İstanbul'da Kondüktör Mektebi (Yıldız TÜ) ve Mühendis Mektebi (İTÜ)'de su dersleri öğretmenliği yapmıştır.

- Su konusundaki kitap ve raporları günümüz İTÜ kütüphanesindeki en eski ve değerli yerli yapıtlar arasında yer almaktadır.

-Bağdat'taki Hindiye Seddi (1906-1908) ve Konya Sulaması (1907-1913) projelerinin gerçekleştirilmesinde önemli görevler yapmıştır.

-Türkiye Cumhuriyeti'nin kuruluşundan sonraki su işleri uygulamalarının gelişiminde öncü ve yol gösterici olan 22 Temmuz 1925 tarihli "Su İdarelerinin Taksimat, Teşkilat ve Vezaifi Hakkında Talimatname" ve 28.4.1926 tarihli "Sular Hakkında Kanun"u hazırlayıp uygulamaya koydurmuştur. Ancak bir ders ya da teknik uygulama kitabında bulunabilecek ayrıntıların Süleyman Sırrı Bey'in mesleki birikimlerinden derlendiği ve Talimatname'nin onun kaleminden çıktığı açıkça bellidir.

2.2. Süleyman Sırrı'nın Yaşamından Başlıklar

-1874 (1290) Selanik doğumlu.

-Babası: Müderris Yusuf Efendi.

-Annesi Zühre Hanım ile Atatürk'ün annesi Zübeyde Hanım kardeş torunlarıdır. Atatürk ile birlikte dairesel biçimli bir aile soyağacını çizip hazırlamıştır (Parlayan ve Tulga 2010).

-Selanik İptidai ve Rüştiye mekteplerinden sonra öğrenimini İstanbul'da sürdürdü.

-1889-1896: Hendese-i Mülkiye-i Şahane'yi (Mühendis Mektebi→Yüksek Mühendis Mektebi → İTÜ) bitirdi.

-10 Nisan 1897: Suriye Vilayeti Bayındırlık İşleri Başmühendis yardımcısı (Umur-u Nafıa Sermühendis Muavini) olarak atandı.

-1900-1906 yılları arasında Selanik, Yanya, Kosova vilayetleri bayındırlık işleri başmühendislik görevlerinde bulundu

-8 Nisan 1906 – 23 Ekim 1907: 4000 kuruş maaşla Bağdat Vilayeti, Hindiye Seddi İcra-i Keşfiyyat ve Ameliyat-ı Sermühendislik Refakati.

-21 Haziran 1908: Kudüs-i Şerif (Kudüs) Sancağı Sermühendisliği.

-2 Eylül 1908: 2500 kuruş maaşla Hüdavendigar Vilayeti (Bursa) Sermühendisliği.

-27 Mart 1910: turuk-u maabir (yollar ve geçitler) idaresi müdür muavinliğine nakil.

1912: İstanbul Nafia Müdüriyeti'ne tayin.

-24.12.1912: Bayındırlık Genel Müdürü ve heyet başkanı olarak Konya Ovası Sulaması kabulünü yaptı (Bildirici 1994).

-6 Kasım 1913: Konya Ovası Sulaması işletme antlaşmasına hükümet adına imza attı.

-24 Eylül 1921: *Nafıa Müdür-ü Umumisi Süleyman Sırrı ve muavini Asaf Beyler vazifelerinde gösterdikleri ihmal ve lakaydiden* (ilgisizlik) *dolayı muamelat-ı idare müzebzeb* (karmakarışık) *bir hale geldiğinden hizmetlerinden affedildiler (İrade-i Seniye).* – Osmanlı Hükümeti'nin gözünden düştükleri anlaşılıyor-

-1921-1923: Mühendis Mektebi su dersleri öğretmeni.

-1923: TBMM II. Dönem İstanbul Milletvekili. Fransızca bilir. Evli 5 çocuklu.

-26/11/1923: Konya ovasındaki sulama sahasının bakımsızlığına dair önerge verdi.

-19.1.1924-15.12.1925: Muhtar Bey'in istifası ile Bayındırlık Bakanlığı'na atandı.

-Kısa bir aralık dışında 1, 2, ve 3. İnönü Hükümetleri'nde görev yaptı.

Bakanlığı döneminde TCDD Genel Müdürü Behiç Erkin ile, Atatürk'e de yansıyan anlaşmazlıkları oldu (Kıvırcık 2008). Bu dönemde Kütahya-Tavşanlı, Ankara-Musaköy, Samsun-Sivas hatlarının yapımına başlanmıştır. **"Yurdumuzu demir ağlarla örmek"** deyişi ona aittir. Sulama işlerinde yabancı uzmanların yanlış düşüncelerini irdelemiş ve ekonomik çözümler önermiştir (Uluçay ve Kartekin 1958).

22 Temmuz 1925: *Su İdarelerinin Taksimat, Teşkilat ve Vezaifi Hakkında Talimatname*'nin yayınlanması.

26.10.1925: Bayındırlık Bakanı olarak "Sular Hakkında Kanun" önergesini imzaladı,

28.4.1926'da yasalaştı.

15 Aralık 1925: yaşamdan ayrıldı.

2.3. Mühendis Süleyman Sırrı'nın Mesleki Yayınları

Süleyman Sırrı'nın mesleki yayınlarının ad ve kısa açıklamaları belgeler bölümü başlangıcında; (Çizelge 1)'de verilmiştir. Islah-ı Enhar (Nehirlerin Düzenlenmesi–1925) adlı kitap kapağı (Belge 3)'de; 1911'de Bartın'daki bir akarsu ölçüm çalışması fotoğrafı (Belge 2)'de sunulmuştur.

3. 1925 TALİMATNAMESİNDEN ANA BAŞLIKLAR, TEKNİK AYRINTILAR

Bölüm başlıkları, bölümlendirme, adlandırma ve numaralandırma talimatnamenin özgün anlatımına (Demirbilek 1996) uygun olarak verilecek (*eğik yazılar)*, ayrıntılar özetlenecek, günümüz Türkçesi ile kısa açıklamalar (normal yazı) yapılacaktır.

A- Su İdarelerinin Teşkilatı ve Müsdahdemin Vazifeleri (Havzaların Taksimatı) Hakkında Talimatname (Madde1-8)

Bu bölümde su idarelerinin örgütlenme ve kadrolaşması tanımlanmaktadır. Özetle:

Madde 1- Bayındırlık Genel Müdürlüğü'ne bağlı olarak yeteri kadar "Su İdaresi" kurulacaktır.
Madde 2- Su İdareleri,.. suların akışına ve havzalarına göre ... gereğinde değişebilmek üzere oniki daireye ayrılmıştır.

Su İşleri Dairelerinin İdari Vazifeleri (Madde 9-13)

Su işleri daire müdürlerine bağlı olarak mıntıka başmühendisleri, şube mühendisleri, kısım kondüktör ve operatörleri, muhasebe memurlarının yetki ve görevleri tanımlanmaktadır. Örneğin; (Madde 9) içeriğinden o tarihlerde Türkiye'de harita dairelerinin 1/200000 ölçekli haritaları yapmakta olduğunu öğreniyoruz. Daire müdürleri…"*bu haritalardan mevcutlarından plan çepteru* (plançete*?) vasıtasıyla ölçerek havza-i mürekkebeler sathının yekününü* (bileşik havzalar toplam yüzeyini) ve havza sularının konum ve özel durumlarına göre "*daireleri mıntıkalara ve mıntıkaları şubelere ve şubeleri kısımlara ayıracak ve bu taksimatı Müdüriyet-i Umumiye'nin tasvibine arz edecektir."*

Su İşleri Dairelerinin Maksud-u Teşkili (kuruluş amacı)***, Fenni Vazifeler*** *(Md. 14-16)***.**

Madde 15- Fenni Vazife

1- Irmak, çay, sel çayı ve derelerin havza alanları 1/200 000 ölçekli genelkurmay haritalarından planimetre ile ayrı ayrı ölçülerek bulunacaktır.

3- Doğru haritaları mevcut olmayan kısımlarda ırmakların menbasından mansabına kadar bütün boylarınca istikşaf haritaları yapılacaktır.

4-Irmakların geçitleri üzerinde ve havzadaki arazinin jeolojik teşkilatı, ormanlı ormansız yerleri, kayalık ve karlık, çayırlık ve bataklık ve ziraata yarayan mıntıkaları ayrı ayrı tetebbu edilerek (araştırılarak) gösterilecektir.

5-Meyilli alçak sular, coşkun sular yatakları, yataklardaki mevad-ı sulbenin (katı maddelerin) nevi ve cesametleri (tür ve irilikleri), ... yaptıkları hasaratın derecesi ve hasarzede sahanın hudutları kayıt ve işaret edilecektir.

6- ... bataklıkların mevki ve miktarları ve esbabı (nedenleri) ve denize veya göle veya bir çaya veya bataklığa akıp akmadığı kayıd ve işaret edilecek ve mümkün mertebe istikşaf usulü ile haritaların tanzim ve ıslahı ...

7- Irmaklar üzerinde su ile çalışan mevcut tesislerin türü ve yerleri, geçen su miktarı ve buna göre yararlı gücü, düşü yüksekliği bentlerin civara bataklık veya sair suretle zarar yapıp yapmadığı ve kuvvetler toplanarak daha nafi netayiç istihsali (daha yararlı sonuçlar elde edilmesi), mümkün olup olmadığı tetkik edilecektir.

8- ... sularda muğlak olarak mevcut iri ince kum ve mil çamurun cem'an veznen miktarları, civarda sulanabilecek arazi olup olmadığı ve ahalinin bedel mukabilinde sulamaya isteği olup olmadığı ve bağ ve bostan ve meyve ağaçları bahçeleri mevcut ise büyüklüğü ve arazi ziraate yaramıyorsa ormanlığa müsait olup olmadığı ve ne cins ağacın yetiştirilmesi mümkün bulunduğu kaydedilmelidir. (Bir anlamda DSİ terminolojisindeki planlama raporu!)

9- Havzalardaki göllerin mesaha-i sathiyesi, ... , suların nereden geldiği ve dahilen kaynakları veya su kaçıran düdenleri bulunup bulunmadığı ve varidat ve sarfiyatı (gelir ve gideri), ... gemi, kayık vesaire gibi merakibin (merkebler = binek) seyir ve seferine müsait olduğu veya olmadığı, müsait ise ne büyüklükte merakibin işleyebileceği, havza içindeki ihracat ve duhulatın (gelen giden su dengesi) seyir ve sefahini koruyup korumayacağı veyahut gölün kurutulması daha nafi olacağı hakkında malumat toplanacaktır.

***Madde 16- İptidai İstikşafat* (Ön İncelemeler)**
1- Çay, ırmak ve dere planlarının alınması.
2- Arzani makta (enkesit) alınması.
3- Tulani makta (boykesit) alınması.

***Sular Hakkında Rasadat** (gözlemler)*
4- Su Ölçüleri.
5- Rasadat Saatleri: Sabah saat altı ve akşam altıda olmak üzere günde en az iki ölçüm; taşkın anlarında öğlen ve geceyarısı da ölçümler yapılacak.
6- Suların Evsafı: Berrak, bulanık, çamurlu, buzlu, donmuş olma durumları belirtilecek.
7- Rasıtlar (gözlemciler) tarfından yazılacak meşruhat (açıklamalar).
8- Ölçülerin okunmasında tesadüf edilen güçlük.
9- Ölçü Yerleri.
10- Röper Noktaları.
11- Ölçülerin muhafazaları ve tamirleri.
12- Sürat ve geçen su miktarının tayini.
13- Sabih (yüzer) cisim ile su yüzündeki süratin tayini.

Rasadat Cuye (akım gözlem)
14- Rasadatın envaı ve rasadat cuye defterleri.
15- Yağmur hakkında rasadat saatleri.
16- Yağmur ölçülerinin mevkileri.
17- Rasadata dair verilecek malumat.
18- Fevkalade sağanaklar.
19- Kar, don çözülmesi
20- Havanın ahvali.
21- Rüzgarın istikameti.
22- Ölçünün tamiri, muhafazası.
23- Tebahhurat miktarının tayini.
24- Derece-i hararet, derece-i rutubet, tazyik-i hava.
25- İşbu talimatnamenin icra-i ahkamına nafıa vekili memurdur (hükümlerinin uygulanmasına Bayındırlık Bakanı görevlidir).

4. 1925 TALİMATNAMESİ VE AKARSU İSTİKŞAF SEFERBERLİĞİ.

1925 Talimatnamesi'nin yol göstericiliğinde 1940'lı yıllara değin gerçekleştirilen su işleri çalışmaları ***'Akarsu İstikşaf Seferberliği'*** olarak anılır (Antalya Su İşleri ; Sf. 53). Bu dönemde bataklık kurutma, taşkın önleme ve sulama çalışmaları da yapılmış olmakla birlikte istikşaf yani; araştırma, inceleme, ölçme ve bunların yazı, çizi, değerlendirme çalışmaları su işlerine damgasını vurmuş; ana öğeyi oluşturmuştur.

Bu süreçte akarsularımızın havzaları, kaynakları, kolları, uzunlukları, hızları, eğimleri, debileri, taşkınları, çevrelerindeki yağışlar, akışlar, buharlaşmalar,.. ölçülmüş, hesaplanmış; jeolojik yapı, ormanlar, tarım alanları, yollar, köprüler, değirmenler ve pek çok şey tarihte ilk kez olarak belirlenip haritalar üzerine işlenmiştir.

İvedi çözüm bekleyen büyük sorunların yanı sıra böylesine uzun vadeli çalışmalara vakit ve güç ayrılması; genç Cumhuriyet'in olaylara ne denli geniş ve geleceğe yönelik bir perspektiften baktığının; bilim, teknik, araştırma ve planlamaya verilen önemin açık bir göstergesidir. Bu araştırmaların büyük zorluk ve güçlüklere karşın genç Cumhuriyet kuşağının büyük özverili ve bilinçli çabalarıyla gerçekleştirildiği; ortaya konulan sonuçların yüzeysel ve gelişigüzel yapılmış işler olmadığı, ciddi, ideolojik ve teknik anlamda tutarlı bir altyapıya dayanılarak hazırlandığı o dönemin belgelerinden günümüze yansımaktadır.

5. 1932 YILINDA ANTALYA'DAN UYGULAMA ÖRNEKLERİ

Talimatname'nin 1. ve 2. maddeleri uyarınca Bütün Türkiye'de Su İşleri Daire Müdürlükleri kurulmaya başlanmış; ilk olarak Bursa'da 1. Daire, Aydın'da 2. Daire kurulmuştur. Üçüncü Daire Su İşleri Müdürlüğü Antalya'dadır, sonradan Oray soyadını alacak olan Halil Bey 22/11/1931 günü müdürlük görevine atanmıştır. Antalya'da böylece başlayan süreçte istikşaf birimleri öncelikle ve hızla oluşturularak araziye gönderilmiş, yoğun olarak araştırma, inceleme, ölçüm ve yazım çalışmalarına girişilmiştir.

Bu dönemde en büyük sorunlardan biri ulaşımdır. 1930'ların başında Su İşleri Dairesi'nin elinde bir tane otomobil vardır **(**Belge 4); yol yoktur, yetersizdir. Bu koşullarda Halil Bey ve genç mühendisleri çoğu kez atlara, develere binerek (Belge 5) Antalya'nın dağlarına, ovalarına dağılmışlar, arazide haftalarca dolaşmışlar, halkla birlikte çalışmışlardır (Belge 6).

Bu ölçüm, keşif birimleri "istikşaf postaları", görevlerini başarabilmeleri için lastik bottan (Belge 7), çadıra, teodolit ve nivolardan (Belge 8) fotoğraf makinalarına ve her türlü kırtasiye gerecine değin gerekli ve o günün koşullarında en iyi araçlarla donatılmışlardır.

Üçüncü Daire Su İşleri Müdürlüğü'nün çalışma sonuçları, yapıtları kısa sürede ortaya çıkmaya başlamış olup DSİ XIII. Bölge Müdürlüğü'nde 1986-2006 yılları arasında süren görev sürecimizde yaptığımız araştırmalarda bu raporların çok iyi korunmuş örneklerine ulaşılmıştır. Aşağıdaki bölümlerde bu belgeler günümüzle bağlantılar kurularak ayrıntılı ele alınacak, o günlerdeki su ölçümleri, su mühendisliği araştırma çalışmaları ortaya konup irdelenecektir.

6. ESKİ TEKNİK BELGELERDE GÖZLENEN BAZI ÖZELLİKLER

6.1. Yazı ve Çizim Tekniği Yönünden

Proje, çizim, harita ve raporlar belirli gruplar halinde toplanarak kapaklı dosyalara konulmuştur. Bu alt dosyalar da kalın karton klasörlere yerleştirilmiş olup bunların kapakları kendi doğal uzantıları olan kırmızı renkli, yassı örgülü kordonlarla bağlanmıştır. Aranılanların kolayca bulunabilmesi amacıyla, belgeler genellikle dosyalar içerisine düzgün ve sistemli yerleştirilmiş olup dosya ve klasör kapaklarında içeriklerini açıklayıcı antetler bulunmaktadır. 70 yaşını aşkın bu dosya ve klasörler yabancı markalı olup çelik mekanizmaları paslanmamış olarak bulunmaktadır.

Harita ve detaylar genellikle ince aydınger ya da eskiz kağıdı ayarında, bu gün için kaliteli sayılamayacak saydam (şeffaf) kağıtlara çizilmiş olup bunlardan alınmış bazı ozalit kopyalar da yine dosyalar içerisinde bulunmaktadır.

Çizim paftalarında, antet ve kağıt boyutlarında standart bir büyüklük bulunmamaktadır. Büyük boyutlu kağıtlar yaklaşık (A4) boyutunda katlanarak dosyalara konulmuşlardır. Yaklaşık 1.5mx1.2m boyutlarındaki 1/25000 ölçekli Dim ve Alanya ana haritası ise (Belge 11) günümüzde pek rastlanmayan lifli, mumlu görünümlü ve daha kaliteli bir başka tür kağıda çizilmiş olup çok sayıda katlanmış olarak dosyasında bulunmaktadır. Bu haritanın da katlanma yerlerinde kırılma, yırtılma görülmemiştir.

Harita ve çizimlerde çini mürekkebi, grafos kalem ya da trilin kullanılmış olmalıdır. Yeşil, kırmızı, mavi renkli çizgi ve boyamalar da sıkça kullanılmıştır.

Yazı ve çizimlerde şablon kullanılmamış tümü elle yapılmıştır. Gereken yerlerde pergel kullanılmıştır.

Resmi yazılar genellikle A4 ya da A5 boyutunda basılı, antetli kağıtlara daktilo (yazı makinası) ile yazılmış olmakla birlikte el yazılı yazışma örneklerine de sıkça rastlanmaktadır. Yazışmalara ekli telgraf metinleri de standart basılı telgraf kağıtları üzerine el yazısı ve sabit kalem (kopya kalemi) ile yazılmış olarak bulunmaktadır. Resmi yazı ve proje yüzlerine 5, 25, 50 kuruşluk damga ve 10 kuruşluk tayyare pulları yapıştırılmıştır.

6.2. Dil Yönünden

Yetmiş yıl öncesinin belgeleri; teknik dilimizin Cumhuriyet ile birlikte geçirdiği değişim ve gelişimi ortaya koyması bakımında da ilginçtir. 1930'ların başında doğal olarak bu gün için anlaşılmaz; yoğun bir Osmanlıca kullanılırken bir yandan da dilde Türkçeleşmenin başladığı hissedilmektedir. Çünkü; 1928'de yazı devrimi yapılmış, büyük Atatürk dil devrimi konusunda da topluma mesajlarını vermiş; 2.IX.1930'da kendi el yazısı ile deftere şöyle yazmıştır:

"Ülkesini, yüksek istiklalini korumasını bilen Türk milleti, dilini de yabancı diller boyunduruğundan kurtarmalıdır."

Bu çerçevede, 1930'ların başında kimi yerde bu günkünden daha ileri bir anlayışla, Türkçe sözcük ve tümcelerin bulunup kullanıldığı görülmektedir. Bunlardan günümüzde kullanılmayan birkaç ilginç örnek aşağıda verilmektedir.

Kanal: *ark; arık*
İksa, istinat duvarı: ***yargın duvarı***
Kompresör: ***Taşdelen makinası***
Vali: ***İlbay***
Kaymakam: ***İlçebay***

... tarih; ..... numaralı tahrirata cevaptır.: ...***günemeçli,*** *...sayılı yazıya karşılıktır.*
Vekalet emirlerine arz olunur: ***Bakanlık buyrukluğu dileğimizdir*** (Antalya Su İşlei; Sf. 58).

7. ALANYA DİM ÇAYI İSTİKŞAFI 1933

DSİ XIII. Bölge Müdürlüğü arşivlerinde erken Cumhuriyet dönemine ait çok sayıda dosya ve klasörler arasında Alanya Dim Çayı istikşaf raporu ve projeleri çok düzenli olarak bulunmuş, ayrıntılı incelenmiştir. Aşağıda sunulacak belge ve açıklamalardan da görüleceği üzere Dim Çayı istikşaf raporu "1925 sular talimatnamesinin" örnek bir uygulaması niteliğindedir.

7.1. Alanya ve Dim Çayı

Antalya'nın ilçesi Alanya sahip olduğu çok elverişli iklim ve doğa koşulları ile tarih boyunca önemli bir tarımsal, ekonomik, ticari merkez olmuş, Selçuklulara başkentlik etmiştir. Raporun hazırlandığı 1930'ların başındaki beş bin nüfuslu küçük Anadolu kasabası "Alaiye"; daha sonraki adıyla Alanya, Cumhuriyet döneminin en hızlı gelişen ilçelerinden biri olmuş; kent nüfusu 150.000'i, turistik yatak kapasitesi 100.000'i aşmıştır.

Dim Çayı Alanya İlçe Merkezi'nin 7 km. doğusunda denize dökülür. Günümüzde kent ve turizm alanları içerisinde kalan, yukarılara doğru doğal güzellikler sergileyen çayın her iki yakasında turizme yönelik lokantalar, dinlenme yerleri bulunmaktadır.
Dim Çayı'nın birkaç hidrolojik karakteristiği şöyledir:

Beslenme Havzası (Deniz kıyısında)	: A=219 km^2
Ana yatak uzunluğu	: l= 30 km
Ölçülmüş en büyük debi	: Q_{maks}=520 m^3/s (2.12.1983)
Uzun yıllar ortalama debisi	: Q_{ort}=15,5 m^3/s
Ortalama yaz debisi	: Q_{yaz}=2~3 m^3/s
En az debi	: Q_{min}=1,5 m^3/s (Kasım ayında)
Su kalitesi	: *Seylap zamanlarından maada berrak, kabil-i şurb* (içilebilir*) ve yazın serindir*

Tarih boyunca Alanya için çok önemli olan Dim Çayı günümüzde de yörenin en önemli tarımsal sulama kaynağını oluşturmakta olup, Dim Barajı inşaatı tamamlanmış, 30 MW gücündeki HES tesisleri de tamamlanmak üzeredir.

7.2. Dim Raporu ve İçeriğinden Örnekler

(Belge 9)'da görüldüğü üzere 9. Posta'nın Oba Çayı'nı da kapsayacak Dim Çayı Havzası tetkikleriyle ilgili olarak "Mühendis Zühtü ve fen memurunun hazırlayıp imzaladıkları iş programını Daire Müdürü Halil Bey 9 Eylül 1932 günü onaylamıştır. Aradan bir yıl geçmeden 2/6/1933 günü, Birinci Havza (Dim) dosyası ikmal edilerek *Üçüncü Daire Su İşleri Müdürlüğü'ne takdim kılınmıştır.* Dim Köprüsü raporunun altında 29.10.1932 tarihi görülmektedir (Belge 10). Buradan da anlaşılıyor ki; Mühendis Zühtü ve arkadaşları 1932 Yılı'nın Cumhuriyet Bayramı gününde bile çalışmışlar; dokuz ay gibi kısa bir süre içerisinde Dim raporunu tamamlamışlardır.

Oba Çayı, Dim'in 3 km kadar batısında; Alanya'ya 4 km uzaklıktadır. Dim ve Oba Çay havzaları (MI, MII; mıntıka I, mıntıka II) ve o günlerde "Alaiye" adıyla anılan ilçe merkezi bir bütün olarak 1/25 000 ölçekli bir genel yerleşim planı üzerinde gösterilmiştir (Belge 11).

Bu ana haritadan başka; Dim ve Oba çaylarının tüm kolları, kaynaklarından başlayarak ana yatağa ve denize değin araştırılmış, en ve boy kesitleri çıkarılmış, debileri ölçülmüş, üzerlerindeki köprüler, tarihi yapılar, değirmenler, işaretlenmiş, rölöveleri çıkarılmış, açıklamalar yapılmış; jeolojik ve doğal durum, ormanlar, ilgili çizimlerde belirtilmiştir. Gerekli haritalar (1/5000, 1/1000, ..,1/100) gibi uygun ölçeklerde çizilmiş olup bunların tümü belirli bir düzen içerisinde; izlenebilir ve anlaşılabilir olarak dosyalar klasörler içerisinde yer almaktadır.

Örneğin (Belge 12)'de Dim'in denize döküldüğü bölgenin 1/1000 ölçekli bir haritası görülmektedir. Burada eski köprü, karayolu, tarihi kalıntılar, taşkın sınırı, .. çizilmiş olup hemen yanda ayrıntılı yazılı açıklamalar bulunmaktadır. Çay ortasında oluşmuş, sazlarla kaplı bir kum, çakıl adacığının, "*şakuli 1/200, ufki 1/400 mikyaslı maktaı*" yine aynı belge içerisinde verilmiştir.

Haritada görüldüğü üzere o zamanki Alaiye-Gazipaşa yolu, Dim ağzına yaklaşınca kıyıdan içerilere girer, köprüyü dolanır gelirmiş. Yine bu belgede görülüyor ve anlatılıyor ki; Dim Çayı "*...denize doğru hemen amuden* (dik) *cereyan etmekte iken denizin teşkil ettiği bir kum seddesi ile karşılaşarak denize muvazi bir vaziyet alır. ...sedde tulü 600 m. yi bulur ve genişliği 20 ~ 40 m. arasında mütehavvil* (değişken) *ve bazı kısımlarda bir metreyi bulan irtifaa maliktir.*" Antalya'nın doğal kumsallarında genellikle görüldüğü gibi, Dim boşalımında da eskiden da var olan bu durum günümüzde ırmak yatağına yapılan bazı müdahalelerle değişmektedir.

Eski köprünün 1 km kadar içeride olmasının nedeni, Dim gibi vahşi ve karasız bir ırmak üzerinde özellikle deniz kıyısında köprü tutturabilmenin zorluğu olsa gerektir. Alanya'nın hatta Antalya'nın doğu ile bağlantısını sağlayan bu köprü de Dim raporunda incelemiştir.

Zühtü Bey "Köprü sağlam bir manzara arz etmez ve bir kimeti inşaiyeyi de haiz değildir. Hafif otomobiller bile güçlükle geçmektedir. ... bu köprünün yerine esaslı bir köprünün yapılması lüzumu görülmektedir." yazmıştır. Ancak bize bıraktığı belgelerden bu köprünün o günün koşulları içerisinde 24.20 metreyi ahşap kirişlerle tek açıklıklı olarak geçmeyi başarabilen yerel ve özgün bir yapı teknolojisinin ürünü olduğu

anlaşılmaktadır. (Belge 13 ve 14)'de görüldüğü gibi, kenar ayaklar içerisine yatay olarak gömülen uzun direklerle her iki yakada yaklaşık altışar metrelik iki konsol oluşturulmuş ve kalan 12 metrelik orta bölüm de yine ahşap kirişlerle geçilmiştir. Burada dikkati çeken bir özellik de gömülü direklerin üst üste üç sıra halinde konması, takozlarla birbirlerine yük aktarmaları ve mesnede doğru konsol rijitliğinin artmasıdır. Belge 2'de görülen Bartın Kocanaz köprüsü ile de benzerlik taşıyan bu tür ahşap köprü örneklerine o dönemden kalan fotoğraflarda Antalya yöresinde sıkça rastlanmaktadır.

7.3. Akarsu İstikşaf Seferberliğinin Unutulmuş Kahramanları

DSİ XIII. Bölge Müdürlüğü arşivleri ve bazı yayınlarda (Antalya Su İşleri; Akaya F. Sf. 43). Su İşleri 3. Daire Müdürlüğü mühendis ve çalışanlarına ait pek çok belge ve fotoğraf da yer almaktadır (Belge 15). Değerlendirilen bu belgelerde Daire Müdürü Halil Bey ve Mühendis Zühtü hakkında edinilen bilgiler aşağıda özetlenmiştir.

Bu iki değerli mühendis ve Akarsu İstikşaf Seferberliği'nin başka unutulmuş kahramanlarının yaşam ve yapıtları, ilginç bir konu olarak meslektaşlarının, araştırmacıların önünde durmaktadır.

7.3.1. Halil Oray

Mühendis Halil (Oray) Bey 1931-39 yılları arasında Antalya'da Üçüncü Daire Su İşleri Müdürü olarak görev yapmıştır. O döneme ait tüm belge, proje rapor, yazıların altında imzası bulunmakta, fotoğraflarda yer almaktadır.

Halil Bey'in oğlu orman yüksek mühendisi sayın Suhan Oray babası hakkında teşekkürle karşıladığımız çok değerli bilgiler vermiştir. Buna dayanılarak özetlenen "Halil Oray'ın yaşamından bazı başlıklar" aşağıda sunulmaktadır.

-1885 yılında Bulgaristan-Romanya sahillerinde Balçık kasabasında doğdu

-1910 yılında İstanbul'da Mühendis Mektebi'ni (sonradan İTÜ) bitirdi. Birkaç yıl Fransa'da staj yaptı

-Kurtuluş Savaşı yıllarında su ve barajlar mühendisi olarak görev yaptı

-Sonraki yıllarda Batı Anadolu'da müteahhitlik yaptı. O yıllarda Aydın'da daha elektrik yok iken kurduğu jeneratörle oturduğu mahalleye ücretsiz elektrik verirdi

-1931 yılında Antalya'da Üçüncü Daire Su İşleri Müdürü olarak Devlet hizmetine girdi. 8 yıl boyunca burada çok başarılı işlere imza attı

-Antalya'dan sonra Van'da, daha sonra 1939/1940 yıllarında Antakya'da, 1940/1944 yıllarında Mersin'de, 1944/1949 yıllarında da Adana'da Su İşleri Müdürlükleri yaptı, Mersin Su İşleri Müdürü iken Tarsus Barajını inşa etti

-1949'da Adana Su İşleri 6. Bölge Yurtiçi Müfettişliği'nden emekli oldu

-Aydın'da 2-3 sene daha müteahhitlik yaptı ama piyasanın zorluk ve kirliliği her zaman temiz ve dürüst hizmetler veren Halil Bey'i kırıp küstürdü

-1954/55 yıllarında İstanbul'a yerleşti

-13/08/1965 günü öldü

7.3.2. Mustafa Zühtü Pekitkan

"Mühendis Zühtü" adına, Antalya'da DSİ XIII. Bölge Müdürlüğü arşivlerinde bulunan yazışmalarda rastlanmakta, Dim Çayı istikşaf raporları ve Bıyıklı Düdeniyle ilgili bir proje paftası üzerinde onun imzası bulunmaktadır.

İnşaat Mühendisleri Odası (İMO) merkezinden alınan yazıda Mustafa Zühtü Pekitkan hakkında şu bilgiler verilmektedir:

-Doğum Yeri ve Yılı: Gelibolu – 1322 (1906)

-Baba Adı: İbrahim Lütfi

-Anne Adı: Saide Safinaz

-Mezun Olduğu Okul: Yüksek Mühendis Mektebi

-İhtisası: Su işleri

-Mezuniyet Tarihi: 01.07.1932 Dipoma No: 552

-Oda Sicil No: 31

-Oda Kayıt Tarihi: 19.01.1955

-30.06.1973: Tarihinde mesleki faaliyetleri bıraktı.

-13.02.1978: Ölüm tarihi

DSİ Genel Müdürlüğü arşivlerinde bulunan emekliliğe esas hizmet çizelgesinde Mühendis Zühtü'nün (Mustafa Zühtü Pekitkan) yaşamında şu kilometre taşları görünüyor:

-10.5.1932: 100 TL ücretle Antalya 3. Daire Su İşleri'ne mühendis olarak atandı

-1.4.1934-30.4.1934: İhtiyat zabiti (Yedeksubay) olarak kısa askerlik hizmeti

-1935-1937: İzmir

-1937-1939: Aydın

-1937-1948: Meriç Su İşleri Mühendisi

-1949-1951: Erzincan Su İşleri 12. Şube Mühendisi

-1954-1957: DSİ Erzurum 8. Bölge Müdürü

-7.9.1960-3.1.1961: DSİ İzmir II. Bölge Müdürü

-13.10.1962: İsteği üzerine emekliye sevk

-3.12.1962-30.7.1964: DSİ Genel Müdürlüğü'nde işçi statüsünde çalışma

-1964-1970: DSİ Genel Müdürlüğü Teknik Müşavir

-5.3.1971: DSİ'de Müşavir Murakıp olarak yaş haddinden emekliye sevk edildi

8. SONUÇ

1925 Sular Talimatnamesi Türkiye'de çağdaş bilimsel, teknik temellere dayanan akarsu ölçüm ve araştırma, yazma çizme çalışmalarının başlangıcında çok önemli bir adımdır. 1930'lu yıllarda başlayıp hızlanan bu süreçte ülke ölçüsünde en önemli akarsu ve havzaların keşif inceleme raporları hızla tamamlanmış; bu çalışmalar hemen sonrasında başlayan sulama, taşkın önleme, bataklık kurutma proje ve yapıları için çok önemli bir altyapı oluşturmuştur.

Dim Çayı raporu; Tüm Türkiye'ye örnek olmak üzere Alanya'daki çalışmaları ortaya koyan önemli belgedir. Kısa sürede tamamlanan bu raporun ardından yine aynı hızla Dim Sulama projeleri hazırlanmış1933 yılında kanal kazı işlerine başlanmış ve büyük ölçüde yöre halkının kol gücüyle 1934 Ocak ayına kadar 8.5 kilometre kanal açılmıştır. Daha sonraki yıllarda ortaya çıkan birçok yapım güçlükleri, ödeneksizlik ve II. Dünya Savaşı'nın yokluk ve yoksunlukları gibi nedenlerle yapım çalışmalarında gecikmeler olmuşsa da Alanya'da Türkiye'nin ilk sulama projelerinden biri gerçekleştirilmiştir. 1950'li yıllara gelindiğinde bu yöre Türkiye'nin en önde gelen seracılık, turunçgiller, muz üretim merkezlerinden biri olmuştur. "Alaya portakalı" o tarihlerde Türkiye'nin en çok aranılan portakalıdır. (Antalya Su İşleri Sf. 53)' de şöyle yazılmıştır: ***"Dim-Alanya sulaması, Türkiye Cumhuriyeti'nin ilk el attığı sulamalardan biri olup muvaffak olmuş bir eserdir ki, sonuçlarını her gören göz idrak etmektedir."***

Bu sulama projesinin başarısı ve Alanya'nın çok hızlı gelişimi, bilimsel, ciddi temellere dayanan akarsu ölçüm (hidroloji) ve mühendislik çalışmalarının nasıl verimli sonuçlara, ekonomik kalkınma ve gönence yol açabileceğinin açık bir göstergesidir.

Genç Türkiye Cumhuriyeti bu başarılı sonuçlara tümüyle o yılların yerel olanakları, ulusal teknolojisi, insan ve bütçe kaynaklarını kullanarak ulaşmıştır.

9. KAYNAKLAR

Bildirici, M., "Tarihi Su Yapıları Konya, Karaman,.. ", Ankara,1994

Büyükyıldırım, G., "Türkiye'de Su Mühendisliğinin Öncüsü ..", Tmh, 453, 2009.

Demirbilek, E., "Su İdarelerinin Taksimat .." Dsi Bülteni, Ankara, Sayı:418, 1996

DSİ, "Antalya Su İşleri", Ankara, Dsi Genel Md. Lüğü, 743/Vıı/139, 1972.

Kıvırcık, E., "Cepheye Giden Yol", Goa Yayın, 2008

Parlayan, A., Tulga, D., "Ntv Tarih", Sayı 10 Kasım 2009, Sayı 14, Mart 2010

Uluçay, Ç., Kartekin, E., "Yüksek Mühendis Okulu", 1958.

Akkaya, F., "Ömrümüzün Kilometre Taşları", İstanbul 1989.

10. BELGELER

Belge 1: Süleyman Sırrı Fotoğrafı

Belge 2: Süleyman Sırrı ve Su Ölçüm Ekibi

Belge 3: Süleyman Sırrı'nın İslah-I Enhar Kitabı Kapağı

Belge 4: Otomobil Uçar Gider

Belge 5: Deve Üstünde Mühendisler.

Belge 6: Köylülerle Su Araştırması - 1932

Belge 7: Düdenlerde Araştırma.

Belge 8: Alanya'da Topoğrafik Ölçümler.

Belge 9: Alanya Dim Çayı Raporundan Başlık Ve Yazışma Ve Örnekleri (1932-1933)

Belge 10: Dim Köprüsü Raporu

Belge 11: Mühendis Zühtü'nün Alaiye - Dim Haritası 1933 (Ölçek: 1/25 000)

Belge 12: Dim Köprüsü'den Denize

Belge 13: Sahildeki Dim Köprüsü çizimi.

Belge 14: Dim Köprüsü Foto.

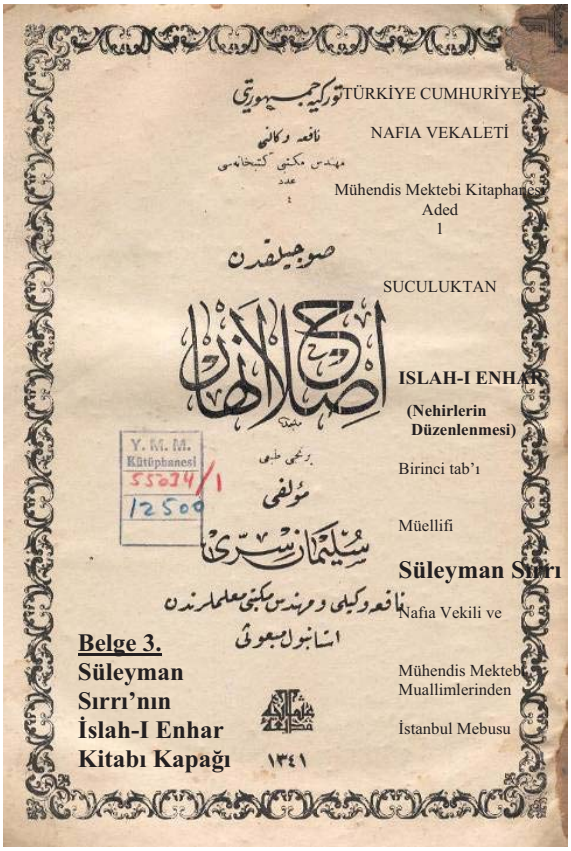
Belge 15: Antalya'da Su İşleri 3. Daire Müdür ve mühendisleri, 1932



Blg.1. Süleyman Sırrı (1874-1925)



Blg. 2 Süleyman Sırrı ve su ölçüm ekibi.
Bartın Kocanaz suyu üzerinde "Asma Köprü" namıyla maruf mahlût (karma) köprü civarında



Belge 3.
Süleyman Sırrı'nın İslah-I Enhar Kitabı Kapağı

1341 (1925)



Belge 4. Otomobil Uçar Gider.

Yıl: 1934; Yer: Antalya-Kovanlık Köyü (Derbent; Küçük Termisos olarak da adı geçiyor) Düden çıkışı. Tasın üstündeki Zühtü.. onun vanında Halil Bev.



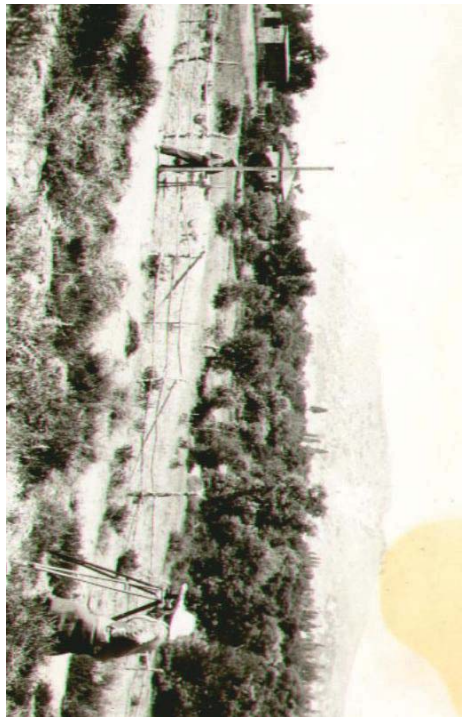
<u>Belge 5.</u> Akarsu İstikşaf Seferberliği.

Elmalı-Karagöl'de develerle ulaşım. 1932-1940



<u>Belge 6.</u> Akarsu İstikşaf Seferberliği—1932

Su taharrisi: Korkuteli İlçersi Avdan Köyü'nde Su İşleri mühendisleri halkla birlikte su arıyor.



Belge 8.

3. Daire 9 No.lu Dim Çayı istikşaf postası Alanya'da çalışıyor.



Belge 7. Akarsu İstikşaf Seferberliği. Antalya (Elmalı?) yeraltı düdenlerinde lastik bota binmiş mühendisler (1932). Pardösülü, kasketli olan Mühendis Zühtü.

Manisa'da Cumhuriyet Öncesi Dönemi Çeşmeleri

Onur Abay [1], N. Orhan Baykan [2]

Özet: Ülkemizin tarihsel su yapılarının niteliksel ve niceliksel önemine yaraşır biçimde yıllardır yapılan çalışmalar son dönemde tezler, kongreler ve bilimsel araştırma projeleri düzeyine çıkmıştır. Ayrıca çağdaş su yapıları ile kültürel miras değerlerinin karşı karşıya gelmesi, "su mühendisliğinin kültür boyutu"nda yapılacak çalışmalara önem kazandırmaktadır. Su getirme sistemlerinin suyun asıl sağlanma amacı olan *insan* ile buluşma noktası niteliğindeki çeşmeler de su mühendisliği-kültür arakesiti için oldukça uygun örnekler olmaktadır. Manisa'da özellikle Osmanlı döneminden günümüze kalmış birçok çeşme bulunmakta ve kent çalışma için önemli bir inceleme alanı özelliği taşımaktadır. Bu çalışmayla, Manisa'daki çeşmelerin varlığına ve önemine dikkat çekilmesi ve anılan çeşmelerin temel hidrolik kurallar ile incelenmesine yönelik olarak yapılacak daha sonraki bir çalışmaya altlık hazırlanması amaçlanmaktadır.

Anahtar Sözcükler: Manisa; Çeşme; Tarihsel Su Yapıları; Kültürel Miras; Su Mühendisliğinin Kültürel Boyutu

Fountains in Manisa/Türkiye from the Pre-Republican Time

Abstract: The studies that have been done since years to reflect the qualitative and quantitative importance of the historical hydraulic structures of Türkiye have recently risen to a level including theses, congresses and scientific research projects. Moreover, the recent contradictory cases between contemporary hydraulic structures and cultural heritages give a special significance to the studies to be carried out for the "cultural dimension of hydraulic engineering". Fountains that their existence is the meeting point of *water* with *human* are valuable samples for the intersection between hydraulic engineering and culture. Many fountains remained mostly from the "Ottoman Time" exist in Manisa/Türkiye and the city can be identified as an important investigation area for the case study. It is aimed in this study to pay attention to the existence and significance of fountains in Manisa and to make a preliminary research for further studies to be realized under the light of hydraulic engineering.

Keywords: Manisa; Fountain; Historical Hydraulic Structures; Cultural Heritage; Cultural Dimension of Hydraulic Engineering

[1] Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli, E-Posta: onurabay@hotmail.com
[2] Pamukkale Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Denizli, E-Posta: obaykan@pau.edu.tr

1. GİRİŞ

Su yapıları üzerinde çokdallı çalışmaların önemi tüm dünya ile birlikte ülkemizde de artmakta, konunun farklı bilimsel dallar tarafından ortaklaşa incelenmesi zorunlu duruma gelmektedir. Su kaynakları konusunda inşaat mühendisliği, ziraat mühendisliği, çevre mühendisliği, hukuk, kamu yönetimi, uluslararası ilişkiler, ekonomi gibi disiplinlerin çalışması alışılagelmişse de son dönemde, Allianoi, Hasankeyf, Zeugma örneklerinde olduğu gibi, çağdaş su yapıları ile kültürel miras değerlerinin karşı karşıya gelmesi "suyun kültür boyutu"nda yapılan/yapılacak çalışmalara önem kazandırmıştır.

2009'da İstanbul'da yapılan 5. Dünya Su Forumu'nun ana temasının "farklılıkların suda yakınlaşması" olarak belirlenmesi bu durumu doğrular niteliktedir. Forum'un başarıya ulaşması için kamu/meslek kuruluşlarını ve üniversiteleri bir bölgesel hazırlık ve birikim sağlama amacıyla bir araya getiren toplantılardan biri İzmir'de "Tarihi Su Yapıları Konferansı" adıyla düzenlenmiştir. Ayrıca konu altbaşlıklarından biri "suyun kültür boyutu (su yapıları ve kültürel mirasın korunması ilişkisi)" olan TMMOB 2. Su Politikaları Kongresi'nde konu ile ilgili bildiriler sunulmuştur (Baykan, Abay, 2008). Tarihsel su yapıları son dönemde yüksek lisans tezleri ve bilimsel araştırma projeleri kapsamında da incelenmektedir (Baykan, 2008).

Anadolu kültürü, tarihi boyunca kendini oluşturmuş uygarlıkların ve onların yapıtlarının bir bütünü olarak değerlendirilmelidir. Anadolu'nun çağlar boyu yurtluk yaptığı uygarlıkların nitelikleri ve nicelikleri, bu uygarlıklara ait kentlerde yaşamın kaynağı olan suyun kullanılmasının kaçınılmazlığı ile birlikte düşünüldüğünde tarihsel su yapılarının Anadolu'daki görkemi ortaya çıkmaktadır. Ülkemizin 20 antik bölgesindeki yaklaşık 500 kentteki *suyun alınması* (derleme yapısı, kuyu), *iletilmesi* (toprak ve kargir açık kanal, galeri, büz), *biriktirilmesi* (hazne, sarnıç, bent), *yükseltilmesi* (su çarkları), *basıncının kırılması ve dengelenmesi* (maslak ve su terazileri), *dağıtılması* (büz), *uzaklaştırılması* (galeri) amaçlı yapılar; *akarsu ve liman koruma ve iyileştirme yapıları* (sedde, iskele); *yer kazanma yapıları* (suyu üzerini kapayan yapılar); *akarsu çevirme yapıları*; *sanat yapıları* (ters sifon, suköprüsü, menfez) ve çeşmeler gibi onlarca çeşit su yapısı Anadolu'ya bir "hidrolik uygarlık" kimliği kazandırmaktadır (Baykan, 2008). Anadolu Helenistik, Roma ve Bizans dönemlerinde bu kimliğini korumuş, tarihsel süreç içinde eklenen yeni uygarlık ve kentlerde de aynı özellikler gözlemlenmiştir.

Selçuklular ve Osmanlı dönemlerinde köprü, çeşme, sebil, şadırvan, bent ve kemer başta olmak üzere pek çok su yapısı inşa edilmiştir. Ayrıca Mimar Sinan'ın inşa ettiği, Edirne ve İstanbul'a su getirme amaçlı kemerlerin (Edirne Taşlımüsellim, İstanbul Süleymaniye, İstanbul Kırkçeşme) yapısal görkemi ve önemi yanında kendisinin yaptığı diğer su yapılarının sayısı dikkate alındığında "Mimar Sinan dönemi su yapıları" biçiminde bir adlandırma yapmak bile olanaklıdır (Arısoy, 2008).

Çeşmeler bir anlamda su getirme sistemlerinin suyun asıl sağlanma amacı olan *insan* ile buluşma noktası niteliğindeki su yapılarıdır. Bunun yanında çeşmelerin olaylar ve kişiler anısına inşa edilmeleri, mimarî yapılarına gösterilen özen ve suyun ve paylaşılmasının toplumsal yapımızda taşıdığı önem göz önüne alındığında su mühendisliği-kültür arakesitinde önemli ve ilginç örnekler oldukları düşünülmektedir.

Bu çalışmada, Türkiye'nin tarihsel su yapıları dökümü için yapılan çalışmalara bir katkı yapması umuduyla, Manisa'daki Saruhanoğulları ve Osmanlı dönemi çeşmeleri incelenmiştir. Bu dönemlerden kalan çok sayıdaki diğer yapı ile birlikte özellikle Osmanlı döneminden günümüze ulaşmış çeşmeler bulunması nedeniyle Manisa'nın çalışma için uygun bir örnek olduğu düşünülmüş ve kent inceleme yeri olarak seçilmiştir.

2. ÇALIŞMA YERİ İLE İLGİLİ BİLGİLER

Türkiye'nin en önemli sanayi ve tarım merkezlerinden olan Manisa Ege Bölgesi'ndedir. Eski kent savunma kolaylığı sağlamak için mitolojik nitelikleri de bulunan Spil (Sipylos) Dağı eteklerinde kurulmuş, zaman içinde gelişerek Gediz Nehri'ne kadar genişlemiştir.

Manisa, konumu ve verimli toprakları nedeniyle tarihöncesinden başlayarak çağlar boyunca tarih sahnesinde yer almıştır. Tarihöncesine ilişkin olarak kentteki iki önemli buluntu 1969'da keşfedilen ve yaklaşık M.Ö 25.000-20.000 civarına tarihlenen fosilleşmiş ayak izi ve M.Ö 3.000-2.500 civarına tarihlenen kral mezarlarıdır. Bugünkü Manisa'nın 7 km kadar doğusunda M.Ö 2. binde "Tantalus'un kenti" anlamına gelen Tantalis adıyla bir kent kurulduğu tahmin edilmektedir. Buranın M.Ö 12. yüzyıl başlarında Anadolu'ya giren kavimlerce yıkılıp yerine Frigler'ce Sipylos adı verilen bir kentin kurulduğu, M.Ö 7. yüzyılda da bu iki yerleşimin civarında adını Teselya'dan gelen Magnetler'den alan Magnesia'nın kurulduğu kabul görmektedir.

Tarih boyunca da genellikle Magnesia (tam olarak Magnesia ad Sipylum) adı verilmiş bu bölgenin sırası ve yaklaşık tarihleri ile Hititler (M.Ö 1450-1200); Frigler, Yunanlar, Lidyalılar (M.Ö 665-546); Persler (M.Ö 546-333); Romalılar (M.Ö 133-M.S 395); Bizanslılar (395-1313); Saruhanoğulları (1313-1410) ve Osmanlı (1313-1923) egemenliğinde kaldığı bilinmektedir.

Çalışmanın kapsamındaki çeşmelerin çok büyük bölümünün inşa edildiği Osmanlı dönemi kent için ayrı bir önem taşımaktadır. Osmanlı'ın özellikle yükselme döneminde şehzadelerin yönetsel beceriler kazanmaları için gönderildiği iki önemli kentten biri Manisa'dır. İstanbul'a diğer "şehzade kentleri"nden görece yakın olması, 1445-1595 yılları arasında hizmet vermiş ve İstanbul dışındaki en önemli saraylardan olmuş Saray-ı Âmire adlı Manisa Sarayı ve 5 büyük padişahın yetişmiş olması gibi nedenlerle Manisa bu dönemde kendi tarihsel özelliklerine ek ekonomik, sosyal ve siyasal önem kazanmıştır.

Osmanlı devlet sisteminde taşıdığı bu önem nedeniyle Manisa'da bu dönemde inşa edilmiş çok sayıda yönetsel yapı (Saray-ı Âmire, Fatih Kulesi), dinsel yapı (cami, mescit, medrese, tekke, zaviye, türbe), toplumsal yapı (darüşşifa, imaret, hamam), eğitim yapısı (sıbyan mektebi, kütüphane), ticaret yapısı (bedesten, han) ve çeşme bulunmaktadır. Bu yapıların bir bölümü, başta 1922 Yangını olmak üzere, çeşitli nedenlerle varlığını yitirmişse de Osmanlı dönemi yapıları bakımından Manisa hala Türkiye'nin önemli merkezlerinden biridir.

3. AMAÇ, KAPSAM VE YÖNTEM

Çizelge 1'de verilen çeşmelerin tümü yerinde incelenerek fotoğrafları çekilmiştir. Mimarî ve tarihsel bilgileri derlenmiş, çeşmelerin bugünkü ve geçmişteki durumları karşılaştırılarak değişimlerinin yönü belirlenmeye çalışılmıştır. Aynı dönemden kalma cami ve mescit şadırvanları inceleme kapsamı dışında tutulmuştur.

Çeşmelerin bazıları çeşitli kaynaklarda ve halk arasında farklı biçimlerde adlandırıldığından, "Manisa'daki Türk Dönemi Yapıları" konusunda yetkin olan bir yapıttaki adlandırmalar esas alınmıştır (Acun, 1999). Çalışma yalnızca Merkez İlçe'yi kapsamaktadır. "Manisa" ile kastedilen ilin geneli değil "Merkez ilçe" dir. Yine anlatım kolaylığı sağlamak için farklı tarihsel dönemleri belirten Osmanlı Devleti ve Osmanlı İmparatorluğu terimleri yerine "Osmanlı" seçilmiştir.

Bu çalışmanın bir sonraki adımı olması düşünülen ve uygun durumdaki çeşmelerde uzunluk ve zaman ölçümleri yapılarak bu veriler yardımıyla hazneye girişteki debi, haznedeki su yükünün değişimi, lüledeki akış niceliği ve yalaktaki su yükünün değişimi gibi büyüklüklerin temel hidrolik kurallar ile açıklanmasını amaçlayan bir çalışma için ön incelemeler yapılmıştır.

Osmanlı dönemi çeşme ve şadırvanlarında "lüle" hesabı esas alınmıştır. Dağıtım bu esasa göre yapılmıştır. Bu hesaba ilişkin ayrıntılar aşağıda verilmiştir (Şekil 1). 1 Osmanlı lülesi, 96 mm orifis yükü altında 26,4 mm çaplı bir borudan 36 l/dk su geçmesine karşı gelmektedir. Bilinen biçimiyle debi:

$$Q=C*A*(2gh)^{0,5} \quad (1)$$

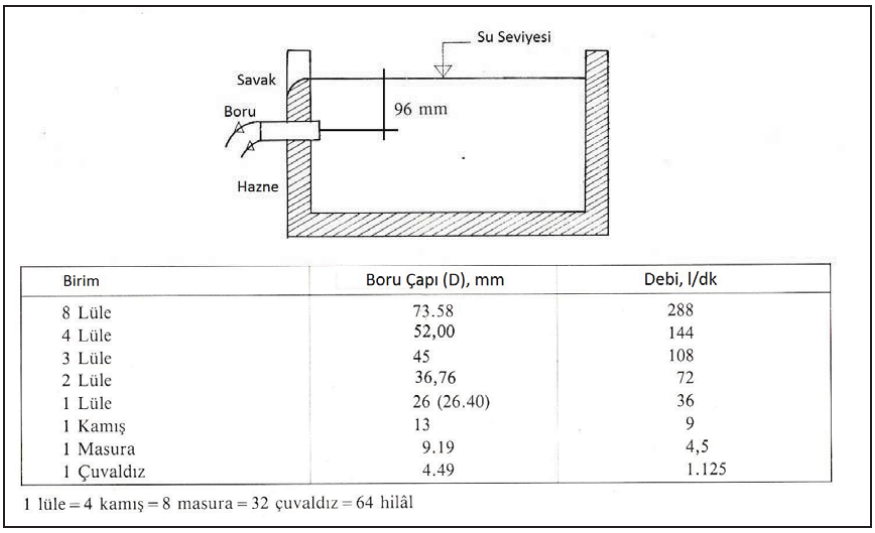
Q (m^3/s): debi
C: debi katsayısı (=0,826)
A (m^2): boru kesit alanı
g (m/s^2): yerçekimi ivmesi (=9,81)
h (m): orifis yükü (=0,096)

formülüyle hesaplanmaktadır.

Ayrıca yatay bir borudaki ölçümlere dayanılarak ve aşağıda verilen bağıntı kullanılarak debi kestirimi yapılabilmektedir (Şekil 2):

$$Q=1,7*K*D_i^2*x/y^{0,5} \quad (2)$$

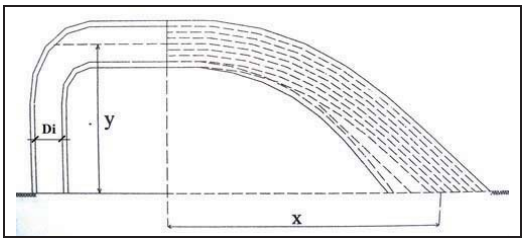
Q (m^3/s): debi
K: katsayı (0,25; 0,50 ve 1,00 doluluk oranları için sırasıyla 0,25; 0,50 ve 1,00)
D_i(m): boru iç çapı
x (m): yatay ölçüm (bkz. Şekil 2)
y (m): düşey ölçüm (bkz. Şekil 2)



Birim	Boru Çapı (D), mm	Debi, l/dk
8 Lüle	73.58	288
4 Lüle	52,00	144
3 Lüle	45	108
2 Lüle	36,76	72
1 Lüle	26 (26.40)	36
1 Kamış	13	9
1 Masura	9.19	4,5
1 Çuvaldız	4.49	1.125

1 lüle = 4 kamış = 8 masura = 32 çuvaldız = 64 hilâl

Şekil 1. Lüle ölçüleri



Şekil 2. Yatay bir boruda akış

Çeşmelerin yerinde ve yazılı kaynaklar üstünde gerçekleştirilen çalışmalar sonucunda derlenen bilgiler, anlatım kolaylığı sağlamak amacıyla, Çizelge 1'de verilmiştir. Fotoğraflama çalışması ile elde edilen fotoğraflar da Şekil 3a ila 3d'de sunulmaktadır.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

4.1. Sonuçlar

Bu çalışmada, Manisa'da Cumhuriyet öncesi dönemde inşa edilmiş 31 adet çeşme olduğu belirlenmiştir (Çizelge 1). Bu sayının Evliya Çelebi Seyahatnamesi'nde yaklaşık 3000, Manisa Belediyesi arşivindeki 1878 yılına ait belgelerde de 197 olarak verilmesi dikkat çekicidir. Zaman içinde sayısal olarak çok büyük azalma gösteren çeşmeler, Dere, Kaynak, Bayındır ve Mutlu gibi kentin üst kotlarındaki (Spil Dağı eteklerinde) eski yerleşimlerin olduğu mahallelerde yoğunlaşmaktadır. Çeşmeler zamandizinsel olarak sıralandığında asal yapı malzemesinin daha erken dönem çeşmelerinde kesme taş, moloz taş ve tuğlayken sonraları mermer olduğu görülmektedir.

İnceleme konusu çeşmelerin 23 tanesinde (restore edilenler ve edilmeyenler toplamı olarak) akış olduğu belirlenmiştir (Çizelge 2). Toprak borulardan oluşan ve Spil Dağı'ndan derlenen suları getirme sistemleri terk edildiğinden, çeşmelerin suyu kent şebekesinden sağlanmaktadır. Fakat bazı çeşmelerde bu uygulama boruların yüzeyden geçirilmesi ile gerçekleştirilmiştir. Böylelikle tarihsel ve mimarî dokuya uygun olmayan bir görüntü kirliliği ortaya çıkmıştır. Ayrıca akışı olan çeşmelerin birkaçı dışında, akışlar dönem ve mimarî yapı ile bütünlüğü olmayan musluklar ya da doğrudan doğruya ucunda bırakılmış borular ile sağlanmaktadır.

Genel tutuma bakıldığında, meydan, mahalle ve külliye çeşmelerine gereken önemin verilmediği sonucuna ulaşılabilir. Öyle ki, çeşmelerden 14'ü son 15 yıllık dönemde bazı restorasyonlardan geçirilmişken, 17'sinde henüz bir çalışma gerçekleştirilmemiştir (Çizelge 2). Dolayısıyla restore edilen çeşmelerin sayısı toplam çeşme sayısının yarısından daha azdır. Bazı çeşmelere bitişik olarak inşa edilmiş yapılar kentsel düzenlemeler kapsamında yıkılıp bu çeşmeler ayrık düzene kavuşturulmuş, fakat bunlardan da yalnızca bir bölümü restore edilebilmiştir. Restore edilmeyen çeşmelerden bazılarının saçak, kitabe, alınlık, ayna taşı gibi bölümlerin bilinçsizce boyanması/sıvanması/seramik, mermer vb. malzemeyle kaplanması, yine bu bölümlere boyalarla yazılar yazılması ve kaldırımların yükseltilmesiyle yalaklarının gömülü kalması gibi dış etkiler sonucu oldukça kötü durumda oldukları gözlemlenmiştir. Restore edilen çeşmelerde daha önce anılan sorunların yanı sıra, bazılarında henüz akış olmayışı da diğer bir noksanlık olarak göze çarpmaktadır (Çizelge 2).

Vakıflar Bölge Müdürlüğü ile yapılan görüşmede, çeşmelerden 10 tanesi için basit onarım yapılmasının planlandığı, fakat daha sonra bu işin Belediye'ye devredildiği öğrenilmiştir. Bu çalışmalar da henüz başlamamıştır. Çeşmeler üzerinde farklı kurumların söz hakkı olması nedeniyle bürokratik süreçler yavaş işlemekte, restore edilecek çeşmelere karar verilmesinde, restorasyon aşamasına gelmiş çeşmelerde işin başlamasında ve restore edilenlere de akış sağlanmasında ve böylelikle çeşmelerin kent yaşamına kazandırılmasında gecikmeler görülebilmektedir.

Evliya Çelebi'nin belirttiği sayıda çeşmenin günümüze ulaşması olanaksızsa da, çeşmelerin korunması beklenirken, 7 adet çeşme tescil edilmemiş ve kültürel miras değerlerinin öneminin anlaşıldığı ve duyarlılığın artmış olduğu 1990'lı yıllarda kentsel düzenlemeler kapsamında yıkılmıştır. İki tanesinin yapım yılı bilinmezken diğerleri 1627, 1762, 1765, 1770 ve 1923 olarak tarihlenen bu çeşmelerden sadece Derviş Hasan Çeşmesi yakınına ona benzer mimarîde bir çeşme inşa edilerek orijinal kitabesi de simgesel olarak bu yeni çeşmeye yerleştirilmiştir.

Yaz mevsimleri çok sıcak geçen Manisa'da bu çalışmanın kapsadığı dönemden sonraki yıllarda inşa edilmiş onlarca çeşme, kentte bir çeşme geleneği/alışkanlığı olduğunu kanıtlar niteliktedir. Kentteki hayırseverler ve kurumlar tarafından insanlar ve olaylar anısına yaptırılmış toplam 100 civarında çeşme olduğu kestirilmektedir. Çeşmelerin büyük yapılara göre çevresel koşullar ve zaman önünde daha korumasız olduğu, kentteki çeşme yaptırma geleneği ve Seyahatname'de 3000 olarak verilen sayı birlikte değerlendirildiğinde, inceleme döneminde yapılmış cami ve külliyelerin bazılarının duvarlarında bugün görülen sonradan yapılmış çeşmelerin yerinde, o dönemde inşa edilmiş fakat günümüze ulaşamamış çeşmelerin bulunması büyük bir olasılık olarak göze çarpmaktadır.

Çizelge 1. Çeşme bilgileri

Sıra No	Çeşme Adı	Dönemi	Yapım Yılı*	Yapım Yılı Kaynağı	Kitabe Durumu	Musluk Sayısı	Akış Durumu	Planda Biçimi	Yüz Sayısı	Yapım Tekniği
1	Ulu Cami Medresesi Çeşmeleri *(2 adet)*	Saruhanoğulları	1378	Cami	Yok/Yok	2/2	Var/Var	Dikdörtgen/Dikdörtgen	1/1	Kesme taş, moloz taş, tuğla
2	Ali Bey Camisi Çeşmesi	Osmanlı	1418	Cami	Yok	1	Var	Dikdörtgen	1	Kesme taş, moloz taş, tuğla
3	Kaval Çeşmesi	Osmanlı	1480	Kitabe	Var	1	Var	Dikdörtgen	1	Mermer, tuğla, kesme taş
4	Attar Ece Camisi Yanındaki Çeşme	Osmanlı	1480	Kitabe	Var**	3	Var	Dikdörtgen	1	*Çimentolu harçla sıvanmış*
5	Hüsrev Ağa Camisi Çeşmeleri *(2 adet)*	Osmanlı	?1554	Cami	Yok/Yok	Yok/Yok	Yok/Yok	Dikdörtgen/Dikdörtgen	1/1	Kesme taş, tuğla
6	Vakvak Tekkesi Çeşmesi	Osmanlı	1575	Tekke	Yok	1	Var	Dikdörtgen	1	Kesme taş, tuğla
7	Dilşikar Hatun Çeşmesi	Osmanlı	1579	Cami	Yok	Yok	Yok	Dikdörtgen	1	*Çimentolu harçla sıvanmış*
8	Pürnefes Çelebi Çeşmesi	Osmanlı	1586	Kitabe	Var**	3	Var	Dikdörtgen	1	Kesme taş, tuğla
9	Muradiye Camisi Çeşmeleri *(2 adet)*	Osmanlı	1602	Külliye	Yok/Yok	1/1	Var/Var	Dikdörtgen/Dikdörtgen	1/1	Kesme taş
10	Saraçhane Çeşmesi	Osmanlı	1651	Kitabe	Var	3	Var	Trapezoidal	3	Blok taş, mermer
11	Üçoluklu Çeşme	Osmanlı	1679	Kitabe	Var	Yok	Yok	Dikdörtgen	1	Kesme taş, tuğla, mermer
12	Halil Efendi Çeşmesi	Osmanlı	1747	Kitabe	Var	2	Var	Dikdörtgen	1	Kesme taş, tuğla
13	Derdîler Çeşmesi	Osmanlı	1785	Kitabe	Var	1	Var	Kare	1	Kesme taş, tuğla
14	Taşçılar (Boğmaklızade) Mescidi Çeşmesi	Osmanlı	1799	Kitabe	Var	Yok	Yok	Dikdörtgen	1	*Çimentolu harçla sıvanmış*
15	Süleyman Paşa (Ayn-ı Ali) Çeşmesi	Osmanlı	1809	Kitabe	Yok	1	Var	Kare	1	Kesme taş, tuğla
16	Serserî Dede Çeşmesi	Osmanlı	1871	Belge	Yok	1	Var	Dikdörtgen	1	*Seramikle kaplanmış*
17	Polat Hacı Mehmet Ağa (Palamut Pazarı) Çeşmesi	Osmanlı	1907	Kitabe	Var	1+1	Var	Kare	2	Mermer
18	Sipahi Pazarı (Bedesten) Çeşmeleri *(2 adet)*	Osmanlı	1908-1911	Kitabe	Var/Var	1/1	Var/Var	Kare/Kare	1/2	Blok taş/Mermer
19	Saat Kulesi Çeşmesi	Osmanlı	1915	Kitabe	Var	Yok	Yok	Dikdörtgen	1	Mermer
20	Serabat Mahallesi Çeşmesi	Osmanlı (?)	Bilinmiyor	-	Yok	Yok	Yok	Dikdörtgen	1	Kesme taş, moloz taş, tuğla
21	Lala Paşa Camisi Çeşmesi	Osmanlı (?)	Bilinmiyor	-	Yok	1	Var	Dikdörtgen	1	Kesme taş, tuğla
22	Dokur Çeşmesi	Osmanlı (?)	Bilinmiyor	-	Yok	1	Var	Dikdörtgen	1	Kesme taş, moloz taş, tuğla
23	Saruhanbey Parkı Çeşmesi	Osmanlı (?)	Bilinmiyor	-	Yok	1	Var	Dikdörtgen	1	Blok taş, mermer
24	Adı Bilinmeyen Çeşme 1	Osmanlı (?)	Bilinmiyor	-	Yok	1	Var	Dikdörtgen	1	Kesme taş, moloz taş, tuğla
25	Adı Bilinmeyen Çeşme 2	Osmanlı (?)	Bilinmiyor	-	Yok	1	Var	Dikdörtgen	1	*Çimentolu harçla sıvanmış*
26	Adı Bilinmeyen Çeşme 3	Osmanlı (?)	Bilinmiyor	-	Yok	Yok	Yok	Dikdörtgen	1	Kesme taş, tuğla
27	Adı Bilinmeyen Çeşme 4	Osmanlı (?)	Bilinmiyor	-	Yok	2	Var	Dikdörtgen	1	Kesme taş, moloz taş

** Acun, 1999'dan* ***Kitabe yerinde değil*

Çizelge 2. Çeşmelerin restorasyon ve akış durumlarına göre sayıları

	Restore edilmiş	Restore edilmemiş	TOPLAM
Akış olan	10	13	23
Akış olmayan	4	4	8
TOPLAM	14	17	**31**

4.2. Öneriler

Diğer tarihsel yapılar gibi tarihsel su yapılarının da korunarak yeni kuşaklara aktarılması "suyun kültür boyutu" nun bir gereğidir. Suyun dağıtılmasına olanak sağlayan çeşmelerin bürokratik işlemlerin hızlandırılarak ve sorumluluklarının belirlenerek restore edilmesi yolunda etkin kararlar alınarak uzman kişilerce bakım, onarım, yeniden yapım aşamaları çabuklaştırılmalı ve kent yaşamına kazandırılmalıdırlar.

Geçmişte kentsel içmesuyu şebekelerinin yeterli olmaması ve dolayısıyla her evde suyun kolay bulunmaması nedeniyle, mahalle/meydan çeşmelerinde insanlar belli bir amaç için bir araya gelmekteydiler. Dolayısıyla çeşmelerin toplumsal bir kaynaştırma rolü de vardı. Günümüzde bu kaynaşmanın tümüyle yaşanması olanaklı olmasa da, tarihsel çeşmelerin önemi ve konumları, Manisa'da ve olanaklı diğer kentlerde kent planlamaları kapsamında vurgulanmalıdır. Bunun için çeşmelerin çevresinde küçük meydanlar düzenlenmesi, kitabelerinin çevirisini içeren ve bilgi veren levhaların asılması, çeşmelerle ilgili bilgi ve yer buldurma krokilerinin olduğu katalogların basılması gibi tanıtım olanakları denenebilir. Bunun yanı sıra, çeşmeler uygun mimarî ve tarihsel aksesuarlarla donatılmalı, dokuyla uyuşmayan boru, musluk vb. öğeler sökülerek yerlerine tarihsel geçmişi anımsatan öğeler yerleştirilmelidir.

Çeşmelerde akış olması durumunda, savak, orifis, yalak incelemeleri yardımıyla yapılabilecek hidrolik incelemeler, geçmişteki hidrolik hesap ve uygulama yöntemleri konusunda Manisa özelinde/örneğinde yapılabilecek ve bu çalışmanın bir sonraki adımı olması tasarlanan önemli bir çalışmaya kapı aralayacaktır. Bu konuda kişilerin ve özellikle de kurumların daha duyarlı davranması beklenmektedir.

(1) ve (2) bağıntılarında verilen ölçümlerin gerçekleştirilmesiyle, "Anadolu'da başka bir debi ölçüm biçim ve birimi kullanılmış mıdır?", "kitabesi olmayan çeşmelerde lüle kavramından yola çıkılarak dönem kestirimi yapılabilir mi?" gibi sorulara yanıt aranabilir.

5. KAYNAKLAR

Baykan NO, Abay O, "Türkiye'nin Su Politikalarına Bakışındaki Gelişme ve Çeşitlenmeler", TMMOB 2. Su Politikaları Kongresi (Bildiriler Kitabı - 2. Cilt), ISBN: 978-9944-89-512-5, Ankara, Türkiye, 445-457, 2008.

Baykan NO, "Helenistik, Roma ve Bizans Dönemleri Su Yapıları", DSİ 2. Bölge Müdürlüğü Tarihi Su Yapıları Konferansı (Bildiriler Kitabı), İzmir, Türkiye, 51-62, 2008.

Arısoy Y, “Selçuklu ve Osmanlı Dönemleri Su Yapıları”, DSİ 2. Bölge Müdürlüğü Tarihi Su Yapıları Konferansı (Bildiriler Kitabı), İzmir, Türkiye, 63-72 s, 2008.

Acun H, “Manisa’da Türk Devri Yapıları”, 1. baskı, Türk Tarih Kurumu Yayınları, ISBN 975-16-1141-5, Ankara, Türkiye, 1999.

EKLER

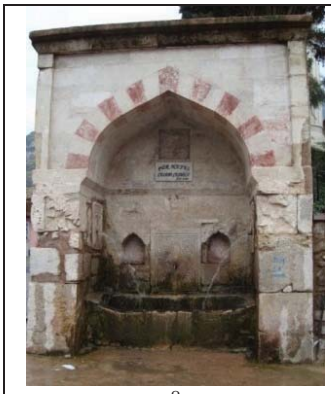


1a | 1b | 2

3 | 4 | 5a

5b | 6 | 7

Şekil 3a. Manisa'da Cumhuriyet dönemi öncesi çeşmeleri
(Çeşme adları için Çizelge 1'e bakınız)



8



9a



9b



10



11



12



13



14



15

Şekil 3b. Manisa'da Cumhuriyet dönemi öncesi çeşmeleri
(Çeşme adları için Çizelge 1'e bakınız)



16



17



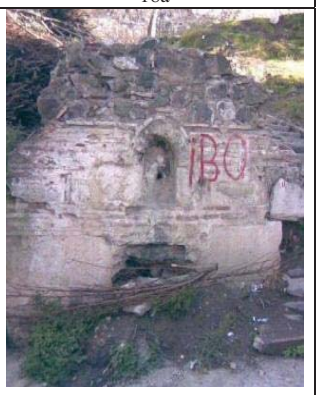
18a



18b



19



20



21

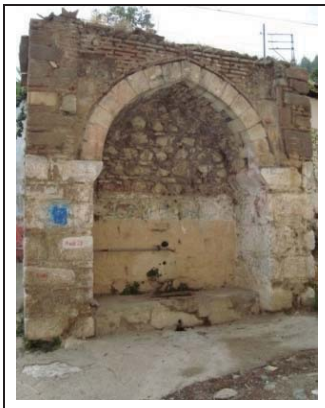


22



23

Şekil 3c. Manisa'da Cumhuriyet dönemi öncesi çeşmeleri
(Çeşme adları için Çizelge 1'e bakınız)



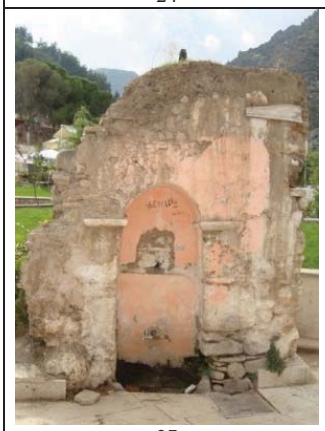
24



25



26



27

Şekil 3d. Manisa'da Cumhuriyet dönemi öncesi çeşmeleri
(Çeşme adları için Çizelge 1'e bakınız)

Bezirgan (Eskil Pirha Kenti) Kapalı Havzası Eskil Tüneli Akaçlaması

Sedef Genç[1], N. Orhan Baykan[2], Nesrin Baykan[3], Ülker G. Bacanlı[4]

Özet: Likya Bölgesi'nde yer alan ve Bezirgan Köyü'ne yayan 20 dk uzaklıktaki eskil Pirha kentinin tarımsal arazisini su baskınından korumaya yönelik "Bezirgan Eskil Tüneli" ni barındıran 5 km^2 büyüklüğünde, 750 m ortalama taban yükseltisi olan ve 1000'in üzerinde yükseltili dağ silsilesi ile çevrelenen Bezirgan Kapalı Havzası, akaçlama alanı 22,1 km^2 olan tam bir kapalı havza niteliğindedir. Bugün bile taşkınlar nedeniyle tarımsal açıdan zarar gören plato, DSİ tarafından yarım yüzyıl önce yapılan akaçlama kanallarıyla ve suyun ikibin yıllık eskil tünele yönlendirilmesiyle tarımsal açıdan korunmaktadır. Tünel kapasitesi, günümüzde sıkça uygulama alanı bulan, Geliştirilmiş Snyder, Mockus ve DSİ Sentetik gibi taşkın belirleme yöntemleriyle sınanmaya çalışılmıştır. Yöntemlerdeki çeşitli bölgesel katsayıların, tünel kapasitesi ve kestirilen debi ile karşılaştırılarak düzeltilmesi ve bölgesel değerlerinin saptanması amaçlanmışsa da, bu çalışma kapsamında gerçekleştirilememiştir. Yukarıda verilen yöntemlere göre hesaplanmış tünel kapasitesine eşit taşkın doruk debilerinin sıklıklarına bakarak yöntemlerin geçerliliklerine ilişkin yorumlarda bulunulmuştur.

Anahtar Sözcükler: Bezirgan; Pirha; Tünel; Akaçlama; Taşkın

Drainage of the Ancient Tunnel at the Bezirgan Closed Basin (Ancient City Pirha/Fethiye (Lycia) Region/Türkiye)

Abstract: Bezirgan closed basin of 5 km^2 and average elevation of 750 m located in ancient Lycia region (Kalkan/Kaş/Fethiye/SouthWest-Mediterranean part of the Republic Türkiye) for preventing of the agricultural area of the ancient city Pirha in a walking distance of 20 minutes to modern village "Bezirgan" in near vicinity and containing of an ancient tunnel at the outlet named as "Bezirgan" of 22,1 km^2 drainage area, surrounded with a mountain-chain elevated of above 1000 m of sea level and its inlet to the tunnel of 736 m. DSİ (Authority of State Hydraulic Works) had rehabilitated and repaired the tunnel and improved the inlet channels almost half centennial ago. So, the basin had remitigated the floods and the agricultural activities have restarted. The

[1] Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli, E-Posta: sedefgenc@hotmail.com
[2] Pamukkale Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Denizli, E-Posta: obaykan@pau.edu.tr
[3] Pamukkale Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Denizli, E-Posta: nbaykan@pau.edu.tr
[4] Pamukkale Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Denizli, E-Posta: ugbacanli@pau.edu.tr

possible flood events in the region have been tried to identify by using of various synthetic flood determination methods, like Developed Snyder, Mockus and DSİ Synthetic. Various local parameters exist in above mentioned methods. Although these parameters can be calibrated much more realistically by comparing flood quantities and tunnel capacity, within the scope of this study has not been performed. So, the flood recurrences and intensities have been criticized and some comments made about the validity-limits of the above cited flood estimation methods.

Keywords: Bezirgan; Pirha; Tunnel; Drainage; Flood

1. GİRİŞ

Anadolu'da su mühendisliği yapılarından olan eskil tüneller/galeriler ilginç ve akılcı kullanımlarıyla incelemeye değer niteliktedirler. Bunlardan Bergama, Nysa gibi Ege Bölgesi'nin yanı sıra, kuzey Ege'de Truva tüneli, iç-batı Akdeniz'de Elmalı tüneli, kıyı-batı Akdeniz'deki Bezirgan tüneli, Pamukkale (Hierapolis) tüneli, doğu Akdeniz'deki Çevlik (Samandağ/Antakya) tüneli bunlardan yalnızca birkaçıdır.

Tünel/galeri kapasitelerinin saptanmasıyla; sözkonusu yapıların zaman içinde geçirdiği değişiklikler, bakım/onarım/yeniden yapım geçmişleri; çağdaş taşkın kestirim yöntemleri içindeki ve çoğu kez literatür değerlerine bağlı kalınarak hesaplanan parametrelerinin yerel tabanlı incelenmeleri ve/veya yeni yöntem ve parametre kalibrasyonlarının önerilmesi sağlanabilir.

2. ÇALIŞMA YERİ VE ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

2.1. Çalışma Yeri

Çalışmada konu edilen bölge, Antalya ili Kalkan ilçesi yakınlarında bulunan ve etrafı 1500-2000 metreyi bulan dağlarla çevrilmiş "Bezirgan Ovası" dır. Ovanın ortasında ova ile aynı adı taşıyan "Bezirgan Köyü" yer almaktadır. Köyün yükseltisi 750 m dir. Pirha eskil kent kalıntılarına köyden 20 dakikalık bir yürüyüşle ulaşılır. Kalkan Beldesi'nin yayla köyü niteliğindedir. Eskil kent denizden 850 metre yüksekte kurulmuştur. Kaya mezarlarının yönleri denize doğru olup, lahitler ise dağınık bir şekilde sıralanmıştır (Şekil 1). Eskil kentte bulunan birçok heykel ve rölyef Antalya Müzesi'nde sergilenmektedir.

Ova tam kapalı bir havza görünümünde olup yaklaşık 750 m yükselti çizgisiyle çevrelenir. Bu alan yaklaşık 5 km^2 dir. Sözkonusu alandan suyun uzaklaştırılacağı nokta güneydeki boyundur. Bunun dışında doğal bir boğaz olmadığından, ovanın şiddetli yağışlar sonrasında ciddi akaçlama sorunları yaşadığı belirtilmektedir. Bu soruna 2 binyıl önce kuzeyden güneye açılmış iki kurutma kanalı ile çare bulunmuştur. Ova çıkışındaki dağları aşmak için ise en uygun bölgeden tünel açılması çözümü üretilmiştir. Sözü edilen iki kanal tünel girişine 100 m kala birleşir ve derlenen sular tünel aracılığıyla ovayı terk eder. Tünel boyu yaklaşık 250 m, giriş ve çıkış yükseltileri sırasıyla 734 ve 730 m, eğimi % 1,6 olarak saptanmıştır (Büyükyıldırım 1994). Enyüksek noktada tünel üstündeki zemin yükü 33 m dir. Böylece köy halkının geçimini

sağlayacak tarım alanlarının akaçlaması da gerçekleşmiş ve havza ürün yetiştirilecek toprak niteliğine kavuşmuştur (Şekil 2 (3)).



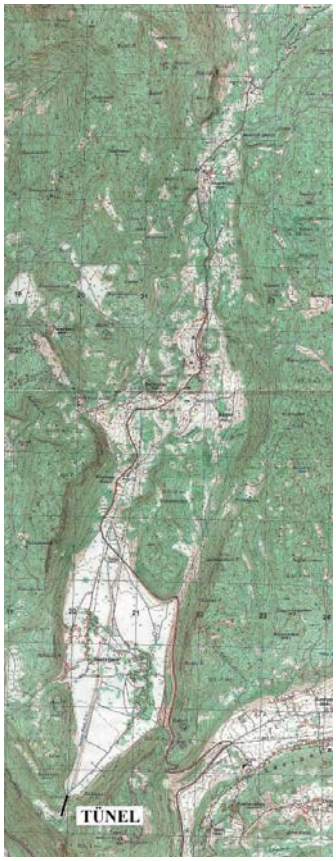
Şekil 1. Pirha eskil kenti kaya mezarları



Bezirgan'ın yeri (1) (Türkiye Karayolları Atlası)



Bezirgan'ın yeri (2)



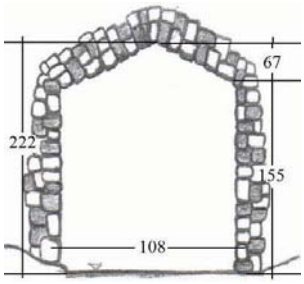
Bezirgan kapalı havzası (plan) (3)
1/25000 lik Fethiye P22-b3

Şekil 2. Bezirgan'ın yeri

22,1 km^2'den oluşan tüm akaçlama havzasını 12,63 kilometrelik bir ana kol geçmektedir. Bu ana kolun sonunda yer alan tünel ile su ovayı terk etmektedir. Ana kolun yaklaşık 4 kilometrelik bölümü Bezirgan Ovası içinde yer almaktadır.

Havza çıkışına doğru tünelin başlamasına yaklaşık 100 metre kala DSİ yapımı küçük bir köprü bulunmaktadır. Bu köprü ile tünel arasında kalan kanal parçası yaklaşım kanalının tarihselliğine işaret etmektedir. Ancak son yıllarda gerek bakımsızlık, gerekse yağışlardaki azalma nedeniyle yıkılan/çöken kısımlar onarılmamıştır.

Sistemin esas parçası ve asıl eskil kalıntı niteliği taşıyan tünel ise yaklaşık 2000 yıl önceki çabanın günümüze ulaşan kanıtıdır. Giriş bölümünde halen ilk günkü kesit özellikleri görülebilmekte, ancak tünel içinde ilerledikçe yer yer çökmeler olduğu gözlenmektedir. İncelenen Bezirgan eskil tünelinin duvarları ve tavanı taş örülüdür. Tavanı üçgen kesitlidir. Tünel girişinde kanal derinliği yaklaşık 3,00 m dir. Tünel kesiti, tünele ve havzaya ilişkin görüntüler aşağıda verilmiştir (Şekil 3 ve 4).



(a)Tünel ölçüleri


(b)Tünelden dışa bakış


(c)Tünelden içe bakış

Şekil 3. Tünel ölçüleri (ölçeksiz, ölçüler cm) ve görünüşler


Akaçlama kanalları (Büyükyıldırım 1994)


Tünele giriş kanalı

Şekil 4. Bezirgan kapalı havzasında akaçlama ve boşaltım tüneline giriş

730 m yükseltili tünel çıkışından sonra 4-5 m yükseklikli yan duvarlar güneybatıya doğru yaklaşık 50 m sonra sona ermekte, buradan kuru dere yatağına bırakılan su Kalkan'ın içinde denize dökülmektedir (Büyükyıldırım 1994).

2.2. Önceki Çalışmalar

Konu ile ilgili olarak geçmişte iki temel çalışma yapılmıştır. Bergama (Pergamon) ve Sultanhisar (Nysa) tünellerinde yapılan çalışmalarda, benzer yaklaşım sergilenmiş ve tünel kapasiteleri ile dört yönteme göre (Günerman, Mockus, Snyder, DSİ Sentetik) hesaplanmış taşkın doruk akımları tünel kapasiteleriyle karşılaştırılmıştır. Tünel kapasitelerinin Bergama'da yüzyıllar (ortalama olarak 700 yıl), Nysa'da binyıllar mertebelerinde (13500 yıl) yinelenme sürelerine karşı geldikleri ortaya konulmuştur (Ünal 1978 ve Tolkun 1979). Bu iki çalışmanın bildirileri de ulusal ve uluslararası üç toplantıda sunulmuştur (Öziş ve diğ. 1979a ve 1979b; Harmancıoğlu ve diğ 2008) ve uluslararası bir dergide yayımlanmıştır (Grewe ve diğ. 1994).

İtalya'daki Etrüsk ve Roma dönemi tünellerine değinen bir çalışma ile tünel yapılarını genel anlamda derleyen bir diğer çalışma da Grewe tarafından gerçekleştirilmiştir (Grewe 1989, 1998).

3. AMAÇ, KAPSAM VE KULLANILAN YÖNTEMLER

3.1. Amaç

Yapılan çalışmanın amaçları olarak; literatürde verilen ve bölgeye uyup uymadığı kuşkulu olan bazı bölgesel parametrelerin belli yaklaşımlarla belirlenmesi; eskil su yapılarının çağdaş yöntemlerle sınanması sırasında, o zamanın su mühendislerinin nasıl düşündüklerine ışık tutarak kentin tarihsel geçmişine eklentiler yapılması; yeni taşkın kestirim yöntemlerinin geliştirilmesi ve tünel tasarımlarına yeni bakış açıları getirilmesi sayılabilir. Ancak bu aşamada, bu amaçlara uygun olarak çalışmalar sonuçlandırılamamış, parametreler için literatür değerlerinden yararlanılmakla yetinilmiştir.

3.2. Kapsam

Arazi çalışmaları öncelikle, çeşitli doğrusal, alansal ve yükseltisel ölçümler yapılarak ve bu arada Google fotograflarından da yararlanarak gerçekleştirilmiştir. Büro çalışmaları ise, önceki literatürden yararlanma, kot-koordinat alınması, gerek eskil, gerekse çağdaş yapıların haritaya yerleştirilmesi, Mockus, DSİ Sentetik ve Geliştirilmiş Snyder gibi çağdaş taşkın belirleme yöntemlerinin uygulanarak, çeşitli bölgesel varsayımlar altında, taşkın debi değerlerinin ve kapasite belirlemeye yönelik hidrolik hesapların yapılması yoluna gidilmiştir.

3.3. Veriler

3.3.1. Yağış Verileri

Bölgeye ilişkin yıllık toplam yağış değeri 800 mm dolayındadır. Bölgede yer alan 5 yağış gözlem ölçeğinin (Kaş, Kalkan, Kasaba, Gömbe, Akçay) 2, 5, 10, 50 ve 100 yıllık verileri elde edilmiştir (DSİ 1990). Tünel taban yükseltisine (734 m) karşı gelen 2, 5, 10, 25, 50 ve 100 yıl yinelenmeli yağış değerleri ilgili regressif bağıntılardan hesaplanmıştır (Şekil 5). Aynı çalışma yağış-yükselti ilişkileriyle havzanın kritik

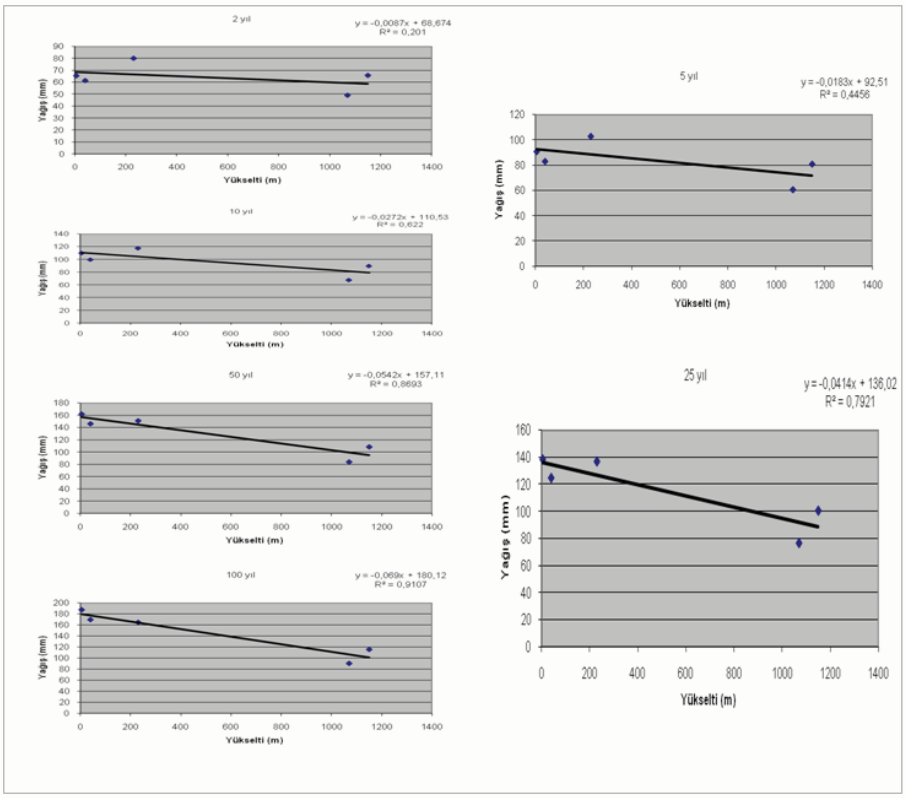
noktalarının yağışları belirlenerek eşyağış eğrileri çizilerek te yapılabilirdi, ancak havza alanı oldukça küçük olduğundan bu iki çalışma arasındaki fark, yoksayılabilecek ölçüde olurdu.

3.3.2. Arazi Verileri

Yerinde yapılan gözlemler ve Google-Earth verileri sonucunda, yamaçların maki, taban arazisinin ise küçük boylu bitkilerden oluştuğu belirlenmiştir.

3.3.3. Google Verileri

Yapay taşkın yöntemlerinde kullanılan anakol uzunluğu gibi bazı fiziksel parametreler Google haritasından hesaplanmıştır.



Şekil 5. Bölgesel Regressif Bağıntılar

Çizelge 1. Yinelenme süresine göre yağış (bağımlı değişken)-yükselti (bağımsız değişken) arasındaki korelasyon katsayıları ve regresyon katsayıları (a: çevirme katsayısı; b: ekseni kesme sabiti

Yinelenme Süresi (yıl)	2	5	10	25	50	100
Korelasyon Katsayısı, r	0,45	0,67	0,79	0,89	0,93	0,95
Regressif Bağıntı	a=-0,0087 b=68,67	a=-0,0183 b=92,51	a=-0,0272 b=110,53	a=-0,0414 b=136,02	a=-0,054 b=157,11	a=0,0069 b=180,12

3.4. Kullanılan Yöntemler

Farklı yinelenme süreli yağışlara karşı gelen taşkın giriş hidrograflarının doruk değerleri, bölgede herhangibir akış gözlem ölçeği bulunmadığından, havzanın fiziksel özelliklerini kullanan yapay birim hidrograflarla çalışma yolu seçilmiştir. Bu nedenle, sıkça kullanılan bazı yapay hidrograf yöntemlerine başvurulmuştur. Aşağıdaki Çizelge 2'de adları ve içerdikleri literatüre dayanan bölgesel parametreleri verilen yöntemlerin ayrıntılarına girilmemiştir. Tüm ayrıntıları bilinen bu yöntemlerin ayrıntıları ilgili yayınlarda bulunmaktadır (Baykan 2000; Kızılkaya 1988; McCuen 1998; Özer 1990; Öziş 1983). Kullanılan yöntemlerdeki parametreler ve gözönüne alınması önerilen parametre değerleri aşağıda verilmiştir (Çizelge 2).

Çizelge 2. Kullanılan yöntemler ve içerdikleri parametreler

Literatür değerleri			
DEĞİŞKENLER	MOCKUS	DSİ SENTETİK	GELİŞTİRİLMİŞ SNYDER
Ana Kol Uzunluğu, L	12600 m	12600 m	12600 m
Havza Alanı, A	22,1 km^2	22,1 km^2	22,1 km^2
Akışyukarısı-aşağısı ara. yüks. farkı, H	424 m		
Bölgesel Katsayı, H_c	1,67		
Bölgesel Katsayı, K	0,18		
Havzanın Ağırlık Merkezinin Ana Kol Üstündeki İzdüşümünün Havza Çıkışına Olan Uzaklığı, L_c		6145 m	6145 m
Ana Kolun Ort. Harmonik Eğimi, S		0,033	
Eğri No		61	61
Arazi Kullanım Örtüsü		Çayır yada Otlak	Çayır yada Otlak
Hidrolojik Toprak Gurubu		B	B
Sızma İçin Hidrolojik Koşul		İyi	İyi
Zemin Cinsine Bağlı Katsayı, C_t			(Orta Der. Kum. ve Killi) 1,5
Zemin Cinsine Bağlı Katsayı, C_p			(Orta Der. Kum. ve Killi) 0,63

3.5. Tünel Kapasitesi

Tünel kapasitesi, Şekil 3'te verilen tünel ölçüleri dikkate alınarak, tünelin üçgen olan tepe noktasına değin (tam dolu akış durumu) basınçsız akış kurallarına göre ve Manning formülüyle (Manning pürüzlülük katsayısı 0,030 alınmıştır); bu noktadan itibaren yukarıya doğru basınçlı ve tünel akışı biçiminde hesaplanmıştır. Arazideki gözlemlere göre, tünel önündeki kabarmanın 6 m'nin üstüne çıkamayacağı öngörülmüştür. Basınçsız akış kapasitesi 4-5 m^3/s, toplam kapasite 7-8 m^3/s olarak hesaplanmıştır.

4. BULGULAR

Tünel yapısı yer yer çökmüşse de halen çok kötü durumda olmadığı, ancak geçmişte pek çok kez onarımdan geçtiği sanılmaktadır. DSİ'nin yaptığı onarımdan (1968) bu yana geçen 40 yıldan fazla bir sürede tünelin içten çöküntülere uğraması bunun bir kanıtı olarak gösterilebilir.

Bezirgan tüneli beslenme havzasından çeşitli sıklıkta gelmesi olası giriş doruk akımları aşağıda belirtilen üç yapay hidrograf yöntemine göre ayrı ayrı hesaplanmıştır: (a) Geliştirilmiş Snyder; (b) Mockus üçgen hidrograf; (c) DSI - Sentetik Hidrograf.

Çeşitli havzalarda yapılan uygulamalara göre, seçilen yapay hidrograf yöntemleri 25 km^2'den büyük havzalarda uygun sonuçlar vermektedirler. Bezirgan tünelinin beslenme havzası 25 km^2'ye oldukça yakın olduğundan (22,1 km^2), seçilen yöntemlerin uygulanmasında sakınca görülmemiştir.

Bezirgan tünelinin Geliştirilmiş Snyder, Mockus ve DSİ Sentetik yapay hidrograf yöntemlerine göre çeşitli yinelenme sürelerindeki taşkın giriş doruk akımları hesaplanmıştır (Çizelge 3). Sözkonusu 3 yönteme ve bunların ortalamasına göre hesaplanmış değerler ise aşağıda verilmiştir (Şekil 6).

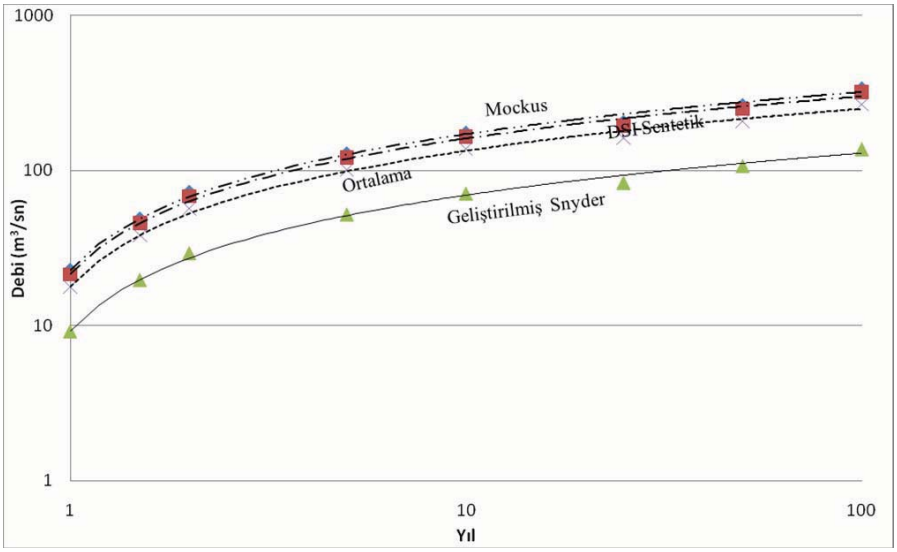
Çizelge 3. Yinelenme Sürelerine Göre Taşkın Doruk Değerleri

Yinelenme Yılı	1,00	1,50	2,00	5,00	10,00	25,00	50,00	100,00
Mockus	22,83	49,03	72,95	129,43	176,49	207,08	265,91	341,21
DSİ Sentetik	21,39	45,94	68,34	121,25	165,35	194,00	249,12	319,67
Geliştirilmiş Snyder	9,21	19,77	29,42	52,19	71,17	83,50	107,22	137,59
ORTALAMA	17,81	38,25	56,90	100,96	137,67	161,53	207,42	266,16

Bu çalışmanın daha sonraki aşamalarında, geçmişte herhangibir tasarımlandırma ölçütü olup olmadığı, çağdaş taşkın belirleme yöntemlerinin işlerlik ve geçerliklerinin binyıllar boyunca sanal olarak eskil tünel üstünde sınanması, bölgesel parametrelerin değerlerinin gözden geçirilmesinin değerli bilgiler verebileceği görülmüştür.

Çağdaş yaşamda yararlanabilecek noktalar (bölge depremselliği, iklim değişikliği, malzeme ömürleri gibi, tasarım özellikleri v.b.) tünellerin incelenmesiyle de ortaya konulabilir. Çalışmanın bölgesel parametre kestirim yaklaşımının daha önce yapılan eskil Nysa ve Bergama tünellerinde olduğu gibi şimdiye değin ele alınmamış onlarca eskil tünele uygulanarak çok ilginç sonuçlara ulaşılabileceği görülmektedir.

Bulguların irdelenmesine gelince; Şekil 6'dan da izleneceği üzere, yapay birim hidrograf yöntemlerinin Bezirgan tüneline ilişkin olarak verdiği sonuçlar, yöntemler arasında belirgin sistematik farklılıkların olduğunu ortaya koymaktadır. Geliştirilmiş Snyder yöntemi en düşük doruk akımları ile en uzun yinelenme sürelerini vermekte iken, Mockus ve DSİ Sentetik yöntemlerinde ise birbirlerine yakınlık görülmektedir. Bezirgan tünelinin kapasitesi ve yöntemlerin analitik anlatımları aşağıda verilmiştir (Çizelge 4 ve 5).



Şekil 6. Taşkın değerleri

Çizelge 4. Tünel Kapasiteleri

Yinelenme Süresi (Yıl)				
Tünel Kapasitesi*)	Mockus	DSİ Sentetik	Snyder	Ortalama
13 m^3/s	0,7	0,7	1,2	0,7

*) Su yükünün tünel üstünden 6 m yukarıda olduğu kabul edilmiştir.

Çizelge 5. Uygulana Yapay Hidrograf Yöntemlerinin Analitik Anlatımları

Yöntem	Analitik Anlatımı
Mockus	debi = 64,62*ln(yinelenme yılı) + 22,83
DSİ Sentetik	debi = 60,54*ln(yinelenme yılı) + 21,39
Geliştirilmiş Snyder	debi = 26,06*ln(yinelenme yılı) + 9,21

Not: Tanımlılık katsayısı R^2=0,98

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar

Çağdaş yapay hidrograf ve taşkın sıklık çözümleme yöntemlerinin (Mockus, DSİ Sentetik ve Geliştirilmiş Snyder) Bezirgan/Kalkan/Kaş/Antalya eskil tüneline uygulanması sonucunda, tünel kapasitesinin her yıl aşıldığı görülmektedir. Böyle bir değerin pek beklenemeyeceği açıktır. Gerçekten de yerinde yapılan gözlem ve söyleşilerde böyle bir olayın geçen 40 yılı aşkın bir süre zarfında görülmediği ortaya çıkmıştır. 40 yıl yinelenmeli debi, örneğin Geliştirilmiş Snyder'e göre 107 m^3/s olmaktadır ki, tünel kapasitesinin çok çok üstündedir. O halde, literatürden alınan parametre değerlerinin yanılgılı olduğu, bölge karakteristikleriyle pek uyuşmadığı

söylenebilir. Ancak, bölge jeolojik yapısına göz atıldığında, kireçtaşı ağırlıklı (karstik) bir zemin söz konusudur. Bu durumda, zeminin çok kırıklı ve boşluklu olmasından kaynaklanan geçirgenliğinin tünele ulaşan suyun niceliğini azaltabileceğini akla getirmektedir.

5.2. Öneriler

Gerek eskil tünellerin yapım özellikleri, gerekse günümüzdeki yapay hidrograf yöntemlerinin uygulama alanları açısından gerçekleştirilen bu tip çalışmalar çağdaş bilime ışık tutacak niteliktedir. Bu nedenle, benzer çalışmaların Anadolu'daki diğer eskil tünel/galeri ve benzeri su yapılarına da uygulanmasının, yalnızca geçmişteki tasarımlandırma esaslarına ışık tutmakla kalmayacağı, aynı zamanda çağdaş hidrolojik yöntemlerin uygulamadaki geçerliliği konusunda da değerli bilgiler verebileceği görülmektedir. Bu nedenle, yapılacak çalışmalarda sabit değerlerle değil, değerlerin belli aralıklar arasında değişebileceği (örneğin, pürüzlülük; örneğin parametrelerin değişim aralıkları) göz önünde tutularak çalışmanın bu değerlerle yinelenmesi değişik yorumlara gidilmesini de sağlayacaktır.

Bu çalışma her ne kadar 25 km^2 den küçük akaçlama alanına sahip ve Akdeniz Bölgesi'nde gerçekleştirilen bir çalışma ise de, çalışmanın taşkın doruk akışlarının saptanmasına ilişkin olarak kullanılan üç yöntemin yanı sıra (Geliştirilmiş Snyder, Mockus, DSİ Sentetik), Günerman'ın Ege Bölgesi için geliştirdiği ve alanı 25 km^2'den büyük alanlar için uygulanmasını önerdiği yöntemin de ilerideki çalışmalarda kullanılması düşünülebilir (Günerman 1974).

Akaçlama çalışması yapılan Eskil Bezirgan tünelinin yurtdışındaki bazı örneklerle, örneğin İtalya'daki Etrüsk döneminden kalma Fucino ve diğer bazı kapalı havza akaçlamalarıyla (Grewe 1989, 1998) karşılaştırılmasına ilişkin çalışmalar ilginç sonuçlar verebilecektir.

6. KAYNAKLAR

Baykan, N. O., "Hidroloji", Denizli, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, 121 s., 2000.

Büyükyıldırım, G., "Antalya Bölgesi Tarihi Su Yapıları", Ankara, DSİ Genel Müdürlüğü, 40 ıncı Kuruluş yılı (1954-1994), 211 s., 1994.

D.S.İ., "Türkiye Maksimum Yağışları Frekans Atlası, Noktasal Yağışların Frekans Analizi, Cilt I ve II,", Ankara, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, 1990.

Genç, S., "Bezirgan Eskil Tüneli Akaçlaması", Denizli, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, Diploma Çalışması, 36 s., (Yön. N. O. Baykan), 2009.

Grewe, K.; Öziş, Ü.; Baykan, N. O.; Atalay, A., "Die antiken Flussüberbauungen von Pergamon und Nysa", Antike Welt, Zeitschrift für Archaeologie und Kultur Geschichte, 25. Jahrgang, Heft 4, 1994, S. 348-352, 1994.

Grewe, K., “Etruskische und Römische Tunnelbauten in Italien”, Braunschweig/Almanya, Mitteilungen des Leichweiss Instituts für Wasserbau der Technischen Universitaet Braunschweig, Heft 103, 1989.

Grewe, K., “Das Licht am Ende des Tunnels-Planung und Trassierung im antiken Tunnelbau”, Mainz am Rhein/Almanya, Verlag Philipp von Zabern, ISBN 3-8053-2492-8 (Zaberns Bildbaende zur Archaeologie), ISBN 3-8053-2496-0 (Sonderhefte der Antiken Welt), 218 S., 1998.

Günerman, H., “Küçük Havzalarda Proje Taşkın Hidrograflarının Elde Edilmesi İçin Bir Yöntem”, İzmir, Ege Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Hidroloji ve Su Yapıları Doktora Tezi No. 1, 87 s., 1974.

Harmancıoğlu, N.; Öziş, Ü.; Baykan, O.; Atalay, A.; Ünal, Ş.; Tolkun, M., “Bergama ve Nysa Çaylarını Örten Tünel Biçimi Tarihi Su Yapıları”, İzmir, DSİ II. Bölge Müdürlüğü, Tarihi Su Yapıları Konferansı, Bildiriler Kitabı, s. 161-164, 2008.

Kızılkaya, T., “Sulama ve Drenaj”, İkinci Basılış, Ankara, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, DSİ Genel Müdürlüğü, 390 s., 1988.

McCuen, R., “Hydrologic Analysis and Design, 2nd ed., New Jersey, ISBN: 0-13-134958-9, 814 P., 1998.

Özer, Z., “Su Yapılarının Projelendirilmesinde Hidrolojik ve Hidrolik Esaslar (Teknik Rehber)”, Ankara, Tarım Orman ve Köyişleri Bakanlığı, Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü, Havza Islahı ve Göletler Daire Başkanlığı, 714 s., 1990.

Öziş, Ü., “Su Yapıları”, İzmir, Ege Üniversitesi Matbaası, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Yayınları No. 54, 608 s., 1983.

Öziş, Ü., Harmancıoğlu, N., Baykan, O., Ünal, Ş., Tolkun, M., “Tarihi Bergama ve Nysa Tünellerinin Kapasiteleri ile Giriş Taşkın Zirve Akımlarının Karşılaştırılması, İstanbul, İTÜ, Birinci Ulusal Hidroloji Kongresi, s. 369-376, 1979a.

Öziş, Ü., Harmancıoğlu, N., Baykan, O., Ünal, Ş., Tolkun, M., “Flood flows and capacities of the historical Pergamon and Nysa tunnels in Anato1ia”, Cagliari, International Association for Hydrau1ic Research, "IAHR XVIII. Congress, Seminar 7 Proceedings, pp. 695-698, 1979b.

Tolkun, M., “Nysa’daki tarihi tünelin kapasitesi ile giriş taşkın zirve akımlarının karşılaştırılması”, İzmir, Ege Üniversitesi İnşaat Fakültesi, Hidroloji ve Su Yapıları Diploma Çalışması, No. 42 (Yön.: Ü. Öziş ve N. Harmancıoğlu), 1979.

Türkiye Karayolları Atlası, İstanbul, Doğan Burda Dergi, Atlas Harita Kitaplığı, 2008.

Ünal, Ş., “Bergama’da çayı üzerindeki tarihi ikiz tünelin kapasitesi ile giriş taşkın zirve akımlarının karşılaştırılması”, İzmir, Ege Üniversitesi İnşaat Fakültesi, Hidroloji ve Su Yapıları Diploma Çalışması, No. 39 (Yön.: Ü. Öziş ve N. Harmancıoğlu), 1978.

Orta Kıyı Ege (Eolya) ve Batı ve Orta Akdeniz (Karya ve Likya) Bölgeleri Eskil Su Mühendisliği Sistemlerinin Eksik Kalan Araştırma Konuları

Nesrin Baykan[1], Y. Ersel Tanrıöver[2], N. Ezgi Türken[3], Seyhun Türk[4], N. Orhan Baykan[5], Ferhat Türkman[6], Birol Kaya[7]

Özet: 1970'li yıllarda başlayan ve neredeyse 40 yılının geride bırakıldığı eskil kentlerin su mühendisliği yapılarına ilişkin çalışmaların özelinde, Eolya, Karya ve Likya eskil bölgelerinde yukarıda adıgeçen yazarlarca gerçekleştirilmiş onlarca inceleme son onyıl içinde gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada, adıgeçen eskil kentlerin su getirme ve götürme yapıları ile liman tesislerinin genel bir tanıtımı yağılmış, bazı hidrolik özelliklerine ve kapasitelerine değinilmiştir. Anılan eskil bölgelerde 200'ü aşkın kent dolaşılmıştır. Bunlardan bazılarına uzun süre ayrılmış ve tekil projeler biçiminde ele alınmış; bazılarına ise, barındırdıkları su yapılarının azlığı ve/veya yokluğu nedeniyle kısaca değinilmiştir. Çeşitli nedenlerle ele alınmayan, bulanamayan veya ulaşılamayan kentlerin de dizini verilmiştir. Böylelikle ilerde araştırılmaya öncelik tanınacak kent ve konular ortaya konulmaya çalışılmıştır.

Anahtar Sözcükler: antik; eskil; Eolya; Karya; Likya; su yapısı; liman

Uncompleted Studies of the Ancient Hydraulic Engineering Systems of the Middle Coastal Aegean (Aiolis) and, Western and Middle Mediterrannean (Caria and Lycia) Regions

Abstract: In this study, a common representation of water-supply systems and ancient harbor facilities in the ancient regions of Aiolis, Caria, Lycia, western and south-western coastal zone of West-Türkiye, has been performed and touched to their hydraulic characteristics and capacities that the authors have been realized during the last decade. In the cited regions, more than 200 ancient cities have been visited. Among those, some of them have been almost deeply investigated while the others have been roughly studied. By the way, a complete list of the cities either studied or mentioned in

[1] Pamukkale Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Denizli, e-Posta: nbaykan@pau.edu.tr
[2] Karşıyaka Belediyesi, İzmir, e-Posta:etanriover@hotmail.com
[3] Karşıyaka Belediyesi, İzmir, e-Posta: eturken@hotmail.com
[4] Setsa İnşaat, Denizli, e-Posta: seyhunturk@hotmail.com
[5] Pamukkale Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Denizli, e-Posta: obaykan@pau.edu.tr
[6] Lefke Avrupa Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Lefke, KKTC, e-Posta: ferhat.turkman@deu.edu.tr
[7] Dokuz Eylül Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İzmir, e-Posta: birol.kaya@deu.edu.tr

the literature has been given. Thus, the priorities related to the further studies have been identified.

Keywords: ancient; Aiolis; Caria; Lycia; water structure; harbor

1. GİRİŞ

Eskil su yapılarını izlemenin, gün ışığına çıkarmanın, onları genç kuşaklara tanıtmanın ve denli önemli bir uygarlığın kalıtlarının sorumluluğunu taşıdığımızın bilincini vermek temel ödevlerimizden olmalıdır.

Yapılan çalışmaların amaçları olarak; arkeoloji bilim dalına yardımcı olma düşüncesi ön plana çıkarılarak, su mühendisliği açısından eksik kalan noktaları saptamak; ele alınan eskil kentin geçmişine su mühendisliği açısından ışık tutarak kentin yaşam bütünselliği ve ticaret hacmini iskele kapasiteleri açısından ortaya koymak; eskil kentin yanlış ve/veya hatalı su iletim ve dağıtım sistemlerine ilişkin kanaatleri ve saplantıları düzeltmek; tanımlanmasında sıkıntı duyulan yapılara başka gözle bakarak tanılanmalarını sağlamak ve genç kuşaklara bu yapıların su mühendisliği açısından önemini anlatmaya çalışmak; gerek su iletim/dağıtım/uzaklaştırım, gerekse liman sistemlerinin tasarımının binyıllar içindeki değişimini izleyerek, hem çağdaş yöntemlerin bölgeselliklerini sınamak, hem de yeni yöntemler geliştirmek sayılabilir.

Çalışmanın kapsadığı bölgeler aşağıda verilmiştir (Şekil 1). Bu çalışmada, üç yüksek lisans tezi ile ilk yazarın iki makalesinden yararlanarak bazı çıkarımlara gidilmeye çalışılmıştır. Çalışmalar, arazi gezileri, fotograflama, önceki literatürden yararlanma, kot-koordinat ölçümleri, bazı temel hidrolik hesapların yapılması biçiminde gerçekleştirilmiştir.



Şekil 1. Çalışma bölgesi

2. YAPILMIŞ ÇALIŞMALAR

2.1. Limanlar

2.1.1. Genel

Eskil limanlara yönelik çalışmalar daha çok envanter bazda yapılmıştır (Arısoy ve Kurtuluş 1993; Baykan ve diğ. 2001 ve 2002). Bu nedenle, tüm eskil liman/iskele yapılarının ölçülmesi, çizimlerinin yapılması ve ayrıntıların ortaya konulması gerekecektir. Bu konudaki bazı örneklerden yararlanılabilir (Hartleben 1963; Balackman 1973; Knoblauch 1977).

Türkiye'de 100'ün üstünde eskil liman ve ondan çok daha fazla sayıda iskele bulunmaktadır. Bunların zaman tüneli içinde incelenmesi; limanlardaki sürüntü maddesinin taşınımı, dalga yükseklikleri ve şiddetlerine ilişkin bilgilerin eskil yapılardaki tahribata bakarak yerel bazda gözden geçirilmesi ve yeni tasarım tekniklerinin geliştirilmesi gibi noktaların açığa kavuşturulmasını sağlayabilir. Bütün bu yapısal ayrıntıların saptanmasından sonra, eskil kentlerin geçmişe yönelik ticaret hacimlerinin kestirilmesi yoluna da gidilerek, kentlerin birbirleriyle ilişkisi ortaya konulmak suretiyle yazılmış tarih yeniden gözden geçirilebilir.

2.1.2. Yapılmış Çalışmalar

Türkiye'deki eskil liman ve iskelelere ilişkin olarak çok fazla sayıda ayrıntılı çalışma bulunmamaktadır. Bu çalışmalar genellikle bir envanter niteliğindedir. Az sayıda da olsa tekil liman incelemeleri de yapılmamış değildir (Knoblauch 1977; Alkan ve Öziş 1991; Özdaş 1991). Eskil limanlara değişik açıdan bakan çalışmalar da bulunmaktadır. Bunlara göre, tarihteki ticaret hacimlerine ve dolayısıyla kentlerin birbirleriyle olan ilişkilerine ışık tutmak açısından, limanlar ve limanlardaki iskele/rıhtım uzunlukları önemli bir işlev görebilir (Baykan 2001; Baykan 2002).

Bu bildiri kapsamında yalnızca Ege ve Akdeniz kıyısındaki eskil liman/iskele kalıntılarının yeniden gözden geçirilmiş bir envanteri ortaya konulmuş; limanlara değişik bir bakış açısı getirilmeye çalışılmıştır. Ege ve Akdeniz'deki eskil limanların bir dökümü aşağıda verilmiştir (Çizelge 1).

Çizelge 1. Eolya ve İyonya (Aiolis ve Ionia) bölgelerindeki liman ve iskeleler

Sıra	Kent Adı	Şimdiki Yeri	Sıra	Kent Adı	Şimdiki Yeri
1	Adramytion	Burhaniye/Edremit	12	Erythrai	Ildır
2	Aterneus	Dikili/İzmir	13	Teos	Sığacık/Seferihisar
3	Karene	Bademli	14	Çiftlikköy	
4	Pitane	Çandarlı/Dikili	15	Kaystes	Kokar
5	Elaea	Reşadiye	16	Geerhaiidai	Doğanbey
6	Grynion	Yeni Şakran/Aliağa	17	Lebedus	Kısık
7	Mryna	Yeni Şakran/Aliağa	18	Notium	Ahmetbeyli
8	Kyme	Nemrut/Aliağa	19	Ephesus (3 ad)	Selçuk
9	Phokaia	Eski Foça	20	Priene	Güllübahçe
10	Leucaea	Çamaltı Tuzlası	21	Miletos	Balat/Söke
11	Smyrna	Bayraklı İzmir Merkez	22	Didyma	Yenihisar
12	Klazomenai	Urla-İskele			

Çizelge 2. Karya (Karia) bölgesindeki liman ve iskeleler

Sıra	Kent Adı	Şimdiki Yeri	Sıra	Kent Adı	Şimdiki Yeri
1	Eski Knidos (4 ad)	Datça/Muğla	5	Loryma	Aziziye/Bozburun
2	Yeni Knidos (2 ad)	Reşadiye/Datça/Muğla	6	Kaunos	Dalyan/Köyceğiz
3	Saranto	Kızılyer	7	Telmessos	Fethiye
4	Physikos	Marmaris			

Çizelge 3. Likya (Lykia) bölgesindeki liman ve iskeleler

Sıra	Kent Adı	Şimdiki Yeri	Sıra	Kent Adı	Şimdiki Yeri
1	Patara	Gelemiş/Kalkan/Antalya	5	Andriake-Myra	Demre/Kale
2	Antiphellos	Kaş/Antalya	6	Olympos	Çıralı
3	Aperlae	Sıcak Yarımadası	7	Phaselis	Tekirova
4	Apollonia	Üçağız			

Çizelge 4. Diğer Akdeniz Limanları

Sıra	Kent Adı	Şimdiki Yeri	Sıra	Kent Adı	Şimdiki Yeri
1	Attaleia	Antalya	12	Arsinoe	Bozyazı
2	Aspendos	Aksu	13	Kelenderis	Gilingire
3	Side	Selimiye/Manavgat	14	Holmi	Taşucu
4	Ptolemais Augaia	Fığla Burnu	15	Seleukia	Silifke
5	Hamaxia	Elikesik/Sinekkalesi	16	Korykos	Kızkalesi
6	Koracesium	Alanya	17	Elaiussa Sebaste	Ayaş
7	Laertes	Mahmutlar	18	Soloi Pompeipolis	Viranşehir/mersin
8	Selinus	Gazipaşa	19	Tarsos	Tarsus
9	Kharadrus	Kaladran Köyü	20	Aigai Amanide	Yumurtalık
10	Anemurium	Anamur	21	Issos	Dörtyol
11	Nagidus	Eski Anamur	22	Seleucia Pieria	Çevlik/Samandağ

2.2. Su İletim Sistemleri

2.2.1. Genel

Anılan üç eskil bölgenin özellikle su iletim yapılarına ilişkin çalışmalar genellikle geçen onyıllık bir süreç içine yayılmış, konuyla ilgili onlarca lisans ile üç yüksek lisans çalışması gerçekleştirilmiştir. Bunlardan bazıları birçok ulusal/uluslararası sempozyum, konferans ve kongrelerde bildiri olarak sunulmuştur (bkz. Kaynaklar bölümü-Bildiri/Makale alt bölümü).

2.2.2. Yapılmış Çalışmalar

Eolya (Aiolis) kentlerinin su iletim yapılarına ilişkin olarak yapılan çalışmaların dizini Çizelge 5a ve 5b'de; Karya (Karia) kentlerinin su iletim yapılarına ilişkin olarak yapılan çalışmaların dizini Çizelge 6a, 6b, ve 6c'de; Likya (Lykia) kentlerinin su iletim yapılarına ilişkin olarak yapılan çalışmaların dizini ise Çizelge 7a, 7b, ve 7c'de verilmiştir. Koyu olarak imgelenen kentlerin iletim sistemleri biraz daha yakından incelebilmiştir. Ancak çalışmalar, harita, yerinde gözlem ve bazı küçük arazi ölçülerine dayanmaktadır. Araştırmalar "yüzeysel çalışma" sınıfına girip, kazı çalışmalarına girilmemiştir. Yüzeysel araştırmaların tümü ilgili devlet kuruluşlarının yazılı izinleri

alınarak gerçekleştirilmiştir (Tanrıöver 2002; Türken 2006; Türk 2008; bkz. Kaynaklar bölümü-Diploma Çalışmaları alt bölümü).

Yukarıda sözügeçen çalışmaları özetleyen ulusal/uluslararası çok sayıda bildiri çeşitli toplantılarda sunulmuş ve yayımlanmıştır (bkz. Kaynaklar bölümü-Bildiri/Makale altbölümü). Türkiye ve bölge çapında su iletim/dağıtım ve atıksuyun uzaklaştırımını kapsayan çalışmalar belli kitaplarda özetlenmiştir (Bildirici 1994; Büyükyıldırım 1994; Öziş 1994).

Çizelge 5a. Eolya (Aiolis) kentleri (İzmir İli)

Sıra	Kent Adı	Şimdiki Yeri	Sıra	Kent Adı	Şimdiki Yeri
1	**Aigai**	**Nemrudkale/Aliağa**	14	Melanpagos	Göktepe/Merkez
2	Aigiroessa	Kavaklıdere/Kemalpaşa	15	Menemen	Menemen
3	Allianoi	PaşaIlıcası/Bergama	16	Myrina	Güzelhisar/Aliağa
4	Atarna/Atarneus	Kaletepe/Dikili	17	Nea Phokaia	Yeni Foça
5	Elaia	Kazıkbağları/Bergama	18	Neon Teikhos	Yenikale/Menemen
6	Gryna/Gryneion	Yenişakran/Aliağa	19	Notion	Ahmetbeyli/Menderes
7	Herakleia	Emiralem/Menemen	20	Palaudis	Emiralem/Menemen
8	Kanai	Bademli/Dikili	21	Panaz Tepe	Maltepe/Menemen
9	Karina/Karine	Asartepe/Dikili	**22**	**Phokaa/Phokaia**	**Eski Foça**
10	Kordoleon	Karşıyaka	23	Pitana/Pitane	Çandarlı
11	Kyma/Kyme	Nemrud/Aliağa	24	Sillyos/Sillion	Yamanlar Dağı/Çiğli
12	Larissa	Buruncuk/Menemen	25	Temnos	Kayacıktepesi/Menemen
13	Leukai	Üçtepeler/Sasalı			

Not: Koyu basılanlar ele alınmış kentlerdir.

Çizelge 5b. Eolya (Aiolis) kentleri (Balıkesir İli)

Sıra	Kent Adı	Şimdiki Yeri	Sıra	Kent Adı	Şimdiki Yeri
1	Adramytteion	Ören/Eremit	3	Thebai	Burhaniye/Edremit
2	Killa	Zeyinli/Edremit			

Not: Koyu basılanlar ele alınmış kentlerdir.

Çizelge 6a. Karya (Karia) kentleri (Denizli İli)

Sıra	Kent Adı	Şimdiki Yeri	Sıra	Kent Adı	Şimdiki Yeri
1	Alacain	Acıpayam	**14**	**Hierapolis**	**Pamukkale**
2	Anava	Çardak	15	Honai	Honaz
3	Apollan Lermonos	Bahadınlar Köyü	**16**	**Laodikeia**	**Eskihisar**
4	**Apollonia Salbakos**	**Medetköy/Tavas**	17	Launda	ÇaI
5	**Attouda**	**Hisarköy/Sarayköy**	18	Peltai	Çivril
6	Barza	Yorga/Tavas)	19	Motella	Bekilli
7	Calossae	Honaz	20	Mossyna	Akköy
8	Didimen	Kızılcabölük	21	Sala	Güney
9	Dionysopolis	Ortaköy/Çal	**22**	**Sebastopolis**	**Kızılca**
10	Eriza	Acıpayam	**23**	**Tabai**	**Kale**
11	**Eumeneia**	**Işıklı/Çivril**	24	Thiounta	Akköy
12	Herakleia Hieronu	Kızılcabölük	**25**	**Trapezopolis**	**Babadağ**
13	**Herakleia Salbakos**	**Vakıfköy**	**26**	**Tripolis**	**Yenicekent/Buldan**

Not: Koyu basılanlar ele alınmış kentlerdir.

Çizelge 6b. Karya (Karia) kentleri (Aydın İli)

Sıra	Kent Adı	Şimdiki Yeri	Sıra	Kent Adı	Şimdiki Yeri
1	**Akharakha**	**Salavatlı**	16	Myus	Avşar/Söke
2	**Alabanda**	**Araphisar/Çine**	17	Naulokhos	Tuzburgazı
3	**Alinda**	**Karpuzlu**	28	Neapolis	Koyuncular/Bozdoğan
4	Amyzon	Akmescit/Koçarlı	**19**	**Nysa**	**Sultanhisar** Dalama
5	Ania	Soğucak/Kuşadası	20	Ortasa	
6	**Antiocheia**	**Başaran**	**21**	**Panionion**	**Güzelçamlı/Kuşadası**
7	**Aphrodisias**	**Geyre/Karacasu**	22	Phrurion	
8	Bargasa	Kavaklı/Bozdoğan	**23**	**Priene**	**Güllübahçe**
9	**Didyma**	**Yenihisar**	24	Pedasa	Konacık
10	Gerga	Söğütçük/Hacıpaşalar	25	Pisina	
11	Harpasa	Ortasa/Dalama	26	Pygela	Kuşadası
12	Körteke	Körteke	27	Pyria	
13	**Magnesia** adMeandrum	**Tekinköy/Söke**	28	Thebai	Doğanbey
14	Mastura	Nazilli	**29**	**Tralleis**	**Aydın Merkez**
15	**Miletos**	**Balat/Söke**			

Çizelge 6c. Karya (Karia) kentleri (Muğla İli)

Sıra	Kent Adı	Şimdiki Yeri	Sıra	Kent Adı	Şimdiki Yeri
1	Aloanda	Kabaağaç/Eşen/Fethiye	34	Lidai	Kapıkargın
2	Amnistos	Marmaris	35	Lissa	Kapıkargın
3	Amos	Turunç/Marmaris	36	Loryma	Taşlıca/Bozburun
4	Araxa	Ören/Kemer/Fethiye	**37**	**Mylasa**	**Milas**
5	Arsada	Arsaköy/Kemer/Fethiy	38	Madnasa	Türkbükü/Gölköy
6	**Bargylia**	e	39	Mobolla	Muğla
7	Bybassiol	**Boğaziçi**	**40**	**Myndos**	**Gümüşlük**
8	Daidala	Erine/Orhaniye	41	Narasa	Narrusar/Selimiye
9	Erine	İnliceAsarı/Fethiye	**42**	**Oenoanda**	**İncealiler**
10	Euromos	Hisarönü/Marmaris	43	Olymos	Kafcı/Milas
11	Euthena	Selimiye	44	Pedasa	Bodrum
12	Halikarnassos	Söğüt	45	Phoinix	Taşlıca/Bozburun
13	**Herakleia/Latmo**	Bodrum	46	Physkos	Beldibi/Marmaris
14	**s**	**Kapıkırı/Bafa Gölü**	**47**	**Pınara**	**Minare/Eşen/Fethiye**
15	Hydai	Damlıboğaz	48	Pydnai	Karadere/Eşen
16	Hydisos	Karacahisar	49	Saranda	Söğüt/Marmaris
17	**Iassos**	**Kıyıkışlacık**	50	Sibda	Aşağı Göl/Türkbükü
18	Idyma	Sakar Geçidi	51	Sidyma	Dodurga
19	Kadrae	Sedir Adası	52	Sinuri	Kalınağıl/Milas
20	Kadyanda	Üzümlü/Fethiye	**53**	**Stratonikei**	**Eskihisar**
21	Kallipolis	Kızılyaka	54	**a**	Alazeytin
22	Karmera		55	Syangela	Bayır/Bozburun
23	Karmylessos	Kaya Köyü	56	Syrna	Kazıklı
24	Kasara	Serçe Limanı	57	Teikhiousa	İncirköy
25	Kastabos	Hisarönü	58	Telandros	(Telandria), Fethiye
26	Kaunos	Dalyan/Köyceğiz	59	Telmessos	Aspat-Çift Kale
27	Keramos	Ören/Milas	**60**	Termera	**Yerkesik/Muğla**
28	Khalketor	Karakuyu/Selimiye	**61**	**Thera**	
29	Kindye	Sığırtmaç	62	**Thiangela**	Söğüt
30	**Knidos**	**Datça**	63	Thyssanos	Yakaköy/Fethiye/Muğl
31	**Labraunda**	**Milas**	64	Tlos	a
32	**Lagina**	**Turgut**	65	Uda	Selimiye
33	Larymna	Bozburun		Uranion	Burgazkale
	Letoon	Fethiye			

Not: Koyu basılanlar ele alınmış kentlerdir.

Çizelge 7a. Likya kentleri (Muğla İli)

Sıra	Kent Adı	Şimdiki Adı	Sıra	Kent Adı	Şimdiki Adı
1	Aloanda	Kabağaç Köyü/Fethiye	8	Lidai	Kapıkargun/Dalaman
2	Araxa	Evren/Eren//Kemer/Fethiye	9	Lissa	Kapıkargun/Dalaman
3	Arsada	Arsa/Fethiye	**10**	**Pınara**	Minare/Eşen/Fethiye
4	Daidala	İnlice/Fethiye	11	Sidyma	Dodurga/Fethiye
5	**Kadyanda**	Üzümlü/Fethiye	12	Telandros	Arpacık/Fethiye
6	Karmylesos	Kayaköy/Fethiye	13	Telmessos/Telmissos	Fethiye
7	Letoon	Kumluova/Eşen/Fethiye	14	Tlawa/Tlos	Kemer/Fethiye

Not: Koyu basılanlar ele alınmış kentlerdir.

Çizelge 7b. Likya kentleri (Burdur İli)

Sıra	Kent Adı	Şimdiki Adı	Sıra	Kent Adı	Şimdiki Adı
1	**Balbura**	Çölkayığı/Altınyayla	**3**	**Kibyra**	Gölhisar
2	**Bubon**	İbecik/Gölhisar	**4**	**Oinoanda**	İncealiler/Seki

Not: Koyu basılanlar ele alınmış kentlerdir.

Çizelge 7c. Likya kentleri (Antalya İli)

Sıra	Kent Adı	Şimdiki Adı	Sıra	Kent Adı	Şimdiki Adı
1	Akalissos	İncirağacı Mah./Kumluca	20	Limyra	Yuvalılar/Finike
2	**Andriake**	**Çayağzı/Demre/Kale**	**21**	**Myra**	**Demre/Kale**
3	Antiphellos	Kaş/A	22	Nisa	Sütleğen/Kaş
4	Aperlai	Sıcak/Kılınçlı/Demre	23	Olympos/Khimaira	Adrason/Çavuş/Kumluca
5	Apollonia	Kılınçlı/Demre	**24**	**Patara**	**Gelemiş/Kalkan**
6	Arneai	Günçalı/Finike Merkez	**25**	**Phaselis**	**Tekirova/Kemer**
7	**Arykanda**	**Arif/Finike**	26	Phellos	Çukurbağ/Kaş
8	Gagai	Yalı/Yenice/Kumluca	27	Podalia	Karamık/Finike
9	Gilevgi	Gilevri/Elmalı	28	Pydnai/Kydnai	Karadere/Eşen/Fethiye
10	Hoyran	Yavu/Demre	29	Rhodiapolis	Hacıveliler/Kumluca
11	Idebessos	Yenikışla/Kumluca	30	Semayük	Bozhöyük/Elmalı
12	Isinda	Belenli/Kaş	31	Simena ve Kekova	Kaleköy/Demre
13	Istlada	Kapaklı/Demre	32	Soura/Sourai	Kapaklı/Demre
14	Kandyba	Çataloluk/Kaş	33	Teimioussa	Üçağız/Demre
15	Khoma	Hacımusalar/Sarılar/Elmalı	34	Trebenda	Gürses/Demre
16	Komba	Gömbe/Elmalı	35	Trysa ve Heroon'u	Yavu/Demre
17	Korma	Gödene/Altınyaka/Kumluca	36	Tyberriossos	Çevreli/Demre
18	Korydalla	Hacıveliler/Kumluca	**37**	**Xanthos/Arnna**	**Kınık/Kalkan**
19	Kyaneai	Kapaklı/Demre			

Not: Koyu basılanlar ele alınmış kentlerdir.

3. YAPILMASI ÖNERİLEN ÇALIŞMALAR

2.1. Limanlar

Çizelge 2 ila 4'de sunulan limanların neredeyse hiçbirinde yeterli ve gerekli ölçümler yapılamamış; herhangi bir bakım/onarım çalışması gerçekleştirilmemiş, sonuç olarak ne turizme kazandırılabilmiş, ne de üstlerinde bilimsel çalışma yapma olanağı yaratılabilmiştir.

2.2. Su İletim Sistemleri

Şimdiye değin yapılmış çalışmalar ve ortaya konulan iletim sistemlerinin öğeleri ve iletim kapasiteleri öğeleri aşağıda verilmiştir (Çizelge 8, 9, 10).

Çizelge 8. Karya eskil su mühendisliği sistemleri dökümü (Tanrıöver 2002, Öziş 1991)

No	Kent Adı	Geçgi yada Kaynak Adı	Geçgi Üstündeki Öğeler	Top. Geçgi Uzun. (km)	Kapasite (l/s)
1	Alabanda	Araphisar'ın güneydoğusu	Açık kanal	21,4	400-800
2	Alinda	Güroluk-Kaynak	Ters sifon (?), Su Köprüsü, Galeri, Pişmiş Toprak Boru	12	30
3	Antiocheia	Azizabat	Pişmiş Toprak Boru	2 (?)	15-20
4	Aphrodisias	760 m den 570 m ye	Pişmiş Toprak Boru, Hazne, Su Köprüsü	9	150
5	Apollonia Salbakos	Pınarlar yakındaki pınarlar	Pişmiş Toprak Boru	?	50
6	Attouda	Güneydoğudaki pınarlar	Pişmiş Toprak Boru	?	25-30
7	Eumeneia	Işıklının kuzeybatısındaki pınarlar	Pişmiş Toprak Boru	6	15
8	Halikarnassos	? (---)	Sarnıç (?), Galeri	?	?
9	Herakleia Salbakos	Vakıf Köydeki Kuyu	Galeri	?	150-200
10	Hierapolis	Müştak, Kocapınar, Çaltılı, Karahayıt	Su Köprüsü, Galeri, Ters Sifon, Pişmiş Toprak Boru	18	300-400
11	Iassos	Kuyu (?)	Su Köprüsü	1	10
12	Keramos	Suçıkan	Su Köprüsü, Galeri, Sağır Duvar	7	150
13	Knidos	Kalamış	Pişmiş Toprak Boru	7	200
14	Labraunda	Pınarlar	Pişmiş Toprak Boru	1	?
15	Lagina	?	Pişmiş Toprak Boru, Açık Hazne	?	?
16	Laodikeia	Başpınar	Pişmiş Toprak Boru, Su Köprüsü, Ters Sifon	8	80-150
17	Magnesia Ad Maiandros	Naipli, Kızılcapınar, Argavlı	Su Köprüsü, Açık Kanal, Taş boru, Galeri, Pişmiş Toprak Boru	21	300
18	Nysa	Malgaçemir ve Malgaçmustafa Pınarları	Pişmiş Toprak Boru	7	250
19	Panionion	---	Sarnıç	---	---
20	Sebastopolis	Çaylak	Duvar, Pişmiş Toprak Boru, Hazne	6	300
21	Stratonikeia	?	Pişmiş Toprak Boru	---	50
22	Tabai	---	Sarnıç	---	---
23	Tralleis	Çaykavuştuğu, Ölemez, Kocabağ	Su Köprüsü, Galeri, Sağır duvarlar	26	150-300
24	Trapezopolis	Salbakos Pınarları	Pişmiş Toprak Boru	10	?
25	Tripolis	Karşıpınar	Su Köprüsü, Galeri, Ters Sifon	22	100-200

Çizelge 9. Eolya eskil su mühendisliği sistemleri dökümü (Türken 2006)

No	Kent Adı	Geçgi yada Kaynak Adı	Geçgi Üstündeki Öğeler	Top. Geçgi Uzun. (km)	Kapasite (l/s)
1	Allianoi	---	Kent İçi Dağıtım Pişmiş Toprak Boru	---	???
2	Aigai	---	Sarnıç	---	6808 m^3/ay
3	Phokaia	Göksu Pınarları Muradiye-Buruncuk-Foça	Galeri, Açık Kanal, Su Köprüsü	100	200-500

Çizelge 10. Likya eskil su mühendisliği sistemleri dökümü (Türk 2007)

No	Kent Adı	Geçgi yada Kaynak Adı	Geçgi Üstündeki Öğeler	Top. Geçgi Uzun. (km)	Kapasite (l/s)
1	Andriake	---	Su köprüsü, Sarnıç	---	50-65
2	Arykanda	Kaptaj ve Badıl Pınaraları	Açık Kanal, Pişmiş Toprak Boru, Sarnıç	6,30	185-245
3	Balbura	Gökpınar	Pişmiş Toprak Boru	4,25	10-15
4	Bubon	Kayalı Pınarı	Pişmiş Toprak Boru, Sarnıç	3,75	22-25
5	Kadyanda	---	Sarnıç	---	28000 m^3/yıl
6	Kibyra	Böğrüdelik Pınarı	Pişmiş Toprak Boru, Taşa Oyulmuş Boru	2,25	100- 120
7	Myra	---	Kayaya Oyulmuş Açık Kanal	---	270-360
8	Oinoanda	İncealiler Köyü Gökpınarı	Taşa Oyulmuş Borular	3,80	
9	Patara	İslamlar Pınarı	Kayaya Oyulmuş Kanal, Kargir Kanal, Pişmiş Toprak Boru, Ters Sifon, Su Köprüsü, Sarnıç	21	125-155
10	Phaselis	Silma Pınarı	Pişmiş Toprak Boru, Açık Kanal, Su Köprüsü	10,00	360-420
11	Pınara	Ericek Pınarı, Muar Gözü Pınarı	Pişmiş Toprak Boru, Sarnıç	7,00	12-1
12	Xanthos	İnpınar	Galeri, Kayaya Oyulmuş Açık Kanalı, Pişmiş Toprak Boru, Su Köprüsü	8,60	500-650

Çizelge 5a ve 5b; 6a, 6b, 6c ve 7a, 7b ve 7c'te verilen kentlerin incelenme/incelenememe yüzdeleri aşağıda verilmiştir (Çizelge 11). Çizelge 5a ve 5b; 6a, 6b, 6c ve 7a, 7b ve 7c'de koyu basılı olarak verilen eskil kentler, belli ölçüde ele alınmış ve su iletim kapasiteleri hesaplanmış kentlerdir. Koyu basılmayan kentler ise, gelecekte ele alınması uygun olan kentlerdir.

Ortalama olarak eskil kentlerin su iletim, dağıtım ve kısmen atıksu uzaklaştırım sistemleri geçen 30 yıl boyunca ancak % 30 oranında incelenebilmiştir Çizelge 11).

Kentlerin katı atık yok etme sistemlerine hiç değinilmemiştir. Bu konular jeologlarca uzun bir zamandan beri "eski yükler" olarak göz önüne alınmakta ve ilgili çalışmalar yapılmaktadır.

Çizelge 11. Eskil kentlerin incelenen ve incelenmesi önerilen kent sayı ve % leri

Bölge adı	Toplam kent sayısı	İncelenen kent sayısı	İncelenme % si
EOLYA			
Balıkesir	3	0	% 0
İzmir	25	2	% 8
KARYA			
Denizli	26	10	% 38
Aydın	29	12	% 41
Muğla	65	13	% 20
LİKYA			
Muğla	14	2	% 14
Burdur	4	4	% 100
Antalya	37	6	% 16
Ortalama İncelenme % si: % 30			

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yukarıda adı geçen bölgelerde, geçen son 30, çoğunlukla da son 10 yıllık, özellikle Baykan tarafından yaptırılan yapılan ve yaptırılan çalışmalara ek olarak, gerek zaman kısıtı, gerek parasal zorluklar ve gerekse insan kaynağındaki azalma nedeniyle gerçekleştirilmesi düşünülen konular ele alınamamıştır. Bu konular makale tam metninde çizelgeler halinde ele alınmıştır. Kentlerin ancak 1/3'ü incelenebilmiştir. Bu demek değildir ki, geriye % 70 kalmıştır. Çünkü bazı kentlerin su yapıları ya kayıptır, ya kentler çok kötü durumdadır, ya da neredeyse tümüyle haritadan silinmişlerdir. Bu noktalar çok kısa olarak aşağıdaki biçimde özetlenebilir: 1. ele alınamayan eskil kentlere geziler yapılmalı, haritalardaki konumları belirlenmeli, üzerinde çalışılacak konular saptanmalıdır; 2. tekil olarak ele alınabilecek kentlere özel önem verilmeli, gerekirse projeleri lisans ve/veya yüksek lisans kapsamında yaptırılmalıdır; 3. çağdaş yaşamda yararlanabilecek noktalar (bölge depremselliği, iklim değişikliği, malzeme ömürleri, tasarım özellikleri gibi) göz önüne serilmelidir.

Patara (yürümekte olan TÜBİTAK Projesi, 108K-116) ve Sillyon (önerilen TÜBİTAK Projesi) gibi, eskil kentlerin su mühendisliği sistemlerinin ortaya çıkarılmasında önemli katkısı olacak bütçeli projelerin sayısının artması ve böylelikle araştırma/inceleme ayrıntılarının belli düzeye yükselmesi sevindirici olacaktır.

Liman/iskele/rıhtım yapıları göreli olarak iyi durumda olan kentlerdeki liman tesislerinin ele alınıp bir proje kapsamında onarımlarının fiziksel olarak gerçekleştirilmesi yapılacak "ilkler" arasında olacaktır.

Bildiriye konu olan eskil kentlerin son on yılda gerçekleştirilen yazılı kaynaklar dizini de aşağıdaki "Kaynaklar" başlığı altında verilmiştir. Böylelikle bir ölçüde güncellenmiş literatür dizini de ortaya konulmuş olmaktadır.

Kuşku yoktur ki, verilen çizelgelerde eksiklikler ve noksanlıklar bulunabilir. Bu, Türkiye'nin ekin zenginliğinin bir göstergesidir. Her geçen gün yeni bir kent, yeni bir yerleşim birimi ortaya çıkarılmakta, aslına bakılırsa, ad yazılışlarındaki farklılıklardan da kaynaklandığı üzere, bunların eksiksiz bir dizinine de pek ulaşılamamaktadır.

5. KAYNAKLAR

5.1. Diploma Çalışmaları

Akbaş, A. O., Bakır, H. ve Ekşi, İ., "Attouda (Hisarköy-Babadağ-Denizli) ve Trapezopolis (Bekirler-Babadağ-Denizli) Tarihsel Su İletimleri", Denizli, Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Diploma Çalışması (Yön.: N. O. Baykan, Y. E. Tanrıöver), 2002.

Akkaş, A. ve Ceylan, H., "Tabai (Kale-Denizli) Tarihsel Su İletimi", Denizli, Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Diploma Çalışması (Yön.: N. O. Baykan, Y. E. Tanrıöver), 2001.

Babacan, Ö., "Tripolis Tarihsel Su İletimi", Denizli, Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Diploma Çalışması (Yön.: N. O. Baykan), 2000.

Bağcık, R. ve Sandal B. U., "Tralleis (Aydın) Tarihsel Su İletimi", Denizli, Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Diploma Çalışması (Yön.: N. O. Baykan, Y. E. Tanrıöver), 2002.

Basmacı, M., Kurban, A., Vardar, N. B. ve Akınal, E., "Hierapolis Tarihsel Su İletimi", Denizli, Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Diploma Çalışması (Yön.: N. O. Baykan), 2000.

Can, K. ve Türken, N. E., "Herakleia Salbakos (Vakıf-Kızılcabölük-Denizli) ve Apollonia Salbakos (Medet-Tavas-Denizli) Tarihsel Su İletimi", Denizli, Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Diploma Çalışması (Yön.: N. O. Baykan, Y. E. Tanrıöver), 2001.

Çakır, M; Verim, Ö.; Afşar, R., "Antik Afrodisias Kenti Su Yapıları", İzmir, Ege Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Diploma Çalışması, 18 s. (Yön.: T. Acatay), 1978.

Çetinkaya, E., Filiz, A.ve Kasımoğulları, M., "Stratonikeia (Eskihisar-Yatağan-Muğla) ve Lagina (Turgut-Yatağan-Muğla) ve Keramos (Ören-Muğla) Tarihsel Su İletimleri", Denizli, Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Diploma Çalışması (Yön.: N. O. Baykan, Y. E. Tanrıöver), 2002.

Çiftçi, Ş., "Magnesia Tarihsel Su iletimi", Denizli, Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Diploma Çalışması (Yön.: N. O. Baykan), 2001.

Giydiren, Ş. K., "Alinda (Karpuzlu-Aydın) Tarihsel Su İletimi", Denizli, Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Diploma Çalışması (Yön.: N. O. Baykan, Y. E. Tanrıöver), 2001.

Gündoğdu, O.; Süleymanoğlu, Ö., "Aphrodisias Tarihsel Su İletimi", Denizli, Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Diploma Çalışması (Yön.: N. O. Baykan, Y. E. Tanrıöver), 2001.

Güripek, K.; Uysal, A., "İasos Tarihsel Su Yapıları", Denizli, Dokuz Eylül Üniversitesi, Denizli Mühendislik Fakültesi, Diploma Çalışması (Yön.: N. O. Baykan), 1991.

Kitiş, B., "Tripolis Tarihsel Su İletiminde Karşıpınar Su Derleme Yapısı", Denizli, Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Diploma Çalışması (Yön.: N. O. Baykan), 2001.

Önen, N., Özyurt, S. ve Yağcı, G., "Foça Tarihsel Su İletimi", İzmir: Ege Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Hidroloji ve Su Yapıları Diploma Çalışması (Yön.: Ü. Öziş, N. O. Baykan), 1979.

Özkan, Ş., Türk, S. ve Yanbaşlı, İ., "Eumeneia (Işıklı-Çivril-Denizli) Tarihsel Su İletimi", Denizli, Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Diploma Çalışması (Yön.: N. O. Baykan, Y. E. Tanrıöver), 2001.

Özmen, U. S. ve Soğancı, D., "Nysa (Sultanhisar-Aydın) Tarihsel Su İletimi", Denizli, Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Diploma Çalışması (Yön.: N. O. Baykan; Y. E. Tanrıöver), 2002.

Perker, Ö. F., Güner, A. E., Çallı, L. ve Çalışkan, H., "Knidos (Yazıköy-Datça-Muğla) Tarihsel Su İletimi", Denizli, Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Diploma Çalışması (Yön.: N. O. Baykan, Y. E. Tanrıöver), 2002.

Turan, İ.; Alkan, H., "Laodiciea", Denizli, Dokuz Eylül Üniversitesi, Denizli Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Diploma Çalışması. (Yön.: N. O. Baykan ve Y. Özpınar), 1991.

Ümit. O., "Phaselis Tarihsel Su İletimi", Denizli, Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Diploma Çalışması (Yön.: N. O. Baykan), 1996.

Yaşar, M., "Sebastapolis (Kızılca-Tavas-Denizli) Tarihsel Su İletimi", Denizli, Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Diploma Çalışması (Yön. N. O. Baykan, Y. E. Tanrıöver), 2001.

Yılmaz, G., ".Latmos Herakleia'sı (Kapıkırı-Milas-Muğla) Iassos (Kıyıkışlacık-Milas-Muğla) Bargylia (Yarköy-Güllük-Muğla) Panionion (Güzelçamlı-Kuşadası-Aydın) Tarihsel Su İletimleri", Denizli, Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Diploma Çalışması (Yön.: N. O. Baykan; Y. E. Tanrıöver), 2002.

5.2. Yüksek Lisans Tezleri

Kurtuluş, Z., " Anadolu'daki Antik Limanlar", İzmir, Dokuz Eylül Üniversitesi Y. Lisans Tezi (Yön.: Y. Arısoy), 200 s., 1993.

Özdaş, H., "Alexandria Troas Antik Limanı ve Liman Yapıları, Ankara, Hacettepe Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, 148 s., 1991.

Tanrıöver, Y. E. (2002). Karia Bölgesi (Güney-Batı Ege) Tarihsel Su Yapıları. Denizli, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi (Yön: N. O. Baykan), 269 s.

Türken, N. E., (2006). "Kuzey Ege Bölgesi Tarihi Yerleşim Merkezlerinin Su Sistemlerinin Hidrolojik ve Hidrolik Açıdan İncelenmesi". İzmir, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi (Yön.: F. Türkman; N. O. Baykan), İnşaat Mühendisliği Bölümü Hidrolik-Hidroloji ve Su Kaynakları Anabilim Dalı, 183 s.

Türk, S. (2009). "Bai Akdeniz (Likya) Tarihi Yerleşim Merkezlerinin Su Sistemlerinin Hidrolojik ve Hidrolik Açıdan İncelenmesi". İzmir, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi (Yön.: B. Kaya; N. O. Baykan), İnşaat Mühendisliği Bölümü Hidrolik-Hidroloji ve Su Kaynakları Anabilim Dalı, 276 s.

5.3. Makale / Bildiriler

Akbaş, O. A.; Bakır, H.; Ekşi, İ.; Baykan, N. O.; Tanrıöver, Y. E., "Attuda (Hisarköy) ve Trapezopolis (Bekirler) Eskil Suyolları (Babadağ-Denizli)", İzmir, Çevre ve Orman Bakanlığı DSİ Genel Müdürlüğü, DSİ 2. Bölge Müdürlüğü, Tarihi Su Yapıları Konferansı (5. Dünya Su Forumu Hazırlık Süreci Bölgesel Toplantısı), Bildiriler Kitabı, s. 153-156, Gümüldür, 26-27 Haziran 2008.

Arısoy, Y.; Kurtuluş, Z., "Anadolu'daki Antik Limanlar", Dz. Kuvvetleri Dergisi, ISSN-2015, Sayı560, s. 14-21, Temmuz 1994.

Alkan, A.; Öziş, Ü., "Su Mühendisliği Tarihi Açısından Çevlik Kanal ve Tünelleri", Ankara, İMO Teknik Dergi, s. 353-366, Temmuz 1991.

Babacan, Ö.; Kitiş, B.; Baykan, N. O.; Tanrıöver, Y. E., "Tripolis (Yenicekent/Buldan/Denizli) Eskil/Çağcıl Pınar Derleme Yapısı", İzmir, Çevre ve Orman Bakanlığı DSİ Genel Müdürlüğü, DSİ 2. Bölge Müdürlüğü, Tarihi Su Yapıları Konferansı (5. Dünya Su Forumu Hazırlık Süreci Bölgesel Toplantısı), Bildiriler Kitabı, s. 149-152, Gümüldür, 26-27 Haziran 2008.

Bağcık, R.; Sandal, U.; Baykan, N. O.; Tanrıöver, Y. E.; Atalay, A., "Tralles'in (Traleis/Aydın) Taşkemeri", İzmir, Çevre ve Orman Bakanlığı DSİ Genel Müdürlüğü, DSİ 2. Bölge Müdürlüğü, Tarihi Su Yapıları Konferansı (5. Dünya Su Forumu Hazırlık Süreci Bölgesel Toplantısı), Bildiriler Kitabı, s. 177-180, Gümüldür, 26-27 Haziran 2008.

Baykan, N. O.,“Tarihte Su Yapıları (Giriş)”, Denizli, İnşaat Mühendisleri Odası Denizli Şubesi Bülteni, Ağustos 1992, s. 5-7, 1992.

Baykan, N. O. ve Dağ, O. A., “Perge Tarihsel Su İletim Sistemleri”, Ankara: D.S.İ.'nin Kuruluşunun 40.Yıl'ında Su Ve Toprak Kaynaklarının Geliştirilmesi Konferansı, 12-14 Nisan 1994, Cilt 1, 63-72, 1994.

Baykan, N. O.; Kocakaya, İ.; Alkaya, D., “Patara Tarihsel Su İletimi”, İzmir, Sabancı Kültür Merkezi, “Türkiye İnşaat Mühendisliği 14. Teknik Kongresi”, 23-25 Ekim 1997, İnşaat Mühendisleri Odası İzmir Şubesi Yayın No:26, s. 1067-1081, 1997a.

Baykan, N. O.; Cantilav, T., “Cibyratis Birliği Tarihsel Su İletimleri” İzmir, Sabancı Kültür Merkezi, “Türkiye İnşaat Mühendisliği 14. Teknik Kongresi”, 23-25 Ekim 1997, İnşaat Mühendisleri Odası İzmir Şubesi Yayın No:26, s. 1099-1113, 1997b.

Baykan, N. O., “Çürüksu (Lycus) Vadisindeki Üç Antik Kent ve Onların Tarihsel Su Yapıları (Laodiceia-Eskihisar-, Hierapolis-Pamukkale-, Colossae-Honaz)”, Denizli, TMMOB Makine Mühendisleri Odası, Denizli’de Sanayileşme ve Kentleşme Sempozyumu, 15-17 Ekim 1999, Yayın no.230, s. 117-127, 1999.

Baykan, N. O., 1995a “Tarihte Açıların Ölçülmesi: Groma”, İzmir, TMMOB Harita Ve Kadastro Mühendisleri Odası İzmir Şubesi Haber Bülteni, Yıl 6, Sayı 52, Kasım/Aralık 1995,1995a.

Baykan, N. O., “Tarihte Nivo: Korobat”, İzmir, TMMOB Harita Ve Kadastro Mühendisleri Odası İzmir Şubesi Haber Bülteni, Yıl 6, Sayı 49, Mart/Nisan 1995, s. 6-7, 1995b.

Baykan, N. O. ve Cantilav, T., “Cibyratis Birliği Tarihsel Su İletimleri”, İzmir: Sabancı Kültür Merkezi, Türkiye İnşaat Mühendisliği 14. Teknik Kongresi, İnşaat Mühendisleri Odası İzmir Şubesi Yayın No:26, 1099-1113, 23-25 Ekim 1997a.

Baykan, N. O., Kocakaya, İ. ve Alkaya, D., “Patara Tarihsel Su İletimi”, İzmir: Sabancı Kültür Merkezi, Türkiye İnşaat Mühendisliği 14. Teknik Kongresi, İnşaat Mühendisleri Odası İzmir Şubesi Yayın No: 26, 1067-1081, 23-25 Ekim 1997b.

Baykan, N. O., “Çürüksu (Lycus) Vadisindeki Üç Antik Kent Ve Onların Tarihsel Su Yapıları (Laodiceia-Eskihisar, Hierapolis-Pamukkale, Colossae-Honaz)”, Denizli, TMMOB Makine Mühendisleri Odası, Denizli’de Sanayileşme Ve Kentleşme Sempozyumu, 15-17 Ekim 1999.

Baykan, N. O., Tanrıöver Y. E. ve Çiftçi, Ş. (2001). Historical Water Supply System Of Magnesia on The Maeander/Söke/Aydın/Türkiye”. İstanbul Büyükşehir Belediyesi Su ve Kanalizasyon İdaresi, International Symposium On Water Resources And Environmental Impact Assessment, 11-13 Temmuz 2001a.

Baykan, N. O.; Tanrıöver, Y. E.; Çiftçi, Ş., “Historical Water Supply System of Magnesia/ Söke/Aydın/Türkiye”, İstanbul, International Symposium on Water

Resources and Environmental Impact Assessment, Istanbul Technical University, Uçak ve Uzay Bilimleri, Meteorology Department, 11-13 July 2001, pp. 139-148, 2001b.

Baykan, N. O.; Baykan, N.; Tanrıöver, Y. E., "Denizli İli Arkeolojik Belgeleme Çalışmaları (Eskil-Antik Suyolları)", İstanbul, Kültür Envanteri Dergisi, Türkiye Bilimler Akademisi (Journal of Cultural Inventory), 2001/1, ISSN 1304-2440, s.33-44, 2001c.

Baykan, N., "Anadolu'daki Tarihsel Limanların Kent-Liman Planlaması Bağlamında İncelenmesi". İstanbul, Yıldız Teknik Ünversitesi, Türkiye'nin Kıyı ve Deniz Alanları III. Ulusal Konferansı Bildiriler Kitabı, Özhan, E.; Yüksel,Y. (Editörler), 26-29 Haziran 2001.

Baykan (Cilasın), N.; Baykan, N. O.; Haldenbilen, S., "Ege Bölgesi Tarihsel Limanlarının Planlama-Sürdürülebilirlik Kapsamında İncelenmesi", İzmir, Türkiye'nin Kıyı ve Deniz Alanları Dördüncü Ulusal Konferansı, 5-8 Kasım 2002, Bildiriler Kitabı I. Cilt, s. 145-155, 2002.

Baykan, N. O. ; Baykan, N.; Tanrıöver, Y. E., "Denizli İli Arkeolojik Belgeleme Çalışmaları (Eskil-Antik Suyolları". İstanbul, Kültür Envanteri Dergisi, Türkiye Bilimler Akademisi (Journal of Cultural Inventory), 2001/1, ISSN 1304-2440, 2003a.

Baykan, N. O. ; Baykan, N.; Tanrıöver, Y. E. ve diğ., "Antik Tralleis (Aydın) Kentinin Su İletim Sistemi", İstanbul, Türkiye Kültür Sektörü, TÜBA-TÜKSEK, Kültürle Büyümek 2003, Türkiye Bilimler Akademisi ve T.C. Kültür ve Turizm Bakanlığı, 2003b.

Baykan. N. O.; Tanrıöver, Y. E., "The Water Supply Systems of Tralleis", Kuşadası, Turkey, Cura Aquarium in Ephesus, 12th International Conference on the History of Water Management and Hydraulic Engineering, Poster Session, 2-10 October 2004a.

Baykan, N. O.; Baykan, N.; Atalay, A.; Tanrıöver, Y. E., "Aydın İli Eskil Su Yolları Envanteri 2003 Yılı Çalışmaları". İstanbul, TÜBA Kültür Envanteri Dergisi 2/2004, s. 67-73, 2004b.

Baykan, N. O., Tanrıöver E., "Water Supply System of the Ancient City Tralles", Cura Aquarium in Ephesus, Edited by Gilbert Wilinger, Volume 1, p. 133-136, Peters, Babesch Bulletin, Annual Papers on Mediterranean Archeology, Supplement 12-2006, Österreichisches Archaeologisches Institut, Sonderschriften –Band 42, Leuwen-Paris-Dudley, MA, 2006.

Baykan, N. O., "Helenistik, Roma, Bizans Dönemleri Su Yapıları", İzmir, Çevre ve Orman Bakanlığı DSİ Genel Müdürlüğü, DSİ 2. Bölge Müdürlüğü, Tarihi Su Yapıları Konferansı (5. Dünya Su Forumu Hazırlık Süreci Bölgesel Toplantısı), Bildiriler Kitabı, Çağrılı Bildiri, s. 51-62, Gümüldür, 26-27 Haziran 2008, 2008a.

Baykan, N. O.; Tanrıöver, Y. E.; Türkman, F.; Türken, N. E.; Kaya, B.; Türk, S., "Karya, Eolya ve Likya Eskil Bölgeleri Su Mühendisliği Dizgeleri Dökümü", İzmir, Çevre ve Orman Bakanlığı DSİ Genel Müdürlüğü, DSİ 2. Bölge Müdürlüğü, Tarihi Su

Yapıları Konferansı (5. Dünya Su Forumu Hazırlık Süreci Bölgesel Toplantısı), Bildiriler Kitabı, s. 101-104, Gümüldür, 26-27 Haziran 2008, 2008b.

Baykan, N. O., "Laodikya'nın (Laodiceia/Eskihisar/Denizli) Ters Sifonu", İzmir, DSİ 2. Bölge Müdürlüğü Tarihi Su Yapıları Konferansı, Gümüldür, 26-28 Haziran 2008. İzmir, Çevre ve Orman Bakanlığı DSİ Genel Müdürlüğü, DSİ 2. Bölge Müdürlüğü, Tarihi Su Yapıları Konferansı (5. Dünya Su Forumu Hazırlık Süreci Bölgesel Toplantısı), Bildiriler Kitabı, s. 141-144, Gümüldür, 26-27 Haziran 2008, 2008c.

Baykan, N. O.; Öziş, Ü.; Sarıca, N.; Alpat, S.; Büket, G., "Foça'nın Eskil Suyolu", İzmir, Çevre ve Orman Bakanlığı DSİ Genel Müdürlüğü, DSİ 2. Bölge Müdürlüğü, Tarihi Su Yapıları Konferansı (5. Dünya Su Forumu Hazırlık Süreci Bölgesel Toplantısı), Bildiriler Kitabı, s. 211-214, Gümüldür, 26-27 Haziran 2008, 2008d.

Baykan, N. O.; Tanrıöver, Y. E., "Milas'ın (Mylasa/Muğla) Su Köprüsü", İzmir, Çevre ve Orman Bakanlığı DSİ Genel Müdürlüğü, DSİ 2. Bölge Müdürlüğü, Tarihi Su Yapıları Konferansı (5. Dünya Su Forumu Hazırlık Süreci Bölgesel Toplantısı), Bildiriler Kitabı, s. 125-128, Gümüldür, 26-27 Haziran 2008, 2008e.

Baykan, N. O., "Water and culture in Anatolia throughout four millenia", Lefke, Ceng'08, Lefke/TRNC, November 27-28th, 2008 (Keynote Speaker), 2008f.

Baykan, N. O.; "Helenistik, Roma ve Bizans Dönemleri Su Yapıları", DSİ 2. Bölge Müdürlüğü Tarihi Su Yapıları Konferansı (Bildiriler Kitabı), İzmir, Türkiye, 51-62 s., 2008g.

Baykan. N. O.; Söğüt, B., "Kültür ve Özel İlgi Turizmi Bağlamında Türkiye'deki Eskil ve Çağcıl Su Yapıları", Antalya/Belek, İTÜ-Anatolia Turizm Araştırmaları Dergisi, IV. Lisansüstü Öğrencileri Araştırma Kongresi (Ed.: Nazmi Kozak), Bildiri Kitabı, s. 864-876, 23-27 Nisan 2008h.

Baykan, N. O., "Su Mühendisliği Bağlamında Denizli ve Eskil (Antik) Ekin (Kültür)", Denizli, TMMOB, Denizli Kent Sempozyumu, 02-03 Mayıs 2008, Pamukkale Üniversitesi Kongre ve Kültür Merkezi, 2008i

Balackman, D. J., "The Harbours of Phaselis", International Journal of Nautical Archeology 2.2, pp. 355-364.

Çeçen, K., "Ülkemizdeki Tarihi Su Tesisleri ve Bunların Teknik Yönden Değerlendirilmesi", Ankara, D.S.İ. nin 40. Kuruluş Yılı (1954-1994) Su Ve Toprak Kaynaklarının Geliştirilmesi Konferansı, Bildiriler, V.I., s. 11-22, 1994.

Çiftçi, Ş.; Baykan, N. O.; Tanrıöver, Y. E., "Menderes Magnezyası (Magnesia ad Meandrum/Söke/Aydın) Eskil Su Sistemi", İzmir, Çevre ve Orman Bakanlığı DSİ Genel Müdürlüğü, DSİ 2. Bölge Müdürlüğü, Tarihi Su Yapıları Konferansı (5. Dünya Su Forumu Hazırlık Süreci Bölgesel Toplantısı), Bildiriler Kitabı, s. 185-188, Gümüldür, 26-27 Haziran 2008.

Doğan, S.; Baykan, N. O.; Tanrıöver, Y. E., "Sardes (Salihli/Manisa) Eskil Su Yapıları", İzmir, Çevre ve Orman Bakanlığı DSİ Genel Müdürlüğü, DSİ 2. Bölge Müdürlüğü, Tarihi Su Yapıları Konferansı (5. Dünya Su Forumu Hazırlık Süreci Bölgesel Toplantısı), Bildiriler Kitabı, s. 207-210, Gümüldür, 26-27 Haziran 2008.

Giydiren, Ş. K.; Baykan, N. O.; Tanrıöver, Y. E., "Alinda'nın (Karpuzlu/Aydın) Eskil Su İletimi", İzmir, Çevre ve Orman Bakanlığı DSİ Genel Müdürlüğü, DSİ 2. Bölge Müdürlüğü, Tarihi Su Yapıları Konferansı (5. Dünya Su Forumu Hazırlık Süreci Bölgesel Toplantısı), Bildiriler Kitabı, s. 173-176, Gümüldür, 26-27 Haziran 2008.

Gündoğdu, O.; Süleymanoğlu, Ö.; Baykan, N. O.; Tanrıöver, Y. E., "Afrodisyas (Aphrodisias/Karacasu/Aydın) 1978-2001", İzmir, Çevre ve Orman Bakanlığı DSİ Genel Müdürlüğü, DSİ 2. Bölge Müdürlüğü, Tarihi Su Yapıları Konferansı (5. Dünya Su Forumu Hazırlık Süreci Bölgesel Toplantısı), Bildiriler Kitabı, s. 157-160, Gümüldür, 26-27 Haziran 2008.

Grewe, K.; Öziş, Ü.; Baykan, N. O.; Atalay, A., "Die antiken Flussüberbauungen von Pergamon und Nysa", Antike Welt, Zeitschrift für Archaeologie und Kultur Geschichte, 25. Jahrgang, Heft 4, 1994, s. 348-352, 1994.

Harmancıoğlu, N.: Öziş, Ü.; Baykan, N. O.; Atalay, A.; Ünal, Ş. Tolkun, M., "Bergama ve Nysa Çaylarını Örten Tünel Biçimi Tarihi Su Yapıları", İzmir, Çevre ve Orman Bakanlığı DSİ Genel Müdürlüğü, DSİ 2. Bölge Müdürlüğü, Tarihi Su Yapıları Konferansı (5. Dünya Su Forumu Hazırlık Süreci Bölgesel Toplantısı), Bildiriler Kitabı, s. 161-164, Gümüldür, 26-27 Haziran 2008.

Hartleben, K. L., "Die antiken Hafenanlagen des Mittelmeeres", Wiesbaden, Scientia Verlag Aalen, 304 S., 1963.

Kayhan, B. M.; Kurban, A.; Vardar, B.; Akınal, E.; Baykan, N. O.; Tanrıöver, Y. E., "Hiyerapolis (Hierapolis/Pamukkale/Denizli) Eskil Suyolu Sistemi ve Haznesi", İzmir, Çevre ve Orman Bakanlığı DSİ Genel Müdürlüğü, DSİ 2. Bölge Müdürlüğü, Tarihi Su Yapıları Konferansı (5. Dünya Su Forumu Hazırlık Süreci Bölgesel Toplantısı), Bildiriler Kitabı, s. 145-148, Gümüldür, 26-27 Haziran 2008.

Knoblauch, P., "Die Hafenanlagen und anschliessended Seemauern von Side, Ankara Dil Tarih Kurumu Yayını, 1977.

Kurtuluş, Z., Arısoy, Y., "Ancient Harbors in Anatolia", Antalya/Turkey, The First International Conference on the Mediterranean Coastal Environment, MEDCOAST 93, November 2-5, pp. 291-305, 1993.

Öziş, Ü.; Harmancıoğlu, N.; Baykan, N. O.; Ünal, S.; Tolkun, N., "Tarihi Bergama ve Nysa Tünellerinin Kapasiteleri ile Giriş Taşkın Zirve Akımlarının Karşılaştırılması", İstanbul, İ.T.Ü., "1 nci Ulusal Hidroloji Kongresi", s.369-376, 1979a.

Öziş, Ü.; Harmancıoğlu, N.; Baykan, N. O.; Ünal, S.; Tolkun, N., "Flood Flows and Capacities of the Historical Pergamon and Nysa Tunnels in Anatolia", Cagliari, IAHR, Congress Seminar 7, Preprint, 4 p, 1979b.

Öziş, Ü., “Alabanda und seine antike Wasserversorgung, Antike Welt, V. 22, N. 2, S. 106-113, 1991.

ÖZİŞ, Ü., “ Water Resources Development in Turkey Throughout the Ages”, İzmir, EWRA Symposium on Water Resources Management, Risk and Challanges for 21st Century, 2004.

Özkan, Ş.; Türk, S.; Yanbaşlı, İ.; Baykan, N. O.; Tanrıöver, Y. E., “Öymenya’nın (Eumeneia/Işıklı/Çivril/Denizli) Su Dağıtım Kulesi”, İzmir, Çevre ve Orman Bakanlığı DSİ Genel Müdürlüğü, DSİ 2. Bölge Müdürlüğü, Tarihi Su Yapıları Konferansı (5. Dünya Su Forumu Hazırlık Süreci Bölgesel Toplantısı), Bildiriler Kitabı, s. 137-140, Gümüldür, 26-27 Haziran 2008.

Soğancı, D.; Özmen, U. S.; Baykan, N. O.; Tanrıöver, Y. E., “Nisa’nın (Nysa/Sultanhisar/Aydın) Galerileri”, İzmir, Çevre ve Orman Bakanlığı DSİ Genel Müdürlüğü, DSİ 2. Bölge Müdürlüğü, Tarihi Su Yapıları Konferansı (5. Dünya Su Forumu Hazırlık Süreci Bölgesel Toplantısı), Bildiriler Kitabı, s. 165-168, Gümüldür, 26-27 Haziran 2008.

Tanrıöver E., Baykan N. O., Baykan N., “The Water Supply Systems of Caria, an Inventory Study”, Cura Aquarium in Ephesus, Edited by Gilbert Wilinger, Volume 1, p. 127-132, Peters, Babesch Bulletin, Annual Papers on Mediterranean Archeology, Supplement 12-2006, Österreichisches Archaeologisches Institut, Sonderschriften–Band 42, Leuwen-Paris-Dudley, MA, 2006.

Tanrıöver, Y. E.; Baykan. N. O.; Çekal, N., “Karia Su Köprülerinin Özel İlgi Turizmi Açısından İncelenmesi”, Antalya/Belek, İTÜ-Anatolia Turizm Araştırmaları Dergisi, IV. Lisansüstü Öğrencileri Araştırma Kongresi (Ed.: Nazmi Kozak), Bildiri Kitabı, s. 877-887, 23-27 Nisan 2008a.

Tanrıöver, Y. E.; Baykan, N. O., “Karya’nın Suyolları”. İzmir, Çevre ve Orman Bakanlığı DSİ Genel Müdürlüğü, DSİ 2. Bölge Müdürlüğü, Tarihi Su Yapıları Konferansı (5. Dünya Su Forumu Hazırlık Süreci Bölgesel Toplantısı), Bildiriler Kitabı, s. 105-108, Gümüldür, 26-27 Haziran 2008b.

Türk, S.; Kaya, B.; Baykan, N. O.; Tanrıöver, Y. E., “Arikanda’nın (Arykanda Arifköy/Finike/Antalya) Sarnıcı”, İzmir, Çevre ve Orman Bakanlığı DSİ Genel Müdürlüğü, DSİ 2. Bölge Müdürlüğü, Tarihi Su Yapıları Konferansı (5. Dünya Su Forumu Hazırlık Süreci Bölgesel Toplantısı), Bildiriler Kitabı, s. 109-112, Gümüldür, 26-27 Haziran 2008.

Türken, N. E.; Türkman, F.; Baykan. N. O.; Büyükkolancı, M., “Kuzey Ege Bölgesi (Aiolis) Su Mühendisliği Yaplarının Turizme Kazandırılması”, Antalya/Belek, İTÜ-Anatolia Turizm Araştırmaları Dergisi, IV. Lisansüstü Öğrencileri Araştırma Kongresi (Ed.: Nazmi Kozak), Bildiri Kitabı, s. 852-864, 23-27 Nisan 2008a.

Türken, N. E.; Can, K.; Baykan, N. O.; Tanrıöver, Y. E., “Babadağ Herakliyası’nın (Herakleia Salbakos /Vakıf/ Kızılcabölük/Denizli) Yeraltısuyu Derleme Yapısı”, İzmir, Çevre ve Orman Bakanlığı DSİ Genel Müdürlüğü, DSİ 2. Bölge Müdürlüğü, Tarihi Su

Yapıları Konferansı (5. Dünya Su Forumu Hazırlık Süreci Bölgesel Toplantısı), Bildiriler Kitabı, s. 133-136, Gümüldür, 26-27 Haziran 2008b.

Türken, N. E.; Türkman, F.; Baykan, N. O.; Tanrıöver, Y. E., "Aigai (Nemrudkale/Aliağa/İzmir) Eskil Su İletimi", İzmir, Çevre ve Orman Bakanlığı DSİ Genel Müdürlüğü, DSİ 2. Bölge Müdürlüğü, Tarihi Su Yapıları Konferansı (5. Dünya Su Forumu Hazırlık Süreci Bölgesel Toplantısı), Bildiriler Kitabı, s. 215-218, Gümüldür, 26-27 Haziran 2008c.

Yaşar, M.; Baykan, N. O.; Tanrıöver, Y. E., "Sebastapolis (Kızılca/Tavas/Denizli) Pınar Derleme Yapısı Ve Seddesi", İzmir, Çevre ve Orman Bakanlığı DSİ Genel Müdürlüğü, DSİ 2. Bölge Müdürlüğü, Tarihi Su Yapıları Konferansı (5. Dünya Su Forumu Hazırlık Süreci Bölgesel Toplantısı), Bildiriler Kitabı, s. 129-132, Gümüldür, 26-27 Haziran 2008.

5.4. Kitaplar

Akurgal, E., Anadolu Uygarlıkları, İstanbul, Net Turistik Yayınlar A. Ş., ISBN 975-479-115-6, 7. Baskı, 642 s., 2000.

Bayburtluoğlu, C., "Arkeoloji Turist Rehberleri İçin", Ankara, T.C. Kültür ve Turizm Bakanlığı, 1982.

Bayburtluoğlu, C., "Yüksek Kayalığın Yanındaki Yer Arykanda", İstanbul, Homer Kitabevi Ve Yayıncılık Ltd. Şti., 2003.

Bayburtluoğlu, C., "Lykia", İstanbul, Suna-İnan Kıraç Akdeniz Medeniyetleri Araştırma Enstitüsü, 2004.

Bean, G. E., Eski Çağda Güney Kıyılar (Özgün adı: Turkey's Southern Shore), İstanbul, Arion Yayınevi, ISBN 971-571-055-8, 1997, 189s., 1997.

Bean, G. E., Eski Çağda Lykia Bölgesi (Özgün adı: Lycian Turkey). İstanbul, Arion Yayınevi, 2. Basım, ISBN 975-571-056-6, 1998, 231 s., 1998.

Bean, G. E., Eski Çağda Menderes'in Ötesi (Özgün adı: Turkey Beyond the Maeander). İstanbul, Arion Yayınevi, ISBN 971-571-056-6, 2000, 300 s., 2000.

Bean, G. E., Eski Çağda Ege Bölgesi (Özgün adı: Aegean Turkey). İstanbul, Arion Yayınevi, ISBN 971-571-035-3, 2001, 285 s + fotolar, 2001.

Bildirici, M., "Tarihi Su Yapıları-Konya Karaman Niğde Aksaray Yalvaç Side Mut Silifke", Ankara, DSİ Genel Müdürlüğü, 40 ıncı Kuruluş yılı (1954-1994), 463 s., 1994.

Biswas, A. S., "History Of Hydrology", North-Holland, 336 p., 1970.

Büyükyıldırım, G., "Antalya Bölgesi Tarihi Su Yapıları", Ankara, DSİ Genel Müdürlüğü, 40 ıncı Kuruluş yılı (1954-1994), 211 s., 1994.

Crouch, D. P., “Water Management in Ancient Greek Cities”, New York, Oxford University Press, 1993.

Frontinus-Gesellschaft E.V., “Die Wasserversorgung Antiker Staedte”, Band 2, 2 . Auflage. Mainz, Verlag Phillip Von Zabern, ISBN 3-8053-0933-3, 224 s., 1991.

Gezi'99, "Türkiye'nin Antik Kentleri", Ekin Yazım Merkezi, 176 s. İstanbul, 1999.

Herodotos, “Herodot Tarihi” (Çev.: M. Ökmen), İstanbul, Remzi Kitabevi. (İstanbul), 544 s., 1973.

İdil, V., “Nysa ve Akharaka”, İstanbul, Yaşar Eğitim ve Kültür Vakfı, İstanbul, 125 s., 1999.

Kütükçüoğlu, M., “Güney Anadolu Tarihi Su Tesisleri-Antalya Havzası Cilt I”, Ankara, Bayındırlık Bakanlığı, DSİ Genel Müdürlüğü, Etüd ve Plan Daire Başkanlığı, Müteferrik Raporlar 19-3, Etüd ve Plan Teksirhanesi, 188 s., 1962.

Kretzschmer, F., “Antik Roma’da Mimarlık ve Mühendislik” (Çev.: Z. Zühre İlkgelen), İstanbul, Arkeoloji Ve Sanat Yayınları 6, ISBN 975-6899-64-6, 154 s., 2000.

Landels, J. G., “Eski Yunan ve Roma’da Mühendislik (Çev.: Barış Bıçakçı)”, Ankara, TÜBİTAK Popüler Bilim Kitapları 34, ISBN 975-403-056-1, 247 s., 1996.

Lloyd, S., “Türkiye’nin Tarihi, Bir Gezginin Gözüyle Anadolu Uygarlıkları”, 10. Basım (Çev.: Ender Varinlioğlu), Ankara, TÜBİTAK Popüler Bilim Kitapları 59, ISBN 975-403-084-7, 285 s., 1988.

Öziş, Ü., “Su Mühendisliği Tarihi Açısından Türkiye’deki Eski Su Yapıları”, Ankara: D.S.İ. Nin 40. Kuruluş Yılı (1954-1994) Su Ve Toprak Kaynaklarının Geliştirilmesi Konferansı, 203 s., 1994.

Öziş, Ü., “Çağlar Boyunca Anadolu’da Su Mühendisliği”, İstanbul: TMMOB İnşaat Mühendisler Odası İstanbul Şubesi, 1995.

Öziş, Ü., “Historical Dams in Turkey”, 100 p., 1999.

Öziş, Ü., “Su Yapıları (Cilt I), Su Kaynaklarının Geliştirilmesi”, İzmir, Dokuz Eylül Üniversitesi, SUMER, 2006.

Rouse, H.; Ince, S., “History of Hydraulics”. Iowa City, State University of Iowa, Institute of Hydraulic Research, 259 p., 1957.

Sağdıç, O., “Aydın”, Ankara, Aydın Belediyesi, 164 s., 1988.

Saltuk, S., “Arkeoloji Sözlüğü”, İstanbul, İnkılap Kitabevi Yayın Sanayi ve Ticaret A. Ş. (İstanbul), 316 s., 1989.

Strabon, "Geographika-Antik Anadolu Coğrafyası" (Çev.: Prof. Dr. Adnan Pekman), İstanbul, Arkeoloji Ve Sanat Yayınları 1, ISBN 975-7538-20-5, 382 s., 2000.

Toker, T., "Denizli Tarihi". Denizli, Yenigün Matbaası, 192 s., 1967.

Umar, B., "Türkiye'deki Tarihsel Adlar", İstanbul: İnkılap Kitabevi Yayın Sanayi ve Ticaret A. Ş., 1993.

Umar, B., "Lykia - Bir Tarihsel Coğrafya Araştırması ve Gezi Rehberi", İstanbul, İnkılap Kitabevi Yayın Sanayi ve Ticaret A. Ş., 1999.

Umar, B., "Aiolis". İstanbul, Bir Tarihsel Coğrafya ve Gezi Rehberi, İnkılap Kitabevi, 168 s. İstanbul, 2002.

Umar, B., "Karia-Bir Tarihsel Coğrafya Araştırması ve Gezi Rehberi-", İstanbul, İnkilap Kitabevi Yayın San. Ve Tic. A. Ş., ISBN 975-10-1712-2 (01-34-Y-0051-0153), 333 s., 1999a.

Umar, B., "Lykia-Bir Tarihsel Coğrafya Araştırması ve Gezi Rehberi-", İstanbul, İnkilap Kitabevi Yayın San. Ve Tic. A. Ş., ISBN 975-10-1502-2 (00-34-Y-0051-0022), 199 s., 1999b

Umar, B., "Kilikia-Bir Tarihsel Coğrafya Araştırması ve Gezi Rehberi-", İstanbul, İnkilap Kitabevi Yayın San. Ve Tic. A. Ş., ISBN 975-10-1571-5 (01-34-Y-0051-0146), 207 s. 2000a.

Umar, B., "Karadeniz Kappadokiası (Pontos)-Bir Tarihsel Coğrafya Araştırması ve Gezi Rehberi-", İstanbul, İnkilap Kitabevi Yayın San. Ve Tic. A. Ş., ISBN 975-10-1570-7 (01-34-Y-0051-0251), 247 s., 2000b.

Umar, B., "Lydia-Bir Tarihsel Coğrafya Araştırması ve Gezi Rehberi-", İstanbul, İnkilap Kitabevi Yayın San. Ve Tic. A. Ş., ISBN 975-10-1712-2 (01-34-Y-0051-0153), 333 s., 2001

Umar, B., "Troia-Bir Tarihsel Coğrafya Araştırması ve Gezi Rehberi-", İstanbul, İnkilap Kitabevi Yayın San. Ve Tic. A. Ş., ISBN 975-1882-X (02-34-Y-0051-0224), 361 s., 2002a.

Umar, B., "Aiolis-Bir Tarihsel Coğrafya Araştırması ve Gezi Rehberi-", İstanbul, İnkilap Kitabevi Yayın San. Ve Tic. A. Ş., ISBN 975-10-1714-9 (02-34-Y-0051-0007), 1168 s., 2002b.

Umar, B., "Paphlagonia-Bir Tarihsel Coğrafya Araştırması ve Gezi Rehberi-", İstanbul, İnkilap Kitabevi Yayın San. Ve Tic. A. Ş., ISBN 975-10-1712-2 (01-34-Y-0051-0153), 2007, 333 s., 2007.

Vitruvius (100-1993). Mimarlık Üzerine On Kitap (Çeviren: Dr. Suna Güven) (2. Baskı) Mimarlık Şevki Vanlı Mimarlık Vakfı Yayınları, Mimarlığın Uluslararası Kaynakları:1, ISBN 975-7722-03-0.

Wycherley, R. E. (1993) Antik Çağda Kentler Nasıl Kuruldu. (Çev.: Nur Nirven-Nezih Başgelen). İstanbul, Arkeoloji Ve Sanat Yayınları 3, ISBN 975-7538-18-3.

Yegül, F., "Antik Çağda Hamamlar ve Yıkanma", 1. Basım,(Çeviren: Emel Erten), İstanbul, Homer Kitabevi ve Yayıncılık, ISBN 975-8293-97-4, 352 s., 2006.

Likya (Orta Akdeniz) Bölgesi Eskil Su Mühendisliği Sistemleri

Seyhun Türk[1], N. Orhan Baykan[2], Y. Ersel Tanrıöver[3], Birol Kaya[4]

Özet: Bu çalışma kapsamında, Batı Akdeniz Bölgesi'ndeki eskil yerleşim merkezlerinden biri olan Likya Bölgesi'nde yer alan kentlerin yerlerine, tarihçelerine ve yer üstünde bulunan kalıtlara değinilmiş ve bunların su iletim sistemleri incelenmiştir. Likya Bölgesi, Anadolu'nun (Çağdaş Türkiye Cumhuriyeti) güneyinde, Akdeniz'in batısındadır. Doğuda Pamfilya, kuzeyde Pisidya, Batıda Karya ve güneyde de Akdeniz ile sınırlanmaktadır.

Yalnızca yüzey araştırmalarıyla sınırlı olan bu çalışma, T.C Kültür Bakanlığı Anıtlar ve Müzeler Genel Müdürlüğü'nün izni ile gerçekleştirilmiştir. İncelenen kentlerin bazıları üstünde daha önce çalışılmıştır. Bu çalışmayla eskil kentlerin çoğu kez incelenmeyen yanları ele alınmış, varoluşlarının diğer bir yüzüne böylelikle yeni bir bakış açısı getirilmiştir.

Bu çalışma eskil yerleşimlerin su yapılarını bir bütün olarak ve bölgesel bazda içine almaktadır. Likya Bölgesi'ndeki 55 kent araştırılmış, ancak zaman kısıtı nedeniyle her kentte yeterli inceleme yapılamamıştır. Bu çalışmayla suyollarında arazi çalışmaları gerçekleştirilmiş, su yapılarının fotografları çekilmiş, arşivlenmiş ve çağdaş hidrolik yaklaşımlarla formülasyonlar gözönünde tutularak kentlerin su getirilme olanakları belirlenmiş ve kapasite hesapları yapılmıştır. Bu kapasiteler ışığında eskil kentlerin farklı varsayımlar altında olası nüfusları hesaplanmıştır.

Anahtar Sözcükler: Eskil kent (antik), Lykia, Likya, Batı Akdeniz, su yapısı, suyolu, nüfus kestirimi, su mühendisliği

Ancient Hydraulic Engineering Systems of Lycia Region (Middle Mediterranean/Türkiye)

Abstract: In the content of this study, the locations, the surface-remains and water conveyance system of the ancient settlements in Western Mediterranean Region, namely ancient Lycia, are investigated. Lycia Region is located in the south / southwestern Anatolia (Modern Turkish Republic) and bounded with Pamphilia in the

[1]Setsa Ltd. Şti., Denizli, e-posta: seyhunturk@yahoo.com
[2]Pamukkale Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Denizli, e-posta: obaykan@pau.edu.tr
[3]Karşıyaka Belediyesi, İzmir, e-posta: erseltenriover@yahoo.com
[4]Dokuz Eylül Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İzmir, e-posta: birol.kaya@deu.edu.tr

in the East, Anatolia (Modern Turkish Republic) and bounded with Pamphilia in the East, Pisidia in the North and Mediterranean in the South.

This study restricted with only surface investigations has been realized under the approval of Ministry of Culture, General Directory of Statues and Museums. Very little amount of the investigated cities has been previously studied. With this study, mostly unrecognizable face of ancient cities has been handled, so a new sight-angle has been brought to another side of the ancient existency.

This study that covers water structures of the ancient settlements at regional basis as a whole, is restricted with only 55 cities in Lycia Region and its surroundings because of time limitation. Most of them have been studied at the first time. With this study, the water lines have been visited, photographed, archived, drawn and their capacities determined under the consideration of modern hydraulic approaches and formulas.

For the estimation of the population, various assumptions are made, like coefficient of Manning's friction, water demand per capita per day, so that the lowest-average and highest populations might be estimated. By the calculation of the population it is also used the Cumulative Mass-Curve diagram, namely Rippl, based on the existence of the cisterns in the city.

Keywords: Ancient city, Lycia, Western Mediterranean, water structure, waterway, estimation of population, hydraulic engineering

1. GİRİŞ

1.1. Genel

İnsanlık tarihine göz atıldığında; kentlerin, suyu en kolay bir biçimde elde etmenin ve kullanmanın yolları ile ticaret olanaklarını eniyilenecek biçimde kurulduğu gözlemlenir.

Yakın zamanda yapılan araştırmalarda, kentlere getirilen su niceliklerine bakarak nüfus kestiriminin yapılabileceği öne sürülmüştür. Bu yaklaşımda, kente getirilen suyun tümünün biriktirilemediği ve akıp gittiği noktası önem kazanmakta, yapılan nüfus kestirimlerinde, suyun bir bölümünün kullanılamadığı esasına göre davranılmanın uygun olacağı düşünülmektedir.

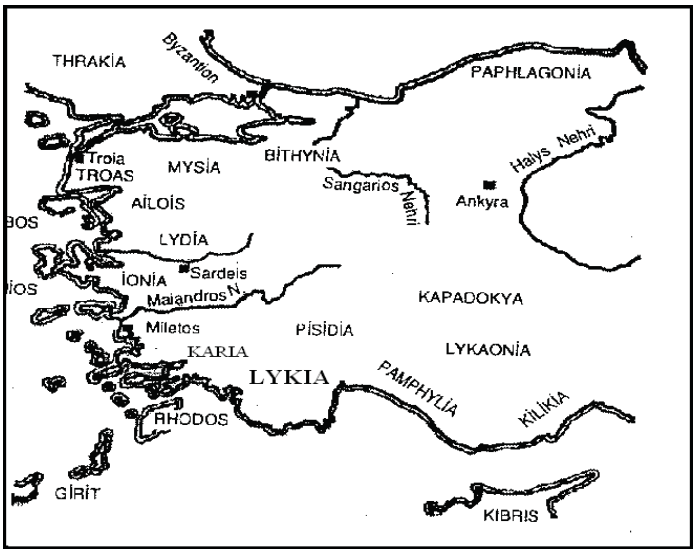
Literatürde ise eskil kent nüfusların o kentteki tiyatro kapasitesine bağlı olarak hesaplandığı görülmektedir. Bu yaklaşımı doğru saymanın çeşitli sakıncaları vardır. Çünkü tiyatroların, çeşitli bölgelerden festival için gelenlere ev sahipliği etmekle kalmayıp, kentin görkeminin bir simgesi olması bakımından da gereğinden büyük inşa edilmiş oldukları düşünülmektedir. Bu açıdan bakıldığında, nüfus kestirimlerinin yapılmasında başka yaklaşımlara gidilmesi öne sürülebilir.

Yapılan çalışmaların amaçları arasında; arkeoloji bilim dalına yardımcı olma düşüncesi ön plana çıkarılmış, su mühendisliği açısından eksik kalan noktaların saptanması; ele alınan eskil kentin geçmişine su mühendisliği açısından ışık tutularak kentin yaşam bütünselliğine yaklaşımda bulunulması; kentin yanlış ve/veya yanılgılı su iletim ve

dağıtım sistemlerine ilişkin kanaat ve saplantıların düzeltilmesi; tanılanmalarında zorluk çekilen yapılara başka açıdan bakarak tanılanmalarının sağlanması ve genç kuşaklara bu yapıların su mühendisliği açısından öneminin anlatılmaya çalışılması gibi konular sayılabilir.

1.2. Likya'nın Yeri

Likya, Köyceğiz'den Antalya'ya çekilecek bir çizginin güneyinde uzanan bölge olarak tanımlanabilir. Belli başlı doğa özellikleri açısından dikkate değer derecede bakışıktır. En başta ve önde, batıdaki Akdağ'ın (eskil Massikytos) iki büyük kolu, doğuda ise Beydağı (eskil Solyma) uzanır. Akdağ'ın batısında Ksantos Vadisi, vadinin ilerisinde küçük Kragos ve Antikragos sıradağları; Beydağı'nın doğusunda Alakır Vadisi ve onun da ötesinde Tahtalı Dağı'nın sıraları yer alır (Bayburtluoğlu, 2004; Şekil 1).



Şekil 1. Eskil dönemde Batı ve Orta Anadolu'da bölgeler

1.3. LikyaAdının Anlam ve Kökeni

Likya adının Lukka sözcüğünden Helen ağzına uydurularak türediği ve Luvi dilinde "ışık" anlamına geldiği düşünülmektedir. Yani ışık anlamına gelen –lu sözcüğü ile yeri yurdu anlamına gelen –ka sözcüğünden türetilmiş "ışık ülkesi" anlamındadır (Umar, 1993)

1.4. Tarihsel Gelişim

Likyalıların Luvi kökenli bir halk olduğu ve geçmişlerinin S.Ö. (sıfırdan once) 2500'lü yıllara dayandığı bilinmektedir. Ancak bu kadar eskiye dayanan fazla bilgi bulunmamaktadır (Ramsay, 1960). Likya tarih boyunca bir çok saldırı ve işgallere maruz kalmış, bir çok kez farklı devletlerin egemenliği altında yaşamıştır (Umar, 1999). Tarih boyunca bir çok depremle sarsılmış ve yeniden inşa edilmiştir. Yaklaşık olarak

S.S. (sıfırdan sonra) 5. yüzyıl dolaylarında Likya'nın çöküşü hızlanmıştır (Akurgal, 2000). Çizelge 1'de Likya Bölgesi'ndeki kentlerin adları; Şekil 2'de ise konumları gözükmektedir.

Çizelge 1. Likya bölgesi kentleri

No.	Kent adı	No.	Kent adı	No.	Kent adı	No.	Kent adı	No.	Kent adı
1	Akalissos	12	Bubon	23	Khoma	34	Nisa	45	Sidyma
2	Aloanda	13	Daidala	24	Kibyra	35	Oinoanda	46	Simena/Kekova
3	Andriake	14	Gagai	25	Komba	36	Olympos/Khimaaira	47	Soura/Sourai
4	Antiphellos	15	Gilevri His.	26	Korma	37	Patara	48	Teimioussa
5	Aperlai	16	Hoyran	27	Korydalla	38	Pheselis	49	Telandros
6	Apllonia	17	Idebessos	28	Kyaneai	39	Phellos	50	Telmessos
7	Araxa	18	Isında	29	Letoon	40	Pınara	51	Tlawa/Tlos
8	Arneai	19	Istlada	30	Lidai	41	Podalia	52	Trebenda
9	Arsada	20	Kadyanda	31	Limyra	42	Pydnai/Kydnai	53	Trysa/Heroon
10	Arykanda	21	Kandyba	31	Lissa	43	Rhodiapolis	54	Tybernossos
11	Balbura	22	Karmylessos	33	Myra	44	Semayük	55	Xanthos/Amna



Şekil 2. Likya kentleri (sayılar için Çizelge 1'e bakınız)

2. UYGULANAN YÖNTEMLER

2.1. Arazi Çalışmaları

Çalışmaya başlamadan önce ilgili kurumlardan eskil kentlerde yüzeysel araştırma izni alınmıştır. Çalışmalar, arazi gezileri, fotograflama, önceki literatürden yararlanma, kot-koordinat ölçümleri, bazı temel hidrolik hesapların yapılması biçiminde gerçekleştirilmiştir. Bu arada arkeolojik kazı başkanları, kazı ile ilgili kişiler, eskil kent bekçileri ve yöre sakinleri ile konuşularak sözel ve dokümanter bilgi alma yoluna da gidilmiştir.

2.2. Büro Çalışmaları

Arazi çalışmaları sırasında elde edilen bilgiler harita üzerine geçirilerek, kentlerin su sağlanım sistemlerinin olası geçgi planları çıkarılmıştır. Olası geçgi planı üstünde yapılan çalışmalarla su sağlanım sisteminin olası boykesiti belirlenmiştir. Geçginin eğimi hesaplanmış, bu eğime göre kente bulunan su sağlanım sistemi öğelerinin özellikleri göz önünde tutularak hidrolik hesaplar yapılmıştır.

Arazide boyutları belirlenen sarnıç yapıları, kentin alanı ile meteorolojiden alınan bölgelere ilişkin yağış değerleri birleştirilerek sarnıçta toplanan su hacmi su mühendisliğinde kullanılan formüllerle hesaplanmıştır.

2.3. Nüfus Kestirimine İlişkin Yaklaşımlar

2.3.1. Genel

Su yaşamın en önemli girdisi olduğundan, eskil çağlarda da, günümüzde olduğu gibi, yerleşim birimlerine su sağlamak büyük önem taşımıştır. Ancak kişi başına günde ne ölçüde su kullanıldığına ilişkin herhangi bir bilgiye ulaşılamadığından, günümüz insanının gereksinmelerinden yola çıkılarak, konuya bir açıklık getirilmeye çalışılmıştır.

2.3.2. Kişi Başına Günlük Tüketim

Günümüzde bir kişinin günlük ortalama su tüketimi, yerleşim bölgesinin nüfusuna bağlı olarak İller Bankası III. No.lu Talimatnamesinde belirtilmiştir. Bu Talimatnamede, nüfus değerlerine göre kişi başına günlük tüketim 60 ila 170 l/gün/kişi arasında değişmektedir. Eskil yerleşim birimleri için ise, literatürde belirgin bir veriye ulaşılamadığından, kişi başına su tüketiminin endüşük 20, ortalama 50 ve enyüksek 100 l/gün/kişi olabileceği düşünülerek hesaplar yapılmıştır.

Ancak yapılan hesaplarda hem sarnıçlarla su gereksinmesinin karşılayan hem de suyun kaynağından derlenerek getirildiği kentler için suyun tümüyle halkın kullanımına sunulamadığı, bir bölümünün kayba uğradığı düşünülmüştür. Bu nedenle yapılan nüfus hesaplarında çeşitli varsayımlar yapılarak nüfuslar hesaplanmıştır.

2.3.3. Su Gereksinmesinin Sarnıçlar İle Karşılandığı Belirlenen Kentlerin Hidrolik Hesapları ve Nüfus Kestirimi

Suyun, yağışların sarnıçlarda biriktirerek karşılandığı eskil yerleşim birimlerinde; önce yörenin aylık ortalama yağış [I(mm/ay)] değerleri günümüz koşullarında belirlenmiştir. Örnek olarak Fethiye Meteoroloji İstasyonu verileri Çizelge 2'de sunulmuştur.

Çizelge 2. Aylık Ortalama Yağış Değerleri

Fethiye Meteoroloji İstasyonu Ortalama Toplam Aylık Yağış I (mm/ay)											
0cak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
166	117	85	52	23	5	4	3	14	62	126	177

Akış katsayısı, yağışın akışa geçen kısmı olup, ormanlık alan ve bitki örtüsünün egemen olduğu alanlarda 0,2 olarak alınabilir. Akaçlama alanı ise elde bulunan yerleşim planlarının o bölgeye ilişkin 1/25.000'lik haritalar üstünde yapılan hesaplamalar

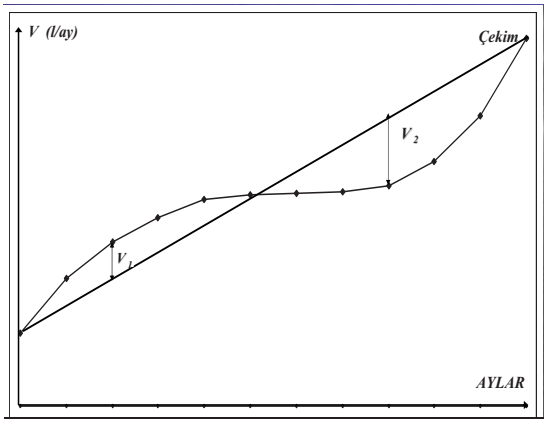
sonucunda belirlenebilir. Eskil yerleşim birimlerindeki sarnıç sayısı ($N_{sarnıç}$) arazi çalışmalarıyla, sarnıç hacimleri ise ($V_{sarnıç}$) yapılan ölçümlerle belirlenebilir.

Sarnıçlara aylık yağışlar ile giren toplam su niceliği ΣV_{AS} (l/ay) ise;

$$\Sigma V_{AS}\,(l/ay) = I\,(mm/ay) * A_D\,(m^2) * A_k \qquad (1)$$

[A_D: akaçlama alanı (m^2); I: aylık ortalama yağış (mm/ay); A_k: akış katsayısı]

biçiminde belirlenebilir.



Şekil 3. Eklenik hacimler eğrisi (Baykan ve diğ., 2001)

Şekil 3'de verilen eklenik hacimler diyagramından,

$$V_1 + V_2 \leq \Sigma\, V_{sarnıç} \qquad (2)$$

olmalıdır ki, gelen suyun tümü kullanılabilsin. $V_{çekim(kent)}=V_1+V_2$ olarak düşünüldüğünde,

$$N_{endüşük} = V_{çekim(kent)}/V_{enyüksek\ (kişi)} \qquad (3)$$
$$V_{enyük(kişi)} = 100\ l/gün/kişi$$

$$N_{ortalama} = V_{çekim(kent)}/V_{ort(kişi)} \qquad (4)$$
$$V_{ort(kişi)} = 50\ l/gün/kişi$$

$$N_{enyüksek} = V_{çekim\ (kent)}/V_{düş(kişi)} \qquad (5)$$
$$V_{düş(kişi)} = 20\ l/gün/kişi$$

eşitlikleriyle kent nüfusları hesaplanabilir.

3. BULGULAR

3.1. Genel

Çizelge 1'de dizini verilen 55 eskil kentin tümünde nüfus kestirimi yapılamamıştır. Bunlardan ancak bazıları ele alınabilmiş ve gerek biriktirmeli, gerekse biriktirmesiz özellikte su sağlanım sistemleri olan seçilmiş ve uygun verisi bulunan kentlere ilişkin kestirimler yapılabilmiştir. Bunlar: Andriake, Arykanda, Kadyanda, Myra, Pınara'dır. Patara kenti ayrı bir proje kapsamında halen çalışılmakta olduğundan bu çalışmada yer almamıştır.

3.2. Kadyanda Eskil Kentinin Hidrolik Hesapları ve Nüfus Kestirimleri

Suyun, yerleşim biriminde yağışların sarnıçlarda biriktirerek karşılandığı Kadyanda eskil kentinde boyutları 22 (en)*26 (boy)*4(yüks.) m olan bir sarnıç bulunmuştur (Şekil 4).

Hesaplarda, ortalama toplam aylık yağış nicelikleri I (mm/ay) için Fethiye Meteoroloji İstasyon verileri kullanılmıştır. Akış katsayısı, yağışın akışa geçen kısmı; ormanlık alan ve bitki örtüsünün hakim olduğu alanlarda 0,2 olarak belirlemek uygun olacaktır.

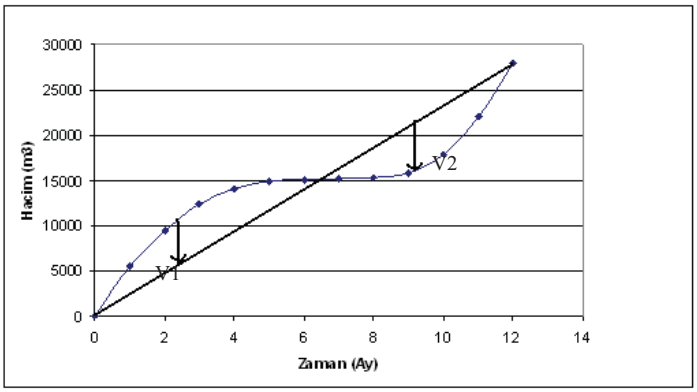
Drenaj alanı bölgeye ait harita üzerinde yapılan çalışma sonrasında AD=167500 m2 olarak bulunmuştur. Bu drenaj alanıyla Kadyanda eskil kentinde sarnıçlara aylık yağışlar ile giren su nicelikleri Çizelge 3 ve eklenik hacimler eğrisi Şekil 5'de verilmiştir.



Şekil 4. Kadyanda büyük sarnıç

Çizelge 3. Kadyanda kentindeki sarnıçlara aylık yağışlar ile giren su nicelikleri

Aylar											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Aylık Ortalama Yağış I (mm/ay)											
165,7	117,4	854	52,3	23,5	4,6	3,9	2,8	14,3	62,1	125,6	177,4
Sarnıçlara Aylık Yağışlar İle Giren Su (m^3/ay)											
5.552	3.932	2.862	1.753	786	154	130	92	477	2.080	4.207	5.942



Şekil 5. Sarnıç için yapılan eklenik hacimler eğrisi (Kadyanda)

Eklenik hacimler diyagramıında,

$V1+V2=5.275+5.495=10.770\ m^3$
$V_{sarnıç}=26*22*4 \approx 2.300\ m^3$
$V1+V2 \leq \Sigma V_{sarnıç}$ koşulu sağlanmamıştır.

Ancak kentte yalnızca tek bir sarnıç bulunmayacağı, irili ufaklı daha başka sarnıçların da olacağı düşünülerek, $V1+V2 \leq \Sigma V_{sarnıç}$ koşulunun sağlandığı varsayılara, eklenik hacimler diyagramından, $V_{çekim} = 28.000$ (m^3/yıl) olarak bulunur.

Kadyanda kentinin nüfusu ise; $N_{enyüksek} = 3.850$; $N_{ortalama} = 1.550$; $N_{endüşük} = 800$ kişi olarak elde edilir.

3.3. Su Gereksiminin Kaynaktan İletim Hattı İle Sağlayan Kentlerin Hidrolik Hesapları ve Nüfus Kestirimi

3.3.1. Genel

Kentlerde bulunan su yapılarının özellikleri (pişmiş toprak boru, galeri ve sarnıç vb.) göz önüne alınarak hidrolik hesaplar yapılmıştır. Hidrolik hesaplarda Manning-Strickler ve Darcy-Weisbach bağıntıları ile süreklilik denklemi esas alınarak debi ve hız değerleri hesaplanmıştır. İlgili bağıntılar aşağıda verilmiştir (Baykan 2002):

Manning Strickler: $V= 1/n*R^{2/3}*J^{1/2}$ (6)

[V: hız (m/s); n: pürüzlülük katsayısı; R: hidrolik yarıçap (m); J: eğim]

Darcy Weisbach: $hk= (\lambda/D)* (V^2/2g)*L$ (7)

[hk: enerji kaybı (m); λ: sürtünme katsayısı; V: hız (m/s); g: yerçekimi ivmesi (m/s^2); D: boru çapı (m); L: geçgi uzunluğu (m)]

Süreklilik Denklemi: $Q=A*V$ (8)

[Q: debi (m^3/s); V: hız (m/s); A: alan (m^2)]

İletim hatları ile su getirilen kentlerde; kentin nüfus kestirimi yapılırken, yukarıda anlatılan hidrolik yöntemlerle kente getirildiği hesaplanan suyun bir bölümünün boşa aktığı, bir bölümünün sulama gibi gereksinmelerde kullanıldığı, bir bölümünün de halkın kullanımına sunulduğu düşünülürse, halkın kullanımına sunulan/diğer amaçlar için kullanılan olmak üzere %20/%80 (=Q_1 debisi), %30/%70 (=Q_2 debisi), %40/%60 (=Q_3 debisi), %50/%50 (=Q_4 debisi) oranları kullanılarak nüfus kestirimleri yoluna gidilebilir. Bunun yanısıra kişi başına, 20 (=N_1 nüfusu), 50 (=N_2 nüfusu) ve 100 (=N_3 nüfusu) l/gün/kişi alınarak yapılan hesaplamalarda endüşük-ortalama-enyüksek nüfus kestirimleri yapılabilir. Hidrolik hesaplara ve nüfus kestirimlerine ilişkin olarak verilen çizelgelerde yukarıda verilen notasyonlar kullanılmıştır.

3.3.2. Andriake Eskil Kentinin Hidrolik Hesapları ve Nüfus Kestirimleri

Andriake eskil kentinin su gereksinmesinin Myra'ya getirilen suyun Andriake'ye getirilerek karşılandığı düşünülmektedir. Suyun Myra'dan Andriake'ye açık kanalla oluşturulan bir geçgiyle getirildiği belirlenmiştir. Geçgi üstünde günümüze ulaşabilmiş bir su kemeri bulunmaktadır. Su kemerinin üstünde yer alan açık kanal boyutlarının 30*33 cm olduğu ölçülmüştür. Ayrıca kent yakınında bir tane sarnıç olduğu görülmüştür. Daha sonra büroda yapılan hidrolik hesaplar sonucu kente getirilen olası su niceliği ve kentin nüfusu hesaplanmıştır. Bulunan değerler Çizelge 4'de verilmiştir.

Çizelge 4. Andriake kenti için hesaplanan debi, hız değerleri ve nüfus kestirimleri

Kent	n	Q (l/s)		Q_n (m^3/gün)	N_1 (kişi)	N_2 (kişi)	N_3 (kişi)
Andriake	0,015	66	Q_1	2.864	143.200	57.200	28.600
			Q_2	2.291	114.500	45.800	22.900
			Q_3	1.718	85.900	34.300	17.100
			Q_4	1.145	57.200	22.900	11.400
	0,020	50	Q_1	2.148	107.400	42.900	21.400
			Q_2	1.718	85.900	34.300	17.100
			Q_3	12.898	64.400	25.700	12.800
			Q_4	8.592	42.900	17.100	8.500

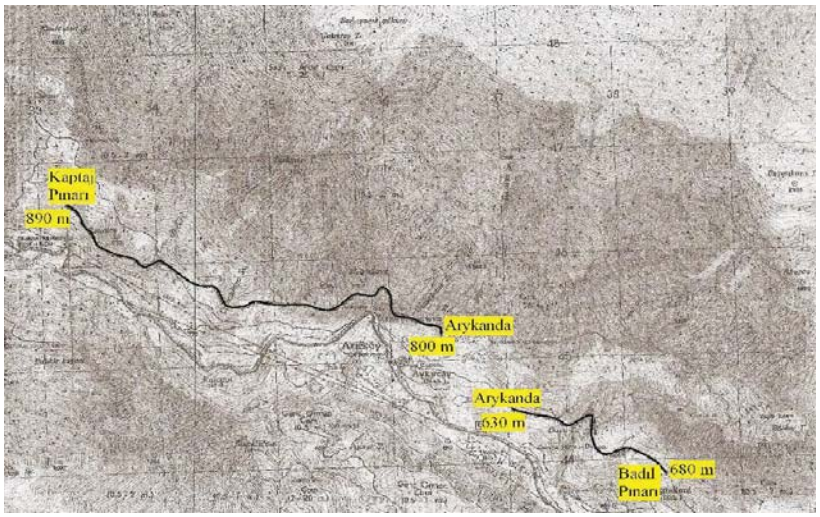
3.3.3. Arykanda Eskil Kentinin Hidrolik Hesapları ve Nüfus Kestirimleri

Yapılan arazi çalışmalarında kente 2 hattan su sağlandığı belirlenmiştir. Harita üstünde yapılan çalışmalarda kente önce 890 m kotundaki Kaptaj pınarı ile su sağlandığı, daha sonraları ise artan nüfusun su gereksinimini karşılamak amacıyla 680 m kotundaki Badıl Pınarı'ndan ikinci bir hatla su getirildiği düşünülmektedir (Bayburtluoğlu, 2003).

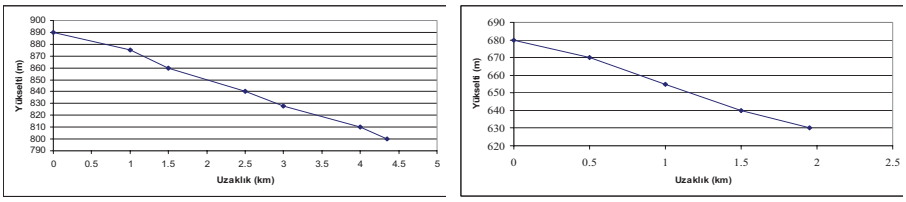
Kaptaj Pınarı ile 0,5*0,2 m Boyutlarında açık kanalla kente su getirilmiştir. Badıl Pınarından 12 cm çapında pişmiş toprak borularla (Şekil 6) artan nüfusun yerleştiği, tarla ve bahçelerin bulunduğu kentin güney kısmına su getirilmiştir. Arazi çalışmalarından elde edilen bulgular göz önüne alınarak, büro çalışmalarıyla olası geçgi planı (Şekil 7) çıkarılmış, Kaptaj ve Badıl pınaralrının boykesitleri çizilerek (Şekil 8) hidrolik hesaplar yapılmıştır. Kaptaj Pınarından gelen debi hesaplanarak ilk nüfus belirlenmiştir. Artan nüfusun belirlenmesi için Kaptaj ve Badıl Pınarlarından gelen iki debinin toplamı kullanılmıştır. Arykanda kenti için kestirilen nüfus değeri Çizelge 5'te verilmiştir.



Şekil 6. Arykanda'da bulunan pişmiş toprak boru



Şekil 7. Arykanda olası geçgi planı



Kaptaj Pınarı Badıl Pınarı

Şekil 8. Arykanda su sağlanım sisteminin olası boykesitleri (Kaptaj ve Badıl Pınarları)

Çizelge 5. Arykanda kenti için hesaplanan debi, hız değerleri ve nüfus kestirimleri

Kent	n	Q (l/s)		Q_n (m^3/gün)	N_1 (kişi)	N_2 (kişi)	N_3 (kişi)
Arykanda	0,015	250	Q_1	10.625	531.300	212.500	106.200
			Q_2	8.500	425.000	170.000	85.000
			Q_3	6.375	318.700	127.500	63.700
			Q_4	4.250	212.500	85.000	42.500
	0,020	190	Q_1	8.083	404.100	161.600	80.800
			Q_2	6.466	323.300	129.300	64.600
			Q_3	4.850	242.400	96.900	48.400
			Q_4	3.233	161.600	64.600	32.300

3.3.4. Myra Eskil Kentinin Hidrolik Hesapları Ve Nüfus Kestirimleri

Myra eskil kentinin su gereksinmesini karşılamak amacıyla suyun bir pınardan getirildiği ancak bu pınarın hangisi olduğu arazide ve harita üstünde yapılan çalışmalarda tam olarak belirlenememiştir. Suyun Patara'ya su getirilen İslamlar

kaynağından getirilmiş öne sürülmekteyse de, bu uzaklık 50 km dolayındadır ve arazide herhangi bir kanıta rastlanmamıştır (Büyükyıldırım, 1994).

Yapılan çalışmalar sonucu 40*45 cm boyutlarında kayaya oyulmuş bir açık kanal bulunmuş ve suyun bu kanalla önce Myra'ya sonrada Myra'nın dış mahalleleri olan Andriake ve Sura'ya dağıtılmış olabileceği düşünülmüştür (Bayburtluoğlu, 2004).

Arazide yapılan çalışmalar sonucu bulunan değerler göz önüne alınarak, önce açık kanaldan Myra'ya gelen toplam debi bulunmuştur. Daha sonra Myra'dan Andriake'ye giden geçgi üstündeki su kemerinden geçen suyun debisi bulunmuştur. Sura debisinin de Andriake'nin debisinin yarısı olduğu varsayılmıştır. Son olarak bu iki kentin debisi toplanıp Myra'ya gelen ilk debiden çıkartılıp Myra'nın debisi ve bu debiye göre nüfus kestirimleri Çizelge 6'da verilmiştir. Şekil 9'da kentin hemen yakınındaki kayaya oyulmuş açık kanallı iletim hattının bir bölümü gözükmektedir.

Çizelge 6. Myra kenti için hesaplanan debi, hız değerleri ve nüfus kestirimleri

Kent	n	Q (l/s)		Q_n (m^3/gün)	N_1 (kişi)	N_2 (kişi)	N_3 (kişi)
Myra	0,015	360	Q_1	15.552	777.600	311.000	155.500
			Q_2	12.442	622.000	249.000	124.400
			Q_3	9.331	466.500	186.600	93.300
			Q_4	6.221	311.000	124.400	62.200
	0,020	270	Q_1	11.750	587.500	235.000	117.500
			Q_2	9.400	470.000	188.000	94.000
			Q_3	7.050	352.500	141.000	70.500
			Q_4	4.700	235.000	94.000	47.000

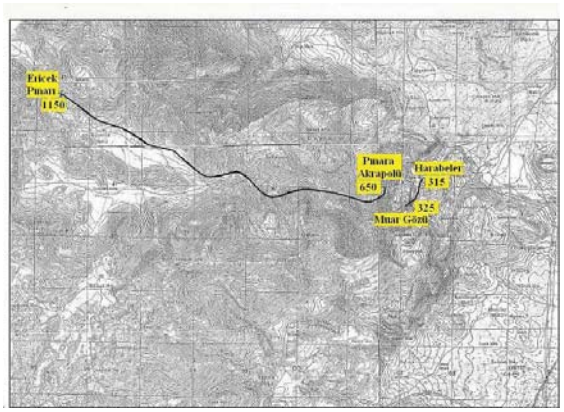
3.3.5. Pınara Eskil Kentinin Hidrolik Hesapları ve Nüfus Kestirimleri

Pınara eskil kentine iki geçgi aracılığıyla su sağlandığı saptanmıştır. Harita üstünde ve arazide yapılan çalışmalarda kentin su gereksinmesini karşılamak amacıyla 1150 m yükseltisindeki Ericek pınarı ile su sağlandığı, ayrıca hamama, tiyatroya ve alt bölgelerdeki nüfus ile tarla ve bahçelere su sağlamak için ise 325 m kotlu Muar Gözü'nden su getirilmiş olduğu saptanmıştır. Akropolün üst kısımlarında, yaklaşık olarak 800 yükseltide iç çapı 8 cm olan pişmiş toprak borular bulunmuştur. Muar gözünden günümüzde 6,3 cm çapında boru ile su alındığı görülmüştür.

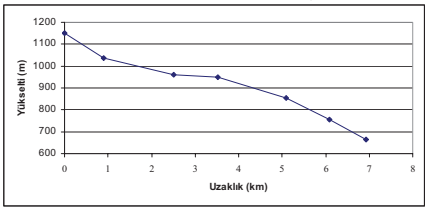


Şekil 9. Myra SuYolu'nun karşıdan görünüşü

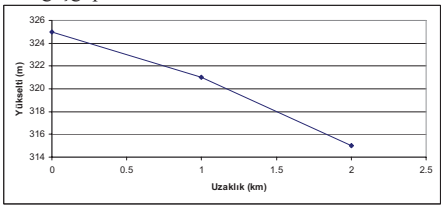
Arazi çalışmalarından elde edilen bulgular göz önüne alınarak, büro çalışmalarıyla olası geçgi planı çıkarılmış (Şekil 10), boykesitler (Ericek Pınarı ve Muar Gözü) çizilerek (Şekil 11) hidrolik hesaplar yapılmıştır. Ericek Pınarından ve Muar Gözünden gelen suyun debileri hesaplanarak kentin toplam nüfus (ları) kestirilmiştir. Pınara kenti için kestirilen nüfus değerleri Çizelge 7'de; pişmiş toprak boru örneği Şekil 12'de verilmiştir.



Şekil 10. Pınara olası geçgi planı



Ericek Pınarı



Muar Gözü

Şekil 11. Pınara su sağlanım sistemi olası boykesiti (Ericek ve Muar Pınarı)

Çizelge 7. Pınara kenti için hesaplanan debi, hız değerleri ve nüfus kestirimleri

Kent	n	Q (l/s)		Q_n (m^3/gün)	N_1 (kişi)	N_2 (kişi)	N_3 (kişi)
Pınara	0,015	27	Q_1	1139	56.900	22.700	11.300
			Q_2	911	45.500	18.200	9.100
			Q_3	683	34.100	13.600	6.800
			Q_4	455	22.700	9.100	4.500
	0,020	23	Q_1	986	49.300	19.700	9.800
			Q_2	789	39.400	15.700	7.800
			Q_3	592	29.500	11.800	5.900
			Q_4	394	19.700	7.800	3.900



Şekil 12. Pınara pişmiş toprak boru

4. SONUÇLAR

4.1. Sonuçlar

Bu çalışmada, eskil dönemde Anodolu'nun güneybatısında Antalya ile Dalaman arasına harita üzerine bir çizgi çizildiğinde, altta kalan alanı kapsayan; ancak önce Likya Birliğine daha sonra Kibyratis Tetrapolisi'nin girmesiyle kuzeyde Gölhisar'a kadar genişleyen; batıda Dalaman Çayı'yla Karia'ya komşu olan; doğuda Pamphilia ve güneyde Akdeniz'le sınırlanan Likya bölgesindeki eskil kentlerin su sağlanım sistemleri incelenmiştir.

Anılan bölgede yapılmış çalışmalara ek olarak, gerek zaman kısıtı, gerek parasal zorluklar ve gerekse çalışan insan kaynağındaki azalma nedeniyle gerçekleştirilmesi düşünülen konular ele alınamamış, hatta bazılarına hiç değinilememiştir. Su gereksinmeleri, belirli varsayımlar altında çeşitli kapasite hesaplarına dayanarak kestirilmeye çalışılmıştır. Bunun için alt ve üst sınırlar saptanmış ve kentlerin nüfusunun tek bir sayı olarak ele alınmalarının yanlışlığına değinilmiştir. Kentlerin endüşük ve enyüksek nüfuslarının bulunmasında, Manning pürüzlülük katsayısının 0,015 ve 0,020; iletim kapasitesinin %20-30-40 ve 50'sinin içmesuyu olarak

kullanılması (diğer kısmının sulamaya verilmesi) ve günde kişi başına olan tüketimlerin 20-50-100 l alınmasına yönelik varsayımlarda bulunulmuştur.

Yukarıda verilen dizindeki kentlerin tümünün su sağlamım sistemleri ayrıntılı olarak incelenememiştir. Su sağlanım sistemleri incelenen kentlerde Çizelge 8'de verilen sonuçlara ulaşılmıştır.

Çizelge 8. Kent nüfusları (Türk, 2008)

Kent	Nüfus		
	Endüşük	Ortalama	Enyüksek
Kadyanda	800	1.500	3.800
Andriake	8.500	35.000	140.000
Arykanda	32.000	120.000	530.000
Myra	47.000	200.000	780.000
Pınara	3.900	14.000	55.000

Bu sonuçların yeni bir yaklaşımın verdiği sonuçlar olduğu dikkate alınırsa, üstünde biraz daha çalışılmak suretiyle yapılacak kalibrasyonlarla, tiyatro kapasitelerinden yola çıkılarak hesap edilen nüfus yaklaşımındaki belirsizlikten daha anlamlı sonuçlar vereceği ortadadır. Kent nüfusunun bir çeşit güç simgesi olduğu düşünülürse, bu yaklaşımla, kentlerin nüfus açısından sıraya konulması belli ipuçları verebilir.

4.2. Öneriler

Bu tip çalışmaların arkeolojik kazı çalışmalarıyla birlikte yürütülmesi ve belli bütçeli olması daha tutarlı ve doyurucu sonuçlar verecektir. Kentlerin su iletim ve dağıtım sistemlerinin CBS, Jeofizik/Jeoradar gibi daha çağdaş yöntemlerle incelenmesi çalışmaların duyarlığını arttıracaktır.

Bu tip çalışmaların yaygınlaştırılarak, kentlerin su iletim/dağıtım sistemlerinin de gezginlere gösterilmelerinin bilinciyle davranılması, su yapılarının tiyatro gibi görkemli yapılar yanında tahrip edilmekten korunmaları, eskil kentin bir bütün olduğu bilinciyle, değişik meslek dallarından bilim insanlarının çalışmalarda yer almaları önerilebilir.

5. KAYNAKLAR

Akurgal, E., "Anadolu Uygarlıkları", Net Turistik Yayınlar A. Ş., İstanbul, 2000.

Bayburtluoğlu, C., "Yüksek Kayalığın Yanındaki Yer Arykanda", Homer Kitabevi ve Yayıncılık Ltd. Şti., İstanbul, 2003.

Bayburtluoğlu, C., "Lykia", Suna-İnan Kıraç Akdeniz Medeniyetleri Araştırma Enstitüsü, İstanbul, 2004.

Baykan, N.O., "Su Yapıları", Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Denizli, 2002.

Baykan, N.O., Tanrıöver, E., ve Özçelik, C., "Su Yapılarında Sayısal Uygulamalar", Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Denizli, 2001.

Bean, G. E., "Eski Çağda Lykia Bölgesi", Arion Yayınevi, İstanbul, 2001.

Büyükyıldırım, G., "Antalya Bölgesi Tarihi Su Yapıları", Byındırlık ve İskan Bakanlığı, DSİ Genel Müdürlüğü, DSİ'nin 40. Kuruluş Yılı (1954-1994), Ankara, 1994.

Ramsay, W. M., "Anadolu'nun Tarihi Coğrafyası (Çev.: Mihri Pektaş)", Milli Eğitim Basımevi, İstanbul, 1960.

Türk, S., "Batı akdeniz (Likya) Tarihi Yerleşim Merkezlerinin Su iletim Sistemlerinin Hidrolik ve Hidrolojik Açıdan İncelenmesi", Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, yüksek lisans tezi, İzmir, 2008.

Umar, B., "Türkiye'deki Tarihsel Adlar", İnkılap Kitabevi Yayın Sanayi ve Ticaret A. Ş., İstanbul, 1993.

Umar, B., "Lykia -Bir Tarihsel Coğrafya Araştırması ve Gezi Rehberi", İnkılap Kitabevi Yayın Sanayi ve Ticaret A. Ş., İstanbul, 1999.

TAŞKIN HİDROLOJİSİ

Doğu Karadeniz Havzası İçin Uygulanan Taşkın Tahmin Yöntemlerinin Doğruluğunun Araştırılması

Filiz Malkoç[1], Derya Öztürk[2], Yüksel Malkoç[3], Hilal Tuna[4], Mehmet Yıldız[5]

Özet: Taşkın afetlerinde gerekli önlemlerin alınabilmesi için, elimizde tarihi taşkın kayıtlarının bulunması yanında, bu kayıtlı veriler için gerekli analiz ve değerlendirmelerin yapılması gerekmektedir. Bu nedenle havzanın taşkın karakteristikleri hakkındaki bilginin artırılması taşkın kontrolü konusunda en önemli adımlardan biridir. Kamu kurumları (EİEİ ve DSİ) ile özel sektör (4628 sayılı Elektrik Piyasası Kanunu kapsamında) tarafından gelecekte oluşabilecek taşkınların büyüklüğü ve frekansı, oluşan taşkın gözlemlerine dayanarak tahmin edilmeye çalışılmakta ve biriktirmesiz projelerin dizaynında 100 yıl tekerrürlü taşkın debileri esas alınmaktadır. Bu değerlerin hesaplanmasında sentetik yöntemlerin haricinde en çok kullanılan yöntemler, gözlenmiş maksimum debi değerlerini esas alan Noktasal Taşkın Frekans Analizi (NTFA) ile Bölgesel Taşkın Frekans Analizi (BTFA)'dir. Bu çalışmada Doğu Karadeniz Havzası'nda 1955 yılından sonra meydana gelen en büyük taşkın olmasından dolayı seçilen 20 Haziran 1990 tarihli taşkının etkilediği dereler üzerindeki 27 adet AGİ'nin 1990 yılına kadar gözlenmiş anlık maksimum debi değerleri NTFA ve BTFA yöntemlerinde kullanılarak; 100 yıl tekerrürlü taşkın değerleri hesaplanmış, alansal değişimleri belirlenmiş ve gözlenmiş en büyük taşkın ile karşılaştırılmalar yapılmıştır. Böylelikle en kötü taşkın senaryosunda; uygulamadaki mevcut yöntemler kullanılarak proje dizaynları için hesaplanan taşkın değerlerinin ne kadar doğrulukta tahmin edildiği belirlenmiştir.

Anahtar Sözcükler: Doğu Karadeniz Havzası; noktasal taşkın frekans analizi; bölgesel taşkın frekans analizi; 20 Haziran 1990 tarihli taşkın; 100 yıl tekerrürlü taşkın değeri.

[1] EİEİ Genel Müdürlüğü, Hidrolik Etütler Dairesi Başkanlığı, Ankara
E-Posta: fmalkoc@eie.gov.tr; Tel: (312) 295-5217
[2] EİEİ Genel Müdürlüğü, Hidrolik Etütler Dairesi Başkanlığı, Ankara
E-Posta: dozturk@eie.gov.tr; Tel: (312) 295-5205
[3]EİEİ Genel Müdürlüğü, Proje Dairesi Başkanlığı, Ankara
E-Posta: ymalkoc@eie.gov.tr; Tel: (312) 295-5261
[4] EİEİ Genel Müdürlüğü, Hidrolik Etütler Dairesi Başkanlığı, Ankara
E-Posta: htuna@eie.gov.tr; Tel: (312) 295-5217
[5] EİEİ Genel Müdürlüğü, Hidrolik Etütler Dairesi Başkanlığı, Ankara
E-Posta: myildiz@eie.gov.tr; Tel: (312) 295-5181

The Accuracy Evaluation of Applied Flood Estimation Methods for Eastern Black Sea Basin

Abstract: To be taken the necassary measurements in flood disasters, it has been needed to have been done required assessments and analyses for record data, together with historical flood record. Hence, to be increased information of flood characteristics of basin about flood control is the one of the most important steps. By using the occurred flood observations, it has been studied to have been estimated the magnitude and frequency of flood that will be occur in the future by public institution (EİEİ and DSİ) with private sector (under No. 4628 electricity market law) and taken essentially flood flows with 100 years return period in design of hydropower project without storage. In the calculation of these values, the most common used methods, except synthetic methods, are regional flood frequency and point flood frequency analyses which are used values of observation maximum flows. In this study, dated 20 June 1990 flood is chosen because of the biggest amongst in occurred floods after 1955 in the eastern black sea basin. Thus, in this study, the instantaneous maximum flood values which had been observed by 27 stream gauging stations on rivers which had been affected by dated 20 June 1990 flood had been used in methods of regional flood frequency analysis and point flood frequency analysis and calculated flood values with 100 years return period. The areal changes of these values have been determined and compared with observed flood values. Therefore, by using above board methods, it has been determined to estimate how the accuracy of calculated flood values for design of hydropower project without storage in the worst flood scenario.

Keywords: Eastern Black Sea Basin, point flood frequency analysis, regional flood frequency analysis, dated 20 June 1990 flood, flood value with 100 years return period.

1. GİRİŞ

Dünyada ve ülkemizde doğal afet olarak nitelendirilen taşkın; bir akarsuyun değişik sebeplerle yatağından çıkarak, çevresindeki arazilere, yerleşim yerlerine, alt yapı tesislerine ve canlılara zarar vermek suretiyle etki bölgesindeki doğal yaşamı olumsuz etkileyerek normal hayatı kesintiye uğratacak düzeyde bir akış büyüklüğü oluşturmasıdır (Şen, 2009; Koç ve diğ., 2010). Gerek dünyada gerekse ülkemizde sık sık meydana gelen taşkınlar önemli derecede can ve mal kayıplarına yol açmaktadır. Ülkemizde meydana gelen doğal afetler, oluşturduğu kayıplar açısından değerlendirildiğinde, taşkınlar depremden sonra ikinci sırada yer almaktadır (Akay ve diğ., 2010; Kasalak ve diğ., 2010; Özdemir ve Nadiroğlu, 2010). 1950–2010 yılları arasında Türkiye'de yaşanan sel ve taşkın olaylarında 982 kişi hayatını kaybetmiştir. Ülkemizde 1975–2005 yılları arasında yaşanan taşkınlar sonucu oluşan can kayıplarının %35'inin Doğu Karadeniz Havzası'nda meydana geldiği tespit edilmiştir. Bu sebeple taşkınları önleyebilmek ya da etkisini azaltabilmek son derece önem arz etmektedir (Yüksek ve diğ., 2008).

Doğu Karadeniz Havzası'nın meteorolojik ve topografik özelliklerinin bir sonucu olarak, Giresun, Trabzon, Gümüşhane ve Rize illerini kapsayan sıklıkla büyük taşkınlarla karşılaşılmaktadır. Bölgede 1955–2005 yılları arasında meydana gelen toplam 50 taşkın, 258 kişinin ölümüne ve 2008 yılı fiyatlarıyla yaklaşık 800 milyon TL

maddi zarara sebep olmuştur (Yavuz ve diğ., 2010; Yüksek ve diğ., 2008). Doğu Karadeniz Havzası'nda 1955 yılından sonra yaşanan en büyük taşkın Gümüşhane, Trabzon ve Giresun illerini kapsayan 20 Haziran 1990 taşkınıdır. Bu taşkın 10 farklı derenin taşması sonucu meydana gelerek 57 insanın hayatını kaybetmesine ve toplam 547.391.473 TL tutarında bir maddi zararın oluşmasına neden olmuştur. 1955'den 2005'e kadar oluşan taşkın zararlarının yaklaşık %70'i bu olayda meydana gelmiştir (Önsoy ve diğ., 2008). Karadeniz bölgesinde, taşkın felaketlerinin önlenmesi ya da olası zararların en aza indirilmesi için gerekli önlemlerin alınması can ve mal güvenliği açısından önemlidir. Gerekli önlemlerin alınabilmesi için, elimizde tarihi taşkın kayıtlarının bulunması yanında, bu kayıtlı veriler için gerekli analiz ve değerlendirmelerin yapılması gerekmektedir. Taşkınların olası zararlarını ortaya koyabilmek ve ona göre gerekli tedbirlerin alınması için taşkın büyüklüklerinin çeşitli tekerrürlü olarak elde edilmesi ve tarihi taşkın büyüklüklerinin tekerrür yıllarının saptanması önem arz etmektedir (Özdemir, 1978).

Kamu kurumları (EİEİ ve DSİ) ile özel sektör (4628 sayılı Elektrik Piyasası Kanunu kapsamında) tarafından gelecekte oluşabilecek taşkınların büyüklüğü ve frekansı, oluşan taşkın gözlemlerine dayanarak tahmin edilmeye çalışılmakta ve biriktirmesiz projelerin dizaynında 100 yıl tekerrürlü taşkın debileri esas alınmaktadır. Bu değerlerin hesaplanmasında sentetik yöntemlerin haricinde en çok kullanılan yöntemler, gözlenmiş maksimum debi değerlerini esas alan Noktasal Taşkın Frekans Analizi (NTFA) ile Bölgesel Taşkın Frekans Analizi (BTFA)'dir. Bu çalışmada Doğu Karadeniz Havzası'nda 1955 yılından sonra meydana gelen en büyük taşkın olmasından dolayı seçilen 20 Haziran 1990 tarihli taşkının etkilediği dereler üzerindeki 27 adet AGİ'nin 1990 yılına kadar gözlenmiş anlık maksimum debi değerleri NTFA ve BTFA yöntemlerinde kullanılarak; 100 yıl tekerrürlü taşkın değerleri hesaplanmış, alansal değişimleri belirlenmiş ve gözlenmiş en büyük taşkın ile karşılaştırılmalar yapılmıştır. Böylelikle en kötü taşkın senaryosunda; uygulamadaki mevcut yöntemler kullanılarak biriktirmesiz proje dizaynı için hesaplanan taşkın değerlerinin ne kadar doğrulukta tahmin edildiği belirlenmiştir.

2. KULLANILAN YÖNTEMLER VE VERİLER

Herhangi bir havzada oluşan taşkınların; yağış, havza ve iklim özelliklerine bağlı olarak rasgele özellikte oluşmaları nedeniyle önceden tahmin edilmeleri önemli ve zor bir konudur. Taşkın tahminleriyle ilgili pek çok yöntem vardır. Tahmin yöntemlerinde, havzaya ilişkin yağış ve akımla ilgili veri varsa, birim hidrograf yöntemleri kullanılmaktadır. Bu yöntemde gerçek veya havza ve akarsu özelliklerinden ampirik bağıntılar yardımıyla sentetik birim hidrograflar elde edilir. Havzaya ilişkin yağış ve akış koşullarının iyi belirlenememesi durumunda birim hidrograf yöntemi gerçeğe uygun olmayan sonuçlar verebilmektedir. Havzada yeterli uzunlukta anlık maksimum debi değerleri mevcut olduğunda, taşkın frekans analizi kullanılmaktadır. Havza üzerinde tek bir nokta için hesaplanan bu hidrograf noktasal taşkın frekans analizi (NTFA) kapsamına girer. Bu yöntemle hidrolojik büyüklükler ve yineleme süresi arasında bir bağıntı elde edilmektedir. Bu analizin güvenilir olarak yapılabilmesi için belirli uzunlukta kesiksiz ve homojenliği bozulmamış gözlemlere ihtiyaç vardır. Taşkın analizinde bu iki yöntemin kullanılamadığı durumlarda ise bölgesel taşkın frekans analizi (BTFA) kullanılır. Su yapılarının boyutlandırılması ve taşkınların sebep olduğu

zararların azaltılmasında en sık kullanılan yöntemlerden biri bölgesel taşkın frekans analizidir. Bölgesel taşkın frekans analizi ile elde edilen bilgiden yararlanarak projelendirmeye esas olan pik debi değeri, etkin biçimde hesaplanmakta ve ayrıca hidrolojik bilgi olmayan yerlerde projeye esas olan değerler belirlenebilmektedir (Yalkın, 1976; Özdemir, 1978; Özdemir, 2010).

Günümüzde EİEİ ve DSİ gibi kamu kurumları ile 4628 sayılı Elektrik Piyasası Kanunu kapsamında özel sektör tarafından gelecekte oluşabilecek taşkınların büyüklüğü ve frekansı, oluşan taşkın gözlemlerine dayanarak tahmin edilmeye çalışılmaktadır. Bu değerlerin hesaplanmasında sentetik yöntemlerin dışında en çok kullanılan yöntemler, gözlenmiş maksimum debi değerlerini baz alan Noktasal Taşkın Frekans Analizi (NTFA) ve Bölgesel Taşkın Frekans Analizi (BTFA) yöntemleridir. Bu çalışmada Doğu Karadeniz Havzası'nda yer alan 27 adet akım gözlem istasyonunun (EİEİ'nin ve DSİ'nin) 1943-1990 yılları arasındaki yılda gözlenmiş anlık maksimum debi değerleri kullanılarak; istasyonların olasılık dağılımları araştırılmıştır (EİEİ, 2005; DSİ, 2007). Havzada AGİ'lerin tekerrülü taşkın debilerini belirlemede noktasal (tek AGİ'nin yararlanıldığı durum) ve bölgesel (birçok AGİ'nin yararlanıldığı durum) yaklaşımlarından gerektiği gibi faydalanılmıştır (Contürk ve Şentürk, 1967; Yalkın, 1976; Özdemir, 1978; Özdemir, 2010).

Bunun için öncelikle tekerrürlü taşkın debilerinin bulunması amacıyla istatistiksel dağılımlar kullanan bir yazılımdan yararlanılmıştır. Yazılımda istatistiksel dağılımlar yardımıyla debi büyüklükleri ve taşkın yinelenme süresi arasında bir bağıntı elde etmektedir. Bu yazılımda, istatistiksel dağılımlar olarak taşkın frekans analizinde sıklıkla kullanılan normal, log-normal (iki ve üç parametreli), gumbel, gama (2 parametreli) ve logpearson tip-3 dağılımları esas alınmıştır. Yazılımın uygulamasında incelenecek istasyonun, veri yılı başlangıcı ve her yılın anlık maksimum değerleri yazılıma girilmektedir. Maksimum akım değerleri sıralandıktan sonra bahsedilen 6 tip istatistiksel dağılım verilere uygulanmaktadır. Sonuçlar kısmında dağılımların istatistiksel parametreleri ve taşkın frekans analizi sonuçları 2, 5, 10, 100, 200 500 yıllık tekerrür aralıklarıyla verilir. Bu sonuçlardan en uygun dağılımı seçmek için çeşitli testler mevcuttur. Bu çalışmada kullanılan yazılım içinde uygun istatistiksel dağılımı seçmek için Kolmogrov-Smirnov testi ve ki-kare (chi-square) sınaması kullanılmıştır. Uygunluk testlerinden birisi olan ve sadece sürekli rastgele değişkenlere tatbik edilebilen Kolmogrov-Smirnov (K-S) testi, verilen dağılımlardan hangisinin istatistiksel olarak daha uyumlu olduğunu belirler (Özdemir v e Nadiroğlu; 2010).

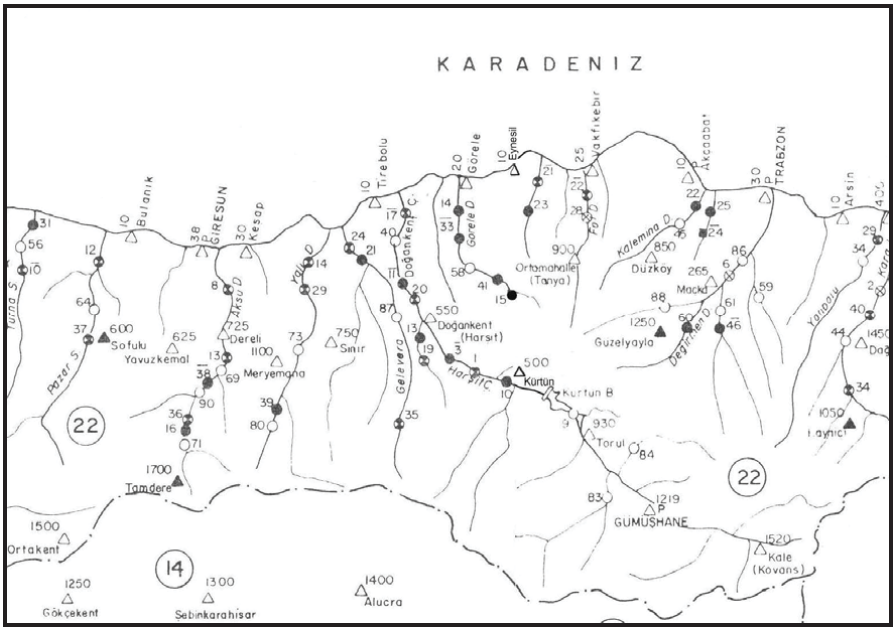
Daha sonraki adımda; AGİ'ler için hesaplanan $Q_{2.33}$ değerlerine karşılık yağış alanlarının olduğu her iki ekseninde logaritmik seçildiği grafikte noktalanarak bölgesel taşkın zarf eğrileri oluşturulur. Bu grafik yardımıyla taşkın gözlenen AGİ'lerin 2, 5, 10, 25, 50, 100 yıllık tekerrürlü debileri tekrar hesaplanır. Ancak analize sokulan istasyonların "aynı bölge karakterinde" oldukları hakkında fikir vermesi için "homojenlik testi" uygunlanmalıdır. Böylece bölgeyi karakterize eden istasyonlardan herhangi birinin aykırılık gösterip göstermediği ortaya çıkarılır (Contürk ve Şentürk, 1967; Yalkın, 1976).

3. ÇALIŞMA ALANI

Türkiye'de en fazla yağış alan bölge olan Doğu Karadeniz Havzası'nın ortalama yağış yüksekliği 1200 ile 1300 mm arasındadır. Havza güneyde Doğu Karadeniz Dağları kuzeyde ise Karadeniz ile çevrilidir. Toplam alanı 24 077 km^2 olan havza, yılda ortalama 14,9 km^3 yüzeysel su potansiyeli ile Türkiye potansiyelinin % 7,9'unu sağlamaktadır. Birim alandan sağlanan debi değeri 19,6 $lt/sn/km^2$ olup havza, Antalya Havzası'ndan sonra 2. sırada yer almaktadır (Yüksek ve diğ., 2008).

Topografik faktörlerin etkisiyle Trabzon'un doğusundan itibaren yağışlar artmakta, doğuda Rize, Arhavi ve Hopa'da yağışlar en yüksek seviyeye erişmektedir. Bölgenin yağış dağılımında hakim rüzgar yönü ile yamaçların konumu ve yükseltisi en önemli etkenlerdir. Mevsimsel değişimler incelendiğinde, yağış bakımından en zengin mevsimler ise sırasıyla sonbahar, kış, yaz ve ilkbahardır. İlkbahar ve yaz aylarında yağışlar genellikle diğer mevsimlere göre az ise de, kar erimelerinin de etkisiyle yörede sık sık taşkın olayları görülmektedir (EİEİ, 2002; Tonkaz, 2010).

Toplam 50 taşkının 37'si yaz mevsiminde meydana gelmiştir. Taşkın açısından en kritik aylar 11 taşkının meydana geldiği Haziran, 16 taşkının meydana geldiği Temmuz ve 10 taşkının meydana geldiği Ağustos ayları olarak gözükmektedir. Bu çalışmada uygulama alanı olarak; Doğu Karadeniz Havzası'nda gözlenmiş en büyük taşkın olan 20 Haziran 1990 tarihli taşkının etkili olduğu dereler seçilmiştir (**Şekil 1**).



Şekil 1. Doğu Karadeniz Havzası'nda 20 Haziran 1990 Tarihinde Meydana Gelen Taşkın Olayının AGİ'lere Göre Belirlenen Etki Alanı.

4.BULGULAR

Doğu Karadeniz Havzası'nda 1955 yılından sonra yaşanan en büyük taşkın Gümüşhane, Trabzon ve Giresun illerini kapsayan 20 Haziran 1990 taşkınıdır. Bu taşkın 10 farklı derenin taşması sonucu meydana gelmiş ve 57 insan hayatını kaybetmiştir. Bu taşkının etkili olduğu il ve dereler **Çizelge 1'de** verilmiştir (Yüksek ve diğ., 2008). **Çizelge 1'den** görüldüğü üzere bu taşkın Doğu Karadeniz Bölgesinde büyük bir alanda etkili olmuş ve 1955'den 2005'e kadar oluşan taşkın zararlarının yaklaşık %70'i bu olayda meydana gelmiştir.

Çizelge 1. 20 Haziran 1990 Doğu Karadeniz Havzası Taşkını Özellikleri.

Taşkın İli	Taşkın Yeri	Taşkını Yapan Akarsu Kolu	Can Kaybı (Kişi)	Taşkın Sahası (da)	Maddi Zarar (2008 Yılı) TL
Trabzon, Gümüşhane, Giresun	Trabzon, Maçka, Akçaabat, Çarşıbaşı, Vakfıkebir, Tonya, Şalpazarı, Doğankent, Tirebolu, Yağlıdere, Espiye, Keşap, Giresun, Gümüşhane, Torul, Of, Balaban	Değirmendere, Akçakale D., İskefiye D., Fol D., Harşit Ç., Baltacı D., Yağlıdere, Gelevera D., Keşap D., Merkez D.,	57	74358	547,391,473

Kamu kurumları (EİEİ ve DSİ) ile özel sektör (4628 sayılı Elektrik Piyasası Kanunu kapsamında) tarafından, gözlenmiş taşkın verilerini esas alan noktasal taşkın frekans analizi ve bölgesel taşkın frekans analizi gibi yöntemler kullanılarak gelecekte oluşabilecek taşkınların büyüklüğü ve frekansı tahmin edilmeye çalışılmaktadır. Söz konusu kurumlar tarafından geliştirilen biriktirmesiz projelerin dizaynında da 100 yıl tekerrürlü taşkın debileri esas alınmaktadır. Böylece bu çalışmada da; en kötü taşkın senaryosunda; uygulamadaki söz konusu kurumlar tarafından kullanılan mevcut yöntemler ile proje dizaynı için hesaplanan taşkın değerlerinin ne kadar doğrulukta tahmin edildiği ortaya konmaya çalışılmıştır.

Gözlenilmiş en kötü taşkın olan 20 Haziran 1990 tarihli taşkının etkili olduğu alanda bulunan akım gözlem istasyonlarında istatistiksel olarak yeterli uzunlukta akım değerlerinin tekerrürlü taşkın debilerinin bulunması amacıyla hem noktasal taşkın frekans analizi hem de bölgesel taşkın frekans analizi uygulanmıştır. Bu amaçla istatistiksel dağılımlar kullanan bir yazılımdan yararlanılmıştır.

Taşkın frekans analizinde sıklıkla kullanılan; normal, log-normal (iki ve üç parametreli), gumbel, gama (2 parametreli) ve logpearson tip-3 istatistiksel dağılımları kullanılmıştır. Sonuç olarak taşkın alanını temsil eden akım gözlem istasyonlarının 1989 su yılı dahil tüm anlık maksimum debi değerlerinin ayrı ayrı ekstrem dağılımları araştırılarak, Kolmogorov-Simirnov ve Chi kare testleri yapılmış ve uygun dağılımlar seçilerek istasyonların frekans analizleri hesaplanmıştır. Söz konusu hesaplamaların sonuçları **Çizelge 2'de** verilmiştir.

Bölgesel frekans analizine soktuğumuz istasyonların "aynı bölge karakterinde" oldukları hakkında fikir vermesi için "homojenlik testi" uygunlanmıştır. Böylece bölgeyi karakterize eden istasyonlardan herhangi birinin aykırılık gösterip göstermediği

ortaya çıkarılmıştır. **Şekil 2'de** görüldüğü gibi 2220 nolu AGİ (EİEİ) %95 güvenilirlik eğrilerinin dışında kalarak aykırılık göstermektedir. Bundan dolayı bu AGİ'nin tekerrürlü taşkın değerleri BTFA hesaplarına dahil edilmemiştir. Bu istasyon çalışmalardan çıkartıldıktan sonra bölgesel taşkın oranları hesaplanarak **Çizelge 3'te** verilmiştir.

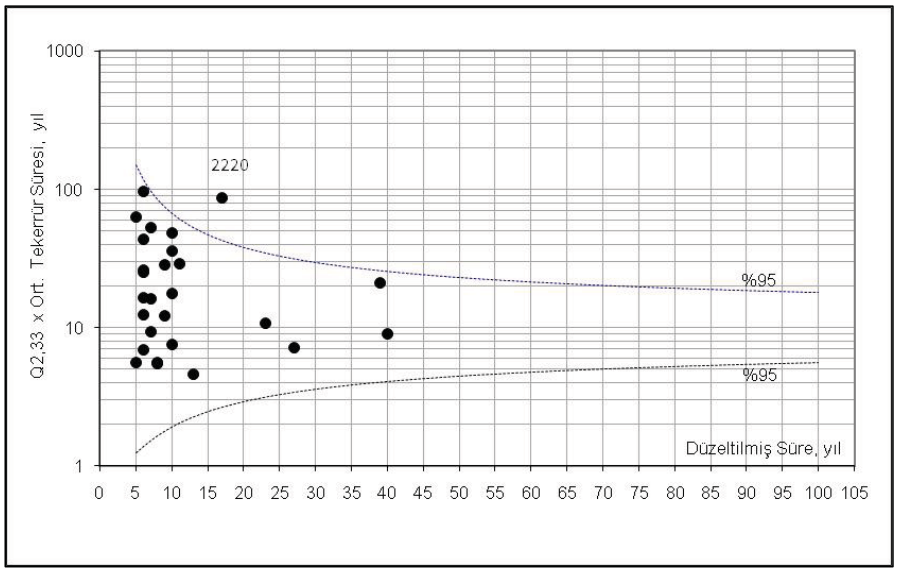
Çizelge 2. 20 Haziran 1990 tarihli taşkının etkili olduğu alandaki AGİ'lerin çeşitli tekerrürlü taşkın değerleri.

AGİ	Y.A. (km^2)	UDF	yıl	Q2 (m^3/s)	Q2.33 (m^3/s)	Q5 (m^3/s)	Q10 (m^3/s)	Q25 (m^3/s)	Q50 (m^3/s)	Q100 (m^3/s)
22-31	263.0	G2P	6	71.1	81.5	123.9	161.6	210.6	247.4	284.2
22-56	274.0	G	10	60.6	64.1	78.1	89.7	104.4	115.3	126.1
2212	565.2	LP3	8	66.1	76.8	122.1	189.2	332.2	504.9	761.0
22-64	470.0	LN2	10	75.8	79.7	96.0	108.7	124.0	135.1	145.8
2214	535.2	LP3	6	103.3	121.5	195.5	294.7	485.4	693.7	979.6
22-73	397.9	G	5	45.4	47.4	55.8	62.8	71.5	78.0	84.5
22-39	322.8	LP3	5	30.5	36.2	60.0	100.3	198.2	331.7	555.4
22-80	296.9	G	8	33.7	36.4	48.0	57.5	69.5	78.4	87.2
22-87	256.8	LP3	7	33.7	35.0	41.2	48.5	60.6	72.0	85.6
2235	136.4	LP3	6	44.5	52.4	98.6	166.7	318.0	507.4	799.2
22-40	3132.8	G	13	252.2	264.3	317.3	360.5	414.9	455.3	495.4
22-13	124.9	LP3	17	23.6	25.7	35.5	45.8	62.1	77.0	94.6
2219	117.6	LP3	7	23.9	26.3	36.9	47.3	62.3	75.2	89.4
2201	2750.0	LN2	40	232.1	255.2	349.5	432.9	544.0	630.3	719.7
22-09	1900.4	LN2	23	117.6	128.3	172.8	211.2	261.7	300.5	340.4
22-83	410.8	G2P	6	46.6	48.7	57.5	64.4	72.7	78.6	84.3
22-58	162.7	LP3	10	63.0	70.9	102.3	139.1	201.6	262.4	338.3
2228	191.4	LN2	27	57.7	65.2	97.7	128.5	172.4	208.2	246.9
22-45	248.7	G	9	23.9	25.5	31.6	36.7	43.1	47.9	52.6
22-86	728.4	G	7	66.8	69.9	83.0	93.8	107.3	117.4	127.4
2206	708.0	LN2	39	85.0	91.4	116.8	137.9	164.6	184.5	204.5
22-59	121.5	LP3	9	16.7	18.1	23.7	29.8	39.6	48.6	59.3
22-61	261.0	G2P	10	19.9	21.3	27.1	32.6	39.9	45.4	51.1
22-88	150.0	LP3	6	21.1	22.9	29.6	35.7	43.9	50.4	57.3
22-60	185.9	G	6	18.6	19.8	25.0	29.2	34.5	38.4	42.4
22-34	258.6	G	11	44.9	47.5	59.1	68.5	80.4	89.2	98.0

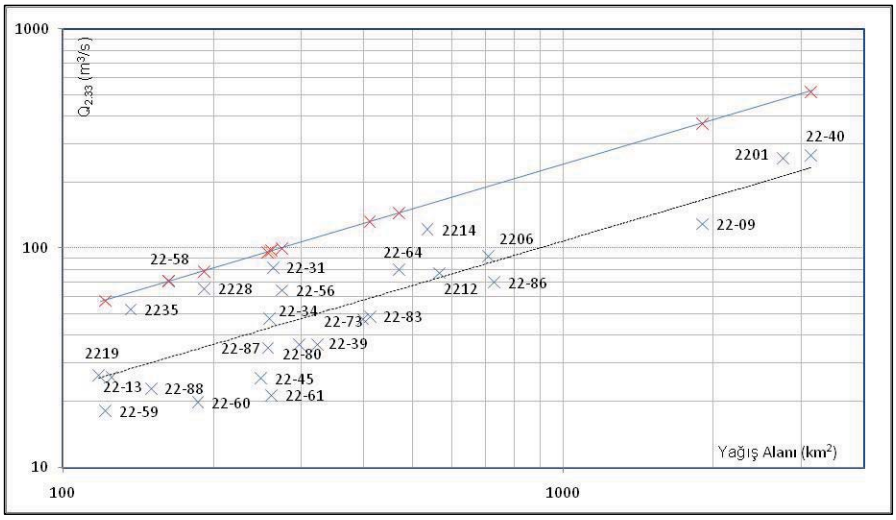
Daha sonra AGİ'lerin $Q_{2.33}$ yıllık debi değerleri, istasyon yeri yağış alanlarına karşılık çift eksenli logaritmik grafikte, **Şekil 3'te** verildiği gibi noktalanarak "Bölgesel Taşkın Zarf Eğrisi" çizilmiştir. AGİ'lerin yağış alanlarına karşılık **Şekil 3'te** verilen grafikten okunan $Q_{2.33}$ yıl yinelenmeli debi değerleri, istasyonlara ait ortalama boyutsuz bölgesel taşkın yinelenme değerleri ile çarpılmış ve AGİ'ler için BTFA yöntemine göre tekerrürlü taşkın debi değerleri bulunmuştur.

Çizelge 3. Bölgesel Taşkın Oranları

AGİ	$Q_2/Q_{2.33}$	$Q_{2.33}/Q_{2.33}$	$Q_5/Q_{2.33}$	$Q_{10}/Q_{2.33}$	$Q_{25}/Q_{2.33}$	$Q_{50}/Q_{2.33}$	$Q_{100}/Q_{2.33}$
22-31	0.87	1.00	1.52	1.98	2.58	3.04	3.49
22-56	0.95	1.00	1.22	1.40	1.63	1.80	1.97
2212	0.86	1.00	1.59	2.46	4.33	6.57	9.91
22-64	0.95	1.00	1.20	1.36	1.56	1.69	1.83
2214	0.85	1.00	1.61	2.43	4.00	5.71	8.06
22-73	0.96	1.00	1.18	1.32	1.51	1.65	1.78
22-39	0.84	1.00	1.66	2.77	5.47	9.16	15.34
22-80	0.93	1.00	1.32	1.58	1.91	2.15	2.40
22-87	0.96	1.00	1.18	1.39	1.73	2.06	2.45
2235	0.85	1.00	1.88	3.18	6.07	9.68	15.25
22-40	0.95	1.00	1.20	1.36	1.57	1.72	1.87
22-13	0.92	1.00	1.38	1.78	2.41	2.99	3.68
2219	0.91	1.00	1.40	1.80	2.37	2.86	3.40
2201	0.91	1.00	1.37	1.70	2.13	2.47	2.82
22-09	0.92	1.00	1.35	1.65	2.04	2.34	2.65
22-83	0.96	1.00	1.18	1.32	1.49	1.61	1.73
22-58	0.89	1.00	1.44	1.96	2.84	3.70	4.77
2228	0.89	1.00	1.50	1.97	2.64	3.19	3.79
22-45	0.94	1.00	1.24	1.44	1.69	1.88	2.06
22-86	0.96	1.00	1.19	1.34	1.54	1.68	1.82
2206	0.93	1.00	1.28	1.51	1.80	2.02	2.24
22-59	0.92	1.00	1.31	1.65	2.19	2.68	3.27
22-61	0.94	1.00	1.27	1.53	1.87	2.13	2.40
22-88	0.92	1.00	1.29	1.56	1.92	2.20	2.50
22-60	0.94	1.00	1.26	1.47	1.74	1.94	2.14
22-34	0.94	1.00	1.24	1.44	1.69	1.88	2.06
Ort. Oranlar	**0.92**	**1.00**	**1.36**	**1.74**	**2.41**	**3.11**	**4.06**



Şekil 2. 20 Haziran 1990 tarihli taşkının hesaplanmasında kullanılan AGİ ler için homojenlik testi grafiği



Şekil 3. 20 Haziran 1990 tarihli taşkın için bulunan Yağış Alanı-$Q_{2.33}$ Grafiği

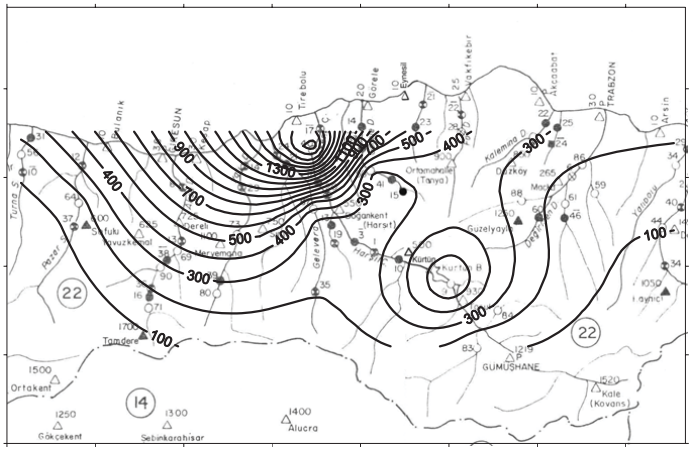
20 Haziran 1990 tarihli taşkın olayında çoğu AGİ ölçüm yapamamış veya yıkılmıştır. Bu taşkına ait kayıt değerleri **Çizelge 4'te** verildiği üzere sadece 11 AGİ'de yapılabilmiştir. Ölçüm yapılabilen AGİ'lerin yukarıda anlatıldığı gibi NTFA ve BTFA yöntemlerine göre 100 yıl tekerrürlü taşkın değerleri hesaplanmış ve **Çizelge 4'te** verilmiştir.

Çizelge 4. 20 Haziran 1990 taşkın gözlenilmiş değerler, NTFA ve BTFA ile elde edilen 100 yıllık yinelemeli değerler.

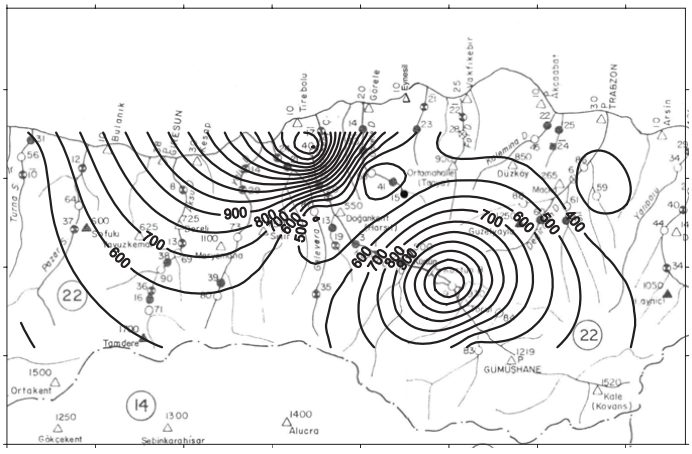
AGİ	Göz. Taşkın (m^3/s)	NTFA (m^3/s)	Oran (%)	BTFA (m^3/s)	Oran (%)
22-56	142.0	126.1	-11.2	406.1	186.0
22-64	162.0	145.8	-10.0	587.4	262.6
22-87	345.0	85.6	-75.2	389.8	13.0
22-40	2015.0	495.4	-75.4	2090.6	3.8
22-09	629.0	340.4	-45.9	1499.6	138.4
22-83	100.0	84.3	-15.7	535.8	435.8
22-58	280.0	338.3	20.8	287.4	2.6
2228	412.0	246.9	-40.1	318.7	-22.6
22-59	135.0	59.3	-56.1	233.7	73.1
22-61	150.0	51.1	-65.9	396.3	164.2
22-34	169.0	98.0	-42.0	392.3	132.1

Çizelge 3'te NTFA ve BTFA yöntemlerine göre bulunan Q_{100} değerleri 20 Haziran 1990 tarihinde gözlenilmiş olan taşkın değerlerine oranlanmış ve yan sütunlarında verilmiştir. Bu bulgulara göre hemen hemen tüm AGİ 'lerde (22-58 nolu AGİ hariç) NTFA yöntemine göre bulunan Q_{100} değerleri gözlenen değerlerden daha küçük bulunmuştur. Taşkının çok can ve mal kaybına neden olduğu Harşit Çayı (22-40),

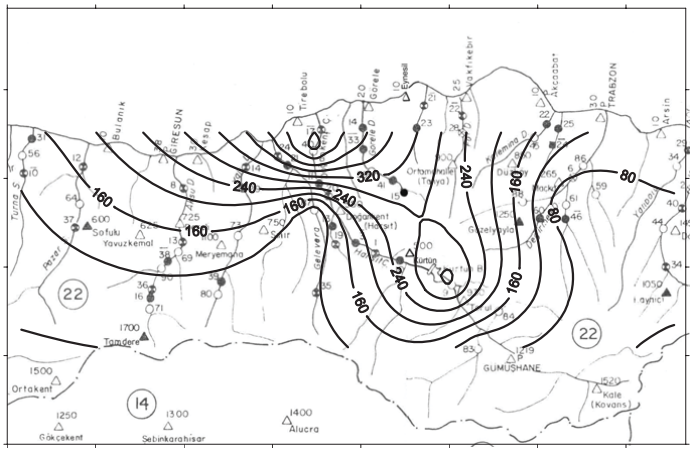
Gelevera deresi (22-87) ve Değirmenderinin kolları olan Altındere (22-61) ile Kalyan deresi (22-59) akarsu kollarında taşkın gerçek değerlerinden %75.4, %75.2 ve %65.9 ile %56.1 oranlarında daha az hesaplanmıştır. BTFA yöntemine göre ise hemen hemen tüm AGİ lerde (2228 nolu AGİ hariç) hesaplanan Q_{100} değerleri gerçek değerlerden fazla bulunmuştur. NTFA yöntemine göre çok daha az bulunan 22-40, 22-87, 22-59, 22-61 nolu AGİ'lerin Q_{100} değerleri BTFA yöntemine göre %3.8, %13, %164.2 ve %73.1 oranında daha fazla bulunmuştur. **Çizelge 3'e** göre söylenebilir ki; BTFA yöntemine göre çok daha güvenilir taşkın değerleri sonuçları elde edilmektedir. Ayrıca 20 Haziran 1990 tarihli taşkının 11 istasyonda tespit edilebilmiş taşkın değerleri, BTFA ve NTFA yöntemlerine göre de elde edilen Q_{100} değerlerinin alansal değişimleri çizilmiş ve incelenmiştir (**Şekil 3, Şekil 4 ve Şekil 5**).



Şekil 3. 20 Haziran 1990 tarihinde AGİ'lerde gözlenilen değerlerinin alansal değişimi



Şekil 4. 1990 tarihine kadar AGİ'lerin BTFA'ya göre Q_{100} değerlerinin alansal değişimi.



Şekil 5. 1990 tarihine kadar AGİ'lerin NTFA'ya göre Q_{100} değerlerinin alansal değişimi.

Şekil 3, 4 ve 5 incelendiğinde NTFA'ya göre elde edilen değerlerin, gerçek değerlere oranla ne kadar az hesaplandığı ve güvenilir olmadığı görülmektedir. BTFA'ya göre elde edilen değerlerin alansal değişimi ile gerçek değerlerin değişiminin çok daha benzeştiği ve daha güvenilir tarafta değerlerin bulunduğu anlaşılmaktadır.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Taşkınların olası zararlarını ortaya koyabilmek ve ona göre gerekli tedbirleri alabilmek için taşkın büyüklüklerinin çeşitli tekerrürlü olarak elde edilmesi çok önemlidir. Bu nedenle Doğu Karadeniz Havzası'nda 20 Haziran 1990 tarihinde oluşmuş en büyük taşkının analizi için taşkının oluştuğu derelerdeki AGİ'lere ait kayıtlı verilerin gerekli analiz ve değerlendirmelerinin yapılması gerekmektedir. Bu çalışmada da, Doğu Karadeniz Havzası'nda yer alan ve EİEİ ve DSİ Genel Müdürlükleri tarafından işletilen gözlem süresi yönünden uygun akım gözlem istasyonlarının yıllık anlık maksimum akım değerlerinin olasılık analizlerinin yapılması ile bölgedeki gözlenen tarihi taşkınlarla ilişkili olarak taşkın yöntemlerinin güvenilirlikleri tespit edilmeye çalışılmıştır. Söz konusu taşkın olayında gözlenmiş değerler, taşkın koruma çalışmalarında ve biriktirmesiz nehir tipi projelerin dizaynında esas alınan hem BTFA hem de NTFA yöntemlerine göre hesaplanan Q_{100} değerleri ile kıyaslanmıştır. Bu kıyaslama sonuçlarına göre; en büyük taşkının ölçümünü yapabilmiş AGİ'lerin BTFA yöntemine göre hesaplanan Q_{100} değerleri, NTFA yöntemine göre elde edilenlerden çok daha güvenilir bulunmaktadır. NTFA yöntemine göre bulunan sonuçlar 22-58 nolu AGİ haricinde hepsinde gözlenen değerlerden daha az hesaplanmıştır. Hâlbuki, proje yerlerine yakın ve yeterli gözlem uzunluğunda verilere sahip AGİ olduğunda, yaygın olarak bu yönteme göre elde edilen çeşitli tekerrürlü taşkın debileri projelerde esas alınmaktadır. Başka bir örnekte görüldü ki; en uzun gözlem periyoduna (23 yıllık) sahip AGİ'lerden biri olan ve Harşit çayı üzerinde bulunan 22-09 nolu AGİ için NTFA'ya göre Q_{100} değeri 340.4 m^3/s hesaplanırken, BTFA'ya göre Q_{100} değeri 1499.6 m^3/s hesaplanmıştır. Hâlbuki istasyonda 20 Haziran 1990 da ölçülen taşkın değeri 629 m^3/s dir. Yine aynı akarsu üzerinde bulunan 22-40 nolu AGİ için NTFA yöntemine göre

bulunan Q_{100} değeri 495.4 m^3/s olurken, BTFA değerine göre hesaplanan taşkın değeri 2090.6 m^3/s olmaktadır. 20 Haziran 1990 da aynı AGİ de ölçülen akım değeri ise 2015 m^3/s dir. Görüldüğü üzere BTFA yöntemine göre bu taşkın %3.8 fazlalıkla hesaplanırken, NTFA yöntemine göre ise %75.4 daha az oranda hesaplanmıştır. Bu sonuç, BTFA'nın NTFA'ya göre çok daha güvenilir değerlerde hesaplamalar yaptığını göstermektedır. Tabiiki BTFA yönteminin de dezavantajı bazı istasyonlarda çok fazla; örneğin 22-83 nolu AGİ için olduğu gibi gözlenen değerin çok üzerinde %435 fazlalıkla taşkın hesaplamaları da yapılabilmektedir. Bu özellikle proje dizaynında ekonomik olmayan, maliyeti artıran bir durum gibi gözükse de sonuçta oluşabilecek can kayıpları ile karşılaştırıldığında önemsiz bir dezavantaj olmaktadır. BTFA yöntemine göre bazı AGİ'lerde gözlenenin çok üzerinde taşkın değerleri hesaplandığı gözüksede; 2228 nolu AGİ örneğinde olduğu gibi gözlenenden daha az oranda da hesaplamalar bulunabilmektedir. Demekki BTFA yöntemine göre de, bu örnekte bir AGİ için bile olsa gözlenen taşkın değerleri çok daha fazla olabilmektedir. Bu çalışmanın sonucunda; BTFA'nın NTFA'ya göre sağladığı faydaları özetlersek; aynı karakterde olduğu kabul edilen komşu havzalar içinde akım rasatları kısa süreli veya hiç bulunmayan bir noktada belirli tekerrürlere sahip taşkın debilerini kabaca tahmin etme olanağını verebilmesidir. BTFA; hidrolojik ve istatistiksel olarak homojen bir bölge içindeki çeşitli istasyonlar arasında bilgi iletimini sağlamak, kısa dönemli istasyonların tasarım taşkın tahminlerinin güvenirliğini arttırmak ve akım gözlem istasyonu olmayan noktalarda da taşkın tahminleri yapabilmeyi sağlamak gibi avantajlara da sahiptir.

20 Haziran 1990 tarihli taşkında görüldüğü üzere, bölgede çoğu AGİ'de az sayıda ölçüm yapılabilmiştir. Çoğu AGİ söz konusu taşkında yıkılmış veya ölçüm yapamamıştır. Bu durum taşkın çalışmalarında büyük bir eksiklik oluşturmaktadır. Özellikle Doğu Karadeniz Havzası gibi küçük ölçekte iklimsel özellikleri (özellikle yağış miktarı dağılımı) topoğrafyaya bağlı olarak çok değişen ve bu kadar vahim taşkınların meydana geldiği bölgelerde taşkın özelliklerini en iyi şekilde anlamak için her havzayı tek tek doğru şekilde temsil edebilecek, daha sık hidrometeorolojik ölçüm ağlarının kurulması gerekmektedir. Yağış verileri de kullanılarak taşkın çalışmaları diğer sentetik yöntemlerle yapılmalı birbirleri ile karşılaştırılarak en doğru ve sağlıklı sonuçlar elde edilmelidir. Netice olarak, taşkın kaynaklı kayıpların en aza indirilmesinin sorumluluğu taşkın alanı yönetimi ve planlaması için gerekli olan veri, bilgi ve becerinin elde edilmesini gerektirir. Bu da ancak taşkın alanı yönetim ve planlamasında rol alacak tüm kademelerindeki karar alıcıların konuyla ilgili hem teknik bilgilere hem de ilgili verilere sahip olmasıyla mümkündür.

6. KAYNAKLAR

Akay O, Birinci V, Bulu A, "Taşkın Alanlarının Planlanması Ve Yönetimi", II. Ulusal Taşkın Sempozyumu, T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı, Afyonkarahisar,1-9, 2010.

Cöntürk H, Şentürk R, "Doğu Akdeniz Bölgesi için taşkın tekerrür eğrileri", DSİ, Hidroloji semineri, Ankara, Türkiye. 1967.

DSİ, Akım Gözlem İstasyonları Yılda Anlık Maksimum Akımları (1954-2000), Ankara, 2007.

EİEİ, Su Akımları Yıllık Ekstremler ve Ortalamalar (1935-2000), Ankara, 2005.

Kasalak AF, Aksu S, Eroğlu H, Şirin O, "Taşkından Koruma Tesislerine Müdahaleler Ve Ülkemizde Yaşanan Taşkın Olaylarının Değerlendirilmesi", II. Ulusal Taşkın Sempozyumu, T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı, Afyonkarahisar,125-140, 2010.

Koç C, Kosif K, Kızıltepe S, Özdemir K, "Büyük Menderes ve Batı Akdeniz havzalarında işletmede olan taşkın tesislerine yapılan müdahalele üzerine bir çalışma" II. Ulusal Taşkın Sempozyumu, T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı, Afyonkarahisar,71-80, 2010.

Korkanç SY, Hızal A, Özyuvacı N, "Arazi Kullanma Şekilleri İle Sel Ve Taşkın İlişkileri: Bartın–Iskalan Deresi Yağış Havzası Örneği", II. Ulusal Taşkın Sempozyumu, T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı, Afyonkarahisar,11-20, 2010.

Önsoy H, Kömürcü Mİ, Kankal M, Yüksek Ö, Filiz MH, "Doğu Karadeniz Havzasında Oluşan Taşkınların Nedenleri ve Çözüm Önerileri" 5. Dünya Su Forumu Türkiye Bölgesel Hazırlık Toplantıları, T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, Trabzon, 73-79, 2008.

Özdemir H, "Uygulamalı taşkın hidrolojisi", DSİ, Ankara, Türkiye, 1978.

Özdemir ON, Nadiroğlu C, "Göksu Havzası Taşkın Analizi", II. Ulusal Taşkın Sempozyumu, T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı, Afyonkarahisar, 203-210, 2010.

Şen Z, "Taşkın afet ve modern hesaplama yöntemleri" Su Vakfı Yayınları, İstanbul, Türkiye, 2009.

Tonkaz T, Çetin M, Kızıloğlu F, Fayrap A, "Müteferrik Doğu Karadeniz Suları Havzası Yıllık Anlık Maksimum Akımlarının Olasılık Analizi", II. Ulusal Taşkın Sempozyumu, T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı, Afyonkarahisar,315-322, 2010.

Yalkın S, "Bölgesel taşkın tekerrür analizi" EİEİ, Ankara, Türkiye, 1976.

Yavuz O, Önsoy H, Aydoğan D, Koç M, Erdoğan İ, "Doğu Karadeniz Bölgesinde Yaşanan Taşkın Olayları, Taşkın Koruma Tesisleri ve Bu Tesislere Yapılan Müdahaleler" II. Ulusal Taşkın Sempozyumu, T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı, Afyonkarahisar, 81-90, 2010.

Yüksek Ö, Kankal M, Önsoy H, Filiz MH, "Doğu Karadeniz Havzası Taşkınları Üzerine Genel Bir Değerlendirme" 5. Dünya Su Forumu Türkiye Bölgesel Hazırlık Toplantıları, T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, Trabzon, 17-28, 2008.

Açık Kanallarda Taşkın Dalgası Yayılmasının Deneysel ve Teorik Olarak Araştırılması

M. Şükrü GÜNEY [1], Emre KEBAPCIOĞLU [2], Ayşegül Özgenç AKSOY[3]

Özet: Bu çalışmada, açık kanallarda taşkın dalgalarının yayılması deneysel ve teorik olarak araştırılmıştır. Deneysel çalışmalar; Dokuz Eylül Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Hidrolik Laboratuarı'nda TÜBİTAK 106M274 projesi kapsamında kurulan deney düzeneği üzerinde gerçekleştirilmiştir. Deney sisteminde farklı giriş hidrografları oluşturularak dalganın yayılması kaydedilmiş, teorik sonuçlar ise bir boyutlu kararsız açık kanal akımlarını tanımlayan Saint Venant denklemlerinin sayısal çözümü ile elde edilmiştir. Deney düzeneği; 80 cm genişliğinde ve 18,6 m uzunluğundaki dikdörtgen bir kanal, 27 m^3 hacmindeki ana su deposu, iki tane feyezan tankı ve debisi ayarlanabilen pompa ve iletim hatlarını içermektedir. Akım hızları ultrasonik ses dalgaları üreten UVP DUO-MX cihazı ile ölçülmüştür. Bu cihazla elde edilen debi, daha sonra temin edilen debimetre yardımıyla kalibre edilen, büzülmesiz ince kenarlı dikdörtgen savak ile de kontrol edilmiştir. Su derinlikleri seviye ölçerden faydalanılarak belirlenmiştir. Saint Venant denklemlerinin sayısal çözümü ile elde teorik sonuçlar deneysel bulgularla karşılaştırılmıştır. Deneysel bulgularla sayısal sonuçlar arasında kabul edilebilir bir uyum elde edilmiş olması kullanılan bu sayısal çözüm yönteminin mühendislik uygulamalarında da başarılı bir şekilde kullanılabileceğini göstermektedir.

Anahtar Sözcükler: Dalga yayılması; açık kanallarda kararsız akımlar; taşkın dalgaları; sonlu farklar; eksplisit yaklaşım

Experimental and Theoretical Study of Flood Waves Propagation in Open Channels

Abstract: In this study the propagation of flood waves in open channels is investigated experimentally and theoretically. The experiments are carried out in an experimental system built in Hydraulics Laboratory of Dokuz Eylül University, in the scope of the project TÜBİTAK 106M274. The wave propagation experiments are achieved with various input hydrographs and theoretical results are obtained from numerical solution of Saint-Venant equations describing one dimensional unsteady open channel flows.

[1] Dokuz Eylül Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İzmir, E-Posta: sukru.guney@deu.edu.tr
[2] Turhal Şeker Fabrikası, Turhal/Tokat, E-Posta: kebapciogluemre@msn.com
[3] Dokuz Eylül Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İzmir, E-Posta: aysegul.ozgenc@deu.edu.tr

The experimental set-up involves a rectangular channel 80 cm wide and 18,6 m long, with a water supply tank of 27 m^3. The hydrographs are generated by two elevated tanks as well as a pump with regulated rotational speed. The velocities are measured by using UVP DUO-MX ultrasound velocity profile monitor .Discharges determined from this device are controlled by a sharp edged rectangular weir without contraction, which is calibrated by means of the flow-meter. The water depths are measured by level meters. The theoretical results obtained from the numerical solution of Saint-Venant equations are compared with experimental ones. The compatibility observed between experimental results and those obtained from numerical solution demonstrates that this numerical method can be successfully used in engineering applications.

Keywords: wave propagation; unsteady flows in open channels; flood waves; finite difference; explicit approach

1.TEORİK BAKIŞ

x konumu ve t zamanı simgeleyen bağımsız değişkenler olmak üzere, akım derinliği h(x,t) ve hız U(x,t) bilinmeyenleri süreklilik ve hareket denklemlerinden yola çıkılarak elde edilen ve Saint-Venant denklemleri olarak ta adlandırılan

$$h\frac{\partial U}{\partial x}+U\frac{\partial h}{\partial x}+\frac{\partial h}{\partial t}=0 \tag{1}$$

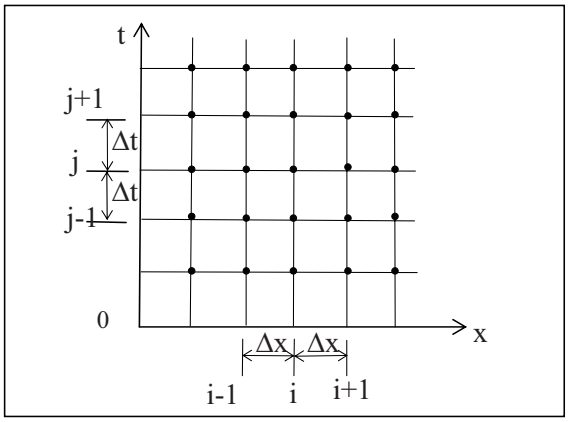
$$\frac{1}{g}\frac{\partial U}{\partial t}+\frac{U}{g}\frac{\partial U}{\partial x}+\frac{\partial h}{\partial x}-S_f=-S_e \tag{2}$$

denklemleri çözülerek belirlenebilmektedir. Burada g: yerçekimi ivmesini, S_f : kanal taban eğimini, S_e ise enerji çizgisi eğimini simgelemektedir. Mühendislik uygulamaları açısından önem taşımayan çok özel haller dışında analitik çözümü olmayan bu denklemlerin farklı sayısal teknikler veya grafik yöntemlerle çözümü gerçekleştirilebilmektedir.

2. SAYISAL ÇÖZÜM

Mevcut sayısal çözüm yöntemlerinin hepsinde denklemlerdeki sonsuz küçükler yerine sonlu küçükler konarak denklemler sonlu farklar cinsinden yazılmaktadır.

Bu çalışmada kullanılan eksplisit (açık) yaklaşımda L uzunluğundaki kanal Şekil 1' de gösterildiği gibi N adet parçaya bölünerek $\Delta x=L/N$ mesafe aralıkları oluşturulmakta, N+1 adet noktada bilinmeyen h(x,t) ve U(x,t) bağımsız değişkenleri belirlenmektedir. t=0 anına karşılık gelen ve bilinen başlangıç değerlerinden yola çıkılarak $t=\Delta t$ anındaki bilinmeyenler hesaplanmakta, böylece bilinen Δt anındaki değerler yardımıyla $t=2\Delta t$ anına karşılık gelen değerler belirlenmekte, hesaplamalara bu şekilde devam edilerek $3\Delta t$, $4\Delta t$,…… zamanlarına karşılık gelen değerler belirlenmekte, istenen t_{max} zaman süresine ulaşılıncaya kadar hesaplara devam edilmektedir.



Şekil 1. Sonlu farklar tekniğinde kullanılan notasyonlar

Alt indis i konumu ve üst indis j zamanı simgelemek üzere, U_{i-1}^{j}, h_{i-1}^{j} ve U_{i+1}^{j}, h_{i+1}^{j} terimleri t=t zamanına karşılık gelen bilinen değerleri, U_{i}^{j+1}, h_{i}^{j+1} ise t=t+Δt zamanındaki bilinmeyenleri simgelemek üzere (1) süreklilik ve (2) hareket denklemleri

$$h_i^{j+1} = h_i^j + \frac{\Delta t}{2\Delta x}\left[U_i^j (h_{i-1}^j - h_{i+1}^j) + h_i^j (U_{i-1}^j - U_{i+1}^j)\right] \tag{3}$$

$$\frac{U_i^{j+1} - U_i^j}{\Delta t} + U_i^j \frac{(U_{i+1}^j - U_{i-1}^j)}{2\Delta x} + g\frac{(h_{i+1}^j - h_{i-1}^j)}{2\Delta x} = g(S_f - S_e) \tag{4}$$

şeklinde yazılabilmektedir. n: Manning pürüzlülük katsayısı, R_h: hidrolik yarıçap olmak üzere S_e enerji çizgisi eğimi

$$S_e = \frac{\left|U_i^{j+1}\right| U_i^{j+1}}{(R_{h_i}^{j+1})^{4/3}} n^2 \tag{5}$$

şeklinde ifade edilebilmektedir (Graf, W.H., 1998).

Bu denklemler menba ve mansap şartlarıyla birleştirilerek sayısal çözümler gerçekleştirilmekte, Δt seçilirken sayısal çözümün kararlılığı için

$$\Delta t \le \frac{\Delta x}{(|U| + c)} \tag{6}$$

şeklinde yazılan Courant kriterinin sağlanması gerekmektedir. (5) denklemindeki enerji kaybıyla ilgili ifadede mutlak değer kullanılarak ters akım durumu da öngörülmüş olmakta, böylece bir kanalda oluşabilecek dalga yansıması ve başlangıçtaki akımın zıt yönünde bir akımın da hesaba katılması mümkün olmaktadır.

3. DENEY DÜZENEĞİ VE ÖLÇÜM TEKNİKLERİ

Açık kanallarda, farklı eğimlerde zamanla değişen akım koşullarını araştırmak amacıyla Dokuz Eylül Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Tınaztepe Kampüsü' ndeki Hidrolik Laboratuarı'nda kapsamlı bir deney düzeneği inşa edilmiştir. Bu deney sistemi TÜBİTAK 106M274 nolu proje kapsamında kararlı ve kararsız akımlarda katı madde taşınmasının deneysel ve teorik olarak araştırılması amacıyla tasarlanmış ve inşa edilmiştir. Metal kanal, Şekil 2' de görüldüğü gibi, 1,5 metresi sakinleştirme bölümü olmak üzere toplam 20,1 m uzunluğundadır. Yan duvarları pleksiglas, tabanı sac olarak imal edilen kanal 80 cm genişliğinde, 75 cm yüksekliğindedir (Kebapcıoğlu, 2009).

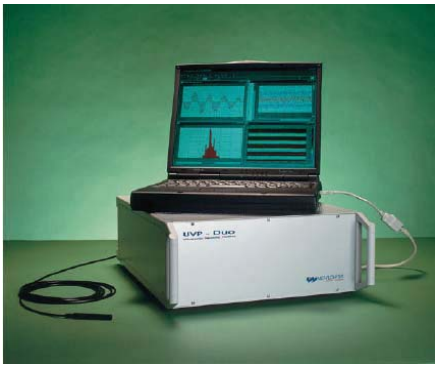


Şekil 2. Deney sisteminin genel görünümü

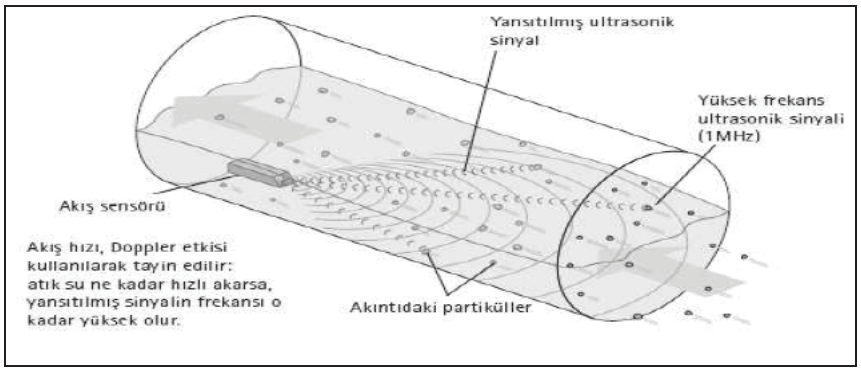
Hız profilini çıkarmak için kullanılan UVP cihazı Şekil 3'te gösterilmiştir.

Ses dalgalarını kullanarak hız ölçümünde ultrasonik ses dalgaları kullanılmaktadır. Bu dalgalar Şekil 4' te görülen ve su içinde bulunabilecek küçük parçacıklara çarparlar. Eğer su temiz ise ve içinde parçacık bulundurmuyorsa, ultrasonik ses dalgalarının çarpacağı ve yansıyacağı farklı bir ortam olmayacağından, hız ölçümü de yapılamamaktadır. Bu sebeple elektroliz yardımıyla daha düzgün okumaların yapılması sağlanmıştır. Kanala daldırılan iki elektrottan bir tanesi üretecin pozitif (anot) kutbuna diğeri de negatif (katot) kutbuna bağlanır. Suyun elektrolizi olayı ile kabarcıklar oluşturularak düzgün okuma yapılması sağlanır (Akyazı vd., 2007).

Deneyler sırasında istenilen tipte hidrograflar elde etmek için pompa debisini (devir hızını) kontrol eden cihaz kullanılmıştır**.** Bu cihaz laboratuar içerisindeki kanala su basan pompaya bağlıdır. Cihazla bağlantısı yapılan bir bilgisayara önceden yüklenmiş yazılım sayesinde istenen üçgen veya trapez şeklindeki hidrograflar tanımlanıp oluşturulabilmektedir. Bu yazılımda, frekans değerleri, hidrografın yükselme zamanı, alçalma zamanı gibi parametreler girilerek çeşitli hidrograflar oluşturulmakta ya da sabit frekansta kararlı akımlar elde edilebilmektedir (Şekil 5).



Şekil 3. UVP Cihazının görünümü(UVP cihazı kullanım klavuzu)



Şekil 4. Doppler olayı(Akyazı, Güzel, Çataklı, Karadurmuş, 2007)

Kanal içerisindeki su seviyeleri Pulsar IMP + seviye ölçer ile ölçülmüştür (Şekil 6**).** İki adet seviye ölçer ile aynı anda iki farklı kesitte ölçüm yapılabilmektedir. Deney kapsamında kullanılan bu seviye ölçerin IMP 3 versiyonu 0,15 m - 3 m aralığındaki seviyeler için ölçüm yapabilmektedir.



Şekil 5. Pompa devir sayısını kontrol eden sistem



Şekil 6. Seviye ölçer

Deney kapsamındaki debi ölçümleri için besleme hattı üzerine montajı yapılan IFC 300 elektromanyetik debi ölçer kullanılmıştır (Şekil 7). Kurulum koşulu olarak memba yönünde boru çapının 4 katı ve mansap yönünde ise 2 katı kadar mesafede düzgün akım şartı gerekmektedir.



Şekil 7. Debi ölçer

Debimetre ile ölçülen debi değerleri UVP ile belirlenen debi değerleriyle karşılaştırıldığında uyumlu sonuçlar elde edilmiştir. Bu debi değerleri kullanılarak deney sisteminin son kısmında yer alan yan büzülmesiz ince kenarlı dikdörtgen savağın debi katsayısını belirlemede kullanılmıştır.

4. DENEYSEL VE SAYISAL SONUÇLARIN KARŞILAŞTIRILMASI

Şekil 8' de gösterilen; (L=18 m) uzunluğunda, (N=18) parçaya bölünen kanalda 19 kesitte zamana bağlı olarak kesitsel ortalama hızlar ve su derinlikleri hesaplattırılmıştır.

Sayısal çözüm FORTRAN dilinde yazılmış bir bilgisayar programı ile gerçekleştirilmiş olup programda ikizkenar trapez kesitli kanallar durumunda da hesaplar yapılabilmektedir.

Sayısal çözüm sonuçları Δt=0,001 sn lik zaman aralığı kullanılarak elde edilmiştir.

Deneysel değerler seviye ölçümlerinde (Δt=5sn), UVP cihazı ile hız ölçümlerinde ise (Δt=0,25 sn) zaman aralıklarıyla kaydedilmiştir.

Kanal pürüzlülüğü, deneysel değerlerle karşılaştırabilmek için n=0,020, n=0,022 ve n=0,024 olmak üzere üç farklı durum için hesaplattırılmıştır.

Memba sınır şartı olarak, Şekil 8'in sol bölümünde verilen ikizkenar üçgen şeklindeki üç ayrı giriş hidrografı alınmıştır.

Mansap uçta ise farklı iki yaklaşım kullanılmıştır:
a) Serbest akış (yansımasız) sınır şartına karşılık gelen ve literatürde

$$U = \varphi \sqrt{g\,h} \tag{7}$$

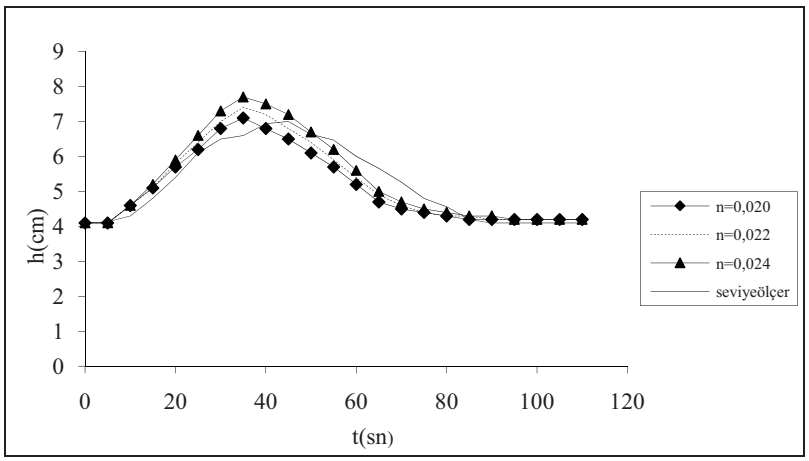
şeklinde verilen bağıntı kullanılabilmektedir (Koutitas, 1983). Kararlı rejimde yapılan deneylerle φ katsayısı belirlenmiştir. Ölçülen h derinlikleri ve hızlar ışığında φ ortalama değeri 2 olarak belirlenmiştir.

b) Mansap sınır şartı olarak normal akış derinliği kabulü yapılmıştır.

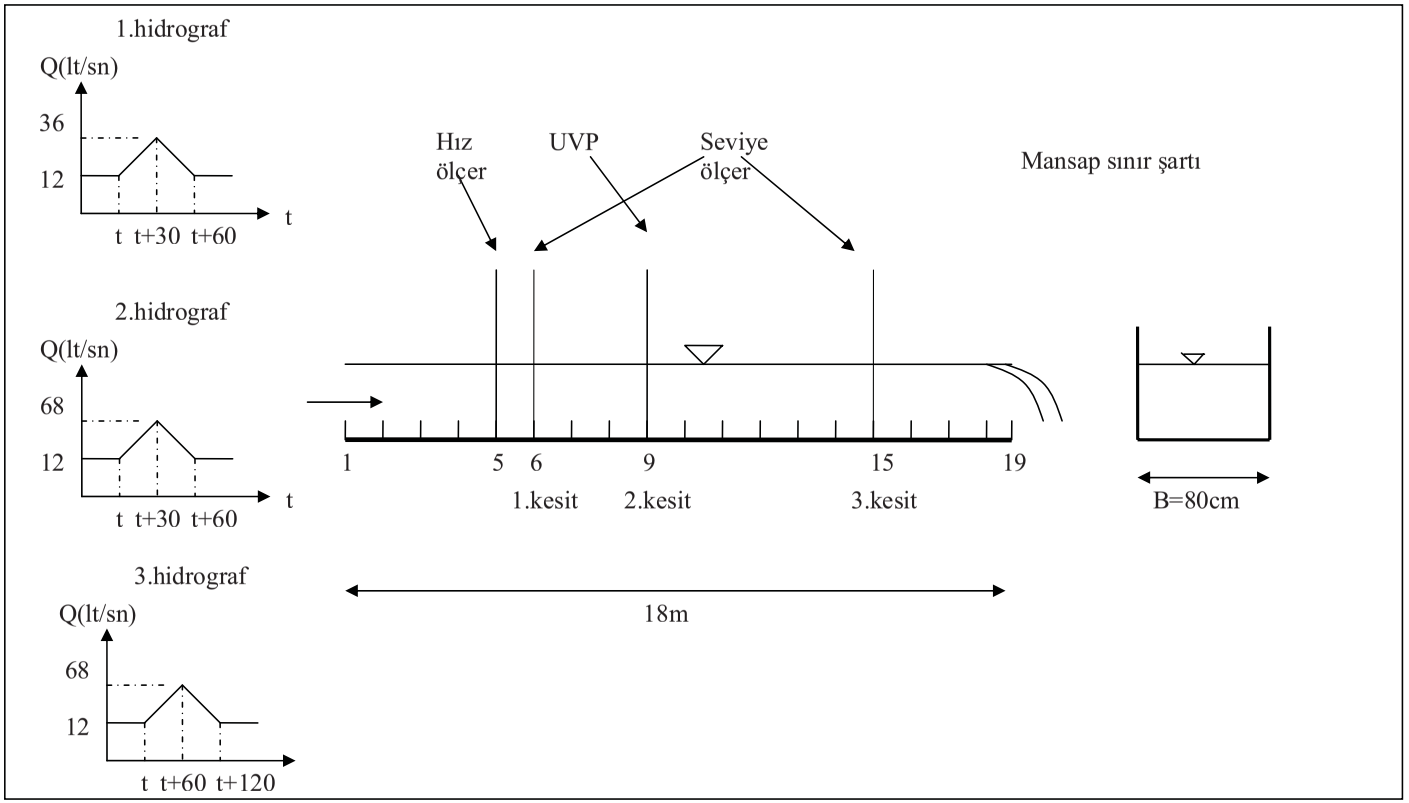
Deney kanalının tabanı metal yan kenarları ise metal elemanlara tutturulmuş pleksiglas levhalardan imal edilmiştir, Aynı zamanda katı madde taşınımı deneyleri de gerçekleştirildiğinden tabana farklı kum ve ince çakıl malzeme serilmiştir. Deneyler öncesinde taban düzeltilmiş ve düzgün bir eğim oluşturulmuştur.

Heterojen özellikli deney kanalında eşdeğer pürüzlülüğü belirlemek için literatürde mevcut Einstein formülü, Lotter formülü gibi farklı ampirik formüller ve yaklaşımlar kullanılmıştır (Güney, 2006).

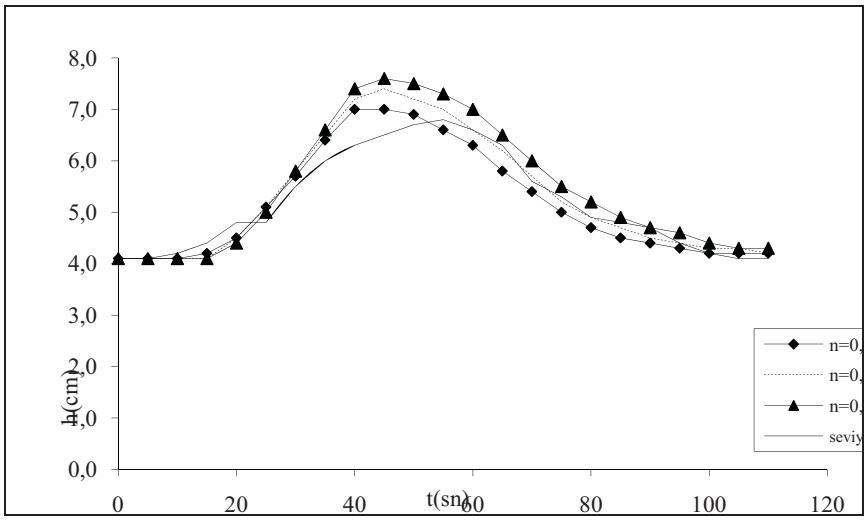
Birinci giriş hidrografı (taban debisi 12 lt/sn, pik debisi 36 lt/sn, yükselme ve alçalma süreleri: 30 sn – toplam 60 sn) durumunda ; üç farklı pürüzlülük değerleri için birinci kesit (x= 6m) sonuçları Şekil 9‘ da, üçüncü kesit (x=15m) sonuçları ise Şekil 10’da verilmektedir. Hidrograflar zamana bağlı debi veya zamana bağlı akış derinliği şeklinde gösterilebilmektedir. Seviye ölçer kullanılarak derinlik ölçümü yapıldığından hidrograflar derinlik-zaman eğrileri şeklinde verilmektedir.



Şekil 9. Birinci hidrograf durumunda birinci kesitte farklı n değerleri için deneysel ve sayısal sonuçlar

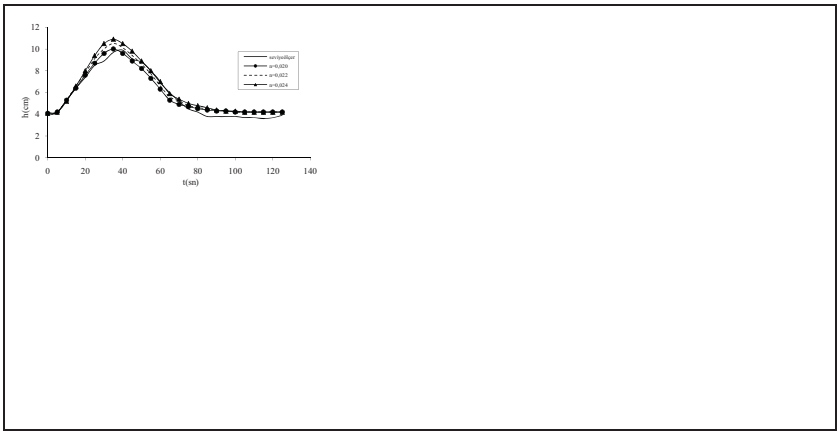


Şekil 8. Sayısal çözüm hesap kesitleri ve sınır şartları

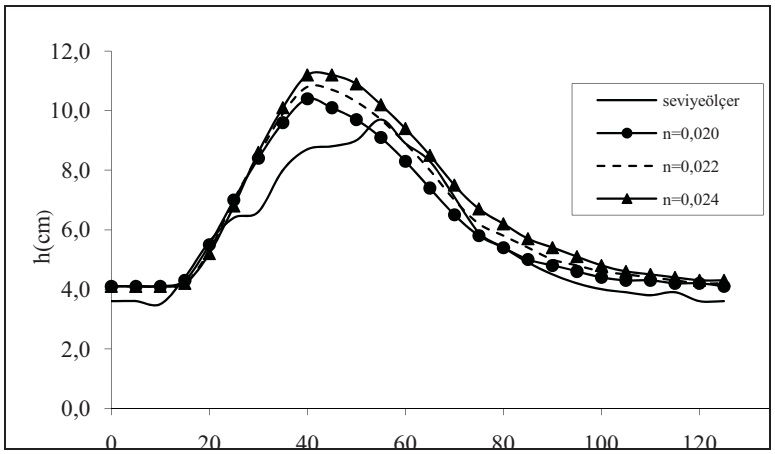


Şekil 10. Birinci hidrograf durumunda üçüncü kesitte farklı n değerleri için deneysel ve sayısal sonuçlar

İkinci giriş hidrografı (taban debisi 12 lt/sn, pik debisi 68 lt/sn, yükselme ve alçalma süreleri: 30 sn - toplam 60 sn) durumunda; üç farklı pürüzlülük değerleri için birinci kesitte grafik gösterimleri Şekil 11' de, üçüncü kesitte grafik gösterimleri Şekil 12' de gösterilmiştir.

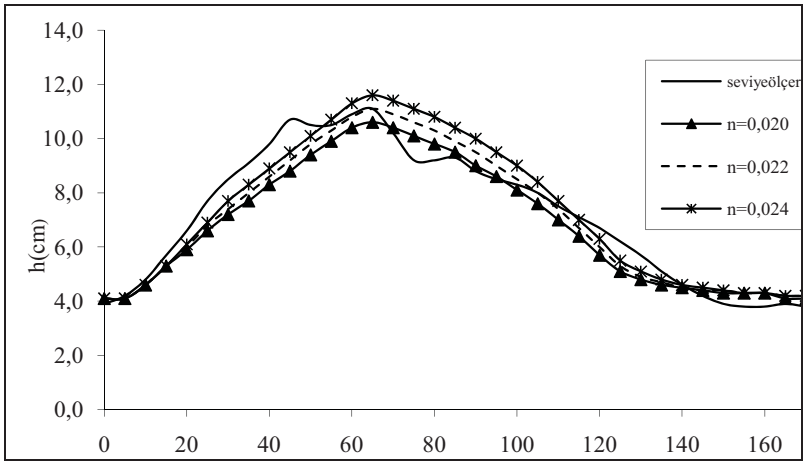


Şekil 11. İkinci hidrograf durumunda birinci kesitte farklı n değerleri için deneysel ve sayısal sonuçlar

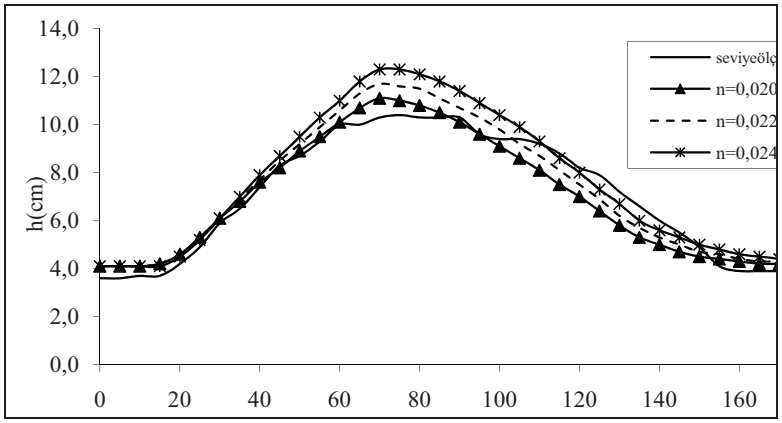


Şekil 12. İkinci hidrograf durumunda ikinci kesitte farklı n değerleri için deneysel ve sayısal sonuçlar

Üçüncü giriş hidrografı (taban debisi 12 lt/sn, pik debisi 68 lt/sn, yükselme ve alçalma süreleri: 60 sn – toplam 120 sn) durumunda; üç farklı pürüzlülük değerleri için birinci kesitte grafik gösterimleri Şekil 13'te, üçüncü kesitte grafik gösterimleri Şekil 14'te verilmektedir.



Şekil 13. Üçüncü hidrograf durumunda birinci kesitte farklı n değerleri için deneysel ve sayısal sonuçlar



Şekil 14. Üçüncü hidrograf durumunda ikinci kesitte farklı n değerleri için deneysel ve sayısal sonuçlar

5. SONUÇ

DEÜ İnşaat Mühendisliği Hidrolik Laboratuarı'nda kurulan kapsamlı deney düzeneği üzerinde taşkın dalgasının yayılması ile ilgili olarak duyarlı ölçümler gerçekleştirilmiştir. Devir sayısı ayarlanabilen bir pompanın debisi kumanda sistemi ile değiştirilerek farklı giriş hidrografları oluşturulmuştur. Saint Venant denklemlerinin sayısal çözümü ile elde edilen teorik sonuçlar deneysel bulgularla karşılaştırılmıştır.

Kullanılan eksplisit yaklaşımlı sayısal çözümde Courant kriterini sağlaması koşulu ile zaman aralığı değerlerinin sonuçlara pek etki etmediği tespit edilmiştir. İleride yapılacak çalışmalarda implisit ve daha gelişmiş sayısal çözüm teknikleri kullanılarak daha da uyumlu sonuçlar elde edilmesi hedeflenmektedir.

Heterojen özellikteki deney kanalında, boyutlu bir parametre olan Manning pürüzlülük katsayısının seçimi önemli olup sayısal sonuçları etkilediği görülmüştür. Bu çalışma kapsamında Manning pürüzlülük katsayısı akış hızından bağımsız kabul edilip sadece malzemenin özellikleri hesaba katılarak belirlenmiştir. Bu konuda yapılmış olan çalışmalar değerlendirilerek, akış hızı cinsinden en uygun sonuçlar veren ampirik bağıntının belirlenmesi ve sayısal çözümde akış hızına bağlı olarak değişen pürüzlülük katsayısı alınmasının sonuçlara nasıl etki ettiğinin araştırılması gelecekte yapılması düşünülen araştırmalar arasındadır.

Mansap sınır şartı olarak normal derinliğin veya serbest akışın kullanılmasının sayısal sonuçları pek değiştirmediği görülmüştür.

Kullanılan eksplisit çözümle elde edilen teorik sonuçlar deneysel bulgularla kabul edilebilir bir uyum içindedir. Bu durum kullanılan sayısal çözüm yönteminin mühendislik projelerinde de başarıyla uygulanabileceğini göstermektedir.

6. TEŞEKKÜR

TÜBİTAK 106M274 nolu proje ile maddi katkıda bulunarak bu çalışmanın gerçekleşmesini sağlayan TÜBİTAK kurumuna şükranlarımızı sunarız.

7. KAYNAKLAR

Akyazı H., Güzel İ., Çataklı T. ve Karadurmuş E., ”Açık kanallarda ve akarsularda ultrasonik yöntemle debi ölçülmesi”. 2. Çevre Sorunları Kongre Kitabı, 7. kısım, 2007.

Güney M. Ş., “Laboratuar uygulamalı hidrolik*”* Dokuz Eylül Üniversitesi Yayınları, İzmir, Türkiye, 2006.

Graf W. H., “Fluvial Hydraulics” Chichester: John Wiley and Sons Ltd., 1998.

Kebapçıoğlu, E., “Açık kanallarda zamanla değişen akımların farklı eğimlerde deneysel ve teorik araştırılması, Yüksek Lisans tezi, DEÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 2009

Koutıtas C. G., “Elements of computational hydraulics”, NY: Chapman and Hall, 1983.

Kentsel Geciktirme Havuzlarında Yağmur Suyu Hidrografının Ötelenmesi

Mesut Çimen[1]

Özet: Yeni gelişmiş veya yeniden gelişmekte olan kentsel yerleşim bölgelerinde pek çok yeni binalar, park sahaları ve yollar uygulanmış veya bunların yapılması planlanmaktadır. Bu gibi yeni alanlar, yağışlar neticesinde oluşan kentsel yüzeysel suların akış karakteristiklerini değiştirirler. Bu değişim, yağmur suyu toplama sistemlerine giren yüzeysel akış hacminin, pik debisinin ve hızının artışıyla ortaya çıkar. Akış özelliklerindeki bu artış, kentsel yerleşim bölgelerinde yaşayan insanlarda hem maddi ve hem de manevi zararlar meydana getirebilmektedir. Bu olumsuz tesirlerin etkisini azaltmak için, pek çok yerleşim bölgesinde yağmur suyunu geciktirme havuzları inşa edilmektedir. Bu çalışmada, geciktirme havuzlarındaki akım durumu ele alınmıştır. Bu amaçla, dikdörtgen kesitli ve tabanı gözenekli malzemeden inşa edilmiş bir geciktirme havuzunda yağmur suyunun ötelenme problemi analitik olarak incelenmiştir. Geciktirme havuzuna asimetrik eğri şekilli ve trapez şekilli yağmur suyu hidrograflarının girdiği göz önüne alınmış ve böylece, yağmur suyunun ötelenmesi bu hidrograflar için uygulanmıştır.

Anahtar Sözcükler: Drenaj; Yağmur suyu; Geciktirme havuzu; Hidrograf; Ötelenme

Storm-water Hydrograph Routing in Urban Detention Pools

Abstract: New development and redevelopment urban sites include parking lots, buildings, and roads. These change the runoff characteristics of urban basins. This variation increases the runoff volume, peak discharge and the speed at which runoff enters the storm-water collection systems. This increase results in the damages at both monetary and spiritual on the humans living in these regions. In order to avoid the harmful effects of storm-water after new land development, detention pools are usually incorporated into developments. Runoff in the detention pools is taken into consideration in this study. For this reason, this paper presents approximate analytical solutions for storm-water routing in rectangular-shaped detention basins with saturated porous beds, but without clogging. By considering the asymmetric and trapezoidal shaped inflow hydrograph, storm-water routing is applied to these hydrographs.

Keywords: Drainage; Storm-water; Detention pool; Hydrograph; Routing

[1] Süleyman Demirel Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Isparta, E-Posta: mesutcim@mmf.sdu.edu.tr

1. GİRİŞ

Şehir içi drenaj çevreyi, insan malı ve sağlığını korumak için önemli bir mühendislik problemidir. Şehir içlerinde, yeni gelişmiş veya geliştirilmekte olan bölgelerde inşa edilen veya inşa edilecek pek çok bina, yol ve park sahası, şehrin yüzeysel akış karakteristiklerini değiştirdikleri bilinmektedir. Bu tesisler, yağmur suyunun yeraltına sızmasını azaltmakta, buna karşın yağmur suyu toplama şebekesine giren akışın hacmini, pik debisini ve hızını artırmaktadır. Yeni geliştirilmiş bir bölge sonrasında oluşabilecek yağmur suyunun zararlı etkilerinden korunmak için, kentsel alanlarda geciktirme havuzlarının inşası önemlidir. Geciktirme havuzlarının temel amacı, akış zamanı ile akış hacmini kontrol altına almak ve dolayısıyla daha düşük kotlu bölgelerde oluşabilecek pik akımlar ile pik seviyeleri kontrol altına almaktır. Kaplamalı veya kaplamasız olarak inşa edilebilen geciktirme havuzları, pik akımları düzenlemek için geçici olarak yağmur sularını depolayabilmektedir. Bir geciktirme havuzu genel olarak yağışlar arasında kuru olmaktadır ve hem küçük ve hem de büyük havzalarda kullanılabilmektedir (Çimen, 2009).

Geciktirme havuzları ayrıca yüzeysel akışın kalitesini yükseltmek için kirleticilerin yok edilmesine (azaltılmasına) de olanak sağlar. Kentsel bölgelerde yağmur suyu akışı, suyun kirlenmesinin başlıca kaynağıdır. Yağmur yada kar erimelerinden sonra meydana gelen kentsel akış, geçirimsiz yüzeylerde ve bazı geçirimli yüzeylerde (yeşil alanlar) hareket ederken pek çok sedimenti, yağı, kimyasal maddeyi, gübreyi, atık gıdayı ve diğer kirleticileri beraberinde götürmektedir (Sansalone ve diğ., 1996; Kim ve diğ., 2005). Geciktirme havuzlarında, bu tür kirleticileri yok etmek için kum yada çakıldan oluşmuş gözenekli filtreler kullanılır ve bu filtreler yağmur suyunun temiz kalmasına yardımcı olur (Sansalone, 1999; Urbonas, 2002; Blaźejewski ve Murat-Blaźejewska, 2003; Datry ve diğ., 2004).

Geciktirme havuzları, kentsel bölgelerde hem yağmur suyunun miktarı ve hem de kalitesi için etkili ve önemli tesisler olarak kabul edilir. Geciktirme havuzlarının tasarımı için çeşitli bilgisayar ve basitçe el ile hesap metotları mevcuttur (FAA, 1970; NRCS; 1986; Guo ve Urbonas, 1996; Guo, 1999). Bunlar arasında, en etkili ve en çok kullanılan metotlardan birisi, önceki ismi Zemin Koruma Servisi (SCS) ve şimdiki adıyla Doğal Kaynakları Koruma Servisi (NRCS) tarafından geliştirilmiş olan ve akışın hesaplandığı NRCS eğri sayısı metodudur (NRCS, 1986; Kibler, 1991; Harbor, 1996). Bundan başka, HEC-HMS adıyla bilinen bir bilgisayar programı da NRCS 'nin boyutsuz birim hidrografını göz önüne alarak kentsel akış miktarını hesaplayabilmektedir. NRCS metotları, pik akışın tahmininde kullanılması durumunda, metodun ismi TR-55 metodu olarak bilinmektedir. TR-55 metodu, Amerika Birleşik Devletleri (ABD) için geliştirilmiş standart yağış dağılım haritalarını kullanmaktadır. Bu nedenle, ABD dışındaki bölgelerde, 24 saatlik yağışı gösteren Tip I, IA, II veya III dağılımlarının ve 24 saatlik yağış miktarlarının uygunluğunun araştırılmasına ihtiyaç duyulur. Karahan (2001), yağmur suyu geciktirme haznelerinin tasarımı için Visual Basic dilinde bir program hazırlamıştır. Program Puls, Newton-Raphson ve Runge-Kutta sayısal yöntemler yardımıyla süreklilik denklemini (hidrolojik taşkın ötelenmesi) çözmektedir.

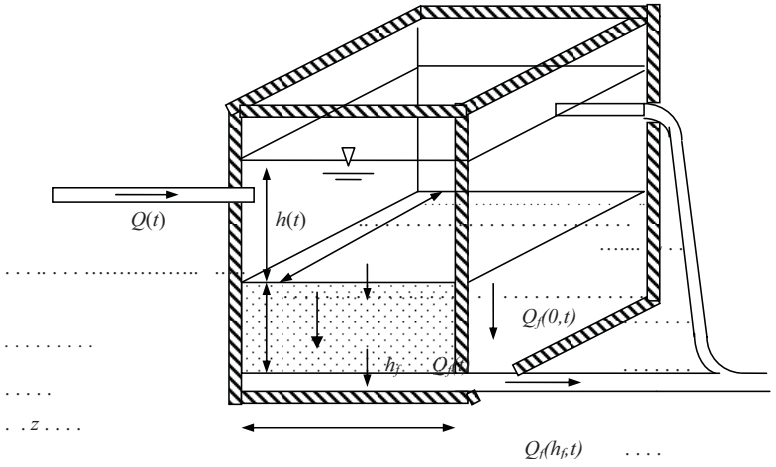
Blaźejewski ve Murat-Blaźejewska (2003), doygun gözenekli yataklı bir geciktirme havuzunda yağmur suyunun ötelenme problemi için analitik çözümler elde ettiler. Çalışmalarında, dikdörtgen kesitli bir geciktirme havuzu içerisine gelen trapez kesitli bir

yağmur suyu hidrografını ele aldılar ve bazı tekerrür aralıkları için analitik çözümler sundular. Onlar, gözenekli yatak özelliklerinin gerekli depolama hacmini ve çıkıştaki sızma miktarını etkilediğini belirttiler. Ayrıca, geciktirme havuzunun ve gözenekli yatağın boyutlandırılması için bir sayısal örnek üzerinde nasıl belirlenebileceğini gösterdiler. Çimen (2004), Blaźejewski ve Murat-Blaźejewska (2003) 'nın bağıntılarını ele alarak gözenekli yatağın yüzey alanının boyutlandırılması için basit bir bağıntı teklif etmiştir. Çimen (2009), gözenekli yataklı dikdörtgen kesitli havuza girdiği varsayılan iki farklı şekilde ifade edilmiş giriş hidrografları için genel, fakat yaklaşık analitik çözümler sunmuştur. Akış sırasında, gözenekli yataktaki tıkanmalar göz ardı edilmiştir.

Bir geciktirme havuzunu modelleyebilmek için, geciktirme havuzu konfigürasyonunun (boyutlarının) seviye-depolama eğrisiyle ve seviye-çıkış akımı eğrisiyle gösterilmesi gereklidir. Genellikle, seviye-depolama eğrisi çabucak belirlenebilir, fakat seviye-çıkış akımı eğrisi, çıkış yapısının daha önceden tasarlanamaması nedeniyle çabucak belirlenemez. Yine de, bir çıkış yapısı olarak gözenekli bir yatağa sahip bir geciktirme havuzu inşa edilebilir ve seviye-çıkış akımı eğrisi analitik çözümlerden kolayca bulunabilir. Bu çalışmada, doygun gözenekli yataklı dikdörtgen şekilli geciktirme havuzlarının tasarımı için elde edilen analitik çözümler irdelenmiştir.

2. PROBLEMİN İFADESİ ve ANALİTİK ÇÖZÜMLER

Bir geciktirme havuzunda izin verilebilen maksimum su seviyesi, çevredeki alanı taşkına maruz bırakmayacak şekilde olmalıdır. Bu çalışmada göz önüne alınan doygun gözenekli yatağa sahip geciktirme havuzu Şekil 1 de gösterilmiştir. Geciktirme havuzunun genişliği B, uzunluğu L, gözenekli yatağın kalınlığı h_f ve dikdörtgen kesitli havuzdaki su derinliği de $h(t)$ olarak gösterilmiştir. Böyle bir sistemin süreklilik denklemi aşağıdaki gibi yazılabilir:



Şekil 1. Doygun gözenekli yatağa sahip geciktirme havuzunun görünüşü (Çimen, 2009)

$$dS(t)/dt = Q(t) - Q_f(0,t) \tag{1}$$

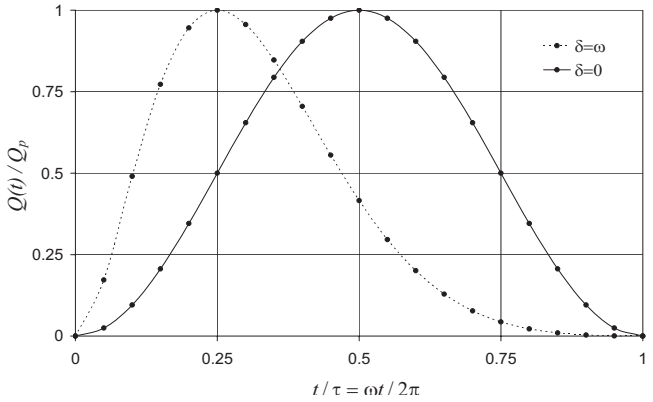
Burada, $S(t)$ geciktirme havuzunda depolanmış olan suyun hacmi, $Q(t)$ ve $Q_f(0,t)$ ise, sırasıyla, havuza giren ve çıkan akım miktarlarıdır. Havuzda depolanmış olan suyun hacmi ise $BLh(t)$ ye eşittir. Ayrıca, Darcy denklemine göre doygun gözenekli yatak içindeki suyun sızması aşağıdaki gibi yazılır:

$$Q_f(z,t) = -AK\,\mathrm{d}h^*(z,t)/dz \tag{2}$$

Burada, $A = BL$ gözenekli yatağın yüzey alanı, K yatağın hidrolik iletkenliği, $h^*(z,t)$ yataktaki piezometrik yük ve z gözenekli yatağın üst yüzünden olan mesafedir. Pratikte, gözenekli yatağın kalınlığı 1 m veya daha düşük alınır. Bu bağıntıdaki türev terimi aşağıdaki fark ifadeleri ile birlikte ele alındığında, gözenekli yatağın küçük bir kalınlığı için aşağıdaki yaklaşım gözenekli yatak içindeki sızma denklemi olarak yazılabilir:

$$Q_f(t) \cong -AK\frac{h^*(z=h_f,t)-h^*(z=0,t)}{h_f} = -AK\frac{0-(h_f+h(t))}{h_f} = AK\frac{h_f+h(t)}{h_f} \tag{3}$$

Burada, $Q_f(t)$ doygun gözenekli yatak içinden geçen sızma suyu miktarıdır. Bu bağıntının yalnızca havuzda birikmiş olan su derinliğine bağlı olduğu ve ayrıca, debi ile su derinliği arasında doğrusal bir ilişkinin olduğu görülmektedir.Cooper ve Rorabaugh (1963), yüzeysel sularda meydana gelen taşkın dalgasının seviye hidrograflarını asimetrik eğriler halinde sunan bir bağıntıyla teklif etmişlerdir. Bu bağıntı, yağmur suyu akış hidrograflarının şekilleri için aşağıdaki gibi değiştirilerek yazılmıştır (Şekil 2):



Şekil 2. Yağmur suyu akışının hidrografları (Cooper ve Rorabaugh, 1963)

$$Q(t) = \begin{cases} Q_p \dfrac{\exp(-\delta t)(1-\cos(\omega t))}{\exp(-\delta t_p)(1-\cos(\omega t_p))} & 0 \le t \le \tau \\ 0 & t > \tau \end{cases} \tag{4}$$

Burada, Q_p yağmur suyunun pik akım miktarını, t akışın başlangıcından itibaren zamanı, t_p pik debinin oluşma zamanını, $\omega = 2\pi / \tau$ hidrografın frekansını, τ hidrografın süresini ve $\delta = \omega\cot(\omega t_p / 2)$ asimetri derecesini belirleyen bir sabiti gösterir. $\delta = 0$ değeri, hidrografın sinüzoidal bir şekle sahip olduğunu gösterir.

Şekil 1 de görülen geciktirme havuzunun boyutlarını belirlemek için, Denklemler (1), (3) ve (4) birlikte ele alınıp, $h(t=0)=0$ başlangıç şartıyla birlikte, çözüldüğünde aşağıdaki analitik ifade elde edilir (Çimen, 2009):

$$h(t) = V_S \frac{\omega^2 e^{-Kt/h_f} - e^{-\delta t}\left[b^2(1-\cos(\omega t)) + \omega(\omega + b\sin(\omega t))\right]}{b(b^2+\omega^2)} - h_f\left(1 - e^{-Kt/h_f}\right) \tag{5a}$$

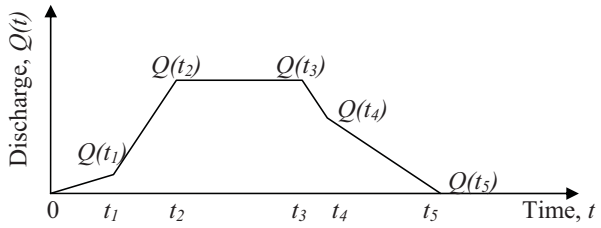
$$V_S = Q_p / \left[A\exp(-\delta t_p)(1-\cos(wt_p))\right] \tag{5b}$$

$$b = \delta - K/h_f \tag{5c}$$

Bu eşitlik, doygun gözenekli yataklı dikdörtgen kesitli bir geciktirme havuzunda asimetrik yağmur suyu hidrografları için genel bir öteleme denklemidir. Bu bağıntı Q_P, A, τ, t_p, h_f ve K 'nın önceden bilinen değerleri için kolayca değerlendirilebilir. Geciktirme havuzunun tabanının geçirimsiz olması halinde, $K = 0$ için, bu eşitlik aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$h(t) = V_S \frac{\omega^2 - e^{-\delta t}\left[\delta^2(1-\cos(\omega t)) + \omega(\omega + \delta\sin(\omega t))\right]}{\delta(\delta^2+\omega^2)} \tag{6}$$

Denklem (4), tek pikli bir hidrograf sunar. Şekil 3 ise trapez şekilli bir giriş hidrografını gösterir. Bu durum, yağış süresinin havzanın konsantrasyon (toplanma) zamanını aşması zamanlarında oluşur. Böyle bir hidrografın matematiksel ifadesi aşağıdaki eşitlikle verilebilir:



Şekil 3. Trapez şekilli giriş hidrografı

$$Q(t)=\begin{cases} Q(t_0)+\dfrac{Q(t_1)-Q(t_0)}{t_1-t_0}t & 0\le t\le t_1 \\ Q(t_1)+\dfrac{Q(t_2)-Q(t_1)}{t_2-t_1}(t-t_1) & t_1<t\le t_2 \\ Q(t_2)=Q(t_3) & t_2<t\le t_3 \\ Q(t_3)+\dfrac{Q(t_4)-Q(t_3)}{t_4-t_3}(t-t_3) & t_3<t\le t_4 \\ Q(t_4)+\dfrac{Q(t_5)-Q(t_4)}{t_5-t_4}(t-t_4) & t_4<t\le t_5 \\ 0 & t>t_5 \end{cases} \tag{7}$$

Bu eşitlikle ifade edilen yağmur suyunun giriş hidrografı için, geciktirme havuzunda görülebilecek ötelenmenin matematiksel ifadesi, Denklemler (1) ve (3) ile birlikte, aşağıdaki gibi yazılabilir (Çimen, 2009):

$$h(t)=h(t_i)e^{-\frac{K}{h_f}(t-t_i)}+\frac{V_T}{K/h_f}(t-t_i)+\left(\frac{V(t_i)-K}{K/h_f}-\frac{V_T}{(K/h_f)^2}\right)\left(1-e^{-\frac{K}{h_f}(t-t_i)}\right) \tag{8a}$$

$$V_T=\frac{Q(t_{i+1})-Q(t_i)}{t_{i+1}-t_i}\frac{1}{A} \tag{8b}$$

$$V(t_i)=Q(t_i)/A \tag{8c}$$

Burada indis i (i=0,1,2,….), Şekil 3 deki her bir kademedeki zaman artışını gösterir. Örneğin, i=1 için bu ifade, $t_1<t\le t_2$ süresince gecikme havuzunda birikmiş derinlikleri verir. Bu bağıntı, Blaźejewski ve Murat-Blaźejewska (2003) tarafından verilen eşitliklerin genel halini gösterir. $K=0$ için, bu denklem aşağıdaki gibi yazılabilir:

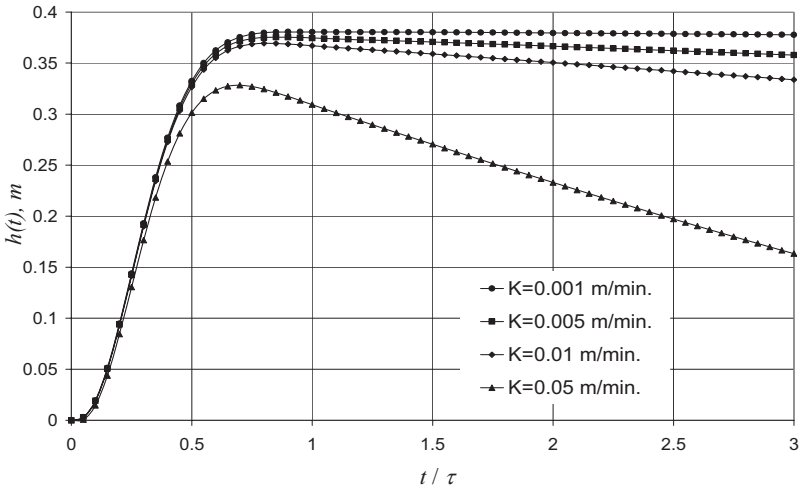
$$h(t)=h(t_i)+V(t_i)(t-t_i)+\frac{V_T}{2}(t-t_i)^2 \tag{9}$$

3. DEĞERLENDİRME ve TARTIŞMA

Suya doygun gözenekli yataklı Şekil 1 de görülen bir geciktirme havuzunda yağmur suyunu ötelemek için, Denklem (5a) veya (8a) giriş hidrografının şekline göre kullanılabilir. Havuzda zamanla oluşabilecek derinlik değişimleri, doygun gözenekli yatağın farklı hidrolik iletkenlik değerleri ve kalınlıkları için hesaplanabilir. Ayrıca, havuzda oluşabilecek maksimum su derinliği de belirlenebilir.

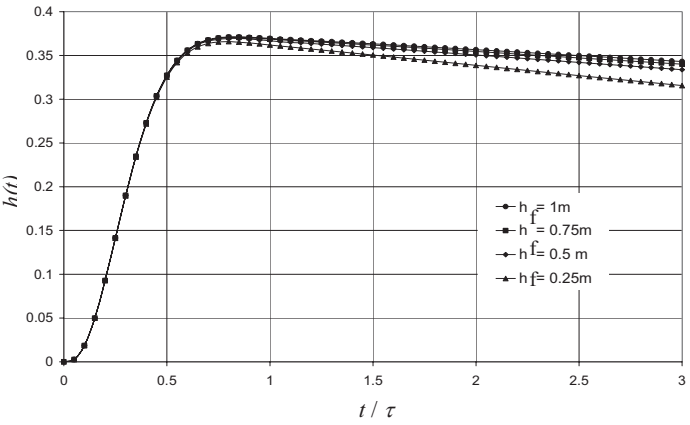
Şekil 1 de görülen geciktirme havuzunda yağmur suyunun ötelenmesi için yukarıda elde edilmiş olan Denklemler (5a) ve (8a), bu bölümde değerlendirilmeye çalışılmıştır. Öncelikle Cooper and Rorabaugh (1963) tarafından önerilen Denklem (4) ile verilen

giriş hidrografı bağıntısının kullanılmasıyla elde edilen Denklem (5a) ele alınmıştır. Bu denklem, zamanla havuzda birikmiş su seviyesinin değişimini, $h(t)$, hesaplamaya imkan verir ve bu bağıntı Q_P, A, τ, t_p, h_f ve K 'nın önceden bilinen değerleri için kolayca değerlendirilebilir. $Q_p = 1$ m^3/dk, A=1 m^2, $\tau = 1$ sa, $t_p = 0.25$ sa, h_f = 0.5 m ve gözenekli yatağın farklı hidrolik iletkenlik değerleri için hesaplamalar yapılmış ve sonuçlar Şekil 4 de verilmiştir. Bu şekilden görüldüğü gibi, K nın değerleri arttıkça havuzdaki su derinliğinin zamanla daha küçük miktarlarda oluştuğu ve maksimum su seviyesinin de daha önceden görüldüğü bulunmuştur. Bunun nedeni, gözenekli yatağın hızlı drenajı olarak ifade edilebilir.

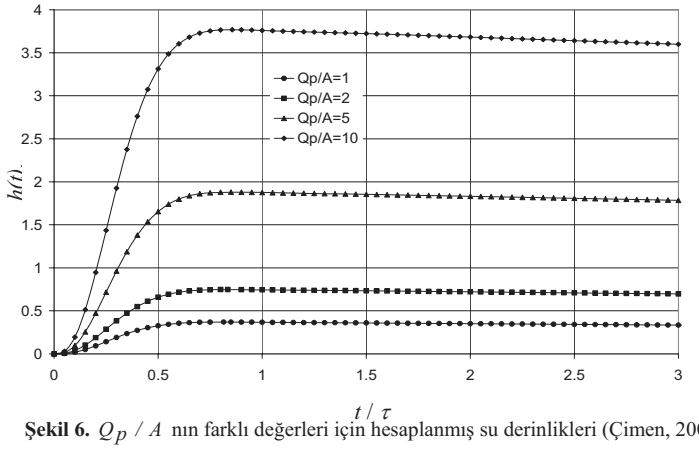


Şekil 4. Farklı hidrolik iletkenlik değerleri için hesaplanmış derinlikler (Çimen, 2009)
(Q_p / A=1 m^3/dk/m^2, $\tau = 1$ sa, $t_p = 0.25$ sa, $h_f = 0.5$ m)

Gözenekli yatağın farklı kalınlıkları için, havuzda zamanla oluşan su derinliklerinin değişimi de ayrıca Şekil 5 de gösterilmiştir. Gözenekli yatak kalınlığı arttıkça, havuzdaki su derinlikleri biraz daha yüksek olarak elde edilmiştir. Bu şekle göre, gözenekli yatak kalınlığının havuzda birikmiş su derinliğne çok az etki ettiği bulunmuştur. Q_p / A nın 1, 2, 5, and 10 oranları için havuzdaki derinlikler, sırasıyla 0.3728, 0.7524, 1.8912 ve 3.7896 m olarak elde edilmiştir (Şekil 6). $\tau = 1$ sa, $t_p = 0.25$ sa, $h_f = 0.5$ m, $K = 0.01$ m/dk değerleri için, havuzdaki maksimum derinlik (h_p) ile Q_p / A oranı arasındaki bağıntı $h_p = 0.36771(Q_p / A)^{1.01165}$ olarak elde edilmiştir. Bu bağıntı için belirginlik katsayısı 0.99998 dir. Benzer ilişkiler farklı parametre değerleri için de elde edilebilir.

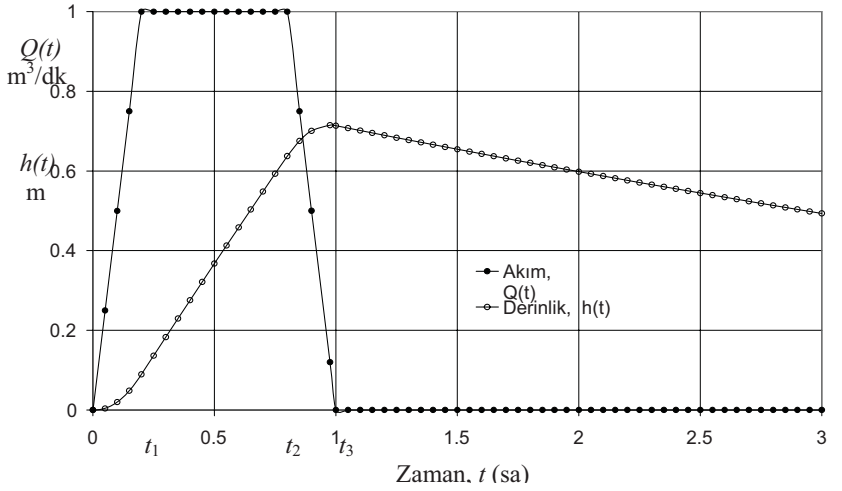


Şekil 5. Farklı gözenekli yatak kalınlıkları için hesaplanmış derinlikler (Çimen, 2009)
($Q_p / A = 1$ m^3/dk/m^2, $\tau = 1$ sa, $t_p = 0.25$ sa, $K = 0.01$ m/dk)

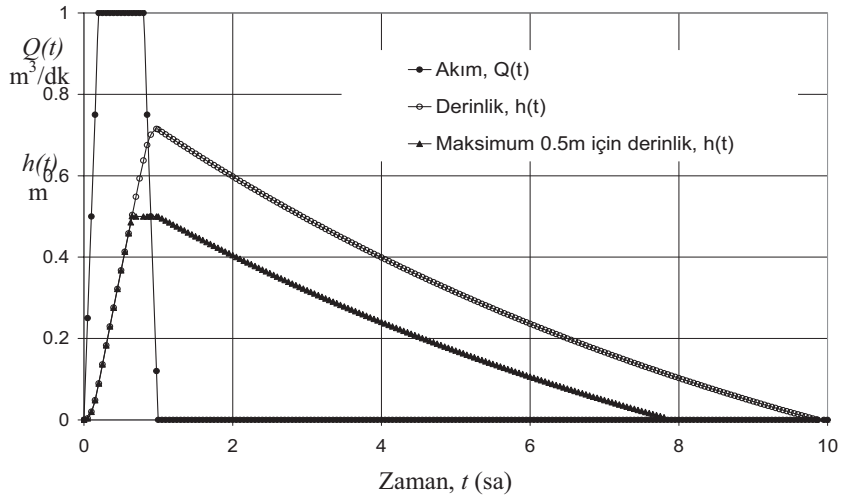


Şekil 6. Q_p / A nın farklı değerleri için hesaplanmış su derinlikleri (Çimen, 2009)
($\tau = 1$ sa, $t_p = 0.25$ sa, $h_f = 0.5$ m, $K = 0.01$ m/dk)

Trapez kesitli giriş hidrografları için elde edilmiş olan Denklem (8a), Blażejewski and Murat-Blażejewska (2003) nın ifadelerine göre daha basittir ve aynı sonuçları üretmektedir. Şekil 7a, $Q_p = 1$ m^3/dk, $A = 1$ m^2, $h_f = 0.5$ m, $K = 0.05$ m/dk için elde edilmiş havuzda ötelenmiş su derinliklerini gösterir. Pike ulaşma zamanı 0.96 sa ve pik derinlik ise 0.715 m olarak bulunmuştur.



(a)



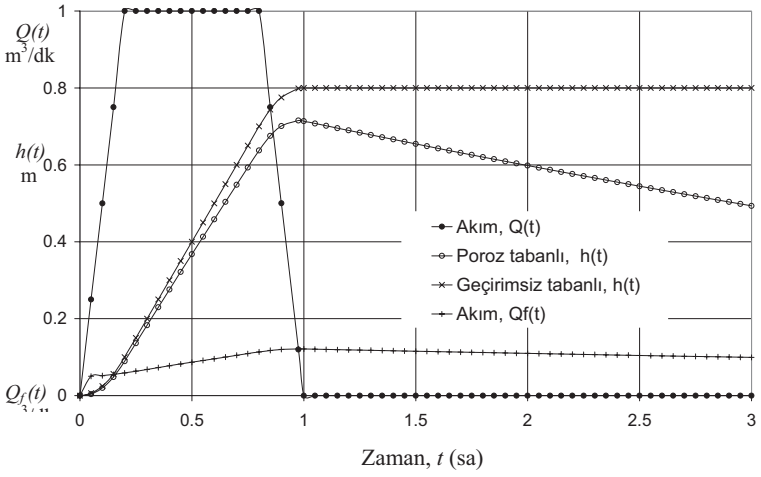
(b)

Şekil 7. Trapez kesitli hidrograf için hesaplanmış derinlikler (Çimen, 2009)
(Q_p = 1 m^3/dk, A = 1 m^2, h_f = 0.5 m, K = 0.05 m/dk, t_1 = 0.2 sa, t_2 = 0.8 sa and t_3 = 1 sa)

Geciktirme havuzunun hacmi genellikle havuza girdiği varsayılan akışın hidrografı ile havuzun inşa edildikten sonraki çıkış hidrografı arasındaki farkın oluşturduğu hacim olarak belirlenir. Bu nedenle, havuz hacmi direkt olarak havuzun akış hidrografından belirlenemez. Bununla beraber, havuz içerisindeki derinlikler, önceden tasarlanan maksimum bir su derinliği, $h_p = 0.5$ m, için hesaplanabilir. Maksimum su derinliği

Şekil 1 de görülen üst drenaj borusunun seviyesidir. h_p, Şekil 7a ya göre 0.647 sa de oluşmuştur. Bu halde, elde edilen akış hidrografı Şekil 7b de görülmektedir. Bu şekil incelendiğinde, havuzda oluşan maksimum derinliğin önceden oluşmuş maksimum derinliğinden daha küçük olarak elde edildiği görülmektedir. Böylece, Şekil 1 de görülen üst drenaj borusunun maksimum debisi ($\Delta V / \Delta t = \Delta h / \Delta t$), havuzda en büyük eğimi veren ardışık zaman aralıklarında (0.647 sa ve 0.664 sa) birikmiş su derinliklerinin (0.50 m and 0.5161 m) oranından bulunabilir. Bu işlem sonunda, havuzun üst tarafındaki drenaj borusunun debisi 0.0158 m^3/dk olarak bulunmuştur.

Geciktirme havuzunun tabanında geçirimsiz bir taban (K=0) olduğu düşünüldüğünde, havuzda biriken su derinliği Şekil 8 deki gibi olmaktadır. Bu şekilden de görüldüğü gibi, havuzdaki su derinliği (0.8 m) gözenekli yataklı durumdaki su derinliğinden (0.715 m) daha yüksek elde edilmektedir. Ayrıca, havuzdaki suyun maksimuma ulaşması için geçen süre 1 sa olarak bulunmuştur. Havuza giren yağmur suyunun toplam hacmi 0.8 m^3 olarak Şekil 8 den kolaylıkla belirlenebilir. Havuz tabanının alanı A=1 m^2 ve maksimum derinlik 0.8 m için elde edilen hacim ile havuzda biriken yağmur suyunun hacmi aynı miktarda olur. Gözenekli yatak içinden geçen debinin Denklem 3 ile hesaplanan zamanla değişimini de yine bu şekilde görmek mümkündür. Havuzda görülen maksimum derinliğe bağlı olarak, gözenekli yatak içinden geçen debinin maksimum değeri ve dolayısıyla alt drenaj borusunun debisi 0.122 m^3/dk olarak elde edilmiştir. $h_p = 0.5$ m göz önüne alındığında bu değer, yine Denklem 3 ele alınarak, 0.1 m^3/dk olarak ve buna göre, en uç taraftaki borunun debisi 0.1158 m^3/dk olarak bulunur.



Şekil 7. Trapez kesitli hidrograf için hesaplanmış derinlikler
(Q_p = 1 m^3/dk, A = 1 m^2, h_f = 0.5 m, K = 0.05 m/dk, t_1 = 0.2 sa, t_2 = 0.8 sa and t_3 = 1 sa)

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada, gözenekli yataklı ve dikdörtgen kesitli bir geciktirme havuzunda yağmur suyunu ötelemek ve havuzdaki maksimum su derinliğini belirlemek için, yaklaşık analitik bağıntılar değerlendirildi. Geciktirme havuzunun inşası, yağmur suyunun

pikinde önemli miktarda azalmaya ve taşkın pikinin gecikmesine neden olduğu görülmüştür. Bu gecikme ve havuzda biriken su derinliğinin, havuz tabanında yer alan gözenekli yatağın hidrolik iletkenlik değerlerinin artışıyla azaldıkları, buna karşın gözenekli yatağın kalınlığındaki artışla arttıkları belirlenmiştir. Ayrıca, havuza giren debinin pik değerinin artışıyla havuzdaki su derinliğinin ve gecikmenin arttığı görülmüştür. Teklif edilen bağıntılar ve çözümler, gözenekli yatakta tıkanmanın olmadığı durumlarda ve sabit hidrolik iletkenlik değerleri için geçerlidir. Teklif edilen bağıntıların kullanımının hem basit oluşu ve hem de pek çok probleme uygulanabilir oluşu birer avantaj olarak düşünülebilir.

5. KAYNAKLAR

Akan AO, "Single outlet pond analysis and design", Journal of Irrigation and Drainage Engineering, ASCE, 116(4): 527-536, 1990.

Blazejewskı R, MURAT-BLAZEJEWSKA S, "Analytical solutions of a routing problem for storm water in detention basin", Hydrological Science Journal, 48(4): 665 671, 2003.

Cooper, HH, Jr, Rorabaugh MI, "Groundwater Movements and Bank Storage Due to Flood Stages in Surface Streams", Water Supply Paper 1536-J, US Geological Survey, 1963.

Çimen M, "Discussion of "Analytical solutions of a routing problem for storm water in detention basin", Hydrological Science Journal, 49(2): 335-336, 2004.

Çimen M, "Analytical modeling of detention basins with porous beds", The Arabian Journal of Science and Engineering, 34(2B): 317-326, 2009.

Datry T, Malard F, Gıbert J, "Dynamics of solutes and dissolved oxygen in shallow urban groundwater below a stormwater infiltration basin", Science of the Total Environmental, 329: 215-229, 2004.

FAA (Federal Aviation Administration), "Airport Drainage", Rep. 150/5320-5B. Washington, DC: US Government Printing Office, 1970.

Guo JCY, Urbonas B, "Maximized detention volume determined by runoff capture ratio", Journal of Water Resources Planning and Management, ASCE, 122(1): 33-39, 1996.

Guo JCY, "Detention storage volume for small urban catchments", Journal of Water Resources Planning and Management, ASCE, 125(6): 380-382, 1999.

Guo JYC, "Hydrology-based approach to storm water detention basin design using new routing schemes", Journal of Hydrologic Engineering, ASCE, 9(4): 333-336, 2004.

Harbor JM, "A Practical method for estimating the impact of land-use change on surface runoff, groundwater recharge and wetland hydrology", "Journal of the American

Planning Association, 60(1): 95-108, 1994.

HEC-HMS, "Technical Reference Manual", Davis, California: US Army Corps of Engineers (USACE), Hydrologic Engineering Center, 2004.

Karahan, H, "Yağmur suyu geciktirme haznelerinin bilgisayar destekli tasarımı", 3. Kentsel Altyapı Ulusal Sempozyumu, İMO, 383-402.

Kıbler DF, Jennıngs ME, Lewıs GL, Tschantz BA, Walesh SG, "Microcomputer Software in Urban Hydrology", Hydata News and Views, ASCE Task Committee, 1991.

Kim LH, Kayhanıan M, Zoh KD, Stenstrom MK, "Modeling of highway stormwater runoff", Science of the Total Environmental, 348: 1-18, 2005.

NRCS (Natural Resources Soil Conservation Service), "Urban Hydrology for Small Watersheds (TR-55)", Washington, DC: US Department of Agriculture, 1986.

Sansalone JJ, Buchberger SG, Al-Abed SR, "Fractionation of heavy metals in pavement runoff", Science of the Total Environmental, 189-190: 371-378, 1996.

Sansalone JJ, "Adsorptive infiltration of metals in urban drainage - media characteristics", Science of the Total Environmental, 235: 179-188, 1999.

Urbonas B, "Stormwater Sand Filter Sizing and Design: A Unit Operations Approach", http://oldhome.udfcd.org/sand-flt-paper.pdf, 2002.

Akım Derinliği ve Seviye Verisi Kullanarak Taşkın Hidrografının Genetik Aalgoritma Yardımı İleTahmini

Gökmen Tayfur[1]

Özet: Bu çalışmada, taşkın hidrografı akım derinliği ve seviye verisi kullanılarak genetik algoritma (GA) yardımı ile tahmin edilmeye çalışılmıştır. Bu amaç için, iki çeşit model önerilmiştir: (1) $Q_d(t) = \alpha \frac{h_d^{\beta}(t)}{h_u^{\gamma}(t-T_L)} + \eta$, ve (2) $Q_d(t) = \alpha \frac{h_d^{\beta}(t)}{E^{\gamma}(t-T_L)} + \eta$. Bu denklemlerde; $Q_d(t)$: t-anında mansapda tahmin edilen debiyi, $h_d(t)$: t anında mansapta ölçülen akım derinliğini, T_L: dalga varış zamanını, $h_u(t-T_L)$: dalga varış zamanı öncesi membada ölçülen akım derinliğini, ve $E(t-TL)$: dalga varış zamanı öncesi membada su seviye kotunu göstermektedir. α, β, γ ve ηda modellerin parametreleridir. Birinci denklem akım derinliklerini kullanırken, ikinci denklem su seviye kotlarını kullanmaktadır. İkinci denklem'de datum mansap istasyonu olarak seçildiğinde, membada *E = kot farkı + akım derinliği* olmaktadır. Dolayısı ile, mansapta akım derinliği, aynı zamanda, su seviyesi kotuna denk gelmektedir. Bu modellerin parametrelerinin optimum değerleri genetik algoritma yardımıyla hesaplanmıştır. Geliştirilen modeller İtalya'da bulunan Tiber nehri üzerindeki üç değişik ölçüm istasyonunda gözlenen hidrografların tahminine uygulanmıştır. Herbir segment için, gözlenen altı olayın üçü kalibrasyonda üçü de verifikasyonda kullanmıştır. Verifikasyon simülasyonları önerilen modellerin oldukça başarılı olduğunu ortaya koymuştur. Önerilen modeller 2005 de Moramarco ve ark nın geliştirdikleri RCM (anahtar eğrisi metodu) modelinden çok daha başarılı sonuçlar ortaya koymuştur. Bu çalışmada geliştirilen modellerin, özellikle ikinci modelin, uygulamada önemli bir işlevi olacaktır. İkinci model sadece kolayca ölçülebilen su seviyesi verisine ihtiyaç duyduğu için, ölçüm istasyonu olmayan bölgelerde taşkın hidrografı tahmininde kolayca kullanılabilecektir.

Anahtar Sözcükler: Hidrograf; Genetik algoritma; Seviye; Akım derinliği; Tahmin

Predicting Flood Hydrograph by Genetic Algorithm Using Flow Stage and Level Data

Abstract: This study developed genetic algorithm (GA) model to predict flow rates using flow stage and level data. For this purpose, it proposed two different models: (1)

[1] İYTE, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Urla, İzmir, gokmentayfur@iyte.edu.tr

$Q_d(t) = \alpha \frac{h_d^{\beta}(t)}{h_u^{\gamma}(t - T_L)} + \eta$, and (2) $Q_d(t) = \alpha \frac{h_d^{\beta}(t)}{E^{\gamma}(t - T_L)} + \eta$ where Q_d *(t)* is the flow rate at downstream station, h_d is the flow depth at downstream station; h_u is the flow depth at upstream station, E is the water surface elevation (elevation of upstream station from a reference level of downstream station plus flow depth at the upstream station) and α, β, γ, and η are the model parameters whose optimal values are found by the GA model. First model employs flow stage while the second one uses flow level data. When one chooses the datum as the downstream station, at upstream station *E = flow depth + level difference.* That is, at the downstream, flow stage becomes flow level. The developed models were applied to predict hydrographs meaasured at three different stations on Tiber River, Italy. For each river reach, 6 events (3 for calibration and 3 for validation) were employed. The simulations showed the satisfactory performance of the models. They outperformed the RCM model of Moramarco et al (2005). These models, especially the second one, have important implication in predicting hydrographs at ungauged basins since they use only easly measurable data.

Keywords: Hydrograph; Genetic algorithm; Level; Flow stage; Prediction

1. GİRİŞ

Akım debisi tahmini su yapıları projeleri için önem taşımaktadır. Debi, akım kesit alanı ve akım hızı verilerinden hesaplanabilir. Ancak, bu verilerin elde edilmesi, özellikle taşkınların meydan geldiği dönemlerde, oldukça güçtür, hatta imkansızdır. Diğer tarafdan, akım derinliği verisi almak nisbeten daha kolay ve ucuzdur. Bu sebeple, araştırmacılar akım debisini akım derinliğine ilşkilendirerek basit, fakat kullanışlı, metodlar geliştirmişlerdir [Franchini ve Lamberti 1994; Franchini ve ark 1999; Moramarco ve Singh 2001]. Ancak bu modellerin de uygulamasında çeşitli zorluklar ile karşılaşılmaktadır. Örneğin, bu metodlar yanal akımların etkin olduğu nehirlerde iyi sonuç verememektedir. Franchini ve ark (1999)'nın modeli dokuz paramterenin tahmin edilmesini gerektiren karmaşık bir metodtur. Diğer tarafdan, Moramarco ve ark. (2005)'nın modeli anahtar eğrisi metodudur, ve yanal akımların önemli olduğu durumlarda da kullanılır. Ancak, bu model de akım derinliği ve hızına ilaveten, topoğrafik yöntemler ile akım kesit alanı verilerine ihtiyaç duymaktadır.

Bu çalışma, mevcut metodlara alternatif olarak, hidrograf tahmini için, yanal akımların da etkin olduğu durumları da göz önüne alabilen ve sadece akım derinliği ve seviye verisine ihtiyaç duyabilen, iki metodu önermektedir. Önerilen modellerin parametrelerinin optimal değerleri genetik algoritma kullanarak hesaplanmaktadır.

2. ÖNERİLEN MODELLER

Bu çalışma, akım debisi tahmini için, akım derinliği verisini kullanan ve Moramarco ve ark (2005)'nın RCM modeline benzeyen aşağıdaki formülü önermektedir:

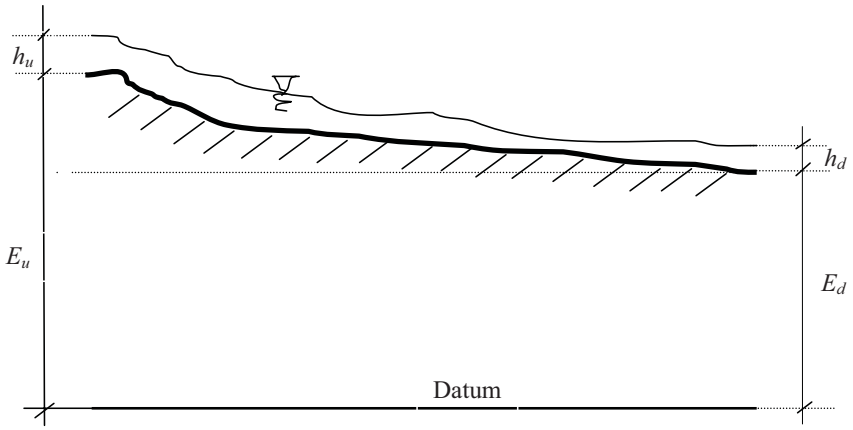
$$Q_d(t) = \alpha \frac{h_d^{\beta}(t)}{h_u^{\gamma}(t - T_L)} + \eta \qquad (1)$$

Burda, h_d mansapta akım derinliğ, h_u membada akım derinliği, T_L dalga varış zamanı ve α, β, γ, and η model parametreleridir. Bu paramterelerin optimal değerleri genetik algoritma ile bulunmuştur. Bu modeli *GA_Derinlik* modeli olarak adlandırıyoruz.

İkinci model olarak, seviye verisini kullanan aşağıdaki metodu öneriyoruz:

$$Q_d(t) = \alpha \frac{h_d^{\beta}(t)}{E^{\gamma}(t - T_L)} + \eta \qquad (2)$$

Burda E su yüzeyi kotudur. Şekil 1 de görüleceği üzere, mansap istasyonu datum kabul edilirse, mansaptaki akım derinliği o istasyondaki su seviyesi kotuna denk gelir ve membada da *E = akım derinliği + iki istasyon arasındakı rakım farkı* olur. α, β, γ, ve η model parametreleridir. Bu parametrelerin optimal değerleri GA ile bulunmaktadır. Bu modeli *GA_Seviye* olarak adlandırıyoruz.



Şekil 1 Su yüzeyi kotunun referans bir datuma göre şematik gösterimi
[$E = (E_u - E_d) + h_u$]

3. HİDROLOJİK VERİ

Tam teçhizatlı ölçüm istasyonlarına sahip İtalya'nın ortasında bulunan Yukari Tiber nehri havzası model uygulaması için seçilmiştir. Şekil 2 nehir üzerinde seçilen ölçüm istasyonlarını göstermektedir. Tablo 1 herbir nehir segmentine ait temel verileri özetlemektedir. Deniz seviyesinde istasyonların yükselti kotları sırasıyla şöyledir: 261.10 m (Santa Lucia); 188.77 m (Ponte Felcino); 162.04 m (Ponte Nuovo); ve 135.73 m (Monte Molino). Herbir segment için 6 fırtına olayı kullanılmıştır. Bu fırtınalara ait bilgiler Tablo 2, 3, ve 4 de verilmiştir. Bu tablolarda * olarak verilenler modellerin test edilmesinde diğerleri kalibre edilmesinde kullanılmıştır. Herbir segment için dalga varış zamanı 4 sa, 8 sa ve 12 sa. Herbir segment için 3 olay kalibrasyonda, 3 olay da denemede kullanılmıştır.

Şekil 2 Yukarı Tiber nehri havzası ve ölçüm istasyonları



Table 1 Tiber nehri segmentlerine ait jeo-fiziki özellikler

Nehir	Segment	Direnaj alanı (km^2)	Segment uzunluğu (km)	Ortlama Eğim	Ortalama genişlik (m)
Tiber	Santa Lucia Ponte Felcino	935 2035	44.6	0.0016	35
Tiber	Santa Lucia Ponte Nuovo	935 4145	70	0.0014	39
Tiber	Santa Lucia Monte Molino	935 5279	100.8	0.0012	44
Tiber	Ponte Felcino Ponte Nuovo	2035 4145	25.4	0.001	45
Tiber	Ponte Felcino Monte Molino	2035 5279	56.2	0.00095	50.5

Yukarıda belirtildiği üzere, önerilen modellerin parametrelerinin optimal değerleri genetik algoritma kullanılarak hesaplanmıştır. GA bu işlemi yaparken, aşağıda verilen ortlama mutlak hata (MAE) fonksiyonunu minimize etmeye çalışmıştır:

$$MAE = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\left|Q_m - Q_p\right| \quad (3)$$

Burada N gözlem sayısını, Q_m ölçülen debiyi ve Q_p tahmin edilen debiyi göstermektedir. Başlangıçta, paramtereler için (0, 5) arasında rastgele değerler atanmıştır. GA 500 kromozom, %80 çaprazlama, %4 muatsyon oranları ve 30000 iterasyon ile çalıştırılmıştır. Parameterlerin değerleri (-10, +10) arasında araştırılmıştır.

Table 2 Main characteristics of flood events observed at Santa Lucia and Ponte Felcino stations

Date	Santa Lucia station			Ponte Felcino station		
	Q_b (m^3/s)	Qp (m^3/s)	V (10^6 m^3)	Q_b (m^3/s)	Qp (m^3/s)	V (10^6 m^3)
December 1990	9	418.6	47.8	5	404.2	56.8
January 1994	35.6	107.9	8.3	50.8	240.7	17.8
May 1995*	4.2	71	10.3	8.8	138.7	19.1
January 1997*	18.2	120.2	24.3	36.2	225	51.8
		146.2			359	
June 1997*	5	345.6	27.6	10.8	449.6	49.1
January 2003	23.6	39.7	12.5	49.3	113.4	38.2
		57.5			223.8	
		47.2			153.2	

Table 3 Main characteristics of flood events observed at Santa Lucia and Ponte Nuovo stations

Date	**Santa Lucia**			**Ponte Nuovo**		
	Q_b (m^3/s)	Qp (m^3/s)	V (10^6 m^3)	Q_b (m^3/s)	Qp (m^3/s)	V (10^6 m^3)
December 1996	14	282.7	18.8	64.6	728.4	58
April 1997*	3.7	366	32.8	19.2	498.5	75.2
December 1998*	24	48.3	7.2	77.7	714.8	52.3
February 1999	19	229	15.2	42.7	761.8	68.4
December 2000*	5	211	52.3	24.8	449.5	205.9
		349.2			877.2	
January 2001	21	63.5	13.8	106	404.5	67.4
		64.1			312.1	

Table 4 Main characteristics of flood events observed at Santa Lucia and Monte Molino stations

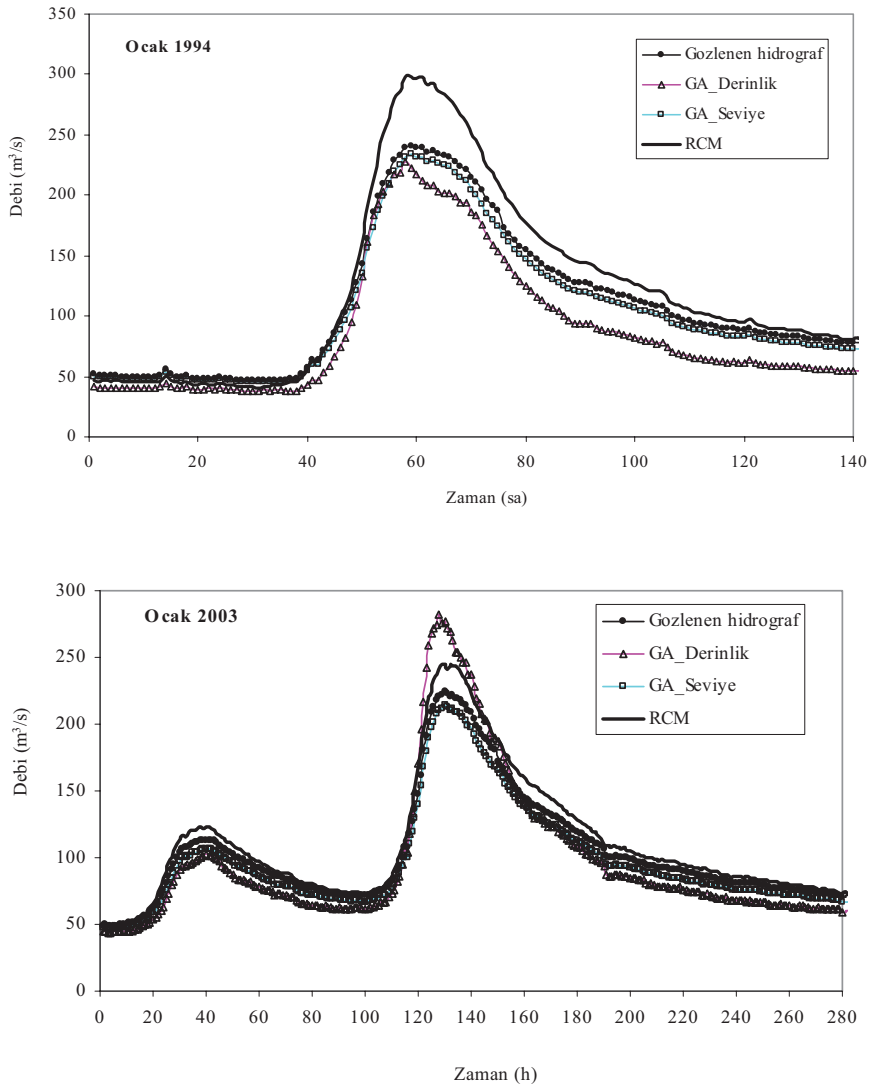
Date	Santa Lucia			Monte Molino		
	Q_b (m^3/s)	Qp (m^3/s)	V (10^6 m^3)	Q_b (m^3/s)	Qp (m^3/s)	V (10^6 m^3)
April 1997	3.7	366	32.8	27	572	93.7
December 1998*	24	48.3	7.2	85	770	68.5
February 1999*	19	229	15.2	36	754	80.7
December 2000	5	211	52.3	26	506	224.5
		349.2			850	
January 2001	21	63.5	13.8	119	397.3	84.8
		64.1			364	
May 2004*	10	120.2	38.1	82	544.4	160.2
		250.5			536.5	

4. HİDROGRAF SİMÜLASYONLARI

Santa Lucia—Ponte Felcino segmenti için yapılan simülasyonlar Şekil 3 de ve bu simülasyonlara ait hata ölçütleri Tablo 5 de özetlenmiştir. Bildiriyi kısa tutmak amacıyla, bütün simülasyonların grafikleri verilmemiştir. Bu çalışmanın detayları Tayfur ve Moramarco (2008) den elde edilebilir.

Table 5 Şekil 3 de verilen simülasyonlar için, pik debi [E_{Qp}] ve pik zaman [E_{Tp}] yüzde hataları [Santa Lucia—Ponte Felcino]

	E_{Qp} (%)			E_{Tp} (%)		
Fırtına	GA_Derinlik Modeli	GA_Seviye Model	RCM Modeli	GA_Derinlik Modeli	GA_Seviye Modeli	RCM Modeli
Aralık 1990	-3.2	7.0	9.9	25.0	0	-7.7
Ocak 1994	-5.4	-2.9	23.6	-1.7	0	-1.7
Ocak 2003	25.8	-4.2	9.6	-1.5	0	-0.77
Ortalama	**11.47**	**4.7**	**14.37**	**9.4**	**0**	**3.4**

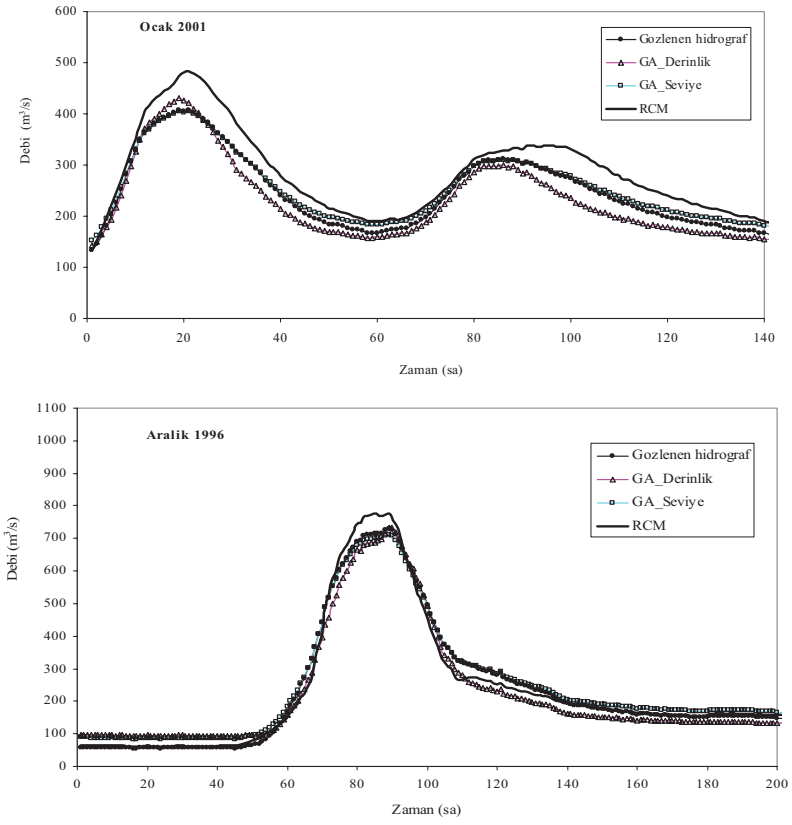


Şekil 3 Santa Lucia—Ponte Felcino segmentinde hidrograf simülasyonları

Santa Lucia—Ponte Nuovo segmenti için yapılan simülasyonlar Şekil 4 de ve bu simülasyonlara ait hata ölçütleri Tablo 6 de özetlenmiştir.

Tablo 6 Şekil 4 de verilen simülasyonlar için, pik debi [E_{Qp}] ve pik zaman [E_{Tp}] yüzde hataları [Santa Lucia—Ponte Nuovo]

	E_{Qp} (%)			E_{Tp} (%)		
Fırtına	GA_Derinlik Modeli	GA_Seviye Modeli	RCM Modeli	GA_Derinlik Modeli	GA_Seviye Modeli	RCM Modeli
Ocak 2001	6.0	-0.56	18.9	-9.5	0	0
Şubat 1999	21.0	-4.1	12.1	12.0	0	-20.0
Aralık 1996	0.42	-2.6	5.0	1.1	0	1.1
Average	**9.14**	**2.42**	**12.0**	**7.5**	**0**	**7.0**

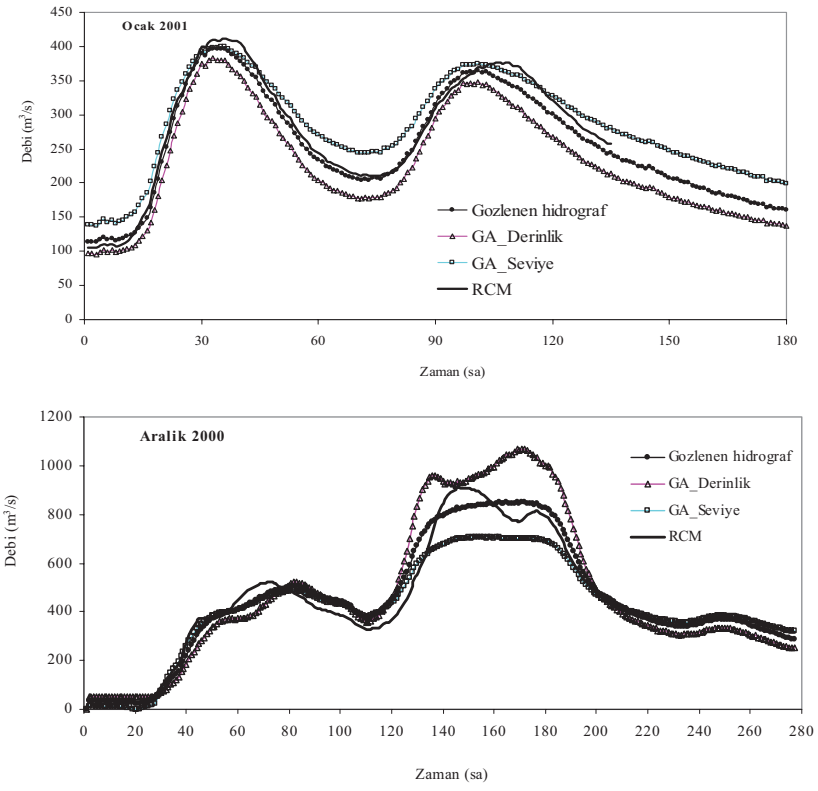


Şekil 4 Santa Lucia—Ponte Nuovo segmentinde hidrograf simülasyonları

Santa Lucia—Monte Molino segmenti için yapılan simülasyonlar Şekil 5 de ve bu simülasyonlara ait hata ölçütleri Tablo 7 de özetlenmiştir.

Tablo 7 Şekil 5 de verilen simülasyonlar için, pik debi [E_{Qp}] ve pik zaman [E_{Tp}] yüzde hataları [Santa Lucia—Monte Molino]

	E_{Qp} (%)			E_{Tp} (%)		
Fırtına	GA_Derinlik Modeli	GA_Seviye Modeli	RCM Modeli	GA_Derinlik Modeli	GA_Seviye Modeli	RCM Modeli
Nisan 1997	3.4	-6.2	-12.8	**1.2**	**0**	**-1.2**
Ocak 2001	-3.4	0.45	3.5	**-8.3**	**0**	**0**
Aralık 2000	25.5	-17.0	7.1	**1.8**	**-8.9**	**-13.7**
Average	**10.8**	**7.9**	**7.8**	3.8	3.0	5.0



Şekil 5 Santa Lucia—Monte Molino segmentinde hidrograf simülasyonları

5. SONUÇ

Tablolar 5, 6, ve 7 ve de Şekiller 3, 4, ve 5 incelendiğinde, sadece seviye verisi kullanılarak, hidrograf tahminlerinin gayet başarılı bir şekilde, genetik algoritma yardımı ile, yapılabileceği görülmektedir. Simülasyon sonuçları, *GA_Seviye* modelinin hidrografların gidişatını, pik debisini ve pik debinin meydana geldiği zamanı, %5 den daha küçük bir hata ile, gayet başarılı bir şekilde tahmin edebildiğini göstermektedir. Geliştirlen model RCM metodundan çok daha başarılı performans göstermiştir.

GA_Seviye modeli sadece seviye verisine ihtiyaç duyduğundan, özellikle ölçüm istasyonları olmayan havzalarda, hidrograf tahmini için uygulanabilir.

6. KAYNAKLAR

Franchini, M., and Lamberti, P. "A flood routing Muskingum type simulation and forecasting model based on level data alone." *Water Resources Res*., 30(7), 2183-2196, 1994.

Franchini, M., Lamberti, P. and Di Giammarco, P. ("Rating curve estimation using local stages, upstream discharge data and a simplified hydraulic model." *Hydrol. Earth System Sci.*, 3(4), 541-548, 1999.

Moramarco, T., and Singh, V.P. "Simple method for relating local stage and remote discharge." *J. Hydrologic Engrg*., ASCE, 6(1), 78-81, 2001.

Moramarco, M., Barbetta, S., Melone, F. and Singh, V.P. "Relating local stage and remote discharge with significant lateral inflow." *J. Hydrologic Engrg.,* ASCE, 10(1), 2005.

Palisade Corporation. "Evolver, the genetic algorithm solver for Microsoft excel" September, Newfield, New York, USA, 2001.

Tayfur G, Moramarco T. **'**Predicting hourly-based flow discharge hydrographs from level data using genetic algorithms", J. Hydrology**,** 352**(**1-2), 77-93**,** 2008.

Radyal Kapaklı Savakta Debi – Göl Su Kotu İlişkisi için Bilgisayar Programı

Tefaruk Haktanır [1], Hatice Çıtakoğlu [2]

Özet: Radyal kapaklı savağı bulunan bir barajdan herhangi boyutta bir taşkın hidrografının ötelenme hesabında kullanılmak üzere, baraj tasarımında bir klasik kaynak olan Design of Small Dams kitabındaki yöntem ve abakları, veya başka bir yöntemi uygulayan bir bilgisayar alt-programı geliştirilmiştir. Kapakların tam açık veya yarı açık halleri için farklı abaklar kullanılan Design of Small Dams kitabı yönteminin abaklarındaki grafikler için determinasyon katsayısı 0.99'dan daha büyük ve katsayıları %99.9 seviyelerinde anlamlı olan regresyon ifadeleri belirlenmiştir. (savak debisi) – (göl su kotu) ilişkisi laboratuar model deneyleri sonucu, veya Design of Small Dams kitabı'ndakinden başka bir yöntemle tespit edilmiş olan bir radyal kapaklı savak için, tam açık ve yarı açık hallerde ayrı ayrı, determinasyon katsayısı 0.99'dan daha büyük ve katsayıları %99.9 seviyelerinde anlamlı olan uygun analitik yapılarda regresyon ifadeleri belirlenmiştir. Geliştirilen alt-program, savak debilerini hesaplayan bir ana programa, ayrıca bir baraj gölüne giren herhangi bir taşkın hidrografının ötelenme hesabını yapan başka bir ana programa iliştirilmiş, Kızılırmak Havzasındaki Yamula ve Bayramhacılı, ve Seyhan Havzasındaki Çatalan barajlarına uygulanmıştır.

Anahtar Sözcükler: Radyal kapalı savak debisi, taşkın ötelenmesi

Computer program for discharge – lake water level relationship for radial-gated spillways

Abstract: A computer program is developed for quantitative relationship of discharge versus lake water level elevation for a radial-gated spillway to be utilized for flood routing computations using either the method of the book: Design of Small Dams or another method. For monograms given in the 'Spillways' Chapter of the book: Design of Small Dams depicting relationships for various coefficients needed in relevant equations, separately for partially and fully open gates, governing the method described therein, regression equations with determination coefficients of magnitudes greater than 0.99 and with coefficients significant at 99.9% level are obtained. For the relationships of (spillway discharge) – (lake water level) for both cases of partially and fully open gates, determined either by a procedure other than the one given in the book: Design of

[1] Erciyes Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Kayseri, E-Posta: thaktan@erciyes.edu.tr
[2] Erciyes Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Kayseri, E-Posta: hcitagoglu@erciyes.edu.tr

Small Dams, or as a result of laboratory model studies, analytically suitable regression equations are developed with determination coefficients greater than 0.99 and with regression coefficients significant at 99.9% level. The sub-program coded as such is attached to a main program performing routing computations of a flood hydrograph of any magnitude, and it is applied to Yamula and Bayramhacılı Dams in the Kızılırmak Basin and to Çatalan Dam in the Seyhan Basin.

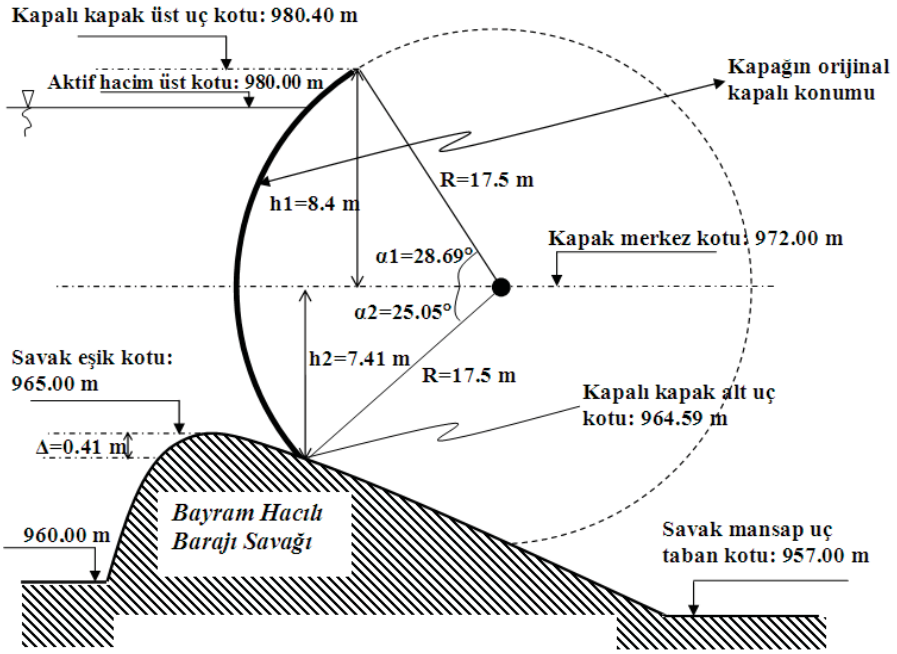
Keywords: Radial-gated spillway discharge, flood routing

1. GİRİŞ

Dünyada ve ülkemizde çok sayıda radyal kapaklı savaklı baraj mevcuttur. Şekil-1'de Bayramhacılı Barajı radyal kapaklı savağı, ilgili geometrik boyutları ile birlikte şematik olarak verilmektedir. Radyal kapaklı bir savağın tasarımı, A.B.D. İçişleri Bakanlığına bağlı Bureau of Reclamation tarafından basılan ve bir klasik kaynak haline gelmiş olan Design of Small Dams (DSD) kitabının 'Spillways' başlıklı bölümündeki yönteme göre yapılabilir. Ayrıca, sözkonusu savağın laboratuar modeli üzerinde yapılan deneysel çalışmalar sonucu (savak debisi) – (göl su kotu) ilişkileri çıkarılmış olabilir. Veya, DSD kitabınınkinden farklı bir yöntemle bu ilişki hesaplanmış olabilir. Bu çalışmada, DSD yöntemi veya farklı bir yöntemle, bir radyal kapaklı savağın tam açık ve yarı açık hallerinde (savak debisi) – (göl su kotu) ilişkilerini hesaplayan bir bilgisayar alt-programı geliştirmek amaçlanmıştır. Böylece, eğer DSD yöntemi kullanılacaksa, kapakların tam açık ve yarı açık hallerinde gereken birkaç farklı abaklardaki katsayıların belirlenmesi kolayca yapılabilecektir. Model çalışmaları sonucu veya DSD'ninkinden farklı bir yöntemle belirlenen (savak debisi) – (göl su kotu) ilişkileri için de istatistiksel anlamlılığı yüksek uygun regresyon ifadeleri tespit edilerek, aynı bilgisayar programının bir parçası olması amaçlanmıştır. Geliştirilen alt-program, özellikle herhangi bir taşkın hidrografının baraj gölünden ötelenme hesabında kolaylık sağlayacaktır.

Tasarım debisinden farklı boyutlarda savaklanan her debi için DSD kitabındaki ilgili abaktan düzeltme katsayısı okumak gereklidir. DSD'ninkinden farklı bir yöntemle veya laboratuar model çalışmaları sonucu çıkarılmış (savak debisi) – (göl su kotu) ilişkilerinde de ara debi hesapları fazla miktarda rutin işlemleri gerektirir. Tasarımcı veya analizciyi bu hesaplardan kurtarmak amacıyla, kapakların yarı açık halleri için, örneğin 0.5 m, 1 m, 2 m, …., 12 m gibi, ve ayrıca kapakların tam açık durumu için, birçok farklı (savak debisi) – (göl su kotu) ilişkileri nümerik tablolar halinde verilmektedir (örneğin: Bayramhacılı Barajı kesin projesinde 'İnşaat' başlıklı kısmın 'Hidrolik Hesap' başlıklı alt bölümündeki 30-35.inci sayfalar, Senerji, 2007). Bu tür tablolar bir barajdan taşkın öteleme için kullanılacağı vakit, Δt ara zaman dilimlerinde her taşkın öteleme adımında bu tablodaki nümerik rakamlar arasında interpolasyon yapmak gerekir. Yanısıra, bu tablo genellikle kapak altı açıklıklarının 2 m, 3 m gibi tam sayı artımlarındaki değerleri içerdiği ve örneğin: kapak altı açıklığı = 2.4 m, 2.6 m gibi ara değerleri içermediği için, bu interpolasyonun iki yönlü yapılması mecburiyeti vardır. Bu nümerik tablonun kullanımının diğer bir dezavantajı da, bir teknisyenin bunca rakamdan oluşan nümerik tabloyu, kullanılan bilgisayar programının okuyacağı formatta önceden bir dosyaya yazması zorunluluğudur. Dolayısıyla, burada geliştirilmiş

olan bilgisayar alt-programı, tasarımcı veya analizciyi özetlenen bu dezavantajlardan kurtaracağı için yararlı olacaktır.



Şekil 1 Bayramhacılı Barajı radyal kapaklı savağının şematik görünümü

2. RADYAL KAPAKLI SAVAK DEBİSİNİN DESIGN OF SMALL DAMS KİTABI YÖNTEMİNE GÖRE HESABI

Alanında klasik bir kaynak olan A.B.D. İçişleri Bakanlığına bağlı Bureau of Reclamation tarafından basılan Design of Small Dams (DSD) kitabı, 1940'lı yıllara kadar uzanan ve halen geliştirilmekte olan laboratuar deneyleri sonucunda ve prototip yapılar üzerindeki tecrübelerden elde edilmiş barajlarla ilgili birçok tasarım yöntemi sunmaktadır (Bureau of Reclamation, 1973). Bu kitaptaki yöntemler birçok ilgili kitapta da verilmektedir (örneğin: Sungur, 1993). 2010 yılında Kızılırmak Nehri üzerinde inşası devam etmekte olan Bayramhacılı Barajının kesin projesindeki radyal kapaklı savak tasarımı tamamen DSD kitabı yöntemiyle yapılmıştır (Senerji Enerji Üretim A.Ş., 2007).

2.1. Kapaklar Tam Açık Hal için

Radyal kapaklı bir savak, kapaklar tam açık halde serbest çalışan Ogee profilli bir savak gibi davranır, ve debi, aşağıda verilen ampirik-teorik ifadeyle hesaplanmaktadır.

$$Q = Cnet \times Le \times H^{1.5} \quad (1)$$

Burada, Le: efektif savak genişliği (m), H: savaklanan suyun, hız yükü dahil, yaklaşım kanalındaki savak eşik kotuna göre toplam yükü (m), Cnet: net savak katsayısı, ve Q: savaklanan suyun debisidir (m^3/sn). Cnet, farklı hidrolik özelliklerin etkisiyle şu şekilde hesaplanmaktadır:

$$\mathrm{Cnet} = \mathrm{Co} \times (\mathrm{Cmya}/\mathrm{Co}) \times (\mathrm{Ch}/\mathrm{Co}) \times (\mathrm{Cap}/\mathrm{Co}) \times (\mathrm{Cks}/\mathrm{Co}) \qquad (2)$$

Burada, Co: tasarım debisindeki toplam su yükü Ho'a karşılık belirli bir abaktan alınan ilk katsayı, (Cmya/Co): savak memba yüzü açısı düzeltme oranı, (Ch/Co): tasarım yükünden farklı bir H su yükü için düzeltme oranı, (Cap/Co): savak yapısı mansap ucundaki sel rejimi derinlikte apron etkisi düzeltme oranı, ve (Cks/Co): savak yapısı mansap ucunda hidrolik sıçrama vuku bulursa, batıklık etkisi düzeltme oranıdır. Bu çalışmada, savak tahliye kanalının uzun olduğu ve her debide S2 profilli sel rejimi akım vuku bulacağı kabulü yapılarak (Cks/Co) düzeltme oranı 1 alınmaktadır. Design of Small Dams kitabında, Co için ve diğer oranlar için farklı abaklar verilmektedir. (2) nolu eşitlikteki Co katsayısı ve düzeltme oranları için bu abaklardan elde edilen en uygun regresyon ifadeleri ve bunların determinasyon katsayıları (R^2) aşağıda verilmektedir.

$$\mathrm{Co} = 2.15 + 0.103 \times \log(\mathrm{P}/\mathrm{Ho}) - 0.113 \times [\log(\mathrm{P}/\mathrm{Ho})]^2 + 0.132 \times [\log(\mathrm{P}/\mathrm{Ho})]^3 \qquad (3)$$
(4480) (65) (–31) (27) $R^2 = 0.9996$

$$\mathrm{Cmya}/\mathrm{Co} = 1.06 - 0.145 \times (\mathrm{P}/\mathrm{Ho}) + 0.115 \times (\mathrm{P}/\mathrm{Ho})^2 - 0.0321 \times (\mathrm{P}/\mathrm{Ho})^3 \qquad (4)$$
(909) (–25) (14) (–10) $R^2 = 0.998$

$$\mathrm{Ch}/\mathrm{Co} = 0.789 + 0.341 \times (\mathrm{H}/\mathrm{Ho}) - 0.175 \times (\mathrm{H}/\mathrm{Ho})^2 + 0.0456 \times (\mathrm{H}/\mathrm{Ho})^3 \qquad (5)$$
(928) (73) (–26) (16) $R^2 = 0.9998$

$$\mathrm{Cap}/\mathrm{Co} = -0.438 + 1.76 \times [(\mathrm{H} + \mathrm{P} + \Delta\mathrm{P})/\mathrm{H}] - 0.542 \times [(\mathrm{H} + \mathrm{P} + \Delta\mathrm{P})/\mathrm{H}]^2 \qquad (6)$$
(–7.7) (20) (–17) $R^2 = 0.992$

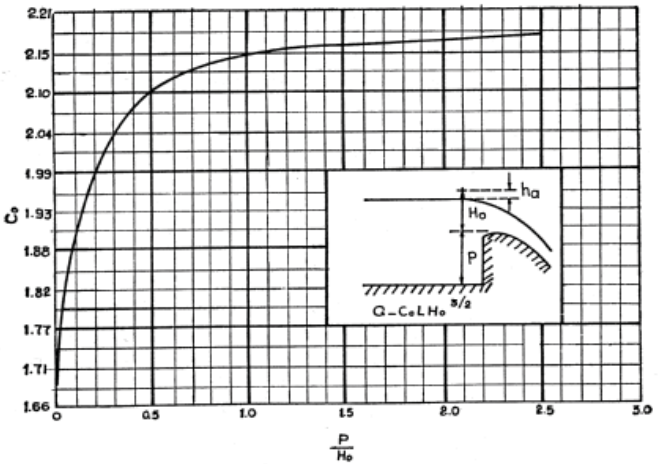
Bu ifadelerde, P: savak yüksekliği (m), ΔP: savak memba ve mansap uç noktaları kot farkı (m) olup diğer terimler daha önce tanımlandığı gibidir. Katsayıların altında parantez içindeki italik rakamlar, katsayı beklenen değerinin sıfır olduğu kabulü ile hesaplanan ***t*** değerleri olup, bunlara göre bütün katsayılar %99.9 güvenlikte anlamlıdır. (3) nolu ifadedeki log, 10 tabanına göre logaritmadır. (4) nolu ifade, ülkemizde yaygın olan, savak memba yüzü açısı 45° için geçerli olup, diğer açılar için ifadeler bildiriyi uzatmamak amacıyla burada verilmemiştir.

(1) nolu ifadedeki Le: efektif savak genişliği (m), ağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

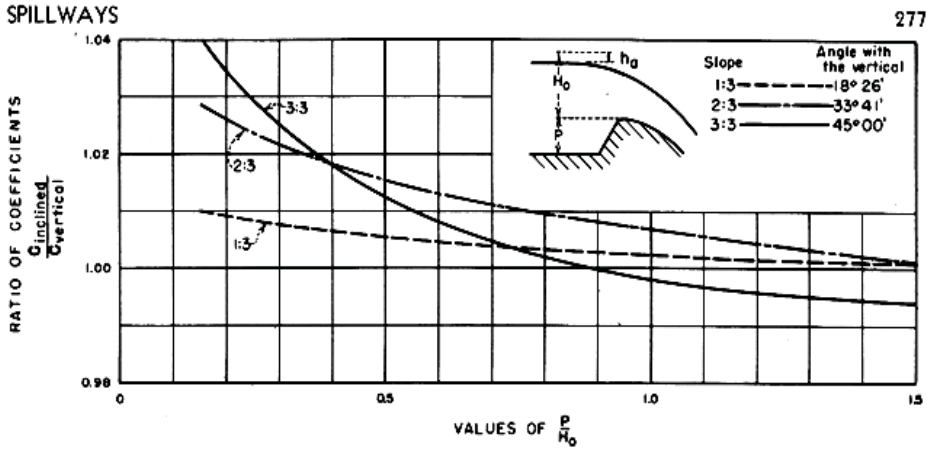
$$\mathrm{Le} = \mathrm{Lnet} - 2 \times (\mathrm{N} \times \mathrm{Kp} + \mathrm{Ka}) \times \mathrm{Ho} \qquad (7)$$

Burada, Lnet: savak net açıklığı (m), N: kapaklar arası kolon adedi, Kp: kolon şekli etki katsayısı, Ka: yan mesnet etki katsayısıdır.

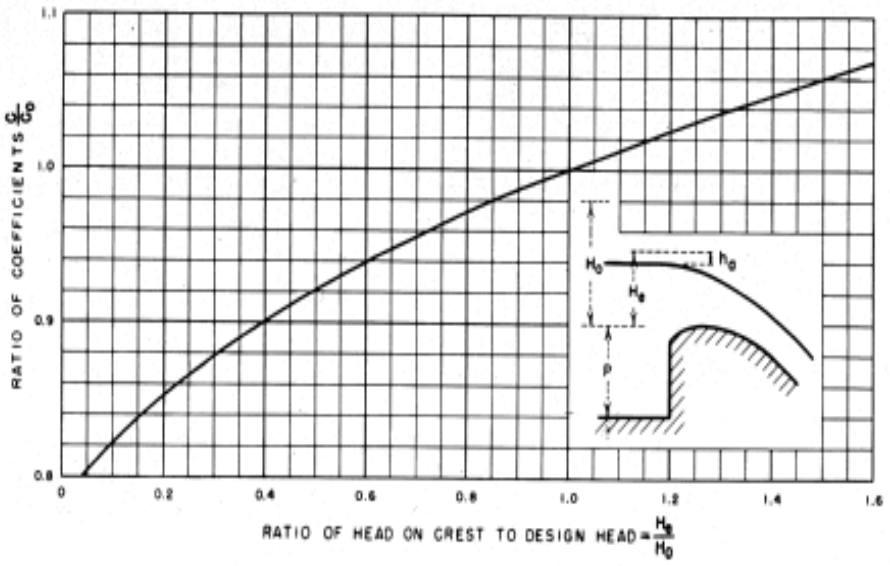
(3) ile (6) nolu regresyon ifadelerinin çıkarıldığı DSD kitabında verilen abaklar aşağıda sunulmaktadır.



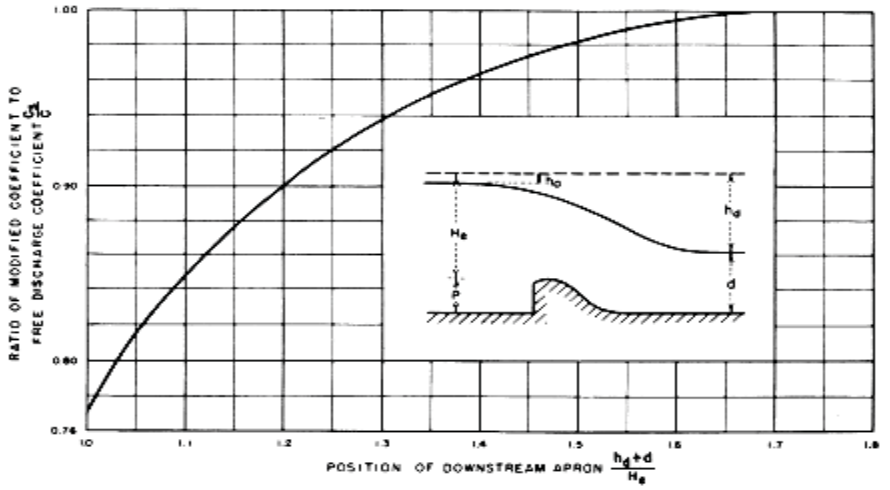
Şekil 2. Kapaklar tam açık halde serbest savaklanan tasarım debisi için Co katsayısı abağı



Şekil 3. Kapaklar tam açık halde savak ön yüz açısı için düzeltme katsayısı abağı



Şekil 4. Kapaklar tam açık halde tasarım debisinden farklı debiler için düzeltme katsayısı abağı



Şekil 5. Kapaklar tam açık halde mansap eteği etkisi düzeltme katsayısı abağı

2.2. Kapaklar Yarı Açık Hal için

Radyal kapaklı bir savak yarı açık halde iken savaklanan debi için şu teorik-ampirik ifade kullanılmaktadır:

$$Q = (2/3) \times \sqrt{2g} \times C \times Le \times \left(H_1^{1.5} - H_2^{1.5} \right) \tag{8}$$

Burada, g: yerçekimi ivmesi (m/sn^2), Le: efektif savak genişliği (m), H_1: savaklanan suyun, hız yükü dahil, savak eşik kotuna göre yaklaşım kanalındaki toplam yükü (m), H_2: savaklanan suyun, yarı açık kapağın alt uç kotuna göre yaklaşım kanalındaki toplam yükü (m), ve C: yarı açık savak katsayısıdır ve bu yarı açık radyal kapaklı savağa özgü başka bir abaktan alınır. C katsayısı $(H_1–H_2)/H_1$ oranına bağlı olup, bunun için elde edilen en uygun regresyon ifadeleri, regresyon katsayılarının ***t*** değerleri, ve regresyonların determinasyon katsayıları (R^2) aşağıda verilmektedir.

$0.01 \le d/H_1 \le 0.2$ için:

$$C = 0.762 - 0.911 \times \left(d/H_1 \right) + 5.33 \times \left(d/H_1 \right)^2 - 11.9 \times \left(d/H_1 \right)^3 \tag{9a}$$

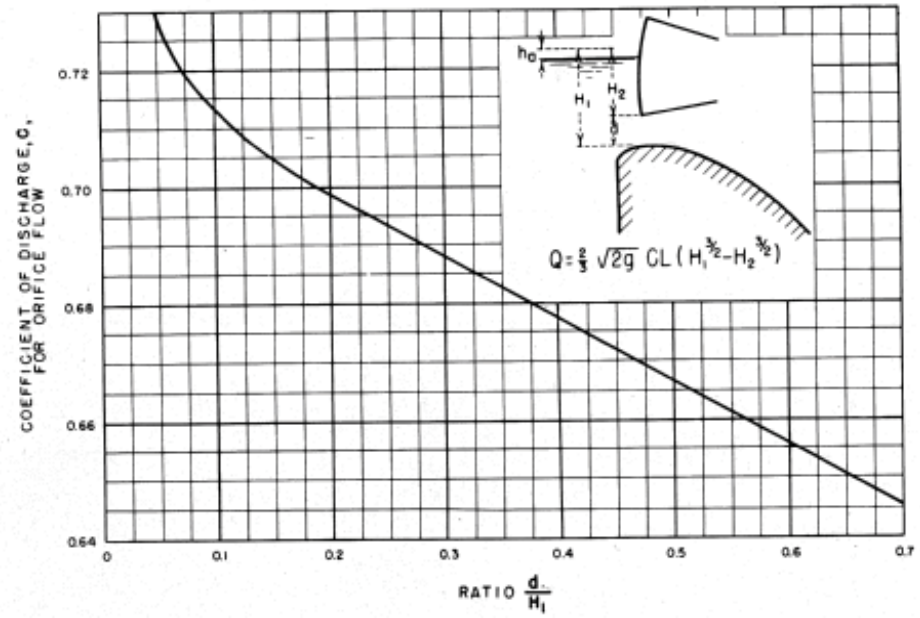
(430) (–11) (6) (–4.2) $R^2 = 0.995$

$0.2 < d/H_1 \le 0.75$ için:

$$C = 0.720 - 0.1065 \times \left(d/H_1 \right) \tag{9b}$$

(4870) (–362) $R^2 = 0.9998$

Bu ifadelerde, d: savak eşik kotuna göre kapak altı açıklığı olup, $d = H_1–H_2$ dir. (9a) ve (9b) regresyon ifadeleriyle hesaplanan C katsayısının abağı DSD kitabında aşağıdaki gibi verilmektedir.



Şekil 6. Yarı açık radyal kapaklı savaklarda debi katsayısı abağı

3. RADYAL KAPAKLI SAVAK DEBİSİNİN LABORATUAR MODEL DENEYLERİ SONUCUNA GÖRE HESABI

3.1. Kapaklar Tam Açık Hal için

Topografik şartların oluşturduğu yaklaşım kanalı geometrisinde düzensizlik veya DSD kitabındakinden farklı bir savak uygulaması gibi sebeplerden dolayı, bir radyal kapaklı savağın debi hesabı DSD kitabı yöntemine uymayabilir, ve böyle bir durumda sözkonusu savağın (debi) – (göl su kotu) ilişkisi laboratuar model deneyleri sonucunda elde edilmiş olabilir. Bu ilişki, hem detaylı nümerik tablo halinde, hem de ölçekli eğriler olarak verilir. Örneğin, devasa debiler getirmiş olan Nisan 1980 taşkınından sonra Seyhan Barajına, mevcut dolu savağa ilaveten, yine radyal kapaklı bir yedek savak planlanmış ve bunun sarfiyat ilişkisi DSİ TAKK dairesindeki laboratuarda ifa edilen deneyler sonucunda çıkarılmıştır (DSİ, 1982).

Ampirik-teorik ifadesi (1) nolu eşitlikteki gibi olmasına rağmen, Yamula, Bayramhacılı, Çatalan, Seyhan, Aslantaş gibi birçok barajın kesin projelerindeki savakların (debi) – (göl su kotu) ilişkileri ile yapılan regresyon analizleri sonucunda, determinasyon katsayısı en yüksek ve regresyon katsayılarının anlamlılığı en yüksek olarak aşağıda verilen analitik ifadenin uygun olacağına karar verilmiştir.

$$Q = C_1 \times H + C_2 \times H^2 + C_3 \times H^3 \qquad (10)$$

Burada, H: göl su kotu ile savak eşik kotu arasındaki fark (m), ve C_1, C_2, C_3: o savağa özgü regresyon katsayılarıdır. Örneğin, Seyhan Barajı yedek yan savağı için elde edilen regresyon ifadesi aşağıdaki gibidir.

$$Q = 57.0 \times H + 17.3 \times H^2 - 0.658 \times H^3 \qquad (11)$$

(8.6) *(15.7)* *(–15)* $R^2 = 0.9995$

Bu ifadede de katsayıların altında parantez içindeki italik rakamlar, katsayı beklenen değerinin sıfır olduğu kabulü ile hesaplanan ***t*** değerleri olup, bunlara göre bütün katsayılar %99.9 güvenlikte anlamlıdır.

3.2. Kapaklar Yarı Açık Hal için

Yamula, Bayramhacılı, Çatalan, Seyhan, Aslantaş gibi birçok barajın kesin projelerindeki savakların (debi) – (göl su kotu) ilişkileri ile yapılan regresyon analizleri sonucunda, kapaklar yarı açık hal için, determinasyon katsayısı en yüksek ve regresyon katsayılarının anlamlılığı en yüksek olarak aşağıda verilen analitik ifadenin uygun olduğu görülmüştür.

$$Q = C_4 \times \left(H_1^{1.5} - H_2^{1.5}\right) + C_5 \times \left(H_1^{1.5} - H_2^{1.5}\right)^2 \qquad (12)$$

Burada, H_1: göl su kotu ile savak eşik kotu arasındaki fark (m), H_2: göl su kotu ile yarı açık kapağın alt ucunun kotu arasındaki fark (m) olup, C_4 ve C_5: o savağa özgü regresyon katsayılarıdır.

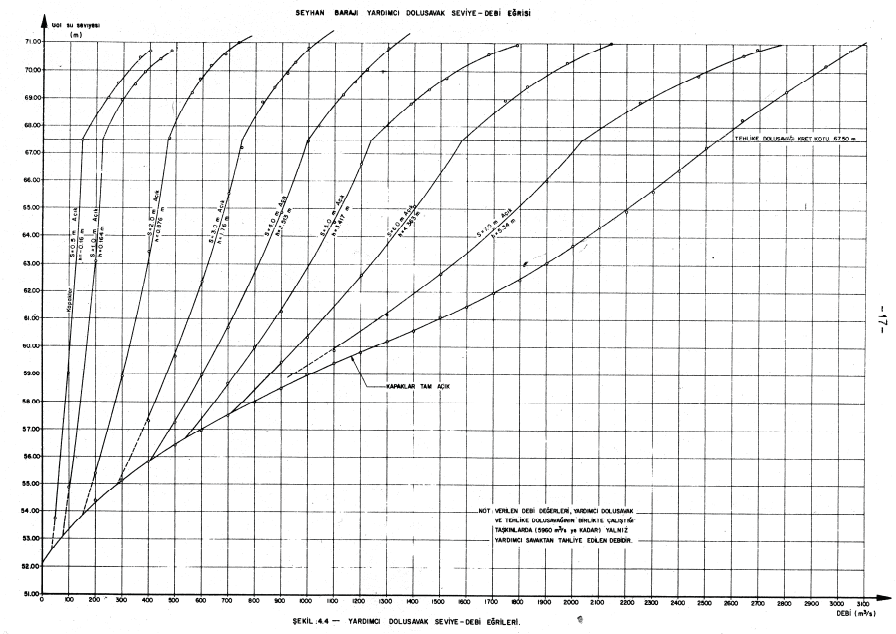
Laboratuar deneyleri, Froude benzeşim kuralına göre boyutlandırılmış model üzerinde, tam açık halin yanısıra birçok kapak altı açıklıklarında da icra edilir, ve elde edilen ilişkiler farklı kapak altı açıklıklarında nümerik tablolar ve ölçekli grafikler olarak sunulur. Aşağıda Şekil-7'de, DSİ TAKK dairesince ifa edilmiş Seyhan Barajı yedek dolu savağı deneyleri sonucunda çıkarılmış olan ve anılan raporda (DSİ, 1982) Şekil 4–4 olarak sunulan (debi) – (göl su kotu) ilişkisinin fotokopisi verilmektedir.

Şekil-7'de kapak altı açıklıkları: 0.5, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 m'ler için verilen (debi) – (göl su kotu) eğrilerinden dikkatlice okunan 140 adet H_1, H_2, ve Q değerleri ile elde edilen regresyon ifadesi aşağıda verilmektedir.

$$Q = 38.3 \times \left(H_1^{1.5} - H_2^{1.5}\right) + 0.396 \times \left(H_1^{1.5} - H_2^{1.5}\right)^2 \qquad (13)$$

(43.7) *(12.8)* $R^2 = 0.996$

Bu ifade de katsayıların altında parantez içindeki italik rakamlar, katsayı beklenen değerinin sıfır olduğu kabulü ile hesaplanan ***t*** değerleri olup, bunlara göre bütün katsayılar %99.9 güvenlikte anlamlıdır.



Şekil 7. Laboratuar deneyleri sonucunda çıkarılmış olan Seyhan Barajı yedek dolu savağının (debi) – (göl su kotu) ilişkileri (DSİ, 1982)

4. SONUÇLAR

Kapaklar tam açık veya yarı açık hallerinde radyal kapaklı bir savaktan akan su miktarının göl su kotuna bağlı olarak hesabı için Fortran dilinde bir bilgisayar alt-programı kodlanmıştır. Program, savaklanan debilerin, Design of Small Dams kitabının 'Spillways' Bölümündeki yöntemle veya başka bir yöntemle hesaplanması için regresyon analizleri sonucu elde edilen anlamlı ifadeler kullanmaktadır. Kodlanan programın Kızılırmak Havzasındaki Yamula ve Bayramhacılı Barajlarına, ve Seyhan Havzasındaki Çatalan Barajına uygulanması sonucu, bu barajların kesin projelerinde verilen hesap ve bulgulara çok yakın sonuçlar elde edilmiştir. Anılan bilgisayar programının sunumu Kongrede yapılacaktır.

5. KAYNAKLAR

Bureau of Reclamation, "Design of Small Dams", U.S. Department of The Interior, Bureau of Reclamation, 2nd edition, U.S. Government Printing Office, Washington D.C. , 1973.

DSİ, "Çatalan Barajı ve H.E.S. Kesin Projesi, Dolusavak, Dip savak, Derivasyon Tünelleri ve Ek Derivasyon Deşarj Eğrileri", Pafta No: HD–004, DSİ 6. Bölge Müdürlüğü, Adana, 1987.

DSİ, "Seyhan Barajı Yardımcı Dolusavak Model Deneyleri Raporu", DSİ Genel Müdürlüğü, TAKK Daire Başkanlığı, Yayın no: Hİ–716, 1982.

Haktanır, T, "Çatalan ve Seyhan Barajlarının taşkın durumunda işletilmesi üzerine bir çalışma", Tübitak, Doğa Bilim Dergisi, Seri B, 10(1), 37–44, 1986.

Kayseri Elektrik Üretim Sanayi ve Ticaret A.Ş. ve Aydıner İnşaat A.Ş., "Yamula Barajı ve HES Sözleşme Dökümanları, Cilt 4", 2000.

Senerji Enerji Üretim A.Ş., "Bayramhacılı Barajı ve HES Kesin Projesi, İnşaat, Bölüm 3. Hesaplar, 4. Dolusavak", Temelsu Uluslararası Mühendislik Hizmetleri A.Ş., sayfa: 26-36, 2007.

Sungur, T, "Su Yapıları, Cilt II, Regülâtörler (Su Alma Yapıları) (Teknik Rehber)", DSİ Genel Müdürlüğü, DSİ Basımevi, Üçüncü Basılış, 1993.

HİDROLOJİDE ÇAĞDAŞ YÖNTEMLER-YAKLAŞIMLAR

Gediz Havzası Örneğinde, Beklenen Aylık Toplam Yağışların Entropi Yöntemiyle Tayini

Özgür Temiz [1], Türkay Baran [2]

Özet: Sunulan çalışmada entropi yoğunluğu (IE) yöntemiyle Gediz Havzası uzun süreli yağışlarının bölgesel dağılımı tanımlanmıştır. Gediz Havzası'nda yer alan 44 yağış gözlem istasyonunun gözlenmiş aylık toplam yağış değerlerinden yararlanılarak, havza için uzun süreli yağış bilgisine geçilmiştir. Gözlenmiş değerler yerine entropi yoğunluğu değerlerinin kullanılması, farklı gözlem sürelerine sahip istasyonları havza genelinde değerlendirme olanağı vermektedir. Böylece, bölgesel değerlendirme yapılırken mevcut tüm gözlemlerin içerdiği bilginin kullanılması mümkün olmaktadır.

Anahtar Sözcükler: Entropi yoğunluğu; Gediz Havzası; Yağış dağılımı

Determination Of Expected Value For Monthly Total Precipitation by Entropy Based Method Case Study: Gediz Basin

Abstract: In the presented study, regional distribution of the long term precipitation values of Gediz basin are defined by the intensity entropy (IE) method. For this purpose, long term precipitation information is attained for the basin by using observed monthly total precipitation values of 44 rainfall observation stations which located in Gediz basin. The using of intensity entropy values make enable to evaulate all the gauging stations which have different observation periods throughout the basin. Thus, it is possible to evaulating the information contains available all observations for the regional assessment.

Keywords: Entropy intensity; Gediz Basin; Rainfall distribution

1. GİRİŞ

Su kaynakları sistemlerini planlama çalışmalarında veri ve veri toplama işlemleri büyük önem taşımaktadır. Hidrolojik sürece ait gözlemler, başlangıçta rasgele bir sayı dizisi niteliği taşımaktadırlar. Planlamacının görevi, bu diziden azami ölçüde bilgi edinmek ve

[1] Dokuz Eylül Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İzmir, E-Posta: zgr_tmz@hotmail.com
[2] Dokuz Eylül Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İzmir, E-Posta: turkay.baran@deu.edu.tr

su kaynakları sistemlerinin tasarımı ve işletimi için gerek duyduğu parametreleri belirlemektir.

Toplanan verilerin içerdiği bilginin tanımlanmasında, "Bilgi Kuramı"nda tanımlanan, "kazanılan bilgi ≡ giderilen belirsizlik" anlamını taşıyan entropi kavramı nesnel bir ölçüt olarak kullanılmaktadır. Entropi, rastgele karakterdeki hidrolojik süreçlerin içerdiği belirsizliğin ölçüsü olarak da tanımlanmaktadır (Baran, 1993).

Entropi yoğunluğu (IE) yönteminin Gediz Havzası'nda yer alan 44 yağış gözlem istasyonunun aylık toplam yağış değerleri kullanılarak uygulanması sonucunda, havza için uzun süreli yağış gözlemlerinin alansal olarak belirlenmesi amaçlanmıştır.

Sunulan çalışma kapsamında, aylık yağış yoğunlukları (aylık toplam yağış miktarı) rastgele bir değişken olarak düşünülmüş; değişkenin seçilen bir zaman periyodundaki görülme sıklığı (frekans) ile aylık yağış yoğunluğu arasındaki ilişki, entropi tabanlı ifadelerle tanımlanmıştır. Böylece hesaplanan entropi değerleri, entropi yoğunluğu (intensity entropy - IE) olarak da adlandırılmaktadır.

Entropi yoğunluğu – ortalama yıllık toplam yağış arasındaki çevirme bağıntıları doğrusal ve logaritmik ilişki için incelenmiş ve Surfer programı kullanılarak eş yağış haritaları elde edilmiştir. Entropi yoğunluğu ve ortalama yıllık toplam yağış değerlerine ait haritalar kıyaslanarak sonuçlar desteklenmiştir.

2. GEDİZ HAVZASI

2.1. Genel Özellikleri

Gediz havzası Türkiye'nin batısında Ege bölgesi sınırları içinde bulunur. Havzanın kuzeyinde Kuzey Ege (Bakırçay) ve Susurluk havzaları, güneyinde Küçük ve Büyük Menderes havzaları bulunur. Gediz havzasının yıllık ortalama yağışı 635 mm civarındadır. Ortalama olarak yıllık yağışın % 75'i Aralık ile Nisan ayları arasındaki 5 aylık dönemde düşer (DSİ, 2005).

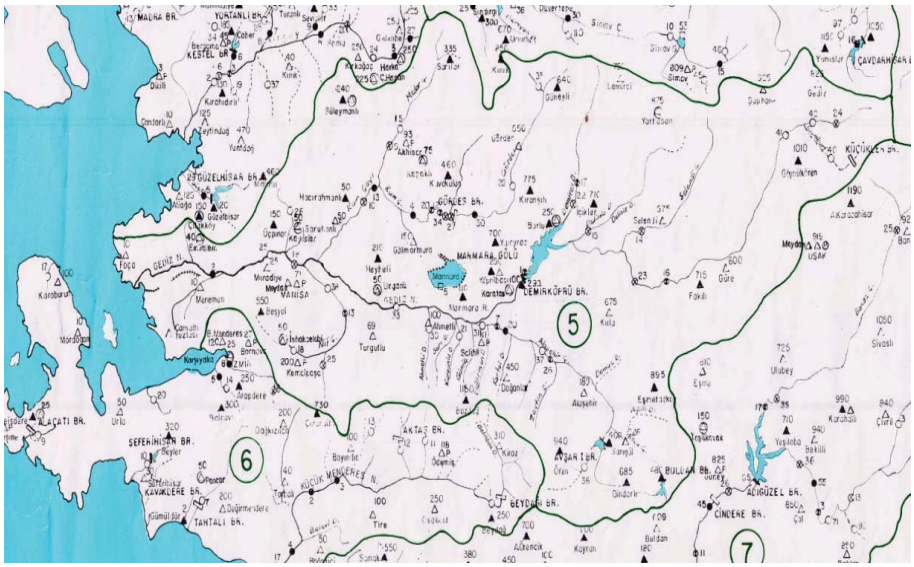
Gediz havzası sahip olduğu 17.500 km^2 drenaj alanı ve 2 km^3 brüt yıllık yüzeysel su potansiyeli değerleriyle, Türkiye'deki 26 ana akarsu havzası içinde drenaj alanı açısından 20., su potansiyeli açısından ise 18. sırada yer almaktadır. Bu değerler, oransal olarak ülke yüzölçümünün % 2,2'sini su potansiyelinin % 1,1'ini oluşturmaktadır (Baran ve diğ., 2006).

Sulak alanlar yeryüzündeki başka ekosistemlerle karşılanamayacak işlev ve değerlere sahiptir. Derinlikleri genelde 6 metreye kadar olan sığ göl, lâgün, deltalar, korunaklı kıyılar, su dolaşımına sınırlı olan bölgeler sulak alan olarak nitelendirilmektedir. Sulak alanlar, yerli ve kıtadan kıtaya göç eden milyonlarca göçmen kuşun okyanusları aşmadan önce yumurtlama, yavru çıkarma ve mevsimlik yaşam alanları olduğu için, ekolojik açıdan son derece önemli habitatlardır. Tüm dünyadaki sulak alanların korunması amacıyla İran'ın Ramsar kentinde 2 Şubat 1971 tarihinde Ramsar Sözleşmesi olarak da bilinen "Sulak Alanların Korunması Sözleşmesi" imzalanmıştır (İzmir İl Çevre ve Orman Müdürlüğü, 2006).

Gediz Nehir Havzası, İzmir Büyükşehir Belediyesi sınırları içinde yer alan en önemli su havzalarından birisidir. Gediz Nehri hem havzanın hem de İzmir metropolünün içme ve kullanma suyu ihtiyacını karşılamaktadır. Gediz deltası ve sulak alanı (205 kuş ve 308 bitki türünü barındıran İzmir Kuş Cenneti) yasa ile koruma altına alınmış; 1997'de Ramsar Anlaşması kapsamına dahil edilmiş bir alan olması bakımından da ayrı bir önem taşımaktadır (ÇMO, 2009).

2.2. Meteorolojik Ölçüm İstasyonları

Bu çalışmada kullanılmak üzere Devlet Su İşleri (DSİ) ve Devlet Meteoroloji İşleri (DMİ) tarafından işletilen (Şekil 1) 44 adet gözlem istasyonunun aylık toplam yağış verileri kullanılmıştır. İncelenen istasyonların gözlem değerlerine ait temel istatistik parametreler Çizelge 1 ve 2'de sunulmuştur.



Şekil 1. Gediz havzası haritası

Her bir istasyonda hem ay hem de yıl bazında temel istatistik parametreleri hesaplanmış olmasına rağmen ay bazında hesaplanan değerlerin sunulmasına gerek görülmemiştir. Gerek görülen istasyonlarda homojenlik kontrolleri yapılmıştır. Ayrıca uzun süreli yağışların gözlemlendiği istasyonlar için yıllık toplam ve aylık toplam yağış değerleri için gidiş analizleri gerçekleştirilmiştir. Değerlendirilen 12 istasyonun beşinde çok düşük mertebelerde azalma eğilimi olduğu görülmüştür (Baran, Temiz, 2009).

3. YÖNTEM

"Bilgi Kuramı"nda tanımlanan, "kazanılan bilgi ≡ giderilen belirsizlik" anlamını taşıyan entropi kavramı rastgele karakterdeki hidrolojik süreçlerin içerdiği belirsizliğin ölçüsü olarak yaygın kullanım alanı bulmuştur.

Entropi yöntemi hidrolojide etkin parametre tahmininden, uygun model seçimine kadar geniş bir alanda kullanılmaktadır.

Shannon tarafından $p_1, p_2, \ldots, p_n$ olasılık seti için tanımlanan entropi (H) değeri

$$H = -\sum_{i=1}^{n} p_i \log p_i \qquad (1)$$

Çizelge 1. DSİ' ye ait yıllık toplam yağış değerlerinin temel istatistik parametreleri

İstasyon Adı	İstasyon Numarası	Yükselti (m)	Ortalama (mm/yıl)	Standard Sapma (mm/yıl)	Değişkenlik C_v	Çarpıklık C_s	Basıklık E
Avşar barajı	05-026	275	430,53	75,55	% 17,54	-0,039	-1,314
Beşyol	05-022	530	772,68	183,39	% 23,73	0,563	-0,061
Bozdağ	05-021	1150	1258,62	338,44	% 26,88	1,014	1,600
Buldan barajı	05-027	470	468,34	95,07	% 20,30	0,486	-0,625
Çınardibi	05-015	705	932,89	215,89	% 23,14	0,486	0,520
Demirköprü	05-003	290	486,65	101,40	% 20,83	0,009	-0,576
Dindarlı	05-006	685	455,36	96,10	% 21,10	0,298	0,045
Doğanlar	05-014	650	630,46	152,52	% 24,19	0,323	0,497
Eşmataşköyü	05-001	930	468,62	97,70	% 20,84	0,754	0,293
Fakılı	05-012	715	447,13	77,95	% 17,43	0,436	-0,755
Göynükören	05-004	1020	467,92	133,60	% 28,55	-0,264	-0,290
Hacırahmanlı	05-002	45	483,33	108,81	% 22,51	0,778	1,084
Hanya	05-010	640	634,88	157,95	% 24,88	0,231	-0,243
İçikler	05-018	710	568,13	131,65	% 23,17	0,253	-0,742
Kavakalan	05-011	460	625,48	145,26	% 23,22	0,579	1,019
Kıranşıh	05-016	670	589,24	124,79	% 21,17	0,320	-0,323
MarmaraGölü	05-023	75	435,22	77,01	% 17,69	0,227	-0,239
Ören	05-020	940	735,21	256,56	% 34,89	-0,212	0,731
Sarılar	05-008	340	595,22	146,70	% 24,64	0,519	0,273
Süleymanköy	05-009	240	472,56	99,52	% 21,06	0,231	-0,708
Üçpınar	05-007	100	547,92	165,78	% 30,25	0,570	0,045
Yukarı Poyraz	05-013	630	588,52	115,66	% 19,65	0,727	0,611
ORTALAMA			595,22	140,79	% 23,08	0,377	0,038

denklem (1)'deki ifade ile hesaplanmaktadır. Aylık yağışın yoğunluğu (veya toplamı) rasgele bir değişken olarak dikkate alındığında ve bir yağış serisi içersinde oluşma olasılığının p_i gibi bir değer alması durumunda, bir istasyondaki entropi yoğunluğu (IE) değeri belirlenebilmektedir. Belirli bir istasyon için p_i olasılıkları, bu istasyondaki mevcut tüm aylık yağış değerleri ve bu değerlerin oluşma olasılıkları dikkate alınarak kesikli hal için tanımlanmıştır. IE aşağıdaki adımlar takip edilerek hesaplanmaktadır:

(1) Her bir istasyon için aylık toplam yağış dizilerinde aylık gözlem eksiği bulunmayan yıllar bir araya getirilmektedir. Daha sonra 12xN sayıdaki aylık yağış değerleri herhangi bir seri özelliği olmaksızın bir veri seti oluşturacak şekilde sıralanır.

(2) Aylık toplam yağış değerlerinin yer aldığı bu dizi veri sayısına göre belirlenen k adet sınıf aralığı dikkate alınarak sınıflandırılır.

(3) Her sınıf için mutlak frekans (f_i)değeri hesaplanıp, dağılım tablosu oluşturulur.

(4) Aylık yağış değerlerinin tamamı için kesikli haldeki bir olasılık yoğunluk fonksiyonu elde edebilmek için her bir aralıkta nisbi frekans (f_i/N) değerleri hesaplanır.

(5) Aylık toplam yağış değerlerinin yer aldığı bu dizi veri sayısına göre belirlenen k adet sınıf aralığı dikkate alınarak sınıflandırılır.

(6) Her sınıf için mutlak frekans (f_i)değeri hesaplanıp, dağılım tablosu oluşturulur.

(7) Aylık yağış değerlerinin tamamı için kesikli haldeki bir olasılık yoğunluk fonksiyonu elde edebilmek için her bir aralıkta nisbi frekans (f_i/N) değerleri hesaplanır.

Çizelge 2. DMİ' ye ait yıllık toplam yağış değerlerinin temel istatistik parametreleri

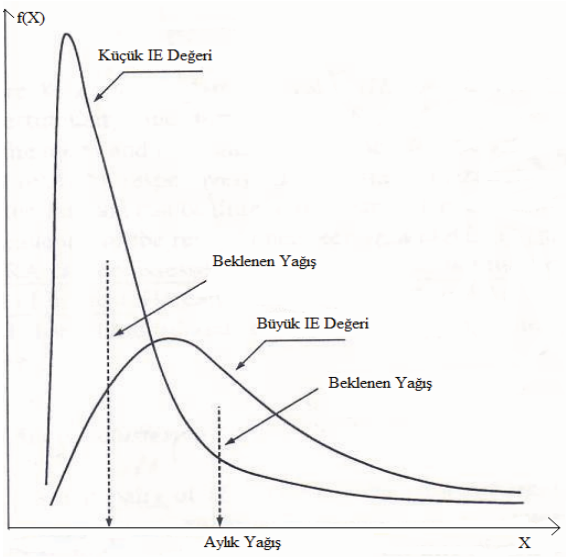
İstasyon Adı	İstasyon Numarası	Yükselti (m)	Ortalama (mm/yıl)	Standard Sapma (mm/yıl)	Değişkenlik C_v	Çarpıklık C_s	Basıklık E
Ahmetli	5617	100	485,65	125,12	% 25,76	-1,204	2,600
Akhisar	17184	93	588,76	132,87	% 22,56	0,464	-0,198
Alaşehir	5974	189	482,87	111,77	% 23,14	0,387	-0,631
Borlu		250	541,12	100,46	% 18,56	0,242	-0,189
Demirci	17746	851	646,55	143,30	% 22,16	-0,014	-0,708
Foça	5434	10	552,39	115,75	% 20,95	0,051	0,040
Gediz	17750	825	602,37	119,54	% 19,84	0,202	-0,531
Gölmarmara	5273	150	546,22	129,23	% 23,65	0,602	-0,018
Gördes	4930	550	638,46	151,61	% 23,74	0,473	0,860
Güre	5458	650	452,26	78,89	% 17,44	0,105	-1,282
Kemalpaşa	5785	200	1071,88	405,50	% 37,83	2,347	7,311
Köprübaşı	5278	250	447,80	94,63	% 21,13	0,415	0,418
Kula	5624	675	590,44	142,36	% 24,11	0,578	0,033
Manisa	17186	71	727,03	162,75	% 22,38	0,514	-0,024
Menemen	9020	10	537,57	144,89	% 26,95	0,556	0,031
Muradiye	5440	25	648,65	160,36	% 24,72	0,196	-0,388
Salihli	17792	111	489,44	98,32	% 20,09	0,485	0,109
Sarıgöl	6143	225	486,71	99,40	% 20,42	0,250	-1,204
Saruhanlı	5269	50	454,73	92,09	% 20,25	1,197	1,651
Selendi	5282	575	514,41	110,21	% 21,42	0,199	-0,763
Şaphane	4765	925	677,84	112,28	% 16,56	0,272	-0,874
Turgutlu	5615	120	584,02	140,34	% 24,03	0,578	-0,098
ORTALAMA			580,33	135,08	% 22,62	0,404	0,279

IE entropi değeri bu rölatif frekanslar kullanılarak denklem (2) ile hesaplanabilmektedir:

$$IE = -\sum_{i=1}^{k}\left(\frac{f_i}{N}\right)\log_2\left(\frac{f_i}{N}\right) \qquad \text{(bit)} \qquad (2)$$

IE entropi değerinin birimi logaritma 2 tabanında kullandığından "bit" olmaktadır.

Çalışma kapsamında kullanılan, "Entropi yoğunluğu (IE)" kavramı yarı sonsuz aralıkta ($0 \leq IE < \infty$) tanımlanmaktadır. Bu biçimiyle, IE değeri aylık yağış yoğunluğunun düzensizliğini ifade etmekte kullanılan bir ölçüttür. Bir başka deyişle, daha az düzensiz yoğunluk değeri daha küçük bir IE değeri ile ölçülmekte; böylece aylık yağış değerinin frekans dağılımının daha çarpık olduğuna işaret etmektedir.
Yağış yoğunluğunun olasılık yoğunluk fonksiyonu, yağışların negatif değer almamasından ötürü, her zaman sıfır orijin noktasının da dâhil olduğu pozitif bir eksende tanımlıdır. Dolayısıyla, IE değerinde artış olması, beklenen aylık toplam yağış değerinde bir artış beklentisi oluşturur (Şekil 2). Bir başka ifadeyle, IE değeri ile beklenen aylık toplam yağış miktarı arasında pozitif bir korelasyon bulunmaktadır. Bu sebeple, IE değeri toplam yağış miktarının göstergesi niteliğindedir (Maruyama ve diğ., 2005).



Şekil 2. Artan IE değeri ile artan beklenen yağış miktarı

Entropi yoğunluğu (IE) yönteminin kullanılmasının avantajlarından birisi, değerlendirilen veri dizisinde eksik yılların tamamlanmasının gerekmemesidir. Verilerin aynı topluma ait olmaları durumunda, çeşitli nedenlerle ölçüm/değerlendirme yapılamamış olması halinde eksik yıllar için herhangi bir uzatma/tamamlama işlemine gerek kalmaksızın IE değerleri hesaplanabilmektedir. Böylece, gözlenmiş verilerden bilgi kaybetmeksizin bölgesel bilgiye geçmek mümkün olmaktadır.

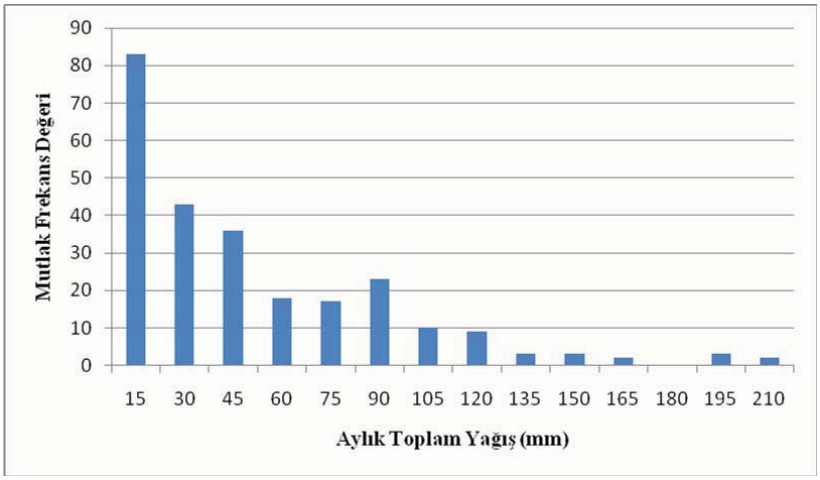
4. BULGULAR

4.1 Havzadaki DMİ Yağış Gözlem İstasyonları

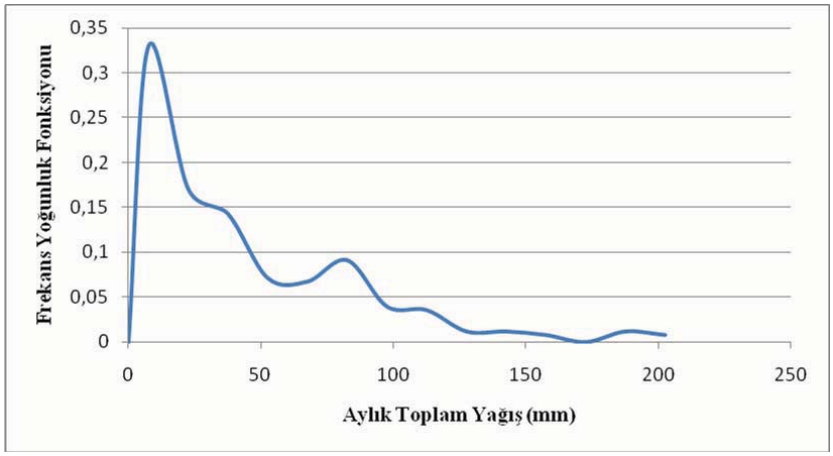
4.1.1 Genel Özellikler

Gediz Havzası'nda bulunan DMİ (Devlet Meteoroloji İşleri) 'ye ait olan yirmi üç yağış gözlem istasyonundan, Yarbasan sekiz yıl uzunluğundaki aylık toplam yağış gözlem değerlerine sahip olması nedeni ile entropi hesaplarında kullanılmamıştır. Değerlendirilen en uzun süreli gözlemler (76yıl x 12 ay) Akhisar ve Manisa, en kısa süreli gözlemler (18 yıl x 12 ay) Borlu istasyonuna aittir.

Çalışma kapsamında kullanılan bütün istasyonlar için frekans histogramı ve olasılık yoğunluk fonksiyonu değerleri hesaplanmış ve grafikleri çizilmiştir. Histogram gidişlerine örnek olarak DMİ' ye ait olan Ahmetli istasyonunun aylık toplam yağış yüksekliği için elde edilen mutlak frekans histogramı $\{f_i\}$ ve nisbi frekans $\{f_i/N\}$ kullanılarak hesaplanan frekans yoğunluğu değerleri sırasıyla Şekil 3 ve 4'te sunulmuştur.



Şekil 3. Ahmetli istasyonuna ait mutlak frekans histogramı



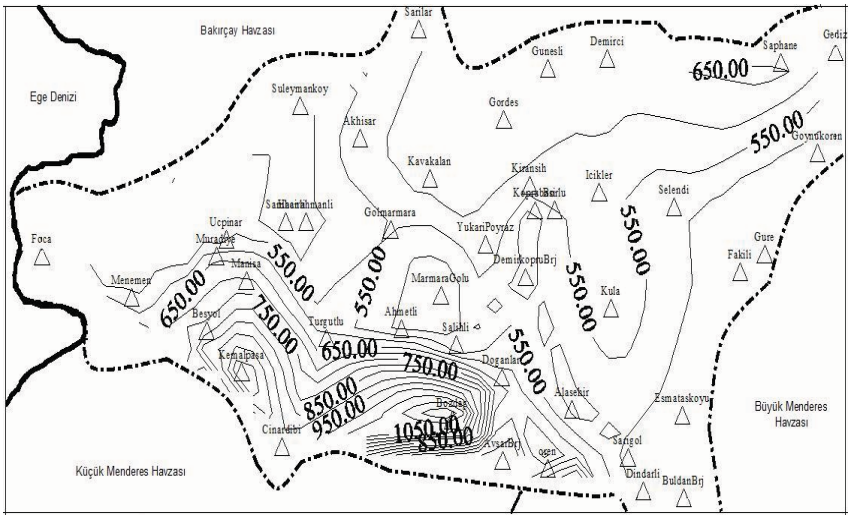
Şekil 4. Ahmetli istasyonuna ait frekans yoğunluk fonksiyonu

4.2 Havzadaki DSİ Yağış Gözlem İstasyonları

Değerlendirilen en uzun süreli gözlemler (45x12 ay) Kıranşıh, (44x12 ay) Bozdağ ve (44x12 ay) Üçpınar istasyonlarına, en kısa süreli gözlem ise (25x12 ay) Avşar Barajı istasyonuna aittir. Çalışma kapsamında kullanılan istasyonların altı adedinde gözlemlerde herhangi bir eksiklik söz konusu olmamakla birlikte geriye kalan 16 istasyonun gözlemlerinin bazı yılları bir takım gözlem hatalarından kaynaklı olarak eksiktir. Ancak entropi yoğunluğu hesabında, yıllar arası içsel bağımlılık olmadığı ve her verinin rastgele olduğu düşünülmektedir. Dolayısıyla, aylık bazda gözlem hatalarının veya eksikliklerin olduğu yıllar göz ardı edilerek, gözlem aralığı içinde dizide herhangi bir eksik yokmuş gibi mevcut gözlemlerle çalışılmıştır.

4.3 Eş Yağış Haritaları

DSİ ve DMİ' ye ait tüm yağış gözlem istasyonlarının yıllık toplam ortalama yağış değerlerinin ortalama, boyutlu ve boyutsuz standart sapmaları için hesaplanan dağılım haritaları çizilmiştir (Şekil 5, 6 ve 7). Eş yağış dağılım haritaları çizilirken her istasyonun mevcut gözlem sürelerindeki gözlenmiş yıllık toplam yağış değerlerinin ortalamaları dikkate alınmıştır.

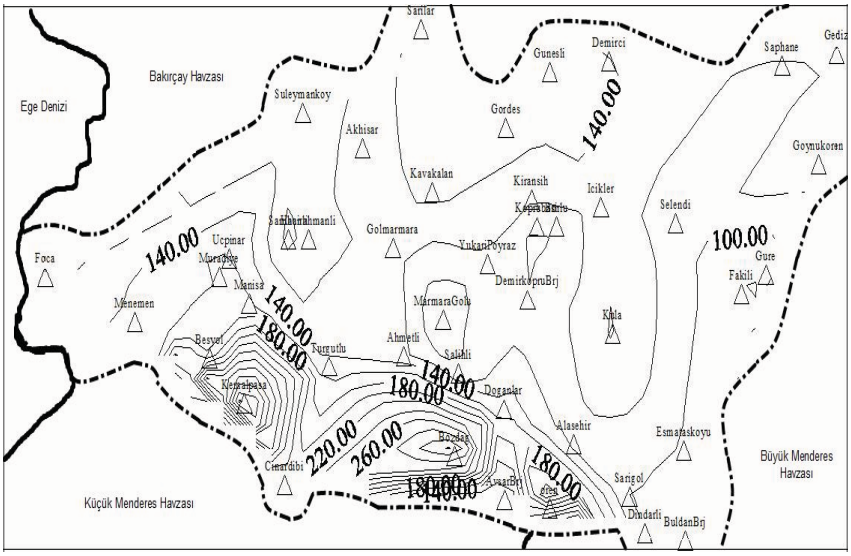


Şekil 5. Gediz havzası ortalama yıllık toplam yağış haritası

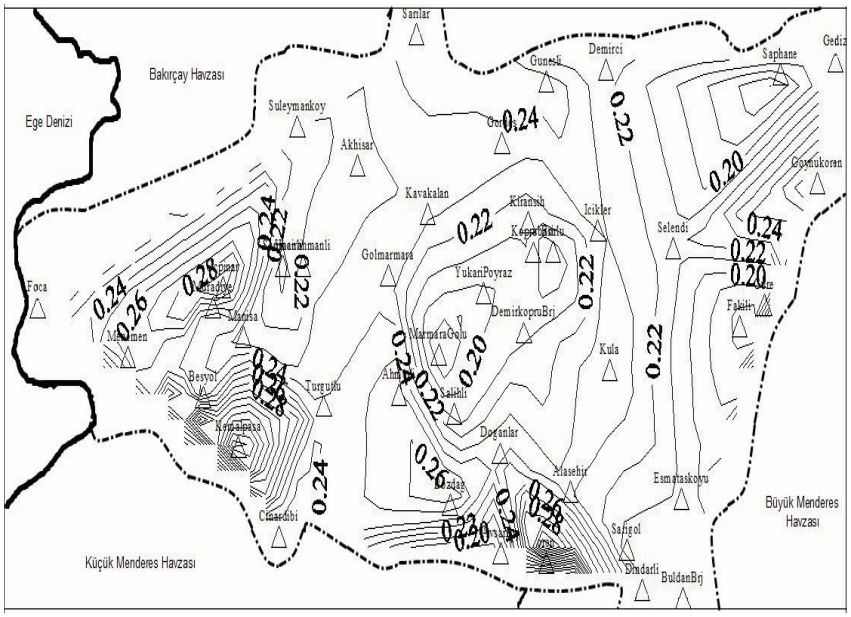
4.4 Eş Entropi Yoğunluğu Haritası

Aylık toplam yağışların frekans dağılımlarından hareketle hesaplanan entropi yoğunluğu (IE) değerlerinin, ortalama yıllık toplam yağış değerleriyle oldukça uyumlu olduğu belirlenmiştir (Çizelge 3). Entropi yoğunluğu – ortalama yıllık toplam yağış arasında çevirme bağıntıları doğrusal ve logaritmik ilişki için yüksek istatistiksel bağımlılık (r = 0,94) göstermektedir (Şekil 8).

Eş entropi yoğunluğu haritası çalışma kapsamında kullanılan 44 istasyona entropi yönteminin uygulanması sonucunda elde edilen entropi yoğunluğu (IE) değerleri kullanılarak, Surfer bilgisayar programı ile çizilmiştir (Şekil 9). Eş entropi yoğunluğu ile yıllık toplam ortalama yağış dağılım haritasının da beklendiği gibi oldukça benzer olduğu görülmüştür.



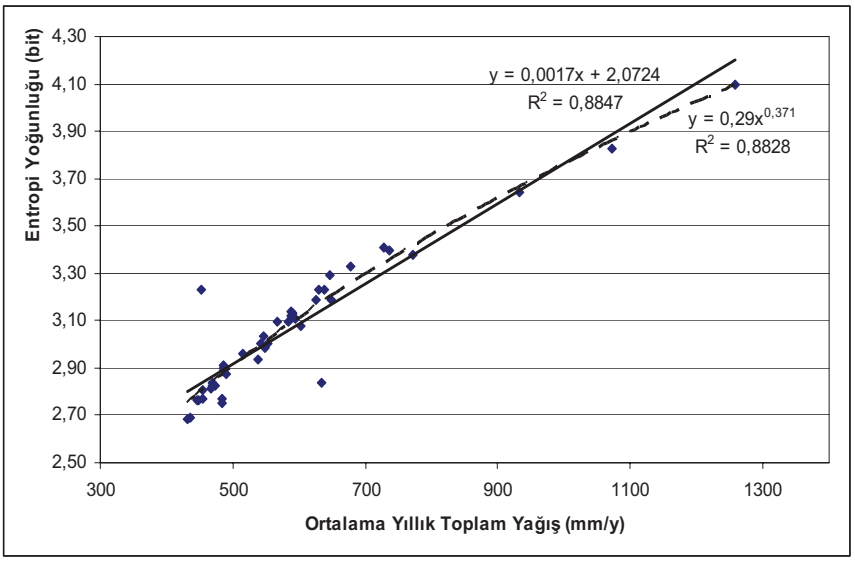
Şekil 6. Gediz havzası ortalama yıllık toplam yağışların standart sapmalarının ($\hat{S}$) dağılımı



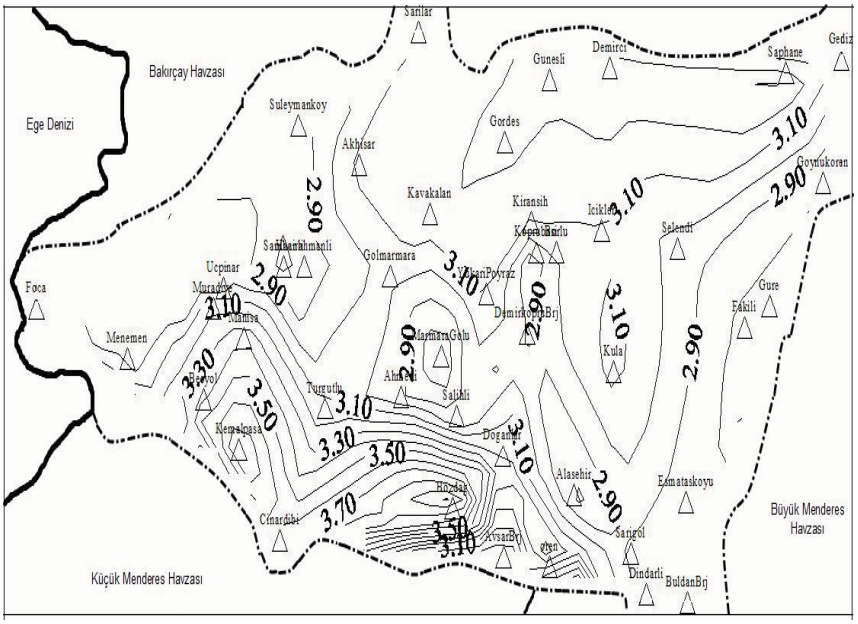
Şekil 7. Gediz havzası ortalama yıllık toplam yağışların boyutsuz standart sapmalarının ($\hat{C}_v$) dağılımı

Çizelge 3. İstasyonların ortalama yıllık toplam yağış ve entropi değerleri

İstasyon Adı	İstasyon No	Yükselti (m)	Uzun süreli Yıllık Toplam Yağış (mm/y)	Entropi yoğunluğu IE (bit)
Ahmetli	5617	100	485,57	2,90912
Akhisar	17184	93	588,76	3,13674
Alaşehir	5974	189	482,88	2,77125
Avşar barajı	05-026	275	430,54	2,68657
Beşyol	05-022	530	772,68	3,37585
Borlu	-	250	541,12	3,00417
Bozdağ	05-021	1150	1258,62	4,09863
Buldan barajı	05-027	470	468,34	2,82375
Çınardibi	05-015	705	932,89	3,64264
Demirci	17746	851	646,55	3,2918
Demirköprü brj	05-003	290	486,65	2,89912
Dindarlı	05-006	685	455,37	2,80739
Doğanlar	05-014	650	630,46	3,23309
Eşmataşköyü	05-001	930	468,63	2,83534
Fakılı	05-012	715	447,14	2,76293
Foça	5434	10	552,40	3,0019
Gediz	17750	825	602,37	3,07615
Gölmarmara	5273	150	546,23	3,03341
Gördes	4930	550	638,46	3,23147
Göynükören	05-004	1020	467,93	2,81097
Güre	5458	650	452,27	3,23301
Hacırahmanlı	05-002	45	483,33	2,75069
Hanya(Güneşli)	05-010	640	634,88	2,83542
İçikler	05-018	710	568,13	3,09853
Kavakalan	05-011	460	625,49	3,18795
Kemalpaşa	5785	200	1071,88	3,82961
Kıranşıh	05-016	670	589,25	3,12486
Köprübaşı	5278	250	447,80	2,76507
Kula	5624	675	590,45	3,13475
Manisa	17186	71	727,04	3,40959
MarmaraGölüReg.	05-023	75	435,23	2,69308
Menemen Topraksu	9020	10	537,57	2,93522
Muradiye	5440	25	648,65	3,19077
Ören	05-020	940	735,21	3,39603
Salihli	17792	111	489,44	2,87553
Sarıgöl	6143	225	486,72	2,88978
Sarılar	05-008	340	595,23	3,11083
Saruhanlı	5269	50	454,74	2,76973
Selendi	5282	575	514,42	2,96065
Süleymanköy	05-009	240	472,56	2,82831
Şaphane	4765	925	677,85	3,33051
Turgutlu	5615	120	584,02	3,09327
Üçpınar	05-007	100	547,93	2,98786
Yukarı Poyraz	05-013	630	588,53	3,1187



Şekil 8. Gediz havzası entropi yoğunluğu (IE) – ortalama yıllık toplam yağış ilişkisi



Şekil 9. Gediz havzası entropi yoğunluğu (IE) dağılımı

5. SONUÇ

Sunulan çalışmada, Gediz Havzası'nda DMİ ve DSİ tarafından işletilmekte olan 44 yağış gözlem istasyonunun aylık toplam yağış değerleri değerlendirilmiştir. Bu kapsamda, istasyonların aylık toplam yağış yükseklikleri için belirlenen frekans yoğunlukları yardımıyla entropi yoğunluğu (IE) değerleri belirlenmiştir. Havza için uzun dönemli ortalama aylık yağışları için beklenen değerlerini gösteren IE değerleriyle gözlem süresinde ortalama yıllık toplam yağış değerleri oldukça uyumlu görülmüştür. Entropi yoğunluğu – ortalama yıllık toplam yağış arasında beklendiği gibi yüksek istatistiksel bağımlılık tespit edilmiştir. Bu sebeple, IE değerleri toplam yağış miktarının tahmin edilmesi amacıyla kullanılabilmektedir.

Entropi yoğunluğu değerlerinin, farklı gözlem sürelerine sahip istasyonları havza genelinde değerlendirme olanağı vermesi, bölgesel değerlendirme yapılırken mevcut tüm gözlemlerin içerdiği bilginin kullanılması olanağı sunmaktadır. Entropi yoğunluğu değerlerinin, her istasyon için ayrı belirlenmiş olasılık kütle fonksiyonlarından hareketle hesaplanmış olması nedeniyle, IE değerlerinin uzun süreli beklenen aylık ortalama yağış değerlerini daha doğru gösterdiği, havzaya giren yağış miktarını hesaplamak için diğer yöntemlere kıyasla daha güvenilir olduğu söylenebilir.

Gediz havzası için yapılan bu çalışma sonucunda elde edilmiş uzun süreli yıllık toplam eşdeğeri entropi yoğunluğu değerler ve yağış-entropi yoğunluğu ilişkilerinden yararlanarak, havzada uzun süreli beklenen yıllık toplam yağış değerlerinin tahmini mümkündür. Yağış-akış ilişkilerinin de değerlendirilmesiyle bölgede su kaynaklarının planlanması, geliştirilmesi ve nihayet yönetiminde daha güvenilir kararlar almak mümkün olacaktır.

6. KAYNAKLAR

Baran T, "Hidrolojik süreçlerin bilgi içeriğindeki değişim miktarı olarak entropi tanımı", Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, 1993.

Baran T, Temiz Ö, "Gediz Havzası Yağışlarının Eğilim Analizi", IV. Ulusal Su Mühendisliği Sempozyumu, DSİ, İstanbul, 241-251, 2009.

Baran T, Dalkılıç Y, Özdemir Y, Öziş Ü, "Türkiye'nin Su Kuvveti Potansiyelinin Belirlenmesindeki Aşamalar ve Gelişmeler", Türkiye 10. Enerji Kongresi, Dünya'da ve Türkiye'de Enerji-Uygulamalar ve Sorunlar, İstanbul, 211-222, 2006.

Çevre Mühendisleri Odası İzmir Şubesi, "İzmir Çevre Durum Raporu", 2009.

Devlet Su İşleri II. Bölge Müdürlüğü-İzmir, "Gediz havzası çevre master planı", 2005.

İzmir İl Çevre ve Orman Müdürlüğü, "2006 Yılı İzmir İl Çevre Durum Raporu", 2006.

Maruyama T, Kawachi T, Singh VP, "Entropy-based assessment and clustering of potential water resources availability", Journal of Hydrology, 309, 104-113, 2005.

Taban Akışı İndeksi ile Düşük Akım Karakteristikleri Arasındaki İlişkiler

Ertuğrul Benzeden [1], Emre Köken [2]

Özet: Debi-sürek eğrisine dayalı düşük akım indeksleri akım rejiminin, düşük akımların değişkenliğinin ve toplam akışa taban akışı katkısının yorumlanmasında sıkça kullanılmaktadır. Taban akışı indeksleri (*TAİ*) ise akarsu akış potansiyeli üzerinde jeolojik faktörlerin etkisini yansıtan iyi bir göstergedir. Bu bildirinin temel amacı bu iki tür düşük akım indeksi arasındaki ilişkileri incelemek ve ileride yapılacak araştırmalarda kullanılma potansiyellerini irdelemektir.

Çalışmada Dicle havzsındaki 49 istasyonda 7-günlük en düşük yıllık ortalama akışlar (*Q7MIN*), debi-sürek eğrilerine dayanan *Q95, Q90/Q50, Q90/Q20* gibi indeksler ile, *Yuvarlatılmış Minimumlar (YM)* ve *Sayısal Filtreleme (SF)* yöntemleri kullanılarak sürekli taban akışı indeksleri (*TAIYM ve TAISF*) hesaplanmıştır. Yapılan korelasyon ve regresyon analizleri, gerek iki tür taban akışı indeksi arasında, gerekse de taban akışı indeksleriyle diğer indeksler arasında güçlü doğrusal ilişkiler bulunduğunu göstermiştir. Bu sonuca rağmen, düşük akımlar hakkında daha fazla bilgi edinmek için her tür düşük akım indeksini kullanmak gerektiği de unutulmamalıdır.

Anahtar Sözcükler: Taban Akışı İndeksleri (*TAİ*); Düşük Akım Karakteristikleri; Dicle Havzası; Yuvarlatılmış Minimumlar; Sayısal Filtreleme

Interrelations Between Baseflow Indices and Low-Flow Characteristics

Abstract: Low-flow indices derived from flow-duration curves are commonly used in low-flow hydrology for the interpretation of flow regimes, variability of low flows, and baseflow contributions. Baseflow indices were found to be good indicators in measuring the effect of geology on streamflow potential. The basic objective of this paper is to assess interrelations between these two kind of indices and to discuss their potential use in future research.

In this research, low-flow indices, such as 7-day mean annual minimum flows (*Q7MIN*), and *Q95, Q90/Q50*, and *Q90/Q20* derived from flow-duration curves of 49 streamgaging stations in the Tigris basin, as well as the baseflow indices computed by

[1] Dokuz Eylül Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İzmir, E-Posta: ertugrul.benzeden@deu.edu.tr

[2] UIC Civil and Materials Eng. Dept., Chicago - USA, E-Posta: ek3048@hotmail.com

methods of *Smoothed Minima* and R*ecursive Digital Filtering* were estimated. Correlation and regression analyses revealed that the two kinds of baseflow indices are strongly linearly related, and further the baseflow indices of digital filter were also significantly linearly related to the low-flow characteristics. It should be stressed, however, that use of all variety of different low-flow indices will be more informative in low-flow studies.

Keywords: Base Flow Indices (*BFI*); Low-Flow Characteristics; The Tigris Basin; Smoothed Minima; Recursive Digital Filtering

1. GİRİŞ

Su kaynaklarının değerlendirilmesi, doğal sucul yaşamın korunması ve su kalitesinin kontrolu ile ilgili çalışmalarda çeşitli *düşük akım karakteristikleri* kullanılmaktadır. İstasyonlardaki günlük (veya d-günlük) akış gözlemlerinden elde edilen bu karakteristikler bölgesel analiz çalışmalarında ortalama akışla (Q_o) bölünerek, veya biri diğerine oranlanarak boyutsuzlaştırılmaktadır. Örneğin, günlük akışların debi-sürek eğrisinden rasat süresinin %20, %50, %90, %95 inde aşılması beklenen debiler istasyon ortalaması (Q_o) ile bölünerek, o istasyona özgü boyutsuz *Q20, Q50, Q90, Q95* değerleri elde edilmektedir. Ya da bu değerler birbirine oranlanarak *Q90/Q50* ve *Q90/Q20* gibi boyutsuz karakteristikler tanımlanmaktadır.

Yukarıda sözü edilen boyutsuz düşük akış karakteristiklerinden *Q20/Q90* akarsu akışlarının değişkenliğinin, *Q50/Q90* düşük akışların değişkenliğinin, *Q90/Q50* ve *Q90/Q20* taban akışı katkısının bir ölçüsüdür (Arihood ve Glatfelter 1991; Smakhtin 2001). Rasat süresindeki 7-günlük en düşük yıllık ortalama akış (Q7MIN) düşük akımların bölgesel frekans analizinde, *Q95* ise debi-sürek eğrilerinin tipleştirilmesinde kullanılan kilit bir karakteristiktir (IH 1980; Smakhtin 2001; Bayazıt ve Önöz 2008).

Akarsulardaki taban akışları yeraltısuyu haznelerinden, yüzeyaltı sığ zemin depolamasından, kar ve buzul erimelerinden beslenirler. Akarsularda düşük akım dönemlerinde akan suyun büyük bölümünü taban akışları oluşturur. Rasat dönemindeki ortalama taban akışının (B_o) ortalama toplam akışa (Q_o) oranı olarak tanımlanan *taban akışı indeksi* ($TAİ = B_o / Q_o$) havza jeolojik yapısının düşük akımlar üzerindeki etkisini yansıtan bir ölçüttür (IH 1980; Nathan 1990; Gustard ve diğ. 1992).

1.1. Konunun Literatürdeki Yeri

Literatürde düşük akımlarla ilgili çalışmaların büyük bölümü *düşük akımların frekans analizi ve bölgeselleştirilmesi* konusundadır. Düşük akım hidrolojisi konusunda 2000 yılına kadar değişik alanlarda yapılmış başlıca uluslar arası çalışmalar Smakhtin (2001) tarafından hem kronolojik olarak hem de konularına göre düzenlenerek özetlenmiştir. Smakthin (2001), o güne kadar yapılmış bir çok çalışmada düşük akım karakteristikleri arasında anlamlı ilişkiler görüldüğünü rapor etmiştir. Bu bildiride, İngiltere Hidroloji Enstitüsü'nün 1980 yılındaki (IH 1980) ve 1992 yılındaki (Gustard ve diğ. 1992) düşük akım çalışmalarından; Nathan'ın doktora tezinden (Nathan 1990) ve tez yöneticisiyle birlikte sundukları makaleden (Nathan ve McMahon 1990) doğrudan yararlanılmıştır.

1.2. Türkiye'de Konuyla İlgili Çalışmalar

Türkiye'de düşük akımlarla ilgili çalışmaların büyük bölümü *düşük akımların bölgesel frekans analizi* niteliğindedir (Bulu ve Önöz 1997; Durak 2000). Bildiri konusuyla yakından ilgili bir çalışmada Aksoy ve Kurt (2007), *YM* ve *SF* yöntemlerinin ardarda uygulanması niteliğinde olan *karma bir taban akışı ayırma yöntemini* Filyos akışlarında denemişlerdir.

Türkiye'de düşük akım karakteristiklerinin bölgeselleştirilmesi konusunda belki de en kapsamlı çalışma Köken (2009) tarafından gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada, Dicle havzası için kurak akış tahminlerinde kullanılabilecek bölgesel regresif bağıntılar, boyutsuz debi-sürek eğrileri, lognormal ve gamma tabanlı bölgesel frekans dağılım eğrileri geliştirilmiştir.

Dicle havzası ile ilgili diğer bir çalışmada Kırmızıtoprak (2010), en az 15 yıl rasadı bulunan 20 istasyonda 1, 7, 30 günlük yıllık en düşük akışlar (*MAM1, MAM7, MAM30*) ve yılın %95'inde aşılan akışlar (*Q95*) arasındaki karşılıklı ilişkileri; ayrıca, bu tür bir yıla özgü düşük akış karakteristiklerinin yıllık akışlılıkla ilişkili olup olmadığını araştırmıştır. Çalışmada, adı geçen karakteristiklerin çoğu istasyonda akışlılıktan bağımsız olduğu; buna karşılık yıla özgü karakteristikler arasında basit orantı kuralına dahi uyan doğrusal bağımlılıklar bulunduğu saptanmıştır.

2. YÖNTEMLER

2.1. Düşük Akım Karakteristikleri

Bu çalışmada kullanılan biçimiyle debi-sürek eğrileri, bir istasyon kesitinde rasat süresi boyunca gözlenmiş günlük akışların büyükten küçüğe doğru sıralandıktan sonra rasat süresi ile bölünmüş boyutsuz bir zaman eksenine (zamanın yüzdesi) noktalanması ile elde edilen eğrilerdir. Eklenik olasılık eğrisinden çok farklı olan bu eğriler, akarsudaki debilerin aşılma frekanslarını veren grafiksel bir araçtır. Bu işlevinin yanı sıra debi-sürek eğrileri akarsuyun akış rejimi, akışların değişkenliği, beslenme ve düzenlenme koşulları hakkında da önemli bilgiler içerir (Arihood ve Glatfelter 1991; Mosley ve McKerchar 1993; Smakthin 2001). Bu çalışmada kullanılan Q90/Q50 ve *Q90/Q20* ölçütleri doğal olarak boyutsuzdur. *Q7MIN* ve *Q95* ise ortalama akışla (*Qo*) bölünerek boyutsuzlaştırılmış ölçütlerdir.

2.2. Taban Akışı İndeksleri

Hidroloji ve su kaynakları açısından çok önemli olmasına karşın akarsularda taban akışlarını sürekli biçimde ve yeter doğrulukta hesaplayan yöntemler henüz geliştirilememiştir. Bu sorunun altında yatan temel neden ise, taban akışlarının ve yüzeysel akışların ayrı ayrı ölçülememesidir. Bu yüzden, hangi yöntem olursa olsun, önerilen bir yöntemin gerçek durumla ne ölçüde uyumlu tahminlar verdiği bilinememektedir. Sürekli taban akışını ayırmak üzere literatürde önerilen başlıca iki yöntem bulunmaktadır: (1) *Yuvarlatılmış Minimumlar (YM)* yöntemi (IH 1980; Gustard ve diğ. 1992) ve (2) *Sayısal Filtreleme (SF)* yöntemi (Nathan ve McMahon 1990).

Toplam akışlardan taban akışının ayrılmasında uygulanan *YM* yönteminde, akış serisi birbiriyle örtüşmeyen beşer günlük alt guruplara ayrılmakta; ardışık alt gurup minimumları irdelenerek dönüm noktaları bulunmakta ve bu noktalar birleştirilerek taban akışı poligonu oluşturulmaktadır (IH 1980; Gustard ve diğ.1992).

Toplam akış içindeki düşük frekanslı taban akışı bileşenlerini süzerek yüksek frekanslı akış bileşenlerinin korunmasını sağlayan *SF* yönteminde (Nathan 1990; Nathan ve McMahon 1990; Hughes ve diğ. 2003; Aksoy ve Kurt 2007) filtreleme işlemi, akış serilerine (1) ve (2) bağıntılarının ileri, geri ve tekrar ileri olmak üzere üç aşamada uygulanmasıyla gerçekleştirilmektedir.

$$f_t = \alpha f_{t-1} + \frac{1+\alpha}{2}(y_t - y_{t-1}) \tag{1}$$

$$b_t = y_t - f_t \tag{2}$$

Bu bağıntılarda $\boldsymbol{\alpha}$ filtre parametresi olup, ***f*** yüksek frekanslı (yüzeysel akış) bileşenleri; ***b*** düşük frekanslı (taban akışı) bileşenleri; ***y*** ilk filtrelemede toplam akışları, geriye ve ileriye filtrelemede ise bir önceki aşamada elde edilmiş taban akışlarını temsil etmektedir. Literatürde filtre parametresinin 0.90 – 0.95 aralığında (tercihen 0.925) seçilebileceği belirtilmektedir (Nathan ve McMahon 1990). Yukarıdaki (1) bağıntısı,

$$\alpha = (2K-1)/(2K+1) \tag{3}$$

olmak üzere, depolama katsayısı ***K*** olan büyük bir (lineer) haznede taşkın giriş hidrografının ötelenmesi bağıntısı ile örtüşmektedir.

3. VERİLER VE UYGULAMA

Fırat nehrinden sonra, Türkiyenin güneydoğusunda ikinci büyük akarsu olan Dicle nehri ve onun bir kolu olan Zap suyu yaklaşık 58000 km^2 drenaj alanına sahiptir. Dicle ve Zap'ın 20 km^3/yıl civarındaki akımları Türkiye su potansiyelinin %11'ini oluşturur (Özdemir ve Öziş 2000). Dicle havzasında 1945 lerden başlayarak 80'den fazla istasyon açılmışsa da, düşük akım hidrolojisi açısından gözlemleri değerlendirilebilecek istasyon sayısı 56'dır. Bu istasyonların bazıları diğer bir istasyonun devamı niteliğindedir. Bu nedenle, 2619 ile 26-04, 2618 ile 26-03, 2609 ile 26-33, 2622 ile 26-43 birleştirilmiştir. Bir kaç istasyonun 5 yıldan daha uzun gözlemi mevcut ise de, gözlemlerdeki tutarsızlıklar nedeniyle çalışmada kullanılmamıştır. Sonuçta, Köken (2009)'da olduğu gibi, bu çalışmada da en az 5 yıl sürekli ölçüm yapılan 49 istasyonun günlük akış gözlemleri değerlendirilmiştir.

Çizelge 1'de istasyonların kısaltılmış kod adları, numaraları, rasat uzunlukları (*N*), rasat dönemindeki ortalama akışları (Q_o), boyutsuz *Q7MIN* değerleri, debi-sürek eğrilerinden hesaplanan boyutsuz *Q20, Q50, Q90, Q95* değerleri; *YM* yöntemiyle (*TAİYM*) ve üç farklı $\boldsymbol{\alpha}$ değeri için *SF* yöntemiyle hesaplanmış (*TAİSF*) taban akışı indeksleri topluca sunulmuştur (Köken 2009).

Çizelge 1: Dicle istasyonlarının boyutsuz düşük akım ve *TAİ* karakteristikleri

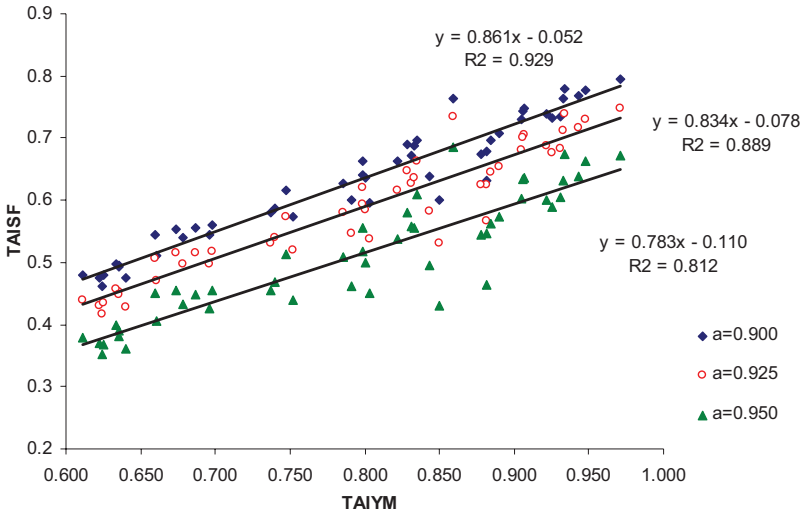
İstasyon Kodu	İst. No	N yıl	Qo m^3/s	Q7MİN	Q20	Q50	Q90	Q95	TAİYM	TAİSF (α)		
										0.900	0.925	0.950
CAYO	2617	26	24.19	0.056	1.567	0.345	0.065	0.052	0.678	0.540	0.498	0.432
BKOP	26-02	6	31.88	0.040	1.694	0.408	0.056	0.035	0.687	0.555	0.515	0.449
CAYB	2632	9	28.02	0.077	1.585	0.375	0.099	0.071	0.698	0.560	0.518	0.454
VERD	26-35	5	20.65	0.063	1.740	0.391	0.067	0.020	0.696	0.544	0.497	0.425
YOLK	26-62	10	0.81	0.025	1.243	0.275	0.042	0.019	0.622	0.474	0.431	0.369
DIYA	2605	47	70.74	0.121	1.480	0.386	0.126	0.101	0.660	0.544	0.507	0.450
CINA	2619	24	2.36	0.129	1.315	0.433	0.126	0.081	0.747	0.615	0.574	0.513
HANI	26-39	12	2.91	0.070	1.544	0.237	0.086	0.062	0.661	0.511	0.470	0.406
KBAS	2618	36	7.68	0.031	1.400	0.247	0.033	0.008	0.635	0.495	0.453	0.390
YASN	26-14	14	1.14	0.008	1.270	0.158	0.006	0.002	0.624	0.461	0.417	0.353
MEHM	26-40	16	0.44	0.080	1.080	0.545	0.036	0.005	0.674	0.554	0.515	0.455
KHAN	26-32	14	1.94	0.008	1.410	0.222	0.001	0.000	0.640	0.474	0.429	0.362
AHMD	26-19	5	2.84	0.323	1.370	0.880	0.306	0.169	0.859	0.763	0.734	0.686
SALA	26-12	15	3.76	0.015	1.220	0.364	0.006	0.000	0.611	0.480	0.440	0.380
KULP	26-52	5	26.04	0.037	1.460	0.300	0.046	0.035	0.634	0.497	0.458	0.398
TASK	26-50	5	24.15	0.064	1.700	0.286	0.075	0.041	0.635	0.492	0.448	0.382
TASL	26-42	7	13.73	0.045	1.893	0.443	0.073	0.054	0.800	0.636	0.585	0.499
MALA	2612	32	127.55	0.047	1.770	0.445	0.053	0.048	0.740	0.586	0.540	0.469
SINA	2602	21	144.23	0.113	1.574	0.547	0.067	0.044	0.799	0.663	0.621	0.555
BOGZ	26-57	5	8.58	0.084	1.516	0.361	0.090	0.076	0.803	0.596	0.537	0.450
KOZL	26-24	13	25.47	0.084	1.688	0.369	0.094	0.073	0.791	0.601	0.546	0.461
GKOP	2634	6	37.12	0.077	1.694	0.339	0.086	0.076	0.737	0.580	0.531	0.456
BESI	2603	56	48.45	0.058	1.620	0.322	0.061	0.048	0.752	0.573	0.520	0.439
KARN	2616	6	12.08	0.218	1.490	0.445	0.227	0.195	0.882	0.679	0.626	0.546
BAYK	2610	51	18.74	0.147	1.550	0.409	0.158	0.139	0.786	0.628	0.581	0.508
KUSC	26-28	14	4.02	0.354	1.344	0.597	0.323	0.261	0.907	0.748	0.705	0.636
PINA	2624	35	20.08	0.133	1.549	0.422	0.147	0.120	0.799	0.641	0.593	0.518
BAHC	26-51	10	15.94	0.420	1.318	0.540	0.414	0.414	0.948	0.776	0.731	0.664
BEGE	2615	8	19.11	0.396	1.502	0.555	0.423	0.366	0.934	0.779	0.739	0.674
CATA	2609	16	26.13	0.292	1.615	0.524	0.295	0.256	0.943	0.767	0.717	0.639
CAT3	2614	5	4.69	0.345	1.550	0.633	0.311	0.252	0.971	0.796	0.749	0.673
TULU	2631	16	27.04	0.289	1.524	0.507	0.257	0.234	0.933	0.763	0.713	0.632
DALB	26-55	6	41.68	0.262	1.655	0.468	0.264	0.240	0.890	0.708	0.655	0.574
BILL	2633	59	147.42	0.257	1.549	0.486	0.261	0.231	0.905	0.731	0.681	0.602
REZU	2611	15	439.59	0.174	1.619	0.486	0.188	0.171	0.831	0.672	0.628	0.558
KASR	26-54	5	7.95	0.024	1.510	0.220	0.028	0.016	0.625	0.479	0.435	0.368
CIZR	2606	25	537.25	0.187	1.558	0.531	0.206	0.184	0.828	0.690	0.648	0.581
GIRI	2625	23	17.86	0.133	1.562	0.418	0.146	0.123	0.822	0.662	0.615	0.537
ZARO	26-13	5	42.88	0.140	1.539	0.490	0.152	0.105	0.833	0.687	0.637	0.555
YAVZ	26-31	5	1.20	0.223	1.330	0.817	0.225	0.183	0.835	0.697	0.664	0.609
CALD	26-30	7	7.93	0.362	1.580	0.706	0.429	0.403	0.906	0.743	0.700	0.634
MUSA	2621	25	12.51	0.301	1.383	0.511	0.324	0.289	0.931	0.735	0.683	0.604
DILM	26-56	6	1.82	0.097	1.318	0.269	0.093	0.066	0.850	0.600	0.532	0.430
KONA	2622	18	17.23	0.140	1.500	0.290	0.138	0.124	0.843	0.639	0.583	0.495
TEKN	2630	20	37.23	0.205	1.424	0.368	0.200	0.177	0.884	0.697	0.644	0.562
UZUM	2620	30	58.08	0.224	1.642	0.406	0.232	0.200	0.922	0.740	0.687	0.601
KAMI	2628	7	8.12	0.069	1.453	0.318	0.090	0.080	0.882	0.632	0.566	0.465
GEYM	26-37	9	87.50	0.236	1.486	0.391	0.225	0.206	0.878	0.674	0.624	0.545
NARL	2627	11	107.38	0.210	1.676	0.427	0.231	0.208	0.925	0.732	0.676	0.589

3.1. Taban Akışı İndeksleri Arasındaki İlişkiler

Çizelge 1'deki değerlerden de görüleceği gibi, *YM* yöntemiyle hesaplanan taban akışı indeksleri (*TAİYM*) düzenli olarak *SF* yöntemiyle hesaplanan taban akışı indekslerinden (*TAİSF*) daha büyüktür. *SF* yöntemiyle elde edilen taban akışı indeksleri filtre parametresi arttıkça küçülmektedir. Dicle istasyonlarının taban akışı indekslerinin havza bazında önemli tanımlayıcı istatistikleri Çizelge 2'de sunulmuştur. Aralarında anlamlı korelasyon olduğu literatürden de bilinen *TAİSF* ve *TAİYM* değişkenleri arasındaki basit doğrusal ilişkiler Şekil 1'de görülmektedir.

Çizelge 2 : Taban akışı indekslerinin tanımlayıcı istatistikleri.

Tanımlayıcı İstatistik	**TAİYM**	**TAİSF (α)**		
		0.900	**0.925**	**0.950**
Minimum	0.611	0.461	0.417	0.353
Maksimum	0.971	0.796	0.749	0.686
Ortalama	0.793	0.630	0.584	0.511
Medyan	0.803	0.636	0.583	0.508
Standart Sapma	0.111	0.099	0.098	0.097
Değişkenlik	0.139	0.157	0.168	0.188



Şekil 1: Değişik α filtre parametresi değerleri için TAİSF ile TAİYM arasındaki ilişkiler

3.2. Taban Akışı İndeksi ile Düşük Akış Karakteristikleri Arasındaki İlişkiler

Aslında, havza jeolojisi, doğal biriktirme ve düzenleme sistemlerinin akarsu akışları üzerindeki etkisini tanımlamak amacıyla geliştirilmiş bir ölçüt olan *TAİSF'*nin diğer ölçütlere göre önemli avantajları vardır. Diğer ölçütlerin aksine, *TAİSF* akışlılıktan bağımsız ve değişkenliği düşük (dolayısıyla belirsizliği daha az) bir ölçüttür. 4 –5 yıllık sürekli gözlemlerden dahi uzun dönemdeki değerlere oldukça yakın *TAİSF* tahminleri

yapılabilmektedir (Nathan 1990; Nathan ve McMahon 1990; Smakthin 2001). Ayrıca bu ölçüt, zemin sınıfları (jelojik faktörler) ile havzanın hidrolojik tepkisinin bağdaştırılmasında doğrudan kullanılabilmektedir (Gustard ve diğ.,1992).

Yukarıda açıklanan nedenlerle, çalışmada *Q7MIN, Q95 Q90/Q50* ve *Q90/Q20* gibi rasat süresine duyarlı karakteristiklerin *TAİSF* ile karşılıklı ilişkileri incelenmiştir. Sadece bir örnek teşkil etmek üzere, $\alpha = 0.925$ için hesaplanmış sürekli *TAİSF* ile diğer dört düşük akım karakteristiği arasındaki basit doğrusal ilişkiler Çizelge 3'te sunulmuştur.

Çizelge 3: Dört Düşük Akım Karakteristiği ile TAİSF(0.925) Arasındaki Basit Doğrusal İlişkiler

Y	$\hat{Y} = a + bX$	**N**	$\mathbf{R^2}$
Q7MIN	-0.420 + 1.085 * TAİSF	49	0.855
Q95	-0.434 + 0.967 * TAİSF	49	0.774
Q90/Q50	-0.616 + 1.638 * TAİSF	49	0.679
Q90/Q20	-0.319 + 0.725 * TAİSF	49	0.798

Çizelge 3'teki ilk iki ilişki, rasatları kısa olan istasyonlarda *Q7MIN* ve *Q95* karakteristiklerinin tahmininde kullanılabilecek ölçüde anlamlıdır. Sonraki iki ilişkiyi doğrudan tahmin amacıyla kullanmak alışılmış bir yaklaşım olmamakla birlikte, bu ilişkilerden kestirilen *Q90/Q50* ve/veya *Q90/Q20* karakteristiklerinden, istasyonun (veya proje havzasının) bölgede debi-sürek eğrisi tipi bakımından uyumlu olduğu alt gurubun saptanmasında yararlanılabilir.

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Dicle havzasına özgü bulguları içeren bu çalışmadan elde edilen önemli sonuçlar şöyle sıralanabilir.

Dicle havzasında *SF* ve *YM* yöntemleriyle hesaplanan taban akışı indeksleri arasındaki ilişkiler literatürdekilerle uyumludur. $\alpha = 0.925$ için *SF* yöntemiyle hesaplanan indeksler gerek mertebe olarak, gerekse de fiziksel açıdan daha tutarlıdır. Bu iki indeks arasındaki ilişkilerden, biri bilindiğinde diğeri büyük bir doğrulukla tahmin edilebilir. Kar erimesi nedeniyle Dicle havzasında taban akışı indekslerinin yerel dağılımını yorumlamak pek kolay değildir. Ancak, 49 istasyon için elde edilen noktasal değerlerin havzadaki dağılımı, oldukça düzgündür; önemli anomaliler yoktur. Yukarı Dicle'de, Batman – Diyarbakır arasındaki yan kollarda ve Zap Suyu'nun güneydoğusunda *TAİ* oldukça düşük (0.35 – 0.50); kuzeydoğudan ve güneybatıdan Dicle'ye katılan kolların menba kesimlerinde ise oldukça yüksektir (0.70 – 0.80). Dicle havzasının orta bölümünde, çok geniş bir alanda *TAİ* değerleri 0.55 – 0.65 aralığındadır.

Doğal olarak, debi-sürek eğrilerinden elde edilen *Q20, Q50, Q90* ve *Q95* gibi karakteristikler arasında güçlü bağımlılıklar mevcuttur. Dicle havzası örneğinde, düşük akımların bölgesel analizinde kilit parametre olarak kullanılagelen *Q7MIN, Q95, Q90/Q50 ve Q90/Q20* gibi karakteristiklerle *TAİSF* arasında da güçlü sayılabilecek ilişkiler saptanmıştır. Özellikle yeterli uzunlukta akış gözlemi bulunmayan proje

havzalarında, zemin, jeolojik yapı, iklim, bitki örtüsü vb gibi faktörler de değerlendirilerek, adı geçen karakteristiklerin olası değerlerini gerçeğe oldukça yakın biçimde tahmin etmek mümkün gözükmektedir.

Düşük akımlar ve taşkınlar gibi rastgele karakteri nedeniyle belirsizlik taşıyan olayların tahmin edilmesinde ve yorumlanmasında genellikle bilgi eksikliği duyulmaktadır. Son çeyrek yüzyılda araştırmacılar bu eksikliği hafifletmek amacıyla bölgesel bilgilerden de yararlanan daha etkin tahmin yöntemleri geliştirmeye çalışmaktadırlar.

Kuraklık ve bundan kaynaklanan sorunlar çok önemli olmasına karşın, dünyada ülke boyutunda yapılmış bölgesel hidrolojik çalışmalar oldukça sınırlıdır. Düşük akımlar, ve taşkınlar sadece su kaynaklarının değerlendirilmesi ve etkin yönetilmesi için stratejiler geliştirmek bakımından önemli değildir. Bu olaylarla ilgili bilgiler, doğal çevrenin ve ekolojik yaşamın korunması ve sürdürülebilirliği açısından da son derece önemlidir. Bu nedenlerle, Türkiye'nin de yakın gelecekte kuraklık ve taşkınlarla ilgili, geniş kapsamlı çalışmalar yapması gerekmektedir.

KAYNAKLAR

Aksoy, H., Kurt, İ., "Filtre edilmiş yuvarlatılmış minimumlar taban akışı ayırma yöntemi", V. Ulusal Hidroloji Kongresi, ODTÜ, Ankara, 349-358, 2007.

Arihood, L.D., Glatfelter, D.R., "Method for estimation low-flow characteristics of ungaged streams in Indiana", USGS Water Supply Paper no 2372, 22pp, 1991.

Bayazıt, M.; Önöz, B., "Taşkın ve Kuraklık Hidrolojisi", 1.Baskı, Nobel Basımevi, Yayın no:5, Ankara, 2008.

Bulu, A., Önöz, B., "Frequency analysis of low-flows by the PPCC tests in Turkey", FRIEND'97 - Regional Hydrology: Concepts and Models for Sustainable Water Resources Management, IAHS Publ. No 246, 133-140, 1997.

Durak, S. D., "Düşük Akım Hidrolojisi ve Ege Bölgesi Uygulaması", İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 2000.

Gustard, A., Bullock, A., Dixon, J.M., "Low-Flow Estimation in the United Kingdom", Institute of Hydrology, Report no:108, Hobbs the Printers Ltd., UK,1992.

Hughes, A.D., Hannart, P., Deidre, W., "Continuous baseflow seperation from time series of daily and monthly streamflow data", Water SA, 29(1), 43-48, 2003.

IH(Institute of Hydrology), "Low - Flow Studies (Report 1 - 4)", National Research Council / Institute of Hydrology, Wallingford, UK, 1980.

Kırmızıtoprak, M., "Dicle Havzasında Yıla Özgü Kurak Akış Karakteristikleri Arasındaki İlişkiler", DEÜ Mühendislik Fakültesi, İnşaat Müh. Bölümü Bitirme Projesi (Yön.: E. Benzeden), İzmir, 2010.

Köken, E., ”Dicle Havzası Düşük akım Karakteristiklerinin Bölgeselleştirilmesi”, DEÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi (Yön.: E. Benzeden), İzmir, 2009.

Mosley, M.P.; McKerchar, A.I., “Streamflow”, Chapter 8 in *Handbook of Hydrology* (Ed.: D.R. Maidment), V.I”, McGraw-Hill, NewYork, USA, 1993.

Nathan, R.J., “Low-Flow Hydrology: Application of a Systems Approach”, University of Melbourne, Ph.D. Thesis, Melbourne, Australia, 1990.

Nathan, R.J., McMahon, T.A., “Evaluation of automated techniques for base flow and recession analyses”, Water Resour. Res., 26, 1465-1473, 1990.

Özdemir, Y., Öziş, Ü.,”Türkiye’de Aşağı Fırat’ın ve Dicle’nin güney yan kollarının uzun süreli akışları”, TMMOB İnşaat Müh. Odası, Teknik Dergi, 146, 2075-2100, 2000.

Smakhtin, V.U., ”Low-flow hydrology: a review”, J. of Hydrol., 240, 147-186, 2001.

Şiddet-Süre-Frekans Bağıntısının Armoni Araştırma Tekniği ile Belirlenmesi ve Ege Bölgesi İstasyonları için Uygulama

Halil Karahan [1]

Özet: Bu çalışmada Armoni Araştırma Tekniği (AAT) ile Şiddet-Süre-Frekans (ŞSF) analizi yapan bir AAT-ŞSF çözüm algoritması önerilmektedir. Önerilen algoritmanın test edilmesi için Ege Bölgesi'nde bulunan DMİ tarafından işletilmekte olan 35 meteoroloji istasyonunun **S**tandart **S**üreli **M**aksimum **Y**ağış gözlem verileri (SSMY) kullanılarak farklı matematiksel ve istatistiksel bağıntıların ağırlık parametreleri belirlenmekte ve elde edilen bağıntıların farklı hata değerlendirme ölçütlerine göre performansları incelenmektedir. Yapılan analizler; seçilen hata değerlendirme ölçütü ve bağıntı tipinin model performansı üzerinde önemli olduğunu göstermektedir. Tüm hata değerlendirme ölçütlerine göre; bölge genelinde gözlenmiş SSMY değerlerine en iyi uyum gösteren bağıntının Gumbel dağılımını esas alan istatistiksel bağıntı olduğu görülmüştür. Ayrıca, aynı parametre sayısına sahip, istatistiksel dağılımlara dayalı bağıntıların matematiksel bağıntılara göre SMMY değerlerine daha iyi uyum gösterdiği belirlenmiştir. Önerilen AAT-ŞSF modeliyle ŞSF bağıntılarının ağırlık parametreleri, yoğun istatistik hesaplamalar ve/veya çok sayıda deneme-yanılma yerine optimizasyon tekniği ile tek aşamada belirlenebilmektedir.

Anahtar Sözcükler: Şiddet-Süre-Frekans, Armoni Araştırma Tekniği, Ege Bölgesi, Yıllık Maksimum Yağışlar.

Determination of Intensity-Duration- Frequency Relationship with the Harmony Search Algorithm and Application for the Aegean Region

This study proposes a Harmony Search (HS) algorithm to model Rainfall-Intensity-Duration-Frequency (RIDF) relationships. In order to test the proposed algorithm, rainfall data of 35 meteorological stations operated by DMI in the Aegean Region are used and weight parameters of various mathematical and statistical relationships are determined and the performances of the gained relationships according to different error evaluation criteria are analyzed. The conducted analyses show that the selected error evaluation criteria and the relationship type are significant in model performance.

[1] Pamukkale Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Denizli
E-Posta: hkarahan@pau.edu.tr; Tel: (258) 296-3350

According to all error evaluation criteria, the most harmonious relationship with the annual maximum rainfalls of standard durations within the region is the statistical relationship based on Gumbel distribution. Moreover, the relationships based on statistical distributions and having the same number of parameters were determined to be in more harmony with the annual maximum rainfalls of standard durations than those of mathematical relationships. The weighting parameters of and RIDF Model may be determined in one-stage instead of any statistical computations and/or trial-error procedure with PSO solution algorithm.

Key Words: Intensity- Duration- Frequency, Harmony Search Algorithm , Aegean Region, Annual Maximum Rainfall

1. GİRİŞ

Yağışın süresi, şiddeti, alansal ve zamansal değişimi vb. özelliklerinin bilinmesi; su kaynakları, tarım, kentleşme, drenaj, taşkın kontrolü ve ulaşım gibi farklı sektörlere ait planlama çalışmaları ile bu sistemler üzerindeki çeşitli mühendislik yapılarının güvenli ve ekonomik olarak boyutlandırılması ve işletilmesi için gereklidir. Genel olarak, yağışın, süresi, şiddeti, ve yinelenme süresi arasındaki ilişki; Şiddet-Süre-Frekans (ŞSF) bağıntısı olarak adlandırılır. Bu bağıntı, yinelenme süresi (T) ve yağış süresi (t) ile ağırlık parametreleri olarak adlandırılan, konuma ve zamana göre değişen parametrelerin bir fonksiyonu olarak, matematiksel ya da istatistiksel formda ifade edilir.

Ağırlık parametrelerinin belirlenmesi, genellikle matematiksel dönüşümler ve/veya istatistik analizler gerektirir ve çoğu zaman hangi dağılımın gözlem verilerine daha iyi uyum gösterdiğinin belirlenmesi çok sayıda denemeyi veya bu amaçla geliştirilen yazılımların kullanımını gerektirir (Karahan vd 2007).

Şiddet-Süre-Frekans ilişkisinin farklı ampirik ve istatistiksel formlarda ifade edilerek, veri setine en uygun ağırlık parametreleri Genetik Algoritma tekniği kullanılarak tek aşamada Karahan ve diğ. tarafından belirlenmiştir (Karahan vd 2007).. İlgili çalışmada İzmir DMI istasyonu için uygulanan metodoloji, istasyonlara ait; enlem, boylam ve yükselti gibi coğrafi özellikler eklenmek suretiyle GAP bölgesi için uygulanmış ve önerilen çözüm tekniğinin bölgesel uygulamalar için de kullanılabileceği gösterilmiştir (Karahan vd 2008).

Son yıllarda Genetik algoritma (GA) gibi bir sezgisel optimizasyon tekniği olan Armoni Araştırma Tekniği (AAT) ilk olarak Geem ve arkadaşları tarafından geliştirmiş ve farklı alanlara başarılı bir şekilde uygulanmıştır (Kim vd 2001, Lee ve Geem 2004, Geem 2006, Ayvaz 2007, Ayvaz vd 2007, Ceylan vd 2008). AAT bir orkestradaki müzisyenlerin çaldıkları notalar ile armonik açıdan en iyi melodinin elde edilmesi prensibine dayanır. En iyi melodi, tüm orkestra elemanlarının birbirleriyle armonik açıdan uyumlu bir şekilde çalmaları durumunda elde edilebilirken, optimizasyon modellerinde de en iyi çözüm amaç fonksiyonun global optimum değere yaklaşması sonucu elde edilebilir. Bu ise, model parametrelerinin kendi aralarında uyumlu olması ile mümkündür. Farklı enstrümanlarla çalınan nota ve tonların estetik kalitesi, müzik

çalışmalarında pratik yaparak iyileştirilirken, fonksiyon çözümünde bu iyileştirme ardışık denemelerle gerçekleştirilmektedir (Ayvaz 2007).
Bu çalışmada; Ege Bölgesinde yer alan Devlet Meteoroloji İşleri (DMİ) tarafından işletilmekte olan meteoroloji istasyonlarının **S**tandart **S**üreli **M**aksimum **Y**ağış gözlem verileri (SSMY) kullanılarak farklı matematiksel ve istatistiksel bağıntıların ağırlık parametreleri belirlenmekte ve elde edilen bağıntıların farklı hata değerlendirme ölçütlerine göre performansları incelenmektedir. Ayrıca, tüm istasyonlar için gözlem verilerine en iyi uyum gösteren bağıntı belirlenmektedir.

SSMY gibi rastgele unsuru ağır basan hidrolojik olaylar ancak oluşum frekansları (görülme sıklıkları) ile tanımlanabilmektedirler. Gözlenmiş frekansların analitik tanımlanmasında parametrik modeller sıkça kullanılmaktadır Bu tanımlamada, önce gözlenmiş frekansları temsil edebileceği umulan bir veya daha çok sayıda kuramsal olasılık dağılım modeli öngörülmektedir. Daha sonra, eldeki örnek değerlerinden hareketle kuramsal modeldeki parametrelerin örnek tahminleri yapılmaktadır (Kite 1977, Aşıkoğlu ve Benzeden 2007).

SSMY verilerinin değerlendirilmesinde karşılaşılan en önemli sorun, aynı istasyonda yağış süresi değiştikçe en uygun frekans dağılım modeli türünün değişim göstermesi olup, bununla ilgili ilginç bir örnek Manisa istasyonunun SSMY değerleri kullanılarak Aşıkoğlu ve Benzeden, 2007'de verilmiştir. İlgili çalışmada; en uygun dağılımın seçilmesinde aykırı değerlerin önemli rol oynadığı gösterilmiş, Uşak ve İzmir istasyonları için bu durum detaylı olarak irdelenmiş ve aykırı değerlerin ayıklanmasıyla sürelere göre farklı dağılımların bulunması önlenmiştir. Böylece, ŞSF eğrilerinin birbirini kesmeyen düzgün nitelikte eğriler olması güvence altına alınmıştır.

Tüm istasyonlar ve standart süreler için; gözlenmiş frekansları temsil edebileceği umulan çok sayıda kuramsal dağılımın sınanması, aykırı değerlerin ayıklanması ve bu işlemin yeniden yapılması zahmetli ve zaman alıcı bir işlemdir. Bu nedenle; farklı dağılım ve/veya bağıntıların ağırlık parametrelerini gözlem verilerine en iyi uyacak şekilde belirlemek için AAT-ŞSF modeli geliştirilmiş ve belirtilen model Ege Bölgesi'nde yer alan istasyonlara uygulanmış ve önerilen matematiksel ve istatistiksel bağıntıların farklı hata değerlendirme ölçütlerine göre model performansları irdelenmiştir.

Ayrıca; Denizli DMİ istasyonunun gözlem değerleri kullanılarak, gözlem süresinden daha büyük yinelenme süresine sahip yağışların şiddetleri gözlem ve model sonuçlarının birlikte gösterildiği saçılım grafikleri kullanılarak incelenmiş ve yorumlanmıştır. Böylece; ŞSF bağıntısının elde edilmesinde; AAT'nin etkin bir çözüm aracı olarak kullanılabilirliği gösterilmiştir.

2. ŞİDDET-SÜRE-FREKANS İLİŞKİSİNİN FORMÜLASYONU

Problemle ilgili formülasyon aşağıdaki gibi iki grup halinde verilebilir:

2.1. Ampirik Formülasyon

$$I = \frac{w_0 T^{w_1}}{t^{w_2}} \tag{1}$$

$$I = \frac{w_0 T^{w_1}}{(w_2 + t^{w_3})^{w_4}} \tag{2}$$

burada: I, yağış şiddeti (*mm/dk*), T, yinelenme süresi, t, zaman ve w_k, (Denklem (1) için: k = 0,1,2; Denklem (2) için: k = 0,1,…,4) ise ağırlık parametrelerini temsil etmektedir. (Karahan vd 2007)'de önerilen, ve bu çalışmada da kullanılan iki ampirik bağıntı aşağıdaki gibidir:

$$I = \frac{\sum_{i=0}^{M} w_i [\ln(T)]^i}{\left(w_{M+1} + t^{M+2}\right)^{M+3}} \tag{3}$$

$$I = \frac{\sum_{i=0}^{M} w_i [\ln(T)]^i}{\sum_{i=0}^{M} w_{(M+1)+i} [\ln(t)]^i} \tag{4}$$

burada: M ilgili denklemin mertebesidir ve bu çalışmada M=4 kabul edilmiştir.

2.2. İstatistiksel Formülasyon

Şiddet-Süre-Frekans ilişkisinde ağırlıklı olarak kullanılan istatistiksel dağılımlar: *Gumbel, Genelleştirilmiş Ekstrem Değer (GED), Gamma, Pareto, Üstel Dağılım vb.* dir. *(*Koutsoyiannis vd 1998)'de Şiddet-Süre-Frekans probleminin Gumbel ve GED dağılımlarına daha iyi uyduğu gösterilmiştir. Genel olarak Gumbel, GED, Üstel ve Pareto dağılımları sırası ile (5)-(8)'de verilmiştir.

Gumbel dağılımı:

$$I = w_0 \frac{w_1 - \ln\left[-\ln\left(1 - \frac{1}{T}\right)\right]}{(w_2 + t^{w_3})^{w_4}} \tag{5}$$

GED dağılım:

$$I = \frac{w_0 \left\{ w_1 + \left[-\ln\left(1 - \frac{1}{T}\right)\right]^{-w_2} \right\}}{(w_3 + t^{w_4})^{w_5}} \tag{6}$$

Üstel dağılım:

$$I = \frac{w_0(w_1 + \ln(T))}{(w_2 + t^{w_3})^{w_4}} \tag{7}$$

Pareto dağılımı:

$$I = \frac{w_0(w_1 + T^{w2})}{(w_3 + t^{w_4})^{w_5}} \tag{8}$$

şeklinde ifade edilebilmektedir *(*Koutsoyiannis vd 1998).

2.3. Hata Değerlendirme Ölçütleri

Gözlem verilerine en iyi uyum gösteren ŞSF bağıntısının belirlenmesi için aşağıda belirtilen hata değerlendirme ölçütleri kullanılmıştır. Bunlar; hata karelerinin ortalaması (*MSE*), mutlak ortalama hata (*MAE*), değiştirilmiş model etkinlik katsayısı (*E)* ve korelasyon *(r)* katsayısıdır.

$$MSE = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}(I_i^{Gözlem} - I_i^{Hesap})^2 \tag{9.1}$$

$$MAE = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\left|I_i^{Gözlem} - I_i^{Hesap}\right| \tag{9.2}$$

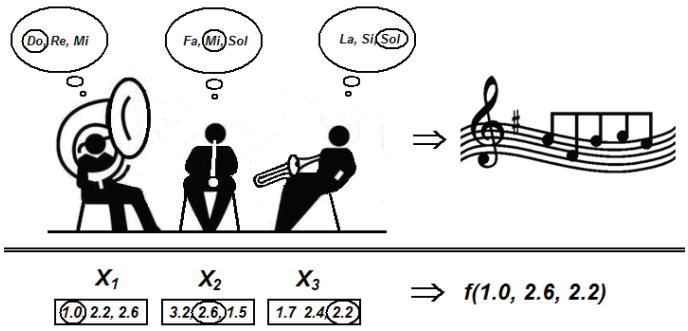
$$E = \left[1 - \frac{\sum_{i=1}^{N}\left|I_i^{Gözlem} - I_i^{Hesap}\right|}{\sum_{i=1}^{N}\left|I_i^{Gözlem} - \overline{I_i^{Gözlem}}\right|}\right] \tag{9.3}$$

Burada; $I_i^{Gözlem}$ gözlenen, I_i^{Hesap} hesaplanan yağış şiddetlerini, $\overline{I^{Gözlem}}$ gözlenen yağış şiddetlerinin ortalamasını ve N optimizasyon işleminde kullanılan veri sayısını göstermektedir. Gözlem verilerine en uygun bağıntının ağırlık katsayılarının belirlenmesi için; *MSE* ve *MAE* değerleri minimum yapılmaya çalışılırken, *E* ve *r* değerlerinin maksimum yapılması amaçlanmaktadır.

3. ARMONİ ARAŞTIRMA TEKNİĞİ

İlk olarak Geem ve arkadaşları tarafından geliştirilen bir optimizasyon algoritması olan **A**rmoni **A**raştırma (AA) algoritması (Geem vd. 2001); bir orkestradaki müzisyenlerin çaldıkları notalar ile armonik açıdan en iyi melodinin elde edilmesi prensibine

dayanmaktadır. AAT' de; estetik açıdan en iyi melodi, tüm orkestra elemanlarının birbirleri ile armonik açıdan uyumlu bir şekilde çalmaları ile elde edebilirken, optimizasyon modellerinde ise en iyi çözüm ancak amaç fonksiyonunun global optimuma giderek yaklaşması sonucu elde edilebilmektedir. Bir orkestradaki müzisyenlerin çaldıkları melodilerle optimizasyon problemleri arasındaki benzerliğin nasıl kurulacağı Şekil 1'de detaylı olarak gösterilmiştir (Ayvaz vd 2007).



Şekil 1. Armoni araştırması ile optimizasyon problemi arasındaki benzerliğin şematik gösterimi.

Şekil 1'den görüleceği gibi, orkestrada toplam üç müzisyen bulunmakta ve her müzisyenin belleğinde üçer adet nota bulunmaktadır. Örnek olarak, birinci müzisyenin {Do}, ikinci ve üçüncü müzisyenin ise {Mi} ve {Sol} çalması durumunda {Do, Mi, Sol} kümesi bir armoni oluşturmaktadır. Oluşturulan bu armoni, müzisyenlerin belleklerindeki en kötü armoniden daha iyi ise bu armoni en kötü olanla değiştirilmekte ve bu işlem estetik açıdan en güzel armoni elde edilinceye kadar devam etmektedir. Diğer yandan, optimizasyon problemlerinin çözümü için her bir müzisyenin bir karar değişkeninin yerini alması durumunda, müzisyenlerin belleklerindeki her bir nota, o karar değişkenine ait farklı bir çözüme karşılık gelmektedir. Örnek olarak, Şekil 1'de verildiği gibi karar değişkenlerinin belleklerinden {1.0}, {2.6} ve {2.2}'i seçmesi durumunda, yeni bir çözüm vektörü {1.0, 2.6, 2.2} elde edilmektedir. Bu çözüm vektörünün bellekteki en kötü çözümden daha iyi olması durumunda çözümler yer değiştirilmekte ve en iyi çözüm elde edilinceye kadar bu işleme devam edilmektedir.

AAT günümüze kadar çeşitli mühendislik problemlerinin çözümünde kullanılmıştır [3-9]. Bu yöntemin ana avantajları: *i)* Karar değişkenleri için özel bir başlangıç çözümü gerektirmemektedir; *ii)* Birden çok çözümle optimizasyon işlemine devam ettiği için birden çok yönde global optimum çözümü aramakta ve yerel optimum çözümlerden kurtulabilmektedir; *iii)* Optimizasyon işleminde sürekli değişkenler kullanılabildiği gibi ayrık değişkenler de kullanılabilmektedir (Ayvaz vd 2007).

AAT, hesaplama mantığı bakımından GA ile benzerlikler göstermesine karşın, iki yöntem arasındaki en belirgin fark; yeniden üretim aşamasındaki varsayımlardan kaynaklanmaktadır. GA ile yeni bir karar değişkeninin oluşturulmasında toplum içerisinden seçilen iki birey kullanılırken; armoni araştırmasında oluşturulan yeni karar değişkeni toplum içerisindeki tüm bireylerin özelliklerini taşımaktadır. Ayrıca, armoni araştırmasında bir iterasyonun tamamlanması GA'ya göre daha hızlıdır. Bir

optimizasyon probleminin armoni araştırması tekniği ile çözümü aşağıda verilen beş hesap adımına göre yapılmaktadır:

3.1. Problemin Kurulması Ve Çözüm Parametrelerinin Ayarlanması

Optimizasyon problemi aşağıdaki şekilde tanımlanmaktadır:

$$z = \min\{f(x)\} \qquad x_i \in X_i = 1,2,3,...,N \tag{10}$$

burada $f(x)$ minimize edilecek amaç fonksiyonunu, x_i karar değişkenlerini, X_i her karar değişkeni için kullanılan çözüm uzayını, N ise toplam karar değişkeni sayısını göstermektedir. Armoni araştırması tekniğine ait çözüm parametreleri: Armoni belleği kapasitesi (HMS), Armoni belleğini dikkate alma oranı (HMCR) ve ton ayarlama oranıdır (PAR).

3.2. Armoni Belleğinin Oluşturulması

Bu adımda, tanımlanan çözüm uzayı içerisinde tamamı rastgele olarak üretilmiş karar değişkenleri ile armoni belleği doldurulur ve bu çözümlere karşılık gelen amaç fonksiyonu değerleri Denklem (10)'a göre hesaplanır:

$$\begin{bmatrix} x_1^1 & x_2^1 & \cdots & x_{N-1}^1 & x_N^1 \\ x_1^2 & x_2^2 & \cdots & x_{N-1}^2 & x_N^2 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_1^{HMS-1} & x_2^{HMS-1} & \cdots & x_{N-1}^{HMS-1} & x_N^{HMS-1} \\ x_1^{HMS} & x_2^{HMS} & \cdots & x_{N-1}^{HMS} & x_N^{HMS} \end{bmatrix} \Rightarrow \begin{bmatrix} f(x^1) \\ f(x^2) \\ \vdots \\ f(x^{HMS-1}) \\ f(x^{HMS}) \end{bmatrix} \tag{11}$$

3.3. Yeniden Üretim: Yeni Armoni Oluşturulması

Bu adımda, yeni armoni vektörü $x' = (x_1', x_2', x_3', \cdots, x_N')$, armoni belleğinde bulunan tonlara göre ve tamamen rastgele seçilen tonlara göre üretilmektedir. Armoni belleğinde bulunan tonlara göre, yeni armoni vektörüne ait ilk karar değişkeni (x_1') mevcut armoni belleği $\left(x_1^1, \cdots, x_1^{HMS}\right)$ içerisindeki herhangi bir değerden rastgele olarak seçilmektedir. Diğer karar değişkenlerinin $(x_2', x_3', x_4', \cdots, x_N')$ seçilmesi ise aynı şekilde yapılmaktadır. Değişkenlerin armoni belleğinden seçilip seçilmeyeceğinin belirlenmesi, değeri 0 ile 1 arasında değişen HMCR oranına göre yapılmaktadır. Burada, HMCR bir karar değişkeninin değerinin mevcut armoni belleğinden seçilme olasılığını gösterirken, (1-HMCR) oluşturulan yeni karar değişkeninin mevcut çözüm uzayı içerisinden rastgele olarak seçilmesine karşılık gelmektedir. Seçim işleminin nasıl yapıldığı Denklem (12)'de verilmiştir:

$$x_i' = \begin{cases} x_i' \in \left\{x_i^1, x_i^2, x_i^3, \cdots, x_i^{HMS}\right\} & HMCR \text{ olasılığı durumu} \\ x_i' \in X_i & (1\text{-}HMCR) \text{ olasılığı durumu} \end{cases} \tag{12}$$

Bu aşamadan sonra, ton ayarlama işleminin gerekli olup olmadığının belirlenmesi için her karar değişkeninin değerlendirilmesi yapılmaktadır. Bu işlem ise ton ayarlama oranı olan PAR parametresi ile aşağıda verildiği şekilde yapılmaktadır:

$$x_i' = \begin{cases} x_i' \pm \text{Rnd}(0;1) \times \text{bw} & PAR \text{ olasılığı durumu} \\ x_i' & (1\text{-}PAR) \text{ olasılığı durumu} \end{cases} \quad (13)$$

Denklem (13)'de, bw rastgele seçilmiş band genişliğini, Rnd(0;1) 0 ile 1 arasında üniform dağılıma uygun olarak üretilmiş rastgele sayıyı göstermektedir. Denklem (13)'den görüleceği gibi, PAR olasılığının olması durumunda x_i' karar değişkeni $x_i' \pm \text{Rnd}(0;1) \times \text{bw}$ ile değiştirilmekte, buna karşın, (1-PAR) olması durumunda ise işlem yapılmamaktadır.

3.4. Armoni Belleğinin Güncellenmesi

Bu adımda, yeni oluşturulan armoni $x' = (x_1', x_2', x_3', \cdots, x_N')$ ile bellekteki en kötü armoni arasında amaç fonksiyonlarının değerleri bakımından karşılaştırma işlemi yapılmaktadır. Yeni oluşturulan armoni vektörünün en kötü armoniden daha iyi sonuç vermesi durumunda, en kötü armoni vektörü bellekten çıkarılır ve yeni armoni vektörü onun yerine atanır.

3.5. Durma Koşulunun Kontrolü

Bu adımda verilen durma koşulunun sağlanıp sağlanmadığı kontrol edilir. Koşulun sağlanmaması durumunda, Adım 3 ile 5 arasındaki işlemler istenen koşul sağlanıncaya kadar tekrar edilir. AAT-ŞSF modeli GA' da olduğu gibi amaç fonksiyonunun önceden tanımlanmış bir durma koşuluna erişmesi veya maksimum iterasyon sayısına kadar sürece devam eder. Amaç fonksiyonu, tasarımın veya parametre değerinin ne kadar iyi olduğunu gösterir. Bu nedenle; amaç fonksiyonunun seçilmesi büyük önem taşır. Bu çalışmada yaygın olarak kullanılan amaç fonksiyonlardan birisi olan hata kareleri toplamının ortalaması *(MSE)* seçilmiş ve bu fonksiyonun minimum olması amaçlanmıştır.

4. UYGULAMA

AAT-ŞSF modelinin uygulanması için; yazarın yürütücülüğünde devam etmekte olan bir TÜBİTAK projesi kapsamında DMİ 'den sağlanan SSMY verileri kullanılmıştır. Söz konusu istasyonların isimleri, gözlem süreleri ve coğrafi konumları Tablo 1'de verilmiştir.

AA-ŞSF modelinin girdilerini oluşturmak için; öncelikle frekans (görülme sıklığı) analizi yapılmıştır. Bu çalışmada; yinelenme sürelerinin belirlenmesi için Gringorten denklemi (Cunnane 1978, Bayazıt 1981) kullanılmış ve yinelenme süresi (14) denklemiyle ifade edilmiştir.

$$T_{jl} = \frac{m_j + 0.12}{L - 0.44} \qquad j = 1,2,3,.....,14; \quad l = 1,2,3,.....,L \quad (14)$$

Burada; m_j, incelenen yağış süresi için sıra numarasını, L ise gözlem yıl sayısını göstermektedir. Model çalışmalarına başlamadan önce, (14) denklemi kullanılmak suretiyle; tüm istasyonlar için; 3 sütun (T, t ve I) ve (N=L*standart süre sayısı) kadar satırdan oluşan bir veri seti oluşturulmuştur.

AAT-ŞSF modelinde kullanılan AAT çözüm parametreleri: Armoni belleği kapasitesi (HMS=20), armoni belleğini dikkate alma oranı (HMCR=0.90) ve ton ayarlama oranı (PAR) iterasyon sayısına göre 0.90-0.40 aralığında doğrusal olarak azalan biçimde seçilmiştir. Durma koşulu olarak; en iyi ve en kötü amaç fonksiyonu arasındaki göreceli hatanın 0.0001'den küçük olması seçilmiştir.

Tablo 1. Çalışmada kullanılan DMİ istasyonlarının gözlem süreleri ve coğrafi konumları.

Sıra No	İstasyon Adı	Gözlem Süresi	Yükselti (m)	Enlem (K)	Boylam (D)
1	Acıpayam	36	1000	37,419	29,339
2	Afyon	45	1050	38,75	30,538
3	Akhisar	41	100	38,917	27,83
4	Aydın	46	70	37,854	27,841
5	Ayvalık	39	10	39,307	26,687
6	Bergama	39	50	39,118	27,174
7	Bodrum	41	10	37,036	27,427
8	Bolvadin	33	995	38,706	31,045
9	Bornova	42	50	38,46	27,206
10	Çeşme	40	10	38,323	26,302
11	Dalaman	13	10	36,762	28,792
12	Demirci	13	900	39,044	28,652
13	Denizli	47	400	37,775	29,078
14	Dikili	47	10	39,073	26,884
15	Dinar	38	900	38,066	30,162
16	Edremit	41	25	39,587	27,012
17	Fethiye	46	10	36,621	29,102
18	Gediz	34	800	38,986	29,39
19	Güney	37	750	38,154	29,054
20	İzmir	68	8	38,425	27,126
21	Kemalpaşa	27	230	38,424	27,412
22	Kütahya	60	970	39,414	29,973
23	Manisa	48	75	38,613	27,425
24	Marmaris	40	10	36,85	28,267
25	Milas	41	50	37,304	27,779
26	Muğla	62	660	37,209	28,352
27	Nazilli	23	90	37,904	28,319
28	Ödemiş	37	120	38,222	27,971
29	Salihli	39	110	38,473	28,123
30	Selçuk	41	20	37,946	27,364
31	Simav	41	830	39,084	28,965
32	Sultanhisar	29	90	37,887	28,149
33	Tavşanlı	37	840	39,542	29,49
34	Uşak	61	900	38,67	29,402
35	Yatağan	40	400	37,338	28,129

(9.1) denklemiyle ifade edilen amaç fonksiyonu (*MSE*) değerini minimum yapacak şekilde AAT-ŞSF modeli kullanılarak (1)-(8) denklemlerinin ağırlık katsayıları belirlenmiş ve farklı hata değerlendirme ölçütleri kullanılarak, gözlem değerlerine en iyi uyum sağlayan bağıntı belirlenmiş ve sonuçlar Tablo 2'de özetlenmiştir.

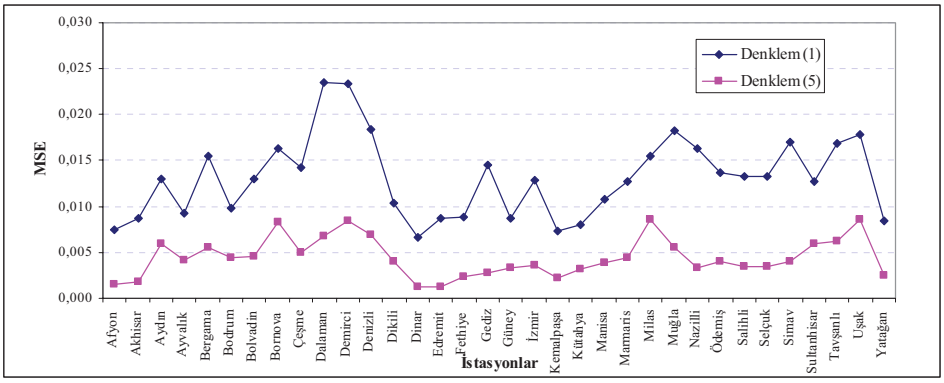
Tablo 2. Çalışmada kullanılan ŞSF bağıntılarının performans değerlendirmesi

Denklem	İstasyonlar	İterasyon sayısı	Bilgi-işlem süresi (s)	Performans ölçütleri			
				MSE	MAE	r	E
1	Minimum	1593	1,30	0,0066	0,0465	0,9650	0,7625
	Maksimum	23088	16,20	0,0235	0,0946	0,9877	0,8686
	Ortalama	8051	5,15	0,0131	0,0670	0,9785	0,8197
2	Minimum	2494	1,77	0,0062	0,0391	0,9692	0,8064
	Maksimum	117786	97,56	0,0206	0,0804	0,9892	0,8936
	Ortalama	29935	25,34	0,0111	0,0553	0,9815	0,8564
3	Minimum	20395	29,34	0,0016	0,0219	0,9829	0,8709
	Maksimum	500000	902,48	0,0111	0,0513	0,9965	0,9439
	Ortalama	349139	454,74	**0,0052**	**0,0331**	**0,9915**	**0,9176**
4	Minimum	142789	234,03	0,0015	0,0210	0,9397	0,7886
	Maksimum	500000	1242,61	0,0558	0,1119	0,9950	0,9185
	Ortalama	489794	857,92	0,0157	0,0531	0,9767	0,8669
5	Minimum	2947	2,61	0,0013	0,0177	0,9872	0,8964
	Maksimum	500000	381,03	0,0086	0,0467	0,9965	0,9440
	Ortalama	124182	97,69	**0,0044**	**0,0302**	**0,9930**	**0,9245**
6	Minimum	27484	25,93	0,0014	0,0181	0,9831	0,8477
	Maksimum	500000	1043,68	0,0125	0,0661	0,9971	0,9490
	Ortalama	177661	182,24	**0,0053**	**0,0378**	**0,9916**	**0,9033**
7	Minimum	3367	2,64	0,0017	0,0199	0,9825	0,8723
	Maksimum	500000	333,11	0,0122	0,0543	0,9952	0,9395
	Ortalama	112551	84,10	**0,0059**	**0,0366**	**0,9905**	**0,9082**
8	Minimum	92389	80,62	0,0028	0,0257	0,9779	0,8321
	Maksimum	500000	519,19	0,0151	0,0694	0,9931	0,9166
	Ortalama	443589	367,15	0,0073	0,0445	0,9881	0,8855

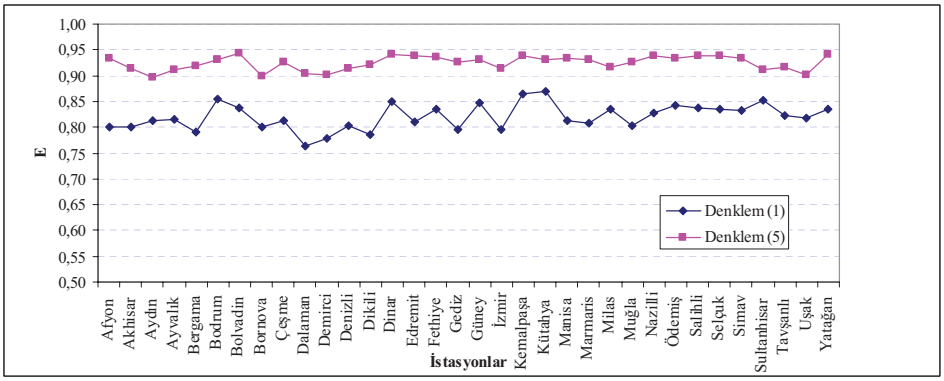
Tablo 2'den görüleceği gibi tüm hata değerlendirme ölçütlerine göre; Bölge genelinde gözlenmiş SSMY değerlerine en iyi uyum gösteren bağıntı; Gumbel dağılımını esas alan istatistiksel bağıntı olup; E değeri açısından 0.92'den büyük bir performans göstermiştir. Performans açısından bunu izleyen bağıntı ise (Karahan vd 2007)'de önerilmiş olan (3) no'lu matematiksel bağıntı olup; bu bağıntının ağırlık katsayılarının belirlenmesi için gereken bilgi-işlem süresi Tablo 2'den görüleceği gibi en iyi performans gösteren bağıntıya göre oldukça fazladır (yaklaşık 3 kat). GEV dağılımına dayanan (6) no'lu bağıntı ile Üstel dağılıma dayanan (7) bağıntısının performansı ise farklı hata değerlendirme ölçütlerine göre değişmekte olup; *MSE* ve *r* değerlerine göre (6) bağıntısı, *MAE* ve *E* değerlerine göre (7) bağıntısı daha iyi performans göstermektedir. Ayrıca, Tablo 2'den parametre sayısı az olan ampirik bağıntıların tüm hata değerlendirme ölçütlerine göre diğer bağıntılara göre oldukça düşük performans gösterdiği görülmekte ve aynı parametre sayısına sahip, istatistiksel dağılımlara dayalı

bağıntıların matematiksel bağıntılara göre SMMY değerlerine daha iyi uyum gösterdiği açık olarak görülmektedir.

Tablo 3 ve 4'de en kötü (1) ve en iyi performans gösteren (5) bağıntıların; iterasyon sayısı, bilgi-işlem süresi ve farklı hata değerlendirme ölçütlerine göre performansları özetlenmiştir. Tablo 3 ve 4'den görüleceği gibi 3 ağırlık parametresi içeren (1) bağıntısı için gerekli iterasyon sayısı ve bilgi-işlem süresi diğerlerine göre oldukça kısa olmasına rağmen, model performansı diğer bağıntılara göre daha düşüktür. Denklem (1) ve (5)'in tüm istasyonlar için *MSE* ve *E* değerinin değişimi Şekil 2a ve 2b'de sırasıyla görülmektedir.



(a)



(b)

Şekil 2. (1) ve (5) bağıntıların MSE ve *E* performans değerinin istasyonlara göre değişimi.

Şekil 2'den görüleceği gibi; (1) bağıntısının *E* hata değerlendirme ölçütüne göre performansı (0.76-0.86) arasında değişirken, denklem (5)'in performansı (0.89-0.94) aralığında değişmektedir. (5) bağıntısının hem istasyon bazında yüksek performans göstermesi, hem de değişim aralığının küçük olması bölgesel olarak daha iyi temsil yeteneğine sahip olduğunu göstermektedir.

Denklem (1) ve (5) 'in istasyon bazında ayrıntılı performans sonuçları Tablo 3 ve 4'de özetlenmiştir. İlgili Tablolardan görüleceği gibi farklı hata değerlendirme ölçütlerine göre; istasyon bazında model performansında önemli değişmeler gözlenmekte olup, bu durum; istasyona ait gözlem verilerinin uzunluğu, gözlemlerin aykırı değerler içermesi ve/veya seçilen dağılım tipinin gözlem verilerini temsil yeteneğine göre değişmektedir.

Tablo 3. Denklem 1 için AAT-ŞSF modelinin performansı

İstasyon	Veri Uzunluğu (Yıl)	Denklem 1					
		İterasyon sayısı	Bilgi-işlem süresi (s)	Performans ölçütleri			
				MSE	MAE	r	E
Acıpayam	36	12551	7,87	0,0075	0,0497	0,9731	0,7997
Afyon	45	23088	16,20	0,0087	0,0489	0,9696	0,8005
Akhisar	41	1970	1,30	0,0130	0,0649	0,9783	0,8127
Aydın	46	7282	5,02	0,0093	0,0557	0,9763	0,8144
Ayvalık	39	3979	2,61	0,0155	0,0798	0,9754	0,7898
Bergama	39	6160	3,96	0,0099	0,0543	0,9817	0,8536
Bodrum	41	3585	2,35	0,0131	0,0714	0,9824	0,8375
Bolvadin	33	3570	2,13	0,0163	0,0734	0,9748	0,8002
Bornova	42	7457	4,84	0,0142	0,0649	0,9713	0,8135
Çeşme	40	4921	3,16	0,0235	0,0946	0,9650	0,7625
Dalaman	13	6680	2,97	0,0233	0,0933	0,9684	0,7784
Demirci	13	11886	5,25	0,0184	0,0784	0,9729	0,8022
Denizli	**47**	**8122**	**5,63**	**0,0104**	**0,0637**	**0,9751**	**0,7864**
Dikili	47	5792	3,97	0,0066	0,0465	0,9823	0,8496
Dinar	38	3309	2,08	0,0088	0,0541	0,9755	0,8093
Edremit	41	3398	2,20	0,0089	0,0574	0,9818	0,8351
Fethiye	46	14446	9,86	0,0145	0,0848	0,9786	0,7963
Gediz	34	14068	8,37	0,0088	0,0589	0,9864	0,8465
Güney	37	6191	3,80	0,0129	0,0694	0,9761	0,7947
İzmir	68	8206	6,87	0,0073	0,0469	0,9858	0,8640
Kemalpaşa	27	2420	1,33	0,0080	0,0516	0,9877	0,8686
Kütahya	60	3992	3,19	0,0108	0,0627	0,9803	0,8136
Manisa	48	10783	7,56	0,0127	0,0723	0,9798	0,8079
Marmaris	40	12251	7,83	0,0154	0,0858	0,9855	0,8343
Milas	41	10962	7,04	0,0182	0,0890	0,9781	0,8024
Muğla	62	1593	1,30	0,0164	0,0703	0,9765	0,8286
Nazilli	23	11750	6,09	0,0136	0,0632	0,9819	0,8435
Ödemiş	37	20904	12,88	0,0132	0,0618	0,9816	0,8375
Salihli	39	16199	10,24	0,0133	0,0666	0,9823	0,8352
Selçuk	41	5433	3,53	0,0170	0,0772	0,9811	0,8326
Simav	41	3334	2,18	0,0127	0,0569	0,9828	0,8519
Sultanhisar	29	5538	3,16	0,0168	0,0728	0,9788	0,8232
Tavşanlı	37	7389	4,55	0,0178	0,0794	0,9802	0,8184
Uşak	61	4583	3,65	0,0084	0,0527	0,9830	0,8341
Yatağan	40	7996	5,22	0,0134	0,0711	0,9777	0,8097

Tablo 4. Denklem 5 için AAT-ŞSF modelinin performansı

İstasyon	Veri Uzunluğu (Yıl)	Denklem (5)					
		İterasyon sayısı	Bilgi-işlem süresi (s)	Performans ölçütleri			
				MSE	MAE	r	E
Acıpayam	36	49501	38,52	0,0015	0,0177	0,9943	0,9330
Afyon	45	10315	8,97	0,0017	0,0229	0,9939	0,9126
Akhisar	41	8184	6,78	0,0059	0,0383	0,9899	0,8964
Aydın	46	2947	2,61	0,0042	0,0278	0,9889	0,9121
Ayvalık	39	150708	118,64	0,0056	0,0332	0,9909	0,9188
Bergama	39	95671	75,90	0,0045	0,0264	0,9917	0,9321
Bodrum	41	343227	268,07	0,0045	0,0263	0,9937	0,9440
Bolvadin	33	76070	56,15	0,0083	0,0402	0,9872	0,8987
Bornova	42	95516	79,45	0,0049	0,0272	0,9901	0,9256
Çeşme	40	197983	158,44	0,0068	0,0402	0,9897	0,9049
Dalaman	13	78839	44,26	0,0085	0,0457	0,9885	0,9014
Demirci	13	48216	27,12	0,0069	0,0379	0,9899	0,9129
Denizli	**47**	**5115**	**4,53**	**0,0040**	**0,0254**	**0,9902**	**0,9207**
Dikili	47	31554	27,74	0,0013	0,0191	0,9965	0,9406
Dinar	38	500000	381,03	0,0013	0,0186	0,9965	0,9390
Edremit	41	76414	63,83	0,0024	0,0239	0,9952	0,9353
Fethiye	46	161786	137,19	0,0028	0,0328	0,9958	0,9258
Gediz	34	46071	34,57	0,0033	0,0284	0,9951	0,9309
Güney	37	151704	116,26	0,0035	0,0319	0,9937	0,9129
İzmir	68	104115	110,38	0,0022	0,0218	0,9957	0,9397
Kemalpaşa	27	314676	208,74	0,0032	0,0297	0,9950	0,9299
Kütahya	60	142776	140,06	0,0039	0,0238	0,9928	0,9333
Manisa	48	458815	377,27	0,0044	0,0277	0,9931	0,9313
Marmaris	40	4480	3,66	0,0086	0,0467	0,9918	0,9154
Milas	41	153120	122,95	0,0055	0,0355	0,9934	0,9268
Muğla	62	7122	7,34	0,0034	0,0266	0,9952	0,9373
Nazilli	23	278915	176,19	0,0041	0,0287	0,9946	0,9346
Ödemiş	37	151328	115,86	0,0035	0,0257	0,9952	0,9375
Salihli	39	15738	12,64	0,0034	0,0268	0,9956	0,9383
Selçuk	41	67408	54,85	0,0040	0,0327	0,9956	0,9335
Simav	41	55244	44,99	0,0060	0,0371	0,9919	0,9104
Sultanhisar	29	73618	51,52	0,0063	0,0367	0,9922	0,9173
Tavşanlı	37	32397	25,25	0,0086	0,0467	0,9907	0,9006
Uşak	61	184638	180,95	0,0024	0,0196	0,9949	0,9402
Yatağan	40	172155	136,31	0,0037	0,0265	0,9939	0,9333

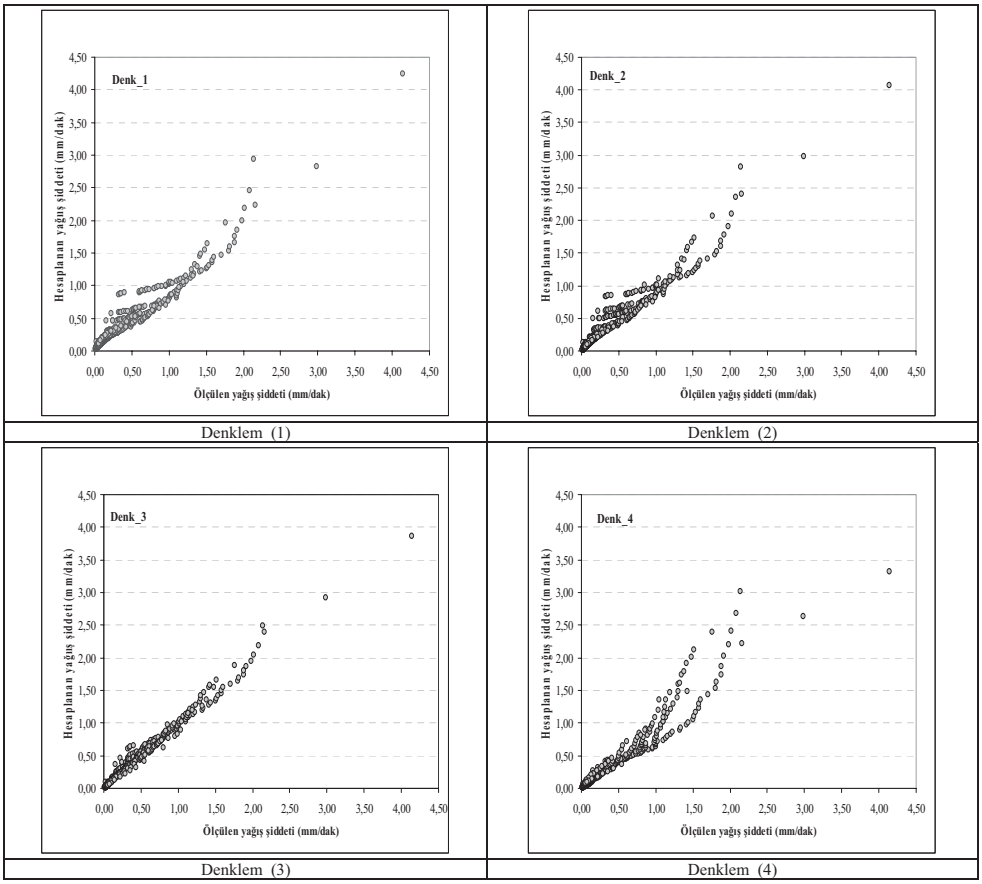
Çalışma alanında yer alan istasyonların gözlenmiş SSMY değerlerine en iyi uyum gösteren bağıntının belirlenmesi için; Denklem (1)-(8) 'in *E* hata değerlendirme ölçütüne göre istasyon bazında ayrıntılı analizi yapılmış ve performans değerlendirmesi Tablo 5'de özetlenmiştir. İlgili Tablodan görüleceği gibi; Gumbel dağılımına dayalı (5) bağıntısı bölgenin çoğunda en iyi uyumu göstermesine karşılık, gözlenmiş SSMY değerlerine en iyi uyum gösteren bağıntı istasyondan istasyona değişim göstermektedir. Tablo 5'de en iyi uyum sağlayan bağıntılar koyu renkli olarak gösterilmiştir.

Bu nedenle; su yapıları ve kentsel altyapı sistemlerinin önemli elemanlarından olan yağmur suyu drenaj sistemlerinin tasarım ve işletilmesinde karşılaşılacak risklerin güvenilir olarak hesaplanmasında, ŞSF bağıntısının seçimi oldukça önemli olup, özellikle; gözlem süresinden daha büyük yinelenme süresine sahip yağış şiddetlerinin güvenilir tahminlerinde bu durum önem kazanmaktadır.

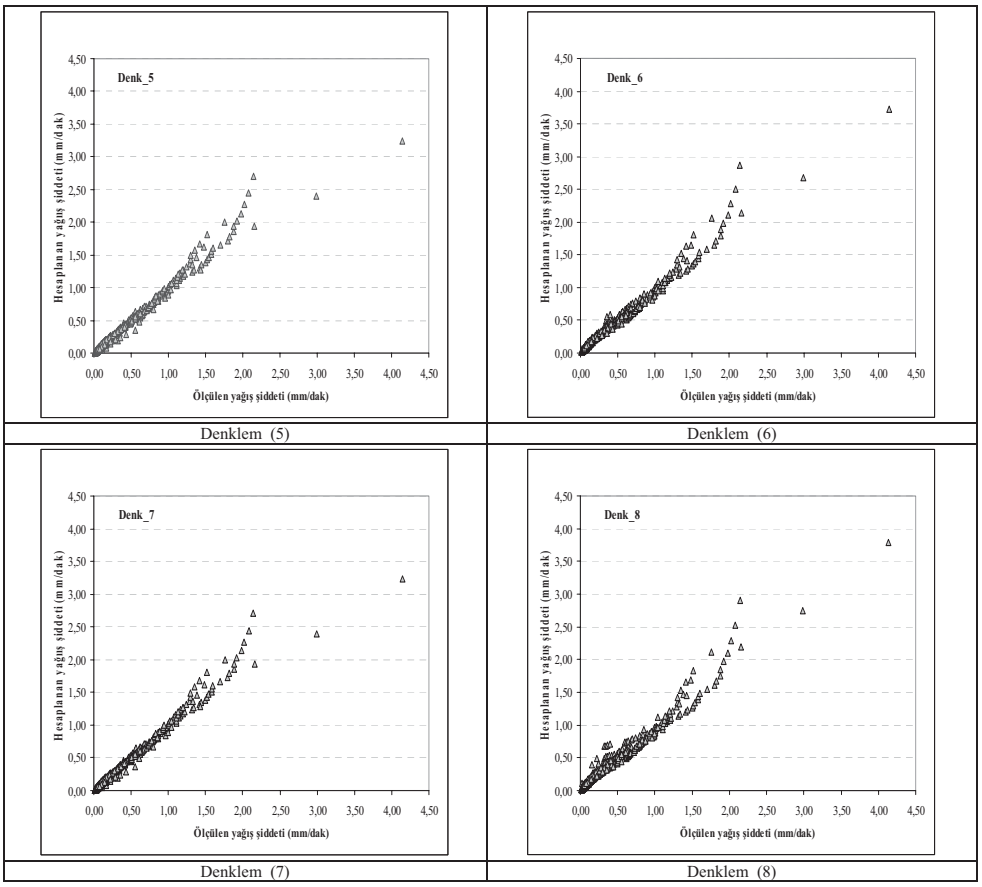
Tablo 5. *E* hata değerlendirme ölçütüne göre ŞSF bağıntılarının performansı

İstasyon	E							
	Denklem							
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
Acıpayam	0,7997	0,8392	0,9151	0,8946	**0,9330**	0,8995	0,9018	0,8772
Afyon	0,8005	0,8281	0,9156	0,9177	0,9126	0,9101	**0,9222**	0,8970
Akhisar	0,8127	0,8429	0,9056	0,9099	0,8964	**0,9139**	0,9087	0,8946
Aydın	0,8144	0,8563	**0,9225**	0,8751	0,9121	0,8986	0,8984	0,8763
Ayvalık	0,7898	0,8436	0,9139	0,7960	**0,9188**	0,8941	0,9013	0,8767
Bergama	0,8536	0,8852	**0,9322**	0,8243	0,9321	0,9187	0,9162	0,9033
Bodrum	0,8375	0,8936	0,9439	0,8417	**0,9440**	0,9181	0,9282	0,9059
Bolvadin	0,8002	0,8439	0,8709	0,8331	**0,8987**	0,8910	0,8948	0,8766
Bornova	0,8135	0,8544	0,9156	0,8423	**0,9256**	0,8963	0,8881	0,8681
Çeşme	0,7625	0,8064	0,8955	0,8067	**0,9049**	0,8477	0,8723	0,8321
Dalaman	0,7784	0,8318	0,9008	0,7990	**0,9014**	0,8513	0,8819	0,8466
Demirci	0,8022	0,8468	0,9093	0,8107	**0,9129**	0,8694	0,8933	0,8611
Denizli	0,7864	0,8238	**0,9314**	0,9185	0,9207	0,8948	0,8877	0,8658
Dikili	0,8496	0,8741	0,8960	0,8993	**0,9406**	0,9189	0,9167	0,8915
Dinar	0,8093	0,8413	0,9170	0,8637	**0,9390**	0,9046	0,9095	0,8804
Edremit	0,8351	0,8642	0,9136	0,7886	**0,9353**	0,9199	0,9082	0,8932
Fethiye	0,7963	0,8480	**0,9275**	0,8952	0,9258	0,8788	0,8913	0,8643
Gediz	0,8465	0,8907	0,9315	0,9172	0,9309	0,9292	**0,9395**	0,9093
Güney	0,7947	0,8401	0,8939	0,8611	0,9129	0,8944	**0,9144**	0,8846
İzmir	0,8640	0,8895	0,8837	0,8505	0,9397	**0,9490**	0,9314	0,9166
Kemalpaşa	0,8686	0,8893	0,9111	0,8484	**0,9299**	0,9276	0,9201	0,9042
Kütahya	0,8136	0,8682	**0,9336**	0,8987	0,9333	0,9123	0,9232	0,8981
Manisa	0,8079	0,8585	0,9226	0,8938	**0,9313**	0,8999	0,9097	0,8844
Marmaris	0,8343	0,8796	0,9090	0,7998	**0,9154**	0,9053	0,9117	0,8939
Milas	0,8024	0,8587	**0,9305**	0,8482	0,9268	0,8828	0,9075	0,8750
Muğla	0,8286	0,8442	0,9231	0,8751	**0,9373**	0,9075	0,9026	0,8831
Nazilli	0,8435	0,8680	0,9242	0,8923	**0,9346**	0,9130	0,9131	0,8987
Ödemiş	0,8375	0,8567	**0,9401**	0,9029	0,9375	0,9127	0,9115	0,8926
Salihli	0,8352	0,8605	**0,9428**	0,8923	0,9383	0,9123	0,9156	0,8947
Selçuk	0,8326	0,8516	0,9205	0,8870	**0,9335**	0,9073	0,9115	0,8894
Simav	0,8519	0,8680	**0,9360**	0,8914	0,9104	0,9164	0,9122	0,9046
Sultanhisar	0,8232	0,8474	**0,9200**	0,8968	0,9173	0,8962	0,8995	0,8847
Tavşanlı	0,8184	0,8532	**0,9184**	0,8948	0,9006	0,9018	0,9023	0,8858
Uşak	0,8341	0,8745	0,9241	0,8928	**0,9402**	0,9225	0,9255	0,8997
Yatağan	0,8097	0,8523	0,9244	0,8829	**0,9333**	0,8987	0,9139	0,8814

Bu çalışma kapsamında; her istasyona ait uygun dağılım veya bağıntının seçilmesi için belirtilen analizlerin tümü ayrıntılı olarak yapılmış olmasına rağmen, kapladığı hacim nedeniyle burada sunulamamıştır. Konunun öneminin vurgulanması için sadece Denizli DMİ SSMY verilerinin, matematiksel ve istatistiksel bağıntılar için gözlem ve model sonuçlarına ait saçılım grafikleri sırasıyla Şekil 3 ve 4'de sunulmuştur.



Şekil 3. Matematiksel Bağıntılar için Denizli SSMY gözlem ve model sonuçlarına ait saçılma grafiği



Şekil 4. İstatistiksel Bağıntılar için Denizli SSMY gözlem ve model sonuçlarına ait saçılma grafiği

İlgili şekillerden genel olarak; istatistiksel bağıntıların performansının matematiksel bağıntılara göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Ancak; özellikle 2 mm/dak 'dan daha şiddetli yağışlarda; (3) bağıntısı dışında diğer bağıntıların tahmin performansında önemli sapmaların bulunduğu görülmektedir. Yazar ve arkadaşları tarafından önerilen (3) bağıntısı ise gözlenen ve hesaplanan değerler açısından tüm yağış şiddetleri için çok iyi bir performans göstermektedir. Konuyla ilgili ayrıntılı bilgiler, yazarın yürütücülüğünde devam etmekte olan bir TÜBİTAK projesinde yer almaktadır.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada; su yapılarının ve kentsel altyapı sistemlerinin önemli elemanlarından olan yağmur suyu drenaj sistemlerinin tasarım ve işletilmesinde gerekli olan ŞSF bağıntılarının, ağırlık katsayılarının gözlem verilerine en uygun şekilde belirlenmesi için, sezgisel bir optimizasyon algoritması olan AA tekniğinin etkin bir çözüm aracı olarak kullanılabileceği gösterilmiştir.

Ege bölgesinde yer alan ve DMİ tarafından işletilmekte olan meteoroloji istasyonlarının 2005 yılına kadar olan SSMY verileri kullanılmak suretiyle, farklı hata değerlendirme ölçütlerine göre ampirik ve istatistiksel dağılımlara dayalı 8 bağıntının ağırlık katsayıları AAT-ŞSF modeli kullanılarak belirlenmiş ve model performansları irdelenmiştir.

Yapılan analizler, genel olarak istatistiksel bağıntıların performansının matematiksel bağıntılara göre daha yüksek olduğunu göstermiştir. Tüm hata değerlendirme ölçütlerine göre Ege bölgesi SSMY değerlerini Gumbel dağılımına dayanan (5) bağıntısının en iyi temsil ettiğini ortaya koymuştur.

Performans açısından bunu izleyen bağıntı ise Karahan vd, 2007'de önerilmiş olan (3) no'lu matematiksel bağıntı olup; bu bağıntının ağırlık katsayılarının belirlenmesi için gereken bilgi-işlem süresi Tablo 2'den görüleceği gibi en iyi performans gösteren bağıntıya göre oldukça fazladır (yaklaşık 3 kat). GEV dağılımına dayanan (6) no'lu bağıntı ile Üstel dağılıma dayanan (7) bağıntısının ise performansı farklı hata değerlendirme ölçütlerine göre değişmekte olup; MSE ve r değerlerine göre (6) bağıntısı, MAE ve E değerlerine göre (7) bağıntısı daha iyi performans göstermektedir. Ancak, istasyon bazında yapılan detaylı incelemelerde bu genel davranışın bazı istasyonlarda bozulduğu görülmüştür. Örneğin, bu çalışmada sonuçları ayrıntılı olarak verilen Denizli DMİ SSMY verilerinin; özellikle 2 mm/dak 'dan daha şiddetli yağışlarda (3) bağıntısı dışında diğer bağıntılarda tahmin performansında önemli sapmalar görülmektedir. Benzer davranış, diğer bazı istasyonlarda da görülmektedir. Konuyla ilgili ayrıntılı bilgiler, yazarın yürütücülüğünde devam etmekte olan bir TÜBİTAK projesinde yer almaktadır.

Yapılan ayrıntılı analizler; SSMY verilerine en iyi uyum gösteren ŞSF bağıntısının belirlenmesinin özellikle gözlem süresinden daha büyük yinelenme süresine sahip yağış şiddetlerinin güvenilir tahminleri için önemli olduğunu göstermiştir. Bu nedenle; uygulama amaçlı çalışmalarda mümkün olduğunca fazla sayıda bağıntının uygunluğunun sınanması önerilmektedir.

SSMY verilerinin değerlendirilmesinde karşılaşılan en önemli sorun, aynı istasyonda yağış süresi değiştikçe en uygun frekans dağılım modeli türünün değişim göstermesi olup, bu durum (Aşıkoğlu ve Benzeden, 2007) tarafından ayrıntılı incelenmiştir. Geliştirilen AAT-ŞSF modeli mevcut gözlem verilerine en iyi uyum gösteren bağıntı ve ağırlık katsayılarını AAT kullanarak belirlediği için; aykırı değerlerden kaynaklanan bu problemi büyük ölçüde önlemektedir.

Yağış özellikleri açısından benzer özellikler gösteren istasyonların L-Momentler ve bulanık c ortalamalar kümeleme analizi kullanılarak bölgesel frekans analizi ve

bölgesel bağıntıların belirlenmesi, yazarın yürütücülüğünde farklı bir sezgisel algoritma kullanılarak bir TÜBİTAK projesi kapsamında sürdürülmektedir. Böylece; verileri az olan istasyonlar veya ölçümü bulunmayan yerleşim yerleri için güvenilir tahminlerin yapılması mümkün olacaktır.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma ve çalışmada kullanılan yazılımlar; yazarın yöneticiliğinde sürdürülmekte olan 108Y299 No'lu TÜBİTAK projesi kapsamında farklı sezgisel algoritmaların performansının karşılaştırılması amacıyla hazırlanmıştır. Yazar, desteklerinden dolayı TÜBİTAK ve çalışmada kullanılan SSMY verilerinin temin edildiği DMİ'ye teşekkürlerini sunar.

KAYNAKLAR

Aşıkoğlu,Ö.L, Benzeden, E., Standart Süreli Yıllık Maksimum Yagıslar için Kararlı Frekans Dağılım Modelleri, Fırat Üniv. Fen ve Müh. Bil. Dergisi, 543-551,2007.

Ayvaz, M.T, Simultaneous Determination of aquifer parameters and zone structures with Fuzzy c-Means Clustering and Meta-Heuristic Harmony Search Algorithm, Advances in Water Resources, 30(11), 2326-2338, 2007.

Ayvaz, M.T., Karahan, H., Gürarslan, G., Su Dağıtım Şebekelerinin Armoni Araştırması Optimizasyon Tekniği ile Optimum Tasarımı, 5. Kentsel Altyapı Ulusal Sempozyumu, 1-2 Kasım 2007, Antakya-Hatay , 2007.

Bayazıt, M., Hidrolojide istatistik yöntemler, İTÜ kütüphanesi, Sayı: 1197, 1981.

Ceylan, H., Ceylan, H., Haldenbilen, S., Baskan, O, Transport energy modeling with Meta-Heuristic Harmony Search Algorithm, an application to Turkey, Energy Policy, 36, 2527-2535, 2008.

Cunnane, C., Unbiased plotting positions: A review, Journal of Hydrology, 37 205-222, 1978.

Geem, Z.W. (2006), "Optimal Cost Design of Water Distribution Networks Using Harmony Search", Engineering Optimization, Vol. 38, No. 3, pp. 259-280.

Geem, Z.W., Kim, J-H, Loganathan, G.V., A new heuristic optimization algorithm: Harmony Search. Simulation, 76(2),60-68, 2001.

Karahan, H., Ayvaz, M. T., Gürarslan, G., Şiddet-süre-frekans bağıntısının Genetik Algoritma ile belirlenmesi: GAP Örneği, İMO Teknik Dergi, 4393-4407, 2008.

Karahan, H., Ceylan, H., Ayvaz, M. T., Predicting Rainfall-Intensity using Genetic Algorithm Approach, Hydrological Processes, 21(4), 470-475, 2007.

Kim J.H., Geem Z.W., Kim E.S. (2001), "Parameter Estimation of the Nonlinear Muskingum Model using Harmony Search", Journal of the American Water Resources Association, Vol. 37, No. 5, pp. 1131-1138.

Kite, G.W., Frequency and Risk Analysis in Hydrology, Fort Collins,Water Res. Publ., 1977.

Koutsoyiannis, D., Kozonis, D., And Manetas, A., A mathematical framework for studying rainfall intensity-duration-frequency relationships, Journal of Hydrology, 206, 118-135, 1998.

Lee K.S., Geem Z.W. (2004), "A New Structural Optimization Method Based on the Harmony Search Algorithm", Computers and Structures, Vol. 82, No. 9-10, pp. 781-798.

Yapay Sinir Ağları ile Evapotranspirasyon Miktarının Tahmini

Burhan ÜNAL[1] Murat ÇOBANER [2] Özgür KİŞİ[3]

Özet: Bu çalışmada, referans evapotranspirasyon miktarının belirlenmesinde yapay sinir ağları (YSA) yaklaşımının kullanılabilirliği araştırılmıştır. Amerika Los Angeles eyaletinde bulunan Santa Monica meteoroloji istasyonuna ait solar radyasyon, hava sıcaklığı, bağıl nem ve rüzgar hızından oluşan günlük iklim verileri kullanılarak FAO-56 Penman-Monteith denkleminden elde edilen ET_0 değerleri tahmin edilmiştir. YSA modelleriyle tahmin edilen ET_0 değerleri aynı zamanda CIMIS Penman (1985), Hargreaves (1985) ve Ritchie(1990) deneysel metotları ile karşılaştırılmıştır. Model sonuçları RMSE (karekök ortalama karesel hata), MAE (ortalama mutlak hata) ve R^2 (belirginlik katsayısı) istatistiklerine göre değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlar yapay sinir ağları tekniğinin ET_0 miktarının modellemesinde başarılı bir şekilde kullanılabileceğini göstermiştir.

Anahtar Sözcükler: Referans evapotranspirasyon; Yapay sinir ağları; CIMIS Penman

Evapotranspiration Estimation by Artificial Neural Network

Abstract: The potential of artificial neural network (ANN) technique in modeling of reference evapotranspiration (ET_0) is investigated in this paper. Various daily climatic data, that is, solar radiation, air temperature, relative humidity and wind speed from Santa Monica, in Los Angeles, USA, are used as inputs to the ANN techniques so as to estimate ET_0 obtained using the FAO-56 Penman–Monteith (PM) equation. The estimates of the ANN technique are compared with those of the empirical models, namely, CIMIS Penman (1985), Hargreaves (1985) and Ritchie (1990) methods. Root mean square error (RMSE), mean absolute error (MAE) and determination coefficient statistics are used as comparing criteria for the evaluation of the models' performances. Based on the comparisons, it is found that the MLP technique could be employed successfully in modeling the ET_0 process.

Keywords: Reference evapotranspiration; Artificial neural network; CIMIS Penman

[1] Çukurova Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Adana, E-Posta: bunal@cu.edu.tr
[2] Erciyes Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Kayseri, E-Posta: mcobaner@erciyes.edu.tr
[3] Erciyes Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Kayseri, E-Posta: kisi@erciyes.edu.tr

1. GİRİŞ

Son yıllarda önemi gittikçe artan su ve su kaynaklarının etkin kullanımı için, su kaynaklarının sürdürülebilir olması çok önemlidir. Bunun için sürekli olarak havza bütçesi hesaplanmalıdır. Havza bütçesi hesaplanması için elde birçok parametre olması gereklidir. Bunların en başında gelenlerinden biri de Evapotranspirasyondur. Evapotranspirasyon, sulama sistemlerinin projelendirilmesi, işletilmesi ve idaresinde, ayrıca hidrolojik çalışmalarda büyük önem taşımaktadır. Çünkü doğrudan bitkinin su ihtiyacının hesaplanmasında rol oynamaktadır. Evapotranspirasyon (bitki su tüketimi), serbest su yüzeylerinden veya toprak örtüsünden suyun sıvı ya da katı fazdan gaz fazına geçerek ortama yayılması olan buharlaşma ve bitkilerin kökleri vasıtası ile aldıkları suyun yapraklarındaki stomata adı verilen hücrelerin kontrolünde su buharı olarak atmosfere yayılması olan terleme tanımları ile ifade edilir. Bu iki hidrolojik eleman son yıllara kadar noktasal veya küçük ve bölgesel ölçekte yapılan meteorolojik işlemlerle bulunabiliyordu. Örneğin lizimetreler vasıtası ile yapılan ölçümler buharlaşma ve terleme ile ilgili bilgileri vermekte idi, ancak verilerin çok küçük bir alanı yansıtması, yenilenme imkânının zor olması ve yerinde yapılan ölçümlerin sağlıklı olmaması nedeni ile son yıllarda araştırıcılar farklı yöntemler aramaya başlamışlardır (Alkevli, 2008).

Evapotranspirasyonda etkili olan faktörler, sıcaklık, rüzgâr, güneşlenme süresi ve oransal nem gibi iklim faktörleri yanında bitki cinsi ve bitkinin yetişme süresidir. Evapotranspirasyon; tarla denemeleri, lizimetre gibi geleneksel yöntemlerle ve yaygın olarak da iklim parametrelerine dayalı olarak geliştirilen deneysel metotlarla saptanmaktadır. Tarla denemeleri hem zaman alıcı ve hem de pahalı yöntemlerdir. Meteorolojik verilere dayalı olarak geliştirilen deneysel yöntemler ise genellikle geliştirildikleri yörelerde daha sağlıklı sonuçlar vermektedir.

Türkiye'de evapotranspirasyon hesabında DSİ ve EİE tarafından halen sıcaklık bazlı bir eşitlik olan Blaney-Criddle eşitliği kullanılmaktadır. Fakat FAO (Dünya Tarım Örgütü) tarafından, en güncel bilimsel çalışmalara dayanarak Penman-Montaith eşitliğinin referans (çim) evapotranspirasyonunun hesaplanmasında en iyi sonuç veren yöntem olduğu belirtilmektedir. Penman-Monteith eşitliğinin diğer eşitliklere kıyasla daha tutarlı sonuç vermesinin nedeni ise evapotranspirasyonu etkileyen her unsurun eşitlik içinde göz önüne alınmasıdır. Hesaplanan referans (çim) evapotranspirasyonları bitki katsayılarıyla çarpılarak diğer bitkilere ait evapotranspirasyon bulunmaktadır.

Evapotranspirasyon değerinin belirlenmesi için birçok metot önerilmiştir (Brutsaert, 1982; Jensen ve diğ., 1990). Genellikle enerji dengesi ve aerodinamik denklemlerinin kombinasyonu, ET' nin temelindeki fiziksel ilişkiyi daha iyi temsil ettiği için en iyi sonuçlar bu modellerle elde edilmiştir (Jensen ve diğ., 1990). Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü (FAO), Smith ve diğ. (1997)'nin ET tanımını benimsemiş ve ET değerinin tahmini için standart bir denklem olarak FAO Penman-Monteith (PM) metodunu kabul etmişlerdir (Allen ve diğ., 1998; Naoum ve Tsanis, 2003).

Yapay sinir ağları yaklaşımı, su kaynakları dahil birçok alanda başarılı bir şekilde uygulanmıştır. Son çalışmalar, yapay sinir ağlarının hidroloji alanında alternatif bir metot olarak kullanılabileceğini göstermiştir (Cigizoglu ve Kisi, 2005, 2006; Cobaner ve diğ., 2009; Kisi, 2004, 2005a, 2005b, 2007; Sudheer ve diğ., 2003; Tayfur, 2002).

Ancak literatürde YSA ile ET modellenmesi ile ilgili çalışmalar sınırlıdır. Kumar ve diğ. (2002) referans evapotranspirasyonun (ET_0) tahmininde geri beslemeli eğitme algoritması olan çok tabakalı perseptron kullanmıştır. Birçok YSA modelleri kullanmışlar ve YSA'nın doğru ET tahminleri verdiğini göstermişlerdir. Sudheer ve diğ. (2003) ET_0'ın tahmininde sınırlı iklim verileri kullanarak radyal tabanlı YSA modelini başarılı bir şekilde uygulamışlardır. Kisi (2008) ET_0'ın tahmininde kullanılan deneysel metotlar ile çok tabakalı perseptron, radyal tabanlı ve genelleştirilmiş regresyon yapay sinir ağları modellerini karşılaştırmıştır. YSA modellerinin deneysel modellerden daha iyi sonuçlar verdiğini göstermiştir.

Bu çalışmada, yapay sinir ağlarının evapotranspirasyon miktarını (ET_0) tahmindeki performansı araştırılmış ve sonuçlar deneysel metotlarla karşılaştırılmıştır. Solar radyasyon (R_s), hava sıcaklığı (T), bağıl nem (RH) ve rüzgar hızı (U_2) değişkenlerinin ET_0'a olan etkisi de araştırılmıştır.

2. EVAPOTRANSPİRASYON

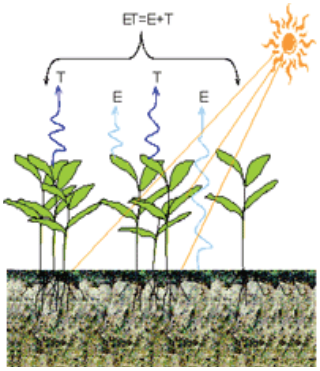
Evapotranspirasyon, buharlaşma (zemin veya bitki yüzeylerinden) ve terleme (bitki dokularından) yoluyla atmosfere verilen su miktarıdır (**Şekil 1**). Ürünlerin, çimenliklerin, bahçelerin ve ağaçların sağlıklı büyüme ve verimlilik için ne kadar suyu ihtiyaç duyduğunun bir göstergesidir.

ET'nin doğru tahmini birçok koşullara bağlıdır. Örneğin tarımsal sulamada ET'nin tahmini; sulama sistemi tasarımı, sulama programını, su iletimi, planlama ve diğer su konularında gereklidir.

ET'nin gerçekleşmesi için şu koşulların meydana gelmesi zorunludur. Birincisi, su yüzeyde bulunması gerekir. İkincisi, akışkan suyun su buharına dönüşmesi için bazı enerji türleri olması gerekir. Üçüncüsü, buharlaşma yüzeyinden su buharının uzaklaşmasını sağlayacak bir mekanizmanın olması gerekir.

Yağış ve sulama, bitkilerin kullandığı ilk iki su kaynağıdır. Bitki yaprakları ve zemin yüzeyi tarlaya verilen suyun bir kısmını geçici olarak tutar. Bu kısım çabucak buharlaşma için mevcuttur. Geri kalan kısım zemine sızar. Bitkiler, kökleri yardımıyla sızan suyu çekerler ve bitkilerin glikoz (şeker) ürettikleri süreç olan fotosentez için yapraklarına kadar ulaştırırlar. Suya ilaveten bitkiler fotosentez için karbon dioksit (CO_2)'e ve ışığa ihtiyaç duyarlar. Işık güneşten gelir ve CO_2 atmosferden gelir. Atmosferden CO_2'yi almak için bitkiler, yaprakları üzerilerindeki mikroskobik delikler olan gözeneklerini açarlar. Bu süreç esnasında bitkiler atmosfere sularını kaybederler.

Daha öncede bahsedildiği gibi likit suyun su buharına dönüşmesi için büyük miktarda enerji (100°C bir atmosferde 1 gram suyu için yaklaşık 540 kalori) gerekir. Bu enerji solar enerji türündeki güneşten sağlanır. Solar enerji su molekülleri tarafından absorbe edilir ve buhar molekülleri arasında yer alan gizli ısı enerjisine dönüştürülür. Böylelikle meydana gelen su buharı, yüzey ve atmosfer arasındaki bir buhar basıncı eğiliminden dolayı atmosfere kaçar. Atmosfere ulaştığında rüzgâr (veya diğer mekanizmalar) yardımıyla yüzeyden uzaklaşır. Bu süreç yukarıda bahsedilen üç koşulun gerçekleştiği sürece devam eder (http://wwwcimis.water.ca.gov/cimis/infoEtoCimis-Equation.jsp).



Şekil 1. Evapotranspirasyonun şematik gösterimi

3. ET'NİN TAHMİNİNDE KULLANILAN DENKLEM VE METOTLAR

Solar radyasyon, hava sıcaklığı, rölatif nem ve rüzgar hızı gibi hava parametreleri; zemin dokusu, yapısı, yoğunluğu ve kimyası gibi zemin faktörleri ve bitki tipi, kök derinliği, yaprak yoğunluğu, yüksekliği ve büyüme evreleri gibi bitki faktörlerini içeren birçok faktör ET'yi etkilemektedir. Lizimetre gibi aletler kullanarak ET ölçülebilmesine rağmen, analitik ve deneysel denklemler kullanılarak ET'nin hesaplanması; ölçüm metotlarının pahalı ve zaman kaybından dolayı yaygın bir uygulamadır. Çoğu ET denklemleri; ET'yi doğrudan veya dolaylı olarak etkileyen ölçülmüş hava parametreleri ile ölçülmüş ET arasında ilişki kurularak geliştirilmiştir. ET'yi etkileyen birçok faktör olduğu için farklı koşullar altında ET tahminini gerçekleştiren bir denklemi formüle etmek oldukça zordur. Bu yüzden referans ürün evapotranspirasyon fikri araştırmacılar tarafından geliştirilmiştir. Referans ET, mm veya inç ile ifade edilen bir referans ürünün ET oranıdır (CIMIS Website: http://wwwcimis.water.ca.gov/cimis/infoEtoCimis-Equation.jsp).

Referans ürünler, biyofiziksel özellikleri yaygın olarak çalışılmış olan ya çim ya da (alfalfa) (kabayonca)'dır. Standartlaştırılmış bir alfalfa yüzeyinden ölçülen ET genellikle ET_r olarak gösterilirken standartlaştırılmış bir çim yüzeyinden ölçülen ET genellikle ET_0 olarak gösterilmektedir. Amerikan inşaat mühendisleri cemiyeti (ASCE) sırasıyla ET_{0r} veET_{0s} kullanımını önermektedir. Burada "s" standartlaştırılmış yüzey koşullarını belirtmektedir. Referans evapotranspirasyon fikrini arkasındaki mantık, ET denklemlerinde kullanılan biyofiziksel özelliklerinin çoğu bilinen standartlaştırılmış referans yüzeylerinde hava koşullarını oluşturmaktır. Bu bilinen parametreleri ve ölçülmüş hava parametrelerini kullanarak böyle yüzeylerde ET hesaplanabilir. Daha sonra, genellikle ürün katsayısı olarak bilinen (Kc) bir ürün faktörü, aynı mikro iklime sahip hava istasyon alanındaki özel bir ürüne ait gerçek evapotranspirasyonu(ET_c) hesaplamak için kullanılmaktadır (CIMIS Website).

ET_0'ı tahmin etmek için birçok teorik ve deneysel denklemler vardır. Herhangi bir metodun seçimi verilen bir koşul altında ve gerekli olan verilerin mevcut olması durumunda denklemin doğruluğuna bağlıdır. Biyofiziksel özellikleri bilinen referans yüzeyler için ET_0'ı etkileyen temel faktörler solar radyasyon, rölatif nem/buhar basıncı,

hava sıcaklığı ve rüzgâr hızından meydan gelmektedir. Bu yüzden ET_0 bir "model" kullanılarak oldukça doğru olarak tahmin edilebilmektedir (CIMIS Website).

Orijinal Penman–Monteith denkleminden ve aerodinamik-yüzey direnci denklemlerinden, Food and Agricultural Organization's Irrigation and Drainage Paper No. 56 Allen ve diğ., [5]'te tarif edildiği gibi referans evapotranspirasyon hesaplaması için saatlik Penman–Monteith (FAO56-PM) denklemi (CIMIS Website)

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta\left(R_n - G\right) + \gamma\left[\frac{37}{T_h + 273.16}\right]U_2\, VPD}{\Delta + \gamma\left(1 + 0.34U_2\right)} \tag{1}$$

kullanılır. Burada ET_0 çimen referans evapotranspirasyonu (mm/h); T_h ortalama saatlik hava sıcaklığı (^oC), U_2, 2 m' deki rüzgâr hızı (m/s); R_n net radyasyon akım yoğunlu (MJ/m^2h); G zemin ısı akım yoğunluğu (MJ/m^2h),

$R_n > 0$ (zaman periyodu gündüz) için

$$G = 0.1R_n \tag{2}$$

ve $R_n \le 0$ (zaman periyodu gece) için

$$G = 0.5R_n \tag{3}$$

VPD atmosferdeki buhar basıncı azaltması (kPa)

$$VPD = e_a - e_d \tag{4}$$

Burada e_a (^oC) ortalama bir saatlik hava sıcaklığındaki (T_h) doygun buhar basıncı:

$$e_a = 0.6108e^{\frac{17T_h}{T_h+237.3}} \tag{5}$$

e_d (^oC) ortalama bir saatlik hava sıcaklığındaki (T_h) gerçek buhar basıncı:

$$e_d = e_a\left(\frac{RH_h}{100}\right) \tag{6}$$

RH_h ortalama saatlik havanın rölatif nemi (%)

$$\Delta = \frac{4099e_a}{\left(T_h + 237.3\right)^2} \tag{7}$$

Δ ortalama hava sıcaklığında (T_h) doygun buhar basıncı eğrisi eğimi (kPa/^{o}C) (Tetens, 1930). **Denklem (1)'deki** 37 değeri, gündüz ve gece süresince saatlik hesaplama zaman adımı için pay sabitidir. γ psikometrik sabit (kPa/^{o}C) (Brunt, 1952):

$$\gamma = 0.00163\frac{P}{\lambda} \tag{8}$$

Burada P, deniz seviyesinden Z (m) yüksekliğindeki istasyonun barometik basınç (kPa) değeridir (CIMIS Website).

$$P = 101.3\left[\frac{T_k - 0.0065\,Z}{T_k}\right]^{5.26} \tag{9}$$

ve dereceden kelvine sıcaklık dönüşümü;

$$T_k = T_h + 273.16 \tag{10}$$

λ gizli buharlaşma ısısı (MJ/ kg) [19];

$$\lambda = 2.501 - \left(2.361\times10^{-3}\right)T_h \tag{11}$$

Kaliforniya Sulama İşletme ve Bilgi Sistemi (California Irrigation Management Information System, CIMIS) Penman denklemi, Davis'te Kaliforniya Üniversitesi'nde geliştirilmiş bir rüzgâr fonksiyonlu modifiye edilmiş Penman denklemini (Pruitt ve Doorenbos, 1977) kullanmaktadır. Metot, saatlik ET_0 hesaplamak için girdi olarak saatlik ortalama hava verilerini kullanır. CIMIS saatlik PM ET_0'ı hesaplamak için kullandığı saatlik PM denklemi, Irrigation and Drainage Paper No. 56'da tarif edilen FAO versiyonudur [5]. CIMIS Penman denklemi de Hidalgo ve diğ. (2005)'te detaylı bir şekilde tarif edilmiştir (CIMIS Website):

$$ET_0 = \left(\frac{\Delta}{\Delta+\gamma}\right)R_n + \left(1-\frac{\Delta}{\Delta+\gamma}\right)\left(e_a - e_d\right).fu \tag{12}$$

Burada ET_0 ortalama saatlik referans evapotranspirasyon (mm/gün); Δ doygun buhar basıncı eğimi (kPa/°C); R_n ortalama saatlik net radyasyon (W/m^2); γ psikometri sabiti (kPa/°C); e_a doygun buhar basıncı (kPa); e_d gerçek buhar basıncı (kPa); fu rüzgar fonksiyonu (m/s)'dir. Günlük ET_0 değeri, CIMIS Penman denklem ile hesaplanan 24 saatlik ET_0 (mm) değerlerinin toplamına eşittir.

ET_0 hesaplamaları için kullanılan en basit denklemlerden biri olan Hargreaves deneysel formülü aşağıdaki gibi ifade edilmektedir (Hargreaves ve Samani, 1985).

$$ET_0 = 0.0023R_a\left(\frac{T_{\max}+T_{\min}}{2}+17.8\right)\sqrt{T_{\max}-T_{\min}} \tag{13}$$

Burada ET_0 referans evapotranspirasyon (mm/gün); T_{max} ve T_{min} sırasıyla maksimum ve minimum sıcaklık (°C) ve R_a yeryüzü dışından gelen radyasyon (mm/gün)'dür.
Jones ve Ritchie (1990) tarafından tarif edildiği gibi Ritchie metodu;

$$ET_0 = \alpha_1 \left[3.87 \times 10^{-3} R_s \left(0.6 T_{\max} + 0.4 T_{\min} + 29 \right) \right] \tag{14}$$

Burada ET_0 referans evapotranspirasyon (mm/gün); T_{max} ve T_{min} sırasıyla maksimum ve minimum sıcaklık (°C) ve R_s güneş radyasyonu (MJ/m^2.gün)'dür. Ritchie metodundaki α_1 katsayısı değişim aralığı **Denklem (15)'te** ifade edilmektedir.

$$\left.\begin{array}{ll} 5 < T_{\max} \le 35°C & \alpha_1 = 1.1 \\ T_{\max} > 35°C & \alpha_1 = 1.1 + 0.05\left(T_{\max} - 35\right) \\ T_{\max} < 5°C & \alpha_1 = 0.01 e^{\left[0.18\left(T_{\max} + 20\right)\right]} \end{array}\right\} \tag{15}$$

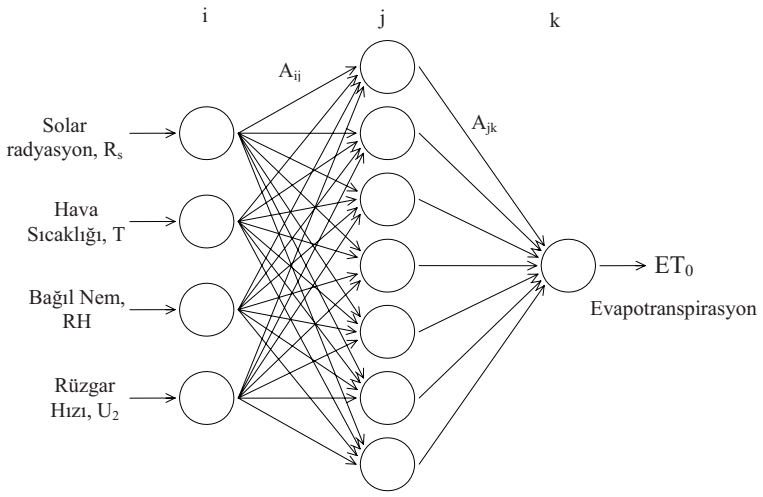
4. YAPAY SİNİR AĞLARI

Bu metot ilk olarak 1943 yılında hücre modelini öneren McCullough ve Pitts tarafından literatürde yer almıştır. Beynin zor işlemleri yapabilme ve karmaşık (kompleks) örnekleri kavrayabilme yeteneği ve özellikle ilgili fiziksel ilişkileri bilmeden yalnızca denemeyle bazı şeyleri öğrenebilmesi, bilim adamlarına Yapay Sinir Ağları metodunun geliştirilmesi için ilham vermiştir. Yapay sinir ağları girdilere karşılık çıktılar üreten bir kara kutu olarak ele alınabilir (Partal ve Cıgızoğlu, 2005).

Yapay sinir ağlarının temel mantığı, biyolojik sinir hücresi yapısından yola çıkarak problemin girdi ve çıktıları arasındaki ağırlık katsayılarının bulunması ve her girdi-çıktı için bu işlemin öğrenen bir sistem ile yapılması üzerine dayanmaktadır (Tokar ve Johnson, 1999).

Yapay sinir ağları, farklı ağırlıklarla birbirine bağlı birçok işlem elemanlarından oluşmuş yoğun paralel sistemlerdir. YSA metotları içerisinde en çok kullanılanı hataların geriye yayılma (back-propagation) ilkesine göre çalışanıdır. **Şekil 2**, bu çalışmada kullanılan üç tabakalı bir yapay sinir ağını göstermektedir.

Yapay sinir ağları, temel olarak üç tabakadan meydana gelmektedir (**Şekil 2**). İlk tabaka (i tabakası), girdi değişkenleriyle bağlantılı olan işlem elemanlarından (hücre veya nöron) oluşur ve girdi tabakası adı verilir. Girdi tabakasının tek görevi ağda girdi tabakasından sonra gelen gizli tabakaya girdi değişkenlerini aktarmaktır. Son tabaka (k tabakası), çıktı değişkenlerinden oluşur ve çıktı tabakası adı verilir. Girdi tabaka ve çıktı tabakaları arasındaki işlem elemanlarından oluşan tabakaya da gizli tabaka (j tabakası) adı verilir (Demirpençe, 2005; Tokar ve Johnson, 1999).



Şekil 2. ET_0 miktarının tahmininde kullanılan YSA yapısı

5. ÇALIŞMA ALANI

Çalışmada CIMIS tarafından Santa Monica (Enlem 34°02' Kuzey, Boylam 118°48' Batı) otomatik hava istasyonuna ait günlük iklim verileri kullanılmıştır. İstasyonun deniz seviyesinde yüksekliği 104 m'dir. İstasyonun konumunu gösteren harita **Şekil 3'te** verilmiştir. CIMIS, California Üniversitesi ve California Su Kaynakları Dairesi tarafından su kaynaklarını etkin bir şekilde kullanılmasını sağlamak için 1982 yılında geliştirilmiş bir programdır. Toplam gelen solar radyasyon miktarı yerden 2 m yükseklikte pyranometre kullanılarak ölçülmektedir. Hava sıcaklığı ise yerden 1.5 m yükseklikte thermistor kullanılarak ölçülmektedir. Bağıl nem belli bir yerdeki hava kütlesinin sıcaklığına ve basıncına bağlı olarak taşıyabileceği maksimum nemin yüzde kaçı kadar neme (su buharına) sahip olduğunu yüzde olarak ifade eden bir kavramdır. Bağıl nem sensörü hava sıcaklığı sensörü ile aynı yükseklikte yerleştirilmiştir. Rüzgar hızı yerden 2 m yükseklikteki üç kaplı anemometre ile ölçülmüştür. Ölçülmüş iklim verileri ve CIMIS Penman yöntemi kullanılarak hesaplanmış ET_0 değerleri CIMIS'ın web sitesinden indirilmiştir (http://www.ipm.ucdavis.edu/WEATHER/wxretrieve.html).



Şekil 3. Kaliforniya, Los Angeles'daki Santa Monica İstasyonu'nun konumu

6. UYGULAMA

İlk olarak Santa Monica istasyonuna ait ET_0 değerleri FAO-56 PM metodu kullanılarak hesaplanmıştır. Veriler eğitme ve test olmak üzere iki gruba ayrılmıştır. İlk 3 yıllık (2001-2003) ET_0 değeri eğitme aşaması için, geriye kalan bir yıllık (2004) ET_0 değeri ise test aşaması için kullanılmıştır. YSA modeli geliştirilirken transfer fonskisyonu olarak sigmoidal fonksiyon kullandığımızdan dolayı, ve başlangıç olarak değişkenlerin önemlerini dengelemek için verilerin ağa girilmeden önce normalize edilmesi gereklidir (Cobaner ve diğ., 2008). Bunun için her bir değişken, **Denklem (16)** kullanılarak normalize hale getirilmiştir. Denklemdeki x_{min} ve x_{mak} sırası ile her bir değişkenin minimum ve maksimum değerini göstermektedir. x_i değişkenin ölçülmüş değerini, x_{ni} ise normalize edilmiş değerleri göstermektedir. Standardizasyon için herhangi bir özel kural yoktur (Dawson ve Wilby, 1998). Denklemdeki *a* ve *b* değerleri sırasıyla 0.6 ve 0.2 alınmıştır. YSA'dan elde edilecek çıkışlarda, veri girişi sırasında kullanılmış **Denklem (16)'nın** tersi kullanılarak normalizasyon işlemi tersine çevrilir.

$$x_{ni} = a\frac{x_i - x_{\min}}{x_{mak} - x_{\min}} + b \tag{16}$$

YSA simülasyonu MATLAB yazılımı yardımıyla çalıştırılmıştır. Her bir giriş kombinasyonu için logaritma ve tanjant sigmoid transfer fonksiyonları ve tek gizli tabaka kullanılmıştır. Her bir giriş kombinasyonu için YSA modellerinin optimum ara tabaka hücre sayıları ve transfer fonksiyonu deneme–yanılma ile bulunmuştur. Hücre sayısını belirlemede RMSE ve MAE ve R^2 değerleri dikkate alınmıştır. RMSE ve MAE eşitlikleri **Denklem (17) ve (18)**'de tanımlanmaktadır.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N}(ET_{o_{FAO-56\,PM}} - ET_{o_{Tah\,\min}})^2}{N}} \quad (17)$$

$$MAE = \sum_{i=1}^{N}\left|ET_{o_{FAO-56\,PM}} - ET_{o_{Tah\,\min}}\right| \quad (18)$$

Denklemde N gözlem adedini göstermektedir.

Bağımsız değişkenlerin etkinliğini görmek amacıyla kurulan modellerde evapotranspirasyon miktarının (ET_0) sadece; solar radyasyon (R_s), hava sıcaklığı (T), bağıl nem (RH) ya da rüzgar hızının (U_2) fonksiyonu olması durumları için YSA modelleri kurulmuştur. Elde edilen istatistik bilgiler doğrultusunda girdi sayısı RMSE değerine göre artırılarak YSA modelleri geliştirilmiş ve CIMIS Penman (Snyder ve Pruitt, 1985), Hargreaves (Hargreaves ve Samani, 1985) ve Ritchie (Jones ve Ritchie, 1990) metotları ile karşılaştırılmıştır (**Çizelge 1**).

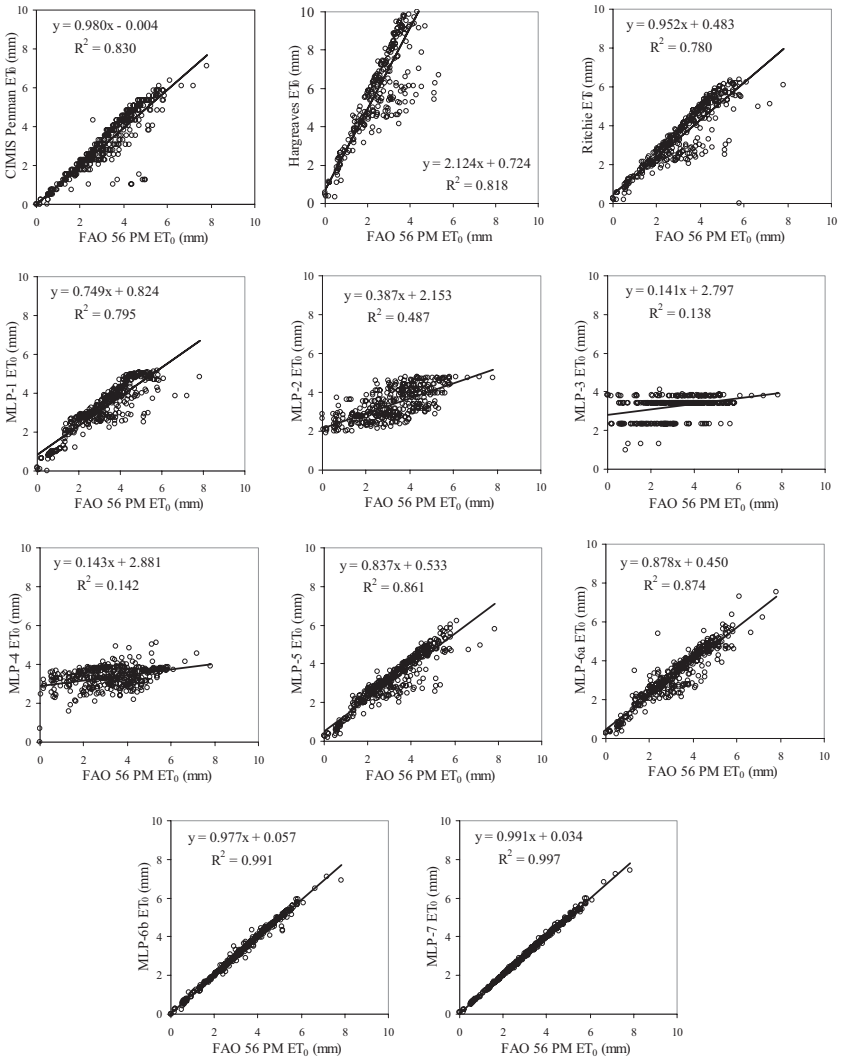
Çizelge 1. Modellerin test aşamasındaki RMSE ve MAE ve R^2 değerleri

Modeller	Model Girdileri	RMSE (mm/gün)	MAE (mm/gün)	R^2 (%)
YSA 1	R_s	0.479	0.427	0.795
YSA 2	T	0.861	1.127	0.486
YSA 3	U_2	1.051	1.771	0.138
YSA 4	RH	1.115	1.777	0.142
YSA 5	R_s ve T	0.375	0.288	0.861
YSA 6a	R_s, T ve U_2	0.375	0.261	0.874
YSA 6b	R_s, T ve RH	0.078	0.020	0.991
YSA 7	R_s, T, RH ve U_2	0.051	0.005	0.997
CIMIS Penman	R_s, T, RH ve U_2	0.391	0.410	0.830
Hargreaves	R_s ve T	4.350	23.567	0.818
Ritchie	R_s ve T	0.649	0.640	0.780

Çizelge 1'den görüldüğü gibi RMSE ve MAE değerlerine bakılarak ET_0 sırasıyla, solar radyasyon (R_s), hava sıcaklığı (T), rüzgâr hızı (U_2) ve bağıl nem (RH)'den etkilendiği görülmektedir. Model girdileri RMSE istatistiği dikkate alınarak artırılmıştır. Rüzgâr hızı tek başına RH'ye göre daha az hata ile ET_0 tahmini yapsa da diğer parametrelerle birlikte model girdisi olarak kullanıldığında YSA 6a ve YSA 7 modellerinde de görüldüğü üzere YSA 5 ve YSA 6b modellerindeki tahmin hatalarını yeterince iyileştirmemiştir. YSA 6b modelini oluşturan RH değeri YSA 5 modeline ilave edildiğinde, MAE değerini 0.288 mm/gün'den 0.020 mm/gün'e indirmiştir. YSA modelleri arasında en iyi tahmini R^2 değeri 0.997, MAE değeri 0.005 mm/gün ve RMSE değeri 0.051 mm/gün olan YSA 7 modeli yapmıştır.

YSA modelleri diğer CIMIS Penman, Hargreaves ve Ritchie metotlarıyla MAE, RMSE ve R^2 istatistikleri dikkate alınarak karşılaştırılmıştır. YSA 5, Hargreaves ve Ritchie metotları R_s ve T girdilerini, YSA 7 ve CIMIS Penman ise R_s, T, RH ve U_2 girdilerini kullanarak tahmin yapmaktadır. Tüm tahmin yöntemleri arasında YSA 7 modeli en iyi performansı göstermiştir. Sadece R_s ve T girdilerini kullanan modeller arasında YSA 5 modeli biraz daha iyi tahminde bulunmuştur. Deneysel metotlar arasında ise en iyi

tahmini R^2 değeri 0.830, MAE değeri 0.410 mm/gün ve RMSE değeri 0.391 mm/gün olan CIMIS Penman metodu yapmıştır. Her bir modelin ET_0 tahminleri **Şekil 4'te** gösterilmiştir.



Şekil 4. FAO-56 PM ve tahmil edilmiş ET_0 değerlerinin saçılma diyagramı

Şekil 4'ten görüldüğü gibi YSA 7 modeli FAO-56 PM'nin ET_0 değerlerine daha yakın tahminde bulunmuştur. Saçılma diyagramlarındaki gözlenen ve tahmin edilen değerler arasındaki ilişkiyi göstermek için uydurulan eğri denkleminin (denklemin y=ax+b olduğu kabul edilirse) a ve b katsayıları R^2 değeri 0.997 olan YSA 7 modeli için sırasıyla bir ve sıfıra daha yakındır. Hargreaves denklemi oldukça yüksek R^2 değerine

sahip olmasına rağmen a ve b değerleri bir ve sıfır olan en iyi uyum doğrusundan çok uzaktadır.

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada evapotranspirasyon değerinin tahmini ileri beslemeli geri yayılmalı yapay sinir ağları yaklaşımıyla modellenmiştir. Evapotranspirasyon değerlerinin tek bir değişkene bağımlı olması durumları için kurulan her modelin sonucu incelenerek etkinlik sıralaması solar radyasyon (R_s), hava sıcaklığı (T), rüzgar hızının (U_2) ve bağıl nem (RH) olarak belirlenmiştir. Hem YSA modelleri hem de CIMIS Penman, Hargreaves ve Ritchie metotlarının yaptığı tahminler ile FAO-56 PM metodunun ET_0 değerlerine karşılaştırıldığında dört girdinin de bulunduğu YSA 7 modelinin diğerlerinden daha yüksek R^2, daha küçük MAE ve RMSE değerine sahip olduğu görülmüştür. Ancak, RH ve U_2 gibi verilerin elde edilmesi zor olduğundan sadece R_s ve T değerlerini girdi olarak kullanan Hargreaves ve Ritchie metotlarının uygulanması gerektiği durumlarda alternatif olarak YSA 5 modeli kullanılabilir. Dolayısıyla YSA yaklaşımı ile evapotranspirasyon değerlerinin oldukça iyi bir yakınlıkla tahmin edilebileceği sonucuna varılmıştır. Bu çalışma belli bir bölge için uygulanmıştır. Buna benzer çalışmalar farklı birçok bölge için uygulanarak bu çalışmada varılan sonuçlar genelleştirilebilir.

8. KAYNAKLAR

Alkevli T, "ASTER ve MODIS Görüntüleri ile Buharlaşma ve Terleme Hesaplanması, Afşin-Hurman Çay Örneği", 61. Türkiye Jeoloji Kurultayı, 24 Mart-28 Mart 2008, MTA Kültür Sitesi, Ankara, 2008.

Brutsaert WH, "Evaporation into the Atmosphere". D. Reidel Publishing Company: Dordrecht, 1982.

Jensen ME, Burman RD, Allen RG, "Evapotranspiration and Irrigation Water Requirements", ASCE Manuals and Reports on Engineering Practices No.70. ASCE: New York; 360pp, 1990.

Smith M, Allen R, Pereira L, "Revised FAO Methodology for Crop Water Requirements", Land and Water Development Division, FAO: Rome, 1997.

Allen RG, Pereira LS, Raes D, Smith M, "Crop evapotranspiration guidelines for computing crop water requirements", FAO Irrigation and Drainage, Paper No. 56, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 1998.

Naoum S, Tsanis IK, "Hydroinformatics in evapotranspiration estimation", Environmental Modelling and Software, 18, 261–271, 2003.

Tayfur G, "Artificial neural networks for sheet sediment transport". Hydrological Sciences Journal, 47(6), 879–892, 2002.

Sudheer KP, Gosain AK, Ramasastri KS, "Estimating actual evapotranspiration from limited climatic data using neural computing technique", ASCE Journal of Irrigaion and Drainage Engineering, 129(3), 214-218, 2003.

Kisi O, “Multi-layer perceptrons with Levenberg-Marquardt training algorithm for suspended sediment concentration prediction and estimation”, Hydrological Sciences Journal, 49(6), 1025-1040, 2004.

Kisi O, “Suspended sediment estimation using neuro-fuzzy and neural network approaches”, Hydrological Sciences Journal, 50(4), 683-696, 2005.

Kisi O, “Daily river flow forecasting using artificial neural networks and auto-regressive models”, Turk. J. Eng. Environ. Sci., 29, 9-20, 2005.

Kisi O, “Evapotranspiration modelling from climatic data using a neural computing technique”, Hydrological Processes, 21, 1925-1934, 2007.

Cigizoglu HK, Kisi O, “Flow prediction by three back propagation techniques using k-fold partitioning of neural network training data”, Nordic Hydrology, 36(1), 49-64, 2005.

Cigizoglu HK, Kisi O, “Methods to improve the neural network performance in suspended sediment estimation”. Journal of Hydrology, 317, 221-238, 2006.

Cobaner M, Unal B, Kisi O, “Suspended sediment concentration estimation by an adaptive neuro-fuzzy and neural network approaches using hydro-meteorological data”, Journal of Hydrology, 367(1-2), 52-61, 2009.

Kumar M, Raghuwanshi NS, Singh R, Wallender WW, Pruitt WO, “Estimating evapotranspiration using artificial neural network”, ASCE Journal of Irrigaion and Drainage Engineering, 128(4), 224-233, 2002.

Sudheer KP, Nayak PC, Ramasastri KS, “Improving peak flow estimates in artificial neural network”, Hydrological Processes, 17, 677-686, 2003.

Kisi O, “The potential of different ANN techniques in evapotranspiration modelling”, Hydrological Processes, 22, 2449-2460, 2008.

California Irrigation Management Information System, CIMIS. website: http://wwwcimis.water.ca.gov/cimis/infoEtoCimis-Equation.jsp.

Tetens O, “Über einige meteorologische Begriffe”, Zeitschrift fuer Geophysik 6, 297–309, 1930.

Brunt D, “Physical and Dynamic Meteorology”, Cambridge University Pres, 428 pp., 1952.

Pruitt WO, Doorenbos J, “Empirical calibration, a requisite for evapotranspiration formulae based on daily or longer mean climatic data”, Proc. Int. Round Table Conf. on Evapotranspiration, Budapest, Hungary, International Commission on Irrigation and Drainage, 20 pp, 1977.

Hidalgo, H.G., Cayan, D.R. and Dettinger, M.D., Sources of variability of evapotranspiration in California. J. of Hydrmoeteorology, 6, 3-19, 2005.

Hargreaves GH, Samani ZA, “Reference crop evapotranspiration from temperature”, Applied Engrg. In Agric., 1(2): 96-99, 1985.

Jones JW, Ritchie JT, “Crop growth models, Management of farm irrigation system”, G.J. Hoffman, T.A. Howel, and K.H. Solomon, eds., ASAE Monograph No.9, ASAE, St. Joseph, Mich. 63-89, 1990.

Partal T, Cıgızoğlu K, "Yapay Sinir Ağları ile Meteorolojik Verileri Kullanarak Yağış Tahmini", Bilimde Modern Yöntemler Sempozyumu, s. 798, Kocaeli, 2005.

Tokar AS, Johnson PA, "Rainfall-Runoff Modelling Using ANN", Journal of Hydrologic Engineering, 4(3): 232-239, 1999.

Demirpençe H, "Akarsularda Debi - Su Seviyesi İlişkisinin Yapay Sinir Ağları ile Belirlenmesi", Bilimde Modern Yöntemler Sempozyumu, s. 815, Kocaeli, 2005.

UC IPM Online Statewide Integrated Pest Management Program, University of California, http://www.ipm.ucdavis.edu/WEATHER/wxretrieve.html.

Cobaner M; Seckin G, Kisi O, "Initial assessment of bridge backwater using an artificial neural network approach", Canadian Journal of Civil Engineering, 35(5), 500-510, 2008.

Dawson WC, Wilby R, "An artificial neural network approach to rainfall-runoff modeling", Hydrological Sciences Journal, 43(1), 47-66, 1998.

Snyder R, Pruitt W, "Estimating reference evapotranspiration with hourly data", Chpt. VII. In R. Snyder et al. (ed.) California Irrigation Management Information System Final Report. Univ. of California-Davis. Land, Air and Water Resources Paper #10013, 1985.

Günlük Akışlardaki Boşlukların Yapay Sinir Ağları Yöntemiyle Doldurulması

Mutlu Yaşar[1], N. Orhan Baykan [2]

Özet: Su kaynaklarının planlanmasına yönelik birçok çalışmada, çevresel kirliliğin, iklimsel değişikliğin ve nüfusun hızla artışının etkisiyle eniyi işletim sisteminin oluşturulması gün geçtikçe daha fazla önem kazanmaktadır. Planlama ve tasarım aşamasında, mevcut hidrolojik ve meteorolojik verilerin yeterliliği ve güvenilirliği değerlendirilmeli, yeterli veri yoksa, çeşitli kestirim yöntemleri ile bu veriler oluşturulmalıdır. Bu çalışmada, yağışın akışa dönüşüm süreci yapay sinir ağları ile tanımlanmaya çalışılmış, bu dönüşümün ne oranda gerçekleştirilebileceği araştırılmıştır. Bunun için İleri Beslemeli Sinir Ağında Geriye Yayınım Yöntemi ile Adıyaman iline ilişkin yağışın küp-kök değerleri ve sıcaklık ve anılan zamandan bir önceki günün akış değerleri kullanılarak bir sonraki günün akışı kestirilmeye çalışılmıştır. Öğrenme tipi olarak denetimli öğrenme; öğrenme algoritması olarak ise yanılgıyı geri yayma algoritması kullanılmıştır. YSA yöntemiyle, Adıyaman Meteoroloji İstasyonu ve Ziyaret Çayı'na ilişkin 1985-1988 yılları arasındaki, akım, sıcaklık ve yağış verileri kullanılarak, yağış-akış ilişkisi oluşturulmuştur. Model çalışmasında sıcaklık ve yağış verileri girdi, akış verileri çıktı olarak gözönüne alınmıştır. Yağışların özgün değerlerinin yerine küb-köklerinin kullanılması ile girdi ve çıktı değişkenleri arasındaki ilişki güçlendirilmiştir. Eğitim aşamasında, 1435 adet verinin 1312'si ile modelleme yapılmıştır. Ağın eğitilmesinden sonra, ağ 123 adet veri takımıyla sınandığında, ölçülmüş akım değerleriyle benzetilmiş akım değerlerinin arasında % 90'lara varan uyumluluk elde edildiği görülmüştür.

Anahtar Sözcükler: Yapay sinir ağı; Geriye yayınım; İleri beslemeli; Kübkök dönüşümü

Filling the Gaps in Daily Flows by Artificial Neural Network

Abstract: In various studies relevant the planning of water resources, setting up of the optimal operating system plays an important role under the impact of environmental pollution, climate change and population growth. At the stage of the planning and design, sufficieny, efficiency and reliability of the available hydrologic and meteorologic data have to be evaluated. In case of non-available data, these data have to be created using of various estimation methods. In this study, the process of the transformation between precipitation-runoff has been tried to be presented by artificial

[1] Pamukkale Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Denizli, E-Posta: mutluyasar@pau.edu.tr

[2] Pamukkale Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Denizli, E-Posta: obaykan@pau.edu.tr

neural network (ANN) and has been investigated its percentage of the realizing. Thus, by using of the 3th order root of precipitation, temperature and values of previous-day's flow, the present value of the flows has been tried to estimed with the method of backward-propagation on the feed-forward neural network. It has been utilized the controlled learning for type of learning and the backward propagation algorithm for the learning purpose. With the help of ANN-method, the relationship between precipitation-runoff has been developed by using the data of the Meteorological Station and Ziyaret-creek from 1985 to 1988 of Adıyaman/Türkiye, temperature, precipitation and runoff values, respectively. By the modeling-study, the values of temperature and precipitation data have been considered as input, while flow values have been considered as output. The utilization of the 3th order roots of precipitation instead of measured data has strengthened the relationship between input and output. During the learning stage the modeling has been realized using of 1312 data of total 1435. After learning stage, the network has been tested with 123 data-set, and so the order of fitness between measured and simulated flow-values has arised up to 90%'s.

Keywords: Artificial neural network; Backward propagation; Feed-forward; Root of third order transformation

1. GİRİŞ

Hidroelektrik santral tasarımında akarsu debisinin yıl içindeki değişimini belirlemek için, uzun dönemli veriye ve yağış-akış ilişkisinin oluşturulmasına gereksinme duyulmaktadır.

Ülkemizde bu ölçümlerin sürekli olarak yapıldığı akarsular yalnızca büyük akarsular olduğundan, küçük debili akarsuların, küçük hidroelektrik santraller aracılığıyla değerlendirilmesi için genellikle boşluklu olan akışların doldurulması çok yararlı olmaktadır.

Mevcut veriyle, hem su kaynakları sistemlerinin davranışlarını tanımlamak, hem de ek veri üreterek ileriye dönük kestirimler yapabilmek amacıyla, pek çok model geliştirilmiştir. Bu amaçla 1920'lerden günümüze değin yapılan çok sayıdaki çalışmayla, çeşitli yağış akış modelleri oluşturulmuştur. Bu yöntemlerin en yenilerinden birisi sayılabilecek olan Yapay Sinir Ağları (YSA) yöntemi, yağış-akış modellemesinde sıklıkla kullanılan bir yöntem haline gelmiştir.

Onbeş yılı aşkın bir süredir uygulamaları giderek zenginleşen bir yapay bir zeka yöntemi olan yapay sinir ağları (YSA) bir "kara kutu" modelidir. YSA'nın, su kaynaklarında sıkça karşılaşılan değişik sorunlara uygulanması ile ilgili çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Yapay sinir ağları klasik yöntemlerle karşılaştırıldığında, yapay nöronların doğrusal olmamaları, doğadaki her türlü soruna uygulanabilmeleri, öğrenme algoritmasının oluşturulmasında sağladığı kolaylıklar ve eğitim aşamasında eksik parametrelerle uygulanan sistem girişine karşılık, en uygun sistem çıktısını üretebilmeleri gibi pek çok üstünlükleri vardır.

Su kaynakları sisteminin planlamasında sistemin davranışını tanımlamak, veri üretmek ve ileriye dönük kestirimler yapmak gereklidir. Bu aşamadaki ilk adım; mevcut su miktarının tahmin edilmesidir. Tahmin yapılırken önceki dönemlere ait akışın mevcut

olması, elde edilecek tahminlerin doğru ve güvenilir olması açısından oldukça önemlidir. Ancak genellikle ana akarsu kolları ve yan kollar üzerindeki akım gözlem istasyonları az sayıdadır veya hiç yoktur.

Bu makale çalışması kapsamında yağış akış ilişkisi; yağışın akışa dönüşümü, yağış akış modellerinin gelişimi ve modelleme ilkeleri, ve son dönem yapay zeka tekniklerinden yapay sinir ağları ile bu dönüşümün ne oranda tespit edilebileceği araştırılmıştır.

Doğrusal olmayan YSA yaklaşımının yağış-akış ilişkisini iyi bir biçimde simgelediği gösterilmiştir (Hsu vd., 1995; Mason vd., 1996; Minns ve Hall, 1996; Fernando ve Jayawerdena, 1998). Şen ve Sönmez (1998), çalışmalarında yapay sinir ağı mimarisi ile yağışın iki zaman önceki geçmiş değerler ile buharlaşmanın bir zaman önceki değerini esas alarak, akış kestirimi yapmışlardır. İleri beslemeli geriye yayınım algoritmasının akım serisi kestirimlerinde klasik istatistik ve stokastik modellere oranla daha başarılı olduğu gösterilmiştir (Brikundavyi ve diğ., 2002; Cığızoğlu 2003a, 2003b). Kişi (2001, 2003), yaptığı çalışmada, Yapay Sinir Ağları kullanarak akış kestirimi yapmıştır. Ölçülmüş aylık toplam akış verilerinin bir kısmını yapay sinir ağlarında eğitmiş, bir kısmı ile de sınamıştır.

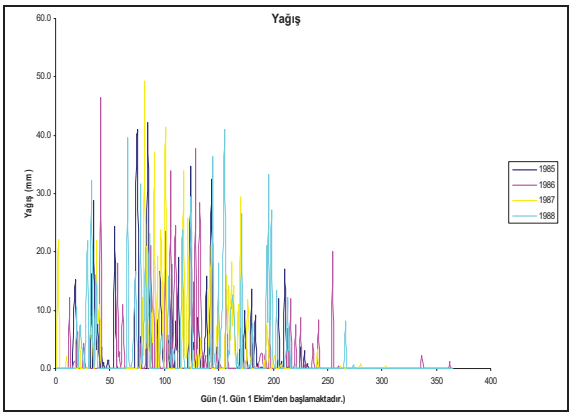
2. VERİLER

2.1. Genel

İncelenen 21-189 nolu istasyonda yalnızca 01.12.1983 tarihinden bu yana ölçümler yapılmıştır. Günlük akış verileri son 21 yıllık olmasına rağmen, yalnızca 1985, 1986, 1987, 1988 yıllarındaki kayıtlar tamdır. Diğer yıllarda ise bir yılda okunan sadece birkaç değer bulunmaktadır. Bu çalışmada kullanılan veriler, Adıyaman bölgesine ait 1 Ekim 1985 ile 30 Eylül 1988 tarihleri arasındaki 1435'er adet sıcaklık, yağış ve akış dizisinden oluşmaktadır.

2.2 Yağış Verileri

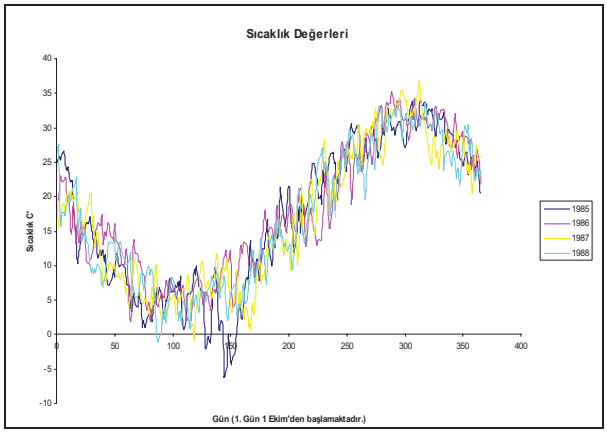
Adıyaman iline ait yağış değerlerinin, gün biriminde zamana bağlı değişimleri Şekil 1'de verilmektedir. Yağış verileri Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü Adıyaman Şube Müdürlüğünden sağlanmıştır. Şekilden de görüleceği üzere, 1985-1988 yılları arasındaki ortalama yağış değerleri düzensiz olarak dağılım göstermektedirler.



Şekil 1. Yağış değerleri

2.3 Sıcaklık Verileri

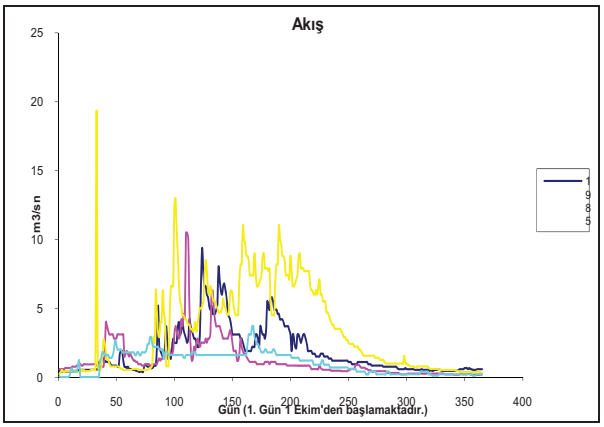
Adıyaman iline ait sıcaklık değerlerinin, zamansal dağılımları Şekil 2'de verilmektedir. Yağış verileri Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü Adıyaman Şube Müdürlüğü'nden sağlanmıştır. Şekilden de görüldüğü üzere, 1985-1988 yılları arasındaki sıcaklık değerleri belirgin bir periyodikliğe sahiptirler.



Şekil 2. Sıcaklık değerleri

2.4 Akış Verileri

Adıyaman iline ait akış değerlerinin, zamansal dağılımları Şekil 3'de verilmektedir. Akış verileri Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğünün 21-189 nolu akım gözlem istasyonundan alınmıştır. Yağış değerlerine benzer biçimde, 1985-1988 yılları arasındaki akış değerleri de düzensiz bir dağılım göstermektedirler.

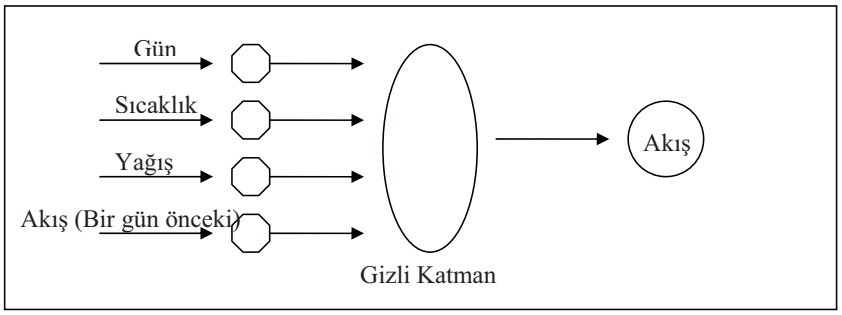


Şekil 3. Akış değerleri

3. UYGULANAN YÖNTEM

3.1 Kullanılan Model Yapısı

Yapay Sinir Ağları, insanların sinir ağına benzetilmeye çalışılarak eğitildikleri için, eğitim sırasında yeterli ve geniş bir veri setinin kullanılması ile çok iyi sonuçlar elde edilebilmektedir. Bu tez çalışmasında, 1985, 1986, 1987 ve 1988 yıllarına ait, DSİ' nin 21-189 nolu akım gözlem istasyonundan alınan akış verileri ile, Devlet Meteoroloji Genel Müdürlüğü Adıyaman Gözlem İstasyon'undan alınan sıcaklık ve yağış verileri kullanılmıştır. YSA' nın eğitilmesi sırasında girdi değişkeni olarak, gün, sıcaklık, yağış ve bir gün önceki akış değeri alınmıştır. Bu değişkenler Şekil 4'de gösterilmiştir.



Şekil 4. Model Değişkenleri

Model oluşturulurken en uygun sonucu elde etmek için ağırlıklar, gizli katman sayısı ve her bir gizli katmandaki nöron sayısı deneme-yanılma yolu ile bulunmuştur. YSA eğitilirken sigmoid tipi aktivasyon işlevi kullanılmıştır:

$$\psi(S) = \frac{1}{1+e^{-s}} \tag{1}$$

Kullanılan bu aktivasyon işlevinin özelliğinden dolayı eğitim ve test çıktı değerleri (0-1) arasında normalize edilmiştir. Normalize işlemi bilindiği üzere veri seti içerisindeki enküçük ve enbüyük değerlerin saptanmasının ardından en küçük değerin 0'la; en büyüğün ise 1 ile eşleşmesiyle yapılmaktadır. Böylece programa girdi olarak verilen veri setinin çıktıları da normalize olarak elde edilmiş daha sonra gerçek durumuna çevrilmiştir.

Sınıflandırma, görüntü işleme ve YSA yeteneklerini birleştiren bir yazılım ortamında gerçekleştirilirse uygulamacıya büyük kolaylık sağlar. Matlab bu amaçla kullanılabilecek en uygun araçlardan biridir. Bu çalışmada, yapay sinir ağlarıyla yağış-akış ilişkisini oluştururken Matlab 6.5 yazılımının YSA modülü kullanılmıştır.

Bu çalışmada YSA mimarisi olarak; İleri Beslemeli Geriye Yayınım Yöntemi (İBGY) ve Genelleştirilmiş Regresyon Sinir Ağı (GRSA) şeklinde iki farklı seçenek kullanılabilirliği araştırıldığında; Alp ve Cığızoğlu'nun (2004) yaptığı çalışmada, İBGY yönteminin GRSA'ya göre daha iyi sonuçlar verdiği dikkate alınarak İBGY mimarisinin daha uygun olacağı düşünülmüş ve İBGY yönteminin kullanılmasına karar verilmiştir. Öğrenme tipi olarak denetimli öğrenme, öğrenme algoritması olarak ise hatayı geriye yayma algoritmasının uygun olacağı düşünülmüştür.

Yapay sinir ağlarının girdi tabakasındaki hücre sayısı belirlenirken, genelde deneyerek en iyi sonuçlar bulunmaya çalışılır. Son zamanlarda bir ilk yaklaşım olması bakımından, girdi tabakasındaki hücre sayısı saptanırken, yağış ve akış veri çiftlerinin çapraz korelasyon katsayıları dikkate alınmaktadır.

Çalışmanın birinci aşamasında, yapay sinir ağlarına eğitim girdisi olarak; gün, sıcaklık, yağış, değerleri, çıktı olarak ise akış değerleri girilmiş ve ağın kendini eğitemediği belirlenmiştir. Bu durumda mevcut yağış serisi ile akış serisi arasındaki ilişki regresyon çözümlemesiyle test edilmiştir ve yağış ile akış arasındaki ilişkinin 0,284 gibi çok düşük bir değere sahip olduğu görülmüştür. Bu durumda doğrusal olarak kurulmaya çalışılan yağış–akış ilişkisi için, Baykan (1977) tarafından yapılan çalışmadaki sonuca göre, küp kök dönüşümlü yağışların dikkate alınmasına karar verilmiştir.

Günlük yağışlara uygulanan küp kök dönüşümü ile standardize rasgele değişkenin dağılma ve yayılmasıyla ortalama etrafındaki yoğunlaşması önemli ölçüde azaltılabilmekte olduğu görülmüştür (Baykan, 1977). Yağış ve akış dizileri arasındaki korelasyon katsayısı yağışın küpkök değerlerini değil de doğrudan kendi yağış değerlerini dikkate alarak yağış-akış ilişkisi incelendiğinde 0,284 gibi bir değere sahipken; yağışın küpkökü alınarak kurulan yağış–akış ilişkisinde, yağış ve akışın aynı gün olması durumunda elde edilen ilişki 0,433; yağışın aynı gün buna karşın akışın bir sonraki gün olarak dikkate alındığı durumda 0,431 ve yağışın aynı gün, akışın 2 gün sonraki değeri dikkate alınarak yapılan değerlendirmede 0,38 olarak elde edilmiştir.

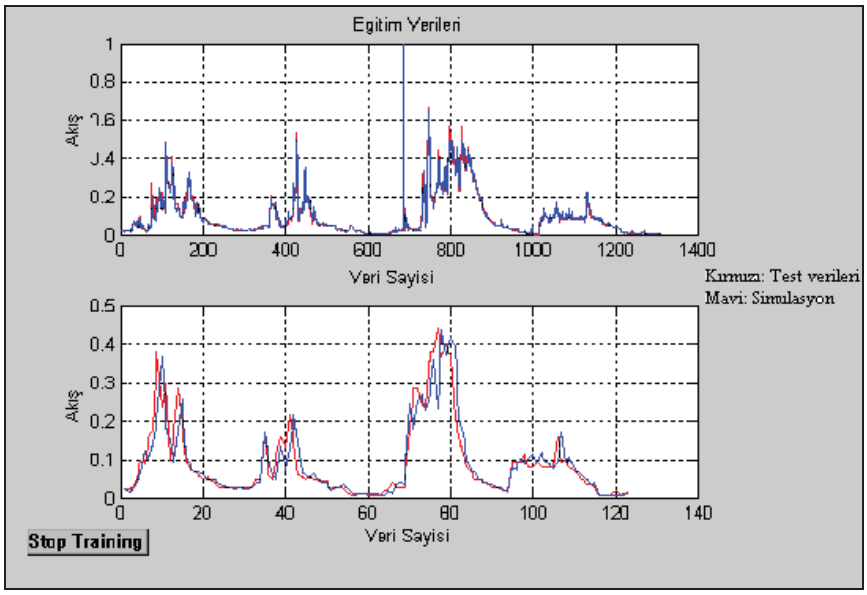
Bu biçimde denemeler yapıldığında, ağın eğitiminde ilk yaklaşıma göre gelişmeler olduğu görülmüş ancak yine de %10' luk mutlak yanılgı oranı elde edilememiştir. YSA içinde yer alan "İleri Beslemeli Sinir Ağında Geriye Yayınım Yöntemi" kullanılarak mevcut yağış, sıcaklık ve anılan zamandan bir önceki günün akış değerinin olması durumunda bir sonraki günün akışı kestirilmeye çalışılmıştır. Bu durumda gün, sıcaklık ve yağış değerlerine bir gün öncesinin akış değeri de girdi olarak eklendiğinde arzu

edilen %10'luk mutlak yanılgı oranı yakalanmıştır. Bu sonuç, veri sayısının fazlalığının yanısıra iterasyonun ağır işlemesi nedeniyle 16 adet bilgisayarla 2 ay boyunca yapılan çalışmalarla elde edilmiştir.

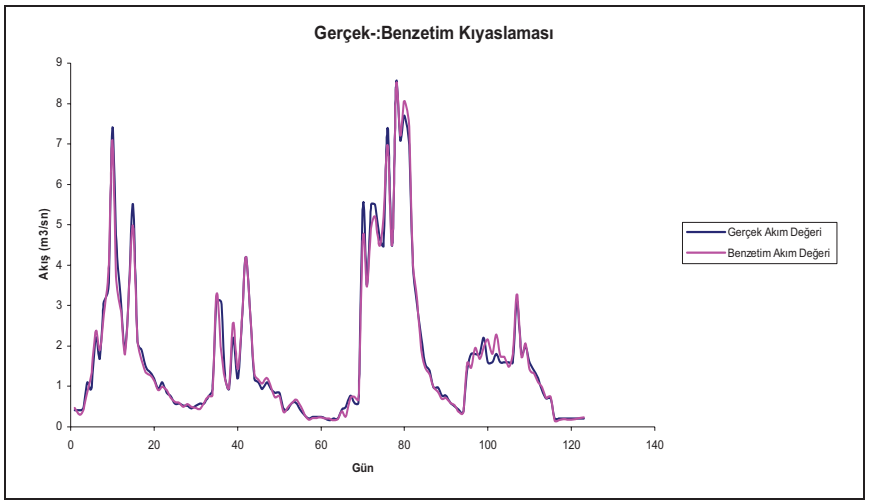
4. BULGULAR

Yapay sinir ağının eğitimi aşamasında ise 1435 veriden 1312' si kullanılmıştır. Daha sonra eğitilen ağ, 123 adetlik veri takımları ile test edilmiş ve Şekil 5'de verilen sonuçlara ulaşılmıştır.

YSA' nın eğitim ve test işleminde Matlab 6.5 paket programının Neural Network tool box'ı kullanılmıştır. Gizli katman sayısı 1, bu katmandaki nöron sayısı 16; öğrenme derecesi; 0,1; momentum katsayısı 0,6 ve iterasyon ise 7000 alınarak uzun süren denemeler sonucunda bulunmuştur. Yukarıda verilen grafikte sonuçlar normalize olarak karşılaştırılmaktadır. Gerçek değerlerin karşılaştırılması ise Şekil 6'da verilmiştir.



Şekil 5. Test girdisi değerlerinin test çıktı değerleri ile karşılaştırılması (normalize)



Şekil 6. Gerçek benzetim karşılaştırması

5. SONUÇLAR

5.1. Genel

Hidroelektrik santral tasarımında akarsuyun debisinin yıl boyunca değişimi ortaya konmalı, su alma ağzının en verimli ve en ucuz olarak alınacağı yer saptanmalıdır. Ayrıca, dönem dönem ne kadarlık bir güç sağlanabileceği de belirlenmelidir. Bu amaçla, HES tasarım aşamasında havzaya ilişkin akım sürek eğrisinin elde edilmesi gereklidir. Ülkemizde yağış, buharlaşma, akış, sızma gibi birçok hidrolojik değişkene ilişkin veri uzunlukları oldukça yetersizdir. Bu yüzden, su yapıları tasarım ve projelendirilmesine esas olan bu tip verilerin, kısa dönemli mevcut veri yardımıyla veya bölgeselleştirme yöntemleriyle oluşturulması gerekir.

Yağış ve akışla ilgili eksik verilerin tamamlanabilmesi, hidrolojinin en önemli sorunlarındandır. Verinin olmadığı veya çok az olduğu bölgelerde verinin elde edilmesi ve eksik kısımların tamamlanabilmesi amacıyla pek çok yöntem kullanılmaktadır.

Son yıllarda bilgisayar teknolojisindeki gelişmeler, hidrolojik olaylarla ilgili tasarım çalışmalarında çevresel etkilerin dikkate alınması ve sürdürülebilir kaynak yönetimi kavramının önem kazanmasına bağlı olarak birçok yeni yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntemlerden biri de pek çok bilimsel alanda kullanılan Yapay Sinir Ağları (YSA) yöntemidir. YSA yöntemi, girdi faktörleri takımı ve çıktı değişkenlerinden oluşan bir kara kutu modelleme tekniğidir. Biyolojik sinir ağlarının çalışma ilkelerinden yola çıkarak ortaya konulan bu model, son yıllarda birçok mühendislik alanında başarıyla uygulanmaktadır.

Bu tez çalışmasında, 1985, 1986, 1987, 1988 yıllarına ilişkin; DSİ' nin 21-189 nolu akım gözlem istasyonundan alınan akış verileri ile, Devlet Meteoroloji Genel

Müdürlüğü'nün Adıyaman İli Gözlem İstasyonundan alınan sıcaklık ve yağış verileri kullanılmıştır. YSA' nın eğitilmesi sırasında girdi parametresi olarak; gün, sıcaklık, yağış ve bir gün önceki akış değeri alınmıştır. Yapay Sinir Ağlarında eğitim sırasında yeterli ve geniş bir veri setinin kullanılması ile çok iyi sonuçlar elde edilebilmektedirler.

5.2. Sonuçlar

Çalışmada öncelikle eğitim girdisi oluşturulmaya çalışılmıştır. Eğitim girdisi olarak, gün, sıcaklık ve yağış değerleri dikkate alınmıştır. Bu durumda ağın kendini eğitemediği belirlendiğinden, mevcut yağış serisi ile akış serisi arasındaki ilişki regresyon çözümlemesiyle sınanmış ve yağış ile akışın arasındaki ilişkinin 0,28 gibi çok düşük bir değere sahip olduğu görülmüştür. Bu durumda lineer olarak kurulmaya çalışılan yağış-akış ilişkisinde, Baykan (1977) tarafından yapılan çalışmadaki sonuca göre, küp-kök dönüşümlü yağışların dikkate alınmasına karar verilerek çalışmanın ikinci aşamasına geçilmiştir. Adıyaman iline ilişkin 1985-1988 yılları arasındaki günlük akış değerleri istenen düzeyde eğitildikten sonra, eksik kısımlar tamamlanmıştır. YSA'dan elde edilen değerlerle gözlenen değerlerin birbiriyle oldukça uyumlu olduğu görülmüştür.

Yağış ve akış dizileri arasındaki korelasyon katsayısı, yağışın küp-kök değerleri yerine, kendi yağış değerlerini dikkate alınarak yağış-akış ilişkisi incelendiğinde 0,284 gibi bir değere sahipken; yağışın küp kökü alınarak kurulan yağış–akış ilişkisinde; yağış ve akışın aynı gün olması durumunda elde edilen ilişki 0,433; yağışın aynı gün, buna karşı akışın bir sonraki gün olarak dikkate alındığı durumda 0,43 ve yağışın aynı gün akışın 2 gün sonraki değeri dikkate alınarak yapılan değerlendirmede 0,38 olduğu görülmüştür.
Bu şekilde denemeler yapıldığında, ağın eğitiminde ilk yaklaşıma göre gelişmeler olduğu görülmüş ancak yine de %10'luk mutlak yanılgı oranı elde edilememiştir. Bu durumda gün, sıcaklık ve yağış değerlerine bir gün öncesinin akış değeri de girdi olarak eklendiğinde istenen %10'luk mutlak yanılgı oranına iterasyonların ağır ve veri sayısının fazlalığı nedeniyle uzun bir süre sonra ulaşılmıştır.

Model oluşturulurken en uygun sonucu elde etmek için ağırlıklar, gizli katman sayısı ve her bir gizli katmandaki nöron sayısı deneme yanılma yolu ile bulunmuştur. YSA eğitilirken sigmoid tipi aktivasyon işlevi kullanılmıştır

Bu çalışmada YSA mimarisi olarak; İleri Beslemeli Geriye Yayınım Yöntemi (İBGY) ve Genelleştirilmiş Regresyon Sinir Ağı (GRSA) şeklinde iki farklı seçenek kullanılabilirliği araştırıldığında; Alp ve Cığızoğlu'nun (2004) yaptığı çalışmada İBGY yönteminin GRSA'ya göre daha iyi sonuçlar verdiği dikkate alınarak İBGY mimarisinin daha uygun olacağı düşünülmüş ve İBGY yönteminin kullanılmasına karar verilmiştir. Öğrenme tipi olarak denetimli öğrenme; öğrenme algoritması olarak ise yanılgıyı geriye yayma algoritmasının uygun olacağı düşünülmüştür. Yapay sinir ağının eğitimi aşamasında ise 1435 veriden 1312 tanesi kullanılmıştır. Daha sonra eğitilen ağ, 123 adetlik veri takımları ile test edilmiştir.

Bundan sonraki aşamada YSA ile mevcut veriye bağlı olarak veri üretmek amacıyla MatLab 6.5 programının sinir ağları bölümünde, basit bir program oluşturularak, bir gün önceki akışa göre bir sonraki günün akışıyla ilgili yapay veri dizileri oluşturulmuştur. Oluşturulan ağın mimarisi; İleri Beslemeli Geriye Yayınım Methodu iterasyon sayısı ise 7000 olarak seçilmiştir.

5.3. Öneriler

Bu çalışmada elde edilen akış değerleri, Adıyaman ilinde yapımı tasarlanan pekçok su yapısına esas girdi olarak kullanılabilecektir. Benzer çalışmalar özellikle hidrolojik verisi hiç yada çok az olan diğer bölgelerde de yapılmalıdır.

DSİ ve EİE tarafından planlama aşamasındaki pek çok su yapısı projesinde, proje alanındaki eksik akış değerlerinin YSA ile tamamlanmasında yarar görülmektedir.

Bu çalışma kapsamında, yalnızca yıl içindeki eksik günlük akış değerlerinin tamamlanması amaçlanmıştır. Bundan sonraki çalışmalarda, geleceğe yönelik kestirim yapabilen bir YSA mimarisinin geliştirilmesi, tasarım ve proje aşamasındaki pek çok su yapısının güvenilirliğini arttıracaktır. Bunun dışında YSA'nın ürettiği yapay veriler ile stokastik modellerle üretilen verilerin karşılaştırılması da yararlı olacaktır.

KAYNAKLAR

Alp, M., Cığızoğlu, H. K., Farklı Yapay Sinir Ağı Metodları İle Yağış-Akış İlişkisinin Modellenmesi, İtü Dergisi/d Cilt:3, Sayı:1, s. 80-88, İstanbul, 2004.

Baykan N. O., İzmir Günlük Yağışların Matematiksel Benzeşim Modelleri, Yüksek Lisans Tezi No: 8 (Yön:Prof. Dr. Ünal ÖZİŞ), 50 s, İzmir, 1977.

Brikundavyi, S., Labib, R., Trung, H.T., Rouselle, J., "Performance of Neural Networks in daily stream flow forecasting", Journal of Hydrologic Engineering, 7, 5, s. 392-398, 2002.

Cığızoğlu, H. K., "Suspended Semiment estimation and Forecasting Using Artificial Neural Networks", Turkish Journal of Engineering, Enviromental Sciences, 26, s. 15-25, 2002a.

Cığızoğlu, H. K., "Suspended Semiment Estimation for Rivers Using Artificial Neural Networks and Sediment Rating Curves", Turkish Journal of Engineering, Environmental Sciences, 26, s. 27-36, 2002b.

Fernando, D. A. K., Jayawardena, A.W., "Runoff forecasting using RBF networks with OLS algorithm", Journal of Hydrologic Engineering 3, s. 203–209, 1998.

Hsu, K., Gupta, H., Sorooshian S., "Artificial neural network modeling of the rainfall-runoff process", Water Resources Research, Vol.. 31, No. 10, s. 2517–2530, 1995.

Kişi, Ö., Partal T., "Yapay Sinir Ağları ve Otoregresif Modellerle Rüzgar Hızı Tahmini", III.Atmosfer Sempozyumu, İstanbul Teknik Üniversitesi (İTÜ), 6 s, İstanbul, 2003.

Mason, J.C. Price, R.K. Tem'me, A., "A neural network model of rainfall-runoff using radial basis functions", Journal of Hydraulic Research, 34(4), s. 537, 1996.

Minns, A.W., Hall, M.J., "Artificial neural networks as rainfall–runoff models", Hydrological Sciences Journal 41S, 399-417s.,1996, Living with the ultimate black box: more on artificial neural networks. in: Proceedings of the 6th British Hydrological Society Symposium, Salford University, s. 9.45–9.49, 1997.

Şen Z., Sönmez, İ., "Yapay Sinir Ağları İle Hidrolojik Benzetim ve Tahmin Yöntemi", II. Ulusal Hidroloji Kongresi, s. 254-265, İstanbul, 1998.

Yaşar, M.," Günlük Akışlardaki Boşlukların Yapay Sinir Ağları Kullanılarak Tamamlanması", Yüksek Lisans Tezi (Yön. Prof. Dr. N. Orhan BAYKAN), 97 s, Denizli, 2004.

Gediz Nehri için Eksik Sediment Verilerinin Tahmin Edilmesi

Aslı Ülke [1], Sevinç Özkul[2] , Gökmen Tayfur [3], İsmail Gündoğdu[4]

Özet: İlgili kurumlar tarafından akarsularda taşınan askıda katı madde yükünü belirlemeye yönelik olarak kullanılan sediment anahtar eğrisi gibi regresyon esaslı yöntemler, akım ve askıda katı madde yükü arasındaki ilişkinin lineer olmaması nedeniyle sağlıklı sonuçlar vermemektedir. Bu çalışmada, günlük yağış ve akım verilerini girdi olarak kullanan yapay sinir ağları modeli ile günlük askıda katı madde yüklerinin kestirimi amaçlanmış ve uygulama Yukarı Gediz Havzası'nda EİE tarafından işletilen 523 nolu Gediz Nehri-Acısu İstasyonu'nda gerçekleştirilmiştir. 13.03.1979-02.04.1985 arasındaki toplam 2213 adet günlük askıda katı madde yükünün tahmini, Gediz Nehrinin hidro-meteorolojik bilgileri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu süreç içerisinde EİE nin ayda bir veya iki kez ölçtüğü 75 adet gözlem mevcuttur. Mevcut 75 adet gözlenmiş askıda katı madde yükü, bunlara karşılık gelen 75 adet üretilmiş askıda katı madde yükü ile kıyaslanmış ve oldukça yüksek determinasyon katsayısı (R^2=0.97) elde edilmiştir. Model sonuçları ayrıca, belirtilen tarihler arasında üretilen toplam askıda madde yükü ile istasyonun hemen mansabında bulunan Demirköprü Barajının batimetrik haritalarından belirlenen o tarihler arasındaki ölü hacim değişimi ile de karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma sonucunda, modelin, toplam askıda katı madde yükünü %10'dan daha az bir farkla tahmin edebildiği görülmüştür.

Anahtar Sözcükler: Eksik Veri; Günlük Sediment Kestirimi; Gediz Nehri; Yapay Sinir Ağları

Prediction of Missing Sediment Data for Gediz River

Abstract: Methods like sediment rating curve (SRC), which is regression based and employed commonly by the related organizations to predict suspended sediment rates in rivers, can not provide reliable predictions due to the nonlinear nature of the process. This study, employing daily rainfall and flow rate as inputs to the YSA, predicted missing daily suspended sediment loads (SSL) for the Gediz River. Using daily hydro meteorological data, it predicted total 2213 daily missing SSL for

[1] Bozok Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Yozgat , E-Posta: asli.ulke@deu.edu.tr

[2] Dokuz Eylül Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İzmir, E-Posta: sevinc.ozkul@deu.edu.tr

[3] İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü , İnşaat Mühendisliği Bölümü, İzmir, E-Posta: gokmentayfur@iyte.edu.tr

4 Elektrik İşleri Etüt İdare si Gn.Md.lüğü V.Hidrometrik Etüt Merkezi- Aydın, E-Posta**: igundogdu@eie.gov.tr**

the period 13.03.1979—02.04.1985 at 523 Acisu Station. In this period, there were 75 SSL data measured once or twice a month by the EIE. The model prediction of these 75 SSL data were satisfactory with $R^2 = 0.97$. The performance of the model in predicting missing data was further tested against the total load accumulated during the same period in the dead storage of Demirkopru Dam located at the downstream of Gediz River. Using the bathymetry at the beginning and at the end of the period, it was shown that the model was able to predict total suspended sediment loads with less than 10% error.

Keywords: Missing Data; Daily Sediment Prediction; Gediz River; Artificial Neural Network

1. GİRİŞ

Akarsularda taşınan sediment ya da diğer bir deyişle katı madde problemi, erozyonun doğal bir sonucu olarak su problemlerimiz arasına girmiştir. Akarsular üzerinde kurulacak depolama tesisleri ve diğer su kontrol yapılarının projelendirilmesinde, akarsuyun taşıdığı sediment miktarının bilinmesine ihtiyaç vardır. Baraj haznelerinde akarsularla taşınan katı maddelerin birikmesi için ölü hacim adı verilen pasif bir hacim tasarlanır. Özellikle baraj hazneleri gibi su depolama tesislerinin ölü hacminden fazla miktarda biriken katı maddeler hazne kapasitesini azaltır ve zamanla su alma yapısının tıkanmasına neden olur. Hazne kapasitesinin azalması tesisin ekonomik ömrünü kısaltırken, su alma yapısının tıkanması ise haznenin fonksiyon göremez hale gelmesi demektir. Katı madde taşınımı ile ilgili diğer bir güncel sorun akarsu kirliliğidir. Bu konu çevresel etkilerinden dolayı son yıllarda oldukça önem kazanmıştır. Endüstriyel ve tarım artıklarının akarsulara boşaltılması, tabandaki katı maddelerin toksitlerle kirlenmesine neden olmaktadır. Bu da özellikle sulama ve su alma yapılarında kullanılan akarsular için su kalitesi sorununu gündeme getirmektedir (Nagy ve diğ., 2002). Taşınan katı maddenin askıda katı madde olarak adlandırılan kısmı, oldukça büyük oranda inorganik bileşenler içermektedir, erozyonla yakından ilgili olan askıda katı madde, akarsu ortamındaki özellikle ağır metaller gibi inorganik kirletici parametrelerin taşınımında oldukça önemli bir rol oynamaktadır. Yapılan çalışmalar, askıdaki sediment parçacıklarının büyük miktarda kirletici ve bio hücreyi absorbe ettiğini ve bunları mansap bölgelere taşıdığını göstermiştir (Blaskova ve diğ., 1996; Gray ve Fisk, 1992; Horowitz, 1997; Loughran ve Elliott, 1996).

Askıda katı maddenin doğru tahmin edilmesi, akımla sediment konsantrasyonun zamana bağlı olarak çok değişken olması nedeniyle bir hayli güçtür. Çünkü akım ve sediment konsantrasyonu havzaya düşen yağmur ve kar yağışına çok hızlı cevap verir, bu da çok ani değişimleri oluşturabilir. Bu nedenle haftalık, on beş günlük ve aylık ölçümler gibi ölçüm sıklığı seyrek olan verilerle çalışmak yanlış sonuçlara yol açabilir (Li ve diğ., 2006; Schilling, 2000). Günlük ölçümler gibi daha kısa süreli ölçümlerin daha iyi modeller sağlayacağı açıktır, fakat kısa süreli ölçümde maliyet de yükselecektir. Bu yüzden ölçümlerin doğruluğu ve maliyeti arasında bir denge kurmak gerekir. Li ve diğerleri (2006), ölçümleri haftalık, onbeş günlük ve aylık gibi periyodik zamanlı gerçekleştirip ölçümlerin arasındaki verilere interpolasyon yapılmasını önermektedir. Kendileri 2006 yılında yaptıkları günlük askıda katı madde dizisi üretme çalışmalarında cokriging metodunu kullanmışlardır. Yaptıkları bu çalışmada haftalık

ölçümlerden günlük askıda katı madde tahminin başarılı olduğunu, on beş günlük ya da aylık modellerde cokriging metodunun başarısız olduğunu söylemektedirler.

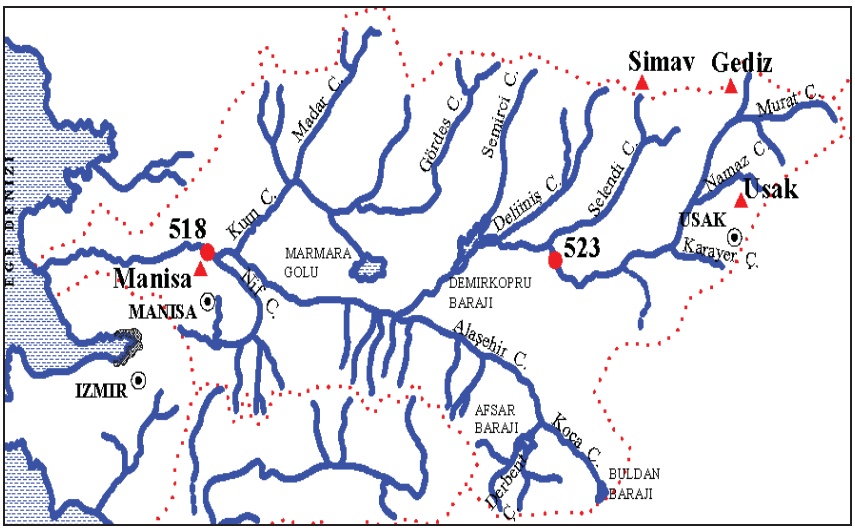
Türkiye'de, Elektrik İşleri Etüt İdaresi (EİE), akarsular üzerindeki gözlem istasyonlarında akım, askıda katı madde ve su kalitesi parametrelerinin ölçümlerini gerçekleştirmektedir. Akım ölçümlerinde kesit değerleri ve muline ile hız ölçümleri yapılıp, akım anahtar eğrisine geçilmekte, seviye ölçümleri bu şekilde kalibre edilmektedir. Askıda katı madde ölçümleri ise, derinlik entegrasyonu yöntemi ile nehirlerde su seviyesinin düşük olduğu zamanlarda suya girerek USDH-48 ile, seviyenin yüksek olduğu zamanlarda ise teleferikten USD-49 ile gerçekleştirilmektedir. EİE kurumunun gerçekleştirdiği mevcut ölçüm pratiğinde toplanan anlık debi ve askıda katı madde konsantrasyonlarından yararlanılarak anlık sediment yükleri hesaplanmakta, daha sonra bu anlık debi ve sediment yükleri arasındaki regresyon ilişkisine dayanan sediment anahtar eğrileri elde edilmektedir. Sonrasında, sediment anahtar eğrisinden, akım anahtar eğrilerinden belirlenen günlük ortalama akıma karşılık gelen sediment yükü belirlenmektedir (EİE, 2006). Akarsuların taşıdığı askıda katı yükünün belirlenmesinde en iyi ve en güvenilir yol doğrudan arazide ölçüm yöntemleri olmakla birlikte, bu yöntemler hem çok maliyetli, hem de çok zaman alan yöntemlerdir. Bu nedenle, EİE tarafından gerçekleştirilen askıda katı madde ölçümleri ancak ayda bir ya da iki defa yapılabilmektedir. Bu ölçüm sıklığı, günlük ölçümü gerçekleştirilen yağış ve akım gözlemleri ile kıyaslandığında, askıda katı madde miktarlarındaki değişimleri yansıtmakta oldukça yetersiz kalmaktadır. Bu eksikliği gidermek amacıyla, askıda katı madde gözlemleri, günlük yağış ve akış verileri kullanılarak istasyona en uygun modelle tamamlanmıştır.

2. GEDİZ HAVZASI

Batı Anadolu'da bulunan Gediz Havzası, Ege Denizi, Küçük Menderes ve Bakırçay havzaları arasında yer almaktadır. Havza kuzey, güney ve de doğudan yükseklikleri 2000 m.yi bulan dağlar, batıdan da Ege Denizi tarafından çevrilmiştir. Gediz Havzası Türkiye'deki 26 ana akarsu havzası içinde drenaj alanı açısından 20. nci, su potansiyeli açısından da 21 inci sırada yer alır. Gediz Havzası 38°01′- 39°13′ kuzey enlemleri ile 26°42′-29°45′ doğu boylamları arasındadır. Gediz Havzası' nda yazları sıcak ve kurak, kışları ılık ve yağmurlu tipik bir Ege iklimi hüküm sürmektedir. Ortalama hava sıcaklığı 15,6 °C dir. Yıllık yağış değerleri bölgeden bölgeye değişiklik gösterir. Ortalama olarak 635 mm.dir. Yıllık yağış değerlerinin %75'i Kasım ve Mayıs ayları arasındaki beş aylık dönemde oluşur. Havzada Ege Bölgesi' nin 4 ili, Kütahya, Uşak, Manisa, İzmir ve bu dört ile bağlı toplam 18 ilçe merkezi yer almaktadır. Gediz Nehri, Anadolu'dan Ege Denizine dökülen Büyük Menderes Nehri' nden sonra ikinci büyük akarsudur. İç Batı Anadolu'daki Murat (2312 m.) ve Şaphane dağlarından inen suların birleşmesiyle oluşan Gediz Nehri, batıya doğru ilerlerken, kuzeyden Kunduzlu, Selendi, Deli İniş ve Demirci çaylarını, güneyden ise Kula volkanik yöresinden gelen küçük dereleri sularına katar. Nehir, Salihli İlçesi' nin kuzeydoğusundan Gediz Ovasına girer ve güneyden Kemalpaşa Ovasından gelen Nif Çayı' nı, kuzeyden Kumçayı alarak Foça tepelerinin güneydoğusundan İzmir Körfezine dökülür (Şekil 1). Gediz Nehrinin toplam uzunluğu 401 km ve su toplama havzasının alanı 17.500 km^2'dir.

2.1. 523 -Gediz Nehri-Acısu İstasyonu

Gediz Nehri üzerinde, Demirköprü Barajının membasında kalan 523 nolu EİE Gediz N. Acısu İstasyonu 28°43'12'' D ile 38°38'26'' K koordinatları olan, Kula-Selendi karayolu üzerindeki Gediz Köprüsünün 2 km akış aşağısındaki Acısu yakınlarındadır. İstasyonun yükseltisi 348 m. ve net yağış alanı 3.272 km^2'dir. Bu istasyonda akım ölçümlerinin yanı sıra 1971 yılından bu yana askıda katı madde gözlemleri de yapılmaktadır. İstasyondaki ortalama akım 9,88 m^3/sn, ve ortalama sediment dağılımı % 55,9 kum, % 44,1 de kil ve silt şeklindedir. Bu istasyonda ölçülen ortalama yıllık sediment miktarı 235.092 ton ve km^2 başına yılda taşınan sediment miktarı da 72 ton'dur (EİE, 2006).



Şekil 1. Gediz Havzası, Gediz Nehri, 523 Gediz N.-Acısu ve 518- Gediz N.-Manisa Köprüsü Akım Gözlem İstasyonları ile Meteoroloji Ölçüm İstasyonları

EİE'nin Gediz Nehri' ndeki 523 nolu akım gözlem istasyonuna en yakın, çalışan meteoroloji istasyonları 919 m yükseltiye sahip Uşak, 809 m yükseltiye sahip Simav ve 825 m yükseltiye sahip Gediz istasyonlarıdır. Şekil 1'de havzadaki EİE ye ait akım gözlem istasyonları ile DMİ ye ait meteoroloji istasyonlarının yeri görülmektedir. İstasyonlara ait ortalama yıllık yağış miktarı 624 mm.dir. Alansal ortalama yağış yükseklikleri için, her bir istasyonun çevresinde kalan alanın yüzdesini o istasyondaki yağışa ağırlık olarak veren Thiessen Metodu kullanılmıştır (Fıstıkoğlu ve Harmancıoğlu, 2001).

2.2. Veri Analizi

Çalışmada havzadaki meteoroloji istasyonlarına ait günlük toplam yağış yükseklikleri ile 523 no lu EİE istasyonunun akım ve askı maddesi gözlemlerinin en uzun ortak ölçüm zamanı olan 01.01.1975 ile 30.09.2005 tarihleri arasındaki 350 veri çiftinin

değerleri dikkate alınmış, model çalışmaları bu veri çifti ile gerçekleştirilmiştir. Çizelge 1' de istasyona ait hidro-meteorolojik verilerin ortalama (X_{ort}), standart sapma (S_x), değişkenlik (C_v) ve çarpıklık (C_{sx}) katsayısı ile en büyük (X_{max})ve en küçük (X_{min}) değerlerinin yer aldığı temel istatistikleri görülmektedir. Çizelge 2'de ise bu veri değişkenleri arasındaki korelasyonlara yer verilmiştir.

Çizelge 1. 523 Gediz N.-Acısu İstasyonuna ait verilerin temel istatistikleri

	Veri tipi	$\mathbf{X_{ort}}$	$\mathbf{S_x}$	$\mathbf{C_v}$	$\mathbf{C_{sx}}$	$\mathbf{x_{max}}$	$\mathbf{x_{min}}$
Tüm Veri	P (mm)	1,70	4,47	2,63	3,56	29,71	0
	Q (m^3/s)	10,47	17,57	1,68	5,18	195	0,03
	SSL (ton/gün)	2.026,82	9.102,73	4,49	6,92	98.409,17	0,14

Çizelge 2. 523 Gediz N.-Acısu İstasyonuna ait verilerin çapraz ve oto-korelasyonu

	Oto-korelasyonlar		Çapraz Korelasyonlar		
	P-P	Q-Q	P- SSL	Q-SSL	P- Q
$r_{x,y,0}$	-	-	0,61	0,82	0,54
$r_{x,y,1}$	0,26	0,67	0,42	0,61	0,46
$r_{x,y,2}$	0,09	0,49	0,19	0,37	0,32
$r_{x,y,3}$	0,06	0,42	0,12	0,11	0,32

3. YÖNTEM

Yapay sinir ağları (YSA), insan beyninin çalışma mekanizması taklit edilerek geliştirilen ve biyolojik olarak insan beyninin yaptığı işlemleri belirli bir yazılımla gerçekleştirmeyi amaçlayan bir programlama tekniğidir. YSA, insan beynindeki nöronlara benzer olarak meydana getirilen yapay nöronların değişik bağlantı geometrisi ile birbirlerine bağlanmasıyla oluşan karmaşık sistemlerdir. Böylece biyolojik beynin en önemli özelliklerinden biri olan öğrenme olayı matematiksel modellerce taklit edilmektedir. Sınıflandırma, regresyon ve zaman serilerinin tahmini gibi değişik alanlarda kullanılan YSA uygulamalarının en büyük avantajı, karmaşık modellere gereksinim duymaksızın yalnızca ağın eğitimi ile problemlere çözüm getirebilmesidir. YSA, sahip olduğu özelliklerden dolayı alışılagelmiş bilgi işleme yöntemlerinden farklılık gösterir. Bu özellikler paralellik, hata toleransıdır. YSA' da bilgilerin işlenmesi paralel olarak gerçekleştirildiğinden taşınan bilgiler birbirinden bağımsızdır. Paralel çalışma prensibinden dolayı herhangi bir birimde meydana gelen hata, tüm sistemde belirgin bir hataya neden olmamaktadır. Sadece hücrenin ağırlıkları oranında bir etkilenme gerçekleşmektedir. Böylece genel sistem yerel hatalardan en az şekilde etkilenmektedir (ASCE, 2000 a, b).

Bu çalışmada ileri beslemeli geri yayınımlı bir YSA modeli kurulmuş, tek gizli tabaka ile oluşturulan ağda, gizli tabakada 3 ile 14 arasında değişen sayılarda nöron

denenmiştir. Askıda katı madde yükü hep pozitif değerler alacağından sigmoid transfer fonksiyonu kullanılmış, ölçeklendirmede de $X = 0{,}1 + \frac{0{,}8(x_i - x_{\min})}{(x_{\max} - x_{\min})}$ denklemi dikkate alınmıştır.

4. UYGULAMA

523 nolu Gediz N.-Acısu İstasyonu'nun Çizelge 1 de sunulan girdi değişkenlerinin en büyük, en küçük ve ortalama değerleri de dikkate alınarak 350 veri çiftinin 250'si eğitim setinde, diğer 100'ü de test setinde kalacak şekilde veri seti oluşturulmuştur. Çizelge 3'te bu veri setine ait eğitim ve test periyotları ile bu periyotlardaki verilerin temel istatistikleri yer almaktadır.

Çizelge 3. EİE, 523-Gediz N.-Acısu İstasyonu' nda eğitim ve test verilerinin temel istatistikleri

Veri seti	Veri aralığı	Veri değişkenleri	X_{ort}	S_x	C_v	C_{sx}	x_{max}	x_{min}
Eğitim	05.01.1975-13.02.1979 02.04.1987-01.08.2005	$P_{(t)}$	1,914	4,54	2,37	2,98	26,00	0
		$P_{(t-1}$	2,68	7,21	2,69	4,21	52,64	0
		$Q_{(t)}$	9,74	18,46	1,89	5,73	195	0,03
		$Q_{(t-1)}$	10,89	25,37	2,33	6,32	261	0,121
		$SSL_{(t)}$	2249,7	10046	4,47	6,47	98409,17	0,14
Test	13.03.1979-03.03.1987	$P_{(t)}$	1,17	4,25	3,63	5,6	29,71	0
		$P_{(t-1}$	1,43	3,64	2,55	3,63	0	20,18
		$Q_{(t)}$	12,28	15,01	1,22	2,73	90,6	0,252
		$Q_{(t-1)}$	13,88	18,39	1,32	3,0	0,33	118
		$SSL_{(t)}$	1467,4	6133,4	4,18	7,97	57056,00	1,32

Çalışmada veri setine uygulanan modeller sediment anahtar eğrisi (SRC), çoklu doğrusal regresyon (MLR), çoklu doğrusal olmayan regresyon (NLMR) metotları ile yapay zeka metotlarından adaptif sinirsel bulanık sistemler (ANFIS) ve ileri beslemeli geri yayınımlı yapay sinir ağları modellerinden conjugate gradient algoritması (YSA_CG) ile Levenberg-Marquardt algoritması (YSA_LM)'dır. Eğitim'de kullanılan YSA_CG algoritmasında 500 ve YSA_LM algoritmasında ise 150 iterasyon kullanılmıştır (Ülke 2010). Çizelge 4'te tüm bu modellerin çeşitli performans kriterlerinde test setindeki değerlendirmesi görülmektedir. Kullanılan performans değerlendirme ölçütleri; RMSE (ortalama karesel hatanın karekökü), MAE (ortalama mutlak hata), R^2 (determinasyon katsayısı) ve CME (eklenik hata)'dır. Çizelge 4'den de görüldüğü gibi özellikle ortalama mutlak ve eklenik hata kriterleri ile determinasyon denklemi incelendiğinde conjugate gradient algoritması kullanılarak hazırlanan modelin

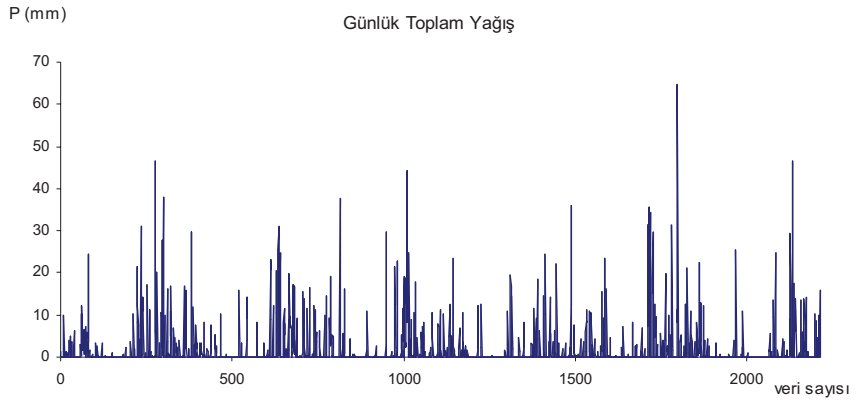
(YSA_CG) istasyona ait en uygun model olduğu belirlenmiş ve eksik verinin tamamlanması bu modelle gerçekleştirilmiştir (Ülke, 2010).

Çizelge 4. EİE, 523-Gediz N.-Acısu İstasyonu'nda tüm modellerin sonuçları

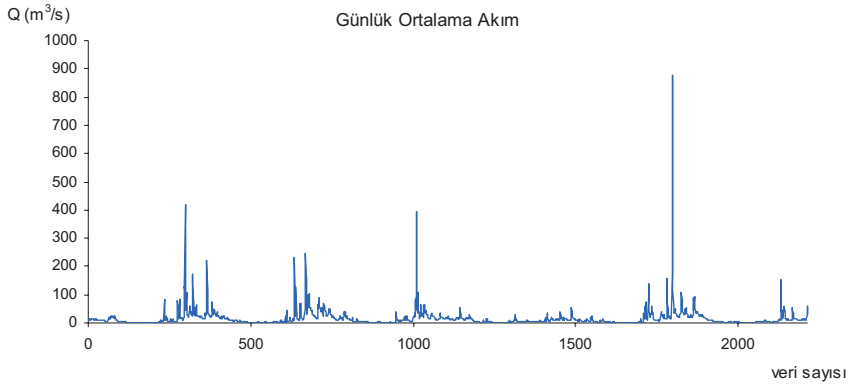
Modeller	R^2	RMSE ton/gün	MAE ton/gün	Eklenik Hata	Determinasyon Denklemi
ANFIS	0,926	1.692	823	+18	$y = 0{,}895x + 430{,}5$
YSA_CG	**0,919**	**1.799**	**696**	**-5**	$y = 0{,}996x - 73{,}5$
YSA_LM	0,927	1.646	820	+7	$y = 0{,}910x + 228{,}1$
SRC	0,59	5.280	1.047	-61	$y = 0{,}158x + 335{,}0$
MLR	0,59	5.444	3.285	+85	$y = 1{,}0124x + 1633{,}5$
NLMR	0,56	5.408	2.682	+57	$y = 0{,}9919x + 851{,}1$

(*Denklemler α=0,05 güven seviyesi için verilmiştir.)

Burada sözü geçen model, günlük yağış ve akım verilerini ile bu verilerin bir gün önceki değerlerini $\left(P_{(t)}, P_{(t-1)}, Q_{(t)}, Q_{(t-1)}\right)$ girdi olarak kullanmaktadır, bu çalışmada hedeflenen de günlük yağış ve akım verileri biliniyorken günlük askıda katı madde gözlemlerini tahmin etmektir. Çalışma 523-Gediz Nehri-Acısu İstasyonu'nda 13.03.1979-02.04.1985 arasındaki toplam 2213 günlük askıda katı madde tahminini gerçekleştirmeye yöneliktir. Eksik askıda katı madde kestiriminin yapıldığı bu zaman dilimi, hazırlanan veri setinde test periyodunda kalmaktadır. Şekil 2 ve 3 de 523-Gediz Nehri -Acısu İstasyonu'nda 13.03.1979-02.04.1985 tarihleri arasında sırasıyla gözlenmiş günlük toplam yağış ve günlük ortalama akım grafikleri görülmektedir.

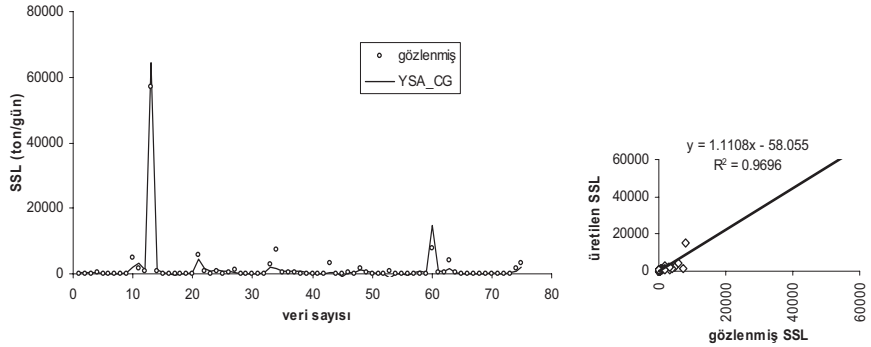


Şekil 2. EİE, 523-Gediz N.-Acısu İstasyonu'nda 13.03.1979-02.04.1985 tarihleri arasında gözlenen günlük toplam yağışların zamana bağlı değişimi

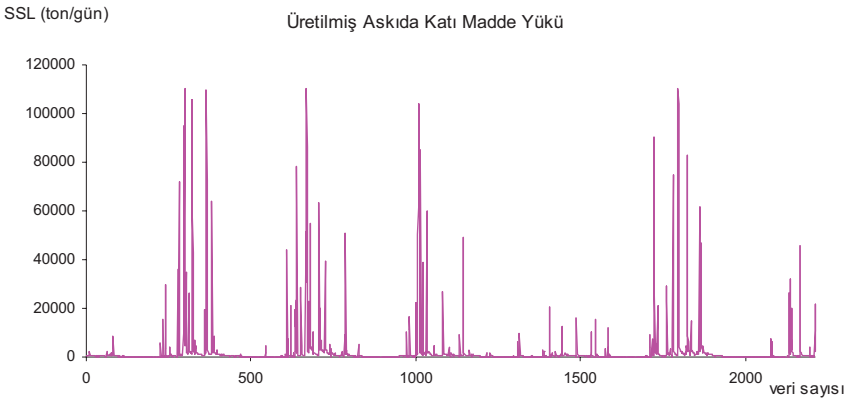


Şekil 3. EİE, 523-Gediz N.-Acısu İstasyonu'nda 13.03.1979-02.04.1985 tarihleri arasında gözlenen günlük ortalama akımların zamana bağlı değişimi

13.03.1979-02.04.1985 tarihleri arasında EİE'nin ölçtüğü 75 adet aylık gözlem mevcuttur. Burada hedeflenen Gediz Nehri'nin hidro-meteorolojik bilgileri kullanılarak askıda katı madde gözlemlerinin üretilmesidir. Mevcut 75 adet aylık gözlenmiş askıda katı madde verisi bunlara karşılık gelen üretilmiş 75 adet askıda katı madde veri dizisi kıyaslanmış ve Şekil 4'ten de görüldüğü gibi determinasyon katsayısı oldukça yüksek bulunmuştur (R^2=*0,97*). Şekil 5'te ise YSA_CG modeli ile üretilmiş günlük askıda katı madde grafiği görülmektedir.



Şekil 4. EİE, 523-Gediz N.-Acısu İstasyonu'nda 13.03.1979-02.04.1985 tarihleri arasında gözlenmiş ve üretilmiş 75 adet askıda katı madde yüklerinin karşılaştırılması



Şekil 5. EİE, 523-Gediz N.-Acısu İstasyonunda 13.03.1979-02.04.1985 tarihleri arasında üretilmiş 2213 adet günlük askıda katı madde yükü

Şekil 2, 3 ve Şekil 5 birlikte incelenecek olursa, üretilmiş askıda katı madde yük dizisinin günlük yağış ve akım grafikleri ile uyum içerisinde olduğu görülür. Günlük yağış ve akım grafiklerinin pik yaptığı noktalarda model de yüksek askıda katı madde yükü üretmiştir. Aynı şekilde yağışın düşük olduğu kuraklık devresinde model de düşük askıda katı madde yükü üretmiştir. Modelin diğer bir kontrolünde, belirtilen tarihler arasında üretilen toplam yük ile istasyonun mansabında bulunan Demirköprü Barajının ölü hacminin o tarihler arasındaki toplam yükü ile karşılaştırılmıştır. Buna göre 6 yıllık toplam üretilmiş askıda katı madde yükü $5{,}65x10^6$ *ton* iken sene başına $0{,}94x10^6$ *ton/yıl* olmaktadır. Demirköprü Barajı'na esas kol Gediz olmak üzere, Selendi, Demirci ve Deliniş kollarından akım gelmektedir. Devlet Su İşlerinin Demirköprü Barajı ölü hacmi için yaptığı 100 yıllık tahmini hacim $88{,}4x10^6$ m^3' tür, bu da ortalama sediment dane birim hacim ağırlığı *2,5* t/m^3 kabul edilirse $221x10^6$ *ton* sediment yüküne tekabül eder. Dört koldan yıllık $2{,}21x10^6$ *ton* yük geldiği ve bunun %48'inin Gediz'den katıldığı düşünüldüğünde Gediz kolundan Demirköprü Barajına gelen yıllık yük $1{,}05x10^6$ *ton/yıl* olarak bulunur (Baytaş, 2000). YSA_CG modeli ise bu değeri $0{,}94x10^6$ *ton/yıl* olarak bulmuştur. Model DSİ'nin hesapladığı hacimden % 10'dan daha az bir farkla sonuç üretmiş bulunmaktadır.

5. SONUÇLAR

Günlük askıda katı madde ölçümlerinin yapılması Türkiye'deki mevcut şartlarda oldukça zordur. Daha kısa süreli ölçümlerin daha iyi modeller sağlayacağı ortadadır. Fakat kısa süreli ölçümler, akarsudan numune alımı ile gerçekleştiği sürece maliyeti de oldukça yüksek olacaktır. Bu nedenle akarsularda taşınan günlük askıda katı madde tahminini başarılı bir şekilde gerçekleştirebilecek modellere ihtiyaç duyulmaktadır.

Modelin DSİ nin hesapladığı hacimden % 10'dan daha az bir farkla sonuç üretmesi, akarsuyun hidro-meteorolojik bilgileri kullanılarak, taşkın gibi istisnai durumlar dışında günlük askıda katı madde gözlemlerinin üretilebileceği sonucunu güçlendirmektedir (Ülke ve diğ., 2009).

TEŞEKKÜR

Çalışmanın gerçekleşmesinde, verilerin temin edilmesinde yardımcı olan Aydın Elektrik İşleri Etüt İdaresi ve Devlet Meteoroloji İşleri Kurumlarına teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

ASCE Task Committee on application of artificial neural networks in Hydrology, "Artificial neural networks in hydrology, I: Preliminary concepts", Journal of Hydrologic Engineering, ASCE 5 (2), 115-123, 2000a.

ASCE Task Committee on application of artificial neural networks in Hydrology, "Artificial neural networks in hydrology, II: Hydrologic applications", Journal of Hydrologic Engineering, ASCE 5 (2), 124-137, 2000b.

Baytas, D., "Yukarı Gediz Havzası ve Demirköprü Barajı sediment gözlemlerinin irdelenmesi", Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Diploma Projesi, No: 209, İzmir, (Yön: S. Özkul), 2000.

Blaskova, S., Ninov, P. ve Tzankov, K., "Investigation of heavy metal content in sediments of the Bulgarian Danube's tributaries", Proceedings of XVIII Conference of the Danube Countries, Graz, D-41-46, 1996.

EİE, Elektrik İşleri İdaresi Genel Müdürlüğü, "Türkiye Sularında Süspanse Sediment Gözlemleri ve Sediment Taşınımı", Ankara, EİE Matbaası, 2006.

Fıstıkoğlu, O. ve Harmancıoğlu, N., "Yukarı Gediz Havzasında aylık su bütçesi modeli uygulaması", III. Ulusal Hidroloji Kongresi Kitapçığı, İzmir, 269-278, 2001.

Gray, J. ve Fisk, G. "Monitoring radionuclide and suspended sediment transport in the Little Colorado Rover Basin, Arizona and New Mexico, USA", Proceedings of the Symposium Erosion and Sediment Transport Monitoring Programmes in River Basins. Oslo, IAHS publ. No. 210, 505-516, 1992.

Horowitz, A. J., "Some thoughts on problems associated with various sampling media used for environmental monitoring", Analyst, 122, 1193–1200, 1997.

Loughran, R.ve Elliott, G., "Rates of soil erosion in Australia determined by the caesium-137 technique: a national reconnaissance survey", Proceedings of the Symposium Erosion of Sediment Yield: Global and Regional Perspectives, IAHS Publ. No. 236, Exeter, 275-283, 1996.

Li, Z., Zhang, Y.K., Schilling, K. ve Skopec, M., "Cokriging estimation of daily suspended sediment loads", Journal of Hydrology, 327, 389-398, 2006.
Nagy, H.M., Watanabe, K. ve Hirano, M., "Prediction of sediment load concentration in rivers using artificial neural network model", Journal of Hydraulic Engineering, 128 (6), 588-595, 2002.

Schilling, K.E., “Patterns of discharge and suspended sediment transport in the Walnut and Squaw Creek watersheds, Jasper Country, Iowa: Water Years 1996-1998”, Iowa Department of Natural Resources, Geological Survey Bureau, Technical Information Series 42, 2000.

Ülke, A, Tayfur, G. VE Özkul, S. (2009). Predicting suspended sediment loads and missing data for Gediz River, Turkey. Journal of Hydrologic Engineering ASCE, 14 (9), 954-965.

Ülke, A, “Ege bölgesi doğal akarsularında kati madde taşınımı için ampirik, regresyon ve yapay zeka yöntemlerinin uygulanması”, Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 2010.

Çoruh Havzasında Eksik Akım Verilerinin YSA Yöntemi ile Tamamlanması ve Hidrolojik Kuraklık Eğilimlerinin Belirlenmesi

Hilal Tuna[1], Filiz Malkoç [2], Derya Öztürk[3] ve Yüksel Malkoç [4]

Özet: Su kaynakları sistemlerinin planlanması, projelendirilmesi ve işletilmesi için belli bir periyotta akım verilerine ihtiyaç duyulur. Bu nedenle yetersiz veya eksik akım verilerinin güvenilir yöntemlerle tahmin edilmesi gerekmektedir. Son zamanlarda birçok alanda yaygın olarak kullanılan ve özellikle sayısal hesaplamalarda büyük kolaylıklar sağlayan Yapay Sinir Ağları (YSA) yöntemi bunlardan biridir. Bu çalışmanın ilk aşamasında; Çoruh Havzası içerisinde bulunan 6 akım gözlem istasyonuna ait 1965–2009 dönemi günlük ortalama akım verileri kullanılarak, söz konusu akım gözlem istasyonlarının eksik akım verileri YSA metodu ile tahmin edilmiştir. Çalışmanın ikinci aşamasında ise yukarıda ifade edilen 6 akım gözlem istasyonunun YSA yöntemine göre tamamlanan 1965–2009 dönemi aylık ortalama debi serileri kullanılarak, Standartlaştırılmış Yağış İndeksi Yöntemine göre havzanın hidrolojik kuraklık değerlerinin olası eğilimleri belirlenmiştir.

Anahtar Sözcükler: Çoruh Havzası; Eksik Akım Verileri; Yapay Sinir Ağları (YSA); Standartlaştırılmış Yağış İndeksi; Hidrolojik Kuraklık

Filling Missing Streamflow Data Gaps By ANN Method and Determination Of Hydrological Drought Trends In Çoruh Basin

Abstract: Streamflow data with enough long time periods are always required to planning, designing and managing the water resources systems. Therefore; insufficient or missing streamflow data must be estimated by using reliable methods. Artificial Neural Networks (ANN) which has been used commonly and enabled digital calculations is one of those methods recently.

[1]Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü-Hidrolik Etütler Daire Başkanlığı- Ankara
Meteoroloji Mühendisi E-posta: htuna@eie.gov.tr Tel: 0 312 295 52 17
[2]Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü-Hidrolik Etütler Daire Başkanlığı- Ankara
Dr. Meteoroloji Mühendisi E-posta: fmalkoc@eie.gov.tr Tel: 0 312 295 52 17
[3]Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü-Hidrolik Etütler Daire Başkanlığı- Ankara
Meteoroloji Mühendisi E-posta: dozturk@eie.gov.tr Tel: 0 312 295 52 05
[4]Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü-Hidrolik Etütler Daire Başkanlığı- Ankara
Dr. Meteoroloji Mühendisi E-posta: ymalkoc@eie.gov.tr Tel: 0 312 295 52 61

The first phase of this study, the missing data of 6 stream gauging stations located in Çoruh basin by using daily average stream flow in period 1965-2009 have been estimated with ANN method. The second phase of this study, using the completed monthly average stream flow data from 1965 to 2009 according to above explained method, standardized precipitation index (SPI) method has been run to get the drought values and determined probable trends of hydrological droughts.

Keywords: Coruh Basin; Missing Daily Streamflow; Artificial Neural Networks (ANN); Standardized Precipitation Index (SPI); Hydrological Drought

1. GİRİŞ

Dünyada suya olan ihtiyacın gitgide artması, su kaynaklarının verimli kullanılmasını ve daha iyi kontrol edilmesini kaçınılmaz hale getirmiştir. Özellikle Dünya nüfusunun artması, şehirleşme, iklim değişmeleri, orman tahribatları, çölleşme sonucunda oluşan kuraklık; toplum, çevre ve ülkeleri tehdit eden boyutlara ulaşmaktadır ve endüstri faaliyetlerindeki gelişmeler suyun önemli bir güç kaynağı olmasına sebep olmuştur. Bu sebeplerden dolayı su kaynaklarının geliştirilmesi ve ileriye yönelik olarak suyun programlı ve planlı bir şekilde kullanılması kaçınılmaz olarak daha da önemli bir hale gelmiştir. Etkili ve doğru planlama ile su yönetimi için kesintisiz doğru ve uzun akım verilerine ihtiyaç duyulmaktadır. Doğada olayların rastgele ve belirsiz karakterlere sahip olması yanı sıra, olayda etkili olan parametrelerin arasındaki ilişki doğrusal olmaktan çok doğrusal olmayan ilişkiler olması modelleme ve kontrol için zorluklar çıkarmaktadır. Başka bir deyişle, doğrusal ilişkilere dayalı olarak kurulan modeller, olaylardaki parametre arasındaki ilişkileri yansıtmaktan uzaktırlar. Bu nedenle, teknoloji ve buna bağlı olarak yeni yöntemlerin ortaya çıkması, doğası tam olarak ortaya çıkarılamamış olayların bu yeni yöntemlerle yeniden ele alınmasını zorunlu kılmaktadır. Yapay sinir ağları (YSA) gibi lineer olmayan modellerin gözlenen zaman verilerinin analizinde kullanılmaları uygun gözükmektedir. YSA sınırlı sayıda verinin bulunması halinde dahi, lineer olmayan modellemelerde başarı gösterirler. Lineer olmayan sistem davranışının modellenmesindeki başarısından dolayı en etkin tahmin yöntemi olarak YSA, hidroloji ve hidrolik konularının uygulamasında çok geniş bir kullanım alanını son zamanlarda artırmıştır.

Kuraklık, yağışların kaydedilen normal seviyelerinin çok altına düşmesi sonucu arazi ve su kaynaklarının olumsuz etkilenmesine ve hidrolojik dengenin bozulmasına sebep olan olaydır (BMÇMS,1997). Kuraklık sınıflarından biri olan hidrolojik kuraklık su kaynaklarının (yağışlar, yeryüzü ve yeraltı suları vs..) beklenen normal seviyelerinin ve ortalamalarının altında kalmasını ifade eder. Hidrolojik kuraklık nehir akım ölçümleri ve göl, rezervuar, yeraltı su seviyesi ölçümleri ile takip edilebilir. Yağmur eksikliği ile akarsu ve rezervuarlardaki su eksikliği arasında bir zaman aralığı olduğundan dolayı hidrolojik ölçümler kuraklığın ilk göstergelerinden değildir. Fakat meteorolojik kuraklık sona erdikten sonra hidrolojik kuraklık varlığını sürdürebilir. Yavaş gelişmesi nedeniyle kuraklık, diğer ülkelerde olduğu gibi ülkemizde de farklı kuraklık indisleri ile sürekli olarak izlenmelidir (Anonim, 1999). Bu amaçla dünyada kuraklığın izlenmesi için çeşitli indeksler ve indikatörler geliştirilmiştir. Son yıllarda, farklı zaman ölçeklerinde elde edilen Standartlaştırılmış Yağış İndeksi (SYİ) serilerinin yerüstü su kaynaklarında

da kuraklık takibi çalışmalarında kullanıldığı görülmektedir (Szalai,2000; Vicente-Serrano,2005; Yıldız,2007).

Bu çalışmanın ilk aşamasında; Çoruh Havzası içerisinde çeşitli nehirler üzerinde yer alan 6 Akım Gözlem İstasyonuna ait uzun yıllar (1965–2009) günlük ortalama debi serileri kullanılarak YSA yöntemine göre Çoruh Havzasının hidrolojik kuraklık değerlendirilmesi için eksik akımlar tahmin edilmiştir. Sonraki aşamada ise Çoruh Havzası içerisinde çeşitli nehirler üzerinde yer alan kendi orijinal gözlem periyodu yeteri kadar uzun olan 6 Akım Gözlem İstasyonuna ait uzun yıllar (1965–2009) aylık ortalama debi serileri kullanılarak SYİ yöntemine göre Çoruh Havzasının hidrolojik kuraklık değerlendirilmesinin araştırılması amaçlanmıştır.

2. KULLANILAN YÖNTEMLER

2.1. Yapay Sinir Ağları

Yapay sinir ağları, bilgisayar ortamında, insan beyninin fonksiyonel özelliklerini benzer şekilde taklit ederek biyolojik hücrelerin, ya da literatürdeki ismiyle nöronların yaptığı temel işlemleri otomatik olarak gerçekleştirmek amacı ile geliştirilen belirli bir yazılımla bir algoritma modelleyen mantık programlama tekniğidir.

Bu temel işlemler;

- Keşfetme, öğrenme, hatırlama,
- Öğrenme yolu ile yeni bilgiler türetebilme,
- Bilgiler arasında ilişkiler oluşturma, sınıflandırma, genelleme, özellik belirleme, yorumlama,
- Ezberleme ve Optimizasyon

Modelleyicinin veri girdileri üzerinde kontrolü bulunmakta olup ilgisiz değişkenler belirlenebilmekte veya model oluşma sürecinde ayıklanabilmektedir.

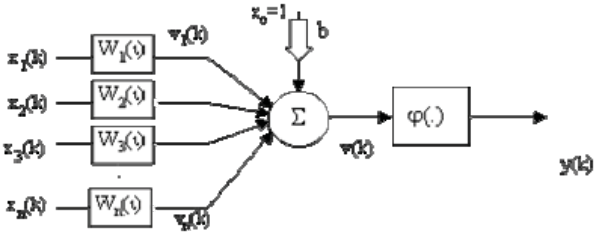
Literatürde farklı YSA yapıları kullanılmaktadır. Bunlar, ileri beslemeli, geri beslemeli ve radyan tabanlı sinir ağlarıdır. Bu çalışmada, su kaynakları uygulamalarında sıkça kullanılan ve tahmin işlemlerinde en iyi sonucu veren YSA'nın hesaplama algoritmalarından biri olan ileri beslemeli geriye yayınım yapay sinir ağ yapısı kullanılmıştır (Luk ve diğ., 2001).

2.1.1 İleri Beslemeli Geri Yayınımlı Sinir Ağı

İleri beslemeli geriye yayınım sinir ağı genelleme ile girdilere karşı benzer olaylara karşılık gelen çıktı setleri üreten bilgi işleme sistemleri olarak nitelendirilebilir. Bunu yapabilmesi için yapay sinir ağları kendisine verilen örnekler üzerinde kendini eğiterek olayları (öğrenme) genelleme yapabilecek yeteneğe kavuşturulur ve çevreden gelen olaylara karşı nasıl tepkiler üretileceğini belirleyebilen bir mantıklı çözüm sistemi geliştirmektedir. Geriye doğru hata yayılması iki etaptan oluşmaktadır (Eberhart, Dobbins 1990):

- Çıktı birimindeki çıktı bilgi sinyalini hesaplamak için girdi nöronlarındaki dış girdi bilgisini ileriye doğru ileten bir ileriye doğru besleme etabı ile
- Çıktı birimindeki hesaplanan ve gözlenen bilgi sinyalleri arasındaki farklara dayanarak bağlantı kuvvetleri üzerinde değişikliklerin yapıldığı bir geriye doğru yayılma etabı

İleri beslemeli geriye yayınım sinir ağında girdi, gizli ve çıktı birimleri olmak üzere üç farklı katman bulunmaktadır. Giriş ve çıkış katmanlarının arasında gizli katmanlar bulunur. Her birim birçok nörondan oluşmakta olup birimler aralarında ağırlık kümeleri ile bağlanmaktadırlar. Bağlanma şekli ve her kısımdaki nöron sayısı değişebilmektedir. Aynı birimdeki nöronlar arasında iletişim olmasına izin verilmemektedir. Nöronlar girdiyi ya başlangıç girdilerinden ya da ara bağlantılardan alırlar. Girdiler, hiçbir işleme tabi tutulmadan gizli katmana gönderilir. Elde edilen sonuç değere (net girdiye) bir tasvir fonksiyonu uygulanarak hem hücre çıkış değerleri istenilen aralığa sıkıştırılır, hem de yapılan tasvirin doğrusal olması veya olmaması sağlanır. Yapay sinir ağlarında giriş ve çıkış verileri arasındaki tasvir, aktivasyon fonksiyonu ile sağlanmaktadır. En çok kullanılan aktivasyon fonksiyonları doğrusal, sigmoid ve tanjant hiperbolik fonksiyonlarıdır. (Hines, 1997) **(Şekil 1)**.



x_k ---------- (Girişler) = giriş fonksiyonu
w_k ---------- (Ağırlıklar) = ağırlık faktörünü
$\sum$ ---------- Toplayıcı (eşik (θ))
$\varphi(.)$ ---------- Aktivasyon Fonk
y ---------- Çıkış Fonkssyonu

Şekil 1. YSA ağ mimarisi yapısı

Burada elde edilen çıkış değerinin sadece o anki giriş değerlerine ait olduğu unutulmamalıdır. Sinir hücresine gelen her bir bilgi, ağırlık bağlantıları ile çarpılarak toplanır ve bu değerden θ gibi bir eşik değeri çıkartılır. Çıktı katmandaki girdiler de gizli katmandaki her bir girdiye bağlı olduğundan, gizli tabaka girdileri bağlantı ağırlıklarının etkisiyle yine ağırlık katsayılarına göre girdi toplarlar, toplanan bu girdiler yine aktivasyon fonksiyonu ile etkileşerek çıktı katmanına gönderir ve çıkış katmanında elde edilen hücrenin yk çıktısı elde edilir. Matematiksel modeli aşağıda **(denklem 1 ve 2)** verilen hücreye gelen bilgilerin tümü hücre içerisinde toplandıktan sonra ağırlıklar ile çarpılarak toplayıcıya aktarılmakta ve elde edilen toplam, nöronun aktivasyon fonksiyonundan geçirilerek çıkış değerleri hesaplanmaktadır.

$$S = \sum_{k=1}^{n} w_k * x_k - \theta = S = w_1 * x_1 + w_2 * x_2 + w_3 * x_3 + ... + w_n * x_n - \theta \qquad (1)$$

$$y_k = \varphi(S) = \frac{1}{1 + \exp(-S)} \qquad (2)$$

Burada, S toplam fonksiyonu; φ(S) aktivasyon fonksiyonunu; θ eşik değerini göstermektedir.

YSA yöntemi ile modelleme iki aşamadan oluşmaktadır. Birincisi, YSA'nın parametrelerinin (gizli tabaka hücre sayısı, aktivasyon fonksiyonunun şekli ve parametreleri vs.) belirlenmesi amacıyla yapılan eğitim aşaması, ikincisi ise parametreleri belirlenen bu YSA modelinin test aşamasıdır. YSA' da eğitim, sistem için en uygun olan bağlantı ağırlıklarının elde edilmesi şeklinde tanımlanabilir. Eğitim kümesi oluşturulurken birbirine yakın bilgilerden ziyade, az miktarda da olsa birbirinden farklı ve bağımsız bilgilerin seçilmesi daha verimli bir eğitme sağlar. YSA eğitimi esnasında elde edilen bilgiler sinir hücrelerinin her biri arasındaki bağlantı ağırlık katsayısı olarak adlandırılan ayarlanabilir bir parametre olarak saklar. Bu bağlantılar verileri, belirli ağırlık katsayıları ile çarparak bir sonraki tabakaya taşımaktadır. Her bir veri seti için eğitim yapılırken gizli katman sayısı ve bu katmanlardaki nöron sayıları ise öğrenme safhasında ağda kullanılan girdi ve çıktı vektörlerinin boyutuyla ilişkili olup deneme yanılma yoluyla bulunur. İlk etapta YSA'nın verdiği hesaplanmış çıktı değerleri ile gözlenen gerçek değerler arasındaki hata miktarı fazla olacağı için geriye yayılma prensibine göre bağlantı ağırlıklarını yenilemesi gerekir ve ağda hataların geri gönderilerek ağırlık değerlerine dağıtılır. Bir eğitim sürecinin başında rastgele atanan ağırlık kuvvetleri, eğitim sürecinde tahmin edilen çıktılarla gerçek çıktı değerleri karşılaştırılarak devamlı değiştirilir ve çıktı olarak bulunan bu değer, gerçek (ölçülen veya gözlenen) çıktı değerine göre kabul edilebilir bir değerde ise sonuç kabul edilir. Değilse, bu fark hata kabul edilerek, bu defa çıktı tabakasından gizli tabakaya, gizli tabakadan girdi tabakasına doğru öncekine benzer bir mantıkla hatayı minimize edecek bağlantı ağırlık değerleri ayarlanıncaya kadar hatalar geriye doğru yayılır. Böylece öğrenme algoritması her iterasyonda eğitim başarı ile tamamlanana kadar kuvveti değiştirerek her bir iterasyonda hata değeri azaltılır, yakınsama gerçekleşene ve hata değeri minimuma inene kadar devam edilir. Eğitim işleminden sonra test işlemine geçilir ve test işleminde daha önceden eğitim işleminde kullanılmayan, veri seti sırasıyla kullanılır. Böylelikle ileri besleme işlemi son bulur.

2.1.2. Yöntemde Kullanılan Verilerin Yapısı

Yapay sinir ağları örnekler ile eğitildikleri için eğitim sırasında yeterli sayıda veri grubun kullanılması gerekir. Bu çalışmada, EİE'nin Çoruh Havzasına ait uzun süreli ortak ölçüm zamanı olan 1965–2009 tarihleri arasındaki yıllarını kapsayan 44 yıllık günlük akım verileri kullanılmıştır. Model YSA işlemlerinin yapılabildiği MATLAB 7.0 adlı bilgisayar yazılımı kullanılarak hazırlanmıştır.

Öncelikle çalışmada; bir gizli tabakalı YSA kullanılarak günlük nehir akımları tahmin edilmiştir Girdi tabakasındaki hücre sayısına karar verilirken istatistiksel olarak yüksek ilişkide bulunan istasyonların akım verileri arasındaki korelasyon katsayılarına

bakılmıştır. En kuvvetli korelâsyona sahip istasyonlar arasında YSA modeli kurulmuştur. Gizli tabakadaki hücre sayısı, 2 ile 5 arasında deneme-yanılma metoduyla belirlenmiştir.(En iyi yol budur çünkü gizli tabaka sayısı en fazla 5'tir. Bu nedenle en fazla sınır olarak 5 ve en az olarak 1 yeterli gelmeyeceği için en az olarak 2 seçilmiştir.) Bu yolla, gizli tabaka hücre sayısı, korelasyon katsayısını en büyük veren 3 olarak tespit edilmiştir. Giriş katmanında 1 akım gözlem istasyonu olmak üzere 3 hücre gizli katmanda ve son olarak çıkış katmanında bir hücre (istenilen) AGİ bulunmaktadır. Gizli katmandaki ve çıkış katmanındaki hücre çıkışlarında aktivasyon fonksiyonu olarak sigmoid fonksiyonu seçilmiştir. İleri beslemeli metodunun eğitim aşamasında eğitim aşamasında geriye yayınım algoritması kullanılmıştır. Kullanılan aktivasyon fonksiyonun özelliğinden dolayı, veri setleri ağa verilmeden önce her bir giriş ve çıkış değerleri [0-1] arasında ölçeklendirilerek normalize edilmiştir. Buna bağlı olarak yapay sinir ağlarının üreteceği sonuç değerleri de [0-1] arasında elde edilmiştir. Orijinal verilere dönmek için normalize işlemleri tersine çevrilerek çıkış değerleri bulunmuştur. Eğitimler iterasyon sayısına göre sağlanmıştır İterasyon sayısı istasyonlara göre değişmektedir. Ölçüm periyodu içinde görülen bütün veriler eğitilmiş ve eksik olan akımlar tahmin edilmiştir. Eğitiminde seçilen parametreler **Çizelge 1**'de verilmiştir.

Çizelge 1. Eğitiminde seçilen parametreler

Eğitim için Seçilen Parametreler					
İstasyon Nosu	Toplam Veri Sayısı	Eğitim Veri Sayısı	Test Veri Sayısı	İterasyon Sayısı	R^2
2304	16436	10957	5479	325	0.94
2305	16436	10957	5479	300	0.97
2316	16436	10957	5479	325	0.98
2321	13880	9497	4383	375	0.86
2323	16436	10957	5479	325	0.87
2325	13149	8766	4383	375	0.8

Oluşturulan yapay sinir ağları mimarisinde en iyi sonuç olan 3 gün önceye kadar olan (t-3),(t-2),(t-1),t değeri kullanarak akım verileri ile diğer istasyonun t anındaki çıkış tabakasındaki akım değerleri tahmin edilmesine çalışılmıştır. Bugünkü günlük akış değerini (Q_t) tahmin için, başta Q_t günlük akış değeri olmak üzere bir gün önceki akıştan (Q_{t-1}) 3 gün önceki akışa (Q_{t-3}) kadar olan değerleri içeren 5 (4 girdi tabakası hücresi + 1 çıktı tabakası hücresi = 5 adet farklı girdi kombinezonları) farklı girdi kombinezonlar denenmiştir **(Çizelge 2).** Tam değeri olan AGİ'nin son 3 günlük (t-3, t-2, t-1) akım değerini girdi olarak alınıp diğer AGİ için t anındaki akım değerlerinin tahmin etmek için tahmin edilmesi istenen AGİ'nin t anındaki değerleri de kullanılarak toplam 5 adet girdi sütunu kullanılmış olmaktadır..

Çizelge 2. Eğitiminde seçilen girdilerin zamansal olarak irdelenmesi

girdi tabakası hücreleri	gizli tabaka hücre sayısı	çıktı tabakası hücresi
Qt, Qt-1,Qt-2, Qt-3	3	Qt

2.2 Standartlaştırılmış Yağış İndeksi Yöntemi

Standartlaştırılmış Yağış İndeksi (SYİ) yöntemi ilk olarak Mckee vd. (1993) tarafından geliştirilmiştir. SYİ yöntemi belirlenen zaman dilimi içersinde gözlemlerin uzun dönem ortalamalardan olan sapmasını standart sapmaya bölerek sayı elde etmektir. Bu yöntemde ihtiyaç duyulan tek meteorolojik değişken olduğundan uygulaması oldukça

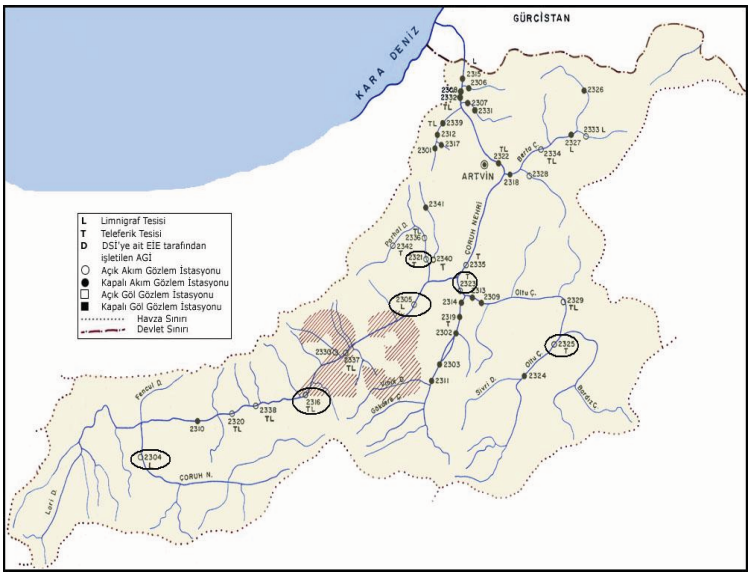
kolaydır. Diğer bir önemli avantajı ise farklı zaman ölçekleri için kuraklığı ölçmede gösterdiği esnekliktir. Bu nedenlerden dolayı bu çalışmada, aylık akım serilerine ilişkin hidrolojik kuraklık değerlerinin belirlenmesinde SYİ yöntemi kullanılmıştır. Yöntemde elde edilen negatif değerler yağış eksikliğini ya da kurak dönemleri gösterirken, pozitif değerler yağış fazlalığını ya da sulak dönemleri gösterir. (McKee ve diğ., 1993; Paulo ve diğ., 2005) (**Çizelge 3**). SYİ yönteminde şu sıra izlenir: Kullanılan değişken için aylık veri setleri en az 30 yıllık kesintisiz periyot için düzenlenir (Keskin ve diğ., 2007). Bu çalışmada; yöntemin uygulanmasında, hidrolojik ve mühendislik açısından önemli olan kaydırma periyotları (12-ay) için SYİ değerleri hesaplanmıştır.

Çizelge 3. SYİ kuraklık kategorisi (Tsakiris, 2004)

SYİ değeri	Kuraklık Kategorisi
≥ 2	Çok şiddetli yağışlı
1.50 ~ 1.99	Çok yağışlı
1.00 ~ 1.49	Orta şiddetli yağışlı
0.99 ~ 0	Normal
0 ~ -0.99	Normale yakın kuraklık
-1.00 ~ -1.49	Orta şiddetli kuraklık
-1.50 ~ -1.99	Şiddetli kuraklık
≤ -2	Çok şiddetli kuraklık

3. UYGULAMA ALANI

Bu çalışmada ülkemiz için hayati öneme sahip Çoruh Nehrine ait havza incelenmiştir. 19872 km^2 yağış alanına sahip havzanın yıllık ortalama akım 6,30 km^3 ve ortalama yıllık verimi 10,1 lt/sn/km^2 dir. Çoruh nehri ve kolları üzerinde DSİ ve EİE'ye ait birçok akım gözlem istasyonu bulunmaktadır. Çalışmada kullanılacak yöntem için yeterli gözlem süresine sahip Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü (EİE) tarafından işletilmekte olan homojen dağılan 6 adet AGİ 1965–2009 dönemine ait günlük akım ve aylık ortalama akım verileri kullanılmıştır.



Şekil 2. Çoruh Havzası ve çalışma konusu olan AGİ'ler

Seçilen istasyonlar havzanın mümkün olduğunca genelini temsil etmektedir. Eksik olan akımlar son yıllarda yaygınca kullanılan bir yöntem olan YSA ile tamamlanmıştır (**Çizelge 4**).

Çizelge 4. Kullanılan AGİ'lere ait bilgiler

İstasyon No	İstasyon Adı	Gözlem Süresi	Yağış Alanı (km^2)
2304	Bayburt	1942 - 2009	1734
2305	Peterek	1963 - 2009	7272
2316	İspir Köpr.	1965 - 2009	5505.2
2321	Dutdere	1972 - 2009	586
2323	İşhan Köpr.	1965 - 2009	6854
2525	Aşağı Kumlu	1974 - 2009	1762

4. YSA İLE TAMAMLANAN EKSİK AKIM BULGULARI

Eğitim ve test aşamalarında kullanılan tüm değerler karşılaştırmalı olarak şekillerle gösterilmiştir. YSA ile gerekli bulgular ve eksik akımların tamamlanması grafikleri aşağıda verilmiştir. Aynı şekilde regresyon analizi ile veriler elde edilmiş hidrografları çizilerek gösterilmiştir.

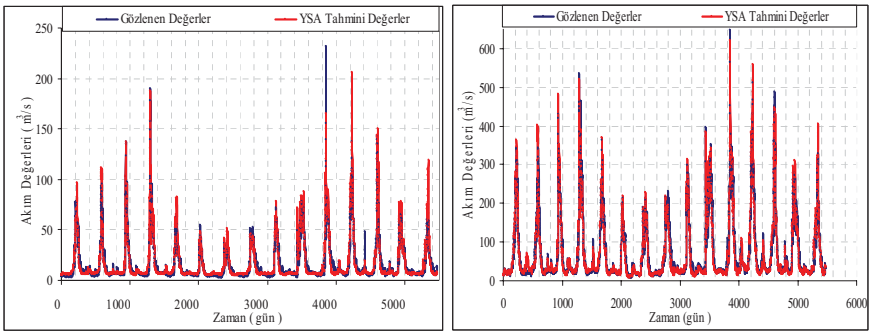
Şekil 3'te görüldüğü üzere AGİ'lerin eksik olan 2009 su yılı akımları YSA ile tahmin edilmiştir. Bu grafikte görüldüğü gibi YSA ile gözlenen değerler çok uyumluluk göstermektedir. Hemen hemen tüm yüksek akımlar YSA ile bulunan değerlerle örtüşmektedir. Aynı şekilde düşük akımlarda da benzer uyumluluk yakalanmıştır.

Ayrıca eksik olan 2323 AGİ için 2004 su yılı günlük akım değerleri, 2325 AGİ için 1990 su yılı günlük akım değerleri tamamlanmıştır.

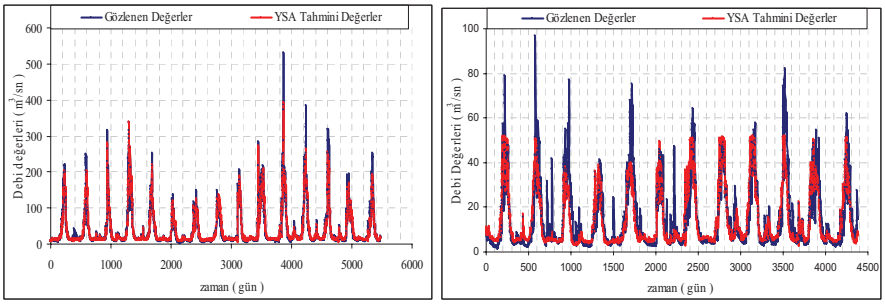
AGİ'lerin YSA ile tamamlanan eksik yıllarının günlük akımları hem gözlenilmiş hem de regresyon analizi ile elde edilenler değerler ile grafiksel olarak karşılaştırılmıştır **(Şekil 4).** Değerler çok uyumluluk göstermektedir.

Karşılaştırma kriteri olarak da belirlilik katsayısı R^2 esas alınmıştır. Bu sonuçlardan anlaşılabileceği gibi YSA modelinin verdiği değerler ile gözlenen değerler arasında yapılan korelasyon analizinde R^2 = 0,75 ile 0,97 arasında değişmektedir. Bu değer YSA ile gözlenen değerler arasında çok iyi bir ilişkinin olduğunu göstermektedir. Eğitim ve tahmin aşamasında 0,75 ile 0,90 arasında determinasyon katsayısı ile gayet olumlu sonuçlar vermektedir (**Şekil 5**).

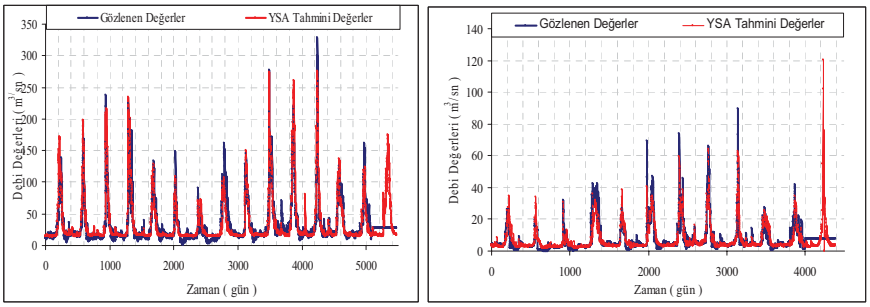
YSA sayesinde doğrusal olmayan modelleme çok daha hızlı ve rahat bir şekilde yapılabilmektedir. YSA ile yapılan tahminlerdeki üstünlük pik değerlerde de gözlenmektedir. Şekil-5'deki saçılma grafikleri incelendiğinde özellikle küçük akım değerlerinin tahmininde yapay sinir ağlarının regresyona nazaran daha başarılı olduğu görülmektedir. Şekillerden görüldüğü gibi t zamanı için kestirim değerleri gözlenmiş olanlara çok yaklaşık gitmektedir.



2304 2305

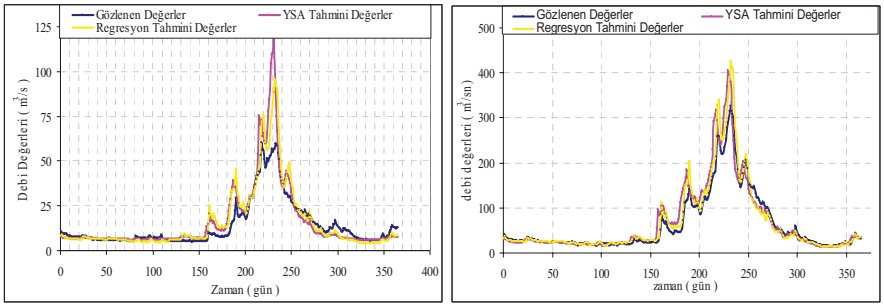


2316 2321



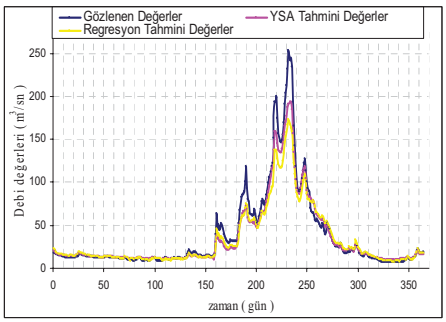
2323 2325

Şekil 3. AGİ'ler için modelden elde edilen gözlem ve YSA tahmin değerleri ile gözlenen değerler

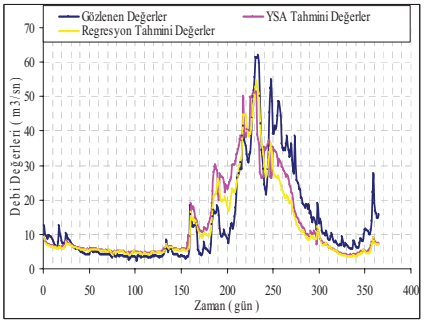


2304

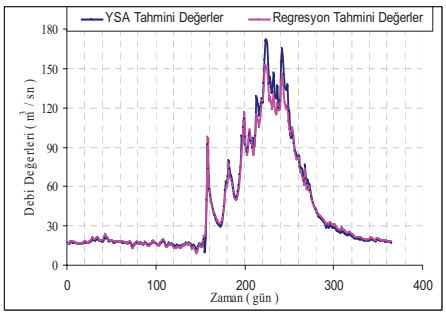
2305



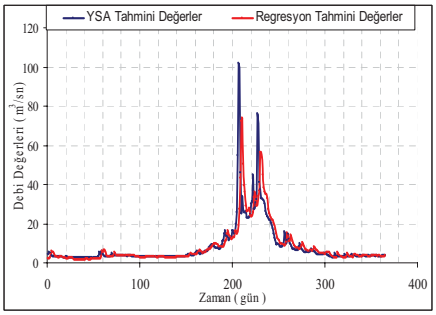
2316



2321

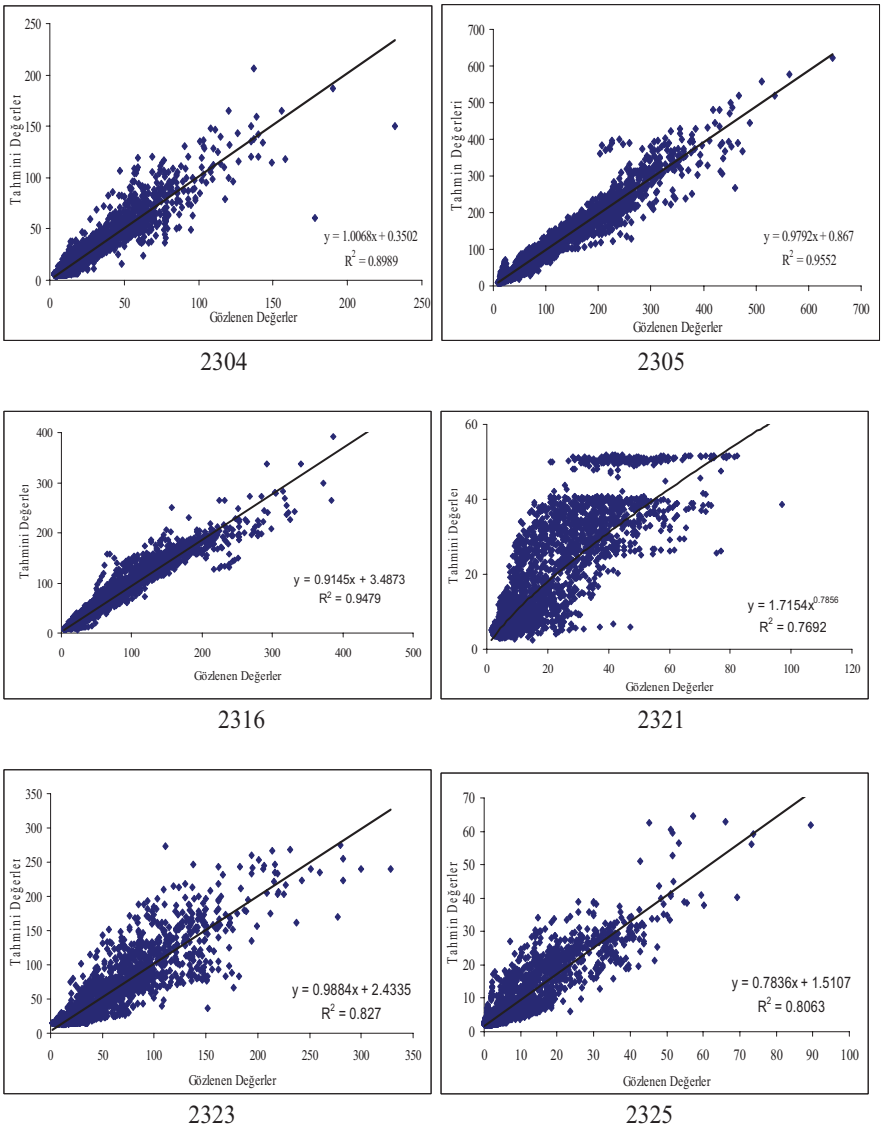


2323



2325

Şekil 4. Gözlenilmiş değerler ile hem YSA yöntemine hem de regresyon analizine göre elde edilen değerler karşılaştırması



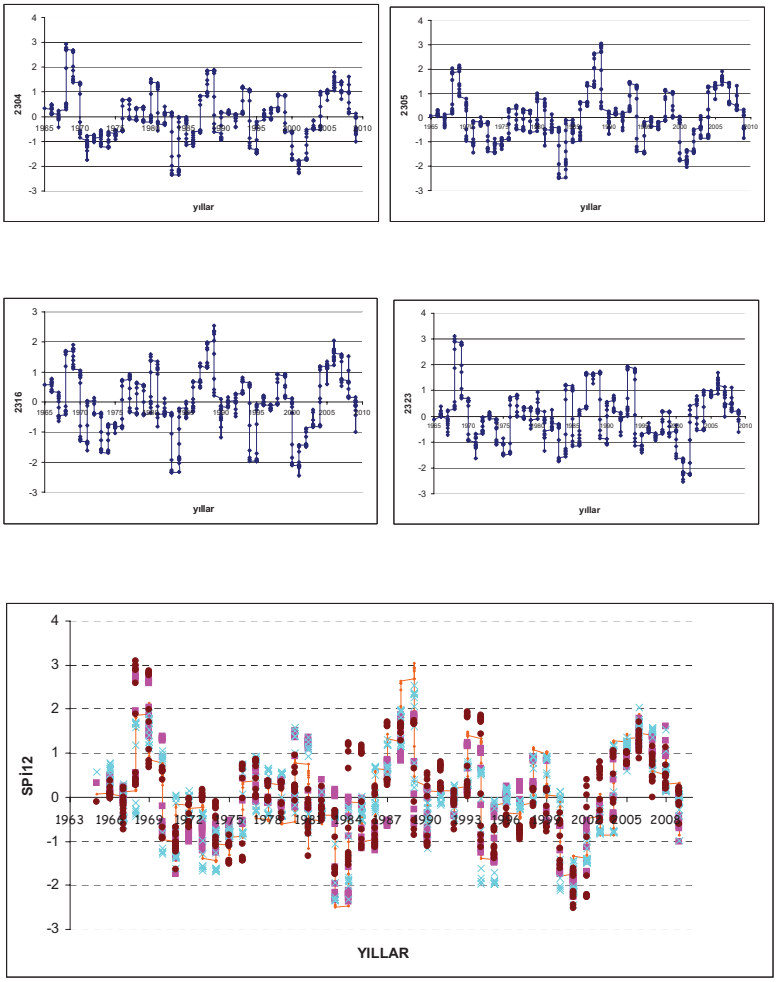
Şekil 5. Saçılma diyagramları

Şekil.5 için bakıldığında 2321 için uyum vardır ve en iyi doğru denklemi değil en iyi uyumu gösteren R^2 grafiği seçilmiştir ve üssel olarak sağlanmıştır. Burada bazı verilerin belli bir noktada ya da belli bir zamanda tam değerleri verilmediğini buna rağmen yine de uyum sağladığını söyleyebiliriz.

5. KURAKLIK ANALİZİ BULGULARI

Çoruh Havzasında kuraklık analizi yapılabilmesi için; **Çizelge 3**'te bilgileri verildiği üzere, bölgede çeşitli nehirler üzerinde yer alan 6 AGİ ye ait aylık ortalama akım değerleri EİE'den elde edilmiştir. SYİ yönteminin uygulanabilmesi için McKee vd. (1993)'e göre ideal olarak en az 30 yıllık ve kesintisiz değişken verileri gerekmektedir.

Bu çalışmada, Çoruh Havzasına ait 6 AGİ için ortak periyot olarak belirlenen 1965–2009 yılları arasındaki sürekli akım verileri en uygun bulunan YSA modelleri ile oluşturulmuştur. AGİ'lerin elde edilen ortak dönem akım verileri ile SYİ yöntemi 12 aylık periyot için (SYİ12) kuraklık analizinde kullanılmıştır. Standart hale getirilmiş 6 AGİ'ye ait akım verileri, **Çizelge 3**'te verilen kuraklık kategorilerine göre sınıflandırıldıktan sonra elde edilen zaman serileri **Şekil 6**'da verilmiştir.



Şekil 6. Çoruh Havzasında bulunan AGİ'lere ait 12 aylık SYİ zaman serileri

Şekil 6'ya göre Çoruh Havzasında en büyük kuraklık değerleri (minimum SYİ değerleri) Oltu Çayı üzerindeki 2323 nolu AGİ nin 2001 su yılının Haziran ayında -2.53 olarak bulunmuştur. Diğer AGİ ler için sırasıyla en büyük kuraklık değerleri ve yılları şöyledir: 2304 nolu AGİ için 1984 su yılında Ekim ayında -2.36, 2305 nolu AGİ için 1983 su yılında Eylül ayında -2.5, 2316 nolu AGİ için 1983 su yılında Mart ayında -2.45 olarak bulunmuştur. AGİ'ler toplu olarak incelendiğinde; doğal akıma sahip istasyonlar (2304, 2305, 2316) 1983, 1984 ve 2000,2001 su yıllarında yaz mevsimi için en yüksek "-2.44" gibi minimum SPİ değerinin ifade ettiği "çok şiddetli kuraklık" derecesine kadar ekstrem kuraklıklar tespit edilmiştir.

Çizelge 5. SYİ metoduna göre Çoruh Havzasında AGİ'lere ait kurak aylar sayısı

SYİ Metoduna Göre Kurak Aylar Sayısı					
AGİ	**normale yakın kuraklık**	**orta şiddetli kuraklık**	**şiddetli kuraklık**	**çok şiddetli kuraklık**	**toplam**
	0 - (-0.99)	**-1- (-1.49)**	**-1.5-(-1.99)**	**<= -2**	
2304	195	39	24	12	270
2305	197	58	16	7	278
2316	201	30	28	17	276
2323	181	57	17	12	267

Çizelge 5'te her bir istasyona ait kurak ayların sayısı verilmiştir. Görüldüğü üzere tüm istasyonlar için bölgede çok şiddetli kuraklık gözlenmektedir. Yukarıda anlatıldığı üzere Çoruh Havzasında çeşitli dereler üzerinde bulunan 6 AGİ için hidrolojik kurak dönemler belirlenmiştir. **Çizelge 6**'da da her bir AGİ için kurak ve çok kurak olan dönemleri içeren su yılları belirtilmiştir.

Çizelge 6. İstasyonların kurak su yılları

2304		**2305**		**2316**		**2323**	
kurak	**çok kurak**	**kurak**	**çok kurak**	**kurak**	**çok kurak**	**kurak**	**çok kurak**
1967	1971	1967	1983	1967	1971	1966	1971
1970-1979	1983	1970 - 1986	1984	1968	1973	1967	1975
1981	1984	1990	2000	1970-1986	1974	1970 - 1976	1983
1982	1994	1992	2001	1990	1983	1978	1984
1984 -1987	1995	1994 - 2004		1991	1984	1979	2000
1989	2000	2009		1992	1994	1981 - 1986	2001
1990	2001			1994 - 1998	1995	1989	2002
1992	2002			2000 - 2004	2000	1990	
1994				2009	2001	1992	
1995						1994 - 2000	
1997						2002	
1999						2003	
2000						2004	
2002						2007	
2003						2009	
2004							
2009							

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Su kaynakları sistemlerinin planlanması, projelendirilmesi ve işletilmesi için belli bir periyotta akım verilerine ihtiyaç duyulur. Ülkemizin genç olması sebebiyle resmi veri kayıtlarının kısa olması, kontrolsüz su kaynaklarının fazlalığı hidroloji bilim alanında çalışan bilim adamlarımızın işini zorlaştırmaktadır. Bunun üstüne bir de kayıtlarda çeşitli gerekçelerle meydana gelen kesinti ve hatalar modelleme ve planlama süreçlerini olumsuz etkilemektedir. Bu nedenle yetersiz veya eksik akım verileri güvenilir yöntemlerle tahmin edilmesi gerekmektedir. Son zamanlarda birçok alanda yaygın olarak kullanılan ve özellikle sayısal hesaplamalarda büyük kolaylıklar sağlayan Yapay Sinir Ağları (YSA) yöntemi bunlardan biridir. Bu çalışmada YSA yöntemi ile pek çok enerji projesinin yapıldığı ve planlandığı Çoruh Havzasında en önemli ana kollar üzerinde bulunan 6 AGİ'nin eksik akımları tamamlanmıştır. YSA yöntemine göre tamamlanan AGİ'lerin eksik akımları; yapılan çeşitli karşılaştırmalar sonucunda gerçeğe çok yakın bulunmuştur. Ayrıca pek çok enerji projesinin düşünüldüğü ve uygulandığı Çoruh Havzasında önemli kollar üzerinde bulunan AGİ'lerin kuraklıktan nasıl etkilendiğinin belirlenmesi; özellikle kuraklık eğilimi görülen ayların izlenmesi ve su kaynakları planlayıcılarının olası kuraklık için gerekli tedbirleri alması, bu havzadaki enerji projelerinin geleceği için son derece önemlidir. Bu nedenle bu çalışmada eksik verileri doğru bir şekilde tamamlanılması araştırılan ve tamamlanılan AGİ'lerin SPİ'ye göre hidrolojik kuraklık eğilimleri belirlenmiştir. Buna göre; Çoruh Havzasını temsil edecek şekilde havzadaki 6 farklı su üzerinde bulunan AGİ'ler toplu olarak incelendiğinde; doğal akıma sahip istasyonlarda (2304,2305,2316) 1983, 1984 ve 2000,2001 su yıllarında en yüksek "-2.53" gibi minimum SPİ değerinin ifade ettiği "çok şiddetli kuraklık" derecesine kadar ekstrem kuraklıklar tespit edilmiştir. Bu bulgular ve çalışmada kullanılan AGİ'ler bütün olarak incelendiğinde; 1965–2009 gözlem periyodundaki toplam 529 ay içinden hidrolojik olarak en az 265 ayın kurak geçtiği belirlendiği için, bu havzada düşünülen proje çalışmalarında gelecekte kuraklık analizi çalışmalarının sürdürülmesinin önemi artmaktadır.

7. KAYNAKLAR

Anonim, Meteorolojik Karakterli Doğal Afetler ve Meteorolojik Önlemler, TMMOB Meteoroloji Müh. Odası, Ankara. (1999)

BMÇMS, Birleşmiş Milletler Çölleşme ile Mücadele Sözleşmesi, Çevre Bakanlığı Yayınları, Ankara (1997),

EBERHART, R.C., DOBBINS, R.W., Neural Network PC Tools: A Practical Guide, Aca Press, San Diego. (1990)

Hines, J.W., Matlab Supplement to Fuzzy and Neural Approaches in Engineering, John and Sons Inc. (1997)

Keskin, M.E. ve Terzi, Ö.,. Yapay sinir ağları metodu ile buharlaşma miktarının belirlerlenmesi Mühendislikte Modern Yöntemler Sempozyumu s. 107-113., İTÜ, İstanbul, 26-28 Eylül 2001,

Keskin, ME., Terzi, Ö., Taylan, E.D. ve Keskin, A.G. "Isparta Bölgesi Meteorolojik Kuraklık Analizi", I. Türkiye İklim Değişikliği Kongresi – TİKDEK, 11 - 13 Nisan 2007 İTÜ, İstanbul.

Luk C. K.. Ball J.E.. Sharma A.. "An Application of Artificial Neural Networks for Precipitat Forecasting". Mathematical and Computer Modeling. Vol. 33. 683-693. (2001).

McKee, T. B., Doesken, N. J. ve Kleist, J. "The Relationship of Droght Frequency and Duration to Time Scales Reprints", 8th Conference on Applied Climatalogy, Anaheim, CA, USA, 179-184. (1993)

Paulo, A.A., Ferreira, E., Coelho, C. ve Pereira, L. S. "Drought class transition analysis through Markov and Loglinear models, an approach to early warning", Agricultural Water Management, 77: 59–81. (2005)

Szalai, S., Szinell, C. S., and Zoboki, J. "Drought monitoring in Hungary, in: Early warning systems for drought preparedness and drought management", World Meteorological Organization, Lisboa, 182-199. (2000)

Vicente-Serrano, S.M. and Lopez-Moreno, J.I. "Hydrological response to different time scales of climatological drought: an evaulation of the standardized precipitation index in a mountainous mediterranean basin", HESSD, 2, 1221-1246. (2005)

Yıldız, O. "Yukarı Kızılırmak Havzası'nda SYİ Metodu İle Hidrolojik Kuraklık Değerlendirmesi", V. Ulusal Hidroloji Kongresi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara 5-7 Eylül 2007

HİDROLOJİK ÖLÇÜM AĞLARI VE VERİ TABANI

Akarsu Gözlem İstasyonlarında Akım Ölçümü ve Debi Hesaplanması

Karaman İ.[1], Özkaya M. [2] Arslan F. [3]

Özet: Bütün hidrolojik çalışmalarda ilk adım gerekli doğal verilerin toplanması için gözlemler yapılmasıdır. Hidrolojik olayları laboratuarda benzeştirmek bugün için mümkün olmadığından gözlemlerin doğrudan doğruya doğada yapılması gerekmektedir. Bunun için yeter sıklıkta gözlem istasyonlarından oluşan bir gözlem ağının kurulması, bu ağdaki istasyonların yeterli duyarlılığı olan gözlem araçları ile donatılması ve bu istasyonlardaki hidrometrik ölçümlerin uygun metotlarla itinalı bir şekilde yapılması gerekir. Hidrolojik veriler, gerek zamanla, gerekse yerden yere çok değiştikleri için ölçümlerin sık noktalarda ve sürekli olarak yapılması gereklidir.

Ekonomik gelişmemizin sürdürülmesi, birçok sağlık sorununun çözümlenmesi akarsu rejimlerinin iyice bilinmesine bağlıdır. Özellikle enerji, sulama, su ve toprak kaynaklarının geliştirilmesi, suyun zarar ve tehlikelerinden korunmak amacı ile yapılan inşaatların plan ve projelerinin hazırlanabilmesi, sistematik bir şekilde hidrometrik veri toplamak ve bunları hidrolojik çalışmalarla bütün ülkeye yaymakla mümkündür. Bu amaçla küçük ve büyük tüm akarsularımızda sistematik bir şekilde hidrometrik ölçümlerin yapılması gerekmektedir.

Bu çalışmada Elektrik İşleri Etüt (EİE) İdaresi Genel Müdürlüğünün yüzeysel sularda akım ölçümünde kullandığı ölçüm metotları, bu konuda dünyada kullanılan diğer akım ölçüm metotları ve bu metotların duyarlılığı konularında bilgiler verilmesi hedeflenmiştir.

Anahtar Sözcükler: Akarsu debisi; Gözlem Ağı; Akım ölçümü; Akım Hesaplanması; Veri; Muline

Measurement and Computation of Streamflow at Gauging Stations

Abstract: The first step of all hydrologic works is to make observations to collect data. Natural conditions are not similar to laboratory conditions, so hydrologists must work at rural area to discover hydrologic events. To discover hydrologic events, many gage

[1] III. Hidrometrik Etüt Merkezi - Samsun E-Posta: ikaraman@eie.gov.tr
[2] Hidrolik Etütler Dairesi Başkanlığı - Ankara, E-Posta: mozkaya@eie.gov.tr
[3] IV. Hidrometrik Etüt Merkezi - Bursa E-Posta: farslan@eie.gov.tr

stations that have sensible instruments should be built (limnigraph, etc) and observation network at gauging stations should be set up. Furthermore, at these observation networks that include many gauging stations, current should be measured carefully. Hydrologic data change not only in time but also in location. So current at these gauging stations should be measured permanently at possibly closer points.

To provide sustainable development in economic condition and to resolve society health problem, stream regime should be known, too. To collect hydrometric data systematically is important construction of dams and planning of dams that utilized flood protection, irrigation, soil protection and energy production. Therefore hydrometric data collecting should be expanded to all area of Türkiye.

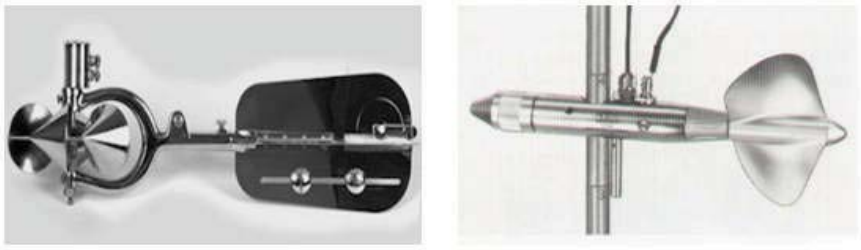
In this work, we intended to give information about methods of current measurement that using at open channels by General Directorate of Electrical Power Resources Survey and Development Administration and about some methods and sensitiveness of these methods that are be using by the entire world.

Keywords: Streamflow; Observation Network; Flow Measurement; Flow Computation; Data; Current Meter

1. GİRİŞ

Akarsu debisi, bir kesitten bir saniyede geçen suyun metreküp olarak miktarıdır. Debi hesabında uygulanan yöntem, bir akarsuyun enine kesitini yeterli sıklıkta parçalara ayırıp her parçacığın derinlik ve ara mesafelerini ölçerek alanlarını hesaplamak ve bu alanların ortalama hızlarını ölçerek, debilerini hesaplayıp bu debileri toplayarak kesitten geçen toplam debiyi bulmaktır. Debi hesabı için kesitin toplam alanının ve ortalama hızının tespiti gerekir.

Bu ölçümlerin yapılması için en uygun kesitin seçilmesi ölçünün güvenilirliliği bakımından önemlidir. Bu bakımdan ölçü kesitini seçerken gerekli özen gösterilmelidir.



Şekil 1.1.. Düşey ve Yatay Eksenli Mulineler

Akım ölçümü sırasında, derinlik ve hız alma dikeyleri (şakül) arasındaki mesafeler ve dikeylerin başlangıç noktasına mesafeleri metre, metraj teli, teleferik tellerinin ve köprü korkuluklarının önceden metrajlanması ile belirlenmektedir. Mesafe ölçümlerinde hata oranı % ± 0.5 mertebesini geçmemelidir.

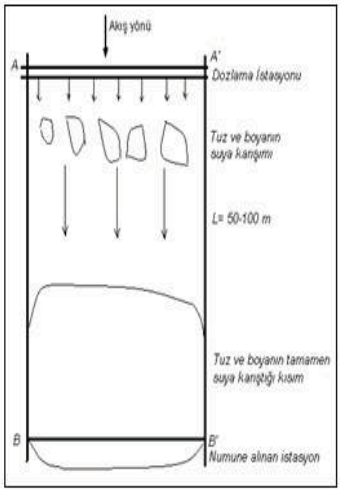
Derinlik ölçümleri ölçü sapı veya çıkrıklar vasıtasıyla yapılmaktadır. Bu ölçümlerdeki hata % ± 1 mertebesini geçmemelidir. Kesitte yatay sapma mevcut ise (akım iplikçikleri ölçü en kesit çizgisine dik açı ile gelmiyorsa) ölçü esnasında yatay sapma düzeltmesi yapılmalıdır.
Derin ve hızlı akarsularda askıdan yapılan ölçülerde ölçü ekipmanı olarak yeterli ağırlık kullanılmaması halinde dikey sapma düzeltmeleri yapılmaktadır. Bu düzeltmelerin yapılmaması halinde derinlik ölçümlerinde ± %25'e varan hata yapmak mümkündür.

Debi hesabında en güvenilir hız ölçüm şekli mulinelerle yapılır (Şekil 1.1). Muline olmadığı veya kullanılamadığı durumlarda boya ve tuz metotları ile, düşük hızlarda eşik, veya savaklarla, hacmi belli kaplarla ve flatörlerle hız ölçümü yapılmaktadır.

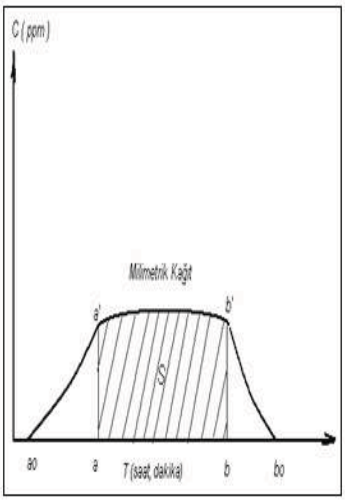
2. AKIM ÖLÇÜM YÖNTEMLERİ

2.1. Boya ve Tuz Deneyleriyle Akım Ölçümü

Gerek boya gerekse tuz deneyleri ile debi hesabı yapılması, akarsuya belli oranda tuz ya da boya karıştırarak bu maddelerin belli zaman sonunda sudaki konsantrasyon (T) miktarının tespitine dayanır (Şekil 2.1). Deney sonucunda düşey eksen konsantrasyon, yatay eksen zaman olacak şekilde konsantrasyon-zaman eğrisi oluşturulur (Şekil 2.2). Konsantrasyon eğrisi altında kalan alan (S) planimetre ile hesaplanıp Q= S/T formülünden debi hesaplanır. Bu metot daha çok hız ölçüm aletleri kullanılması mümkün olmayan kayalık, taşlık ve çalkantılı akarsularda kullanılır. Bu tip sularda kullanılmasının diğer bir avantajı ise suyun çalkantılı olması nedeniyle suya katılan tuz ve boyanın su içinde homojen dağılmasıdır.



Şekil 2.1. Tuz ve Boya ile Akım Ölçümü



Şekil 2.2. Tuz ve Boya ile Akım Ölçümünde Konsantrasyon Eğrisi

2.2. Taşınabilir Parshall Savakları

Taşınabilir Parshall kanalları ile düşük debili ve sığ suların, hızı az olan suların akımları ölçülür (Şekil 2.3). Parshall kanalları basitliği, hafifliği kolaylıkla kurulabilmeleri nedeniyle tercih edilir. Uygulamada Parshall kanalı, kazılan yatak içindeki bir yatağa oturtulur ve etrafından hiç su geçmemesi için çamurla sıvanır veya set yapılır. Kanal, su düzeci ile teraziye alınır. Kanal üzerindeki gösterge çizelgesinden (skala) okunan seviyenin karşılığı debi kanal için daha önceden hazırlanmış abaktan (akım süreklilik eğrisi) bulunur.



Şekil 2.3. Taşınabilir Parshall Savakları

2.3. Hacimsel Ölçümler

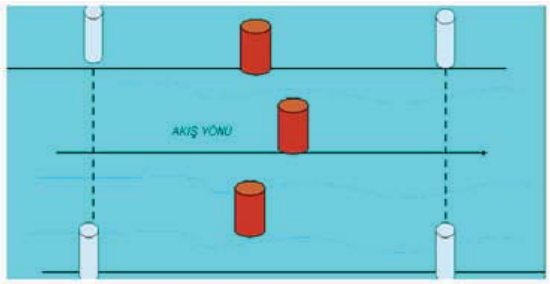
Küçük akımların ölçülmesinde kullanılan en sağlıklı yöntem doluş kapasitesi belli bir kabın doluş zamanının tespiti yöntemidir (Şekil 2.4). Diğer bir ifade ile birim zamanda ölçekli bir kaba dolan suyun hacmidir. Bu yöntemde kronometre ve ölçekli bir kap kullanılır. Metotta, dolan su hacmi (m^3), doluş süresine (saniye) bölünerek debi miktarı tespit edilmiş olur.



Şekil 2.4. Hacimsel ölçümler

2.4. Şamandıralar (Flatörler)

Şamandıralar, akarsu hızının ve derinliğinin çok az olduğu küçük sularda mulinelerin kullanılamadığı durumlarda veya muline olmadığı durumlarda akarsu hızını tespit etmek için kullanılır. Şamandıra ile akım ölçümünde aralarında mesafe bulunan iki kesit seçilir. Seçilen kesitte akımın düzgün olmasına ve kesitin enine ve boyuna aynı geometrik şekilde olmasına dikkat edilir. Şamandıra memba tarafındaki kesitten bırakılır. Mansaptaki kesite kadar geçen yüzme zamanının en az 20 saniye olması gerekmektedir. Bu metotta amaç, iki kesit arası mesafenin ne kadar zamanda alındığıdır. Bu yöntemle suyun yüzey hızı tespit edileceğinden dikeyde ortalama hız için bulunan değer 0.85 katsayısı ile çarpılarak ortalama hıza ulaşılabilir (Şekil 2.5). Bu şekilde akarsuyun ortalama hızı tespit edildikten sonra seçilen kesitin alanı hesaplanıp debi hesabına geçilir.





Şekil 2.5. Şamandıra ve Uygulanması

2.5. Borularla Akım Ölçümü

Açılmış bir sondaj kuyusundan akan suyun debisinin ölçülmesi istenebilir. Bu durumda borunun dik ya da yatay olması durumuna göre farklı iki formül uygulanır.

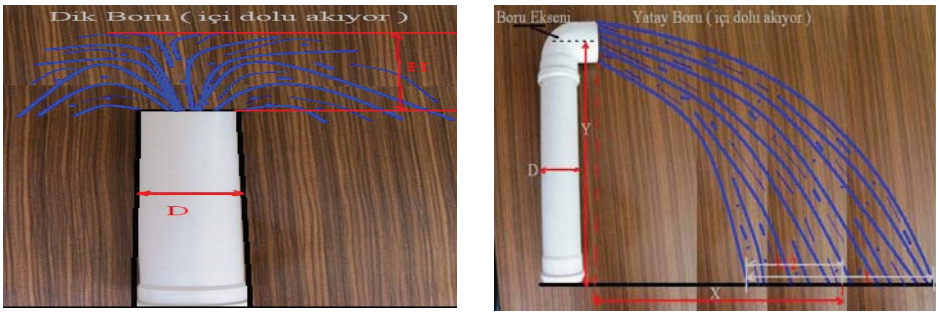
Dik durumdaki boru sisteminde D boru içi çapı olup sabittir (m). Su huzmesinin yüksekliği ise H (m) olup su kaynağının basıncına göre değişir. Buna göre; (1.1) formüllerinden biri kullanılarak debi hesaplanır.

$$
\begin{aligned}
&H > 1.40D \rightarrow Q_1 = 3.309 D^{1.99} H^{0.53} m^3/s \\
&H < 0.37D \rightarrow Q_2 = 5.466 D^{1.25} H^{1.35} m^3/s \\
&1.40 \geq H \geq 0.37 \rightarrow Q_3 = \frac{Q_1 Q_2}{2} 0.9 m^3/s
\end{aligned}
\qquad \textbf{(1.1)}
$$

Yatay borularda ise D ve Y sabit olup metre cinsinden okunur. X ise metre cinsinden okunup değişkendir. Bu durumda;

$$
Q = \frac{1.739 C D^2 X}{\sqrt{Y}} m^3/s \qquad \textbf{(1.2)}
$$

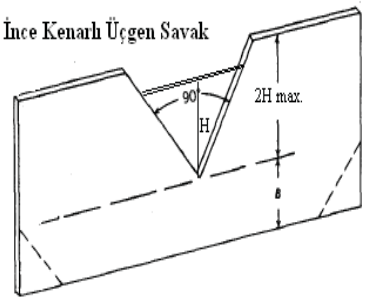
şeklinde bulunur. C doluluk derecesidir. Su boruda tam dolu akıyorsa C = 1, yarım dolu akıyorsa C= 1/2, çeyrek dolu akıyorsa C= 1/4 alınır (Şekil 2.6).



Şekil 2.6. Borularda Akım Ölçümü

2.7. Savaklarla Akım Ölçümü

Savaklar, kanal tabanı boyunca inşa edilen, akımı ölçen, kontrol eden ya da yönünü değiştiren su yapılarıdır. Savaklar, kullanış amacına, akarsuyun karakteristik özelliklerine ve akarsu kesitinin geometrik durumu ile toprak yapısına göre değişik şekillerde tasarımlanır (Şekil 2.7). Debi hesabında, savak üzerine yerleştirilmiş eşellerden su seviyesi okunur. Değişik seviyelerde daha önce manüel ölçümlerle oluşturulmuş akım süreklilik eğrisinden savak kesitinden geçen su miktarı tespit edilir. Diğer bir yöntem ise savaklarda formülleri kullanarak debi hesabıdır. Aşağıda örnek olarak ince kenarlı üçgen savaklarda debi hesabı anlatılmıştır. Şekil 2.7'de görülen tepe açıklığı 90 derece olan üçgen savaklar en ideal savaklardır. Bunlarda debi formülü savağın üstünde akan su yüksekliğine (H) göre bulunur.



Şekil 2.7. İnce Kenarlı Üçgen Savak

H birimi cm ve Q birimi lt/s isteniyorsa; $Q=0,01375*H^{5/2}$ lt/s
H birimi m ve Q birimi m^3/s isteniyorsa; $Q=1,3475* H^{5/2}$ m^3/s dir.

2.8. Akustik Doppler Akım Profilcisi (ADAP) ile Akım Ölçümü

Akarsularda kararsız veya su seviyesi sürekli olarak değişen akımları ölçmek hidrolojistler için önemli bir sorundur. Doğal akarsu yataklarında su seviyesi sürekli değişmekte ve akarsu yatakları da sürekli olarak oyulmakta veya dolmaktadır. Nehirler ve diğer açık kanal akımları, karmaşık, üç boyutlu, küçük ve büyük ölçekli türbülans yapıları olan açık yüzeyli akımlardır. Manuel yöntemlerle akım ölçümünü yarım saatten önce bitirmek mümkün değildir. Ölçüm yapılırken seviye ve akarsu yatağı değişmekte ve dolayısı ile hatalı debi hesabı yapılma olasılığı artmakta veya çeşitli yöntemlerle (zaman ağırlıklı veya debi ağırlıklı ortalama akım ölçüm seviyesi hesabı) akım süreklilik eğrilerinde kullanılmak üzere seviye düzeltmesi yapılmak durumunda kalınmaktadır. Bu nedenlerle akım ölçümlerinin mümkün olan en kısa sürede yapılması

gerekmektedir. Bu amaçla akım ölçümlerini kısa sürede bitirebilmek için çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Son zamanlarda akım ölçümlerinde Acoustic Doppler Current Profiler (ADCP) - Akustik Doppler Akım Profilcisi (ADAP) kullanılmaya ve bu metot geliştirilmeye başlanmıştır. ADAP, Christian Johann Doppler (1842) tarafından keşfedilen fizik prensipleriyle su hızını ölçen bir yöntemdir. Doppler'in prensibi, kaynağın ve gözlemcinin bağıl hızlarıyla kaynağın frekans değişimi arasında ilişki kurmak üzerine kurulmuştur (Şekil 2.8).



Şekil 2.8. Akustik Doppler ve Uygulamaya Bir Örnek

ADAP'ın geleneksel olarak kullanılan mulinelerle yapılan akım ölçümlerine göre birçok avantajı vardır. ADAP'lar ses dalgaları yayarlar ve suyun içindeki parçacıklara çarparak geri dönen bu ses dalgalarını tekrar algılayarak çalışırlar. ADAP ölçümleri;

- Geniş nehirlerde ve yüksek akımlarda verimlidir.
- Özellikle değişken akımların ve gelgitlerin olduğu bölgelerde daha kullanışlıdır.
- Botla yapılan diğer her türlü akım ölçümlerine göre daha iyi sonuçlar vermektedir.

ADAP cihazları yeni geliştirilmekte olan cihazlar olduğundan manuel ölçüm sistemleri ile tam olarak karşılaştırılıp anahtar teslimi kullanılacak durumda değildir. Ancak manuel sistemlerin kullanılmayacağı bazı durumlarda tek seçenek haline gelmektedir. Örneğin İstanbul ve Çanakkale boğazı gibi geniş ve derin kesitlerde tek seçenektir. Bir diğer avantajı da türbülanslı yatay ve/veya dikey sapma açılı akarsularda su bloğunun tamamını tarayarak hızı tespit ettiğinden daha doğru hız ölçümü yapılma olanağının yüksek olmasıdır.

3. FORMÜLLERLE AKARSU DEBİSİ HESABI

Akarsuların hızları bazen mulinelerle ölçülemez. Özellikle taşkın anında ölçüm yapılmamışsa ve taşkın izlerini kullanarak taşkın debisi hesaplanacaksa bazı deneysel formüllerden faydalanarak hızı hesaplamak gerekecektir. Başlıca kullanılan hız formülleri Chezy ve Manning hız formülleridir.

3.1. Chezy Hız Formülü:

Bu formül 1775 yılında bulunmuştur. Formül,

$C = \sqrt{\frac{8g}{n}}$ olmak üzere,

$V = C\sqrt{RJ}$ şeklindedir. **(3.1)**

Chezy hız formülündeki değişkenler, yerçekimi ivmesi (g), pürüzlülük katsayısı (n), hidrolik yarıçap (R), su yüzü ya da taban eğimi (J) olarak tanımlanır.

3.2. Manning - Strickler Hız Formülü:

Formül,

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} J^{1/2} \quad \textbf{(3.2)}$$

şeklindedir ve bu denklem literatürde Strickler denklemi olarak bilinir. Debi hesaplanırken bu tip formüllerle belirlenen hız ve taşkın izlerine göre hesaplanan kesit alanı kullanılmaktadır. Serbest yüzeyli akımlarda kanaldaki ortalama akım hızını bulmak için kullanılan Manning formülü 1889 yılında İrlandalı Robert Manning adlı bir mühendis tarafından önerilmiştir. Bu evrensel hız formülü halen de geçerliliğini korumakta ve kullanılmaktadır. Bu denklemde,

J = Kanalın su yüzü eğimi,
R = Kanalın şekline ve su derinliğine bağlı olan hidrolik yarıçap, (ıslak alanın ıslak çevreye oranı).
n = Manning pürüzlülük katsayısıdır (yatağın şekli, bitki örtüsü, eğimi, toprak yapısı, rusubat yükü, şev yapısı vb ile ilgilidir).

Bu üç büyüklük de kanalı karakterize eden fiziksel özelliklerdir. Kanal taban eğimi ve hidrolik yarıçap ölçümlerle kolaylıkla belirlenebilir. Pürüzlülük katsayısı (n) ise doğal veya yapay kanalın birçok özelliğine bağlı olarak hazırlanmış tablolardan alınan bir katsayıdır. Pürüzlülük katsayısının seçiminde göz önünde tutulması gereken etkenler ve bu katsayının belirlenmesine yardımcı olacak bilgiler aşağıda verilmiştir.

3.2.1. Manning pürüzlülük katsayısına etki eden faktörler

Yapay ve doğal kanalların hızını ve debisini bulurken kanal en kesitinin hidrolik yarıçapı ve kanal eğimi bulunduktan sonra Manning pürüzlülük katsayısı seçilerek hesaplar yapılır. Yapay kanallarda bu seçim nispeten kolaydır. Kanal kaplamasına bağlı olarak alışıla gelen değerlerden biri seçilebilir. Doğal ırmakların ve derelerin hız ve debisini bulurken de aynı şekilde bir n katsayısı seçilir. Bu seçim genelde bir yaklaşık değerdir ve kanal boyunca değişmediği kabul edilerek yapılır. n katsayısının seçiminde aşağıdaki etkenleri de göz önünde tutmak gerekir.

- ✓ *Yüzeyin Pürüzlülüğü*
- ✓ *Bitki Örtüsü*
- ✓ *Kanal Düzensizliği*
- ✓ *Kanal Eğriliği*
- ✓ *Birikim ve Aşınma*

- ✓ *Engeller*
- ✓ *Kanal En kesitinin Boyutu ve Şekli*
- ✓ *Seviye ve Debi*
- ✓ *Mevsimsel Değişimler*

3.2.2. Cowan yöntemi

Cowan, pürüzlülük katsayısına etki eden önemli etkenleri dikkate alarak n pürüzlülük katsayısı hesabı için bir yöntem önermiştir. Bu yönteme göre n katsayısı,

$$n = (n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4)m$$

(3.3)

denklemiyle hesaplanır. Bu katsayılar kanalın özelliğine göre Tablo 3.1. de verilmiştir.

Tablo 3.1. Kanal Koşulları ve Pürüzlülük Değerleri

Kanal Koşulları		Pürüzlülük Katsayısı (n)	(n) Değerleri
Kanalın İçerdiği Malzeme	Toprak	n_0	0.020
	Kaya		0.025
	Kum		0.024
	Çakıl		0.028
Düzensizlik Derecesi	Pürüzsüz	n_1	0.000
	Önemsiz		0.005
	Orta		0.010
	Şiddetli		0.020
Kanal Yarıçapındaki Değişimler	Aşamalı	n_2	0.000
	Ara Sıra Değişen		0.005
	Sık Değişen		0.010 – 0.015
Engellerin Benzer Etkileri	İhmal Edilebilir	n_3	0.000
	Önemsiz		0.010 – 0.015
	Kayda Değer		0.020 – 0.030
	Şiddetli		0.040 – 0.060
Bitki Örtüsü	Düşük	n_4	0.005 – 0.010
	Orta		0.010 – 0.025
	Yüksek		0.025 – 0.050
	Çok Yüksek		0.050 – 0.100
Kıvrım Derecesi	Önemsiz	m	1.000
	Kayda Değer		1.150
	Şiddetli		1.300

n_0 katsayısı, kanalın içerdiği malzemeye göre düzeltme katsayısıdır.
n_i katsayısı, kanal düzensizliğini içeren düzeltme katsayısıdır.
n_2 katsayısı, kanal kesitinin şekil ve boyutundaki değişmeyi içeren düzeltme faktörüdür.

n_3 katsayısı, kanalda mevcut engelleri içeren düzeltme faktörüdür.
n_4 katsayısının seçiminde kanal içindeki bitki örtüsünün etkisi dikkate alınır.
m katsayısı, kanaldaki kıvrımlılık düzeyini içerir.

Cowan yöntemi ile n katsayısı bulunurken birçok etken göz önünde tutulmalıdır. Yöntem yataktaki süprüntü malzemesi birikimini ve askı maddesi etkisini göz önünde tutmamaktadır. Yöntemle genelde orta büyüklükte kanallar için geçerlidir. Hidrolik yarıçapın 4.5 m'yi geçtiği durumlarda dikkatle kullanılmalıdır. Bu yöntem kaplamasız doğal kanallar, taşkın yatakları ve drenaj kanallarında uygulanabilir ve bu tip kanallarda n için minimum 0.02 değeri elde edilir. Bilindiği gibi kaplamalı kanallarda minimum n değeri 0.012'dir.

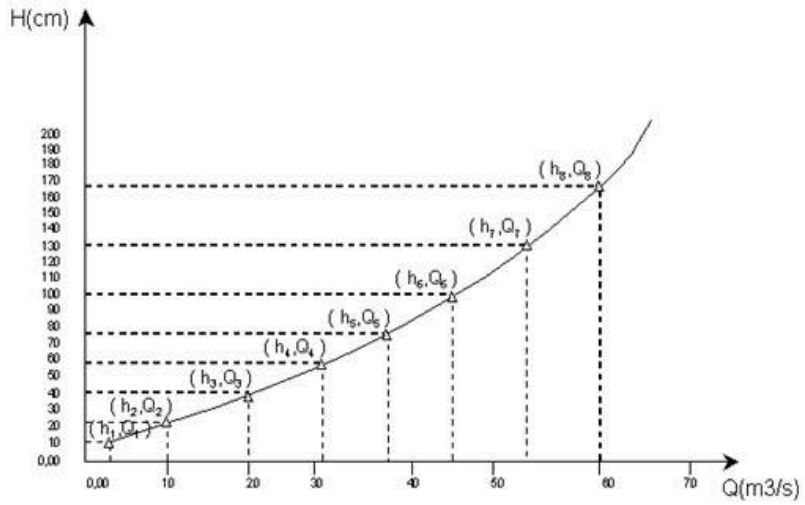
Manning ve Chezy hız formülleri ile debi hesabı zorunlu olmadıkça kullanılmamalıdır. Bu formüllerle hesaplanan hız kullanılarak hesaplanan debinin, manuel yapılan akım ölçümü sonucu hesaplanan debi güvenilirliğinde olması mümkün değildir. Deneysel formüllerle hesaplanan hız, ancak ön etütlerde bir taşkın raporu hazırlanırken pik debinin tahmininde ve kanal kapasitesinin proje safhasında kullanılmalıdır.

4. ÖLÇÜM KESİTLERİ

Akım ölçümü yapılacak kesit yeri seçilirken, akımın düzgün olduğu, yatakta akımı engelleyen etkenlerin olmadığı yerler seçilmelidir. Ölçüm teleferik ya da köprülerden yapılıyor ise metrajı yapılan noktalara göre derinlik ve hız ölçme noktaları tespit edilir. Girilerek yapılacak akım ölçümlerinde ise, istenilen özellikleri taşıyan ölçü kesit yeri seçildikten sonra, su iplikçiklerine dik gelecek metraj teli gerilir. Genel olarak ölçüm, hangi yöntemlerle yapılacaksa yapılsın, akarsu kesiti genişliği toplam kesitten geçen akımın % 5 inden fazla su geçmeyecek şekilde, en az 20 parçaya bölünür. Bunun sağlanabilmesi için de seçilen kesitte derinliklerin azaldığı yerlerde ara mesafeler artırmak, derinliklerin çoğaldığı yerlerde de bu mesafeleri azaltmak gerekmektedir. Girilerek yapılan ölçümlerde dikkat edilmesi gereken bir nokta ise; muline pervanesi çapı 12,5 cm. olduğundan ara mesafeler bu değerden daha az olmamalıdır. Düzgün akımlı ve derinlikleri azalıp çoğalmayan kesitlerde ara mesafeler eşit aralıklarla alınabilir.

Akım ölçümlerinin güvenilirliğini, derinliklerin sık azalıp çoğalması etkilemektedir. Akım ölçümleri seviye ve debi arasındaki bağlantıyı bulmak için yapılır. Bu bağlantı sayesinde bir akarsuyun debisinin sürekli olarak tespiti sağlanmış olur. Su kaynaklarımızdaki hidroelektrik potansiyelden yararlanmak, ülkemizin iklim ve bitki örtüsü özelliklerinin sonuçları olan kuraklık ve taşkınlarla ilgili olarak su yapılarının planlanması, projelendirilmesi ve işletilmesine yönelik temel bilgileri oluşturabilmek için yapılan hidrolojik çalışmaların ülkemiz için büyük önemi vardır. Özellikle enerji, sulama, su ve toprak kaynaklarının geliştirilmesi, suyun tehlikelerinden korunmak amacı ile yapılan inşaatların plan ve projelerinin hazırlanabilmesi için sistematik bir şekilde hidrometrik veri toplamak ve bunları hidrolojik çalışmalarla bütün ülkeye yaymak gerekmektedir. Bir akarsuyun herhangi bir en kesitindeki su seviyesi değişimleri, en kesitte kurulan eşel ya da limnigraflarla ölçülür. Yapılan akım ölçüleri ile suyun kapladığı alan ve su hızları ölçülebilmektedir. Alan ve hızın çarpımı sonucu o andaki debiyi bulabiliriz. Ancak bu tip ölçümler sürekli değil anlıktır. Akımın sürekli elde edilebilmesi için bir akım anahtar eğrisine ihtiyaç vardır. Akarsu gözlem

istasyonlarında yazıcılı veya yazıcısız aletlerle belirlenen su seviyeleri, ilgili kesite ait akım anahtar eğrisi / eğrileri (seviye - debi eğrisi) kullanılarak debi değerlerine dönüştürülür (Şekil 4.1).

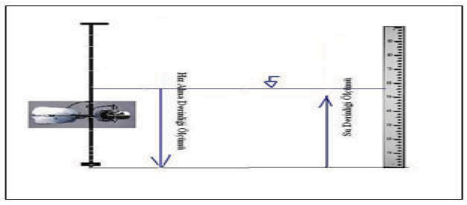


Şekil 4.1. Akım Anahtar Eğrisi

Şekil 4.1'de görülen akım anahtar eğrisi, nehir yatağının dengede (oyulma, dolma vb. durumlar olmadığında) olduğu bir sürede farklı seviyeler için debi ölçümleri yapılarak bulunmuştur..

4.1. Hız Alma Derinlikleri

Hız alma derinliklerinde dikkat edilmesi gereken nokta, su derinliği kavramının su tabanından itibaren ölçülen seviye; hız alma derinliği kavramının ise su yüzeyinden itibaren ölçülen seviye olmasıdır (Şekil 4.2).



Şekil 4.2. Hız Alma Derinliği ve Su Derinliği Ölçümü

4.1.1. Girilerek yapılan akım ölçümlerinde hız alma derinlikleri

30 cm ye kadar olan su derinliklerinde hız alma derinliği %50'dir. Su derinliğinin orta yerinden hız alınır. 30 – 60 cm arasındaki su derinliklerinde su yüzeyinden %60 derinlikte hız alınır. Derinliğin 60 cm.yi geçtiği yerlerde su yüzeyinin %20 ve %80 inden olmak üzere, iki noktadan hız alınıp, bu hızların aritmetik ortalaması ile dilimin ortalama hızı bulunur.

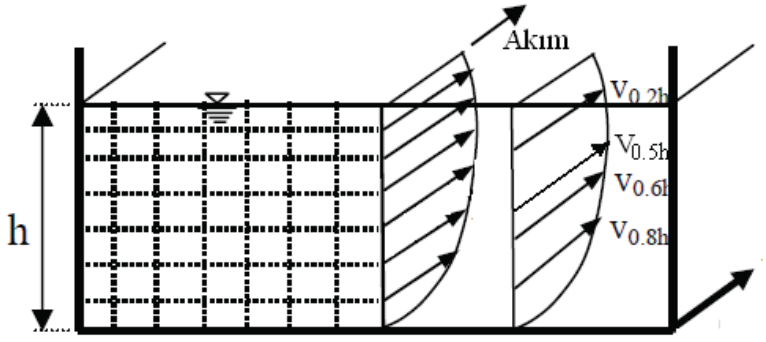
4.1.2. Askıdan yapılan akım ölçümlerinde hız alma derinlikleri

Muline ağırlık tabanından 15 cm yukarı bağlı ise 75 cm ye kadar olan derinliklerde tek noktadan hız alınır. 0-15 cm arası derinliklerden girilerek elden muline ile hız alınır veya muline ile hız alınan bir sonraki şakülün hızından yaralanılarak yüzde tahmini ile hız verilir. 15–30 cm arası derinliklerde ağırlık tabana oturmuş halde iken mulinenin olduğu yerden hız alınır. 30–37.5 cm arası derinliklerde su yüzeyinden itibaren %50 sinden, 37.5-75 cm arası derinliğin su yüzeyinden itibaren % 60'ından hız alınır ve ölçülen bu hız ölçülen su diliminin ortalama hızı kabul edilir. 75 cm den derin sularda su yüzeyinden itibaren derinliğin %20 - %80 'inde iki noktadan hız alınıp bu hızların aritmetik ortalaması ile dilimin ortalama hızı bulunur.

Muline ağırlık tabanından 18 cm yukarı bağlı ise 90 cm ye kadar olan derinliklerde tek noktadan hız alınır. 0-18 cm arası derinliklerden girilerek elden muline ile hız alınır veya muline ile hız alınan bir sonraki şakülün hızından yaralanılarak yüzde tahmini ile hız verilir. 18–36 cm arası derinliklerde ağırlık tabana oturmuş halde iken mulinenin olduğu yerden hız alınır. 36–45 cm arası derinliklerde su yüzeyinden itibaren %50 sinden, 45-90 cm arası derinliğin su yüzeyinden itibaren % 60'ından hız alınır ve hızı ölçülen su diliminin ortalama hızı kabul edilir. 90 cm den derin sularda su yüzeyinden itibaren derinliğin %20 - %80 'inde iki noktadan hız alınıp bu hızların aritmetik ortalaması ile dilimin ortalama hızı bulunur.

Muline ağırlık tabanından 30 cm yukarı bağlı ise 150 cm ye kadar olan derinliklerde tek noktadan hız alınır. 0-30 cm arası derinliklerden girilerek elden muline ile hız alınır veya muline ile hız alınan bir sonraki şakülün hızından yaralanılarak yüzde tahmini ile hız verilir. 30–60 cm arası derinliklerde ağırlık tabana oturmuş halde iken mulinenin olduğu yerden hız alınır. 60–75 cm arası derinliklerde su yüzeyinden itibaren %50 sinden, 75-150 cm arası derinliğin su yüzeyinden itibaren % 60'ından hız alınır ve hızı ölçülen su diliminin ortalama hızı kabul edilir. 150 cm den derin sularda su yüzeyinden itibaren derinliğin %20 - %80 'inde iki noktadan hız alınıp bu hızların aritmetik ortalaması ile dilimin ortalama hızı bulunur.

Akım ölçümüne başlamadan kesitin derinliğine göre muline askı çubuğu üzerinde uygun mesafeye bağlanıp ölçü yapılmalıdır. Yapılan akım ölçümleri neticesinde akarsuyun hız profili de elde edilmiş olur (Şekil 4.3).



Şekil 4.3. Akarsuyun Herhangi Bir Kesitindeki Akım Hızlarının Örnek Düşey Dağılımı

4.2. Dikeylerde Muline ile Hız Ölçüm Metotları

Bir akarsu kesitinde dikeylerden (şakül) bazı hız ölçüm metotları şunlardır:

- Tek nokta hız ölçüm metodu.
- İki nokta hız ölçüm metodu.
- Üç nokta hız ölçüm metodu.
- Dikeyde hız eğrisi hız ölçüm metodu.
- Entegrasyon hız ölçüm metodu.
- Yüzey altı hız ölçüm metodu.

4.2.1. Tek nokta hız ölçüm metodu

Bu metotta, akım ölçümü yapılacak kesitteki derinliğinin tek noktasından (su yüzünden itibaren % 50 veya % 60'ından) noktasal hız alınır ve bu su bloğunun ortalama hızı olarak kabul edilir. Derinliğin % 50'sinden hız alınacaksa, $V_{ort} = V_{0.50}$; % 60 ından hız alınacaksa, $V_{ort} = V_{0.60}$ kabul edilir.

4.2.2. İki nokta hız ölçüm metodu

Bu metot da, akım ölçümü yapılacak kesitteki derinliğinin su yüzünden itibaren %20 ve %80'inde noktasal olarak ölçülen hızların aritmetik ortalaması hesaplanıp, o su bloğunun ortalama hızı olarak kabul edilir.

$$V_{ort} = \frac{V_{0.20} + V_{0.80}}{2} \qquad \textbf{(4.1)}$$

4.2.3. Üç nokta hız ölçüm metodu

Bu metot yatakta bitki örtüsü bulunması ve buz olması hallerinde uygulanır. Metot da su yüzeyinden itibaren derinliğinin %15, %50 ve %85 'inde noktasal olarak ölçülen hızların aritmetik ortalaması o su bloğunun ortalama hızı olarak kabul edilir.

$$V_{ort} = \frac{V_{0.15} + V_{0.50} + V_{0.85}}{3} \qquad \textbf{(4.2)}$$

4.2.4. Dikeyde hız eğrisi hız ölçüm metodu

Akarsuyun bir noktasındaki dikeyde yüzeyden tabana kadar çeşitli derinliklerde ölçülen bir seri hız ölçümlerinden meydana gelen eğriye hız eğrisi denir ve bu ölçüm metodu da adını buradan alır. Metotta hız ölçümleri su yüzünden itibaren sıra ile %10, %20, %30, %40, %50, %60, %70, %80 ve %90 derinliklerde yapılır. Ölçülen hız ve derinliklerden ordinatta derinlikler (m), apsiste de hız (metre/saniye) olacak şekilde bir eğri oluşturulur. Price AA tipi muline kullanılıyor ise su yüzeyinden ve tabandan 15 cm den daha kısa mesafelerde hız ölçümü yapılmamalıdır. Bu grafikte eğri ile ordinat arasındaki alan planimetre ile ölçülür ve ordinat ekseninin uzunluğuna bölünerek ortalama hız bulunmuş olur.

4.2.5. Entegrasyon hız ölçüm metodu

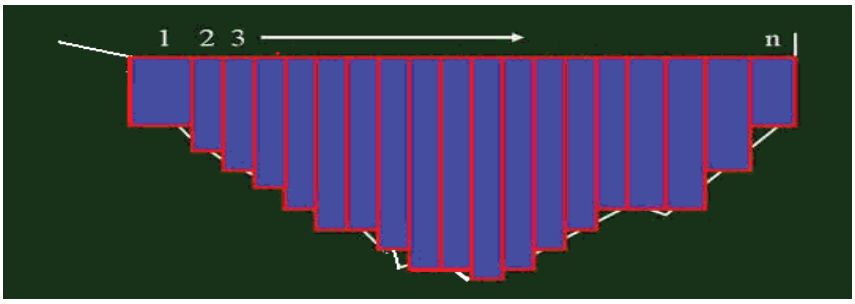
Bu metotta muline, seçilen su yüzü ara mesafelerindeki dikeylerde düzenli bir hızla su yüzeyinden akarsu tabanına indirilir ve çıkarılır. Bu indirme ve çıkarma hızı 0.04 m/s den büyük olmamalıdır. Bu ölçüm kanatlı pervaneli mulinelerle yapılır.

4.2.6. Yüzey altı hız ölçüm metodu

Bu metot suyun çok derin, türbülanslı ve çok hızlı aktığı feyezan durumlarında mulinenin su yüzünden en az 60 cm derinde tutulması suretiyle uygulanır. Feyezan anında ideal koşullar dışında bir durum oluştuğundan, akım ölçümlerinde mulinelerle her noktadan ve metoduna uygun hız ölçümü yapılamamaktadır. Bu durumlarda alınabildiğince çok noktadan veya en azından bir noktadan hız alınıp feyezan sonunda feyezan izleri ve eşel seviyesi kullanılıp kesit alanı hesaplanarak debi hesabı yapılması gerekmektedir. Bu tip durumlarda hesaplanan debi çok güvenilir bir debi olmasa bile, bir taşkın debisi elde etmemiz bakımından önemlidir.

5. DEBİ HESABI

Debi hesaplanmasında United States Geological Survey (USGS) – Birleşik Devletler Jeoloji Etüt Dairesi, 1950 yılına kadar ortalama kesit metodunu kullanıyordu. Bu metotta ara kesitin başlangıç ve bitiş noktalarında derinlikler ve ortalama hızlar bulunuyor ve ayrıca bunların ortalamaları alınıp, daha sonra kesit alanı ile çarpılarak ara kesitten geçen debi hesaplanıyordu.1950 yılında kesitte ortalama metodu geliştirilerek uygulanmaya başlanmıştır. Halen Elektrik İşleri Etüt İdaresi (EİEİ)'de bu metot kullanılmaktadır.



Şekil 5.1. Akım Ölçümü Şematik Diyagram

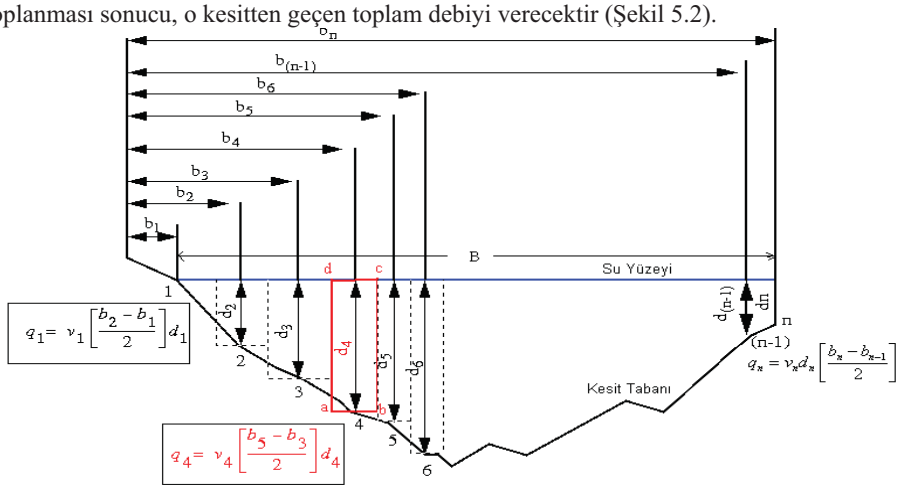
Metotta

$$Q = AV \tag{5.1}$$

$$Q = \sum_{i=1}^{n} q_i = \sum_{i=1}^{n} a_i v_i \tag{5.2}$$

denklemleriyle debi hesabı yapılır.

Toplam debi = ((Alan$_1$*Hız$_1$) +(Alan$_2$*Hız$_2$) +...+ (Alan$_n$*Hız$_n$)) formülü ile hesaplanır (Şekil 5.1). Bir akarsu kesitinden geçen debi, bu kesitten geçen suyun ortalama akış hızı ile kesit ıslak alanının çarpılması sonucu bulunur. Buna göre, akım ölçümü yapılan bir akarsu kesitindeki ara alanlarda ölçülen ortalama hızların, ait oldukları ara alanlarla çarpılması sonucu, kaç tane ara alan kesitinden geçen debi hesaplanmış ise, hepsinin toplanması sonucu, o kesitten geçen toplam debiyi verecektir (Şekil 5.2).



Şekil 5.2. Kesitte Akım Ölçüm Diyagramı

1,2,3...n (hız alma dikeyleri)
b_0, b_1,b_2, b_3, b_4, b_5... b_n (başlangıç noktasına uzaklıklar)
d_1, d_2, d_3, d_4, d_5...d_n (ara parçacıkların derinlikleri)
Ara kesit alanlarına a_1, a_2, a_3... a_n diyelim ve bu alanlardan geçen suyun ortalama hızlarını da v_1, v_2, v_3... v_n ile ifade edelim. Bu ara alanlardan geçen debiler de q_1, q_2, q_3, q_n olacaktır. Bu ara alanlardan geçen debilerin toplamı bize seçilen kesitten geçen toplam debiyi verecektir. Bunu formüle dönüştürürsek,

$$Q = \sum_{1}^{n} av = v_1 \,.\, a_1 + v_2 \,.\, a_2 + v_3 \,.\, a_3 + \ldots\ldots + v_n \,.\, a_n \qquad \textbf{(5.3)}$$

olacaktır.

Kesit ortalama metodunda, dikdörtgen şekillerin (ara kesitin) orta noktasında muline suya daldırılır ve hız ölçümleri yapılır. Örnek enine kesitte (Şekil 5.2) mulinenin daldırıldıkları yerler 1,2,3,4...n derinlikleriyle belirtilmiştir. Her derinlik alınan yerde suyun dikeydeki ortalama hızını bulmak ve bu dikeydeki hız dağılımına ulaşmak için muline ile ölçümler yapılır. Buna göre her ara kesitteki debi,

$$q_x = v_x\left[\frac{b(x+1) - b(x-1)}{2}\right]d_x \qquad \textbf{(5.4)}$$

olacaktır.

B : enine kesit genişliği, m

q_x : x ara kesitinden geçen debi miktarı, m^3/s
v_x : x yerinde ortalama hız, m/s
b_x : enine kesitin bir sahilinde ölçüye başlama noktasından (b_0) x yerine kadar olan uzaklık, m
b(x – 1): bir önceki ara parçacıkta hız alınan dikeyin başlama noktasına (b_0) uzaklığı m.
b(x + 1): bir sonraki ara parçacıkta hız alınan dikeyin başlama noktasına (b_0) uzaklığı m.
d_x : b_x noktasında suyun derinliği m.

Buna göre Şekil 5.2'de verilen 4 numaralı ara kesitten geçen debi

$$q_4 = v_4 \left[\frac{b_5 - b_3}{2} \right] d_4 \qquad \textbf{(5.5)}$$

şeklinde olur.

Akım ölçümü esnasında kesit birçok dilimlere ayrılır. Her su diliminde alan ve hız ölçülür. Şekildeki (abcd) su dilimindeki d_4 su diliminin derinliğini, $((b_5 - b_3) / 2)$ su dilimi genişliğini göstermektedir. $((b_5 - b_3) / 2)) * d_4$ formülü bize m^2 olarak alanı vermektedir. Hızı ise muline ile uygun derinlikten veya derinliklerden m/s olarak buluruz. Alan ile hızın çarpımı bize debiyi verir. Alan birimi m^2, hız birimi m/s ise debi m^3/s olarak bulunur.
Şekil 5.2'de b_0 noktasında q sıfırdır. Çünkü sıfır noktasında derinlik sıfırdır. Ancak enine kesitin başlama ve bitiş yerlerinde sahil dik olursa sonuç sıfır olmaz. Çünkü burada hem derinlik hem de hız vardır. Kıyılarda ve köprü ayak diplerinde sahil dik olup hem derinlik hem de akım hızı bu durumlarda mevcuttur. Bu durumda kıyıda derinlik alınır ve bir sonraki düşeydeki ortalama hıza göre kıyı hızları tahminen yüzde olarak verilir. Bu bir tahmin olduğundan yanılma payı fazla olacaktır. Bu nedenle kıyıdan biraz ayrıldıktan, yani muline ile hız alma mesafesi sağlandıktan sonra ölçüm yapmak ve bu hızı kıyıdaymış gibi kabul ederek hesap yapmak daha doğru ve uygun olur.

Akım ölçümü yaparken ara dilim genişlikleri her yerde aynı olmayabilir. Derinliğin ve hızın arttığı kesitin orta yerlerinde ara dilim genişlikleri azaltılır. Derinliğin ve hızın azaldığı kenara yakın yerlerde ise ara dilim genişlikleri artırılır. Her dilimin debisinin, toplam debinin %5 inden fazla olmamasına gerekli özen gösterilmelidir. Bir akım ölçümünde ölçülen parametreler şunlardır:

5.1. Islak alan (A)

EİEİ Genel Müdürlüğünde World Meteorology Organization (WMO) - Dünya Meteoroloji Örgütü standartlarına uygun akım ölçümleri yapılmaktadır. Akarsu genişliği b < (1 / 20)*B olacak şekilde kesitlere ayrılıp her dilimden hızlar alınmaktadır. Ayrılan her parçanın genişliğini ve derinliğini kullanarak ıslak alanlarını hesaplamak ve tüm parçacıkların alanlarını toplayarak toplam ıslak alanı bulmak gerekir. Burada (b) en kesitte ölçüm yapılacak ara dilimlerin genişliği, (B) ise ölçüm yapılacak akarsuyun toplam genişliğidir.

5.2.Genişlik (b)

Ölçüm kesitinde şaküller arasındaki ara mesafeler veya şaküllerin başlangıca mesafeleri metre, metraj teli, teleferik tellerinin ve köprü korkuluklarının önceden metrajlanması ile belirlenmektedir. Mesafe ölçümlerinde hata % ± 0.5 mertebesini geçmemelidir.

5.3.Derinlik (d)

Derinlik ölçümleri metrajlı muline saplarıyla veya çıkrıklar vasıtası ile yapılır. Bir parçacığın genişlik (b) ve derinliğinin (d) çarpımı bize o parçacığın ıslak alanını verecektir. a= b*d

Örnek a_2 ölçü dilimi için $a_2 = ((b_3-b_1)/2)) * d_2$ dir. Tüm parçacıkların ıslak alanlarının toplamı ise bize ölçü kesitinin toplam ıslak alanını (A) verecektir.

$A = a_1 + a_2 + a_3 + ...+ a_n$

5.4.Su hızı (V)

Su hızı, akarsuyun birim zamanda aldığı yol olup, birimi m/s dir. Diğer bir ifade ile akım ölçümü esnasında bizim ölçtüğümüz veya hesapladığımız ortalama hız, akarsu en kesitinden akarsuyun bir saniyede membadan mansaba metre cinsinden aldığı yoldur. Örneğin 0.800 m/s ortalama hız demek, akarsu, en kesitten membadan mansaba saniyede 0.800 m = 80 cm yol kat ediyor demektir. En güvenilir su hızı ölçüm şekli mulinelerle yapılmaktadır. Bu ölçümlerdeki hatamız % ± 1 mertebesini geçmemelidir. Kıyıların eğimli olması veya bitki örtüsünün akıma tesir edecek nitelikte olması durumlarında önemli bir akım olmaz. Bu kısımlarda hız ölçülemeyecek kadar az ise sadece derinlik alınır ve ölçü kâğıdına akım yok ibaresi konulur.

Askıdan yapılan akım ölçümlerinde, bazen kıyılarda kurp ve sürtünmeden dolayı veya özellikle köprü kesitlerinde köprü ayağına biriken malzeme veya kesit içindeki bir etkiden dolayı ters akım olabilmektedir. Ters akım normal durumda membadan mansaba doğru yerçekimi etkisiyle akan suyun, yukarıda bahsedilen etkilerden dolayı kesitten tekrar membaya geri dönmesi demektir. Bu durumun çok iyi etüt edilmesi gerekmektedir. Ölçüye başlamadan önce kesitte ters akım olan bölümlerin belirlenmesi başlangıç ve bitişlerinin işaretlenmesi gerekir.

Bu kısımlar su yüzeyine yüzen bir malzeme atılıp hareketine göre tespit edildiği gibi ölçüm donanımı suya indirilip yukarı kaldırıldığında muline pervanesi mansaba bakıyorsa ve ağırlık su içinde iken askı teli membaya doğru açı yapıyorsa ters akım var demektir. Bu tip ölçümlerde mulineye kuyruk bağlanır, kuyruk suyun akım etkisi nedeniyle muline kepçe kısmını akış yönüne çevirir. Ters akımı kesitte mansaptan membaya akan bir başka kanal suyu olarak da düşünebiliriz. Membaya ters akım olarak dönen debi tekrar kesitten mansaba geçeceğinden düz akım olarak ölçülen kısım içinde ters akımlar toplamı kadar fazlalık debi bulunmaktadır. Bu nedenle ters akımın dikkatli ölçülmesi ve toplam akımdan çıkarılarak kesitte membadan mansaba geçen net debinin hesaplanması gerekir. Burada dikkat edilmesi gereken nokta, toplam debi hesaplanırken ters akım olan bölümlerin debileri toplama dâhil edilmişse ters akımların toplamının iki katı, dâhil edilmemişse bir katı toplam debiden çıkarılarak net debi bulunmalıdır.

Ters akımı kesitte mansaptan membaya akan bir başka kanal suyu olarak düşünebileceğimizi söylemiştik. Bu nedenle bu kısımlar ölçülürken ters akım olan

bölümlere ölçüm sırasında, şaküller arası mesafe olarak hangi mesafede yaklaşıyor isek o mesafede girmemiz ve uzaklaşmamız gerekir. Aksi durumda, gerek düz akım olan bölümlerin, gerekse ters akım olan bölümlerin şaküllerinin temsil ettiği akımların debi hesabı sırasında birbirine karıştırılma olasılığı vardır.

Burada dikkat edilmesi gereken bir başka nokta ise, ters akım olan bölümlerin başlangıç veya bitiş noktalarından hız ve derinlik alınmamasıdır. Bu durumda da ters ve düz akımlar hesap sırasında birbirine karışacaktır. Diğer bir dikkat edilmesi gereken nokta ise, ters akım olan bölümlerin hiçbir zaman tek şakülde ölçülmemesidir. Bu kısımların ayrı bir akarsu kolu gibi düşünülmesi gerektiği unutulmamalıdır.

6. AKIM ÖLÇÜMLERİ

6.1. Girilerek Yapılan Akım Ölçümleri



Şekil 6.1. Girerek Akım Ölçümü Yapılması

Girilerek yapılan akım ölçümleri, akım ölçümleri içerisinde en iyi sonuçları veren ölçüm metodudur (Şekil 6.1). Ölçüm yapılmadan önce kesitte ölçümü etkileyebilecek etkenler (kaya parçacıkları, ot, vb.) temizlenmelidir. Doğru olan, derinliklerin neredeyse aynı olduğu, akımın düzgün olduğu temiz kesitlerin seçilmesidir. Ölçüm esnasında suya girildiğinde suların bedenimize çarpmasından dolayı mulineye gelen su hızını etkilemeyecek bir yerde durulur, gergi telinden 5–10 cm ve ölçü sapından 40–50 cm kadar uzakta durulur. Çok küçük derelerde suda ayakta durmak akımı etkileyeceği için dar dere yatağına mümkünse kalas vs konarak bunun üzerinden akım ölçümü yapılır. Akımın hızının ölçüldüğü noktalarda ölçü sapı akarsu tabanına dik, mulineyse akım yönüne paralel tutulmalıdır. Bir diğer dikkat edilmesi gereken nokta ise ölçümlerin mutlaka aynı en kesit çizgisi doğrultusunda yapılması gerektiğidir.



Şekil 6.2. Otokren ile Akım Ölçümü

6.2. Köprüden Yapılan Akım Ölçümleri

Su seviyesinin girilemeyecek kadar yüksek olduğu akarsularda teleferik tesisi de yok ise, köprüden ölçüm yapılır. Bu durumlarda el askısı, portatif çıkrık (köprü kreni), otokren kullanılarak akım ölçümleri yapılır (Şekil 6.2). Ölçümler köprünün memba ve mansap yönünde yapılabilir.
Köprülerin memba tarafından ölçü yapmanın avantajları şunlardır.
1- Köprünün memba tarafının hidrolik karakteristikleri genellikle daha müsaittir.
2- Dalgalar, türbülanslar ve suyla sürüklenen maddeler kolaylıkla görülür
3- Yatak tabanı mansap tarafındakine nazaran daha düzgündür.

Köprülerin mansap tarafından ölçüm yapmanın avantajları ise;

1 Dikey sapmalar çok daha iyi tespit edilirler.
2 Köprü ayakları arasından geçen suların akış yönleri daha düzgündür.

Köprünün memba tarafında mı yoksa mansap tarafında mı ölçü yapılacağına yukarıda belirtilen maddeler, köprünün durumu, köprü ayaklarında birikebilen çöp vb. cisimler göz önüne alınarak karar verilir. Çoğunlukla ölçümler köprünün mansap tarafında yapılır. Ölçü yaparken ve derinlik alırken köprü ayaklarından sakınmak gerekir. Köprü ayakları genellikle yatay sapma açılarına sebep olur. Aynı zamanda köprü ayakları türbülansa neden olacaklarından hızın dikey değişimine de sebep olurlar. Bu nedenlerden dolayı köprü ayakları arasını ölçerken ayrı birer kanal suyu ölçüyormuş gibi hareket edilmelidir. Mümkün ise ayakların akım üzerindeki olumsuz etkilerinden kurtulmak için ek donanımla kren uzatılmalıdır. Ayrıca köprüler çoğunlukla akım iplikçiğine dik olmadıklarından, yatay sapma açısı düzeltmeleri ve dikey sapma açısı düzeltmesi yapılmalıdır (sapma açısı düzeltmesinin nasıl yapılacağı daha sonraki konularda anlatılacaktır.)

6.3. Teleferikten Yapılan Akım Ölçümleri

Teleferikten yapılacak ölçümlerde kullanılacak ağırlık akarsuyun derinliğine ve hızına bağlı olmak üzere değişiklik gösterir. Ağırlığın yeteri kadar olmaması durumunda muline akıntı tarafından mansap yönüne doğru sürüklenir. Akarsu hızı fazla ise, beraberinde buz vb cisimleri sürüklüyor ise ve akarsu türbülanslı ise km olarak fazla olan ağırlığı kullanmak gerekir. Değişik seviye ve hızlarda farklı ağırlıkların kullanılacağı unutulmamalıdır. Teleferikte bir ölçüm noktasında hız ölçümleri yapıldıktan sonra diğer bir ölçüm noktasına geçilirken rüzgâr etkisi ile teleferik arabası salınıma uğrar. Bu salınımlar bitmeden hız sinyalleri almamak gerekir. Teleferikten yapılan ölçüm esnasında ağırlığa rağmen akım bir sürüklenme yapıyorsa askı telinin dikeyden itibaren kaç derece açı yaptığına bakılarak gerekli düzeltmeler yapılır ve hız ölçüm noktası tespit edilir. Hava sıcaklığının donma noktasının altında olduğu durumlarda mulinenin donmasını önlemek için ölçümlerin muline su dışına çıkarılmadan ayarlanıp yapılması gerekmektedir (Şekil 6.3).



Şekil 6.3. Teleferikten Akım Ölçümü Yapılması

6.4. Akarsularda Buz Etkisi ve Buz Altında Yapılan Akım Ölçümleri

Soğuk bölgelerdeki akarsularda kış aylarında akım alanı içine nispeten değişik bir katı madde türü olan buzun da katıldığı ve akım açısından son derece elverişsiz şartlara yol açtığı görülmektedir. Bu katı maddenin boyutları mm ölçüsünde küçük kristallerden, akım genişliği ölçüsünde iri parçalara kadar çeşitli büyüklüklerde ve kimi zamanda su yüzünde kilometrelerce uzayan tabakalar halinde görüldüğü düşünülürse, akarsuların buzlanmasının çok yönlü bir olay şeklinde karşımıza çıktığı anlaşılmaktadır. Buzlanma olayı mevcut akarsu yapılarında ve yapılması düşünülen su yapılarında bir problem olarak karşımıza çıkmaktadır. Problemlerin azaltılması ve çözüm yollarını bulabilmemiz için buzlanma olayının önceden gözlenmesi ve gerekli ölçümlerin yapılması gerekmektedir.

6.4.1. Buzlanma

Buzlanma oluşumu hava şartlarına bağlı ve önlenmesi mümkün olmayan bir doğa olayıdır. Akarsuyun herhangi bir kesitinde ortaya çıkan buzlanma, su seviyesinde önemli ölçüde kabarmalara ve ardından da taşkınlara yol açabilmektedir. Buzlanma, suyun türbülans şiddeti ile orantılıdır. Durgun, sığ veya hızı çok az akarsuların kenarlarında ve akarsu kesiti içerisinde su seviyesinin dışında kalmış kayaların çevresinde ince buz parçacıklarının oluşumu ile başlar. Havanın ve dolayısı ile suyun soğuması ile bu buz parçacıkları büyür ve kalınlaşır. Havadaki soğumanın şiddetinin artması ile akarsuyun yüzeyinin tamamen buzla kaplandığı görülür.

Akarsular genellikle geçtiği şehir ve kasabaların kanalizasyon ve artık sularının bırakıldığı en müsait yerler durumundadır. Kanalizasyon ve diğer artık sular nehirdeki suyun kimyasal özelliğini değiştirmekte ve bu suretle suyun kohezyonunu (moleküller arasındaki bağ) arttırmaktadır. Akarsuya bırakılan bazı kimyasal maddeler çok hızlı donma özelliği göstermektedir. Donan bu parçalar, tabanı çok taşlı olan kesitlerde tutulmakta bu yolla tabanda bir buz tabakası oluşturmaktadır. Buz tabakası zaman içinde tekrarlanarak kesitte tabandan başlayan katman halinde buz tabakaları görülebilmektedir.

Nehir yataklarının düzgün olmaması nedeniyle bazen akarsu kesitinin orta noktalarında buz tabakaları oluşmakta, bu tabakalar akım derinliği boyunca kalınlaşarak taban ile birleşmektedir. Bu nedenle sular akıma geçmek için yatak içerisinde yer değiştirmekte ve yatakta oyulma veya dolma olayları meydana gelmektedir. Ayrıca kesit içerisinde değişik yön ve hızlarda akımlar oluşabilmektedir.

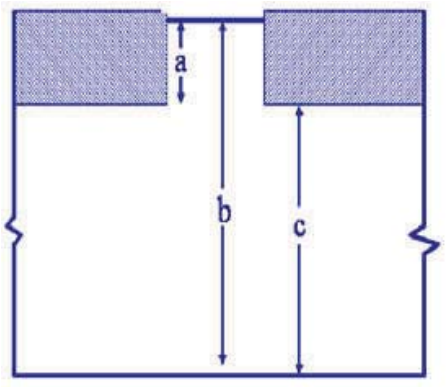
6.4.2. Buzun su seviye gözlemlerine etkisi

Buzla kaplı akarsularda seviye akım ilişkisi önemli ölçüde bozulmaktadır. Buzlanma etkisini en fazla seviyelerde göstermektedir. Yataktaki buzlanmanın oluşum şekilleri ve yatağa yaptığı etkiler nedeniyle eşel seviyesinde suni şişmeler gözlenmektedir. Kesitteki buzlanma durumuna göre hakiki eşel seviyesi aşağıda belirtilen buzlanma şekillerine göre olumsuz etkilenmektedir. Her bir oluşum durumu iyice etüt edilip, seviye gözlemleri gerçeğine uygun yapılmalıdır. Bu etkiler:

- Eşellerin yerinden oynaması
- Buz tabakasının suyun üzerinde düzgün olarak oluşması
- Buz tabakasının bir kısmının suya batık durumda olması
- Suyun buz tabakasının üzerine çıkması
- Buz tabakasının boşlukta olması
- Buz tabakası altında su olmaması
- Buz tabakasının tabakalar halinde oluşması şeklindedir.

6.4.3. Buz altında akım ölçümü

Buzlanma mevsiminde akım ölçümü yapmak üzere istasyona gidildiğinde, öncelikle istasyon civarında buz tutmamış ve ölçü yapmaya elverişli kesit aranır. Böyle bir kesit bulunamaz ise kenarlar buzlu, orta kısımlar açık ve ölçü yapmaya elverişli kesitler aranır. Bu durumda kenarlardaki buzlar geniş bir şekilde kırılarak kesit buz örtüsünden temizlenerek ölçüm yapılır. Mümkün olduğu kadar buz altında akım ölçümü yapılmasından kaçınılmalıdır. AGİ civarında akarsuyun tüm yüzeyi buzla kaplı veya açık kısımlar ölçü yapmaya elverişli değilse daha önceden tespit edilen kesitte buz altında



akım ölçümü yapılmasına karar verilir.

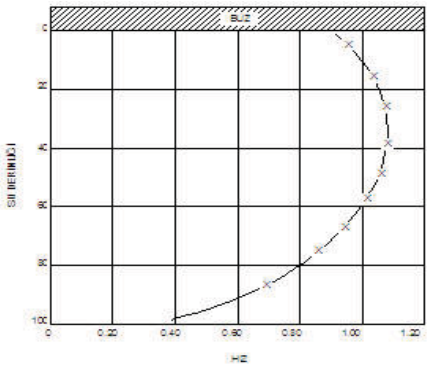
Ölçüye başlamadan önce buz kalınlığının çöküp çökmeyeceği iyice kontrol edilir. Ölçü için buz örtüsünde delik açan makine ile seçilen kesit yerinde ara derinliklerin sahilden itibaren dörtte biri açılır. Gerek akım gerekse buz kalınlıkları dağılımı incelenir. İnceleme sonunda buz kalınlıklarında belirli bir incelme söz konusu ise başka bir kesit aranır. Ölçü yapılmasına karar verilen kesitte her bir delikte ölçülecek akımın toplam kesitten geçen akımın %10'undan fazla olmamasına dikkat edilerek en az 20 cm çapında delikler açılır. Suyun efektif derinliği buz yüzeyinden itibaren alınan derinliklerden buz kalınlığının çıkarılması ile elde edilir.

Şekil 6.4 Efektif derinliğin bulunması

Buzun kalınlığı buz ölçme sapıyla ölçülür. Ancak buzun alt yüzeyi suya değiyor ve buz sulu bir durumda ise buz kalınlığına bu kısımda ilave edilir (Şekil 6.4). Suyun efektif derinliği bulunduktan sonra muline derinliğe göre gerekli yüzdelere bağlanır. Hız alma deliklerinde gözlenen duruma göre, derinlik fazla ise kuyruk takılmış normal mulinelerle sap veya askıdan, derinlik ve hız normal ise özel buz mulineleri kullanılmalıdır (Şekil 6.6). Derinlik ve hız alınırken mümkün olduğu kadar muline az dışarıya çıkarılmalıdır. Islak durumdaki muline üzerindeki su hava sıcaklığı nedeniyle buharlaşarak donar ve mulinenin dönmesini engeller.

.

Efektif derinlik c = b – a
a= Su yüzeyinden buzun tabanına mesafe
b= Toplam su derinliği
Derinlik 0.5 = a+ 0.5*c, Derinlik 0.2 = a + 0.2*c, Derinlik 0.8 = b - 0.2*c,
Derinlik 0.6 = b - 0.4*c



Şekil 6.5. Buz Kaplı Akarsuda Dikeyde Hız Değişimi

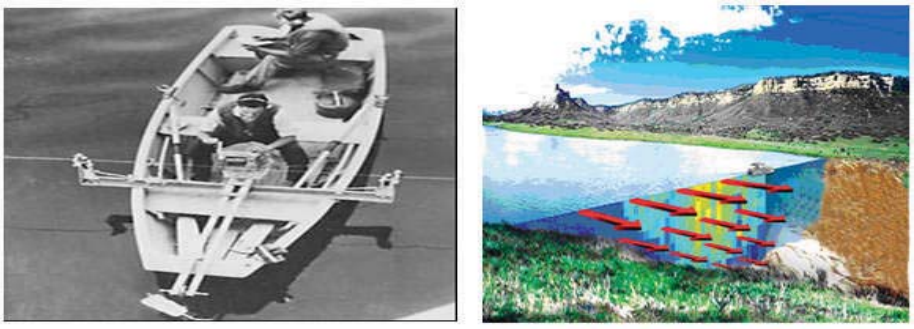


Şekil 6.6. Buz Altında Akım Ölçümü Yapılması

Buz kaplı bir akarsuda dikey hız profili şekil 6.5'teki gibidir. Buz altında yapılan akım ölçümleri ne kadar sağlıklı yapılırsa yapılsın, akarsuyun buzlanmasından dolayı meydana gelen hacim genişliği nedeniyle eşel seviyelerinde suni bir şişme gözlenir. Bu şişme nedeniyle ölçülen akımlar anahtar eğrisinin üst kısımlarına düşerler. Bu nedenle sadece buzlanma zamanları için ayrı bir akım anahtar eğrisi kullanılmalıdır.

6.5. Bot Kullanılarak Akım Ölçümleri Yapılması

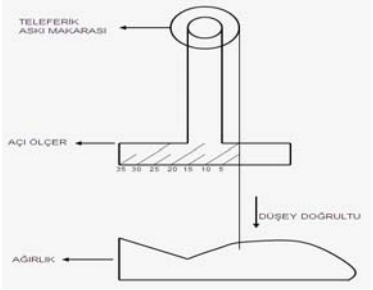
Teleferik tesisi veya köprülerin bulunmadığı akarsularda yüksek seviyelerde ve geniş akarsularda akım ölçümleri bot ya da kayıkla yapılır (Şekil 6.7). Bot ya da kayık ölçüm kesitinde her iki sahildeki sabit bir yere ya da çakılan kazıklara tutturulan gergi teline bağlanır. Geniş ve su hızının yüksek olduğu akarsularda gergi teli eğiminin en aza indirilmesi için gereken önlemler alınmalıdır. Bot ya da kayığa bağlı motor kullanılarak bot ya da kayığın ölçü kesitinde sabit durması sağlanır. Akarsuyun derinliğine göre ölçü sapla ya da çıkrıkla yapılmalıdır. Su hızının 0.3 m/s den az olması halinde bottan akım ölçümü yapmak hatalı sonuçlar verir



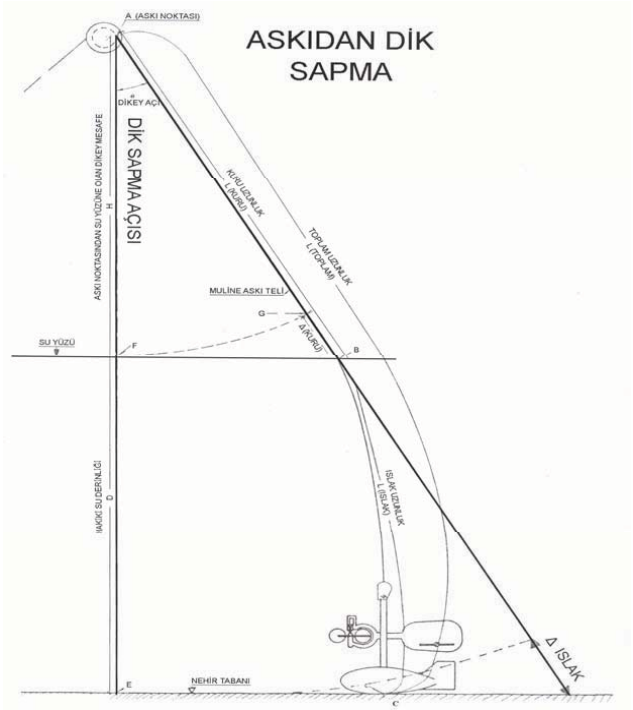
Şekil 6.7. Botla Akım Ölçümü Yapılması

6.6. Askıdan Akım Ölçümleri Yapılması

Burada askıdan yapılan dik ve yatay sapma açılı akım ölçümleri anlatılacaktır. Derin ve hızlı sularda askıdan ölçüm yapılırken muline ve ağırlığın bağlı olduğu askı teli su kuvvetinin itme tesiri ile akış doğrultusunda sürüklenerek ağırlığın tabana oturacağı noktayı istenilen düşeyden saptıracaktır. Bu durum ıslak alanın düşey yüksekliğini artırır ve dolayısı ile gerçek alandan daha büyük kesit alanı hesaplanmasına sebep olur. Bu nedenle de hesaplanan debi gerçek debiden daha fazla olur. Böylece yapılan hatalı pik ölçümleri akım anahtarının yüksek seviyelerdeki gidişini etkileyerek hatalı olmasına sebep olur. Bu olumsuzluğu ortadan kaldırmak için teleferik ve krenle yapılan ölçülerde meydana gelen dik sapma açısı açıölçerle ölçülüp sonradan yapılan düzeltme hesapları ile istenilen doğru sonuç bulunur (Şekil 6.8). Bu hız dağılımının askıdan yapılan ölçümleri nasıl etkilediği ve meydana gelen dik sapmanın düzeltme hesabı Şekil.6.9 ve şeklin altındaki açıklamalardadır.



Şekil 6.8. Açı Ölçer



Şekil 6.9. Askıdan Yapılan Akım Ölçümlerinde Dik Sapma

θ = Dikey sapma açısı
A= Askı noktası (telin askı makarasından ayrıldığı durumdaki değme noktası)
H = AF: Askı noktasından su yüzeyine olan dik uzunluk.
L(kuru): Askı noktasından su yüzeyine olan dik sapmalı uzunluk.
Δ*(kuru):* L(kuru) uzunluğun askı noktasından su yüzeyine olan dik uzunluktan (H) farkı.
L(ıslak): Su yüzeyinden nehir tabanına olan dik sapmalı uzunluk.
Δ*(ıslak):* L(ıslak) uzunluğunun gerçek su derinliğinden (D) farkı.
D = FE: Hakiki su derinliği.
$L(kuru) = AB = H + \Delta(kuru)$ formülünden

$\Delta\ (kuru) = L(kuru) - H$ olup $\Delta\ (kuru)$ kuru düzeltme miktarıdır.

ABF dik üçgeninde, L (kuru) hipotenüs, H dik kenar kabul edilerek L (kuru) yerine H + Δ (kuru) yazılırsa:

$$\cos\theta = \frac{H}{\text{H} + \Delta\ (\text{Kuru})}$$

$$\Delta(kuru)\cos\theta = H - H\cos\theta$$

$\Delta(kuru) = \frac{H}{\cos\theta} - H = H\left[\frac{1}{\cos\theta} - 1\right]$ şeklinde Δ (kuru) hesaplanır.

Bu denklem ölçüm sırasında belirlediğimiz H değeri ve dikey sapma açısının bilinmesiyle kuru düzeltme uzunluğunun (Δ kuru) bulunabileceği anlamına gelir.

L (ıslak), BC yayının uzunluğu = D + Δ (ıslak)
Δ (Islak) = L (ıslak) - D kabul edilir.

L (Toplam) = AB ve BC yaylarının toplam uzunluğudur. Bu aynı zamanda askı makarasından sarkıtılan ve nehir tabanına değen ağırlığın dikey doğrultudan sapmış haldeki uzunluğudur.

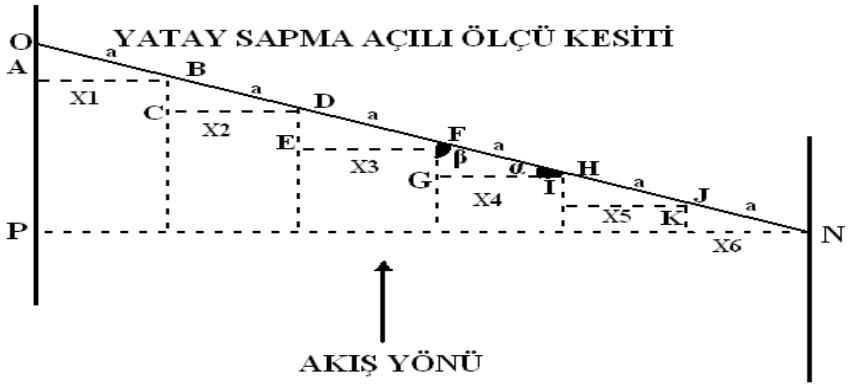
Buradan;

L (Toplam) = L (kuru) + L (ıslak)
L (kuru) = H + Δ (kuru) alınırsa
L (Toplam) = H + Δ (kuru) + L(ıslak) denkleminden
L(ıslak)= L(Toplam) – H - Δ (kuru) olur.
Bu denklem ölçüm sırasında belirlediğimiz L(toplam), H ve Δ (kuru) değeri ile L(ıslak) değerini bulmamızı sağlar.

Böylece dik sapma açısı ve L(ıslak) değerinin bilinmesiyle Δ (ıslak) değeri bulunmuş olur.

6.7. Yatay Sapmalı Akım Ölçümleri Yapılması

Daha önce anlattığımız gibi bazen akım ölçümü yapmak için köprülerden yararlanırız. Şekil 6.10'da görüldüğü gibi köprü yatağın en kesitinden geçen su iplikçiklerine dik olmayabilir. Bu durumda NO ekseni üzerinde ölçülen yatay mesafelerin sanki PN eksenindeymiş gibi düzeltilmesi gerekir.



Şekil 6.10. Yatay Sapmalı Akım Ölçümü Ölçüm Kesiti

Bunu şekildeki FGH dik üçgeninde formüle edersek dik üçgen bağıntısına göre

$$\cos\alpha = \frac{x_4}{a} \qquad x_4 = a\cos\alpha\,, \qquad \textbf{(6.1)}$$

olarak ifade edilir. Eğer köprü üzerinde seçtiğimiz ölçü diliminde açı bilinirse, bütün kesit boyunca seçilen her dilimden her sefer yatay mesafeleri bu açıların kosinüsü ile çarparak düzeltiriz. Bu düzeltmeler yapılarak doğru ve gerçek kesit genişliği bulunur. Bu genişliğe göre akım ölçümü yapılır ve debi hesaplanır.

Taşkın zamanlarında veya süratli sularda akım ölçümü yaparken hem dik hem de yatay sapma ile karşılaşabiliriz. Bu durumda her iki sapmayı da ihmal etmeden hesaplamalıyız.

Yatay sapma ile ilgili grafik, ölçü kâğıtlarımızın arkasında basılı olarak pratikte kullanılmak üzere hazırlanmıştır. Dik üçgenin iç açıları α ve β olmak üzere iç açılar arasındaki bağıntı;

$\cos\alpha = \sin\beta$ ve $\cos\beta = \sin\alpha$ şeklindedir.

Dolayısıyla arazide FH ve FG mesafelerine ölçerek bu bağıntıdan yararlanılır ve şu denklem bulunabilir:

$$\cos\alpha = \sin\beta\frac{FG}{FH}$$

Bulduğumuz değerleri üstteki denkleme uygulayacak olursak, hesaplarımızı kolayca yapabiliriz.

7. AKIM ÖLÇÜMLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Akım ölçümlerinin değerlendirilmesi anahtar eğrisinin çizilmesi ve ortalama akımların hesaplanması hidrometrik çalışmaların en önemli konularını oluşturmaktadır. Mükemmel ölçülerden ve doğru hesaplanmış orta seviyelerden hareketle bir akarsu hakkında yeterli bilgiler elde edilebilir. Kritik değerleri doğru hesaplanmış bir akarsu üzerindeki hidrolojik çalışmalarından daha iyi sonuçlar alınmaktadır. Şimdi bu konuları detaylı olarak inceleyelim. Ölçümü yapan teknisyen yaptığı akım ölçümünü, evvelki ölçümlere tabi olmadan ölçümün yapıldığı andaki koşullarına göre değerlendirmelidir. Derinlikler, genişlikler, hız sinyalleri gayet doğru kayıt edilmiş ve bütün donanım iyi çalışır durumda olmalıdır. Buna göre yapılan akım ölçümleri dört grupta değerlendirilir. Değerlendirmeler sonucunda akım ölçümleri mükemmel, iyi, orta ve kifayetsiz sıralamasıyla değerlendirilir.

1. Mükemmel

Boy kesitine göre düz nehir, gayet düzgün yatak, yatak yosun ve bitkilerden temizlenmiş, derinliklerde değişiklikler yok, nispeten dikdörtgen kesit, akım düzgün, ölçü esnasında seviye değişimi yok, ölçü girilerek veya teleferikten yapılmış, ortalama hız (0,3 – 1,5) m/s arasında, yeter sayıdaki şakülde ölçü yapılmış, muline dönüş testinde muline pervanesi 2.5 dakikadan önce durmamış olacak. Yukarıdaki şartlara haiz akım ölçümü sularımızın özelliği bakımından nadir yapılabilmektedir. Bu nedenle yukarıdaki şartları taşıyan ölçümler "mükemmel" olarak değerlendirilir.

2. İyi

Nispeten düz nehir, yatak kum ve ince çakıllı, derinliklerde düzgün bir değişme, akım düzgün, 0.2 m/s den fazla ortalama hız, akıma etki eden su bitkileri yok, ölçüm esnasında birkaç santimi geçmeyen bir seviye değişimi, yeter sayıdaki şakülde ölçüm, muline dönüş testi (uygun şartlarda muline kepçesine yapılan test) ölçüden evvel ve sonra iyi.
Yukarıda sayılan şartlar varsa bu akım ölçümü "iyi" olarak değerlendirilir.

3. Orta

Nehir düz değil, yatakta büyük çakıl ve ufak kayalar bulunan, derinlik değişmesi düzgün değil, akım düzgün değil, akıma engel su bitkileri var, ölçüm esnasında 8-12.. cm, seviye değişikliği var, rüzgar neticesi dalga veya çalkalanma var. Yukarıda sayılan şartlar varsa akım ölçümüne "orta" değer verilir.

4. Kifayetsiz

Su fazla bükümlü, yatakta büyük kayalar var, derinlik değişimi fazla, akım türbülanslı, ortalama hız 0.1 m/s den az, çok miktarda su bitkileri var, ölçüm esnasında önemli seviye değişimleri var. Yukarıda sayılan şartlar varsa akım ölçümleri "kifayetsiz" olarak değerlendirilir.

8. KAYNAKLAR

Bulu.A,Yılmaz E. *"Serbest Yüzeyli Akımlarda Pürüzlülük Katsayısının Belirlenmesi"*, 2002.

Bruce J. P., Clark R. H., *"Introduction to Hyrometeorology",* 1966.

Devlet Su İşleri *"Hidrometri",* 1985.

Elektrik İşleri Etüt İdaresi "Hidrolog Geliştirme Kursu Ders Notları", Ankara, Türkiye, 1977.

Horst ,L.*;"Hydrometry",* 1981.

United States Geological Survey; *"A Manual Describing Methods and Practies of the Geological Survey".*1960

World Meteorology Organization, *"Guide of Hydrometeorology Practice",* 168, 1970.

http://www.usgs.gov

EİE'DE YÜZEYSEL SULARDA HİDROMETRİK GÖZLEMLER

Mustafa ÖZKAYA[1] , Mehmet YILDIZ[2] , İsmail UÇAR[3]

Özet: Su mühendisliğinin, su kullanımı ve su kirliliği kontrolu ile ilgili problemlere kapsamlı bir şekilde çözüm sunabilmesi için sadece su ve suyun mevsimsel değişikleri yanısıra uzun vadede davranışları ile ilgili bilgi sahibi olunması gerekmektedir. Göllerin, nehirlerin ve yer altı su kaynaklarının sistematik olarak izlenmesi, taşkınlardan korunma, göllerin seviye kontrolu, su gücünden yararlanma, içme suyu temini ve diğer birçok konuda kazanç sağlar. Özellikle enerji, sulama, su ve toprak kaynaklarının geliştirilmesi, suyun zarar ve tehlikelerinden korunmak amacı ile yapılan inşaatların plan ve projelerinin hazırlanabilmesi için düzenli olarak hidrometrik veri toplamak ve bunları hidrolojik çalışmalarla bütün ülkeye yaymak gerekmektedir.

Bu çalışmada, Elektrik İşleri Etüt İdaresi (EİE) Genel Müdürlüğü' nün yüzeysel sularda 1935 yılından günümüze kadar yapmış ve yapmakta olduğu çalışmalar, Hidrometrik gözlemler ile ilgili olarak ölçülen elemanlar, gözlem ağları, ölçüm yöntemleri, Hidrometrik istasyonların gözlem periyotları, alansal dağılımları ve bu yöntemlerin duyarlılığı konularında bilgiler verilmesi hedeflenmiştir.

Anahtar kelimeler: Hidrometri Gözlem Ağı; Veri; Ölçüm; Yüzeysel Sular

Hydrometric Observations On Surface Water Held In EIE (General Directorate Of Electrical Power Resources Survey And Development Administration)

Summary: If hydraulic engineering is to find effective solutions to the issues of water usage, water pollution control, not only the seasonal changes of water but also the long term changes in water should be observed. The systematic observatons of lakes, rivers and underground water will be helpful in protection from floods, control of lake levels, getting use of water power, providing drinking water and a lot more aspects.

Especially for conducting the projects of constructios built for energy, watering, developing water and soil resources, protecting land and people from harmful effects of water, it is important to gather hydrometric data and spread it to the whole country.

[1] EİE Genel Müdürlüğü, Hidrolik Etütler Dairesi Başkanlığı, Ankara, E-Posta : mozkaya@eie.gov.tr
[2] EİE Genel Müdürlüğü, Hidrolik Etütler Dairesi Başkanlığı, Ankara, E-Posta : myildiz@eie.gov.tr
[3] EİE Genel Müdürlüğü, Hidrolik Etütler Dairesi Başkanlığı, Ankara, E-Posta : iucar@eie.gov.tr

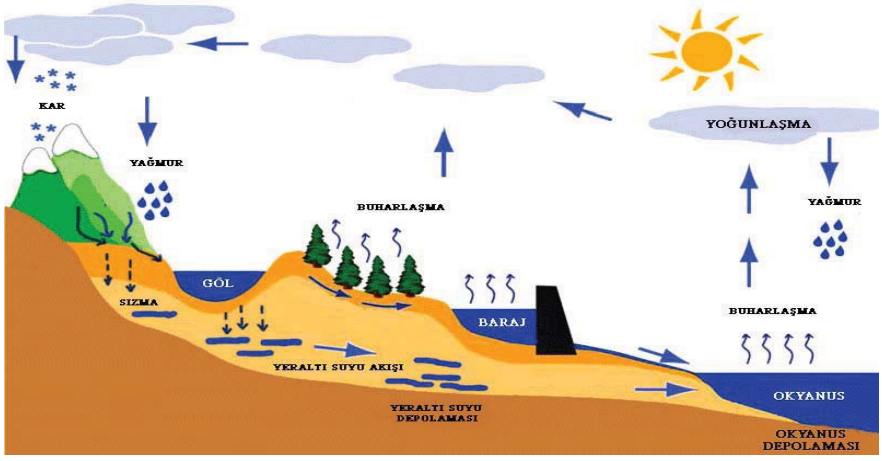
In this paper, the aim is to give information about the practices of EİE since 1935, the elements measured about hydrometric observations, observation Networks, measurement techniques, observation periods of hydrometric stations, spreading in the area and the reliability of the techniques used.

Key Words: Hydrometric Observation Network; Data; Discharge Measurement; Surface water

1. HİDROLOJİNİN TANIMI

Yeryüzünde canlıların yaşaması için suyu kullanmak ve kontrol altına almak gerektiğinden insanlar tarihin başlangıcından beri su ile ilgilenmişler, suyun özelliklerini tanımaya, hareketini yöneten kanunları belirlemeye, oluşturabileceği tehlikeleri önlemeye ve sudan en iyi şekilde yararlanmaya çalışmışlardır. Suyun hareketini inceleyen bilime *hidromekanik,* bu bilimin teknikteki uygulamasına *hidrolik* denir. *Hidroloji* ise suyun yerküresindeki dağılımını ve özelliklerini inceler. Hidrolojinin en geniş tanımını şu şekilde yapabiliriz: "Hidroloji, yer küresinde (yani yeryüzünde, yer altında ve atmosferde) suyun çevrimini, dağılımını, fiziksel ve kimyasal özelliklerini, çevreyle ve canlılarla karşılıklı ilişkilerini inceleyen temel ve uygulamalı bir bilimdir". Bu tanımıyla hidroloji diğer birçok bilimlerin alanlarına da girmektedir. Disiplinler arası bir niteliği olan Hidroloji bilimi Matematik, Fizik ve Kimya gibi bilimlerle yakın bir ilişki içindedir.

2. HİDROLOJİK ÇEVRİM



Şekil 1. Hidrolojik Çevrim

Su doğada çeşitli yerlerde, değişik hallerde bulunmakta ve yer küresinin çeşitli kısımları arasında durmadan dönüp durmaktadır. Suyun doğada dönüp durduğu yolların tümüne birden *hidrolojik çevrim* denir. Atmosferde buhar halinde bulunan su yoğunlaşarak yağış şeklinde yeryüzüne düşer. Karalar üzerine düşen suyun büyük bir

kısmı zeminden ve su yüzeylerinden buharlaşma ve bitkilerden terleme yoluyla denizlere erişmeden atmosfere geri döner, bir kısmı bitkiler tarafından alıkonur, bir kısmı zeminden süzülerek yeraltına geçer. Geriye kalan su ise yerçekimi etkisiyle hareket ederek akarsulara ve denizlere ulaşır. Yeraltına sızan suyun bir bölümü ise yeryüzüne çıkarak yüzeysel akışa katılır. (Şekil 1) Yeryüzüne düşen yağış (yağmur, kar, dolu, çiğ vb.) yoluyla oluşan sular, yağış esnasında daha yere ulaşmadan, arazi üzerinden akarken ve bitkiler tarafından alınıp terleme (transpirasyon) yolu ile dışarı çıkıp buharlaşır.

Bu suyun "*Kısa Dolaşım*" yapması ve tekrar atmosfere dönmesi olayıdır. Aynı şekilde oluşan suların bir kısmı ise yüzeyde akar ve çeşitli akarsuları oluşturur. Diğer bir kısmı da yeraltına sızar, birikir ve "Yeraltısuları"nı meydana getirir. Yeraltına sızan bu sular boşlukları ve çatlakları doldurur, bu boşluk ve çatlaklar boyunca derinlere kadar sızar veya bir noktadan "Kaynak" şeklinde yeniden yeryüzüne çıkar, akarsulara, göllere veya denizlere ulaşırlar. Bu yüzden su daha uzun yollu "Büyük Dolaşım" yapmış olur. Görüldüğü gibi su katı, sıvı ve gaz hallerinde doğanın çeşitli kısımları arasında ve çeşitli yollar izleyerek dönüp durmaktadır. Bu çevrim için gerekli enerji ise güneşten ve yerçekiminden sağlanır.

3. HİDROLOJİNİN METOTLARI

Hidrolojik çalışmalar genellikle şu sırayı izler:

3.1. Ölçümler

Bütün hidrolojik çalışmalarda ilk adım gerekli doğal verilerin toplanması için ölçümler yapılmasıdır. Hidrolojik olayları laboratuarda benzeştirmek bugün için mümkün olmadığından ölçümlerin doğrudan doğruya tabiatta yapılması gerekmektedir. Bunun için yeter sıklıkta bir ölçüm ağının kurulması, bu ağdaki istasyonların yeterli duyarlılığı olan araçlarla donatılması ve bu ölçümlerin itinalı bir şekilde okunması gerekir. Hidrolojik veriler, gerek zamanla gerekse yerden yere çok değiştikleri için ölçümlerin sık noktalarda ve sürekli olarak yapılması gereklidir.

Genel denklem ise ;

Bir havzada yağış, akış ve buharlaşma ölçülebilir ise yeraltına sızan suların miktarı bunlara bağlı olarak basit bir denklemle bulunabilir; Y=B+A+S
Burada, Y-Yağış, B –Buharlaşma, A – Akış, S - Sızma olarak gösterilmiştir.
Bu denkleme dayanarak bir havzadan yeraltına sızan suların miktarı; S = Y - (B + A) şeklinde olur.

3.2. Verilerin işlenmesi

Ölçümler sonunda elde edilen veriler çok sayıda olup bilgiler çok dağınıktır. Bu verilerin insan eliyle kaydedilmesi yerine otomatik olarak kayıt edilmesi ve düzenli olarak veri tabanları halinde saklanması uygundur. Bu kayıtları kulanıcıların ihityaçlarını karşılayacak hale getirerek en iyi şekilde yararlanabilmeleri sağlanmalıdır.

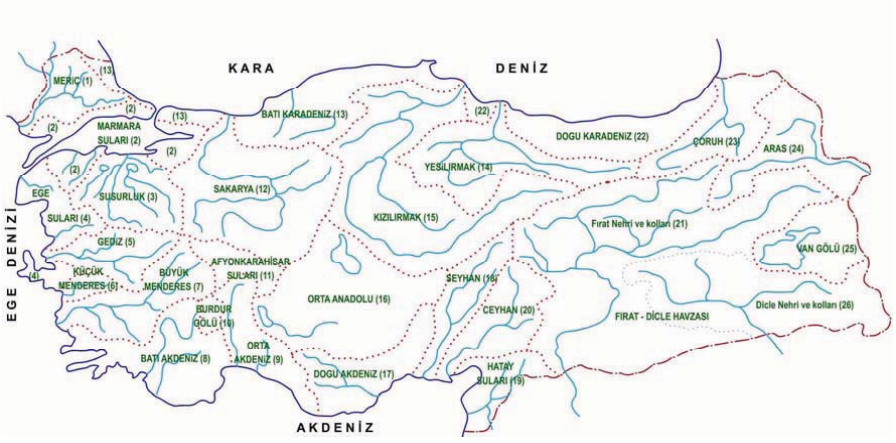
3.3. Matematik modeller kurulması:

Bütün hidrolojik verileri ölçerek elde etmek ekonomik olmayacağı gibi birçok durumda da mümkün olmadığından ölçümlerin bulunmadığı ya da yetersiz olduğu hallerde hidrolojik olayları yöneten kanunların belirlenmesi için bu olayların matematik modellerinin kurulması ve bunların doğruluğunun ölçüm sonuçlarıyla karşılaştırılarak kontrol edilmesi gerekir. Bu modellerin kurulmasında sistem analizi metotları önem kazanmaktadır. Hidrolojik modeller, insanların doğada yaptıkları değişikliklerin sonunda hidrolojik parametrelerde oluşacak değişmelerin tahmininde de kullanılır.

3.4. Olasılık hesabı ve istatistik metotlarının kullanılması

Hidrolojik olaylar, değerleri zaman içinde değişen çok sayıda değişkenin etkisi altında meydana geldikleri için önceden kesinlikle belirlenemeyen bir nitelik taşırlar. Örneğin elde bulunan 30 yıllık ölçüm sonuçlarını kullanarak bir akarsuda gelecek 100 yıl içinde görülecek en büyük taşkını kesin olarak belirlemek mümkün değildir. Bu bakımdan olasılık teorisi ve istatistiğin hidrolojide kullanılması büyük önem taşır.

4. HİDROMETRİK GÖZLEM AĞLARI



Şekil 2. Akarsu Havzaları

Hidrometri; Akarsu havzalarında (Şekil 2) yeraltı ve yüzey sularına ilişkin ölçümler ile yağış, buharlaşma vb. meteorolojik ölçümlerin yapıldığı istasyonlar bütünüdür. Hidrometrik, hidrometeorolojik ve yeraltısuyu gözlem ağı olarak ayrı ayrı adlandırılasa bile, ağın tümü bir bütün teşkil eder. Hidrometeorolojik ağın temel amacı; hidrolojik çevrim parametrelerinden yağmur ve kar yağışı, sıcaklık, buharlaşma gibi atmosferde oluşan suyun çeşitli hal değişimlerini ve olaylarını gözlemleyerek ve ölçerek ülke geneli için iklim özelliklerinin belirlenmesi ve böylelikle hidrolojik çalışmaları destekleyici veri arşivinin oluşturulmasıdır. Ayrıca ülke genelinde yer alan akarsu ve göllerde mevcut su potansiyelinin tam olarak belirlenebilmesini ve yıl boyunca su miktarındaki dağılımın incelenmesini mümkün kılan su akım verilerinin süreklilik arz eden bir bütün

içerisinde üretilmesini sağlamaktır. Aynı zamanda akarsularda süspanse sediment ve su kalitesi gözlemleri yapılarak, fiziksel ve kimyasal özelliklerinin de zaman ve alan içerisindeki değişimlerinin belirlenmesi ayrı bir çalışma koludur.

5. AKARSU GÖZLEM İSTASYONLARI

Günlük su seviyesi gözlemlerinin yapılması için uygun hidrometrik aletlerle donatılmış ve belirli zamanlarda debi ölçümlerinin yapılmasını mümkün kılan yardımcı tesislerle desteklenmiş akarsu en kesitleridir. Bir akarsuyun üzerindeki akarsu gözlem istasyonunun en kesitindeki su seviyesi ve zaman içerisindeki değişimleri, en kesitte tesis edilen eşel ve limnigraf cihazları ile ölçülür.

Eşel ile anlık seviye ölçümü yapılır ve Limnigraf cihazı ile seviyenin zamanla değişimini kayıt altına alır. Yapılan debi ölçümleri ile kesitteki alan ve suyun hızı ölçülebilmektedir. Alan ve hızın çarpımı sonucu o anda kesitten geçen suyun debisi hesaplanabilmektedir.. Ancak bu tip ölçümler sürekli değil anlıktır. Debinin sürekli elde edilebilmesi için bir akım anahtar eğrisine (debi süreklilik eğrisi) ihtiyaç vardır.



Şekil 3. Akarsu Gözlem İstasyonu

Debi seviyenin bir fonksiyonu olduğundan, doğru bir debinin elde edilebilmesi, seviyelerin doğru elde edilmesiyle mümkün olmaktadır. Belli bir kesitteki akım anahtar eğrisini oluşturmak için, o kesitte çeşitli seviyelerde debilerin ölçülmesi gerekir. Akım anahtar eğrisinin elde edilebilmesi çok önemlidir. Çünkü akım anahtar eğrisi, kolaylıkla ölçülebilen seviye değerlerine karşılık gelen debi değerlerinin doğal yataklarda meydana gelen dolma ve oyulma olayları da dikkate alınarak bulunabilmesi imkanını sağlar

Akarsu gözlem istasyonlarında bulunan ögeler:

- Seviye ölçüm tesisleri (eşel, limnigraf, ultrasonik veya basınçlı sensör...)
- Debi ölçüm tesisleri (teleferik, donav, akım ölçüm köprüsü...)
- Kontrol kesitleri (suni veya Doğal eşikler, kurb, boğaz...)

Bazı Akarsu Gözlem İstasyonları sürekli çalıştırılmak amacıyla tesis edilirler. İstasyon yerinin sağlam ve kararlı bir yapıya sahip olması ve kısa sürede değiştirilmemesi gerekmektedir. Her havzada, genelde havzaya adını veren ana nehir üzerinde en az bir adet olmak üzere havza büyüklüğüne göre daha çok sayıda istasyon bulunabilmektedir. Tüm hidrometrik ölçümler (seviye, debi, süspanse sediment, su kalitesi, su ve hava sıcaklıkları)yapılmalıdır (Şekil 3,Şekil 4).



Şekil 4. Akarsu Gözlem İstasyonu

6. EİE'DE HİDROMETRİK GÖZLEMLER

14 Haziran 1935 tarih ve 2819 Sayılı Kanun (Değişik madde: 18/04/2007-5627 S.K./13.mad) Ülkenin hidrolik, rüzgâr, jeotermal, güneş, biyokütle ve diğer yenilenebilir enerji kaynakları öncelikli olmak üzere tüm enerji kaynaklarının değerlendirilmesine yönelik ölçümler yapmak, fizibilite ve örnek uygulama projeleri hazırlamak; araştırma kurumları, yerel yönetimler ve sivil toplum kuruluşları ile işbirliği yaparak pilot sistemler geliştirmek, tanıtım ve danışmanlık faaliyetleri yürütmek üzere görevlendirilmiştir. Bu görevlendirme ile EİE, suya bağlı bütün ölçümleri ve su enerjisine bağlı projeleri yapmaktadır.

6.1. EİE Akarsu Gözlem İstasyonları

1935 yılında Elektrik İşleri Etüd İdaresinin kurulması ile su kaynaklarının her türlü amaç için geliştirilmesinde büyük önemi olan sistematik su ölçümlerine ve elektrik üretilecek su yapılarının plan ve proje çalışmalarına başlanılmıştır. Bu amaçla ilk Akarsu Gözlem İstasyonu (AGİ) 1935 yılında Elektrik İşleri Etüt İdaresi tarafından baraj proje yerlerinde kurulmuş ve 1936 yılından itibaren akım ölçümlerine başlanmıştır. 1935 yılında 2, 1951 yılında 91 olan AGİ sayısı, Genel Müdürlüğümüz bünyesinde Hidrometrik Gözlemlerle ilgili bir ünite kurulması ile birlikte takip eden yıllarda gelişerek Türkiye çapında gerekli olan "Genel" amaçlı hidrometrik gözlem ağı içinde artan istasyon sayısı, uluslararası standarda uygun ve hassas veri toplayabilmenin bir zorunluluğu olarak 25 ana akarsu havzasından oluşan tüm akarsuları kapsayacak bir organizasyona gidilerek, 11 adet Hidrometrik Etüt Merkezi aracılığı ile yürütülmektedir.

Gözlem ağını oluşturan istasyonlarımızda aşağıda sıralanan parametrelerin tespiti yapılmaktadır.

- Akarsularda seviye ölçümü,
- Akarsularda debi ölçüsü,
- Akarsulardan süspanse sediment örneği alma,
- Su kalitesi örneği alma,
- Hava sıcaklığı, (^{0}C)
- Su sıcaklığı, (^{0}C)
- Yüzeysel sularda buzlanma durumu,
- Hava durumu (Açıklık, kapalılık, yağış vb.),
- Su durumu (Berraklık, bulanıklık vb.),
- Akarsu Yatağı durumu (Oyulma, dolma vb.)

6.2. Ölçülen Veya Hesapla Bulunan Diğer Parametreler

- Hidrojen İyonu Konsantrasyonu (pH),
- Elektriksel İletkenlik (ECx10^6 25^{0}c mikromhos/cm veya mikrosiemens/cm),
- Sodyum (Na^+), Potasyum (K^+),
- Kalsiyum+Magnezyum (Ca^{++}+Mg^{++}),
- Karbonat (CO_3^{--}), Bikarbonat (HCO_3^{--}),
- Klorür (Cl^-),Sülfat (SO_4^{--}),% Sodyum (% Na), Sodyum Adsorpsiyon Oranı (SAR), Kalıcı Sodyum Karbonat (RSC),
- Sulama Suyu Sınıfı (ABD Tuzluluk Grafiği),
- Suyun Sertliği (FrS^0), Toplam Tuz Konsantrasyonu (ppm), Bor Konsantrasyonu (ppm), Çözünmüş oksijen (mg/L)

2009 Ocak ayından itibaren taşınabilir ölçme aletleri ile Akarsularda yerinde pH, Elektriksel iletkenlik ve Çözünmüş Oksijen ölçümlerine başlanmıştır (Şekil 5). EİE Hidrometrik Etüt Merkezleri aracılığı ile 2009 yılı itibariyle 319 adet Baz Akarsu Gözlem İstasyonunun (AGİ'nin) 141 adedinde süspanse sediment, 222 adedinde su kalitesi örnekleri alınmaktadır.



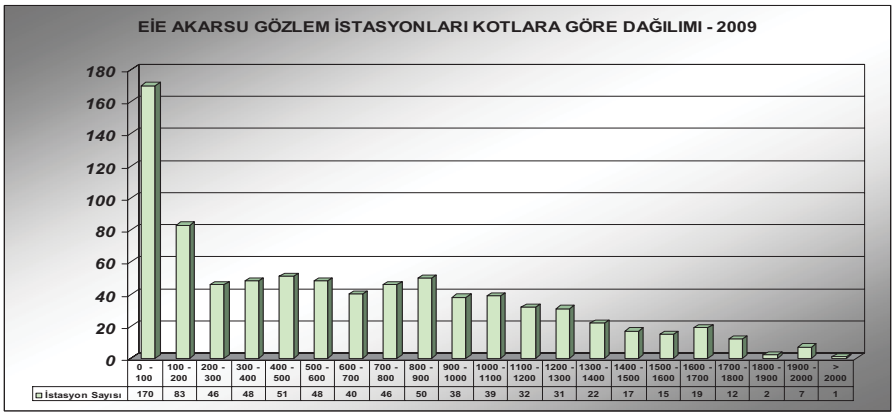
Şekil 5. Akarsularda yerinde analiz yapılması

Bu örnekler laboratuvarlarda analiz edilerek, sediment miktarları saptanmakta ve suların kaliteleri belirlenmektedir. Bütün Baz Akarsu ve Göl Gözlem İstasyonlarında (AGİ ve GGİ) düzenli olarak hava ve su sıcaklığı ölçülmektedir. EİE İdaresi Genel Müdürlüğü, çalışmalarında orta büyüklükteki ana akarsular üzerinde hidrometrik veri toplamayı ülkemizde oluşturduğu genel bir gözlem ağına uygun olarak yürütmekte ve küçük akarsularda ise idaremizin ihtiyacı belirlendikçe AGİ'ler açarak veya muhtelif debi ölçümleri yaparak karşılamaya çalışmaktadır. 1935–2009 yılları arasını kapsayan EİE

Genel Müdürlüğüne ait Hidrometrik gözlemlere ait özet ve 2009 su yılına ait bilgiler aşağıda çizelgeler halinde verilmiştir (Çizelge 1, Çizelge 2, Çizelge 3).

6.3. EİE – Akarsu Gözlem İstasyonlarının Kotlara Göre Dağılımı

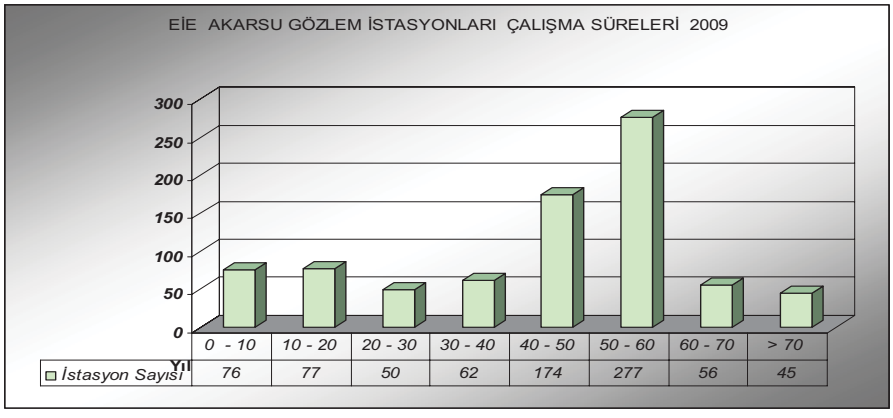
Genel olarak AGİ'ler orta büyüklükte ve ana akarsular üzerinde nehir sisteminin üst, orta ve alt bölümlerinde yer aldıkları için alt ve orta kotlarda yoğunlaşmış olup yukarı kotlarda işletilen istasyon sayısı azdır(Grafik 1).



Grafik 1. EİE Akarsu Gözlem İstasyonlarının kotlara göre dağılımı (2009)

6.4. EİE - Akarsu Gözlem İstasyonlarının Çalışma Süreleri

Baz Akarsu Gözlem İstasyonlarının ana istasyonlar olarak düşünülmesi ve sürekli çalıştırılması, yağışlı bölgelerdeki akımların saptanması için akarsu gözlem istasyonlarının uzun süreli çalıştırılması gerekmektedir. EİE İdaresi tarafından halen işletilmekte olan AGİ'lerin işletmede kalma süreleri Grafik 2'de verilmiştir.



Grafik 2. EİE Akarsu Gözlem İstasyonlarının çalışma süreleri (2009)

6.5. EİE - Akarsu Gözlem İstasyonlarının Alansal Dağılımı

1500 km^2 veya daha büyük yağış alanları olan akarsular ana akarsular olarak, 1500 ile 200 km^2 arasındakiler orta büyüklükteki akarsular ve 200 km^2 den daha küçükleri de küçük akarsular şeklinde tanımlanabilir. EİE tarafından çalıştırılan 319 Akarsu gözlem istasyonunun yağış alanı büyüklüklerine göre dağılımları; küçük akarsularda % 17, orta büyüklükteki akarsularda % 39 ve ana akarsularda ise % 44 dir. Araştırma sonuçlarına göre havza içinde istasyon sayısının artması hata oranını azaltmaktadır.
Akım Gözlem Ağı yoğunluğu yağışın alansal dağılımı ile de ilgilidir. Ilıman iklimli ovalık bir yerde bir akarsuyun hidrolojik rejimi üzerindeki çalışmalarda 1500-2000 km^2 'de bir akım istasyonu yeterlidir. Kurak ovalık bölgelerde, suyun hayati önem taşıdığı ve gözlem ağının seyrek olduğu yerlerde, havzadan çekilen suyun tahmini yapılarak, yüzeysel depolama, buharlaşma ve sızmaların tespiti için ek istasyonların kurulması, dağlık alanlarda yükseklikle ani değişmeler görüldüğünden akımın bölgesel farklılıkların tespiti için gözlem ağının yoğunluğunun artırılması gerekmektedir. Bugün ülkemizde 1500 km^2 den büyük yağış alanına sahip 107 akarsu ve 200 km^2 büyüklüğünde de yaklaşık olarak 385 akarsu mevcuttur. Günümüzde her bir hidrometrik istasyona karşılık gelen ortalama alanlar (WMO-1984), Dünyada 2650 km^2, Avrupa'da 1750 km^2, Kuzey Amerika'da 1000 km^2, Güney Amerika'da 5000 km^2 Asya'da, Afrika'da 14500 km^2 ve Ülkemizde EİE tarafından işletilen Akarsu Gözlem Ağında ise İstasyon başına 2851 km^2 lik bir alan düşmektedir (EİE-2009).

Çizelge 1. 2009 su yılı çalışma sonuçları

HİDROLİK ETÜTLER DAİRESİ BAŞKANLIĞININ			
2009 SU YILI ÇALIŞMALARI SONUÇLARI			
	TESİS BİLGİLERİ	Ort. Adet/Yıl	
13	Limnigraf tesis sayısı	317	
14	Teleferikli İstasyon	130	
15	Otomatik Kar Gözlem İstasyonu Tesis Sayısı	26	
16	Uzaktan Erişimli Akarsu Gözlem İstasyonu Sayısı	28	
17	Uzaktan Erişimli Göl Gözlem İstasyonu Sayısı	1	
	ARAZİ ÇALIŞMA BİLGİLERİ	Ort. Adet/Yıl	Ort. Km/Yıl
18	Arazi Elemanı	135	
19	Arazide Çalışılan Gün	10,898	
20	Toplam Yapılan Yol (Km)		838,602
21	A.G.İ.nun Yıllık Ortalama Ölçüsü	13	
22	Bir Ölçü İçin Yapılan Yol (Km)		114
23	Arazi Elemanının Ortalama Arazi Günü	81	
24	Gözetleme yüklenici sayısı	107	
25	Meteoroloji Gözetleme yüklenici sayısı	3	

Çizelge 2. EİE – AGİ'nın Havzalara göre dağılımı (Açık + Kapalı = Toplam)

EİE HİDROMETRİK GÖZLEM İSTASYONLARI (1935 – 2009)																	
HAVZA NO	HAVZA ADI	HAVZA ALANI km^2	A G İ			AA G İ			Y A G İ			K G İ		
			AÇIK	KAPALI	TOPLAM	AÇIK	KAPALI	TOPLAM	AÇIK	KAPALI	TOPLAM	AÇIK	KAPALI	TOPLAM
1	Meriç Havzası	*14560	6	8	14	3	1	0	12	12	12			
2	Müt. Marmara Suları	24100	7	9	16	5	1	0	27	27	27			
3	Susurluk Havzası	23765	10	23	33	6	19	0	10	10	10	3	1	4
4	Müt. Ege Suları	9032	4	8	12	7	4	2	7	9	9	1		1
5	Gediz Havzası	17110	10	16	26	2	6	7	8	15	15	1		1
6	Küçükmenderes Havzası	7165	1	1	2	0	4	0	3	3	3			
7	Büyükmenderes Havzası	24903	14	27	41	5	2	9	13	22	22			
8	Müt. Batı Akdeniz Suları	22615	7	12	19	1	14	6	7	13	13	2		2
9	Müt. Orta Akdeniz Suları	14518	15	15	30	12	37	6	9	15	15	3	1	4
10	Burdur Gölü Kapalı	8764	1	3	4	2	0	0	9	9	9			
11	Afyon Suları Kapalı	8377	2	7	9	4	11	0	9	9	9			
12	Sakarya Havzası	56504	15	43	58	26	7	11	12	23	23	2	3	5
13	Müt. Batı Karadeniz	29682	25	32	57	19	22	22	20	42	42	3	8	11
14	Yeşilırmak Havzası	36129	18	21	39	9	6	13	8	21	21		4	4
15	Kızılırmak Havzası	78646	12	34	46	5	1	17	32	49	49	3	2	5
16	Orta Anadolu Kapalı	56554	6	16	22	4	0	4	9	13	13	1		1
17	Müt. Doğu Akdeniz Suları	22484	18	21	39	13	27	0	27	27	27	2		2
18	Seyhan Havzası	20731	19	19	38	4	18	1	13	14	14	13	2	15
19	Hatay Suları	*10885	4	6	10	2	2	6	5	11	11			
20	Ceyhan Havzası	21222	8	18	26	2	1	13	12	25	25			
21	Fırat - Dicle Hvz. (Fırat Kolu)	*120917	34	57	91	9	17	48	50	98	98	14	16	30
	Fırat - Dicle Hvz. (Dicle Kolu)	*51489	17	22	39	0	8	15	54	69	69	4		4
22	Müt. Doğu Karadeniz Suları	24022	23	42	65	39	32	0	48	48	48	4		4
23	Çoruh Havzası	19894	21	24	45	18	18	3	18	21	21	2		2
24	Aras Havzası	27548	7	15	22	9	1	4	28	32	32	1		1
25	Van Gölü Kapalı Havzası	15254	4	7	11	21	102	16	8	24	24	2		2
TOPLAM		**766870**	**319**	**506**	**814**	**227**	**361**	**588**	**203**	**448**	**651**	**61**	**37**	**98**

*Türkiye sınırları içerisindeki havza alanlarıdır

A G İ : Akarsu Gözlem İstasyonu

A A G İ : Aylık Akarsu Gözlem İstasyonu

Y A G İ : Yıllık Akarsu Gözlem İstasyonu

K G İ : Kar Gözlem İstasyonu

Çizelge 3. EİE – GGİ'nın Havzalara göre dağılımı (Açık + Kapalı = Toplam)

EİE HİDROMETRİK GÖZLEM İSTASYONLARI (1935 – 2009)															
HAVZA NO	HAVZA ADI	HAVZA ALANI km^2	GGİ			AGGİ			SGİ			SKGİ		
			AÇIK	KAPALI	TOPLAM	AÇIK	KAPALI	TOPLAM	AÇIK	KAPALI	TOPLAM	AÇIK	KAPALI	TOPLAM
1	Meriç Havzası	*14560					4	4	2	3	5	4	4	8
2	Müt. Marmara Suları	24100	1	1	2	1	4	5	1	3	4	5	1	6
3	Susurluk Havzası	23765	1	2	3	1		1	6	2	8	9	1	10
4	Müt. Ege Suları	9032					2	2	1	2	3	2	1	3
5	Gediz Havzası	17110				1		1	5	3	8	6		6
6	Küçükmenderes Havzası	7165								1	1	1		1
7	Büyükmenderes Havzası	24903				3		3	5	4	9	10	4	14
8	Müt. Batı Akdeniz Suları	22615				4		4	6	2	8	10	1	11
9	Müt. Orta Akdeniz Suları	14518	1		1	1		1	5	4	9	7	2	9
10	Burdur Gölü Kapalı	8764	1	4	5	5		5	1	1	2	7		7
11	Afyon Suları Kapalı	8377							2	1	3	2		2
12	Sakarya Havzası	56504	1	3	4	1		1	7	8	15	17	8	25
13	Müt. Batı Karadeniz	29682				2	1	3	12	3	15	14		14
14	Yeşilırmak Havzası	36129				1		1	5	1	6	11	1	12
15	Kızılırmak Havzası	78646				1		1	7	6	13	12	3	15
16	Orta Anadolu Kapalı	56554	2		2	3		3	3	1	4	10		10
17	Müt. Doğu Akdeniz Suları	22484							6	3	9	6	2	8
18	Seyhan Havzası	20731							8	1	9	7		7
19	Hatay Suları	*10885		1	1	1		1	1	1	2	5		5
20	Ceyhan Havzası	21222				2		2	4	5	9	8	3	11
21	Fırat - Dicle Hvz. (Fırat Kolu)	*120917		1	1	1	4	5	13	16	29	19	5	24
	Fırat - Dicle Hvz. (Dicle Kolu)	*51489		1	1				9	5	14	12	5	17
22	Müt. Doğu Karadeniz Suları	24022				2		2	12	9	21	17	3	20
23	Çoruh Havzası	19894				1		1	13	5	18	14	5	19
24	Aras Havzası	27548				3	2	5	4	1	5	7		7
25	Van Gölü Kapalı Havzası	15254	4		4	3	10	13	3	2	5	10	2	12
TOPLAM		**766870**	**11**	**13**	**24**	**37**	**27**	**64**	**143**	**91**	**234**	**232**	**51**	**283**

*Türkiye sınırları içerisindeki havza alanlarıdır

G G İ : Göl Gözlem İstasyonu

A G G İ : Aylık Göl Gözlem İstasyonu

S G İ : Sediment Gözlem İstasyonu

S K G İ : Su Kalitesi Gözlem İstasyonu

7. GÖL GÖZLEM İSTASYONLARI

Doğal göl, rezervuar, baraj gibi su alanlarının belirli bir zaman süreci içinde seviye değişimlerinin gözlenerek haznesindeki su potansiyelinin tespiti amacıyla kurulan istasyonlara göl gözlem istasyonları denir(Şekil 6).Mükemmel bir hidrometrik ağ için, yüzeysel alanı 100 km^2 den büyük her gölün gözlemlendiği göl gözlem istasyonları kurulmalıdır. Göl alanında mevcut su hacminin değerlendirilmesinde, hacim satıh eğrileri kullanılır. Genelde, yapılan değerlendirmeler işletme çalışmalarına yöneliktir.



Şekil 6. **Göl Gözlem İstasyonu**

Türkiye'de EİE doğal göllerdeki gözlemlere 1943 yılında Van Gölü- Tatvan istasyonunda başlamıştır. 60 yılı aşan bir sürede büyüklükleri 43,7 – 3443,5 km^2 arasında değişen göllerde uzun yıllar seviye ve hava-su sıcaklıkları ölçümleri yapılmıştır. Ülkemizde, 1 km^2 den küçük göller adet olarak fazla olmamakla beraber (694) kapladıkları su yüzeyi alanları toplamı 55,12 km^2 dir. 1 km^2 den büyük göllerin akarsu havzalarına göre sayısal ve alansal dağılımları Çizelge 4'de verilmiştir.

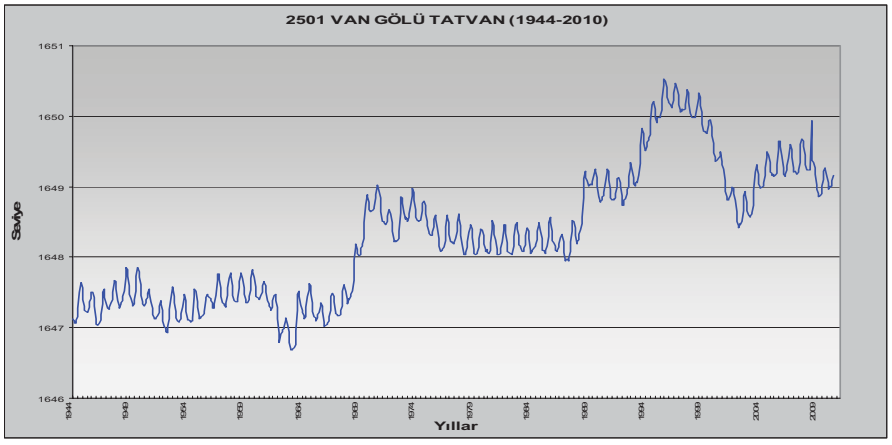
Çizelge 4. 1 km^2 den Büyük göllerin Akarsu havzalarına göre dağılımı

Havza No	Havza Adı	Havza Alanı (km2)	Adet	Toplam su yüzü alanı (km2)	Havzadaki Alan (%)
1	Meriç Havzası	14560	4	15,01	0,001
2	Müteferrik Marmara Suları	24100	6	335	0,014
3	Susurluk Havzası	23765	2	283	0,012
4	Müteferrik Ege Suları	9032	3	6,25	0,001
5	Gediz Havzası	17110	1	35,6	0,002
6	Küçükmenderes Havzası	7165	-	-	-
7	Büyükmenderes Havzası	24903	7	148,7	0,006
8	Müteferrik Batı Akdeniz Suları	22615	6	66,4	0,003
9	Müteferrik Orta Akdeniz Suları	14518	2	474,2	0,033
10	Burdur Gölü Kapalı Havzası	8764	5	307,4	0,035
11	Afyon Suları Kapalı Havzası	8377	2	429,5	0,052
12	Sakarya Havzası	56504	5	57,2	0,001
13	Müteferrik Batı Karadeniz Suları	29682	4	31,05	0,001
14	Yeşilırmak Havzası	36129	2	5,9	0,0002
15	Kızılırmak Havzası	78646	2	31,0	0,0004
16	Orta Anadolu Kapalı Havzası	56554	6	1844,6	0,033
17	Müteferrik Doğu Akdeniz Suları	22484	2	16,5	0,001
18	Seyhan Havzası	20731	-	-	-
19	Hatay Suları	10885	1	1,8	0,0002
20	Ceyhan Havzası	21222	11	117,1	0,006
21	Fırat Havzası	120917	5	111,4	0,001
22	Müteferrik Doğu Karadeniz Suları	24022	7	29,5	0,002
23	Çoruh Havzası	19894	1	9,8	0,0005
24	Aras Havzası	27548	8	192,1	0,007
25	Van Gölü Kapalı Havzası	15254	10	3620,3	0,237
26	Dicle Havzası	51489	-	-	-
TOPLAM		**766870**	**102**	**8169,31**	**0,011**

Çizelge-4 incelendiğinde göllerimizin Van gölü (Grafik 3), Afyon Suları, Burdur gölü, Orta Anadolu Kapalı Havzaları, Müteferrik Orta Akdeniz Suları ve Marmara Suları ile Susurluk havzalarında geniş alanlar kapladığı görülmektedir. Bu İstasyonların açılış, kapanış tarihleri ile gözlem periyotları (Çizelge 5.)'de verilmiştir.

Çizelge 5. EİE Baz Göl Gözlem İstasyonları çalışma periyotları

EİE BAZ GÖL GÖZLEM İSTASYONLARI ÇALIŞMA PERYOTLARI 2010 (Açık + Kapalı)													
İST NO	GÖL GÖZLEM İSTASYONLARI	Çalışma Peryodu		Gözlem Süresi	Yıllar								
		AÇILIŞ TARİHİ	KAPANIŞ TARİHİ		1940	1950	1960	1970	1980	1990	2000	2010
203	İZNİK GOLÜ - MAMURE	1-Ağu-1954	27-Ağu-2002	48								
217	İZNİK GOLÜ - GAZİNOLAR	16-Eyl-1991		19								
318-A	APOLYONT G. - ULUABAT	1-Eyl-1952	30-Eyl-2003	51								
318-B	APOLYONT G. - GÖLYAZI	30-Eyl-2003		7								
905	EĞİRDİR G. - EĞİRDİR	9-Haz-1951		59								
1002	SALDA G - KAYA DİBİ	1-Haz-1954	30-Eyl-1968	14								
1004	BURDUR G - ÇENDİK PLAJI	19-Şub-1969	1-Ağu-1971	2								
1004	BURDUR G - SENİR	1-Ağu-1971	13-Eyl-1996	25								
1012	BURDUR G - KARAKENT	1-Nis-2000		10								
1007	BURDUR G. - KÜRT TESİSLERİ	13-Eyl-1996	1-Eki-2000	4								
1234	SAPANCA G - BEŞKÖPRÜ	11-Eki-1954	21-May-1957	3								
1240-A	SAPANCA G - SAPANCA	22-May-1957	15-Kas-1974	17								
1240-B	SAPANCA G - MUSACIK	1-Kas-1974	16-Tem-1980	6								
1240-C	SAPANCA G. - AŞAĞIDERE	16-Tem-1980		30								
1240-C	SAPANCA G. - ÇAYAĞZI	16-Tem-1980		30								
1624	BEYŞEHİR G. - BEYŞEHİR	1-Ağu-1954		56								
1619	TUZ G. - KALDIRIM TUZLASI	24-Eki-1959		51								
1910	AMİK G - ARAPHAN	15-Oca-1954	1-Eki-1970	17								
2137	ABDULHARAP G. - ŞEREFHAN	10-Tem-1959	1-Eki-1967	8								
2501	VAN G. - TATVAN	31-Ağu-1943		67								
2508	VAN G. - VAN (İSKELE)	12-Kas-1968		41								
2510	VAN G. - GÜZELKONAK	25-Ağu-1988		22								
2512	ERÇEK G. - SÖYLEMEZ	18-Nis-1994		16								
2608	HAZAR G. - GEZİN	8-Kas-1951	30-Kas-1960	9								



Grafik 3. Van Gölü-Tatvan Göl Seviye Değimi (1944 – 2010)

8. KAR GÖZLEM İSTASYONLARI

Akarsu havzalarının genel hidrolojik özellikleri; beslenme alanının yapısına ve klimatolojisine bağlı olduğu gibi bu havzadaki akarsuyun rejimi de büyük ölçüde yağışın karakteristiğine bağlıdır. Bu nedenle havzalara düşen karın bilinmesi ve ölçülmesi, hidrolojik parametrelerin belirlenmesinde doğal su deposu olması nedeniyle büyük önem taşımaktadır. Havzaya düşen yağış katı yani kar olarak düşüyorsa havzada hidrolojik ve klimatolojik olaylarda karın etkisi büyük olmaktadır.



Şekil 7. Kar Gözlem İstasyonu

Havzanın depoladığı kar, erime mevsiminde sıvı haline dönüşme özelliğine bağlı olarak zararlı etkiler olusturabileceği gibi kullanım amacına uygun olarak yapılan kar ölçümleri, baraj, HES vb tesisler ile de yararlı hale getirilebilir. Kar'ın yararlı olmasının yanında zararlı (çığ, ulaşımı engellemesi gibi) etkileride bulunmaktadır. Bu nedenle kar hakkında her türlü bilginin edinilmesi gereklidir.



Şekil 8. Kar Gözlem İstasyonu

Kar yağışı ulaşım, tarım, sağlık ve hidroloji olaylarında değişik boyutlarda etkisini göstermektedir. Ülkemizde kar yağışı yoğun olarak Doğu Anadolu bölgesinde ve Kasım-Mayıs ayları arasında görülmektedir. Kar örtüsünün özelliklerinin zamana göre değişimini doğru olarak gözlemlenmesi gerekmektedir. Kar ölçümlerinin periyodik olarak yapılması, bütün bir mevsim boyunca yavaş yavaş eriyerek topraktan sızıp yer altı suyuna karışan su miktarları hakkında ve yer altı suyu bilançosunun hesabında yararlı olacaktır (Şekil 7,8,9).



Şekil 9. Otomatik Kar Gözlem İstasyonu

8.1. Otomatik Kar Gözlem İstasyonlar

Kar gözlemlerinde insana bağlı klasik metotlarla yapılan noktasal kar ölçümleri bazı sorunları ve yetersizlikleri de beraberinde getirmektedir. Öncelikle, aynı noktada yapılan ölçümler genellikle iki hafta ile dört hafta arasında bir tekrarlanabilmekte ve bu süre zarfında çok değişken olan meteorolojik olaylar (örneğin maksimum kar su eşdeğeri) gözden kaçabilmektedir.



Şekil 10. Sarıkız Otomatik Kar Gözlem İstasyonu

Yapılan ölçümlerde insanın aletlerle birlikte belirlenen noktalara ulaşması söz konusu olduğundan, arazi ve iklim koşullarının zorluğu da esas alınarak, seçilen noktalar ulaşım yollarının yakınlarında ve çok yüksek olmayan kotlarda bulunmaktadır. Bu ölçümler her durumda faydalı olmakla beraber zamansal süreklilik ve alansal temsiliyet açısından yetersiz kalmaktadırlar.



Şekil 11. Saklıkent Otomatik Kar Gözlem İstasyonu

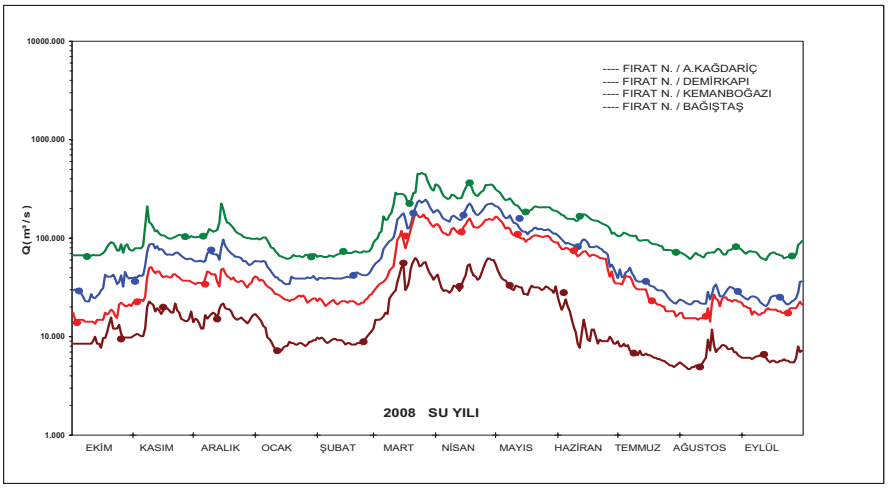
Kar potansiyeli yüksek ve ölçüm sistemleri gelişmiş ülkelerde, yukarıda bahsedilen klasik yöntemler halen uygulanmaktadır, fakat, bunların yanı sıra, daha gelişmiş ve otomatik sensörlerle donatılmış, daha yüksek kotlarda, sürekli ölçüm yapabilen ve ölçülen değerleri anında merkeze aktarabilen, insan faktörünü en aza indirebilen sabit veya mobil kar ve meteoroloji istasyonları bulunması gerekmektedir. Kar erimesinden meydana gelen akımların hesaplanması çalışmalarda, kar derinliği ve yoğunluğu gibi verilerin yanı sıra zamansal yağış miktarı, sıcaklık değişimi, güneş radyasyonu gibi diğer meteorolojik verilere de ihtiyaç duyulmaktadır.

Dünyada bu konuda OKG istasyonlarına başlıca olarak Kar derinliği, Hava sıcaklığı, kar su eşdeğeri için kar yastıkları, güneş radyasyonunun kardan yansımasını ifade eden albedo, uzun dalga radyasyon ölçümleri, ve karın erime zamanı ile oranını tespit etmeye yarayan kar lizimetresi, Rüzgar, Nem vb parametreleri ölçen sensörler kullanılarak bu değerleri elde etmek mümkündür (Şekil 10, 11). Ayrıca kışın gidilmesi mümkün olmayan dağlık ve uzak noktalarda toplanan verilerin uydu, GSM ve kablo hatlarıyla çalışma merkezlerine ekonomik ve hızlı yollarla transferi sağlanabilmektedir.

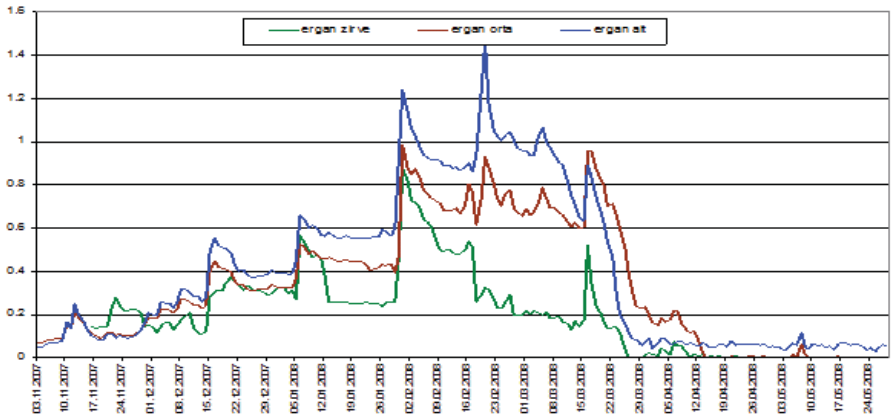
8.2. EİE Kar Gözlem İstasyonları

EİE'nin yaptığı kar rasatları Hidrolojik amaçlıdır. Bu amaçla hedeflediği havzalardaki kar'ın su eşdeğerini elde edebilmek amacıyla değişik kodlarda istasyonlar çalıştırmaktadır. Akımların büyük bir kısmı kar erimesinden oluşan havzalarda kar ölçümleri önemli bir yer tutmaktadır (Yaklaşık olarak Fırat havzasında oluşan yıllık toplam akımın %70, Çoruh Nehri'nin %65-80, Seyhan Nehri'nin %60-65, kar erimesinden meydana gelmektedir. Grafik 4 ,5).

EİE kar ölçümlerine, 1966 yılında Fırat havzasında yapmaya başlamıştır. Günümüze kadar 17 havzada toplam 105 adet Kar Gözlem İstasyonu çalıştırmış olup bunlardan 68 adedi aktif olarak çalışmaktadır. Kar Gözlem İstasyonlarından 26'sında Otomatik cihazlarla sürekli Kar Derinliği ve Hava Sıcaklığı ölçülmektedir.



Grafik 4. Yukarı Fırat Havzası 2008 su yılı akımları



Grafik 5. Ergan Dağı EİE OKG İstasyonları 2008 Su yılı Kar seviye değerleri

KAYNAKLAR

Contürk, H, "Gözlem Ağları", 1984.

EİE İdaresi Genel Müdürlüğü, Kar Gözlemleri (1966-2005), 2007.

Elektrik İşleri Etüt İdaresi "Hidrolog Geliştirme Kursu Ders Notları", Ankara, Türkiye, 1977.

Gürer İ, "Kar Meteorunun Evrimi Ve İlkbahar Taşkın Tahmininde Kullanılması", II. Ulusal Kar Hidrolojisi, 1977.

Horst L, "Hydrometry", 1981.

J,P,Bruce.; M.A, R.H.Clark M Eng, "Introduction to Hyrometeorology", 1966.

Kupriianow, W.;(1976), "Hydrological Network Desing and Information Transfer",
Modellemesinde Entegrasyonu, Yüksek Lisans Tezi, ODTÜ, Eylül 2000.

Tekeli A.E., Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemlerinin Kar Hidrolojisi

Türksoy M., 1978 Kar Hidrolojisi Kurs Notları, EİE

Türksoy, M.; (1993)"Türkiye'de Meteoroloji ve Hidrometeoroloji şebekeleri üzerine bir inceleme" , EİE

United States Geological Survey; "A Manual Describing Methods and Practies of the Geological Survey".

World Meteorology Organization, "Guide of Hydrometeorology Practice", 168, 1970.
Yalkın, S. (EİE –1979); "Gözlem Ağları"

Çoruh Havzası ve Çevresinde Yer ve Uydu Tabanlı Yağış Verilerinin Zamansal ve Mekânsal Olarak Karşılaştırılması

Arzu Soytekin[1] , Zuhal Akyürek [2]

Özet: Çoruh havzası ve çevresinde yapılan bu çalışmada 1998 yılından 2009 yılına kadar 26 meteoroloji istasyonunun aylık yağış verileri TRMM uydusundan elde edilen aylık yağış verileriyle (3B43 verisi) karşılaştırılmıştır. TRMM (3B43) yağış verisinin mekânsal çözünürlüğü 0.25° olup ortalama 27 km' ye karşılık gelmektedir. Yer ve uydu tabanlı aylık yağış verilerinin mekâna ve zamana göre değişimi Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) kullanılarak aylık, mevsimsel ve yıllık tabanda incelenmiştir. Bu inceleme iki kısımda yapılmıştır. Zamansal değişimi görebilmek için saçılma ve zaman yağış diyagramlarında karşılaştırmalar yapılmıştır. Mekânsal değişimi görebilmek için ise coğrafi ağırlıklı regresyon metodu kullanılmıştır. Uydu tabanlı yağış verisinin yüksek yağışlarda düşük, düşük yağışlarda ise yüksek değer bulma eğilimi belirlenmiştir.18 meteoroloji istasyonu aylık yağış değerleri ile uydu tabanlı yağış değerleri arasında 0,8 korelasyon elde edilmiştir.

Anahtar Sözcükler: TRMM; uydu tabanlı yağış verisi; Çoruh havzası; coğrafi ağırlıklı regresyon

Comparison of Gauge and Satellite Based Precipitation Data Considering Time and Space in Çoruh Basin and Near Sites

Abstract: In this study, precipitation data obtained from 26 meteorological stations are compared with the TRMM satellite based precipitation data (3B43) over the period from 1998 to 2009 in Çoruh basin and near sites. TRMM (3B43) distributed precipitation data has a 0.25° spatial resolution which corresponds to 27 km. Both precipitation data are monthly based and the location and time variation of these data are analyzed by using geographic information systems in monthly, seasonally and yearly scale. The analyses are done in two parts. For time variation, comparisons are done in scatter plot and a time series diagram. For spatial variation, geographically weighted regression method is used. It is determined that satellite based precipitation data has a tendency to detect low results in high precipitation value and high results in

[1] ODTÜ, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Su Kaynakları Lab., Ankara, E-Posta: e138584@metu.edu.tr
[2] ODTÜ, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Su Kaynakları Lab., Ankara, E-Posta: zakyurek@metu.edu.tr

low precipitation value. The correlation of monthly precipitation value between 18 meteorological stations and satellite based data are obtained close to 0,8.

Keywords: TRMM; Satellite based precipitation data; Çoruh basin; geographically weighted regression

1. GİRİŞ

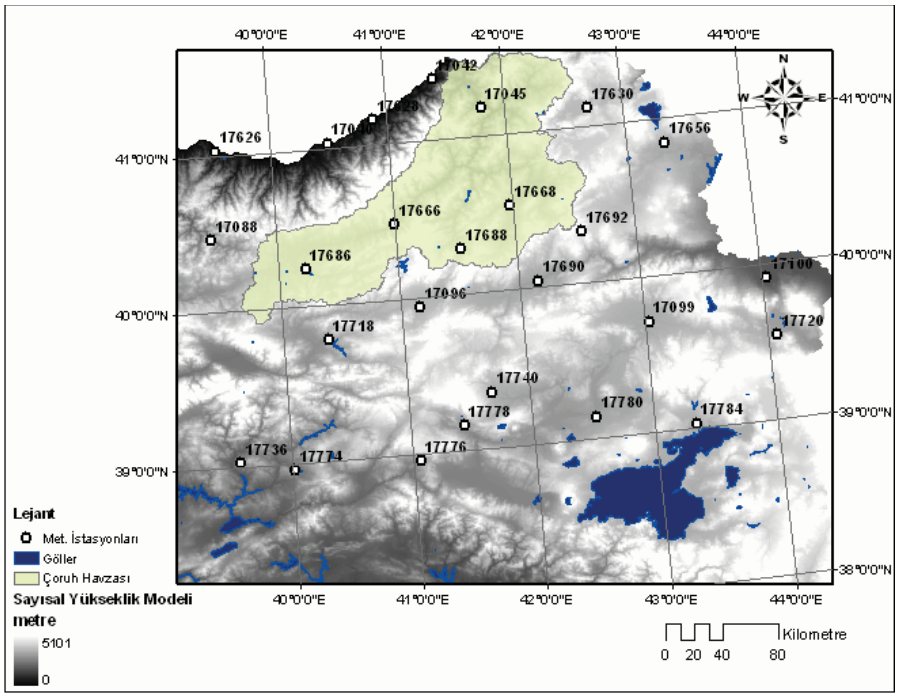
Yağış su döngüsünde en etkili yönlendirici kuvvettir ve havza bazlı hidrolojik modelleme için yağışın zamansal ve mekânsal dağılımının doğru olarak belirlenmesi oldukça önem taşımaktadır. Genel olarak hidrolojik modellerde meteorolojik yer gözlemlerinden elde edilen noktasal yağış verileri model girdisi olarak kullanılmaktadır. Gerçekte, mekânda süreklilik gösteren yağışın ölçüm tekniklerinden gelen sınırlamalar ile noktasal ifadesi ve daha sonra mekânsal dağılımının belirlenmesi mevcut çalışmalarda sıkça gözlenmektedir. Thiessen poligon, Krigging ya da IDW (Ters Ağırlıklı Mesafe) gibi metotlar kullanılarak noktasal bazlı yağış ölçümlerinden, yağışın alansal dağılımı hesaplanmaktadır (Hoblit ve Curtis, 2002). Uydu tabanlı yağış verisi yağışın mekânsal dağılımını ifade etmede daha iyi bir kaynaktır. Aynı zamanda uydu tabanlı yağış verisi daha uzun süreleri ve daha geniş alanları kapsamaktadır (Wang ve diğerleri, 2009). Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM), NASA ve JAXA tarafından tropik ve yakın tropik alanların yağış sistemlerini izlemek amacı ile ilk kez geliştirilmiş uydu sistemidir. Bu uydu Kasım 1997'de yörüngesine yerleştirilmiştir ve hala veri sunmaktadır.

Su kullanımı ve/veya su kontrolü amacıyla gerçekleştirilen hidrolojik modelleme çalışmalarında hidrometeoroloji gözlem istasyon ağının yetersiz olduğu bölgelerde yağışın zamansal ve mekânsal dağılımını belirlemek oldukça güçtür. Bu tarz modellerdeki uygulamanın doğruluğu havza yağış girdi verisinin doğruluğuna bağlıdır (Hughes, 2005). Wang ve diğerleri (2009) Çin'de Laohahe havzasında TRMM verisi ile yağış ölçerlerden elde ettikleri yağış değerleri arasında yüksek korelasyon bulmuşlardır. Ayrıca uzun vadeli iklimsel çalışmalar için TRMM verisinin uygun olduğu sonucuna varmışlardır. Amazon-Andes havzasında akım değerlerinin GR2M aylık su dengesi modeli ile belirlemede TRMM 3B43 verisi kullanılmıştır (Casimiro ve diğerleri, 2009). Bu çalışmada uydu tabanlı yağış verisinin, yer gözlem verisinin eksik olduğu ve/veya bulunmadığı durumlarda kullanılabilmesi için doğruluğu incelenmiştir. Uydu tabanlı yağış verisi meteorolojik istasyonlardan elde edilen yağış verisiyle karşılaştırılarak analiz edilmiştir.

2. ÇALIŞMA ALANI ve VERİLER

Çalışma alanı Çoruh havzası ve çevresini kapsamaktadır. Bu çalışmada havza ve çevresi için aylık yer yağış verisi Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'nden (DMI), uydu tabanlı yağış verisi ise NASA internet sitesinden elde edilmiştir. Uydu tabanlı grid yağış verisi Coğrafi Bilgi Sistemleri kullanılarak analiz edilmiş ve yer yağış verileriyle karşılaştırma yapılmıştır. **Şekil 1' de** sayısal yükseklik modeli üzerindeki dağılımın da görüldüğü 26 meteoroloji istasyonu seçilmiş, bu istasyonlar belirlenirken verilerin eksiksiz olmasına dikkat edilmiştir. Yer yağış verisinin elde edildiği 26 meteoroloji

istasyonunun genel bilgileri **Tablo 1' de** gösterilmektedir.
Bu çalışmada, uydu tabanlı yağış tahmin verisi için 0.25° mekânsal çözünürlüğe sahip 50° kuzey ile 50° güney enlemler aralığından veri sağlanan TRMM 3B43 (V6) seti kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan TRMM 3B43 uydu verisi, TOVAS (TRMM Online Visualization and Analysis System) kullanılarak temin edilmiştir (http://gdata1.sci.gsfc.nasa.gov/daac/bin/G3/gui.cgi?instance_id=TRMM_Monthly). Yer ve uydu tabanlı yağış değerleri aynı aylık dönemdeki veriyi içermekte, Ocak 1998- Aralık 2008 zaman aralığını kapsamaktadır.



Şekil 1 Meteoroloji istasyonlarının sayısal yükseklik modeli üzerindeki dağılım haritası

3.YÖNTEM

Karşılaştırmadaki temel amaç hidrolojik modellerde yağış verisinin yetersiz olduğu durumlarda kullanılması amaçlanan uydu tabanlı yağış verilerinin yer gözlem istasyonlarıyla tutarlılığının araştırılmasıdır. Bu tutarlılık aylık mevsimsel ve yılık tabanda ele alınmıştır. **Şekil 2' de** gösterildiği üzere yer verisinin noktasal, uydu verisinin ise alansal yağışı ifade ettiği dikkate alınmıştır. Karşılaştırmalar görsel yorum ve **Denklem (1)' de** ki basit doğrusal regresyon analizi (m ve r) kullanılarak yapılmıştır. P_{uydu} uydu yağış verisini, P_{yer} meteorolojik istasyonlardan elde edilen yağış verisini, m eğimi ve b ise kesişme noktasını vermektedir.

$$P_{uydu} = m*P_{yer} + b \quad (1)$$

Çalışmada kullanılan 26 adet meteoroloji istasyonuna karşılık gelen TRMM yağış değerleri CBS'nin mekânsal analiz kabiliyeti kullanılarak elde edilmiştir.

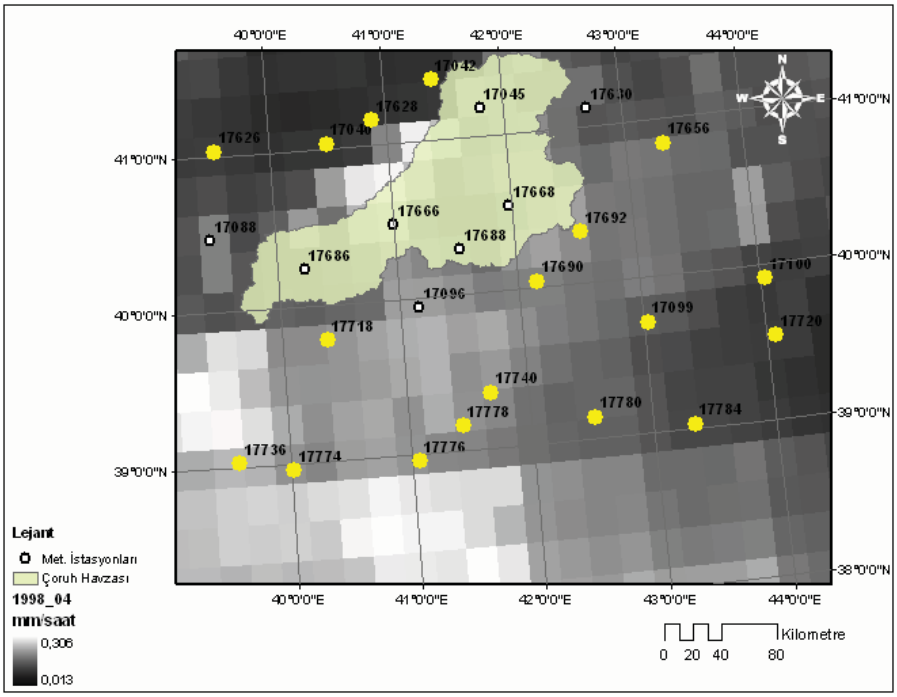
Tablo 1 Yer yağış verisi için seçilen meteorolojik istasyonların genel bilgileri

İstasyon Adı	İstasyon No.	Enlem (N)	Boylam (E)	Yükseklik (m)	Aylık ortalama yağış değeri (mm) (1998-2008 yılları)
Akçaabat	17626	41°02'	39°33'	3	61,33
Rize	17040	41°02'	40°30'	9	194,81
Hopa	17042	41°24'	41°26'	33	192,00
Pazar Rize	17628	41°10'	40°54'	79	186,27
Artvin	17045	41°11'	41°49'	628	62,43
Iğdır	17100	39°55'	44°03'	858	22,87
Karakocan	17774	38°58'	40°02'	1090	50,47
Gümüşhane	17088	40°28'	39°28'	1219	39,45
İspir	17666	40°29'	41°00'	1222	39,71
Oltu	17668	40°33'	41°59'	1322	34,44
Solhan	17776	38°58'	41°04'	1366	54,14
Mazgirt	17736	39°02'	39°36'	1400	58,66
Tercan	17718	39°47'	40°23'	1425	36,41
Horasan	17690	40°03'	42°10'	1540	34,15
Malazgirt	17780	39°09'	42°32'	1565	38,60
Tortum	17688	40°18'	41°33'	1572	41,32
Bayburt	17686	40°15'	40°14'	1584	40,22
Doğubeyazıt	17720	39°33'	44°05'	1584	27,04
Ağrı	17099	39°43'	43°03'	1632	37,23
Varto	17778	39°10'	41°27'	1650	40,31
Ercis	17784	39°02'	43°21'	1678	33,17
Arpaçay	17656	40°51'	43°20'	1687	43,95
Hinis	17740	39°22'	41°42'	1715	46,55
Erzurum	17096	39°57'	41°10'	1758	33,73
Ardahan	17630	41°07'	42°43'	1829	53,10
Sarıkamış	17692	40°20'	42°34'	2102	54,38

4. ANALİZLER

4.1. Zaman Bazında Yağış Verilerinin Karşılaştırılması

Zaman bazında oluşabilecek farklılığı görebilmek için, meteorolojik istasyonların bulunduğu TRMM piksel değerleri ArcGIS ortamında işlenmiştir. 26 istasyon için 11 yıllık yağış verileri önce aylık sonra mevsimsel ve yıllık tabanda basit doğrusal regresyon analizi kullanılarak değerlendirilmiştir (**Tablo 2)**. **Şekil 3' de** ise korelasyon katsayının istasyonlar bazında farklı zaman dilimleri içindeki değişimi görülmektedir.



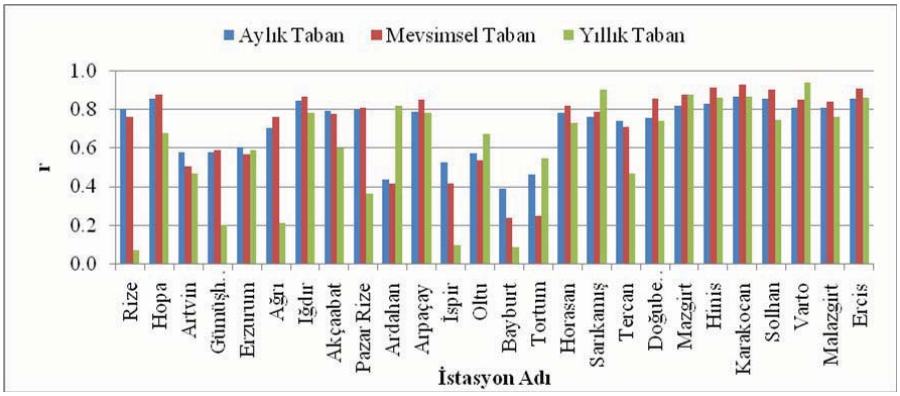
Şekil 2 Meteorolojik istasyonların 0.25° mekânsal çözünürlüklü 3B46 (V6) TRMM verisi (1998 yılı Nisan ayı (mm/saat) yağış verisi) üzerinde gösterimi

Tablo 2' de korelasyon katsayıları dikkate alındığında 26 istasyondan 18'inin r> 0,7 olduğu görülmektedir. Aylık ve mevsimsel tabanda korelasyon katsayısının 0,7' den büyük olan istasyonlar **Şekil 2' de** gösterilmiştir.

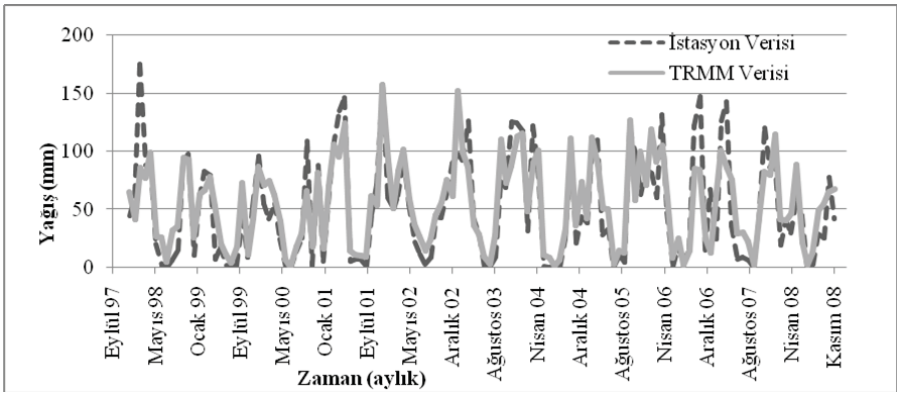
Sonuçları **Tablo 2' de** özetlenen istasyonlardan en yüksek ve düşük korelasyon katsayını veren iki istasyon için, Karakocan ve Bayburt istasyonları, **Şekil 4 ve 5' de** zaman yağış, **Şekil 6 ve 7' de** saçılma diyagramları gösterilmiştir.

Tablo 2 TRMM ve Meteoroloji istasyonları ile yapılan toplam aylık, mevsimsel, toplam mevsimsel ve toplam yıllık yağış karşılaştırmaları

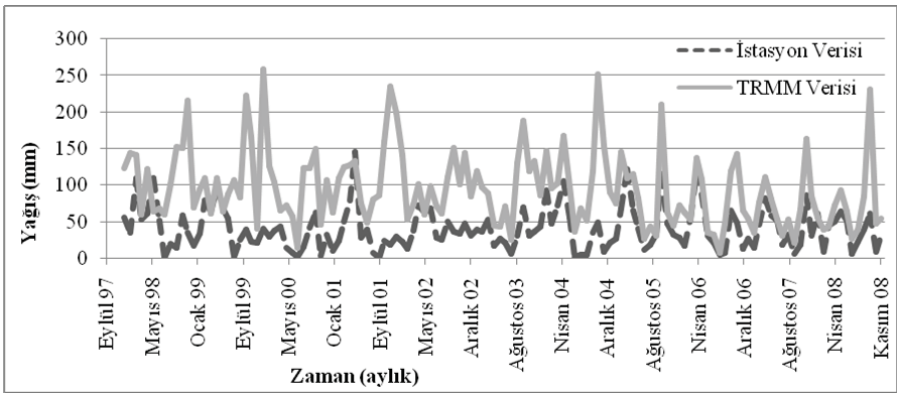
		Aylık Taban		Mevsimlik Taban										Yıllık Taban	
				Tüm Mevsimler		Kış		İlkbahar		Yaz		Sonbahar			
İstasyonNo.	İstasyon Adı	r	m	r	m	r	m	r	m	r	m	r	m	r	m
17040	**Rize**	**0,81**	0,58	**0,76**	0,51	0,38	0,51	**0,78**	0,65	0,13	0,08	0,49	0,36	0,07	0,12
17042	**Hopa**	**0,86**	0,59	**0,88**	0,61	**0,84**	1,23	**0,84**	0,64	**0,78**	0,47	0,65	0,54	0,68	0,54
17045	Artvin	0,58	1,03	0,51	1,17	0,14	0,23	0,44	0,72	0,49	1,26	0,57	0,95	0,47	1,13
17088	Gümüşhane	0,58	1,14	0,59	1,02	0,16	0,22	0,48	0,41	**0,71**	1,63	0,00	0,03	0,20	0,32
17096	Erzurum	0,60	0,85	0,57	0,72	0,58	1,33	**0,76**	0,89	**0,89**	0,85	0,30	0,54	0,59	0,93
17099	**Ağrı**	**0,70**	0,55	**0,76**	0,56	0,04	0,04	0,56	0,41	0,67	0,92	0,62	0,43	0,21	0,25
17100	**Iğdır**	**0,85**	0,95	**0,87**	0,97	**0,72**	1,39	**0,72**	0,87	**0,88**	1,39	**0,84**	1,14	**0,78**	1,31
17626	**Akçaabat**	**0,80**	0,78	**0,78**	0,76	0,07	0,06	0,21	0,30	**0,85**	1,10	0,43	0,29	0,60	0,79
17628	**Pazar Rize**	**0,80**	0,56	**0,81**	0,61	0,53	0,53	**0,71**	0,63	0,44	0,23	0,45	0,45	0,36	0,30
17630	Ardahan	0,44	0,38	0,42	0,27	0,61	1,10	0,49	0,54	**0,78**	0,86	0,66	0,70	**0,82**	1,00
17656	**Arpaçay**	**0,79**	0,68	**0,85**	0,75	0,56	1,48	0,50	0,40	**0,94**	1,04	**0,91**	0,83	**0,78**	1,08
17666	İspir	0,53	1,01	0,42	0,75	0,35	0,59	**0,80**	0,95	0,38	0,58	0,06	-0,09	0,10	0,10
17668	Oltu	0,58	0,67	0,54	0,52	0,38	1,13	0,52	0,76	**0,82**	0,85	0,67	0,92	0,67	0,67
17686	Bayburt	0,39	0,69	0,24	0,37	0,29	0,82	**0,79**	0,80	0,41	0,55	0,60	-1,21	0,08	0,24
17688	Tortum	0,46	0,57	0,25	0,26	0,51	1,15	**0,84**	0,77	**0,91**	0,64	0,27	0,44	0,55	0,48
17690	**Horasan**	**0,78**	0,74	**0,82**	0,65	0,62	1,49	**0,85**	0,60	0,65	0,61	**0,86**	0,80	**0,73**	0,65
17692	**Sarıkamış**	**0,77**	0,61	**0,79**	0,55	0,63	0,57	**0,85**	0,58	0,67	0,50	0,69	0,58	**0,90**	0,77
17718	**Tercan**	**0,74**	0,91	**0,71**	0,83	**0,70**	1,16	0,68	0,62	**0,93**	0,93	0,55	0,43	0,47	0,42
17720	**Doğubeyazıt**	**0,76**	0,81	**0,86**	0,97	0,55	0,56	**0,87**	1,04	0,55	0,66	**0,81**	0,83	**0,74**	0,88
17736	**Mazgirt**	**0,82**	0,52	**0,88**	0,58	**0,86**	0,65	0,68	0,40	0,46	0,37	**0,82**	0,45	**0,88**	0,61
17740	**Hinis**	**0,83**	0,58	**0,92**	0,68	**0,77**	0,58	**0,80**	0,49	**0,81**	0,77	**0,87**	0,65	**0,87**	0,52
17774	**Karakocan**	**0,87**	0,72	**0,93**	0,79	**0,92**	0,89	**0,92**	0,48	0,47	0,75	0,64	0,37	**0,87**	0,60
17776	**Solhan**	**0,86**	0,64	**0,91**	0,66	**0,74**	0,50	**0,70**	0,44	**0,86**	1,11	**0,89**	0,89	**0,75**	0,69
17778	**Varto**	**0,81**	0,59	**0,85**	0,55	0,69	0,27	**0,72**	0,39	0,66	0,69	**0,82**	0,63	**0,94**	0,81
17780	**Malazgirt**	**0,81**	0,56	**0,84**	0,57	0,55	0,60	**0,72**	0,39	0,65	0,88	**0,75**	0,49	**0,77**	0,33
17784	**Ercis**	**0,86**	0,60	**0,91**	0,63	**0,87**	0,60	**0,77**	0,43	0,47	0,44	**0,89**	0,56	**0,86**	0,61



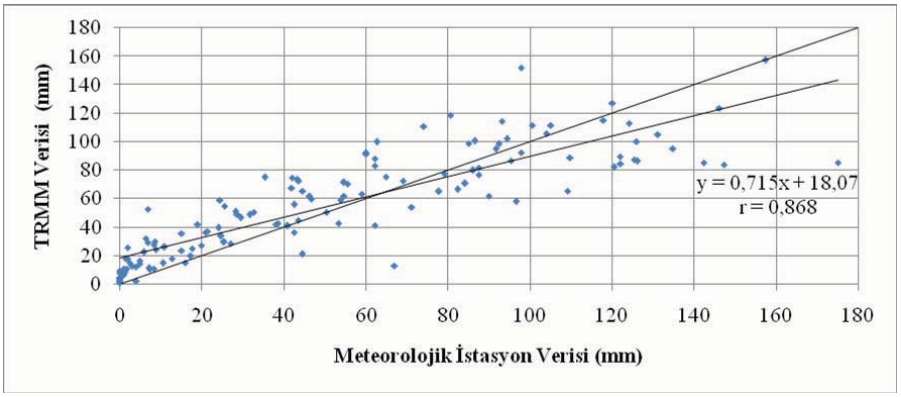
Şekil 3 Korelasyon katsayının istasyonlar içinde aylık mevsimsel ve yıllık gösterimi



Şekil 4 17774 Karakocan istasyonu için zaman yağış diyagramı

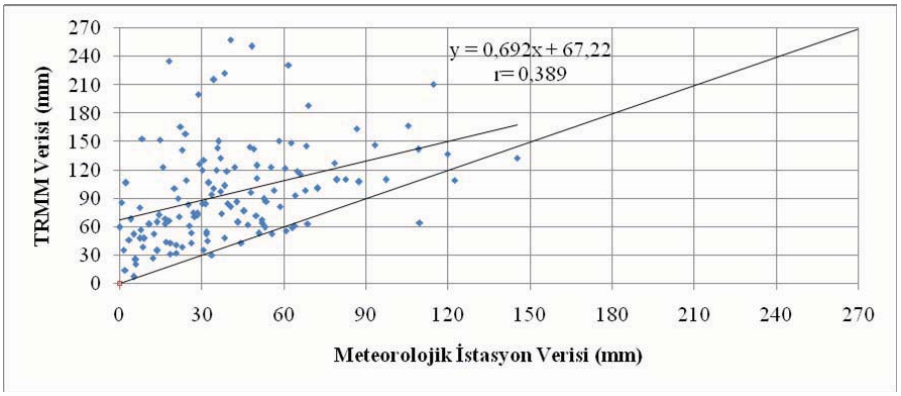


Şekil 5 17686 Bayburt istasyonu için zaman yağış diyagramı



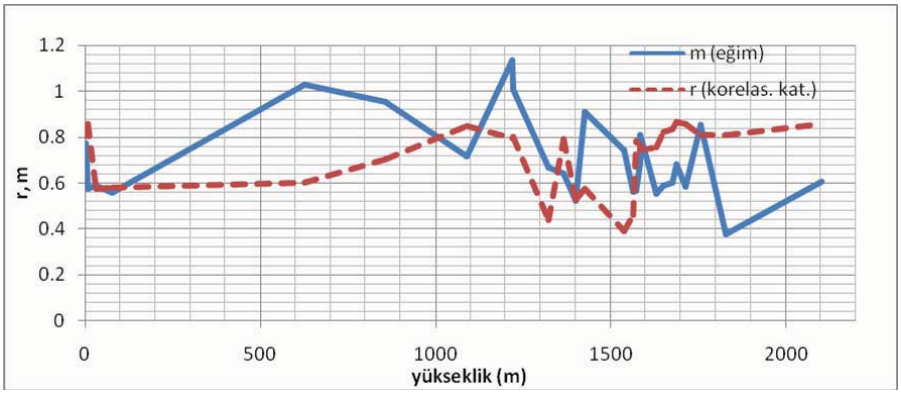
Şekil 6 17774 Karakocan istasyonu için saçılma diyagramı

Aylık yağış değerlerinin karşılaştırılmasında yüksek korelasyon veren istasyonların regresyon analizleri incelendiğinde uydu verisinden elde edilen yağış değerlerinin düşük yağış miktarlarında yüksek değerler verdiği, yüksek yağış miktarlarında ise daha düşük değerler verdiği gözlenmektedir (**Şekil 6**). Aylık yağışlar arasında düşük korelasyon gösteren istasyonlarda uydu verisinin oldukça yüksek yağış değerleri belirlediği görülmektedir (**Şekil 7**).



Şekil 7 17686 Bayburt istasyonu için saçılma diyagramı

Zamansal olarak incelenen korelasyon değerlerinin, istasyonların bulunduğu yüksekliğe bağlılığı da araştırılmıştır. **Şekil 8' de**, **Tablo 2' de** gösterilen sonuçların (eğim ve korelasyon katsayısı) meteorolojik istasyonların konumlarıyla (yükseklik) ilişkisi karşılaştırılmıştır.



Şekil 8 Korelasyon ve eğim katsayılarının (aylık bazdaki sonuçlar) meteorolojik istasyonlarının yüksekliklerileyle ilişkisinin karşılaştırılması

4.2. Mekan Bazında Yağış Verilerinin Karşılaştırılması

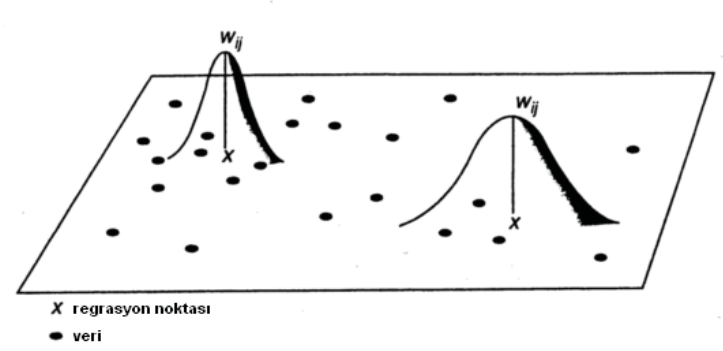
İdeal durumda, karşılaştırma yapılan her bir istasyonda regresyon doğru katsayısının mekânsal değişimi ihmal edilebilir olmalıdır (Kamarianakis ve diğerleri, 2008). Bu sebeple, yer gözlem verisi ve uydu verisinin mekânsal durağansızlığının varlığı coğrafi ağırlıklı regresyon metodu kullanılarak ele alınmıştır.

Coğrafi ağırlıklı regresyon tekniği mekânsal veri analizini değerlendirmede kullanılır. Çalışma alanı içerisindeki verilerin ilişkisi aynı kabul edilir ancak ölçülen ve tahmin edilen veriler arasında mekâna göre değişiklikler olabilmektedir. Normal regresyon modeli şu şekilde ifade edilebilir (**Denklem (2)**);

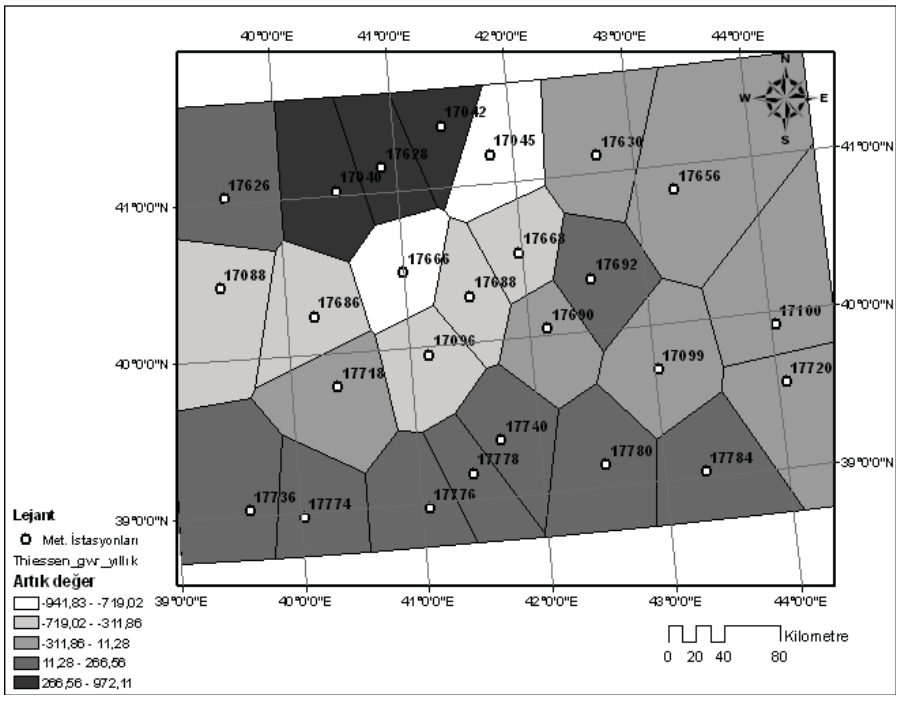
$$y(u,v) = b_0\,(u,v) + b_1\,(u,v)x_{\,1} + e\,(u,v) \qquad (2)$$

Bu denklemde y bağımlı değişkeni, b_1 bağımsız değişkeni, b_0 kesişim noktasını ve e artık değeri, (u,v) ise veri noktasının koordinatlarını ifade etmektedir.

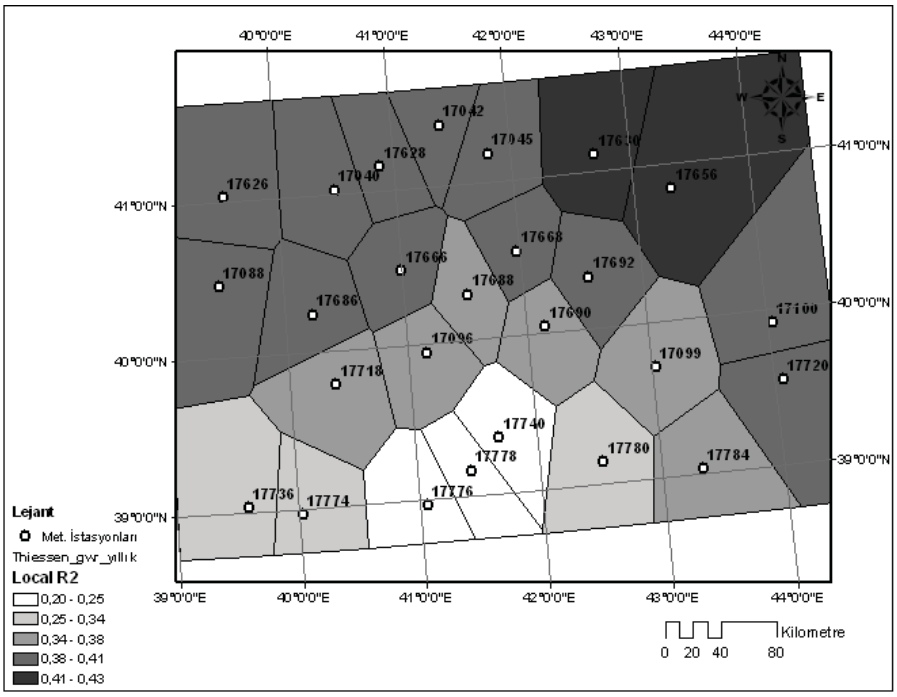
Coğrafi ağırlıklı regresyon, bant aralığının biçimine ve kapsamına bağlı olarak bu aralıktaki içine düşen her bir özellik için bağımlı ve bağımsız değişkenleri kullanarak ayrı bir denklem oluşturur. Bu çalışmada TRMM ve meteoroloji istasyonlarının yıllık ortalama yağış verileri kullanılarak ArcGIS programında Kernel (adaptive), bant-genişliği (AICc) seçilerek analiz yapılmıştır (**Şekil 9**). Bant-genişliği seçiminde üç olasılık vardır; AICc, CV ve bant-genişlik parametresi. İlk iki seçenek en iyi bant genişliğini otomatik bir şekilde sonuncu bant genişliğini ise kullanıcı kendi belirler. AICc modeldeki örnek sayısının az olduğu durumlarda tercih edilir. Kernel içinse iki seçenek vardır; adaptive ve fixed. Fixed Kernel daha çok modeldeki örnekler düzenli bir şekilde dağılmışsa (ağ gözü gibi), adaptive Kernel ise modeldeki örneklerin yoğunlukları çalışma alanı içinde değişiyorsa seçilir (Charlton ve Fotheringham, 2009). Bu çalışmada istasyonların yoğunluğu değiştiğinden ve de sayısının az olması sebebiyle Kernel için adaptive, bant-genişliği içinse AICc seçilmiştir. R^2 ve artık değerlerin görsel olarak ifade edilebilmesi için **Şekil 10** ve **11' da** görüldüğü gibi Thiessen poligonlar oluşturulmuştur.



Şekil 9 Adaptive Kernels, Coğrafi ağırlıklı regresyon



Şekil 10 Coğrafi ağırlıklı regresyon modeli ile artık değerlerin "e" Thiessen poligonları ile gösterimi



Şekil 11 Coğrafi ağırlıklı regresyon modeli ile R^2 katsayısının Thiessen poligonları ile gösterimi

5. DEĞERLENDİRİLME ve SONUÇLAR

Zaman-yağış diyagramında uydu ve yer tabanlı yağışın aynı trendi gösterdiği, belirli bir zaman dilimde (mevsimsel, ay ya da yıl olarak) uydu tabanlı yağış değerlerinin düşük yağışlarda yüksek, yüksek yağış değerlerinde daha düşük sonuçlar verme eğilimi belirlenmiştir. Sonuçlar Wang ve diğerleri (2009) çalışması ile de tutarlılık göstermektedir. Korelasyon katsayısının değişimi yağış miktarı ile ilintili olmadığı görülmüştür.

TRMM verisin hassasiyetinin incelenen bölge içinde yüksekliğe bağlı olmadığı görülmüştür.

Coğrafi ağırlıklı regresyon metodu kullanılarak mekânsal anlamdaki değişim gözlenmiştir. İdeal koşullarda artık değerin sıfıra, R^2 katsayının ise bire yakın olması beklenirdi. R^2 katsayısının mekânsal dağılımına bakıldığında Solhan (17776), Varto (17778), Hinis (17740) istasyonları için oldukça düşük olduğu gözlenmiştir.

Uydu tabanı yağış değerlerinin kıyı bölgelerde yer istasyonlarında gözlenen yağış değerlerine yakın değerler verdiği görülmüştür. Özellikle topoğrafyanın etkisinin görüldüğü ve orografik yağış karakteristiği gösteren bu bölgelerde yüksek R^2 değeri elde edilmiştir. Mevsimsel yağışlar incelendiğinde ilkbahar ve yaz yağışlarının

korelasyon değerlerinin daha yüksek olduğu görülmektedir.

Karşılaştırmalar yapılırken uydu verisinin alansal, istasyon verisinin noktasal anlamda yağışı ifade ettiği ancak yerel yağışlarda TRMM verisinin mekânsal çözünürlüğünün fazla olması sebebiyle hassas sonuçlar veremeyeceği bilinmektedir.

Coğrafi ağırlıklı regresyon ile elde edilen mekansal dağılım ve lokal katsayılar uydu verisinin düzeltilmesinde kullanılarak uydu tabanlı yağış verisinden faydalanmak mümkün olacaktır.

İleriki çalışmalarda uydu tabanlı yağış verisinin hidrolojik etki çalışmalarında kullanılarak akım değerlerini elde etmede kullanımı amaçlanmaktadır.

6. KAYNAKLAR

Casimiro WSL, Labat D, Guyot JL, Ronchail J, Ordonez JJ, "TRMM rainfall data estimation over the Peruvan Amazon-Andes basin and its assimilation into a monthly water balance model", Proc of Symposium HS.2 at the joint IAHS & IAH Convention, Hyderabad, India, IAHS Publ. 333: 245-252, September 2009.

Charlton M, Fotheringham AS, "Geographically weighted regression white paper", National Centre for Geocomputation, National University of Ireland Maynooth, Ireland, 2009.

Hoblit BC, Curtis DC, "Integration of radar rainfall into hydrologic models" 9th International Conference on Urban Drainage Global Solutions for Urban Drainage, Portland, Oregon, September 2002.

Hughes DA, "Comparison of satellite rainfall data with observations from gauging station networks", Journal of Hydrology, 327: 399-410, 2006.

Kamarianakis Y, Feidas H, Kokolatos G, Chrysoulakis N, Karatzias V, "Evaluating remotely sensed rainfall estimates using nonlinear mixed models and geographically weighted regression", Environmental Modeling and Software 23: 1438-1447, 2008.

NASA, TRMM Online Visualization and Analysis System (TOVAS), Erişim tarihi: 10 Nisan 2010, http://gdata1.sci.gsfc.nasa.gov/daac-bin/G3/gui.cgi?instance_id=TRMM_3B42_Daily.

Wang H, Ren L, Yang X, "Prospect for TRMM in rainfall estimates: a case study in the Laohahe basin, China", Proc of Symposium HS.2 at the joint IAHS & IAH Convention, Hyderabad, India, IAHS Publ. 333: 253-258, September 2009.

Türkiye'deki Yağış Serileri İçin Homojenlik Testleri

A. Cem Koç[1], Mahmut Fırat[2], Fatih Dikbaş[3], Mahmud Güngör[4]

Özet: Bu çalışmada Türkiye'deki 267 yağış gözlem istasyonunun verilerine homojenlik testleri uygulanmıştır. Bu amaçla, Devlet Meteoroloji İşleri (DMİ) tarafından işletilen istasyonların, 1968 ve 1998 yılları arasındaki aylık ve yıllık toplam yağış değerleri dikkate alınmıştır. İstasyonların eksik verileri her ay için 5 yıldan daha fazla ise o istasyon elenmiş daha az eksik veriler ise Beklenti Enbüyükleme (Expectation Maximization) yöntemi ile mesafe olarak en yakın, o aya ait yağış verisi tam olan, meteoroloji istasyonunun verileri kullanılarak tamamlanmıştır. Daha sonra istasyonların yıllık toplam yağış değerleri hesaplanmıştır. Bu verilerin hidrolojik, meteorolojik, iklim değişikliği ve tahmin çalışmalarında kullanılabilmesi için hidrolojik ve istatistik olarak güvenilir olması gereklidir. Bu nedenle, Standart Normal Homojenlik Testi (SNHT), Swed-Eisenhart (Run) Testi ve Pettit homojenlik testleri yıllık toplam yağış verilerine uygulanmıştır. Her test ayrı olarak uygulanmış ve homojen olmayan istasyonlar belirlenmiştir.

Anahtar Sözcükler: Homojenlik testleri, Yağış, Türkiye

Homogeneity Tests for Precipitation Series in Turkey

Abstract: In this study homogeneity tests were applied to the 267 meteorological stations in Turkey. Monthly and annual total precipitation values measured by Turkish State Meteorological Service between 1968 and 1998 were taken into consideration. If the data for a station is missing more than 5 years for each month that station was eliminated. Less missing values were calculated by means of the Expectation Maximization method by using the data of geographically nearest station which has no missing value for the related months. Then annual total precipitation values were calculated. This data should be trustworthy hydrological and statistical to use them in hydrologic, meteorological, climate change and expectation studies. For this aim, Standard Normal Homogeneity Test (SNHT), Swed-Eisenhart (Run) Test and Pettit homogeneity Tests were applied to the annual total precipitation values. Each test was performed separately and inhomogeneous stations were determined.

Keywords: Homogeneity Tests, Precipitation, Turkey

1. GİRİŞ

İklim değişikliği, taşkın ve kuraklık modellemesi, su kaynakları planlaması yağış-akış ilişkilerinin belirlenmesi, akış tahmini ile hidrolojik ve meteorolojik çalışmalar kullanılan verinin kalitesi ile yakından ilgilidir. Homojen olmayan kayıtların nedenleri, istasyondaki ölçüm yöntemine, istasyon civarındaki koşullara veya ölçüm cihazının güvenilirliğine bağlıdır. Bu nedenle gözlem istasyonlarından alınan

[1] Pamukkale Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Denizli, E-Posta: a_c_koc@pau.edu.tr
[2] İnönü Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Malatya, E-Posta: mfirat@inonu.edu.tr
[3] Pamukkale Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Denizli, E-Posta: f_dikbas@pau.edu.tr
[4] Pamukkale Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Denizli, E-Posta: mgungor@pau.edu.tr

veriler öncelikle güvenilirlik ve homojenlik testlerine tabi tutulmalıdır.

Literatürde çeşitli homojenlik testi yöntemleri kullanılarak yağış, sıcaklık, akış vb. serilerinin homojenliği test edilmiştir. Yapılan çalışmalara bakıldığında en çok kullanılan yöntemler, Standart Normal Homojenlik Testi (SNHT), Swed-Eisenhart Run Testi ve Pettit testleridir. Bu çalışmada da bu üç yöntem kullanılmış ve ülkemizdeki yıllık toplam yağış serilerinin homojenliği test edilmiştir. Bu konudaki benzer çalışmalar şunlardır:

Yıldırım ve diğ. (2004) yaptıkları çalışmada, Gediz havzasında yağış akış ilişkisinin modellenmesinde kullanılan yağış ve akış serilerinin homojenliğini test etmişlerdi. Bu amaçla 1964-1999 yılları arasında gözlem değerine sahip 4 adet DSİ akım gözlem istasyonunun akış ve Akhisar meteoroloji istasyonunun yağış verileri kullanılmıştır. Ortalama ve varyansların homojenliğini belirmek için Kruskal-Wallis homojenlik testi, gözlemlerin rasgele olup olmadığını belirlemek için runs testi, Gözlem serilerinin bağımlılığı için ise parametrik bir korelasyon testi olan Wald-Wolfowitz testleri kullanılmıştır.

Em vd diğ. (2007) yaptıkları çalışmada, GAP bölgesinde Devlet Meteoroloji İşlerine ait 15 istasyondan elde edilen 1970–2003 yılları arası günlük yağış verilerinden elde edilen ortalama aylık ve yıllık toplam yağış değerleri için parametrik olmayan Swed-Eisenhart run testi yöntemi ile homojenlik analizi yapmışlardır. Sonuçta Nusaybin-Cizre ikilisinde heterojenlik bulunmuş diğer istasyonların birbiriyle ilişkisi homojen olarak değerlendirilmiştir.

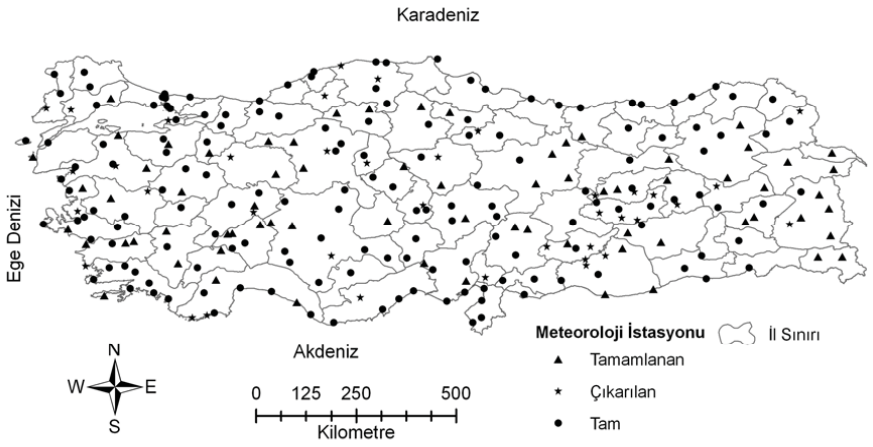
Sönmez ve Kömüşcü (2007) tarafından yapılan çalışmada K-ortalamalar yöntemi ile aylık yağış toplamları kullanılarak Türkiye'nin ana yağış bölgeleri belirlenmeye çalışılmıştır. 1977-2006 yılları arasında eksiksiz ölçümü olan 156 adet büyük klima meteoroloji istasyonuna her istasyon için en yakın 5 istasyonla Kruskal-Wallis homojenlik analizi uygulanmıştır. Sonuçta 16 istasyonun yağış serilerinin homojen olmadığı belirlenmiştir.

Karabörk ve diğ. (2007) tarafından Türkiye'deki 212 yağış gözlem istasyonunun 1973-2002 yılları arasındaki değerlerine uygulanan SNHT ve Pettit homojenlik testleri sonucunda 43 istasyonun homojen olmadığı belirtilmiştir.

Şahin ve Cığızoğlu (2010) tarafından yapılan çalışmada ise 1974-2002 yılları arasında yağış verisi olan 232 adet meteoroloji istasyonunda; Bivariate, SNHT, Buishand, Pettit ve V. Neumann homojenlik testleri uygulanmıştır. Sonuçta 30 istasyonun verilerinin homojen olmadığı belirtilmiştir.

2. MATERYAL ve YÖNTEM

Bu çalışmada Türkiye'de Devlet Meteoroloji İşleri (DMİ) tarafından işletilen 267 adet büyük klima tipi meteoroloji istasyonunun yağış gözlem verileri kullanılmıştır. İstasyonların 1968 ve 1998 yılları arasındaki aylık ve yıllık toplam yağış değerleri dikkate alınmıştır. Her ay için 5 yıldan daha fazla eksik veri var ise o istasyon elenmiş daha az eksik veriler ise Beklenti Enbüyükleme (Expectation Maximization-EM) yöntemi ile mesafe olarak en yakın ve o aya ait yağış verisi tam olan meteoroloji istasyonunun verileri kullanılarak tamamlanmıştır. Daha sonra istasyonların yıllık toplam yağış değerleri hesaplanmıştır. Şekil 1'de çalışmada kullanılan meteoroloji istasyonlarının yerleri görülmektedir.



Şekil 1. Çalışmada kullanılan, verileri tamamlanan ve çıkarılan meteoroloji istasyonları

Zaman serilerindeki homojenlik testleri "mutlak yöntem" ve "göreceli yöntem" olarak iki grupta toplanabilir. İlk yöntemde test her istasyona ayrı olarak uygulanır. İkinci yöntemde komşu (referans) istasyonlar da kullanılır. Bu çalışmada Standart Normal Homojenlik Testi (SNHT), Swed-Eisenhart (Run) Testi ve Pettit homojenlik testleri yıllık toplam yağış verilerine uygulanmıştır.

2.1. Standart Normal Homojenlik Testi (SNHT)

Standart Normal Homojenlik Testi (SNHT) zaman serilerinde homojen olmayan yapının belirlenmesi için önerilmiştir. SNHT yöntemi referans serisi tabanlı bir yöntemdir. Bu yöntemde, test serileri ile bu seriye komşu referans serisine/serilerine ait verilerin değişmezlik oranları kullanılmakta ve test verilerindeki homojen olmayan yapı bu değişmezlik oranlardaki değişimler dikkate alınarak belirlenmektedir (Gonzalez-Rouco ve diğ., 2001).

SNHT yöntemi uygulanırken, yağış serileri için test serisi ile referans serisi arasındaki oran kullanılır. Bu oranın normal dağılıma uyduğu kabul edildiği için SNHT yöntemi parametrik bir yöntemdir. Bu yöntemin uygulanmasında en önemli adımlardan birisi referans serilerinin belirlenmesidir.
İncelenen bölgede, veri serilerinin homojenliği hakkında bilgi yok ise ya da daha önceden homojenliği test edilmemişse, referans serisi olarak kullanılacak istasyonların belirlenmesi için birkaç defa test yapılmalı ve yüksek kalitede gözlem kayıtlarına sahip seriler referans istasyonu olarak seçilmelidir. Özellikle çok geniş bir alanı kapsayan bölgede yer alan istasyonlar ile çalışırken uygun referans istasyonlarının bulunması oldukça güçtür. Bunun için test istasyonuna yakın bütün istasyonlar denenerek en uygun referans istasyonu belirlenmelidir.

Veri setindeki serilerin hiçbiri daha önceden test edilmemiş ise homojen olmayan serilerin referans serisi olarak kullanılması SNHT yönteminin sonuçlarını negatif yönde etkileyecektir (Göktürk ve diğ., 2008). Bunun için Hanssen Bauer and Forland (1994)

tarafından referans serilerinin belirlenmesi için geliştirilen 5 adımlı yöntem kullanılmakta ve uygulanmaktadır. Çizelge 1'de; H: homojen seri, I: homojen olmayan seri, HC: düzeltme yapıldıktan sonra homojen seri ve IC: düzeltme yapıldıktan sonra homojen olmayan seri anlamına gelmektedir.

Bu yöntem temel olarak aşağıdaki işlem adımlarını kapsamaktadır.

1. Olası referans serilerinin belirlenmesi için her bir zaman serisi için test uygulanır. Bu ilk test ile istasyonlar homojen (H1) ve homojen değil (I1) şeklinde sınıflandırılır.
2. İlk test sonucunda homojen olmayan (I1) istasyonları için düzeltme yapılır. Bu adımda, referans serisi olarak homojen H1 ve düzeltilmiş I1 serileri kullanılarak bütün orijinal seriler için test tekrar uygulanır. Bu test adımı sonucunda H2 homojen seriler ve I2 homojen olmayan seriler elde edilir. Böylece homojen olmayan istasyon sayısı azaltılmış olur.
3. İkinci adımda test sonucunda elde edilen homojen olmayan I2 serileri düzeltilir ve test sadece bu düzeltilmiş serilere uygulanır. Referans serisi olarak ise homojen seriler H2 ve düzeltilmiş I2 serileri kullanılır. Bu test sonucunda, düzeltmeden sonra homojen seriler HC3 ve düzeltmeden sonra homojen olmayan istasyonlar IC3 elde edilir. Bu aşamada homojen seriler (H2 ve HC3) gruplandırılır iken homojen olmayan seriler ise IC3 şeklinde olur.
4. Bu aşamada bütün seriler (homojen H2 ve düzeltilmiş I2 serileri) tekrar test edilir. Bunun için referans serisi olarak homojen seriler H2 ve HC3 serileri kullanılır. Bu test işleminde, H2 serilerinin uygulanması sonucunda 2 alt seri elde edilir. Bunlar homojen seriler H4 ve en az bir tane homojen olmayan seri içeren I4 şeklindedir. Düzeltilmiş I2 serilerinin uygulanması sonucunda ise yine 2 alt seri grubu elde edilir. Bunlar ise homojen serileri içeren HC4 ve en az iki tane homojen olmayan seri içeren IC4 şeklindedir.
5. Bu adımda, homojen olmayan I4 serileri düzeltilir ve homojensizlikleri kontrol edilir. Bu adımda I4 grubu serilerinin test edilmesinde referans serisi olarak homojen H4 serileri ve düzeltmeden sonra homojen HC4 serileri kullanılır.
6. Bu işlem adımlarının sonucunda, H4 homojen serileri içeren grup, düzeltmeden sonra homojen serileri içeren HC4 ve HC5 grupları ve düzeltmeden sonra homojen olmayan serileri içeren IC4 ve IC5 grupları elde edilmiştir.

Bu işlem adımlarının sonucunda homojen seriler: H4, HC4 ve HC5 grupların toplamına eşittir. Homojen olmayan seriler ise: IC4 ve IC5 gruplarının toplamından oluşmaktadır.

Çizelge 1. Referans Serileri ile test serilerinin homojenlik analizi işlem adımları

İşlem Adımı	Giriş Serileri		Çıkış Serileri			
	Test	Referans	H	HC	I	IC
1	Tüm Seriler	Tüm Seriler	H1	-	I1	-
2	Tüm Seriler	H1 I1	H2	-	I2	-
3	I2	H2	-	HC3	-	IC3

4	H2 I2	I2 H2 HC3	H4	HC4	I4	IC4
5	I4	H4 HC4	-	HC5	-	IC5

SNHT yöntemi referans serileri temel aldığı için, referans serilerinin belirlenmesi oldukça önemlidir. Bu durum özellikle gözlem verisinin çok az ya da yetersiz olduğunda daha da önemlidir. Bu nedenle istasyonlarda aylık seriler ile çalışmak, her bir aday istasyon için referans serilerinin belirlenmesi için daha yüksek korelasyonların elde edilmesinde faydalı olmaktadır. Test serileri arasındaki korelasyon > 0.70- 0.80 olması durumunda referans serisine karar verilir.

1. Eğer bir istasyonda aylık serilerden sadece bir tanesi test edilebilir ya da hiç biri test edilemez ise bu durumda bu istasyon "test edilemez" olarak belirlenir ve karar kullanıcıya bırakılır.
2. Eğer bir istasyonda test edilebilir aylık zaman serilerinden hepsi homojen değere sahipse bu durumda istasyon homojen olarak belirlenir.
3. Eğer bir istasyonda test edilebilir aylık serilerden biri homojen olmayan yapıya sahip ise bu durumda düzeltme yapılmaz. Sadece bir ay için düzeltme faktörüne bakılır. Eğer düzeltme faktörü 0.5 ile 1.5 arasında ise bu durumda bu ay ihmal edilir ve bu istasyon homojen olarak kabul edilir. (0.5 ile 1.5 aralığı tamamen keyfi olup 0.5'den küçük ve 1.5'den büyük düzeltme faktörlerine sahip istasyonlar için, istasyonun bulunduğu bölgedeki diğer istasyonların durumu ve temsil ettiği alan gibi faktörlere bağlı olarak karar kullanıcıya bırakılır).
4. Eğer bir istasyonda test edilebilir aylık serilerden 2 ya da daha fazlası homojen olmayan yapıya sahip ise bu durumda bu istasyonda homojen olmayan farklı ayların yılları karşılaştırılır. Eğer homojen olmayan farklı ayların yılları 5 yıllık zaman aralığında ise bu durumda aylık serilerin düzeltme faktörleri yardımıyla düzeltme yapılır ve istasyon "düzeltme yapıldıktan sonra homojen" şeklinde ifade edilir. Bütün aylık seriler için aynı düzeltme faktörünün kullanılması önerilmektedir.
5. Eğer test edilebilir aylık serilerinden hiçbiri/herhangi biri " düzeltmeden sonra homojen değil" ise bu durumda bütün aylar " düzeltmeden sonra homojen değil" olarak ifade edilir.

2.2. Run (Swed-Eisenhart) Homojenlik Testi

Run testi, verilerin istatistik açıdan güvenirliklerini sınamak amacıyla, tüm verilerin aynı toplumdan geldiği ve birbirinden bağımsız olduğu kabulü veya tersi şeklindeki iki varsayımı kontrol etmek için kullanılır. Verilerin homojenliği için yapılan varsayımlar şunlardır;

H0: Veriler homojendir.
H1: Veriler homojen değildir

Run testinin uygulanabilmesi için zaman serisinin belirli bir seviyeden kesileceği kritik

bir değer belirlenmelidir. Bu seviye ortalama değer, orta değer (medyan) ve en sık değer (mod) alınabilir. Meteorolojik verilerde genellikle kritik değer olarak medyan alınır (Em ve diğ., 2007).

Test edilecek verilerden medyanın üstünde ve altında olan değerler tespit edilir. Üstünde kalan değerler pozitif, altında kalan değerler negatif olarak işaretlenir. Verilerin istasyonlara ait kritik değerin altında ve üstünde kalan değerler göstergelerle tespit edilir. Böylece kritik değer seviyesinin altında ve üstünde kalan ve birbirini takip eden değerlerin sayısı istasyonlara ait run sayısını (*r*) verir. *r*'ler normal dağılıma uyar.

Parametrik olmayan Run (Swed ve Eisenhart) testi aylık serilerin homojenliğinin belirlenmesi için %5 anlamlılık seviyesinde uygulanabilir. Denklem 1'den elde edilen z değerleri, %5 anlamlılık için normal dağılım tablosuna göre kritik değer olan ±1.96 ile karşılaştırılarak homojenliğine karar verilir. Test sonucuna göre %95 güven aralığı seviyesine karşılık gelen, z'nin ±1.96'dan büyük değerlerinde verinin homojen olmadığı varsayımı (H1 hipotezi), z'nin ±1.96 aralığındaki değerlerinde verinin homojen olduğu varsayımı (H0 hipotezi) kabul edilir.

$$z = \frac{r - \dfrac{2N_A N_B}{\left(N_A + N_B\right)} + 1}{\sqrt{\dfrac{2N_A N_B\left(2N_A N_B - N\right)}{N^2\left(N-1\right)}}} \qquad (1)$$

Bu bağıntıda; *z* test değeri, *N* veri sayısı, N_A medyandan büyük olan veri sayısı, N_B medyandan küçük olan veri sayısı ve *r* Run sayısını göstermektedir.

2.3. Pettit Homojenlik Testi

Pettit testi parametrik olmayan bir rank testidir. Y_1,…, Y_n'in rankları olan r_1, …, r_n'ler kullanılarak Denklem 2 ile hesaplanan X_k istatistiği grafik olarak gösterilir (Wijngaard ve diğ., 2003).

$$X_k = 2\sum_{i=1}^{k} r_i - k\left(n+1\right) \quad \text{k = 1, ……, n} \qquad (2)$$

Burada n veri sayısıdır. Eğer E yılında bir kırılma varsa test istatistiği k = E yılında minimum veya maksimum değerdedir (Denklem 3).

$$X_E = \max_{1 \le k \le n} \left| X_k \right| \qquad (3)$$

X_E için %5 kritik değerler Çizelge 2'de verilmiştir.

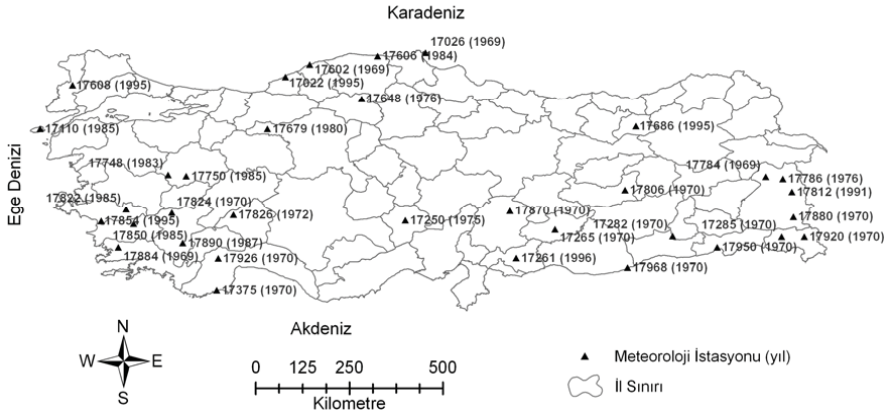
Çizelge 2. Pettit testi için X_E'nin %5 kritik değerleri

n	20	30	40	50	70	100
%5	57	107	167	235	393	677

3. SONUÇLAR

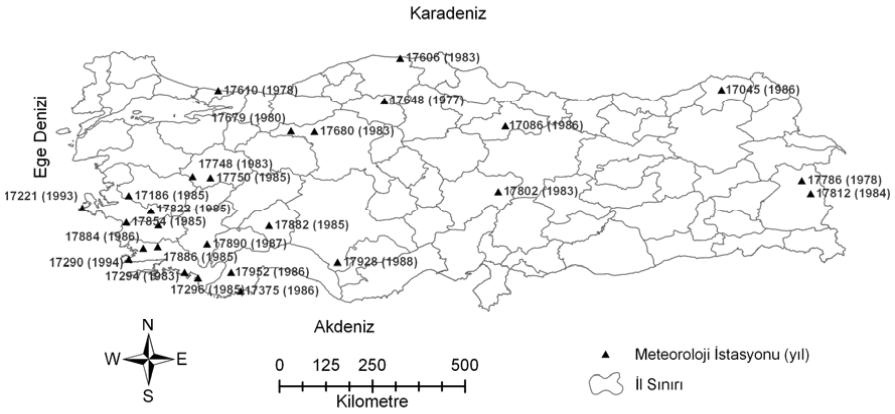
Analizler sonucunda, 38 istasyonun verileri 5 yıldan daha fazla eksik olduğu için tamamlama işlemi yapılmadan homojenlik çalışmasından çıkarılmıştır. SNHT yöntemine göre 34, Pettit yöntemine göre 27 ve Swed-Eisenhart Run yöntemine göre 4 istasyon homojen değildir. Ayrıca Pettit testi 1983 ve 1988 yılları arasında genellikle homojenliklerin bozulduğunu tespit etmiştir.

SNHT yöntemine göre homojen olmayan yağış gözlem istasyonları ve homojenliğin bozulduğu yıllar Şekil 2'de, Pettit yöntemine göre ise Şekil 3'te gösterilmiştir.



Şekil 2. SNHT yöntemine göre homojen olmayan istasyonlar ve homojenliğin bozulduğu yıllar

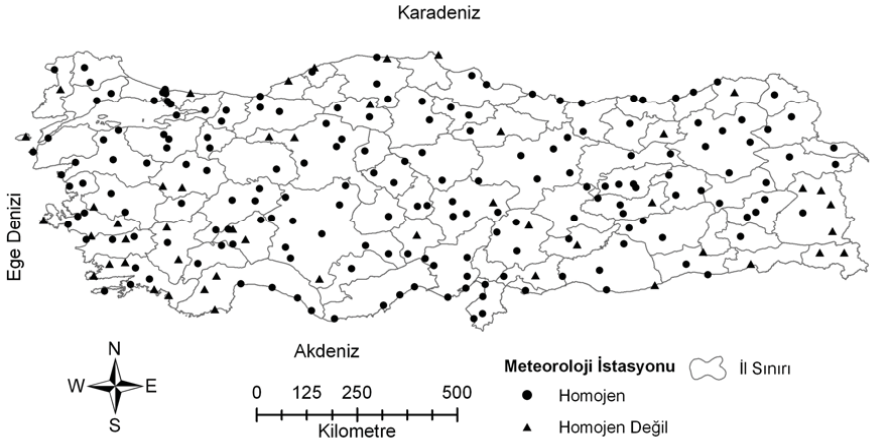
Üç yöntemin de birlikte değerlendirilmesiyle homojen ve homojen olmayan yağış gözlem istasyonlarının yerleri Şekil 4'te gösterilmektedir. Çizelge 3'te ise homojenlik testi sonuçlarının farklı yöntemlere göre karşılaştırması verilmektedir.



Şekil 3. Pettit yöntemine göre homojen olmayan istasyonlar ve homojenliğin bozulduğu yıllar

Çizelge 3. Homojenlik testi sonuçlarının farklı yöntemlere göre karşılaştırması

İstasyon No	SNHT	Pettit	Run	İstasyon No	SNHT	Pettit	Run
17265	1970 (8.48)	-	-	17812	1991 (12.86)	1984 (180)	-
17282	1970 (11.86)	-	-	17806	1970 (8.12)	-	-
17602	1969 (8.71)	-	-	17854	1995 (7.77)	1985 (144)	-
17606	1984 (8.99)	1983 (150)	-	17826	1972 (11.26)	-	-
17686	1995 (8.47)	-	-	17748	1983 (7.45)	1983 (154)	-
17870	1970 (10.59)	-	-	17026	1969 (7.61)	-	-
17880	1970 (10.32)	-	-	17850	1985 (8.19)	1985 (134)	-
17890	1987 (9.5)	1987 (140)	-	17608	1995 (7.82)	-	-
17950	1970 (8.17)	-	-	17920	1970 (8.44)	-	-
17968	1970 (7.75)	-	-	17022	1995 (7.65)	-	-
17045	-	1986 (135)	-	17186	-	1985 (142)	-
17221	-	1993 (42)	-	17802	-	1983 (164)	-
17290	-	1994 (31)	-	17610	-	1978 (134)	-
17294	-	1983 (130)	-2.554	17086	-	1986 (138)	-
17680	-	1983 (106)	-	17886	-	1985 (130)	-2.554
17882	-	1985 (86)	-	17285	1970 (8.35)	-	-
17300	-	-	-2.554	17648	1976 (13.03)	1977 (136)	-
17836	-	-	2.200	17750	1985 (8.42)	1985 (132)	-
17110	1985 (9.66)	-	-	17824	1970 (24.96)		-
17261	1996 (8.65)	-	-	17926	1970 (16.67)	-	-
17375	1970 (8.31)	1986 (124)	-	17952	-	1986 (134)	-
17784	1969 (7.87)	-	-	17884	1969 (11.80)	1986 (138)	-
17296	-	1985 (128)	-	17786	1976 (9.12)	1978 (140)	-
17928	-	1988 (132)	-	17679	1980 (18.11)	1980 (210)	-
17822	1985 (8.36)	1985 (154)	-	17250	1975 (8.40)	-	-



Şekil 4. Üç yönteme göre homojen ve homojen olmayan yağış gözlem istasyonlarının yerleri

Teşekkür

Bu araştırmaya, TÜBİTAK (Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu) tarafından 107Y318 numaralı proje ile maddi destek sağlanmıştır. Yazarlar, DMI (Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü) yetkililerine veri ve bilgi paylaşımları dolayısıyla teşekkür ederler.

Kaynaklar

Em A, Hamidi N, Toprak ZF, "GAP Bölgesinde Yıllık Toplam Yağışların Değişimi ve Homojenlik Analizi", I. Türkiye İklim Değişikliği Kongresi – TİKDEK, 379-393, 2007.

GÖKTÜRK OM, BOZKURT D, ŞEN ÖL, KARACA M, "Quality control and homogeneity of Turkish precipitation data", Hydrological Processes, 22: 3210-3218, 2008.

GONZALEZ-ROUCO JF, JIMENEZ JL, QUESADA V, VALERO F, "Quality control and homogeneity of precipitation data in the Southwest of Europe", Journal of Climate, 14: 964-978, 2001.

HANSSEN-BAUER I, FORLAND EJ, "Homogenizing long Norwegian precipitation series", Journal of Climate 7: 1001–1013, 1994.

KARABÖRK MÇ, KAHYA E, KÖMÜŞÇÜ AÜ, "Analysis of Turkish precipitation data: homogeneity and the Southern Oscillation forcings on frequency distributions", Hydrological Processes, 21: 3203-3210, 2010.

ŞAHİN S, CIĞIZOĞLU HK, "Homogeneity analysis of Turkish meteorological data

set", Hydrological Processes, 24: 981-992, 2010.

Sönmez İ, Kömüşcü AÜ, "K-Ortalamaları Kümeleme Yöntemi İle Türkiye Yağış Bölgelerinin Yeniden Tanımlanması ve Alt-Periyodlardaki Değişimleri", I. Türkiye İklim Değişikliği Kongresi – TİKDEK, 360-393, 2007.

WIJNGAARD JB, KLEIN TANK AMG, KÖNNEN GP, "Homogeneity of 20th century European daily tepparature and precipitation series", International Journal of Climatology, 23: 679-692, 2003.

YILDIRIM YE, TÜRKEŞ M, TEKİNER M, "Time-series Analysis of Long-term Variations in Stream-flow Data of Some Stream-flow Stations over the Gediz Basin and in Precipitation of the Akhisar Station", Pakistan Journal of Biological Sciences, 7 (1): 17-24, 2004.

Türkiye İçin Gözlem Veri Modeli ile Hidrolojik Bilgi Sistemlerine Giriş

Nermin Şarlak[1], David G. Tarboton[2], Kim Schreuders[2], Jeff S. Horsburgh[2]

Özet: Gözlemler hidroloji ve su kaynakları sistemleri çalışmalarının temelini oluşturmaktadır ve hidrolojik dönüşümün elemanları arasındaki ilişkiler gözlemlerden bulunabilmektedir. Hidrolojik gözlemler genelde bir veya birden fazla kamu kuruluşu tarafından yapılmakta ve kullanıcılara sunulmaktadır. Pahalı sensörler, uydu görüntüleri ve internet verilerinin çokluğu veri enflasyonuna sebep olurken gözlemlenen verilerinin kullanım alanındaki başarısı büyük veri setlerinin analizi, biraraya getirilmesi ve erişimine bağlıdır. Hidroloji Bilimi Üniversite Konsorsuyomu (CUASHI), Amerika`da ileri hidrolojik analizlerini desteklemek için bilgi teknolojileri ara yüzü geliştimektedir. CUASI hidrolojik bilgi sistemleri projesinin ürünlerinden biri de Gözlem Veri Modelidir (ODM). ODM bir çok araştırmacı tarafından toplanan nokta bazlı verilerin depolanması için uygun format sağlamak için geliştirilmiş ilişkisel veri tabanı modelidir. ODM` de veriler depolandıktan sonra, verilerin araştırılmasına ve erişilmesine olanak sağlayan Hidro sunucuları kullanılarak veriler yayınlanmakta ve HIS Santralinde kayıt edilmektedir.

Bu bildirinin amacı, ODM nokta bazlı veri modelinin Türkiye hidroloji alanına tanıtılmasıdır. Bu bildiride ODM`in vasıfları, dizayn presipleri ve nokta gözlemlerinin yayınlanması ve organizasyonunu geliştirmek için nasıl kullanıldığı gösterilmiştir. Türkiye`de verilerin yayınlanması için benzer sistemlerin geliştirilmesi durumunun göz önüne alınması önemlidir.

Anahtar Sözcükler: Gözlem Veri Modeli; Hidrolojik Bilgi Sistemleri; Web Sunucuları;
Veri Tabanı; Hidrolojik veri

Introduction to Hydrologic Information System with Observation Data Model for Turkey

Abstract: Observations are fundamental to hydrology and water resources system studies and the relationships between the elements of the hydrological cycle can be found from the observations. Hydrologic observations are usually measured by one or more public initiatives and serve the users.

[1] Gaziantep Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Gaziantep, E-Posta: sarlak@gantep.edu.tr
[2] Utah State University, Utah Water Research Laboratory, Logan, USA

While the combination of inexpensive sensors, satellites, and internet data availability lead to a flood of data, the successful use of these data depends on the ability to access, integrate, and analyze these large datasets. The Consortium of Universities for the Advancement of Hydrologic Science (CUAHSI) is developing information technology infrastructure to support advanced hydrologic analysis in United States of America. One of the products of CUASHI hydrologic information system (HIS) project is Observation Data Model (ODM). ODM is a relational database model to provide a consistent format for the storage of point data collected by multiple investigators. After the data is stored in ODM, it is published using HydroServer and registered at HIS Central where it becomes searchable and accessible.

The objective of this paper is to introduce the ODM to the hydrologic community in Turkey. This paper presents design principles and features of the ODM and how it can be used to enhance the organization and publication of point observations. It is important to consider the development of similar systems for publishing data in Turkey.

Keywords: Observation Data Model; Hydrologic Information System; Web Services; Database; Hydrologic Data

1. GİRİŞ

Gözlemler hidroloji ve su kaynakları sistemleri çalışmalarının temelini oluşturmaktadır ve hidrolojik dönüşümün elemanları arasındaki ilişkiler gözlemlerden bulunabilmektedir. Hidrolojik gözlemler genelde bir veya birden fazla kamu kuruluşu tarafından yapılmakta ve kullanıcılara sunulmaktadır. Ülkemizde bu görevi üstlenmiş olan kuruluşlar; Devlet Su İşleri (DSİ), mülga Köy Hizmetleri Bakanlığı, Elektrik İşleri Etüd İdaresi (EİE) ve Devlet Meteoroloji İşleridir (DMİ). Üstelik hidrolojik veriler akademik araştırmacılar tarafındanda toplanmaktadır.

Her bir organizasyon kendi veri formatına ve kendi veri depolama sistemine sahiptir ve farklı veri kaynaklarından verilerin birleştirilmesi pahalı olduğu kadar zordur. Ancak, yeni bilimsel çalışmaları başarıyla gerçekleştirebilmek için verilerin başarıyla kullanımı büyük veri setlerinin analizi, birleştirilmesi ve erişimine bağlıdır.

Bu sebepten, ülkemizin hidrolojik problemlerini çözebilmek ve güvenilir araştırmalar yapabilmek için farklı kaynaklardan verilerinin edinimi ve verilerin bir kaynakta sunulabilmesi konusununun önemine dikkat çekebilmek bu bildirinin başlıca amacıdır.

Hidroloji Bilimi Üniversite Konsorsuyomu (CUASHI) Amerika ve dünyada ileri hidroloji analizlerini ve bilgi teknolojileri ara yüzü gelişimini destekleyen ve 120`nin üzerinde üniversitenin dahil olduğu bir organizasyondur. CUASHI hidrolojik bilgi sistemi (HIS) hidrolojik verilerinin paylaşımını sağlayan internete dayalı bir sistemdir. CUASI hidrolojik bilgi sistemleri projesinin ürünlerinden biri de Gözlem Veri Modelidir (ODM). ODM bir çok araştırmacı tarafından toplanan nokta bazlı verilerin depolanması için uygun format sağlamak için geliştirilmiş bir modeldir. ODM aracılığı ile veriler depolandıktan sonra web sunucuları kullanılarak veriler, merkezi HIS web sitesinde kullanıcıların erişimi ve araştırması için web adresi şeklinde depolanmaktadır. CUASHI web sunucusu Amerika`da halka açık olan (NWIS, USGS ve STORET vb.

gibi) veri kaynaklarına erişimide desteklemektedir. Ayrıca, verilerinin halka açık olmasını istemeyen veri toplayıcılarının verilerini özel olarak sisteme yüklemelerine imkan sağlayacak program üzerinde de çalışılmaktadır.

Bu bildirinin amacı, ODM nokta bazlı veri modelinin Türkiye hidroloji alanında tanıtılmasıdır. Bu modelde hidrojik veriler gözlem hakkında yeterli yan bilgiler içerecek şekilde depolanmaktadır. Bu şekilde sadece veri değeri değil veri ile beraber nerde gözlemlendiği (enlem boylam gibi), ölçüm yapan kuruluş hakkında bilgi gibi pek çok bilgi de depolanabilmektedir. Bildirinin amacı ODM veri modelinin tanıtılması olduğu kadar asıl amaç, bu modelin Türkiye`de uygulanabilirliği ve geliştirilebilirliği konusunu gündeme getirebilmektir.

2. GÖZLEM VERİ MODELİ

ODM, nokta bazlı hidrolojik gözlemleri depolamak ve ham ölçüm hakkında veri değeri haricinde detaylı bilgiye (metadata) ulaşımı sağlamak için geliştirilmiş bir modeldir. Modelde veri edinimine izin veren sorgulama kapasitesi sağlamak için ilişkisel veri tabanı formatı kullanılmıştır (Tarboton ve ark., 2009). Ilişkisel veri tabanı tablolardan oluşmakta ve tablo içindeki verileri depolamak için kullanılmaktadır. Tablolar satır ve sütunlardan oluşmaktadır. Her bir satıra sadece bir değer yazılabilmektedir. Böylece, her bir gözlem değeri kayıt olarak ilişkisel veri sistemine yüklenebilmektedir. Bu veri tabanı modeli "ne, nerede, ne zaman" modelidir. Hangi gözlem nerede ve ne zaman ölçülmüştür gibi.

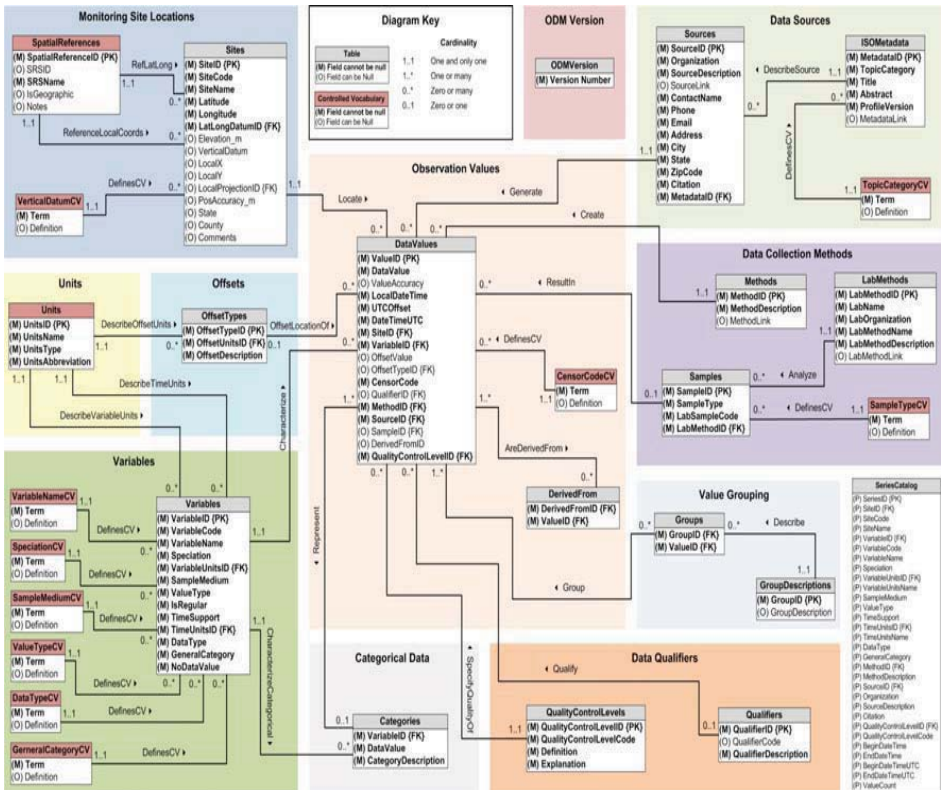
Özetleyecek olursak gözlem hakkındaki en temel özellikler (Maidment, 2008):

1. Gözlemlerin yapıldığı yer (nerde)
2. Gözlemin yapıldığı tarih ve saat (ne zaman)
3. Gözlemin ne olduğudur (akım, su kalitesi vb.) (ne).

Bu üç temel özelliğe ek olarak verinin kullanıcı tarafından yorumlanması için gerekli diğer ek bilgilerde ODM ile sisteme yüklenebilmektedir. Bu bilgiler veriyi ölçerken kullanılan metot bilgileri, ölçümü yapan organizasyon hakkında bilgi, veri tipi, verinin birimi, verinin güvenilirliği ve kalite kontrol seviyesi gibi ölçüm hakkındaki ek bilgilerdir. Veri değeri dışındaki diğer tüm bilgiler metadata olarak ifade edilebilir. ODM Şekil 1`de şemasal olarak gösterilmiştir. Şekil 1`den de görüleceği gibi ODM`in merkezinde yer alan veri değeri tablosu gözlemlerin sayısal olarak depolandığı yerdir. Şemadaki tablolarda PK, FK, M ve O gibi çeşitli kısaltmalar yer almaktadır. PK, FK, M ve O sırasıyla öncelikli klavuz, dış klavuz, zorunlu ve isteğe bağlı demektir. Öncelikli klavuzun anlamı; bu değer tablodaki her bir kayıdı tarif etmede eşsiz olmalıdır (kimlik numarası veya öğrenci numarası gibi) demektir. Veri değeri tablosunda dış klavuz olarak gösterilen bilgiler diğer tabloların öncelikli klavuz olduğunu göstermek için kullanılmıştır. Yani dış klavuz ilgili olduğu tabloda öncelikli klavuz olarak yer almaktadır. Tabloda zorunlu olarak işaretlenen bilgiler veriyi yükleyen kişi tarafından boş bırakılmaması gereken bilgileri ifade etmektedir. Aksi takdirde veriyi ODM`e yükleyemiyorsunuz (Tarboton ve Horsburgh, 2008).

Tablolar arasındaki ilişkiler de Şekil 1`de gösterilmiştir. Her bir ilişki bir isimle ifade

edilmiştir. Örneğin veri kaynağı (datasources) ile veri değeri (datavalues) tablosu arasındaki ilişki "generate" olarak isimlendirilmiş ve ilişkinin yönü veri kaynağından veri değeri tablosuna doğru gösterilmiştir. Bunun anlamı veri kaynağı bu veriyi sağlamaktadır demektir. Ayrıca tablolar arasındaki ilişkiler sayısal olarak da ifade edilmiştir. Örneğin, veri kaynağı ve veri değeri tablosu arasındaki ilişkide veri değeri tablosu tarafında "0..*" ve veri kaynağı tarafında "1..1" görülmektedir. Bunun anlamı sadece bir veri kaynağı sıfır veya pek çok veri değerini sağlamakla yükümlüdür demektir (Horsburgh ve ark., 2008). Model ingilizce olarak hazırlandığı için Şekil 1`de verilen ilişkisel tablo ingilizce olarak sunulmuştur.



Şekil 1. ODM şematik gösterimi (Horsburgh ve ark., 2008`den alınmıştır)

2.1. Veri Tabloları Hakkında Genel Bilgi

ODM`e veri Şekil 1`de verilen tablolar yardımıyla depolanmaktadır. Bu sebepten bildirinin bu kısmında başlıca göze çarpan tablolar hakkında kısaca bilgi verilecektir. ODM on ana tablodan oluşmaktadır. Bunlar gözlem istasyonu (sites), birim (unit), değişken (variable), konum (offset), veri değeri (datavalues), veri kalitesi (data qualifiers), veri grubu (value grouping), veri toplama metodu (data collection methods), veri kaynağı (data sources) ve kategori (categories) tablolarıdır. Ölçüm istasyonu hakkındaki enlem, boylam koordinat değerleri, istasyon ismi ve istasyon kodu gibi

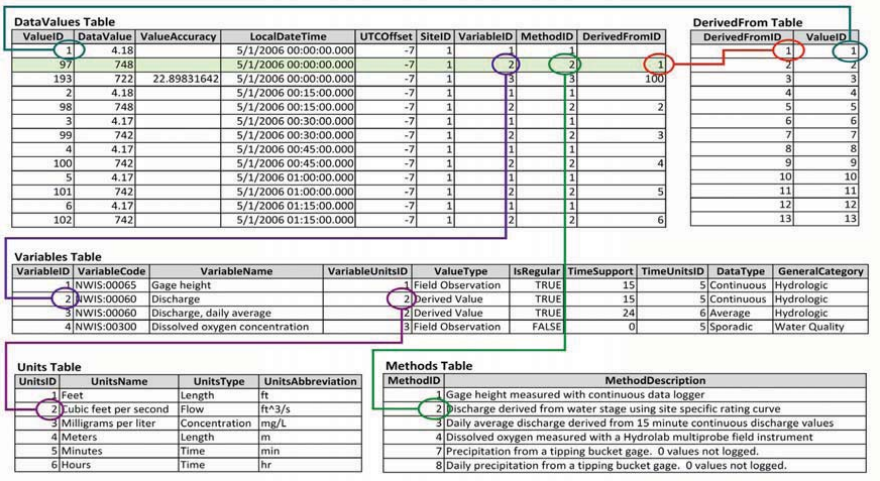
bilgiler gözlem istasyonu tablosunda depolanmaktadır. Ölçüm yapılan değişkenler, debi ve akım derinliği gibi hidrolojik değişkenlerden besin ve sediment yoğunluğu gibi su kalitesi değişkenlerine, sıcaklık ve yağış gibi meteorolojik değişkenlerine ve diğer pek çok değişken şeklinde değişken tablosuna depolanabilmektedir. ODM`de veri tipi çevre gözlemlerini yorumlamak için değişken tablosunda yer alan veri tipi kolonuna kaydedilebilmektedir. Bu özellik gözlemin anlık zamanda toplanan örnekde su kalitesi değişkeni gibi anlık sonuç mu olduğunu yoksa ölçümün belirli bir zaman dilimi boyunca yağış ölçüm aracı gibi ölçüm aletinden alınan toplam veya artan değer mi olduğunu kullanıcılara göstermek için oldukça önemlidir. Metot tablosu fiziksel veya kimyasal gözlemlerin nasıl toplandığını veya elde edildiğini tarif etmek için kullanılmaktadır. Bu tablo vasıtasıyla herbir ölçüm metodu bilgisi ODM`de depolanabilmektedir. Ayrıca labarotuvar metodları ve örneklerin analizlerinde kullanılan protokollerin detayları LabMethods tablosu ile sisteme deponabilmektedir. ODM`e kayıt edilebilen bir diğer önemli metadata kalite kontrol seviyesidir. Bu bilgi bize verinin ham verimi olduğu, yoksa verinin bir takım kalite kontrol süreçlerinden mi geçtiğini göstermektedir. Verinin kalite kontrol seviyesi ODM`e kalite kontrol seviyesi tablosu ile depolanabilmektedir. Ölçümün toplanması ve analizinden sorumlu kuruluş hakındaki bilgi verinin kökeni hakkında en önemli bilgidir. ODM veri tabanında herbir gözlem değeri için veriyi toplayan kuruluş hakkında bilgiyi depolayan veri kaynağı tablosuna bağlantı sağlamaktadır.

2.2. Örnek ODM Şeması

Bu kısımda Şekil 1`de gösterilen tablolar kullanılarak ölçüm verisinin ODM`e nasıl yüklenebileceği açıklanmaya çalışılacaktır. Şekil 2`de akım yüksekliği ölçümü ve akım yüksekliği ölçümünden türetilen debi değerlerinin ODM`e nasıl depolandığı görülmektedir.

Veri değeri tablosunda ValueID tablonun öncelikli klavuzunu göstermektedir. Daha öncede belirtildiği gibi bu değerin her bir gözlem değeri için tek olması gerekmektedir. SiteID, VariableID, MethodID ve DerivedFromID tablonun dış klavuzudur. Dış klavuzlar hakkında bilgileri almak için ilişkili tabloların kullanılması gerekmektedir. ODM, her bir ID değeri otomotik olarak sistem tarafından verilecek şekilde programlanmıştır. Böylece, kullanıcının bu değeri sisteme kendi girmesi gerekmemektedir.

Şekil 2`deki örneğimizde değişken tablosunda akım yüksekliğinin VariableID`si bir, debinin VariableID`si iki olarak sistem tarafından verilmiş olarak görülmektedir. Ayrıca



Şekil 2. ODM ile akım yüksekliği ve debi değerlerinin depolandığı tablolardan alıntılar (Horsburgh, 2009` dan alınmıştır)

değişken tablosu ile ölçümün araziden elde edilmiş bir ölçüm mü (akım yüksekliği gibi) yoksa türetilmiş bir ölçüm (debi gibi) olduğu bilgilerini, değer tipi kolonunu ile ölçümün sürekli veya ortalama veya anlık mı olduğu bilgilerini, veri tipi kolonu ile değişkenin birimlerini değişken birim (VariableUnitID) kolonu ile ODM`e depolayabiliyoruz.

Böylece, birim tablosundan her bir değişkenin birimini, metot tablosundan ölçümü bulmada kullanılan teknikleri ve veri değeri tablosundan her bir ölçümün sayısal değeri ile diğer metadata bilgilerinin ODM`e nasıl depolandığı Şekil 2`de gösterilmeye çalışılmıştır. Şekil 2`den de görüleceği gibi ODM`de çekirdek tablo veri değeri tablosu iken diğer tablolar veri değeri tablosunu desteklemek için kullanılan ilişkisel tablolardır. Veri değeri tablosunda görülen her bir ID kolonu (ValueID haricinde) diğer tablolar ile ilişki kurmak için kullanılmıştır (Horsburgh, J., 2009).

Aslında Kızılırmak havzasına ait 5 akım gözlem istasyonu aylık ortalama verilerinin ODM`e nasıl yüklenebileceği ile ilgili örnek hazırlanması düşünülmüş ama EIE ile yapılan protokolde verileri kimse ile paylaşmayacağım maddesi olduğu için her hangi bir yanlış anlaşılmaya neden olmamak için Türkiye verilerinin kullanılmasından kaçınılmıştır.

3. WATERONEFLOW WEB SUNUCUSU

Tanım olarak Wateroneflow, SOAP protokolu kullanılarak çevrim içi veri kaynaklarından hidrolojik gözlem bilgilerine ulaşımı sağlamak için geliştirilmiş web sunucularına verilen genel addır. SOAP ise web üzerinden fonksiyonları kullanmak için geliştirilmiş bir sistemin XML tabanlı kurallar topluluğudur. SOAP ile ilgili bütün mesajlar XML formatında iletilmektedir.

CUASHI-HIS, Wateroneflow olarak adlandırılan web sunucusunu hidrolojik veri tabanı ve kullanıcı arasında veri transferini sağlamak için kullanmaktadır. Bunu en basit olarak proğramlarda kullanılan fonksiyon olarak tanımlayabiliriz. Örneğin, sisteme 16`nın karekökü nedir diye sorduğumuzda programın karekök fonksiyonunu kullanmamız gerekir. Sistem proğramın karekök fonksiyonunu kullanarak bize 4 olarak cevap vermektedir. Sonuç olarak, Wateroneflow kullanıcının cevap olarak istediği fonksiyonu kullanmak için geliştirilen bir proğramdır. CUASHI Water Biçimleme Dili (WaterML; water markup language) ise veri tabanı (server) ve kullanıcı arasında verinin transferini destekleyen Wateroneflow mesajları için dizayn edilen elemanları XML şeması olarak tarif etmek için kullanılmaktadır. Çünkü XML formatı hem insanlar hemde bilgi işlem sistemleri tarafından kolayca okunabilecek dökümanlar oluşturmaya yarayan Dünya çapında ağ birliği (W3C) tarafından tanımlanmış standart bir dildir.

WateroneFlow sunucularında aşağıdaki 4 çift metot kullanılmaktadır:

1. **GetSitesXML/GetSites:** belirli bir gözlem ağındaki ölçüm istasyonlarının listesine ulaşımı sağlar;
2. **GetSiteInfo/GetSiteInfoObject:** istasyonda gözlemlenen değişkenler, ölçüm kayıdının peryodu ve her bir değişkenin eldeki toplam sayısı gibi detaylı istayonun metadatasına ulaşımı sağlar;
3. **GetVariableInfo/GetVariableInfoObject:** ölçümün birimi, veri tipi ve veri ismi gibi her bir değişkeni tarif eden metadataya ulaşımı sağlar;
4. **GetValues/GetValuesObject:** istenilen zaman diliminde (başlangıç tarihi ve saati ve bitiş tarihi ve saati), istenilen istasyonda ölçülen değişkenin sayısal değerlerine seri olarak ulaşımı sağlar.

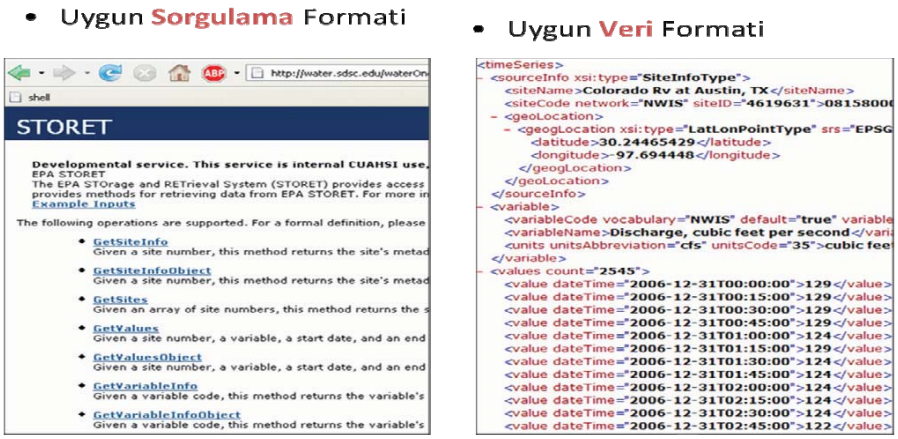
Ilk üç metot çifti, istasyon ve değişken hakkında bilgileri elde etmek için kullanılan metotlardır. Son metot çifti ise gözlem verilerini sayısal olarak sağlayan tek metotdur.

CUASHI-HIS iki grup WateroneFlow web sunucuları kullanmaktadır. Ilki ODM veri tabanında yayınlanan veriler için ikincisi hükümet kurumlarınca (NWIS ve STORET gibi) yayınlanan verilere ulaşımı sağlamak için kullanılan sunuculardır.

Sonuç olarak, Şekil 3`deki örnekden de görüleceği gibi WaterOneFlow WaterML`e dayalı web sunucuları takımı iken WaterML verilerle iletişimi sağlayan XML dilidir. Böylece kullanıcı ODM şemasını kullanarak verileri için gözlem veri tabanını (OD) oluşturmuş olurken WateroneFlow web sunucuları ile verilerini diğer kullanıcılarla paylaşmış olmaktadır.

4. HIDRO SUNUCUSU

Hidro Sunucusu, araştırmacıların ve veri yöneticilerinin gözlem verilerini depolamasına, yayınlamasına ve analizine izin veren araçların, web sunucularının ve veri tabanlarının toplandığı bir bilgisayardır. Sunucu, dünya çapında verinin erişimine izin veren dağıtım sistemlerinin bir parçası olurken verinin yerel bazda kontroluna izin verecek şekilde dizayn edilmiştir.



Şekil 3. Wateroneflow ile ulaşılmaya çalışılan bilgilere WaterML ile erişilen XML şeması (Zaslavsky ve Valentine, 2008` den alınmıştır)

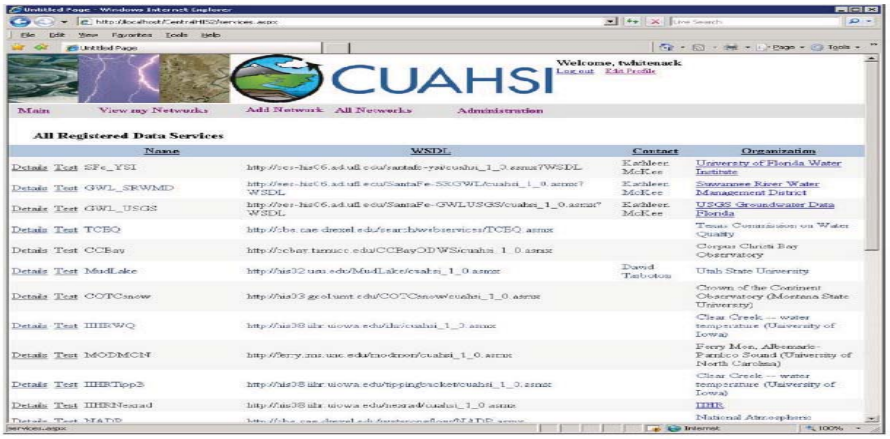
ODM, Hidro Sunucusunun özüdür ve nokta bazlı verilerin erişimi, sistematik organizasyonu ve depolanması için kullanılmaktadır. Hidro sunucusu içine, ODM Mikrosoft SQL sunucu veri tabanı olarak uygulanmıştır. Verinin ODM veri tabanına yüklemek için aşağıdaki programlar mevcuttur.

1. ODM Veri Yükleyicisi. Excel sayfalarındaki veya virgülle ayrılmış basit formatlardan ODM`e verileri yüklemek için kullanılmak için geliştirilmiş bilgisayar uygulayıcısıdır.
2. ODM Gruplandırma Veri Yükleyicisi. Veri kaydedicilerince öngörülen şekildeki dosyalardan verileri yüklemek için geliştirilmiş bilgisayar uygulayıcısıdır.
3. SQL Sunucusu Tamamlama Uygulayıcıları. Kompleks yükleme fonksiyonlarını programlamak için faydalı SQL sunucusuna eşlik eden Mıkrosoft uygulamasıdır.

ODM ile verilerinizi yüklemek, WateroneFlow ile verilerinizi diğer kullanıcılara ulaşımını sağlamak ve merkezi web sunucularını kayıt etmeniz için gerekli tüm proğramlar CUASHI HIS web sitesinde ücretsiz olarak paylaşılmaktadır (Zaslavsky ve Valentine, 2008).

4. HIS SANTRALI

HIS Santrali, WaterOneFlow web sunucularının ve kayıt edilen her bir sunucu için metadata içeren metadata kataloglarının merkezi sisteme kayıt edilmesini sağlar. Böylece HIS santrali kullanıcısı kendi sunucularını kayıt edebilir, test edebilir ve ayrıca halka açık olan diğer sunucularının listesine ulaşabilir. HIS Santrali, hem HIS Sunucusundaki ODM veri tabanından sunulan verilere erişimi sağlayan ODM WaterOneFlow sunucularını hemde NWIS ve STORET gibi hükümet tarafından sunulan verilere erişimi sağlayan WaterML



Şekil 4. Merkezi HIS kataloğundan görünüş (Zaslavsky ve Valentine, 2008` den alınmıştır)

uyumlu sunucularını gösterir. Şekil 4`de kayıt edilen veri sunucularının HIS Santralininde depolanan listesi görülmektedir. CUASHI`nin sağladığı bir diğer program da Hydroseek programıdır (Beran and Piasecki, 2009). Hydroseek, kayıt edilmiş veri sunucuları içindeki değişkenler ile ilişkilendirilmiş kavram ontolojisinden anahtar kelimelere dayalı veri keşfi için webe dayalı araştırma motorudur.

5. ANALIZ UYGULAMALARINDA VERININ KULLANIMI

5.1. HydroExcel

HydroExcel, CUASHI veri sunucularından gözlemlenmiş hidrolojik verileri yüklemek için HydroObject ve makro kullanan Miscrosoft Excel sayfalarıdır. Bunun anlamı, Excel aracılığı ile çevrim içi kaynaklardan zaman serisi verisi, değişken ve gözlem istasyonunu sorgulayabilirsiniz demektir. Web sunucusu WaterOneFlowu takip ettiği sürece HydroExcel sunucu ile iletişim sağlanabilmektedir.

5.2. HydroGet

CUASHI HydroGet ile kullanıcı gözlem verisini ArcGIS içine gömebilmektedir. HydroGet, web sunucusu WateroneFlow protokolu ile uyumlu olduğu sürece herhangi bir web sunucusu ile çalışabilmektedir.

5.3 HydroDesktop

HydroDesktop, verinin analizini ve modellenmesini desteklemek için kullanıcının bilgisayarında hidrolojik verinin nasıl erişilebileceği, organize edilebileği ve yönetilebileceği problemlerini çözmek niyetiyle geliştirilen bir araçtır.

HIS kapsamında veri bankasına depolanan verilere yukarıda bahsedildiği gibi web motoruna uygun olarak geliştirilen HydroSeek, ESRI`s ArcGIS`a uygun olarak geliştirilen HydroGet ve Mikrosoft Excele uygun olarak geliştirilen HydroExcel kullanılarak erişilebilmektedir. Ancak uygulamaların seçimi son kullanıcıda mevcut olan bilgisayar lisanslarina bağlı olduğu için, HIS projesi kapsamında tüm bu fonksiyonları kapsayan tek bir uygulama geliştirilmesi amacıyla HydroDesktop üzerinde çalısılmaktadır (www.hydrodesktop.org).

6. SONUÇ

Bu çalışmada, Amerika`da hidrolojik verilerin depolanması ve diğer kullanıcıların verilere kolaylıkla nasıl ulaşabilmelerinin sağlanması üzerine halen geliştirilme aşamasında olan çalışma ODM merkezli olarak verilmeye çalışılmıştır. Verileri gözlemleyen ve sitelerinde yayınlayan hükümet kuruluşları yada bireysel olarak veri toplayan kişilerin (özel sektör veya üniversite görevlileri gibi) verilerinin tek bir santralde homojen olarak toplanarak kullanıcılara sağlanması uygulamacılar için oldukça önemli zaman kazanımına neden olacaktır. Çünkü, uygulayıcılar zamanlarının bir kısmını veri sağlayıcılarının verileri depolama formatlarını anlamak ve verileri yükleyebilmek için harcamaktadırlar.

CUASHI HIS kullanıcılara (1) Gözlem veri modelinde verilerini depolamalarına, (2) WaterML olarak adlandırılan internet tabanlı veri sunucuları ile uyumlu veri dilini kullanarak verilere erişmelerine (3) Verilerin bir takım programlarla keşfedebilmelerine olanak sağlamaktadır. Bu sistem sistematik olarak gözlem verilerinin analizi, yayınlanması ve depolanmasını sağlamada araştırmacılar için önemli bir çalışmadır. Türkiye verileri ODM`e yüklenebileceği gibi literatürde mevcut hidrolojik veri sistemleri bilgileri kullanılarak beklentilerimize ve ihtiyaçlarımıza uygun veri tabanının geliştirebileceği konusu bu çalışma ile gündeme getirilmeye çalışılmıştır.

Sonuç olarak, HIS projesi kapsamında geliştirilen proğramlarla verilerin nasıl yüklenebileceği ve erişilebileceği bu çalışmada özetlenmeye çalışılmıştır. Güvenilir ve erişilebilir veriler hidroloji çalışmalarında oldukça önemli olduğu için hidrolojik veri tabanı oluşturulması ülkemizde ciddi bir şekilde ele alınması gereken bir konu olduğu düşünülmektedir.

CUASHI HIS projesi kapsamında yapılan tüm çalışma ve dökümalara ait detaylı bilgiye http://his.cuahsi.org adresinde ulaşılabilir.

7. TEŞEKKÜR

Bu çalışma, Tübitak Bilim Adamı Destekleme Başkanlığı tarafından ilk yazarın Amerika`da doktora sonrası araştırma imkanı sağlanması ile gerçekleştirilmiştir. The work of Tarboton, Horsburgh and Schreuders work was supported by the US National Science Foundation grant EAR 0622374. Any opinions, findings and conclusions or recommendations expressed in this material are those of the authors and do not necessarily reflect the views of the National Science Foundation.

8. KAYNAKLAR

Beran, B, Piasecki M., "Engineering new paths to water data" Computers & Geosciences, 35(4): 753-760, http://dx.doi.org/10.1016/j.cageo.2008.02.017, 2009.

Horsburgh J. S., Tarboton D. G., Maidment D. R. ve Zaslavsky I., "A relational model for environmental and water resources data", Water Resour. Res., 44: W05406, doi:10.1029/2007WR006392, 2008.

Horsburgh, J.S, "Hydrologic Information Systems: Advancing Cyberinfrastructure for Environmental Observatories", PhD. Thesis, Utah State University, USA, 2009.

Maidment, D. R., ed., "CUAHSI Hydrologic Information System: Overview of Version 1.1", Consortium of Universities for the Advancement of Hydrologic Science, Inc, Washington, DC, 96 p, http://his.cuahsi.org/documents/HISOverview.pdf, 2008.

Tarboton, D.G., Horsburgh J.S., Maidment D.R., Whiteaker T., Zaslavsky I., Piasecki M., Goodall J., Valentine D., Whitenack T., "Development of a Community Hydrologic Information System", 18th World IMACS / MODSIM Congress, Cairns, Australia, 2009.

Tarboton D.G., J.S. Horsburgh, "CUAHSI Hydrologic Information System: Overview of Version 1.1", Consortium of Universities for the Advancement of Hydrologic Science, Inc, Washington, DC, Chapter 3, 2008.

Zaslavsky I.,Valentine D., "CUAHSI Hydrologic Information System: Overview of Version 1.1", Consortium of Universities for the Advancement of Hydrologic Science, Inc, Washington, DC, Chapter 4, 2008.

ADV (Akustik Dopler) İle Elde Edilen Akım Hız Kayıtlarında Görülen Aykırı Değerlerin Elimine Edilmesinde Kullanılan Filtreler ve Özellikleri

Ömer Köse [1]

Özet: Bu çalışmada, hidrolojik ölçüm amacıyla akarsular, göller ve laboratuvar çalışmalarında kullanımı gittikçe artmakta olan Akustik Doppler Hız Ölçüm Cihazı (ADV) ile elde edilen akım hız verilerinin filtreleme metotları detaylı bir şekilde açıklanmış ve bu metotların akım serilerinin istatistiksel karakteristikleri üzerine etkisi araştırılmıştır. Akarsularda, akım hızının doğru ölçülmesi, gerek debinin doğru hesaplanmasında, gerekse erozyon, oyulma, sediment (rusubat) taşınımı ve yığılması gibi hidrolojik hareketlerin sonuçlarının doğru belirlenmesi açısından çok önemlidir. Ülkemizde ADV cihazı henüz yaygın olarak kullanılmamakla beraber önümüzdeki yıllarda kullanımının hızla artacağı söylenebilir. Dünyada ise hidrolojik ölçümlerde ADV, ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler) gibi cihazlar yaygın olarak kullanılmaktadır. ADV cihazının muline gibi klasik metotlara göre birçok üstün tarafı bulunmakla beraber uygulamada dikkat edilmesi gereken noktalar da bulunmaktadır. Akustik cihazlar su içine gönderdikleri sinyaller yardımıyla doğrudan suyun hızını değil, aslında suyla birlikte hareket eden çok küçük taneciklerin hızını ölçmektedirler. Buradaki temel varsayım, hızı ölçülen taneciklerin suyla aynı hıza sahip olduklarıdır. Yapılan analizler sonucunda hız kayıt serilerine aşamalı olarak tüm filtrelerin uygulanması gerektiği, serinin istatistiksel özelliklerine bakarken aykırı değerlerin atılarak analiz edilmesinin uygun olduğu görülmüştür.

Anahtar Sözcükler: ADV, Akım Kayıt Serisi, Aykırı Değer, Fiziksel ve İstatistiksel Filtreler.

Characteristics of Various Filters Used to Eliminate Outliers in Velocity Time Series Obtained Using ADVs

Abstract: The use of ADV's (Acoustic Doppler Velocimeters) are increasing for hydrological measurement purposes in rivers, lakes, and laboratuaries. In that study the methods used to filter the velocity time series is explained. The effects of these filters on the statistical characteristics of time series is investigated. The correct measurement of velocity values at rivers is very important for the true determination of discharges, erosion, scouring and sediment transport processes. In Turkey, ADV's are not

[1] Aksaray Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, Aksaray, E-Posta: omerkose@aksaray.edu.tr

extensively used especially in field measurements. Especially in USA ADV's are used extensively in field measurements. The ADV's have superior sides upon the classical measurement devices however one must be careful during using ADV. ADV's send signal to water and measure the velocities of the particles moving with water.The basic assumption here is that, the particles move same velocity with water. To calculate unbiased statistical properties, outliers are removed from the time series.

Keywords: ADV; Velocity Time Series; Outlier; Physical and Statistical Filters.

1. GİRİŞ

Ülkemizde ADV cihazı henüz yaygın olarak kullanılmamakla beraber önümüzdeki yıllarda kullanımının hızla artacağı söylenebilir. Dünyada ise hidrolojik ölçümlerde ADV, ADCP gibi cihazlar yaygın olarak kullanılmaktadır. Örneğin ABD'de 2006 yılında USGS (United States Geological Survey)'de yapılan debi ölçümlerinin %33'ü, tüm USGS ölçümlerinin ise yaklaşık % 57'si ADCP ile yapılmıştır (Muste ve diğ., 2007). ADV ile elde edilen akım kayıt verileri, diğer klasik hız ölçüm cihazlarıyla elde edilen akım kayıt serilerinde olduğu gibi doğrudan kullanılamazlar, herhangi bir filtrelemeye tabi tutulmayan orjinal akım serilerinde ortamın türbülanslı olup olmamasına, örnekleme frekansının büyüklüğüne göre çok sayıda aykırı değer (spikes, outliers) bulunmaktadır. ADV ile elde edilen serilerin kulanılmadan önce belli ön işlemlerden (pre-processing) geçirilmesi gerekmektedir. Bu çalışmanın temel amacı, bu işlemlerin (filtrelerin) akım serilerinin istatistiksel karakteristiklerini nasıl etkilediğini incelemek, çeşitli filtreleme tekniklerinden hangisi veya hangilerinin, serilerde görülen aykırı değerleri (spikes,outliers) elimine etmede en başarılı olduğunu bulmaktır. Bu çalışmada kullanılan veriler 30 cm genişIiğinde, 8 m uzunluğunda tabanı çelik bir kanalda elde edilmiştir. Ölçüm sırasında kanala sabit 10 lt/s su verilmiştir. Kanaldaki su derinliği sabit ve 20.4 cm olarak ölçülmüştür. Ölçümlerde NORTEK Vectrino^{+}200 modeli kullanılmıştır. Cihazin maksimum veri toplama kapasitesi 200 Hz dir. ADV cihazı bir kablo ile bilgisayara bağlı olarak çalışmıştır.

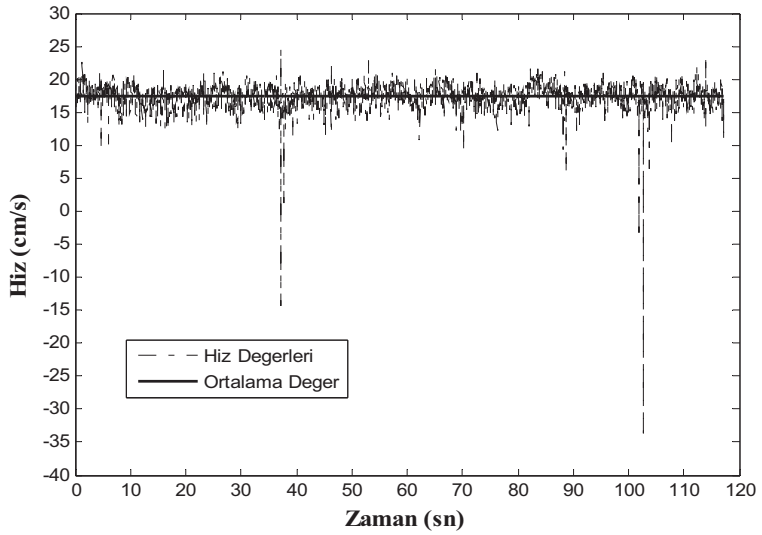


Şekil 1. Verilerin elde edildiği kanal ve kanala monte edilmiş ADV cihazı

Akustik ölçüm cihazlarıyla elde edilen hız zaman serilerinde gözlenen aykırı değerlerin sebebi, cihazın çalışma prensibinden ve ortamın türbülanslı olmasından kaynaklanan cihazın gönderdiği sinyal ile su içindeki parçacığa çarpıp geri dönen sinyal arasındaki faz farkından kaynaklanan uyumsuzluk ve çeşitli etkenlerden kaynaklanan elektronik kirliliktir. Serilerde gözlenen aykırı değerleri elimine etmek için çeşitli filtreler geliştirilmiştir. Bu filtrelerden bazıları aşağıda açıklanmıştır.

2. Filtrelenmemiş Hız Zaman Serilerinin İstatistiksel Özellikleri

ADV ile elde edilen zaman serileri eğer herhangi bir filtreleme işlemi uygulanmadan kullanılırsa serilerde çok sayıda uç değerin yer aldığı görülecektir. Aşağıda filtrelenmemiş 100 Hz örnekleme frekansıyla elde edilen bir seriye ait zaman hız grafiği ile histogram verilmiştir.



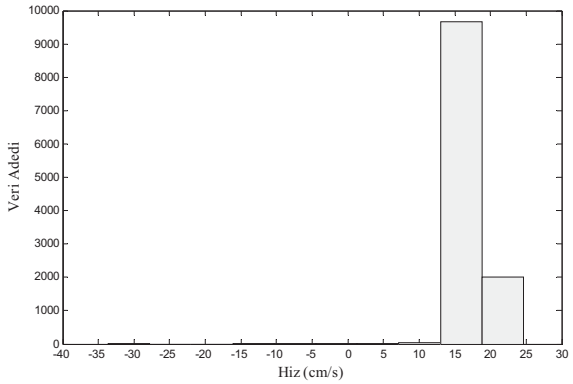
Şekil 2. 100 Hz ile kaydedilen filtrelenmemiş hız zaman grafiği

Şekil 2' de de açıkça görüldüğü gibi filtrelenmemiş bir seride çok sayıda pozitif yada negatif uç hız değeri görülür.

Çizelge 1. 100 Hz ile kaydedilen filtrelenmemiş hız zaman serilerine ait parametre değerleri.

Veri Adedi	Ortalama Değer	Standart Sapma	Varyans	Basıklık Katsayısı	Çarpıklık Katsayısı	Minumum Değer	Maksimum Değer
11721	17.51	1.54	2.39	127.73	-4.97	-33.61	24.62

Tablo'1 den de görüldüğü gibi çok yüksek basıklık değeri ile sıfıra yakın olmayan çarpıklık değerleri zaman serisinin mevcut haliyle normal dağılımdan oldukça uzak olduğunu göstermektedir.



Şekil 3. 100 Hz ile kaydedilen filtrelenmemiş hız zaman serisine ait histogram

Şekil'3 te verilen histogramdanda görüldüğü gibi filtrelenmemiş zaman serisinde son derece düzensiz bir dağılım görülmektedir.

2.1. ADV İle Kaydedilen Hız Zaman Serilerinde Kullanılan Filtreler

ADV ile elde edilen hız zaman serilerinin filtrelenmesinde kullanılan filtreleri, yaklaşım mantığı açısından üç başlıkta inceleyebiliriz.

2.1.1. Gönderilen ve Geri Alınan Alınan Sinyalin Gücü ve Tutarlılığı

Bu filtreler, Korelasyon ve SNR (Signal to Noise Ratio) (Lohrmann ve diğ., 1994) olarak adlandırılmaktadır. Korelasyon için üretici firmaların tavsiye ettiği eşik değeri minimum 70, SNR için ise minimum 10 dur. (NORTEK Vectrino Velocimeter User Manual, 2004). Bu çalışmada korelasyon için 70, SNR için 10 değeri esas alınmıştır.

2.2.2 Elde Edilen Akım Verilerinin Fiziksel Olarak Gözlenip Yorumlanmasını Esasına Dayanan Filtre

Bu yöntem serbest yüzeyli bir akımda su parçacığının, en fazla yerçekim ivmesi kadar hızlanabileceği varsayımına dayanarak bu ivmeyi aşan hız değerlerini aykırı değer (outlier) olarak kabul edip atmaktadır (Goring ve Nikora, 2002).

$$a_i = \left(u_i - u_{i-1}\right) / \Delta t \qquad (1)$$

Burada, a_i, su taneciğinin ivmesini, u_i, hızını Δt ise örnekleme aralığını göstermektedir. Eğer;

$$a_i \geq g \text{ veya } a_i \leq -g \qquad (2)$$

ise bu ivmelere sebeb olan akım hız verileri zaman serisinden atımaktadır. Bu yöntemin

zayıf yönü algoritmasının çok sayıda sağlıklı verininde atılmasına imkan tanımasıdır. Aşağıda Matlab dilinde yazar tarafından ivme filtresi için yazılan ve bu çalışmadaki analizlerde kullanılan bir algoritma verilmiştir.

```
for z=1:length(akimserisi);
filtreseri(z)=akimserisi(z);
end
for i=1:length(akimserisi)-1;
a(i)=(akimserisi(i+1)-akimserisi(i))./(zaman(i+1)-zaman(i));
end
for i=1:1:length(akimserisi)-1;
if a(i)<=-10;
   yeni(i)=a(i);
   if (i+1)< length(akimserisi);
   yeni(i+1)=a(i+1);
   end
   if (i+2)< length(akimserisi);
   yeni(i+2)=a(i+2);
   end
   if (i+3)< length(akimserisi);
   yeni(i+3)=a(i+3);
   end
    if (i+4)< length(akimserisi);
   yeni(i+4)=a(i+4);
   end
    if (i+5)< length(akimserisi);
   yeni(i+5)=a(i+5);
   end
end
end
if a(i)>=10;
   yeni(i)=a(i);
   if (i+1)< length(akimserisi);
   yeni(i+1)=a(i+1);
   end
   if (i+2)< length(akimserisi);
   yeni(i+2)=a(i+2);
   end
   if (i+3)< length(akimserisi);
   yeni(i+3)=a(i+3);
   end
end
for j=1:length(yeni);
   if yeni(j)<0||yeni(j)>0;
      sayac=sayac+1;
      yeni1(sayac)=yeni(j);
      yeniindex(sayac)=j;
   hizaykirideger(sayac)=v(j);
   hizaykiridegerindex(sayac)=j;
   end
end
for z=1:length(hizaykiridegerindex);
filtreseri(hizaykiridegerindex(z))=median(akimserisi);
end
```

2.2.3 Akım Verilerinin İstatistiksel Kriterlere Göre Analiz Edilip Değerlendirilmesini Esas Alan Filtreler

İstatistiksel yaklaşımı kullanan filtreler temelde birbirlerine çok benzer olmakla birlikte bazı farklılıkları vardır. Bu filtreler ve özellikleri şunlardır:

a) Evrensel Eşik (Universal Threshold), (Donoho ve Johnstone, 1994): Bu yöntem, eğer bir zaman serisinin normal dağılıma uyduğu kabul ediliyorsa N, serinin toplam eleman sayısını göstermek üzere, bu serideki standardize edilmiş bir elemanın alabileceği maksimum değerin

$$\lambda = \sqrt{2\ln(N)} \tag{3}$$

olabileceğini ileri sürmektedir. Bu değerin altında ya da üstünde kalan veriler aykırı değer olarak kabul edilip otomatik olarak elenmektedir.

b) Rousseeuw Yöntemi (Rousseeuw, 1998): Bu yöntem zaman serisi elemanlarının normal dağılıma uygunluğunu test ederken verilerin standardize edilmesi sürecinde ortalama ve standart sapmanın aykırı değerlerden etkilendiği gerçeğini göz önüne alarak ortalama yerine medyan standart sapma yerinede MAD (Absolute Deviations from the Sample Median) parametresini kullanmaktadır.

$$S = 1.483\left(medyan_{j=1,\ldots,n}\left|x_j - medyan_{i=1,\ldots,n}(x_i)\right|\right) = 1.483(MAD) \tag{4}$$

Eşik değeri olarakda $\pm$2.5 değeri önerilmektedir. Bu degerin üstünde ya da altında kalan değerler outlier kabul edilerek elenmektedir.

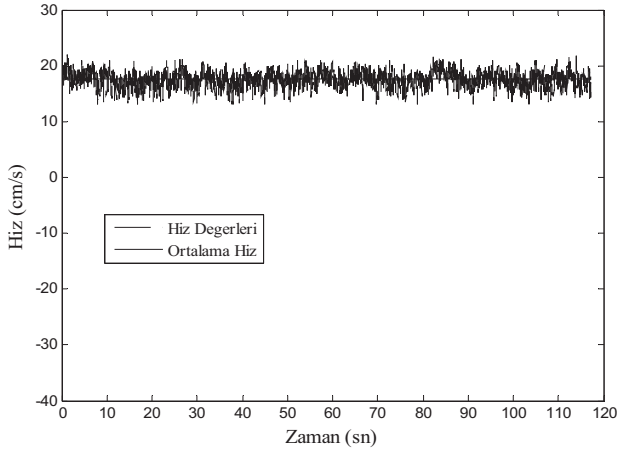
c) Chauvenet's Yöntemi Coleman ve Steele (1999): Bu yöntemde N sayıda veri ve İki kuyruklu standardize edilmiş bir akım gözlem serisi için $Z = (x - \mu)/\sigma$ olacak şekilde aykırı değerler için reddetme olasılığı p=1/(2N) olarak tanımlanır ve bu olasılık değeri için;

$$Z = \sqrt{2}erf(1 - p) \tag{5}$$

hesaplanır, ±Z eşik değerinin dışında kalan veriler aykırı değer olarak tanımlanarak elimine edilir. Bu çalışmada standardize edilmiş verilerin eşik değeri olarak ±3σ değeri alınmıştır. Bu deger % 99.7 olasılık seviyesine karşılık gelmektedir.

3.Filtrelenmiş Hız Zaman Serilerinin İstatistiksel Özellikleri

Elde edilen hız akım serisine Korelasyon, SNR, İvme ve Chauvenet's kriteri esas alan filtreler sırasıyla uygulanmış ve tespit edilen aykırı değerler seriden atılmıştır. Bu işlemler uygulanırken ilk iki filtre cihazla birlikte gelen bir program tarafından uygulanmış diğer iki filtre ise yazar tarafından yazılan Matlab programları kullanılarak uygulanmıştır. Aşağıda filtreleme işlemi tamamlandıktan sonra serinin grafiği, histogramı ve yeni istatistiksel özelliklerini gösteren tablo verilmiştir.



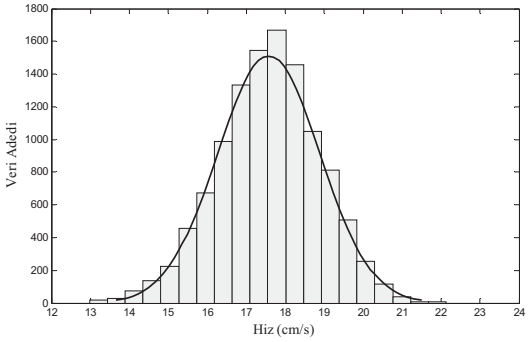
Şekil 4.100 Hz ile kaydedilen filtrelenmiş hız zaman grafiği

Şekil'3 te görüldüğü gibi filtreler uygulandıktan sonra çok belirgin olan aykırı değerlerin yok olduğu görülmektedir. Yeni serinin istatistiksel özellikleri Tablo'2 de verilmektedir. Tablodan dan görüldüğü gibi çarpıklık katsayısı sıfıra yaklaşmış, aşırı küçük ve aşırı büyük değerler seriden atılmıştır.

Çizelge 2. Hesaplanan ve gerçek iletim kapasiteleri

Veri Adedi	Ortalama Değer	Standart Sapma	Varyans	Basıklık Katsayısı	Çarpıklık Katsayısı	Minumum Değer	Maksimum Değer
11406	17.57	1.31	1.71	0.08	-0.16	12.98	22.13

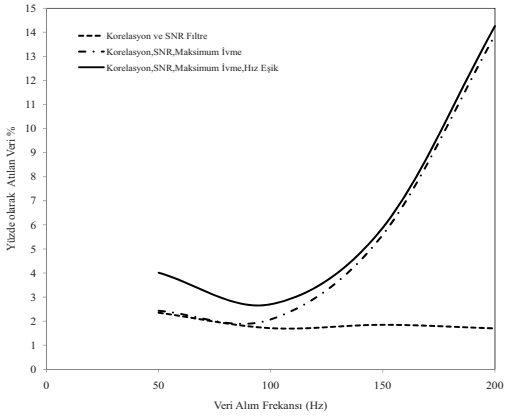
Yeni serinin histogramı Şekil'5 de verilmiştir. Yeni histogram Şekil'3 teki histogramla karşılaştırıldığında filtreleme işleminin seriyi normal dağılıma yaklaştırdığı görülmektedir.



Şekil 5. 100 Hz ile kaydedilen filtrelemiş hız zaman serisine ait histogram

4. Örnekleme Frekansının Atılan Veri Sayısına Etkisi

Örnekleme frekansı ADV cihazının saniyede kaç adet veriyi depolayabildiği ile ilgili önemli bir özelliktir. Örneğin cihaz eğer 100 Hz ile çalışıyorsa saniyede 100 adet veri, cihaz 200 Hz ile çalışarak ölçüm yapıyorsa saniyede 200 adet veriyi kaydediyor demektir. Şekil:6 da farklı örnekleme frekanslarına aynı filtreler uygulandığında yüzde olarak orjinal akım serisinin ne kadarını elimine etmiş olduğu gösterilmiştir.



Şekil 6. Farklı filtre ve frekans değerleri İçin yüzde olarak elimine edilen veri adedi

Şekil'6 da görüldüğü gibi tüm filtreler beraber uygulandığında örnekleme frekansı arttıkça atılan veri sayısı logaritmik olarak artmaktadır. Eğer sadece Korelasyon ve SNR filtresi uygulanırsa artan örnekleme frekansına karşılık elimine edilen veri sayısında büyük bir değişim gözlenmemektedir.

5. SONUÇLAR

Bu çalışmada, yüksek örnekleme frekansıyla elde edilen akım kayıt verilerine farklı filtreler uygulanmış ve elde edilen sonuçlar temel istatistiksel parametreler açısından karşılaştırılmıştır. ADV ile elde edilen veriler, içerdikleri çok sayıda aykırı değerden dolayı doğrudan kullanılamazlar. Ham verilerin hesaplanan istatistiksel parametreleri ve çizilen histogramı incelendiğinde normaliteden çok uzak olduğu görülmüştür. Akım kayıt serilerine uygun filtreler uygulandıktan sonra dikkat çeken uç değerlerin atıldığı istatistiksel parametreler ile histogramının normal dağılıma yaklaştığı görülmektedir.

Örnekleme frekansının aykırı değer miktarına etkisi incelendiğinde frekans arttıkça aykırı değer adedinin logaritmik olarak artış gösterdiği görülmüştür. Bu nedenle detaylı hız salınımlarına ihtiyaç duyulan türbülans çalışmaları gibi araştırmaların dışında rutin hidrolojik ölçümlerde yüksek frekansla veri toplanmasının uygun olmadığı düşünülmektedir. Hidrolojik ölçümlerde elektronik ve dijital cihazların kullanımı arttıkça bu cihazların kendi çalışma prensiplerinden kaynaklanan farklı aykırı değer (outliers, spikes) çeşitleri görülecektir. Bu değerlerin elimine edilmesi için daha sağlam (robust) filtre metotlarının geliştirilmesine ihtiyaç duyulacaktır.

Teşekkür

Bu çalışmada, TÜBİTAK tarafından sağlanan doktora sonrası araştırma bursuyla gerçekleştirilen araştırmaların bir bölümünden elde edilen veriler kullanılmıştır. Yazar TÜBİTAK'a verdiği destek için teşekkür eder.

6. KAYNAKLAR

Coleman, H.W, Steele, W.G. "Experimentation and Uncertainity Analysis For Engineers", 2nd Ed., Wiley, 34-37, 1999.

Donoho, D.L, Johnstone I.M, "Ideal Spatial Adaptation by Wavelet Shrinkage", Biometrika, 81 (3): 425-455, 1994.

Goring , D.G, Nikora, V.I, "Despiking Acoustik Doppler Velocimeter Data", Journal of Hydraulic Engineering, 128: 117-126, 2002.

Lohrmann, A., Cabrera, R., Kraus, N.C., Acoustic-Doppler Velocimeter (ADV) For Laboratory Use, In Proceedings of the Joint Conference on Fundamentals and Advancements in Hydraulic Measurements and Experiments, Buffalo, Newyork, 1-5 August, pp.351-365, 1994.

NORTEK Vectrino Velocimeter User Manual, No-1351 RUD Norway, 2004.

Muste, M, Vermeyen, T, Hotchkiss, R., Oberg, K. Acoustic Velocimetry for Riverine Environment, Journal of Hydraulic Engineering, 133: 1297-1298. 2005.

Rousseeuw, P.J. "Robust Estimation and Identifying Outliers." Handbook of Statistical Methods For Engineers and Scientists" 2nd Ed., McGraw-Hill, New York, 17.1-17.15. 1998.

PROJE KESİTLERİNDE AKIM GÖZLEM İSTASYONLARININ ÖNEMİ

Feryal BİÇKİCİ [1]

Özet: Proje kesitlerindeki su potansiyeli hesaplamaları Akım Gözlem İstasyonlarının (AGİ) uzun süreli günlük, aylık ve yıllık gözlem değerlerinden yaralanılarak yapılmaktadır. Kısa süreli akım ölçümleri olan bir istasyonun değerleri ise uzun süreli başka bir istasyonun gözlem verileri kullanılarak geriye ve ileriye uzatılması ile eksik yıllara ve aylara ait akımların bulunmasında istatistiksel yöntemler kullanılmaktadır. Proje kesitinde Akım gözlemi yapılmadığı durumlarda ise benzeşim metodu kullanılarak aynı iklim özelliklerine sahip komşu havzadaki veya aynı akarsu üzerindeki Akım Gözlem istasyonun değerleri alan oranı ile taşınarak su potansiyeli hesaplanmaktadır.

Burada proje yerleri için yağış alanları oranıyla elde edilen su potansiyelinin ne denli sağlıklı olup, olmadığı araştırılmıştır.

Aynı dere üzerinde yaklaşık 3,5 km mesafedeki iki AGİ'de yapılan bir yıllık akım ölçümleri sonucu, daha az olması gereken memba istasyonunun yıllık toplam akımı mansaptaki istasyonun yıllık toplam akımından daha yüksek olduğu gözlenmiştir. Oysaki yağış alanları oranına göre membadaki istasyonun yıllık akımının mansaptaki istasyonun yıllık akımından düşük olması gerekmektedir. Bu durumda bir kesitte gözlenen akım değerlerinin alan oranıyla başka bir kesite taşınmasının çok da sağlıklı olmadığını göstermektedir.

Bir bilmece olan akarsularımız üstündeki su yapılarının sağlıklı olabilmesi için özellikle depolamalı tesisler (baraj, gölet) ve kanal santralleri (HES) proje kesitinde en az 2 yıl akımların gözlenmesi gerekmektedir.

Importance of Flow Observation Stations at Project Sites

Abstract: One of the main components of the hydrological studies is the calculation of the water potential. This calculation is made by using the data observed at the Flow Measurement Stations in the daily, monthly and yearly periods. Short-term data is extended backwards and forwards using the correlation methods with the data from an appropriate station having the long-term data. As for the missing data, current statistical methods are used for this purpose. However, in the cases of the absence of flow

[1] DSİ I. Bölge Müdürlüğü BURSA E-Posta: feryalb@dsi.gov.tr

observations over or around the current project cross section, a method which is called as “simulation technique” is utilized to calculate water potential by multiplying with the area ratio according to the watershed being in the same climatic conditions or in the same river basin in which adjacent observation station is available.

In this article, the method to calculate the water potential, as mentioned above, is elaborated.

Accordingly, when analyze the flow data in two measurement stations, distanced approximately 3.5 km on the same river, it is surprisingly noticed that the total annual flow of the upstream station is higher than the total annual flow in the downstream station. In fact, according to the ratio method (simulation technique), the upstream values should be lower than that observed in the downstream station. Therefore, this result justifies that the simulation method using the area ratio coefficient would not be necessarily appropriate in most of the cases.

It can be concluded that the streams, especially on which the water storage structures or hydropower plants are planned, should be observed at least 2 sequential years.

1-GİRİŞ

Su yapılarının (Baraj, Gölet, Hidro Elekrik Santral, Taşkın koruma Tesisleri) planlanması ve yönetiminin temel unsuru hidrolojik çalışmalardır. Tüm tesislerdeki boyutlandırmalar bu proje hidrolojisi ile belirlenmektedir. İnsanlığa hizmet eden su yapılarının sağlıklı, güvenli ve ekonomik olabilmesi için ise yine güvenilir ve sağlıklı hidroloji çalışmasıyla gerçekleşmektedir.

Hidroloji çalışmalarında temel unsurlardan biri su potansiyelinin hesaplanmasıdır. Proje yerlerinin su potansiyeli hesaplamaları akarsular üzerine kurulan Akım Gözlem İstasyonlarının (AGİ) uzun süreli günlük, aylık ve yıllık gözlem değerlerinden yaralanılarak yapılmaktadır. Ancak; su yapıları projelerinin gelişim sürecine göre, proje kesitinde AGİ’nin olmaması veya AGİ verilerinin kısa süreli olması durumunda, proje yeri su potansiyelinin hesaplana bilmesi için bir takım yöntemlere başvurulmaktadır. Kısa süreli akım ölçümleri olan bir istasyonun günlük veya aylık akım verileri, istatistiksel yöntemler kullanılarak uzun süreli başka bir istasyonun verileriyle uzun süreli hale getirilmektedir. Proje yerinde akım gözlemi yapılmadığı durumlarda ise benzeşim metodu kullanılarak aynı iklim özelliklerine sahip komşu havzadaki veya aynı akarsu üzerindeki Akım Gözlem istasyonun değerleri, alan oranı ile taşınarak su potansiyeli hesaplanmaktadır.

Son yıllarda özellikle 4628 sayılı yasa ile özel firmalar tarafından geliştirilen yüzlerce HES (Hidro Elektrik Santral) projelerinin su potansiyelleri benzeşim yöntemleri, alan oranları veya veri uzatma yöntemleri kullanılarak yapılmıştır. Alan oranı kullanılarak hazırlanan bu projelerden birinin inşaat aşamasından önce su potansiyelinin ne denli sağlıklı olup olmadığını araştırmak amacıyla proje kesitine uygun bir yerde AGİ kurulmuş, mansabında bulunan ve proje çalışmalarında kullanılan AGİ ile paralel olarak gözlem çalışmalarına başlanmıştır.

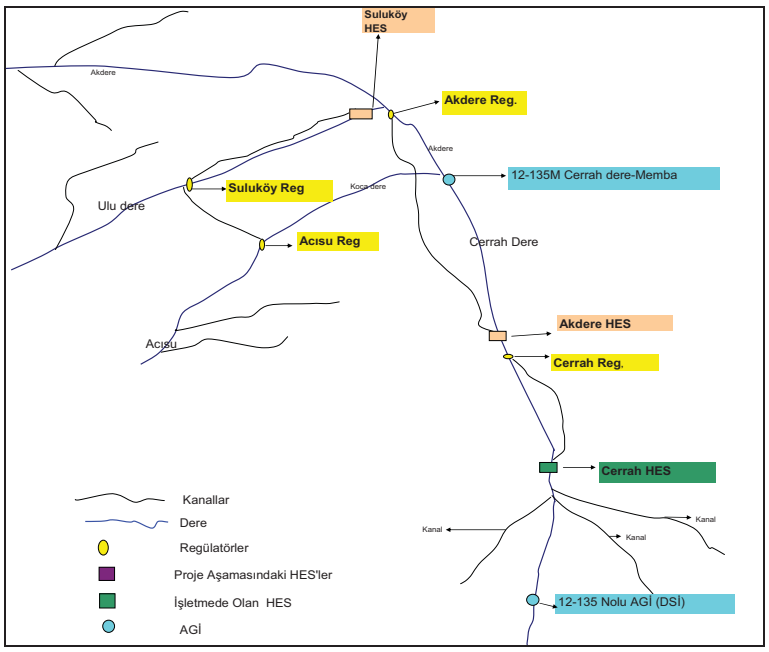
2. PROJE YERİ VE İKLİMİ

Proje, Marmara bölgesindeki 12 no'lu Sakarya havzasında yer alan Koca çayın memba kollarından, Cerrah deresi üstünde yer almakta olup, proje alanı, bölge itibari ile ılıman iklim etkisinde olmasına rağmen rakım itibari ile civara göre yüksek kotta yer aldığı için kara ikliminin de tesirleri görülmektedir. İklim olarak yazları sıcak ve kurak kışları ise yağışlı geçmektedir. Proje alanında yer alan Fevziye meteoroloji istasyonunun 1964-2001 yıllarını kapsayan 36 yıllık ortalama yağışlarına göre, yıllık toplam yağış 1126,2 mm'dir.

3. AKIM GÖZLEM İSTASYONLARI

Cerrah derenin üzerinde 1978 den beri akım gözlemleri devan eden 325 m kotunda, 116,1 km^2'lik yağış alanına sahip, 12-135 nolu Cerrah dere-Cerrah AGİ mevcuttur. Bu AGİ'nin membasında 3 adet sulama kanalı mevcuttur. Yani akımları müdahalelidir.

Geliştirilmekte olan HES proje için ise bu istasyonun yaklaşık 3,5 km membasına 2009 su yılında ….. kotunda, 102,8 km^2'lik yağış alanına sahip 12-135M nolu Cerrah dere-Memba AGİ açılmıştır. Sulama kanalları bu istasyonun mansabında kalmaktadır. AGİ yerlerinin krokisi **Şekil** (1)'de verilmiştir.



Şekil 1. Proje ve AGİ yerlerinin krokisi

4. SU POTANSİYELLERİ

4.1. 12-135 nolu Cerrah Dere- Cerrah AGİ'nin Su Potansiyeli

1978 yılında gözlemleri devam eden bu istasyonun membasında 3 adet sulama kanalı mevcuttur. Dolayısıyla bu istasyonun akımları müdahaleli akımlardır. Bunları doğal hale getirebilmek için sulama kanallarında periyodik olarak yapılan ölçümlerden faydalanılmıştır.

Çizelge 1. Kanal ölçüm sonuçları

Suyun adı : **SU TEMİN TABLOSU** **Yağış Alanı:** km²
İstasyonun Adı : **Birimler:** m³/s

Su Yılı	EKIM	KASIM	ARALIK	OCAK	ŞUBAT	MART	NİSAN	MAYIS	HAZIR.	TEMM.	AĞUST.	EYLÜL	Yıllık Ort.
1990								0,001				0,109	
1991	0,00	0,012	0,075			0,00		0,063		0,307	0,106		
1992		0,000	0,060			0,00	0,122			0,399		0,622	
1993	0,251								0,408			0,164	
1994			0,141							0,441			
1995	0,091	0,083									0,299		
1996	0,217									0,571	0,329		
1997	0,090		0,297					0,533					
2008									0,303				
ORT.	**0,130**	**0,032**	**0,143**			**0,000**	**0,122**	**0,199**	**0,356**	**0,430**	**0,245**	**0,298**	

SAĞ SAHİL KANALI

Suyun adı : **SU TEMİN TABLOSU** **Yağış Alanı:** km²
İstasyonun Adı : **Birimler:** m³/s

Su Yılı	EKIM	KASIM	ARALIK	OCAK	ŞUBAT	MART	NİSAN	MAYIS	HAZIR.	TEMM.	AĞUST.	EYLÜL	Yıllık Ort.
1990								0,330				0,244	
1991	0,393	0,094	0,134		0,066	0,092		0,073		0,435	0,017		
1992		0,127	0,101			0,098	0,040			0,491		0,591	
1993	0,006						0,008		0,058			0,060	
1994			0,021							0,026			
1995	0,035	0,053									0,063		
1996	0,287									0,179	0,027		
1997	0,037		0,016					0,100					
2008									0,015				
ORT.	**0,152**	**0,091**	**0,068**		**0,066**	**0,095**	**0,024**	**0,168**	**0,037**	**0,283**	**0,036**	**0,298**	

EDEBEY KANALI

Suyun adı : **SU TEMİN TABLOSU** **Yağış Alanı:** km²
İstasyonun Adı : **Birimler:** m³/s

Su Yılı	EKIM	KASIM	ARALIK	OCAK	ŞUBAT	MART	NİSAN	MAYIS	HAZIR.	TEMM.	AĞUST.	EYLÜL	Yıllık Ort.
1990								0,078				0,000	
1991	0,051	0,017	0,011					0,020		0,167	0,440		
1992		0,052	0,079			0,048	0,058			0,124		0,175	
1993	0,106					0,000			0,157			0,020	
1994			0,039							0,042			
1995	0,012	0,103			0,038						0,091		
1996	0,015									0,108	0,155		
1997	0,174		0,144					0,000					
2008									0,271				
								0,140					
ORT.	**0,072**	**0,057**	**0,068**			**0,024**	**0,058**	**0,060**	**0,214**	**0,110**	**0,229**	**0,065**	

3 KANALA ALINAN SULARIN TOPLAMI (m3/s)

0,353	0,180	0,280		0,066	0,119	0,204	0,426	0,606	0,823	0,509	0,662	0,384

AYLIK TOPLAM AKIMLAR (hm3) (Doğallaştırmada kullanılan değerler)

0,95	**0,47**	**0,75**		**0,16**	**0,32**	**0,53**	**1,14**	**1,57**	**2,20**	**1,36**	**1,72**	11,16

Sulama kanallarında değişik zamanlarda yapılan 9 yıl yapılan debi ölçüm sonuçları aylık ortalamaları alınmış ve 3 kanaldan geçen ortalama debiler toplanmıştır. Bu aylık ortalama debiler, 12-135 nolu AGİ'nin günlük debilerine ilave edilerek 12-135 nolu

AGİ'nin akımları doğal hale getirilmiştir. Kanal ölçüm sonuçları **Çizelge** 1'de, 12-135 nolu AGİ'nin 2009 su yılı ölçülmüş günlük debileri **Çizelge** 2'de, 12-135 nolu AGİ'nin doğallaştırılmış 2009 yılı günlük debileri **Çizelge** 3'te ve 12-135 nolu AGİ'nin doğallaştırılmış uzun yıllar aylık ortalama akımları **Çizelge** 4'te verilmiştir.

Çizelge 2. 12-135 nolu AGİ'nin 2009 yılı ölçülmüş günlük debileri

12-135 CERRAH DERE CERRAH (DSİ)

2009 Su Yılı m^3/s

GÜN/AY	EKİM	KASIM	ARALIK	OCAK	ŞUBAT	MART	NİSAN	MAYIS	HAZİRAN	TEMMUZ	AĞUSTOS	EYLÜL
1	0,500	0,137	2,500	0,420	2,500	2,250	6,900	6,200	5,200	0,500	0,070	0,003
2	0,340	0,137	1,650	0,420	2,250	2,250	7,700	7,700	5,200	0,420	0,024	0,043
3	0,170	0,137	1,100	0,500	2,050	2,800	8,150	6,900	5,200	0,420	0,024	0,010
4	0,215	0,137	1,100	1,100	1,850	3,600	8,150	6,550	6,550	0,420	0,043	0,003
5	0,215	0,137	1,100	9,000	1,650	4,200	8,150	6,900	6,550	0,340	0,024	0,003
6	0,420	0,137	0,960	4,500	2,050	9,000	8,600	6,200	5,500	0,215	0,024	0,010
7	0,340	0,137	0,960	2,800	2,250	9,000	9,400	6,550	4,800	0,170	0,043	0,003
8	0,500	0,137	0,960	2,050	18,000	7,700	8,600	6,550	4,800	0,137	0,180	0,003
9	0,170	0,137	0,960	1,450	32,500	6,550	6,900	6,900	4,800	0,103	0,100	0,010
10	0,137	0,137	0,820	1,250	14,500	6,200	7,700	7,700	4,200	0,103	0,043	0,135
11	0,137	0,137	0,600	0,960	9,400	5,500	5,850	8,600	3,800	0,103	0,010	0,230
12	0,170	0,137	0,500	0,960	14,000	4,500	5,850	8,600	4,200	0,070	0,043	0,360
13	0,170	0,137	0,420	0,820	17,000	4,500	6,200	9,400	3,300	0,070	0,010	0,360
14	0,137	0,137	0,420	0,820	11,000	3,800	7,700	11,500	3,050	0,070	0,010	0,360
15	0,137	0,137	0,420	1,250	8,600	3,600	8,150	12,500	2,800	0,070	0,010	0,290
16	0,170	0,137	0,340	1,450	6,550	3,050	7,300	12,000	2,500	0,340	0,024	0,230
17	0,170	0,215	0,340	2,050	5,500	2,800	6,550	13,300	2,250	0,170	0,010	0,135
18	0,170	0,500	0,500	1,650	4,800	2,500	6,200	14,000	3,050	0,070	0,003	0,135
19	0,215	0,420	0,500	1,450	4,500	2,800	6,200	11,500	2,800	0,103	0,024	0,100
20	0,170	0,340	0,500	1,100	4,200	2,500	6,900	10,500	1,850	0,040	0,010	0,100
21	0,137	0,700	0,820	1,100	3,300	2,250	8,150	9,400	1,850	0,040	0,010	0,100
22	0,137	0,420	0,960	1,250	3,050	2,800	8,600	8,600	2,050	0,040	0,010	0,100
23	0,137	1,650	0,960	2,250	2,800	2,800	9,000	8,150	2,050	0,040	0,024	0,100
24	0,137	1,250	0,960	3,600	2,800	2,250	7,700	8,150	1,850	0,040	0,010	0,180
25	0,137	1,100	1,100	3,800	2,500	2,250	7,300	7,700	1,850	0,040	0,010	0,100
26	0,170	1,100	0,600	6,900	2,500	3,050	6,900	7,700	1,450	0,040	0,010	0,100
27	0,273	1,650	0,600	6,200	2,500	3,300	6,200	7,300	1,100	0,040	0,010	0,100
28	0,170	2,050	0,600	4,800	2,250	2,800	5,500	7,300	0,960	0,040	0,010	0,100
29	0,170	1,250	0,600	4,500	-----	2,500	5,200	7,300	0,820	0,043	0,003	0,100
30	0,137	2,500	0,600	3,600	-----	2,800	5,850	6,900	0,700	0,043	0,010	0,100
31	0,137	-----	0,420	3,050	-----	4,500	-----	6,900	-----	0,024	0,003	-----
Ort.debi	0,206	0,578	0,802	2,485	6,673	3,884	7,252	8,563	3,236	0,141	0,027	0,120
hm^3	0,553	1,498	2,149	6,657	16,144	10,403	18,796	22,935	8,388	0,377	0,072	0,311

2009 Su Yılı Toplam Akım (hm^3) 88,282

Çizelge 3. 12-135 nolu AGİ'nin doğallaştırılmış 2009 yılı günlük debileri

12-135 CERRAH DERE CERRAH (DSİ)

2009 Su Yılı Kanallar Eklenmiş m^3/s

GÜN/AY	EKİM	KASIM	ARALIK	OCAK	ŞUBAT	MART	NİSAN	MAYIS	HAZİRAN	TEMMUZ	AĞUSTOS	EYLÜL
1	0,853	0,317	2,780	0,420	2,566	2,369	7,104	6,626	5,806	1,323	0,579	0,665
2	0,693	0,317	1,930	0,420	2,316	2,369	7,904	8,126	5,806	1,243	0,533	0,705
3	0,523	0,317	1,380	0,500	2,116	2,919	8,354	7,326	5,806	1,243	0,533	0,672
4	0,568	0,317	1,380	1,100	1,916	3,719	8,354	6,976	7,156	1,243	0,552	0,665
5	0,568	0,317	1,380	9,000	1,716	4,319	8,354	7,326	7,156	1,163	0,533	0,665
6	0,773	0,317	1,240	4,500	2,116	9,119	8,804	6,626	6,106	1,038	0,533	0,672
7	0,693	0,317	1,240	2,800	2,316	9,119	9,604	6,976	5,406	0,993	0,552	0,665
8	0,853	0,317	1,240	2,050	18,066	7,819	8,804	6,976	5,406	0,960	0,689	0,665
9	0,523	0,317	1,240	1,450	32,566	6,669	7,104	7,326	5,406	0,926	0,609	0,672
10	0,490	0,317	1,100	1,250	14,566	6,319	7,904	8,126	4,806	0,926	0,552	0,797
11	0,490	0,317	0,880	0,960	9,466	5,619	6,054	9,026	4,406	0,926	0,519	0,892
12	0,523	0,317	0,780	0,960	14,066	4,619	6,054	9,026	4,806	0,893	0,552	1,022
13	0,523	0,317	0,700	0,820	17,066	4,619	6,404	9,826	3,906	0,893	0,519	1,022
14	0,490	0,317	0,700	0,820	11,066	3,919	7,904	11,926	3,656	0,893	0,519	1,022
15	0,490	0,317	0,700	1,250	8,666	3,719	8,354	12,926	3,406	0,893	0,519	0,952
16	0,523	0,317	0,620	1,450	6,616	3,169	7,504	12,426	3,106	1,163	0,533	0,892
17	0,523	0,395	0,620	2,050	5,566	2,919	6,754	13,726	2,856	0,993	0,519	0,797
18	0,523	0,680	0,780	1,650	4,866	2,619	6,404	14,426	3,656	0,893	0,512	0,797
19	0,568	0,600	0,780	1,450	4,566	2,919	6,404	11,926	3,406	0,926	0,533	0,762
20	0,523	0,520	0,780	1,100	4,266	2,619	7,104	10,926	2,456	0,863	0,519	0,762
21	0,490	0,880	1,100	1,100	3,366	2,369	8,354	9,826	2,456	0,863	0,519	0,762
22	0,490	0,600	1,240	1,250	3,116	2,919	8,804	9,026	2,656	0,863	0,519	0,762
23	0,490	1,830	1,240	2,250	2,866	2,919	9,204	8,576	2,656	0,863	0,533	0,762
24	0,490	1,430	1,240	3,600	2,866	2,369	7,904	8,576	2,456	0,863	0,519	0,842
25	0,490	1,280	1,380	3,800	2,566	2,369	7,504	8,126	2,456	0,863	0,519	0,762
26	0,523	1,280	0,880	6,900	2,566	3,169	7,104	8,126	2,056	0,863	0,519	0,762
27	0,626	1,830	0,880	6,200	2,566	3,419	6,404	7,726	1,706	0,863	0,519	0,762
28	0,523	2,230	0,880	4,800	2,316	2,919	5,704	7,726	1,566	0,863	0,519	0,762
29	0,523	1,430	0,880	4,500		2,619	5,404	7,726	1,426	0,866	0,512	0,762
30	0,490	2,680	0,880	3,600		2,919	6,054	7,326	1,306	0,866	0,519	0,762
31	0,490		0,700	3,050		4,619		7,326		0,847	0,512	
Ort.Deb.	0,559	0,758	1,082	2,485	6,739	4,003	7,456	8,989	3,842	0,963	0,536	0,782
hm^3	1,498	1,965	2,897	6,657	16,304	10,721	19,325	24,075	9,958	2,580	1,436	2,026

2009 Su Yılı Toplam Akım (hm^3) 99,444

Çizelge 4. 12-135 nolu AGİ'nin doğallaştırılmış uzun yıllar aylık ortalama akımları

Bölgesi	:	DSİ 01 Bölge												
İstasyon No	:	12-135				SU TEMİN TABLOSU						Kot (m)	:	325
Suyun adı	:	Cerrah Dere										Yağış Alanı (km^2):		116,1
İstasyon Adı	:	Cerrah				Kanallar İlave Edilmiş						Birimler	:	10^6 hm^3
Su Yılı	Ekim	Kasım	Aralık	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Yıllık Top.	
1978	3,67	5,34	14,55	16,50	18,26	20,92	29,03	36,94	16,97	8,69	3,14	3,56	177,56	
1979	3,83	3,40	9,60	22,30	16,86	11,42	16,33	23,94	16,77	5,95	3,84	3,77	138,00	
1980	3,87	6,97	7,63	19,10	9,72	14,02	18,13	23,64	18,97	7,51	3,23	3,04	135,82	
1981	2,13	5,63	16,15	14,90	28,46	25,92	16,52	29,94	16,17	7,33	4,05	3,90	171,09	
1982								27,14	22,57	6,81	2,09	2,40		
1983	1,37	1,16	2,94	3,29	4,20	8,38	14,33	15,24	11,77	2,96	1,40	1,83	68,86	
1984	1,30	6,31	9,47	10,40	8,01	11,52	21,03	28,14	17,17	6,87	5,09	1,99	127,29	
1985	1,13	2,05	2,14	5,86	4,82	9,39	16,33	16,04	5,11	2,39	1,36	1,73	68,34	
1986	1,22	10,06	8,93	21,00	11,96	14,62	15,63	14,54	10,54	3,15	1,44	2,13	115,21	
1987	1,87	2,59	8,03	27,00	12,16	11,52	15,93	22,24	15,67	8,28	5,24	5,35	135,87	
1988	1,09	2,93	14,05	5,37	5,76	7,33	14,45	16,31	7,92	2,57	1,41	1,72	80,92	
1989														
1990														
1991	2,22	4,78	12,05	4,54	8,60	9,31	15,13	21,04	14,17	5,33	1,63	2,66	101,45	
1992	2,19	2,06	3,22	2,32	3,03	6,53	17,73	15,04	10,34	4,54	1,51	1,72	70,21	
1993	2,83	3,45	4,00	2,85	4,36	8,02	13,43	22,74	8,78	3,00	1,48	1,83	76,76	
1994	1,36	1,55	4,06	2,10	3,30	4,72	10,43	9,01	4,21	2,25	1,36	1,72	46,06	
1995	1,59	6,31	4,57	10,80	5,53	11,62	19,33	25,94	11,21	5,56	1,51	1,80	105,77	
1996	1,51	6,35	8,52	6,36	5,11	9,52	12,33	24,74	8,08	2,65	1,53	3,33	90,02	
1997	2,84	1,85	4,80	7,57	3,92	4,65	14,03	19,64	9,70	3,22	2,30	1,98	76,50	
1998	7,98	5,24	14,85	5,09	12,46	8,35	19,13	21,94	9,45	2,82	1,50	1,91	110,71	
1999	2,49	3,51	6,65	3,22	5,78	7,07	14,53	17,74	6,48	2,66	1,63	2,00	73,75	
2000	1,20	2,48	2,48	1,94	4,45	6,95	30,83	16,44	7,71	2,48	1,54	1,91	80,41	
2001	2,18	2,79	2,96	1,81	3,26	10,07	11,73	14,64	3,34	2,28	1,55	1,77	58,37	
2002	1,02	2,93	19,55	9,25	6,64	13,32	20,03	23,24	11,87	3,42	1,50	2,64	115,40	
2003	2,32	3,24	2,16	7,58	5,07	5,39	15,03	19,24	6,14	2,36	1,48	2,09	72,08	
2004	3,92	6,26	4,82	10,10	9,64	12,12	12,93	15,74	6,47	2,40	1,51	1,78	87,69	
2005	1,09	0,81	1,54	4,38	5,57	14,12	16,53	18,64	8,49	4,45	1,48	1,88	78,97	
2006	1,23	5,92	7,67	5,47	10,46	15,42	18,23	15,34	10,27	3,00	1,45	1,96	96,42	
2007	2,35	2,74	1,54	2,74	3,40	5,50	5,39	8,63	3,46	2,29	1,45	1,92	41,40	
2008	1,37	3,88	9,08	1,42	2,18	17,52	20,13	10,96	5,72	2,30	1,43	2,04	78,02	
2009	1,50	1,97	2,90	6,66	16,30	10,72	19,33	24,08	9,96	2,58	1,44	2,03	99,44	
TOPLAM	64,58	114,49	210,87	241,92	239,26	315,93	483,90	598,90	315,50	122,16	61,59	70,32	2778,42	
Ortalama	2,23	3,95	7,27	8,34	8,25	10,89	16,69	19,96	10,52	4,07	2,05	2,34	95,81	

4.2. 12-135M nolu Cerrah Dere-Memba AGİ'nin Su Potansiyeli

2009 su yılında işletmeye açılan 12-135M nolu AGİ'nin günlük debileri **Çizelge** 5'de verilmiştir.

Çizelge 5. 12-135M nolu AGİ'nin 2009 yılı günlük debileri

12-135M CERRAH DERE -MEMBA

2009 Su Yılı m3/s

GÜN/AY	EKİM	KASIM	ARALIK	OCAK	ŞUBAT	MART	NİSAN	MAYIS	HAZİRAN	TEMMUZ	AĞUSTOS	EYLÜL
1	0,620	0,364	2,650	1,270	5,880	3,180	7,680	9,450	8,040	1,170	0,184	0,310
2	0,532	0,364	2,560	1,330	5,740	2,850	7,320	10,300	7,860	1,110	0,205	0,289
3	0,400	0,364	2,470	1,330	5,320	3,560	7,320	10,100	8,820	1,050	0,205	0,289
4	0,444	0,328	2,470	2,830	6,020	4,200	7,680	9,870	8,220	0,984	0,226	0,310
5	0,444	0,364	2,470	7,320	6,440	6,600	7,500	9,660	7,500	0,923	0,163	0,310
6	0,576	0,328	2,380	6,020	6,160	11,200	7,680	9,450	6,440	0,862	0,226	0,310
7	0,532	0,364	2,290	5,460	7,160	10,900	7,500	9,240	5,960	0,801	0,226	0,310
8	0,620	0,328	2,200	4,090	17,500	9,660	7,140	9,240	6,120	0,611	0,205	0,310
9	0,576	0,328	2,200	3,760	23,300	8,820	6,960	9,870	6,440	0,611	0,310	0,353
10	0,532	0,328	2,130	2,650	13,200	8,820	7,140	10,700	5,320	0,525	0,268	0,353
11	0,400	0,292	2,050	2,830	10,500	7,500	7,500	11,200	5,640	0,439	0,289	0,353
12	0,400	0,328	2,130	2,290	15,000	6,960	7,320	11,600	5,320	0,396	0,268	0,482
13	0,444	0,292	2,050	2,050	16,500	6,600	9,030	10,700	5,160	0,353	0,289	0,439
14	0,444	0,292	1,900	1,980	11,400	6,120	9,450	13,900	4,200	0,439	0,184	0,268
15	0,400	0,292	1,830	1,830	9,240	5,640	10,100	14,500	4,040	0,482	0,247	0,268
16	0,400	0,400	1,750	1,980	7,680	5,320	9,660	14,500	3,720	1,050	0,289	0,268
17	0,364	0,532	1,750	1,980	7,140	4,680	9,450	15,000	3,560	0,862	0,247	0,226
18	0,840	0,620	1,680	1,750	5,960	4,520	9,240	15,300	4,680	0,568	0,205	0,184
19	0,400	0,620	1,680	1,830	5,320	4,840	9,450	13,600	4,040	0,525	0,184	0,205
20	0,364	0,576	1,530	1,750	4,840	3,880	9,660	12,700	3,400	0,482	0,226	0,226
21	0,328	1,150	1,450	1,600	4,680	4,040	10,100	11,200	3,880	0,289	0,205	0,205
22	0,328	1,020	1,330	1,680	4,520	5,480	10,900	10,500	3,400	0,247	0,310	0,184
23	0,328	1,680	1,390	2,130	4,360	5,000	10,300	9,870	3,070	0,205	0,268	0,226
24	0,328	1,600	1,330	1,980	4,360	4,840	10,100	9,450	2,520	0,205	0,268	0,247
25	0,328	1,600	1,270	2,560	4,040	5,160	9,870	9,030	2,740	0,184	0,268	0,226
26	0,400	1,530	1,270	3,430	3,720	5,960	9,660	9,030	2,210	0,163	0,268	0,226
27	0,576	1,680	1,210	6,860	3,560	5,640	9,450	9,030	1,730	0,142	0,289	0,184
28	0,532	2,050	1,210	6,300	3,400	5,480	9,240	8,820	1,450	0,163	0,310	0,163
29	0,488	1,900	1,150	5,880	----	5,960	9,030	8,820	1,230	0,163	0,268	0,163
30	0,444	2,740	1,330	5,880	----	7,860	8,400	8,400	1,230	0,184	0,268	0,205
31	0,532	-----	1,210	6,300	----	5,480	----	8,820	----	0,163	0,310	-----
Ort.	0,463	0,822	1,817	3,256	7,962	6,024	8,728	10,769	4,598	0,527	0,248	0,270
Mil m3	1,239	2,130	4,866	8,720	19,262	16,135	22,622	28,845	11,918	1,413	0,663	0,699

2009 Su Yılı Toplam Akım (hm^3) 118,513

4.3 Proje Yeri Debilerinin Alan Oranıyla Bulunması

Proje yerinde Akım gözlemi yapılmadığı durumlarda ise benzeşim metodu kullanılarak benzer havza özelliklerine (Yağış –akış-jeoloji-jeomorfolojik) sahip komşu havzadaki veya aynı akarsu üzerindeki Akım Gözlem istasyonun değerleri alan oranı ile taşınarak su potansiyeli hesaplanmaktadır.

$$Q_{proje} = A_{proje}/A_{ist} * Q_{ist}$$

Q_{Proje} : Proj yeri debi veya akımları
$Q_{İst}$: İstasyon yeri debi ve akımları
A_{Proje} : Proje yeri yağış alanı
$A_{İst}$: İstasyon yeri yağış alanı

Bu durumda; 12-135 nolu AGİ'nin değerleri yağış alanı oranı kullanılarak elde edilen Proje yeri 2009 yılı günlük debileri ve aylık akımları **Çizelge** 6'da verilmiştir.

Çizelge 6. 12-135 nolu AGİ debilerinin alan oranıyla proje yerine taşınması

2009 Su Yılı m^3/s

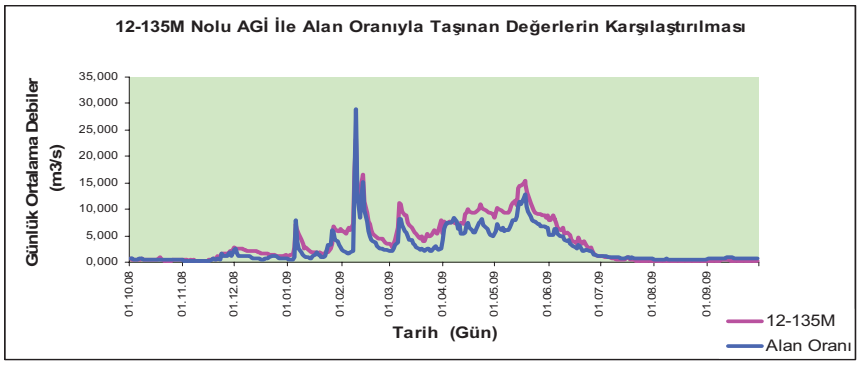
GÜN/AY	EKİM	KASIM	ARALIK	OCAK	ŞUBAT	MART	NİSAN	MAYIS	HAZİRAN	TEMMUZ	AĞUSTOS	EYLÜL
1	0,755	0,281	2,461	0,372	2,272	2,098	6,290	5,867	5,141	1,171	0,513	0,589
2	0,614	0,281	1,708	0,372	2,051	2,098	6,999	7,195	5,141	1,100	0,472	0,624
3	0,463	0,281	1,221	0,443	1,874	2,585	7,397	6,487	5,141	1,100	0,472	0,595
4	0,503	0,281	1,221	0,974	1,697	3,293	7,397	6,177	6,336	1,100	0,489	0,589
5	0,503	0,281	1,221	7,969	1,519	3,824	7,397	6,487	6,336	1,029	0,472	0,589
6	0,684	0,281	1,098	3,984	1,874	8,074	7,795	5,867	5,407	0,919	0,472	0,595
7	0,614	0,281	1,098	2,479	2,051	8,074	8,504	6,177	4,787	0,879	0,489	0,589
8	0,755	0,281	1,098	1,815	15,996	6,923	7,795	6,177	4,787	0,850	0,610	0,589
9	0,463	0,281	1,098	1,284	28,835	5,905	6,290	6,487	4,787	0,819	0,539	0,595
10	0,434	0,281	0,974	1,107	12,897	5,595	6,999	7,195	4,255	0,819	0,489	0,705
11	0,434	0,281	0,779	0,850	8,382	4,975	5,360	7,992	3,901	0,819	0,460	0,790
12	0,463	0,281	0,690	0,850	12,455	4,090	5,360	7,992	4,255	0,790	0,489	0,905
13	0,463	0,281	0,619	0,726	15,111	4,090	5,670	8,700	3,459	0,790	0,460	0,905
14	0,434	0,281	0,619	0,726	9,798	3,470	6,999	10,560	3,237	0,790	0,460	0,905
15	0,434	0,281	0,619	1,107	7,673	3,293	7,397	11,445	3,016	0,790	0,460	0,843
16	0,463	0,281	0,549	1,284	5,858	2,806	6,644	11,002	2,750	1,029	0,472	0,790
17	0,463	0,350	0,549	1,815	4,928	2,585	5,980	12,153	2,529	0,879	0,460	0,705
18	0,463	0,602	0,690	1,461	4,309	2,319	5,670	12,773	3,237	0,790	0,453	0,705
19	0,503	0,532	0,690	1,284	4,043	2,585	5,670	10,560	3,016	0,819	0,472	0,674
20	0,463	0,461	0,690	0,974	3,777	2,319	6,290	9,674	2,175	0,764	0,460	0,674
21	0,434	0,779	0,974	0,974	2,980	2,098	7,397	8,700	2,175	0,764	0,460	0,674
22	0,434	0,532	1,098	1,107	2,759	2,585	7,795	7,992	2,352	0,764	0,460	0,674
23	0,434	1,621	1,098	1,992	2,538	2,585	8,150	7,593	2,352	0,764	0,472	0,674
24	0,434	1,266	1,098	3,188	2,538	2,098	6,999	7,593	2,175	0,764	0,460	0,745
25	0,434	1,134	1,221	3,365	2,272	2,098	6,644	7,195	2,175	0,764	0,460	0,674
26	0,463	1,134	0,779	6,110	2,272	2,806	6,290	7,195	1,820	0,764	0,460	0,674
27	0,554	1,621	0,779	5,490	2,272	3,027	5,670	6,841	1,511	0,764	0,460	0,674
28	0,463	1,975	0,779	4,250	2,051	2,585	5,051	6,841	1,387	0,764	0,460	0,674
29	0,463	1,266	0,779	3,984		2,319	4,785	6,841	1,263	0,766	0,453	0,674
30	0,434	2,373	0,779	3,188		2,585	5,360	6,487	1,156	0,766	0,460	0,674
31	0,434		0,619	2,701		4,090		6,487		0,750	0,453	
Ort.	0,495	0,671	0,958	2,201	5,967	3,544	6,602	7,959	3,402	0,853	0,475	0,692
Mil m3	1,326	1,740	2,565	5,895	14,436	9,493	17,111	21,317	8,818	2,284	1,271	1,794

2009 Su Yılı Toplam Akım (hm^3) 88,052

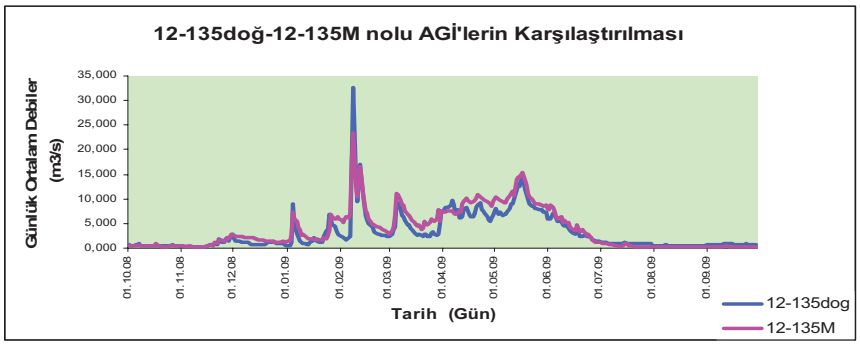
5. SU POTANSİYELLERİ DEĞERLENDİRİLMESİ

102,8 km^2' lik yağış alanına sahip olan 12-135M nolu istasyonun gözlenen yıllık akım değerlerinin mansap istasyonu olan 12-135 nolu AGİ'nin gözlenmiş ve doğallaştırılmış (kanallar ilave edilmiş) 2009 su yılı yıllık akım değerinden %16 daha fazla olduğu gözlenmiştir. Proje yerinin yağış alanları oranıyla elde edilen değerden ise %25 daha fazladır. Oysaki yağış alanları oranına göre membadaki istasyon yıllık akımı mansaptaki istasyonun yıllık akımından (Amemba/Amansap = 102,8 km^2/116.1 km^2) 0,885 oranında yani %11 daha düşük olması gerekmektedir.

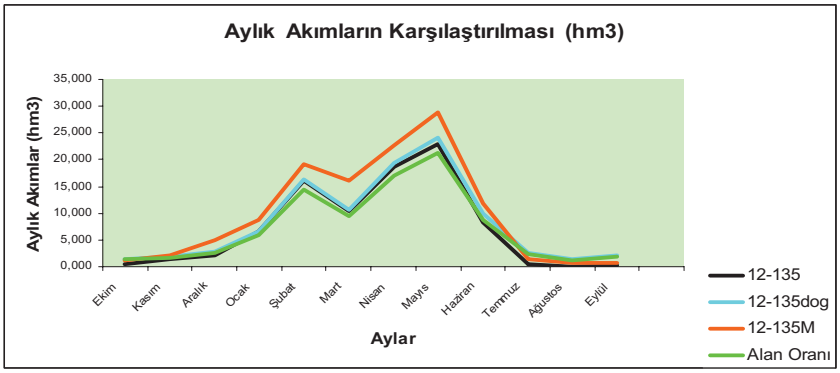
Alan oranıyla taşınan proje yeri değerleri ve proje yeri istasyon günlük ortalama debilerinin karşılaştırılması grafiksel olarak **Grafik** 1'de, 12-135 nolu AGİ'nin doğallaştırılmış hali ile 12-135M nolu AGİ'nin günlük ortalama debilerinin karşılaştırma grafiği **Grafik** 2'de ve 12-135 nolu AGİ'nin istasyon aylık akımları, doğallaştırılmış aylık akımları, 12-135M nolu AGİ'nin (proje yeri) aylık akımları ve proje yerine alan oranıyla taşınan aylık akımların grafiksel karşılaştırması ise **Grafik** 3'te verilmiştir.



Grafik 1.



Grafik 2.



Grafik 3.

6. SONUÇ

Geliştirilmekte olan HES projesinin yaklaşık 3,5 km mansabındaki AGİ'nin değerleri kullanılarak alan oranıyla hesaplanan su potansiyelini kontrol etmek amacıyla kurulan AGİ'de yapılan ölçümler sonucunda alan oranı ile elde edilen değerleri doğrulamadığı gözlenmiştir. Suyun fazla olması daha fazla enerji, sulama ve içme suyu demektir.. Tersi bir durumda, yani memba istasyonu mansap istasyonundan alan oranına göre daha az miktarda su tespit edilebilir. Sonuçta; her iki durumda da, proje çalışmalarında ampirik yöntemlerin kullanılması sonucu özellikle son yıllarda özel firmalar tarafından geliştirilen HES projeleri düşünüldüğünde ekonomik kayıpların göz ardı edilecek miktarda olmayacağı bir gerçektir. Bu kayıpların önüne geçebilmek için; bir bilmece olan akarsularımız üstünde yapılan su yapılarının sağlıklı olabilmesi için özellikle depolamalı tesisler (baraj, gölet) ve kanal santralleri (HES) proje kesitinde mutlak surette akım gözlemleri yapılması gerekmektedir.

7. KAYNAKLAR

1. DSİ Akım Gözlem Yıllıkları

2. Özel Firma Akım Gözlem Verileri

Standart Süreli Yıllık Maksimum Yağış Verilerinin Güvenirlik Analizi ve Ege Bölgesi için bir Uygulama

Halil Karahan [1]

Özet: Standart süreli yıllık maksimum yağış (SSMY) değerleri; su yapılarının ve kentsel altyapı sistemlerinin tasarımı ve işletilmesinde; sistemi kontrol eden en önemli girdilerden birisi olup, belli yineleme süresine sahip standart süreli yağış değerlerinin yeterli güvenirlik düzeyinde öngörülmesi gerekir. Güvenilir tahmin yapabilmenin ilk aşaması ise mevcut gözlemlerin güvenirliğinin test edilmesidir.

Bu çalışmada; Standart Süreli Maksimum Yağış (SSMY) verilerininin güvenirliğinin irdelenmesi için; Eklenik Yağış Yüksekliği Analizi (EYYA) ve L-Momentler D Analizi (LMDA) ismi verilen iki yaklaşım önerilmiştir. Önerilen iki yaklaşım; Ege Bölgesi'nde yer alan Devlet Meteroloji İstasyonlarının (DMI), SSMY gözlemleri kullanılarak test edilmiş, hatalı veya güvenirliği düşük veriler belirlenmiştir. Yapılan analizler sonucunda; her iki yaklaşımın da birbiriyle uyumlu sonuçlar verdiği görülmüş ve özellikle 24 saat süreli verilerin güvenirlik düzeyinin düşük olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, diğer standart süreler için de daha az sayıda hatalı gözlem değerlerinin bulunduğu belirlenmiştir.

Anahtar Sözcükler: Yıllık Maksimum Yağışlar, Eklenik Yağış Yüksekliği Analizi, L-Momentler D analizi

Reliability Analysis of Standard Duration Annual Maximum Rainfall Data and an Application to the Aegean Region

As the Standard Duration Annual Maximum Rainfall (SDAMR) values are among the important factors influencing the behavior of the municipal infrastucture systems in the design and operation of the water structures and the municipal infrastucture systems, it is necessary that the standard duration maximum rainfall values with a definite return period should be estimated at a sufficient reliability level. The first step of a reliable forecast is to test the reliability of the existing observations.

In this study, in order to investigate the reliability of the SDAMR data, two approaches named Cumulative Rainfall Height Analysis (CRHA) and L-Moments D Analysis have been proposed. Both approaches have been tested by using the SDAMR data obtained

[1] Pamukkale Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Denizli, E-Posta: hkarahan@pau.edu.tr

from the meteorological stations of the Turkish State Meteorological Service (DMI) in the Aegean Region and some erroneous data and data with low reliability have been determined. The analyses have revealed that both approaches yield similar results. Furthermore, longer-duration data, especially the 24-hour ones, have low reliability levels for almost all stations, while the shorter ones contain less erroneous data.

Keywords : Annual Maximum Rainfalls, Cumulative Rainfall Height Analysis, L-Moments D Analysis

1. GİRİŞ

Ekstrem özellikteki taşkın ve sağanak yağış gibi verilerin güvenilir tasarım değerlerinin tahmin edilmesinde kullanılan çeşitli istatistiksel yöntemlerden en basiti noktasal frekans analizidir. Noktasal frekans analizinde tahminlerinin doğruluğu veri uzunluğuna ve hatalara karşı duyarlı olduğundan gözlenmiş veri uzunluğunu aşan yineleme sürelerinin tahmin edilmesinde önemli bir dezavantaja sahiptir (Hosking and Wallis, 1988; Cunnane, 1989).

Çalışma alanı olarak seçilen Ege Bölgesi, 85000 km^2 lik alanı ile Türkiye yüzölçümünün %11′ini kaplamaktadır. Oldukça geniş ve yağış özelliklerinin farklılık gösterdiği geniş bir coğrafyayı kapsayan çalışma alanında; DMİ tarafından işletilmekte olan çok sayıda yağış gözlem istasyonu bulunmaktadır. Bu istasyonlardan il ve ilçe merkezlerinde bulunan 35 istasyonun standart süreli maksimum yağış (SSMY) verileri yazar yürütücülüğünde sürdürülmekte olan bir TÜBİTAK projesi kapsamında DMİ'den sağlanmış olup, proje kapsamında ayrıntılı olarak değerlendirilmiştir.

Noktasal veya bölgesel analizlerin güvenirlik düzeyi, analizlerde kullanılacak gözlemlerin yeterli uzunlukta ve doğrulukta olmasına bağlıdır. Farklı istasyonlarda yapılan yağış gözlemlerinde ölçümü yapan personelden, ölçüm yönteminden, kullanılan donanımdan, kayıtların tutulması ve çoğaltılması süreçlerinden kaynaklanabilecek hatalar bulunabilir. Veri setinden bu hataların mümkün olduğunca ayıklanması ve geleceğe yönelik tahminlerin de buna bağlı olarak yapılması gerekir. Ancak, hidrometeorolojik verilerde hataların tümünün belirlenmesi ve düzeltilmesi çok zor bir süreçtir. Yukarda belirtilen proje kapsamında; güvenirliği düşük veya hatalı verilerin belirlenmesi için öncelikle eklenik yağış yükseklikerinin kontrolünü esas alan bir ön değerlendirme çalışması yapılmıştır. Ancak, yapılan bu ön değerlendirmenin geleceğe yönelik tahminler için etkinliğinin belirlenmesi için literatürde kabul gören bir çözüm yaklaşımı ile karşılaştırılması gerekmektedir. Bu nedenle; gözlem değerlerinin güvenirliğinin belirlenmesi için daha detaylı bir analiz olan L-momentlere dayalı uyumsuzluk ölçütü (D) istatistiği kullanılmıştır. Yapılan analizler sonucunda; verilerin güvenirliğinin belirlenmesi için kullanılan her iki yaklaşımın da birbiriyle uyumlu sonuçlar verdiği görülmüştür. Aşağıda bu yaklaşımlarla ilgili detaylı bilgi verilmiş ve analiz sonuçları özetlenmiştir.

2. EKLENİK YAĞIŞ YÜKSEKLİĞİ ANALİZİ (EYYA)

DMİ'den sağlanan standart süreli maksimum yağış yüksekliklerini gösteren veriler ilgili TÜBİTAK projesinin raporlarında ayrıntılı olarak verilmiştir. Söz konusu verilerin genel yapısı Çizelge 1'de özetlenmiştir. Çizelge 1'den görüleceği gibi, ölçüm periyodu içerisindeki tüm yılların, standart süreli maksimum yağış yükseklikleri mm olarak verilmektedir.

Çizelge 1. DMİ'den sağlanan standart süreli maksimum yağış yüksekliklerinin genel görünümü

İstasyon Adı	Standart süreler (dk.)														
YIL	**5**	**10**	**15**	**30**	**60**	**120**	**180**	**240**	**300**	**360**	**480**	**720**	**1080**	**1440**	**1440+**
2005	6.3	8.0	8.4	9.8	14.4	27.6	29.9	32.8	35.9	37.1	39.4	40.1	40.1	47.5	
2004	6.1	9.5	11.5	15.5	16.2	16.8	17.6	17.6	17.6	17.6	17.7	18.3	21.3	54.1	
:	**:**	**:**	**:**	**:**	**:**	**:**	**:**	**:**	**:**	**:**	**:**	**:**	**:**	**:**	
:	**:**	**:**	**:**	**:**	**:**	**:**	**:**	**:**	**:**	**:**	**:**	**:**	**:**	**:**	
1971	6.7	10.2	10.4	15.7	17.2	18.0	18.0	18.0	18.4	19.5	19.5	19.6	19.6	37.6	
1970	4.4	6.2	10.6	17.0	26.5	28.9	29.5	30.2	30.2	30.2	30.2	30.2	30.2	37.1	

Çizelge 1'in 1. sütunu ölçüm yapılan yılları, 2. satırı ise standart yağış sürelerini $\left(d \middle| d \in \mathbf{d} = \left[d_1, d_2, d_3, \cdots, d_{14}\right]^{\mathrm{T}}\right)$, $\mathbf{d}$, standart yağış sürelerini içeren vektörü, T ise vektörün devriğini göstermektedir. Her ölçüm yılı için Denklem (1) ve (2)'nin sağlanması gerekmektedir.

$$P(d_{j+1}) \geq P(d_j) \quad j = 1,2,3,\cdots,13 \tag{1}$$

$$P(d_{k_2}) - P(d_{k_1}) \leq P(d_{k_2} - d_{k_1}) \quad eğer \quad (d_{k_2} - d_{k_1}) \in \mathbf{d} \quad k_1, k_2 = 1,2,3,\cdots,13 \tag{2}$$

Burada, P ilgili yıl ve standart süre için mm olarak ölçülen yağış yüksekliğini göstermektedir. Denklem (1) görüleceği gibi, yağış yüksekliklerinin standart süreler için eklenik olarak artması ya da eşit olması gerekmektedir. Denklem (2) de ise, verilen koşullar altında seçilen iki standart yağış süresine karşı gelen yağış yüksekliklerinin farkının iki standart yağış süresi arasındaki farka karşılık gelen yağış yüksekliğinden küçük ya da eşit olması gerekir. Eklenik yağış yüksekliği analizi (EYYA) olarak tanımlanan bu yaklaşım ile; Denklem (1) ve (2)'nin tüm istasyonlara uygulanması sonucu yukarıda belirtilen hatalardan özellikle verilerin kaydedilmesi ve çoğaltılması sırasında oluşanların belirlenmesi mümkün olmaktadır.

3. L-MOMENTLER D İSTATİSTİĞİ (UYUMSUZLUK ÖLÇÜTÜ)

Yukarıda tanımlanan değerlendirme verilerin kaydedilmesi ve çoğaltılması sırasında oluşan hataların belirlenmesinde etkili olmasına rağmen, olayın stokastik yapısından kaynaklanan sapmaların belirlenmesinde yeterince etkin olamamaktadır. Bu amaçla; gözlem değerlerinin güvenirliğinin belirlenmesi için L-momentlere dayalı uyumsuzluk ölçütü (D) istatistiği kullanılmıştır.

L-momentlerin teorisi ve kullanımı ile ilgili detaylı bilginin pek çok çalışmada ayrıntılı olarak verilmesi nedeniyle (Hosking, 1990; Stedinger et al, 1993; Hosking and Wallis, 1997) bu çalışmada teorik detaylar özet bilgi halinde aşağıdaki gibi verilmiştir. Greenwood ve diğerleri (1979) tarafından geliştirilen olasılık ağırlıklı momentler yöntemi L-momentlerin doğrusal fonksiyonlarıdır ve aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır.

$$\beta_r = E\left[x\{F(x)\}^r \right] \tag{3}$$

Burada, *F(x), x* değişkeni için eklenik olasılık yoğunluk fonksiyonununu (EOYF), *r*, momentin mertebesini $(r = 0,1,2,\cdots,s)$, *s*, maksimum mertebeyi, β_r , r-ninci mertebeden olasılık ağırlıklı momenti göstermektedir. *r* değerinin sıfır olması durumunda (β_0), Denklem (3) dağılımın ortalamasına eşit olmaktadır $(\mu = E[x])$. Denklem (3) ayrıca aşağıdaki şekilde de ifade edilebilmektedir:

$$\beta_r = \int_0^1 x(F)F^r dF \tag{4}$$

Burada, *x(F)*, *F* olasılığında değerlendirilen *x*'in kümülatif olasılık yoğunluk fonksiyonunun tersini göstermektedir. Hosking (1990)'a göre, *r*-ninci mertebeden L-moment değerleri (λ_r), *r*-ninci mertebeden olasılık ağırlıklı momentlerleri ile (β_r) aşağıdaki şekilde bağlantılıdır.

$$\lambda_{r+1} = \sum_{k=0}^{r} \beta_k (-1)^{r-k} \binom{r}{k} \binom{r+k}{k} \tag{5}$$

Bu eşitliğe göre, ilk dört L-moment değerleri aşağıdaki şekilde yazılabilir:

$$\lambda_1 = \beta_0 \tag{6}$$

$$\lambda_2 = 2\beta_1 - \beta_0 \tag{7}$$

$$\lambda_3 = 6\beta_2 - 6\beta_1 + \beta_0 \tag{8}$$

$$\lambda_4 = 20\beta_3 - 30\beta_2 + 12\beta_1 - \beta_0 \tag{9}$$

Yukarıda hesaplanan ilk dört L-moment değeri ile L-değişkenlik $(L - C_v \text{ veya } \tau_2)$, L-çarpıklık $(L - C_s \text{ veya } \tau_3)$ ve L-basıklık $(L - C_k \text{ veya } \tau_4)$ değerleri aşağıdaki gibi hesaplanır (Hosking, 1990):

$$\tau_2 = L - C_v = \lambda_2 / \lambda_1 \tag{10}$$

$$\tau_3 = L - C_S = \lambda_3 / \lambda_2 \tag{11}$$

$$\tau_4 = L - C_k = \lambda_4 / \lambda_2 \tag{12}$$

Yukarıda belirtildiği gibi, yağış gözlem istasyonlarına ait standart süreli maksimum yağış değerlerinin genel gözlemlerden farklı değerlere sahip olup olmadıklarını belirlemek amacıyla ikinci yaklaşım olarak L-momentlere dayalı "düzensizlik (uyumsuzluk) ölçütü" (D) istatistiği kullanılmıştır. D istatistiğini hesaplamak için i istasyonundaki L-moment oranları u_i vektörü $u_i = [\tau_i, \tau_{3i}, \tau_{4i}]^T$ şeklinde oluşturulur (Hosking and Wallis, 1993). Hosking and Wallis (1997) bu ölçütü aşağıdaki şekilde tanımlamışlardır:

$$D_i = \frac{1}{3}\left(u_i - \bar{u}\right)^T S^{-1}\left(u_i - \bar{u}\right) \quad i = 1,2,3,\cdots,N \tag{13}$$

$$\bar{u} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{N} u_i \tag{14}$$

$$S = \frac{1}{(N-1)}\sum_{i=1}^{N}\left(u_i - \bar{u}\right)\left(u_i - \bar{u}\right)^{\mathrm{T}} \tag{15}$$

Denklem (13) – (15)'de, N istasyon sayısını, u_i, L-momentlerin vektörünü, $\bar{u}$ grup ortalamasını, S örnek kovaryans matrisini göstermektedir. İstasyon sayısı 15'den fazla olan bir bölge içindeki bir istasyonda hesaplanan D_i değeri 3'den büyükse bu istasyon genellikle düzensiz olarak kabul edilir ve istasyona ait verilerde hata(lar) olduğu anlaşılır (Hosking and Wallis, 1993).

Denklem (3)-(15)'de tanımlanan çözüm yaklaşımı; her istasyonun tüm standart süreleri için uygulanmış ve standart sürelere ait verilerde düzensizlik bulunup bulunmadığı belirlenmiştir.

4. UYGULAMA

Bu proje kapsamında; güvenirliği düşük veya hatalı verilerin belirlenmesi için yukarıda tanımlanan iki farklı yaklaşım, çalışma bölgesinde yer alan 35 istasyona uygulanmış ve sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

4.1. Eklenik Yağış Yüksekliği Analizi

Yukarda ayrıntıları verilen SSMY verilerine; Denklem (1) ve (2)'de tanımlanan yaklaşım uygulanmış ve hatalı veya güvenirliği düşük veriler belirlenerek ilgili proje raporlarında ayrıntılı olarak verilmiştir. Sözkonusu analiz sonuçları Çizelge 2'de özetlenmiştir. Çizelge 2'den görüleceği gibi; EYYA ile verilerdeki hatalar noktasal olarak belirlenmektedir. Diğer bir deyişle, herhangi bir istasyonun, herhangi bir yılının, herhangi bir standart süresine ait hatalı veya güvenirliği düşük veri belirlenebilmektedir.

Çizelge 2. EYYA ile belirlenen hatalı veya güvenirliği düşük verilerin istasyonlara ve standart sürelere göre dağılımı

İstasyon No	Gözlem Süresi (Yıl)	İstasyon Adı	Standart Süre (dakika)												
			5	10	15	30	60	120	180	240	300	360	480	720	1080	1440
1	36	ACIPAYAM		-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	1	18
2	45	AFYON		-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	6
3	41	AKHİSAR		-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	10
4	46	AYDIN		1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	9
5	39	AYVALIK		1	-	1	-	-	-	1	-	1	-	-	-	6
6	39	BERGAMA		-	-	-	-	-	1	-	-	-	1	-	-	3
7	41	BODRUM		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2
8	33	BOLVADİN		2	-	2	-	-	1	-	-	-	-	-	-	3
9	42	BORNOVA		-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	1	3
10	40	ÇEŞME		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7
11	13	DALAMAN		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2
12	13	DEMİRCİ		1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2
13	47	DENİZLİ		-	-	1	-	1	-	-	-	1	1	-	-	9
14	47	DİKİLİ		-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	2	9
15	38	DİNAR		-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	5
16	41	EDREMİT		1	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	5
17	46	FETHİYE		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6
18	34	GEDİZ		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8
19	37	GÜNEY		2	-	-	1	-	-	-	-	-	1	-	-	10
20	68	İZMİR		1	-	-	-	1	1	-	-	-	-	-	-	11
21	27	KEMALPAŞA		-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	16
22	60	KÜTAHYA		2	1	-	-	-	1	-	-	-	2	-	1	18
23	48	MANİSA		-	-	1	-	-	1	-	-	1	-	1	-	11
24	40	MARMARİS		-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	4
25	41	MİLAS		-	-	1	-	-	1	-	-	-	-	-	1	8
26	62	MUĞLA		-	1	1	2	2	-	-	-	-	-	-	-	17
27	23	NAZİLLİ		1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1
28	37	ÖDEMİŞ		1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9
29	39	SALİHLİ		-	-	1	-	1	-	-	-	-	-	-	-	9
30	41	SELÇUK		-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	9
31	41	SİMAV		-	-	1	2	1	-	-	-	1	1	-	-	14
32	29	SULTANHİSAR		1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6
33	37	TAVŞANLI		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7
34	61	UŞAK		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	15
35	40	YATAĞAN		-	-	-	-	1	-	-	-	1	-	-	-	7

Çizelge 2'nin son sütunundan görüleceği gibi tüm istasyonların 24 saat standart süreli maksimum yağış gözlem verilerinde hatalar bulunmaktadır. Diğer standart sürelerde ise, bazı istasyonlarda hatalı veriler bulunmaktadır. Bu hataların özellikle 24 saatlik standart süre için tüm istasyonlarda görülmesi ve sıklığının yüksek olması dikkat çekicidir. Bu durumun; günaşırı yağışların kayıtlarının tutulmasındaki hatalardan kaynaklandığı düşünülmektedir.

Hatalı veya güvenirliği düşük verilerin tüm gözlem verisi içindeki oranları ise standart sürelere göre Çizelge 3'de verilmektedir. Çizelge 3'den görüleceği gibi 24 saatlik (1440 dk.) standart süreli verilerin % 20'den fazlası hatalı olup, bu hatalı değerler bazı istasyonlarda % 50-60 (Acıpayam, Kemalpaşa) gibi yüksek oranlara ulaşmaktadır. Uzun süreli yağışların özellikle tarımsal amaçlı kullanımlar ve hazne boyutlandırılması için önemli olduğu dikkate alınarak, sözkonusu hataların ya veri setinden çıkarılması ya da farklı tekniklerle düzeltilmesi gerekir. Sözkonusu hatalı verilerin ŞSF model performansına etkisi sürdürülmekte olan TÜBİTAK projesi kapsamında incelenmektedir.

Çizelge 3. Hatalı veya güvenirliği düşük verilerin standart sürelere göre değişimi

	Standart Süre (dakika)														Tüm Veriler
	5	**10**	**15**	**30**	**60**	**120**	**180**	**240**	**300**	**360**	**480**	**720**	**1080**	**1440**	
Hatalı Veri Sayısı	-	14	3	9	11	7	8	1	2	7	7	2	7	285	363
Toplam Veri Sayısı	1412	1412	1412	1412	1412	1412	1412	1412	1412	1412	1412	1412	1412	1412	19768
Hatalı Veri Oranı (%)	-	0.99	0.21	0.64	0.78	0.50	0.57	0.07	0.14	0.50	0.50	0.14	0.50	**20.18**	1.84

4.2 L-Momentler D Analizi

Bölüm 3'de ayrıntılı olarak açıklanan L-Momentler D analizi; her bir standart süre için çalışma bölgesindeki tüm istasyonlara uygulanmış ve standart sürelere ait verilerde düzensizlik bulunup bulunmadığı belirlenmiştir. Bu analizler ayrıntılı olarak ilgili proje raporlarında verilmiş olup, belirtilen analizler Çizelge 4'de özetlenmiştir.

Çizelge 4'den görüleceği gibi özellikle 24 saatlik (1440 dk.) verilerde uyumsuzluk ölçütü sınır değerinin aşıldığı görülmektedir. Ayrıca; 1080 dk. için Muğla ve 5 dakikalık gözlemler için Akhisar, Aydın, Sultanhisar ve Yatağan istasyonlarında uyumsuzluk ölçütü sınır değerinin aşıldığı görülmektedir.

Çizelge 4. Standart süre için L-Momentler D analizi sonuçları (D≥3 olan hücreler uyumsuzluk ölçütünü aştığı için kalın olarak gösterilmiştir.)

İstasyon No	Gözlem Süresi (Yıl)	İstasyon Adı	Standart süre (Dakika)													
			5	10	15	30	60	120	180	240	300	360	480	720	1080	1440
1	36	ACIPAYAM	1.4833	1.6491	1.1843	0.7609	1.8700	0.3504	0.1509	0.3134	0.2685	0.8844	0.2686	0.7622	0.3598	**3.6940**
2	45	AFYON	1.3521	0.9005	0.6178	1.2716	0.2235	1.0184	0.4728	0.8392	0.6353	0.6411	0.7210	1.4810	0.4602	**3.3655**
3	41	AKHİSAR	**3.0539**	0.1925	0.2138	1.5954	1.4082	1.5309	0.2217	0.1933	0.2460	0.4227	0.6208	0.8736	0.8910	2.5362
4	46	AYDIN	**3.6471**	1.2693	0.7951	0.6375	1.1825	1.0273	0.4316	0.2888	0.0550	0.5574	1.4347	0.3184	0.5434	1.8120
5	39	AYVALIK	1.4354	0.4881	0.3457	2.4353	0.2845	1.1329	0.7495	0.4701	0.4391	0.2405	0.2742	0.5289	2.5593	2.6164
6	39	BERGAMA	1.4437	0.8638	2.6215	0.9934	0.2800	0.2480	0.4118	0.7832	1.0009	0.8540	1.1469	0.3442	0.8210	2.1876
7	41	BODRUM	2.9572	1.0144	0.8129	0.6709	1.8068	1.2637	0.2962	0.5781	0.2491	0.4894	0.9923	1.4200	0.7757	0.6732
8	33	BOLVADİN	2.8536	2.2963	0.6504	1.5535	0.9566	0.4941	0.4164	0.3542	0.1752	0.2495	0.2329	1.0753	1.0286	1.6633
9	42	BORNOVA	2.2173	1.3737	0.9444	0.4691	0.0940	1.5551	0.3295	0.5681	0.2903	0.8540	0.6846	1.2140	1.6321	1.7738
10	40	ÇEŞME	2.4250	1.0121	1.2069	0.1896	0.3083	0.6317	1.0289	0.5186	0.3808	1.2296	0.6155	0.4449	0.4279	**3.5804**
11	13	DALAMAN	1.8776	1.8106	1.3047	1.3742	1.4092	0.5981	0.5685	0.2159	0.0303	0.3359	0.7300	1.9493	1.4715	0.3242
12	13	DEMİRCİ	2.7484	1.2073	0.2920	0.2325	1.3948	0.4420	0.7061	0.2427	0.1052	0.4787	0.5957	0.1938	1.4670	**3.8938**
13	47	DENİZLİ	1.2659	0.8908	0.6846	1.0918	1.7807	0.4419	1.2236	0.9517	0.8950	0.9875	0.2824	0.6345	0.8024	2.0673
14	47	DİKİLİ	1.9601	1.5669	0.8029	1.6811	0.5530	1.6430	0.8897	0.3966	0.5730	0.5252	0.3422	0.8689	1.5918	0.6058
15	38	DİNAR	1.3297	0.7420	0.8507	1.2107	0.9620	0.8502	0.8498	0.4798	0.1108	0.3228	0.4008	0.5604	1.5018	**3.8286**
16	41	EDREMİT	1.3210	1.4036	0.5473	1.0546	0.8270	0.3198	0.5210	0.5163	0.5383	0.3586	0.2450	1.3500	1.8982	**3.0992**
17	46	FETHİYE	0.8480	2.3398	1.8457	0.6231	0.5707	0.4266	0.4451	0.4992	0.5377	0.3883	0.8741	0.4195	1.4784	2.7038
18	34	GEDİZ	0.7463	1.3174	1.5260	0.8636	1.0197	0.5035	0.4529	0.5856	0.7474	0.6501	0.4843	1.6261	0.7870	2.6899
19	37	GÜNEY	2.9287	1.3976	0.5146	0.9999	1.3253	0.8702	0.6642	0.4584	0.1227	0.2887	0.5289	1.5901	0.2448	2.0658
20	68	İZMİR	0.2145	0.1217	0.4433	0.9443	1.9197	0.8477	0.2930	0.5864	0.1955	0.6069	0.6787	0.7056	2.7779	**3.6649**
21	27	KEMALPAŞA	0.5235	1.1594	2.2543	1.0743	0.1635	0.6416	0.8716	0.9016	0.5041	0.4060	0.5377	0.8904	1.4427	2.6293
22	60	KÜTAHYA	1.4479	1.1452	2.8199	0.5726	0.3676	2.5855	0.2084	0.1733	0.3810	0.2638	0.4432	0.3169	1.3874	1.8871
23	48	MANİSA	0.1772	0.3381	0.9130	2.0480	0.3427	0.3692	0.6114	0.8543	0.6566	0.6361	0.6634	1.5929	1.2896	**3.5075**
24	40	MARMARİS	1.4691	1.5965	0.6976	0.6774	0.8199	0.2354	0.9696	1.0241	0.6215	1.0545	1.1406	1.8633	1.1730	0.6574
25	41	MİLAS	1.0009	2.3046	0.5424	1.0182	1.4299	0.5147	0.1211	0.2012	0.5610	0.3829	0.5123	1.0634	0.4858	**3.8616**
26	62	MUĞLA	0.5317	0.7410	0.8132	0.6086	0.9890	0.6540	0.2834	0.6010	0.9434	0.3835	0.2712	0.6959	**3.0949**	**3.3891**
27	23	NAZİLLİ	2.2733	0.8619	0.5076	1.9667	1.4762	1.4113	0.1426	0.2273	0.4768	0.7684	0.5856	0.7611	1.5117	1.0294
28	37	ÖDEMİŞ	0.7664	0.1427	0.5080	0.6583	2.5096	0.3008	0.1226	0.4644	1.2206	0.6839	0.3934	0.7571	2.2273	**3.2449**
29	39	SALİHLİ	1.4812	1.1623	0.3018	0.2882	2.1468	0.9054	0.2370	0.2317	0.2580	1.3163	0.9534	0.8307	1.2647	2.6227
30	41	SELÇUK	2.0585	0.4514	0.7872	0.6950	1.2277	1.6621	0.2285	0.2246	0.2472	0.2533	0.4068	0.7756	0.9412	**4.0409**
31	41	SİMAV	2.3333	1.1211	0.5921	1.2017	1.2483	1.0438	0.9759	0.1542	0.0777	0.5122	1.4216	0.9466	1.4553	0.9162
32	29	SULTANHİSAR	**3.0618**	0.8094	0.6094	0.3828	0.6312	0.8799	0.7211	0.7727	1.0379	0.7960	0.4374	0.7626	1.1257	1.9720
33	37	TAVŞANLI	2.1141	0.5866	1.0660	0.8359	0.6312	0.9137	0.6972	0.5525	0.2143	0.1271	0.2388	0.9368	2.2944	2.7913
34	61	UŞAK	2.2168	0.4099	0.1471	1.5987	1.5666	0.7690	0.2369	0.1464	0.0646	0.3732	0.3297	0.9931	1.9597	**3.1883**
35	40	YATAĞAN	**3.3967**	0.2515	0.4376	1.2059	0.9847	0.7308	0.5288	0.3411	0.3584	0.1744	0.9456	0.7865	1.4586	2.3994

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

EYYA ile veri setindeki hatalar noktasal olarak belirlenebilirken, D Analizi ile veri setindeki uyumsuzluk gösteren standart süreler belirlenebilmektedir. Diğer bir deyişle; EYYA hangi istasyonun, hangi yıla ait, standart süreli gözlem verisinde hata bulunduğunu belirlerken, D analizi hangi istasyonun hangi standart süreli gözlem grubunda hata bulunduğunu göstermektedir. Eğer, ilgili istasyonun hatalı veri sayısı, genel eğilimi değiştirmeyecek kadar az ise bu durum; D analizinde gözükmemektedir. EYYA ile hata belirlenirken veriler arasındaki nicelik ilişkisi kullanılırken D analizinde verilerin stokastik yapısı analiz edilmektedir. Bu nedenle; her iki analizin birbirlerini tamamlayıcı olarak kullanılmaları ve geleceğe yönelik tahminlerin güvenirlik düzeyinin artırılması için hatalı gözlemlerin ayıklanması ve özellikle gözlem süresi kısa istasyonlar için Bölgesel Şiddet Süre Frekans bağıntılarının kullanılması önerilmektedir.

6. TEŞEKKÜR

Bu çalışma ve çalışmada kullanılan yazılımlar; yazarın yöneticiliğinde sürdürülmekte olan 108Y299 No'lu TÜBİTAK projesi kapsamında; verilerin güvenirlik analizi için hazırlanmıştır. Yazar desteklerinden dolayı TÜBİTAK ve çalışmada kullanılan SSMY verilerinin temin edildiği DMİ'ye teşekkürlerini sunar.

7. KAYNAKLAR

Cunnane C, "Statistical distributions for flood frequency analysis", Operational Hydrology Report (No:33), World Meteorological Organization WMO No. 718, Geneva, Switzerland, 1989.

Greenwood JA, Landwehr JM, Matalas NC, Wallis, JR, "Probability weighted moments: definition and relation to parameters of several distributions expressable in inverse form", Water Resources Research, 15: 1049-1054, 1979.

Hosking JRM, "L-Moments: analysis and estimation of distributions using linear combinations of order statistics", Journal of the Royal Statistical Society, Series B, 52(2): 105–124, 1990.

Hosking JRM, Wallis JR, "Regional Frequency Analysis: An Approach Based on L-Moments", Cambridge University Press, New York, USA, 1997.

Hosking JRM, Wallis JR, "Some statistics useful in Regional Frequency Analysis", Water Resources Research, 29: 271-281, 1993.

Hosking JRM, Wallis JR, "The Effect of Inter-Site Dependence on Regional Flood Frequency Analysis," Water Resources Research, 24: 588–600, 1988.

Stedinger JR, Vogel RM, Foufoula-Georgiou E, "Frequency analysis of extreme events", In: Handbook of Hydrology (ed. by D. R. Maidment), Chapter 18:1-68, McGraw-Hill, New York, USA, 1993.

Acıgöl'ü (Denizli) Besleyen Yeraltısularının Hidrojeokimyası

Muhittin KARAMAN [1], Suat TAŞDELEN [2] Murat BUDAKOĞLU [3]

Özet: Acıgöl yüksek Na-Cl-SO_4 içerikli sığ, playa tektonik bir göldür. Özellikle tuzlu göl çökel alanları içindeki canlılarla beslenen kuş türlerinin uğrak yeri olmasından dolayı özel koruma alanı içindedir. Gölü besleyen doğal su kaynaklarının göl suyuna olan hidrojeokimyasal etkilerinin değerlendirilmesi amacıyla yapılan bu çalışmada, göle boşalan su noktalarının yerinde ve laboratuar ortamında (ICP-OES, İyon Kromatografi) ölçüm ve analizleri yapılmıştır. Gölü besleyen kaynak sularıyla birlikte, DSİ tarafından bölgede açılmış ve gölü çevreleyen su sondajlarının hidrojeokimyasal değerlendirmeleri yapılmış ve göl havzasındaki yeraltısularının niteliği belirlenmiştir. Yapılan sınıflamalar sonucu Gemiş Kaynakları Mg-SO_4, Akpınar Kaynakları ve Kuş Gözlem Sondajları'nın Na-SO_4 tipi sular olduğu belirlenmiştir. Kaynak suları sulama suyu olarak kullanılmaları durumunda; tuzluluk tehlikesi oluşturmaktadır. Suların karbonatça aşırı doygun olmaları Acıgöl'de birincil mineralin kalsit ve aragonit olduğunu göstermiştir. Acıgöl'ü besleyen kaynaklar Schoeller içilebilirlik diyagramına göre 3.kalite "orta kaliteli içilebilir sular" sınıfındadır. Tuzluluk özelliklerine göre Kocaçay dışında "tuzlu, az sodyumlu sular" grubundadır. Sulama suyu özelliklerine göre kaynaklar "iyi-kullanılabilir" özelliktedir.

Anahtar Sözcükler: Acıgöl; Su Kimyası; Sodyum Sülfat

Hydrogeochemistry of Groundwaters Feeding Acigöl (Denizli,Turkey)

Abstract: Acıgöl is a shallow tectonic playa lake that contains high Na-Cl-SO_4. Acıgöl is specially protected area because of the some bird types that fed by organism in salty lake sediment. In order to assess the hydrogeochemical impact of natural spring waters to Acıgöl, in-situ measurements and laboratory (ICP-OES, Ion Chromatography) analysis were performed. Hydrogeochemical characteristics of ground water in the basin has been identified from natural spring waters feeding the lake and previously drilled

[1] İstanbul Teknik Üniversitesi,Uydu Haberleşmesi ve Uzaktan Algılama Merkezi, İstanbul
E-Posta: mkaraman@itu.edu.tr; Tel: (212) 285 6813

[2] Pamukkale Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Denizli
E-Posta: stasdelen@pau.edu.tr; Tel: (258) 296-3375

[3] İstanbul Teknik Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, İstanbul
E-Posta: budak@itu.edu.tr; Tel: (212) 285-6107

wells by DSI. According to water classifications, Gemiş springs were classified as Mg-SO_4 type waters, Akpınar springs and Kuş Gözlem wells were classified as Na-SO_4 type waters. Using these spring waters as irrigation water, cause salinity hazardous for environment. Carbonate supersaturated waters that fed the lake caused calcite and aragonite to precipitate as primary minerals. According to Schoeller potable diagram water resources feeding Acıgöl are classified as 3rd class "medium-quality potable water". According to salinity classification all waters except Kocaçay are in "salty, low sodium water" group. Waters for irrigation purposes can be classified as "good-available" water qualification

Keywords: Acigol; Water Chemistry; Sodium Sulfate

1. GİRİŞ

Acıgöl, içerik olarak Na-Cl-SO_4 konsantrasyonuna sahip tuzlu, sürekli, sığ, (playa havzası oluşturan) tektonik bir göldür. Güneybatı Anadolu graben havzaları içinde yer alan göller içinde, gerek oluşumu gerekse sodyum sülfat içeriği ile Türkiye'nin sodyum sülfat üretiminin %85'ini karşılamakta olmasından ötürü ayrı bir öneme sahiptir (Mutlu ve diğ., 1999). Türkiye'deki en önemli sodyum sülfat üretim yerleri önemli ölçüde sodyum sülfat içeren Acıgöl, Bolluk ve Tersakan gölleridir. Bu göllerden glauber tuzu ve thenardit gibi sodyum sülfat mineralleri üretilmektedir (Gündoğan ve diğ., 1995). Acıgöl'de bulunan işletmelerde teknolojik yöntemlerle de susuz sodyum sülfat (ağır tip) üretimi yapılmaktadır. Bu göllerin su bileşimi mevsimsel olarak büyük değişiklikler göstermektedir. Evaporasyonun yoğun olduğu yaz aylarında su bileşimindeki iyonların konsantrasyonu maksimuma ulaşırken kış aylarında yağışların etkisiyle bu değer minimuma inmektedir. Yıllardan beri bu göllerden büyük miktarlarda üretim yapılmasına karşın göllerin iyon konsantrasyonlarında üretime bağlı olarak büyük bir değişiklik olmamıştır. Bu da göllerin bazı kaynaklarca beslendiğini göstermektedir (Gündoğan ve diğ., 1995).

Gölün geliştiği havza, KD-GB yönelimli graben sistemi içinde, Denizli-Burdur-Afyon illerinin kesişim noktasında özellikle Başmakçı, Dazkırı ve Çardak ilçeleri sınırları içerisinde, Denizli M-23 ve Isparta M24 paftalarında yer almaktadır. Gölalanı, Denizli-Afyon Karayolu güneyinde, Denizli-Çardak havaalanının doğusunda, M23-a ve M23-b paftaları içinde bulunmaktadır. Acıgöl havzasının önemli yükseltileri güneyinde Yandağ ve Söğüt dağı, kuzeyinde Maymundağı'dır (**Şekil 1, 2**).

2. GENEL JEOLOJİ

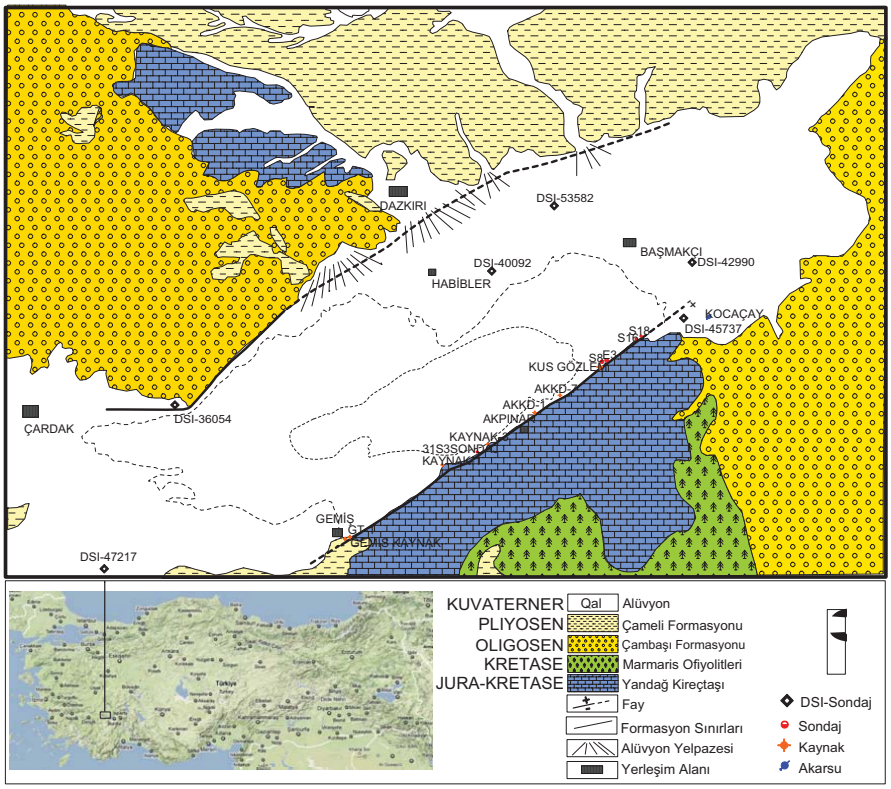
Kapalı bir göl havzası olan Acıgöl Neojen graben tektoniğinin etkisinde gelişmiştir (Toker, 2008). KD-GB gidişli Acıgöl grabeni, kuzeybatıdan Dazkırı ya da Maymundağı, güneydoğudan Acıgöl fayları ile sınırlandırılmıştır. Grabeni güneyden sınırlayan eğim atımlı normal faylar 3 segmentten oluşmaktadır. Bunların uzunlukları KD'dan GB'ya sırasıyla; 8,5 km 17 km ve 8,3 km kadardır. Kuzeydoğudaki Dazkırı segmentinin uzunluğu 19,5 km.dir. Dazkırı segmentinin batı ucunda Çardak kuzeyinde fayın doğrultusu değişerek D-B doğrultusunu alır. Paleojen ve Neojen istiflerini kesen Dazkırı fayı güneydoğudaki Acıgöl fayı kadar belirgin değildir. Havzayı güneydoğudan

sınırlayan Acıgöl fayı morfolojisi ile daha belirgindir. Mesozoyik ve Pliyo-kuvaterner birimlerini keser. İlk ortaya çıkışı Erken- Orta Miyosen'den sonradır. Bu fay Pliyo-kuvaterner'de yeniden hareketlenmiştir. Çünkü fay düzlemini örtmüş olan breşik kolüvyon malzeme Pliyo- kuvaterner hareketlerinden etkilenmiştir. Grabeni sınırlayan faylar, KB-GD yönlü genişleme tektoniğinin verilerini sunar. Ancak eski bir sol yanal atım bileşenine de sahiptir (Temiz vd., 1997). Acıgöl ve çevresinin tektonik gelişimi, Isparta ve Burdur çevresine benzerlik sunmakta ve Geç Miyosen-Erken Pliyosen'den sonra, Isparta dirseği ve Burdur-Acıgöl civarındaki bölgelerde Anadolu plakasına göre yarı bağımsız bir tektonik ünite olarak hareket etmektedir (Glover ve Robertson, 1998).

Sismik olarak aktif olan Acıgöl grabeninin güneydeki temelini Jura-Kretese yaşlı Yandağ çörtlü kireçtaşları, kuzeydeki temelini ise Oligosen konglomeraları ile temsil edilen ve Acıgöl grubu olarak da adlandırılan, Çambaşı Formasyonu oluşturmaktadır. Acıgöl havzasının güney-güney batı kenarlarında, Çameli Formasyonu olarak bilinen, altta Geç Miyosen-Erken Pliyosen yaşlı kil taşı, marn ve marnlı kireçtaşı, üstte Orta-Geç Pliyosen yaşlı kiltaşı-kumtaşı ve konglomeralar yer almaktadır. Havzanın merkezini Kuvaterner yaşlı gölsel tortullar, havza kenarını yine Kuvaterner yaşlı kaba kırıntılı kalüvyal ve alüvyal tortullar oluşturmaktadır. Kuzey kenardaki faylı Oligosen temele yaslanan tortullar kolüvyon konileri ile küçük ölçekli alüvyon yelpazeleri şeklinde depolanmaktadırlar. Havzanın güneyinde etek döküntüleri şeklinde yer alan birikintiler, yamaç tabanlarında, basık tepeli ve yayvan şekilli birikinti konisi oluşturmaktadır. Göl içine kadar uzanan koniler yüksek ön takımları olan kalüvyon yelpaze deltalarını meydana getirmişlerdir. Deltaların görünen kısımları göl seviyesinden 6 m daha yüksektedir (Kazancı ve diğ., 2006).

Acıgöl havzasının güney doğusunda Değirmendere-Ovacık bölgesinde geniş bir alanda Acıgöl grubuna ait birimler görülmektedir. Havzanın kuzey doğusunda kiltaşı, marn, konglomera içeren Çameli Formasyonu ve killi kireçtaşı birimler içeren Çameli Formasyonu-Kireçtaşı Üyesi yer almaktadır. Pliyosen yaşlı Çameli Formasyonu konglomera, kumtaşı, kiltaşı, marn dolomit ve kireçtaşlarından oluşan göl çökelleri içermekte ve havzanın kuzey ve güneyinde büyük yükseltiler şeklinde görülmektedir (Mutlu ve diğ., 1999). Çameli Formasyonu, alüvyal yelpaze, yelpaze deltası ve göl ortamını karakterize etmektedir (Toker, 2008). Kuvaterner yaşlı gölsel tortullar, Çameli Formasyonun üzerine ise uyumsuz olarak gelmektedir. Çameli Formasyonu, Çambaşı Formasyonu olarak da adlandırılan Acıgöl grubunu açısal uyumsuzlukla örtmüştür.

Grabenin güneyindeki yükseltilerde, Yandağ çörtlü kireçtaşlarının üzerinde, kireçtaşı çört-ve radyolarit bloklar barındıran Kretese yaşlı Marmaris ofiyolitleri bulunmaktadır. Çambaşı Formasyonu havzanın güneyindeki yüksekliklerde Marmaris ofiyolitlerini uyumsuz olarak kesmiştir. Marmaris ofiyolitleri allokton konumlu kütle olup, Likya naplarından, Marmaris ofiyolit birliği napına aittir. Acıgöl havzasında, Marmaris ofiyolit napı, bodrum napı üzerinde yer almıştır. Acıgöl'ün güneydoğu kenarındaki Yandağ Formasyonu, Geç Senoniyen yaşlı bloklu flişle sonlanır. Yandağ Formasyonu Bodrum napı ile aynı yapısal özellikleri gösterir (Şenel, 1997). Kuvaterner alüvyon birikintileri (gölsel ve nehirsel çökeltiler) göl çevresindeki en genç çökellerdir (Mutlu ve diğ., 1999).



Şekil 1. Acıgöl'ün Genel Jeolojisi (Şenel,1997;Mutlu ve diğ., 1999).

3. HİDROJEOLOJİ

Acıgöl, Yandağ ve Söğüt Dağı'ndan gelen yüzeysel akımlarla, kaynak sularıyla ve gölün doğusunda Başmakçı tarafından gelen ve sadece yağışlı dönemlerde akar durumda olan Kocaçay'ın sularıyla beslenir; gölün gideri yoktur. Yıl genelinde gölün besleniminin büyük bir kısmını sağlayan ve gölün güneyinde fay yüzeyi boyunca yer alan Gemiş ve Akpınar kaynaklarıdır. Bu kaynakların dışında, Acıgöl'ün güneyinde Akpınar ile Başmakçı arasında mevsimlik veya sürekli birçok sızıntı kaynağı tespit edilmiştir.

DMİ (Devlet Meteoroloji İşleri)'den alınan verilerin Thornthwaite yöntemine göre değerlendirilerek uzun yıllar ortalama yıllık yağış 384,64 mm ve yağışın 372,01 mm'lik kısmının buharlaşma-terleme yoluyla tekrar atmosfere döndüğü belirlenmiştir. EİEİ (Elektrik İşleri Etüt İdaresi) tarafından 05.03.1998 tarihinde açılmış olan 1009/AG AGG (Aylık Göl Gözlem İstasyonu) nolu Akpınar Göl Gözlem istasyonu 05.05.1999-02.09.2004 tarihleri aralığına ait aylık eşel yüksekliği, hava, su sıcaklığı, göl suyu rengi ve bulanıklılık durumu, göldeki buzlanma, dalga durumu, rüzgâr esme yönü bilgileri değerlendirilmiştir.



Şekil 2. Acıgöl'ü besleyen doğal sular ve DSİ sondajlarının Google Earth'den görünümü

Göl gözlemlerinin yapıldığı istasyon için, Acıgöl'ün yağış alanı 1292 Km^2, 836m kotunda su yüzü alanı 41.30 km^2, eşel sıfırı yükseltisi 836,1m'dir. Göl gözlem bilgilerine göre maksimum eşel su seviyesi 1.6m (837.68m) 15.02.2000 tarihinde, en düşük eşel su seviyesi 0.1m 02.08.2001 tarihindedir. Gölün ortalama eşel su seviyesi 0.9m, eşel sıfırına göre ortalama su seviyesi 837m'dir. Göl havzasında en yüksek sıcaklık 34^0C (02.09.2004), minimum (13.01.2000) -2 ^{o}C'dir. Gölün en yüksek su sıcaklığı 19.08.1999, 10.07.2000 tarihlerinde 41^oC, en düşük su sıcaklığı 18.12.2003 tarihinde -1 ^{o}C'dir. Gözlemlerin yapıldığı aralıkta nisan ve mayıs aylarında göl suyu bulanık, diğer dönemlerde temizdir. Genel olarak ocak ayında göl kıyısında buzlanmalar meydana gelirken diğer dönemlerde buzlanma gözlenmemektedir.

Göl suyu dalgasızdır. 1009/AG istasyonunda 01.10.2005'de eşel 1m'ye indirilmiştir. Suyun elektriksel iletkenliği 50000µs /cm'nin çok üzerinde olmasından dolayı Ocak 2009 itibariyle kalite numunesi alımı ve ölçüm işlemi durdurulmuştur (EİEİ, 2005).

DSİ-1996 verilerine göre Acıgöl havzasında yeraltısuyu gölü beslemektedir. Havzanın KD ve GB'sında açılan YAS kuyularının statik seviyeleri 3-35m arasında değişmekte olup yağışlı dönemlerde yeraltısuyu seviyesinin üstündedir. Gölün güneyindeki kaynaklardan yüksek orandaki boşalım Yandağ kireçtaşlarının karstik yapıda olmasından kaynaklanmaktadır (Mutlu ve diğ., 1999). Yağışlarda meydana gelen düşüşler nedeniyle gölü yeraltısuyuyla yapay olarak beslemek için gölde üretim yapan firmalar tarafından havzanın güneyi boyunca özellikle Akpınar Köyü'nden sonra Başmakçı'ya doğru derin yeraltısuyu sondajları açılarak yapay olarak yapılmıştır.

Arazide yapılan gözlemlerde ilk açıldıkları döneme göre oldukça düşük debilerde birkaç sondajdan beslenim devam etmektedir.

4. SU KİMYASI

Gölü besleyen ve gölün jeokimyasına etki eden su noktalarının hidrojeokimyasal niteliğinin belirlenmesi ile gölün hidrojeokimyasal içeriğinin beslenim kökeninin belirlenebilmesi amacıyla Haziran-2008, Mayıs-2009, Ağustos-2009 tarihlerinde arazi çalışmaları yapılmış, gölün etrafında yer alan ve gölü besleyen su noktalarının tespiti gerçekleştirilmiştir. Her arazi çalışmasında su noktalarında yerinde WTW ProfiLine 197i portatif ölçüm cihazı ile pH, elektriksel iletkenlik (Eİ), çözünmüş oksijen (ÇO) ve sıcaklık (t) gibi su kalitesi parametre ölçümleri yapılırken Mayıs-2009 döneminde hidrojeokimyasal değerlendirmeler için ayrıca polietilen şişelerde 2 lt su örneklemesi yapılmıştır. Hidrojeokimyasal niteliği değerlendirilen su noktaları; Gemiş Kaynakları, Gemiş Çıkışı Kaynaklar, Akpınar Kaynakları, Kuş Gözlem Sondajları ve Kocaçay akarsuyudur. Buradaki gruplama başta coğrafi konuma göre yapılmıştır. Kaynaklar doğudan batıya doğru konumsal olarak Gemiş Kaynak, Gemiş Tesis, Kaynak-1, Kaynak-2, 31S3Sondaj, Kaynak-3, Aakb1, Akkd-1, Akkd-2, Akkd-3, Akkd-4, Akkd-5, Akkd-6, Akkd-7, Kuş Gözlem Kaynak, S7, S8, E3, S16 ve S18 şeklinde sıralanmaktadır (**Şekil 2**).

Gemiş Kaynakları; Gemiş Kasabası'nın içme sularının temin edildiği ve kasabanın çıkışında yer alan Gemiş Kaynak suyu ve tarımsal sulamada kullanılan Gemiş Tesis sularıdır. Gemiş Çıkışı Kaynaklar; Gemiş Kasabası'ndan Akpınar Köyü'ne kadar olan mesafede kalan kaynaklardır. Bunlar çalışma sırasında Kaynak-1, Kaynak-2, Kaynak-3'tür. Ayrıca bu kaynaklar arasında kalan 31Kimya firması tarafından açılan (31S3 Sondaj) sondaj yer almaktadır.

Akpınar Kaynakları; Acıgöl'ü besleyen asıl su noktalarıdır. Akpınar Köyü ile Başmakçı Kuş Gözlem Kulesi arasında kalan kaynaklar bu grupta değerlendirilmiştir. Bu kaynaklar Aakb1, Akkd-1, Akkd-2, Akkd-3, Akkd-4, Akkd-5, Akkd-6, Akkd-7'dir.

Kuş Gözlem Sondajları: Alkim firması tarafından Başmakçı Kuş Gözlem Kulesi'nden sonra açılan sondajlardır. Ayrıca aynı noktada Kuş Gözlem Kaynak adında bir kaynak yer almaktadır. Ölçüm yapılan sondajlar; S7, S8, E3, S16 ve S18'dir. Kaynaklardan Mayıs-2009 döneminde alının su numuneleri üzerinde titrasyon yöntemi ile HCO_3, iyon kromotografi ile NO_2, NO_3,F, Cl, SO_4 ve ICP-OES ile Na, K, Ca, Mg, Sr, Si analizi laboratuar ortamında yapılmıştır. ICP-OES ile yapılan analiz sonuçları, Piper ve Schoeller'e göre sınıflaması yapılarak değerlendirilmiştir. Doğal suların kullanım özelliklerinin değerlendirmeleri;

Suların Sertliği NSF/ANSI 2340-B standardına göre (Toplam Sertlik, Fransız Sertliği):

$$[\text{mg/l as } CaCO_3] = 2.497\,[Ca^{2+}, \text{mg/l}] + 4.118\,[Mg^{2+}, \text{mg/l}] \quad (1)$$

Sodyum tehlikesi:

$$(\text{SAR; Sodyum Absorpsiyon Oranı}) = [Na^{+}] / \{([Ca^{2+}] + [Mg^{2+}]) / 2\}^{1/2} \quad (2)$$

Magnezyum Tehlikesi (MT) (Szabolcs ve Darab, 1964) :

$$MT=\{[Mg^{2+}] / ([Ca^{2+}] + [Mg^{2+}])\}*100 \quad (3)$$

Alkalinite (mg/kg) $CaCO_3$ olarak:

$$Alk=1000*(50.05/((1-10^{-1})*TÇM)* ([HCO_3^-] +2[CO_3^{-2}]) \quad (4)$$

Suların Kalsit ($CaCO_3$) (Sc) ve Aragonit doygunluğu (Sa);

$$Sc, Sa= \log Q/K = \log Q - \log K \quad (5)$$

(Q:İyon etkinlik çarpımı, T:Sıcaklık, K:Denge sabiti)

$$\log K_{(Kalsit için)} = -8.539 - .001499T - 0.0001263T^2 + 4.477\times10^{-7}T^3 - 6.883\times10^{-10}T^4 \quad (6)$$

$$\log K_{(Aragonit için)} = -8.371 - .001671T - 0.0001263T^2 + 4.477\times10^{-7}T^3 - 6.883\times10^{-10}T^4 \quad (7)$$

$$İyon\ etkinlik\ çarpımı= \gamma_{CO3} [CO_3^{2-}] \times \gamma_{Ca} [Ca^{2+}] \quad (8)$$

(γ_{CO3}, γ_{Ca} iyon etkinlik katsayısı)

bağıntıları ile hesaplanmıştır.

Suda çözünmüş kısmi karbondioksit gazı basıncı (PCO_2), suların kalsit-dolomit doygunluk indeksleri inceleme alanı yeraltısuları ve termodinamik yasalarına uygun olarak geliştirilen Şahinci (1996)'daki bağıntılardan hesaplanmıştır.

4.1. Suların Hidrojeokimyasal Değerlendirilmesi

Hidrojeokimyasal niteliği değerlendirilen sulardan Gemiş Kaynak ve Gemiş Tesis (GT-1) konglomera, kumtaşı, kiltaşı, marn, dolomit ve kireçtaşlarından oluşan Pliyosen Çameli Formasyonu içinde yer alır. Gemiş Kasabası çıkışından itibaren fay hattı boyunca uzanan, Kaynak1, Kaynak2, Kaynak3, 31S3Sondaj, Akpınar Kaynakları ve Kuş Gözlem Sondajları'nın tümü Jura-Kretase Yandağ çörtlü kireçtaşı birimleri içinde bulunmaktadır. İncelenen sulardan Gemiş Kaynak ve Gemiş Tesis (GT-1) Mg-SO_4, Akpınar Kaynakları ve Kuş Gözlem Sondajları Na-SO_4, Kocaçay Ca-HCO_3 fasiyesindedir. Suların pH'ı 7.1-7.9, elektriksel iletkenlik değerleri 443-2190 µS/cm, toplam çözünmüş madde miktarı 312.89-1568.8 mg/l arasındadır (**Çizelge 5**).

Gölü besleyen doğal suların Schoeller diyagramı üzerinde değerlendirmeleri yapıldığında üç farklı kökenli su olduğu belirlenmiştir. Kocaçay tüm sulardan farklı kimyasal özellik gösterirken, Gemiş Kaynak ve Gemiş Tesis (GT-1) benzer olup bunların dışındaki diğer sular kendi aralarında benzer özellikleri göstermektedirler (**Şekil 4**).

Gölü besleyen sular Schoeller içilebilirlik diyagramına göre 3. ve 4. kalitede sular (**Şekil 5, Çizelge 1**), kullanılabilirlik sınıflamasına göre iyi-kullanılabilir, şüpheli-kullanılabilir sulardır (**Çizelge 2**).

Çizelge 1 Schoeller içilebilirlik diyagramına göre suların sınıflaması

Kaynak Adı	Kalitesi	İçilebilirlik Sınıflaması
Akpınar Kaynakları	3. Kalite	Orta Kaliteli İçilebilir Sular
Gemiş Kaynakları	3. Kalite	Orta Kaliteli İçilebilir Sular
Kocaçay	1. Kalite	Çok İyi Kaliteli İçilebilir Sular
Kuş Gözlem Sondajları	4. Kalite	Kötü Kaliteli İçilebilir Sular

Çizelge 2 Wilcox diyagramına göre suların kullanılabilirlik sınıflaması

Kaynak Adı	Kullanılabilirlik Sınıflaması
Akpınar Kaynakları	İyi-Kullanılabilir
Gemiş Kaynakları	İyi-Kullanılabilir
Kocaçay	Çok İyi-İyi
Kuş Gözlem Sondajları	Şüpheli Kullanılabilir

İncelenen sular ABD tuzluluk laboratuar diyagramına göre Kocaçay'ın dışında C3-S1 grubunda toplanmıştır. C2-S1 grubunda yer alan Kocaçay, "orta tuzlu, az sodyumlu sular" olup orta akaçlama özelliğindeki topraklarda tuzluluk tehlikesi olmadan tüm bitkiler sulanabilir. Diğer tüm Gemiş ve Akpınar Kaynakları, Kuş Gözlem Sondajları "tuzlu, az sodyumlu sular" olup akaçlaması kötü olan arazilerde sulamada kullanılmamalı, kullanılması durumunda tuza dayanıklı bitkiler tercih edilmeli ve zemindeki tuz miktarı gözlenmelidir (**Şekil 7**).

Klorür (Cl^-) iyon derişimi Kuş Gözlem Sondajları'nda en yüksek değere sahip olup (334 mg/l), Gemiş Kaynağı'nda en düşük değere (67.8 mg/l) sahiptir. Sodyum (Na^+) iyon derişimi Kuş Gözlem Sondajları'nda en yüksek değere sahip olup (243.8 mg/l), Gemiş Kaynağı'nda en düşük değere (63.24 mg/l) sahiptir. Sülfat (SO_4^{-2}) derişimi yine Kuş Gözlem Sondajları'nda en yüksek değere sahip olup (502.8 mg/l), Gemiş Kaynak'ında en düşük değere (263.4 mg/l) sahiptir. Sülfat Gemiş ve Akpınar Kaynakları'nda ortalama 340.92 mg/l iken sondajlarda 474.53 mg/l'dir. Magnezyum (Mg^{+2}) miktarı Gemiş Tesis (GT-1) suyunda en yüksek değere sahiptir. Toplam iyon miktarı en fazla sondaj sularında olup maksimum (S18) 1555 mg/l ortalama 1474 mg/l, Akpınar Kaynakları'nda ortalama 1052 mg/l ve Gemiş Kaynakları'nda 870 mg/l'dir (**Çizelge 5**).

Acıgöl'de klorür, sodyum ve sülfat beslenimi ile ilgili olarak;

- Gölün güneyindeki fay hattı boyunca sıralanan kaynakların iyon konsantrasyonunun Kocaçay'ın iyon konsantrasyonuna oranla oldukça yüksek olması,
- Gölün güneyindeki faylar boyunca gölü besleyen kaynak sularının, havzada DSİ (Devlet Su İşleri) tarafından açılan sondaj sularına kıyasla yüksek Cl, Na ve SO_4 iyon derişimine sahip olması (**Çizelge 5, Çizelge 7**),
- DSİ tarafından Acıgöl'ün çevresinde açılan yeraltısuyu sondajlarından güneydeki fay hattında bulunan 47217 ve 3380-B sondaj sularının, Cl, Na ve SO_4 iyon derişim bakımından daha zengin olması,
- Gölün güneyinde gölde üretim yapan firmalar tarafından açılan yeraltısuyu sondaj sularının, sondajın açıldığı bölgedeki kaynak suları ile benzer hidrojeokimyasal özellik göstermesi,

Acıgöl'de klorür, sodyum ve sülfat besleniminin gölün güneyindeki faylara bağlı bir beslenim olduğunu göstermektedir. Bu durum Mutlu ve diğ. (1999) tarafından güneydeki fay zonu boyunca yeraltısularının derinlerdeki sirkülâsyonu ile ilişkilendirilmiştir. Ayrıca Acıgöl'de faylara bağlı sodyum sülfatlı kaynaklarla birlikte bakteriyolojik faaliyetler sonucu da sülfat beslenmesinin olduğu (İçözü, 1991) belirtilmektedir.

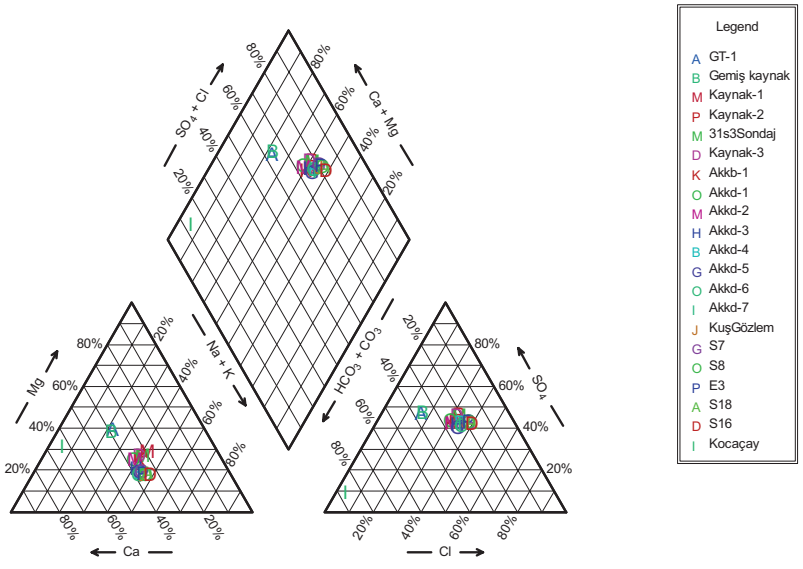
Güneydeki fay hattı boyunca Gemiş'ten Başmakçı yönüne gidildikçe hat boyunca suların elektriksel iletkenlikleri (Eİ), toplam çözünmüş madde miktarı (TÇM), sertlik, sodyum adsorpsiyon oranı (SAR), sodyum yüzdesi (%Na) artmaktadır. Yine aynı yönde suların magnezyum tehlikesi (MT) azalmaktadır (**Çizelge 5, Çizelge 6**).

Schoeller (1955) ve Şahinci (1996) tarafından belirtilen klorür, sülfat ile karbonat miktarlarına, anyon-katyon derişim ilişkilerine göre sınıflama yapılmıştır. Klorür derişimine göre incelenen suların klorür miktarı 15 mek/l'den az olduğu için olağan klorürlü, karbonat, bikarbonat toplamı 2-7 mek/l olduğundan olağan karbonatlı sulardır. Gemiş kaynak ve Kocaçay sülfat derişimi 6 mek/l'den az olduğu için, olağan sülfatlı sular, diğer suların sülfat derişimleri 6-24 mek/l arasında olup oligosülfatlı sulardır.

Çizelge 3 Acıgöl'ü besleyen doğal suların anyon ve katyon önemine göre sınıflaması

Anyonların önem sırasına göre	
Gemiş Kaynak ve Gemiş Tesis (GT-1)	$rSO_4 > rCO_3 > rCl$
Kaynak1,Kaynak2,Kaynak3, 31S3Sondaj	$rSO_4 > rCl > rCO_3$
Akpınar ve Kuş Gözlem Sondajları	$rSO_4 > rCl > rCO_3$
Kocaçay	$rCO_3 > rSO_4 > rCl$
Katyonları önem sırasına göre	
Gemiş Kaynak ve Gemiş Tesis (GT-1)	rCa > rNa > rMg
Kaynak1,Kaynak2,Kaynak3, 31S3Sondaj	rNa > rCa > rMg
Akpınar ve Kuş Gözlem Sondajları	rNa > rCa > rMg
Kocaçay	rCa > rMg > rNa

İncelenen suların piper diyagramında %mek/l değerlerine göre gruplaması yapılmıştır (**Şekil 3**). Yapılan gruplama sonucunda; Gemiş Tesis (GT-1) ve Gemiş Kaynak; karbonat sertliği %50'den fazla olan karbonatlı-sülfatlı sular, Akpınar Kaynakları, Kaynak1,2,3 ve 31S3Sondaj; karbonat sertliği %50'den fazla olan karbonatlı-sülfatlı-klorürlü (klorürlü-sülfatlı) sular, Kuş Gözlem Sondajları; karbonat olmayan sertliği %50'den fazla sülfatlı- klorürlü sular, Kocaçay; Ca+Mg > Na+K, karbonat oranı çok yüksek, kalsiyum oranı yüksek magnezyumlu sular sınıfına girmektedir.



Şekil 3. Acıgöl'ü besleyen doğal suların Piper diyagramında sınıflaması

4.2. Suların Sertliği

Gölü besleyen kaynak ve sondaj suların sertliği (Fransız) 60.07 ile 41.29 arasında değişmekte olup en sert sular, göldeki yeraltısuyunu temsil eden sondaj sularıdır. Ortalama sertlik Akpınar Kaynakları'nda 44,5 Gemiş Kaynakları'nda 54,28 ve sondajlarda 58,98'dir (**Çizelge 6**). Gölü besleyen Kocaçay'ın suyunun sertliği 21.8'dir. Gölü besleyen doğal sular sertliklerine göre sınıflandırıldıklarında; Akpınar Kaynakları "Sert Sular", Kuş Gözlem Sondajları "Çok Sert Sular", Gemiş Kaynakları'nın geneli "Çok Sert Sular", gölü yüzey akışı ile besleyen Kocaçay'ın suyu "Orta Sertlikte Sular" sınıfındadır.

4.3. Sodyum Tehlikesi

Sodyum oranı yüksek suların, sulama suyu olarak kullanılması durumunda tarım arazilerinde toprak yüzeyinde kaymak şeklinde sert bir kabuk oluşumu gözlenir. Buna bağlı olarak toprağın geçirgenliği azalır, yapısı bozulur. Sodyumca zengin sularca sulanan tarım bölgelerinde bitkiler çok az gelişir veya yetişmezler (Şahinci, 1996). Acıgöl'ü besleyen suların sulamaya uygun olup olmadıklarının belirlenmesi amacıyla "SAR", "ABD tuzluluk laboratuarı" ve Wilcox diyagramlarına göre sınıflama yapılmıştır (Şahinci, 1996).

%SAR değerleri çalışma alanında incelenen ve gölü besleyen sularda %10'un altındadır. "SAR"a göre sular "çok iyi özellikte sulama suları" sınıfına girmektedir. Kocaçay için sodyum yüzdesi < %10, Gemiş Kaynakları için %20-30, Akpınar ve Kuş Gözlem Sondajları için %40'dan fazladır (**Çizelge 6**). İncelenen su noktalarında Gemiş'ten Başmakçı'ya kadar uzanan hat boyunca %Na ve SAR oranı artmakta, tersi yönde azalmaktadır.

4.4. Magnezyum Tehlikesi (MT)

Szabolcs ve Darab (1964)'a göre magnezyum tehlikesinin belirlenmesinde elde edilen MT katsayısının > 50 olması durumunda sular zararlı ve sulama suyu olarak kullanıma uygun değildir. MT<50 olan sular sulamaya elverişli sulardır. İncelenen sulardan Gemiş Kaynakları MT>50 olduğu için magnezyum tehlikesi nedeniyle sulamaya elverişli değilken, diğer suların sulama amaçlı kullanılması durumunda magnezyum tehlikesi görülmemektedir (**Çizelge 6**).

4.5. Mineral Doygunluğu

#

Çizelge 4 Mineral doygunluğuna bağlı gelişen olaylar

Doygunluk İndeksi (Dİ)	Dİ > 0	Dİ = 0	Dİ < 0
(Sc,Sa,Sd)	Aşırı Doygun, çökelme izlenir	Doygun	Doygun Olmayan, çözündürür

Sc:Kalsit D.İ., Sa:Aragonit D.İ., Sd:Dolomit Doygunluk İndeksi

Mineral doygunluğu değerlendirmelerinde ± 0.1 değerler arası belirsiz doygunluk bölge alanı olarak kabul edilir (Şahinci, 1996). Kocaçay dışında kalan suların tümü (Sc > 0) kalsit, dolomit ve aragonite aşırı doygundur ve kalsit, aragonit ve dolomit çökelmesi gerçekleşir. Gölü besleyen sular, sülfatça doygun olmayıp sülfat çözeltirler (**Çizelge 6**).

Tüm sular huntit, dolomite, kalsit ve aragonit bakımında aşırı doygundurlar. Huntit ve dolomit doygunluk derecesi, göl içine giriş yapan sulara göre tuzlu sularda yaklaşık olarak iki kat daha yüksektir. Kalsit ve aragonit doygunluk eğrisi, tuzlu göl suyu ve göle giriş yapan sularda aynıdır. Tuzlu sular jips için doygunluk dengesi gösterirlerken (jips yönünden doygun iken), göle giriş yapan sular daha az doygundurlar. Halit, tenardit ve bloedite mineralleri, doygunluk dereceleri dengeye meyilli (denge halindeki) tuzlu sularda önemli miktarda artarken, göle giriş yapan tüm sularda daha az doygundur. Meta stabil faz göz önüne alındığında, tuzlu suların denge durumu yalnızca huntit yönünde eğilim gösterirken, göle giriş yapan suların denge durumu hem aragonit hem de huntit yönünde eğilim göstermektedir. Verilerin konumuna göre göl suları öncelikle aragonit ve dolomit çökeltir ve daha sonra kalsiyumun çözülmesi ile tuzlu sularda huntit dengeye ulaşır (Mutlu ve diğ., 1999).

4.6. Alkalinite

Alkalinite suların asit nötralizasyon kapasitesinin ölçüsüdür. Doğal suların alkalinite sınırları 5-500 mg/l arasında değişir (Boyd, 1990). Sularda hidroksit (OH^-), karbonat (CO_3^{-2}) ve bikarbonat (HCO_3^-) sulara alkalilik verir. Kireçli topraklar üzerinde kurulan göletler orta ve yüksek seviyelerde toplam alkalinite ve sertlik değerlerine sahip olup, çoğu zaman bu iki parametre değeri yaklaşık birbirine eşittir (Boyd ve Tucker, 1998). Acıgöl'ü besleyen sularda alkalinite değeri 137-229 mg/l arasında değişmektedir (**Çizelge 6**).

4.7. DSİ Sondajları

DSİ tarafından Çardak, Başmakçı, Dazkırı ilçelerinde açılmış olan 215 adet yeraltısuyu gözlem sondajı bulunmaktadır. Gölün etrafında açılan DSİ sondaj sularına göre

bölgedeki yeraltısuları Gemiş civarında Mg-HCO_3 gölün kuzey batısında Na-Cl, diğer bölgelerde Ca-HCO_3 ve Ca-SO_4 tipindedir (**Çizelge 7**).

4.8. Stronsiyum Varlığı

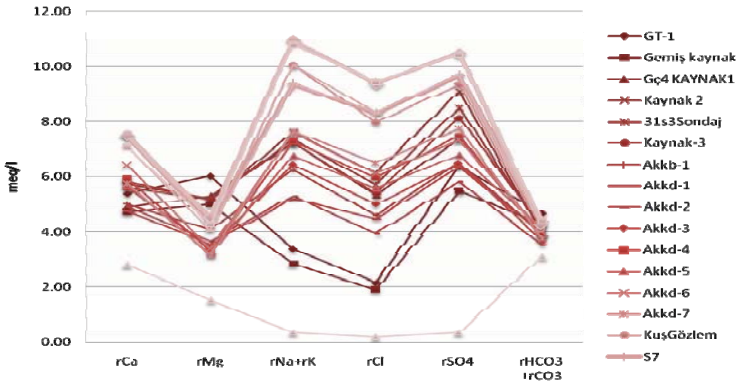
ICP-OES ile yapılan Sr^{+2} analizlerinde, gölü besleyen doğal sularda ortalama 1.15 mg/l miktarında Sr^{+2} elementi bulunmuştur (**Çizelge 5**). Tuzlu sülfatlı sularda stronsiyum 2E-2 g/l'ye kadar erişebilir. Klorür tuzlarının egemen olduğu tuz göllerinde stronsiyum 0.1-1 g/l arasındadır ve toplam tuz miktarı arttıkça bu değer de yükselir (Şahinci, 1996). Stronsiyum ortamın tuzluluk rejimini belirten bir elementtir (Altyev ve Büyüktutku, 1998). Tatlı su olan Kocaçay'da stronsiyuma rastlanmazken diğer sularda tuzluluğa bağlı olarak rastlanılmaktadır. Bu durum stronsiyumun dağılımını denetleyen başlıca unsurun tuzluluk oranı olduğunu göstermektedir.

5. SONUÇLAR

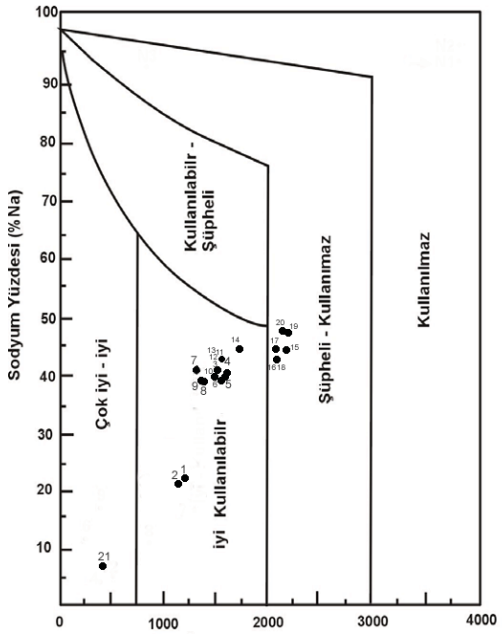
Yapılan sınıflamalar sonucu Gemiş Kaynakları Mg-SO_4, Akpınar Kaynakları ve Kuş Gözlem Sondajları'nın Na-SO_4 tipi sular olduğu belirlenmiştir. Güneydeki fay hattı boyunca Gemiş'ten Başmakçı yönüne gidildikçe suların magnezyum tehlikesi azalırken elektriksel iletkenlikleri, toplam çözünmüş madde miktarı, sertlik, sodyum adsorpsiyon oranı, sodyum yüzdesi artmaktadır. Su noktaları Gemiş Kaynakları dışında karbonatça aşırı doygundur. Suların kalsit ve aragonite aşırı doygun olmaları Acıgöl'de birincil mineralin kalsit ve aragonit olduğunu göstermektedir.

Gölün etrafında açılan DSİ sondaj sularına göre bölgedeki yeraltısuları Ca-HCO_3 ve Ca-SO_4 tipindedir. Bunlardan farklı olarak Gemiş civarında Mg-HCO_3 gölün kuzey doğusunda Na-Cl tipindedir. Gölün güneyinde fay düzlemi boyunca yer alan su noktaları gölün sodyum, sülfat ve klorür beslenimi sağlamaktadır. Gölü besleyen tuzlu sularda tuzluluğun etkisine bağlı olarak stronsiyum bulunmaktadır. Kaynak suları sulama suyu olarak kullanılması durumunda tuzluluk tehlikesi oluşturmaktadır. Gemiş ve Akpınar Kaynakları Wilcox (1955)'a göre iyi kullanılabilir sulardır. Scholler'e göre yüzey suları dışında Çameli Formasyonu ve Yandağ Kireçtaşı birimli olmak üzere sular iki farklı kökene ayrılmaktadır.

Sanayide deterjan, kağıt, tekstil, cam gibi birçok kullanım alanı olan sodyum sülfatın artan talebinin karşılanmasında Acıgöl, Türkiye'de doğal üretim alanlarından en önemlisidir. Acıgöl'de doğal üretimin yanında glauber tuzundan rafine sodyum sülfat üretimi yapılmakta ve ihracatıyla ülke ekonomisine önemli katkı sağlamaktadır. Doğal olarak elde edilen sodyum sülfatın gerek toplanması aşamasında gerekse gölde üretim yapan firmaların yapmış olduğu teknolojik üretim nedeniyle bölge halkı için istihdam kaynağı olmaktadır. Önemli ölçüde sodyum sülfat içeren göl bileşimin besleniminin belirlenmesi ve bu beslenimin kontrolü gölün ekonomik değeri için büyük önem arz etmektedir.



Şekil 4. Acıgöl'ü besleyen doğal suların Schoeller diyagramı



Şekil 5 Acıgöl'ü besleyen doğal suların Wilcox diyagramı

Çizelge 5 Acıgöl'ü besleyen doğal suların analiz sonuçları

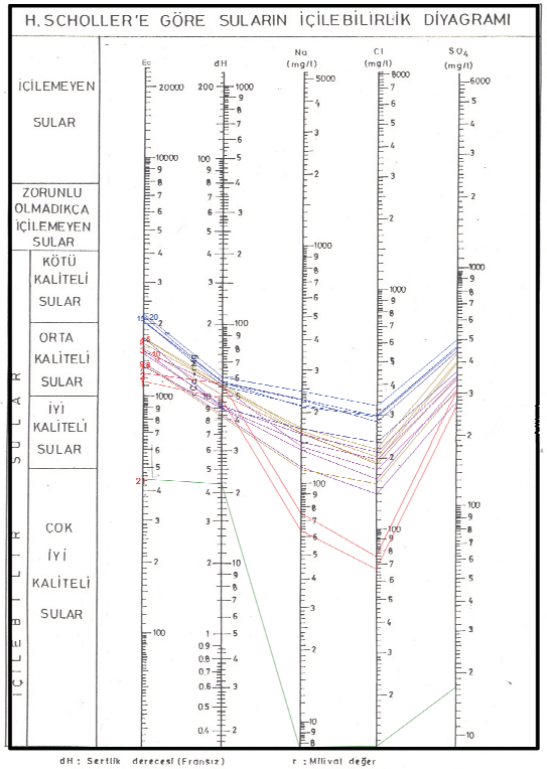
No	İstasyon	Grup	Su Tipi	Tuzluluk Tehlikesi	Ec µmho/cm	t	pH pH	Na mg/l	K mg/l	Ca mg/l	Mg mg/l	SO_4 mg/l	Cl mg/l	F mg/l	HCO_3 mg/l	NO_3 mg/l	NO_2 mg/l	Si mg/l	Sr mg/l	TÇM mg/l
1	**GT-1**	Gemiş	**Mg-SO_4**	**C3-S1**	1231	20.7	7.9	75.15	4.18	108.10	73.04	305.60	76.74	1.25	285.00	4.53	0.00	11.76	1.61	946.95
2	**Gemiş kaynak**		**Mg-SO_4**	**C3-S1**	1148	19.4	7.24	63.24	3.57	94.74	60.70	263.40	67.80	1.23	260.00	6.30	0.00	9.32	1.29	831.58
3	**Gç4 KAYNAK1**	Gemiş Çıkışı	**Na-SO_4**	**C3-S1**	1590	16.1	7.6	161.50	7.78	97.85	64.43	352.60	188.90	1.40	240.00	7.25	0.00	10.73	1.12	1133.57
4	**Kaynak 2**		**Na-SO_4**	**C3-S1**	1738	19.3	7.5	171.40	5.70	114.70	63.05	437.00	217.50	1.62	240.00	9.20	0.00	9.64	1.27	1271.08
5	**31S3Sondaj**		**Na-SO_4**	**C3-S1**	1721	19.5	7.3	165.30	6.17	112.20	62.76	408.20	202.20	1.51	247.50	0.00	0.00	10.38	1.34	1217.56
6	**Kaynak-3**		**Na-SO_4**	**C3-S1**	1679	20.2	7.1	162.60	5.83	116.20	63.05	391.30	191.60	1.51	255.00	0.00	0.00	10.07	1.12	1198.28
7	**Akkb-1**		**Na-SO_4**	**C3-S1**	1314	19.8	7.4	140.70	5.05	100.10	49.62	312.00	162.90	1.70	240.00	10.37	5.82	8.07	0.71	1037.03
8	**Akkd-1**		**Na-SO_4**	**C3-S1**	1380	19.4	7.4	118.90	4.45	98.11	44.53	278.90	139.30	1.28	215.00	6.17	0.00	8.08	0.88	915.61
9	**Akkd-2**		**Na-SO_4**	**C3-S1**	1370	20.1	7.5	116.80	4.05	95.01	43.25	304.60	158.60	1.27	240.00	4.67	0.00	7.74	0.74	976.73
10	**Akkd-3**		**Na-SO_4**	**C3-S1**	1524	20.7	7.4	144.70	5.13	112.20	41.90	310.90	177.40	1.37	225.00	6.04	0.00	8.09	1.11	1033.83
11	**Akkd-4**	Akpınar	**Na-SO_4**	**C3-S1**	1607	20.7	7.3	163.90	5.58	118.50	40.33	358.80	211.10	1.45	240.00	6.81	0.00	7.80	1.18	1155.44
12	**Akkd-5**		**Na-SO_4**	**C3-S1**	1569	20.8	7.4	152.20	5.27	113.90	38.98	326.20	197.50	1.45	250.00	8.17	0.00	7.34	1.00	1102.01
13	**Akkd-6**		**Na-SO_4**	**C3-S1**	1678	20.7	7.33	170.70	5.79	128.50	41.16	351.40	216.70	1.58	245.00	9.35	0.00	8.26	1.05	1179.50
14	**Akkd-7**		**Na-SO_4**	**C3-S1**	1730	21.1	7.4	172.20	5.78	115.00	38.27	372.00	230.60	1.46	230.00	6.61	0.00	7.52	1.18	1180.62
15	**KuşGözlemKaynak**		**Na-SO_4**	**C3-S1**	2160	22	7.3	226.30	7.34	151.10	50.78	448.40	282.90	1.58	250.00	0.00	0.00	9.03	1.51	1428.94
16	**S7**		**Na-SO_4**	**C3-S1**	2070	21.5	7.3	211.10	6.65	149.10	52.86	463.60	294.10	1.63	267.50	0.00	0.00	9.13	1.32	1456.99
17	**S8**		**Na-SO_4**	**C3-S1**	2070	21.6	7.3	226.50	7.02	148.90	51.18	466.40	295.30	1.59	255.00	0.00	0.00	9.00	1.51	1462.40
18	E3	Kuş Gözlem Sondaj	**Na-SO_4**	**C3-S1**	2070	21.6	7.24	211.30	6.80	142.00	49.01	465.10	295.50	1.62	260.00	0.00	0.00	8.62	1.42	1441.37
19	**S18**		**Na-SO_4**	**C3-S1**	2190	22.2	7.24	247.00	7.13	150.10	54.90	502.80	332.90	1.62	260.00	0.00	0.00	9.13	1.45	1567.02
20	**S16**		**Na-SO_4**	**C3-S1**	2170	22.5	7.24	243.80	7.35	141.60	52.02	500.90	334.60	1.79	270.00	6.69	0.00	8.43	1.42	1568.60
21	**Kocaçay**		**Ca-HCO_3**	**C2-S1**	443	18	7.2	7.16	1.34	56.34	18.78	16.53	6.40	0.29	190.00	8.33	1.52	6.21	0.00	312.89

Çizelge 6 Acıgöl'ü besleyen doğal suların hesaplanan analiz sonuçları

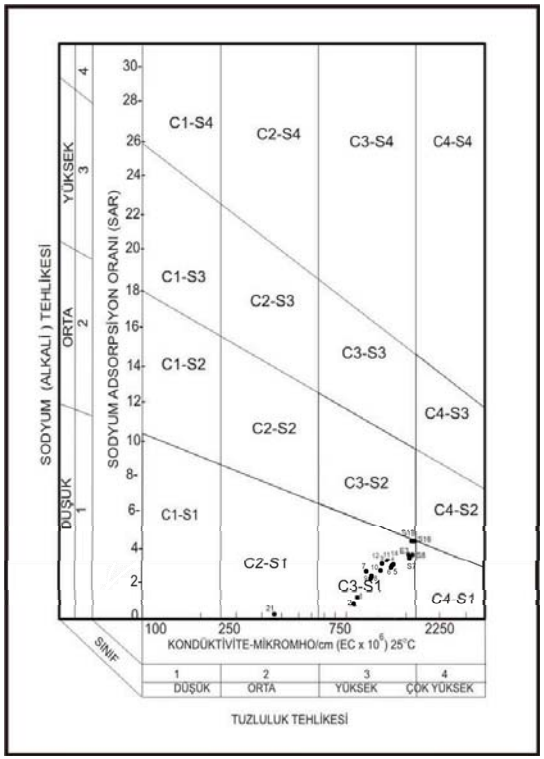
Su noktası	Sertlik	Sertlik	SAR	Na	Mg Teh.	Alk.	PCO2	Sc	Sa	Sd	Ss
	mg/l			%	meq/L	mg/kg	atm				
GT-1	57.049	ÇS	1.369	22.841	52.701	229.6	0.003	0.961	0.735	0.77	-3.307
Gemiş kaynak	48.635	S	1.248	22.62	51.373	191	0.013	0.187	-0.06	-0.002	-3.396
Gç4 KAYNAK1	50.946	S	3.113	41.496	52.057	188.1	0.005	0.522	0.229	0.239	-3.33
Kaynak 2	54.586	ÇS	3.192	41.057	47.544	185.7	0.007	0.474	0.228	0.02	-3.182
31S3Sondaj	53.842	S	3.099	40.571	47.979	184.7	0.01	0.267	0.022	0.02	-3.211
Kaynak-3	54.96	ÇS	3.018	39.662	47.219	180.3	0.016	0.074	-0.161	-0.133	-3.215
Akkb-1	45.414	S	2.873	40.772	44.977	182.5	0.008	0.335	0.095	0.078	-3.331
Akkd-1	42.822	S	2.5	38.176	42.804	163.4	0.007	0.29	0.044	0.078	-3.331
Akkd-2	41.521	S	2.494	38.448	42.88	185.5	0.007	0.428	0.192	0.15	-3.352
Akkd-3	45.258	S	2.959	41.527	38.112	171.1	0.008	0.357	0.13	0.054	-3.285
Akkd-4	46.185	S	3.318	44.061	35.951	179	0.01	0.291	0.064	-0.028	-3.221
Akkd-5	44.481	S	3.14	43.17	36.077	190.1	0.009	0.406	0.181	0.039	-3.263
Akkd-6	49.024	S	3.354	43.593	34.565	183.9	0.01	0.364	0.137	0.034	-3.403
Akkd-7	44.464	S	3.553	46.218	35.43	175	0.008	0.366	0.146	0.069	-3.221
KuşGözlem	58.626	ÇS	4.066	46.119	35.66	186.7	0.01	0.386	0.178	0.082	-3.073
S7	58.982	ÇS	3.782	44.234	36.896	199.8	0.011	0.408	0.193	0.105	-3.07
S8	58.241	ÇS	4.083	46.285	36.171	190.4	0.011	0.386	0.172	0.078	-3.068
E3	55.625	ÇS	3.898	45.718	36.271	191.5	0.012	0.311	0.097	0.011	-3.083
S18	60.071	ÇS	4.383	47.633	37.625	191.6	0.012	0.324	0.119	0.046	-3.047
S16	56.764	ÇS	4.45	48.738	37.728	198.9	0.01	0.318	0.117	0.047	-3.067
Kocaçay	21.796	OS	0.211	7.352	35.46	137.3	0.009	-0.122	-0.392	-0.467	-4.659

Çizelge 7 Acıgöl'ün çevresinde DSİ tarafından açılan yeraltısuyu sondajlarının kimyasal analizleri (DSİ'den alınan sondaj verilerinden derlenmiştir)

Analiz	**Birim**	**47217**	**40872**	**40881**	**42990**	**45737**	**45738**	**33280-B**	**33282**	**36054**	**40092**	**53582**
	Tarih	20.02.1994	14.06.1991	12.02.1992	27.08.1991	14.05.1993	02.05.1993	28.04.1987	17.07.1986	05.11.1987	19.02.1991	22.08.1998
Su Tipi		$Ca\text{-}SO_4$	$Ca\text{-}HCO_3$	$Ca\text{-}HCO_3$	$Ca\text{-}HCO_3$	$Ca\text{-}HCO_3$	$Ca\text{-}SO_4$	$Ca\text{-}HCO_3$	$Mg\text{-}HCO_3$	Na-Cl	$Ca\text{-}HCO_3$	$Ca\text{-}SO_4$
Tuzluluk		C3-S1	C2-S1	C3-S1	C2-S1	C2-S1	C3-S1	C3-S1	C2-S1	C2-S4	C3-S1	C3-S1
Ec	µmho/cm	1480	761	1030	484	670	1210	1300	620	15000	830	1180
pH	pH	7.1	8.1	7.3	7.3	6.8	8.1	7.1	7.6	7.7	7.6	7.6
SAR		6.36	1.48	2.19	0.38	0.42	2.84	5.01	1.22	30.1	0.69	2.78
Ca	mg/l	160.3	5.68	7.35	4.6	6.54	7.5	86.2	22	11.3	7.85	8.1
Mg	mg/l	69.3						64.4	79	24.1		
Na	mg/l	68.1	2.5	4.2	0.57	0.75	5	43.5	8.7	126.5	1.37	5.6
K	mg/l	5	0.05	0.12	0.02	0.04	0.17	3.3	1.5	2.6	0.06	0.08
HCO_3	mg/l	286.7	4.07	5.76	2.72	4.52	3.79	292.8	360	5.3	5.56	4.88
SO_4	mg/l	441.9	2.58	4.06	2	1.11	8.1	196.9	4.8	18.3	2.57	6.06
Cl	mg/l	92.2	3.55	1.85	0.35	1.7	1.28	99.3	35.5	142.2	0.94	2.84
NO_3	mg/l	4.4						5.5	22.2			
NO_2	mg/l	0.013										
Br	mg/l							0.2		0.4		
NH_4	mg/l								0.9			



Şekil 6. Acıgöl'ü besleyen doğal suların Schoeller içilebilirlik diyagramı



Şekil 7. Acıgöl'ü besleyen doğal suların sulama suyu sınıflaması, ABD Tuzluluk Diyagramı

6. TEŞEKKÜR

Bu çalışma "Acıgöl (Denizli) havzasının hidrojeokimyasal özelliklerinin ve göl kıyısındaki güncel mikrobial matris oluşumunun moleküler-organik jeokimyasının incelenmesi ve uzaktan algılama yöntemleri ile değerlendirilmesi" konulu Pamukkale Üniversitesi Bilimsel Araştırma Fonu (2008-FBE-023) projesi tarafından desteklenmiştir.

7. KAYNAKLAR

Altyev S, Büyüktuna A, "Azerbeycan'ın Pensiyen denizlerinin biyolojik özelliklerinin biyojeokimyasal olarak incelemesi", 51.Türkiye Jeoloji Kurultayı, Ankara, 1998.

Boyd CE, "Water Quality in Ponds for Aquaculture", Birmingham Publishing, Alabama, 1990.

Boyd CE, Tucker CS, "Pond aquaculture water quality management", Kluwer Academic Publishers. Norwell, Massachusetts, 1998.

EİEİ, "Göl Gözlemleri", Elektrik İşleri Etüd İdaresi Yayınları, Ankara, Türkiye, 2005.

Glover, C., Robertson, A.H.F., "Neogen intersection of the Aegean and Cyprus arcs: extensional and strike-slip faulting in the Isparta Angle, SW Turkey". Tectonophysics 298: 103-132, 1998.

Gündoğan İ, Mordoğan H, Helvacı C, "Türkiyedeki acı göllerden sodyum sülfat üretimi", Endsütriyel Hammaddeler Sempozyumu, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, 1995.

Kazancı N, Özkul M, Alçicek C, "Acıgöl Grabenindeki Geç Kuvaterner Yaşlı Havza Kenarı Tortullarının Fasiyes Özelikleri ve Göl Seviyesi Değişimi Açısından Yorumlanması", Türkiye Jeoloji Kurultayı, Ankara, 2006.

Mutlu H, Kadir S, Akbulut A, "Mineralogy and water chemistry of the Lake Acıgöl (Denizli), Turkey", Carbonates and Evaporates, v. 14, 91-99, 1999.

Schoeller H, "Geochimic des eaux souterraines es" , Ins. France Petrole. Pari,1956.

Szabolcs I, Darab C, "The influence of irrigation water of high sodium carbonate content of soils", Proceedings of 8th International Congress of Isss, Trans, vol II, pp 803–812, 1964.

Şahinci A, "Yeraltısuları jeokimyası, Dokuz Eylül Üniversitesi Müh-Mim Fakültesi Yayını", 394s, İzmir, 1996.

Şenel M, "Geology Maps of Turkey Denizli-J9 Quadrangle J6", MTA, Ankara, 1997.

Toker E, "Acıgöl-Çardak (Denizli) Grabeninin Kuzeyindeki Tersiyer Çökellerinin Tektono-Sedimanter Gelişiminin İncelenmesi", Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, s.242, Isparta, 2008.

Wilcox LV, "Classification and use of irrigation water", USDA, Circ. 696, Washington DC, USA, pp 16, 1955.

HİDROLOJİK MODELLEME

Bulanık Mantık Yöntemi ile Güneş Işınımı Tahmini

Özlem Terzi [1], M. Erol Keskin [2], Melike Barak [3], Gülşah Ergin [4]

Özet: Hidroloji ve ekosistem çalışmalarında önemli parametrelerden biri olan güneş ışınımını tahmin etmek için bulanık mantık yöntemi kullanılmıştır. Göller Bölgesinde yer alan Eğirdir Gölü'nün günlük güneş ışınımını tahmin etmek için hava sıcaklığı, su sıcaklığı, güneşlenme süresi ve nispi nem parametreleri ile çeşitli girdi kombinasyonları oluşturularak modeller geliştirilmiştir. Geliştirilen modellerin performansları değerlendirildiğinde, güneşlenme süresi ve hava sıcaklığı parametrelerini içeren modelin uygun sonuçlar verdiği ve günlük güneş ışınımı tahmininde kullanılabilir olduğu görülmüştür.

Anahtar Sözcükler: Güneş Işınımı, Bulanık Mantık, Eğirdir Gölü

Estimation of Solar Radiation by Fuzzy Logic Method

Abstract: Fuzzy logic method is used to estimate solar radiation, which is an important parameter in hydrological and aquatic ecosystem studies. The fuzzy logic models with various input combinations are developed to estimate solar radiation for the Lake Eğirdir in the Lakes District using air temperature, water temperature, sun-shine duration and relative humidity parameters. Evaluation of performances of the developed models shows that the model with sun-shine duration and air temperature parameters gives good results for daily solar radiation estimation.

Keywords: Solar Radiation, Fuzzy Logic, Lake Eğirdir

1. GİRİŞ

Yeryüzünde yatay bir düzlem üzerine gelen güneş ışınımının şiddeti, güneşin mevsimlere ve saate göre değişen konumuyla farklılık göstermektedir. Güneş ışınımının dünya üzerinde, su sıcaklığının yükselmesi ve doğal olaylar için enerji sağlanması gibi

[1] Süleyman Demirel Üniversitesi, Yapı Eğitimi Bölümü, Isparta, E-Posta: ogencer@tef.sdu.edu.tr; Tel: (246) 2111467
[2] Süleyman Demirel Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Isparta, E-Posta: merol@mmf.sdu.edu.tr; Tel: (246) 2111798
[3] Süleyman Demirel Üniversitesi, Yapı Eğitimi Bölümü, Isparta, E-Posta: melikebarak@stud.sdu.edu.tr; Tel: (246) 2111467
[4] Süleyman Demirel Üniversitesi, Yapı Eğitimi Bölümü, Isparta, E-Posta: gulsahergin@stud.sdu.edu.tr; Tel: (246) 2111467

etki alanları bulunmaktadır. Şen ve Tan (2001) Gebze bölgesi için dokuz yıllık kayıtlara bağlı olarak aylık ortalama saatlik global ve yayılmış ışınım miktarlarının tahmini için basit istatistiksel modeller geliştirmişler ve kullanılabilir olduğunu göstermişlerdir. Morid ve diğ. (2002) güneş ışınımı tahmini için yapay sinir ağları (YSA), sıcaklığa-bağlı ve stokastik yaklaşımlar kullanmışlar ve kıyaslamışlardır. Sonuçta, YSA ile geliştirdikleri modelin sıcaklığa-bağlı ve stokastik yaklaşımlardan daha iyi performans gösterdiğini belirtmişlerdir. Bununla birlikte, sıcaklığa-bağlı yaklaşımın, sonuçları genelleştirme ve hidrolojik modellerle kolaylıkla ilişkilendirebilme kabiliyetinden dolayı, iklimsel verilerin sınırlı olduğu havzalarda uygulanabilirliği görmüşlerdir. Dorvlo ve diğ. (2002) Umman'da belirli bölgeler için enlem, boylam, yükseklik, güneşlenme süresi ve ayları kullanarak güneş ışınımının tahmini için YSA modelleri geliştirmişlerdir. Gözlenen ve tahmin edilen güneş ışınımı verileri arasındaki hata değerlerine göre geliştirdikleri modellerin iyi performans gösterdiklerini belirtmişlerdir. Şen (1998) güneş ışınımının tahmini için güneşlenme süresini kullanarak bulanık mantık yöntemi ile model geliştirmiştir. Geliştirdiği modelin güneş ışınımının tahmininde kullanılabileceğini belirtmiştir. Sfetsos ve Coonick (2000) çeşitli yapay zeka tekniklerini kullanarak ortalama saatlik güneş ışınımını tahmin etmek için modeller geliştirmişlerdir. Geliştirdikleri modellerin kullanılabilir olduklarını göstermişlerdir. Güneş ışınımının belirlenmesi için benzer metotlar çeşitli araştırmacılar tarafından kullanılmıştır (Hunt ve diğ., 1998; Moghaddamnia ve diğ., 2009; Mohandes ve diğ., 2000; Rivington ve diğ., 2005; Sözen ve diğ., 2004).

Bu çalışmanın amacı, Eğirdir Gölü'nün güneş ışınımını tahmin etmek için yapay zeka tekniklerinden biri olan bulanık mantık yöntemi kullanılarak model geliştirmek ve geliştirilen modelin performanslarını değerlendirmektir.

2. YÖNTEM

Her insan, günlük hayatında kesin olarak bilinmeyen, bazen de önceden sanki kesinmiş gibi düşünülen, ama sonuçta kesinlik arz etmeyen durumlarla karşılaşabilir. Bu durumların sistematik bir şekilde önceden planlanarak sayısal öngörülerinin yapılması ancak bir takım kabul ve varsayımlardan sonra mümkün olabilmektedir.

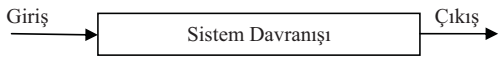
Gerçek dünya karmaşıktır. Bu karmaşıklık genel olarak belirsizlik, kesin düşünceden yoksunluk ve karar verilemeyişten kaynaklanır. Bilgisayarlar bu tür belirsizlikleri işleyemezler, çünkü bilgisayarların çalışması için sayısal bilgiler gereklidir. Bilgisayarlardan farklı olarak insanın yaklaşık düşünme, oldukça yetersiz, eksik ve belirsizlik içeren veri ve bilgi ile işlem yapabilme yeteneği vardır. Genel olarak, değişik biçimlerde ortaya çıkan karmaşıklık ve belirsizlik gibi tam ve kesin olmayan bilgi kaynaklarına bulanık kaynaklar adı verilir. Zadeh (1968), gerçek dünya sorunları ne kadar yakından incelemeye alınırsa, çözümün daha da bulanık hale geleceğini ifade etmiştir [Şen, 2001].

1965'de L. A. Zadeh (Lütfi Askerzade), yeni bir matematiksel yöntemi açıklayan "Fuzzy Sets (Bulanık Kümeler)" adlı ünlü makalesini Information and Control isimli dergide yayınlamıştır. Bu yöntem, "kısa adam", " güzel kadın" veya 1'den daha büyük gerçek sayılar" gibi belirsiz kümeleri veya şüpheli fikirleri elde etmeye ve tanımlamaya olanak sağlamıştır. O zamandan günümüze, bulanık kümeler kuramı hem Zadeh'in

kendisi, hem de sayısız araştırmacı tarafından hızlı bir biçimde geliştirilmiştir. Aynı zamanda bu kuramın gerçek uygulamaları da başarılı bir biçimde gerçekleştirilmiştir. Bulanık kümeler kuramının ana fikri, tamamen sezgisel ve doğal olmasıdır [Sakawa, 1993].

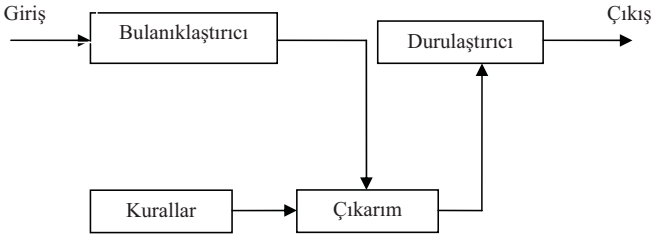
Bulanık mantığın en geçerli olduğu iki durumdan ilki, incelenen olayın çok karmaşık olması ve bununla ilgili yeterli bilginin bulunmaması durumunda kişilerin görüş ve değer yargılarına yer vermesi, ikincisi ise insan muhakemesine, kavrayışlarına ve karar vermesine gereksinim gösteren hallerdir.

Genellikle bilinen matematik, stokastik veya kavramsal sistemlerin hemen hepsi Şekil 1'de görülen üç ayrı birimden ibarettir. Bunlar giriş, bu girişi çıkışa dönüştüren ve sistem davranışı olarak isimlendirilen bir kutu ve buradan çıkış kısımlarıdır. Bu birimlerin hepsinde sayısal veri çıkış veya işlemler yapılmaktadır [Şen, 2001].



Şekil 1. Klasik sistem

Bulanık sistemlerin bu klasik tasarımdan farkı sistem davranışı kısmının dörde ayrılarak Şekil 2'de gösterildiği gibi kendi aralarında bağlantılı dört birimin olmasıdır.



Şekil 2. Bulanık mantığın temel elemanları

Girdi değerleri çoğunlukla kesin değerlerdir. ***Bulanıklaştırıcının*** görevi, bulanık kümeler (burada girdiler bulanık üyelik fonksiyonları tarafından tanımlanan bulanık değişkenlerdir) içine kesin sayıları haritalamaktır. ***Kurallar*** "Eğer-İse" kurallarının oluşturduğu bulanık mantığı esas alır. Bir tipik "Eğer-İse" kuralı:

EĞER "nispi nem" AZ İSE "buharlaşma" ÇOK' tur.

Klasik uzman sistemlerde, kurallar insan deneyimlerinden çıkarılır. Bulanık kural-tabanlı sistemlerde, kural tabanı insan deneyimlerinin yardımıyla şekillendirilir. Bulanık kural tabanında kullanılan insan deneyimlerinden elde edilen sözel bilgi ve ölçümlerden elde edilen sayısal bilgi birleştirildiğinde ilginç bir durum ortaya çıkar. Bu durumda, kurallar ilk adımda sayısal verilerden çıkarılır. Sonraki adımda ise, bulanık kural tabanı insan deneyimlerinden elde edilen kurallar ile birleştirilebilir. Bulanık mantığın ***çıkarım*** makinesi, bulanık kümeler içine haritalanır. ***Durulaştırma*** esnasında, çıktı değişkeni için bir değer seçilir. Literatürde birçok farklı durulaştırma yöntemi mevcuttur. Seçilen

sonuç değeri çoğunlukla ya en yüksek üyelik derecesine sahip değer ya da ağırlık merkezi değeridir [Teodorovic ve Vukadinovic, 1998].

3. UYGULAMA

Isparta ili sınırları içerisinde, Eğirdir Gölü, Kovada Gölü ve Gölcük Gölü olmak üzere üç adet doğal göl bulunmaktadır. Eğirdir Gölü, Beyşehir Gölü'nden sonra Türkiye'nin ikinci tatlı su ve dördüncü büyük gölüdür. Bu özelliklerinden dolayı, hem bölgesel hem de ülke bazında, tatlı su kaynağı olarak büyük bir önem arz etmektedir. Eğirdir Gölü, Eğirdir İlçesi'nin kuzeyinde, kuzey-güney doğrultusunda uzanan, tektonik menşeli bir göldür. Göl, 38° 15′ K- 30° 52′ D koordinatlarında ve 929 m rakımdadır. Eğirdir Gölü'nün derinliği ortalama 7–15 m arasında değişmektedir.

Bulanık mantık modelleri geliştirmek için kullanılan 2000-2003 (854 veri) yıllarına ait meteorolojik veriler, Eğirdir Gölü kenarına kurulan otomatik GroWeather meteorolojik istasyonundan elde edilmiştir. Her bir meteorolojik parametre ve güneş ışınımı arasındaki korelasyon katsayılarına göre güneş ışınımı üzerindeki etkin parametreler belirlenmiştir. Bu parametreler, etkililik derecesine göre sırasıyla, güneşlenme süresi (n), hava sıcaklığı (T_a), su sıcaklığı (T_s), ve nisbi nem (R_h) olarak sıralanmıştır. Güneş ışınımı (R_c) tahmini için iki, üç ve dört girdili olmak üzere çeşitli modeller geliştirilmiştir. Modellerin performansı, aşağıda ifadeleri verilen ortalama karesel hata (OKH) ve determinasyon katsayısı (R^2) değerlerine göre belirlenmiştir.

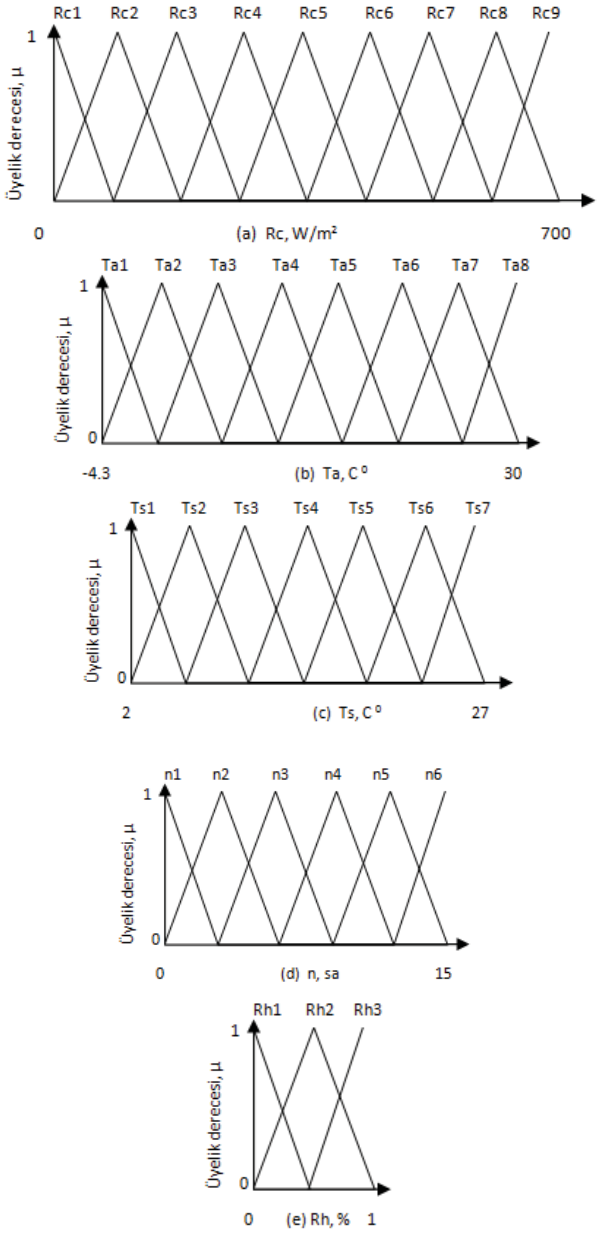
$$OKH = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left(R_{i(gerçek)} - R_{i(\mathrm{model})}\right)^2 \tag{1}$$

ve

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}\left(R_{i(\mathrm{gerçek})} - R_{i(\mathrm{model})}\right)^2}{\sum_{i=1}^{n}\left(R_{i(\mathrm{gerçek})} - R_{\mathrm{ort}}\right)^2} \tag{2}$$

Burada n toplam veri sayısı, $R_{i(\mathrm{gerçek})}$ ve $R_{i(\mathrm{model})}$ sırasıyla ölçülen güneş ışınımı değeri ve geliştirilen modellerin sonuçlarıdır. R_{ort} ise ortalama güneş ışınımı değeridir.

Güneş ışınımı, hava sıcaklığı, su sıcaklığı, güneşlenme süresi ve nisbi nem parametrelerinin alt kümeleri R_{c1}, R_{c2}, …, R_{c9} gibi notasyonlarla verilmiştir. Bu tip veri sınıflandırmasına bağlı olarak, R_c, T_a, T_s, n ve R_h için üyelik fonksiyonları belirlenmiş ve bu üyelik fonksiyonları Şekil 3'de verilmiştir.



Şekil 3. Üyelik fonksiyonları (a) güneş ışınımı, *Rc* (b) hava sıcaklığı, *Ta* (c) su sıcaklığı, *Ts* (d) güneşlenme süresi *n* (e) nispi nem, *Rh*

Matematiksel olarak 6*8*7*3*9= 9072 yazılabilmesine rağmen, mantıksal olarak olayı açıklayabilecek 854 kurallık bir kural tabanı oluşturulmuştur. Örneğin, güneş ışınımın alt kümeleri ile tahmini aşağıdaki bulanık kural tabanına göre yapılmaktadır:

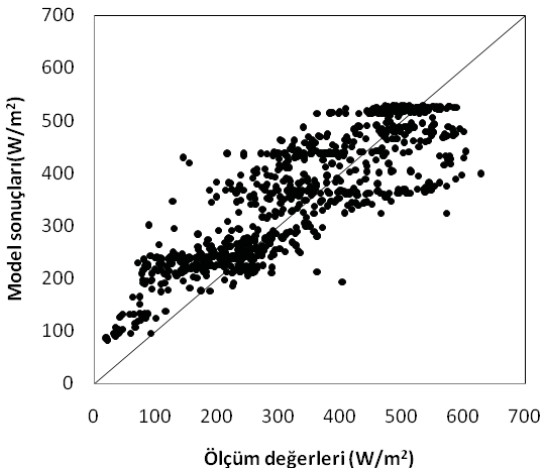
$$EGER\ T_a, T_{a(i)}\ ve\ T_s, T_{s(j)}\ ve\ n, n_{(k)}\ ve\ R_h, R_{h(l)}\ ISE\ R_c, R_{c(m)}$$

Burada, girdi ve çıktı değişkenlerinin üyelik fonksiyonlarının sayıları için *i=1,2,...,8*; *j=1,2,...,7*; *k=1,2,...,6*; *l=1,2,3*; ve *m=1,2,...,9* olarak tanımlanmıştır. Bulanık mantık modelinin ve ölçülen güneş ışınımının hassasiyet analizi için, bulanık mantık uzman sistemi aynı kural tabanında bulunan ağırlık merkezi durulaştırma yöntemi ile model oluşturulmuştur. Geliştirilen modellerin ortalama karesel hata (OKH) ve determinasyon katsayısı (R^2) değerleri Çizelge 1'de verilmiştir.

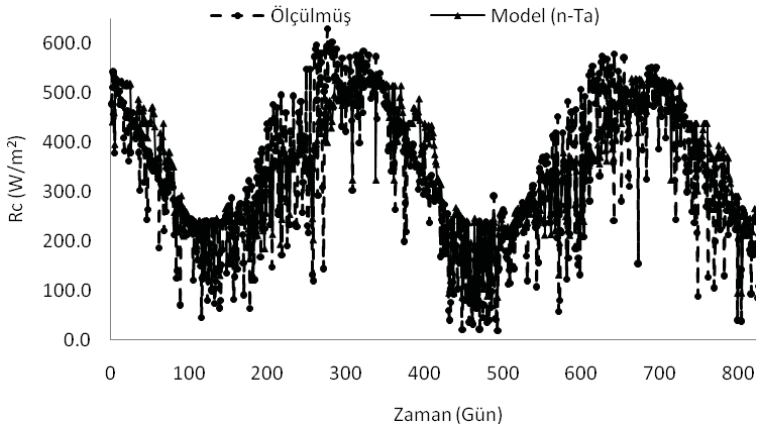
Çizelge 1.Geliştirilen modellere ait OKH ve R^2 değerleri

Girdi parametreleri	*OKH (W/m^2)*	*R^2*
n	11049.62	0.471
Ta	13304.70	0.363
Ts	15035.11	0.281
Rh	20909.78	0.001
n-Ta	5999.94	0.713
n-Ts	7591.56	0.637
n-Rh	15877.73	0.240
Ta-Ts	11492.32	0.450
Ta-Rh	19306.10	0.076
Ts-Rh	15987.34	0.235
n-Ta-Ts	6039.06	0.711
n-Ta-Rh	13094.42	0.374
n-Ts-Rh	12633.30	0.396
Ta-Ts-Rh	16901.37	0.191
n-Ta-Ts-Rh	13874.84	0.336

Çizelge 1'den görüldüğü üzere geliştirilen modellerin OKH ve R^2 değerleri dikkate alındığında, *n-T_a* modeli ile *n-T_a-T_s* modelinin birbirlerine yakın sonuçlar verdiği ve en uygun sonucun *n-Ta* modeline ait olduğu görülmektedir. Dolayısıyla en iyi R^2 değerini veren *n-Ta* modelinin performansını göstermek için, model sonuçları ile ölçülen güneş ışınımı değerleri arasında çizilen saçılma diyagramı Şekil 4'te verilmiştir. Model sonuçlarının ölçümlerle uyuştuğu Şekil 4'den görülmektedir. Model ve ölçüm değerlerine ait zaman serisi Şekil 5'de verilmiştir. Geliştirilen iki girdili modelin güneş ışınımı tahmini için kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.



Şekil 4. Model sonuçları ile ölçülen güneş ışınımı değerlerine ait saçılma diyagramı



Şekil 5. Tahmin edilen ve ölçülen günlük güneş ışınımı için zaman serisi

4. SONUÇLAR

Çalışmada, Göller Bölgesi'nde yer alan Eğirdir Gölü'ne ait güneş ışınımının tahmini için bulanık mantık yöntemi ile hava sıcaklığı, su sıcaklığı, güneşlenme süresi ve nisbi nem parametreleri kullanılarak çeşitli modeller geliştirilmiştir. Geliştirilen modeller ile ölçüm değerleri karşılaştırıldığında, güneşlenme süresi ve hava sıcaklığı parametrelerine bağlı olan modelin ölçülmüş güneş ışınımı değerleri ile uyum içerisinde olduğu tespit edilmiştir. Sonuç olarak, geliştirilen modelin veri kaybı gibi durumlarda günlük güneş ışınımı tahmini için kullanılabilir olduğu görülmüştür.

5. KAYNAKLAR

DORVLO ASS, JERVASE JA, AL-LAWATI A, "Solar radiation estimation using artificial neural networks", Applied Energy, 71: 307-319, 2002.

HUNT LA, KUCHAR L, SWANTON CJ, "Estimation of solar radiation for use in crop modeling", Agricultural and Forest Meteorology, 91: 293-300, 1998.

MOGHADDAMNIA A, REMESAN R, HASSANPOUR KASHANI M, MOHAMMADI M, HAN D, PIRI J, "Comparison of LLR, MLP, Elman, NNARX and ANFIS models-with a case study in solar radiation estimation", Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics, 71: 975-982, 2009.

MOHANDES M, BALGHONAIM A, KASSAS M, REHMAN S, HALAWANI TO, "Use of radial basis functions for estimating monthly mean daily solar radiation", Solar Energy, 68(2): 161-168, 2000.

MORID S, GOSAIN AK, KESHARI AK, "Solar radiation estimation using temperature-based, stochastic and artificial neural networks approaches", Nordic Hydrology, 33 (4): 291-304, 2002.

RIVINGTON M, BELLOCCHI G, MATTHEWS KB, BUCHAN K, "Evaluation of three model estimations of solar radiation at 24 UK stations", Agricultural and Forest Meteorology, 132: 228-243, 2005.

SAKAWA M, "Fuzzy logic with engineering applications", McGraw-Hill Inc., USA, 1993.

SFETSOS A, COONICK AH, "Univariate and multivariate forecasting of hourly solar radiation with artificial intelligence techniques", Solar Energy, 68(2): 169-178, 2000.

SÖZEN A, ARCAKLIOĞLU E, ÖZALP M, "Estimation of solar potential in Turkey by artificial neural networks using meteorological and geographical data", Energy Conversion and Management, 45: 3033-3054, 2004.

ŞEN Z, "Fuzzy algorithm for estimation of solar irradiation from sunshine duration", Solar Energy, 63(1): 39-49, 1998.

ŞEN Z, "Bulanık mantık ve modelleme ilkeleri", Bilge Kültür Sanat, İstanbul, 2001.

ŞEN Z, TAN E, "Simple models of solar radiation data for northwestern part of Turkey", Energy Conversion and Management, 42: 587-598, 2001.

TEODOROVIC D, VUKADINOVIC K, "Traffic control and transport planning: a fuzzy sets and neural networks approach", Kluwer Academic Publishers, Boston, 1998.

ZADEH LA, "Fuzzy sets", Information and Control, 8, 338–353, 1965.

Dicle Havzası Billoris AGİ Yıllık Ve Aylık Akımları Stokastik Modellenmesi

Özkan Çakmak [1], Özgür Temiz [2], Türkay Baran [3]

Özet: Sunulan çalışmada, Dicle Havzasında yer alan Billoris Akım Gözlem İstasyonuna (AGI) ait yıllık ve aylık akımların tahmini için kullanılabilecek stokastik modeller araştırılmıştır. Bu amaçla, Billoris AGİ'nda 1946'dan 2005 yılına kadar gözlenmiş akımlar kullanılmıştır. Hem yıllık hem de aylık akımların modellenmesi sırasında içsel bağımlı [AR(1) ve AR(2)] ile içsel bağımlı - hareketli ortalama [ARMA(1,1)] modellerinin uygunluğu araştırılmıştır. Uygun modelin seçimi aşamasında korelogramlar ve farklı uygunluk test sonuçları değerlendirilmiştir. Modelleme sonucunda, Billoris AGI gözlenmiş yıllık ve aylık akımların AR(1) modeliyle tanımlanabileceği belirlenmiştir.

Anahtar Sözcükler: Otoregresif modeller, Otoregresif Hareketli Ortalama Modelleri, Zaman Serileri, Dicle Havzası, Billoris AGİ

Stochastic Modeling of Annual and Monthly Flows of Billoris SGS in Dicle Catchment

Abstract: In this presented study, stochastic models are established to forecast annual and monthly flows of Billoris Stream Gauging Station (SGS) in Tigris. During establishment of models, flows which were observed between 1946 and 2005 in Billoris SGS are used. Linear autoregressive [AR(1) and AR(2)] models and linear autoregressive – moving average [ARMA(1,1)] model are used during modeling of both annual and monthly flows. To determine the optimal stochastic model, correlograms and various types of testing the goodness of fit criterion results are evaluated. As a result of modeling, it was determined that both annual and monthly flows are fitted with AR(1) stochastic model.

Keywords: Autoregresive Models, Autoregresive Moving Average Models, Time Series, Tigris Catchment, Billoris SGS

[1] Dokuz Eylül Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İzmir, E-Posta: ozkan.cakmak@gmail.com
[2] Dokuz Eylül Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İzmir, E-Posta: zgr_tmz@hotmail.com
[3] Dokuz Eylül Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İzmir, E-Posta: turkay.baran@deu.edu.tr

1. GİRİŞ

Hidrolojik zaman serilerinin stokastik karakterlerinin belirlenmesi, tek değişkenli hidrolojik serilerin sentetik olarak türetilmesine ilişkin metotlar üzerindeki çalışmalar artarak devam etmektedir. Su kaynakları sistemlerinin planlanması, dizaynı ve işletilmesi genellikle birkaç hidrolojik seriyi içerdiği için çok değişkenli stokastik analiz ve çok değişkenli modelleme önemli bir konudur (Pegram ve James, 1972). Su kaynakları projelerinin planlanması aşamasında karşı karşıya kalınan karar verme problemlerinin çözümü için aynı topluma ait sentetik verilerin türetilmesi gerekmektedir. Bu sentetik verilerin türetilmesi ise ancak modelleme yapılarak sağlanmaktadır. Modelleme sonucunda, incelenen konuya ve mevcut verinin güvenilirliğine bağlı olarak gelecekte beklenen akımın (debi, seviye, akış hacmi) tahmini, çok amaçlı haznelerin işletilmesi, akarsuyun su potansiyelinin belirlenmesi, taşkın uyarılarının yapılması, kurak dönemlerde hidroelektrik üretiminin, şehir suyu ve sulama suyunun dağıtımı ve akarsularda ulaşımın planlanması gibi pek çok konuda tahmin yapmak mümkün olabilir. Bir başka deyişle, stokastik modeller planlama/tasarım için veri türetmek ya da süreçlerin gelecekteki değerlerini tahmin etmek/senaryolar üretmek amacıyla, karar verme sürecinin önemli bir bileşeni olarak da kullanılabilir (Baran ve Bacanlı, 2006).

2. VERİLER

Dicle havzası sahip olduğu 57.614 km^2 drenaj alanı ve 21,6 km^3 brüt yıllık yüzeysel su potansiyeli değerleriyle, Türkiye'deki 26 ana akarsu havzası içinde drenaj alanı açısından 4., su potansiyeli açısından ise 2. sırada yer almaktadır. Bu değerler, oransal olarak ülke yüzölçümünün % 7,4'ünü, su potansiyelinin % 12,2'sini oluşturmaktadır (Baran ve diğ., 2006).

Sunulan çalışmada, Dicle Havzasında bulunan, Botan Çayı Billoris akım gözlem istasyonunda (AGI) 1946-2005 döneminde gözlenmiş yıllık ve aylık akım verileri kullanılmıştır (EIE, 2009). Botan Çayı ve Billoris AGI'nun havza üzerindeki genel konumları Şekil 1'de gösterilmiştir. Billoris AGI 465 m yükseltide olup, 8747,3 km^2 yağış alanına sahiptir. Yağış alanına Zarova Çayı dahildir (EIE, 2010).

Dicle havzasındaki karst pınarlarının toplam akışlara olan üçte bir mertebesindeki katkısı birçok çalışma ile ortaya konmuştur (Baran ve diğ., 1987, Öziş ve diğ., 1999). Karst pınarlarının yıllık akış serilerine olan etkisi ihmal edilemeyecek boyutlarda olduğundan sunulan çalışma kapsamında içsel bağımlı olan aylık ve yıllık akış serileri için uygun stokastik modeller araştırılmıştır.

Billoris AGI (26-04) 07.11.1945'te Zarova Çayı dahil olmadan Botan Çayı üzerinde açılmıştır. 31.07.1962'de 2 km mansaba (Zarova Çayı dahil olduktan sonra) Siirt - Eruh karayolunu bağlayan Dargalip Köprüsüne taşınmıştır. Dicle havzasındaki başlıca akış gözlem istasyonlarının 1947-1980 su yılları süresindeki muhtelif eksik akışlarının aralarındaki uygun çevirme denklemleriyle kestirilerek tüm süreye ait aylık akış tablolarının elde edildiği çalışmada (Öziş ve diğ., 1999) 1962'de gerçekleştirilen istasyon yerindeki değişikliğin akışlara etkisinin ihmal edilebilir boyutlarda olduğu

belirtilmiştir. Daha sonra, AGI 01.10.1971 tarihinde 1230 m mansaba alınarak 2626 numarası verilmiştir.



Şekil 1. Doğu Dicle ve kolları üzerindeki başlıca akış gözlem istasyonları ve Billoris AGİ (Öziş ve diğ., 1999)

Son olarak 03.10.1996 tarihinde güvenlik nedeniyle tekrar Siirt - Eruh karayolundaki eski yerine taşınan AGI 2633 numarası ile gözlem yapmaya devam etmektedir.

3.YÖNTEM

3.1. Zaman Serisi İçin En Uygun Model

Hidrolojik süreçlerin modellenmesi iki aşamada yapılmalıdır. İlk aşama, periyodik unsurlar olarak bilinen ve hidrolojik süreçlerin çoğunda var olan, eğilim (trend) ve sıçrama (jump) gibi deterministik bileşenlerin tanımlanmasıdır. Sürecin durağan (stasyoner) kabul edilebilmesi için bu bileşenlerin ayıklanması gerekmektedir. İkinci aşama ise, sadece olasılık yapılarıyla tanımlanabilen stokastik bileşenin modellenmesinden ibarettir. Modelleme aşamasında çoğunlukla izlenen yol, süreci tanımlamak için kullanılabilecek farklı tipte modellerin parametrelerini belirledikten sonra, en uygun model tipinin araştırılmasıdır (Salas, 1992).

Gözlenmiş bir stokastik sürece uydurulmak istenen matematik modelin tipi seçilip parametreleri eldeki örnekten tahmin edildikten sonra, seçilen modelin gözlenmiş seriye uygunluğunun kontrol edilmesi gerekir. Bu amaçla, minimum hata varyansı [min Var(e)], korelogram [ACF - Autocorrelation Function], Akaike bilgi ölçütü [AIC - Akaike Information Criterion] gibi çeşitli yöntemler kullanılabilir. Ancak, her uygunluk sınaması yönteminde varolan farklı zayıflıklar nedeniyle, tek bir yöntemi kullanmak çoğu kez mümkün değildir. Bu nedenle, genellikle farklı sınama yöntemlerinin verdiği

sonuçlar araştırılarak uygun modele karar vermek yoluna gidilmektedir (Baran ve Bacanlı, 2006).

Bu çalışma kapsamında, Billoris AGİ gözlenmiş akımları için hem yıllık hem de aylık zaman serileri kullanılarak modelleme yapılmıştır. Yıllık zaman serileri genel istatistik karakteristikleriyle ilişkili oldukları için hidrolojideki en basit serilerdir (Salas ve diğ., 1985, Salas, 1992). Bunun sebebi yıllık zaman serilerinin, bilinen bir dönemdeki gözlenmiş veri dikkate alındığında zamandan olabildiğince bağımsız ve istasyoner stokastik süreçler olmalarıdır.

Aylık zaman serileri ise, yıllık serilerle kıyaslandığında bazı benzer istatistiksel karakteristiklerin yanı sıra farklı karakteristikler de içermektedir. Aylık serilerin yıllık serilerden en temel farkı doğadaki birçok olayın ortalama, standart sapma ve çarpıklık istatistiklerinde periyodiklik içermesidir. Sunulan çalışmada Billoris AGİ gözlenmiş akımlarının aylık modellemesi yapılarak periyodik bir zaman serisine sahip olup olmadığı da incelenmiştir.

3.2. İçsel Bağımlı (Otoregresif) Modeller (AR)

Hidrolojide zaman serilerinin analizinde en çok kullanılan metotlardan biri içsel bağımlı (otoregresif) modellerdir (Box ve diğ, 1994).

Doğrusal içsel bağımlı (Lineer Autoregressive) veya Markov modelleri olarak da adlandırılan bu modeller

$$x_t = \mu + \sum_{j=1}^{p} \phi_j (x_{t-j} - \mu) + \varepsilon_t \qquad (1)$$

denklem (1) ile ifade edilmektedir. İfadede, p modelin mertebesini göstermekte olup, x_t herhangi bir yılda görülen akış, ε_t bağımsız bir süreç oluşturan, sıfır ortalamalı ve varyansı σ_ε^2 olan normal dağılmış değişken (noise, error term) olarak tanımlanmaktadır. ε_t normal dağılmış olduğundan, değişken de (x_t) normal dağılımlı olmaktadır. p-inci mertebe Markov modeli AR(p) biçiminde tanımlanmakta, model parametreleri (p+2) adet (μ , $\phi_1,...,\phi_p$ ve σ_ε^2) olmaktadır. Hidrolojide birinci ve ikinci mertebe Markov modelleri [AR(1) ve AR(2)] geniş bir uygulama alanı bulmaktadır.

3.3. İçsel Bağımlı - Hareketli Ortalama Modeller (ARMA)

Doğrusal içsel bağımlı süreçlerle hareketli ortalamaların (Autoregressive - Moving Average) karışımı olan bu modellerin genel formları

$$x_t = \mu + \sum_{j=1}^{p} \phi_j (x_{t-j} - \mu) + \varepsilon_t - \sum_{j=1}^{q} \theta_j \varepsilon_{t-j} \qquad (2)$$

denklem (2) ile ifade edilmektedir. İfade, p sayıda içsel bağımlılık parametresi ($\phi_1,...,\phi_p$) ve q sayıda hareketli ortalama ($\theta_1,...,\theta_q$) parametresi kullanarak tanımlanabilmektedir. Bu tür modeller kısaca ARMA veya ARMA(p,q) gösterimleriyle tanımlanmakta,

ARMA(p,0) modeli AR(p) içsel bağımlı modeline indirgenmektedir. Benzer şekilde, ARMA(0,q) modeli, hareketli ortalama MA(q) modeli ile aynı anlamdadır.

Doğrusal içsel bağımlı AR(p) modellerde olduğu gibi, x_t herhangi bir yılda görülen akış, ε_t bağımsız bir süreç oluşturan, sıfır ortalama ve σ_ε^2 varyans değerlerine sahip, normal dağılmış değişken olarak tanımlanmaktadır. ARMA(p,q) mertebe bir modelde parametre sayısı (p + q + 2) adet (μ, $\phi_1,...,\phi_p$, $\theta_1,...,\theta_q$ ve σ_ε^2) olmaktadır.

Model parametrelerin tahmini için çeşitli yöntemler kullanılabilir. Momentler, maksimum olabilirlik ve en küçük kareler en çok kullanılan tahmin yöntemleridir. Sunulan çalışmada, model parametreleri momentler ve maksimum olabilirlik yöntemleriyle hesaplanmıştır.

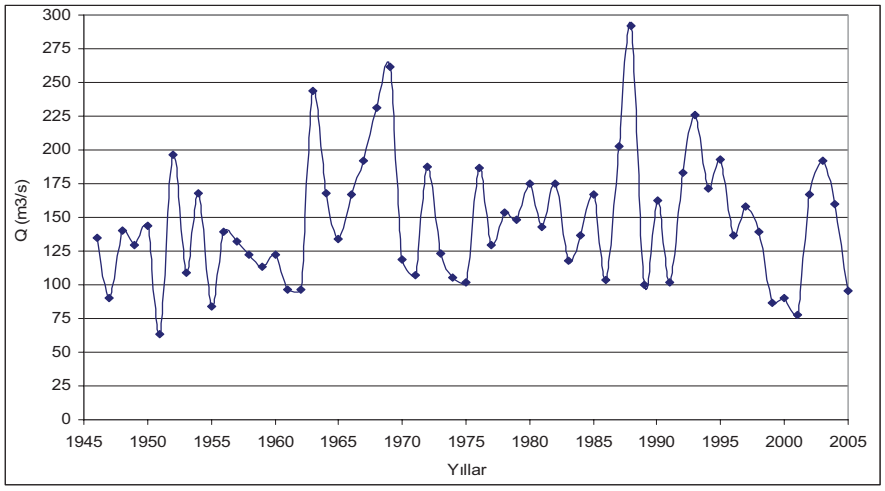
4.BULGULAR

4.1. Yıllık Akımların Modellenmesi

Billoris AGI 1946-2005 döneminde gözlenmiş yıllık ortalama akışlarının temel istatistikleri Çizelge 1'de, gidişleri Şekil 2'de sunulmuştur. Araştırılan AR(1), AR(2) ve ARMA (1,1) stokastik modellerinin parametreleri Çizelge 2'de sunulmuştur.

Çizelge 1. Billoris AGI 1946-2005 yıllık ortalama akışlarının temel istatistikleri

Billoris yıllık ortalama akışları (1946-2005)		
Ortalama	($\bar{x}$) (m^3/sn)	146.558
Standart Sapma	(S_x) (m^3/sn)	47.030
Maksimum Değer	(x_{max}) (m^3/sn)	291.830
Minimum Değer	(x_{min}) (m^3/sn)	63.720
Değişkenlik Katsayısı	(C_v)	0.321
Çarpıklık Katsayısı	(C_s)	0.820
Sivrilik Katsayısı	(E)	0.931

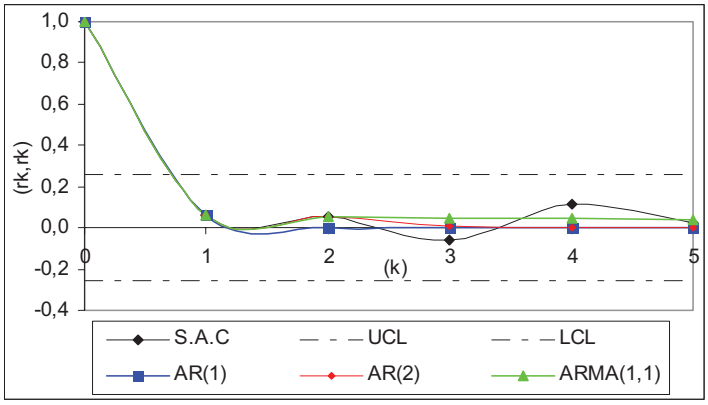


Şekil 2. Billoris AGI yıllık akımlarının gidişi

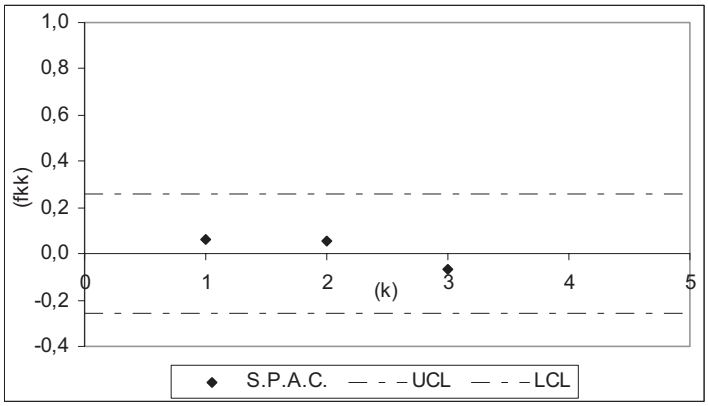
Çizelge 2. Billoris AGI yıllık ortalama akışları içsel bağımlı ve içsel bağımlı – hareketli ortalama model parametreleri

	AR(1)	AR(2)	ARMA(1,1)
α_1	0.063	0.060	0.890
α_2	-	0.052	-
θ_1	-	-	0.837

Yıllık akışlara en uygun olan modelin belirlenmesi amacıyla gözlenen akışların içsel bağımlılık (ACF) ve kısmi içsel bağımlılık fonksiyonunun (PACF) ordinatları hesaplanmış ve Şekil 3 ile Şekil 4'te gösterilmiştir. Korelogramlar incelendiğinde; içsel bağımlılık katsayılarının belli bir k değerinden sonra birden sıfır olmadığı; büyük k değerinde bile sıfıra yavaşça yaklaştıkları görülmektedir. Bu durum, modelde içsel bağımlılık (AR) terimlerinin bulunduğunun göstergesidir (Fun ve Yao, 2003). İncelenen modeller için, uygunluk ölçütlerinin sonuçları Çizelge 3'de sunulmuş olup, Billoris yıllık ortalama akışları için en uygun model AR(1) olarak belirlenmiştir.



Şekil 3. Billoris AGI yıllık ortalama akışlarının korelogramı



Şekil 4. Billoris AGI yıllık ortalama akışlarının kısmi otokorelasyon katsayıları

Çizelge 3. Billoris AGI yıllık ortalama akışları için en uygun model önerileri

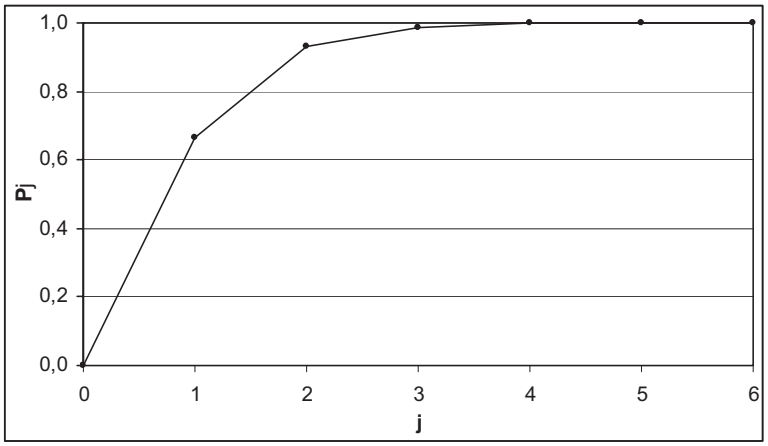
Uygunluk Ölçütü	ACF	Var(e)	AIC	AICC	FPE	T(X,Y)
Tüm Modeller İçin Değerlendirme	Tüm Modeller	AR(1)-AR(2)	AR(1)	AR(1)	-	ARMA(1,1)
İçsel Bağımlı Modeller İçinde Değerlendirme	Tüm Modeller	AR(1)-AR(2)	AR(1)	AR(1)	AR(1)	ARMA(1,1)

4.2. Aylık Akımların Modellenmesi

Aylık modelleme yapılırken, akımların ortalama, standart sapma ve korelasyon katsayısı gibi istatistikleri hesaplandıktan sonra bu istatistiklere ait harmonik (Fourier) katsayıları hesaplanmış (Çizelge 4-5-6) ve nispi eklenik periyodogramları (Şekil 5-6-7) oluşturulmuştur.

Çizelge 4. Billoris AGI aylık ortalama istatistiğine ait harmonik katsayıları

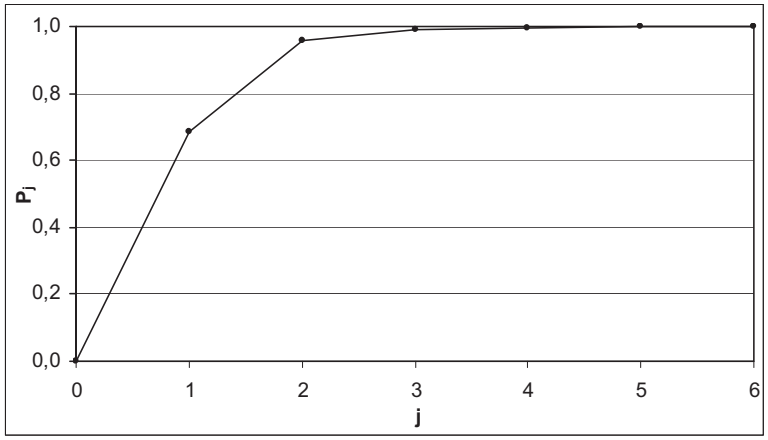
j	a_j	b_j	c_j	Δp_j	h_j	P_j
1	-94.498	-120.801	153.371	0.66300	141136.800	0.66300
2	-30.299	92.526	97.360	0.26717	56874.300	0.93017
3	39.721	-20.585	44.739	0.05641	12009.380	0.98658
4	-19.263	-6.702	20.396	0.01172	2495.918	0.99831
5	4.351	6.370	7.714	0.00168	357.053	0.99998
6	-0.553	0.000	0.553	0.00002	3.673	1.00000



Şekil 5. Billoris AGI aylık ortalama istatistiğine ait nispi eklenik periyodogramı

Çizelge 5. Billoris AGI aylık standart sapma istatistiğine ait harmonik katsayıları

j	a_j	b_j	c_j	Δp_j	h_j	P_j
1	-39.377	-48.576	62.531	0.68710	23461.111	0.68710
2	-15.404	36.202	39.343	0.27199	9287.261	0.95909
3	12.289	-4.997	13.266	0.03093	1055.974	0.99001
4	-5.765	-1.426	5.938	0.00620	211.586	0.99621
5	2.788	1.845	3.343	0.00196	67.063	0.99817
6	-2.279	0.000	2.279	0.00183	62.320	1.00000



Şekil 6. Billoris AGI aylık standart sapma istatistiğine ait nispi eklenik periyodogramı

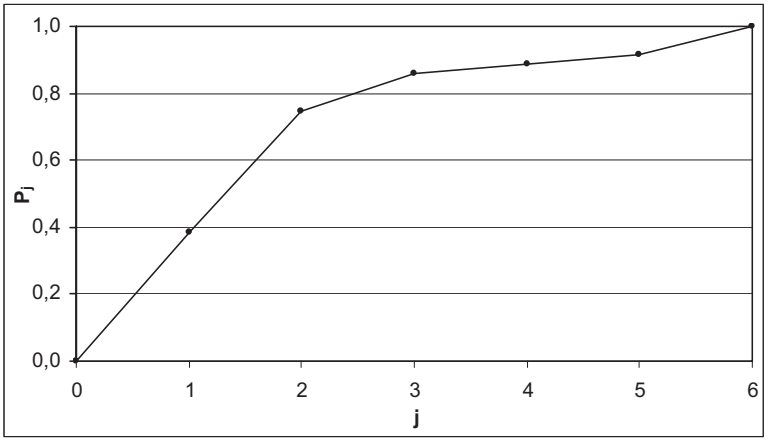
Çizelge 6. Billoris AGI aylık otokorelasyon istatistiğine ait harmonik katsayıları

j	a_j	b_j	c_j	Δp_j	h_j	P_j
1	0.143	-0.118	0.185	0.38525	0.206	0.38525
2	-0.097	-0.150	0.179	0.35917	0.192	0.74442
3	0.091	-0.044	0.101	0.11437	0.061	0.85878
4	0.038	-0.031	0.049	0.02691	0.014	0.88569
5	0.030	-0.042	0.052	0.03024	0.016	0.91593
6	0.061	0.000	0.061	0.08407	0.045	1.00000

Örnek istatistiklerine F istatistiği uygulanarak kritik F değeri ile karşılaştırılmış, ortalama ve standart sapma istatistiklerinin değişiminde 1. harmoniğin katkısının en fazla olduğu görülmüştür. Otokorelasyonların ise tamamen periyodik olduğu görülmüştür. Bu aşamada kritik F istatistiği;

$$F_{0.05}(2; N-3) = 4{,}26 \tag{3}$$

Denklem (3)'ün uygulanması ile elde edilmiştir. Sonuçlar Çizelge 7'de sunulmuştur.



Şekil 7. Billoris AGI aylık otokorelasyon istatistiğine ait nispi eklenik periyodogramı

Çizelge 7. Billoris AGI örnek istatistiklerine ait F istatistikleri

j	$F_{j,ort}$	$F_{j,ss}$	$F_{j,otok}$
1	**8.853**	**9.910**	3.027
2	1.641	1.683	2.699
3	0.269	0.144	0.610
4	0.053	0.028	0.130
5	0.008	0.009	0.147

Daha sonra örnek istatistiklerine kısmi F testi uygulanarak tüm istatistiklerin anlamlı harmonik sayısı elde edilmiştir. Ortalamalar için 2. ve 3. harmoniklerin, standart sapmalar içinse 2., 3. ve 4. harmoniklerin anlamlı harmonikler olduğu ve istatistiklerin değişiminde önem teşkil ettikleri belirlenmiştir. Son olarak belirlenen harmonik sayılarına göre aylık akımların kapalı formda matematiksel model ifadeleri elde edilmiştir (Denklem 4 ve 5).

$$\hat{\mu}(\tau)=1463.8-94.50\cdot\cos\left(\frac{2\cdot\pi\cdot\tau}{12}\right)-120.80\cdot\sin\left(\frac{2\cdot\pi\cdot\tau}{12}\right)-30.30\cdot\cos\left(\frac{2\cdot\pi\cdot2\cdot\tau}{12}\right)+92.53\cdot\sin\left(\frac{2\cdot\pi\cdot2\cdot\tau}{12}\right)$$
$$+39.72\cdot\cos\left(\frac{2\cdot\pi\cdot3\cdot\tau}{12}\right)-20.59\cdot\sin\left(\frac{2\cdot\pi\cdot3\cdot\tau}{12}\right)-19.26\cdot\cos\left(\frac{2\cdot\pi\cdot4\cdot\tau}{12}\right)-6.70\cdot\sin\left(\frac{2\cdot\pi\cdot4\cdot\tau}{12}\right) \quad (4)$$

$$\hat{\sigma}(\tau)=59.93-39.38\cdot\cos\left(\frac{2\cdot\pi\cdot\tau}{12}\right)-48.58\cdot\sin\left(\frac{2\cdot\pi\cdot\tau}{12}\right)-15.40\cdot\cos\left(\frac{2\cdot\pi\cdot2\cdot\tau}{12}\right)$$
$$+36.20\cdot\sin\left(\frac{2\cdot\pi\cdot2\cdot\tau}{12}\right)+12.29\cdot\cos\left(\frac{2\cdot\pi\cdot3\cdot\tau}{12}\right)-5.00\cdot\sin\left(\frac{2\cdot\pi\cdot3\cdot\tau}{12}\right) \quad (5)$$

Bu aşamadan sonra yıllık akımların modellenmesi başlığındaki adımlar uygulanmıştır. İçsel bağımlı (otoregresif) modeller [AR(1) ve AR(2)] için, model kalıntılarına Box &

Pirece Porte Manteau testi yapılmış ve Billoris gözlenmiş akımlarını tıpkı yıllık akımlarda olduğu gibi AR(1) modelinin temsil ettiği belirlenmiştir. İçsel bağımlı – hareketli ortalama modelinde [ARMA(1,1)] ise model parametreleri hesaplanması sırasında θ_1 parametresi denklem kökleri kompleks olduğu için hesaplanamamıştır. Bunun sonucunda aylık modellemeye devam edilememiştir.

5.SONUÇLAR

Bu çalışmada 1946-2005 zaman aralığında gözlenmiş aylık akım serileri kullanılarak, Billoris AGI'na en uygun stokastik modelin belirlenmesi amaçlanmıştır. Modelin gözlenmiş verilere uygunluğunun kontrolü için minimum hata varyansı [Var(e)], korelogramlar (ACF ve PACF), Akaike (AIC) ve düzeltilmiş Akaike bilgi ölçütü (AICC) ve transinformasyon T(X,Y) ölçütleri değerlendirilmiştir. Doğrusal içsel bağımlı modeller için ayrıca nihai hata tahmin ölçütü (FPE) de dikkate alınmıştır. Portmanteau testi ile kalıntıların (artık serilerin) bağımlı olup olmadıkları kontrol edilmiştir. Çalışmanın sonuçları aşağıda özetlenmiştir.

❖ Billoris aylık ortalama akışları incelendiğinde, Kolmogorov - Smirnov ve olasılık çizgisi korelasyon testleri yapılarak bu akımların lognormal dağılıma uyduğu gözlenmiştir.

❖ Otokorelasyonlar ve kısmi otokorelasyonlar 5 ileri adım için hesaplanmış ve sürece ait korelogramlar (ACF ve PACF) çizdirilmiştir. Korelogramlar incelendiğinde, ordinatların ikinci ileri adımdan sonra sıfıra çok yaklaştığı görülmüştür. İncelenen modeller için, uygunluk ölçütlerinin sonuçları da değerlendirilerek, Billoris yıllık ortalama akışları için en uygun model AR(1) olarak belirlenmiştir.

❖ Sürece ait korelogramlar (ACF ve PACF), en uygun modelin belirlenmesinde ölçüt olarak kullanılamamakla birlikte, hidrolojik süreci tanımlayan modelin belirlenmesinde yol gösterici olmaktadır. Gerektiğinde, güven sınırları daraltılarak en uygun model seçiminde kullanılabilir.

❖ Akaike bilgi ölçütü [AIC] ve düzeltilmiş Akaike bilgi ölçütü [AICC] ölçütlerinin verdiği sonuçlar incelendiğinde; AR(1) modelinin en uygun model olduğu, AR(2) modelinin ise en başarısız model olduğu belirlenmiştir.

❖ AR tipi modeller arasında bir değerlendirme yapılması açısından nihai hata tahmin ölçütü [FPE] hesaplanmış ve AR(1) modelinin en uygun model olduğu belirlenmiştir.

❖ Transinformasyon sonuçları incelendiğinde ARMA(1,1) modeli en uygun model olarak belirlenmiştir. Ancak tüm modeller için, transinformasyon hesabında kullanılan regresyon katsayısının çok düşük olması sebebiyle transinformasyon sonuçları sağlıklı bulunmamıştır. Ayrıca aylık akımlar modellenirken θ_1 parametresi hesaplanamadığı için transinformasyon ölçütü de hesaplanamamıştır.

❖ Box & Pirece Porte Manteau testi tüm modeller için yapılmış ve sonucunda AR(1) modelinin en uygun model olduğu belirlenmiştir.

❖ Her bir model için sentetik seriler üretilerek, model sonuçlarında oluşturulan akımların gözlenmiş akımlarla kıyaslanması yapılmıştır.

Hem yıllık modelleme hem de aylık modelleme sonucunda Billoris AGI'unda gözlenen akımların AR(1) modeline uyduğu belirlenmiştir. Farklı sınama kriterlerinden elde edilen sonuçlar bu sonucu doğrulamaktadır. Bu çalışma sonucunda bulunan model parametreleri, havzada Billoris AGI çevresinde yapılması düşünülen gelişme planları ve işletme çalışmaları kapsamında kullanılabilecektir.

KAYNAKLAR

Baran T, Dalkılıç Y, Özdemir Y, Öziş Ü, "Türkiye'nin su kuvveti potansiyelinin belirlenmesindeki aşamalar ve gelişmeler", Türkiye 10. Enerji Kongresi, Dünya'da ve Türkiye'de Enerji-Uygulamalar ve Sorunlar, İstanbul, 211-222, 2006.

Baran T, Bacanlı Ü, "Uygun stokastik model seçim ölçütlerinin değerlendirilmesi", İMO Teknik Dergi Yazı 264, 3987-4002, 2006.

Baran T, Harmancıoğlu N, Öziş Ü, "Türkiye'nin akarsu havzalarında karst pınar katkıları", Türkiye İnşaat Mühendisliği, IX. Teknik Kongresi, İnşaat Mühendisleri Odası, Ankara, 299-311, 1987.

Box GEP, Jenkins GM, Reinsel GC, "Time series analysis forecasting and control", 3. Edition, Prentice Hall, New Jersey, USA, 1994.

Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü Web Sitesi (EIE) 09/04/2010
http://www.eie.gov.tr/turkce/YEK/HES/hidroloji/GozIst/Agi_Gen_26.xls

Elektrik İşleri Etüd İdaresi (EIE), Su Akımları Yıllığı, Ankara, 2009.

Fan J, Yao Q, Nonlinear time series. Springer, New York, , 2003.

Öziş Ü, Baran T, Demirci N, "Türkiye'de Dicle havzasındaki başlıca akım gözlem istasyonlarının aylık akışları", İMO Teknik Dergi, 2029-2045, 1999.

Pegram GGS, James W, "Multivariate autoregressive model for the generation of operational hydrology", Water Resour. Res., 8, 1074-1076, 1972.

Salas JD, Delleur JW, Yevjevich WLL, "Applied modeling of hydrologic time series" Water Resources Publications, Littleton-Colorado, USA, 1985.

Salas JD, "Analysis and modeling of hydrologic time series" Mc Graw Hill, in *Handbook of Hydrology* V II, 19.1 – 19.72, New York, 1992.

Kıyı Alanlarında Kıyı Şeklinin Yağış Dağılımına Etkisi

Ebru Eriş [1], Necati Ağıralioğlu [2]

Özet: Bu çalışmada, Doğu Karadeniz kıyı bölgesi için kıyı şekli ile birlikte enlem, boylam, yükseklik, kıyıdan mesafe gibi coğrafik ve topoğrafik faktörlerin yıllık ortalama yağışın alandaki dağılımı üzerinde etkileri incelenmiştir. Kıyı şekli, kıyı açısı adı verilen yeni bir değişkenle tanımlanmıştır. Bu değişkenlerin yağışın alan dağılımı üzerindeki etkileri grafikler yardımıyla yorumlanmıştır.
Ayrıca enlem, boylam, yükseklik, kıyıdan mesafe ve kıyı açısı değişkenleri kullanılarak çoklu regresyon analizi yapılmıştır. Analiz esnasında yağış ölçüm istasyonları hem bir bütün olarak ele alınmış hem de kıyı ve iç bölge istasyonları olmak üzere gruplandırılmıştır.
Gruplandırma olmaksızın yapılan, enlem ve boylam değişkenlerini içeren regresyon analizinde determinasyon katsayısı 0.65 olarak bulunmuştur. Enlem ve boylama, kıyı açısı dahil edilerek yapılan analizde ise yağışın alandaki değişimine ait determinasyon katsayısı kıyı bölgesinde 0.83, iç bölgede ise 0.74 olarak hesaplanmıştır. Ölçüm istasyonları gruplandırılmadan göz önüne alındığında ise bu değer 0.80 olarak bulunmuştur.

Anahtar Sözcükler: Yağış dağılımı, kıyı şekli, çoklu regresyon analizi, Doğu Karadeniz Bölgesi

Effect of Coastline Configuration on Precipitation Distribution for Coastal Areas

Abstract: In this study, the effects of coastline, together with the other geographical and topographical factors such as longitude, latitude, elevation and distance from sea, on mean annual precipitation are investigated for the coastal area of the eastern Black Sea region. The coastline configuration is represented by a new variable, the coastline angle. Effects of these variables on precipitation distribution are graphically evaluated.
Multiple regression analysis is also performed using longitude, latitude, elevation, distance from sea and coastline angle. In the analysis, rain gauges are considered as a whole and are also divided into two groups as coastal and inland.
Longitude and latitude can explain 65% of the spatial variability of precipitation without grouping the gauges. When coastline angle is added to the analysis, spatial

[1] İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul, E-Posta: eriseb@itu.edu.tr
[2] İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul, E-Posta: necati@itu.edu.tr

variability of precipitation can be explained 83% for the coastal gauges and 74% for the inland gauges and % 80 for the whole gauges.

Keywords: Precipitation distribution, coastline configuration, multiple regression analysis, Eastern Black Sea Region.

1. GİRİŞ

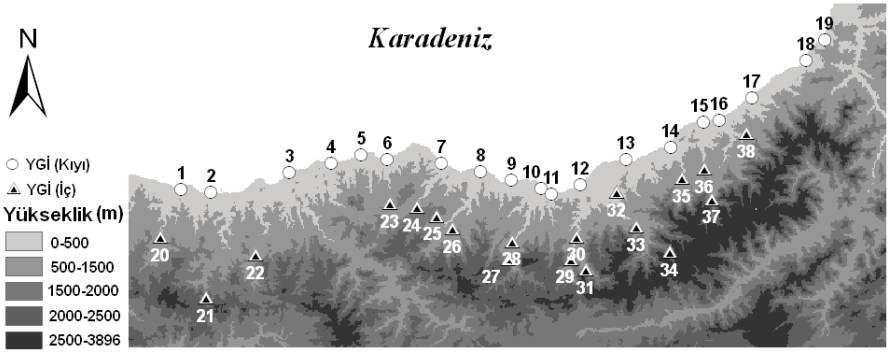
Su kaynaklarının değerlendirilmesine yönelik yapılan pek çok çalışmada nokta ölçeğindeki yağış ölçümlerinin alan ölçeğine çevrilmesi gerekmektedir (Brunsdon ve diğ., 2001). Yağışın alandaki dağılımını belirleyebilmek için kullanılan metotlar, grafik, nümerik ve topografik olmak üzere üç ana grupta toplanmaktadır (Daly ve diğ., 1994). Topoğrafik metotlar, bir bölgedeki nokta ölçümleri ile bu bölgeye ait yükseklik, eğim, bakı, rüzgar yönü ve hızı gibi bir takım coğrafik ve topoğrafik özelliklerin ilişkisini kapsamaktadır. Literatürde yağışın bu gibi parametrelerle değişimini inceleyen pek çok çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmaların bir kısmı yağış dağılımı ve yükseklik (Daly ve diğ, 1994; Park ve Singh, 1996; Brunsdon ve diğ., 2001; Marquinez ve diğ., 2003; Naoum ve Tsanis, 2004; Bostan ve Akyürek, 2007; Ranhao ve diğ., 2008), bir kısmı rüzgar yönü ve hızı, eğim, bakı, denizden mesafe (Basist ve diğ., 1994; Park ve Singh, 1996; Richard ve diğ., 2000; Marquinez ve diğ., 2003; Bostan ve Akyürek, 2007; Ranhao ve diğ., 2008) ya da enlem ve boylam (Agnew ve Palutikof, 2000; Naoum ve Tsanis, 2004; Ranhao ve diğ., 2008) ile ilişkilidir. Bununla birlikte kıyı şeklinin yağış dağılımına etkisi az sayıda çalışmada incelenmiştir (Hastenrath,1967; Baker ve diğ., 2001).

Bu çalışmada da Doğu Karadeniz Bölgesi'nin kıyı kesimindeki yağış dağılımı üzerinde kıyı şekli ile birlikte enlem, boylam, yükseklik, denizden mesafe gibi coğrafik ve topoğrafik özelliklerin etkisi incelenmiştir.

2.ÇALIŞMA BÖLGESİ VE VERİLER

Yağış dağılımın belirlenmesinde, çalışma bölgesi olarak Doğu Karadeniz Bölgesinin kıyı kesimi kullanılmıştır. Bölgenin kıyı kesimi; Karadeniz kıyı şeridi ile Doğu Karadeniz dağları arasında kalan bölge olarak tanımlanabilir. Bilindiği üzere Doğu Karadeniz dağları kıyıya paralel uzanmakta, yer yer 3000 m'yi aşan yüksekliklere ulaşmaktadır. Doğu Karadeniz ılık ve nemli bir iklime sahip olup kar yağışı kışın görülmektedir. Kıyı bölgesindeki ortalama sıcaklık 14-15 ^{o}C ve ortalama yağış ise 1000 mm'den fazladır. Bölgedeki hakim rüzgar yönü rüzgar gülünün batı-kuzey kesiminde oluşmaktadır (SHODB, 1991).

Çalışmada 38 yağış gözlem istasyonuna ait ortalama yıllık yağış verileri kullanılmıştır. Bu istasyonların 19 tanesi kıyı kesiminde bulunmaktadır, kalanlar ise iç bölgelerde dağılmış durumdadır. Yağış istasyonları genelde vadi içlerinde, yerleşim bölgelerine yakın kesimlere konumlandırılmışlardır. İstasyonlar ile ilgili bilgiler ve konumları Tablo 1 ve Şekil 1'de görülmektedir. İstasyonlar yorum kolaylığı açısından batıdan doğuya doğru numaralandırılmıştır. İstasyon yükseklikleri 6 m ile 1700 m arasında değişmekte olup 1700 m'den sonra yağış istasyonu bulunmamaktadır.



Şekil 1. Çalışma bölgesi ve yağış istasyonları

Tablo 1. Yağış istasyonlarına ait numaralar (Şekil 1'e göre) ve yükseklikleri

Kıyı			**İç**		
İSTASYON	*NO*	*H (m)*	*İSTASYON*	*NO*	*H (m)*
Bulancak	1	10	Sofulu	20	600
Giresun	2	38	Tamdere	21	1700
Tirebolu	3	70	Sinir	22	750
Görele	4	20	Tonya	23	900
Eynesil	5	10	Düzköy	24	850
Vakfıkebir	6	25	Güzelyayla	25	1250
Akçaabat	7	6	Maçka	26	300
Trabzon	8	30	Kayaiçi	27	1050
Arsin	9	10	Dağbası	28	1450
Araklı	10	10	Köknar	29	1218
Sürmene	11	12	Çaykara	30	264
Of	12	9	Uzungöl	31	1110
Rize	13	9	Kalkandere	32	400
Çayeli	14	10	İkizdere	33	800
Pazar	15	79	Sivrikaya	34	1650
Ardeşen	16	10	Kaptanpaşa	35	525
Fındıklı	17	100	Hemsin	36	500
Hopa	18	33	Meydan	37	1100
Kemalpaşa	19	75	Tunca	38	500

Çalışmada kullanılan yağış verileri 1960-2005 yıllarını kapsamakla beraber eksik veriler de mevcuttur. Eksik verileri tamamlamak için komşu istasyonlardan yararlanarak regresyon denklemleri kurulmuştur. Verilerin homojenliği çift toplam yağış eğrisi metodu ve trendi ise Mann-Kendall trend testi ile belirlenmiştir. Homojen olmayan ya da trend gösteren istasyonlarda, veri homojenleştirildikten ve trend çıkarıldıktan sonraki değerler; gözlenen orijinal değerlerden en fazla %20 oranında farklı çıktığı için tüm istasyonlarda gözlem değerleri doğrudan kullanılmıştır.

3. COĞRAFİK VE TOPOGRAFİK DEĞİŞKENLERİN ETKİSİ

Bölgedeki yağış dağılımını belirleyebilmek için öncellikle ortalama yıllık yağış değerleri ile coğrafik ve topoğrafik değişkenler arasındaki ilişki ortaya konmaya çalışılmıştır. Bu amaçla çizilen yıllık yağışın boylam ile değişimini gösteren grafik Şekil 2(a)'da görülmektedir.

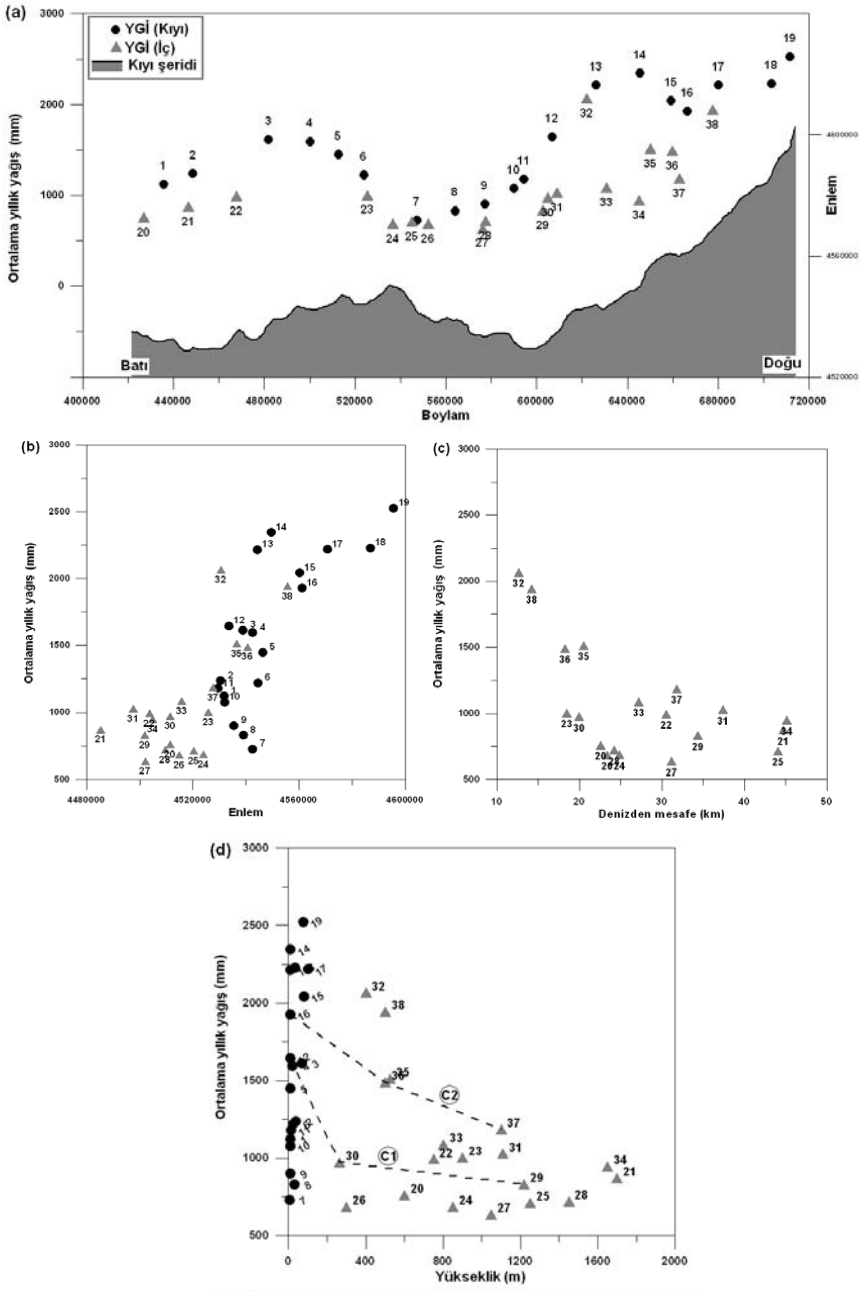
Şekil 2(a)'dan da fark edilen topoğrafik şartlar göz önüne alınarak -çalışmanın bundan sonraki kısmında- yağış gözlem istasyonları (YGİ) kıyı ve iç olmak üzere 2 farklı gruba ayrılarak incelenmiştir. Buna göre kıyı YGİ'lerdeki yağış miktarının boylam ile hafif bir şekilde arttığı söylenebilir. Söz konusu bu artışın iki farklı sebebinin olduğu düşünülmektedir. Bunlardan ilki dağların konumu diğeri ise kıyı şeklidir. Doğu Karadeniz Dağlarının yüksekliği batı-doğu yönünde artmakta ve bu sıradağlar yine aynı yönde kıyıya yaklaşmaktadır. Öte yandan Karadeniz kıyı sınırı boyunca uzanan Kafkas Dağlarının yüksekliği yer yer 5000 m'yi aşmaktadır. Batılı ve kuzeyli rüzgarlarla gelen nemli havanın bu iki dağ silsilesi ararında sıkışarak daha çok miktarda yağış bıraktığı düşünülmüştür. Bu nedenle kıyı istasyonlardan Rize (13), Çayeli (14), Pazar (15), Ardeşen (16), Fındıklı (17), Hopa (18), Kemalpaşa (19) ve iç istasyonlardan Kaptanpaşa (35), Hemşin (36), Meydan (37), Tunca (38) daha çok yağış almaktadır.

Yine Şekil 2(a)'dan görüldüğü üzere kıyı ve iç istasyonların yağış dağılımı birbirine ve ayrıca kıyı şeridinin şekline benzemektedir.

Yağışın enlem ile ilişkisi Şekil 2(b)'de görülmektedir. Buna göre yağış enlemle artmaktadır. Yine kıyı istasyonlardan Rize (13), Çayeli (14), Pazar (15), Ardeşen (16), Fındıklı (17), Hopa (18), Kemalpaşa (19) yağışı çalışma bölgesinin orta ve batı kısmında bulunan istasyonlara göre daha çok yağış almaktadır.

Denizden mesafenin nemin bir göstergesi olduğu ve dolayısıyla yağışı etkilediği bilindiğinden (Johansson ve Chen, 2003) denizden mesafe ile yağışın değişimi ise Şekil 2(c)'de çizilmiştir. Nitekim denize en yakın iç istasyonlardan Kalkandere (32) ve Tunca'nın (38) en çok yağışı aldığı, yalnızca Şekil 2 (c)'den değil aynı zamanda Şekil 2(a) ve (b)'den de açıkça görülmektedir.

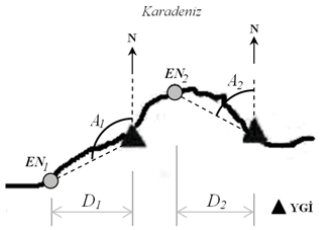
Yağış-yükseklik ilişkisi Şekil 2(d)'de görülmektedir. Bu şekle göre yağış yükseklikle azalmaktadır. Oysa dağlık bir bölgede yağışın genellikle yükseklikle arttığı (Daly ve diğ., 1994; Park ve Singh, 1996; Sevruk, 1997; Marquinez ve diğ., 2003; Naoum ve Tsanis, 2004) ya da belli bir yüksekliğe kadar maksimum değerine ulaştıktan sonra düştüğü bulunmuştur (Hastenrath, 1967). Bununla birlikte Doğu Karadeniz Bölgesinde orografik yağış özelliklerinin görüldüğü de bilinmektedir. Ancak yağış istasyonları bu iddiayı doğrulamamaktadır. Örneğin Şekil 2(d)'de aynı vadiye (havzaya) ait istasyonların yağış değerleri birleştirilerek C1 ve C2 doğruları ile gösterilmiştir. Bu iki havza için yağış miktarı içeriye doğru azalmaktadır. Yağış istasyonlarına ait en büyük yükseklik 1700 m olmakla birlikte bu istasyonların hemen hemen hepsi vadi içlerine, dere kenarlarına ve yerleşim bölgelerine yerleştirilmiştir. Dolayısıyla yamaçlardaki yağış dağılımını tespit etmek pek mümkün görünmemekte, yalnızca denizden yukarı çıkıldıkça vadi içlerinde yağışın azaldığı söylenebilmektedir.



Şekil 2. Yağışın (a) boylam, (b) enlem, (c) denizden mesafe ve (d) yükseklik ile değişimi

4. KIYI AÇISININ ETKİSİ

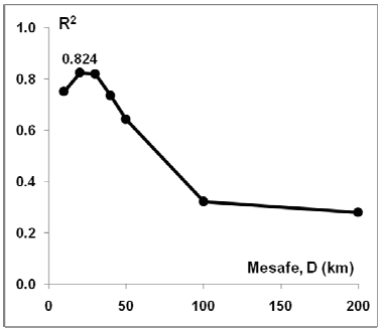
Önceki bölümde çizilen grafiklerden kıyı şeklinin Doğu Karadeniz'deki yağış dağılımı üzerinde etkisi olduğu belirlenmiştir. Doğu Karadeniz kıyısı doğu-batı yönlü olup kıyı şeridi burun ve koylara sahiptir. Bu topoğrafya nemi taşıyan ve hakim rüzgar yönü olan batılı ve kuzeyli rüzgarlar için doğal bir engel oluşturmaktadır. Böylece kıyı şeridindeki burun engeli nedeniyle burnun doğusunda kalan istasyonun batısında kalan istasyona göre daha az yağış aldığı söylenebilir. Kıyı şeklinin yağışa etkisini gösterebilmek için yeni bir değişken olan kıyı açısı tanımlanmıştır (Şekil 3).



Şekil 3. Kıyı istasyonu ve topoğrafik engel arasındaki açı
(*A*: kıyı açısı, *EN*: etki noktası, *D*: mesafe)

Kıyı açısı (*A*) bir kıyı istasyonunun kuzeyi (*N*) ile bu istasyon ve istasyonun batı tarafında belli bir mesafede (*D*) belirlenen etki noktası (*EN*) arasında kalan açı olarak tanımlanmıştır. Batı tarafının seçilmesinin nedeni hakim rüzgar yönüdür. Eğer kıyı açısı 90°'den küçükse (A_2) topoğrafya rüzgarı (dolayısıyla denizden gelen nemi) engelleyerek istasyona gelen yağış miktarının azalmasına neden olur. Tersi durumda yani kıyı açısı 90°'den büyükse (A_1) istasyonun önünde herhangi bir engel olmayacağından yani rüzgarlara açık olacağından bu istasyon daha çok yağış alır.

Bir kıyı istasyonu ile etkin nokta (*EN*) arasındaki yatay mesafenin (*D*) en uygun değerini bulmak için farklı mesafelerdeki (D_1, D_2, …) açılar belirlenmiştir. Bu açılar ile ortalama yıllık yağış miktarları arasında hesaplanan determinasyon katsayılarından (R^2) en yüksek değeri veren (*D*) en uygun mesafe olarak seçilmiştir. Bu çalışmada en büyük R^2'yi veren (0.824) *D*=20 km değeri en uygun mesafe olarak kullanılmıştır (Şekil 4).



Şekil 4. Farklı mesafeler (*D*) için determinasyon katsayıları (R^2)

5. REGRESYON ANALİZİ VE DEĞERLENDİRME

Ortalama yıllık yağış ile boylam (*X*), enlem (*Y*), yükseklik (*H*), denizden mesafe (*L*) ve kıyı açısı (*A*) gibi coğrafik/topoğrafik değişkenler arasındaki ilişkinin modellenebilmesi için çoklu regresyon analizi kullanılmıştır. Yağış ile değişkenler arasında bulunan korelasyon katsayıları Tablo 2'de gösterilmiş ve istatistiksel açıdan belirgin (0.05 anlamlılık düzeyi için) olanların altı çizilmiştir.

Tablo 2. Yağış ve bağımsız değişkenler arasındaki korelasyon katsayıları
(Denizden mesafe yalnızca iç istasyonlar için kullanılmıştır)

	P	*X*	*Y*	*H*	*L*	*A*
P						
X	0.567					
Y	0.793	0.503				
H	-0.514	-0.072	-0.700			
L	-0.557	-0.236	-0.694	0.817		
A	0.778	0.591	0.544	-0.146	-0.279	

Çoklu regresyon yöntemi olarak adım adım (stepwise) regresyon kullanılmış, model ve model parametrelerinin anlamlılığı sırasıyla F ve t testi ile sınanmıştır (anlamlılık seviyesi α=0.1 seçilmiştir). Kolmogorov-Smirnov yöntemi regresyon artıklarının normal dağılımlı olup olmadığını, Durbin-Watson test istatistiği ise artıkların bağımsızlığını kontrol etmek kullanılmıştır. Değişkenler arasındaki çoklu bağıntıyı (Multi-collinearity) sınamak için varyans etki faktörleri (VIF) hesaplanmıştır. Modellerin uygunluğunu sınamak için ise determinasyon katsayıları (R^2), düzeltilmiş determinasyon katsayıları ($Adj\text{-}R^2$) ve standart hatalar da (*SE*) hesaplanmıştır. Burada ayrıntısına girilmemekle birlikte yukarıda bahsi geçen yöntem ve testlere ait daha detaylı bilgiler çeşitli kaynaklardan elde edilebilir (Helsel ve Hirsch, 2002; Ang ve Tang, 2006; Bayazıt, 2006; Montgomery ve diğ., 2006).

Başlangıç modeli olarak tüm istasyonlar göz önüne alınmış ve *X, Y*, *H* aday değişkenleri kullanılmıştır (Model 1). Daha sonra önceden de söz edilen nedenlerden istasyonlar kıyı ve iç olmak üzere iki farklı grup olarak ele alınmıştır. Kıyı istasyonlar için *X, Y*, *H* ve *A* bağımsız değişkenleri kullanılırken (Model 2); iç istasyonlar için bu değişkenlere *L*'de eklenmiştir (Model 3). Model 3'te iç istasyonlar için kıyı açısı da (*A*) kullanılmıştır. Kıyı istasyonlarında görülen yağış-boylam ilişkisinin ve iç istasyonlarında da geçerli olduğu, fakat iç istasyonlarının kıyıdakilere göre daha az yağış aldığı Şekil 2(a)'da gösterilmişti. Bu düşünceden yola çıkarak iç istasyonlar için de kıyı açısının geçerli olduğu ve aynı havza içerisinde bulunan kıyı ve iç istasyonlarının aynı kıyı açısına sahip olacağı sonucuna varılmıştır. Örneğin Tunca (38) iç istasyonunda ölçülen yağış miktarının Fındıklı (17) kıyı istasyonuna ya da Tonya (23) iç istasyonundaki yağış miktarının Vakfıkebir (6) kıyı istasyonunda ölçülen yağış miktarına bağlı olduğu söylenebilir.

Son olarak gruplama yapılmaksızın Model 1'de kullanılan değişkenlere ek olarak *A* değişkeni de göz önüne alınarak yeni bir model kurulmuştur (Model 4). Adım adım

regresyon yöntemi ve aday değişkenler kullanılarak bulunan en uygun modeller Tablo 3'te görülmektedir.

Tablo 3. Farklı modellere ait denklemler

	Denklem
Model 1	$P=\beta_0+\beta_1 X+\beta_2 Y$
Model 2	$P=\beta_0+\beta_1 A$
Model 3	$P=\beta_0+\beta_1 Y+\beta_2 A$
Model 4	$P=\beta_0+\beta_1 Y+\beta_2 A$

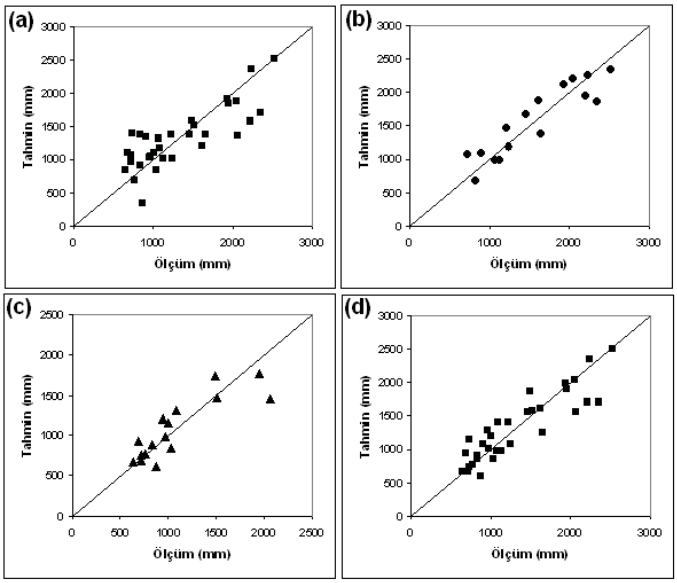
Tablo 3'ten görüldüğü gibi Model 2'de kıyı istasyonları için kurulan regresyon denklemi basit regresyondur. Bununla birlikte kıyı açısı üç modele de (Model 2, 3 ve 4) değişken olarak girmiştir. Modellere ait katsayılar ve istatistiki testlere ait sonuçlar Tablo 4'te verilmiştir. Ayrıca ölçülen ve tahmin edilen yağışlara ait saçılma diyagramları Şekil 5'te görülmektedir.

Tablo 4. Modellere ait katsayılar ve istatistiki testlere ait sonuçlar
(Parantez içindeki sayılar standardize edilmiş regresyon katsayılarıdır)

	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
β_0	-67733	-1030.3	-44123.3	-48452.1
β_1	0.00201 (0.276)	26.25 (0.912)	0.00971 (0.574)	0.01063 (0.453)
β_2	0.01498 (0.638)	-	14.01 (0.395)	16.47 (0.553)
İstasyon sayısı	32	16	16	32
R^2	0.653	0.831	0.735	0.799
$Adj\text{-}R^2$	0.629	0.819	0.694	0.785
SE	345.17	248.25	244.47	263.09
Durbin-Watson Testi	0.87	1.31	1.90	1.25

Buna göre en büyük R^2 değerini veren Model 2 olmakla birlikte kıyı açısının dahil olduğu modeller, söz konusu açının aday değişken olarak kullanılmadığı Model 1'e göre daha iyi sonuç vermiştir. Dört modelde de bağımsız değişkenlerin sayısı ikiyi geçmemiştir.

Tablo 4'te parantez içerisinde gösterilen sayılar standardize edilmiş regresyon katsayıları olup ait olduğu değişkenlerin yaklaşık olarak denkleme olan katkısını göstermektedir. Durbin-Watson test istatistiği sonuçları 0.87-1.90 arasında değişmektedir. 0-4 arasında değerler alan bu istatistikte sıfıra yakın değerler pozitif otokorelasyonu; 4'e yakın değerler ise negatif korelasyona işaret etmektedir. Model 1, 3 ve 4'e ait VIF değerlerinin hepsi 10'dan küçüktür; bu da değişkenlerin birbirleriyle ilişkili olmadığını göstermektedir.



Şekil 5. Ölçülen ve tahmin edilen yağışlara ait saçılma diyagramları

Çoklu regresyon modellerini valide edebilmek için kıyı ve iç kısımdan olmak üzere 3 adet yağış istasyonuna ait yağış verileri rastgele olarak seçilmiştir. Bu istasyonlara ait tahmini yağış değerleri (*P'*) Tablo 5'te gösterilmiş ve rölatif değerleri de (*RE*) aşağıdaki denklem yardımıyla hesaplanmıştır.

$$RE = \frac{P_{tahmin} - P_{ölçüm}}{P_{ölçüm}} \times 100 \quad (1)$$

Tablo 5. Validasyon aşamasına ait sonuçlar

İstasyon türü	İstasyon	No	Model 1		Model 2		Model 3		Model 4	
			P' (mm)	RE (%)	P' (mm)	RE (%)	P' (mm)	RE (%)	P' (mm)	RE (%)
Kıyı	Göele	2	1306.64	-18.10	1909.57	19.69			1673.71	4.91
	Sümene	9	1301.92	10.20	1043.36	-11.68			992.43	-15.99
	Fındıklı	15	2089.45	-5.77	2067.06	-6.78			2071.55	-6.58
İç	Sınır	22	660.77	-33.47			1169.89	17.79	1245.04	25.35
	Maçka	26	998.15	45.92			634.49	-7.25	606.49	-11.34
	Meydan	37	1411.11	19.05			1528.33	28.93	1647.63	39.00

Tablo 5'ten anlaşılacağı üzere validasyon sonuçları tatminkar görünmektedir. Model 1 için en düşük ve en yüksek *RE* değerleri sırası ile -33.47 ve 45.92 iken bu değerler

Model 4 için -15.99 ve 39.00 olarak bulunmuştur. Model 2 ve 3 için ise bu değerler daha düşüktür.

Çoklu regresyon analizinde değişkenlerin yalnızca lineer halleri kullanılmıştır. Benzer çalışmalarda (Marquinez ve diğ., 2003; Ranhao ve diğ., 2008) olduğu gibi kare ya da kübik değerlerin kullanımıyla ilgili yine Doğu Karadeniz Bölgesi için yapılmış analiz ve sonuçlar Eriş ve Ağıralioğlu (2009) çalışmasında bulunabilir.

6. SONUÇLAR

Bu çalışmada ortalama yıllık yağış dağılımı üzerinde kıyı açısı ile birlikte enlem, boylam, yükseklik ve denizden mesafe gibi coğrafik ya da topoğrafik değişkenlerin etkisi incelenmiştir. Bu değişkenlerin etkisini belirleyebilmek için bir takım grafikler çizilmiş ayrıca bu ilişkileri modelleyebilmek için çoklu regresyon analizi kullanılmıştır. Bu amaçla çalışma bölgesi olarak Doğu Karadeniz Bölgesinin kıyı kesimi seçilmiştir. Çalışmadan çıkarılan sonuçlar aşağıdaki gibi özetlenebilir.

- Ortalama yıllık yağış enlem ve boylam ile artmaktadır. Bu artışın nedeni dağların konumu ve yüksekliği, ayrıca hakim rüzgar yönüdür.
- Ortalama yıllık yağış denizden mesafe ile azalmaktadır.
- Ortalama yıllık yağış-boylam ilişkisinden kıyı şeklinin yağış dağılımı üzerinde etkili olduğu saptanmıştır.
- Doğu Karadeniz'de etkili olduğu bilinen orografik yağış özelliği yağış istasyonlarının vadi içlerinde ya da dere kenarlarında kurulmasından dolayı doğrulanamamakta, ayrıca istasyon yokluğundan dolayı yamaçlardaki yağış dağılımı tam olarak bilinememektedir.
- Çoklu regresyon analizinde kıyı şeklinin etkisini gösterebilmek için yeni bir değişken olan kıyı açısı tanımlanmıştır. Kıyı açısının yalnızca kıyıda değil, iç istasyonlar ve tüm istasyonlar için de etkili olduğu görülmüştür.
- Çoklu regresyon analizinden çıkarılan denklemler kullanışlı ve kolay olmakla beraber hakim rüzgar yönüyle belirli bir açı yapan kıyı bölgelerindeki vadi içlerinde noktasal yağış dağılımını belirleme de kullanılabilir.

KAYNAKLAR

Agnew M, Palutikof JP, "GIS-based construction of baseline climatologies for the Mediterranean using terrain variables", Climate Research, 14: 115–127, 2000.

Ang H-S, Tang WH, "Probability Concepts in Engineering: Emphasis on Applications to Civil and Environmental Engineering", (v. 1), Wiley, New York, 2006.

Baker DR, Lynn BH, Boone A, Tao WK, Simpson J, "The influence of soil mositure, coastline curvature, and land-breeze circulations on sea-breeze-inititated precipitation", Journal of Hydrometeorology, 2 (2): 193-211, 2001.

Basist A, Bell GD, Meentemeyer V, "Statistical relationship between topography and precipitation patterns", Journal of Climate, 7: 1305-1315, 1994.

Bayazıt M., "Çok Değişkenli İstatistik Analiz ve Hidrolojide Uygulamaları", Su Vakfı, İstanbul, Türkiye, 2006.

Bostan PA, Akyurek Z, "Exploring the mean annual precipitation and temperature values over Turkey by using environmental variables". ISPRS Joint Workshop: Visualization and Exploration of Geospatial Data, Germany, Poster presentation, 2007.

Brunsdon C, McClatchey J, Unwin, DJ, "Spatial variations in the average rainfall-altitude relationship in Great Britain: An approach using geographically weighted regression", International Journal of Climatology, 21: 455-466, 2001.

Daly C, Neilson RP, Phillips DL, "A statistical-topographic model for mapping climatological precipitation over mountainous terrain", Journal of Applied Meteorology, 33 (2): 140–158, 1994.

Eriş E, Ağıralioğlu N, "Effect of coastline configuration on precipitation distribution in coastal zones", Hydrological Processes, 23: 3610-3618, 2009.

Hastenrath SL, "Rainfall distribution and regime in Central America", Theoretical and Applied Climatology, 15 (3): 201-241, 1967.

Helsel DR, Hirsch RM, "Statistical Methods in Water Resources**,** Techniques of Water Resources Investigations", Book 4, chapter A3. U.S. Geological Sur vey, 2002.

Johansson B, Chen D, "The influence of wind and topography on precipitation distribution in Sweden: statistical analysis and modelling", International Journal of Climatology, 23: 1523–1535, 2003.

Marquinez J, Lastra J, Garcia P, "Estimation models for precipitation in mountainous regions: the use of GIS and multivariate analysis", Journal of Hydrology, 270: 1–11, 2003.

Montgomery DC, Peck EA, Vining GG, "Introduction to Linear Regression Analysis", Wiley, 2006.

Naoum S, Tsanis IK, "Orographic precipitation modeling with multiple linear regression", Journal of Hydrologic Engineering, 9(2): 79-102, 2004.

Park JI, Singh VP, "Temporal and spatial characteristics of rainfall in the Nam River dam basin of Korea", Hydrological Processes, 10: 1155-1171, 1996.

Ranhao S, Baiping Z, Jing, T, "A Multivariate Regression Model for Predicting Precipitation in the Daqing Mountains", Mountain Research and Development, 28 (3/4), 318–325, 2008.

Richard Y, Mihailescu I F, Planchon O, "Spatial distribution of the precipitation in Dobruja", International Journal of Climatology, 20**:** 1275-1284, 2000.

Sevruk B, "Regional Dependency of precipitation-altitude relationship in the Swiss Alps", Climate Change, 35: 355-369, 1997.

SHODB (Seyir Hidrografi ve Oşinografi Daire Başkanlığı) Karadeniz Meteorolojik Atlası, İstanbul; 39, 1991.

Bulanık Kural-Tabanlı Bir Model Kullanılarak Gerede-Ulusu Çayı'nın İleriki Akımlarının Tahmini

Elçin Kentel [1]

Özet: Nüfus artışı, sanayileşme ve şehirleşmeye bağlı olarak su ihtiyacı giderek artmaktadır. Ancak mevcut su kaynakları, hem şehirleşme ve plansız kullanım gibi insan kaynaklı, hem de küresel ısınma gibi çevresel etkenler yüzünden ihtiyacı karşılayamamaktadır. Bu durum son yıllarda Ankara ve çevresinde de gözlenmiş ve geçtimiz yıllarda Ankara'ya su temininde sıkıntılar yaşanmıştır. Bu sıkıntılar geçici olarak Hirfanlı Barajı'ndan Ankara'ya bir boru hattı ile su getirilmesiyle çözümlenmiştir. Ancak, bunun uzun vadeli bir çözüm olmadığı düşünüldüğünden, alternatif su kaynaklarının araştırılmasına ve değerlendirilmesine devam edilmektedir. Gerede-Ulusu Çayı bu kapsamda alternatif bir su kaynağı olarak değerlendirilmektedir. Gerede Sistemi kapsamında Gerede-Ulusu Çayı'ndan Çamlıdere Barajı'na su iletilmesi planlanmaktadır. İleriki yıllarda Ankara'nın su ihtiyacının süreki ve güvenli bir şekilde karşılanmasının planlanabilmesi için Gerede Sistemi'nden Ankara'ya ne kadar suyun derive edilebileceğinin belirlenmesi gereklidir. Transfer edilecek su miktarının belirlenebilmesi, Gerede-Ulusu Çayı'nın doğal akımlarının doğru bir şekilde tahmin edilmesine bağlıdır. Bu çalışmada bulanık kural-temelli bir model kullanılarak Gerede-Ulusu Çayı'nın gelecekteki aylık akımları tahmin edilmiştir.

Anahtar sözcükler: Su kaynakları; Ankara; İleriki akım tahminleri; Bulanık kural-temelli model

Estimation of Gerede-Ulusu River Flows using a Fuzzy Inference System Model

Astract: Water demand continuously increases due to increase in population, industrialization and urbanization. However, existing water resources are unable to supply this increasing demand due to both human related causes such as urbanization and unplanned utilization and environmental factors such as global warming. Ankara, Turkey experienced this situation in the past years which resulted in water shortages in the city in 2007. These problems are temporarily solved by transmitting water from Hirfanlı Dam to Ankara through a newly installed water transmission line. However, since this is not a permanent solution, alternative water resources are being searched.

[1] ODTÜ, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Ankara E-mail: ekentel@metu.edu.tr

Gerede-Ulusu River is evaluated as an alternative resource. It is planned to transmit water from Gerede-Ulusu River to Çamlıdere Dam. To be able to plan the supply of water to Ankara in a safe and continuous manner, the amount of water that can be transmitted from Gerede River to Ankara need to be determined. This can be achieved by assessing the future river flow regime of Gerede-Ulusu River. In this study, the future river flows of Gerede-Ulusu River are estimated by using a fuzzy inference system model.

Keywords: Water resoruces; Ankara; Future flow estimations; Fuzzy inference system model

1. AMAÇ

Bu çalışmanın amacı Gerede-Ulusu Çayı'nın ileriki yıllarda Ankara'nın su ihtiyacını karşılamada sürekli ve güvenilir bir kaynak olarak kullanılırlığının incelenmesidir. Bu bağlamda Gerede-Ulusu Çayı'nın ileriki akımları bulanık kural-temelli bir model kullanılarak tahmin edilmiştir.

2. YÖNTEM

Bulanık kural-tabanlı modeller kara kutu modelleridir ve ölçülmesi kolay parametreler ile merak edilen değişken arasında doğrusal olmayan bir ilişkinin kurulmasında kullanılırlar. Bu çalışmada bulanık kural-tabanlı model, geçmiş aylara ait yağış ve akım verileri kullanılarak ileriki ayın akımının tahmin edilmesinde kullanılmıştır.

2.1. Bulanık Kümeler

1960'lardan yakın zamana kadar belirsizliklerin modellere dahil edilmesinde genellikle olasılık teorisi yöntemleri kullanılmıştır. Bu teorinin sadece bir çeşit belirsizliği modellemede başarılı olduğunun anlaşılması üzerine belirsizliklerin ifade edilmesinde kullanılmak üzere yeni teoriler geliştirilmeye başlanmıştır. Önerilen yeni yaklaşımlardan biri olan Bulanık Kümeler Teorisi (BKT) Lofti A. Zadeh'in 1965 yılında yazdığı makale (Zadeh 1965) ile araştırmacıların ilgisini çekmeye başlamıştır. BKT kavramları rastgelelik (randomness) sonucunda meydana gelen belirsizlikler dışındaki sözel belirsizliklerin modellenmesinde kullanılmaktadır.

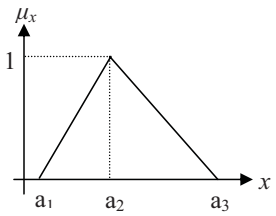
Gerçek dünyada karşılaştığımız karmaşık sistemlerde bulunan belirsizliklerin bir kısmı nesnelerin kesin sınırlarının olmamasından kaynaklanmaktadır. Bu nesneler için bir kümenin üyesi olma veya olmama kavramları arasındaki geçiş kesin değil, kademelidir. Kümeler arasındaki geçişlerin kademeli olduğu durumlardaki belirsizliklerin modellenmesi için BKT kullanımı önerilmiştir (Bezdek ve diğerleri, 1999; Dubois ve diğerleri, 1997; Kaufmann ve Gupta, 1985; Klir ve Yuan, 1995; Yager ve Filev, 1994; Zimmermann, 1985; Şen, 2010). Bulanık kümeler klasik kümlerin bir genellemesidir. Klasik kümelerin üyeleri belirgindir: bir üye ya o kümeye aittir ya da değildir. Ancak, bulanık kümeler, üyeleri için kademeli/dereceli üyeliklere izin verirler. Örneğin, "uzun boylu" ve "ortalama boylu" kavramlarını tanımlayan iki bulanık küme ele alalım. Boyu 175 cm olan bir adam "uzun boylu" bulanık kümesine 0,2 derecesinde üye olurken, aynı

kişi "ortalama boylu" kümesine de 0,9'luk bir dereceyle üye olabilir. Üyelik değeri söz konusu adamın boyunun bulanık kavramlar olan "uzun boylu" ve "ortalama boylu" kavramları ile olan uyumluluğunu/bağdaşabilirliliğini göstermektedir.

Bulanık bir küme matematiksel olarak şu şekilde tanımlanabilir (Bardossy ve Disse, 1993):

$$A = \left\{ \left[t, \mu_A(t) \right], t \in T \right\} \tag{1}$$

burada T bir küme (evren), A bir bulanık alt-küme, $\mu_A(t)$ ise t'nin A'daki üyelik derecesidir. $\mu_A(t)$ değerlerini $[0,1]$ aralığından alır. $\mu_A(t)$ 1 değerine yaklaştıkça t'nin A'ya ait olurluğu/dahil olurluğu artar. Yani, $\mu_A(t) = 1$ ise t, A'nın tam üyesidir ve $\mu_A(t) = 0$ ise t, A'nın üyesi değildir. $[0,1]$ aralığı yerine iki elemanlı $\{0,1\}$ kümesi kullanılırsa A, T'nin normal bir alt-kümesi (ordinary subset) olur. Bu çalışmada işlemsel kolaylık sağlaması açısından üçgensel bulanık sayılar kullanılmıştır. Örnek bir üçgen sayı Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Üçgensel bir bulanık sayı

2.2. Bulanık Kural-Tabanlı Model

Yağış, akım, yeraltı suyu beslenmesi, kuraklık gibi doğal süreçlerin modellenebilmesi için pek çok parametrenin ve bu parametrelerin birbirleri ile olan ilişkilerinin bilinmesi gereklidir. Örneğin, yağmur suyunun doymamış topraktaki hareketlerinin modellenebilmesi için ilk su miktarı doymuş bölgedeki nem miktarı, doymuş bölgedeki hidrolik iletkenlik, bağıl hidrolik iletkenlik ve bunun gibi parametrelerin değerlerinin bilinmesi gereklidir; ancak bu parametrelerin değerleri pek az sayıdaki saha için mevcuttur. Ayrıca bu parametreler genellikle bir kaç belli başlı noktada ölçüldüklerinden, modellenecek alandaki yerel dağılımlarının da çıkarılabilmesi mümkün değildir. Bunlara ek olarak, bu parametrelerden bir kısmı model sonuçlarını doğrusal olmayan bir şekilde etkiler ve sonuçlar kimi parametrelerdeki küçük değişikliklere çok duyarlıdır (Bardossy ve Disse, 1993). Dolayısıyla fiziksel bazlı modeller kullanılarak doğal olayların benzeştirilmesi (simulation) oldukça kısıtlı ve zordur.

Benzer bir durum akımların tahmini için de geçerlidir. Kavramsal ya da fiziksel bazlı modeller kullanılarak akım tahminleri yapılabilmesi için pek çok hidrolojik

parametrenin bilinmesi gereklidir. Bu parametreler arasında yağış, toprak yüzeyinden ve bitkilerden oluşacak buharlaşma, toprağın nemlilik oranı sayılabilir. Ayrıca gelecek akımların tahmininde kullanılacak modellerin geliştirilmesinde akımın oluşmasında etkili olan hidrolojik parametrelerin belirlenmesi de yeterli değildir. Bu parametreler ile akım arasında olan ve genellikle doğrusal olmayan ilişkilerin de belirlenmesi gereklidir. Hidrolojik sistemlerdeki doğal (inherent) ve doğrusal olmayan olayların geleneksel modellerde temsil edilmeleri çok zordur. (Nayak ve diğerleri, 2004). Veri-tabanlı kara-kutu modelleri özellikle çok karmaşık olan doğal olayların modellenmesinde kavramsal ve fiziksel bazlı modellere bir alternatif oluşturmaktadır. Bu modellerden biri olan bulanık kural-tabanlı model özellikle son yıllarda pek çok araştırmacının mühendislik problemlerini çözmede başvurduğu yöntemlerden biri haline gelmiştir.

Bardossy ve Disse (1993) suyun doymamış tabakadaki sızmasını bulanık kural-temelli model kullanarak modellemişlerdir. Bu yaklaşımın diğer hidroloji problemlerinin çözümünde de kullanılabileceği sonucuna varmışlardır. Bulanık kural-tabanlı yaklaşımın hidroloji problemlerinde kullanılmasının bir diğer uygulaması da Coppola ve diğerleri (2002) tarafından gerçekleştirilmiştir. İlgili çalışmada aylık yeraltı suyu beslenmesi, ortalama aylık hava sıcaklıklığı, toplam aylık yağış miktarı ve bir önceki ayın toplam akımı kullanılarak tahmin edilmiştir. Bulanık kural-tabanlı yaklaşım kullanılarak gerçekleştirilen çok yeni diğer bir çalışma ise Jacquin ve Shamseldin (2006) tarafından yapılmıştır. İlgili çalışmada, Takagi-Sugeno bulanık kural-tabanlı çıkarım sistemleri (fuzzy inference systems) kullanarak yağış ile akım arasındaki doğrusal olmayan ilişkiyi modellenmeye çalışılmıştır. Jacquin ve Shamseldin (2006) bulanık kural-tabanlı sistemlerin özelliklerini şu şekilde sıralamışlardır: (i) karmaşık sistemlerin davranışlarını sadece verileri kullanarak belirleyebilme özelliğine sahiptirler; (ii) bilginin insanların kolayca yorumlayabilecekleri bir şekilde temsil edilmesine izin vermektedirler; (iii) uzmanların bilgilerinin modele doğal ve anlaşılır bir şekilde entegre edilmesine izin vermektedirler, ve (iv) her bir probleme adapte olabilecek çıkarım mekanizmalarını kullandıklarından farklı problemler için uyumlu modelleme araçlarıdırlar. Bu faydalarına karşın bulanık kural-tabanlı kara-kutu yaklaşımlarının çeşitli mahzurları da mevcuttur; bunların en önemlilerinden biri modellerin sağlıklı bir şekilde çalışabilmesi için uzun veri kümelerine ihtiyaç duymalarıdır. Genellikle kolay ölçülebilir parametreler seçilmesine rağmen kimi zaman bu veri kümeleri aşırı durumları (diğer bir deyişle çok uzun sürede bir tekrar eden durumları) içermemekte ya da bu duruma örnek çok az veri içermektedir ve veri-tabanlı kara-kutu modelleri bu durumlar için yeteri kadar eğitilememektedir. Dolayısıyla aşırı durumlar için elde edilen tahminler çok rastlanan durumlar için elde edilen tahminler kadar gerçeğe yakın değillerdir.

Bulanık kural-tabanlı modelde kullanılan yaklaşım aşağıda kısaca özetlenmiştir. Bu konu ile ilgili ayrıntılı bilgi Jang et al. (1997), Nguyen ve Sugeno (1998), Ross (2004) ve Pedryzc ve Gomide (2007)'de bulunabilir.

Bulanık kural-tabanlı sistemlerde girdi ve çıktı değişkenleri arasındaki ilişkiler eğer-ise (if-then) kuralları ile belirlenir:

"EĞER öncül önerme (antecedent part) *İSE* netice önerme (consequent proposition)"

Netice önermenin yapısına göre iki ana tip bulanık model oluşturulabilir:

1. Mamdani tipi bulanık model (Mamdani, 1975)
2. Takagi-Sugeno tipi bulanık model (Sugeno, 1985).

Bu makalede Coppola ve diğerleri (2002) tarafından önerilmiş olan Mamdani tipi bir bulanık model algoritması kullanılmıştır. Bu algoritma ile bulanık kural-tabanlı yöntemde girdi değişkenleri kullanılarak bulanık sistem çıktısının hesaplanması aşağıdaki adımlar takip edilerek gerçekleştirilir:

1. Eğitim kümesi kullanılarak her bir girdi değişkeni için bulanık kurallar belirlenir.
2. Çıktısı hesaplanacak her bir girdi verktörü (girdi değişkenlerinin sayısal değerlerinden oluşan vektör) için her bir bulanık kuralın gerçekleşme derecesi hesaplanır.
3. Her bir bulanık kuralın çıktısı hesaplanır.
4. Her bir bulanık kuralın çıktılarının ağırlıklı ortalaması olan sistem çıktısı hesaplanır.

Basit durumlarda bulanık kurallar uzmanlar tarafından oluşturulabilir. Diğer bir olasılık ise eğitim kümelerinin kullanılmasıdır (Bardossy ve Disse, 1993). Bulanık kurallar aşağıdaki şekilde ifade edilebilir:

$$\begin{aligned} &Kural\ m: EĞER\ \left(x_1\ A_{1.m}\text{'dir}\right) VE\ \left(x_2\ A_{2.m}\text{'dir}\right) VE\ ...\ VE\ \left(x_K\ A_{K.m}\text{'dir}\right)\ İSE \\ &\qquad y\text{'de herhangi bir bulanik kumedir} \end{aligned} \tag{2}$$

burada $x_1, x_2, ..., x_K$ K adet girdi değişkenini ve y'de çıktıyı, $A_{i,j}$ i değişkeni için j kuralındaki bulanık kümeyi göstermektedir. $A_{i,j}$ $i = 1,2,...,K$ ve $j = 1,2,...,M$'nin her biri bulanık bir küme ile temsil edilmektedir. Burada M toplam kural sayısıdır.

Her bir bulanık kuralın gerçekleşme derecesi, kullanılan girdi vektörünün bulanık kuralın *EĞER* kısmı ile olan uyumluluğunu göstermektedir. Gerçekleşme derecesi genellikle cebirsel çarpım gibi bir t-norm'u kullanılarak hesaplanır (Zimmermann, 2001; Piegat, 2001):

$$DOF_m\left(x_1, x_2, ..., x_K\right) = \mu_{A_{1,m}}\left(x_1\right).\mu_{A_{2,m}}\left(x_2\right)...\mu_{A_{K,m}}\left(x_K\right) \tag{3}$$

Her bir girdi vektörünün minimum bir gerçekleşme derecesini sağlayıp sağlamadığı kontrol edilir. Minimum gerçekleşme derecesini sağlayan bulanık kurallar kullanılarak bulanık çıktılar durulaştırma (defuzzification) yöntemleri kullanılarak belirgin bir çıktıya dönüştürülür. Çeşitli durulaştırma yöntemleri mevcuttur. Bunlardan biri ağırlıklı bulanık ortalama yöntemidir ve bu yöntemde gerçekleşme dereceleri bulanık ortalama çıktılar kullanılarak tek bir deterministik çıktıya çevrilir (Coppola ve diğerleri, 2002). Ülgen bulanık çıktı y_j (burada j bulanık kural numarasını gösteren indekstir) için Şekil 1'de gösterilen $\left(a_1, a_2, a_3\right)_T$ değerleri $\left(\beta_1, \beta_2, \beta_3\right)_T$ ise bulanık ortalama çıktı, $O\left(y_j\right)$ aşağıdaki şekilde hesaplanır:

$$O\left(y_j\right)=\frac{\beta_1+\beta_2+\beta_3}{3} \tag{4}$$

Ağırlıklı bulanık ortalama ise bulanık kuralların gerçekleşme değerleri kullanılarak aşağıdaki şekilde hesaplanır:

$$O\left(y\right)=\frac{\sum_{j=1}^{M} DOF_j.O\left(y_j\right)}{\sum_{j=1}^{M} DOF_j} \tag{5}$$

Bu makalede kullanılan bulanık kural-temelli metod prosedürü ile ilgili daha ayrıntılı bilgi Coppola ve diğerlerinde (2002) bulunabilir.

3. GEREDE-ULUSU ÇAYI İÇİN BULANIK KURAL-TEMELLİ MODEL

3.1. Model Girdileri

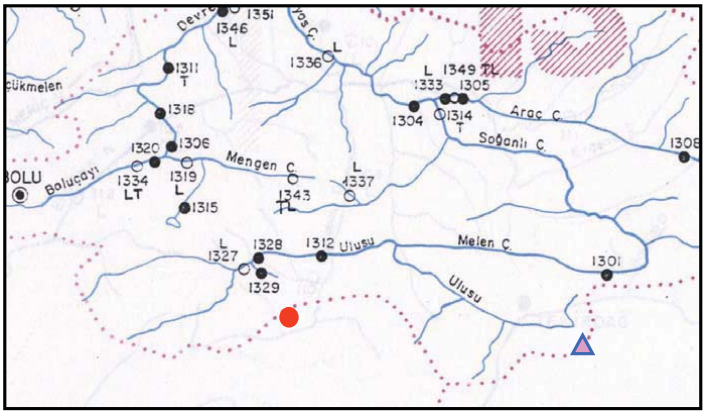
Gerede-Ulusu Çayı'nın ileriki akımlarını tahmin etmekte kullanılacak olan bulanık kural-tabanlı modele girdi olarak kullanılabilecek parametreler arasında geçmiş aylardaki yağışlar, geçmiş aylardaki akımlar ve akım tahmini yapılacak olan ay bulunmaktadır. Kara kutu modellerinin en önemli özelliklerinden biri modellenmesi hedeflenen değişkenin girdi olarak kolay ölçülebilen parametreler kullanılarak tahmin edilmesidir. Dolayısıyla bu çalışmada da Türkiye için en kolay ulaşılabilecek veriler (yağış, akım, ay, vb.) kullanılmıştır. Örneğin, akım tahmini yapılacak olan aya $t+1$, bu aydaki akıma Q_{t+1}, bu aydaki yağışa P_{t+1} ve bulanık kural-temelli modele f dersek aşağıdaki modeller oluşturulabilir:

$$\begin{aligned}
&1.\ Q_{t+1}=f\left(Q_t\right)\\
&2.\ Q_{t+1}=f\left(Q_t, P_t\right)\\
&3.\ Q_{t+1}=f\left(Q_t, P_t, t+1\right)\\
&4.\ Q_{t+1}=f\left(Q_t, P_t, t+1, \frac{P_t+P_{t-1}+P_{t-2}+P_{t-2}}{4}\right)
\end{aligned} \tag{6}$$

Elbetteki oluşturulabilecek modeller bu dört modelle sınırlı değildir. Daha pek çok model oluşturmak mümkündür. Akım tahmininde kullanılacak olan modele girdi olarak beslenecek olan verilerin ilerideki akım ile arasında kompleks de olsa bir ilişki bulunması bulanık kural-tabanlı modelin iyi tahminler yapabilmesini sağlayacaktır. Dolayısıyla modele girdi olarak seçilecek veriler çok önemlidir. Hangi veri kombinasyonun en iyi tahmini sağladığının belirlenebilmesi için pek çok deney yapılmıştır. Bu deneyler sonucunda belirlenen modelden elde edilen çıktılardan önce Gerede-Ulusu Çayı ileriki akım tahminlerinde kullanılacak olan yağış ve akım verilerinin hangi istasyonlardan temin edildiğini kısaca açıklamakta fayda var.

Elektrik İşleri Etüt İdaresi'nin (EİEİ) Gerede-Ulusu Çayı üzerinde 1327 numaralı akım gözlem istasyonu bulunmaktadır. Bu istasyonun uzun yıllar (1969-2007) için akım verileri EİEİ'den temin edilmiştir. EİEİ-1327 numaralı akım gözlem istasyonu yakınlarında bulunan 40 adet yağış istasyonunun yağış verileri de Devlet Meteoroloji İşleri (DMİ) Genel Müdürlüğü'nden temin edilmiştir. Temin edilen yağış verileri incelenerek bu istasyonlar arasında en uzun ve en eksiksiz yağış verisine sahip olan istasyon olarak DMİ-17646 numaralı istasyon belirlenmiştir. DMİ-17646 numaralı istasyonda 1978-2009 yılları arasında yağış verisi toplanmıştır. EİEİ-1327 ve DMİ-17646 numaralı istasyonlar Şekil 2'de gösterilmiştir.

EİEİ-1327 ve DMİ-17646 numaralı istasyonlarda akım ve yağış verilerinin ortak olarak bulunduğu zaman aralığı Ocak 1978-Eylül 2007'dir. Bu zaman aralığındaki yağış ve akım verileri geliştirilen bulanık kural-tabanlı modele girdi olarak kullanılmıştır.



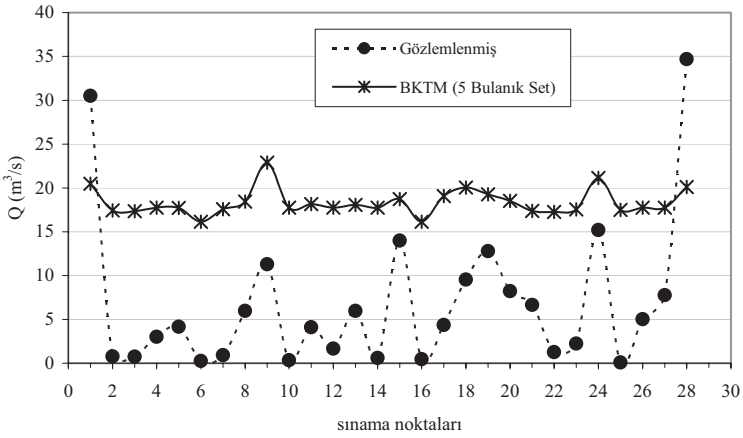
1327 numaralı EİEİ akım gözlem istasyonu

17646 numaralı DMİ yağış istasyonu

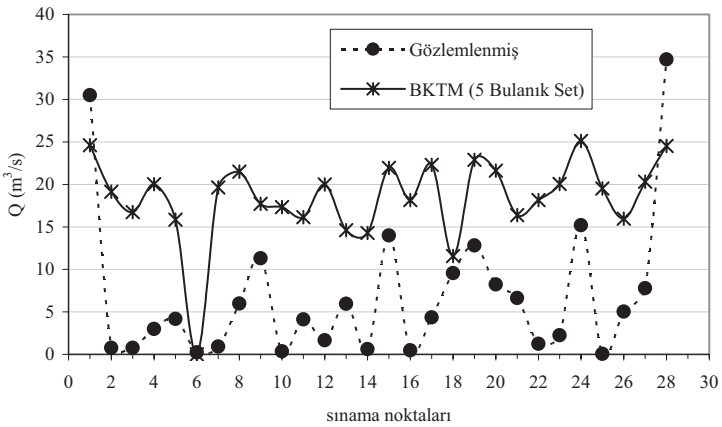
Şekil 2. Bu çalışmada kullanılan yağış ve akım gözlem istasyonlarının yerleri

3.2. Model Çıktıları

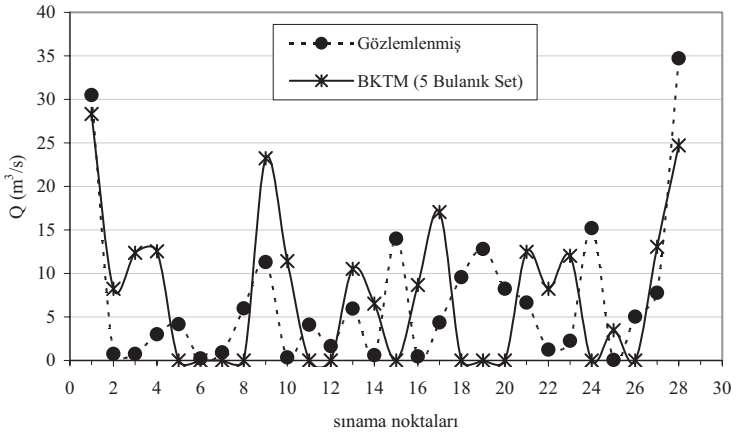
Denklem (6)'de verilen modellerin her biri için bulanık kural-tabanlı bir model geliştirilmiştir. 1978-2007 yılları arasındaki yağış ve akım verileri kullanılarak toplam 353 girdi seti hazırlanabilmiştir. Bu verilerden rastgele seçilmiş olan 325 adeti modeli eğitmek, geri kalan 28 adedi ise modelin doğruluğunu test etmek için kullanılmıştır. Denklem (6) de verilen her bir modelin çıktıları Şekil 3-6'da gösterilmektedir.



Şekil 3. $Q_{t+1} = f(Q_t)$ modeli sonuçları ile gözlemlenmiş değerlerin karşılaştırılması



Şekil 4. $Q_{t+1} = f(Q_t, P_t)$ modeli sonuçları ile gözlemlenmiş değerlerin karşılaştırılması



Şekil 5. $Q_{t+1} = f(Q_t, P_t, t+1)$ modeli sonuçları ile gözlemlenmiş değerlerin karşılaştırılması

Akım tahminlerinin gerçeğe ne kadar yakın olduğunun belirlenmesinde diğer bir deyişle seçilen modelin performansının sınanmasında farklı kriterler kullanılabilir. Bu kriterler arasında korelasyon katsayısı (correlation coefficient, CORR), verimlilik (efficiency, E), etkin değer (root mean square error, RMSE), maksimum akımdaki ortalama hata (mean error in forecasting the maximum peak discharge value, %MERR) ve maksimum yüzde hata (the maximum percentage error, %MP) sayılabilir (Fırat, 2008). Bu çalışmada modelin performansının değerlendirilmesi amacıyla etkin değer kriteri kullanılacaktır. Etkin değer aşağıdaki denklem kullanılarak hesaplanabilir:

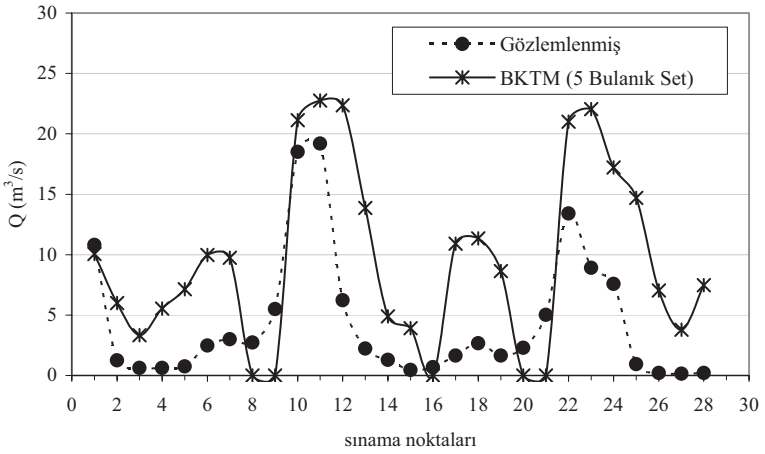
$$RMSE = \sqrt{\sum_{t=1}^{N} \frac{\left(Q_{t+1}^{ö} - Q_{t+1}\right)^2}{N}} \tag{7}$$

burada Q_{t+1} tahmin edilen akım, $Q_{t+1}^{ö}$ akarsuda ölçülmüş akım, t ay, N ise toplam ölçüm sayısıdır.

Şekil 3 ve 4'den görüleceği gibi sadece bir önceki ayın yağış ve akım değerleri girdi olarak kullanıldığında bulanık kural-tabanlı model görsel olarak doğru sonuçlar üretememektedir. $Q_{t+1} = f(Q_t)$ ve $Q_{t+1} = f(Q_t, P_t)$ modelleri için *RMSE* değerleri ise sırasıyla 13,68 ve 13,95'dir. *RMSE* değerleri bulanık kural-tabanlı modellerin tahmin üretebildiği sınama noktaları kullanılarak hesaplanmıştır.

Akımın tahmin edileceği ay girdi setine eklendiğinde akım tahminleri gözlemlenmiş değerlere biraz daha yaklaşmaktadır (Şekil 5). Ancak $Q_{t+1} = f(Q_t, P_t, t+1)$ modeli kullanılarak elde edilen tahminler bile tatmin edici değildir. $Q_{t+1} = f(Q_t, P_t, t+1)$ modelleri için *RMSE* değerleri 8,49'dur.

Denklem (6)'da verilen son modelde önceki dört aydaki ortalama yağış da bir girdi parametresi olarak kullanılmıştır. Bu modeli eğitmek için yine rastgele seçilmiş olan farklı 325 adet veri vektörü içeren yeni bir girdi kümesi kullanılmıştır. Bundaki amaç farklı eğitim ve doğrulama setleri için modelin performansını gözlemlemektir. Bu modelden elde edilen sonuçlar Şekil 6 da verilmiştir.



Şekil 6. $Q_{t+1} = f\left(Q_t, P_t, t+1, \frac{P_t + P_{t-1} + P_{t-2} + P_{t-2}}{4}\right)$ modeli sonuçları ile gözlemlenmiş değerlerin karşılaştırılması

Şekil 6'dan görüleceği gibi akımı tahmin edilecek aydan önceki dört ayın yağış ortalamasının ek bir girdi parametresi olarak kullanılması tahmin sonuçlarını görsel olarak iyileştirmiştir ancak bu model için dahi sonuçlar gözlemlenmiş olan değerlerden oldukça uzaktır. $Q_{t+1} = f\left(Q_t, P_t, t+1, \frac{P_t + P_{t-1} + P_{t-2} + P_{t-2}}{4}\right)$ modeli için *RMSE* değeri 8,00 olarak hesaplanmıştır. Şekil 6'ya bakıldığında bulanık kural-temelli modelin yağış rejimindeki artış ve azalmaları (trendi) bir miktar yakalayabildiğini ancak gözlemlenmiş olan gerçek değerlere yakın tahminler üretemediği görülmektedir.

4. SONUÇLAR

Geliştirilen bulanık kural-tabanlı model bu aşamada istenilen başarıda çalışmamasına rağmen bulanık kural-tabanlı modellerin yapay sinir ağları modellerine kıyasla bir faydalarını ortaya koymaktadır. Şekil 3-6 arasında verilen grafiklerde bulanık kural-tabanlı model tahminleri BKTM olarak işaretlenmiştir. Bu grafiklerden görüleceği üzere bulanık kural-tabanlı model bir takım test noktalarında akımı sıfır tahmin etmektedir. Sıfır olarak gösterilen bu sınama noktaları esasen bulanık kural-tabanlı modelin herhangi bir tahmin üretemediği noktalardır. Diğer bir deyişle bu sınama noktalarına ait girdi kümeleri oluşturulmuş olan kurallardan hiç bir için gerekli olan minimum

gerçekleşme derecesini sağlayamamıştır. Dolayısıyla hiç bir kural tetiklenmemiş (ateşlenmemiş) ve bu sınama noktaları için herhangi bir tahmin üretilememiştir. Tahmin üretilemeyen sınama noktaları bulanık kural-tabanlı modelin daha önce görmediği durumları temsil etmektedir ve model bu noktalara ait doğru tahminler yapamayacağını kullanıcıya iletmektedir. Yapay sinir ağları modellerinde her bir sınama verisi için model bir tahmin üretmektedir ve hangi test verilerinin model tarafından daha önce eğitilmediği bölgeler içinde bulunduğu dolayısıyla modelin ürettiği sonuçlardan yüksek risk içerenler bilinmemektedir. Bulanık kural-tabanlı modeller kullanıcı ile daha iyi bir iletişim kurmakta ve sağlıklı tahminler yapamayacağı test noktalarını kullanıcıya göstermektedir.

Bu çalışmada bulanık kural-temelli yaklaşım kullanılarak Gerede-Ulusu Çayı'nın ileriki akımları tahmin edilmiştir. Gözlemlenmiş değerler ile dört farklı modelin sonuçlarının karşılaştırılması Şekil 3-6'da verilmiştir. En iyi sonuçlar $Q_{t+1} = f\left(Q_t, P_t, t+1, \frac{P_t + P_{t-1} + P_{t-2} + P_{t-2}}{4} \right)$ modeli için elde edilenler olmasına rağmen, Şekil 6'dan da görüleceği gibi bulanık kural-tabanlı model Gerede-Ulusu Çayı'nın ileriki akımlarının tahmin edilmesinde çok iyi sonuçlar vermemiştir ($RMSE$ = 8,00). Ancak bu çalışmada kullanılan bulanık kural-tabanlı model henüz ilk deneme aşamasındadır.

Yöntem bölümünde bahsedildiği gibi başlıca iki farklı bulanık model yaklaşımı mevcuttur: Mamdani tipi ve Takagi-Sugeno tipi. Bu yaklaşımlarda kullanılan başlıca adımlarda da çeşitli farklılıklar söz konusu olabilmektedir. Örneğin girdi parametrelerinin kaç bulanık sınıfa bölüneceği, hangi aralıkların her bir bulanık sınıfı temsil edeceği, her bir eğer-ise kuralından elde edilen sonucun ne şekilde entegre edilip tek bir sonuca ulaşılacağı gibi. Bu çalışmada kullanılan Mamdani tipi bulanık kural-temelli model algoritması ile elde edilebilen en iyi $RMSE$ değeri 8,00'dir dolayısıyla modelin gerçek değerlere yakın değerlerin tahmin edilmesinde başarılı sonuçlar vermediği söylenebilir. Ancak yukarıda bahsedildiği gibi bulanık kural-temelli farklı algoritmalar mevcuttur ve bu algoritmalar ile daha başarılı sonuçlar elde edilmesi mümkün olabilir. Bu ileride üzerinde çalışılacak hususlardan biridir.

5. KAYNAKLAR

Bardossy, A. ve Disse, M., "Fuzzy Rule-Based Models for Infiltration", Water Resources Research, 29(2), 373-382, 1993.

Bezdek, J.C., Dubois, D. ve Prade, H., "Fuzzy sets in approximate reasoning and information systems", Kluwer Academics, Boston, 1999.

Coppola Jr., E.A., Duckstein, L., ve Davis, D., "Fuzzy Rule-based Methodology for Estimating Monthly Groundwater Recharge in a Temperature Watershed", Journal of Hydrologic Engineering, 7(4), 326-335, 2002.

Dubois, D., Prade, H. ve Yager, R.R., "Fuzzy information engineering: a guided tour of applications", John Wile & Sons, Inc., New York, 1997.

Fırat, M., "Comparison of Artificial Intelligence Techniques for River Flow Forecasting", Hydrology and Earth System Sciences, 12, 123-139, 2008.

Jacquin, A.P. ve Shamseldin, A.Y., "Development of rainfall-runoff models using Takagi-Sugeno fuzzy inference systems", Journal of Hydrology, 329, 154-173, 2006.

Jang, J.-S.R., Sun, C.-T. ve Mizutani, E., "Neuro-Fuzzy and Soft Computing", Prentice-Hall Inc., Upper Saddle, NJ., 1997.

Kaufman, A. ve Gupta, M.M., "Introduction to Fuzzy Arithmetic: Theory and Applications", Van Nostrand Reinhold, New York, 235 pp., 1985.

Klir, G.J. ve Yuan, B., "Fuzzy sets and fuzzy logic: theory and applications", Prentice-Hall Inc., Upper Saddle River, NJ., 1995.

Mamdani, E.H. ve Assilian, S., "An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller", International Journal of Man-Machine Studies, 7(1), 1-13, 1975.

Nayak, P.C., Sudheer, K.P., Rangan, D.M. ve Ramasastri, K.S., "A neuro-fuzzy computing technique for modeling hydrological time series", Journal of Hydrology, 291, 52-66, 2004.

Nguyen, H.T. ve Sugeno, M., "Fuzzy systems: modeling and control", Kluwer Academic Publishers, Boston, 1998.

Pedryzc, W. ve Gomide, F., "Fuzzy Systems Engineering: Toward Human-Centric Computing", John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, 2007.

Piegat, A., "Fuzzy Modeling and Control", Physica-Verlag Heidelberg, Germany, 2001.

Ross, T.J., "Fuzzy Logic with Engineering Applications", John Wiley & Sons, Ltd., England, 2004.

Şen, Z., "Fuzzy Logic and Hyrological Modeling", CRP Press, US, 2009.

Takagi, T. ve Sugeno, M., "Fuzzy identification of systems and its application to modeling and control", IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics SMC, 15(1), 116-132, 1985.

Yager, R.R. ve Filev, D.P., "Essentials of fuzzy modeling and control", John Wiley & Sons, Inc., New York, 1994.

Zimmermann, H.J., "Fuzzy Set Theory and Its Applications", Kluwer-Nijhoff Publishing, Boston, 1985.

KAR HİDROLOJİSİ

Kar Gözlem İstasyonlarında Aylık Kar Derinlikleri ve Kar Su Eş Değerlerindeki Uzun Dönem Değişimler

Yücel Kaya[1], Mustafa Özkaya[1], Eşref Batur[2], Mustafa Saban[2]

Özet: Çalışmada genel olarak, gözlem süresi uzun olan Kar Gözlem İstasyonları seçilmiştir. Kar Gözlem İstasyonları, akımlar üzerinde kar erimesinin önemli olduğu havzalardan seçilmiştir. Bu havzalar, Kızılırmak havzası (15.havza), Seyhan havzası (18.havza), Fırat – Dicle havzası (21-Fırat Kolu ve 26-Dicle Kolu) ve Çoruh (23.havza) havzasıdır. Örneğin Fırat – Dicle havzası akımlarının %70 i kar erimelerinden oluşmaktadır. Gözlem süreleri 1966 – 2009 arasında değişen, 1300-2400 m kotlarında kar gözlem istasyonları kullanılarak aylara göre kar derinlikleri ve kar su eş değerleri zaman serilerinin trend analizi yapılmıştır. Çalışmada kullanılan havzalarda genel olarak şubat ve mart aylarında önemli bir değişikliğin olmadığı, nisan ve mayıs aylarında ise düşüş yönünde trend olduğu görülmüştür.

Anahtar sözcükler: Akarsu havzası; kar ölçüm istasyonu; kar derinliği; kar su eşdeğeri; Trend analizi; Mann-Kendall Trend analizi

Long-Term Changes of Mean Monthly Snow Depths And Snow Water Equivalences of Snow Measurement Stations

Abstract: In this study, trend analysis of mean monthly snow-water equivalences and snow depths have been studied at snow measurement stations located at altitudes of 1300-2400 m. Observation periods of stations change from 1966 to 2009. Generally, snow measurement stations with long periods of data and great importance on flows of Basins has been selected. Selected basins are Kızılırmak, Fırat-Dicle and Çoruh. For example, snow melting in Fırat - Dicle basin is main sources of stream flows. About 70 percent of flows come from snow melting. As a result, it is generally shown that February and March months have no change, but April and May months have a downward trend in studied basins.

Keywords: River basin; snow measurement station; snow depth; snow water equivalence; Trend Analysis; Mann-Kendall Trend Analysis

[1] EİEİ Genel Müd., Hidrolik Etütler Dairesi Başkanlığı, Ankara , E-Posta: (yuckaya@gmail.com; mozkaya@eie.gov.tr)

[2] EİEİ Genel Müd., 8.Hidrometrik Etüt Merkezi, Van, E-Posta: (ebatur@ eie.gov.tr; msaban@eie.gov.tr)

1. GİRİŞ

Doğal kaynakların bilinçsizce kullanılmasından dolayı atmosferdeki sera gazlarının (CO_2, O_3, N_2O, CH_4, Kloroflorokarbon vs.) konsantrasyonu sürekli artmaktadır. Bu artış küresel ısınmaya, küresel ısınma ise küresel iklim değişikliğine neden olmaktadır. Küresel iklim değişikliği ise başta su kaynakları olmak üzere bir çok alanda insan yaşamını etkilemektedir. Küresel iklim modelleri sonuçlarına göre yüzeye yakın hava sıcaklığının 2050 yılına kadar 1 ^oC, 2100 yılına kadar 5,8 ^oC artması beklenmektedir, (Miller ve diğ.,2003). Yağışlarda ise, enlemlere bağlı olarak kuzey yarımkürede yıllık yağış miktarında +/-%15 değişim olması beklenmektedir (Yoo ve diğ., 2005). Bu değişim, hidrolojik çevrimin bileşenlerini (yağış, akış, buharlaşma, sızma, vs.) etkilemektedir. Küresel iklim değişikliği de maksimum ve minimum hava sıcaklıklarında artış, kış yağışlarında ve şiddetinde artış (buna bağlı olarak şiddetli taşkınlar ve büyük taşkın zararları), yaz yağışlarında azalış, yüksek buharlaşma ve düşük akımlar, kuraklık süre ve şiddetinde artış, toprak neminde azalış ve kar derinliklerinde azalma şeklinde başta su kaynakları üzerinde kendini şiddetli şekilde hissettirecektir.

Dünyada hidrolojik çevrimin bileşenlerindeki zamanla değişim dikkatle izlenmektedir. Hidrolojik çevrimin en önemli bileşenlerinden biri de yağıştır. Yağış ise yağmur ve kar olmak üzere iki kısımdan oluşur. Kar parametresi, dünya-atmosfer enerji dengesini ve ortalama hava sıcaklığını etkileyen önemli bir iklim parametresidir. Bu yüzden, iklim değişiminin etkilerini araştırmak için kar yağışı, kar derinliği, kar su eşdeğeri, kar örtüsünün zamansal ve yersel dağılımı üzerinde çalışmalar yapılmaktadır. Örneğin, Kitaev ve diğ.(2002) tarafından Rusya'da yapılan başka bir çalışmada kar derinliği (1936-1995) ve kar su eşdeğeri (1966-1990) verilerinin zamansal değişimi incelenmiştir. Kar derinliği, kış yağışı ve kış sıcaklıklarında pozitif trendler tespit edilmiştir. Ayrıca, kar derinliği ile kış yağışı ve kış hava sıcaklığı arasında pozitif ilişkiler bulunmuştur. Kar yağışı artmasına rağmen karın yerde erimeden kalma süresinin azalması, kış hava sıcaklıklarının artmasına bağlanmıştır.

Bednorz ve Kossowski (2004) tarafından Avrupa kıtasının doğusunda Asya kıtasının batısında (Avrupa-asya bölgesi) 5 meteoroloji istasyonunda aylık ortalama kar derinliklerinin uzun dönem (1894-1995) boyunca değişimleri Mann-Kendall trend yöntemi ile analiz edilmiştir. Tüm istasyonlarda kar derinliğinde azalma eğilimi tespit edilmiştir. Sadece, en kuzeyde bulunan Kirov meteoroloji istasyonunda 1950'lerden sonra artış belirlenmiştir. Literatürdeki bunlar ve benzer çalışmalardan kar derinliğinin, karın su eş değerinin ve karın yerde kalma sürelerinin orta enlemlerde azaldığı ve yüksek enlemlerde arttığı sonucu çıkarılabilir.

Çalışmada genel olarak, gözlem süresi uzun olan istasyonlar seçilmiştir. İstasyonlarda kar ölçümleri, Ocak, Şubat, Mart, Nisan ve Mayıs aylarında ayın ilk haftasında yapılmaktadır (Kaya ve Özkaya , 2009). Kullanılan istasyonlar, akımlar üzerinde kar erimesinin önemli olduğu havzalardan seçilmiştir. Bu havzalar, Kızılırmak havzası (15.havza), Seyhan havzası (18.havza), Fırat – Dicle (21-Fırat Kolu ve 26-Dicle Kolu) ve Çoruh (23.havza) havzalarıdır. Batur ve diğ. (2009) tarafından yılda maksimum kar derinliği ve su eşdeğeri serilerinde zamanla bir değişimin olmadığı tespit edilmiştir. Ancak, ekstrem serilerde değişim olmaması aylık serilerde de olmayacağı anlamına gelmez. Bu yüzden bu çalışmada gözlem süreleri 1966 – 2009 arasında değişen, 1300-

2400 m kotlarında kar gözlem istasyonları kullanılarak aylara göre kar derinlikleri ile kar su eş değerleri zaman serilerinin trend analizi yapılmıştır.

2. ÇALIŞMADA KULLANILAN HAVZALAR VE KAR GÖZLEM İSTASYONLARI

2.1. Kızılırmak Havzası (15)

Havzanın yağış alanı 78646 km² dir. Havzanın ortalama sıcaklığı 14.6 °C dir ve havza ortalama yağış yüksekliği 446.1 mm dir (Yıldız ve Malkoç, 2000). Havza, genellikle Orta Anadolu karasal iklimini yansıtmakta, mansabda küçük bir bölümde ise Karadeniz iklim özellikleri etkisi görülmektedir. Kızılırmak Havzası akımlarının büyük bir bölümü kar rejimine tabidir. Kış aylarında yağış genelde kar şeklinde olup erimeden uzun süre yerde kalabilir.

Havzada Kızıldağ, Erciyes, Ilgaz vb. önemli dağlar bulunmaktadır. Bu dağların yükseltileri 1194 metre ile 3917 metre (Erciyes Dağı) arasında değişir. Havzada önemli su yapısı olarak ; Kesik Köprü Barajı (Kızılırmak üzerinde içme ve sulama amaçlı, işletmeye alınış 1996 yılı), Hifanlı Barajı (Kızılırmak üzerinde enerji amaçlı, işletmeye alınış yılı 1959), Altınkaya Barajı (Kızılırmak üzerinde enerji amaçlı, işletmeye alınış yılı 1988), Derbent Barajı (Kızılırmak üzerinde enerji amaçlı, işletmeye alınış yılı 1990), Kapulukaya Barajı (Kızlırmak üzerinde enerji amaçlı, işletmeye alınış yılı 1989) dır.



Şekil 1. Kızılırmak Havzasındaki EİE Kar Gözlem İstasyonları

EİE, havzada ilk olarak 1970 yılında kar ölçümlerine başlamış olup, havzada işletmeye açtığı 6 adet kar gözlem istasyonundan (KGİ) 4 adedi halen işletmededir. Bu KGİ'lerin yükseltileri 1975-2135 metre arasında değişmektedir. Kar gözlem istasyonlarında kar derinliği, kar su eşdeğeri ölçümleri yapılmaktadır. Ayrıca, havzada açılan toplam 46

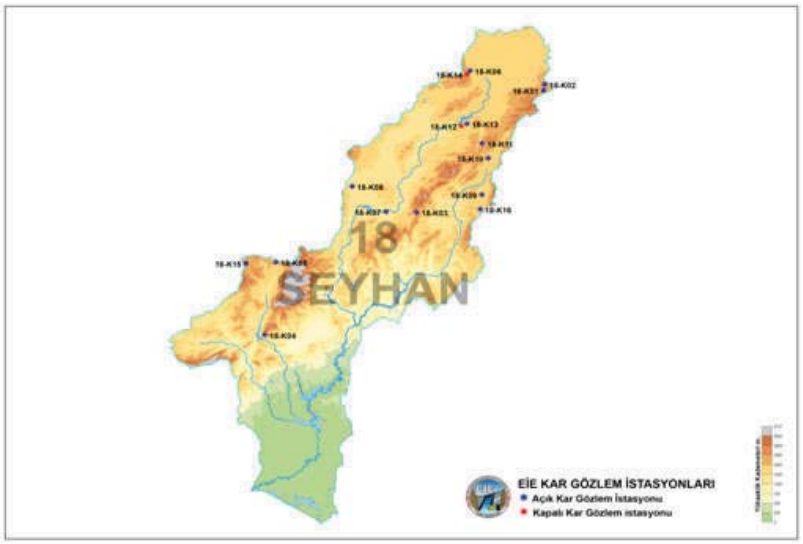
adet Akarsu Gözlem İstasyonundan 12 adedi halen işletmededir. Akarsu gözlem istasyonlarında(AGİ) seviye ve debi ölçümleri yapılarak günlük akımlar belirlenmektedir.

2.1.2. Seyhan Havzası (18)

Havzanın yağış alanı 20731 km² dir. Havzanın ortalama sıcaklığı 19.1 °C dir ve havza ortalama yağış yüksekliği 624 mm dir (Yıldız ve Malkoç, 2000). Havzada küçük klima bölgeleri yer almasına rağmen genel manada Toros yayının kuzeyi ve güneyi diye iki bölümde iklim özelliklerini inceleyebiliriz. Toros yayının kuzeyinde Temmuz-Ağustos aylarında az olmak kaydıyla her mevsim yağış görülür. En fazla yağış Nisan-Mayıs aylarında oluşur. Bu bölümün yağış ortalaması 362 mm ve sıcaklık ortalaması 9.8 °C dir. Toros yayının güney bölümünde ise Temmuz Ağustos aylarında az olsa bile her mevsim yağış olur ve en fazla yağış da Aralık Ocak aylarında meydana gelir. Bu bölümün yağış ortalaması 816 mm ve sıcaklık ortalaması 18.7 °C dir (Yıldız ve Malkoç, 2000).

Aşağı Seyhan bölümünde yağışların yağmur şeklinde etkisi görülürken Yukarı Seyhan bölümünde ise, kar yağışı ve erimeleri etkilidir. Bu yüzden yaz ayları akımlarının sürekliliği oluşur. Havza içindeki dağ silsilelerinin yükseltileri 1480-3917 (Erciyes Dağı) metre arasında değişir. Havzada önemli su yapısı olarak; Seyhan Barajı (Seyhan Nehri üzerinde Sulama ve enerji amaçlı; işletmeye alınış 1956), Çatalan Barajı (Seyhan Nehri üzerinde Enerji amaçlı; işletmeye alınış yılı 1996) yer alır.

EİE, havzada ilk olarak 1969 yılında kar ölçümlerine başlamış olup, açtığı 16 adet kar gözlem istasyonundan 14 adedi halen işletmededir. Bu KGİ'lerin yükseltileri 1330-1940 metre arasında değişmektedir. Havzada toplam 38 adet Akarsu Gözlem İstasyonu açılmış olup bunlardan 19 adedi halen işletmededir.



Şekil 2. Seyhan Havzasındaki EİE Kar Gözlem İstasyonları

2.1.3. Fırat – Dicle Havzası (Fırat N. Ve Kolları - 21)

Havzanın Türkiye sınırları içinde kalan yağış alanı 120917 km² dir. Havzanın önemli akarsuları Karasu , Murat Nehri , Perisuyu, Munzur Çayı ve Tohma Suyu dur. Havza genelinde ortalama yağış yüksekliği 540.1 mm dir. Bölgede (yukarı Fırat-Karasu Havzasında), sert karasal iklim koşulları hakimdir ve kar örtüsü 4 ila 6 ay süreyle yerde kalabilir. Kar erimesi Nisan ayında başlar. Yukarı Fırat bölümünün yağış ortalaması 729 mm ve sıcaklık ortalaması 9.4 °C' dir. Aşağı Fırat bölümünde yaz aylarında hiç yağış görülmez. En fazla yağış Aralık-Ocak aylarında meydana gelir. Aşağı Fırat bölümü yağış ortalaması 484 mm ve sıcaklık ortalaması 16.3 °C' dir (Yıldız ve Malkoç, 2000).

Havza; Aras Güneyi Dağları, Köse Dağı, Kızlar Dağı, Çakmak Dağları, Akdağ, Aladağlar, Tendürek Dağları, Şeytan Dağları, Palandöken Dağları, Karagöl Dağları, Munzur Dağları, Yılan Dağı, Mercan Dağları, Karaoğlan Dağı, Maden Dağları, Hazar Dağı, Kazdağı, Bey Dağı ve Nemrut Dağı gibi başka bir çok dağ silsilesinden oluşur. Havza içindeki dağ silsilelerinin yükseltileri 604-3553 metre (Tendürek Dağı) arasında değişir.

Havzada ülkemiz için hayati öneme sahip büyük barajlar yer almaktadır. Bunlardan en önemlileri Keban (Fırat Nehri üzerinde enerji amaçlı, işletmeye alınış 1975), Karakaya (Fırat Nehri üzerinde enerji amaçlı; işletmeye alınış 1987), Atatürk Barajı (Fırat Nehri üzerinde enerji ve sulama amaçlı, işletmeye alınış 1992), Birecik Barajı (Fırat Nehri üzerinde enerji amaçlı, işletmeye alınış 2000), Karkamış Barajı (Fırat Nehri üzerinde enerji amaçlı, işletmeye alınış 2000) dır. Havzada çok sayıda barajın olması hidrometrik ölçümlerinde önemini artırmaktadır. Havzadaki yüzeysel akımların %70 ini kar sularının oluşturması karla ilgili ölçüm ve gözlemler bakımından önemlidir. Havzada bulunan barajların sağlıklı işletilebilmesi için yeterli ve güvenli Hidrometrik ölçüm ağının oluşturulması gerekmektedir.

EİE, havzada ilk olarak 1966 yılında kar ölçümlerine başlamış olup, açtığı toplam 32 adet Kar Gözlem İstasyonundan 16 adedi halen işletmededir. Bu KGİ'lerin yükseltileri 1611-2532 metre arasında değişmektedir. Havzada açılan toplam 91 adet Akarsu Gözlem İstasyonundan 34 adedi halen işletmededir.

2.1.4. Fırat – Dicle Havzası (Dicle N. Ve Kolları - 26)

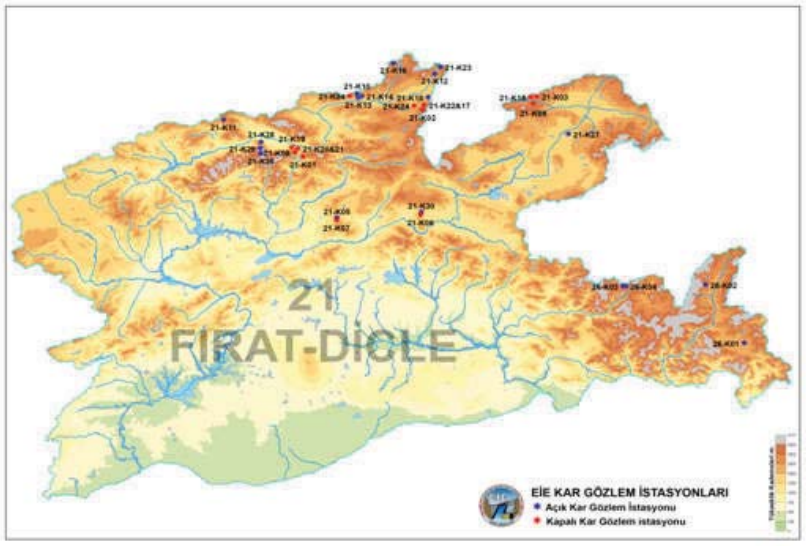
Havzanın Türkiye sınırları içinde kalan yağış alanı51489 km² dir. Havza ortalama sıcaklığı 13.5 °C dir ve havza ortalama yağış yüksekliği 807.2 mm' dir (Yıldız ve Malkoç, 2000). Havzanın büyük bölümü Doğu ve Güneydoğu Anadolu coğrafi bölgesinde yer alır, bu yüzden her iki bölgede genelde karasal iklim özellikleri hüküm sürer. Kış mevsimi soğuk ve yağışlı, yaz mevsiminin kurak ve sıcak olması ile kendini gösterir. 1000 metre üzerine düşen kar örtüsü uzun süre erimeden kalır. Bu havzada karlar, Fırat Havzasına göre bir ay erken, Seyhan Havzasına göre ise bir ay geç erimeye başlar. Nehir suları Haziran ayından sonra azalmaya başlar, fakat yükseklerin ağır ağır eriyen karları ve sayısız kaynaklar, suların birden bire azalmasına engel olur.

Havzanın en önemli dağları; Muş Güneyi Dağları, Akdağ, İnceburun Dağları, Aydınlık Dağları, Karacadağ, Tandır Dağı, Mardin Dağları, Mazı Dağı, Yassı Dağ, Kavuşşahap Dağları, Alandaş Dağı, Cudi Dağı, Altın Dağları, Zap Suyu Havzasında; Buzul Dağı,

Konaklıdağı, Hakkari Dağları, Beyaz Dağı, Gökdağ, Mordağ, Yiğit Dağı ve Başkale Dağıdır. Bu dağların yükseltileri 1088 metre ile 4135 metre arasında değişir. En büyük yükselti Buzul Dağına aittir.

Havzada önemli su yapısı olarak; Devegeçidi Barajı; (Furtakşa Suyu üzerinde sulama amaçlı, işletmeye alınış yılı 1972), Göksu Barajı (Göksu üzerinde sulama amaçlı, işletmeye alınış yılı 1991), Kıralkızı Barajı (Dicle Nehri üzerinde enerjı amaçlı, işletmeye alınış yılı 1997) yer alır.

EİE, havzada ilk olarak 1987 yılında kar ölçümlerine başlamış olup, bu yıl itibarıyla 4 adet Kar Gözlem İstasyonu işletmektedir. Bu KGİ'lerin yükseltileri 1886-2226 metre arasında değişmektedir. Havzadaki toplam 39 adet Akarsu Gözlem İstasyonundan 17 adedi halen işletmededir.



Şekil 3. Fırat – Dicle Havzası EİE Kar Gözlem İstasyonları

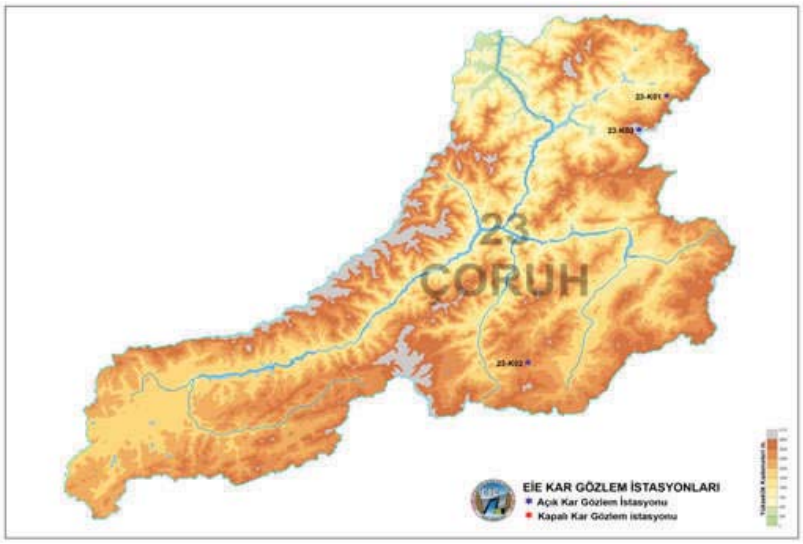
2.1.5. Çoruh Havzası (23)

Havzanın yağış alanı 19894 km² dir. Havza ortalama sıcaklığı 12.7 °C ve havza ortalama yağış yüksekliği 629.4 mm' dir (Yıldız ve Malkoç, 2000). Türkiye Akarsu Havzaları ve Hidrolojik Kuraklık Analizi). Yılın hemen her mevsimi yağış alır, en fazla yağış Mayıs ayında ve en az yağış ise Ağustos ayında görülür. Çoruh Nehri yağış alanının büyük bölümü Karadeniz Bölgesinde yer almasına rağmen iklim özellikleri, Karadeniz iklim özelliklerinden yer yer farklılık gösterir.

Havzanın en önemli dağları; Büyük Dağ, Sarıçiçek Dağları, Kop Dağları, Bozan Dağı, Kıllıdağ, Tellidağ, Karadağ, Kargapazarı Dağları, Allahüekber Dağları, Karçal Dağları, Çadır Dağı, Yanlız Çam Dağları, Ziyaret Dağı, Kaçkar Dağı ve Göller Dağı gibi bir çok dağ yer alır. Bunların yükseltileri 2280 metre ile 3932 metre arasında değişir. En büyük

yükselti Kaçkar Dağına aittir. Havzada önemli su yapısı olarak; Muratlı Barajı (Çoruh Nehri üzerinde taşkın koruma enerji amaçlı; işletmeye alınış 2005) dır.

EİE, havzada ilk olarak 1991 yılında kar ölçümlerine başlamış olup, havzada 3 adet Kar Gözlem İstasyonu işletmektedir. Bu KGİ'lerin yükseltileri 1500-2467 metre arasında değişmektedir. Havzadaki toplam 45 adet Akarsu Gözlem İstasyonundan 21 adedi halen işletmededir.



Şekil 4. Çoruh Havzasındaki EİE Kar Gözlem İstasyonları

2.1.6. Çalışmaya Dahil Edilen Kar Gözlem İstasyonlarının Analizi

Çalışmada kullanılan Kar Gözlem İstasyonları Elektrik İşleri Etüt İdaresi tarafından işletilmektedir. Genel olarak, gözlem süresi uzun olan istasyonlar seçilmiştir. İstasyonlarda kar ölçümleri, Ocak, Şubat, Mart, Nisan ve Mayıs aylarında ayın ilk haftasında yapılmaktadır. Ortalama kar derinliği ve kar su eşdeğeri ölçümleri yapılarak ortalama kar yoğunluğu hesaplanır. Ayrıca hava sıcaklığı, kar üstü, kar ortası ve zemin sıcaklıkları ölçülmektedir (Kaya ve Özkaya, 2009). Kullanılan istasyonlar, akımlar üzerinde kar erimesinin önemli olduğu havzalardan seçilmiştir. Çalışmada gözlem süreleri 1966–2009 arasında değişen, 1300-2400 m kotlarında kar gözlem istasyonları kullanılarak aylara göre kar derinlikleri ile kar su eş değerleri zaman serilerinin trend analizi yapılmıştır.

15-K02 nolu Kızıldağ Kar Gözlem İstasyonu Kızılırmak'ın başlangıcı olan Kızıldağ'da, 15-K05 nolu ise Erciyes dağında ve havzanın orta kısımlarını temsil etmektedir. 18 nolu Seyhan havzasındaki istasyonlar ise Seyhan Nehri'nin menbasında bulunmaktadır. İstasyonların gözlem periyotları yaklaşık 40 yıl civarındadır. 21-K05 Kuruca Kızıldağ Kar Gözlem İstasyonu Fırat Nehri'nin önemli kollarından biri olan Murat Nehri havzasındadır. Gözlem periyodu en uzun (44 yıl) olan KGİ'dir. 21-K10 Kop Dağı Geçidi, 21-K11 Sakaltutan Dağı, 21-K12, 21-K13 Kop Dağı, 21-K16 İspir Dağı Geçidi

Kar Gözlem İstasyonları ise Fırat Nehri'nin Karasu kolu havzasında bulunmaktadır. Gözlem süreleri 30 ile 40 yıl arasında değişmektedir. 23-K01 nolu istasyon, Şavşat (Artvin) civarında, 23-K02 nolu istasyon ise Kireçli Dağı geçidindedir. Gözlem süreleri 19 yıldır. 26-K01 ve 26-K02 nolu Kar Gözlem İstasyonları, Zap Nehri havzasının menbaalarında bulunmaktadır. Gözlem süreleri 23 yıldır.

3. KULLANILAN YÖNTEMLER

3.1. Doğrusal Regresyon Analizi

Doğrusal regresyon analizi, iki değişken arasında doğrusal bir ilişki bulunduğu kabul edilerek yapılan analiz türüdür (İTÜ ve EİE , 2002). Bu çalışmada basit doğrusal regresyon analizi kullanılarak aylık kar derinliği ve kar su eşdeğeri ile zaman (yıl) arasında anlamlı bir ilişkinin olup olmadığı araştırılmıştır. Çalışmada incelenen istasyonlar için elde edilen regresyon doğruları grafik olarak verilmiştir.

3.2. Mann-Kendall Testi

Literatürde trend analizi için kullanılan değişik metotlar vardır. Bunlardan en çok kullanılanı Mann-Kendall trend testidir.

Zaman serisindeki trendin belirlenmesi için geliştirilmiş bir yöntemdir. Verilerin dağılımından bağımsız ve uç değerlerden etkilenmez. Kullanılan formülasyonlar aşağıda verilmiştir (Smadi ve Zghoul, 2006; Şen, 2002).

$X_1, X_2, \ldots, X_N$ zaman serisinde $X_j < X_i$ (j<i) şartı ile tam sayılardan oluşan m_i serisi elde edilir. m_i serisi eklenik olarak toplanır ve d_k serisi elde edilir.

$$d_k = \sum_{i=1}^{k} m_i \qquad 2 \le k \le N \qquad (1)$$

d_k istatistik büyüklüğünün teorik çalışmalar sonucunda yaklaşık olarak normal dağılıma uyduğu ve aşağıda verilen aritmetik ortalama ve standart sapmaya sahip olduğu belirlenmiştir (Kendall ve Stuart, 1952).

$$\overline{d}_k = \frac{k\,(k-1)}{4} \qquad (2)$$

$$VAR(d_k) = \left[\frac{k\,(k-1)(2k+5)}{72} \right] \qquad 2 \le k \le N \qquad (3)$$

d_k dizisi, denk.(2) ve denk.(3) ile standart hale getirilerek UF_k dizisi

$$U(t) = \frac{d_k - \overline{d_k}}{\sqrt{VAR(d_k)}} \qquad 2 \le k \le N \qquad (4)$$

elde edilir. Daha sonra, zaman serisi tersten dizilerek tüm adımlar yine tekrarlanır ve U'(t) dizisi elde edilir. U(t) ve U'(t) dizileri grafik olarak zamana karşı noktalanır. Trend bulunması halinde, bu iki eğrinin bir birinden ayrıldıkları nokta, trendin başladığı noktayı gösterir.

4. UYGULAMA VE DEĞERLENDİRME

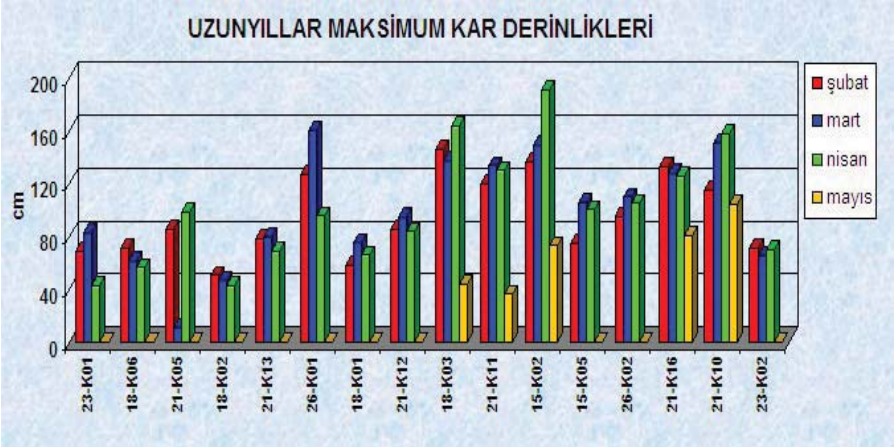
Çalışmada kullanılan kar gözlem istasyonlarının sicil bilgileri Tablo-1' de verilmiştir.

Tablo 1. Çalışmada Kullanılan Kar Gözlem İstasyonları Sicil Bilgileri.

KGİ NO	İSTASYON ADI	HAVZA ADI	KOT (m)	COĞRAFİ KOORDİNAT	GÖZLEM PERİYODU
15-K02	Kızıldağ	Kızılırmak Havzası	2085	39° 51' 18" K - 38° 23' 54" D	1973 - 2009 (37 yıl)
15-K05	Erciyes Dağı		2135	38° 33' 34" K - 35° 31' 16" D	1997 – 2009 (13 yıl)
18-K01	Ziyaret Geçidi	Seyhan Havzası	1901	38° 49' 38" K - 36° 53' 42" D	1969 - 2009 (41 yıl)
18-K02	Maraşlı		1864	38° 51' 47" K - 36° 52' 16" D	1971 - 2009 (39 yıl)
18-K03	Gezbel		1940	38° 12' 23" K - 35° 59' 52" D	1971 - 2009 (39 yıl)
18-K06	Çukuryurt		1720	38° 57' 25" K - 36° 22' 16" D	1972 - 2009 (38 yıl)
21-K05	Kuruca I	Fırat – Dicle Havzası (Fırat N. Ve Kolları)	1846	38° 33' 39" K - 40° 08' 44" D	1966 - 2009 (44 yıl)
21-K10	Kop Dağı Vadi		2400	40° 01' 47" K - 40° 32' 39" D	1971 – 2009 (39 yıl)
21-K11	Sakaltutan		2080	39° 52' 02" K - 39° 06' 32" D	1971 - 2009 (39 yıl)
21-K12	Yeşildere		1935	40° 08' 11" K - 41° 24' 35" D	1974 - 2009 (36 yıl)
21-K13	Kop Dağı Kahveler		1865	40° 00' 22" K - 40° 33' 09" D	1975 - 2009 (35 yıl)
21-K16	İspir Dağı		2300	40° 16' 00" K - 40° 59' 21" D	1980 – 2009 (30 yıl)
23-K01	Yavuz Köyü	Çoruh Havzası	1500	41° 12' 58" K - 42° 24' 22" D	1991 - 2009 (19 yıl)
23-K02	Kireçli		2413	40° 20' 31" K - 41° 41' 31" D	1991 - 2009 (19 yıl)
26-K01	Yüksekova	Fırat – Dicle Havzası (Dicle N. Ve Kolları)	1886	37° 32' 07" K - 44° 21' 24" D	1987- 2009 (23 yıl)
26-K02	Başkale		2209	38° 04' 36" K - 44° 01' 54" D	1987- 2009 (23 yıl)

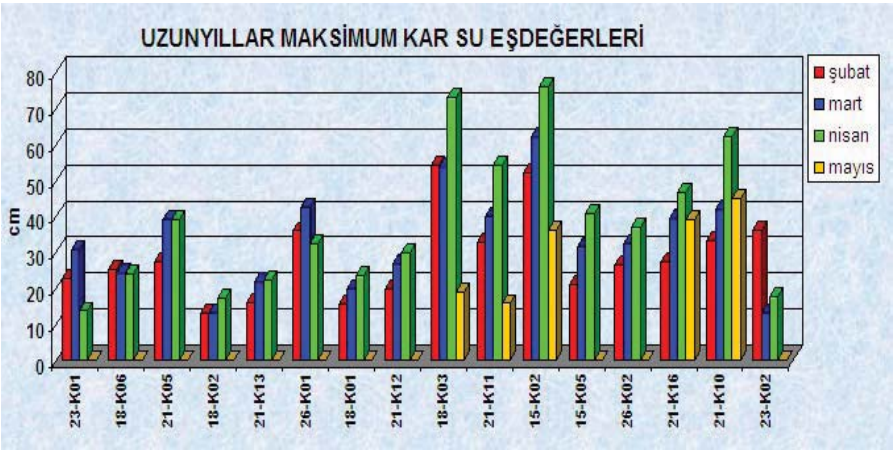
Uzun yıllar (1966-2009) maksimum kar derinliği en fazla şubat ayında 18-K03 Gezbeli Geçidi KGİ'de 146.6 cm, mart ayında 26-K01 Yüksekova KGİ'de 161 cm, nisan ayında

15-K02 Kızıldağ KGİ' de 191.6 cm, mayıs ayında ise 21-K10 Kop Dağı KGİ' de 104.9 cm olarak ölçülmüştür (EİE, 2007).



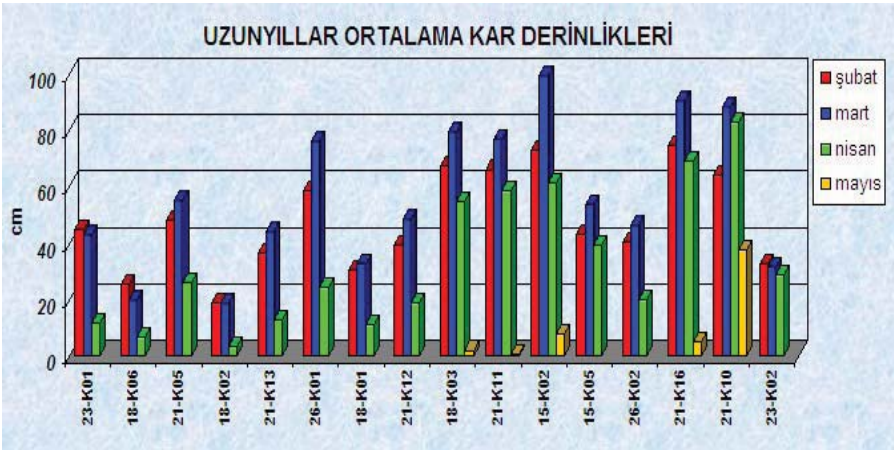
Grafik 1. Aylara Göre EIE Kar Gözlem İstasyonları Maksimum Kar Derinlikleri

Uzun yıllar (1966-2009) maksimum kar su eşdeğeri en fazla, şubat ayında 18-K03 Gezbeli Geçidi KGİ'de 54.5 cm, mart ayında 15-K02 Kızıldağ KGİ'de 62.2 cm, nisan ayında 15-K02 Kızıldağ KGİ' de 76.4 cm, mayıs ayında ise 21-K10 Kop Dağı KGİ' de 45.2 cm olarak ölçülmüştür (EİE, 2007).



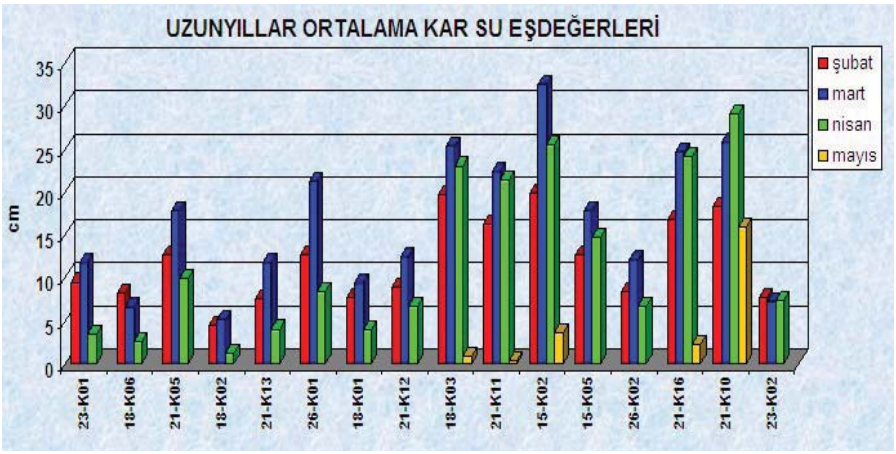
Grafik 2. Aylara Göre EIE Kar Gözlem İstasyonları Maksimum Kar Su Eşdeğerleri

Uzun yıllar (1966-2009) ortalama kar derinliği en fazla, şubat ayında 21-K16 İspir Dağı KGİ'de 74.8 cm, mart ayında 15-K02 Kızıldağ KGİ'de 99.8 cm, nisan ayında 21-K10 Kop Dağı KGİ' de 83.4 cm, mayıs ayında ise 21-K10 Kop Dağı KGİ' de 37.9 cm olarak ölçülmüştür (EİE, 2007).



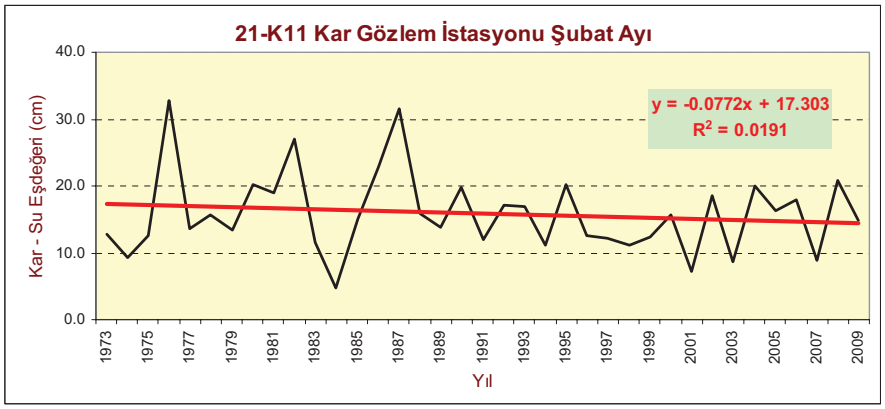
Grafik 3. Aylara Göre EIE Kar Gözlem İstasyonları Uzunyıllar Ortalama Kar Derinlikleri

Uzun yıllar (1966-2009) ortalama kar su eşdeğeri en fazla, şubat ayında 15-K02 Kızıldağ KGİ'de 19.9 cm, mart ayında 15-K02 Kızıldağ KGİ'de 32.5 cm, nisan ayında 21-K10 Kop Dağı KGİ' de 29.1 cm, mayıs ayında ise 21-K10 Kop Dağı KGİ' de 15.9 cm olarak ölçülmüştür (EİE, 2007).

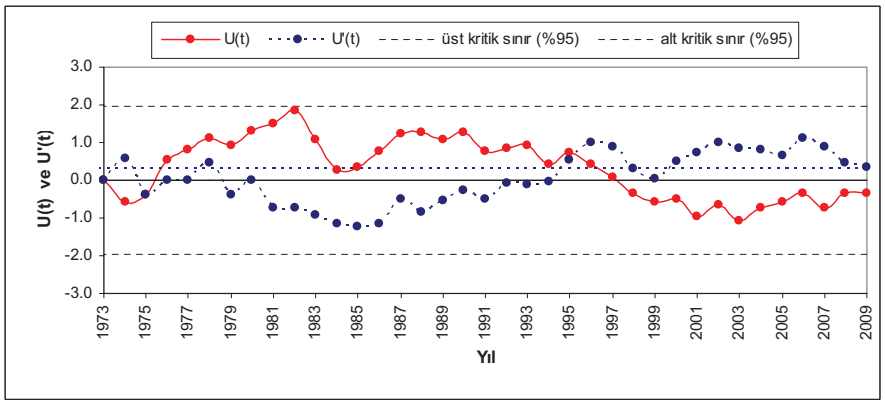


Grafik 4. Aylara Göre EIE Kar Gözlem İstasyonları Uzunyıllar Ortalama Kar Su Eşdeğerleri

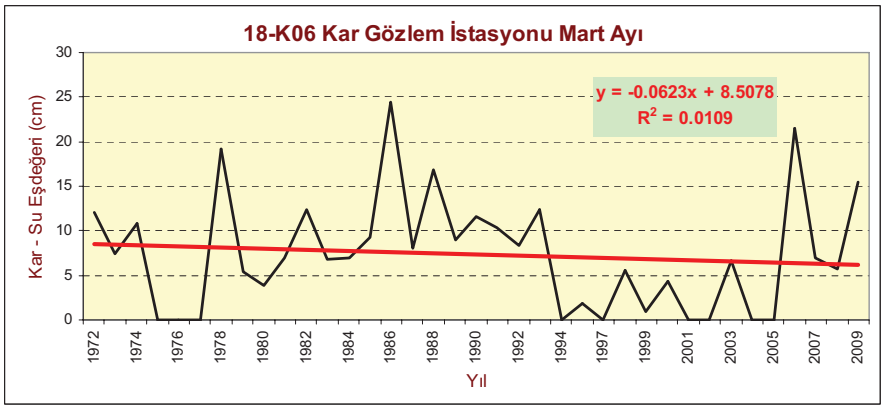
Kar Gözlem İstasyonları kar derinliklerinin trend analiz değerlendirmesi Tablo-2'de, kar su eşdeğerleri trend analiz değerlendirmesi Tablo-3'de verilmiştir. Trend analiz değerlendirmesi grafikleri ise Grafik 5-a, Grafik 5-b, Grafik 6-a, Grafik 6-b, Grafik 7-a, Grafik 7-b olarak verilmiştir.



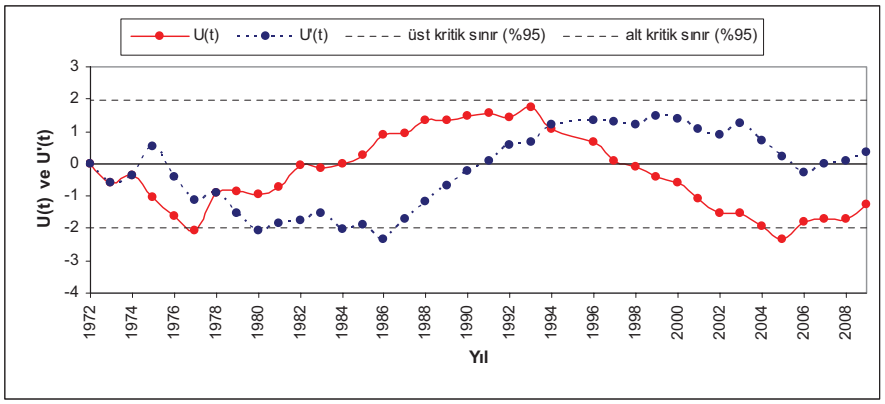
Grafik 5-a. 21-K11 nolu KGİ'nin Şubat Ayı Kar Su Eşdeğeri Trend Çizgisi



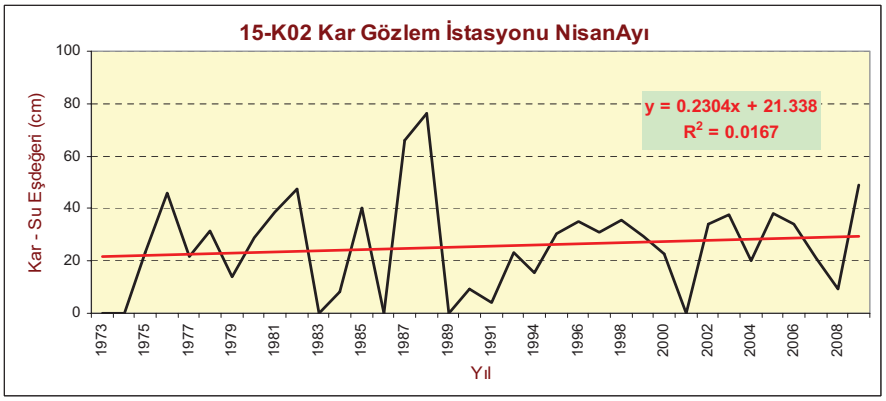
Grafik 5-b. 21-K11 nolu KGİ'nin Şubat Ayı Kar Su Eşdeğeri Mann-Kendall Trend Analizi



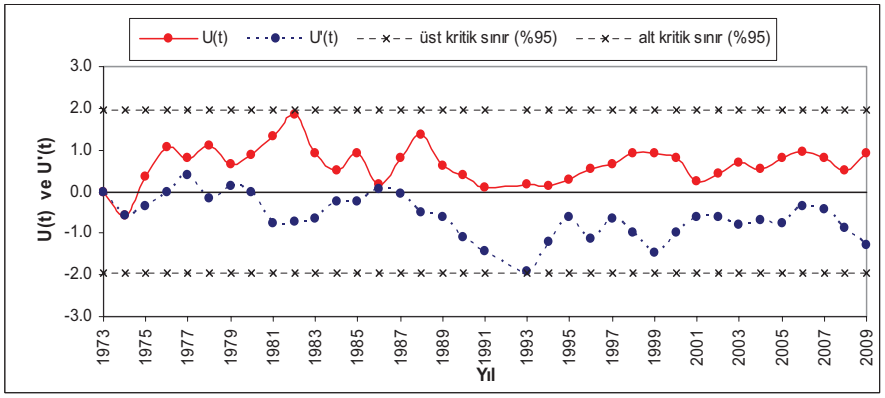
Grafik 6-a. 18-K06 nolu KGİ'nin Mart Ayı Kar Su Eşdeğeri Trend Çizgisi



Grafik 6-b. 18-K06 nolu KGİ'nin Mart Ayı Kar Su Eşdeğeri Mann-Kendall Trend Analizi



Grafik 7-a. 15-K02 nolu KGİ'nin Nisan Ayı Kar Su Eşdeğeri Trend Çizgisi



Grafik 7-b. 15-K02 nolu KGİ'nin Nisan Ayı Kar Su Eşdeğeri Mann-Kendall Trend Analizi

Tablo 2. Kar Gözlem İstasyonlarına ait Kar Derinlikleri Mann-Kendall Trend Analizi değerlendirmesi

KAR GÖZLEM İSTASYONLARINDA KAR DERİNLİKLERİ

KGİ NO	İSTASYON ADI	KOT (m)	GÖZLEM PERİYODU	ŞUBAT	MART	NİSAN	AÇIKLAMA
15-K02	Kızıldağ	2085	1973 - 2009 (37 yıl)	Trend (+) 1984 sonrası	Trend (+) (1975-1994) arası	Trend (+)	Mayıs ayında 1996 yılından sonra kar yok
15-K05	Erciyes Dağı	2135	1997 - 2009 (13 yıl)	Trend (0)	Trend (0)	Trend (-) 2001 sonrası	
18-K01	Ziyaret Geçidi	1901	1969 - 2009 (41 yıl)	Trend (-) 1994 sonrası	Trend (-) 1994 sonrası	Trend (-)	
18-K02	Maraşlı	1864	1971 - 2009 (39 yıl)	Trend (+)	Trend (0)		Nisan ayında 2003 yılından sonra kar yok
18-K03	Gezbel	1940	1971 - 2009 (39 yıl)	Trend (0)	Trend (0)	Trend (0)	
18-K06	Çukuryurt	1720	1972 - 2009 (38 yıl)	Trend (+) önemsiz (1980-1996) arası	önemsiz 78-93 (+) 94 sonrası (-)		Nisan ayında çoğunlukla kar yok
21-K05	Kuruca I	1846	1966 - 2009 (44 yıl)	Trend (-) önemsiz 1998 sonrası	Trend (-) 1988 sonrası	Trend (-) 1998 sonrası	
21-K10	Kop Dağı Vadi	2400	1971 - 2009 (39 yıl)	Trend (0)	Trend (0)	Trend (0)	Mayıs ayında Trend (-) 1978 yılından sonra
21-K11	Sakaltutan	2080	1971 - 2009 (39 yıl)	Trend (0)	Trend (-) 1997 sonrası	Trend (-) önemsiz 2000 sonrası	
21-K12	Yeşildere	1935	1974 - 2009 (36 yıl)	Trend (0)	Trend (0)	Trend (0)	
21-K13	Kop Dağı Kahveler	1865	1975 - 2009 (35 yıl)	Trend (0)	Trend (-) 1996 sonrası	Trend (0)	
21-K16	İspir Dağı	2300	1980 - 2009 (30 yıl)	Trend (0)	Trend (+) (1981-1999) arası	Trend (-) 1994 sonrası	
23-K01	Yavuz Köyü	1500	1991 - 2009 (19 yıl)	Trend (+) 2002 sonrası	Trend (+) 1996 sonrası	Trend (0)	
23-K02	Kireçli	2413	1991 - 2009 (19 yıl)	Trend (-) 1994 sonrası	Trend (0)	(1993-1999) arası Trend (+) 2002 sonrası Trend (-)	
26-K01	Yüksekova	1886	1987- 2009 (23 yıl)	Trend (-) 1997 sonrası	Trend (-) 1997 sonrası	Trend (-) 2002 sonrası	Nisan ayında 2003 yılından sonra kar yok

Tablo 3. Kar Gözlem İstasyonlarına ait Kar Su Eşderleri Mann-Kendall Trend Analizi değerlendirmesi

KAR GÖZLEM İSTASYONLARINDA KAR SU EŞDEĞERİ

KGİ NO	İSTASYON ADI	KOT (m)	GÖZLEM PERİYODU	ŞUBAT	MART	NİSAN	AÇIKLAMA
15-K02	Kızıldağ	2085	1973 - 2009 (37 yıl)	Trend (+) (1977-1997) arası	Trend (+) (1978-1997) arası	Trend (+)	Mayıs ayında 1996 yılından sonra kar yok
15-K05	Erciyes Dağı	2135	1997 - 2009 (13 yıl)	Trend (0)	Trend (-) 2004 sonrası	Trend (-) 2001 sonrası	
18-K01	Ziyaret Geçidi	1901	1969 - 2009 (41 yıl)	Trend (-) 1994 sonrası	Trend (0)	Trend (-)	
18-K02	Maraşlı	1864	1971 - 2009 (39 yıl)	Trend (+)	Trend (0)		Nisan ayında 2003 yılından sonra kar yok
18-K03	Gezbel	1940	1971 - 2009 (39 yıl)	Trend (0)	Trend (+) (1982-1993) arası	Trend (0)	
18-K06	Çukuryurt	1720	1972 - 2009 (38 yıl)	(1981-1995) (+) 1996 sonrası (-)	(1978-1993) (+) 1994 sonrası (-)		Nisan ayında çoğunlukla kar yok
21-K05	Kuruca I	1846	1966 - 2009 (44 yıl)	Trend (-) önemsiz 1996 sonrası	Trend (-) 1988 sonrası	Trend (-) 2001 sonrası	
21-K10	Kop Dağı Vadi	2400	1971 - 2009 (39 yıl)	Trend (0)	Trend (0)	Trend (0)	Mayıs ayında Trend (-) 1978 yılından sonra
21-K11	Sakaltutan	2080	1971 - 2009 (39 yıl)	Trend (0)	Trend (-) 1997 sonrası	Trend (-) önemsiz 2001 sonrası	
21-K12	Yeşildere	1935	1974 - 2009 (36 yıl)	Trend (-) önemsiz 1991 sonrası	Trend (0)	Trend (0)	
21-K13	Kop Dağı Kahveler	1865	1975 - 2009 (35 yıl)	Trend (-) önemsiz 1996 sonrası	Trend (0)	Trend (0)	
21-K16	İspir Dağı	2300	1980 - 2009 (30 yıl)	Trend (0)	(1985 - 2000) arası Trend (+) 2004 sonrası	Trend (-) 1991 sonrası	
23-K01	Yavuz Köyü	1500	1991 - 2009 (19 yıl)	Trend (+) 2002 sonrası	Trend (+) 2002 sonrası	Trend (0)	
23-K02	Kireçli	2413	1991 - 2009 (19 yıl)	Trend (-) 1994 sonrası	Trend (0)	Trend (-) 2001 sonrası	
26-K01	Yüksekova	1886	1987- 2009 (23 yıl)	Trend (0)	Trend (0)	Trend (-) 1999 sonrası	Nisan ayında 2003 yılından sonra kar yok

5. SONUÇLAR

Kızılırmak, Seyhan ve Çoruh havzalarında genel olarak şubat ve mart aylarında önemli bir değişliklik gözlenmemekte olup, nisan ayında düşüş yönünde bir trend olduğu görülmüştür. 15-K02 Kızıldağ KGİ'de 1996 yılından sonra yaklaşık 13 yıldır mayıs ayında, 18-K02 Maraşlı KGİ'de 2003 yılından sonra yaklaşık 6 yıldır nisan ayında kar olmadığı görülmüştür. Fırat-Dicle (Fırat Kolu) havzasında şubat – nisan periyodunda önemli bir değişiklik gözlenmemekle birlikte mayıs ayında önemli bir düşüş olduğu görülmüştür. Fırat havzasında kar erimelerinin etkisi nisan, mayıs ve haziran aylarında olmakta iken son yıllarda mart, nisan ve mayıs aylarında görülmeye başlanılmıştır. Fırat-Dicle (Dicle Kolu) havzasında genel olarak Şubat ve mart aylarında önemli bir değişliklik gözlenmemekte olup, nisan ayında düşüş yönünde bir trend olduğu görülmüştür. 26-K01 ve 26-K02 nolu KGİ'lerde 2003 yılından sonra yaklaşık 6 yıldır nisan ayında kar olmadığı görülmüştür.

Çalışmada kullanılan kar gözlem istasyonlarını yüksekliklerine göre değerlendirdiğimizde, genellikle yüksekliği 2000 m'nin altında olan KGİ'lerde azalan yönde trend belirlenmiştir. 15-K02 Kızıldağ (2085 m), 18-K03 Gezbeli Geçidi (1940 m), 21-K10 Kop Dağı (2400 m), 21-K11 Sakaltutan Dağı (2080 m), 21-K16 İspir Dağı (2300 m) nolu Kar Gözlem İstasyonlarında değişik yıllarda mayıs ayında kar olduğu, diğer KGİ'ler de kar olmadığı görülmüştür. Dolayısıyla sadece 21-K10 nolu Kop Dağı (2400 m) KGİ'nin mayıs ayı incelenmiş ve mayıs ayında düşüş yönünde trend olduğu görülmüştür.

6. KAYNAKLAR

Batur E. ve diğ., "Maksimum Kar Derinliği ve Su Eşdeğeri Tren Analizi", III. Ulusal Kar Kongresi Erzurum, 2009.

Bednorz E. and Kossowski T., "Long term changes in snow cover depth in eastern Europe", Climate Research, 27, 231-236, 2004.

EİE , "Kar Gözlemleri" (1966-2005), EİE İdaresi Genel Müdürlüğü, 2007.

İTÜ ve EİE , "Türkiye Nehirleri Taşkın, Ortalama ve Düşük Akımlardaki Trendleri", 2002.

Kendall, M.G., and Stuart, A., "The advanced theory of statistics", Charles Griffin and Company Limited, London, 557 p, 1952.

Kaya Y. ve Ozkaya M., "EİE'de Kar Gözlemleri ve Sonuçları", III.Ulusal Kar Kongresi Erzurum, 2009.

Kitaev L., Kislov A., Krenke A., Razuvaev V., Martuganov R. and Konstantinov I., "The snow characteristics of northern Eurasia and their relationship to climatic parameters", Boreal Environment Research, 7, 437-445, 2002.

Miller N.L., Bashford K.E. and Strem E., "Potantial impacts of climate change on California hydrology", Journal of The American Water Resources Association, 771-784, 2003.

Smadi, M.M. and Zghoul, A., "A sudden change in rainfall characteristics in Amman, Jordan during the mid 1950s", American Journal of Environmental Sciences, 2(3), 84-91, 2006.

Şen Z., "İstatistik veri işleme yöntemleri (hidroloji ve meteoroloji)", Su Vakfı Yayınları, İstanbul, 2002.

Yıldız M. ve Malkoç Y., "Türkiye Akarsu Havzaları ve Hidrolojik Kuraklık Analizi", EİE Yayınları, 2000.

Yoo C., Jung K.S. and Kim T.W., "Rainfall frequency analysis using a mixed Gamma distribution: evaluation of the global warming effect on daily rainfall", Hydrol. Process. 19:, 3851-3861, 2005.

EİE'de Kar Gözlemleri ve Ölçüm Yöntemleri

Mustafa Özkaya[1], Yücel Kaya[2]

Özet: Dünyanın dağlık bölgelerindeki kar, turizm sektörü, rekreasyon çalışmaları, su temini, tarım, sulama ve hidroelektrik üretimi çalışmaları için önemli bir kaynaktır. Ancak, atmosferik dolaşım sistemleri, dağ engelleri ve kış sıcaklıkları arasındaki karmaşık etkileşimlerden dolayı bu kaynak, yıldan yıla büyük değişiklikler gösterir. Kar yağışı ve kar örtülü alan parametreleri, dünyanın ortalama sıcaklığını ve dünya-atmosfer enerji dengesini etkileyen önemli iklim parametreleridir. Kar derinliği arttıkça, yüzeye yakın hava sıcaklığı da düşmektedir. Bu parametrelerdeki zamansal değişimler, iklim değişiminin en önemli göstergesidir. İklim değişiminden dolayı, havzalardaki kar miktarlarının belirlenmesi ve zaman içindeki değişimleri, yüzeysel akım tahmini için hayati önem taşır. Gelecekteki sıcaklık artışları, sadece havzalardaki kar miktarının erimesine ve azalmasına neden olmaz, aynı zamanda taşkınların oluşum zamanlarını da değiştirir. Bu yüzden, kar yağışı, kar kalınlığı, kar su eş değeri, karla örtülü alan ve süre serilerindeki değişimler dünyada dikkatle izlenmektedir ve karın iklim değişimi ve hava sıcaklığı üzerindeki etkileri üzerine çalışmalar yapılmaktadır. Ayrıca, dağlık bölgelerdeki havzalarda yüzeysel akımların büyük kısmı kar erimelerinden oluşmaktadır. Bu yüzden, kar derinliği, kar yoğunluğu, karın havzadaki yersel ve zamansal dağılımı parametreleri, yağış-akış modelleme çalışmalarında, havza planlama çalışmalarında ve mühendislik yapılarının gerçek zamanlı işletme çalışmalarında sıkça kullanılmaktadır. Kar, su kaynakları geliştirme ve planlama çalışmalarında önemli bir role sahiptir. Bu yüzden, kar ile ilgili parametreler havzalarda sürekli olarak ölçülmelidir.

Bu amaçlar için EİE, 1964 yılında Fırat ve Seyhan havzalarında kar ölçümlerine başlamıştır. Bu gün, 18 havzada 26 adedi otomatik olmak üzere toplam 67 adet kar gözlem istasyonu işletmektedir. Bu makalede, 1964 yılından 2009 yılına kadar olan gözlem süresince, istasyon şebekelerinin zamansal gelişimi, istasyonlardaki kar ölçüm teknikleri ve ölçülen kar parametreleri hakkında bilgiler verilmektedir.

Anahtar Sözcükler: Akarsu havzası; Kar Gözlem İstasyonları; Kar su eşdeğeri; Kar derinliği; Kar yoğunluğu; İşletme periyodu

[1] EİEİ Genel Müd., Hidrolik Etütler Dairesi Başkanlığı, Ankara , E-Posta: (mozkaya@eie.gov.tr)
[2] EİEİ Genel Müd., Hidrolik Etütler Dairesi Başkanlığı, Ankara , E-Posta: (yuckaya@hotmail.com)

Snow Observations and Measurement Techniques in General Directorate of Electrical Power Resources Survey And Development Administration

Abstract: Snow cover in mountainous regions of the world is an important resource for tourism, recreation, water suply, agriculture, irrigation and hydroelectricity production. However, this snow resource typically displays large interannual variability because of complex interactions between mountain barriers and atmospheric cirulation and winter temperatures. Snowfall and snow cover extent parameters are the most important climate parameters influencing energy balance of atmosphere-earth and average temperature of the earth. When snow depth increases, surface air tempereture decreases. The changes in snow depths and snow cover extents are one of the most important indicators of climate change.

The quantification of the amount of snow and its change in time is crucial for estimation of run-off because of climate change. Modelled future climate warming would alter not only the amount of snow melt but also the timing of floods. Therefore, the long-term changes in snowfall, snow tickness, snow water equivalence, snow cover duration time series have been monitoring with great attention in the world and various studies have been carrying out the sensitivity of snow cover on climate change especially on air temperature. Moreover, main part of surface run-off in river basins generally results from snow melting in mountainous regions. So, snow depths, snow density, spatial distribution of snow amount are used in rainfall run-off modelling and river basins planning studies. Snow has significant role in water resources development-planning studies and real time operating studies of engineering structures. For this reason, snow characteristics should be measured continiously in river basins.

For these aims, EİE has started snow measurement in 1964 over Fırat and Seyhan catchments. Now, EİE is operating the 67 of snow stations (26 of which are automotic stations) over the 18 various river basins in Turkey. In this paper, development of snow measuements network, snow measurument techniques and the measured parametres are presented.

Keywords: River basin; Snow observation stations; Snow-water equivalance; Snow depth; Snow intensity; Operation periods

1. GİRİŞ

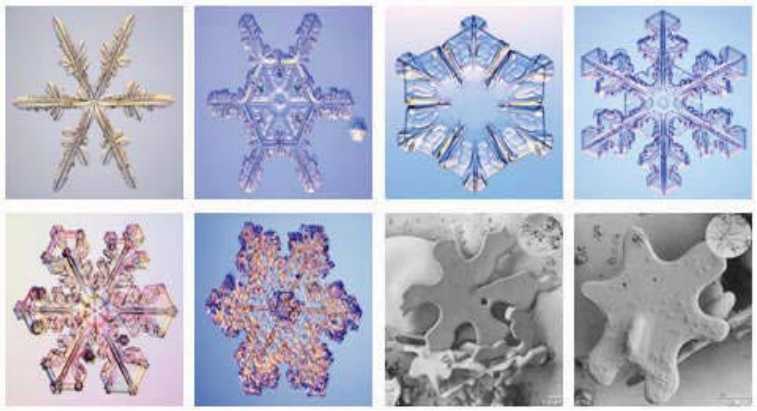
Yerkürede değişik sıcaklıklarda katı, sıvı ve gaz olarak bulunan suyun, iklim ve dolayısıyla her türlü canlı üzerinde yaşamsal etkisi vardır. Yerküre üzerinde ekvatordan uzaklaştıkca enlem ve buna bağlı olarak güneşten gelen enerji farklılaşması, bölgesel olarak günlük ve mevsimlik sıcaklık değişimlerini artırmaktadır.

Bu sıcaklık değişikliklerinin mevsimsel olarak farklılaşması; bulunulan bölge ikliminin karasallaşmasına ve yağışlarında büyük ölçüde kar şeklinde olmasına yol açmaktadır.
Bu nedenle bulunulan bölgenin konumu ve iklim özelliklerine göre kar, hidrolojik döngü içerisinde önemli bir yer tutmaktadır. Aynı enlem üzerinde bulunan bölgelerde de topografik özelliklerden dolayı yağışın farklı özellik taşıması (kar veya yağmur

olarak) hidrolojik döngüde yağışın karakterini ve özelliğini dikkate almayı zorunlu kılmaktadır.

2. KAR

Atmosferik koşullar donma noktası altında yağışa neden oluyorsa bu yağış kar şeklinde olur. Yağışlar havadaki su buharının mikroskopik toz tanelerinin etrafında birikmesiyle oluşmaktadır. Mikroskopik toz tanelerinin etrafında biriken su buharı ortamın fiziksel koşullarına göre katı olarak da birikebilir. Su buharının doğrudan katı duruma geçmesine sublimasyon denilmektedir. Bir mikron çapındaki su damlacıkları da kar kristallerinin büyümesine yardım etmektedir. Kar kristalleri genellikle sekiz köşeli olmasına rağmen değişik büyüklüklerde ve şekillerde meydana gelmektedir (Resim 1).



Resim 1. Yere düşen karın şekil değiştirmeleri

Oluşma şekilleri ve büyüklükleri havanın sıcaklığı ile su buharı içeriğine bağlıdır. Bu kristaller değişik hava tabakalarından geçerken değişikliğe uğrar ve karışık şekiller oluşur. Hava sıcaklığı ve rüzgar yeni yağmış karın yoğunluğunu doğrudan etkilemektedir. Rüzgar, birikmekte olan kar kütlesini sıkıştırarak yoğunluğunun artmasına neden olur. Sıcaklık ise kar kütlesinin bir miktar erimesine yol açtığından yoğunluk artışına neden olur.

Bu durum kar kristallerinin sürekli olarak değişmesine neden olmaktadır. Kar kristallerindeki değişiklik, kar kristalleri oluştuğu andan itibaren başlar ve kar kütlesi tamamen eriyinceye kadar devam eder. Kar kristallerinindeki değişiklikler, sıcaklık - 40 °C olduğunda durmaktadır. Kar kütlesi üzerine düşen yeni kar, alttaki kütleye uyguladığı basınçtan dolayı bu kütledeki fiziksel değişimi hızlandırır. Kar örtüsünün buz taneleri haline gelmesi durumunda kütlenin yoğunluğu suyun yoğunluğuna yaklaşmaktadır.

2.1. Kar Örtüsünün Meydana Gelmesi ;

Karın değişik zamanlarda aralıklı olarak yağması kar örtüsünün tabakalı bir yapı kazanmasına neden olur. Kar, bekleme süresine ve atmosferik koşullara bağlı olarak değişikliğe uğrar. Birikmiş kar, bekleme süresi ve diğer etkili atmosferik koşullar (özellikle rüzgar ve sıcaklık) sonucu sıkışmaya ve sıcaklığın artmasıyla da (erime noktasının üzerine çıkınca) erimeye başlar. Eriyen kütleden akışa geçme, toprağa sızma yada doğrudan buharlaşma yoluyla kayıplar oluşabilir. Ancak, hava sıcaklığının artmasıyla birlikte erimeye başlayan kütlede oluşan su, kar kütlesinden ayrılamadan hava sıcaklığının tekrar donma noktasına gelmesiyle birlikte tekrar donabilir ve buz haline gelebilir. Fiziksel değişiklikler atmosferik koşullara bağlı olarak sürekli devam eder.

2.2. Karın Fiziksel Özellikleri

Kar viskoelastik bir malzemedir. Hem yavaş akıcı yapışkan bir sıvının, hem de elastik bir katının özelliklerini gösterir. Bu özellikler karın yoğunluğuna, dane tipine ve hava sıcaklığına göre değişir. Karın kristalleri arasındaki çekme gücü kar tabakasının yoğunluğu arttıkça artar, çok ince taneli eski karda en yüksek değerine erişir ve kar örtüsünün sıcaklığının artması ile birlikte artış gösterir. Atmosferden ayrıldıktan sonra kar kristali özelliklerini kaybeder. Zemindeki kar tabakası ile birleşir, karışır ve bütünleşir. Buna kar örtüsü adı verilir. Bu örtü, kristal ve havadan meydana gelmiştir ve zamanla sürekli olarak değişikliklere uğramaktadır. Kar akıcı özelliği nedeniyle zemine ve yüzeyin eğimine bağlı olarak yer çekimi kuvveti ile hareket eder. Yer çekimi kuvvetinin sürtünme kuvvetini aştığı durumlarda kayma hareketi başlar.

Rüzgar, birikmekte olan kar kütlesini sıkıştırarak yoğunluğunun artmasına neden olur. Sıcaklık ise kar kütlesinin bir miktar erimesine yol açtığından yoğunluk artışına neden olur. Yeni yağan karın içerisindeki su miktarı %1 ile %25 arasında değişmektedir. Sıcaklığın artması erimeye neden olacağı için kar kütlesinin içindeki su içeriği de buna bağlı olarak artacaktır. Hava sıcaklığı ve rüzgar yeni yağmış karın yoğunluğunu doğrudan etkilemektedir. Hava sıcaklığı, düşen kar kütlesinin tamamının erimesine de neden olabilir. Bu nedenle karın yerde birikmeye başladığı andan tamamen eriyinceye kadar geçen süre içerisinde sıcaklık, kütlenin her türlü yapısının değişmesinde önemli yer tutmaktadır. Yeni yağan karın ortalama yoğunluğu %10 dur. Karın yoğunluğunun en az olduğu zamanlar soğuk ve rüzgarsız koşullardır. Yoğunluğu fazla olan yani ağır karlar ise hava sıcaklığının donma noktası civarında olduğu zamanlardır.

2.3. Kar erimesi

Kar erimesi ve buharlaşma termodinamik olaylar olduğu için her iki durumda da enerji dengesi ve çeşitli ortamlarda ısı transferi söz konusu olmaktadır. Erimede etkili olan parametreler;

- Radyasyon
- Kondüksiyon ve konveksiyon yoluyla gelen sıcaklık
- Kar üzerine yağan yağmurun verdiği sıcaklık
- Alttaki zeminden oluşan ısı transferi

Karın erimesinde güneş ışınları önemlidir. Kış aylarında kısa dalga radyosyon etkili olduğundan karın erimesi üzerinde etkisi azdır. Kar kütlesi özelliğine bağlı olarak güneş ışınlarını yansıtır. Taze kar güneş ışınlarını daha fazla yansıttığı için eski kara oranla güneş ışınlarının etkisiyle daha az erimeye uğrar. Sıcak hava karın erimesinde en önemli etkenlerdendir. Sıcak karaktere sahip rüzgar güneş ışınlarından daha etkil olarak kar kütlesinin erimesine neden olmaktadır. Erimeye neden olan en önemli parametrelerden biri de yağmurdur. Donma noktasına yakın yağan yağmurlar karın erimesinde etkili olmaktadır.

Bir çok havzada meydana gelen kar taşkınları şiddetli yağışların meydana geldiği kış mevsiminin son ayları ve bahar aylarında meydana gelmektedir. Proje çalışmalarında taşkın debileri hesaplanırken yağışlar nedeniyle meydana gelen taşkın debisinde, kar erimesinden dolayı bir artış olacağı dikkate alınmalıdır. Karın erimesinden dolayı meydana gelen akış miktarı, kar örtüsünün içerdiği su miktarı, üzerinde bulunduğu arazinin infiltrasyon kapasitesi ve erimeden dolayı kar örtüsünün bıraktığı su miktarına bağlıdır (Resim 2).



Resim 2. Kar Erimesi + Yağmur sonucu meydana gelen yüzeysel akış

Kar erimesinden dolayı meydana gelen akışlara etki eden faktörler bölgelere ve mevsimlere göre değişmektedir. Kar erimesi dolayısıyla meydana gelen taşkın hesaplarında en önemli etken sıcaklıktır. Sıcaklıktan başka bulutluluk, rüzgar durumu, nem ve havzanın jeomorfolojik şartları kar erimesinde rol oynarlar. Bu faktörlere bağlı olarak kar erime miktarı ve oranı azalıp çoğaldığı gibi erime mevsimine göre yıldan yıla değişimler göstermektedir.

3. KAR ÖLÇÜM VE GÖZLEMLERİ

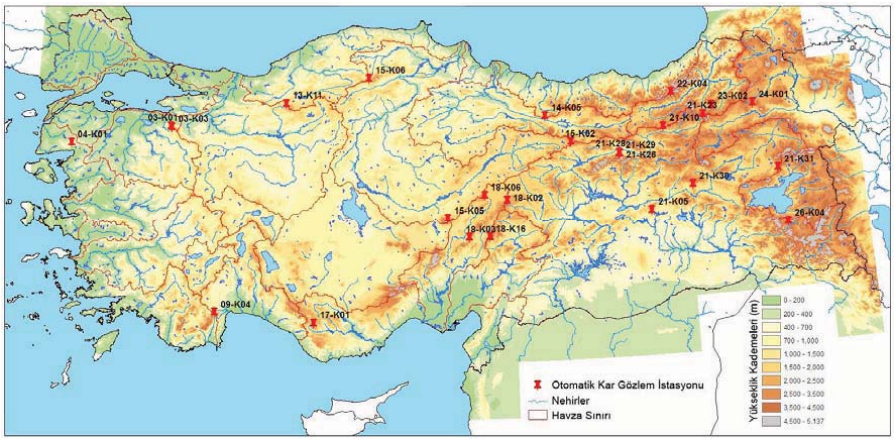
Dünyada ilk olarak kar ölçümlerine 1905 yılında ABD'de başlanmıştır. Kar ölçümleri, aletler ile 1910 yılında Dr. J.E.Curgh tarafından yapılmıştır. 1923 yılından sonra ABD'de geniş ölçekte kar ölçümlerine başlanmıştır. Ülkemizde kar ölçümleri, DMİ Genel Müdürlüğü'ne ait istasyonlarda kar örtüsünün kalınlığını ölçme şeklinde başlamıştır. EİE tarafından ise 1966 yılında Fırat havzasında kar ölçümleri yapılmaya başlanmıştır.

EİE Genel Müdürlüğü tarafından hidrolojik amaçlı kar gözlem istasyonları ilk olarak 1964 yılında Fırat havzasında 4 adet Kar Gözlem istasyonu ile başlanılmış olup takip eden yıllar içinde Kar Gözlem İstasyon sayısı artırılarak devam edilmiştir.

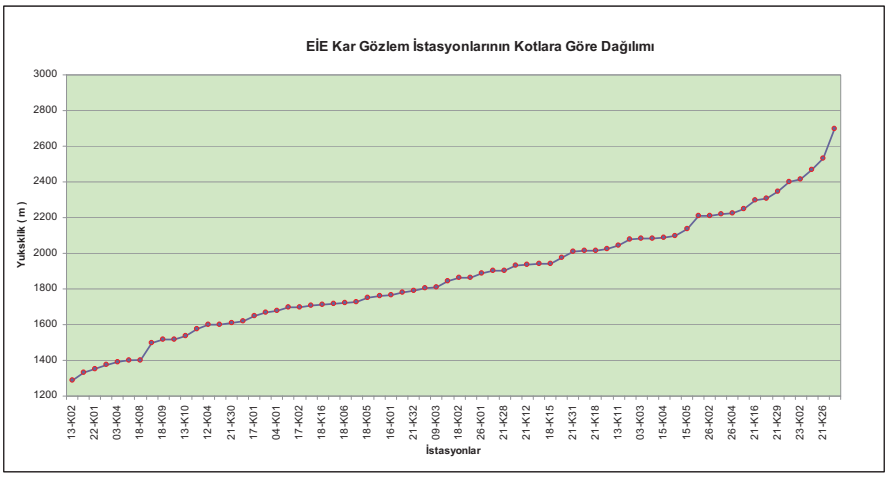
Bugün ise 18 havzada toplam 68 Adet Kar Gözlem İstasyonu işletilmekte olup bunlardan 26 adedi modemli sürekli kar seviye kaydedici cihazla donatılmıştır. (Şekil-1, Grafik1)



Resim 3. EİE Otomatik Kar Gözlem İstasyonları



Şekil 1. EİE Kar Gözlem İstasyonları



Grafik 1. EİE Kar Gözlem İstasyonları kotlara göre dağılımı

Kar ölçümleri, devamlı derinlik kaydediciler ve manuel (periyodik) olmak üzere iki şekilde yapılır. Ölçümde kullanılan aletler de bu duruma göre tasarlanmış ve işletmeye uygun hale getirilmiştir. Kar ölçümlerinde en önemli parametler, kar derinliği ve su eşdeğeridir. Kar yoğunluğu ise derinlik ve su eşdeğerine bağlı olarak hesaplanmaktadır.

Hidrolojik çalışmalarda kullanılan kar ölçümleri iki başlık altında yapılmaktadır

- Mevcut Karın ölçümü,
- Yeni Karın Ölçümü (Yada karın yağış anında ölçülmesi)

Kar gözlemlerinden aşağıda belirtilen veriler elde edilir.

- Kar Yağışlı Günler Sayısı,
- Kar Derinliği,
- Kar Yağış Şiddeti,
- Kar su eşdeğeri,
- Karla kaplı günlerin sayısı,
- Karla kaplı alan,
- Nivometrik sabit,

Burada kar yağışlı günlerin toplamının, kar veya yağmur yağışlı günlere oranına *Nivometrik sabit* denir. Eğer bir ay içerisinde sadece kar yağmış ise o ayın nivometrik sabiti 1 olur. Nivometrik sabit aylık ya da yıllık olarak hesaplanır.

4. İSTASYON YERLERİNİN SEÇİMİ

Kar ölçüm yerleri havza için temsil edici özellik taşıyacağı için ölçüm yerlerinin seçimi çok önemlidir. Bu nedenler kar ölçüm yerleri;

- Ölçülen parametreler aynı yükseklikteki yerlerde karla kaplı alanları temsil etmelidir.
- Kar kürüntüsü olmamalı, kar yağdığında doğal haliyle kalabilecek yerler olmalıdır.
- Eriyen kar suyunun drene olmasını sağlayacak eğim olmalıdır.
- Her türlü çığ alanından uzak olmalıdır.
- Savruntu ve birikinti olmayan yerlerde seçilmelidir.



Resim 4. EİE KGİ Başlangıç Direği

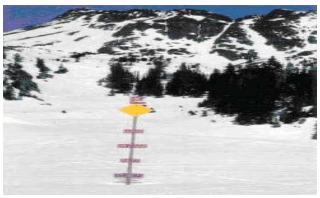
- Seçilen yerin bakısı itibariyle havzada temsili olması gerekir.

Kar gözlemleri için seçilecek istasyon yerleri yazın etraflıca etüt edilmelidir. Bu yerler kış koşullarında tekrar kontrol edilmelidir. Hiç bir zaman bir kar gözlem istasyonu kışın seçilmemelidir. Yeni açılması planlanan Kar Gözlem İstasyon yeri için bir kaç yerde Ölçü yapılarak zamanla havzayı en iyi temsil edebilecek istasyon yerleri ve istasyonda alınacak numune sayıları tespit edilmektedir (Resim 4).

5. KAR ÖLÇÜM YÖNTEMLERİ

5.1. Uzaktan Kar Direkleri ile Gözlenmesi

Ulaşılması zor olan bölgelerde kar direkleri dikilerek, kışın görülebilecek bir mesafeden (dürbün) kar derinlikleri okunur. Bu direkler havzaya genellikle kademeli olarak yerleştirilirler (Resim 5).



Resim 5. Uzaktan Gözlenen Kar Direkleri

5.2. Sürekli Kar Ölçümleri

Bu tür aletlerle, belirlenen noktalarda kar sürekli olarak ölçülür. Bu ölçümler sayesinde karın değişimi günlük olarak belirlenebilir (Resim 6).

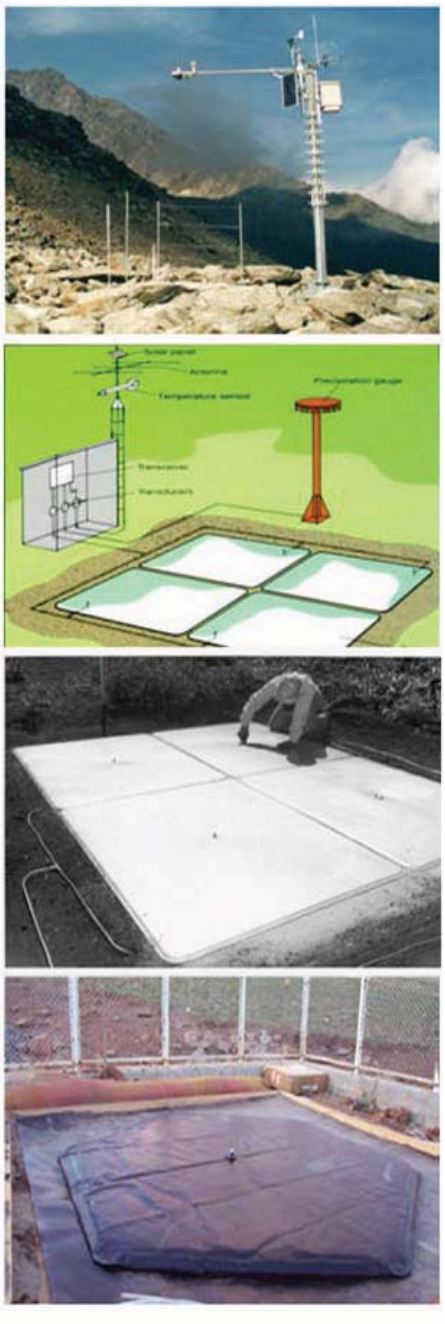


Resim 6- Otomatik sürekli kar ölçer

5.3. Otomatik Kar Gözlem İstasyonları

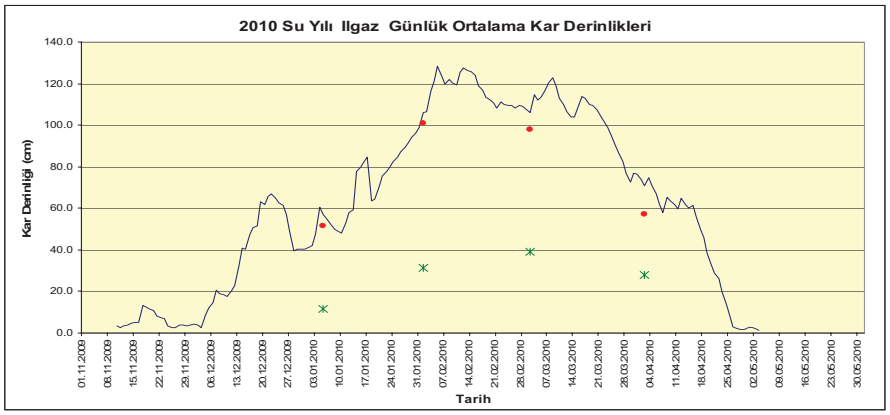
Kar gözlemlerinde insana bağlı klasik metotlarla yapılan noktasal kar ölçümleri bazı sorunları ve yetersizlikleri de beraberinde getirmektedir. Öncelikle, aynı noktada yapılan ölçümler genellikle iki hafta ile dört hafta arasında bir tekrarlanabilmekte ve bu süre zarfında çok değişken olan meteorolojik olaylar (örneğin maksimum kar su eşdeğeri) gözden kaçabilmektedir. Yapılan ölçümlerde insanın aletlerle birlikte belirlenen noktalara ulaşması söz konusu olduğundan, arazi ve iklim koşullarının zorluğu da esas alınarak, seçilen noktalar ulaşım yollarının yakınlarında ve çok yüksek olmayan kotlarda bulunmaktadır. Bu ölçümler her durumda faydalı olmakla beraber zamansal süreklilik ve alansal temsiliyet açısından yetersiz kalmaktadırlar. Bir diğer husus da, belirlenen noktalar her ne kadar açık bir düzlemde bulunmakta ve birden fazla ölçüm alınmaktaysa da, insan faktöründen kaynaklanan hataların olma ihtimali de gözardı edilmemelidir. Üstelik kar erimesinden meydana gelen akımların hesaplanması yolunda yapılan çalışmalarda, kar derinliği ve yoğunluğu gibi verilerin yanı sıra zamansal yağış miktarı, sıcaklık değişimi, güneş radyasyonu gibi diğer meteorolojik verilere ihtiyac duyulmaktadır.

Bu sebeplerden dolayı zaman içinde, kar ölçümlerine farklı bir bakış açısı getirilmesi gerekmiştir. Kar potansiyeli yüksek ve ölçüm sistemleri gelişmiş ülkelerde, yukarıda bahsedilen klasik yöntemler halen uygulanmaktadır, fakat, bunların yanı sıra, daha gelişmiş ve otomatik sensörlerle donatılmış, daha yüksek kotlarda, sürekli ölçüm yapabilen ve ölçülen değerleri anında merkeze aktarabilen, insan faktörünü en aza indiren sabit veya mobil kar ve meteoroloji istasyonları bulunması gerekmektedir (Resim 7). Dünyada bu konuda OKG İstasyonlarında başlıca olarak kar derinliği, hava sıcaklığı, kar su eşdeğeri için kar yastıkları, güneş

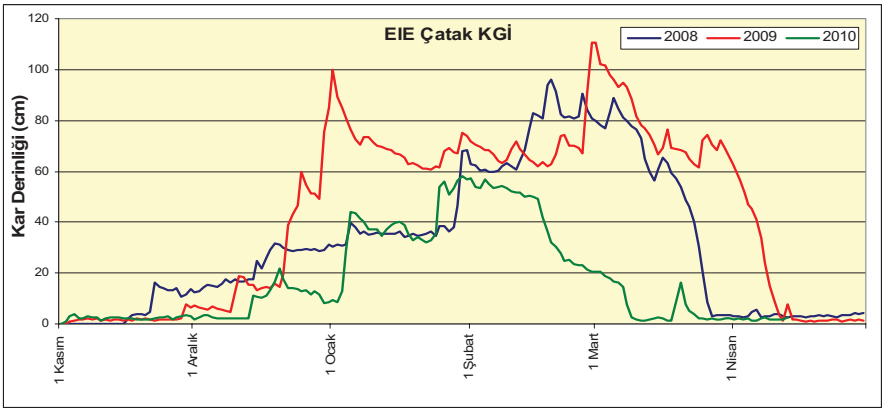


Resim 7. Otomatik kar gözlem istasyonları

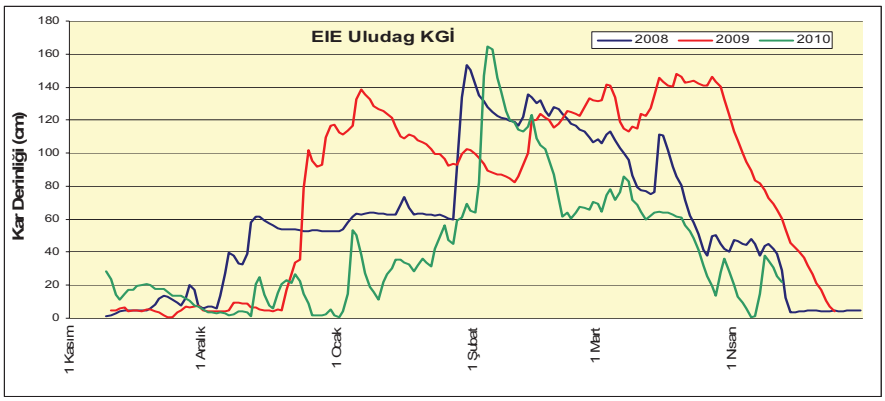
radyasyonunun kardan yansımasını ifade eden albedo, uzun dalga radyasyon ölçümleri, ve karın erime zamanı ile oranını tespit etmeye yarayan kar lizimetresi, rüzgar, nem vb parametreleri ölçen sensörler kullanılarak bu değerleri elde etmek mümkündür. Ayrıca kışın gidilmesi mümkün olmayan dağlık ve uzak noktalarda toplanan verilerin uydu, GSM ve kablo hatlarıyla çalışma merkezlerine ekonomik ve hızlı yollarla transferi sağlanabilmektedir. Elektrik İşleri Etüt İdaresi olarak 1996 yılında ODTÜ, TÜBİTAK-BİLTEN işbirliği ve NATO destekli Yukarı Karasu Havzasında Kar Erime – Akış ve Tahmin Projesi kapsamında Otomatik Kar Gözlem İstasyonları açılarak işletilmeye başlanılmıştır. Ülkemizdeki bütün Akarsu Havzaları kar potansiyeli bakımından alansal ve yükseklik kriterleri dikkate alınarak mevcut Otomatik Kar Gözlem İstasyonlarında ölçülen parametrelerin sayılarının artırılması ve yeni Otomatik Kar Gözlem İstasyonları açılması çalışmaları devam etmektedir. İşletilmekte olan Otomatik Kar Gözlem İstasyonlarına ait kar seviyeleri aşağıda (Grafik 2, Grafik 3, Grafik 4 , Grafik 5 ve Grafik 6) verilmiştir.



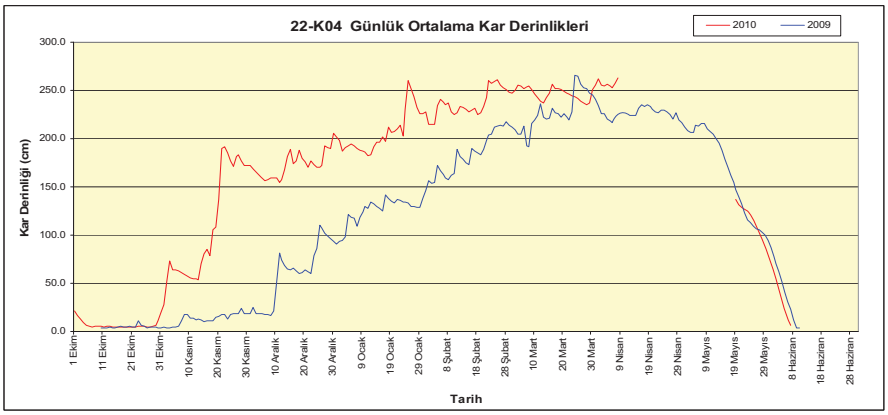
Grafik 2. Ilgaz-Dağı (1935 m.) EİE OKGİ Günlük ortalama kar seviye değerleri



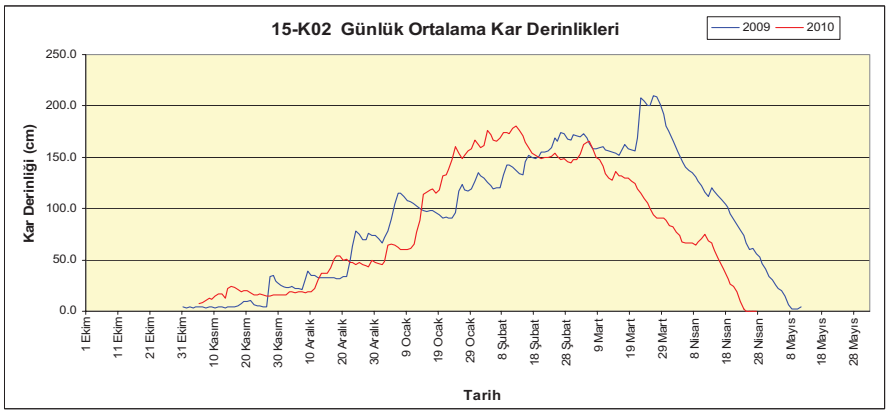
Grafik 3. Çatak (2226 m.) EİE OKGİ Günlük ortalama kar seviye değerleri



Grafik 4. Uludağ (1779 m.) EİE OKGİ Günlük ortalama kar seviye değerleri



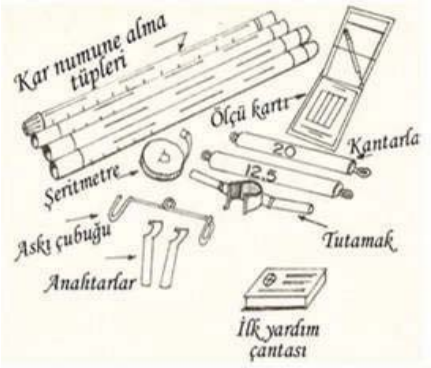
Grafik 5. Ovit –Dağı (2698 m.) EİE OKGİ Günlük ortalama kar seviye değerleri



Grafik 6 Kızıldağ (2085 m.) EİE OKGİ Günlük ortalama kar seviye değerleri

6. KAR NUMUNE ALMA TÜPLERİ İLE KAR ÖLÇÜMLERİ

Daha önceden havzada belirlenmiş olan yerlerde kar derinliği ve kar su eşdeğerinin ölçülmesi kar numune tüpleri (Mountain rose) ile yapılmaktadır. Bu tür ölçümlerde ölçüm alanının durumuna göre en az 10 noktada kar numunesi alınması gerekmektedir. Bu yerlerde ki numune sayısı ölçüm yerinin durumuna göre artırılmalıdır. Bu tüplerin iç çapları (kesici ucun) 37.7 mm dir. Bunun ekli bulunduğu borular 76 cm lik parçalardan oluşmaktadır. Tüplerin çapı ise 43 mm dir. Kesici uçdan giren karot borunun içerisine kolayca sığmaktadır. (Şekil-2, Resim 8-a,b,c,d)



Şekil 2. Kar Ölçüm

Malzemeleri

6.1. Ortalama Kar Derinliği

Kar Gözlem İstasyonunda numune alma krokisinde belirtilen noktalardan Kar Numune Alma Tüpü ile kar derinlikleri cm olarak ölçülür. Kar derinliklerinin aritmetik ortalaması ve standart sapması hesaplanarak alt ve üst limitler belirlenir. Limit dışı kalan ölçüler atılarak tekrar aritmatik ortalaması hesaplanır ve **"*Ortalama Kar Derinliği*"** bulunur.



Resim 8-a. Manuel Kar Ölçümü

6.2. Ortalama Kar Su Eşdeğeri

Kar örtüsündeki toplam suyun mm veya cm olarak tanımıdır. Hacim veya ağırlık olarak kar tabakasında bulunan suyun, kar miktarına oranının % olarak ifadesi kar-su eşdeğerini verir. Kar Terazisinin skalası kar su eşdeğerini cm ve inç olarak gösterecek şekilde ölçeklendirilmiştir. Kar Terazisi numune alma borularına göre taksimatlandırılmıştır. Terazi hem inç (1 inç = 2.54 cm) hem de cm olarak kar tüpü ile alınan kar numunesinin su eşdeğerini vermektedir. Kar numune alma tüpünün kesici ucunun çapı 37.7 mm dir. Kar numune alma tüpü $[(\pi*(3.77\div2))^2 = 11.16\ cm^2\ ]$ lik alandan kar numunesi almaktadır. Kar numune alma tüpünün



Resim 8-b. Manuel Kar Ölçümü

kesici ucunun çapı öyle ayarlanmıştır ki karotun her 11.16 gramı 10 mm lik suya veya her ons 1 inç lik yani 25.4 mm lik Kar-su eşdeğerine karşılık gelmektedir. Kar Numune Alma Tüpü boş olarak Kar Terazisi ile tartılır. Kar Gözlem İstasyonunda numune alma krokisinde belirtilen noktalardan kar numune tüpü ile numune örnekleri alınır ve tartılır. Kar terazisinden ölçtüğümüz ağırlıklar cm cinsindendir.



Resim 8-c. Manuel Kar Ölçümü

Kar Su Eşdeğeri (cm) = (Tüp + Çekirdek Ağırlığı) - Boş Tüp Ağırlığı

Formülü yardımıyla kar su eşdeğerleri bulunur ve aritmetik ortalaması hesaplanarak **"*Ortalama Kar Su Eşdeğeri*"** bulunmuş olur.

6.3. Ortalama Kar Yoğunluğu

***Yoğunluk*,** bir cismin 1 cm³ lük kütlesinin aynı hacimdeki +4 C° ki saf suya göre oranıdır. Kar tabakasının çeşidine göre 50 kg/m³ - 500 kg/m³ arasında değişen fiziksel özelliktir. Yeni yağmış karın yoğunluğu ortalama olarak %10 (100 kg/m³) varsayılabilir. Yani 100 mm'lik yeni yağmış kar kolonu 10 mm. su içerir. Kar bekledikçe yoğunluğu artar ve %50 - %60'a kadar yükselir. Yoğunluk %40 - %50 dolaylarına çıkınca kar suyu akış haline dönüşür.
Diğer taraftan kar sıkışması ile oluşan buzullarda maksimum yoğunluk %91 olarak ölçülmüştür. Kar birikmesi çok olan yerlerde ilkbahar erimeleri başlamadan önce genel olarak karın yoğunluğu %40 - %50 arasında değişir .



Resim 8-d. Manuel Kar Ölçümü

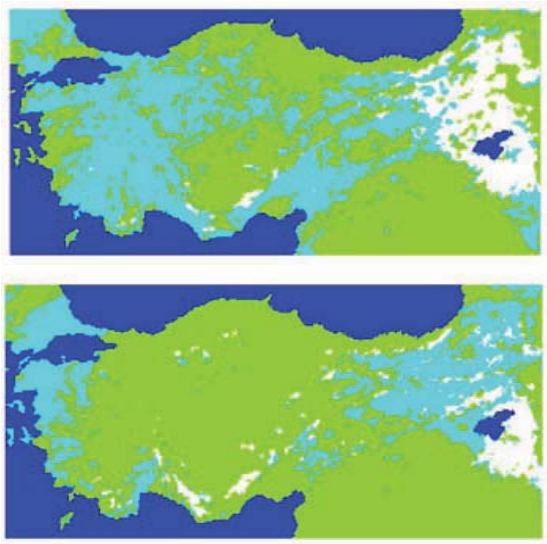
Yoğunluk (%) = Kar Su Eşdeğeri (cm) / Kar Derinliği(cm)

Formülü yardımıyla kar yoğunlukları bulunur. Aritmetik ortalaması ve standart sapması hesaplanarak alt ve üst limitler belirlenir. Limit dışı kalan ölçüler atılarak tekrar aritmatik ortalaması hesaplanır ve "*Ortalama Kar Yoğunluğu*" bulunur.

Ölçüm esnasında havzada karın başladığı yükselti (m) olarak, Kar Gözlem İstasyonunda yeni düşen kar kalınlığının cm olarak, Kar Gözlem İstasyonunda manuel olarak hava, kar üstü, kar ortası ve zemindeki sıcaklıklar °C olarak, mevcut hava koşulları, erimenin olup olmadığı, çığ belirtileri ve kar altındaki zemin hakkında bilgiler kayıt edilir (Tablo 1, Tablo 2 EİE Kar Ölçüm kartı).

6.4. Kar Örtüsünün UA Ve CBS Sistemleri İle Değerlendirilmesi

Kar çalışmalarında en zor aşama kar verilerinin güvenli bir şekilde ve kesintisiz olarak toplanmasıdır.



Resim 9. 10/12 Mart/2009 Karla kaplı

Hidrolojik döngünün önemli bir parçası olan kar, bulunduğun yerin iklim özelliklerini etkiler, termal ve radyoaktif özellikleri ile üzerinde bulunduğu toprağın ve üzerinde bulunan havanın özelliklerini değiştirir. Karla kaplı alana gelen güneş radyasyonunun %80'ini veya daha fazlası atmosfere geri dönmektedir. Bu durum, karla kaplı alanların uzaktan algılama uygulamaları ile izlenmesine olanak sağlamaktadır. Karla kaplı alanların zamansal ve mekânsal izlenmesi ilk olarak 1930'larda hava fotoğraflarıyla başlamıştır. 1972 yılında, NASA'nın NOAA uydusunun devreye girmesi, karla kaplı alanların uydu fotoğrafları ile izlenmesine olanak sağlamıştır. Yer gözlem istasyonları, ilgili alanın ancak küçük bir kısmını temsil edebilecegi için, son yıllarda Cografi Bilgi Sistemleri (CBS) ve Uzaktan Algılama (UA) gibi modern teknolojilerden faydalanılmaktadır. Karın alansal ve zamansal dagılımı göz önüne alındıgında karla kaplı alan ve kar su esdegeri bilgileri optik ve pasif mikrodalga uydu görüntüleri kullanılarak yakın gerçek zamanlı izlenebilmektedir (Resim 9). Türkiye'nin dağlık doğu bölgelerindeki kar erimesinin meydana getirdiği akımlar, bahar ve ilk yaz ayları süresince büyük bir öneme sahiptir. Bölgedeki barajların verimli bir sekilde isletilmesi hidrolojik modelleme çalısmalarındaki çesitliliğe ve akım tahmin çalısmalarındaki basarıya bağlıdır.

Farklı karmasıklık seviyelerine sahip hidrolojik modellerin uygulanmasındaki basarıyı en çok belirleyen etmenler ise modele girdi olusturan verilerin miktarı ve kalitesidir. Bu sebeple, uydu ürünleri ve yer gözlemlerinden elde edilen veriler en uygun metotlarla dağıtılarak dönemsel kar potansiyelinin belirlenmesinde, ayrıca, dağılımlı Sayısal Hava Tahmin verilerinin fiziksel hidrolojik modellere girdi sağlamasıyla, erime sürecinde kısa vadeli günlük akım tahminlerinin gerçeklestirilmesi mümkün olacaktır. Toplanan veriler (noktasal, alansal, otomatik, manuel, uydu ürünü, sayısal tahmin) ve hidrolojik modelleme çalışmaları ile su potansiyelinin tespiti ve akımların önceden tahminleri, havza ve baraj yönetimindeki karar vericiler için önemli bir araç olacak, bu da ülke ekonomisine olumlu katkı sağlayacaktır. Uydulardan elde edilen veriler mutlaka yerde yapılan mekanik ölçülerle birlikte değerlendirilmelidir.

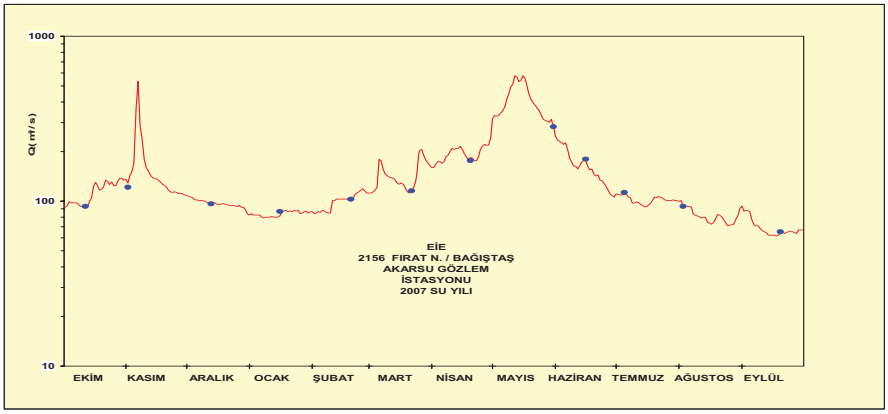
7. KAR ÖLÇÜMLERİNİN HESAPLANMASI ve DEĞERLENDİRİLMESİ

Kar ölçülerinde seçilen yerin temsili olmasının sağlanabilmesinin yanı sıra alınan numunelerin de tek değer olarak temsili duruma getirilmesi sağlanmalıdır. Bu amaçla istasyonun yerine göre alınan numunelerin derinlik ve yoğunlukları istatistik analize tabii tutulur. Bu parametreler için ayrı ayrı standart sapmalar ve ortalamalar hesap edilir. Bu hesabın yapılmasının nedeni numuneler alınırken ve tartılırken insan hatasından kaynaklanan hataların elenmesidir. İkinci nedeni ise doğal kar kütlesinden numune alınması gereklidir. Bilemediğimiz bazı noktalarda belirli aktiviteler sonucu kar kütlesinde sıkışmalar oluşabilir. Doğal koşullar nedeniyle bu hataları anlamak zor olabilir. Ancak numune sonucu elde edilen değerlerden anlaşılabilir.

Ölçü esnasındaki hava şartlarının getirdiği hatalar, ölçü aletlerinin meydana getirdiği hatalar, ölçü esnasında yapılan hatalar, numune alma cihazının dik kullanılmaması, donmuş kar tabakası üzerinde kalış, nemli zeminde fazla batırılması, numune borusu üzerinde çamur ve ot kalması, numune borusu içerisinde kar ve buz parçalarının kalması, numunenin borudan akması, çıplak elle numune almak, basılmış yerlerden numune almak, terazi ile düzgün tartmamak veya terazinin arızalı olması, okuma hataları, sıcaklık tesiri, numune borusunun tartıda yatay tutulmaması şeklinde özetlemek mümkündür.

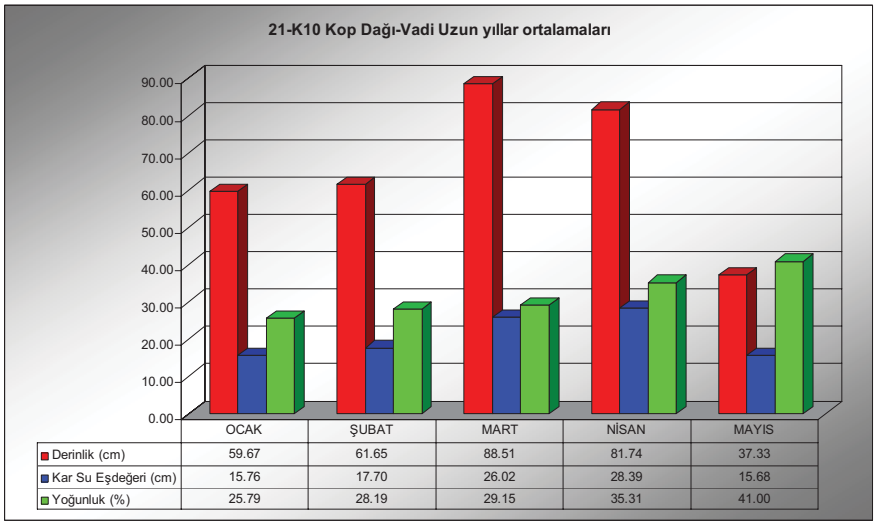
8. GENEL DEĞERLENDİRME

Akımlarının büyük bir kısmını karların erimesinin oluşturduğu havzalarda kar ölçümleri önemli bir yer tutmaktadır. Fırat havzasında oluşan akımın yaklaşık %70'i kar erimesinden meydana gelmektedir (Grafik7). Kar havzada depolanmış su olarak durmaktadır. Yağmaya başladığı andan itibaren atmosferik koşullara bağlı olarak havzada birikir. Bir kısım kar yağışları yağdığı andan kısa bir süre sonra eriyerek akışa geçer. Bazı durumlarda ise kar ilkbahar mevsimine kadar birikir ve sıcaklığın etkili olması ile erimeye başlar. Bu erime de arazinin topoğrafik yapısı önemlidir. Havzada biriken kar su eşdeğeri ölçülerek akışa geçebilecek su miktarı hesaplanır. Bunun için havzada biriken kar miktarı belirli periyotlarla ölçülerek izlenmeli ve böylece suya ilişkin yapılacak planlamalar bu değerlere göre düzenlenmelidir.

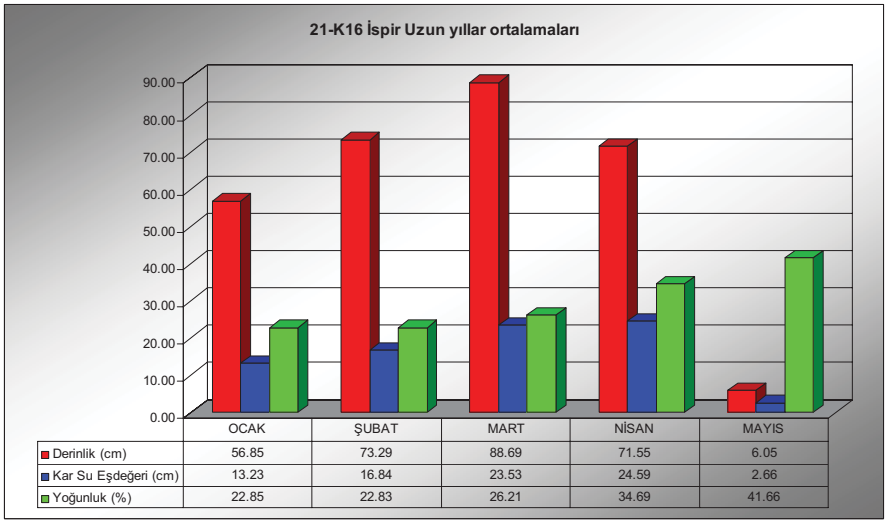


Grafik 7. 2156 Akarsu Gözlem İstasyonunun 2007 Su yılı Akım Grafiği

2400 m. kotunda bulunan ve Yukarı Fırat Havzasını temsil edebilecek nitelikteki Kop Dağı – Vadi Kar Gözlem İstasyonuna ait uzun yıllar (1971-2009), 2300 m kotunda bulunan İspir Dağı Kar gözlem İstasyonlarına ait ortalama kar derinliği (cm), ortalama karsu eşdeğeri (cm) ve ortalama yoğunluk (%) değerleri hesaplanarak Grafik 8 ve Grafik 9'da verilmiştir.Ayrıca EİE Kar gözlem İstasyonlarına ait sicil bilgileri (Tablo 3) ve uzun yıllar değerleri (Tablo 4) verilmiştir.

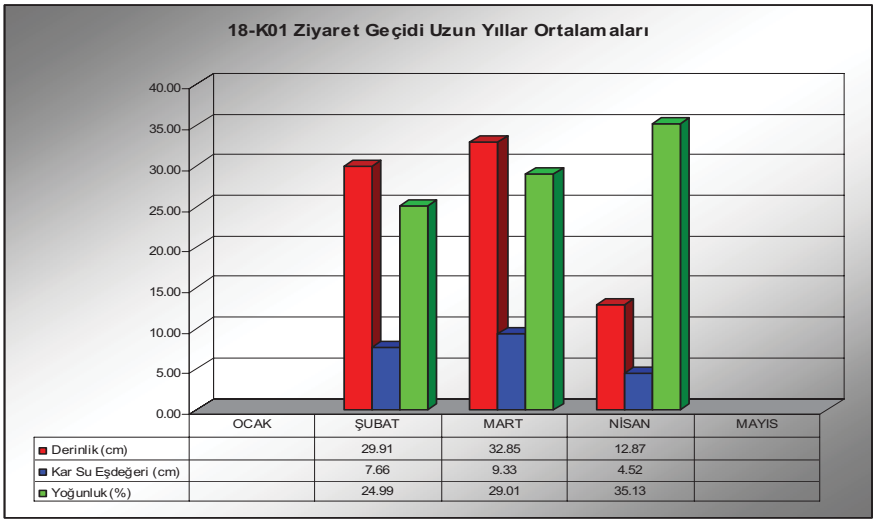


Grafik 8. 21-K10 Kop Dağı Vadi Kar Gözlem İstasyonunu Aylık Ortalamaları



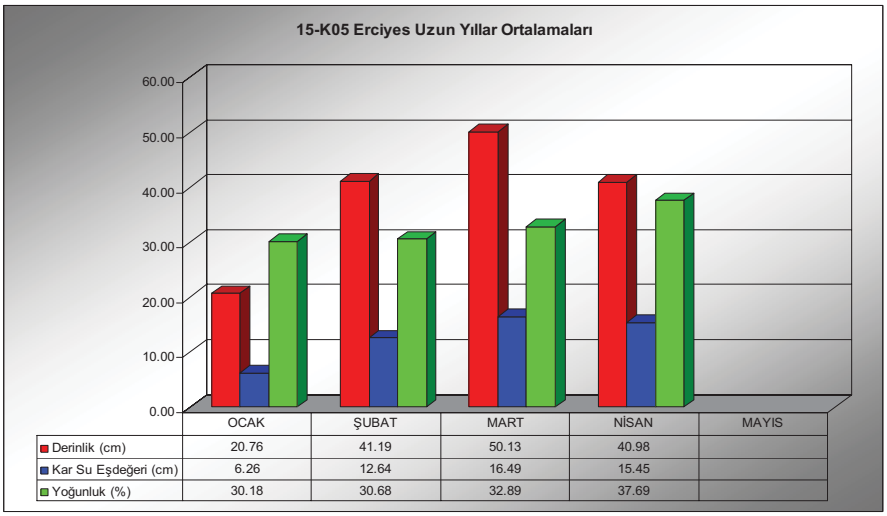
Grafik 9. 21-K16 İspir Dağı Kar Gözlem İstasyonunu Aylık Ortalamaları

2100 m. kotunda bulunan ve Seyhan Havzasını temsil edebilecek nitelikteki Ziyaret Geçidi Kar Gözlem İstasyonuna ait uzun yıllar (1969 - 2009) ortalama kar derinliği (cm), ortalama karsu eşdeğeri (cm) ve ortalama yoğunluk (%) değerleri hesaplanarak Grafik 10'de verilmiştir.



Grafik 10. 18-K01 Ziyaret Geçidi Kar Gözlem İstasyonunu Aylık Ortalamaları

Kızılırmak havzası 2135 m kotunda bulunan 15-K05 nolu Erciyes-2B Kar gözlem İstasyonuna ait uzun yıllar (1997 - 2009) ortalama kar derinliği (cm), ortalama karsu eşdeğeri (cm) ve ortalama yoğunluk (%) değerleri hesaplanarak Grafik-11 de verilmiştir.



Grafik 11. 15-K05 Erciyes Kar Gözlem İstasyonunu Aylık Ortalamaları

Tablo 1. EİE Kar Ölçüm kartı Ön yüz

ELEKTRİK İŞLERİ ETÜT İDARESİ
Genel Müdürlüğü
Hidrolik Etütler Dairesi
KAR ÖLÇÜM KARTI

Bölge	: (1)	Su Yılı	: (7)
İstasyon No - Adı	: (2)	Ölçü No	: (8)
Havza	: (3)	Hesaplayan	: (9)
Gurup	: (4)	Kontrol Eden	: (10)
Tarih	: (5)	Temize Geçen	: (11)
Ölçüm Saati	: (6)	Bitiş	: (12)

Başlangıç Röperine Mesafe	Numune No.	Kar Derinliği cm.	Çekirdek Uzunluğu cm.	Boş tüpün ağırlığı	Tüp + Çekirdek ağırlığı	Su Muhteviyatı cm.	Yoğunluk (Yüzde)	Düşünceler
(13)	(14)	(15)	(16)	(17)	(18)	(19)	(20)	(21)
Toplam		(22)					(27)	
Ortalama		(23)					(28)	
Standart Sapma		(24)					(29)	
Alt Sınır		(25)					(30)	
Üst Sınır		(26)					(31)	
SONUÇLAR								
TOPLAM		(32)				(34)	(36)	
ORTALAMA		(33)				(35)	(37)	

EİE STOK NO : 12036

Tablo 2. EİE Kar Ölçüm kartı arka yüz

ÖLÇÜ ŞARTLARI
(Mevcut şartlara uyan kısımları işaretleyiniz)

(38) **NUMUNE ALINIRKEN HAVA DURUMU**

- ☐ AÇIK
- ☐ PARÇALI BULUTLU
- ☐ TAMAMEN BULUTLU
- ☐ YAĞIŞLI
- ☐ KAR YAĞIŞLI
- ☐ RÜZGARLI
- ☐ DON YAPIYOR
- ☐ DONLAR ERİYOR

GÖZLEM İSTASYONUNDAKİ KAR DURUMU

(39) KAR NUMUNELERİ

- ☐ KOLAYLIKLA ALINDI.
- ☐ BİRAZ ZORLUKLA ALINDI.
- ☐ ÇOK ZORLUKLA ALINDI.

(40) KAR ALTINDAKİ ZEMİN

- ☐ DONMUŞ
- ☐ DONMAMIŞ
- ☐ KURU
- ☐ NEMLİ
- ☐ ISLAK (DOYMUŞ)

İSTASYON RAKIMI (41) ..... m.

ZEMİN ÜZERİNDEKİ BUZ TABAKASI KALINLIĞI (42) ..... cm.

GENEL KAR DURUMU

1- KAR HATTININ ASGARİ YÜKSELTİSİ NEDİR? (43) ..... m

2- KAR HATTININ ÜZERİNDEKİ HAVZANIN KARLA KAPLI ALANI % (44) .....

3- KUZEY VE DOĞU YAMAÇLARDAKİ KARLAR ERİYOR MU? (45) .....

4- GÜNEY VE BATI YAMAÇLARDAKİ KARLAR ERİYORMU? (46) .....

5- YENİ DÜŞEN KARIN KALINLIĞI NEDİR? (47) ..... cm

6- ÇIĞ BELİRTİLERİ VAR MI? (48) .....

(49) **GENEL AKIM ŞARTLARI**

1- ÇOK KÜÇÜK DERELERDE SU VAR MI?	EVET	☐	HAYIR	☐
2- KÜÇÜK DERELER KARLA KAPLI MI?	EVET	☐	HAYIR	☐
3- DERELER TEMİZ Mİ YOKSA BULANIK MI?	TEMİZ	☐	BULANIK	☐

DÜŞÜNCELER (50) .....

Hava Sıcaklığı (51) .....°C — Kar Ortası Sıcaklığı (53) .....°C

Kar Üstü Sıcaklığı (52) .....°C — Zemin Sıcaklığı (54) .....°C

KROKİ: (55)

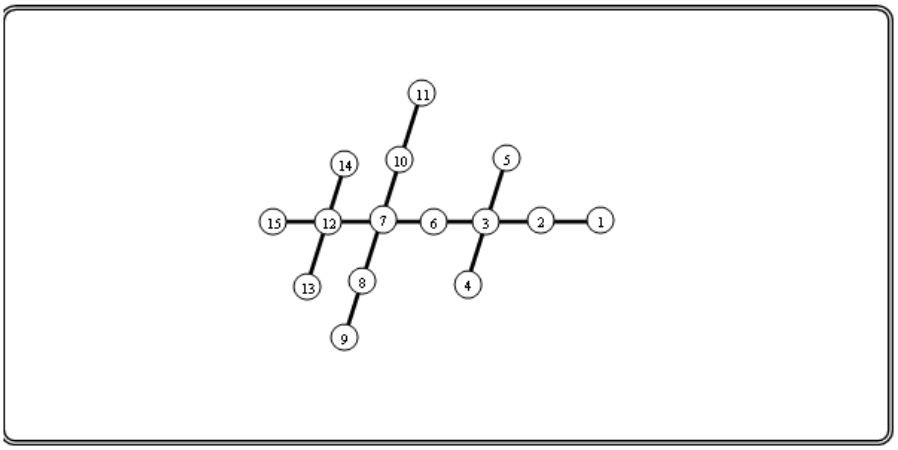
Tablo 3. EİE Kar Gözlem istasyonu sicil kartı

ELEKTRİK İŞLERİ ETÜT İDARESİ
GENEL MÜDÜRLÜĞÜ
HİDROLİK ETÜTLER DAİRE BAŞKANLIĞI
KAR GÖZLEM İSTASYON BİLGİLERİ

İSTASYONUN

AÇILIŞ TARİHİ	: 01.01.1969	KAPANIŞ TARİHİ	:
NUMARASI	: 18-K01		
ADI	: ZİYARET GEÇİDİ		
BAĞLI OLDUĞU İL	: Kayseri	İLÇESİ :	Pınarbaşı
HAVZASI	: 18 - SEYHAN HAVZASI		
HAVZA ALANI	: 20731.0 km2		
KOORDİNATI	: 36° 53' 42" D - 38° 49' 38" K	YÜKSELTİSİ :	2100 m
PAFTASI	: Elbistan - K37		
TARİFİ	: Malatya - Kayseri karayolunun Gürün'den 46 km sonra Ziyaret Geçitinin batısındaki yamaçtadır.		
BAĞLI OLDUĞU ETÜT MERKEZİ	: 1.Hidrometrik Etüt Merkezi- ELAZIĞ		
ALINAN NUMUNE ADEDİ	: 15		
NUMUNE ALMA ŞEKLİ	: Manuel		
GÖZLEM BAŞLANGIÇ TARİHİ	: 01 şubat	GÖZLEM BİTİŞ TARİHİ :	31 Mayıs
NUMUNE ALMA BAŞLANGIÇ İŞARETİ	: EİE İşaretli Kar Direği		
GÖZLEM ZAMANI ARALIKLARI	: Her Ayın İlk Haftası		
ÖLÇÜM İÇİN KULLANILAN ALETİN CİNSİ	: Mountain Rosa Numune Alma Tüpü		
GÖZLEM YERİNDE MEVCUT ÖLÇÜM TESİSLERİ	: Yok		
TESİSİN KURULUŞ TARİHİ	:		

NUMUNE ALMA KROKİSİ



Tablo 4. EİE Kar Gözlem İstasyonları uzun yıllar değerlendirme sonuçları

E İ E

18 - SEYHAN HAVZASI

18-K01 / ZİYARET GEÇİDİ

YERİ : **(36° 53' 42" D - 38° 49' 38" K) (Elbistan - K37) Malatya - Kayseri karayolunun Gürün'den 46 km sonra Ziyaret Geçitinin batısındaki yamaçtadır.**

HAVZA ALANI : 20731.0 km2 **YÜKSELTİSİ** : 2100 m

GÖZLEM SÜRESİ : 02.02.1969-04.05.2005 (37 Yıl)

UZUN SÜRELİ ORTALAMA DEĞERLER

PARAMETRELER / AYLAR	OCAK	ŞUBAT	MART	NİSAN	MAYIS
Derinlik (cm)		29.91	32.85	12.87	
Kar Su Eşdeğeri (cm)		7.66	9.33	4.52	
Yoğunluk (%)		24.99	29.01	35.13	

UZUN SÜRELİ MAX. DEĞERLER

AYLAR	PARAMETRELER	DEĞERLER	TARİH
OCAK	Derinlik (cm)		
	Kar Su Eşdeğeri (cm)		
	Yoğunluk (%)		
ŞUBAT	Derinlik (cm)	58.87	01.02.1978
	Kar Su Eşdeğeri (cm)	15.36	03.02.1982
	Yoğunluk (%)	37.79	01.02.1979
MART	Derinlik (cm)	75.57	03.03.1981
	Kar Su Eşdeğeri (cm)	19.95	01.03.1978
	Yoğunluk (%)	44.83	01.03.1978
NİSAN	Derinlik (cm)	66.21	03.04.2003
	Kar Su Eşdeğeri (cm)	23.36	03.04.2003
	Yoğunluk (%)	41.61	01.04.1980
MAYIS	Derinlik (cm)		
	Kar Su Eşdeğeri (cm)		
	Yoğunluk (%)		

9. SONUÇ ve ÖNERİLER

Küresel ısınmaya bağlı olarak yeryüzü iklim sistemlerinde değişimler meydana gelmesi bu değişimlerin zamansal ve alansal farklılıklar göstermesi sonucunda Dünyada bazı bölgelerde kuvvetli yağışlar, kasırgalar ve bunlarla ilintili sel ve taşkın gibi meteorolojik olayların siddetlerinde artış ve periyotlarında sıklıklar olurken dünyanın diğer bölgelerinde kuraklık olayları ve bununla ilintili çölleşen alanlar görülebilecektir.

Mevsimlik kar ve kalıcı kar örtüsünün kapladığı alanların azalması, karın yeryüzünde kalma süresinin kısalması, kar çığları, ani kar erimeleri ve buna bağlı taşkınlar oluşabilecektir. Kar erimesinden kaynaklanan akışın zamanlamasında ve hacmindeki değişiklikler ise su kaynaklarında ve buna bağlı olarak tarım, ulaşım ve enerji sektörlerinde etkili olacaktır.

Bu nedenle su kaynakları planlanması ve yönetiminin sağlıklı olabilmesi hidrometrik verilerin elde edildiği Hidrometri Gözlem Ağının; reorganize edilerek, Ulusal Hidrometri Gözlem Ağının oluşturulması, Ulusal Hidrometri Gözlem Ağının ana şebekesinin bir kurum tarafından işletilmesi, Ulusal Hidrometeoroloji – Hidrometri veri Bankası'nın kurulması, verilerin bilgiye dönüştürülerek bilgi yönetim merkezi oluşturulması, Su kaynakları planlaması ve yönetiminde yer alan kurum ve kuruluşlar arasında yasal eşgüdümün sağlanması gerekmektedir.

10. KAYNAKLAR

Kadioğlu M., Borhan Y., "*Güneydoğu Anadolu Kar Çığlarının Meteorolojik Analizi", I. Ulusal Hidrometeoroloji Sempozyumu (İTÜ Meteoroloji Mühendisliği), 1994.*

Gray D.M., Male D.H., *Handbook of Snow.*

Gürer İ., "*Kar Meteorunun Evrimi ve İlkbahar Taşkın Tahmininde Kullanılması", II. Ulusal Kar Hidrolojisi, 1977.*

Türksoy M., "*Çığlar", EİE Bülteni, 1992.*

Türksoy M., "*Kar Hidrolojisi Kurs Notları", EİE, 1978.*

Türksoy M., "*Doğal Afetler", TMMOB Meteoroloji Mühendisleri Odası Meteoroloji Mühendisliği Dergisi, 1-2, 1997.*

Altiatasi Z., "*Kar Hakkında Genel Bilgiler", DSİ, 1972.*

EİE İdaresi Genel Müdürlüğü, "*Kar Gözlemleri" (1966-2005), 2007.*

Şorman A., "*Türkiye'nin Yukarı Fırat Havzasında Uydu Gözlemleriyle Bulunan Karla Kaplı Alanların Hidroloji Modellemede Kullanımı ve Kar Erimesinden Oluşan Akımların Tahmin"i,* Yüksek Lisans Tezi, ODTÜ, Haziran 2005.

Tekeli A.E., "*Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemlerinin Kar Hidrolojisi Modellemesinde Entegrasyonu*", Yüksek Lisans Tezi, ODTÜ, Eylül 2000.

Doğu Anadolu Bölgesi İçin Hidrometeorolojik Tahmin Çalışmalarının Değerlendirilmesi

Şensoy A.[1], Şorman A.A.[2], Uysal G.[3], Şorman A.Ü.[4]

Özet: Türkiye'nin dağlık doğu bölümlerindeki kar erimesinin meydana getirdiği akımlar bahar ve ilkyaz ayları süresince yıllık akımın yaklaşık 2/3'ünü oluşturmaktadır. Büyük barajların yer aldığı Fırat Havzasında, kar erimesinden oluşan akımların modellenmesi, ülkenin su kaynaklarının verimli kullanılması açısından büyük önem taşımaktadır. Bu çalışmada, pilot havza olarak seçilen Yukarı Fırat Havzası (10200 km^2), 1125-3487 m arasında beş yükseklik aralığına bölünmüştür. Öncelikle gözlem verileri daha sonra da tahmin verileri toplanarak gerekli analizler yapılmıştır. Havzanın farklı yerlerinde ve yüksekliklerinde bulunan otomatik ve diğer gözlem istasyonlarından toplanan verilerin alansal dağılımları yapılmıştır. Hidrolojik modele girdi oluşturmak üzere her bir yükseklik aralığı için günlük ortalama sıcaklığın ve toplam yağışın alansal ortalaması Detrended Kriging Metodu ile hesaplanmıştır. Çalışmanın tahmin kısmında ise MM5 Mesoscale sürüm 5 (MM5) atmosferik tahmin modelinden elde edilen sıcaklık ve yağış tahmin verileri, dağılımlı gözlem değerleri ile karşılaştırılmış ve tutarlılıkları incelenmiştir. Gözlem verileri ile yapılan istatistiksel karşılaştırma esas alınarak tahmin verisinde bir düzenleme yapılarak model girdisi haline getirilmiştir. Çalışmada, uydu ürünü olan karla kaplı alan dağılımını da içeren SRM (Snowmelt Runoff Model) günlük zaman aralığında kullanılmıştır. Karla kaplı alanların tespitinde MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) görüntülerinden yararlanılmıştır. Sonuç olarak, tahmin verilerinin tutarlılığı alansal ortalamalar ile kıyaslanarak incelenmiştir. Tahmin verileri model girdisi alınarak, 2009 su yılı erime döneminin hidrolojik model uygulaması ve akımların bir gün sonrası için tahminleri yapılmıştır. Ayrıca, gözlenen ve atmosferik model çıktısı olan tahmin verileri hidrometeorolojik tahmin çalışmaları içinde kullanılarak, fiziksel hidrolojik model uygulama sonuçları değerlendirilmiş ve modelle akımların tahmin edilebilme yeteneği sorgulanmıştır.

Anahtar Sözcükler: MM5; hidrometeorolojik tahmin; hidrolojik modelleme; Yukarı Fırat Havzası

[1] Anadolu Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Eskişehir, E-Posta: asensoy@anadolu.edu.tr
[2] Anadolu Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Eskişehir, E-Posta: asorman@anadolu.edu.tr
[3] Anadolu Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Eskişehir, E-Posta: gokcenuysal@anadolu.edu.tr
[4] Orta Doğu Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Ankara, E-Posta: sorman@metu.edu.tr

Evaluation of Hydrometeorological Forecast Studies for the Eastern Turkey

Abstract: Streamflow occurring mainly due to snowmelt during spring and early summer months in the mountainous eastern part of Turkey is important as it constitutes approximately 2/3 of total annual volume of runoff**.** For this reason, modeling the runoff due to snow melting in Euphrates basin, where large reservoirs are located, forms the backbone of the forecasting studies in terms of effective management of water resources. In this study, the Upper Euphrates Basin (10200 km^2) selected as a pilot basin is divided into five elevational zones between 1125-3487 m. Firstly, observed and then numerical weather prediction data are collected and required analysis are performed. Areal distribution of observed data collected from automatic and other observation stations which are located at different locations and altitudes is done. Areal average values of daily mean temperature and daily total precipitation are calculated using detrended kriging method to be used as an input to the hydrological model. In the forecasting part of the study, temperature and precipitation values obtained from atmospheric forecast model MM5 (Mesoscale version 5) are compared with areal average observed values and their consistencies are analyzed. Based on the statistical comparison using observed data, forecast data are modified to be used as an input for the model. SRM (Snowmelt Runoff Model) that includes satellite product snow cover area is used in this study at daily time step. MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) images are used to detect snow cover areas. As a conclusion, consistencies of numerical weather prediction data are analyzed by comparing them with areal average observed values. Taking forecasted data as model input, hydrologic model application and forecasting daily discharges for one day ahead is done for melting period of 2009 water year. Furthermore, physical hydrologic model application results are evaluated and ability of runoff forecasting by the model is questioned using observed and numerical weather prediction data in hydrometeorological forecast studies.

Keywords: MM; hydrometeorological forecast; hydrological modeling; The Upper Euphrates Basin

1. GİRİŞ

Barajların işletilmesi ve taşkın kontrol çalışmaları, rezervuarlarda yağmur ve kar erimesinden gelecek olan akımların tahminine ve önceden hesaplanmasına bağlıdır. Böylece, barajların taşkından korunması, mevcut ve beklenen su miktarlarının tahmin edilmesi yoluyla barajın işletilmesi gerçekleştirilerek, hidrolik enerjinin en verimli şekilde üretilmesi ve depolama yapılarından azami ölçüde yararlanılması sağlanabilecektir.

Türkiye'nin dağlık doğu bölgelerindeki kar erimesinin meydana getirdiği akımlar, bahar ve ilkyaz ayları süresince toplam yıllık akımın yaklaşık 2/3'ünü oluşturduğu için büyük bir öneme sahiptir (Kaya, 1999). Bu nedenle, öncelikle Keban Barajı, daha sonra sırasıyla Karakaya ve Atatürk Barajı gibi büyük barajların yer aldığı Fırat Havzasında, kar erimesinden oluşan akımların miktarının ve zamanının tahmin edilmesi, ülkenin su kaynaklarının verimli bir biçimde kullanılmasını sağlamak çalışmaya ayrı bir önem

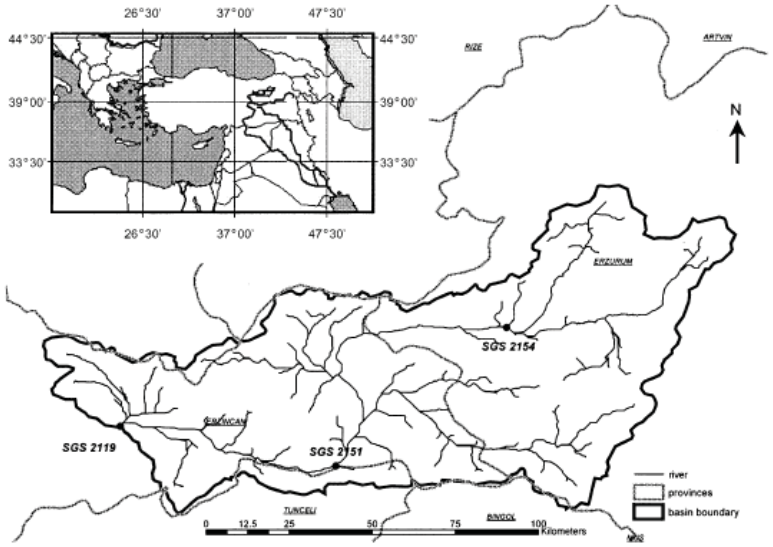
kazandırmaktadır. Bu kapsamda Yukarı Fırat Havzasını (10200 km^2) ilgilendiren bu çalışma ile, hidrolojik olaylar zincirinin; gerçek zamanlı veri akışı, uydu teknolojilerinin kullanımı ve atmosferik-hidrolojik model entegrasyonu ile, incelenmesi sağlanmıştır.

Öncelikle gözlem verileri daha sonra da tahmin verileri toplanarak gerekli analizler yapılmıştır. Havzanın farklı yer ve yüksekliklerinde yer alan otomatik ve diğer gözlem istasyonlarından toplanan verilerin alansal dağılımları yapılmıştır. Hidrolojik modele girdi oluşturmak üzere her bir yükseklik aralığı için günlük ortalama sıcaklığın ve toplam yağışın alansal dağılımı hesaplanmıştır. Çalışmanın tahmin kısmında öncelikle MM5 (Mesoscale version 5) atmosferik tahmin modelinden elde edilen sıcaklık ve yağış tahmin verileri, dağılımlı gözlem değerleri ile karşılaştırılmış ve tutarlılıkları incelenmiştir. Gözlem verileri ile yapılan istatistiksel karşılaştırma esas alınarak denklemler çıkartılmış ve 2009 yılı tahmin verilerinde bir iyileştirme yapılarak model girdisi haline getirilmiştir. İyileştirilmiş tahmin verileri (sıcaklık ve yağış) ve sıcaklığa bağlı olarak tahmin edilen karla kaplı alan yüzdesi model girdisi alınarak, hidrolojik model uygulaması ile 2009 su yılı erime döneminin akım tahminleri yapılmıştır. Çalışmada, uydu ürünü olan karla kaplı alan dağılımını da içeren SRM (Snowmelt Runoff Model) günlük zaman aralığında kullanılmıştır.

2. ÇALIŞMA ALANI

Yukarı Fırat Havzası olarak tanımlanan Karasu Havzası (**Şekil 1**) yaklaşık 10200 km^2'lik bir alana sahiptir ve yükseklik değişimi 1125-3487 m arasındadır. Havza, çıkışındaki 2119 numaralı Elektrik İşleri Etüt İdaresi (EİE) tarafından işletilen akım gözlem istasyonu ile kontrol edilmektedir. İstasyon verilerinin uzun yıllar analizi, yıllık ortalama akımların % 60-70'nin bahar ve ilkyaz aylarındaki kar erimesinden meydana geldiğini göstermektedir. Arazi örtüsü çayır, mera ve büyük ölçüde çıplak alanlardan oluşmaktadır ve hipsometrik ortalama yüksekliği 1977 m'dir. Karasu Havzası, Erzurum ve Erzincan şehirleri ile Kuzgun, Erzincan ve Tercan barajlarını içermektedir. Havza çıkışından sonra yer alan, Keban, Karakaya ve Atatürk Barajı gibi büyük barajlar havzadaki çalışmaları önemli kılmaktadır. Türkiye'nin bu büyük barajlarının, su potansiyeli ve hidroelektrik enerji açısından ulusal ekonomiye büyük katkıları olması nedeniyle etkin bir planlama ve tahmin çalışmaları ile işletilmesi önemlidir.

Kar çalışmalarında topoğrafya önemli bir rol oynamaktadır; bu sebeple yükseklik aralığı fazla olan Karasu Havzası 5 farklı yükseklik kotuna (zon) bölünmüştür. Karasu Havzası **Şekil 1'de** ve her yükseklik zonuna ait bilgiler **Çizelge 1'de** verilmiştir.



Şekil 1. Yukarı Fırat (Karasu) Havzası'nın konumu

Çizelge 1. Karasu Havzası zon bilgileri

Zon	Yükseklik Aralığı (m)	Alan (km^2)	Alan (%)	Zon Ortalama Yüksekliği (m)	Zon Ortalama Eğim (%)
A	1125-1500	1123.2	11	1352	6.1
B	1500-1900	3268.5	32	1751	11.5
C	1900-2300	3459.3	34	2097	18.1
D	2300-2900	2196.8	21	2482	21.3
E	2900-3487	167.9	2	2989	26.3
Toplam	**1125-3487**	**10248.4**	**100**	**1977**	**15.5**

3. VERİLER VE ANALİZLER

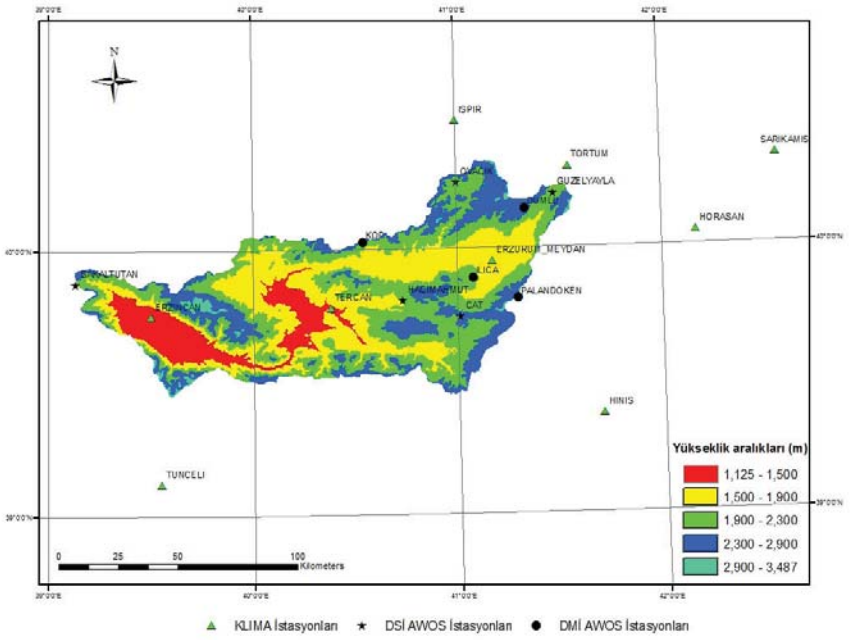
3.1. Meteorolojik Veriler

Karasu Havzasında daha önce yürütülen projeler kapsamında altyapıları oluşturulmuş ve Devlet Su İşleri (DSİ)'nin ve Devlet Meteoroloji İşleri (DMİ)'nin işbirliği ile işletilen otomatik gözlem istasyonları (AWOS) yer almaktadır. Ayrıca, DMİ tarafından işletilmekte olan iki tip istasyon bulunmaktadır. Bunlardan biri sinoptik, diğeri ise klima istasyonlarıdır. Bu veriler, hidrolojik modelleme çalışmalarında özellikle yağışın ve sıcaklık değişkenlerinin alansal dağıtımında kullanılmaktadır.

Sıcaklık ve yağış değerlerinin farklı yükseklik zonlarındaki alansal dağılımını gerçekleştirmek için; havza içinde ve civarında yer alan AWOS ile çeşitli klima istasyonlarındaki gözlem verileri kullanılmıştır. Günlük ortalama sıcaklık ve günlük toplam yağış değerlerinin her bir zon için alansal dağılımları Garen ve diğ. (1994)

tarafından geliştirilen bir programla detrended kriging metodu kullanılarak hesaplanmıştır.

Sıcaklık dağılımında kullanılan istasyonların (18 adet) konumları **Şekil 2'de** gösterilmiştir. Yağış dağılımında aynı istasyonlar kullanılmış, fakat yağış ölçeri olmayan AWOS istasyonu (4 adet) dikkate alınmamıştır.



Şekil 2. Sıcaklık ve yağış dağılımı için kullanılan istasyonlar

3.2. Karla Kaplı Alan Verileri

Yer gözlem istasyonları, ilgili alanın ancak küçük bir kısmını temsil edebileceği için, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve Uzaktan Algılama (UA) teknolojilerinden faydalanılmaktadır. Araziden nokta bazında alınan verilerinin yanı sıra, özellikle kar örtüsünün alansal ve zamansal değişimini gözleyebilmek için uydu görüntüleri kullanılmaktadır.

MODIS uydusu, 2000 yılında başlayan Terra ve 2002 yılında başlayan Aqua platformaları üzerinde, 36 dar spektral bant aralığında, 250, 500 ve 1000 metre mekansal çözünürlükte veri sağlamaktadır. Hall ve diğ. (2002) tarafından karla kaplı alanların 500 metre mekansal çözünürlükte ve günlük bazda oluşturulduğu bir algoritma geliştirilmiştir. Yeni bir uydu olmasından dolayı yakın zamandaki literatürde, MODIS uydusundan elde edilen karla kaplı alanların uygulaması konusunda bir çok makale

yayınlanmıştır, Hall ve diğ., (1998), Tekeli ve diğ. (2005a), Riggs ve diğ. (2006), Parajka ve Blöschl (2008).

Daha sonra bahsi geçecek olan kar çekilme eğrileri elde edilirken MODIS Terra uydusunun MOD10A1 karla kaplı alan ürünleri kullanılmıştır. MOD10A1 verisi 1200 km'ye 1200 km alanı taramaktadır, sinusoidal projeksiyonu sahiptir ve alansal çözünürlüğü 500 m'dir. National Snow and Ice Data Center (NSIDC)'da bulunan "NASA Distributed Active Archive Center (DAAC)" web sayfasından ücretsiz olarak sağlanabilmektedir. MODIS karla kaplı alan algoritması **Denklem (1)**'de gösterilen, "Normalize Kar İndeks Farklılığı" (Normalized Difference Snow Index, NDSI)'nı temel almaktadır.

$$NDSI = \frac{(MODIS)Bant\ 4 - (MODIS)Bant\ 6}{(MODIS)Bant\ 4 + (MODIS)Bant\ 6} \quad (1)$$

3.3 Sayısal Hava Tahmin Verileri

Sayısal hava tahmini, şu anki havanın birkaç gün sonrasına kadar olacak durumunu atmosferik modeller yardımıyla tahmin etme tekniğine verilen isimdir. DMİ, Türkiye'deki hava tahminlerini hem nitelik hem de nicelik açısından ilgili kullanıcılara sağlayan kurumdur. Türkiye, Avrupa Orta Ölçekli Hava Tahmin Merkezi (European Center for Medium Range Weather Forecasts, ECMWF) üye ülkelerinden birisidir. Dolayısıyla, Devlet Meteoroloji İşleri, 3 ile 6 saat arasında değişen ve 0.5^{o} (~45 km) yersel hücre çözünürlüğü olan orta-ölçekli hava tahmin değerlerini ECMWF'den temin ederek, bu verileri Mesoscale Model 5 (MM5) atmosferik modeline sınır koşulları olarak belirleyip çalıştırmaktadır. MM5 modeli günde dört defa çalıştırılarak (00, 06, 12, 18 UTC saatleri) 1 saat zaman aralıklarında, yersel hücre çözünürlüğü 7 km ve tahmin periyodu 48 saat olan hava tahminleri üretmektedir. Bu çalışmada kısa vadeli akım tahminlerini gerçekleştirmek üzere kullanılan hidrolojik modele en fazla 24 saat ilerisine ait meteorolojik veri girilmiştir.

Havza içine düşen her MM5 grid noktasi için 5, 12 ve 19 saatlerindeki sıcaklık değerleri **Denklem (2)**'de gösterilen formül ile noktasal ortalama sıcaklık değerlerine çevrilmiştir. Aynı şekilde konvektik ve konvektif olmayan noktasal yağış değerleri de **Denklem (3)**'te gösterilen formülle noktasal toplam yağış değerlerine çevrilmiştir.

$$T_{ortalama}\,(C^{\circ}) = \frac{T_5 + 2 \times T_{12} + T_{19}}{4} \quad (2)$$

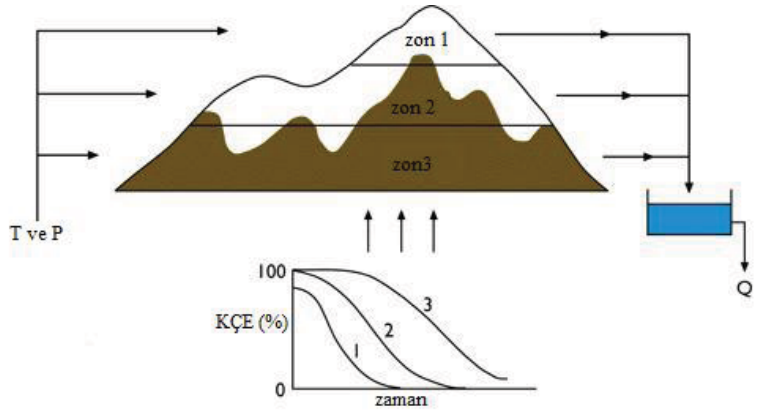
$$P_{toplam}\,(mm) = P_C + P_N \quad (3)$$

Oluşturulan noktasal MM5 günlük ortalama sıcaklık ve toplam yağış tahmin verileri CBS ortamında Ters Mesafe Ağırlıklı Enterpolasyon Tekniği (Inverse Distance Weighting, IDW) metodu ile yükseklik zonlarına dağıtılmıştır.

4. SRM HİDROLOJİK MODELİ

Su kaynaklarına katkıda bulunan su hacimlerinin ve katkı zamanlarının belirlenebilmesi için olayın fiziksel yönlerini ifade edebilecek hidrolojik modellere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu çalışmada kullanılan hidrolojik model dağlık alanlarda derece-gün yöntemini kullanarak yağış/kar erimesi-akış ilişkisini kuran SRM (Snowmelt Runoff Model), (Martinec, 1975; Martinec ve diğ., 1998) kavramsal modelidir. SRM dünya literatüründe kabul gören ve yüzden fazla havza üzerinde uygulanmış modellerden biridir (WMO, 1986; Seidel ve Martinec, 2004).

Hidrolojik modelleme çalışmalarında kullanılan SRM için model girdi değişkenleri, her bir zondaki günlük toplam yağış, ortalama sıcaklık ve kar çekilme eğrileridir. Ayrıca, model parametreleri olarak, kritik sıcaklık, yağış ve kar erime akım katsayıları, derece-gün katsayısı, akım çekilme katsayısı yer almaktadır. SRM modelinin genel uygulaması **Şekil 3'te** verilmiştir. SRM diğer kalibrasyon modellerinin yanı sıra kullanıcılarına erime sezonunda değişik zamanlarda kullanılan değerleri tekrar gözden geçirme fırsatı vermektedir (Ferguson, 1999). Ferguson, SRM'i kalibrasyon ve fiziksel arası bir model olarak tanımlamaktadır. SRM kavramsal bir model olduğundan, sağlanan girdilerin çeşitli matematiksel denklemlerden geçerek ürettikleri çıktıların arazide ölçülen değerlerle tutarlı olması için modelin içinde bulunan bazı parametrelerin düzenlenmesi gerekmektedir.



Şekil 3. SRM modelinin genel uygulaması

SRM'in temel denklemi **Denklem (4)**'te verilmiştir.

$$Q_{n+1} = [C_{Sn} a_n (T_n + \Delta T_n) S_n + c_{Rn} P_n] \frac{A \times 10\,000}{86\,400} (1 - k_{n+1}) + Q_n k_{n+1} \qquad (4)$$

n : gün sayısı
Q : havza akımı

T : sıcaklık dağılımı
P : yağmur şeklinde düşen yağış dağılımı
S : karla kaplı alan oranı
A : bölgenin alanı
k_{n+1}: çekilme katsayısı
a : derece-gün faktörü
C_S : kar erimesi için doğrulama faktörü
C_R : yağmur için doğrulama faktörü

SRM hidrolojik modeli, 2009 erime sezonunun gerçek zamanlı akım tahmini çalışmasını gösterebilmek amacıyla kullanılmıştır. Model önceki yıllarda akım simülasyonu yapmak için kullanılmış, model parametrelerinin değerlerinin ya da fiziksel aralıklarının belirlenmesi sağlanmıştır. Akımların günlük tahmini çalışmasında ise model değişkenlerinin bir gün sonrası için tahmin değerleri bulunarak kullanılmıştır. Model parametreleri ise önceki yıllarda bulunan model parametreleri arasından seçilmiştir.

5. SAYISAL HAVA TAHMİN VERİLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Hidrolojik modelleme çalışmalarında Karasu Havzası ve civarında bulunan klima ve güncellenerek geliştirilen otomatik yer gözlem istasyonlarından alınan sıcaklık ve yağış verileri kullanılmıştır. İstasyon nokta verileri Detrended Kriging (DK) algoritması kullanılarak havzanın daha önce bahsedilen beş yükseklik zonuna dağıtılmıştır.

Atmosferik-hidrolojik model entegrasyonu yapılmadan önce, tahmin verilerinin yer gözlem istasyonlarıyla karşılaştırılması gerekmektedir, çünkü MM5 modeli sayısal hava tahmin verilerini üretirken belirli altlıklar kullanmaktadır. Bu altlıklardan ikisi, arazi kullanım haritası ile yükseklik bilgileridir. Arazinin dağlık olduğu ve yüksekliklerin çok değişkenlik gösterdiği havzada, MM5 modeli, sayısal hava tahmin verilerini hücresel bazda oluştururken kaba bir yükseklik altlığı kullanmaktadır. Dolayısıyla, sayısal hava tahmin verilerinin, yer ölçüm istasyonlarından kaydedilen değerlerle ilişkileri gözden geçirilerek, gerekirse hidrolojik modele girilmeden önce ayarlamalar yapılmaktadır.

Bu çalışmada, 2009 su yılının erime dönemi için akım tahminleri yapıldığı için, 2008 yılı tahmin verilerinin yer gözlemleri ile verdiği ilişkiler gözönüne alınarak uygulama yapılan dönem için tahmin verilerinde iyileştirme yapılmıştır. Karşılaştırmalar ve ilişkiler noktasal olarak değil alansal ortalamalar bazında yapılmıştır.

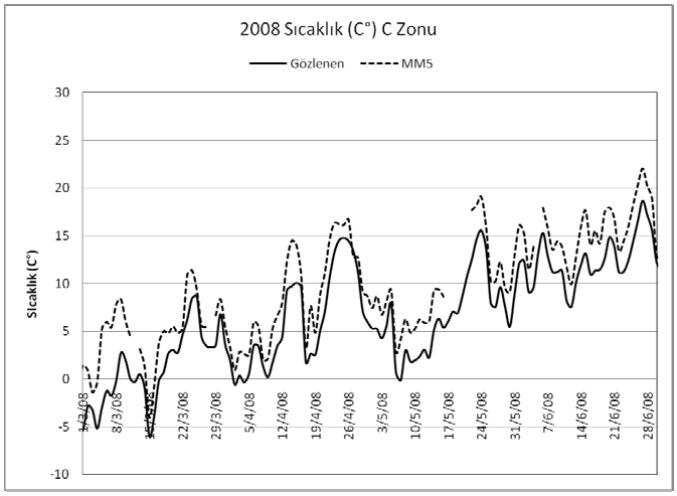
5.1. Yer Gözlem ve MM5 Değerlerinin Karşılaştırılması

Her bir yükseklik zonu için Bölüm 3.3'de belirtildiği şekilde alansal dağılımları yapılmış yer gözlem ve MM5 tahmin değerleri Mart-Haziran 2008 tarihlerinde kıyaslanmıştır. Grafiksel gösterimler için C zonu seçilerek **Şekil 4'te** sıcaklık değerlerinin zaman serisi, **Şekil 5'te** de yağış değerlerinin zaman serisi çizdirilerek kıyaslanmıştır.

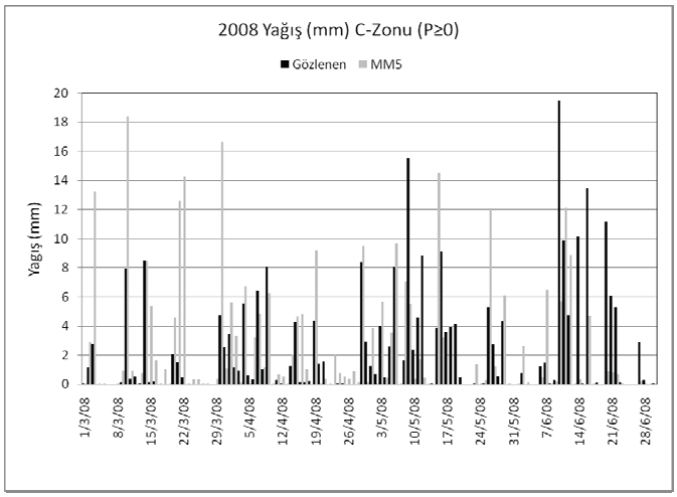
Ayrıca; yağış tutarlılığına bir başka açıdan bakmak için yağış değerlerinin kümülatif olarak kıyaslanması **Şekil 6'da** yapılmıştır.

Şekil 4'te görüldüğü gibi gözlenen ve MM5 sıcaklık değerleri zaman serileri aralarında farklar bulunmaktadır. A zonu hariç tahmin değerlerinin gözlenen değerlerden yüksek olduğu gözlenmiştir. B zonundan E zonuna çıkıldıkça tahmin ve gözlenen değerler arası sıcaklık farkları artmaktadır.

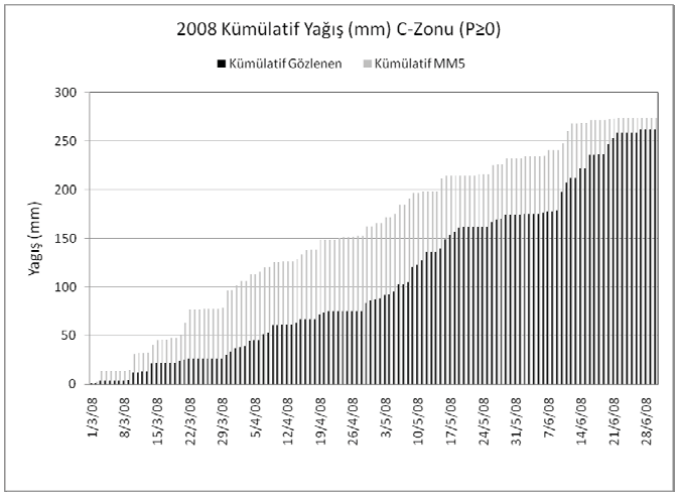
Aynı şekilde, **Şekil 5'te** C zonu için MM5 tahmin yağış değerleri genelde gözlenen değerlerin üzerinde çıkmaktadır. Diğer zonlarda da bu durum nispeten böyle devam etmektedir. Bu farkların tespit edilebilmesi için her yükseklik zonu için tahmin ve gözlenen değerler arası doğrusal ilişkilerin aylık olarak kurulmasına ve bu ilişkilerin determinasyon katsayılarının tespit edilmesine ihtiyaç duyulmuştur.



Şekil 4. C Zonu için alansal dağıtılmış gözlenen ve MM5 sıcaklık değerleri (Mart-Haziran 2008)



Şekil 5. C Zonu için alansal dağıtılmış gözlenen ve MM5 yağış değerleri (Mart-Haziran 2008)



Şekil 6. C Zonu için alansal dağıtılmış gözlenen ve MM5 kümülatif yağış değerleri (Mart-Haziran 2008)

Hem sıcaklık hem de yağış değerlerinin karşılaştırılmasında **Denklem (5)**'te verilen korelasyon katsayısının karesi olan determinasyon katsayısı (R^2) kullanılmıştır. R^2 parametresi değişkenlerden birinin değişiminin ne kadarının diğer değişkenle olan doğrusal bağıntısı ile açıklanabileceğinin gösterir. Bu değer 0.0 ile 1.0 arasında değişmektedir. Determinasyon katsayısının 1 olması durumunda değerler arası tam uyum gözlenmektedir.

$$r_{xy} = \frac{\sum(x-\bar{x})(y-\bar{y})}{\sqrt{\sum(x-\bar{x})^2 \sum(y-\bar{y})^2}} \qquad (5)$$

2008 Mart-Haziran arası sıcaklık sıcaklık ve yağış değerlerinin determinasyon katsayıları sırasıyla **Çizelge 2'de** ve **Çizelge 3'te** verilmiştir.

Çizelge 2. Sıcaklık (MM5-Gözlenen) determinasyon katsayıları

Aylar	A Zonu	B Zonu	C Zonu	D Zonu	E Zonu
Mar 08	0.42	0.59	0.71	0.84	0.92
Nis 08	0.94	0.94	0.94	0.94	0.91
May 08	0.95	0.96	0.96	0.96	0.95
Haz 08	0.87	0.90	0.91	0.92	0.92

Çizelge 3. Yağış (MM5-Gözlenen) determinasyon katsayıları

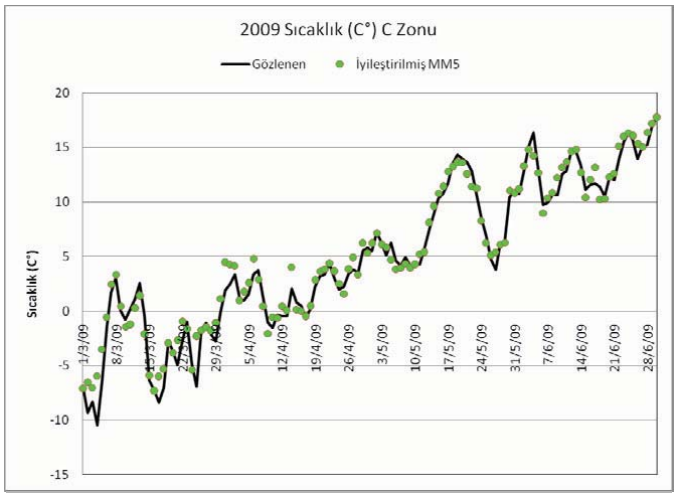
Aylar	A Zonu	B Zonu	C Zonu	D Zonu	E Zonu
Mar 08	0.45	0.46	0.48	0.48	0.52
Nis 08	0.42	0.62	0.65	0.60	0.21
May 08	0.51	0.22	0.14	0.06	0.08
Haz 08	0.90	0.51	0.25	0.14	0.06

5.2 Yer Gözlem ve İyileştirilmiş MM5 Değerlerinin Karşılaştırılması

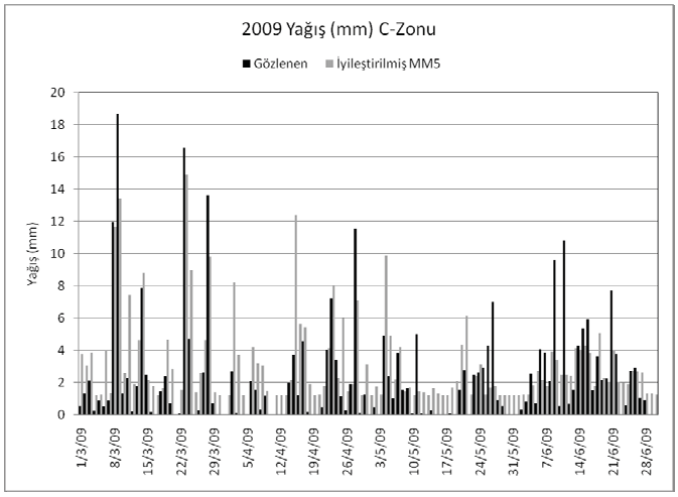
Akım tahmin modeline girdi olmak üzere ihtiyaç duyulan 2009 yılı sayısal tahmin verileri; 2008 yılında gözlenen aylık ilişkiler (Mart-Haziran) göz önünde bulundurularak iyileştirilmiştir. 2009 yılı için yapılan iyileştirmeler; 2008 yılı aylık kurulan doğrusal ilişkilerin denklemlerinin ortamalarının düzenlenerek tahmin verilerinde kullanılması ile sağlanmıştır. Bu şekilde; 2009 yılı sıcaklık ve yağış model denklemleri oluşturulmuştur. Öte yandan bir önceki seneden (2008) faydalanarak oluşturulan model denklemlerinin 2009 yılında kullanılması sırasında, iyileştirilmiş tahmin verilerinin gözlem değerleri ile ne kadar tutarlı olduklarının da incelenmesi gerekmektedir. Bu nedenle her yükseklik zonu için iyileştirilmiş ve gözlenen sıcaklık ve yağış değerleri zaman serileri oluşturulmuştur.

2009 yılı erime periyodunda, her bir yükseklik zonu için alansal dağılımları yapılmış yer gözlem ve iyileşitirilmiş MM5 tahmin değeri Mart-Haziran tarihleri arasıda kıyaslanmıştır. Grafiksel gösterimler için C zonu seçilerek **Şekil 7'de** sıcaklık değerlerinin zaman serisi, **Şekil 8'de** de yağış değerlerinin zaman serisi çizdirilerek kıyaslanmıştır. Uygulanan iyileştirme neticesinde zaman serisine baktığımızda sıcaklık ve yağış değerlerinde gözlenen değerlere yaklaşımın arttığı görülmektedir.

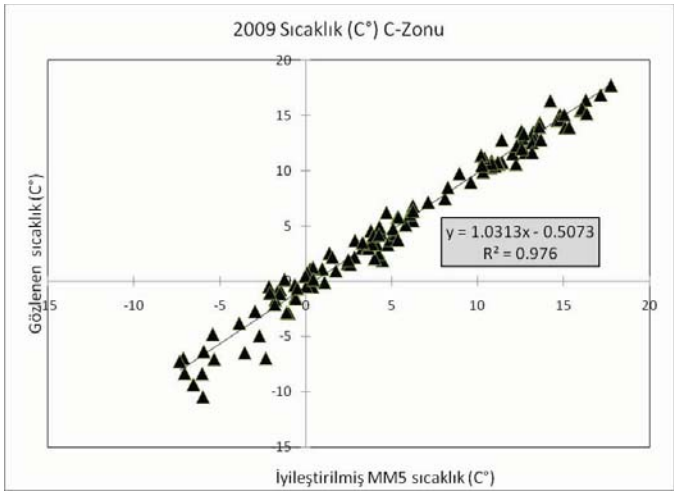
Her yükseklik zonu için iyileştirilmiş ve gözlenen sıcaklık ve yağış değerleri için determinasyon katsayılarına bakılarak iyileştirmenin katkısı sorgulanmıştır. **Şekil 9'da** ve **Şekil 10'da** C zonu örneğinde sıcaklık ve yağış değerleri için regresyon doğruları çizilmiş ve R^2'leri hesaplanmıştır. Bu hesaplar her bir zon için tekrarlanmıştır.



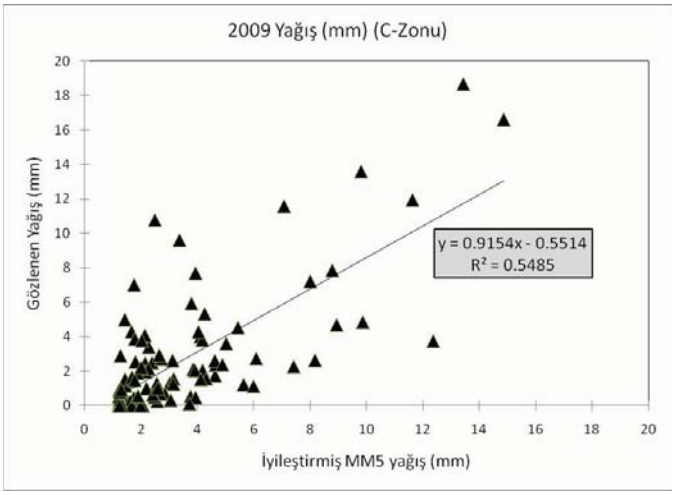
Şekil 7. C Zonu için alansal dağıtılmış gözlenen ve MM5 iyileştirilmiş sıcaklık değerleri (Mart-Haziran 2009)



Şekil 8. C Zonu için alansal dağıtılmış gözlenen ve MM5 iyileştirilmiş yağış değerleri (Mart-Haziran 2009)



Şekil 9. C Zonu için alansal dağıtılmış gözlenen ve MM5 iyileştirilmiş sıcaklık değerleri regresyon analizi (Mart-Haziran 2009)



Şekil 10. C Zonu için alansal dağıtılmış gözlenen ve MM5 iyileştirilmiş yağış değerleri regresyon analizi (Mart-Haziran 2009)

Her bir zon için, 2009 erime periyodundaki; gözlenen, MM5 ve iyileştirilmiş MM5 ortalama sıcaklık ve toplam yağışın değerleri sırası ile **Çizelge 5** ve **Çizelge 6**'da verilmiştir.

Çizelge 5. 2009 Ortalama sıcaklık (C°) özet tablosu (Mart-Haziran)

Ort.Sıcaklık (C°)	Gözlenen değerler	MM5	İyileştirilmiş MM5
A-Zonu	11.04	10.65	11.09
B-Zonu	7.81	9.21	8.01
C-Zonu	4.98	8.24	5.32
D-Zonu	1.81	7.53	2.25
E-Zonu	-1.82	7.03	-1.19

Çizelge 6. 2009 Toplam yağış (mm) özet tablosu (Mart-Haziran)

Toplam Yağış (mm)	Gözlenen değerler	MM5	İyileştirilmiş MM5
A-Zonu	233.11	295.64	254.01
B-Zonu	220.68	381.15	289.61
C-Zonu	274.76	423.41	371.24
D-Zonu	345.20	457.91	467.28
E-Zonu	508.62	567.06	590.54

6. KAR ÇEKİLME EĞRİLERİNİN TAHMİNİ

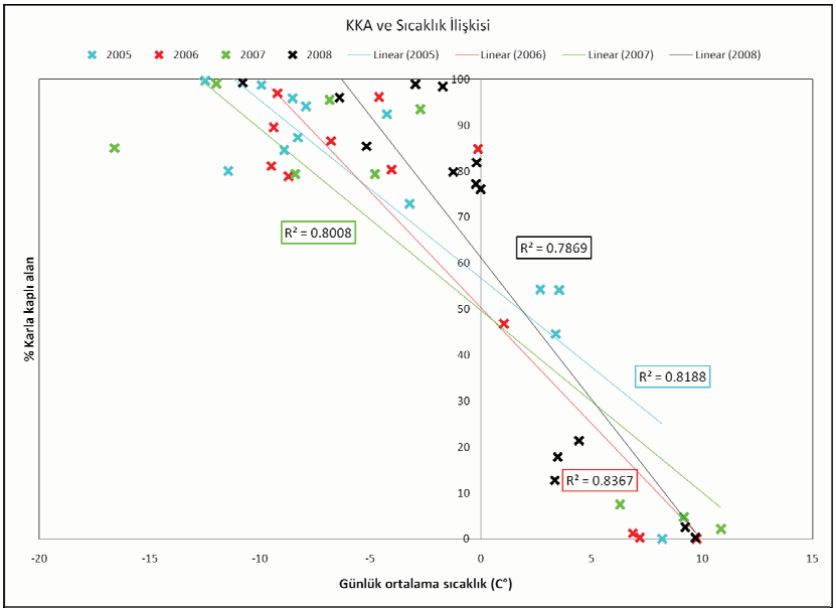
SRM modelinin diğer bir girdisi ise kar çekilme eğrileridir. MODIS uydu görüntülerinden yükseklik zonları bazında elde edilen kar çekilme eğrileri modele girdi olarak verilmektedir. MODIS görüntülerinde Terra günlük karla kapla alan ürünleri kullanılmıştır, ancak, bulutluluk oranlarının modelleme çalışmalarını çok fazla etkilememesi için tüm havzada bulut oranı %25'in altında olan günlerin görüntüleri seçilmiştir.

Çalışmanın tahmin kısmında karla kaplı alanların bir gün sonrası için her bir yükseklik zonunda tahmin edilmesi gerekmektedir. Bu konuda model yaratıcılarının literatürde yaptıkları çalışmalarda (Rango, 1998) gözlenen kar su eşdeğerine göre önceki yılların geliştirilerek elde edilmiş karla kaplı alan haritalarından yararlandıkları görülmüştür. Ancak burada sunulan tahmin çalışmalarında karla kaplı alanların günlük ortalama sıcaklıklarla doğrusal ilişkisi göz önüne alınmıştır.

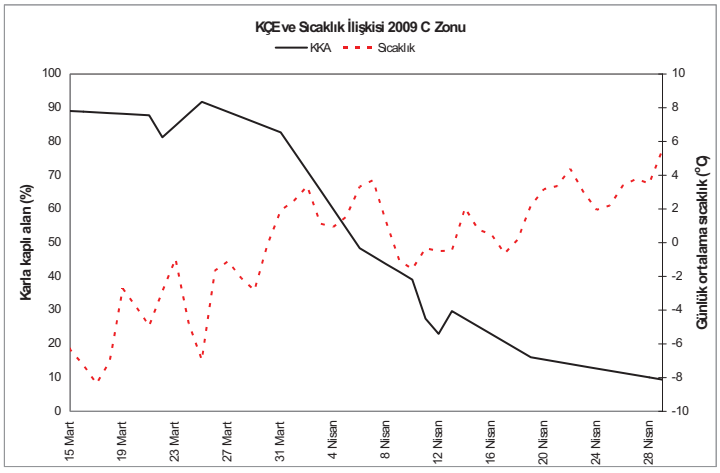
Sıcaklık artışı ile havza içerisindeki kar çizgisi alt kotlardan üst kotlara doğru çekilmektedir. Bu nedenle KKA ile günlük ortalama sıcaklık arasında bir ilişkinin varlığından söz edilebilir. Nitekim, daha önce yapılan çalışmalarda KKA ile sıcaklık arasında farklı yöntemlerle ilişkiler bulunmuştur. Örneğin literatürde; KKA ile kümülatif ortalama hava sıcaklıklığının eksponansiyel ilişkisi (Singh, 2003; Tekeli ve diğ., 2005b), KKA ile aylık ortalama sıcaklık arası lineer ilişkisi (Tong ve diğ., 2009) üzerine çalışmalar mevcuttur.

Bu çalışmada, **Şekil 11'de** C zonu örneğinde görüldüğü gibi 2005-2008 yılları arası KKA ile günlük ortalama sıcaklığın doğrusal ilişkisi her bir yükseklik zonu için sorgulanarak bir gün sonraya ait KKA tahmini iyileştirilmiş MM5 ortalama sıcaklık değerleri kullanılarak 2009 yılı için model girdisi olacak şekilde tespit edilmiştir. Ayrıca 2009 için KKA erime periyodunda zamana bağlı sıcaklık artışının kar erimesine olan etkisi **Şekil 12'de** gösterilmiştir.

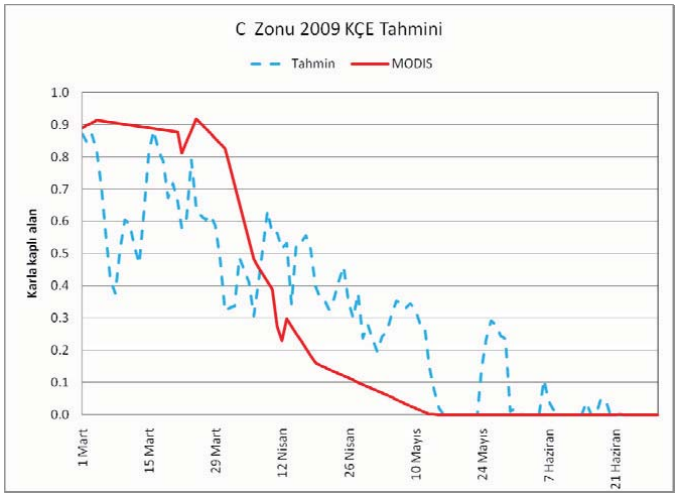
KKA ve ortalama sıcaklıktan çıkarılan ilişkiler (2005-2008) doğrultusunda her bir yükseklik zonu için oluşturulan denklem parametreleri ile 2009 yılı için iyileştirilmiş MM5 günlük ortalama sıcaklık değerleri kullanılarak KKA tahmini yapılmıştır. 2009'da MODIS görüntülerinden çıkarılan açık günler (%25'den az bulut olan) için hesaplanan kar çekilme eğrisileri ile sıcaklık ilişkileri ile hesaplanan kar çekilme eğrileri kıyaslanarak tutarlılıkları incelenmiştir. **Şekil 13'te** de 2009 C zonu için aynı grafikte çizdirilen tahmin ve uydu görüntüsü kar çekilme eğrileri görülmektedir.



Şekil 11. KKA ve sıcaklık ilişkisi (C zonu)



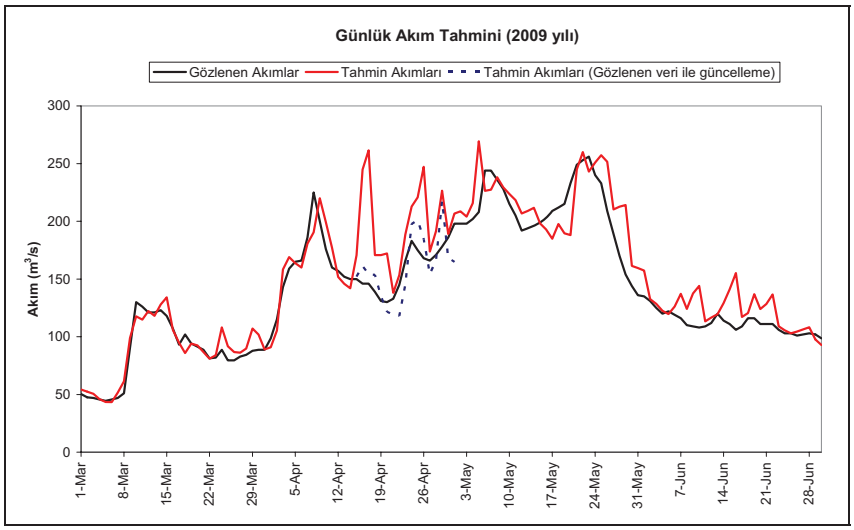
Şekil 12. KKA ve sıcaklık ilişkisi (C zonu)



Şekil 13. 2009 yılı için KKA tahmini (C Zonu)

7. SONUÇLAR ve DEĞERLENDİRME

Yukarı Fırat Havzası (Karasu Havzası) için (geriye dönük de olsa) tam olarak gerçek zamanlı koşullar gözönüne alınarak bir tahmin çalışması yapılmış ve bir gün sonraki akım değerleri SRM modeli kullanılarak tahmin edilmiştir. SRM ile yapılan akım tahmini çalışmasında, model değişkenleri olarak bir gün sonrasına ait iyileştirilmiş MM5 günlük ortalama sıcaklık ve günlük toplam yağış değerleri zonların alansal ortalamalarını temsil edecek şekilde kullanılmıştır. Ayrıca, bir gün sonrasına ait tahmini karla kaplı alan yüzdesi bir önceki bölümde aktarıldığı gibi hesaplanarak kullanılmıştır. Model parametreleri ise önceki yılların akım simülasyonları sırasında elde edilen parametre aralıklarından seçilmiştir. Modelin tahmin modülü ile kullanılması sırasında en büyük iyileşme 1-9 gün öncesinde gözlenen akım değerlerinin modele girilebilmesi ile mümkün olmaktadır. Bu tahmin çalışması, akımların üç gün öncesinde gözlenerek programa sağlanabilmesi esas alınarak yapılmıştır. 2009 yılı erime dönemi süresince yapılan tahmin değerlerinin gözlenen akım değerleri ile ilişkisi **Şekil 14'te** sunulmaktadır. İstatistiksel değerlendirme sonucunda gözlenen ve tahmin edilen akımların hacimsel farkının -7.56% (tahmin fazla) ve determinasyon katsayısının 0.79 olduğu görülmektedir.



Şekil 14. 2009 yılı için akım tahmini

Akım tahmini çalışmalarının en önemli kısımlarından biri tahmin verilerinin yer gözlemleri ile tutarlı olmasıdır. Bu nedenle, tahmin verilerinin geçmiş yıllarda yer gözlemleri ile kıyaslanması ve sonuçlar doğrultusunda iyileştirilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada, MM5 sıcaklık ve yağışı içeren meteorolojik tahmin verileri ilk aşamada 2008 yılı erime periyodundaki yer gözlem verileri ile kıyaslanmıştır.Verilerin aylık olarak (Mart-Haziran baz alınarak) incelenmiş aralarındaki doğrusal ilişkiden yola çıkılarak denklemler oluşturulmuştur. Bu kısımda elde edilen denklemler, tahmin yapılan 2009 erime periyodunda MM5 verilerinin iyileştirilmesinde kullanılmıştır. Uygulanan denklemlerinin geçerlilikleri de iyileştirilmiş tahmin verilerinin daha sonra gözlenen verilerle kıyaslanması ile sorgulanmıştır. Ayrıca, karla kaplı alanların yüzdesel tahmini için önceki yıllarda karla kaplı alan ve sıcaklık ilişkilerinden elde edilen denklemler kullanılmıştır.

Sayısal hava tahminlerinin sıcaklık değerlerindeki tutarlılığı yüksek olmakla birlikte yağışda zaman zaman farkların oluştuğu dikkati çekmektedir. 2008 yılındaki yağış tahmini ile gözlenen arasındaki doğrusal ilişkilerde determinasyon katsayılarının görece düşük olması da bunun bir işaretidir. Karla kaplı alan yüzdesinin tahmini ise çalışmanın en çok iyileşmeye açık kısmı olarak görülmektedir. Bu çalışmada sıcaklık ilişkisine göre tahminler yapılmıştır. **Şekil 14** incelendiğinde en çok tutarsızlıkların, yağış ve karla kaplı alan tahminlerinin gözlenenden daha fazla olduğu Nisan ayının ikinci yarısında olduğu görülebilmektedir. 15-30 Nisan 2009 tarihleri arasıda gözlenen yağışların C zonu için alansal ortalamalarının toplamı 4.10 cm iken, bu değerin MM5 karşılığı 8.41 cm'dir. İyileştirilmiş MM5 değerleri için bu dönemdeki toplam yağış 6.47 cm olarak hesaplanmıştır ve yine de gözlenmiş değerlerden çok yüksek olduğu dikkat çekmektedir. Bu uygulama sırasında model girdisi olarak gözlenen akımların (üç gün öncesinden) güncellenmesi sağlanmıştır, ancak tahmin akımlarının grafikte görsel olarak izlenebilmesi için diğer gözlem verileri (yağış, sıcaklık ve KKA) güncellenmeden doğrudan tahmin verisi olarak kullanılmıştır. Nisan ayındaki sapmaların giderilmesinin bir diğer yolu gözlem değerlerinin geriye dönük olarak

modele güncellenerek girilmesidir. **Şekil 14'te** 15-30 Nisan tarihleri arasındaki mavi kesik çizgili kısım tahmini model değişkenlerinin gözlem verileri ile güncellenmesi halinde meydana gelecek iyileşmeyi göstermektedir.

Yıllar bazında havzada gözlenen kar çekilme eğrilerinin analizi sonucunda hesaplanan erime oranları tahmin çalışmasına bir başka boyut getirebileceği gibi, farklı uydu görüntülerinin kullanılması ile bir gün öncesinin karla kaplı alanlarının kullanılması da uygun olabilecektir. **Şekil 11'de** gösterilen ilişkilerin tek bir denklemle değil de birkaç parçalı denklemle ele alınması da tahmini KKA'ların düzelmesine katkıda bulunabilir. Özellikle tahmini yağış değerlerinin gözlem değerleri ile tutarlı hale getirilmesi için değişiklikler yapılabilir. Bu çalışmada, model parametreleri için önceki yıllarda kullanılan parametrelerin ortalamaları alınmıştır, diğer bir yaklaşım ise tahmin edilecek yıla uygun (ıslak, kuru) model parametrelerinin seçimi olacaktır. Akım gözlemlerinin üç gün öncesinden yenilenebileceği varsayımı ise iyileştirilerek bir gün öncesine kadar çekilebilir. Akımın günlük ve dönemsel tahmini yönündeki çalışmalar bu bölgedeki barajların işletimi için önem taşımaktadır. Bu anlamda ilk aşamada elde edilen bu çalışma sonuçları başarılı ve iyileşmeye açık olarak nitelendirilebilir.

7. TEŞEKKÜR

Bu çalışma, BAP 070212 ve TÜBİTAK 108Y161 numaralı projeler kapsamında Anadolu Üniversitesi ve TÜBİTAK tarafından desteklenerek yapılmıştır. Projelerde görev alarak ve almayarak destek olan DMİ ve DSİ personeline teşekkürü bir borç biliriz. Ayrıca, çalışmadaki katkılarından dolayı Koray Sağlam'a da teşekkür ederiz.

8. KAYNAKLAR

Ferguson RI, "Snowmelt Runoff Models" Progress in Physical Geography", 23: 205 227, 1999.

Garen DC, Gregory LJ, Clayton LH, "Mean areal precipitation for daily hydrologic modeling in mountainous regions", Water Resour. Bull. 30(3), 481-491, 1994.

Hall DK, Foster JL, Verbyla DL, Klein AG, ve Benson CS, "Assessment of snow-cover mapping accuracy in a variety of vegetation-cover densities in central Alaska", Remote Sensing of Environment, 66(2), 129-137, 1998.

Hall DK, Riggs GA, Salomonson VV, Digirolamo NE, Bayr KJ, "MODIS snow cover products", Remote Sensing of Environment, 83, 181-194, 2002.

Kaya I, "Application of snowmelt runoff model using remote sensing and geographic information systems", Master of Science Thesis, Water resource laboratory, Civil Engineering Department, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Middle East Technical University, Turkey, 1999.

Martinec J, "Snowmelt Runoff Model for Streamflow Forecasts", Nordic Hydrology, 6, 145 – 154, 1975.

Martinec J, Rango A, Roberts R, Snowmelt Runoff Model (SRM) User's Manual (ed. by M. F. Baumgartner & G. M. Apfl), University of Berne, Switzerland, 1998.

Riggs GA, Hall DK, ve Salomonson VV, "MODIS snow products user guide for collection 5 data product", http:// modis-snow-ice.gsfc.nasa.gov/sug main.html, 2010.

Rango A, "Progress in Developing an Operational Snowmelt-Runoff Forecast Model with Remote Sensing Input", Nordic Hydrology, 19: 65-76, 1988.

Parajka J, Blöschl G, "Spatio-temporal combination of MODIS images-potential for snow cover mapping", Water Resour. Res., 44, W03406, doi:10.1029/2007WR006204, 2008.

Seidel K, Martinec J, "Remote Sensing in Snow Hydrology", Praxis Publishing, Springer-Verlag, Germany, 2004.

Singh P, "Relating air temperatures to the depletion of snow covered area in a Himalayan basin", Nordic Hydrology, 34(4), 267-280, 2003.

Tekeli AE, Akyürek Z, Şorman AA, Şensoy A, Şorman AÜ, "Using MODIS snow cover maps in modeling snowmelt runoff process in the Eastern part of Turkey", Remote Sensing of Environment, 97:216–230, 2005a.

Tekeli AE, Akyürek Z, Şensoy A, Şorman AA, Şorman AÜ, "Modeling the temporal variation in snow cover area on subbasin scale for simulating/forecasting of snowmelt runoff in Turkey", Hydrological Sciences Journal, 50(4): 669–682, 2005b.

Tong J, Dery SJ, Jackson PL, "Topographic control of snow distribution in an alpine watershed of western Canada inferred from spatially-filtered MODIS snow products", Hydrology and Earth System Sciences 13:319–326, 2009.

WMO, World Meteorological Organization, "Intercomparison of Models of Snowmelt Runoff", Publication No. 646, Operational Hydrology Report No. 23, Geneva, Switzerland, 1986.

Harmanlanan Uydu Görüntülerinin Karla Kaplı Alanlardaki Etkisi

Arda Şorman [1] , Aynur Şensoy [2], Egemen Yamankurt [3], Ersin Gözel [4]

Özet: Türkiye'nin dağlık doğu bölgelerindeki kar, yılın yaklaşık yarısında yerde kalırken eridikten sonra ise yıllık su hacminin yaklaşık üçte ikisini oluşturmaktadır. Bu önemli su potansiyelini değerlendirebilmek için geçmiş yıllarda Fırat Havzasının yüksek kesimlerinde gerçek-zamanlı işletilen otomatik kar/meteoroloji istasyonları kurulmuştur. Ancak yer istasyonlarından alınan kar verileri bir noktayı ve yakın civarını temsil edebilmektedir, bu nedenle alansal olarak dağılmış karla kaplı alanlar uydu görüntüleri yardımıyla takip edilmektedir. Böylece yer verileri ve uydu görüntüleri birlikte kullanılarak hem erimeden önceki dönemsel kar potansiyel tahmini, hem de erime başladığında hidrolojik model uygulamalarıyla akım tahmini yapmak mümkün olmaktadır. Sonuçta her iki aşamada da karla kaplı alanların en doğru şekilde belirlenebilmesi önemlidir.

Bu çalışmada, Keban Baraj Gölünü besleyen önemli kollardan birisi olan Yukarı Fırat Havzası (10,250 km^2) uygulama alanı olarak seçilmiştir. Havzada yürütülmekte olan hidrolojik modelleme uygulamalarında karla kaplı alanlar optik MODIS uydusuyla belirlenmektedir. Ancak optik uydular buluttan etkilenmekte ve bulutlu olan zamanlarda bulutun altında kalan yerler görülemediği için tespit edilememektedir. Bu nedenle, karın yağdığı kış aylarında (kar potansiyeli belirleme dönemi) ve erimeye başladığı ilkbahar aylarında (akım tahmini dönemi) bulutsuz, az bulutlu veya buluttan olabildiğince arındırılmış karla kaplı alanların tespiti önem kazanmaktadır. Bu çalışmada, MODIS uydusunun günlük üretilen Terra ve Aqua görüntüleri, bulut etkisini azaltmak için harmanlanmıştır. Harmanlanan uydu görüntüleri öncelikle doğruluk analizleri için yer gözlemleriyle karşılaştırılmış, daha sonra ise hidrolojik model girdisi olan kar çekilme eğrileri 2009 su yılı için tüm havza bazında hazırlanmıştır. Sonuç olarak, uydu görüntülerindeki harmanlama işleminin havzadaki karla kaplı alanlar üzerinde önemli bir iyileştirme etkisi yarattığı görülmüştür.

Anahtar Sözcükler: Karla kaplı alan; MODIS; harmanlama; Fırat Havzası

[1] Anadolu Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Eskişehir, E-Posta: asorman@anadolu.edu.tr

[2] Anadolu Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Eskişehir, E-Posta: asensoy@anadolu.edu.tr

[3] Anadolu Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Eskişehir, E-Posta: egemenyamakurt@gmail.com

[4] Anadolu Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Eskişehir, E-Posta: ersin.gozel@gmail.com

Impact of Combined Satellite Products on Snow Covered Area

Abstract: Snow in the mountainous eastern part of Turkey stays on ground nearly half of the year and after melting, generates apporximately two thirds of the total yearly volume of water. To exploit this important water potential, in the recent years, real-time operated automatic snow/meteorological stations are installed in the higher regions of the Euphrates Basin. Since snow at the ground stations represent point measurments, spatially distributed snow covered area are determined by satellite images. Hence both ground measurments and satellite data can be used to forecast the seasonal snow potential before melting and discharge from hydrologic model applications during melting periods. In the end, snow covered areas need to be determined correctly before and during the melting periods.

In this study, Upper Euphrates Basin (10,250 km^2) which is one of the main branches feeding the Keban Dam Reservoir is selected as the application area. For the hydrological modeling studies conducted in the basin, snow covered areas are determined using MODIS optical satellite. But optical satellites are hindered by cloud cover where at times when cloud is present land cover can not be determined. For this reason, during winter (ablation period) and spring (melting period) it is crucial to determine snow covered areas with little or no cloud. In this study, daily MODIS satellite images on Terra and Aqua platfom are combined in order to decrease the cloud cover. Combined satellite images are firstly compared with ground station data for validation purposes and later used to generate basin snow depletion curves used as hydrological model input for 2009 water year. In the end, it is seen that combining the satellite products has a significantly positive impact on snow covered area in the basin.

Keywords: Snow covered area; MODIS; combined; Euphrates Basin

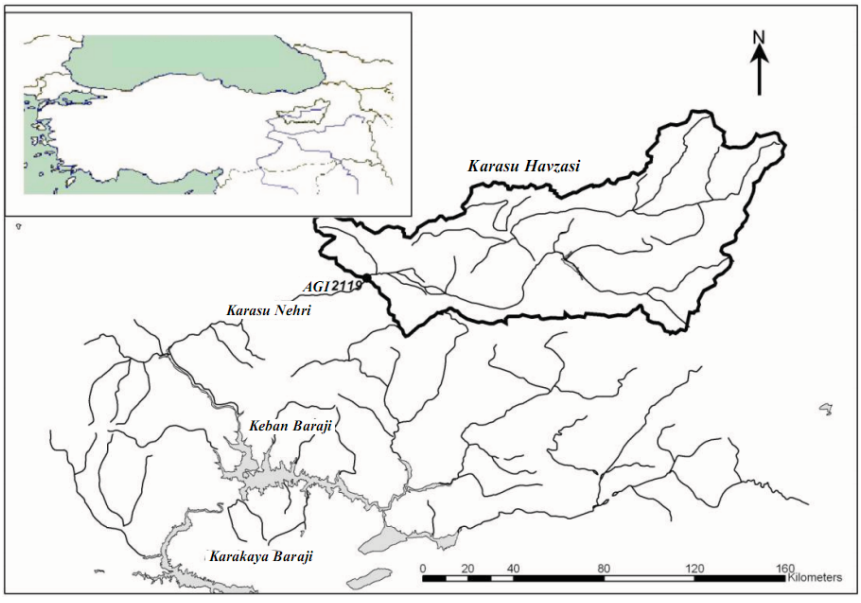
1. GİRİŞ VE AMAÇ

Türkiye'nin ortalama yüksekliği yaklaşık 1130 m olduğundan kış aylarında yağış özellikle Doğu Anadolu, Doğu Karadeniz ve İç Anadolu bölgelerine kar şeklinde düşmekte ve düşen kar yüksek kesimlerinde neredeyse yılın yarısında yerde kalmaktadır. Hava sıcaklıklarının artması ile birlikte kar eriyerek nehirlerde akıma dönüşmekte ve yüksek su potansiyeli oluşturmaktadır. Yüzölçümü bakımından Türkiye'nin en büyük havzası olan Fırat Havzasında uzun yıllar akım gözlemleri incelendiğinde akımların ilkbahar ve yaz aylarının başında kar erimesi ve yağışlardan dolayı artmakta ve yıl içerisinde yirmi kata varan değişkenlik göstermektedir. Hem su potansiyelinin yüksek ve değişken olması, hem de sınır aşan sular kategorisinde yer almasından dolayı Fırat Nehri suyunun kontrol altına alınması önem arz etmiştir. Bu sebeplerden dolayı, Türkiye'nin büyük barajlarının (Keban, Karakaya, Atatürk, Birecik ve Karkamış) Fırat Nehri üzerinde yer alması kaçınılmaz olmuştur. Barajların yapılması kadar önemli bir diğer nokta ise bu barajların verimli bir şekilde işletilmesidir. Eriyen kar suyu Fırat Nehrinde ilk büyük depolama haznesi olan Keban Baraj Gölüne gelmekte ve buradan kontrollü bir şekilde mansabdaki barajlara iletilmektedir. Dolayısıyla, Keban Baraj Gölüne gelecek akımların miktarının ve zamanının önceden belirlenebilmesi Fırat Nehrindeki suyun en verimli şekilde kullanılabilmesi anlamına gelmektedir.

Fırat Havzasının yüksek kotlarında çeşitli yer gözlemleri bulunmasına rağmen bu ölçümlerin temsiliyeti noktasal bazda kalmaktadır. Dağlık alanda geniş kar kaplı alanların belirlenmesi ve takibi için uydu görüntülerinin kullanılması en uygun yöntemdir. Görünür ve yakın kızıl dalga boylarında karın yansıma değerinin yüksek olmasından dolayı karla kaplı alanların izlenmesinde optik uydular sıkça kullanılmaktadır. Ancak optik uydu görüntülerinde karşılaşılan en büyük sıkıntı bulut engelidir. Özellikle kış aylarında izlenmesi gereken kar kaplı alanların bu sezonda oldukça sık oluşan bulut haraketlerinden dolayı etkin şekilde görüntülenememesi söz konusudur. Bu çalışmadaki amaç, optik uydu görüntülerine çeşitli harmanlama işlemleri uygulayarak Yukarı Fırat Havzasında açık karla kaplı görüntüler elde etmektir. Böylece üretilen görüntüler hem dönemsel kar potansiyeli belirlenmesinde hem de hidrolojik modellerle günlük akım tahminleri sırasında kullanılarak Fırat Havzasında bulunan büyük barajların verimli şekilde işletilebilmesi mümkün olacaktır.

2. ÇALIŞMA ALANI

Bu çalışmada, Keban Baraj Gölünü besleyen önemli kollardan birisi olan Yukarı Fırat (Karasu) Havzası (10,250 km^2) uygulama alanı olarak seçilmiştir, Şekil 1. Havza 10,250 km^2 drenaj alanına sahip olmakla beraber 1125 m ile 3500 m yükseklikleri arasında değişmektedir. Mera, tarım alanı ve çıplak arazi havzanın başlıca bitki örtüsünü oluşturmaktadır. Havzadaki yapılan uzun dönem akım ölçümleri, yıllık toplam akım hacminin yaklaşık 69% unun kar erime dönemi (Mart-Haziran) içinde geldiğini göstermektedir.



Şekil 1. Yukarı Fırat (Karasu) Havzasının konumu

Geçmiş yıllarda Yukarı Fırat Havzasında yapılan birçok çalışma mevcuttur, bunlardan bazıları Şorman ve diğ., 2004a; Şorman ve diğ., 2004b; Tekeli ve diğ., 2004; Tekeli ve diğ., 2005; Şensoy ve diğ., 2006; Şorman ve diğ., 2009. Bu çalışmalarda ağırlıklı olarak çeşitli yüksekliklere gerçek-zamanlı otomatik kar/meteoroloji gözlem istasyonları kurulması, işletilmesi ve bu istasyonlarda kaydedilen verilerle hidrolojik model kalibrasyon uygulamaları gerçekleştirilmiştir. Şimdiki yapılan çalışma ile harmanlanmış karla kaplı alan haritaları üretilerek dönemsel kar potansiyeli ve hidrolojik modelleme tahminlerinde iyileştirme amaçlanmaktadır.

2. YÖNTEM

Uyduların uzaya fırlatılmaya başlandığı 1960 ve 1970 li yıllardan itibaren yeni uydular ve algoritmalar geliştirilmektedir. Uydu seçiminde mekansal, zamansal ve spektral çözünürlük önem kazanmaktadır. Son yıllarda kar tespiti ve izlemesi için orta çözünürlüklü optik MODerate resolution Imaging Sprectroradiometer (MODIS) uydusu sıkça kullanılmaya başlanmıştır. MODIS uydusu 36 dar spektral bant aralığında, 250 m (2 bant), 500 m (5 bant) ve 1000 m (29 bant) mekansal çözünürlükte veri sağlamaktadır. MODIS uydusu Terra ve Aqua olarak iki farklı platform üzerinde bulunmakta ve günde iki görüntü sağlamaktadır (Terra sabah ~10:30, Aqua öğleden sonra ~13:30).

MODIS karla kaplı alan haritaları NASA Dünya İzleme Sistemi (EOS) tarafından global ölçekte otomatik olarak sunulmaktadır. Karla kaplı alan miktarını sayısal olarak veren bu haritalar, farkı normalize edilmiş kar indeksi (NDSI) ile oluşturulmaktadır. NDSI, görünür (0.5-0.7 μm) ve yakın kızılötesi (1~4 μm) dalga boyunda bilgi veren bantları kullanılarak belirlenmekte ve MODIS Terra/Aqua sensörlerinden elde edilen 500 m mekansal çözünürlükteki uydu görüntülerine uygulanarak karla kaplı hücreler elde edilmektedir. Global ölçekte üretilen karla kaplı ürünlerin detayları ve doğrulama çalışmaları Riggs ve diğ. (2006) ve Hall ve Riggs (2007)'de verilmektedir.

Mekansal çözünürlüğü iyi olmasına rağmen optik bir uydu olan MODIS bulut durumundan etkilenmektedir. Özellikle kar sezonu sırasında fazlaca oluşan dinamik bulut hareketleri açık bir karla kaplı alan görüntüsü oluşumunu engellemektedir. Bu problemin azaltılması için son yıllarda çeşitli metodolojiler geliştirilmektedir. Özellikle mekansal ve zamansal etkileşimi bir arada kullanarak bulut oranını en aza indirmek amaçlanmaktadır. Parajka ve Blöschl (2008) ve Parajka ve diğ. (2010) Avusturya üzerinde, Wang ve Xie (2009), Wang ve diğ. (2009) Çin'de, Gafurov ve Bardossy (2009) Afganistan'da bu konuda çeşitli algoritmalar geliştirerek uygulamışlardır. Yeni kullanılan bu metodolojilerin ülkemizde kar potansiyelinin yüksek olduğu Doğu Anadolu bölgesine uygulanmasının büyük fayda sağlayacağı düşünülmektedir.

Bulut miktarını azaltmak amacıyla çeşitli mekansal ve zamansal algoritmaları uygulamak için Türkiye'nin Doğu Anadolu bölgesini kapsayan MODIS görüntüleri 2009 su yılı için Amerikan Ulusal Kar ve Buz Veri Merkezinden (NSIDC) internet ortamında temin edilmiştir. Her gün için farklı saatlerde çekilmiş iki MODIS (Terra ve Aqua) görüntüsü bulunmaktadır. Bu görüntülere MODIS Reprojection Tool (MRT) programı kullanılarak çerçeve birleştirilmesi, projeksiyon tanımlanması ve format değişikliği gerçekleştirilmiştir. Görüntüler için orjinal mekansal çözünürlük olan 500 m, UTM projeksiyonu ve geotiff dosya formatı tercih edilmiştir.

Tüm ön hazırlıklar tamamlandıktan ve görüntüler işlenebilir hale geldikten sonra öncelikle MODIS/Terra ve MODIS/Aqua görüntüleri üç farklı sınıf altında sınıflandırılmıştır, Bulut (0), Kar (1) ve Kara (2). Daha sonra her bir sınıf için Terra ve Aqua görüntülerinin 2009 su yılında Yukarı Fırat Havzasındaki oranları çıkartılmıştır. Bu aşamanın ardından Terra ve Aqua görüntüleri harmanlanarak CM isimli yeni bir görüntü elde edilmiştir. CM görüntüsü oluştururken Terra ve Aqua üzerindeki aynı hücrelerin değerleri göz önüne alınarak bulut oranını azaltacak şekilde Tablo 1'de gösterilen kombinasyonlar uygulanmıştır. Tablo 1'den anlaşılacağı üzere her iki görüntüde de bulut mevcut ise CM görüntüsündeki hücre buluttan arındırılamamaktadır. Ayrıca eğer Terra ve Aqua hücre değerleri arasında bulut haricinde fark var ise karar sabah geçen MODIS/Terra tarafında olmaktadır.

Tablo 1. CM görüntüsü oluştururken belirlenen kombinasyonlar

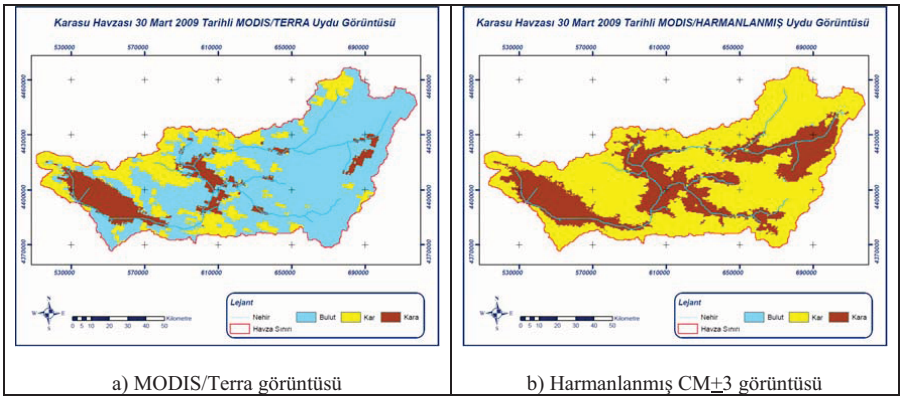
MODIS/Terra	MODIS/Aqua	MODIS/CM
0 (Bulut)	0 (Bulut)	0 (Bulut)
0 (Bulut)	1 (Kar)	1 (Kar)
0 (Bulut)	2 (Kara)	2 (Kara)
1 (Kar)	0 (Bulut)	1 (Kar)
1 (Kar)	1 (Kar)	1 (Kar)
1 (Kar)	2 (Kara)	1 (Kar)
2 (Kara)	0 (Bulut)	2 (Kara)
2 (Kara)	1 (Kar)	2 (Kara)
2 (Kara)	2 (Kara)	2 (Kara)

Aynı günün Terra ve Aqua görüntüleri harmanlanarak oluşturulan CM görüntüsünün ardından diğer günlerin harmanlama işlemi uygulanmıştır. Bu işlem herhangi bir gün için elde edilen CM görüntüsünün bir önceki ve bir sonraki günlerindeki CM görüntülerinin hücrelerine bakarak sadece bulut kalmış olan hücreleri kar/kara olarak açmaya çalışmaktadır. CM'de zaten açık olan hücrenin değeri değiştirilmemektedir. Yeni oluşturulan bu görüntüye CM$\pm$1 ismi verilmektedir. Benzer şekilde iki önceki ve iki sonraki günün bulut azaltma işleminden geçmesine CM$\pm$2, üç önceki ve üç sonraki güne bakılarak oluşturulan görüntüye de CM$\pm$3 denmektedir. İkinci harmanlama işleminde birincisindeki gibi bulut oranını azaltılmaya çalışılırken hücrede günlük oluşan sınıflar sayılarak sınıf sayısı yüksek olana ağırlık verilmiştir. Eşitlik durumunda ise kar yönünde tercih yapılmıştır. Örneğin, incelen günde CM görüntüsündeki (Terra ve Aqua harmanlaması) hücre bulut ise, bu günün iki öncesi (CM-2) ve iki sonrasındaki (CM+2) hücre sınıf sayıları karşılaştırıldığında 2 değer kar diğer 2 değer kara ise, bulutlu olan gün kar olarak sınıflandırılmaktadır. Böylece 2009 su yılındaki her bir gün için 6 adet görüntü oluşturulmaktadır; Terra, Aqua, CM, CM$\pm$1, CM$\pm$2 ve CM$\pm$3.

3. SONUÇLAR

MODIS/Terra ve MODIS/Aqua uydu görüntülerinden karla kaplı alanların tespit edilmesi 2009 su yılı için gerçekleştirilmiştir. Yöntemde bahsedilen iki farklı harmanlama işlemindeki iyileştirme için örnek olarak 30 Mart 2009 tarihli görüntü Şekil 2'de gösterilmektedir. Tek başına MODIS/Terra uydusundan alınan görüntü Şekil 2a'da, harmanlama işlemlerinden geçirilmiş CM$\pm$3 görüntüsü ise Şekil 2b'de

verilmiştir. MODIS/Terra görüntüsünde Bulut: 65.8% Kar: 22.1% Kara: 12.1% iken harmanlanmış CM±3 görüntüsünde Bulut: 0.3% Kar: 67.5% Kara: 32.2% oranlarındadır. Görüldüğü üzere Yukarı Fırat Havzasında bulut oranı önemli bir biçimde azaltılmış ve açık bir görüntü elde edilmiştir.



a) MODIS/Terra görüntüsü b) Harmanlanmış CM±3 görüntüsü

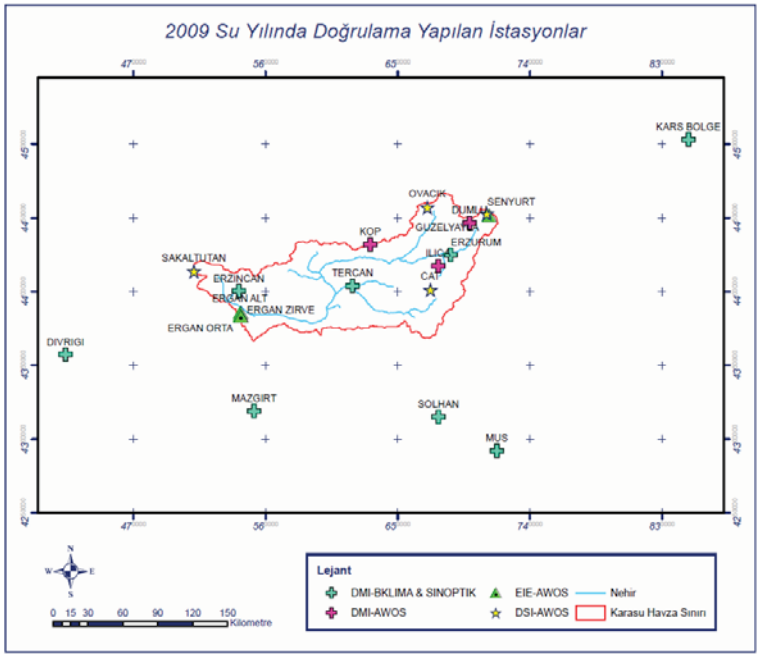
Şekil 2. 30 Mart 2009 tarihli MODIS/Terra ve harmanlanmış CM±3 uydu görüntüsü

Yukarı Fırat Havzasında 2009 su yılında her gün için uygulanan bu işlemler sonucunda aylık bazda her aşamada oluşan bulut iyileştirme oranları Tablo 2'de verilmiştir. Görüldüğü üzere bir yılın ortalamasında MODIS Terra bulutluluk oranına kıyasla Terra/ Aqua harmanlama görüntülerinin birleştirilmesi 20% iyileştirme sağlarken, bu oran 1 günlük harmanlamada 74%, 2 günlük harmanlamada 89% ve 3 günlük harmanlamada 95%'e yükselmektedir. Sonuçta önemli bir görüntü iyileştirmesi gerçekleştirilmektedir.

Tablo 2. Harmanlanan ürünlerin MODIS/Terra görüntüsüne kıyasla aylık ortalama bulut iyileştirmesi

MODIS/TERRA Uydu Görüntülerindeki Bulut Miktarının, MODIS/HARMANLANMIŞ Ürünlerdeki Yüzdesel Azaltımı				
Tarih	CM	CM ±1	CM ±2	CM ±3
Ekim 08	31.07	91.44	98.13	99.62
Kasım 08	14.24	67.54	85.31	93.65
Aralık 08	16.94	72.30	91.13	98.03
Ocak 09	17.26	56.75	80.08	91.04
Şubat 09	5.69	36.87	57.82	72.40
Mart 09	9.31	59.27	83.64	91.60
Nisan 09	12.88	66.78	89.40	96.59
Mayıs 09	23.48	72.83	88.42	94.71
Haziran 09	27.45	90.08	99.26	99.96
Temmuz 09	26.43	90.05	98.17	99.62
Ağustos 09	36.88	98.53	99.99	100.00
Eylül 09	18.43	89.18	99.07	99.99
09 Su Yılı	20.01	74.30	89.20	94.77

Havza bazında yapılan işlemler etkili sonuçlar gösterse de doğrulama açısından yer gözlemleriyle karşılaştırılmaları gerekmektedir. Bunun için havza içinde ve yakın civarında devlet kurumlarınca işletilen 19 yer gözlem noktasından 2009 su yılında toplanan kar verisi değerlendirilmiştir. Belirlenen 19 istasyonun yerleri Şekil 3'de gösterilmiş ve doğrulama sonuçları Tablo 3'de verilmiştir.



Şekil 3. 2009 su yılında doğrulama yapılan istasyonlar

2009 su yılında 19 istasyondan toplam 6818 nokta bilgisi elde edilmiştir (117 noktadan bilgi alınamamıştır). Bu sayının 67.63% kara, 2.36% kısmi kar ve 30.01% kar olarak belirlenmiştir. Tablo 3'den izleneceği üzere adım adım yapılan işlemler yer istasyonlarından alınan verilerle karşılaştırılarak kar veya kara doğrulamasını arttırırken bulut oranını da azaltmaktadır. Sonuç olarak kara doğruluk oranı MODIS/Terra görüntüsünde 64.17% iken CM$\pm$3 görüntüsünde 97.64%'e kadar yükselmiştir. Aynı şekilde kar doğruluk oranı MODIS/Terra görüntüsünde 29.91% iken CM$\pm$3 görüntüsünde 86.66%'ya kadar iyileşmiştir. Bulut oranlarında ise MODIS/Terra görüntüsünde kara 35.68%, kar 69.26% iken CM$\pm$3 görüntüsünde kara 1.58%, kar 10.12% oranında azalmıştır. Kısmi kar sınıfındaki doğruluk oranı beklendiği gibi aynı seviyelerde artmamıştır çünkü bu sınıfa düşen yer gözlemleri o nokta ve civarında değişiklik gösterebileceği için uydu görüntüsü tarafından da farklı sınıflarda algılanabilmektedir. Bu yüzden kar ve kara sınıfları arasına ayrıca böyle bir geçiş kategorisi yerleştirilmiştir. Aynı zamanda beklendiği gibi uydu tarafından kar veya kara sınıflarındaki yanlış algılanma yüzdesi gün filtresi arttıkça artmaktadır. Bu da bulut oranını önemli miktarda azaltırken hata yüzdesinin tolere edilebilir seviyede kaldığını göstermektedir.

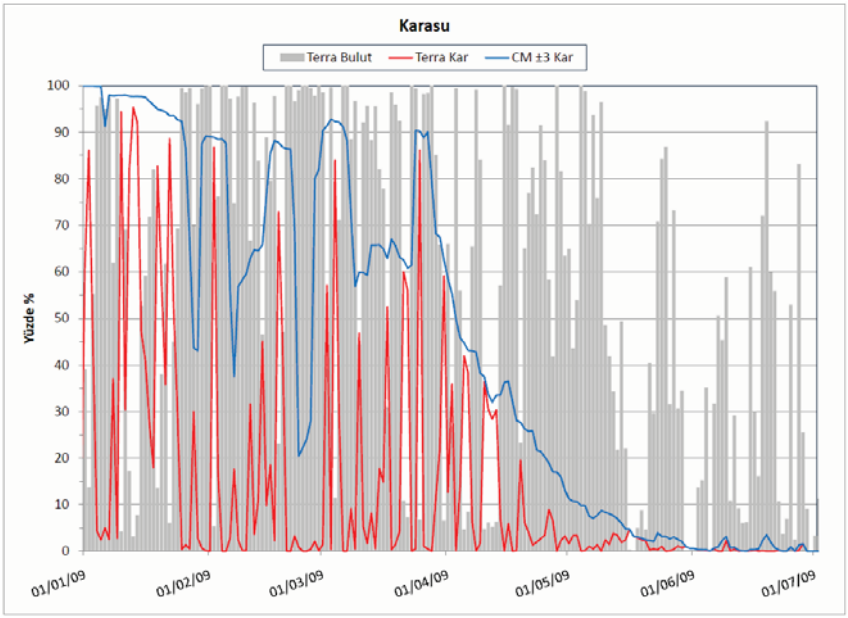
Tablo 3. Yer gözlem istasyonlarıyla doğrulama sonuçları (2009 su yılı)

Yer Gözlemleri	Toplam	Terra			Aqua		
	6818	Kara	Kar	Bulut	Kara	Kar	Bulut
Kara (Kar Derinliği = 0)	4611	2959	7	1645	2595	3	2013
	67.63%	64.17%	0.15%	35.68%	56.28%	0.07%	43.66%
Kısmi Kar (Kar Derinliği = 1-3 cm)	161	12	14	135	11	21	129
	2.36%	7.45%	8.70%	83.85%	6.83%	13.04%	80.12%
Kar (Kar Derinliği ≥ 4 cm)	2046	17	612	1417	20	571	1455
	30.01%	0.83%	29.91%	69.26%	0.98%	27.91%	71.11%

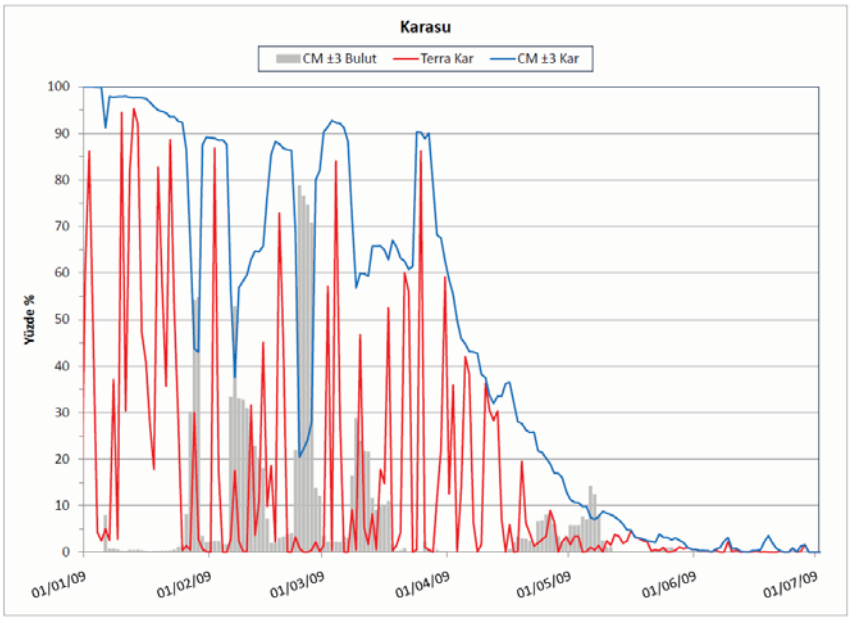
Yer Gözlemleri	Toplam	CM			CM ± 1		
	6818	Kara	Kar	Bulut	Kara	Kar	Bulut
Kara (Kar Derinliği = 0)	4611	3317	10	1284	4228	26	357
	67.63%	71.94%	0.22%	27.85%	91.69%	0.56%	7.74%
Kısmi Kar (Kar Derinliği = 1-3 cm)	161	15	28	118	36	56	69
	2.36%	9.32%	17.39%	73.29%	22.36%	34.78%	42.86%
Kar (Kar Derinliği ≥ 4 cm)	2046	19	779	1248	44	1354	648
	30.01%	0.93%	38.07%	61.00%	2.15%	66.18%	31.67%

Yer Gözlemleri	Toplam	CM ± 2			CM ± 3		
	6818	Kara	Kar	Bulut	Kara	Kar	Bulut
Kara (Kar Derinliği = 0)	4611	4450	33	128	4502	36	73
	67.63%	96.51%	0.72%	2.78%	97.64%	0.78%	1.58%
Kısmi Kar (Kar Derinliği = 1-3 cm)	161	46	75	40	54	82	25
	2.36%	28.57%	46.58%	24.84%	33.54%	50.93%	15.53%
Kar (Kar Derinliği ≥ 4 cm)	2046	57	1647	342	66	1773	207
	30.01%	2.79%	80.50%	16.72%	3.23%	86.66%	10.12%

Yapılan görüntü işleme ve doğrulama çalışmaları sonucunda elde edilen iyileştirilmiş karla kaplı alan görüntülerinden 2009 su yılı için tüm havza bazında kar çekilme eğrileri oluşturulmuştur. Şekil 4, MODIS/Terra ve CM$\pm$3 görüntülerinden elde edilen kar çekilme eğrilerinin MODIS/Terra bulutluluk oranlarıyla, Şekil 5 ise, aynı görüntülerin CM$\pm$3 bulut iyileştirilmesi yapıldıktan sonraki durumunu göstermektedir. Kar çekilme eğrilerine bakıldığında CM$\pm$3 harmanının MODIS/Terra görüntülerini oldukça iyileştirerek zamansal olarak süreklilik sağladığı gözlenmektedir. 2009 kar sezonunda sadece Şubat ayı başı ve sonundaki belli bölümlerde zamansal filtrenin de yetersiz kaldığı görülmektedir. Bu durumlar için ileride ilave metotların kullanılması önerilecektir. 2009 kar sezonundaki çekilme eğrileri karın Ocak ayı başında tüm havzayı kapladığını göstermekte ve bu oranın Mart ayı başına kadar yaklaşık 90% seviyelerinde seyrettiğini ifade etmektedir. Mart ayı başında erimenin başladığı sinyali verilse de ay sonunda yeni bir yağışla tekrar karla kaplı alanın arttığı ve kesintisiz erimenin ancak Mart ayı sonunda başladığı görülmektedir. Havzadaki erimenin Haziran ayının sonlarına kadar devam ettiği tespit edilmiştir.



Şekil 4. MODIS/Terra bulutluluk oranlarıyla 2009 su yılı kar çekilme eğrileri



Şekil 5. CM±3 bulutluluk oranlarıyla 2009 su yılı kar çekilme eğrileri

4. DEĞERLENDİRME

Bu çalışmada amaçlanan, Türkiye için büyük önem arz eden Yukarı Fırat Havzasında, buluttan olabildiğince temizlenmiş açık karla kaplı alanları tespit etmektir. Bunun için orta çözünürlüklü optik MODIS uydusu tercih edilerek iki ayrı platformda bulunan MODIS/Terra ve MODIS/Aqua uydularından günde iki kere, 500 m mekansal çözünürlükte sayısal karla kaplı alan haritaları temin edilmektedir. İki ayrı harmanlama işleminden geçirilen görüntüler için 2009 su yılında her günde 6 ayrı harita üretilmiştir. Üretilen haritalarda MODIS/Terra haritasına kıyasla yıllık ortalama bulut oranı CM'de 20%, CM$\pm$3'de 95% oranında azaltılmıştır. Bu oranlar 2009 su yılı için çok önemli sayılabilecek iyileştirmeler göstermektedir. Bu iyileştirme metotları ayrıca 19 yer gözlem istasyonunda ölçülen verilerle kıyaslanarak doğrulama işlemi gerçekleştirilmiştir. Doğrulamadaki bulut oranları da, kar sınıfında 69.3%'den 10.1%'e, kara sınıfında 35.7%'den 1.6%'ya iyileşme olduğunu göstermektedir. Dolayısıyla harmanlama işlemlerinin faydalı olduğu göz önüne alınarak Yukarı Fırat Havzasında 2009 su yılı için kar çekilme eğrileri çıkartılmıştır. Bu eğrilerde MODIS/Terra değerleri zaman zaman CM$\pm$3 değerlerine yakınlaşsa da bulut nedeni yüzünden süreklilik sağlayamamaktadır. Bu sebeple CM$\pm$3 kar çekilme eğrilerinin daha sürekli ve güvenilir sonuçlar verdiği söylenebilir. Ancak bu çalışmada kullanılan iki farklı harmanlama işleminin üzerine başka zamansal ve mekansal filtreleme teknikleri de uygulanarak özellikle uzun süreli bulut kaplı zamanlardaki bulut oranını azaltmak ilerisi için yapılacak çalışmalar arasındadır. Böylelikle havzada her kar sezonu sırasında oluşturulacak günlük açık karla kaplı alan haritaları gerek güncel kar potansiyel tahminleri yaparken gerekse hidrolojik modellere etkili girdi sağlarken daha faydalı sonuçların elde edilmesine yardımcı olacaktır.

5. TEŞEKKÜR

Bu çalışma TÜBİTAK-ÇAYDAG 108Y161 projesi tarafından desteklenmektedir. Çalışmaya veri sağlayan Devlet Meteoroloji İşleri (DMİ), Devlet Su İşleri (DSİ) ve Elektrik İşleri Etüt İdaresi (EİEİ) ne teşekkür ederiz.

6. KAYNAKLAR

Gafurov A., Bardossy A., "Cloud removal methodology from MODIS snow cover product", Hydrology Earth System Sciences, 13, 1361-1373, 2009.

Hall D.K., Riggs G.A., "Accuracy assessment of the MODIS snow products", Hydrological Processes, 21, 1534–1547, 2007.

Parajka J., Pepe M., Rampini A., Rossi S., Blöschl G., "A regional snow-line method for estimating snow cover from MODIS during cloud cover", Journal of Hydrology, 381, 203-212, 2010.

Parajka J., Blöschl G., "Spatio-temporal combination of MODIS images – potential for snow cover mapping", Water Resources Research, 44, 2008.

Riggs G.A., Hall D.K., Salomonson V.V., "MODIS Snow Products User Guide to Collection 5", November 2006.

Şensoy A., Şorman A.A., Tekeli A.E., Şorman A.Ü., Garen D.C., "Point-scale energy and mass balance snowpack simulations in the upper Karasu basin, Turkey", Hydrological Processes, 20, 899-922, 2006.

Şorman A.A., Şensoy A., Tekeli A.E., Şorman A.Ü., Akyürek Z., "Modeling and Forecasting of Snowmelt Runoff Process using the HBV model in the Eastern part of Turkey", Hydrological Processes, 23, 1031-1040, 2009.

Şorman A.A., Şensoy A., Tekeli A.E., Şorman A.Ü., "Yukarı Karasu Havzasında Nokta Bazlı Yüzey İklim ve Enerji Değişimi 1. Gerçek Zamanlı Meteoroljik ve Kar Ölçüm lerinin Gözlenmesi", IV. Ulusal Hidroloji Kongresi, 21 – 25 Haziran 2004, İstanbul, Türkiye, 2004a.

Şorman A.A., Tekeli A.E., Şensoy A., Şorman A.Ü., "Forecasting the Early Snowmelt Flood of 2004 – A Case Study from Upper Euphrates Basin", 6th International Congress on Advances in Civil Engineering, 6-8 October 2004, Boğaziçi University, İstanbul, Turkey, 2004b.

Tekeli A.E., Akyürek Z., Şorman A.A., Şensoy A., Şorman A.Ü., Using MODIS Snow Cover Maps in Modeling Snowmelt Runoff Process in the Eastern Part of Turkey, Remote Sensing of Environment, 97, 216-230, 2005.

Tekeli A.E., Şorman A.A., Şensoy A., Şorman A.Ü., "Kar Lizimetresinin Tasarımı, İmalatı, İşletimi ve Ön Bulgular", IV. Ulusal Hidroloji Kongresi, 21 – 25 Haziran 2004, İstanbul, Türkiye, 2004.

Wang, X.W., Xie, H.J., "New Methods for Studying the Spatiotemporal Variation of Snow Cover Based on Combination Products of MODIS Terra and Aqua", Journal of Hydrology, 371, 192-200, 2009.

Wang, X.W., Xie, H.J., Liang, T.G., Huang, X.D., "Comparison and Validation of MODIS Standard and New Combination of Terra and Aqua Snow Cover Products in Northern Xinjiang, China", Hydrological Processes, 23, 419-429, 2009a.

HİDROLOJİK MODELLEME

Üçgensel Hidrolojik Enterpolasyon (MTH) Yöntemi İle Rastgele Değişkenlerin Enterpolasyonu

Hızır Önsoy [1], M. İhsan Kömürcü [2], Adem Bayram [3], Murat Kankal [4]

Özet: Uygulama alanında, belirli bir matematik ifadeye uymayan, fakat izlenebilen bir süreklilikle, konumdan konuma değişen çok sayıda bölgesel değişkene (yağış, akım, yer altı suyu vb.) rastlanmaktadır. Değişkenin aldığı değerler grubunun analizi sonucunda, herhangi bir havzadaki bir noktada, değişkenin alacağı ortalama değer bulunur. Değişkenin bu noktada alabileceği değerin tahmini, bölgesel yapısı ve dağılımı, aynı değişkenin söz konusu nokta civarında aldığı değerleri inceleyerek mümkün olur. Üçgensel Hidrolojik Enterpolasyon (Modèle Triangulaire Hydrologique, MTH) Yöntemi, Türkiye'de, üçgenler ağı oluşturularak, yağış değerlerinden oluşturulan korelasyon (veya kovaryans) matrisi öz vektör değerlerinde uygulaması yapılmıştır. Bu üçgen şebekesinde, 60 km'lik karelaj yapılmış, öz vektör eğrileri, önce normal klasik yolla, bilahare, bu yöntemle, otomatik olarak çizdirilmiş, bir karşılaştırması yapılarak ve her iki eğrinin de uygun olduğu saptanmıştır.

Anahtar Sözcükler: MTH Yöntemi, Rastgele Değişken, Üçgenler Ağı, Stasyoner

Interpolation of Random Variables by Means of MTH Method

Abstract: In practice, there are many local variables (rainfall, flow, ground water etc.), which do not comply with a specific mathematical statement but alter from a position to other position with a traceable continuity, were encountered. In the result of analyzing of group of values that variables took, average values are found out in a point of any watershed. It is possible to estimation of the value that variable can take in this point analyzing regional structure and distribution and the values that the same variable took in question point. In Turkey, application of MTH method was conducted in correlation matrix (or covariance) essential vector values which were composed of rainfall values generating triangles network. In this triangle network, a grid with 60 km was conducted, essential vector curves were plotted at first by classical method later this method. Then, both curves were compared and it was determined that these curves were very fit.

Keywords: MTH Method, Random Variable, Triangles Network, Stationary

[1] Karadeniz Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Trabzon, E-Posta: honsoy@ktu.edu.tr
[2] Karadeniz Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Trabzon, E-Posta: mkomurcu@ktu.edu.tr
[3] Karadeniz Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Trabzon, E-Posta: abayram@ktu.edu.tr
[4] Karadeniz Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Trabzon, E-Posta: mkankal@ktu.edu.tr

1. GİRİŞ

Türkiye üzerindeki bir araştırmada, Önsoy (1978a) tarafından geliştirilen MTH (Modèle Triangulaire Hydrologique) Yöntemi, kolaylıkla uygulanabilmekte ve üzerinde çalışılan bölgesel değişkenin, eşdeğer eğrileri, yöntem içerisinde, otomatik olarak çeşitli enterpolasyonlar yapılarak çizdirilmektedir. Ayrıca, havzadaki su potansiyeli de, belirli entegrasyonlarla elde edilebilmektedir (Önsoy, 1978b, Önsoy, 1979, Önsoy ve Bocquillon, 1980).

Önsoy (1978) tarafından ortaya atılmış olan MTH yöntemi, aynı anda incelenen değişkenin çeşitli noktalarda enterpolasyonu ve otomatik kartografide yararlanılmaktadır. Bu yöntem, stasyoner bölgesel değişkenler üzerinde uygulanmakta ve aşağıdaki esasları kapsamaktadır (Bocquillon ve diğ, 1979):

* Kartografinin söz konusu olduğu havzanın optimal bir üçgenler ağına dönüştürülmesi,
* Üçgenler ağı sisteminin düğüm noktaları hesabının, sabit bir adımla yapılması,
* Her bir ünitede (üçgen) düğüm noktaları arasında basit (kübik) enterpolasyonun yapılması.

Optimal üçgenler ağı teşkil edilirken aşağıdaki yol izlenmelidir:

Bütün istasyonlar birbirine bağlanır. Öyle ki, istasyonları çevreleyen konveks saha, bir tek üçgenden oluşacaktır. Üçgenler içerisinde hiçbir ölçüm noktası (istasyon) bulunmayacaktır. Bütün üçgenlerin kenarlarının kareleri toplamı minimum olacaktır.

2. UZAYSAL KORELASYON

2.1. Varyogram Tanımı

Herhangi bir havza içerisinde, (x) ve (x+*l*) sürekli ortamlarında iki nokta alalım. Bu iki noktada, incelenen değişken f(x) ve f(x+*l*) değerlerini alsın. (x) değerini, sabit bir (*l*) ara mesafesiyle dolaştırırsak, kuadratik artım ortalama değeri olarak,

$$[f(x+l)-f(x)]^2 \tag{1}$$

elde edilir. Bu ifade, değişkenin, belirli bir noktadaki değeriyle, (*l*) mesafesindeki noktada, başlangıç noktasından bağımsız olarak alacağı değerler kümesini gösterir. Buna göre,

$$2g(l) = \frac{1}{A}\int[f(x+l)-f(x)]^2 dx \tag{2}$$

fonksiyonu varyogram'ı teşkil eder (6). Bağıntıdaki A, alandır. Burada görüldüğü gibi,

$$g(l) = g(-l) \neq 0 \quad ve \quad g(l) = 0 \tag{3}$$

dır. Varyogram tanımından, $g(l)$ küçüldükçe, incelenen noktadaki değerin etkisi aksine kendi civarında artmakta, buna karşın, $g(l)$ büyüdükçe, değerler bağımsız bir hale dönüşmektedir.

Varyogramlar, orijinde parabolik enterensek fonksiyonlar, orijinden geçen lineer enterensek fonksiyonlar, tamamen olasılığa bağlı değişkenli enterensek fonksiyonlar olarak sınıflandırılabilir (Matheron, 1970).

2.2. Stasyoner Karakter

İncelenen bölgesel değişken ifadesinin kullanışlı ve basit olması için, stasyoner bir özelliğe haiz olması tercih edilir. Diğer bir deyişle, söz konusu değişken, coğrafi bir değişim göstermeyen bir ortalamayı haiz olması gerekir. Örnek olarak verilecek olursa, bir ortalamanın, havza içerisinde, doğu-batı veya yükseklikle değişmeme özelliği gibi.

2.3. Varyogramın Oluşturulması

Varyogramın bir noktadaki değeri, incelenen sonsuz ortamdaki ortalaması olup, hesaplanırken, aşağıdaki gibi bazı zorluklarla karşılaşılabilir;

a. Teorik olarak, sonsuz karakterde kabul edilen entegrasyon alanının, gerçekte sonlu karakterde olması.

Teorik olarak, sözü edilen sonsuz ortamın, pratikteki olanaksızlığından, yani sonlu ortam kavramından dolayı, lokal varyogramlar elde edilir. Bu lokal varyogramlar, teorik varyogram etrafında, (0) merkezden uzaklaştıkça, artan bir çalkantı (fluktasyon) ile yayılır.

b. Değerler topluluğunun sonlu karakterde olması.

Varyogram, değerler topluluğunun sonlu karakteri dolayısıyla, sonlu sayılar üzerinde teşkil edildiğinden, belirli bir hata yapılmış olur. Bu hata, çalışılan ortamdaki sayı çiftleriyle, yani $[f(x+l)-f(x)]$ ile doğru orantılı olarak artar.

$$2g(l) = \frac{1}{A}\int[f(x+l)-f(x)]^2dx = \frac{1}{N}\sum[f(x+l)-f(x)]^2 + \varepsilon(x) \qquad (4)$$

(teorik varyogram) *(lokal varyogram)* *(çalkantı)*

c. *(l)* değerlerinin süreksizlik karakteri

Bu olumsuzluklar,

- Doğrultu sınıflaması (Kuzey-Güney, Doğu-Batı) yapılarak,
- Mesafe sınıflaması yapılarak,

giderilmeye çalışılır.

2.4. Varyogram-Korelasyon Katsayısı İlişkisi

Yukarıdaki tanımdan,

$$2\gamma(l) = \frac{1}{N}\sum_{1}^{N}[f(x+l) - f(x)]^2 \text{ veya } = \frac{1}{N}\sum_{1}^{N}[f_i - f_j)]^2 \quad (5)$$

yazılırsa, üzerinde çalışılan değişken değerleri, merkeze indirgenmiş değerler olduğundan, ortalamaları sıfır (0) olacak ve buna göre korelasyon katsayısı,

$$C(l) = \frac{\sum f_i.f_j}{\sqrt{f_i^2}.\sqrt{f_j^2}} \quad (6)$$

olur. (S) standart sapma ise, $\sum f^2 \approx nS^2$ ve $S_i = S_j \approx S$ yazılır. Buna göre,

$$2\gamma(l) = \frac{1}{N}\sum(f_i^2 - 2f_i.f_j + f_j^2) \quad (7)$$

olur. (f) yerine, varyans cinsinden değeri yazılırsa,

$$2\gamma(l) = \frac{1}{N}(NS_i^2 - 2\sum f_i.f_j + NS_j^2) \quad (8)$$

veya,

$$2\gamma(l) = S_i^2 - \frac{2}{N}\sum f_i.f_j + S_j^2) \;=\; 2S^2 - \frac{2}{N}\sum f_i.f_j) \quad (9)$$

$$\gamma(l) = S^2 - \frac{1}{N}\sum f_i.f_j) \quad (10)$$

Öte yandan, $C(l)$ korelasyon katsayısı,

$$C(l) = \frac{\sum f_i.f_j}{\sqrt{f_i^2}.\sqrt{f_j^2}} = \frac{\sum f_i.f_j}{\sqrt{NS^2}.\sqrt{NS^2}} = \frac{\sum f_i.f_j}{NS^2} \quad (11)$$

olduğuna göre,

$$\gamma(l) = S^2 - C.S^2 \quad (12)$$

veya,

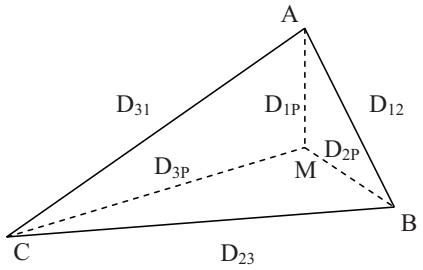
$$C(l) = 1 - \frac{\gamma(l)}{S^2} \quad (13)$$

olarak bulunur. Burada, $C(l)$ korelasyon katsayısı, $\gamma(l)$ yarım varyogram olarak adlandırılır.

3. ÜÇGENSEL HİDROLOJİK ENTERPOLASYON (MTH) YÖNTEMİ

3.1. Yöntemin Açıklaması

(ABC) şekli, tepe noktalarında, incelenen rastgele değişkenin aldığı değer belli olan bir üçgen olsun. Bu üçgen içerisindeki her hangi bir (*M*) noktasında aynı değişkenin alabileceği değerin tahmin edilmesi söz konusudur.



Şekil 1. Üçgen oluşturulması

Bu geometrik şekil, değişkenin incelendiği havzanın tamamında dolaştığında alacağı bir çok değer olacaktır. Değişken yağış, akım, debi, piyezometrik seviye vb olabilir.

Yapılan kabuller:

* (M) ve (A), (B), (C) tepe noktalarında incelenen değişken değerleri arasındaki bir regresyon, sadece şeklin geometrisine bağlıdır. Her bir üçgen şekil üzerinde beklenen değer sabittir: $E(X_m) = sabit$

* Aynı bir üçgen ünite içerisinde, değişkenin doğrultuya göre alacağı değerlerde bir sapma yoktur (sabit varyans): Var(X_m) = $sabit$

İncelenen değişken, aşağıdaki şekilde yazılabilir;

$$Y_i = \sum X_{ij}.b_i + e_{ij} \quad (14)$$

Burada,

Y_i : lineer kombinasyon
X_{ij} : değişken
b_i : lineer kombinasyon katsayısı
e_{ij} : artık değer

3.2. MTH (b_i) Katsayılarının Belirlenmesi

Yapılan kabullere göre, $E(Y) = E(X_i) = E(X_i')$ ve $Var(Y) = Var(X_i) = Var(X_i')$ ve

$E(e_{ij}) = 0$ veya $\sum_{i,j} e_{ij}^2 = min$

(b_i) katsayısı bir ağırlık olduğundan, $\sum_i b_i = 1$ dir.

Buradan,

$$Y_i - E(Y) = \sum[X_{ij} - E(X)]\, b_i + e_{ij} \quad (15)$$

elde edilir. Bütün değişkenler aynı değer üzerinden, merkeze indirgenirse,

$$e_{ij} = Y_i' - \sum X_{ij}'.b_i \quad (16)$$

Bu durumda, merkezsel değişken üzerinde çalışılmış olur ve

$$\sum[Y_i - \sum X_{ij}.b_i]^2 = \text{minimum}$$

olacaktır. LAGRANGE yöntemi kullanarak,

$$M = \sum[Y_i - \sum X_{ij}.b_i]^2 - L[\sum b_i - 1] = \text{minimum}$$

elde edilir. Burada (b_i) ye göre türev alınırsa,

$$\frac{\partial M}{\partial b_i} = 2\sum_j X_{ij}[Y_i - \sum_k X_{ik}.b_k] - L = 0 \quad (17)$$

veya

$$\sum_j X_{ij}.Y_i - \sum_k[b_k \sum_j X_{ij}.X_{ik}] - \frac{L}{2} = 0 \quad (18)$$

çıkar. Matrisyel olarak yazılırsa,

$$X'.Y - b(X'.X) - \frac{L}{2} = 0 \quad (19)$$

Bu ifadede, $(X'.X)$ biliniyorsa, ki bu da korelasyon (veya kovaryans) matrisidir, o halde, (b_i) katsayıları bulunabilir. X': (X) matrisinin transpozesidir.

3.3. Korelasyon Katsayısının Hesabı

(d_1) ortalama değeriyle temsil edilen birinci sınıf "n çift" ve "n değiştirilmiş çift" (veya n permüte çift) ihtiva eder.

(n) *çift* $\begin{bmatrix} U_1, V_1 \\ . \\ . \\ . \\ . \\ U_i, V_i \end{bmatrix}$ ve (n) *değişmiş çift* $\begin{bmatrix} V_1, U_1 \\ . \\ . \\ . \\ . \\ V_i, U_i \end{bmatrix}$

Her iki değer, (U) ve (V) aynı rolü oynar ve buna göre,

$$C = \frac{\Sigma(U-\bar{U})(V-\bar{V})}{[\Sigma(U-\bar{U})^2\Sigma(V-\bar{V})^2]^{1/2}} \tag{20}$$

$(2n)$ çifti (n+n) için, ve $\bar{U} = \bar{V} = W$ ise ($\bar{U} = \bar{V} = W$ ortalamalar),

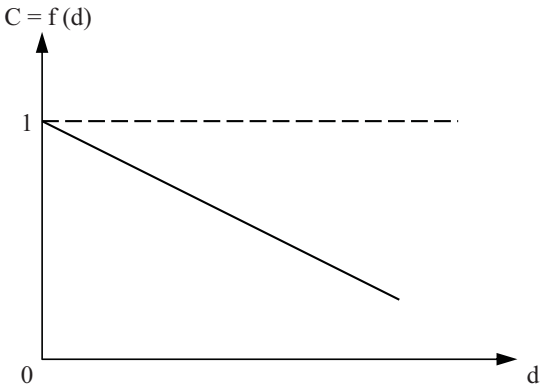
$$\Sigma_{2n}(U-W)^2 = \Sigma_{2n}(V-W)^2 = \Sigma_n(V-W)^2 + \Sigma_n(V-W)^2 \tag{21}$$

buradan,

$$C = \frac{2\Sigma_n(V-W)(V-W)}{\Sigma_n(U-W)^2+\Sigma_n(V-W)^2} \tag{22}$$

çıkarılır.

Yapılan araştırmada, korelasyon katsayısı ile mesafe doğrusal ters orantılı olarak değişmektedir (Şekil 2).



Şekil 2. Mesafe ile korelasyon katsayısı ilişkisi

En genel halde,

$$C = 1 - \left[\frac{d}{R_0}\right]^m \tag{23}$$

yazılır. Buna göre, (C) ifadesi, bir "$(\frac{d}{R_a})$ etki yarıçapı", bir de " (m) etki gücü" diye iki terimden oluşur.

3.4. İki Nokta Hali

Yukarıdaki matrisyel bağıntıdan,

$$X_1Y - b_1X_1^2 - b_2X_1X_2 - \frac{k}{2} = 0 \quad (24)$$

$$X_2Y - b_1X_1X_2 - b_2X_2^2 - \frac{k}{2} = 0 \quad (25)$$

$$b_1 + b_2 - 1 = 0 \quad (26)$$

yazılır. Merkeze indirgenmiş değişken değerleri için,

$$\sum X_1^2 = \sum X_2^2 = S^2.n \quad (27)$$

ve

$$\sum X_iX_j = \left[1 - (\frac{d_{ij}}{R_a})^m\right] S^2.n \quad (28)$$

veya

$$X_iY = \left[1 - (\frac{d_{iR}}{R_a})^m\right] S^2.n \quad (29)$$

Buradan,

$$\left[1 - (\frac{d_{1R}}{R_a})^m\right] - b_1 - b_2\left[1 - (\frac{d_{2R}}{R_a})^m\right] - \frac{k}{2S^2.n} = 0 \quad (30a)$$

$$\left[1 - (\frac{d_{1R}}{R_a})^m\right] - b_1\left[1 - (\frac{d_{2R}}{R_a})^m\right] - b_2 - \frac{k}{2S^2.n} = 0 \quad (30b)$$

$$b_1 + b_2 - 1 = 0 \quad (30c)$$

Bu değerleri kullanarak ve $d_{ij}^m = D_{ij}$ koyarak m=1 (korelasyon katsayısı mesafeyle lineer değişiyorsa), son satırı, ilk iki satırla toplarsak,

$$\left[-(\frac{d_{1R}}{R_a})^m\right] + 0 + b_2\left[(\frac{d_{2R}}{R_a})^m\right] - \frac{k}{2S^2.n} = 0 \quad (31a)$$

$$\left[-(\frac{d_{1R}}{R_a})^m\right] + b_1\left[(\frac{d_{2R}}{R_a})^m\right] + 0 - \frac{k}{2S^2.n} = 0 \quad (31b)$$

$$b_1 + b_2 - 1 = 0 \quad (31c)$$

bulunur ve $d_{ij} = D_{ij}$ koyarsak,

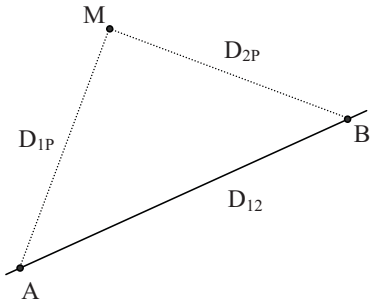
$$-D_{1P} + 0 + b_2 D_{12} - \frac{1}{2}\frac{R_a}{R_{max}} = 0 \quad (32a)$$

$$-D_{2P} + b_1 D_{12} + 0 - \frac{1}{2}\frac{R_a}{R_{max}} = 0 \quad (32b)$$

$$0 + b_1 + b_2 - 1 = 0 \quad (32c)$$

denklem sistemi elde edilir. Buradan, $b_1 = \frac{1}{2} - \frac{D_{2P} - D_{1P}}{2D_{12}}$ $b_2 = \frac{1}{2} + \frac{D_{2P} - D_{1P}}{2D_{12}}$

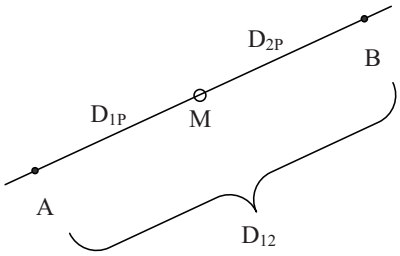
Bağıntılardan görüldüğü gibi, (R_a), sonuçlara herhangi bir etkisi yoktur. Yani, $b_i \neq f(R_a)$



Şekil 3. İki noktalı enterpolasyon

Özel Hal:

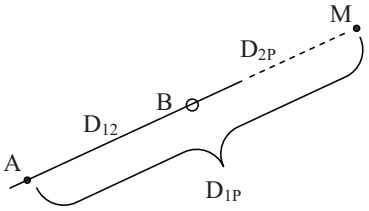
a. *(M)* noktası $(\overline{AB})$ üzerindedir:



Şekil 4. M noktası doğru içinde

Buna göre, $D_{12} - D_{1P} = D_{2P}$ Buradan, $b_1 = \frac{D_{1P}}{D_{12}}$ ve $b_2 = \frac{D_{2P}}{D_{12}}$ bulunur. Bu da, basit lineer enterpolasyon bağıntısıdır.

b. *(M)* noktası $(\overline{AB})$ üzerinde, fakat uzantısındadır:



Şekil 5. M noktası doğru dışında

$D_{1P} - D_{12} = D_{2P}$ Buradan, $b_1 = 0$ ve $b_2 = 1$ bulunur.

3.5. Üç nokta (üçgen) hali

Denklem sistemi aşağıdaki gibi yazılır;

$$X_1Y - b_1X_1^2 - b_2X_1X_2 - b_3X_1X_3 - \frac{L}{2} = 0 \quad (33a)$$

$$X_2Y - b_1X_1X_2 - b_2X_2^2 - b_3X_2X_3 - \frac{L}{2} = 0 \quad (33b)$$

$$X_3Y - b_1X_1X_3 - b_2X_2X_3 - b_3X_3^2 - \frac{L}{2} = 0 \quad (33c)$$

$$b_1 + b_2 + b_3 - 1 = 0 \quad (33d)$$

Bu durumda, önceki iki nokta durumunda yapılan işlemlerin benzeri yapılırsa,

$$-D_{1p} + 0 + b_2D_{12} - b_3D_{13} - \frac{L.R_a}{2S^2.n} = 0 \quad (34a)$$

$$-D_{2p} + b_1D_{12} + 0 - b_3D_{23} - \frac{L.R_a}{2S^2.n} = 0 \quad (34b)$$

$$-D_{3p} + b_1D_{13} + b_2D_{23} + 0 - \frac{L.R_a}{2S^2.n} = 0 \quad (34c)$$

$$-1 + b_1 + b_2 + b_3 - 0 = 0 \quad (34d)$$

Sistemin determinantı,

$$\nabla = \begin{bmatrix} 0 & D_{12} & D_{13} & 1 \\ D_{12} & 0 & D_{23} & 1 \\ D_{13} & D_{23} & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 0 \end{bmatrix} \quad (35)$$

Bu determinant, son kolona göre açılırsa,

$$\Delta = D_{12}^2 + D_{23}^2 + D_{13}^2 - 2D_{12}D_{13} - 2D_{23}D_{12} - 2D_{13}D_{23} \quad (36)$$

Buna göre,

$$b_1 = \frac{2D_{2p}D_{23} + D_{3p}(D_{21} - D_{23} - D_{13}) + D_{1p}(D_{23} - D_{21} - D_{13}) - D_{21}D_{13} - D_{23}D_{13} + D_{13}^2}{\Delta} \quad (37)$$

veya, permütasyonla,

$$b_1.\Delta = D_{23}\left[2D_{1p} - D_{2p} - D_{3p} + D_{23} - D_{12} - D_{13}\right] + (D_{21} - D_{31})(D_{2p} - D_{3p}) \quad (38)$$

$$b_2.\Delta = D_{13}\left[2D_{2p} - D_{1p} - D_{3p} + D_{13} - D_{12} - D_{23}\right] + (D_{12} - D_{32})(D_{1p} - D_{3p}) \quad (39)$$

$$b_3.\Delta = D_{12}\left[2D_{3p} - D_{1p} - D_{2p} + D_{12} - D_{23} - D_{13}\right] + (D_{13} - D_{23})(D_{1p} - D_{2p}) \quad (40)$$

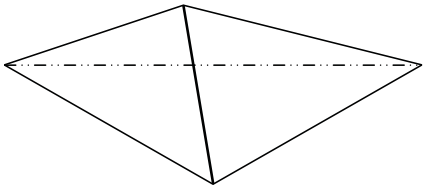
bulunur.

4. OTOMATİK KARTOGRAFİ

Yukarıdaki analizden, (MTH) otomatik kartografi yönteminden, aynı anda incelenen değişkenin çeşitli noktalarda enterpolasyonu ve otomatik kartografide yararlanılabilir.

4.1 Optimal Üçgen Ağının Teşkili

Ölçüm ağı istasyonlarının tamamı, istasyonları çevreleyen konveks alan, bir üçgenden oluşacak ve üçgen içerisinde başka hiçbir ölçüm noktası bulunmayacak, kenarları karelerinin toplamı minimum olacak şekilde birbirine bağlanır. Şekil 6'da görüldüğü gibi, optimum üçgen için, yatay köşegen yerine düşey köşegen alınacaktır.



Şekil 6. Optimal üçgen teşkili

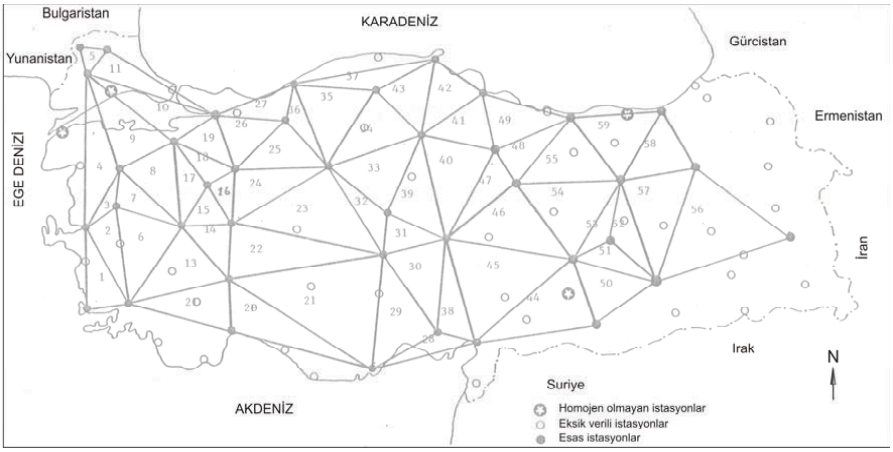
İncelenen değişkenin bir üçgen içerisinde bulunan her bir düğüm noktasındaki değeri, üçgenin köşelerindeki değerlerinden hareketle hesaplanır. Öyle ki, *(X)* değişkeninin, *(M)* noktasındaki $X(M)$ değeri aşağıdaki şekilde tahmin edilebilir;

$$X_i(M) = b_1(M)X_i(1) + b_2(M)X_i(2) + b_3(M)X_i(3) \quad (41)$$

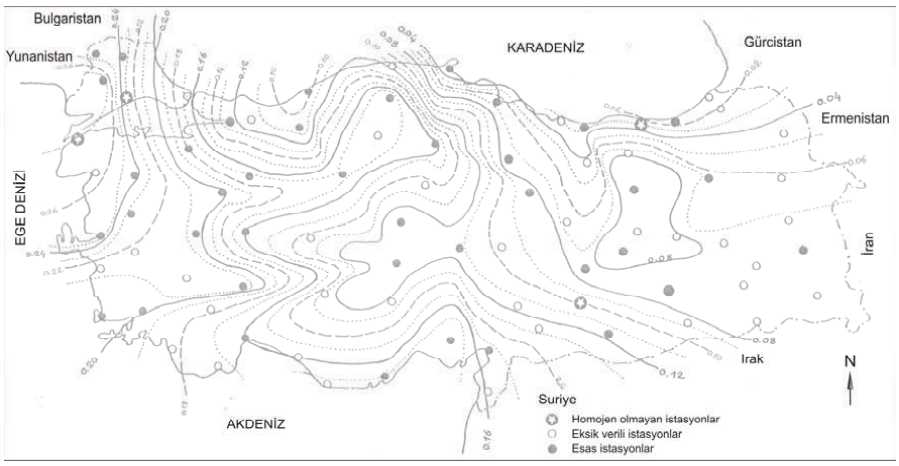
Burada b_1, b_2, b_3 önceki bölümde anlatılmıştır. Bu yöntemle, üçgenler, küçük ve düzgün karelerden oluşturularak, kartografi için, bu kareler arasındaki basit bir enterpolasyon eğrilerin otomatik olarak çizilmesini mümkün kılar.

5. SONUÇLAR

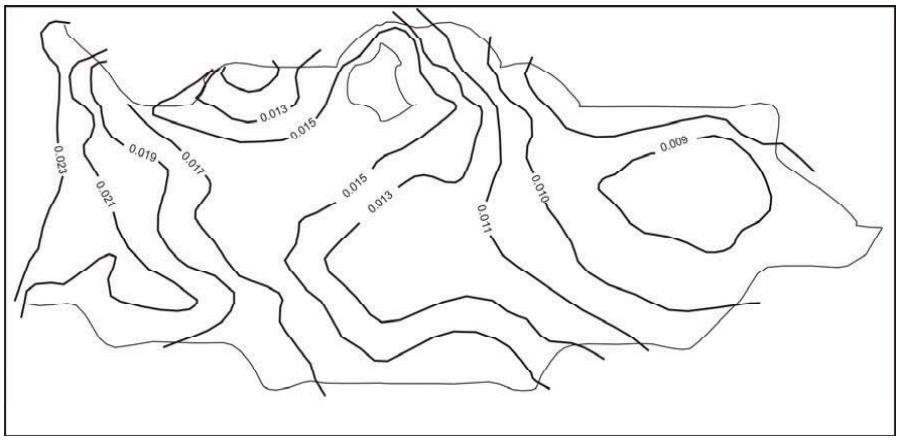
MTH Yöntemi, Türkiye'de, üçgenler ağı oluşturularak, ortalama aylık yağış değerlerinden oluşturulan korelasyon (veya kovaryans) matrisi öz vektör değerlerinde uygulaması yapılmıştır.



Şekil 7. Yağış istasyonlarının üçgen ağının oluşturulması



Şekil 8. Şubat ayına ait Birinci Esas bileşen öz vektörü (el ile çizim)



Şekil 9. Şubat ayına ait Birinci Esas bileşen öz vektörü (MTH-otomatik çizim)

Bu yöntemin uygulamasında, istasyon sayısı yetersiz ise, üçgen ağı dışında kalan alanlarda sağlıklı sonuçlar alınamamakta, ancak, belirli yaklaşımlarla elde edilen eğriler, el ile uzatılmaktadır. Bu gibi durumlarda, enterpolasyonun üçgenler ağı dışında kalan alanlarda yapılabilmesi için, komşu hidrolojik havzaların hiç olmazsa, bir kısım istasyonlarının yerlerinin bilinmesi gerekir.

MTH Yöntemi, Türkiye'nin tamamında, aylık yağış değerlerinin tahmininde uygulandı. Daha önce, ortalama aylık yağış değerleri bilinen 10 adet istasyonda, ölçülmüş değerler yok kabul edilerek, bu yöntem uygulanmış, elde edilen sonuçların çok yakın olduğu tespit edilmiştir.

Aynı yöntem, THIESEN yöntemi ve enterpolasyonlu elle çizim yöntemleriyle birlikte, Fransa'da Loire Havzasındaki GIEN istasyonunda,

- 1958, 1959 ve 1960 yağışlı yıllarındaki 5 büyük yağışlar için,
- 5 toplam aylık yağışlarda,
- 1958 – 1962 periyodundaki 5 adet toplam yıllık yağış değerlerinde uygulandı.

Uygulamada, bu üç yöntem sonuçlarının, hemen hemen aynı olduğu (korelasyon katsayısı 0.99) görülmüştür.

Yöntemin uygulanmasında yapılan kabullerden, örneğin, her bir üçgen ünite içerisinde varyansın sabit olması kabulü, üçgen üniteler büyüdükçe, zayıflar. Onun için, üçgen ağı teşkilinde, esas (baz) istasyonların sayısını yeteri kadar fazla almalı, aksi halde, varyansın sabit karakteri ortadan kalkabileceğinden, yeni bir varyans değişim fonksiyonu tariflemek ve incelemek gerekir.

Diğer yandan, merkezsel normal değerler üzerinde çalışıldığında, incelenen asıl değişkenin tahmini, değiştirilmiş değerleri üzerinden $(x-x_o)/s$ enterpolasyonu ve ortalamalarından hareketle yapılır.

6. KAYNAKLAR

Bocquillon C, Masson JM, Önsoy H, **"**Calcul des lames d'eaux à partir de relevés pluviométriques ponctuels MTH, Journée Pluviométrie de SHF", Paris, France, 12-13 Juin 1979.

Matheron G, "La théorie des variables régionalisées et ses applications", C.M.M., Fransa, 1970.

Önsoy H, "Contribution à La Méthodologie d'Analyses des Données Pluviométriques Application à La Turquie", Thèse Dr. Ing. USTL, Montpellier/France, 1978a.

Önsoy, H, "Esas Bileşenler Yöntemine Ait Bir Uygulama (Cp)", D.S.İ. Bülteni, No.45, Ankara, 1978b.

Önsoy, H, "Hidrolojide Yeni Bir Yöntem, Rastgele Değişkenlerin Enterpolasyonu ve Otomatik Kartografisi", 1. Hidroloji Kongresi, İstanbul, 1979.

Önsoy H., Bocquillon C., Interpolation de variables aléatoires et cartographie automatique (MTH), Bulletin AIRH (Hydrologie), vol.25, Wallingford, Oxon/U.K, 1980.

Ankara İçin 1-24 Saat Arasında Standart Süreli Yağışların İstatistiği ve Modellemesi

Reşat Acar [1], Serkan Şenocak [2]

Özet: Bu çalışmada Ankara iline ait orta süreli yağışlar için (t = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 12, 18 ve 24 saat) uygun olasılık yoğunluk fonksiyonu (OYF) belirlenerek istasyonlarda çeşitli tekerrür süreleri için (T = 2, 5, 10, 25, 50, 75 ve 100 yıl) en uygun yağış şiddet-süre-tekerrür denklemleri belirlenmiştir.

Ankara meteoroloji istasyonunun 1940-2004 yılları arasındaki belirli süreli maksimum yıllık yağış değerleri kullanılarak sırasıyla Genelleştirilmiş Ekstem Dağılımlar(GEV), Gumbel, Normal, İki Parametreli Lognormal, Üç Parametreli Lognormal, Gamma, Pearson ve LogPearson dağılımlarında hem maksimum olabilirlik hem de momentler yöntemi kullanılarak uygun dağılım fonksiyonları ve belli tekerrürlü yağış şiddetleri elde edilmiştir. Tekerrür süreleri için sekiz yağış şiddet-süre-tekerrür denklemi lineer olmayan tahmin yöntemiyle karşılaştırılmıştır. Ayrıca elde edilen yağış şiddetleri, tekerrür süreleri ve standart süreler ile birlikte iki genel denklemde de analiz edilmiştir.

Yağış yükseklik verilerindeki 1995 ve 1997 yıllarına ait değerlerin oldukça yüksek olduğu fark edilerek t = 1 saat ve t = 2 saat için yeniden araştırma yapılmıştır. Orta süreli yağışlarda Gumbel, üç parametreli Lognormal ve Genelleştirilmiş Ekstrem dağılımların uygun olduğu gözlenmiştir. $i = A + B/(t + C)$ denkleminin 5 ve 10 yıllık dönüş periyotları için, $i = A/(t^C + D)$ denkleminin de 2, 25, 50, 75 ve 100 yıllık dönüş periyotları için uygun olduğu ayrıca $i = (KT^X)/(A + t)^N$ ve $i = (AT^B)/(t^C + D)$ iki genel denklemin de elde edilen yağış şiddetleri kullanıldığında çok iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir.

Anahtar Sözcükler: Yağış şiddet-süre-tekerrür bağıntıları; Ankara; İstatistiksel dağılımlar

[1] Atatürk Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Erzurum, E-Posta: racar@atauni.edu.tr

[2] Atatürk Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Erzurum, E-Posta: ssenocak@atauni,edu.tr

Standart Duration Rainfall between 1-24 Hours Statistics and Modelling for Ankara

Abstract: In this study, rainfall intensity-duration-frequency (IDF) equations are determined for the intermediate rainfall durations of 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 12, 18 and 24 hours in different return periods (2, 5, 10, 25, 50, 75 and 100 years) for Ankara.

By using the records of the observed maximum annual rainfall values during the period 1940–2004, . the Generalized Extreme Values (GEV), Gumbel, Normal, two parameter Lognormal, three parameter Lognormal, Gamma, Pearson and Log-Pearson distributions were used to choose the best statistical distribution among them. The parameters of the IDF equations and coefficient of correlation for different return periods are calculated by using a nonlinear estimation method. And two general rainfall intensity equations were analized by using the rainfall intensities, return periods and rainfall durations.

Recalculation was done for t=1 h and t= 2 hours in 1995 and 1997 that has abnormal high values in rainfall values.

The intermediate rainfall values have been fitted to the Generalized Extreme Values (GEV), Gumbel and three parameter Lognormal distributions. $i = A + B/(t + C)$ function was chosen for T = 5 and T = 10 years, $i = A/(t^C + D)$ function was chosen for T = 2, 25, 50, 75 ve 100 years. General $i = (KT^X)/(A + t)^N$ and $i = (AT^B)/(t^C + D)$ functions give very good results for the intermediate duration rainfall intensities.

Keywords: Rainfall intensity-duration-frequency equations; Ankara; Statistical distributions

1. GİRİŞ

Sızma ve yüzeysel akışın dolaylı olarak belirlendiği mühendislik hidrolojisi çalışmalarında, süresi ve tekerrür aralığı ekonomik ilkeler çerçevesinde öngörülen proje yağışları kullanılır. Standart süreli ve belli tekerrürlü yağışlar pek çok mühendislik alanında proje veya model girdisi olarak kullanılmaktadır. Bu özellikteki yağış değerlerinin elde edilebilmesi için, meteoroloji istasyonlarında kaydedilen binlerce plüviyograf kaydının incelenmesi sonucunda elde edilen standart süreli maksimum yağış dizi kayıtlarının çıkarılması ve frekans analizlerinin yapılması gerekmektedir.

Ankara il merkezinde bulunan meteoroloji istasyonunun 1940-2004 yılları arasındaki belirli süreli maksimum yıllık yağış değerleri Devlet Meteoroloji Genel Müdürlüğünden temin edilmiştir.

1.1. İstatistiksel Dağılımlar

Çalışmada kullanılan bütün istatistiksel dağılımlar ve fonksiyonları Çizelge 1'de sunulmuştur.

Çizelge 1. İstatistiksel dağılımlar ve fonksiyonları

İstatistiksel Dağılım	Fonksiyon
Generalized Extreme Value (GEV) (Jenkinson, 1969)	$f(x)=\left(\left[1-k\left((x-u)/\alpha\right)\right]^{1/(k-1)}.e^{-\left[1-k.\left((x-u)/\alpha\right)\right]^{1/k}}\right)\Big/\alpha$
The Extreme Value Type I (Gumbel) (Chow, 1964; Yevjevich 1972)	$f(x)=\left(\exp\left[\left(-\left(x-u\right)/\alpha\right)-\exp\left(-\left(x-u\right)/\alpha\right)\right]\right)\Big/\alpha$
Normal (Hazen, 1914)	$f(x)=\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}}e^{\frac{1}{2\sigma^2}(x-\mu)^2}$
Two-Parameter Lognormal	$f(x)=\frac{1}{x.\sigma_y\sqrt{2\pi}}.\exp\left[-\frac{\left(Inx-\mu_y\right)^2}{2\sigma_y{}^2}\right]$
Three-Parameter Lognormal (Kite, 1978)	$f(x)=\frac{1}{(x-a).\sigma_y\sqrt{2\pi}}.\exp\left[-\frac{\left(In(x-a)-\mu_y\right)^2}{2\sigma_y{}^2}\right]$
Two-Parameter Gamma	$f(x)=\frac{1}{\alpha^{\beta}\Gamma(\beta)}x^{\beta-1}e^{-(x/\alpha)}$
The Pearson III	$f(x)=\frac{1}{\alpha.\Gamma(\beta)}\left(\frac{x-\gamma}{\alpha}\right)^{\beta-1}e^{-\left(\frac{x-\gamma}{\alpha}\right)}$
Log-Pearson III	$f(x)=\frac{1}{\alpha.x.\Gamma(\beta)}\left[\frac{In(x)-\gamma}{\alpha}\right]^{\beta-1}e^{-\left\{\frac{In(x)-\gamma}{\alpha}\right\}}$

Ortalama olarak T yılda bir görülen olayın değeri (x_T), frekans faktörüne (K_T) bağlı olarak

$$x_T=\bar{x}+K_T.S_X \tag{1}$$

genel bağıntısından hesaplanabilmektedir (Kite, 1978).

1.2. Ki-Kare Testi

Gözlenen bir örnekten elde edilen frekans dağılım fonksiyonunun seçilen bir teorik olasılık yoğunluk fonksiyonuna uygunluğunu kontrol etmek için yaygın olarak kullanılan bir testtir. Bu test ile bir grup gözlenen frekansların belirli özelliklere sahip ihtimal dağılım fonksiyonlarınca temsil edilip edilemeyecekleri araştırılmaktadır.

İhtimal dağılımlarına uygunluk testinde beklenen frekanslar ilgili ihtimal fonksiyonu kullanılarak elde edilir. Daha sonra

$$\chi^2=\sum\left(O_i-e_i\right)^2\Big/e_i \tag{2}$$

eşitliği ile test istatistiği hesaplanır. Denklemde O_i gözlenen frekanslar, e_i ise beklenen frekans değerleridir. Gözlenen frekans dağılımının seçilen seçilen teorik dağılıma uygun olduğu hipotezini kontrol etmek için, seçilen α anlamlılık düzeyine göre χ^2 dağılım

tablosundan aşılma olasılığı α olan χ^2_α değeri okunur. (2) denkleminden hesaplanan χ^2 değeri χ^2_α 'dan küçükse hipotez kabul edilir.

χ^2 testi ile bir frekans dağılımı çeşitli teorik dağılımlarla da karşılaştırılabilir, en küçük χ^2 değerini veren dağılımın gözleme en uygun dağılım olduğu kabul edilir (Bayazıt, 1981; Kartal, 1998).

1.3. Yağış Şiddet-Süre-Tekerrür Denklemleri

Birim zamanda düşen yağış yüksekliğine yağış şiddeti denir.

$$i = dP/dt \tag{3}$$

Yağışın *i* ortalama şiddeti, *t* süresi ve *T* ortalama tekerrür periyodu için,

$$i = (K.T^X)/(a+t)^N \tag{4}$$

şeklinde genel bir formül verilebileceği ileri sürülmüştür. K, a, X ve N katsayıları çalışılan her bölge için ayrı değerler alırlar (Bayazıt, 1995).

Yağış şiddet-süre-tekerrür bağıntılarından birisi de 10 dakika ile 24 saatlik yağışlar için uygulanan Wenzel (1982) genel denklemidir.

$$i = (a.T^b)/(t^c + d) \tag{5}$$

Yağış şiddet-süre-tekerrür bağıntılarından hidrolojistlerin kullandığı en eski denklemlerinden birisi Montana denklemidir (Bernard, 1932)

$$i = a/t^b \tag{6}$$

Yaygın olarak kullanılan diğer iki parametreli denklem ise Talbot denklemidir (Chow, 1964)

$$i = a/(b+t) \tag{7}$$

İki parametre içeren Fuller denklemi

$$i = a - b.In(t) \tag{8}$$

Montana ve Talbot denklemlerinin her ikisinin de daha genel üç parametreli denklemlerin küçük kısımları olarak kabul edilebilir. Bu denklemler

$$i = a/(t+c)^b \tag{9}$$

$$i = a/(t^b + c) \tag{10}$$

Karşılaştırma amacıyla yukarıdaki denklemlere ek olarak aşağıdaki üç parametreli denklemler de kullanılabilir (Bartual and Schneider, 2001).

$$i = a + b/(t + c) \tag{11}$$

$$i = a/(c.t + b) \tag{12}$$

İngiltere taşkın raporunda önerilen üç parametreli bir diğer yağış şiddet-süre-tekerrür denklemi de

$$i = a/(1 + b.t)^c \tag{13}$$

şeklindedir.

2. YÖNTEM VE BULGULAR

Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'nden alınan Ankara meteoroloji istasyonuna ait standart süreli (t = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 12, 18 ve 24 saat) yağış yüksekliği değerleri için Genelleştirilmiş Ekstem Dağılımlar (GEV), Gumbel, Normal, iki parametreli Lognormal, üç parametreli Lognormal, Gamma, Pearson ve LogPearson dağılımları ayrı ayrı incelenmiştir.

İki parametreli Lognormal ve Normal dağılımlarda parametre tahmin yöntemlerinden sadece maksimum olabilirlik Log-Pearson dağılımında ise sadece moment parametre tahmin yöntemi kullanılmıştır. GEV, Gumbel, üç parametreli Lognormal, Gamma ve Pearson dağılımlarında hem maksimum olabilirlik parametre tahmin yöntemi hem de moment parametre tahmin yöntemi ayrı ayrı kullanılmıştır.

Dağılım fonksiyon parametreleri elde edildikten sonra belli tekerrür değerleri (T = 2, 5, 10, 25, 50, 75 ve 100 yıl) için frekans faktörleri mevcut dağılım frekans faktörü tablolarından elde edilmiştir. Bunlar belirlendikten sonra (1) denkleminde genel formülü verilen *T* yılda bir görülen olayın değerleri (x_T) tahminleri yapılmıştır.

Standart süreli olan her biri için ayrı ayrı uygulanan dağılım fonksiyonlarından hangisinin bu standart süre için uygun dağılım olduğu χ^2 testi ile belirlenmiştir. Bütün uygulamalarda α önem seviyesi %5 alınmıştır.

Hangi dağılım fonksiyonunun uygun olduğuna karar verirken iki kriter kullanılmıştır. Birincisi χ^2 hesap değerinin χ^2 tablo değerinden küçük olması, ikinci kriter ise p ihtimal değerinin büyük olmasıdır. χ^2 hesap değerinin χ^2 tablo değerinden küçük olduğu durumlarda en küçük χ^2 hesap değerinin veren dağılımın uygunluğu kabul edilmiştir (Çizelge 2).

Çizelge 2. 24 saatlik yağış süresi için bütün istatistiksel dağılımlar için Ki-Kare sonuçları

Dağılım	Ki-Kare	p
GEV (Max. Likehood)	6.00	0.4232
GEV (Moment)	8.33	0.2147
EV I (Max. Likehood)	7.67	0.3629
EV I (Moment)	9.67	0.2083
NORMAL (Max. Likehood)	24.00	0.0011
LOGNORMAL (Max. Likelihood)	7.67	0.3629
LOGNORMAL (3 P) (Max. Likehood)	5.67	0.4615
LOGNORMAL (3 P) (Moment)	10.00	0.1247
GAMMA (Max. Likehood)	9.33	0.2296
GAMMA (Moment)	18.67	0.0093
PEARSON III (Max. Likehood)	9.00	0.1736
PEARSON III (Moment)	12.33	0.0549
LOGPEARSON III (Moment)	8.33	0.2147

Ankara meteoroloji istasyonunda orta süreli yağışlar için belirlenen uygun dağılım fonksiyonları ve parametre tahmin yöntemleri Çizelge 3 te sunulmuştur.

Çizelge 3. Ankara için farklı yağış süreleri için uygun bulunan istatistiksel dağılımlar

Yağış Süresi (saat)	Uygun Dağılım Fonksiyonu
1	Gumbel (Maksimum Olabilirlik)
2	Üç Parametreli Lognormal (Maksimum Olabilirlik)
3	GEV (Maksimum Olabilirlik)
4	GEV (Maksimum Olabilirlik)
5	Üç Parametreli Lognormal (Moment)
6	Gumbel (Maksimum Olabilirlik)
8	Üç Parametreli Lognormal (Maksimum Olabilirlik)
12	Gumbel (Maksimum Olabilirlik)
18	Üç Parametreli Lognormal (Maksimum Olabilirlik)
24	Üç Parametreli Lognormal (Maksimum Olabilirlik)

Her standart süre için seçilen dağılım fonksiyonunun belli tekerrür süreleri için elde edilen (x_T) yağış yüksekliği tahminleri (3) denklemi kullanılarak yağış şiddeti değerlerine çevrilmiştir (Çizelge 4).

Çizelge 4a. Ankara için farklı yağış ve tekerrür süreleri için belirlenen yağış şiddeti (mm/saat) değerleri

Yağış / Tekerrür	1 saat	2 saat	3 saat	4 saat	5 saat	6 saat	8 saat	12 saat	18 saat	24 saat
T = 2 yıl	14.6	8.0	5.8	4.6	3.8	3.5	2.6	1.9	1.3	1.2
T = 5 yıl	21.3	12.0	8.4	6.6	5.6	4.7	3.7	2.6	1.9	1.6
T = 10 yıl	25.7	15.2	10.5	8.3	7.1	5.5	4.5	3.1	2.4	2.0
T = 25 yıl	31.3	19.9	13.9	10.9	9.3	6.6	5.8	3.6	3.0	2.4
T = 50 yıl	35.5	23.8	16.9	13.3	11.0	7.4	6.8	4.1	3.5	2.8
T = 75 yıl	37.9	26.2	18.9	14.9	12.2	7.8	7.4	4.3	3.8	3.0
T = 100 yıl	39.6	28.0	20.5	16.1	13.0	8.2	7.9	4.5	4.0	3.1

Çizelge 4b. Ankara için farklı yağış ve tekerrür süreleri için belirlenen yağış şiddeti (mm/saat) değerleri (1995 ve 1997 yılları çıkarılarak hesaplanmış değerler)

Yağış / Tekerrür	1 saat	2 saat	3 saat	4 saat	5 saat	6 saat	8 saat	12 saat	18 saat	24 saat
T = 2 yıl	13.7	8.0	5.8	4.6	3.8	3.3	2.5	1.9	1.3	1.2
T = 5 yıl	19.2	11.1	7.9	6.3	5.1	4.4	3.4	2.4	1.8	1.5
T = 10 yıl	22.9	13.2	9.2	7.4	6.0	5.1	4.0	2.8	2.1	1.8
T = 25 yıl	27.5	15.8	10.9	8.8	7.0	5.9	4.8	3.4	2.6	2.2
T = 50 yıl	30.9	17.7	12.1	9.9	7.8	6.6	5.4	3.8	2.9	2.5
T = 75 yıl	32.9	18.8	12.9	10.5	8.3	6.9	5.7	4.1	3.1	2.7
T = 100 yıl	34.3	19.6	13.4	10.9	8.6	7.2	6.0	4.3	3.2	2.8

Elde edilen yağış şiddeti değerleri tekerrür sürelerine göre ayrıldıktan sonra yağış şiddet-süre-tekerrür bölümünde açıklanan denklemler için doğrusal olmayan parametre tahminleri bilgisayar yazılımı kullanılarak ayrı ayrı elde edilmiştir.

Elde edilen parametrelerin, yağış şiddeti ve standart süre ile olan ilişkisi araştırılmış ve korelasyon katsayıları belirlenmiştir. En yüksek korelasyon katsayısına sahip yağış şiddet-süre-tekerrür denkleminin belli tekerrür süresi için uygun bir denklem olduğu kabulüne gidilmiştir. Uygun bulunan denklemin parametre değerleri belirlenmiştir (Çizelge 5). Aynı işlemler (4) ve (5) genel denklemleri için de yapılmış korelasyon katsayıları ve denklem parametreleri belirlenmiştir (Çizelge 6).

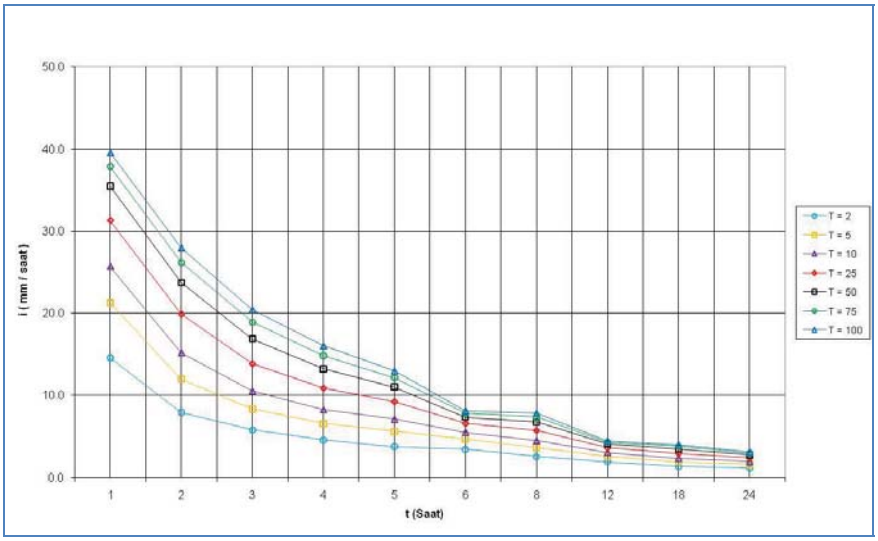
Çizelge 5. Farklı tekerrür süreleri için belirlenen denklemler ve parametre değerleri

T	**Fonksiyon**	**a**	**b**	**c**	**R**
2	$i = a / [t^b + c]$	12.09020	0.748690	-0.171432	0.99986
5	$i = a + [b / (t + c)]$	0.574503	25.54621	0.233191	0.99992
10	$i = a + [b / (t + c)]$	0.413747	34.49069	0.362039	0.99972
25	$i = a / [t^b + c]$	55.75766	1.057225	0.776208	0.99888
50	$i = a / [t^b + c]$	84.56035	1.170382	1.373045	0.99802
75	$i = a / [t^b + c]$	110.0245	1.248649	1.890419	0.99734
100	$i = a / [t^b + c]$	132.6199	1.306327	2.332875	0.99675

Çizelge 6. Farklı tekerrür süreleri için belirlenen denklemler ve parametre değerleri

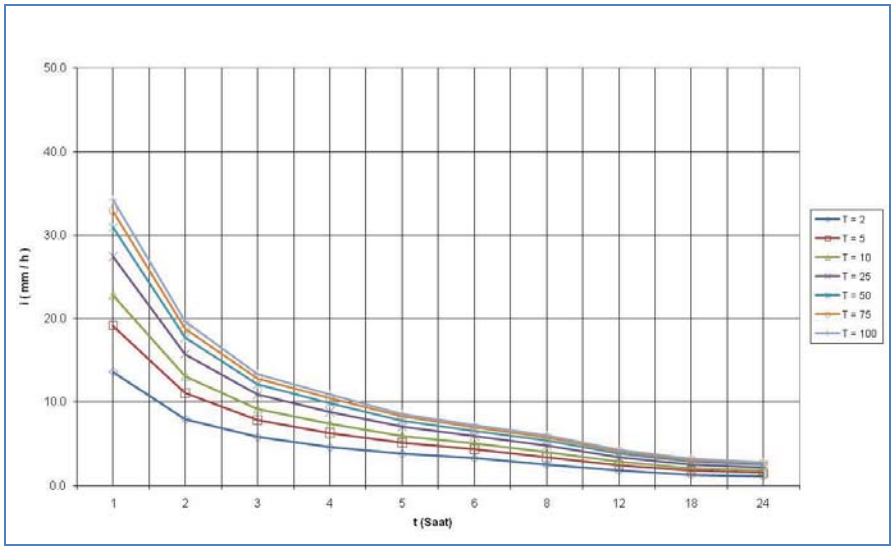
Fonksiyon	a	b	c	d	K	X	N	R
$i = (K.T^X)/(a+t)^N$	1.223	-	-	-	33.596	0.253	1.178	0.9954
$i = (a.T^b)/(t^c + d)$	29.334	0.253	1.144	1.2401	-	-	-	0.9955

Şekil 1'de Ankara istasyonu orta süreli yağış değerleri için elde edilen yağış şiddet-süre-tekerrür eğrileri gösterilmiştir.



Şekil 1. Ankara istasyonuna ait yağış şiddet-süre-tekerrür eğrileri

Çalışmada, kullanılan 60 yıllık yağış yükseklik verilerindeki 1995 ve 1997 yıllarına ait değerlerin seri ortalamasından oldukça sıra dışı olduğu fark edilmiş ve bu değerlerin yeniden istatistiği değerlendirilmiştir (Çizelge 4b, Şekil 2). Bu sıra dışı değerlerin + 3 standart sapma uzaklıktan (% 99.73) fazla oldukları ve bunların uygun görülen dağılıma göre daha büyük tekerrür sürelerinde gözlenebileceği hesaplanmıştır. 60 yıl gibi bir sürede bu değerler gözlenirken hesaplamalarda 100 yıllık bir tekerrür süresinde bile bu değere yakın bir değer ön görülmemesi yapılan çalışmalarda eksik bir yönün olup olmadığı sorusunu akla getirmektedir. Çalışma tekrarlandığında literatür ve işlem hatalarının olmadığı sonucuna varılmıştır.



Şekil 2. Ankara istasyonuna ait yağış şiddet-süre-tekerrür eğrileri (1995 ve 1997 yılları hariç)

3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada 1940-2004 yılları arasında Ankara iline ait orta süreli yağışlar için (t = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 12, 18 ve 24 saat) uygun olasılık yoğunluk fonksiyonu belirlenerek istasyonlarda çeşitli tekerrür süreleri için (T = 2, 5, 10, 25, 50, 75 ve 100 yıl) en uygun yağış şiddet-süre-tekerrür denklemleri belirlenmiştir.

Orta süreli yağışlarda Gumbel, üç parametreli Lognormal ve Genelleştirilmiş Ekstrem dağılımların uygun olduğu gözlenmiştir. $i = A + B/(t + C)$ denkleminin 5 ve 10 yıllık dönüş periyotları için, $i = A/(t^C + D)$ denkleminin de 2, 25, 50, 75 ve 100 yıllık dönüş periyotları için uygun olduğu ayrıca $i = (KT^X)/(A + t)^N$ ve $i = (AT^B)/(t^C + D)$ iki genel denklemin de elde edilen yağış şiddetleri kullanıldığında çok iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir.

Çalışmada, kullanılan 60 yıllık yağış yükseklik verilerindeki 1995 ve 1997 yıllarına ait değerlerin seri ortalamasından oldukça sıra dışı olduğu fark edilmiş ve bu değerlerin yeniden istatistiği değerlendirilmiştir. Çalışma tekrarlandığında literatür ve işlem hatalarının olmadığı sonucuna varılmıştır.

Diğer bazı istasyonların standart süreli yağış verilerinde bu gibi farklılıkların olup olmadığı da araştırılmıştır. Araştırma sonucunda Adana, Antalya, Bolu, Gaziantep, Zonguldak illerine ait yağış verilerinde de yakın sonuçlar gözlenmiştir. Bu sıra dışı değerler olasılık yoğunluk fonksiyonu belirlenmesinde etkilidirler. Bu sıra dışı değerler çıkarıldıktan sonra yapılan çalışmada olasılık yoğunluk fonksiyonunun değiştiği gözlenmiştir. Sıra dışı değerlerin iklim değişikliğinden etkilenmiş değerler olduğu kanaatine varılmıştır.

4. KAYNAKLAR

Bayazıt M, "Hidrolojide istatistik yöntemler", İTÜ Matbaası, İstanbul, Türkiye, 1981.

Bayazıt M, "Hidroloji", İTÜ Matbaası, İstanbul, Türkiye, 1995.

Bernard MM, "Formulas for rainfall intensities of long durations", Trans. ASCE, 96: 592-624, 1932.

Chow, VT, "Handbook of Applied Hydrology", McGraw- Hill, New York, 9-49 – 9-62, 1964.

Garcia-Bartual R, Schneider M, "Estimating maximum expected short-duration rainfall intensities from extreme convective storms", Phys. Chem. Earth (B), 26 (9): 675 – 681, 2001.

Hazen, A, "Storage to be provided in impounding reservoirs for municipal water supply", Trans. ASCE, 77: 1308, 1914.

Jenkinson AF, "Estimation of maximum floods", World Meteorological Organisation, Technical note, no. 98, chapter 5, 183-257, 1969.

Kite, GW, "Frequency and risk analysis in hydrology", Water Resources Publications, Fort Collins, CO, 69-83, 1978.

Kartal M, "Bilimsel araştırmalarda hipotez testleri", Şafak Yayınevi, Erzurum, Türkiye, 1998.

Wenzel HG, "Rainfall for urban stormwater design", In: Urban Storm Water Hydrology (D.F. Kibler, editor), Water Resources Monograph 7,AGU,Washington D.C, USA, 1982.

Yevjevich, V, "Probability and statistics in hydrology", Water Resources Publications, Fort Collins, CO, 149-158, 1972.

Tahtalı Havzası için Aylık Su Bütçesi Modeli

Okan Fıstıkoğlu[1], Umut Okkan[2]

Özet: Sunulan çalışmada, parametrik ve kavramsal bir su bütçesi modeli geliştirilerek; İzmir içmesuyu sisteminin önemli bir kaynağı olan Tahtalı baraj havzasının aylık akımları modellenmiştir. Geliştirilen model 7 parametreli bir yağış-akış modeli olup, sadece aylık alansal ortalama yağış ve sıcaklık değerlerine ihtiyaç duymaktadır. Tahtalı havzası için kurulan modelin uzun dönem gözlenmiş ve modellenmiş akım istatistikleri karşılaştırıldığında, modelin Tahtalı baraj havzası aylık akımlarını başarıyla temsil ettiği gösterilmiştir. Kurulan model yardımıyla, 1988 yılından itibaren gözlenmeyen akımlar, 2008 yılına kadar türetilmiş ve 1988 öncesi ve sonrasındaki akımlar mevsimlere göre karşılaştırılarak, akımlardaki değişimler irdelenmiştir.

Anahtar Sözcükler: parametrik su bütçesi modeli; akım tahmini; Tahtalı havzası

Monthly Water Budget Model for Tahtali River Basin

Abstract: In the study presented, the parametric and conceptual water budget model is developed and it is applied to the Tahtali watershed which is the major surface water resources for city of Izmir. Developed model which has 7 parameters, require only monthly areal precipitation and temperature data as input. Long term statistics of both observed and modeled flows show that the developed model simulates monthly mean discharges of Tahtali watershed, satisfactorily. The results represent that model can be used to estimate the monthly runoff for the basin. In addition to that, runoff values which have not been observed after 1988, were estimated until the year of 2008 and they were compared to the past runoff series considering the seasons.

Keywords: parametric water budget model; runoff estimations; Tahtali watershed

1. GİRİŞ

Parametrik aylık su bütçesi modelleri, havzaların buharlaşma-terleme, sızma, yüzeysel akış, yüzeyaltı depolaması ve akışı ile yeraltı depolaması ve akışı gibi tüm hidrolojik

[1] Dokuz Eylül Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İzmir, E-Posta: okan.fistikoglu@deu.edu.tr
[2] Bayburt Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Bayburt, E-Posta: uokkan@bayburt.edu.tr

süreçlerini ayrı ayrı kavramsallaştırarak, aylık yağış girdisini aylık akış çıktısına dönüştürmektedir (Xu ve Singh, 1986). Su bütçesi modelleri aylık akımların tahmininde, havzaların yağış-akış dönüşüm mekanizmalarının açıklanmasında, arazi kullanımı ve iklim değişikliğinin akımlar üzerindeki etkilerinin belirlenmesi çalışmalarında sıkça kullanılmaktadır (Singh ve Frevert, 2002).

Kavramsal modellerde kullanılan parametreler, havzaya ait fiziksel parametreler (havza alanı, eğimi, vb.) olabileceği gibi, kavramsallaştırma nedeniyle ortaya çıkan ve doğrudan ölçülemeyen parametreler şeklinde de olabilmektedir (Singh ve Frevert, 2002). Maksimum zemin nemi depolaması, yüzey altı boşalım katsayısı gibi doğrudan ölçülemeyen bu parametrelerin, eş zamanlı gözlenmiş model girdi ve çıktı setiyle (yağış, sıcaklık, buharlaşma, akış, vb) çalıştırılan modelin hatalarını minimize eden en uygun değerlerinin belirlenmesi (kalibrasyon); ve gözlenmiş bir başka girdi ve çıktı seti ile de sınanması (verifikasyon) gerekmektedir (Baven, 2001).

Parametrik modellerde parametre sayısı arttıkça model sonuçları gözlenmiş değerlere daha da yaklaşabilmektedir (Gan ve diğ., 1997). Fakat bu durumda, çok sayıda parametrenin kalibrasyonu güçleşmekte; bu sebepten ötürü de parametre yoğun modellerin uygulanabilirliği azalmaktadır (Gan ve diğ., 1997; Butts ve diğ., 2004). Ayrıca, modelin parametre sayılarındaki artış, hatalı kavramsallaştırmanın bir sonucu olarak modeli olumsuz yönde de etkileyebilmektedir (Thorsten ve Gupta, 2005). Bu gibi durumlarda modeller, kalibrasyon dönemlerinde başarılı olurken verifikasyon dönemlerinde başarısız olmaktadır (Perrin ve diğ., 2001). Bu nedenle parametrik modellerin mümkün olduğunca az sayıda parametreyle yeterli doğrulukta tahminler üreten modeller olmaları tercih edilmektedir. (Fıstıkoğlu ve Harmancıoğlu, 2001; Fistikoglu, 2002).

Hazırlanan çalışmada, parametrik bir aylık su bütçesi modeli geliştirilmiş ve model İzmir kentinin içme suyu ihtiyacının büyük bir bölümünü karşılayan Tahtalı baraj havzasında uygulanarak baraja giren aylık akımlar modellenmiştir.

2.YÖNTEM

2.1. Aylık Su Bütçesi Modeli

Aylık su bütçesi modelleri, havzaların aylık akımlarının tahmin edilmesinde kullanılmaktadır. Günlük akım modellerine kıyasla, aylık modeller daha az sayıda parametreye sahiptirler. Dolayısıyla, model yapıları günlük modellere kıyasla daha basittir (Fıstıkoğlu ve Harmancıoğlu, 2001).

Sunulan çalışmada, Tahtalı baraj havzası için, geliştirilen parametrik aylık su bütçesi modeli; aylık toplam yağış (P_t) ve aylık ortalama sıcaklıktan türetilen potansiyel evapotranspirasyon ($ET_{t,pot}$) değerlerini kullanarak, havza çıkışındaki akışın yüzeysel, yüzeyaltı ve yeraltı akış bileşenlerini hesaplamaktadır. Toplam 7 parametreye sahip model, model sınıfları göz önüne alındığında; kavramsal, deterministik, ortalanmış ve sürekli bir yapıya sahiptir. Model yapısına ilişkin detaylı bilgiler aşağıdaki bölümde verilmektedir.

2.2. Modelin Yapısı

Modelde potansiyel evapotranspirasyon (ETpot), aylık ortalama sıcaklığın (T) bir fonksiyonu olarak hesaplanmaktadır (Denklem 1). Eğer aylık evapotranspirasyon modelden ayrı olarak Blaney-Criddle, Penman-Monteith veya Thornthwaite gibi bir başka eşitlikle hesaplanacak olursa; Denklem 1 de verilen □□ ve Ω parametreleri modelden çıkarılmakta ve model 5 parametreli hale dönüşmektedir.

$$ETpot = \Theta e\ \Omega T \quad (1)$$

Modelde yüzeye düşen aylık toplam yağışın (P), ilk olarak α katsayısına bağlı olarak α.P kadarlık kısmı yüzeysel akışa yönlendirilmektedir (Denklem 2).

$$Qs=\alpha P \quad (2)$$

Geriye kalan kısım ise sızma (infiltrasyon) ile zemin nemine katılmaktadır (Denklem 3).

$$Inf = (1-\alpha)P \quad (3)$$

Sızma ve potansiyel evapotranspirasyon hesaplandıktan sonra genel süreklilik denklemi gereği, zemin nemi aşağıdaki gibi tanımlanabilmektedir (Denklem 4).

$$St = St\text{-}1 + Inf - ETpot \quad (4)$$

Daha sonra, o ayki toplam potansiyel evapotranspirasyon değeri (ETpot) zemin nemi ile karşılaştırılmakta; eğer yeteri kadar zemin nemi mevcutsa evapotranspirasyon buradan karşılanmaktadır. Bu durumda gerçek evapotranspirasyon potansiyele eşit olmaktadır. Eğer ETpot değeri, mevcut zemin neminden büyük ise gerçek evapotranspirasyon (ETa) değeri ortaya çıkmaktadır (Denklem 5 a,b).

$$St < 0;\ ETa = St\text{-}1 + Inf \quad (5.a)$$

$$St > 0;\ ETa = ETpot = \Theta e\ \Omega T \quad (5.b)$$

Yüzeyaltı depolamasının maksimum değeri olan ve aynı zamanda modelin bir parametresi olarak tanımlanan Smax değerinin aşılması durumunda ise (St>Smax), aşan miktarın bir kısmı β parametresine bağlı olarak yüzeysel akışı (Qss) beslemektedir (Denklem 6).

$$Qss = \beta\ (St - Smax) \quad (6)$$

Geri kalan (1-β) kadarlık kısmı da yeraltı suyu depolamasına geçmektedir. Bu aynı zamanda perkolasyon (Per) olarak tanımlanmaktadır (Denklem 7).

$$Per = (1-\beta)\ (St - Smax) \quad (7)$$

Yüzeysel akışın yeraltısuyundan beslenen kısmı ise (QGwt) γ katsayısına bağlı olarak, bir önceki ayın aktif yeraltı suyu depolamasından (SGwt-1) elde edilmektedir.

$$Q_{Gwt} = \gamma S_{Gwt-1} \quad (8)$$

Aktif yeraltı suyu depolaması ise yeraltı suyuna perkolasyon yoluyla katılan suyun (Per) ve bir önceki aydan kalan yeraltısuyu depolamasının ξ katsayısıyla çarpımı olarak belirlenmektedir. Böylece süreklilik denklemi esasınca yeraltı suyu depolaması Denklem 9' da gösterildiği gibi tanımlanabilmektedir.

$$S_{Gwt} = (S_{Gwt-1} + Per)\ \xi - Q_{Gwt} \quad (9)$$

Böylece herhangi bir t ayındaki yüzeysel akış Denklem 10'dan;

$$Q_{m,t} = \alpha P_t + \beta\ (SSW_t) + \gamma\ S_{Gwt-1} \quad (10)$$

şeklinde hesaplanabilmektedir.

Burada;

α : yüzeysel akış katsayısını,
P_t : t ayındaki yağışı (mm/ay),
β : yüzeyaltı akış katsayısını,
SSW_t : t ayındaki yüzeyaltı biriktirmesinin aşılan kısmını (S_t – Smax) (mm/ay),
γ : yeraltısuyu akış katsayısını,
$S_{Gw,\ t-1}$: t-1 ayındaki, aktif yeraltı suyu depolamasını (mm/ay) göstermektedir.

2.3. Modelin Kalibrasyonu

Modelin 7 parametresi kalibrasyon döneminde gözlenmiş akımlarla, model sonuçları arasındaki farkların kareleri toplamını (F) (Denklem 11) minimum yapacak şekilde belirlenmektedir. Belirlenen bu parametreler, verifikasyon döneminde sınanarak parametrelerin tutarlılığı test edilmektedir.

$$F = \sum_{t=1}^{N} (Q_{m,\ t} - Q_{göz,\ t})^2 \quad (11)$$

Model parametrelerinin kalibrasyonu sırasında model ile gözlenmiş akım değerleri arasındaki R^2 (determinasyon) katsayısının yanı sıra, kalibrasyon kriterleri arasında önemli bir yer bulan Nash-Sutcliffe kriteri de (Nash ve Sutcliffe, 1970; WMO, 1986) esas alınmıştır (Denklem 12).

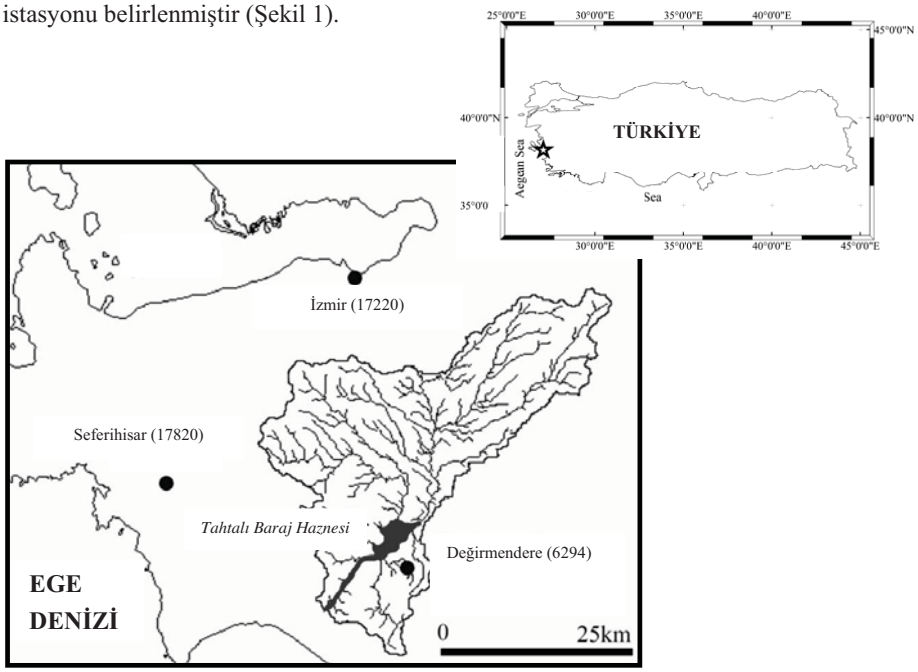
$$NASH = 1 - \frac{\sum_{t=1}^{N} (Q_{m,\ t} - Q_{göz,\ t})^2}{\sum_{t=1}^{N} (Q_{göz,\ t} - Q_{göz,\ ort})^2} \quad (12)$$

Burada $Q_{m,t}$ modellenmiş akımları, $Q_{göz,t}$ gözlenmiş akımları, $Q_{göz,ort}$ gözlenmiş ortalama akımları ifade etmektedir.

3. UYGULAMA

3.1. Uygulama Havzası ve Hidrolojik Verilerin Derlenmesi

Çalışmada aylık su bütçesi modeli İzmir'e içme suyu temin eden 546 km^2 drenaj alanına sahip Tahtalı baraj havzası için kurulmuştur. Tahtalı Baraj havzasına ait akımlar, DSİ 6-7 numaralı Tahtalı Dere, Dereboğazı akım ölçüm istasyonunda 1970-1988 döneminde gözlenmiştir. Tahtalı havzasındaki yağış ve sıcaklıklar için, havzanın içerisinde ve çevresinde DMİ tarafından işletilen ve yeterli sayıda veriye sahip 3 adet ölçüm istasyonu belirlenmiştir (Şekil 1).



Şekil 1. Tahtalı baraj havzası ve havzayı temsil eden meteoroloji istasyonları

Tahtalı baraj havzasının aylık toplam yağışlarını temsil etmek üzere seçilen ve Şekil 1'de konumları gösterilen Değirmendere, İzmir ve Seferihisar istasyonlarından havzanın alansal ortalama yağışlarının bulunabilmesi için istasyonlar arasında Thiessen poligonları oluşturulmuş ve her bir istasyonun havza üzerindeki ağırlıkları elde edilmiştir. Buna göre istasyonların havza üzerindeki ağırlıkları İzmir için 0.40; Değirmendere için 0.55; Seferihisar için 0.05 olarak belirlenmiştir. Değirmendere ve Seferihisar istasyonlarına ait eksik birkaç yağış gözlemi ise eksik gözlemi olmayan İzmir istasyonu ile kurulan korelasyon-regresyon ilişkileri yardımıyla tamamlanmıştır. Aylık ortalama sıcaklık verileri ise diğer istasyonlarla oldukça yüksek korelasyonlar veren İzmir istasyonundan temin edilmiştir. Akım gözlemleri açısından, Dereboğazı akım gözlem istasyonunun sadece 1970-1988 su yılları arasında gözlemi bulunduğundan, aylık su bütçesi modeli bu dönemi kapsayan yağış ve sıcaklık verileri esas alınarak hazırlanmıştır.

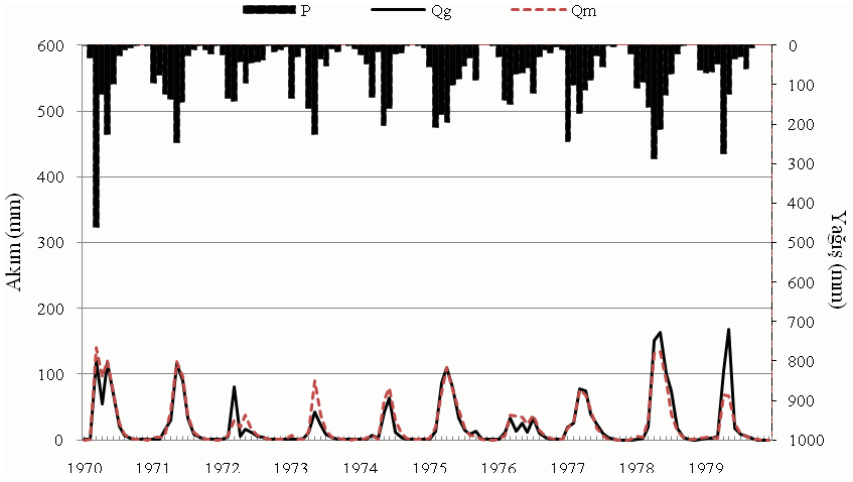
3.2. Model Parametrelerinin Belirlenmesi ve Bulgular

Yöntem bölümünde yapısı verilen aylık yağış-akış modeli, MS Excel ortamında Visual Basic Programlama dili ile makro halinde kodlanarak geliştirilmiştir. Kurulan model, başlangıç yüzeyaltı depolaması ($S_{0,t}$) ve başlangıç yeraltısuyu depolaması ($S_{0,Gwt}$) değerlerini okuyarak simülasyona başlamakta ve her bir ay için akış bileşenlerini hesaplamaktadır. $S_{0,t}$ ve $S_{0,Gwt}$ değerleri hassas değerler olmayıp, simülasyon başladıktan belli bir süre sonra model sonuçları içerisindeki etkilerini kaybetmektedir. Bu nedenle, başlangıç şartları olan bu değerler, model sonuçları bu aylarda gözlemlere yakınsayacak şekilde deneme yanılma yoluyla belirlenmiştir. Hazırlanan programda, Tahtalı baraj havzasını temsil eden 19 yıllık akım gözleminin ilk 10 yılı kalibrasyon, diğer 9 yıllık kısmı ise verifikasyon amacıyla kullanılmıştır. Modelde parametreler Denklem 11'de tanımlanan F değerini minimum yapacak şekilde iteratif olarak belirlenmiş; bulunan değerler Denklem 12 ile de (Nash-Sutcliffe kriteri) kontrol edilmiştir. Kalibre edilen aylık su bütçesi modeline ait parametreler Çizelge 1'de gösterilmektedir.

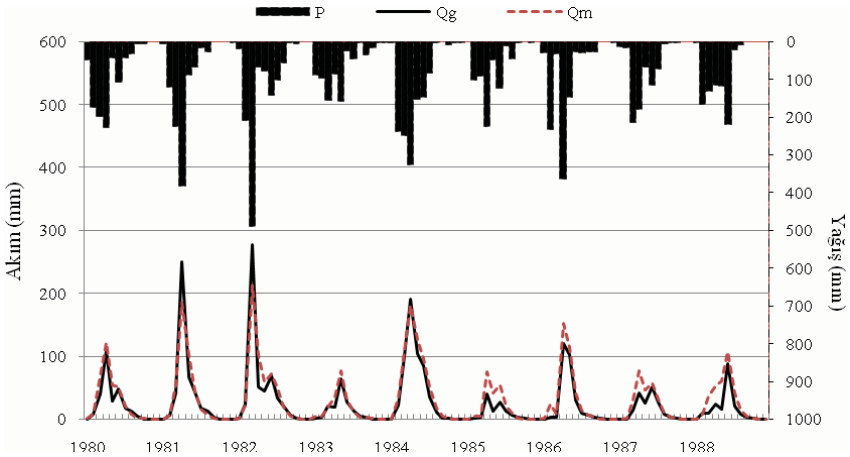
Çizelge 1. Tahtalı baraj havzasına ait aylık su bütçesi modeli parametreleri.

θ	Ω	α	S_{max}	β	γ	ξ
11.707	0.109	0.049	128.185	0.439	0.457	0.782

Modelin, kalibrasyon ve verifikasyon dönemlerine ait sonuçları, gözlenmiş akımlarla birlikte Şekil 2 ve 3'te aylık gidiş grafikleri olarak verilmiştir.



Şekil 2. Tahtalı baraj havzası kalibrasyon dönemi gözlenmiş ve modellenmiş akımlar ile alansal ortalama yağış (mm/ay) değerlerinin gidişi.



Şekil 3. Tahtalı baraj havzası verifikasyon dönemi gözlenmiş ve modellenmiş akımlar ile alansal ortalama yağış (mm/ay) değerlerinin gidişi.

Şekil 2 ve 3'e ek olarak, model sonuçları ile gözlenmiş değerlerin ortalama, standart sapma, NASH ve determinasyon katsayısı (R^2) istatistikleri ise Çizelge 2'de verilmektedir.

Çizelge 2. Kalibrasyon (a) ve verifikasyon (b) dönemlerine ait gözlenmiş ve modellenmiş akımların istatistikleri.

(a)

N = 10 yıl	**NASH**	**R^2**	**Ortalama (mm/ay)**	**Std.Sapma (mm/ay)**
Q_{model}	0.85	0.85	22.98	34.19
$Q_{gözlem}$			22.52	37.47

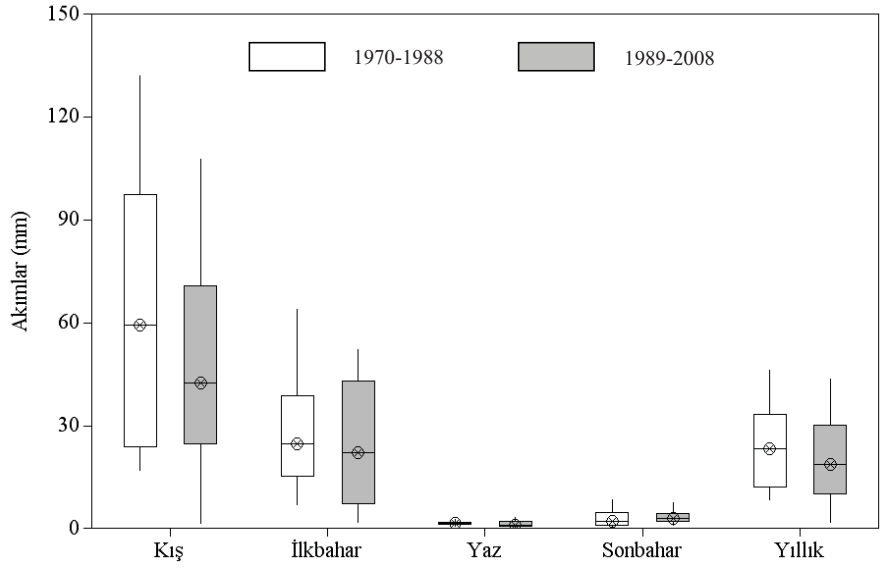
(b)

N = 9 yıl	**NASH**	**R^2**	**Ortalama (mm/ay)**	**Std.Sapma (mm/ay)**
Q_{model}	0.88	0.89	30.49	44.46
$Q_{gözlem}$			24.98	45.86

Gözlenmiş ve modellenmiş akımların gidiş grafikleri kıyaslandığında, model çıktılarının gözlenmiş akımlarla uyumlu olduğu görülmektedir. Bununla birlikte, model çıktıları ile gözlenmiş değerlerin Çizelge 2'de verilen ortalama, standart sapma ile yine aynı tabloda verilen NASH ve determinasyon katsayısı (R^2) istatistikleri incelendiğinde model sonuçlarının, gözlenmiş akımları başarılı bir biçimde temsil ettiği görülmektedir.

Çalışmada aynı zamanda Tahtalı deresinin akım gözlemlerinin sonlandığı 1988 su yılı sonrasındaki, 1989-2008 dönemi akımları da türetilmiştir. Türetilen akımlara ait

mevsimsel ve yıllık ortalama değerler 1970-1988 dönemi akımlarıyla karşılaştırılmış ve sonuçlar kutu grafik formatında Şekil 4'te sunulmuştur.



Şekil 4. Tahtalı baraj havzasına ait 1970-1988 dönemi gözlenmiş ve 1989-2008 dönemi türetilmiş mevsimsel ve yıllık ortalama akımların kutu grafikleri.

Şekil 4'teki kutu grafik incelendiğinde kış dönemine ait ortalama akımlarda % 26, ilkbahar dönemine ait akımlarda % 5 oranında azalmalar belirlenmiştir. Kış dönemi akışlarında üst %25 (yüksek akımlar) ve alt %25 (düşük akımlar) dilimdeki azalmalar son derece dikkat çekicidir. Yaz ve sonbahar dönemlerine ait azalmalar ise istatistiksel açıdan anlamlı değildirler. Yıllık ortalama akımlar göz önüne alındığında Tahtalı havzası akışlarında son 20 yıllık dönemde % 17 oranında bir azalma hesaplanmıştır.

4.SONUÇLAR

Geliştirilen aylık yağış-akış modeli, girdi olarak sadece aylık toplam yağış ve aylık ortalama sıcaklık değerlerine ihtiyaç duymakta ve kalibre edilebilir 7 parametre içermektedir. Kavramsal bir yapıda olan model çok fazla hidrolojik veri ve arazi ölçümüne ihtiyaç duymaması nedeniyle, hızlı ve basit bir yağış-akış modeli kurma olanağı sunmaktadır.

Modelin Tahtalı baraj havzasındaki performansı göz önüne alındığında, geliştirilen modelin havzanın aylık akımlarını başarıyla modelleyebildiği; dolayısıyla havzada, gelecek akımların kestirimi, yağış ve sıcaklık değişimlerinin akımlar üzerindeki etkilerinin belirlenmesi ve hazne işletme çalışmalarında hazneye giren akımların tahmini gibi pek çok alanda kullanılabileceği gösterilmiştir. Geliştirilen modelin,

bölgedeki diğer havzalardaki performanslarıyla ilgili çalışmalar halen devam etmektedir.

5. KAYNAKLAR

BEVEN K.J., "Rainfall-runoff modelling: the primer". ISBN: 978-0-470-86671-9 Wiley, 2001.

BUTTS M.B., PAYNE J.T., KRISTENSEN M, MADSEN M., "An evaluation of the impact of model structure and complexity on hydrological modelling uncertainty for streamflow prediction." J Hydrol. 298, 242–266, 2004.

Fıstıkoğlu O, Harmancıoğlu N., "Yukarı Gediz Havzasında Aylık Su Bütçesi Model Uygulaması". III. Ulusal Hidroloji Kongresi. SUMER, İzmir, 2001.

Fistikoglu, O., "Development of integrated tools for river basin management". Ph.D. Thesis DEU, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Izmir, Turkey, 2002.

GAN, T.Y., DLAMINI, E.M., BIFTU G.F. "Effects of model complexity and structure, data quality and objective function on hydrologic modeling". Journal of Hydrology. 32, 3513-3524, 1997.

PERRIN, C., MICHEL C., ANDREASSIAN, V., "Does a large number of parameters enhance model performance?. Comparative assessment of common catchment model structures on 429 catchments." Journal of Hydrology. 242, 275-301, 2001.

SINGH V.P., FREVERT D.K. , "Mathematical models of small watershed hydrology" ISBN:1-887201-35-1. Water Resources Publications, Colorado, 2002.

THORSTEN W., GUPTA V. H. "Model identification for hydrological forecasting under uncertainty" Stoch Environ Res Risk Assess. 19, 378–387, 2005.

XU, C.Y. AND SINGH, V.P. , "A Review on Monthly Water Balance Models for Water Resources Investigations" Water Res. Managements, 12, 31-50, 1986.

Kemer Barajı Aktif Hazne Hacminin Farklı Tasarım Yöntemleriyle İrdelenmesi

H.Yıldırım Dalkılıç [1], Umut Okkan [2]

Özet: Su kaynakları mühendisliğinde önemli bir yer teşkil eden baraj hazneleri, barajın bulunduğu hidrolojik koşullara, barajdan çekilmesi istenen su miktarına ve barajın işletilme politikasına bağlı olarak tasarlanmaktadır. Bunlara ilaveten, akımlardaki rastgelelikten ötürü hazne tasarımında belli bir güvenilirlik, risk ve verim de dikkate alınmakta ve bu kapsamda geliştirilmiş birçok yöntem uygulamalarda kullanılmıştır. Sunulan çalışmada, uygulama örneği olarak Kemer baraj haznesi ele alınarak hacim–risk ilişkileri araştırılmış ve barajın aktif hazne hacmi irdelenmiştir. Baraja ait 1981-2000 yılları arasındaki aylık ve yıllık ortalama akım verileri kullanılarak farklı tasarım yöntemleri ile hazne kapasitesi hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar Kemer barajı planlama hacmiyle karşılaştırılmış, yöntemler arasındaki farklılıklar vurgulanmıştır.

Anahtar Sözcükler: hazne kapasitesi, hacim-risk ilişkileri, Kemer barajı

Examination of Kemer Dam's Active Reservoir Capacity with Different Design Methods

Abstract: Dam reservoirs which have a significant importance in water resources engineering, are designed according to hydrological conditions, demands and operational policy of the dam. In addition to these, due to the randomness of flows, utmost attention is paid to the points such as risk, efficiency and reliability when designing a reservoir, and many methods are used regarding these issues. In the study presented, Kemer Dam reservoir was evaluated as a case study, capacity-risk relations of reservoir were investigated and active reservoir capacity was examined. Reservoir capacity was determined with different design methods by using monthly and yearly average flow data cover the years 1981-2000. Obtained results were compared with Kemer Dam planning reservoir capacity, discrepancies of methods were emphasized.

Keywords: reservoir capacity, capacity-risk relations, Kemer dam

[1] Dokuz Eylül Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İzmir, E-Posta: yildirim.dalkilic@deu.edu.tr
[2] Bayburt Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Bayburt, E-Posta: uokkan@bayburt.edu.tr

1. GİRİŞ

Hazne kapasitesinin belirlenmesi, su kaynaklarını geliştirme projelerinin önemli bir problemidir. Bu kapasite hesaplarına en genel adıyla hazne tasarımı denmekte ve sözü edilen hazne kapasitesi tayini hazneye giren akımlara, yağışa, hazneden buharlaşan-sızan su miktarına, hazneden sulama, içme suyu, enerji vb. maksatlı çekilmesi planlanan su miktarına ve haznenin işletilme şekline bağlı olarak değerlendirilmektedir (Bayazıt, 1997; Bacanlı ve diğ., 2003; Burges ve Linsley, 1971; Vogel ve Stedinger, 1987; McMahon ve Mein, 1986). Bunların yanı sıra akımlardaki rastgele değişkenliklerden dolayı hazne tasarımı istatistiksel yöntemlere de dayanmakta, tasarlanan hazneden çekilmesi istenen su miktarı ancak belli bir olasılıkla sağlanabilmektedir (Gould, 1961; Gould, 1964a; McMahon ve Mein, 1986; Vogel ve McMahon, 1996; Özkul, 2009). Bu da hazne güvenirliğinin ya da diğer bir deyişle risk kavramının tasarımda önemli bir ölçüt olduğunu göstermektedir (Bayazıt, 1997; McMahon ve Mein, 1986; Moran, 1955; Lloyd ve Odoom, 1964; Carty ve Cunnane, 1990). Ayrıca gereğinden büyük planlanmış baraj haznesi örnekleri düşünüldüğünde, tasarımların ekonomik olmadığı durumlar (Halden ve Özkul, 2004) veya tam tersi ele alındığında barajların doğal koşullara yetememesi ve taşkınlardan zarar görebilmesi durumları hazne tasarım yöntemlerindeki önemi destekler niteliktedir (Vogel ve diğ., 1999).

2. HAZNE HACMİ TASARIM YÖNTEMLERİ

Temel olarak incelendiğinde hazne tasarım yöntemleri iki aşamada değerlendirilmektedir. Bunlardan ilki ön tasarım yöntemleri olarak adlandırılmakta, basit metotlara ve kabullere dayanmakta, sistemin kayıplarını ihmal ederek çözüm yapan, fakat hızlı değerlendirme olanağı sunan yöntemler olarak bilinmektedir (McMahon ve Mein, 1986). Ancak probleme daha gerçekçi bir şekilde yaklaşılması gerektiği, sistem kayıplarının da çözüme dâhil edildiği ve kesin tasarım yöntemleri olarak da adlandırılan yöntemler daha sık kullanılmaktadır. Bu yöntemlerde, hazneye giren akımların ve düzenleme oranının yıl içinde değişimi de göz önüne alınabilmekte ve sistemin risk esaslı performans analizleri de yorumlanabilmektedir (Bayazıt, 1997; McMahon ve Mein, 1986; Moran, 1955; Parks ve Gustards, 1982; Lallemand, 2001; Aksoy, 2001).

Hazne hacminin belirlenmesinde kullanılan yöntemler ise ampirik (kritik dönem), analitik ve simulasyon yöntemleri olmak üzere üç grupta toplanmaktadır (McMahon ve Mein, 1986). Birinci grupta yer alan yöntemler, kritik dönem yöntemleri olarak da bilinmekte, belli bir düzenleme oranı altında gerekli hazne hacminin belirlenmesi amacıyla ve başlangıçta dolu olarak kabul edilen hazneye giren ardışık akım dizilerinin kullanıldığı yöntemlerdir. Eklenik akımlar (Rippl), eklenik farklar ve minimum akımlar gibi yöntemler bu gruba örnek olarak gösterilebilmektedir (McMahon ve Mein, 1986; Bacanlı ve diğ., 2003).

Ancak belirli bir dağılım uygunluğunun öngörülmediği bu yöntemlerde tasarlanan hazne hacminin ihtiyacı karşılayamama olasılıkları yani riskleri belirlenememektedir. Bu sebepten ötürü N yıllık akım verisinin kullanıldığı bir tasarım probleminde, riskin yaklaşık olarak 0.6/(N+0.2)'e eşit olduğu varsayılabilmektedir (McMahon ve Mein, 1986; Halden ve Özkul, 2004). Bunların yanı sıra belirli bir dağılımın öngörüldüğü ve farklı risklerin

varsayılabildiği Alexander, Dincer, Gould Gamma gibi ampirik yöntemler de ön tasarım aşamasında yaygın uygulama alanı bulmaktadır (Alexander, 1962; Gould, 1964b; McMahon ve Mein, 1986; Teoh ve McMahon, 1982; Bacanlı ve diğ., 2003).

Kesin tasarım aşamasında sıklıkla kullanılan, aylık su bütçesi analizi adı verilen yöntemde ise sistem kayıpları ile ihtiyaçların aylık değişimleri de hesaba katılabilmekte ve böylece yöntem süreklilik denklemi esas alınarak tasarım sürecinde güvenle kullanılabilecek bir yaklaşım olarak görülmektedir (Parks ve Gustards, 1982).

Hazne hacminin belirlenmesinde kullanılan diğer bir grup da analitik yöntemlerdir. Bu yöntemlere örnek olarak ön tasarım aşamasında kullanılan McMahon yaklaşımı ve kesin tasarım aşamasında sıklıkla kullanılan Gould'un olasılık matrisi örnek verilebilir (McMahon ve Mein, 1986). Üçüncü ve son grup ise sentetik veri kullanımını temel alan simülasyon yöntemlerini içermektedir. Gould tarafından geliştirilen abaklar, Monte Carlo simulasyonları bu gruba örnek gösterilebilir (Gould, 1964; McMahon ve Mein, 1986; McMahon ve diğ., 2007; Halden ve Özkul, 2004).

Sunulan çalışmada, örnek bir baraj haznesi için hacim-risk ilişkileri araştırılmış, aktif hazne hacmi irdelenmiştir. Bu amaçla, Büyük Menderes'in Akçay kolu üzerinde yer alan Kemer barajı örneği ele alınmıştır. Baraja ait veriler derlenerek değerlendirilmiş ve 1981-2000 yılları arasındaki aylık ve yıllık ortalama akım verileri kullanılarak, eklenik akımlar, eklenik farklar, minimum akımlar, Alexander, Dincer, Gould Gamma, McMahon, aylık su bütçesi yöntemleri (Behavior Analysis) ile hazne kapasitesi hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar Kemer barajı planlama hacmiyle karşılaştırılmış, yöntemler arasındaki farklılıklar vurgulanmıştır. Yöntemlere ait diğer detaylara ve hesaplamalara 3.2 bölümünde geniş bir şekilde yer verilmiştir.

3. UYGULAMA

3.1. Verilerin Derlenmesi

Kemer barajı, Ege Bölgesinin en uzun nehri olan Büyük Menderes'in Akçay kolu üzerinde, sulama, taşkın kontrolü ve enerji üretimi amacıyla 1954-1958 yılları arasında inşa edilmiş bir barajdır. Barajın yer aldığı havza olan Büyük Menderes 9800 ha'lık sulak alanıyla bölge büyük önem taşımakta ve bu anlamda Kemer barajı havzanın önemli su kaynaklarından birisi olarak görülmektedir (Dalkılıç ve Okkan, 2009). Aktif hazne hacmi yaklaşık 463 hm^3 olan barajı temsil eden veriler DSİ XXI. Bölge Müdürlüğü ve Kemer Barajı HES İşletme Müdürlüğünden temin edilmiştir. Alınan veriler derlenerek değerlendirilmiş ve baraj dolu savağının kapaklı hale getirilmesinden önceki 1981-2000 yılları arasındaki 240 aylık döneme ait veriler kullanılmıştır (DSI, 2007; EUAS, 2007).

Çalışmada belirli bir dağılıma uygunluk varsayımı olan yöntemlerin de kullanılmasından ötürü, Kemer baraj haznesine gelen akımların dağılımları da incelenmiş, uygun dağılımlar Anderson-Darling test istatistiği ile sınanmıştır. Dağılım sınaması sonucu, akımların %5 anlamlılık düzeyinde Normal, Weibull(2) ve Üssel dağılımlara uymadıkları, Lognormal(2), Lognormal(3), Weibull(3), Gamma(2) ve Gamma(3) dağılımlarına ise uydukları tespit edilmiştir. Çalışmada farklı yöntemleri karşılaştırabilmek için kesin tasarım yöntemine ait analizler buharlaşma kayıpları ihmal

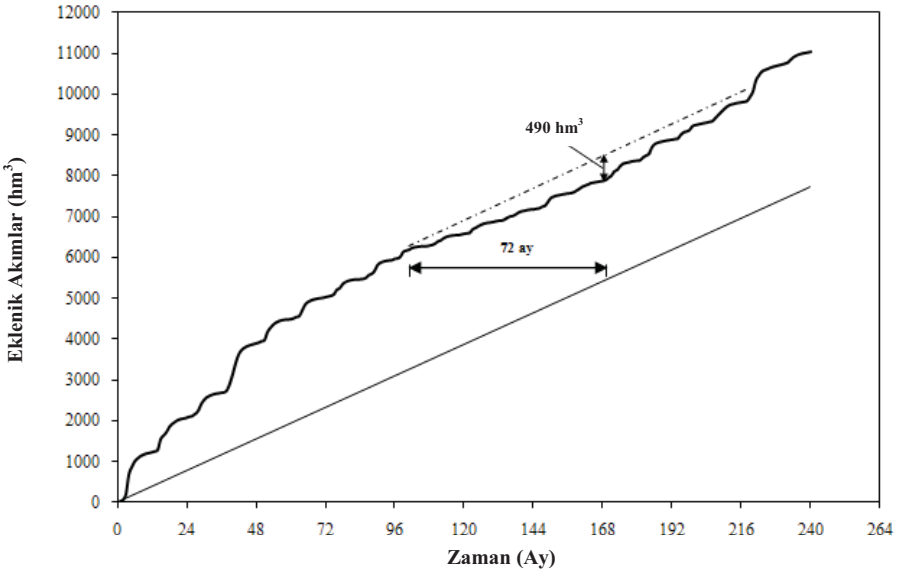
edilerek değerlendirilmiş; su ihtiyacının aylık değişimi sabit kabul edilerek düzenleme oranı uygulamalarda %70 olarak alınmıştır. Buharlaşma kayıplarının ve ay içindeki ihtiyaçların da hesaba dâhil edildiği ikinci bir kesin tasarım analizi için ise çalışma bölgesinde baraj havzasını temsil edeceği düşünülen ve yeterli sayıda gözleme sahip 3 adet meteoroloji istasyonu tespit edilmiştir. Bu istasyonlar DMI tarafından işletilen Denizli (17237), Muğla (17292) ve Nazilli (17860) istasyonları olup, analizlerde bu istasyonlara ait alansal ortalama yağış, sıcaklık ve buharlaşma değerleri kullanılmıştır. Eksik buharlaşma ölçümleri ise buharlaşma ve sıcaklık verileri arasında kurulan üssel regresyon ilişkisi yardımıyla tamamlanmıştır.

3.2. Farklı Yöntemlerle Hazne Hacminin Belirlenmesi

3.2.1. Eklenik Akımlar (Rippl) Yöntemi

Hazne hacmi belirleme yöntemleri arasında en eskisi ve en basit yapıda olanı, akımların ardışık olarak toplanması esasına dayanan Rippl yöntemidir. Yöntemde belli bir düzenleme oranında sürekli çekimi sağlamak için gerekli hazne kapasitesini belirlerken eklenik akımların gidişlerine çekim eğrisine paralel şekilde teğetler çizilir. Çizilen teğetler ile eklenik akımlar arasında oluşturulan en büyük dik mesafe hazne hacmini; en büyük dik mesafenin oluştuğu nokta ile teğetin başlangıç noktası arasındaki yatay mesafe ise kritik dönem uzunluğunu vermektedir (Rippl, 1883).

Kemer barajına ait 20 yıl süreli aylık akış hacimleri kullanılarak %70 düzenleme oranı için elde edilen eklenik akım ve çekim eğrileri Şekil 1' de sunulmaktadır. Buradan gerekli hazne kapasitesi yaklaşık olarak **490 hm^3**, kritik dönem uzunluğu ise **72 ay** olarak belirlenmiştir. Haznenin toplam süre içerisinde bir kez yetersiz kalma olasılığı, N toplam veri uzunluğu olmak üzere, 0.6/(N+0.2) bağıntısından yaklaşık olarak % 3 olarak hesaplanmıştır.

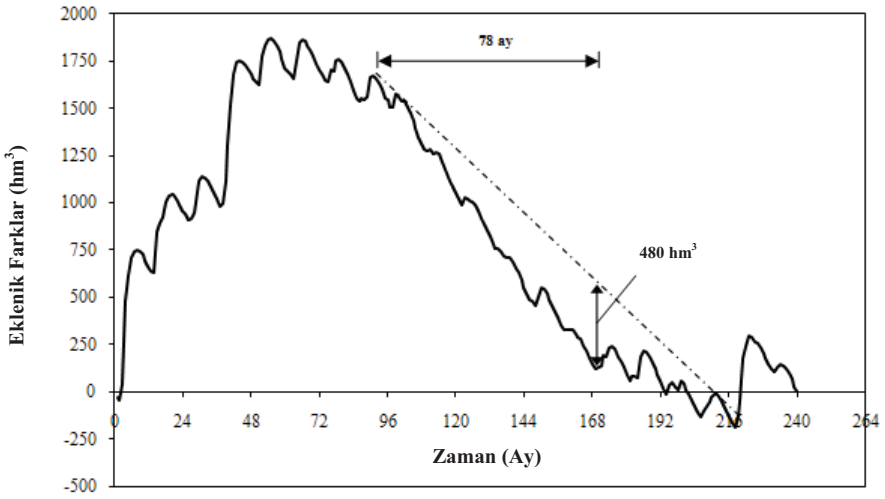


Şekil 1. Eklenik akımlar yöntemiyle hazne kapasitesinin belirlenmesi

3.2.2. Eklenik Farklar Yöntemi

Eklenik farklar yöntemi de eklenik akımlar yöntemi gibi grafik bir yöntem olarak kullanılmaktadır. Yöntemde eklenik akımlar yönteminden farklı olarak akım verilerinden ve belli bir düzenleme oranında belirlenen aylık çekim değerlerinden ortalama akımlar çıkartılarak farklar elde edilmekte ve bu eklenik farkların gidişleri çizdirilmektedir. Buna göre, çekim ve eklenik fark eğrisi arasındaki en büyük dik uzaklık hazne hacmini; arada kalan yatay mesafe ise kritik dönem uzunluğunu vermektedir (McMahon ve Mein, 1986; Montaseri ve Adeloye, 1999; Bacanlı ve diğ., 2003).

Şekil 2'de %70 düzenleme oranı için elde edilen eklenik farkların gidişleri gösterilmektedir. Buradan gerekli hazne kapasitesi yaklaşık olarak **480 hm^3** olarak okunmuş, kritik dönem uzunluğu ise **78 ay** olarak belirlenmiştir. Haznenin toplam süre içerisinde bir kez yetersiz kalma olasılığı ise yaklaşık olarak % 3 olarak hesaplanmıştır.

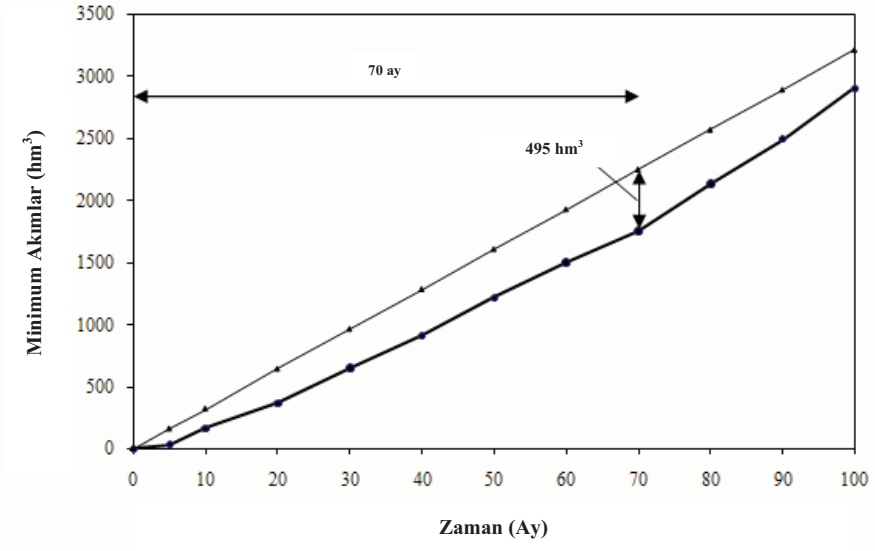


Şekil 2. Eklenik farklar yöntemiyle hazne kapasitesinin belirlenmesi

3.2.3. Minimum Akımlar Yöntemi

Minimum akımlar yöntemi ile kapasite hesabı yaparken önce akım gözlemlerinden en küçük 5, 10, 20, 30, … ,100'er aylık toplam akımlar bulunarak listelenmektedir. Listelenen değerlerin minimum olanları belirlenip 5, 10, 20, 30, …. ,100. aya karşı gelecek şekilde noktalanarak minimum akımlar eğrisi çizdirilmekte ve bu eğri ile çekim arasındaki en büyük dik uzaklık hazne kapasitesini vermektedir. En büyük dik uzaklığın yatay ekseni kestiği nokta ise kritik dönem uzunluğu olarak tanımlanmaktadır (Waitt, 1945).

Çalışmada % 70 düzenleme oranı için, aylık uniform çekim miktarı 32.16 hm^3 olarak alınarak Şekil 3'ten gerekli hazne hacmi kapasitesi yaklaşık **495 hm^3**; kritik dönem uzunluğu ise **70 ay** olarak belirlenmiştir. Haznenin yetersiz kalma olasılığı ise yaklaşık olarak % 3 'tür.



Şekil 3. Minimum akımlar yöntemiyle hazne kapasitesinin belirlenmesi

3.2.4. Alexander Yöntemi

Aylık akım değerlerinin kullanıldığı eklenik akımlar, eklenik farklar ve minimum akımlar yöntemlerinden farklı olarak, Alexander yönteminde yıllık akım değerleri kullanılmaktadır. Gamma dağılımlı yıllık akım varsayımı ile farklı tekerrür (T_r), kritik dönem uzunluğu (CP_1) ve düzenleme oranları (D) için elde edilmiş özel abaktan hazne kapasitesi (τ_1) belirlenebilmektedir (Alexander, 1962 ; McMahon ve Mein, 1986; Bacanlı ve diğ., 2003).

Yöntemde abak Gamma dağılımı şekil parametresi α =1 değeri için oluşturulduğundan, öncelikle yıllık akım dizisine ait Gamma dağılımı şekil parametresi (Thom, 1958) hesaplanmaktadır. (Denklem 1).

$$\alpha = \frac{1+\sqrt{1+\frac{4}{3}\left[\log_e(Q_{ort})-\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\log_e(Q_i)\right]}}{4\left[\log_e(Q_{ort})-\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\log_e(Q_i)\right]} \tag{1}$$

Daha sonra Gamma dağılımı şekil parametresi için gerekli düzeltmeler yapılarak hazne kapasitesi (Denklem 2) ve kritik dönem uzunluğu (Denklem 3) belirlenebilmektedir.

$$C = \frac{\tau_1}{\alpha} Q_{ort} \tag{2}$$

$$CP = \frac{CP_1}{\alpha} \tag{3}$$

Bu denklemlerde; C, hazne kapasitesini; τ_1, abağa ait hazne kapasitesini; CP, yıl biriminde kritik dönem uzunluğunu; CP_1 abağa ait yıl biriminde kritik dönem uzunluğunu, α, Gamma dağılımlı dizinin şekil parametresini, Q_{ort} , ortalama yıllık akımları, n, yıl adedini göstermektedir.

Çalışmada 0.70 düzenleme oranı ve % 3 risk için 34 yıl tekerrürlü hazne hacmini hesaplama amacıyla Alexander abağından (Alexander, 1962) CP_1 ve τ_1 yaklaşık olarak sırasıyla 10 ve 2 olarak okunmuş; ilgili denklemler yardımıyla Gamma dağılımı şekil parametresi 5.07, hazne kapasitesi ise 217.4 hm^3 olarak belirlenmiştir. Ancak Kemer barajı akımları için yıllık oto-korelasyon değeri 0.42 olarak hesaplanmış, iç bağımlılık etkisi katsayısı ilgili abaktan (Srikanthan,1985) yaklaşık olarak 1.8 olarak okunarak düzeltilmiş hazne kapasitesi **391.3 hm^3**; kritik dönem uzunluğu ise yaklaşık 1.97 yıl (~**24 ay**) olarak belirlenmiştir.

3.2.5. Dincer Yöntemi

Alexander yönteminde olduğu gibi Dincer yönteminde de yıllık akım değerleri kullanılmakta ancak Alexander yönteminden farklı olarak Normal dağılımlı yıllık akım varsayımı ile hazne kapasitesi (Denklem 4) ve kritik dönem uzunluğu (Denklem 5) hesaplanabilmektedir (McMahon ve Mein, 1986 ; McMahon ve diğ., 2007).

$$C = \frac{Q_{ort} C_v^{\,2} z_p^{\,2}}{4(1-\mathrm{D})} \tag{4}$$

$$CP = \frac{C_v^{\,2} z_p^{\,2}}{4(1-\mathrm{D})^2} \tag{5}$$

Burada C; hazne kapasitesini; CP; yıl biriminde kritik dönem uzunluğunu C_v; yıllık akımların değişkenliğini; z_p, belli bir olasılık değerine karşılık gelen standardize normal değişkeni; D, düzenleme oranını ve Q_{ort}; yıllık ortalama akımı simgelemektedir.

Kemer barajı yılık akım verileri ile % 70 düzenleme oranı için, % 3 olasılıklı, 1.88 standardize normal değişkenli hazne hacmi içsel bağımlılık etkisi de düşünüldüğünde **757.8 hm^3** ve kritik dönem uzunluğu 2.55 yıl (**30 ay**) olarak hesaplanmıştır. Ancak Kemer barajına ait yıllık akım verilerinin Normal dağılıma uygunluk testinden geçememesi, Dincer varsayımını geçersiz kılmaktadır.

3.2.6. Gould Gamma Yöntemi

Gould Gamma yöntemi; Alexander ve Dincer yöntemlerinin birlikte uygulaması şeklinde düşünülebilmektedir (Bacanlı ve diğ., 2003). Hazne hacminin belirlenmesinde Dinçer yöntemindeki gibi normal dağılım parametreleri kullanılmakta ancak Gould tarafından belirlenen bir düzeltme faktörü yardımıyla Gamma dağılımlı olarak hacim hesaplanabilmektedir (Denklem 6). Bu yönteme göre düzeltme faktörleri % 10 olasılık değeri için, 0.3; % 5 olasılık değeri için, % 3 olasılık değeri için 0.9; % 1 olasılık değeri için 1.5 alınabilmektedir. Ancak bu yöntemde kritik dönem uzunluğuna dair bir bağıntı geliştirilmemiştir (Gould, 1964b).

$$C = \frac{Q_{ort} C_v^{\,2} z_p^{\,2}}{4(1-\mathrm{D}) - \mathrm{d}} \tag{6}$$

Burada C, hazne kapasitesini; C_v, yıllık akımların değişkenliğini; z_p, belli bir olasılık değerine karşılık gelen standardize normal değişkeni; D, düzenleme oranını, Q_{ort}, yıllık ortalama akımı ve d, Gould Gamma düzeltme faktörünü simgelemektedir.

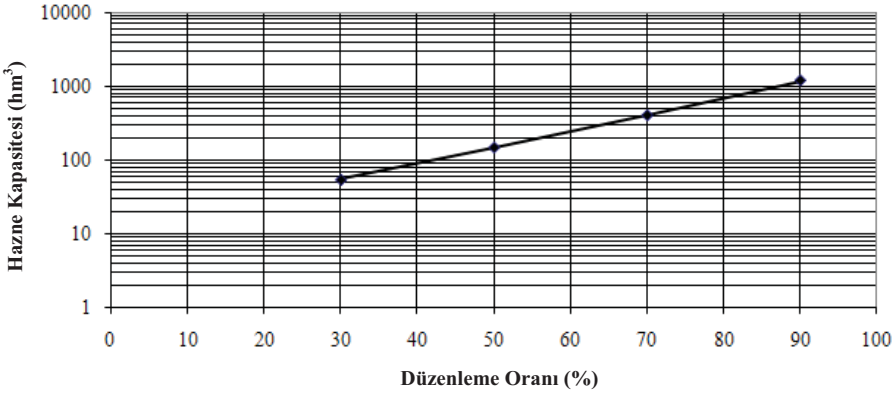
Kemer barajı yılık akım verileri ile % 3 olasılık değerine karşılık gelen düzeltme faktörü 0.9 olarak alınarak, % 70 düzenleme oranı için hazne hacmi içsel bağımlılık etkisi de düşünüldüğünde yaklaşık **526.5 hm^3** olarak hesaplanmıştır.

3.2.7. McMahon Yöntemi

Yıllık akım verilerine ihtiyaç duyan ve McMahon tarafından geliştirilmiş bu ampirik yöntem, hazne kapasitesinin yıllık ortalama akımlara oranını, yıllık akımların değişkenliğinin üstel bir fonksiyonu olarak ele almaktadır (Denklem 7). Ancak bu yöntemde de Gould Gamma yönteminde olduğu gibi kritik dönem uzunluğuna dair bir bağıntı geliştirilmemiştir (McMahon, 1976; McMahon ve Mein, 1986).

$$C = (\mathrm{a}\, C_v^{\,\mathrm{b}})\, Q_{ort} \tag{7}$$

Bağıntıda C, hazne kapasitesini; C_v, yıllık akımların değişkenliğini; Q_{ort}, yıllık akımların ortalamasını; a ve b ise farklı düzenleme oranları ve haznenin farklı yetersiz kalma olasılıklarına göre (%10, % 5, % 2.5) McMahon tarafından belirlenen katsayıları simgelemektedir (McMahon, 1976). Çalışmada haznenin % 3 yetersiz kalma olasılığına en yakın olasılık değeri olan % 2.5 seçilerek, farklı düzenleme oranlarına karşılık gelen a ve b katsayıları belirlenerek hazne kapasiteleri hesaplanmıştır. Hesaplanan değerler logaritmik düşey eksende, düzenleme oranları ise yatay eksende olmak üzere noktalanarak % 70 düzenleme oranı için hazne kapasitesi 400 hm^{3}olarak okunmuştur (Şekil 4). İçsel bağımlılık etkisi katsayısı da ilgili abaktan (Srikanthan ve McMahon, 1984) yaklaşık olarak 1.75 olarak okunarak düzeltilmiş hazne kapasitesi **703.5 hm^3** olarak belirlenmiştir.



Şekil 4. McMahon yöntemiyle hazne kapasitesinin belirlenmesi

3.2.8. Aylık Su Bütçesi Yöntemi

Çalışmada değinilen yöntemlerden farklı olarak kesin tasarım aşamasında kullanılan bu yöntemde, haznenin başlangıçta tam dolu olduğu kabulü yapılarak belirli bir hazne hacmi seçilmekte, seçilen hazne hacmi $0 \leq Z_{t+1} \leq C$ arasında kalacak şekilde, her ay sonundaki hacim süreklilik denklemi yardımıyla hesaplanabilmektedir (Denklem 8).

$$Z_{t+1} = Z_t + Q_t - D_t - E_t \quad (8)$$

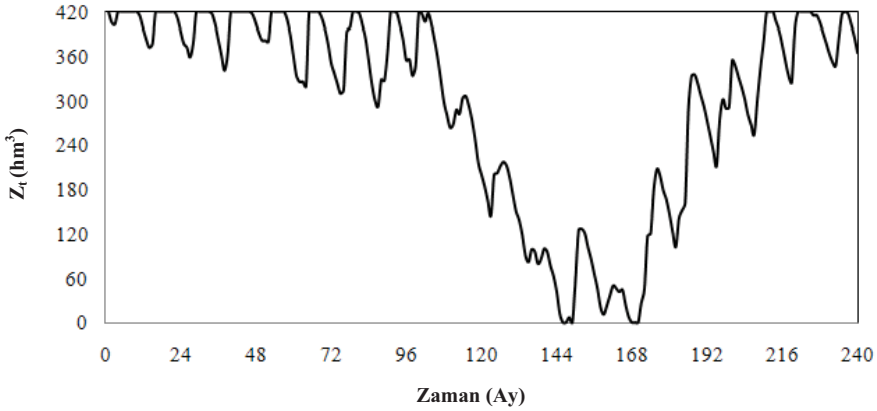
Burada;

Z_t: t zaman periyodunun başındaki hazne hacmini,
Z_{t+1}: t zaman periyodunun sonundaki hazne hacmini,
Q_t: t zaman periyodu süresince giren akımları,
D_t: t zaman periyodu süresindeki kullanımları,
E_t: t zaman periyodu süresince gerçekleşen net buharlaşma kaybını ($E_t=0.7E_{tava}$ -P),
C: aktif hazne hacmini,

Hazne hacminin 0'a düştüğü ay sayılarının, toplam veri sayısına oranı haznenin yetersiz kalma olasılığına yani riske eşit olmaktadır. Yöntemde öngörülen olasılık değeri elde edilinceye kadar başlangıçta seçilen hazne hacmi değiştirilerek işlemler devam edilmektedir (McMahon ve Mein, 1986 ; Bacanlı ve diğ., 2003).

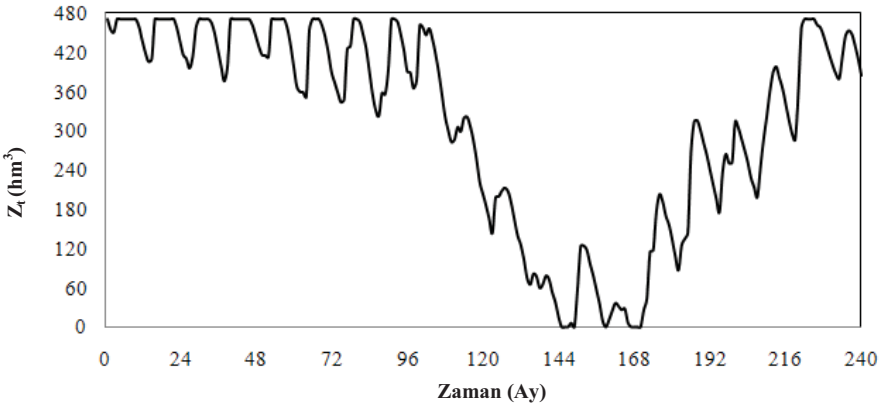
Ancak aylık su bütçesi analizindeki temel güçlük, ay sonu hacminin, dolayısıyla ortalama alan hesabında kullanılacak ortalama hacmin önceden bilinmeyişidir. Bu soruna çözüm olarak ilk yaklaşımda, aybaşındaki hazne hacmi ile alan ve buharlaşma hesabı yapılmaktadır. Bu şekilde elde edilen buharlaşma kaybı kullanılarak hazneden çıkan toplam akımın ve ay sonu hacminin ilk yaklaşım değerleri bulunmaktadır. Aylık ortalama hacim, ortalama göl yüzey alanı ve buharlaşma kaybı hesapları tekrarlanarak yaklaşımın hata mertebesi kontrol edilmekte; gerekirse son bir yaklaşım daha yapılmaktadır. Bu üç yaklaşım için kot-hacim-alan eğrilerinden üç ayrı okuma yapılabilmekte, eğri denkleminden faydalanılabilmekte ya da noktalar arasında doğrusal interpolasyonla çözüme gidilebilmektedir. Ay sonu hacminin aktif hacimden büyük olması durumunda ise, bu ayda fazla suyun savaktan atılması durumu ortaya çıkmaktadır. Böyle bir durumda ay sonu hacmi aktif kapasite hacmine eşit alınarak hesaplamalara devam edilmektedir. Tüm bu işlemler yapılırken hazne su kotlarının sınır değerleri olarak planlama raporlarındaki işletme kotları esas alınmakta, hazneden gerçekleşen aylık net buharlaşma hacimleri ise, o ayki ortalama göl yüzey alanı ile net buharlaşma yüksekliğinin çarpımı ile bulunabilmektedir.

Aylık su bütçesi yönteminin, ön tasarım aşamasında kullanılan yöntemlerin sonuçlarıyla karşılaştırılabilmesi için, çalışmanın ilk aşaması aylık net buharlaşma kayıpları ihmal edilerek ve % 70 düzenleme oranına karşılık gelen 32.16 hm^3/ay sabit çekim alınarak uygulanmış ve % 3 risk için gerekli aktif hazne hacmi **420 hm^3** olarak belirlenmiştir (Şekil 5).

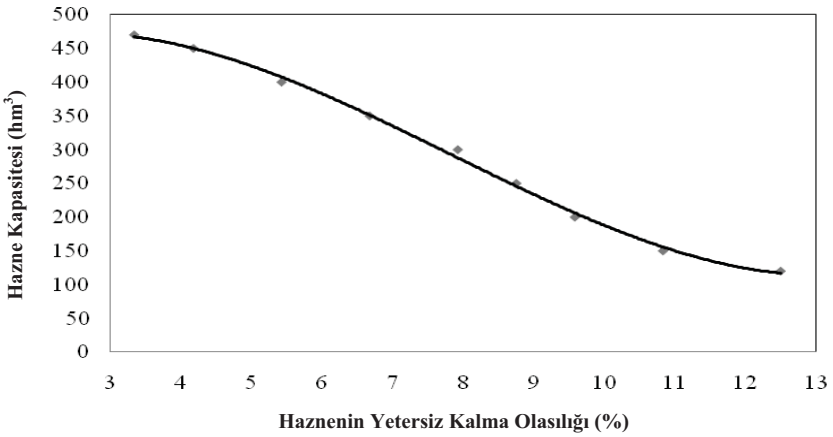


Şekil 5. Aylık su bütçesi yöntemiyle hazne kapasitesinin belirlenmesi ($E_t = 0$)

Çalışmanın ikinci aşamasında ise aylık net buharlaşma kayıpları hesaplamalara dâhil edilerek % 3 risk için gerekli aktif hazne hacmi **470 hm^3** olarak belirlenmiştir (Şekil 6) Bunun yanı sıra çalışmada farklı hacimler için haznenin yetersiz kalma olasılıkları belirlenerek hazne hacmi-risk ilişkileri de elde edilmiştir (Şekil 7).



Şekil 6. Aylık su bütçesi yöntemiyle hazne kapasitesinin belirlenmesi ($E_t \neq 0$)



Şekil 7. Hazne hacmi ile haznenin yetersiz kalma olasılığı arasındaki ilişki (Et ≠ 0)

4.SONUÇLAR

Sunulan çalışmada, Kemer barajı haznesi için hacim-risk ilişkileri araştırılmış, aktif hazne hacmi irdelenmiştir. Baraja ait 1981-2000 yılları arasındaki aylık ve yıllık ortalama akım verileri kullanılarak, eklenik akımlar, eklenik farklar, minimum akımlar, Alexandre, Dincer, Gould Gamma, McMahon, aylık su bütçesi yöntemleri ile hazne kapasitesi hesabı yapılmıştır. Uygulama sonucu, eklenik akımlar, eklenik farklar ve minimum akımlar yöntemleri ile hesaplanan hazne hacminin Kemer barajı planlama hacminden daha büyük olduğu tespit edilmiştir. Bunun temel nedeni ise buharlaşma kayıplarının yöntem gereği kullanılmamasıdır. Bunun yanı sıra bu üç yöntemde hesaplanan hazne hacimlerinin ve kritik dönem uzunluklarının oldukça yakın olduğu görülmektedir. Bu üç yöntemin başka bir eksikliği de hacim ile risk arasında bir ilişki kurulamaması, haznenin yetersiz kalma olasılığının sadece veri sayısına bağlı olarak ampirik bir bağıntı ile belirlenmesidir.

Belirli bir dağılımın ve farklı risklerin varsayılabildiği Alexander, Dincer, Gould Gamma ve McMahon gibi ampirik yöntemlerin ise kendi aralarında oldukça farklı sonuçlar vermişlerdir. Yıllık akım dizilerinin, örnek uygulamada olduğu gibi, genelde Gamma dağılımlı olmasından ötürü Normal dağılım varsayımı öngören Dincer yöntemine ait sonuçların sağlıklı olmadığı düşünülmektedir. Uygulama sonuçları esas alındığında Alexander yöntemi ile belirlenen hazne hacminin Dincer, Gould Gamma ve McMahon yöntemlerine kıyasla gerçeğe daha yakın sonuçlar verdiği görülmektedir.

Çalışmada, Kemer barajı planlama hacmine (463 hm^3) en yakın sonucu veren yöntemin ise aylık su bütçesi yöntemi olduğu görülmektedir. Yöntemin ilk uygulamasında, yöntemin diğer yöntemlerle karşılaştırılabilmesi için ihtiyaçların aylık değişimleri sabit alınmış ve buharlaşma kayıpları ihmal edilmiştir. Sistem kayıpları ile ihtiyaçların aylık değişimlerinin de hesaba katılmasıyla gerekli hazne hacmi 470 hm^3 olarak belirlenmiştir. Ayrıca hazne hacmi risk ilişkisine göre planlanan hazne hacminin yeterli olduğu ve aylık su bütçesi yönteminin kesin tasarım aşamasında güvenle kullanılabilecek bir yöntem olduğu ispatlanmıştır.

5. KAYNAKLAR

AKSOY, H., "Storage capacity for river reservoirs by wavelet-based generation of sequent-peak algorithm", Water Resources Management 15:423–437, 2001.

ALEXANDER, G.N., " The use of the Gamma distribution in estimating regulated output from storages" Civil Engineering Transactions, The Institution of Engineers, Australia, CE4(1): 29-34.

Bacanlı, Ü., Özkul, S. ve Baran, T., "Dicle Havzası Botan Çayı örneğinde farklı yöntemlerle biriktirme haznelerinin tasarımı", I. Ulusal Su Mühendisliği Sempozyumu Bildiriler Kitabı, Gümüldür, İzmir, 389-402, 22-26 Eylül 2003.

BAYAZIT, M., "Biriktirme Haznelerinin Tasarımı ve İşletilmesi" İ.T.Ü., 1997.

BURGES, S.J. and LINSLEY, R.K., "Some factors influencing required reservoir storage" Journal of the Hydraulic Division, ASCE, 97(HY7), 977-991, 1971.

CARTY, J. and CUNNANE, C., "An evaluation of some methods of determining storage yield relationship for impounding reservoirs" Water Res. JIWPRC. 4(1), 35-43, 1990.

DALKILIÇ Y.H. ve OKKAN U." Kemer barajı haznesinin performansının performans indisleri yöntemiyle belirlenmesi" DSİ Teknik Bülten. 107, 14-21, 2010.

DSI (2007)., "Kemer Dam Operation Records" XXI. Regional Directorate of State Hydraulic Works, Aydın.

EUAS (2007)., "Kemer Dam Hydropower Plant Operation Records" Operational Directorate of Kemer Dam Hydropower Plant, Aydın.

GOULD, B.W., "Statistical methods for estimating the design capacity of dams", Jour. Inst. Eng. Australia, 33, s.405-416, 1961.

GOULD, B.W.,"Statistical methods for reservoir yield estimation".Water Res.Foundation of Australia. Report No.8, 1964a.

GOULD, B.W., "Discussion of paper by Alexander" In Water Resources Use and Management, Melbourne University Press, Melbourne, 1964b.

HALDEN, E. ve ÖZKUL, S., "Kritik dönem yöntemleri ile hazne hacminin belirlenmesi", DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi, 6-1:101-115, 2004.

LALLEMAND, F., "Predicting reservoir within-year capacity estimate using data from 12 international rivers." MSc Thesis, Heriot-Watt University, Edinburgh, UK, 2001.

LLOYD, E. H. and ODOOM, S., "Probability theory of reservoirs with seasonal input". Journal of Hydrology,2: 1.,1964.

MCMAHON T.A., PEGRAM, G.G.S, VOGEL, R.M. and PEEL M.C.,"Review of Gould-Dincer reservoir storage-yield reliability estimates" Advances in Water Resources.Elsevier. 30,1873–1882, 2007.

McMAHON, T. A., MEIN, R.G.; "River and Reservoir Yield", Elseiver, 1986.

MCMAHON, T.A., "Preliminary estimation of reservoir storage for Australian streams" Civil Engineering Transactions, The Institution of Engineers, Australia, CE18(2), 55-59, 1976.

MONTASERI M. and ADELOYE A.J., "Critical period of reservoir systems for planning purposes" J. Hydrol. 224:115–36.1999.

MORAN, P.A.P., "A probability theory of dam and storage systems: modifications of the release rules." Austraian Journal of Applied Science,6: 117, 1955.

ÖZKUL, S.," Çağlayan Barajı Aktif Hazne Hacminin Olasılık Matris Yöntemleriyle İrdelenmesi" DSİ Teknik Bülten. 107, 27-38, 2010.

Parks, Y.P. and Gustards, A., "A reservoir storage yield analysis for arid and semiarid climates" Optimal Allocation of Water Resources. Proceedings of the Exeter Symposium. IAHS Publ.no 135, 49-57. 1982.

RIPPL, W., "The capacity of storage reservoir for water supply". *Inst. Civil Engrs*., 71, 270-278.1883.

SRIKANTHAN, R and MCMAHON, T.A., "Gould's Probability Matrix Method 2. The annual auto-correlation problem" Journal of Hydrology, 77: 135-139, 1984.

SRIKANTHAN, R.,"The effect of annual auto-correlation on storage size" Civil Engineering Transactions, The Institution of Engineers, Australia, CE27(2), 225-229, 1985.

TEOH C.H. and MCMAHON T.A., "Evaluation of rapid reservoir storage–yield procedures" Adv Water Resour. 5:208–16, 1982.

VOGEL R.M. and MCMAHON T.A., "Approximate reliability and resilience indices of over-year reservoirs fed by AR(1) Gamma and Normal flows". Hydrol Sci 41(10):75–96, 1996.

VOGEL R.M. and STEDINGER J.R., "Generalized storage–reliability–yield relationships" J Hydrol .89:303–27, 1987.

VOGEL, R.M., LANE, M., RAVINDRIAN, R.S. and KIRSHEN, P.,"Storage reservoir behavior in the United States" J Water Res.Plan. Manage, ASCE. 125(5):90–7.1999.

WAITT, F.W.F., "Studies of droughts in the Sydney catchment areas" Journal of the Institution of Engineers, Australia, 17 (4-5), 90-97, 1945.

YERALTISUYU HİDROLOJİSİ

Heterojen Bir Akiferdeki İzinsiz Kuyu Yerlerinin ve Zamana Bağlı Pompaj Debilerinin Genetik Algoritma ile Belirlenmesi

M. Tamer Ayvaz [1], Halil Karahan [2]

Özet: Bu çalışmada, heterojen bir akifer sisteminde izinsiz açılan pompaj kuyularının karakteristiklerinin (kuyu sayıları, yerleri ve pompaj debileri) belirlenebildiği bir simülasyon/optimizasyon (S/O) modeli geliştirilmiştir. Geliştirilen S/O modelinde, yeraltı suyu hareketini temsil eden kısmi diferansiyel denklem sistemi blok-merkezli bir sonlu fark hesap şeması ile çözülmüş ve bu çözüm simülasyon modeli olarak kullanılmıştır. Bu model daha sonra, yerleşik yaklaşım kullanılarak Genetik Algoritma (GA) tabanlı bir optimizasyon modeli ile birleştirilmiştir. Geliştirilen S/O modeli ile kuyu karakteristikleri, mevcut gözlem kuyularında ölçülen ve hesaplanan hidrolik yük değerleri arasındaki hatanın minimize edilmesiyle belirlenmektedir. Kuyu yerlerinin belirlenebilmesi için "Hareketli alt bölge yaklaşımı" adı verilen bir çözüm tekniği geliştirilmiştir. Bu çözüm tekniğinde, kuyu yerleri optimizasyon modelinde karar değişkeni olarak kullanılmadan ilgili kuyu karakteristikleri belirlenebilmektedir. Geliştirilen çözüm tekniğinin performansı bir akifer modeli üzerinde zamana bağlı pompaj debileri için test edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, geliştirilen çözüm tekniğinin akifer kuyu karakteristiklerinin belirlenmesinde etkin bir yöntem olarak kullanılabileceğini göstermiştir.

Anahtar Sözcükler: Simülasyon/Optimizasyon (S/O), Yeraltı Suyu, Kuyu Yeri, Pompaj Kuyusu, Hareketli Alt Bölge, Genetik Algoritma

Identification of Illegal Well Locations and Unsteady State Pumping Rates in a Heterogeneous Aquifer using a Genetic Algorithm

Abstract: In this study, a Simulation/Optimization (S/O) model is developed for the identification of illegal pumping well characteristics (i.e. locations, numbers, and pumping rates) in a heterogeneous aquifer system. In the developed S/O model, the governing equation of groundwater flow is solved through a block-centered finite difference solution scheme within the simulation model. This model is then integrated

[1] Pamukkale Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Denizli
E-Posta: tayvaz@pau.edu.tr; Tel: (258) 296-3384
[2] Pamukkale Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Denizli
E-Posta: hkarahan@pau.edu.tr; Tel: (258) 296-3350

with a genetic algorithm (GA) based optimization model using embedded approach. The proposed S/O model finds the well characteristics by minimizing the residual error (RE) between simulated and observed head values at available observation sites. To determine the well locations, a solution technique entitled "moving sub-domain approach" is proposed. In this technique, the well characteristics can be determined without using the well locations as decision variables in the optimization model. The performance of the proposed solution technique is tested on an aquifer model for unsteady state pumping rates. Results indicate that the proposed solution approach is an effective way of determining the unknown groundwater pumping well characteristics.

Keywords: Simulation/Optimization (S/O), Groundwater, Well Location, Pumping Well, Sub-domain, Genetic Algorithm

1. GİRİŞ

Son yıllarda gelişmekte olan ülkelerde hızlı nüfus artışı, düzensiz kentleşme ve sanayileşme ile yüzeysel sular gibi yeraltı suları da hızlı bir şekilde azalırken aynı zamanda ciddi bir kirlenme süreci de yaşanmaktadır. Gelecekte daha da artacak evsel, endüstriyel ve sulama suyu ihtiyaçlarının karşılanabilmesi için öncelikli olarak yeraltı suyu kaynaklarının mevcut durumlarının belirlenmesi ve gelecekteki ihtiyaçlar göz önünde bulundurularak etkin bir şekilde kullanımı için sürdürülebilir planlama ve yönetim stratejilerinin geliştirilmesi gereklidir.

Yeraltı suyu sistemlerinin, farklı planlama ve yönetim stratejileri için davranışlarını önceden belirlemede matematik modeller etkin bir araç olarak kullanılmaktadır. Matematik modellerin akifer davranışını temsil edebilmesi için akifere ait hidrolojik ve hidrojeolojik parametreler ile sistem girdi ve çıktılarının bilinmesi gerekmektedir. Akiferlerdeki önemli sistem girdilerinden biri de, içme, sanayi ve sulama suyu temini için açılan pompaj kuyularının karakteristikleridir (sayıları, yerleri ve pompaj debileri). Pompaj kuyularının karakteristiklerinin tam olarak bilinememesi, mevcut kuyulardan aşırı pompaj yapılması veya izinsiz pompaj kuyusu açılması gibi nedenlerden dolayı sistem davranışı doğru bir şekilde belirlenememektedir. Ayrıca, mevcut pompaj kuyularından aşırı çekim yapılması ve izinsiz pompaj kuyusu açılması sonucunda; pompaj için gerekli enerjinin artması, kıyı bölgelerinde tuzlu su girişimi, zemin oturması ve akiferdeki diğer pompaj kuyularının veriminin azalması gibi olumsuz sonuçlara oluşabildiği için bu karakteristiklerin doğru bir şekilde belirlenmesi gerekmektedir (USGS 1995, Covalla vd 2001, Ayvaz 2008).

Yeraltı suyu sistemleri için sürdürülebilir planlama ve yönetim stratejileri, simülasyon/optimizasyon (S/O) modelleri kullanılarak belirlenebilmektedir (Bear 1979). S/O modelleri, yeraltı suyu akımının matematiksel olarak modellenebildiği simülasyon modelleri ile verilen kısıtlara bağlı olarak en iyi planlama ve yönetim stratejisinin belirlenebildiği optimizasyon modellerinden oluşmaktadır (Das ve Datta 2001, Peralta 2004). Simülasyon modelleri ile verilen başlangıç ve sınır koşulları için yeraltı suyu akımına ait kısmi diferansiyel denklem sistemi analitik veya sayısal olarak çözülmekte ve farklı hidrolojik/hidrojeolojik durumlar için akiferin göstereceği davranış belirlenebilmektedir. Buna karşın, optimizasyon modelleri ile mevcut stratejiler arasından toplam faydayı maksimum ya da toplam hatayı minimum yapan en iyi

yönetim stratejisi belirlenebilmektedir. Optimizasyon işleminin her bir hesap adımında, belirlenen parametre değerleri için, simülasyon modeli ile çözüm yapılmakta ve amaç fonksiyonu hesaplanarak optimizasyon işlemine devam edilmektedir (Ayvaz ve Karahan, 2008).

Bu çalışmada, bir akifer sistemindeki izinsiz pompaj kuyularının karakteristiklerinin belirlenebildiği genetik algoritma (GA) (Holland, 1975; Goldberg, 1989) tabanlı bir S/O modeli geliştirilmiştir. Geliştirilen S/O modeli ile, akiferde yer alan gözlem kuyularında ölçülen ve hesaplanan piyezometrik seviyeler arasındaki hata minimize edilerek pompaj kuyularının karakteristikleri belirlenmiştir. Kuyu yerlerinin belirlenebilmesi için "Hareketli Alt Bölge" yaklaşımı adı verilen bir çözüm tekniği geliştirilmiş ve S/O modeli ile birleştirilmiştir (Ayvaz, 2008). Geliştirilen hareketli alt bölge yaklaşımında, literatürde verilen yaklaşımlara (Guan ve Aral 1999, Aral vd 2001, Park ve Aral 2004) benzer şekilde her bir pompaj kuyusu bir alt bölgenin içinde olacak şekilde temsil edilmekte ve ilgili alt bölgeler başlangıçta verilen konumlarından başlayarak çözümün bulunduğu noktaya doğru hareket ettirilerek sonuca ulaşılmaktadır. Geliştirilen yaklaşımın en önemli avantajı, optimizasyon işleminde karar değişkeni olarak sadece pompaj debilerinin kullanılması ve kuyu yerlerinin kullanılmasına gerek kalmamasıdır. Ayrıca ilgili S/O modeli alt bölgelerin içinde çalıştığından, kuyu yerlerine ait çözüm uzayının alt ve üst sınırları daraltılmakta ve böylece çözüme ulaşmak için gerekli bilgi-işlem süresi azaltılmaktadır. Geliştirilen S/O modelinin performansı sentetik bir akifer modeli üzerinde test edilmiştir. Elde edilen sonuçlar geliştirilen S/O modeli ile izinsiz açılan pompaj kuyularının karakteristiklerinin etkin bir şekilde belirlenebildiğini göstermiştir.

2. MODEL GELİŞTİRİLMESİ

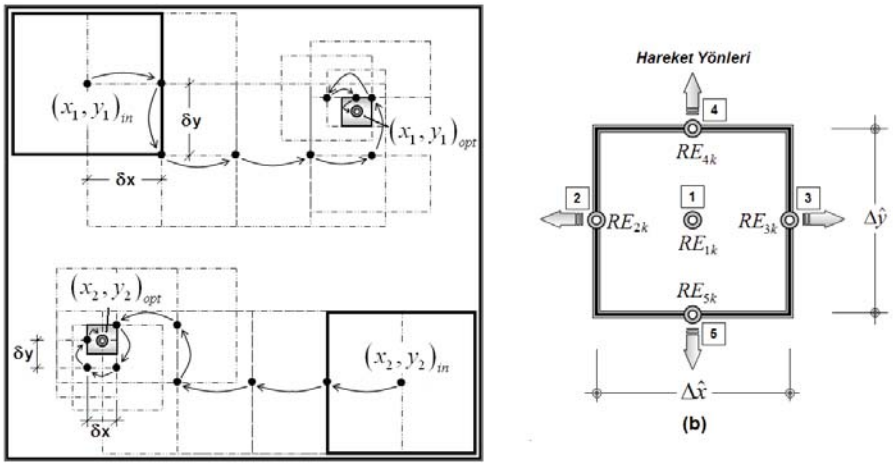
Bu bölümde, geliştirilen S/O modeli ile kuyu karakteristiklerinin belirlenebildiği "Hareketli alt bölge yaklaşımı" adı verilen çözüm tekniği geliştirilmiştir. Aşağıda, öncelikle geliştirilen hareketli alt bölge yaklaşımına ait matematik model verilmiş, ardından bu tekniğin simülasyon ve GA tabanlı optimizasyon modeli ile nasıl birlikte kullanıldığı gösterilmiştir.

2.1. Hareketli Alt Bölge Yaklaşımı

Önceki bölümde belirtildiği gibi, bu çalışma kapsamında izinsiz açılan pompaj kuyularının karakteristikleri GA tabanlı bir S/O modeli ile belirlenecektir. Bu konu ile ilgili literatürde daha önce yapılan çalışmalar ağırlıklı olarak yeraltı suyu kirliliği (Huang ve Mayer, 1997; Guan ve Aral, 1999; Sun et al., 2006) ve kıyı bölgelerinde tatlı su-tuzlu su girişimi problemlerinin (Park ve Aral, 2004; da Silva ve Haie, 2007) çözümü ile ilgilidir. Bu çalışmalarda, genellikle ilgili pompaj debileri veya kaynak konsantrasyonları ile birlikte kuyu koordinatları da karar değişkeni olarak kullanılmıştır (Huang ve Mayer 1997, Mahinthakumar ve Sayeed 2005). Ancak, kuyu koordinatlarının karar değişkeni olarak kullanılması özellikle kuyu sayısının çok olduğu durumlarda matematiksel olarak optimizasyon probleminin boyutunu artmasına neden olmakta ve çözüme ulaşmayı zorlaştırmaktadır. Bu nedenle, bu çalışma kapsamında kuyu yerlerini karar değişkeni olarak kullanmadan kuyu karakteristiklerinin belirlenebildiği "Hareketli

alt bölge yaklaşımı" adı verilen bir çözüm tekniği geliştirilmiş ve S/O modeli ile birleştirilmiştir (Ayvaz, 2008).

Geliştirilen hareketli alt bölge yaklaşımında, her pompaj kuyusu bir alt bölge içerisinde tanımlanmakta ve pompaj kuyuları ilgili alt bölgeler içinde önceden tanımlı çözüm noktalarına sırasıyla atanarak ilgili S/O modeli çalıştırılmaktadır. Bir alt bölge içindeki tüm çözüm noktaları için S/O modeli çalıştırıldıktan sonra, hangi çözüm noktası için hata değeri minimum ise ilgili alt bölgenin merkez noktası o çözüm noktasına taşınarak alt bölgenin o yöne doğru hareketi sağlanmaktadır. Bu çözüm yaklaşımının sırasıyla tüm alt bölgelere uygulanmasıyla, çözüme nereden başlanırsa başlansın pompaj kuyularının yerleri ve pompaj debileri belirlenebilmektedir. Örnek olarak iki pompaj kuyusunun yerlerinin geliştirilen hareketli alt bölge yaklaşımı ile belirlenmesi Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. (a): Geliştirilen hareketli alt bölge yaklaşımı ile iki adet pompaj kuyusunun yerlerinin belirlenmesi; **(b):** Hareketli alt bölgenin detaylı gösterimi

Şekil 1(a)'dan görüleceği gibi, akiferde iki adet pompaj kuyusu bulunmakta ve bunların yeri ve debisi iki adet alt bölge ile belirlenmektedir. Şekil 1(b)'den görüleceği gibi $\Delta\hat{x}$ ve $\Delta\hat{y}$ boyutlarındaki alt bölgelerin her biri önceden tanımlanmış 5 çözüm noktası içermektedir. Geliştirilen bu çözüm yaklaşımı matematiksel olarak aşağıdaki şekilde ifade edilmektedir:

Akiferdeki pompaj kuyularının sayısı c olsun. Her bir pompaj kuyusunu bir alt bölge içinde tanımlamak üzere; x_k ve y_k, k no'lu alt bölgenin merkez noktasının koordinatları $(k = 1, 2, \cdots, c)$, $X = \{x_k\}_{k=1}^{c}$ ve $Y = \{y_k\}_{k=1}^{c}$, her bir alt bölgenin merkez noktalarının koordinatlarını içeren çözüm vektörleri, $f(\bullet)$ ise simülasyon modelinin çalıştırılması sonucu elde edilen hidrolik yük dağılımı olsun. k no'lu alt bölgenin hareket etmesiyle akifer sisteminin yeni çözümü aşağıdaki şekilde elde edilmektedir:

$$f\left(\tilde{X},\tilde{Y}\right)=f\left(\left(x_1,y_1\right)_{in},\cdots,\left(\left(x_k\right)_{in}+s_x,\left(y_k\right)_{in}+s_y\right),\cdots,\left(x_c,y_c\right)_{in}\right) \tag{1}$$

$$s_x=\left\{-\delta x,\ 0,\ +\delta x\right\} \tag{1a}$$

$$s_y=\left\{-\delta y,\ 0,\ +\delta y\right\} \tag{1b}$$

Denklem (1)'de: δx ve δy, alt bölgelerin hareket yönündeki adım boylarını, s_x ve s_y, adım boylarının alabileceği değerleri içeren çözüm uzaylarını, $\tilde{X}$ ve $\tilde{Y}$, k no'lu alt bölgenin yeni konumunu ve diğer alt bölgelerin eski konumlarını içeren yer vektörlerini, $\left(\bullet\right)_{in}$ ise başlangıç konumlarını göstermektedir. k no'lu alt bölgenin yeni konumu aşağıdaki hesap adımlarına göre belirlenmektedir:

i) k no'lu pompaj kuyusunu l no'lu çözüm noktasına ata (burada "*l"* Şekil 1(b)'de verilen önceden tanımlanmış 5 çözüm noktasından birini tanımlamaktadır);
ii) Diğer kuyuları başlangıçta tanımlanan yerlerinde tut (alt bölgelerin merkez noktalarında);
iii) Her bir pompaj kuyusuna başlangıç pompaj debisini ata;
iv) Her bir kuyu için pompaj debilerini optimize et ve gözlem kuyularında gözlenen ve hesaplanan hidrolik yükler arasındaki hatayı hesapla;
v) k no'lu alt bölgede aynı işlemleri Şekil 1(b)'de verilen diğer çözüm noktaları için de tekrarla.

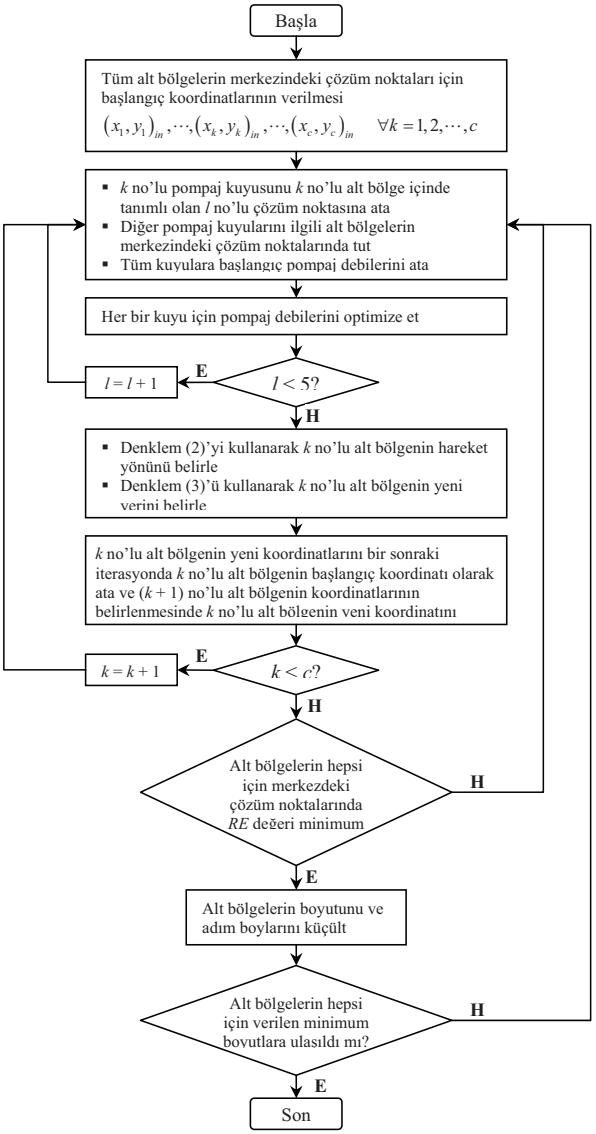
Verilen bu 5 hesap adımına göre, k no'lu alt bölgenin hareket yönü aşağıdaki gibi belirlenmektedir:

$$\lambda_k=\min\left(RE_{lk}\right) \tag{2}$$

burada, RE_{lk} k no'lu alt bölge içindeki l no'lu çözüm noktası için hesaplanmış hata değerini, λ_k ise k no'lu alt bölge için hesaplanmış hata değerlerinin minimum olanını göstermektedir. S/O modelinin çalışması sonucu k no'lu alt bölge içinde hangi çözüm noktasında hata değeri minimum ise, k no'lu alt bölgenin merkezi o çözüm noktasına aşağıda verilen eşitliğe bağlı olarak taşınmaktadır:

$$\left(\tilde{X},\tilde{Y}\right)=\begin{cases}\left(x_1,y_1\right)_{in},\cdots,\left(x_k,y_k\right)_{in},\cdots,\left(x_c,y_c\right)_{in} & \text{eğer}\quad \lambda_k=RE_{1k}\\ \left(x_1,y_1\right)_{in},\cdots,\left(\left(x_k\right)_{in}-\delta x,\left(y_k\right)_{in}\right),\cdots,\left(x_c,y_c\right)_{in} & \text{eğer}\quad \lambda_k=RE_{2k}\\ \left(x_1,y_1\right)_{in},\cdots,\left(\left(x_k\right)_{in}+\delta x,\left(y_k\right)_{in}\right),\cdots,\left(x_c,y_c\right)_{in} & \text{eğer}\quad \lambda_k=RE_{3k}\\ \left(x_1,y_1\right)_{in},\cdots,\left(\left(x_k\right)_{in},\left(y_k\right)_{in}-\delta y\right),\cdots,\left(x_c,y_c\right)_{in} & \text{eğer}\quad \lambda_k=RE_{4k}\\ \left(x_1,y_1\right)_{in},\cdots,\left(\left(x_k\right)_{in},\left(y_k\right)_{in}+\delta y\right),\cdots,\left(x_c,y_c\right)_{in} & \text{eğer}\quad \lambda_k=RE_{5k}\end{cases} \tag{3}$$

Denklem (3)'den görüldüğü gibi, *k* no'lu alt bölgenin yeni konumu belirlenirken, diğer alt bölgeler başlangıçta verilen konumlarında durmaktadır. *k* no'lu alt bölgenin konumu belirlendikten sonra, bir sonraki aşamada $(k+1)$ no'lu alt bölgenin yeni konumu belirlenmekte ve bu aşamada diğer alt bölgelerin hepsinin bir önceki hesap adımında belirlenen konumlarda olduğu kabul edilmektedir. Bu hesaplama süreci ile verilen durma koşulu sağlanıncaya kadar çözüm işlemine devam edilmektedir. Geliştirilen hareketli alt bölge yaklaşımı ile iyileştirilen S/O modeline ait akış diyagramı Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2. Geliştirilen hareketli alt bölge yaklaşımı ile iyileştirilen S/O modeline ait akış diyagramı

Şekil 2'den görüleceği gibi, her bir alt bölgenin merkez noktasındaki çözüm noktalarına pompaj kuyularının atanmasıyla elde edilen hata değerinin minimum olması durumunda, alt bölgelerin boyutları küçültülerek kuyuların gerçek yerleri lokal olarak belirlenmektedir.

Geliştirilen hareketli alt bölge yaklaşımı ile kuyu karakteristiklerinin belirlenmesi iki aşamada yapılmaktadır. Birinci aşamada, kuyu yerlerinin belirlenmesi; ikinci aşamada ise pompaj debilerinin optimizasyonu gerçekleştirilmektedir. Yapılan denemeler, birinci aşamanın çözümünde *RE* değerlerindeki değişimin; başlangıçtaki jenerasyonlarda sonrakilere göre daha fazla olduğunu göstermiştir. Bu sonuç, alt bölgelerin hareket yönlerinin başlangıçtaki jenerasyonların sonuçlarına göre belirlenebileceğini göstermektedir. Alt bölgeler kullanılarak kuyu yerleri belirlendikten sonra, ikinci aşamada, belirlenen kuyu yerleri için ilgili pompaj debileri daha hassas bir şekilde belirlenebilmektedir.

Geliştirilen hareketli alt bölge yaklaşımında dikkat edilmesi gereken diğer bir önemli konu da alt bölgelerin başlangıç boyutlarının ($\Delta\hat{x}$ ve $\Delta\hat{y}$) ve adım boylarının (δx ve δy) doğru bir şekilde verilmesidir. Başlangıçta, alt bölgelerin boyutlarının ve adım boylarının küçük verilmesi sonucu lokal optimum çözümler elde edilebilirken, alt bölge ve adım boylarının büyük verilmesi de çözüme ulaşmak için gerekli simülasyon sayısını ve dolaylı olarak bilgi işlem süresini arttırabilmektedir. Ayrıca, kuyu yerlerinin belirlenmesi, gözlem kuyularındaki seviyelere, dolayısı ile hidrolik iletkenliğin alansal değişimine bağlıdır (Huang ve Mayer 1997). Bu nedenle, alt bölgelerin başlangıç boyutlarının ve adım boylarının seçiminde, akifer boyutları, hidrolik iletkenliğin alansal değişimi ve gözlem verilerinin akiferi temsil edip edemeyeceği göz önünde bulundurulmalıdır.

2.2. Simülasyon Modeli

Simülasyon işlemi, yeraltı suyu hareketini temsil eden kısmi diferansiyel denklem sisteminin incelenen çözüm bölgesi içerisinde verilen başlangıç ve sınır koşulları altında çözümüdür. Bu kısmi diferansiyel denklem sisteminin çözümü analitik ve sayısal çözüm yöntemleri kullanılarak yapılabilmektedir. Analitik çözüm yöntemlerinin kullanılabilmesi için çözüm bölgesinin düzgün geometriye sahip olması ve akifer parametrelerinin homojen olması gibi koşulların sağlanması gerekmektedir. Bu nedenle, pratikte karşılaşılabilecek problemlerin çözümü için sayısal çözüm yöntemlerinin kullanılması daha uygun olmaktadır. Bu çalışmada simülasyon modeli olarak; Denklem (4)'de verilen ve 2-boyutlu heterojen-izotrop basınçlı bir akifer sisteminde yeraltı suyu hareketini temsil eden kısmi diferansiyel denklemin sayısal çözümü kullanılmıştır (Willis ve Yeh 1987).

$$\frac{\partial}{\partial x}\left(T\frac{\partial h}{\partial x}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(T\frac{\partial h}{\partial y}\right)+\sum_{k=1}^{c}W\left(x_k,y_k\right)\delta\left(x-x_k,y-y_k\right)=S\frac{\partial h}{\partial t} \tag{4}$$

$$\hat{W}\left(x_k,y_k\right)=\frac{\pm\hat{Q}\left(x_k,y_k\right)}{\Delta x\,\Delta y} \qquad \forall k=1,2,\cdots,c \tag{4a}$$

$$\delta(x-x_k, y-y_k) = \begin{cases} 1 \text{ eğer } x = x_k \quad \text{ve} \quad y = y_k \\ 0 \text{ eğer } x \neq x_k \quad \text{ve/veya} \quad y \neq y_k \end{cases} \tag{4b}$$

Denklem (4)'de; *h,* hidrolik yükü [L]; *T,* akifer iletim kapasitesini [L^2/T]; *S*, özgül depolama katsayısını, *x* ve *y,* bağımsız kartezyen koordinatları [L]; *c*, kuyu sayısını, *W,* kaynak/yitik terimini [L/T]; $\delta(x-x_i, y-y_i)$, Dirac-delta fonksiyonunu (Gündüz ve Aral 2005) göstermektedir. Denklem (4)'ün verilen başlangıç ve sınır koşulları altında sayısal çözümü iki boyutlu ve blok merkezli bir sonlu fark hesap şeması (Karahan ve Ayvaz, 2005) kullanılarak yapılmış ve simülasyon modelinin içine bu çözüm entegre edilmiştir.

2.3. Optimizasyon Modeli

Sınırlı sayıda gözlem değeri ile bir akiferdeki izinsiz pompaj kuyularının karakteristiklerinin belirlenmesi problemi simülasyon modeli ile optimizasyon modelinin eşzamanlı olarak kullanılmasıyla çözülebilmektedir. Bu çalışma kapsamında, simülasyon modeli ile optimizasyon modeli yerleşik yaklaşım (Aguado ve Remson 1974) kullanılarak birleştirilmiştir. Optimizasyon işleminin her bir hesap adımında, tanımlanan alt bölgeler içerisinde simülasyon modeli çalıştırılarak o hesap adımında belirlenen kuyu karakteristikleri için akiferde bulunan gözlem kuyularındaki hidrolik yüklerle hesaplanan hidrolik yükler arasındaki hata değeri hesaplanmaktadır. Matematiksel olarak bu problem aşağıdaki şekilde ifade edilmektedir:

$$RE = Min\left[\sum_{t=1}^{N_T}\sum_{\mu=1}^{N_d}\left(h_\mu(t) - \tilde{h}_\mu(t)\right)^2\right] \tag{5}$$

kısıtlar:

$$\frac{\partial}{\partial x}\left(T\frac{\partial h}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(T\frac{\partial h}{\partial y}\right) + \sum_{k=1}^{c}\hat{W}(x_k, y_k)\,\delta(x-x_k, y-y_k) = S\frac{\partial h}{\partial t} \tag{5a}$$

$$\hat{W}(x_k, y_k) = \frac{\pm\hat{Q}(x_k, y_k)}{\Delta x\,\Delta y} \qquad \forall k = 1, 2, \cdots, c \tag{5b}$$

$$\hat{Q}_{\min}(x_k, y_k) \le \hat{Q}(x_k, y_k) \le \hat{Q}_{\max}(x_k, y_k) \tag{5c}$$

$$\left(\tilde{X}, \tilde{Y}\right) = \left((\tilde{x}_1, \tilde{y}_1), \cdots, (\tilde{x}_k, \tilde{y}_k), \cdots, (\tilde{x}_c, \tilde{y}_c)\right) \tag{5d}$$

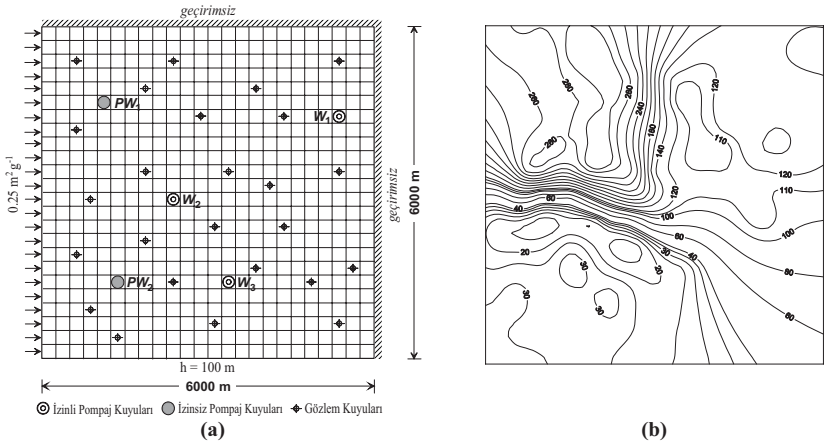
$$(x_k, y_k) = (\tilde{x}_k, \tilde{y}_k) \text{ eğer } \lambda_k = RE_{lk} \quad k = 1, 2, \cdots, c; \quad l = 1, 2, \cdots, 5 \tag{5e}$$

burada; *RE,* artık hata değerini [L]; h_μ ve $\tilde{h}_\mu$, μ. gözlem kuyusunda hesaplanan ve ölçülen hidrolik yük değerlerini [L]; N_T , stres periyodu sayısını; N_d, gözlem kuyularının sayısını; (x_k, y_k) ve $(\tilde{x}_k, \tilde{y}_k)$ ise sırasıyla *k*. pompaj kuyusunun eski ve yeni

koordinatlarınını [L]; $\hat{Q}(x_k, y_k)$, *k*. pompaj kuyusunun (x_k, y_k) noktasında belirlenecek pompaj debisini [L^3/T]; $\hat{Q}_{\min}(x_k, y_k)$ ve $\hat{Q}_{\max}(x_k, y_k)$, *k*. pompaj kuyusu için pompaj debilerinin alabileceği alt ve üst sınır değerlerini [L^3/T] göstermektedir. Denklem (5a)-(5e)'den görüleceği gibi, kuyu koordinatları gerçel koordinatlar (x_k, y_k) olarak tanımlanmıştır. Bu çalışmada, çözüm uzayını daraltmak için sonlu fark hesap şeması ile sayısal çözümleme yapılırken kullanılan grid noktalarının sütun ve satır numaraları (I_k, J_k) kuyu koordinatları olarak kullanılmıştır. GA ile optimizasyon işlemi, *st* değişim jenerasyon sayısını ve *MJS* maksimum jenerasyon sayısını göstermek üzere; *j*'nci jenerasyondaki *RE* değeri ile *j-st*'nci jenerasyondaki *RE* değeri birbirine eşit oluncaya kadar devam etmektedir $(j = 1, 2, 3, \cdots, MJS)$.

3. SAYISAL UYGULAMA

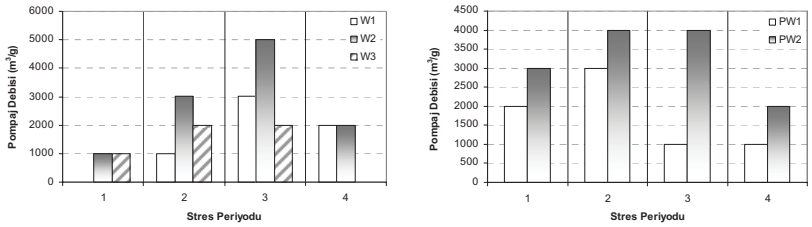
Bu bölümde geliştirilen S/O modelinin performansı 6000 m × 6000 m boyutlarında 2-boyutlu sentetik bir akifer modeli üzerinde test edilmiştir. Kullanılan akifer modeline ait geometri ve sınır koşulları Şekil 3(a)'da verilmiştir.



Şekil 3. (a): Kullanılan 2-boyutlu akifer modeli; **(b)**: Akifer iletim kapasitesi dağılımı

Şekil 3(a)'dan görüldüğü gibi, akifer güneyde 100 m sabit hidrolik yük, batıda 0.25 m^2/gün sabit akı ve diğer yönlerde ise geçirimsiz sınır koşuluna sahiptir. Akiferin özgül depolama katsayısı 0.0002 olarak verilmiş ve iletim kapasitesinin de Şekil 2(b)'deki gibi değişim gösterdiği kabul edilmiştir. Akifer üzerinde 3'ü izinli (*W*) ve 2'si kaçak (*PW*) olmak üzere toplam 5 adet pompaj kuyusu bulunmaktadır. Ancak, kaçak pompaj kuyuları hakkında hiç bir ön bilgi bulunmamaktadır. Bu uygulamada, kaçak pompaj kuyularının sayılarının, yerlerinin ve zamanla değişen pompaj debilerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Akifer üzerindeki pompaj kuyularının tümü, her birinin uzunluğu 90 gün olan 4 stres periyodu altında işletilmektedir. İzinli ve kaçak pompaj kuyularından her bir stres periyodunda çekilen debiler Şekil 4'de verilmiştir. Akifer üzerinde hidrolik yük değerlerinin ölçüldüğü 25 gözlem kuyusu bulunmaktadır (Şekil 3(a)). Gözlem

kuyularının tümü için ilgili stres periyotlarının sonunda seviye okuması yapıldığı kabul edilmiştir. Bu çalışma kapsamında tüm gözlem verileri simülasyon modelinin çalıştırılması ile elde edilmiştir. Arazide yapılacak ölçüm hatalarını dikkate almak ve model performansını test etmek amacıyla tüm gözlem verilerine normal dağılıma uygun, ortalaması 0 ve standart sapması 0.10 *m* olan hata verisi eklenmiştir.



(a) **(b)**

Şekil 4. (a): İzinli kuyulara ait pompaj debileri; **(b)**: İzinsiz kuyulara ait pompaj debileri

Simülasyon modelinin çalıştırılabilmesi için Şekil 3'de verilen akifer modeli, boyutları $250\text{ m} \times 250\text{ m}$ olan grid bloklarına ayrılmıştır. Optimizasyon modelinde kullanılacak karar değişkenleri her bir stres periyodundaki pompaj debileridir. Arama sürecinin başlangıcında alt bölgelerin boyutları $\Delta\hat{x} = \Delta\hat{y} = 7$ ve adım boyları ise $\delta x = \delta y = 3$ olarak kabul edilmiş ve $\Delta\hat{x} = \Delta\hat{y} = 3$ ve $\delta x = \delta y = 1$ olduğu durumda arama işlemi sona erdirilmiştir. Pompaj debilerinin alt ve üst sınırları $0 \le \hat{Q}(I_k, J_k) \le 30{,}000\text{ m}^3/\text{gün}$ olarak verilmiş ve tüm çözümlerde Çizelge 1'de verilen GA çözüm parametreleri kullanılmıştır. Bölüm 2.1'de anlatıldığı gibi geliştirilen hareketli alt bölge yaklaşımı ile kuyu karakteristiklerini belirleme süreci 2 aşamada gerçekleştirilmektedir. Birinci aşamada kuyu yerlerinin belirlenmesi, ikinci aşamada ise belirlenen kuyu yerleri için pompaj debilerinin optimizasyonu ön plana çıkmaktadır. Birinci aşamada başlangıçtaki çözümler kuyu yerlerinin belirlenmesinde baskın olduğu için *st* değeri 1 (50 simülasyon) olarak verilmiştir (Çizelge 1). Birinci aşamanın sonunda kuyu yerlerinin belirlenmesiyle *st* değeri 10 kabul edilerek pompaj debileri hassas bir şekilde belirlenebilmektedir.

Çizelge 1. Model çözümünde kullanılan GA çözüm parametreleri

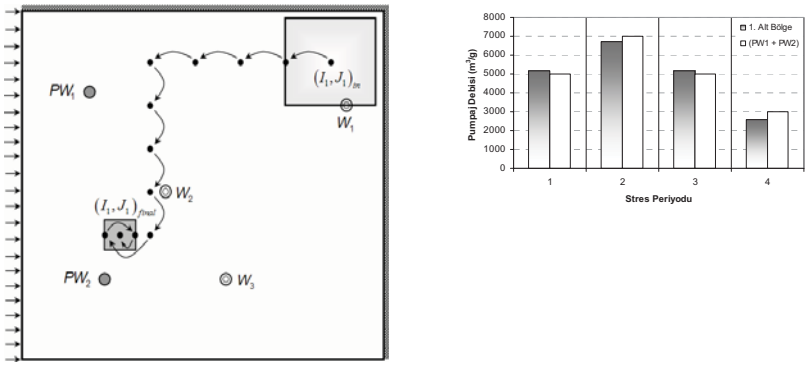
GA Parametreleri	**1. Aşama**	**2. Aşama**
Toplum büyüklüğü	50	50
Çaprazlama olasılığı	0.50	0.50
Mutasyon olasılığı	0.05	0.05
Değişim jenerasyon sayısı (*st*)	1	10

$c = 1, 2, 3$ için alt bölgelerin akifer üzerindeki hareketi ve belirlenen kuyu yerleri için optimize edilen pompaj debilerinin gerçek pompaj debileri ile karşılaştırılması Şekil 5'de verilmiştir. Şekil 5(a)'dan görüleceği gibi, $c = 1$ için akifer üzerinde sadece 1 alt bölgenin aktif olduğu kabul edilmiştir. Bu çözüm için elde edilen *RE* değeri 808.27'dir ve bu sonuç 7,130 simülasyon işlemi sonunda elde edilmiştir. Elde edilen bu yüksek *RE* değerinden Şekil 3'de verilen akifer sistemi için kaçak pompaj kuyusu sayısının 1'den

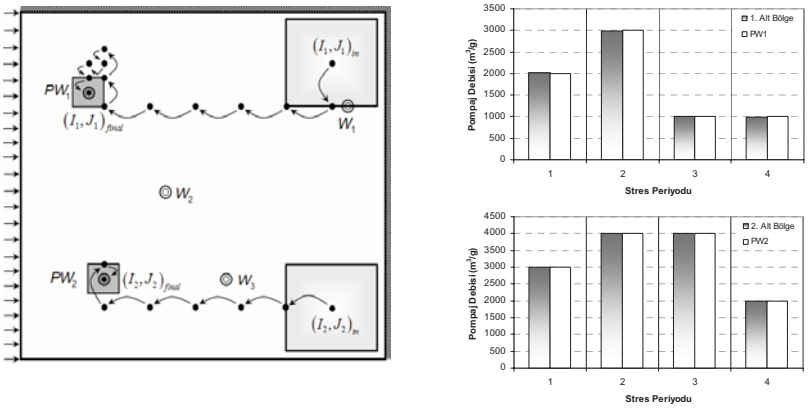
çok olduğu anlaşılmaktadır. Bu nedenle geliştirilen S/O modeli $c = 2$ için de çalıştırılmıştır. $c = 2$ için akifer üzerinde 2 alt bölgenin aktif olduğu kabul edilmiş ve arama sonucunda *RE* değeri 1.01, gerekli simülasyon sayısı ise 19,125 olarak elde edilmiştir. Arama sonucundan görüleceği gibi, değişken sayısının artması matematiksel olarak optimizasyon probleminin boyutunun artmasına neden olmuş ve bu nedenle çözüme ulaşmak için gerekli simülasyon sayısında ciddi bir artış olmuştur. Buna karşın *RE* değerinde önemli bir azalma gözlenmiştir. $c = 3$ için de aynı işlemler tekrarlanmış ve sonuç olarak *RE* değeri 1.03, gerekli simülasyon sayısı ise 22,210 olarak elde edilmiştir. Burada dikkat edilmesi gereken önemli bir nokta, gerçek kuyu sayısının $\tilde{c}$ olması durumunda, $c < \tilde{c}$ için global ya da global optimuma yakın sonuçların elde edilemeyeceğidir. Buna karşın, kuyu sayısının $c = \tilde{c} + c'$ ($c' > 0$) olması durumunda, mevcut kuyu sayısı $\tilde{c}$ adet kuyunun etkisi altında kalmaktadır. Yani, c' adet kuyu yeni pompaj kuyularından oluşmayacaktır (Tung ve Chou 2004). Bu durum Şekil 5(b) ve 5(c)'den de açıkça görülebilmektedir. Çözülen problem gerçekte 2 adet kaçak pompaj kuyusu içermekte ve $c = 3$ için problemin çözümü yine $c = 2$ için elde edilen çözüme yakınsamaktadır. Başka bir deyişle, $c = 3$ için 2. ve 3. alt bölgeler aynı pompaj kuyusunu çözüm çözüm noktası olarak bulmuş ve o alt bölgeler tarafından belirlenen debilerin toplamı $c = 2$ için elde edilen debilere eşit ya da yakın çıkmaktadır. Sonuç olarak bu uygulama için izinsiz açılan pompaj kuyularının sayısının $c = 2$ olduğu ve kuyu yerlerinin ve pompaj debilerinin ise Şekil 5(b)'de verildiği gibi olduğu söylenebilmektedir.

4. SONUÇLAR

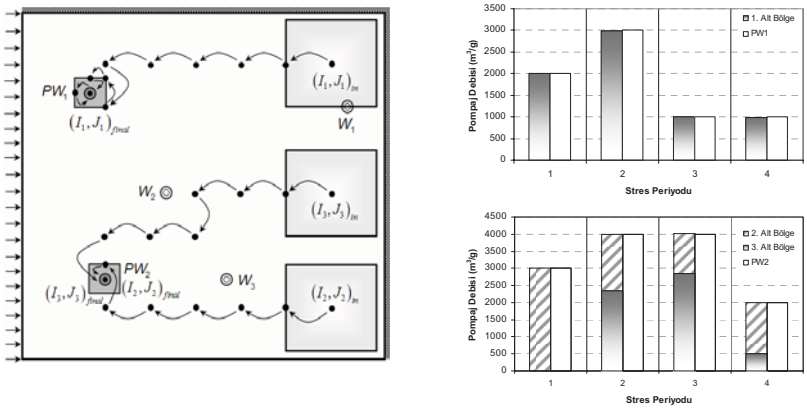
Bu çalışmada, bir akifer sistemindeki kaçak pompaj kuyularının karakteristiklerinin belirlenebildiği GA tabanlı bir S/O modeli geliştirilmiştir. Geliştirilen S/O modeli, sınırlı sayıda gözlem verisi kullanarak GA tabanlı bir optimizasyon modeli ile kuyu karakteristiklerini belirleyebilmektedir. Geliştirilen S/O modelinde, pompaj kuyularının yerleri hareketli alt bölgelerle belirlenmekte ve belirlenen kuyu yerleri için GA ile ilgili pompaj debilerinin optimizasyonu yapılmaktadır. Önerilen yaklaşımının en önemli avantajı optimizasyon işleminde kuyu yerlerinin karar değişkeni olarak kullanılmasına gerek kalmamasıdır. Ayrıca, çözümün alt bölgelerin içinde aranması sonucu çözüme ulaşmak için yapılacak gereksiz simülasyonlar önlenmektedir. Elde edilen sonuçlar, belirlenen kuyu sayısının gerçek kuyu sayısından fazla olması durumunda da bulunan sonuçların gerçek çözüme yakınsadığını göstermiştir. Geliştirilen S/O modeli ile kaçak pompaj kuyularının karakteristikleri sentetik bir akifer modeli üzerinde başarılı bir şekilde belirlenebilmiştir. Bu çalışmanın bir uzantısı olarak model belirsizliklerini de dikkate alacak şekilde geliştirilen S/O modelinin gerçek bir akifer sistemine uygulanması düşünülmektedir.



(a)



(b)



(c)

Şekil 5. Gerçek ve belirlenen kuyu yerleri ile pompaj debilerinin karşılaştırılması; **(a)**: $c = 1$; **(b)**: $c = 2$; **(c)**: $c = 3$

5. KAYNAKLAR

Aguado E, Remson I, "Groundwater hydraulics in aquifer management", Journal of Hydraul. Div.-ASCE 100(HY1): 103-118, 1974.

Aral MM, Guan JB, Maslia ML, "Identification of contaminant source location and release history in aquifers", Journal of Hydrologic Engineering 6(3): 225-234, 2001.

Ayvaz MT, "Heterojen bir akiferde pompaj kuyu karakteristiklerinin genetik algoritma ile belirlenmesi", Doktora tezi, Pamukkale Üniversitesi, 2008.

Ayvaz MT, Karahan H, A simulation/optimization model for the identification of unknown groundwater well locations and pumping rates, Journal of Hydrology 357(1-2), 76-92, 2008

Bear J, "Hydraulics of Groundwater", McGraw-Hill, New York, 569 p., 1979.

Covalla E, Pandarinath C, Williams J, Williams J, Wingo A, "Managing agricultural water impacts", Final Paper, E497B-The Benjamin Franklin Scholars Capstone Course, North Carolina State University, 2001.

Das A, Datta B, "Application of optimization techniques in groundwater quantity and quality management", Sadhana 26(4): 293-316, 2001.

Goldberg DE, "Genetic algorithms in search, optimization, and machine learning", Addison-Wesley Pub., MA, xiii, 412p., 1989.

Guan J, Aral MM, "Optimal remediation with well locations and pumping rates selected as continuous decision variables", Journal of Hydrology 221: 20-42, 1999.

Gunduz O, Aral MM, "A dirac-delta function notation for source/sink terms in groundwater flow", Journal of Hydrologic Engineering 10(5): 420-427, 2005.

Holland JH, "Adaptation in natural and artificial systems: An introductory analysis with applications to biology, control, and artificial intelligence", University of Michigan Press, viii, 183p., 1975.

Huang C, Mayer AS, "Pump-and-treat optimization using well locations and pumping rates as decision variables", Water Resources Research 33(5): 1001-1012, 1997.

Júlio Ferreira da Silva JFFS, Haie N, "Optimal locations of groundwater extractions in coastal aquifers", Water Resources Management 21: 1299-1311, 2007.

Karahan H, Ayvaz MT, "Time-dependent groundwater modelling using spreadsheets", Computer Applications in Engineering Education 13(3): 192-199, 2005.

Mahinthakumar G, Sayeed M, "Hybrid genetic algorithm-local search methods for solving groundwater source identification inverse problems", Journal of Water Resources Planning and Management-ASCE 131(1): 45-57, 2005.

Park C-H, Aral MM, “Multi-objective optimization of pumping rates and well placement in coastal aquifers”, Journal of Hydrology 290: 80-99, 2004.

Peralta RC, “Optimization modelling for groundwater and conjunctive use water policy development”, FEM – MODFLOW – Karlovy Vary, Czech Republic, 317-320, 2004.

Sun AY, Painter SL, Wittmeyer GW, “A robust approach for iterative contaminant source location and release history recovery”, Journal of Contaminant Hydrology 88: 181–196, 2006.

Tung CP, Chou CA, “Pattern classification using tabu search to identify the spatial distribution of groundwater pumping”, Hydrogeology Journal 12(5): 488-496, 2004.

United States Geological Survey (USGS), “Ground water studies”, http://water.usgs.gov/wid/html/GW.html (20.12.2007).

Willis RL, Yeh WW-G, “Groundwater systems planning and management”, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N. J., 1987.

İklim Değişikliğinin İzmir-Tahtalı Havzası Yeraltı Suyu Sistemine Etkisinin Modellenmesi

Alper Elçi [1], Okan Fıstıkoğlu [2]

Özet: Bu çalışma ile IPCC-AR4 iklim değişikliği değerlendirme raporunda verilen A1B iklim değişikliği senaryosu altında İzmir-Tahtalı havzasındaki yeraltı suyu seviye ve akımlarındaki değişimlerin bir nümerik yeraltı suyu akım modeli ile ileriye dönük tahmin edilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla, HadCM3 küresel iklim modeli sonuçları yapay sinir ağları yöntemiyle havza ölçeğine indirgenmiş ve elde edilen yağış ve sıcaklık değişimleri kullanılarak ileride oluşması beklenen yeraltı suyu beslenim değerleri parametrik bir yağış-akış modeli ile hesaplanmıştır. Yeraltı suyu seviyesi ve akımlarındaki değişimler günümüzü temsil eden baz senaryo ve 2040-2059 yılları kapsayan dönemi temsil eden 2050 senaryoları kapsamında değerlendirilmiştir. Havza ölçeğine indirgenmiş iklim değişikliği projeksiyonlarına göre Tahtalı havzasındaki yağış değişimleri aylık bazda büyük farklılıklar göstermekle beraber, yıllıkta yağışın bugüne göre % 3,74 oranında artacağı tahmin edilmektedir. Buna karşın sıcaklıkların her ay için artacağı ve yıllık ortalama sıcaklığın artışın da günümüz koşullara göre 2,96 °C olacağı beklenmektedir. Bu değişimlere bağlı olarak havzadaki yeraltı suyu beslenimin 33,21 mm'den 31,6 mm'ye düşeceği belirlenmiştir. Beslenimdeki bu azalma nedeniyle çalışma sahasının tamamında yeraltı su seviyelerinin düşeceği hesaplanmıştır. Modelin su bütçesi sonuçlarına göre 2050 senaryosunda yeraltı suyu beslenimi %4,8 oranında azalacaktır. Pınarların debilerinde %5,2 oranında düşme görülürken, derelerle akifer arasındaki net akım yönünün değişeceği ve derelerin akiferi besleyeceği gözlenmektedir.

Anahtar Sözcükler: Yeraltı suyu, İklim değişikliği, MODFLOW, Ölçek indirgeme

Modeling of the Climate Change Impact on the İzmir-Tahtalı Basin Groundwater System

Abstract: The aim of this study is to forecast groundwater level and flow changes in the İzmir-Tahtalı basin with a numerical groundwater flow model by considering the A1B scenario given in the IPCC-AR4 climate change assessment report. For this purpose, HadCM3 global climate change model results were downscaled to the basin-scale and the obtained precipitation and temperature differences used to determine future

[1] Dokuz Eylül Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Buca-İzmir, E-Posta: alper.elci@deu.edu.tr
[2] Dokuz Eylül Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Buca-İzmir, E-Posta: okan.fistikoglu@deu.edu.tr

groundwater recharge values by means of a parametric precipitation-runoff model. The changes in groundwater levels and flow were assessed under a base scenario and the 2050-scenario, which represent today and the years 2040-2059, respectively. The downscaled climate change projections demonstrate that precipitation changes fluctuate on a monthly basis and that annual precipitation is expected to increase by 3.74%. On the contrary, temperatures are expected to increase for every month and the average annual temperature to increase 2.96 °C. Based on these changes, groundwater recharge in the basin was determined to decrease from 33.21 mm to 31.6 mm. Because of this decrease in recharge, the groundwater levels are going to decline significantly for the entire study area. The water budget of the model indicates that groundwater recharge is going to decrease by 4.8% in the 2050-scenario. While spring discharges are expected to decrease by 5.2%, a reversal of net flow between the streams and the aquifer is observed resulting in the recharging of aquifers by loosing streams.

Keywords: Groundwater, Climate change, MODFLOW, Downscaling

1. GİRİŞ

Yeraltı suyu kullanımının toplam su kullanımına oranı son yıllarda önemli artış göstermiştir, çünkü yeraltı suları bir taraftan yüzeysel sulara göre daha az arıtılarak kullanılabilmektedir, diğer taraftan da kullanılabilir yüzey suyu kaynaklarının kirlenme nedeniyle kısmen azalması sonucunda yeraltı suyuna talep artmıştır. Ayrıca iklim değişikliği nedeniyle Türkiye'nin bazı yörelerinde uzun yıllar ortalamasına göre daha az yağış düşmesi sonucunda kullanılabilir su rezervlerinin azalış eğilimine girmesi, ilerisi için ciddi sıkıntılar doğurmaktadır. Buna ek olarak ülkemizin çeşitli bölgelerinde aşırı yeraltı suyu kullanımı nedeniyle sulak alanların ve pınarların kuruması, mevcut yeraltı suyu kuyularında statik seviyelerin aşırı düşmesi sebebiyle kullanılamaz hale gelmesi gibi sorunlar yaygınlaşmaya başlamıştır. Bu bağlamda yeraltı suyu kaynaklarının iyi yönetilmesi ve çeşitli etkenler sonucunda baskı altında kalan yeraltı suyu sistemlerinin geleceğe yönelik tahminlerin yapılması önem kazanmaktadır. Bu etkenler arasında sayılabilecek en önemlilerden biri iklim değişikliğidir ve bu olgunun yeraltı suyu sistemlerine olan etkilerinin araştırılmasında da matematiksel modellerin araç olarak çok önemli bir yeri vardır.

Su kaynakları içerisinde yeraltı suyunun giderek artan önemine rağmen, iklim değişikliği etkisinin değerlendirilmesi bağlamında yüzeysel sulara kıyasla daha az araştırma yapılmıştır (Bates ve diğ., 2008). Değişen yağış rejimlerin ve artan sıcaklığa bağlı olarak artan evapotranspirasyonun, yeraltı suyu beslenim oranlarını ve yeraltı suyu seviyelerini olumsuz yönde etkilemeleri beklenmektedir. Ancak akiferler göreceli olarak daha büyük depolama kapasitelerinden dolayı kuraklık ve iklim değişikliğine yüzeysel sulara göre çok daha yavaş tepki göstermektedirler (Bovolo ve diğ., 2009). İklim değişikliğinin yeraltı suyu sistemlerine olası etkilerini daha iyi anlayabilmeye yarayan yaklaşımlardan biri ileriye dönük yeraltı suyu akım modellemesidir. Burada bir veya birden fazla iklim değişikliği senaryosu dikkate alınarak, beslenim ve evapotranspirasyon gibi parametreler ileriye yönelik olarak tahmin edilir ve çalışılan havza veya bölgedeki yeraltı suyu seviye değişimleri bir akım modeli ile hesaplanmak istenir.

Bu çalışmada, hükümetler arası iklim değişikliği panelinin (IPCC), 2007 yılında yayınlamış olduğu dördüncü değerlendirme raporundaki (AR4) A1B senaryosu dikkate alınarak, İzmir'in Tahtalı içme suyu havzasındaki yeraltı suyu seviye ve akımlarındaki değişimler, bir nümerik yeraltı suyu akım modeli ile ileriye dönük tahmin edilmesi amaçlanmıştır. Bu çalışmadaki yaklaşım genel hatlarıyla dünyanın başka yerleri için yapılmış çalışmalardaki modelleme yaklaşımına benzerdir (Hsu ve diğ., 2007; Moustadraf ve diğ., 2008; Toews ve Allen, 2009; Woldeamlak ve diğ., 2007). Ancak burada sunulan yaklaşım iklim değişikliği verilerinin değerlendirilmesi ve yeraltı suyu beslenimin hesaplanması hususlarında önemli farklılıklar göstermektedir. Bu çalışmada, HadCM3 küresel iklim modeli sonuçları havza ölçeğine indirgenmiş ve elde edilen yağış ve sıcaklık değişimleri ile ileride yeraltı suyu beslenim değerlerindeki değişimler hesaplanmıştır. Bu değişimler, meteorolojik verilerin geçmiş zaman serilerine uygulanarak, parametrik bir yağış-akış modeli ile yeraltı suyu beslenimleri tahmin edilmiştir. Buna bağlı olarak da iklim değişikliğinin İzmir-Tahtalı havzası yeraltı suyu sistemine olan etkisi, yeraltı suyu seviye değişim haritası ile ve havzanın çeşitli noktalarındaki yeraltı suyu akımlarındaki değişimler hesaplanarak değerlendirilmiştir.

2. ÇALIŞMA SAHASI

İzmir Büyükşehri için büyük önem arz eden Tahtalı baraj havzası çalışma sahası olarak seçilmiştir. İzmir şehir merkezinin 40 km güneyinde yer alan ve şehrin yaklaşık %36'sına içme suyu temin eden Tahtalı barajı (38°08' N; 27°06' E), Gümüldür'ün 5 km doğusunda Tahtalı deresi üzerine kurulmuştur (Şekil 1). Yaklaşık 550 km^2 su toplama alanına sahip olan Tahtalı havzasında tipik Akdeniz iklimi hüküm sürmektedir. 1950-1999 dönemi yıllık sıcaklık ortalaması 17,4°C'dir. Aynı dönemdeki gözlenmiş alansal ortalama yıllık yağış ortalaması 820 mm'dir. Temel olarak yüzeysel sular ile beslenen Tahtalı Barajı'nın yıllık ortalama akımı 162 milyon m^3, maksimum göl hacmi 306 milyon m^3 ve maksimum göl seviyesi de 50,8 m olarak planlanmıştır. Tahtalı havzasında tali kolları ile birlikte toplam 44 dere bulunmaktadır. Bunlardan akış debisi olarak Tahtalı baraj gölünü besleyen en önemli dereler Tahtalı ve Balaban (Şaşal) dereleridir. Derelerin tümü sürekli akışlı olmayıp, genellikle yaz aylarının sonlarına doğru kurumaktadırlar.

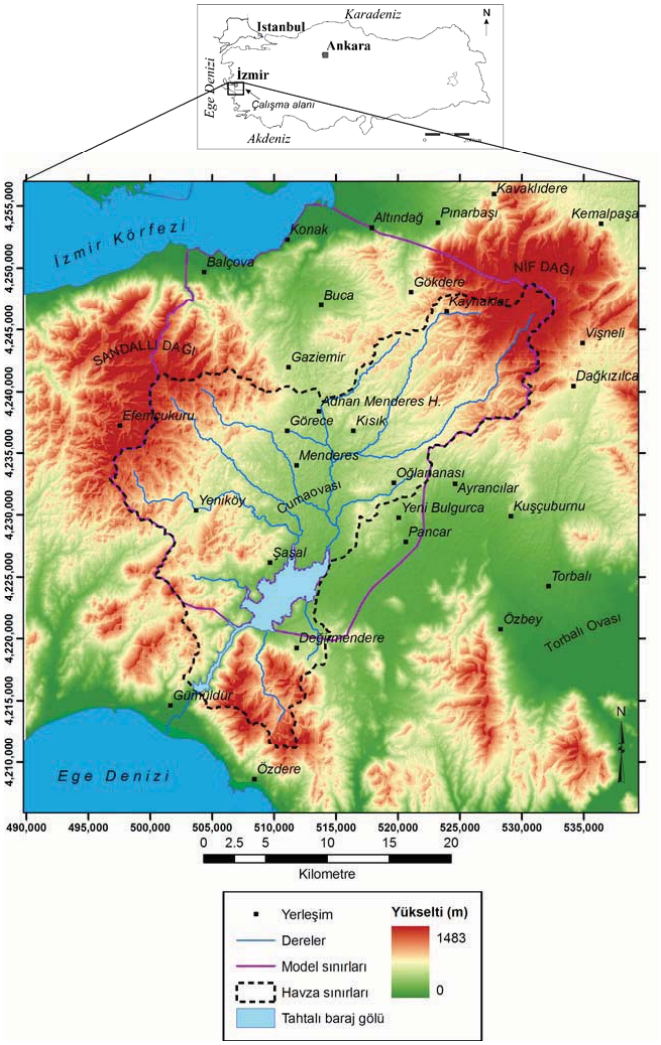
Havzada bulunan 38 adet yerleşimin 2008 yılı itibariyle toplam nüfusu yaklaşık 68.000'dir (TÜİK, 2008). Uydu fotoğrafları yardımıyla hazırlanan arazi kullanım haritası esas alınarak yapılan analizlere göre havzanın %42,1'i orman alanı, %31,8'i tarım alanı, %3,1'i su kütleleri, %1,8'i yerleşim alanı ve %0,2'si de sanayi alanıdır. Çalışma sahasının jeolojik yapısı ise kuvarterner yaşlı alüvyonlar, neojen yaşlı filiş, killi kireçtaşı ve allokton kireçtaşları, volkanik tüf ve mermer taşı birimlerinden oluşmaktadır (Şekil 2).

3. YÖNTEM

3.1. Saha Çalışmaları ve Verilerin Toplanması

Yeraltı suyu akım modelinin gerek günümüz gerekse ileriye dönük çalışacak şekilde kurulabilmesi için kapsamlı ve güvenilir verilere gereksinim duyulmuştur. Bunlardan

çalışma alanının jeolojik yapısı ile ilgili bilgiler Maden Tetkik Arama kurumundan alınan 1/100,000'lik jeoloji haritalarından, daha önce yapılan çalışmalardan (Koca, 1995; Simsek ve diğ., 2008) ve saha keşif gezilerindeki arazi incelemelerine göre hazırlanmıştır. Hazırlanan bilgiler ile bir coğrafi bilgi sistemi (CBS) platformunda jeoloji haritası oluşturularak, hidrolik iletkenlikleri bakımından altı bölgeye ayrılmıştır (Şekil 2). Çalışma sahasında bulunan muhtelif yerlerdeki sulama ve içme suyu sondaj kuyularına ait kütükler Devlet Su İşleri (DSİ)'nden temin edilmiş ve Rockware yazılımıyla işlenerek yeraltı katmanlarının derinlikleri ve kalınlıkları hesaplanmıştır. Diğer taraftan, yağış, buharlaşma ve sıcaklık verileri yeraltı suyu besleniminin hesaplanmasında kullanılan yağış-akış modelinde kullanılmıştır. Bu modelin kalibrasyonu ve doğrulanması için gerekli olan Tahtalı deresinin akış verileri ise yine DSİ'nin ilgili akım gözlem istasyonuna ait veri kayıtlarından alınmıştır.



Şekil 1. Çalışma sahası ve yeraltı suyu akım modelinin sınırları

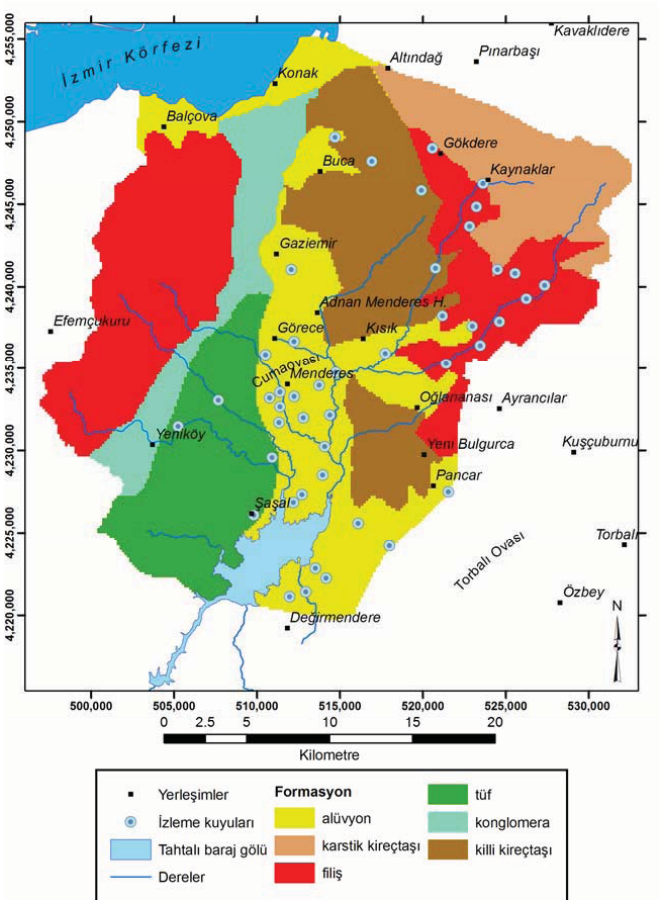
Yeraltı suyu akım modelinin kalibrasyonu için gereken yeraltı suyu seviye verileri ise hali hazırda olmadığından, yüzeysel akiferdeki su tablasının derinliğini ölçmek için saha çalışmaları yapılmıştır. Çalışma sahasında yeraltı suyu seviyesi ölçülebilecek kuyular tespit edilmiş ve makul ölçüde homojen dağılmış bir ölçüm ağı oluşturacak biçimde 51 adet kuyu seçilmiştir. Bu kuyuların dağılımı Şekil 2'de gösterilmektedir. Yılın yağışlı ve kurak mevsimlerini temsil edecek şekilde Mayıs ve Ekim 2007'de seviye ölçüm cihazı ile statik su seviyeleri ölçülmüştür. Bütün ölçümler ve çalışma ile ilgili diğer tüm bilgiler veri sorgulama, model sonuçlarının işlenmesi, gösterilmesi ve haritaların oluşturabilmesi amacıyla CBS veritabanına girilmiştir.

3.2. Yeraltı Suyu Akım Modeli

3.2.1. Genel Özellikleri

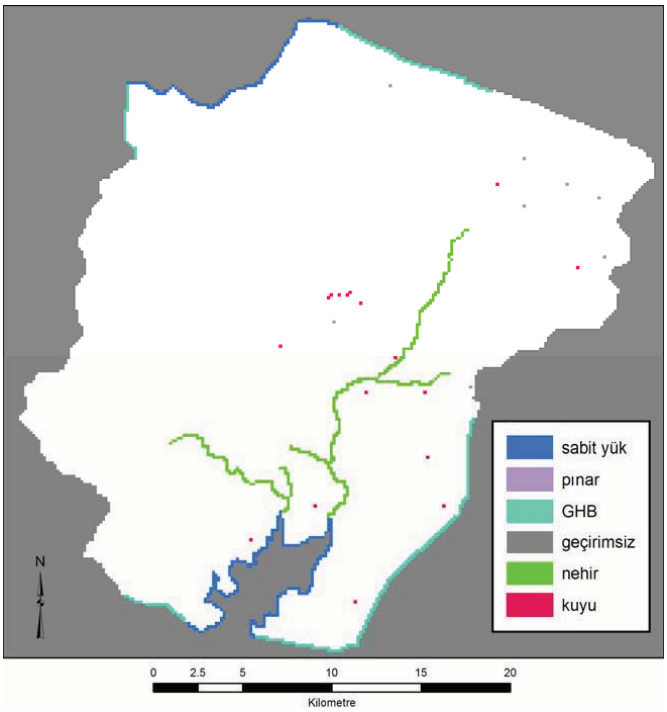
Çalışmada kullanılan yeraltı suyu akım modeli kavramsal ve yapı olarak zamanla geliştirilmiştir. Karadaş ve diğ. (2007) modeli ilk olarak mevsimsel yeraltı suyu değişiminin hesaplanması için kullanmışlardır. Daha sonra model geliştirilerek, bu çalışmada olduğu gibi bir parametrik yağış-akış modeli eşliğinde kullanılmıştır (Elçi ve diğ., 2010). Havzadaki yüzeysel akifer akımının modellenmesi için sonlu-farklar yöntemine dayanan MODFLOW-2000 (Harbaugh, 2000) modeli kullanılmıştır. Bölgesel yeraltı suyu akımlarını hesaplayabilmek amacıyla yeraltı suyu akım modeli tek katmanlı, 150x150 m yatay çözünürlüklü ve yılın yağışlı dönemini temsil eden kararlı akım koşulları için oluşturulmuştur.

Modelin sınırlarını belirlerken hem Tahtalı çayı havzasının tamamını kapsayacak şekilde, hem de mümkün olduğunca model sınırlarını mevcut göl, deniz veya havza sınırı gibi hidrolojik özelliklerle çakıştıracak şekilde çalışılmıştır. Bu yöntemle belirlenen model sınırları Şekil 1'de verilmiştir. Model sınırı doğu ve batıda Tahtalı deresi havza sınırı, kuzeybatıda ise Balçova barajı su toplama havzası sınırları ile çakışmaktadır. İzmir Körfezi ve Tahtalı baraj gölü modelin sırasıyla kuzey ve güney sınırlarını oluşturmaktadır. Modelde böylece sabit hidrolik yük (Dirichlet), geçirimsiz (Neumann) ve hidrolik yüke bağlı olmak üzere üç tipte sınır şartları uygulanmıştır (Şekil 3). Bunlardan sonuncusu MODFLOW içerisinde genel yük (GHB, general head boundary) olarak tanımlanmıştır. Model sınır koşullarına ilave olarak Şekil 3'de yeşil renkle gösterilen çalışma sahasındaki dereleri temsil eden nehir sınır koşulları da modele dâhil edilmiştir. Sahada yapılan gözlemlere dayanarak sadece içerisinde su akışı olan dereler burada hesaba katılmıştır. Çalışma sahasındaki belli başlı pınar ve kaynaklar ise MODFLOW'un dren paketi (DRN, drain) ile modellenmiştir. Son olarak Tahtalı çayı havzasındaki yüzeysel akiferden yeraltı suyu çeken içme suyu ve endüstriyel kullanma suyu kuyuları da modelde tanımlanmıştır. Modelleme alanı genelinde hesaba katılamayan çok sayıda kayıtlı ve kayıtsız kuyu bulunmakla birlikte, önemli büyüklükte debi çeken kuyuların büyük bir kısmı (örneğin bölgedeki belediyelerin içme suyu kuyuları) modele eklenmiştir. Böylece çekim debileri 2 − 61 L/sn arası değişen toplam 18 adet kuyu hesaba katılmıştır. Kuyulardan çekilen toplam debi modelleme alanının tümü için 25859 m^3/gün olarak hesaplanmıştır.



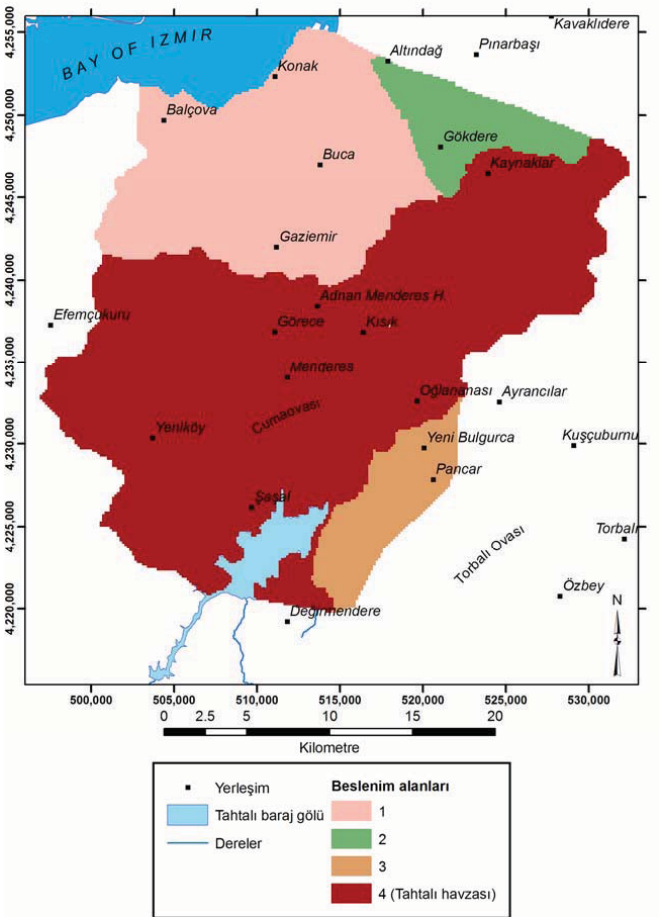
Şekil 2. Model sınırları içinde kalan bölgenin basitleştirilmiş jeolojisi, modelde kullanılan hidrolik iletkenlik bölgeleri ve yeraltı suyu seviye izleme kuyuları

Çalışma sahasındaki yüzeysel akifer tek katman olarak modellenmiştir; bu katmanın üst sınırlarını zemin yüzeyini oluştururken, alt sınırı yüzeysel akiferin tabanı kabul edilen geçirimsiz bir katman oluşturmaktadır. Geçirimsiz katman yüzeyinin derinlikleri, çeşitli kuyulara ait 74 adet kuyu kütüklerinden elde edilen litoloji verileri değerlendirilerek, interpolasyon yöntemiyle hesaplanmıştır. Zemin yüzeyi kotları ise 90 m çözünürlüklü SRTM sayısal yükseklik verilerinden oluşturulmuştur.



Şekil 3. Modelin sınır koşulları

Hidrolik iletkenlik ve yağış kaynaklı dikey yeraltı suyu beslenimi parametreleri yeraltı suyu akım modelinin en önemli iki parametresi olarak sayılabilir. Sahanın jeolojik haritasını baz alarak ve benzer litolojik özellik taşıyan alt birimlerin birleştirilerek, modelleme alanı altı farklı hidrolik iletkenlik bölgesine bölünmüştür (Şekil 2). Her bölgenin farklı bir jeolojik birimi temsil ettiği düşünülerek, her bölgeye ayrı hidrolik iletkenlik değerleri atanmıştır. Hidrolik iletkenlik dağılımının her bölge içerisinde sabit olduğu varsayılmıştır. Yeraltı suyu modelinin diğer önemli giriş parametresi olan yeraltı suyu beslenimi için ise benzer şekilde bölgeler oluşturulmuştur (Şekil 4). Beslenim bu çalışmada net beslenim olarak kullanılmıştır; net beslenim, yağış suyunun evapotranspirasyon sonrası yeraltı suyu tablasına ulaşan kısım olarak tanımlanmıştır. Böylece modelde evapotranspirasyon parametresinin kullanılmasına gerek kalmamıştır. Yeraltı suyu beslenim değerleri, Tahtalı havzasını temsil eden 4 nolu bölge (Şekil 4) hariç olmak üzere, belirsiz olduğundan, modelde bu bölgelere ait beslenim değerleri kalibrasyon parametreleri olarak belirlenmiştir. Havzayı temsil eden bölgeye ait olan beslenim değeri, yeraltı suyu akım modelinden bağımsız olan bir parametrik yağış-akış modeli (Fıstıkoğlu ve Harmancıoğlu, 2001) ile hesaplanmıştır. Bu modelin detayları 3.3 bölümünde verilmiştir.



Şekil 4. Model sahasının dört beslenim alanına bölünmesi

3.2.2. Modelin Kalibrasyonu ve Doğrulanması

Modelin kalibrasyonu için hidrolik iletkenlik, yeraltı suyu beslenimi ve genel yük sınırlarında kullanılan yük değerleri kalibrasyon parametreleri olarak seçilmiştir. Modelleme alanı, model sınırları içerisindeki akiferin jeolojisini dikkate alarak altı farklı hidrolik iletkenlik bölgesine ayrılmış ve her bölgeye ayrı bir hidrolik iletkenlik değeri atanmıştır. Çizelge 1'de verilen ve modelde kullanılan hidrolik iletkenlik değer aralıkları doğrudan yayınlardaki değerlere dayanarak belirlenmiştir (Fetter, 2001; Spitz ve Moreno, 1996). Benzer şekilde, yeraltı suyu beslenimi belirsiz olan bölgeler için (1, 2 ve 3 nolu bölgeler) kalibrasyon başlangıç değerleri olarak tahmini değerler atanmıştır. Kalibrasyonda kullanılan başlangıç ve aralık değerleri Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 1. Hidrolik iletkenlik parametresinin kalibrasyon aralıkları ve başlangıç değerleri

Hidrolik iletkenlik bölgesi	Kalibrasyon aralığı	Kalibrasyondaki başlangıç değeri
	Hidrolik iletkenlik (m/gün)	
K_{xy}-1 (Alüvyon)	1 ~ 100	30
K_{xy}-2 (Allokton kireçtaşı)	0,01 ~ 10	0,03
K_{xy}-3 (Filiş)	0,001 ~ 1	0,3
K_{xy}-4 (Tüf)	0,1 ~ 10	0,3
K_{xy}-5 (Konglemera)	0,05 ~ 5	1
K_{xy}-6 (Killi Kireçtaşı)	0,05 ~ 5	1

Çizelge 2. Yeraltı suyu beslenim parametresinin kalibrasyon aralıkları ve başlangıç değerleri

Yeraltı suyu beslenim alanları	Kalibrasyon aralığı	Kalibrasyondaki başlangıç değeri
	Beslenim (mm/gün)	
Alan no. 1 - R1	$5\times10^{-1} \sim 1\times10^{-3}$	3×10^{-2}
Alan no. 2 - R2	$5\times10^{-1} \sim 1\times10^{-3}$	7×10^{-2}
Alan no. 3 - R3	$5\times10^{-1} \sim 1\times10^{-3}$	1.5×10^{-1}
Alan no. 4 - R4	kalibre edilmedi, yağış-akış modeli ile hesaplandı	

Modelin kalibrasyonu otomatik olarak PEST parametre optimizasyon programı (Doherty, 2004) ile gerçekleştirilmiştir. PEST, herhangi bir matematiksel modelin parametrelerini bir takım optimizasyon teknikleri ile tahmin etmeye yarayan bir araçtır. Model yılın yağışlı mevsimindeki akım koşullarına göre kalibre edilebilmiştir. Bu amaçla 2007 yılının Mayıs ayında 51 kuyuda yapılan yeraltı su seviye ölçümleri kalibrasyon hedefleri olarak kullanılmıştır. Kalibrasyondan sonra model bağımsız bir veri seti olan ve kurak mevsimi temsil eden Ekim 2007 yeraltı suyu seviye ölçümleri ile doğrulanmıştır. Doğrulanma sürecinde, modelin sınır koşulları ve yeraltı suyu beslenim değerleri kurak mevsimin koşullarına uyacak şekilde değiştirilmiştir (Karadaş, 2009).

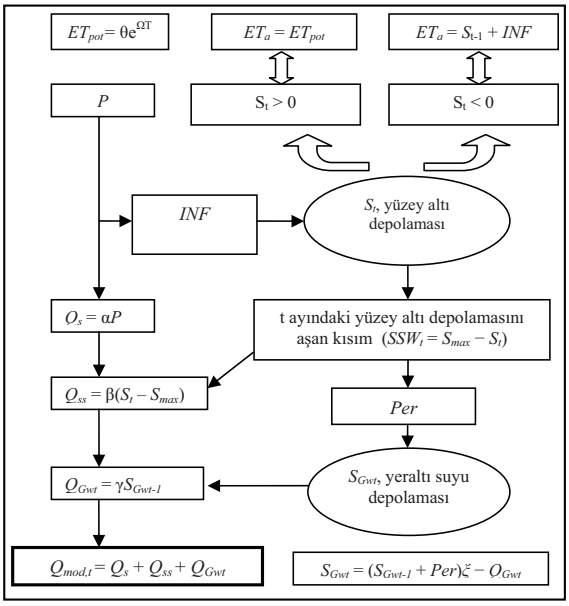
3.3. Parametrik Yağış-Akış Modeli

Tahtalı havzasındaki yeraltı suyu beslenimi kavramsal ve deterministik olan, Thornthwaite Su Bütçesi Modelini esas alan yedi parametreli bir yağış-akış modeli ile hesaplanmıştır. Model, aylık toplam yağış (P_t) ve aylık ortalama sıcaklıktan (T_t) türetilen potansiyel evapotranspirasyon (ET_{pot}) değerlerini kullanarak, bir havza çıkışındaki akışın yüzeysel akış, yüzeyaltı akışı ve yeraltı suyu akışı bileşenlerini hesaplamaktadır. Bu model ile evapotranspirasyon, sızma, zemin nemi, yüzeyaltı akışı, taban akışı ve perkolasyon değerleri tahmin edilebilmektedir. Perkolasyon, yüzeyden sızma yoluyla yeraltı suyu tablasına ulaşan kısım olup, yeraltı suyu akım modelinde doğrudan beslenim olarak kullanılmıştır. Yağış-akış modelinin akış şeması ve kullanılan denklemler Şekil 5'te verilmiştir. Modeldeki değişken ve parametreler ise Çizelge 3'te özetlenmiştir.

Çizelge 3. Yağış-akış modelinde kullanılan değişken ve parametreler

P_t	t ayındaki yağış (mm/ay)
T	t ayındaki ortalama sıcaklık (°C)
ET_{tpot}	aylık potansiyel evapotranspiration (mm/ay)
ET_a	aylık gerçek evapotranspirasyon (mm/ay)
θ, Ω	aylık ortalama sıcaklığı potansiyel evapotranspirasyona dönüştüren model parametreleri
α	Yüzeye düşen yağışın ne kadarının, doğrudan yüzeysel akışa geçtiğini belirleyen yüzeysel akış parametresi
β	Yüzey altı depolamasından ne kadarlık bir kısmının yüzeysel akışa geçtiğini belirleyen yüzey altı akış parametresi
γ	Yeraltı suyu depolamasının ne kadarlık bir kısmının yüzeysel akışı beslediğini belirleyen yeraltı akış parametresi
S_{max}	Zeminin maksimum yüzey altı depolamasını gösteren zemin parametresi (mm)
S_{t-1}	Bir önceki ayın yüzey altı depolama miktarı (mm)
S_{Gwt-1}	Bir önceki ayın yeraltı suyu depolama miktarını (mm)
Inf	Sızan su miktarı (mm)
Per	Yeraltı suyu tablasına ulaşan suyu miktarı (perkolasyon) (mm)
ξ	Yeraltı suyu tablasına ulaşan suyun (Per) ve bir önceki aydan kalan yeraltı suyu miktarından aktif yeraltı depolamasını belirleyen parametre
SSW_t	t ayındaki yüzey altı depolamasını aşan kısmı ($S_t - S_{max}$) (mm/ay)
Q_s	yüzeye düşen yağışın yüzeysel akışı besleyen kısım (mm)
Q_{ss}	yüzey altı depolamasında yüzeysel akışı besleyen kısım (mm)
Q_{Gwt}	yeraltı suyu depolamasından yüzeysel akışı besleyen kısım (mm)
$Q_{mod,t}$	t ayındaki toplam yüzeysel akış (mm)

Tahtalı havzasına ilişkin akımlar 1969-1990 yılları arasında gözlenmiştir. Havzaya ait hidrometeorolojik gözlemler 1970-79 dönemi kalibrasyon seti, 1980-88 dönemi doğrulanma seti olacak şekilde ikiye bölünmüştür. Bu dönemlere ait tüm akım değerleri havza alanlarına bölünerek yağış yüksekliklerine dönüştürülmüş, parametrik yağış akış modeli aylık yağış ve akış yükseklikleri cinsinden kurulmuştur. Modelin hesapladığı perkolasyon akım değerleri (*Per*) ise yeraltı suyu akım modelinde doğrudan yeraltı suyu beslenim parametresi olarak kullanılmıştır.



Şekil 5. Parametrik yağış-akış modeli akış şeması

3.4. İklim Değişikliğinin Yeraltı Suyu Sistemine Olan Etkilerinin Hesaplanması

Kalibre edilmiş ve doğrulanmış olan yeraltı suyu akım modeli öncelikle günümüz hidrolojik koşulları temsil eden baz senaryo için çalıştırılmıştır. Baz senaryo için parametrik yağış-akış modeli 1970-1989 dönemi hidrometeorolojik verileri kullanılarak çalıştırılmış ve aylık olarak yeraltı suyu beslenim değerleri elde edilmiştir. Her yıl için Kasım-Nisan aylarını kapsayan 6 aylık beslenim ortalamaları hesaplanmış ve böylece 20 yıl için yağışlı dönem beslenim ortalamaları hesaplanmıştır. Kararlı yeraltı suyu akım modelinde girdi olarak kullanılan baz senaryo beslenim değerini elde etmek için ise 20 yağışlı dönemin beslenimlerinin ortalaması alınmıştır.

İleriye yönelik ise, IPCC-AR4 iklim değişikliği değerlendirme raporunda verilen 20C3M ve A1B iklim değişikliği senaryoları esas alan HadCM3 küresel iklim modelin 2040-2059 yılları kapsayan döneme ait sonuçlarından yararlanılmıştır. 20C3M senaryosu günümüz emisyon koşullarının etkisini görebilmek amacıyla AR4 kapsamında türetilen ve günümüz iklimini temsil eden bir senaryodur. A1B senaryosunda ise 2100 yılında atmosferik CO_2 konsantrasyonunun 720 ppm'e ulaştığı orta kötümser bir senaryodur. İklim modeline ait sonuçların alansal çözünürlüğü 150-250 km mertebesinde olduğundan, sonuçların havza ölçeğine indirgenmesi zorunlu hale gelmiştir. Bu amaçla, istatistiksel bir ölçek indirgeme yöntemi olan yapay sinir ağları (YSA) yöntemiyle yeraltı suyu besleniminde başlıca etkili olan yağış ve sıcaklık (dolayısıyla evapotranspirasyon) parametrelerindeki öngörülen değişimler yeniden hesaplanmıştır. Ölçek indirgeme yöntemi bir sonraki alt bölümde açıklanmaktadır.

Havza ölçeğine indirgenmiş yağış ve sıcaklık değişimlerinin yeraltı suyu sistemi üzerindeki etkilerinin ortaya konabilmesi için yeraltı suyu akım modeli 2040-2059

yıllarını kapsayan dönemi temsilen (2050 senaryosu) bir kez daha çalıştırılıp, elde edilen sonuçlar baz senaryo sonuçları ile kıyaslanmıştır. Burada yağış ve sıcaklıkta öngörülen aylık değişimler, 1970-1989 dönemi yağış ve sıcaklık verilerine uygulanmış ve böylelikle 2040-2059 yılları kapsayan dönem için yağış ve sıcaklık verileri tahmin edilmiştir. Bu veriler daha sonra yağış-akış modelinde kullanılarak çalıştırılmış ve aylık olarak yeraltı suyu beslenim değerleri elde edilmiştir. Yeraltı suyu akım modelinde 2050 senaryosu beslenim değeri ise, baz senaryodaki gibi, 20 yıllık yağışlı dönem beslenim değerlerinin ortalaması alınarak hesaplanmıştır. Beslenimin günümüz koşullarına (baz senaryo) göre değişim oranı yeraltı suyu akım modelindeki diğer bölgeler için de geçerli olduğu kabul edilerek bu bölgelere ait değerler modelde değiştirilmiştir. Modelinin tüm diğer parametreleri 2050 senaryosu için değiştirilmeden muhafaza edilmiştir.

3.4.1. HadCM3 Sonuçlarının Yapay Sinir Ağları (YSA) ile Havza Ölçeğine İndirgenmesi

Büyük çaplı bölgesel tahminler üreten küresel ikim modeli sonuçlarının yerel yağış ve sıcaklıklara dönüştürülmesi için; bölgesel tahminleyici parametrelerle (küresel iklim modeli parametreleri), yerel tahminlenen parametreler (yerel yağış ve sıcaklıklar) arasında dönüşüm ilişkilerinin kurulması gerekmektedir. Bu çalışmada dönüşüm ilişkileri YSA yaklaşımı ile oluşturulmuştur. Ölçek indirgeme sürecini gerçekleştirilebilmesi için bölgesel tahminleyicilere ihtiyaç duyulmaktadır. Çalışmadan bölgesel iklimi temsil eden tahminleyiciler olarak NCEP/NCAR (National Centers for Environmental Prediction / National Centers for Atmospheric Research) Re-Analiz verileri seçilmiştir. Burada NCEP/NCAR Re-Analiz bölgesel tahminlerini Tahtalı havzasındaki yağış ve sıcaklık değerlerine dönüştürmede kullanılacak ilişkilerin belirlenebilmesi için seçilecek atmosferik parametrelerin (tahminleyicilerin) ayrıca HadCM3 modelinin parametreleriyle de ortak parametreler olması gerektiğine dikkat edilmiştir. Böylece HadCM3 bölgesel tahminlerini, NCEP/NCAR Re-Analiz parametreleriyle kurulmuş ilişkileri kullanarak Tahtalı havzası yerel yağış ve sıcaklık değerlerine indirgemek mümkün olmaktadır. Bu amaçla, NCEP/NCAR Re-Analiz veri setleri ile HadCM3 veri setleri karşılaştırılarak ortak atmosferik parametreler (ölçek indirgeme tahminleyicileri) belirlenmiştir.

HadCM3 modelinin 1950-1999 dönemindeki sonuçlarının NCEP/NCAR Re-Analiz atmosferik parametreleri ile uyumunu test etmek amacıyla iki veri setinin ortak 12 parametresine homojenlik testi uygulanmıştır. Mann-Whitney U homojenlik testi sonuçlarına göre, yıllık bazda parametrelerin tamamının, aylık bazda ise çok büyük bir bölümünün homojen çıktığı; bir başka deyişle HadCM3 modelinin bir çok parametresinin günümüz iklimini temsil eden NCEP/NCAR Re-Analiz verilerinin büyük bir bölümüyle homojen olduğu görülmektedir.

Ölçek indirgeme tekniği olarak YSA algoritmaları kullanılmıştır. Son zamanlarda birçok alanda kullanılan YSA, eğitilebilir bir kara kutu modeli veya gelişmiş bir doğrusal olmayan regresyon modeli gibi düşünülebilir. Bu çalışmada YSA öğrenme algoritması olarak, ileri beslemeli geri yayılımlı eğitme algoritmasının gelişmiş bir türü olan Levenberg-Marquardt algoritmasından yararlanılmıştır. Bu algoritma Newton yönteminin modifiye edilmiş bir halidir. YSA, bilgisayar programında kodlanarak gözlenmiş NCEP/NCAR Re-Analiz verileri ile Tahtalı havzasının gözlenmiş alansal ortalama yağış ve sıcaklık verileri arasında olacak şekilde kurulmuştur. 1948-2008

dönemindeki gözlenmiş aylık verilerin 1948-1990 dönemi kurulan ağın eğitimde, 1991-1999 dönemi test aşamasında kullanılarak, ağın ağırlık katsayıları belirlenmiştir. Belirlenen bu katsayıların doğruluğunun sınanması için ağlar 2000-2008 dönemindeki verilerle tekrar çalıştırılarak elde edilen sonuçlar gözlenmiş verilerle karşılaştırılmış ve ağırlık katsayılarının geçerlilikleri (ağın genelleme yeteneği) sınanmıştır. Ağın kurulumunda, ağın girdileri olan NCEP/NCAR Re-Analiz verileri ve ağın çıktıları olan Tahtalı havzası alansal ortalama yağış ve sıcaklık değerleri, 1950-1999 yılları arasındaki kendi ortalama ve standart sapmalarıyla standardize edilmiştir. Böylece standardize edilmiş girdi ve çıktılarla eğitilip test edilen ağın, yine 1950-1999 dönemi kendi verileriyle standardize edilmiş HadCM3 modelinin senaryo sonuçlarını indirgeyebilmesi sağlanmıştır.

4. SONUÇLAR

Yeraltı suyu akım modelinin beslenim parametresini hesaplayan yağış-akış modelinin kalibrasyonu ve yeraltı suyu akım modelinin kalibrasyonuna ilişkin sonuçlar Elçi ve diğ. (2010) ve Karadaş (2009)'ta verilmektedir. Burada daha çok modellerin sonuçlarına ve iklim değişikliğinin Tahtalı havzası yeraltı suyu sistemine olabilecek etkileri üzerinde durulacaktır.

4.1.Havza Ölçeğine İndirgenmiş İklim Değişikliği Sonuçları

HadCM3 küresel iklim modelinin sonuçları YSA yöntemiyle havza ölçeğine indirgenerek, modelin günümüz iklimini temsil eden 20C3M (1950-1999) ve 2000-2099 iklimini temsil eden A1B senaryosunun havza ölçeğindeki yağış ve sıcaklık değerleri hesaplanmıştır. Bu sonuçlardan türetilerek, Tahtalı havzasında 2040-2059 dönemi için aylık yağış ve sıcaklık değerlerinin ortalama değerlerde görülen değişimler yağışlar için yüzdesel (%), sıcaklıklar için fark (Δ) olmak üzere elde edilmiştir (Çizelge 4).

Çizelge 4. Tahtalı havzası HadCM3 modelin indirgenmiş 2040-2059 dönemi A1B senaryo yağış ve sıcaklıklarının 20C3M senaryosuna göre (1950-1999) değişimleri

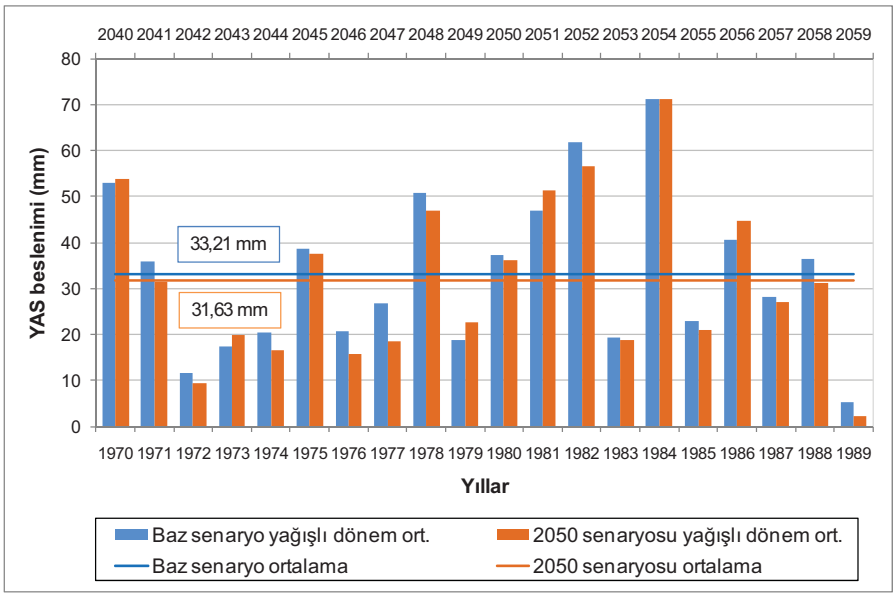
	A1B (2040-2059) – 20C3M	
	Ortalama yağıştaki değişim (%)	**Ortalama sıcaklıktaki değişim (°C)**
Ocak	27,24	2,10
Şubat	9,27	2,46
Mart	-17,24	2,86
Nisan	2,05	3,01
Mayıs	-10,34	2,17
Haziran	-81,55	3,08
Temmuz	142,22	2,95
Ağustos	530,25	3,01
Eylül	-70,31	3,27
Ekim	-26,72	3,58
Kasım	-1,05	3,57
Aralık	5,83	3,49
Yıllık	3,74	2,96

Tahtalı havzasındaki yağış değişimleri aylık olarak incelendiğinde büyük salınımlar göstermekle beraber, yıllıkta yağışın günümüz koşullara göre % 3,74 oranında artacağı

tahmin edilmektedir. Buna karşın sıcaklıkların her ay için artacağı ve yıllık ortalama sıcaklık artışının da günümüz koşullara göre 2,96 °C olacağı beklenmektedir.

4.2. İklim Değişikliğinin Yeraltı Suyu Beslenime Etkisi

Yağış-akış modeli günümüz koşulları temsilen 1970-1989 yağış ve sıcaklık verileri ile çalıştırılmıştır (baz senaryo). 2040-2059 dönemi için hesaplanan aylık yağış ve sıcaklık değişimleri, 1970-1989 dönemi verilerine uygulanarak, 2050 senaryosu için gereken meteorolojik veriler tahmin edilmiştir. Daha sonra yağış-akış modeli 2040-2059 verileri ile tekrar çalıştırılmıştır. Model sonuçlarından elde edilen yeraltı suyu beslenimleri, Şekil 6'da verilmiştir. Burada her yıl için gösterilen değerler, o yıla ait yağışlı dönemi temsil eden 6 ayın ortalamalarıdır. Buna göre beslenim değerleri baz senaryosu için 5,1−71,1 mm arası değişim göstermektedir ve 20 yıllık dönem için ortalama beslenim 33,21 mm'dir. Buna karşın 2050 senaryosu için beslenim değerlerinin 2,2−71,2 mm arası değişim göstermesi beklenmektedir. 2040-2059 dönemi ortalama beslenim değeri ise 31,6 mm'dir. Sonuçlarda dikkat çeken husus, iklim değişikliği nedeniyle yağışın yıllık bazda artış beklenmesine rağmen, yeraltı suyu besleniminde beklenen azalmadır. Burada belirleyici olan günümüz koşullara göre sıcaklığın artmasıdır; bu artış evapotranspirasyonun da artmasına neden olacağından, yeraltı suyu beslenimi de olumsuz etkilenmektedir.

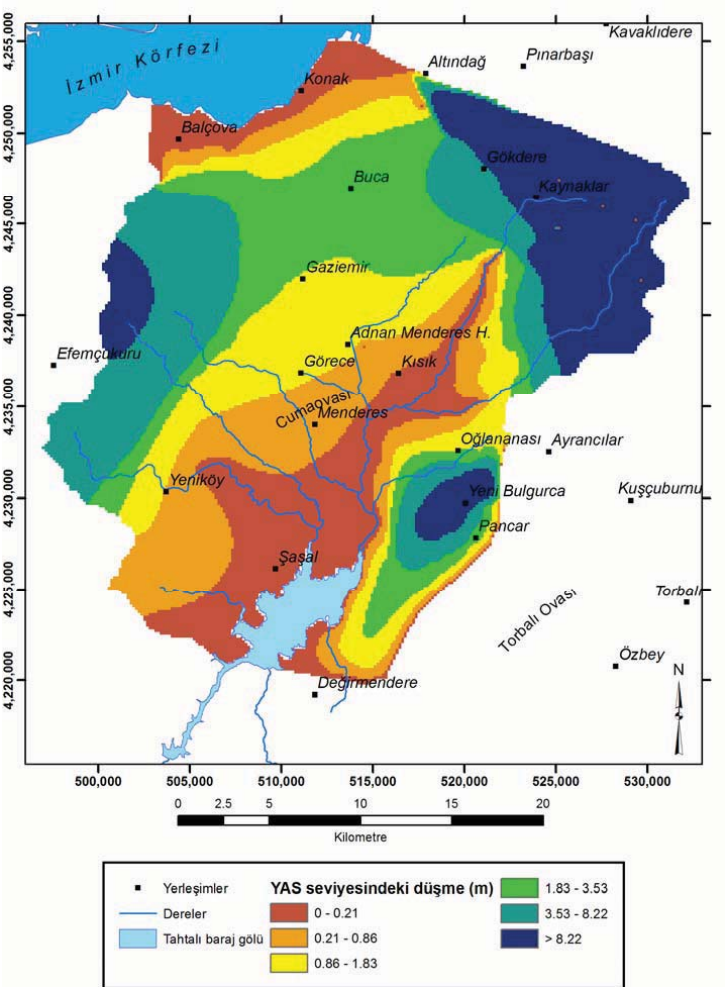


Şekil 6. Baz ve 2050 senaryoları için modellenen Tahtalı havzası yağışlı dönem yeraltı suyu beslenimleri

4.3. Yeraltı Suyu Akım Modeli Sonuçları

Yağış-akış model sonuçlarına göre yağışlı dönem yeraltı suyu beslenimin sadece meteorolojik veriler için tahmin edilen değişimlere bağlı olarak 33,21 mm'den 31,6 mm'ye düşmesi beklenmektedir. Bu düşüşün Tahtalı havzası yeraltı suyu seviyelerine

ve genel olarak su bilançosuna etkilerini görebilmek için yeraltı suyu akım modeli her iki senaryo için çalıştırılmış ve hesaplanan yeraltı suyu seviye yüzeylerinin farkı alınarak değişim değerleri hesaplanmıştır. Yeraltı su seviyelerinde modellenen değişimlerin konumsal dağılımı Şekil 7'de gösterilmiştir. 2050 senaryosu için hesaplanan beslenimdeki yaklaşık %5'lik azalma nedeniyle, çalışma sahasının bütünü için yeraltı suyu seviyelerinde düşme görülmektedir. Bazı bölgelerde düşmenin akiferin jeolojisine bağlı olarak çok belirgin olduğu görülmektedir. Cumaovası'nda, İzmir körfezi kıyısına yakın bölgelerde ve Tahtalı deresi boyunca yeraltı suyu seviyesindeki düşmenin 1 m'nin altında kalacağı görülürken, yüksek kotlu bölgelerde ve Tahtalı baraj gölünün yaklaşık 5 km kuzeydoğusundaki bölgede yeraltı suyunun 8 m'den fazla düşmektedir. Tahtalı baraj gölü etrafındaki değişken düşmelerin, ileride bu bölgedeki yeraltı suyu akım yönleri ve hızlarında da farklılıklara neden olacağı sonucunu doğurmaktadır.



Şekil 7. Tahtalı havzası için modellenen yeraltı suyu seviye değişimleri (baz senaryo seviyeleri – 2050 senaryo seviyeleri)

Yeraltı suyu akım modelinin su bütçesi hesaplama sonuçları Çizelge 5'te sunulmuştur. Bu sonuçlara göre, 2050 senaryosunda, baz senaryosunda olduğu gibi, en büyük bütçe bileşeninin yeraltı suyu beslenimi oluşturacaktır. Ancak beslenimin günümüz koşullara kıyasla hacimsel olarak %4,8 oranında azalması beklenmektedir, bu da akifere her gün yaklaşık olarak 29062 m^3 daha az su girdisi olacağı anlamına gelmektedir. Çalışma sahasındaki modele dâhil edilen pınar ve kaynakların debileri %5,2 oranında düşecektir. Pınar debilerinin yeraltı suyu seviyeleri ile doğrudan ilişkisi bu düşmeye neden olarak gösterilebilir. Model su bütçesindeki en çarpıcı sonuçlardan biri derelerle akifer arasındaki etkileşimde beklenen değişimlerdir. Baz senaryoya göre derelere akiferden toplam olarak 6207,20 m^3/gün'lük su girişi söz konusudur. Buna karşın 2050 senaryosunda akımın yön değiştirdiği ve derelerin akiferi beslemeye başladığı gözlenmektedir. Derelerdeki su seviyeleri 2050 senaryosu için modelde değiştirilmediğinden ve yeraltı suyu seviyesinin azalan beslenim nedeniyle düştüğünden, genel olarak derelerin akifere su kaybedeceği sonucu çıkmaktadır. Su bütçesindeki diğer bileşenlere bakıldığında, model sınırları ile sınırlanan çalışma sahasındaki akiferden genel olarak bir yeraltı suyu gerçekleşmektedir. Bu çıkışın 2050 senaryosuna göre düşen yeraltı suyu seviyeleri ve dolayısıyla azalan su tablası eğimleri sebebiyle azalması beklenmektedir. Buna ilave olarak İzmir körfezine ve Tahtalı baraj gölüne olan akımlar için de ilerisi için bir miktar düşüş görülmektedir.

Çizelge 5. Tahtalı havzası yeraltı suyu akım modeli su bütçesi sonuçlarına göre net akımlardaki değişimler (negatif akım değerleri akiferden net su çıkışlarını göstermektedir)

	Akifere net giriş (m^3/gün)			
Su bütçesi bileşeni	**Baz senaryo**	**2050 senaryosu**	**Değişim (m^3/gün)**	**Değişim (%)**
YAS beslenim	610408,75	581346,56	−29062,19	−4,8
Tahtalı gölü ve körfez	−218399,83	−213206,47	5193,36	2,4
Model sınırları	−348294,71	−331717,45	16577,26	4,8
Kuyular	−25859,40	−25859,40	0,00	0,0
Dereler	−6207,20	477,81	6685,02	107,7
Pınarlar	−11648,69	−11042,18	−606,51	5,2

4.4. Modelleme Yaklaşımının Tartışılması

Bu çalışma ile birbirini tamamlayan iki bağımsız akım modeli birlikte çalıştırılarak, iklim değişikliğinin herhangi bir yerdeki yeraltı suyu sistemine olan etkilerinin değerlendirilebileceği gösterilmiştir. Böylece yeraltı ile yüzey suları arasındaki etkileşim hesaba katılarak daha bütünleşik bir yaklaşım sunulmuştur. Probleme yaklaşım ve çalışmadaki yöntem genel olarak yalın olmakla birlikte, her modelleme çalışmasında olduğu gibi burada da yapılan bazı önemli kabuller var. Bu kabullerin doğuracağı olası sonuçların farkına vararak ve sonuçların güvenilirliğini tartışarak, ileriye yönelik daha doğru tahminler üreten modellerin geliştirilmesi mümkündür.

Burada sunulan iklim değişikliği etki değerlendirmesindeki genel yaklaşım, (1) iklim değişikliği senaryosunun seçimi; (2) küresel iklim değişikliği model sonuçlarının havza ölçeğine indirgenmesi; (3) indirgenmiş sonuçları girdi olarak kullanan hidrolojik modellerin çalıştırılması ve (4) modelleme sonuçlarının günümüz koşullara kıyaslanarak yorumlanması olarak özetlenebilir. Bu yaklaşımın en iyi tarafı, her zaman

her koşulda bir sonucun elde edilebilmesidir, ancak zayıf tarafı sonuçlardaki güvenilirliğin bilinememesidir. Güvenilirliği azaltan unsurlardan biri genelde kullanılmakta olan deterministik modellerle belirsizliklerin niceliksel olan gösterilememesidir; örneğin küresel iklim modeli sonuçlarındaki belirsizlikler ve ölçek indirgeme süreci sonunda bu belirsizlikler arttırılması, iklim değişikliği etki değerlendirme sonuçlarının belirsizliklerini de arttırmaktadır (Blöschl ve diğ., 2007).

Çalışmada kullanılan yeraltı suyu akım modeli, kalibrasyon verilerinin zaman serisi olarak bulunmamasından dolayı kararlı akım modeli olarak kurulmuştur. Ancak iklim değişikliğinin yeraltı suyuna mevsimsel etkilerini daha iyi irdeleyebilmek için modelin zaman serisiyle çalıştırılması gerekmektedir, çünkü karalı akım modellerine dayalı iklim değişikliği etki değerlendirme çalışmalarında sınır şartlarında basitleştirici kabullerin yapılması gerekmektedir. Yeraltı suyu modelin bir diğer sınırlaması, 2050 senaryosu için beslenim parametresi hariç diğer tüm parametrelerin değiştirilmemiş olmasıdır. Bunun için gerekli olan başlıca veriler gelecekteki tahmini sulama, kullanma ve içme suyu ihtiyaçları ve yüzey sularının su seviyeleridir. Diğer taraftan iklim değişikliği veya başka etkenlerle arazi kullanımı da değişeceğinden, arazi kullanımı değişikliklerinin, iklim değişikliği senaryoları ile bütünleştirilerek dikkate alınması önerilmektedir. Böylece su kaynakları yönetimi bağlamında daha etkin iklim değişikliği uyum kararları alınabilir.

5. KAYNAKLAR

Bates B, Kundzewicz ZW, Wu S, Palutikof J, "Climate Change and Water" IPCC Working Group II, Cenevre, 2008.

Blöschl G, Ardoin-Bardin S, Bonell M, Dorninger M, Goodrich D, Gutknecht D, Matamoros D, Merz B, Shand P, Szolgay J, "At what scales do climate variability and land cover change impact on flooding and low flows?", Hydrological Processes 21: 1241–1247, 2007.

Bovolo CI, Parkin G, Sophocleous M, "Groundwater resources, climate and vulnerability", Environmental Research Letters, 4(3): 1-4, 2009.

Doherty J, "PEST - Model-Independent Parameter Estimation User Manual", 5.baskı, Watermark Numerical Computing, 2004.

Elçi A, Karadaş D, Fıstıkoğlu O, "The combined use of MODFLOW and precipitation-runoff modeling to simulate groundwater flow in a diffuse-pollution prone watershed", Water Science & Technology (yayına kabul edildi), 2010.

Fetter CW, "Applied hydrogeology", Prentice Hall, Upper Saddle River, N.J, 2001.

Fıstıkoğlu O, Harmancıoğlu N, "Yukarı Gediz Havzasında Aylık Su Bütçesi Modeli Uygulaması", 3.Ulusal Hidroloji Kongresi, İzmir, 2001.

Harbaugh, AW, “MODFLOW-2000, the U.S. Geological Survey Modular Ground-Water Model--User Guide to Modularization Concepts and the Ground-Water Flow Process.” Reston, VA, U.S. Geological Survey, 2000.

Hsu K-C, Wang C-H, Chen K-C, Chen C-T, Ma K-W, "Climate-induced hydrological impacts on the groundwater system of the Pingtung Plain, Taiwan", Hydrogeology Journal, 15(5): 903-913, 2007.

Karadaş D, Elçi A, Şimşek C, Gündüz O, Kazanasmaz E, "İzmir Tahtalı Çayı Havzası Mevsimsel Yeraltı Suyu Düşümünün Matematiksel Modelleme ile Belirlenmesi", 7.Ulusal Çevre Mühendisliği Kongresi, İzmir, 41-49, 2007.

Karadaş D, “The Development of a Regional Groundwater Flow Model for the Tahtalı Watershed”, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2009.

Koca MY, "Slope Stability Assessment of the Abandoned Andesite Quarries in and Around the Izmir City Centre", Doktora tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, 1995.

Moustadraf J, Razack M, Sinan M, "Evaluation of the impacts of climate changes on the coastal Chaouia aquifer, Morocco, using numerical modeling", Hydrogeology Journal, 16(7): 1411-1426, 2008.

Simsek C, Elci A, Gunduz O, Erdogan B, "Hydrogeological and hydrogeochemical characterization of a karstic mountain region", Environmental Geology, 52(2): 291-308, 2008.

Spitz K, Moreno J, "A practical guide to groundwater and solute transport modeling", John Wiley, New York, 1996.

Toews MW, Allen DM, "Simulated response of groundwater to predicted recharge in a semi-arid region using a scenario of modelled climate change", Environmental Research Letters, 4(3): 1-19, 2009.

TÜİK, “Adrese dayalı nüfus kayıt sistemi verileri”, Türkiye İstatistik Kurumu internet sitesi http://www.tuik.gov.tr/VeriBilgi.do?tb_id=39&ust_id=11, 2008.

Woldeamlak S, Batelaan O, De Smedt F, "Effects of climate change on the groundwater system in the Grote-Nete catchment, Belgium", Hydrogeology Journal, 15(5): 891-901, 2007.

Yüksek Mertebeden Bir MacCormack Şeması Kullanılarak Adveksiyon-Difüzyon Denkleminin Sayısal Çözümü

Gürhan Gürarslan[1], Halil Karahan[2]

Özet: Bu çalışmada, yeraltısuyu ortamında kirletici taşınımını temsil eden Adveksiyon-Difüzyon denkleminin sayısal çözümü için dördüncü mertebeden bir MacCormack (MC4) şeması geliştirilmiştir. İki adet test problemi MC4 şeması ile çözülmüş ve literatürde verilen sonuçlardan daha kesin çözümler elde edilmiştir.

Anahtar Sözcükler: Adveksiyon-Difüzyon; Kirletici Taşınımı; Yüksek Mertebeden Sonlu Fark Şemaları; MacCormack Şeması

Numerical Solution of Advection-Diffusion Equation Using a High-order MacCormack Scheme

Abstract: In this study, a fourth-order MacCormack Scheme (MC4) is developed for numerical solution of advection-diffusion equation governing to transport of contaminants in groundwater. Two test problems are solved with MC4 scheme and accurate results are obtained according to the solutions given in the literature.

Keywords: Advection-Diffusion; Contaminant Transport; High-order Finite Difference Schemes; MacCormack Scheme

1. GİRİŞ

Mühendislik ve bilimde ısı, kütle ve enerji taşınımını temsil eden diferansiyel denklemler taşınım denklemleri olarak adlandırılır. Taşınım denklemlerinde en önemli iki proses adveksiyon ve difüzyon prosesleridir. Bu iki prosesi kapsayan model denklem adveksiyon-difüzyon (A-D) denklemi olarak bilinir. Hidrolik ve çevre mühendisliğinin ilgi alanına giren yüzeysel ve yeraltı suyu ortamında kirlilik taşınımı, akarsularda katı madde taşınımı ve akarsularda taşkın öteleme problemlerinin çözümünde A-D denkleminin çözümleri kullanılmaktadır. A-D denkleminin analitik çözümleri; birtakım basitleştirici kabuller yapılarak, sınırlı sayıda başlangıç ve sınır koşulları için elde

[1] Pamukkale Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Denizli, E-Posta: gurarslan@pau.edu.tr

[2] Pamukkale Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Denizli, E-Posta: hkarahan@pau.edu.tr

edilebilmektedir. Ancak, bu ideal koşullar çoğu zaman arazide mevcut olmadığından analitik çözümlerin uygulamada kullanımı son derece sınırlı kalmaktadır. Bu nedenle A-D denkleminin sayısal çözümleri üzerine yapılan çalışmalar halen yoğun bir şekilde devam etmektedir.

A-D denkleminin sayısal çözümü için sonlu farklar (Cecchi and Pirozzi, 2005; Chen and Falconer, 1992; Dehghan, 2007; Hossain and Yonge, 1999; Kalita et al., 2002; Karaa and Zhang, 2004; Karaa, 2009, Man and Tsai, 2008; Rigal, 1994; Rigal, 1999; Sari et al., 2010, Tian and Ge, 2007), sonlu elemanlar (Dag et al., 2006; Hossain ve Yonge, 1997; John ve Schmeyer, 2008; Sheu ve Chen, 2002), sonlu hacimler (Hernandez, 2002), sınır elemanları (Singh and Tanaka, 2003), radyal tabanlı (Zerroukat et al., 2000), diferansiyel kuadratör (Kaya, 2010), Adomian ayrıştırma (Inc and Cherruault, 2002), Diferansiyel Dönüşüm (Chen and Ju, 2004), Elektronik tablolama (Karahan 2006; Karahan 2007a, Karahan 2007b, Karahan, 2008) yöntemleri gibi çeşitli yöntemler önerilmiştir. Bu metotlar arasında sonlu farklar metodu en popüler olanıdır.

Adveksiyon ve difüzyon prosesleri eşzamanlı prosesler olmasına rağmen kütle taşınımını çok farklı bir biçimde yaparlar. Adveksiyon prosesi akış yönünde gerçekleşirken difüzyon prosesi ise hem akış yönünde hem de akışın tersi yönünde gerçekleşir. A-D denkleminde farklı davranış sergileyen hiperbolik (adveksiyon) ve parabolik terimlerin (difüzyon) var olması matematiksel olarak bu problemin çözümünde birtakım güçlükler meydana getirmektedir. A-D denkleminin sayısal çözümünde, klasik sonlu farklar ya da sonlu elemanlar yöntemlerinin kullanılması durumunda nümerik dispersiyon ve yapay salınım gibi iki önemli olumsuzluk söz konusudur. Nümerik dispersiyonu azaltmak için Peclet sayısının 2'den küçük olması koşulunu sağlayacak şekilde grid aralıklarının azaltılması zorunludur. Bu durumda gerekli bilgi işlem süresi önemli miktarda artmaktadır. Yapay salınımın önlenmesi için upwind şema tercih edilmektedir. Bu durumda ise nümerik dispersiyon artmaktadır. Bu iki olumsuzluğu önlemek için yüksek mertebeden sonlu fark şemalarının kullanılması kaçınılmazdır. Bu çalışmanın esas amacı; hata mertebesi kabul edilebilir miktarda az, programlaması kolay ve benzerlerine göre bellek gereksinimi daha az olan bir sonlu fark şemasının A-D denkleminin sayısal çözümünde kullanılmasıdır. Bu amaçla klasik MacCormack şeması iyileştirilerek 4. mertebeden bir sonlu fark şeması geliştirilmiştir.

2. MATEMATİK MODEL

Adveksiyon, difüzyon, kaynak-yitik, kimyasal reaksiyon süreçlerini dikkate alan, yeraltısuyu ortamında tek bileşenli kirletici taşınımını ifade eden kısmi diferansiyel denklem aşağıdaki gibi verilmektedir (Zheng and Bennett, 2002):

$$R\theta\frac{\partial C}{\partial t}=\frac{\partial}{\partial x_i}\left(\theta D_{ij}\frac{\partial C}{\partial x_j}\right)-\frac{\partial}{\partial x_i}\left(U_i C\right)+q_s C_s-\lambda_1\theta C+\lambda_2\rho_b\overline{C} \tag{2.1}$$

Geciktirme faktörü R ise şu şekilde tanımlanır:

$$R=1+\frac{\rho}{\theta}K \tag{2.2}$$

Burada;

C : çözünmüş (dissolved) madde konsantrasyonu [ML^{-3}]
$\overline{C}$: tutulmuş (sorbed) konsantrasyon [MM^{-1}]
U_i : sızıntı hızı [LT^{-1}]
D_{ij} : dispersiyon tensörü [L^2T^{-1}]
q_s : birim akifer hacmine düşen kaynak yada yitik akış hızı [T^{-1}]
C_s : kaynak yada yitik konsantrasyonu [ML^{-3}]
λ_1 *ve* λ_2 : çözünme ve tutulma fazında reaksiyon hız sabitleri [T^{-1}]
θ : porozite [*boyutsuz*]
ρ_b : gözenekli ortamın yoğunluğu [ML^{-3}]
R : geciktirme faktörü [*boyutsuz*]
K_d : dağıtım katsayısı [L^3M^{-1}]

Absorpsiyon, reaksiyon ve kaynak-yitik terimlerinin ihmal edilmesi durumunda Denklem (2.1) şu şekilde sadeleşir:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x_i}\left(D_{ij} \frac{\partial C}{\partial x_j} \right) - \frac{\partial}{\partial x_i}\left(U_i C \right) \tag{2.3}$$

Hız ve difüzyon terimleri sabit kabul edilirse bir ve iki boyutlu adveksiyon-difüzyon denklemi en sade şekilde aşağıdaki gibi elde edilir:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D\frac{\partial^2 C}{\partial x^2} - U\frac{\partial C}{\partial x} \tag{2.4.a}$$

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D_{xx}\frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + D_{yy}\frac{\partial^2 C}{\partial y^2} - U_x\frac{\partial C}{\partial x} - U_y\frac{\partial C}{\partial y} \tag{2.4.b}$$

3. YÜKSEK MERTEBEDEN SONLU FARK ŞEMALARI

Zhong şeması olarak adlandırılan üçüncü mertebeden asimetrik sonlu fark eşitlikleri (Zhong, 1998) x ve y yönü için Denklem (3.1) ve Denklem (3.2)'de sırasıyla verilmektedir. Bu şemalar benzerlerine göre daha az nümerik dispersiyon değerine sahip olması nedeniyle tercih edilmiştir. Ayrıca sınır noktalarında kullanımı benzerlerine göre daha kolaydır.

$$\left(\frac{\partial c}{\partial x}\right)_{i,j} = \frac{\left(5+\frac{5}{2}\alpha\right)c_{i-2,j} + \left(-40-10\alpha\right)c_{i-1,j} + 15\alpha c_{i,j} + \left(40-10\alpha\right)c_{i+1,j} + \left(-5+\frac{5}{2}\alpha\right)c_{i+2,j}}{60\Delta x} + \frac{\alpha}{3!}\Delta x^3\left(\frac{\partial^4 c}{\partial x^4}\right)_{i,j} \tag{3.1}$$

$$\left(\frac{\partial c}{\partial y}\right)_{i,j} = \frac{\left(5+\frac{5}{2}\alpha\right)c_{i,j-2} + \left(-40-10\alpha\right)c_{i,j-1} + 15\alpha c_{i,j} + \left(40-10\alpha\right)c_{i,j+1} + \left(-5+\frac{5}{2}\alpha\right)c_{i,j+2}}{60\Delta y} + \frac{\alpha}{3!}\Delta y^3\left(\frac{\partial^4 c}{\partial y^4}\right)_{i,j} \qquad (3.2)$$

$\alpha = 0$ değeri için dördüncü mertebeden merkezi fark şeması elde edilmektedir. $\alpha = 2$ için Karahan tarafından verilen (Karahan, 2007b) üçüncü mertebeden upwind şema elde edilmektedir. İkinci mertebeden türevler ise birinci mertebeden türevlerin $(\alpha = 0)$ tekrar türevleri alınarak elde edilmiştir.

α sayısının seçimi ile ilgili Zhong (1998) çalıştığı probleme özgü birtakım değerler önermiştir, fakat genel bir kriter vermemiştir. Bununla birlikte α sayısı Pe sayısına bağlı olarak 0 ile 2 arasında seçilebilir. Bu çalışmada $Pe \le 4$ için $\alpha = 0.01$ değeri kullanılmıştır. α sayısının Pe sayısına bağlı olarak genel bir bağıntı verilmesi detaylı analiz gerektirdiği için bu çalışmanın kapsamı dışında tutulmuştur.

$$C' = \mathbf{A}C \qquad (3.3.a)$$

$$C'' = \mathbf{A}C' \qquad (3.3.b)$$

Taylor serisi açılımı kullanılarak sınır noktaları için kullanılacak üçüncü mertebeden şemalar kolayca elde edilebilir. Sınır şemaları olarak Karahan tarafından verilen şemalar (Karahan, 2007b) kullanılabilir.

4. MACCORMACK ŞEMASI

A-D denkleminin sayısal çözümünde konumsal türevler tercih edilen bir yöntem (sonlu farklar, sonlu elemanlar vb.) ile ayrıştırılarak adi bir diferansiyel denklem elde edilir. Elde edilen bu adi diferansiyel denklem uygun bir sayısal integral yöntemiyle çözülerek zamana bağlı çözümler elde edilir.

$$\frac{d\mathbf{C}}{dt} = L(\mathbf{C}), \qquad \mathbf{C}(t_0) = \mathbf{C_0}, \qquad t \in [t_0, t_{\max}] \qquad (4.1)$$

Sayısal integral yöntemleri açık (explicit) ve kapalı (implicit) yöntemler olarak iki gruba ayrılır. Kapalı yöntemler koşulsuz kararlıdır ve açık yöntemlere göre daha büyük zaman adımları ile çözüm elde edilebilir. Buna karşın her zaman adımında bir matris çözümünü gerektirirler. Açık yöntemler ise koşullu kararlıdır ve kararlılığı sağlayacak ölçüde zaman adımları (kapalı yöntemlere göre daha küçük) ile çözüm elde edilebilir. Buna karşın herhangi bir matris çözümünü gerektirmezler. A-D denkleminin sayısal çözümünde yeteri kadar kesin çözümler elde etmek için zaman adımlarının oldukça küçük seçilmesi gerekmektedir ve bu nedenle açık yöntemler daha çok tercih edilmektedir.

MC şeması (MacCormack, 1969) tahmin ve düzeltme adımlarından oluşan açık bir şemadır. Hızların pozitif olması kabülüyle bu çalışmada kullanılan MC4 şemasının

adımları sırasıyla Denklem 4.2 ve Denklem 4.3'de verilmektedir. Birinci mertebeden konumsal türevlerin ayrıştırılmasında tahmin adımında üçüncü mertebeden geri yönlü sonlu fark şeması ve düzeltme adımında ise üçüncü mertebeden ileri yönlü sonlu fark şeması kullanılmıştır. İkinci mertebeden konumsal türevlerin ayrıştırılmasında ise 4. mertebeden merkezi yönlü sonlu fark şeması kullanılmıştır.

$$C_{i,j}^{*} = C_{i,j}^{n} + \Delta t L\left(C_{i,j}^{n}\right) \tag{4.2}$$

$$C_{i,j}^{n+1} = C_{i,j}^{n} + 0.5\Delta t\left(L\left(C_{i,j}^{n}\right) + L\left(C_{i,j}^{*}\right)\right) \tag{4.3}$$

5. SAYISAL UYGULAMALAR

Bu bölümde bir ve iki boyutlu A-D denkleminin sayısal çözümü 4. mertebeden MC şeması (MC4) ile elde edilmektedir. Şemanın kararlılığı ve kesinliği için farklı Δx ve Δt değerleri ile çalışılmıştır. Hesaplamada kullanılan tüm programlar MATLAB 7.8 ortamında yazılan kodlarla gerçekleştirilmiştir.

5.1. Bir Boyutlu A-D denkleminin Sayısal Çözümü

Sınırları $0 \le x \le 9$ olan bir ortama $t = 0$ anında $x_0 = 1$ noktasında büyüklüğü 1 birim olan (Gaussian ani noktasal kaynak) bir kirlilik bulutu verildiğinde, bir boyutlu adveksiyon-difüzyon denkleminin analitik çözümü Noye and Tan (1988) ve Karahan (2006) tarafından Denklem 5.1'de verilmektedir. Bu problemin başlangıç ve sınır koşulları, Denklem 5.1'de verilen analitik çözümden elde edilebilir.

$$C\left(x,t\right) = \frac{1}{\sqrt{4t+1}} \exp\left[-\frac{\left(x - x_0 - Ut\right)^2}{D\left(4t+1\right)}\right] \tag{5.1}$$

Tablo 1'de $\Delta x = 0.025$ m, $U = 0.8$ m/s, $D = 0.005$ m^2/s ve $t_{\max} = 5$ s alınarak farklı Cr değerleri için $x = 5$ m'de oluşan pik konsantrasyon değerleri BTCS, Upwind, CN şemaları (Karahan, 2006) ve FD3 şeması (Karahan, 2007b) ile karşılaştırılmaktadır. Aynı parametreler için MC4 şeması için gerekli bilgi işlem süresi Tablo 2'de verilmektedir. Tablo 2'den görüldüğü gibi MC4 şeması için gerekli bilgi işlem süresi pratik uygulamalarda rahatlıkla kullanılabilir düzeydedir. Ayrıca MC4 şeması açık bir şema olmasına rağmen kararlılık aralığının oldukça geniş olduğu Tablo 2'den açıkça anlaşılmaktadır.

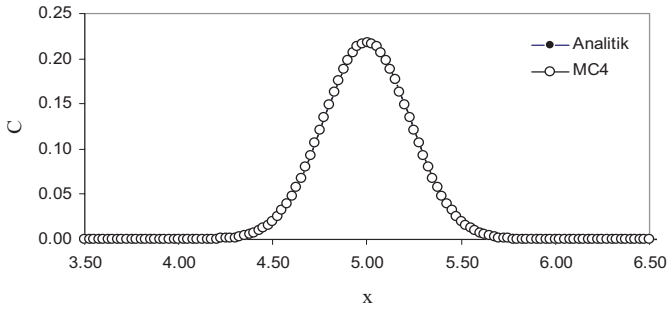
$Cr = 0.16$ ve $Pe = 4$ için MC4 şemasına ait sayısal çözüm sonuçlarının grafik gösterimi Şekil 1'de verilmektedir. Şekil 1'den görüldüğü gibi MC4 şemasından elde edilen sonuçlar analitik çözümle üst üste çakışmaktadır.

Tablo 1. Pik konsantrasyon değerlerinin karşılaştırılması ($Pe = 4$)

Δt	Cr	Analitik	BTCS	Upwind	CN	FD3	MC4
0.0005	0.0160	0.218218	0.2135	0.1274	0.2167	0.2166	0.2182
0.0010	0.0320		0.2106	0.1267	0.2167	0.2166	0.2182
0.0020	0.0640		0.2049	0.1254	0.2168	0.2166	0.2182
0.0025	0.0800		0.2023	0.1248	0.2168	0.2166	0.2182
0.0050	0.1600		0.1904	0.1218	0.2169	0.2165	0.2182
0.0100	0.3200		0.1717	0.1164	0.2170	0.2164	0.2181
0.0200	0.6400		0.1463	0.1074	0.2171	0.2157	0.2177
0.0500	1.6000		0.1084	0.0893	0.2159	NA	NA

Tablo 2. FD3 ve MC4 şemalarının bilgi işlem süresi (s) açısından karşılaştırılması

Δt	Cr	MC4
0.0005	0.0160	21.22
0.0010	0.0320	10.68
0.0020	0.0640	5.09
0.0025	0.0800	4.09
0.0050	0.1600	2.06
0.0100	0.3200	1.04
0.0200	0.6400	0.53



Şekil 1. $Cr = 0.16$ ve $Pe = 4$ için MC4 şemasına ait sayısal çözüm sonuçları

5.2. İki Boyutlu A-D denkleminin Sayısal Çözümü

$0 < x, y < 2$ m aralığında iki boyutlu adveksiyon-difüzyon denklemini ele alalım. Bu problemde $U_x = U_y = 0.8$ m/s alınmıştır. Bu denklemin analitik çözümü aşağıdaki gibi verilmektedir (Noye and Tan, 1989; Kalita et. al, 2002; Karaa and Zhang, 2004;; Tian and Ge, 2007; Dehghan, 2007; Dehghan and Mohebbi, 2008):

$$C(x,y,t)=\frac{1}{1+4t}\exp\left\{-\frac{\left(x-0.5-U_x t\right)^2}{D_x\left(1+4t\right)}-\frac{\left(y-0.5-U_y t\right)^2}{D_y\left(1+4t\right)}\right\} \tag{5.2}$$

Tablo 3 ve Tablo 4'de $\Delta x=\Delta y=0.025\ m$, $D_{xx}=D_{yy}=0.01$ m^2/s ve $t_{\max}=1.25\ s$ parametreleri alınmıştır. Δt değerleri, ortalama mutlak hata (OMH) ve maksimum mutlak hata (MMH) değerlerinin elde edilebilmesi için Tablo 3 ve Tablo 4'de sırasıyla 0.00125 s ve 0.000625 s alınmıştır. MC4 şeması ile elde edilen hatalar literatürde verilenlere göre daha az olduğu Tablo 3 ve Tablo 4'den açıkça görülmektedir.

$\Delta x=\Delta y=0.025\ m$, $D_{xx}=D_{yy}=0.01\ m^2/s$ ve $t_{\max}=1.25\,s$ parametreleri için çeşitli Δt değerleri kullanılarak pik konsantrasyon değerleri Tablo 5'de verilmektedir. Kalita ve diğ. (2002) tarafından yapılan çalışmada üç farklı şema kullanılmıştır. MC4 sonuçları ile araştırmacıların (9,9) şemasının sonuçları karşılaştırılmıştır. Tablo 5'den görüleceği gibi MC4 şemasının sonuçları (9,9) şemasının sonuçlarından daha iyi olduğu gözükmektedir.

$1<x,y<2\ \ m$ aralığında $\Delta t=0.0125\ s$, $\Delta x=\Delta y=0.025\ \ m$, $D_{xx}=D_{yy}=0.01\ \ m^2/s$ ve $t=1.25\,s$ için MC4 çözümlerinin ve mutlak hatalarının iki boyutlu grafiği Şekil 2'de, $0<x,y<2\ \ m$ aralığında $\Delta t=0.0125\ s$, $\Delta x=\Delta y=0.025\ \ m$, $D_{xx}=D_{yy}=0.01\ \ m^2/s$ için başlangıç çözümlerinin $\left(t_0=0\right)$ ve MC4 çözümlerinin $\left(t_{\max}=1.25\,s\right)$ için üç boyutlu grafiği ise Şekil 3'de verilmektedir.

Tablo 3. $\Delta x=\Delta y=0.025\ m$, $D_{xx}=D_{yy}=0.01$ m^2/s ve $t_{\max}=1.25\ s$ alınarak ortalama mutlak hata ve maksimum mutlak hataların karşılaştırılması

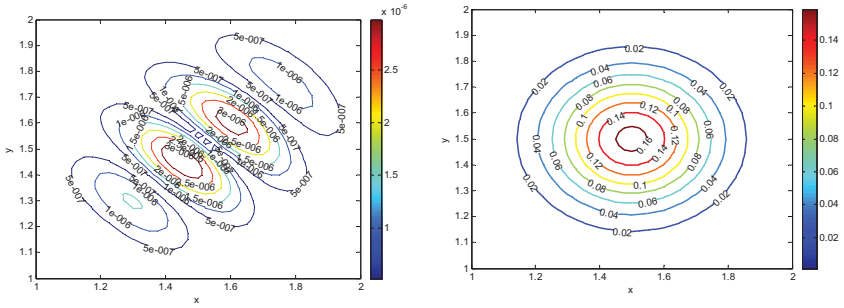
Yöntem	OMH	MMH
Noye ve Tan (1989), $\Delta t=0.0125$ s	1.43E-05	4.84E-04
Kalita ve diğ. (2002), $\Delta t=0.0125$ s	1.59E-05	4.48E-04
Dehghan ve Mohebbi (2008), $\Delta t=0.0125$ s	9.48E-06	2.47E-04
MC4, $\Delta t=0.00125$ s	4.88E-06	1.31E-04

Tablo 4. $\Delta t=0.00625$, $\Delta x=\Delta y=0.025\ m$, $D_{xx}=D_{yy}=0.01$ m^2/s ve $t_{\max}=1.25\ s$ alınarak ortalama mutlak hata ve maksimum mutlak hataların karşılaştırılması

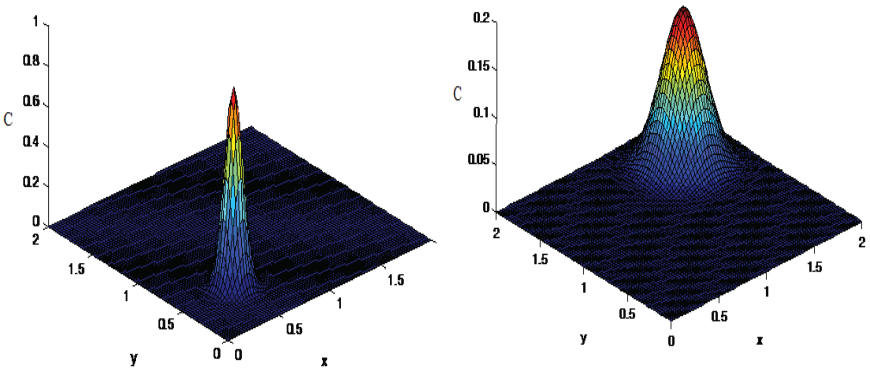
Yöntem	OMH	MMH
Noye and Tan (1989)	1.97E-05	6.51E-04
Kalita et al. (2002)	1.60E-05	4.45E-04
PR-ADI (Noye and Tan, 1989)	3.11E-04	7.78E-03
Karaa and Zhang (2004)	9.22E-06	2.50E-04
Tian and Ge (2007)	9.66E-06	2.66E-04
Dehghan and Mohebbi (2008)	9.49E-06	2.48E-04
MC4	5.16E-06	1.48E-04

Tablo 5. $\Delta x = \Delta y = 0.025$ m, $D_{xx} = D_{yy} = 0.01$ m^2/s ve $t_{\max} = 1.25$ s için pik konsantrasyon değerlerinin karşılaştırılması

Δt	Pik Konsantrasyon	
	(9,9) şeması	MC4
0.00625	0.166540	0.166525
0.00010	0.166656	0.166725
	Analitik	0.166667



Şekil 2. $1 < x, y < 2$ m aralığında $\Delta t = 0.0125$ s, $\Delta x = \Delta y = 0.025$ m, $D_{xx} = D_{yy} = 0.01$ m^2/s ve $t = 1.25$ s için MC4 çözümlerinin ve mutlak hatalarının iki boyutlu grafiği



Şekil 3. $0 < x, y < 2$ m aralığında $\Delta t = 0.0125$ s, $\Delta x = \Delta y = 0.025$ m, $D_{xx} = D_{yy} = 0.01$ m^2/s için başlangıç çözümlerinin $(t_0 = 0)$ ve MC4 çözümlerinin $(t_{\max} = 1.25\ s)$ üç boyutlu grafiği

6. SONUÇLAR

Bu çalışmada yeraltısuyu ortamında kirletici taşınımını temsil eden A-D denkleminin çözümü için dördüncü mertebeden MC şeması (MC4) geliştirilmiştir. Bir ve iki boyutlu A-D denklemi MC4 şeması ile çözülmüş ve literatürde verilen çalışmalara göre daha iyi çözümler elde edilmiştir. Yeraltısuyunda hız değerleri oldukça düşük olmasına rağmen, incelenen test problemlerinde yüksek hız değerleri ile çalışılarak şemanın güvenirliliği test edilmiştir. Geliştirilen MC4 şeması tüm hiperbolik karaktere sahip olan hesaplamalı hidrolik problemlerinin çözümünde güvenle kullanılabileceği söylenebilir. Yoğun sonlu fark şemalarına dayalı yüksek mertebeden MC şemalarının geliştirilmesi ve hesaplamalı hidrolik problemlerinin çözümünde kullanılması gelecek çalışmalara bırakılmıştır.

7. TEŞEKKÜR

Bu çalışma, yürütücülüğünü Prof. Dr. Halil Karahan'ın yaptığı 2007FBE015 numaralı Doktora Tez projesi kapsamında Pamukkale Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (PAUBAP) birimi tarafından maddi olarak desteklenmektedir. Yazarlar bu destekten dolayı PAUBAP birimine teşekkür ederler.

8. KAYNAKLAR

Cecchi MM, Pirozzi MA, "High order finite difference numerical methods for time-dependent convection-dominated problems", Applied Numerical Mathematics, 55(3):334-356, 2005.

Chen C-K, Ju S-P, "Application of differential transformation to transient advective-dispersive transport equation", Applied Mathematics and Computation, 155(1): 25-38, 2004.

Chen Y, Falconer RA, "Advection-diffusion modeling using the modified QUICK scheme, International Journal for Numerical Methods in Fluids", 15(10): 1171-1196, 1992.

Dag I, Irk D., Tombul M, "Least-squares finite element method for the advection-diffusion equation", Applied Mathematics and Computation, 173(1): 554-565, 2006.

Dehghan M, "Time-splitting procedures for the solution of the two-dimensional transport equation", Kybernetes, 36(5-6): 791-805, 2007.

Dehghan M, Mohebbi A, "High-order compact boundary value method for the solution of unsteady convection-diffusion problems", Mathematics and Computers in Simulation, 79(3): 683-699, 2008.

Hernandez JA, "High-order finite volume schemes for the advection-diffusion equation", International Journal for Numerical Methods in Engineering, 53(5): 1211-1234, 2002.

Hossain MA, Yonge DR, “Linear finite-element modeling of contaminant transport in ground water”, Journal of Environmental Engineering, 123(11): 1126-1135, 1997.

Hossain MA, Yonge DR, “Simulating advective-dispersive transport in groundwater: an accurate finite difference model”, Applied Mathematics and Computation, 105(2-3): 221-230, 1999.

Inc M, Cherruault Y, “A new approach to solve a diffusion-convection problem, Kybernetes”, 31(3-4): 536-549, 2002.

John V, Schmeyer E, “Finite element methods for time-dependent convection-diffusion-reaction equations with small diffusion", Computer Methods in Applied Mechanics, 198(3-4): 475-494, 2008.

Kalita JC, Dalal DC, Dass AK, “A class of higher order compact schemes for the unsteady two-dimensional convection-diffusion equation with variable convection coefficients”, International Journal for Numerical Methods in Fluids, 38(12): 1111-1131, 2002.

Karaa S, “A high-order ADI method for parabolic problems with variable coefficients”, International Journal of Computer Mathematics, 86(1), 109-120, 2009.

Karaa S, Zhang J, “High order ADI method for solving unsteady convection-diffusion problems”, Journal of Computational Physics, 198(1): 1-9, 2004.

Karahan H, “Implicit finite difference techniques for the advection-diffusion equation using spreadsheets”, Advances in Engineering Software, 37(9):601-608, 2006.

Karahan H, “Unconditional stable explicit finite difference technique for the advection-diffusion equation using spreadsheets”, Advances in Engineering Software, 38(2): 80-86, 2007a.

Karahan H, “A third-order upwind scheme for the advection-diffusion equation using spreadsheets”, Advances in Engineering Software, 38(10): 688-697, 2007b.

Karahan H, “Solution of weighted finite difference techniques with the advection-diffusion equation using spreadsheets”, Computer Applications in Engineering Education, 16(2): 147-156, 2008.

Kaya, B., “Solution of the advection-diffusion equation using the differential quadrature method”, KSCE Journal of Civil Engineering, 14(1): 69-75, 2010.

MacCormack RW, “The effect of viscosity in hypervelocity impact cratering”, AIAA Paper 69-354, AIAA Hypervelocity Impact Conference, Cincinnati, OH, 1969.

Man C, Tsai CW, “A higher-order predictor-corrector scheme for two-dimensional advection-diffusion equation”, International Journal for Numerical Methods in Fluids, 56(4): 401-418, 2008.

Noye BJ, Tan HH, “A third-order semi-implicit finite difference method for solving the one-dimensional convection-diffusion equation”, International Journal for Numerical Methods in Engineering, 26(7): 1615-1629, 1988.

Noye BJ, Tan HH, “Finite difference methods for solving the two-dimensional advection-diffusion equation”, International Journal for Numerical Methods in Fluids, 9(1): 75-98, 1989.

Rigal A, “High order difference schemes for unsteady one-dimensional diffusion-convection problems”, Journal of Computational Physics, 114(1): 59-76, 1994.

Rigal A, “Schémas compacts d’ordre élevé: application aux problémes bidimensionnels de diffusion-convection instationnaire I”, Comptes Rendus de l'Académie des Sciences Série 1 Mathématique, 328: 535-538, 1999.

Sari, M, Gürarslan G, Zeytinoğlu, A, “High-order finite difference schemes for solving the advection-diffusion equation”, Mathematical and Computational Applications, 15(3): 449-460, 2010.

Sheu TWH, Chen YH, **“**Finite element analysis of contaminant transport in groundwater”, Applied Mathematics and Computation, 127(1): 23-43, 2002.

Singh KM, Tanaka M, “Dual reciprocity boundary element analysis of transient advection-diffusion”, International Journal of Numerical Methods for Heat&Fluid Flow, 13(5): 633-646, 2003.

Tian ZF, Ge YB, “A fourth-order compact ADI method for solving two-dimensional unsteady convection-diffusion problems”, Journal of Computational and Applied Mathematics, 198(1): 268-286, 2007.

Zerroukat M, Djidjel K, Charafi A, “Explicit and implicit meshless methods for linear advection diffusion-type partial differential equations”, International Journal for Numerical Methods in Engineering, 48(1): 19-35, 2000.

Zheng C, Bennett GD, “Applied Contaminant Transport Modelling”, 2. Baskı, Wiley-Interscience, 2002.

Zhong X, “High-order finite-difference schemes for numerical simulation of hypersonic boundary-layer transition”, Journal of Computational Physics, 144(2): 662-709, 1998.

Göl-Yeraltısuyu-İklim İlişkisinin Yeraltısuyu Akım Modeli ve Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) Yardımıyla Belirlenerek Gölün Optimum Dinamik İşletme Modelinin Oluşturulması: Beyşehir Gölü Modeli

Ahmet Doğan [1], Onur Arslan [2]

Özet: Bu çalışma Beyşehir Gölü için optimum dinamik işletme modeli oluşturulması konusunda yapılmakta olan 109Y271 nolu Tübitak Projesi hakkında bir ön bilgi vermek ve bu konuyu bilimsel tartışma ortamına açmak üzere hazırlanmıştır. Çalışma kapsamında gölün Manavgat, Köprüçay ve Gembos gibi komşu havzalarla olan hidrolojik ve hidrojeolojik ilişkisi araştırılacaktır. 2007 yılında yapılan Derebucak Barajı ve Gembos Derivasyon tüneli yardımıyla Gembos kapalı havzasından göle su aktarılmaya başlanmıştır. Bu yeni durumun hem göle hem de Gembos kapalı havzasından yeraltısuyu akımı ile beslendiği tahmin edilen Manavgat Çayı'na olan etkisi incelenecektir. Gölün yeraltısuyu ile ve yağışlarla ilişkisi 3 yıl boyunca yapılacak yeraltısuyu seviye ve yağış akış ölçümleri ile tespit edilmeye çalışılacaktır. Ayrıca gölü de içine alan bir yeraltısuyu modeli oluşturulacaktır. Uydu görüntüleri ile bölgedeki mevcut sulu tarım bitki deseni belirlenerek bitki su ihtiyacı hesaplanacaktır. Oluşturulacak optimizasyon modeli yardımıyla gölden ne kadar su çekilebileceği araştırılacak göl seviyesindeki düşüşlerin ne kadarının gölden çekilen sulardan ne kadarının iklimden kaynaklandığı ortaya konacaktır. Gölün optimum işletme kotu belirlenerek havza planlaması için çok gerekli olan önemli girdiler elde edilecektir.

Anahtar Sözcükler: Dinamik işletme modeli, Yeraltısuyu modellemesi, Havzalar arası su aktarımı, Havza yönetimi, Buharlaşma, Yağış-akış ilişkisi

Development of Optimum Dynamic Lake Management Model By Determining Lake-Groundwater-Climate Relationship By Means Of Groundwater Flow Model And Geographic Information Systems (GIS): Lake Beyşehir Model

Abstract: This study is aimed to give a brief introduction about a research project funded by TUBİTAK (Project Number: 109Y271) and to open the floor for discussion of the project. The project's main purpose is to develop an optimum dynamic management model of Lake Beyşehir as a function of available climate data and groundwater levels around the lake. The concept of "optimum dynamic management

[1] Süleyman Demirel Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Isparta, E-Posta: dogan@mmf.sdu.edu.tr
[2] Süleyman Demirel Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Isparta, E-Posta: onarslan@mmf.sdu.edu.tr

model" can be explained as to determine the minimum water level in lake management as a function of precipitation, evaporation, and groundwater levels of current and/or previous years. During the project, Groundwater levels and lake levels will be observed simultaneously to investigate lake-groundwater interaction. The relationship between Lake Beyşehir and its surrounding basins (Manavgat, Köprüçay, and Gembos) will be investigated to develop water resources management plan of the lake. For this purpose, a regional groundwater model including the lake basin will be developed. In 2007, Derebucak Dam and Gembos Derivation Tunnels and Canals were built to supply more water to lake by transferring water from Gembos basin. The effect of these structures to the lake and to Manavgat River will be investigated by comparing hydrological data before and after 2007. Lake Beyşehir and Manavgat River stages and corresponding precipitations will be correlated with multi-correlation analysis. For this purpose an optimum dynamic management model of Lake Beyşehir will be developed to estimate the required water withdrawal from the lake for the purpose of irrigation and the minimum water level of the proposed lake management as a function of climate data and groundwater levels. This model will also determine how much of the water level decline in the lake is caused by climatic conditions and how much is by irrigation. The model results will be presented with satellite images using GIS in the form of maps and graphics.

Keywords: Dynamic management model, Groundwater modelling, Interbasin water transfers, Watershed management, Evaporation, Precipitation-runoff relationship.

1. GİRİŞ

Günümüzde suyun ne kadar önemli olduğu, hem su kalitesi bakımından hem de su miktarı bakımından korunması ve en optimum şekilde koruma-kullanma dengesinin sağlanması gereği tartışılmaz bir gerçektir. Dünyadaki bütün ülkeler hem yüzeysel hem de yeraltısu kaynaklarının etkin ve sürdürülebilir yönetimi için çalışmalar yapmaktadır. Bu bağlamda düşünüldüğünde Türkiye'nin hala içilebilir nitelikte en büyük su deposu olan Beyşehir Gölü' nün optimum dinamik işletme modelinin oluşturulması gecikmiş bir çalışma olarak karşımızda durmaktadır. Çok önemli bir içme ve sulama suyu deposu olan Beyşehir Gölü sadece kendi çevresinde değil tüm bölgedeki canlı hayatının devamlılığı açısından önem arz etmektedir.

TÜBİTAK tarafından desteklenen bu araştırma projesinin ana amacı Beyşehir Gölünün yeraltısuyu, iklim ve çevre havzalarla (Manavgat, Köprüçay, Gembos) olan ilişkisini araştırmak ve optimum dinamik işletme modelini oluşturmaktır. Göldeki su seviyesi, sulamada kullanılan sular ve iklim koşulları nedeniyle sürekli olarak değişmekte olup su seviyesi kotu 1121.5m ve 1125.5m arasında dalgalanmaktadır (Tunçez ve Candan, 2007). Bu değişimin ne kadarının iklimden kaynaklandığı ne kadarının su kullanımından kaynaklandığı sürekli bir tartışma konusu olmaktadır. Bu durumdan göl ve gölün hayatta tuttuğu tüm varlıklar olumsuz etkilemektedir. Bu nedenle, gölü işleten kurumlarla gölden faydalanan kurum ve kişiler arasında tam bir mutabakatın sağlanamadığı "optimum işletme kotu" nun bulunması ve iklim ve yeraltısu seviyelerine bağlı olarak optimum dinamik su yönetim planının oluşturulması gerekmektedir. Bu gereksinim proje çalışmasının temelini oluşturmaktadır. Bu amaçla gölü de içine alan tüm havzayı kapsayan bölgesel bir yeraltısuyu modeli geliştirilecektir. Bu yeraltısuyu

modeli göl-yeraltısuyu ilişkisinin analizinde kullanılacak en önemli bir enstrüman olacaktır. Başka bir ifadeyle gölün minimum işletme kotunu ve gölden ne kadar su çekilebileceğini önceki yılların ve/veya mevcut yılın yağış, buharlaşma ve yeraltısuyu seviyeleri dikkate alınarak belirleyecek bir optimizasyon modeli oluşturulacaktır.

Göl çevresindeki mevcut kuyular ve açılacak kuyular yardımıyla bölgedeki yeraltısuyu durumu belirlenecek ve bu sayede yeraltısuyu seviye haritaları ve akış yönleri tespit edilecektir. Böylece bu çalışma ileride yapılacak kirlilik taşınım çalışmalarında kullanılabilecektir. Ayrıca bölgenin yeraltısuyu potansiyeli belirlenip mevcut kuyulardan ne kadar su çekilebileceği ve yeni kuyulara müsaade edilip edilemeyeceği gibi konulara ışık tutacak bilgiler de elde edilecektir. Havzanın tamamını içine alan, gölü aktif olarak modelleyecek bir yeraltısuyu modeli oluşturulacaktır. Ülkemizde yeraltısuyu modelleme çalışmaları olması gerektiği kadar yaygın bir biçimde yapılmamaktadır ve yeraltısuları bilinçsizce hesapsız bir şekilde kullanılmaktadır. Bunun sonucu olarak yeraltısu seviyeleri aşırı düşmekte ve zeminde çöküntüler(örneğin obruklar) oluşmasına yol açmaktadır. Çalışma bölgemiz olan Beyşehir Gölü için bugüne kadar bir yeraltı suyu modellemesi yapılmamıştır.

Proje çalışmasının diğer bir amacı 2007 yılında hizmete giren Derebucak Barajı ile Gembos Derivasyon Kanalları ile Beyşehir Gölü' ne aktarılan suyun Manavgat Nehri'ne ve Beyşehir Gölü' ne olan etkisini incelemek ve havzalar arası bu su aktarımının Manavgat Nehri' nin beslenimini azaltıp azaltmadığını araştırmaktır. Bu amaçla, Gembos derivasyon tünelinin işletmeye açılmadan önceki ve sonraki yıllara ait veriler yardımıyla korelasyon analizi yapılarak Manavgat Çayı (Oymapınar Barajı) ile Beyşehir Göl' ünün seviye değişimleri arasındaki ilişki incelenecektir ve böylece havzalar arası ilişki bilimsel temellere oturtulmaya çalışılacaktır.

Gölü besleyen bazı akarsularda akım gözlem istasyonu olmaması nedeniyle ölçüm yapılmamaktadır ve gölün yüzeysel akıştan ne kadar beslendiği bilinmemektedir. Bu nedenle benzer karakteristikteki alt havzalarda bulunan derelerden en az ikisinde bir su yılı boyunca ölçüm yapılacak ve komşu dereler içinde geçerli olabilecek bir yağış-akış ilişkisi belirlenmeye çalışılacaktır. Böylece gölü besleyen yüzeysel akış miktarı daha doğru biçimde hesaplanmaya çalışılacaktır.

Göldeki buharlaşma miktarı Penman-Monteith yöntemi kullanılarak hesaplanacaktır ve meteorolojik verilerle hesaplanan buharlaşma, ölçülmüş tava buharlaşmaları ile karşılaştırılarak aylık tava katsayıları hesaplanacaktır ve tava katsayılarının doğruluğu incelenecektir. Uydu verileri ve CBS yardımıyla havzadaki mevcut sulu tarım bitkilerin tespiti yapılacak ve bitki su ihtiyacı hesaplanarak sulamada kullanılması gerekli su miktarı belirlenecektir.

1.1. Literatür Taraması

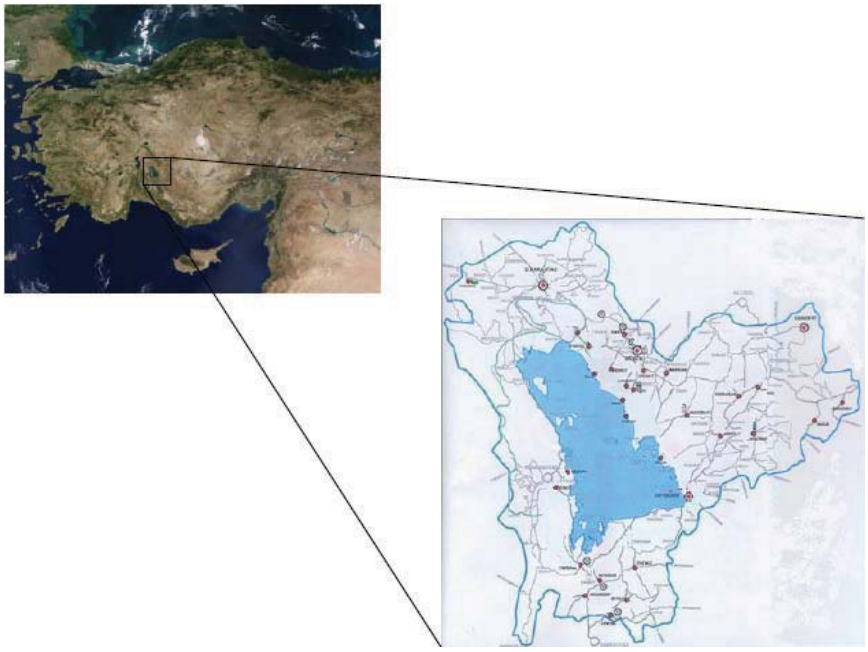
Son yıllarda Beyşehir gölü ile ilgili yapılan bilimsel çalışmaların en kapsamlılarından biri TÜSTAŞ (1999) tarafından hazırlanan Konya Valiliği Beyşehir Kaymakamlığı Mahalli İdareler ve Çevre Birliği Başkanlığı adına hazırlanmış dört ciltten oluşan bir araştırma raporudur. Bu raporlarda, göl ve havzası detaylı bir şekilde incelenmiş, gölün jeolojisi, hidrojeolojisi, hidrolojisi ve turizm potansiyeli gibi pek çok konu detaylı bilgi verilmiştir. Göksel ve diğerleri (2004) 1987 yılı ile 2000 yılına ait Landsat TM uydu

görüntülerini üst üste koyarak kıyı çizgisindeki değişimleri incelenmişlerdir. Yarar (2004) Beyşehir Gölü' nün su seviyesi değişimlerini Yapay Sinir Ağları yöntemi ile belirlemeye çalışmıştır. Örmeci (2005), Beyşehir Gölü alt havzalarından Şarkikaraağaç Havzası ile ilgili hidrojeoljik bir inceleme yapmıştır. Mercan (2006) Beyşehir Gölü' nün hidrodinamik modellemesini yapmıştır. Sodan (2006) kıyı kenar çizgisi, milli park ve havza planlama ve yönetimi konularında bir çalışma yapmıştır. Babaoğlu (2007), Konya İl Genel Meclisi'nin aldığı karar neticesinde Beyşehir Gölü Araştırma Komisyonu adına bir rapor hazırlamıştır. Hoşafçıoğlu (2007), Beyşehir gölünü kirleten noktasal ve noktasal olmayan kaynaklarla ilgili bir çalışma yapmıştır. Nas ve diğerleri (2008) Beyşehir Gölü Havzasında yer alan yerleşim yerlerinden kaynaklanan evsel atıksular, endüstriyel atıksular ve yayılı kirleticilerden dolayı ciddi bir kirlenme tehlikesiyle karşı karşıya olması nedeniyle göldeki su kalitesinin dağılımını coğrafi bilgi sistemleri, jeoistatistik ve aster verileri kullanarak incelemişlerdir.

Daha eski tarihlerde yapılmış çalışmaları da şöyle sıralayabiliriz. Aksoy (1966) boya deneyi yapmış ve Beyşehir ve Suğla Gölü'nün Manavgat Nehri'ni beslediğini ifade etmiştir. Ancak Acatay (1966) ve Özsoyeller (1969) boya deneylerinin güvenilir olmaması nedeniyle kesin sonuca varamamışlardır. Yurtsever (1979), Beyşehir ile Dumanlı kaynağı arasında ilişki olsaydı Dumanlı kaynağının suyunun Beyşehir Gölü suyundan daha yaşlı olması gerektiğini belirtmiş ve bu nedenle Dumanlı kaynağının Manavgat havzasının batısındaki kapalı havzalardan ve Suğla Gölü' nden beslendiği sonucuna varmıştır. Günay (1985), Manavgat Nehri' ndeki boşalımın drenaj alanına düşen yıllık ortalama yağışın üç-dört katı olduğunu göstermiş ve bu durumda Manavgat Nehri ile diğer havzalar arasında bir ilişkinin olduğunu iddia etmiştir. Ekmekçi (1990), Beyşehir gölü ile yakın havzalarda oluşan akış arasındaki etkileşimi araştırmak için hidrometeorolojik data analizi yapmış ve istatiksel analiz sonucunda Beyşehir Gölünün su seviyesi ile Manavgat ve Köprüçay Nehir havzalarının boşalımı arasında çok zayıf bir korelasyon olduğunu göstermiştir. Ancak göldeki su seviyesi ile boşalım arasındaki ilişkinin yağışlı mevsimlere karşılık gelen periyotlar boyunca önemli oranda arttığını açıklamıştır.

2. ÇALIŞMA ALANI

Beyşehir Gölü Havzası, Anadolu'nun en büyük kapalı havzası olan Konya Kapalı Havzası'nın güney batısında yer almaktadır (Şekil 1). İç Anadolu Bölgesi içinde yer alan Konya İl sınırları ile Akdeniz Bölgesi içinde kalan Isparta İl sınırları olmak üzere iki il, dolayısı ile iki coğrafik bölge içinde bulunmaktadır. $37^{o}34'$-$37^{o}59'$ Kuzey enlemi ile $31^{o}18'$-$31^{o}44'$ Doğu boylamı arasında yer alan ve Türkiye'nin en büyük tatlı su gölü olan Beyşehir Gölü, Konya-Beyşehir İlçesi'nin kuzeyinde, Isparta-Şarkîkaraağaç İlçesi'nin ise güneyindedir.



1

Şekil 1. Beyşehir Gölü Havzası'nın coğrafi yeri (Hoşafçıoğlu, 2007)

3. BEYŞEHİR GÖLÜ'NÜN HİDROLOJİK ÖZELLİKLERİ

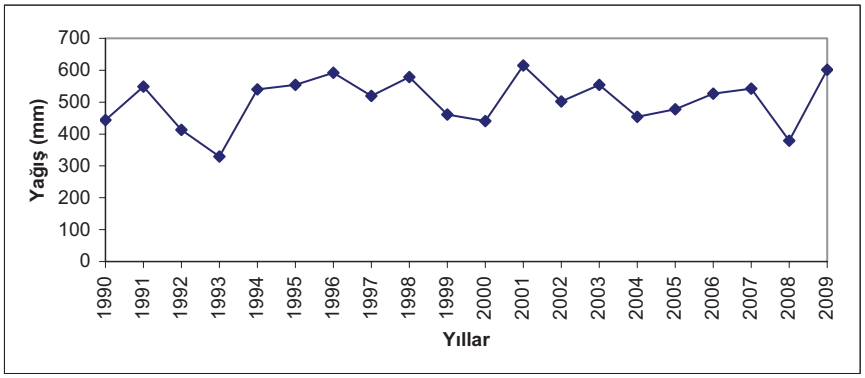
3.1. İklim, Sıcaklık, Yağış ve Buharlaşma

Beyşehir Gölü Yüzey Su Toplama Havzası kurak-yarı nemli ve birinci mezotermal iklim tiplerine girer. Konya kapalı havzasının batısındaki Göller Bölgesi ile güneyindeki Toros Dağları yarı nemli kategoride, geri kalan bütün kesimi ise yarı kurak kategoride yer almaktadır (Tüstaş, 1999).

Beyşehir ölçüm istasyonundan 1931 ve 1990 yılları arasında alınan 59 yıllık rasat bilgilerine göre sıcaklık ortalaması 11 $^{\circ}$C, ortalama en yüksek sıcaklık Temmuz ayında 22,1 $^{\circ}$C ve ortalama en düşük sıcaklık ise Ocak ayında 0 $^{\circ}$C dir.

Şekil 2'de Beyşehir istasyonuna ait 1990-2009 yılları arası yıllık yağış değerlerinin değişimi verilmektedir. Buna göre son 20 yılda Beyşehir İlçesi'nde yıllık 329-615 mm aralığında yağış gerçekleşmiştir. 20 yıllık ortalama yağış ise 503 mm dir.

Beyşehir istasyonuna göre ortalama buharlaşma yıllık 821,8 mm dir. Ortalama en yüksek buharlaşma 178,9 mm ile Ağustos ayında, en düşük buharlaşma ise 21,6 mm ile Kasım ayında tespit edilmiştir. Aralık, Ocak, Şubat ve Mart aylarında buharlaşma yok denecek kadar azdır (Tüstaş, 1999).

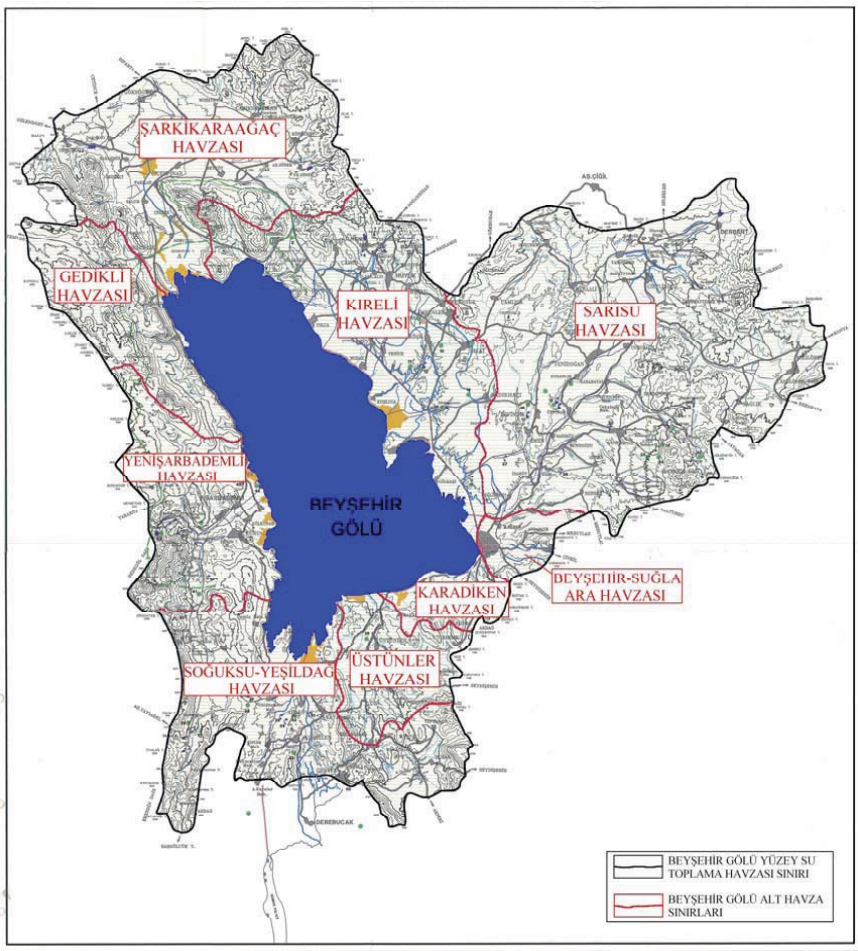


Şekil 2. Beyşehir İlçesi' nin 1990-2009 yılları için yağış değerleri

3.2. Beslenim

Beyşehir Gölü' nün beslenimi; Sultan dağları ve Anamas dağlarından inen çaylar ve dereler, güneyindeki ve batısındaki mezozoik kalkerlerin çatlaklarından gelen pınarlar, göl dibindeki kaynaklar ve doğrudan göl yüzeyine düşen yağışlarla olmaktadır (Hoşafçıoğlu, 2007). Gölü besleyen toplam 27 adet çay ve dere vardır. Bunlardan bazıları mevsimlik bazıları daimi akışlıdır. Bölgenin karstik olması nedeniyle yüzey suyu akımlarını, Türkiye'nin birçok bölgesinden çok farklı olarak yer altı suları kontrol etmektedir (Tüstaş, 1999). Çeşitli büyüklükteki çay ve dereler 9 ayrı alt havzadan toplanarak göle ulaşmaktadır (Tüstaş, 1999). Bu havzalar: (1) Beyşehir-Suğla Ara Havzası, (2) Karadiken, (3) Üstünler, (4) Soğuksu-Yeşildağ, (5) Yenişarbademli, (6) Gedikli, (7) Şarkikaraağaç, (8) Kıreli ve (9) Sarısu Havzası' dır (Şekil 3).

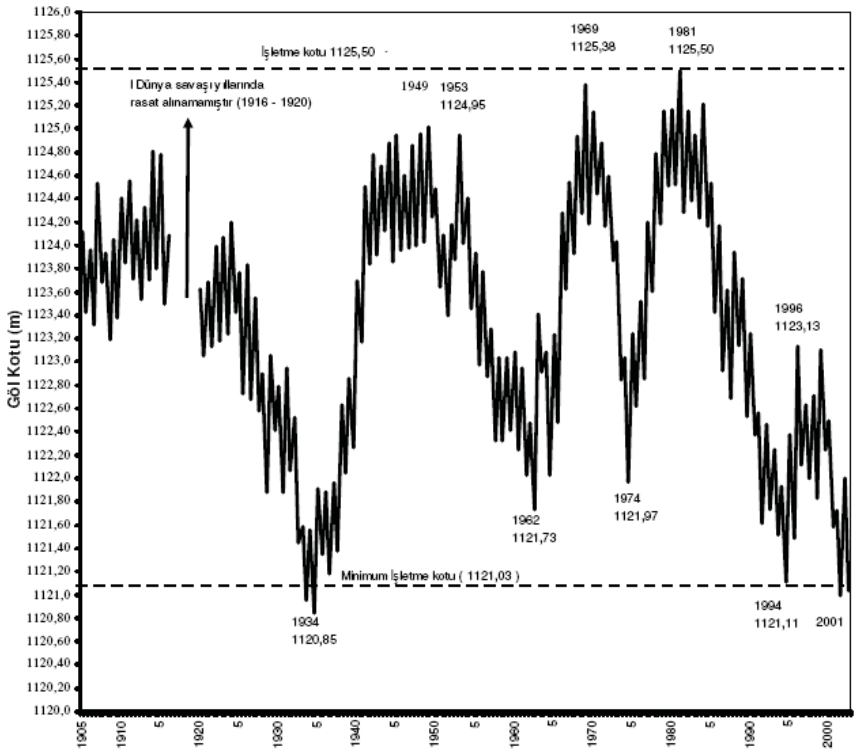
Göl yeraltısuyunun seviyesine göre belli aylarda yeraltısuyundan beslenmektedir ve göl yüzey su toplama alanındaki yeraltısularının drenaj alanı da Batı Toroslarda çok geniş alanlar kaplayan karstik bölgedeki diğer yeraltısuyu drenaj alanları gibi yüzey sularından çok farklı bir drenaj alanına sahiptir. Beyşehir Gölü yüzey su toplama alanındaki yeraltı sularının drenaj alanı, güneyden Gembos ve Eynif polyelerini de içine aldıktan sonra Manavgat ve Köprüçay havzalarına kadar uzanmaktadır. Hatta bu alan içine Suğla Ovası ve onunla yakın ilişkisi nedeniyle Akseki Havzası da dahil edilebilir. Bu durumda yeraltısuyu drenaj alanı, yüzey suyu drenaj alanının en az 2-3 katı büyüklüğünde bir alanı içermektedir. Havzada çok değişik debi ve özellikte kaynak bulunmaktadır (Nas vd., 2008).



Şekil 3. Beyşehir Gölü yüzey su toplama havzası ve alt havzaları

3.3. Su Seviyesi Değişimleri

Mercan (2006), Beyşehir Gölü' nün Şekil 4'te gösterilen 1905 ve 2001 yılları arasındaki su seviyesi değişimini incelemiştir. Günlük su seviyelerindeki değişimin; 1934-1962 (28 yıllık), 1962-1974 (12 yıllık), 1974-1994 (20 yıllık) ve 1994-2001 (7 yıllık) yılları arasında meydana gelen farklı uzunluktaki döngülere sahip olduğunu belirtmiştir. Bu kadar farklı döngülere sahip olmasının ana sebebi olarak göl havza alanının kullanım şeklinin değişmesini ve göle ulaşan akarsular ile yüzeysel akışların gün geçtikçe kontrollü hale gelmesini göstermiştir. Ayrıca su seviyesi değişiminin sadece doğal etkilerin altında olmadığını, su seviyesinin düştüğü dönemlerde daha az su kullanılarak ya da yükseldiği zamanlarda ise gölden daha fazla su bırakılarak göl su seviyesinin değişiminde insan faktörünün oldukça yüksek oranda etkili olduğunu ve bu yüzden göl su seviyesinin klasik yöntemlerle modellemesinin başarılı olma olasılığının zayıf olduğunu belirtmiştir (Mercan, 2006)

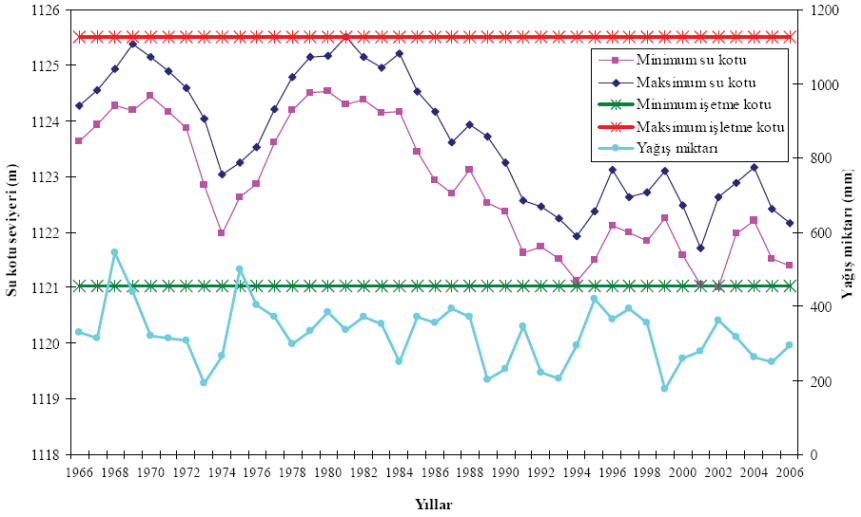


Şekil 4. Yıllık Beyşehir Gölü Seviyeleri (Mercan, 2006)

Göldeki su seviyesine etki eden önemli faktörlerden biri de yeraltısu seviyesi ile bölgedeki karstik yapı nedeniyle oluşmuş düdenlerdir. Göl seviyesinin yeraltısu seviyesinden yüksek olduğu zamanlarda göl hem yeraltısuyunu beslemekte hem de düdenler vasıtasıyla su kaybetmektedir. Göl seviyesinin yeraltısu seviyesinden düşük olduğu zamanlarda ise göl hem yeraltısuyu tarafından hem de düdenler tarafından beslenmektedir. Bu durum gölün su seviyesinin yüksek olduğu yani gölden su çekiminin yapılmadığı dönemlerde yeraltısuyunu beslediğini, su seviyesinin düşük olduğu yani su çekiminin yapıldığı dönemlerde ise yeraltısuyundan beslendiğini göstermektedir. Mercan (2006), genel olarak gölün Mayıs ayından Ekim ayına kadar yeraltısuyundan beslendiğini, Kasım ayından Nisan ayına kadar da yeraltısuyunu beslediğini (kaçak oluştuğunu) ifade etmiştir.

Şekil 5' te gösterildiği üzere 1966 yılından 2008 yılına kadar DSİ tarafından belirlenen minimum işletme kotu 1121,03 m ve maksimum işletme kotu ise 1125,5 m dir. Kültür ve Turizm Bakanlığı, Konya Kültür ve Tabiat Varlıklarını Koruma Bölge Kurulu'nun 21.08.2007 tarih ve 1868 numaralı kararı ile minimum işletme kotu olarak 2008 yılında 1121,80 m, 2009 yılında 1122,10 m ve 2010 yılında ise 1122,40 m şeklinde uygulanmasına karar verilmiştir. Yani Şekil 6' dan görüldüğü gibi göldeki su 1980' li yılların başından itibaren düşmeye başlamış ve 1994 yılından günümüze de bazı yıllarda minimum işletme kotunda kalmıştır. DSİ tarafından alınan göl minimum işletme su

kotunun 3 yıl sonunda 1,37 m yükselmesi kararının, gölün ekolojik dengesinin yeniden olumlu yönde değişmesine katkı sağlayabileceği belirtilmiştir (Nas vd., 2008).



Şekil 5. Beyşehir Gölü' nün minimum ve maksimum işletme kotları ile su kotu değişimi (Nas vd., 2008)

Beyşehir Gölü su kotunun azalmasında en etkili faktörler şöyle sıralanabilir (Anonim 1999):

- Beyşehir Gölünden Konya Ovası Projesi'nin (KOP) ana su kaynağı olmasından dolayı aşırı su çekilmesi
- Gölün Isparta tarafındaki kanallardan sulama amaçlı fazla su alınması (Yenişarbademli ve Şarkîkaraağaç Sulamaları)
- Gölün karakteristik yapısı nedeniyle belirli bir miktar su kaçağının olması
- Başta Manavgat Çayı olmak üzere, Göl' den yeraltısu kaynakları vasıtasıyla kayıpların oluşması
- Kuraklık sebebiyle Göl' e giren su akımlarının azalması
- İçme suyu kullanımı ve buharlaşmadan kaynaklanan sebepler
- Erozyon sonucu meydana gelen sedimantasyonla göl taban kotunun yükselmesi, dolayısıyla göl su hacminin azalması
- KOP kanallarının eski olması ve Apa Barajı'nın su tutma yapısının çok büyük su kayıplarına yol açması.

4. BEYŞEHİR GÖLÜ VE HAVZASININ HİDROJEOLOJİK ÖZELLİKLERİ

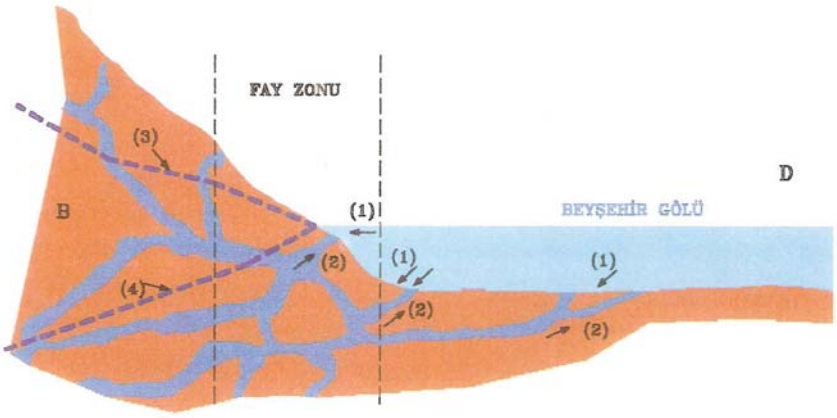
Beyşehir Gölü Sulak alanı Yüzey Suyu Toplama Havzası, morfolojik olarak kapalı bir havza görünümünde olmakla birlikte, yüzey suyu yönünden doğudaki Çarşamba Suyu ile önce Suğla Ovası'na, daha sonra Konya Ovasına sularını drene etmektedir. Konya ovasında sulamadan dönen drenaj suları gerektiği zamanlarda terfii istasyonları vasıtasıyla pompajla tuz gölüne aktarılmaktadır (Şekil 6). Havza Türkiye'nin en önemli

karst bölgelerinden biri olan Batı Toroslar içinde yer almaktadır. Bu Batı Toroslar bölgesinde karstlaşma deniz seviyesinde 2500-3000 m yükseklerden, deniz seviyesi altından 150-200 m derinliğe kadar her yerde gelişmiştir. Bu bölgedeki yüksek dağlar, derin ve dar vadiler, göller dolinler, polyeler, estavelleler (alıcı verici kaynaklar), ponorlar (polyelerdeki bazı derelerin döküldüğü mağara veya derin çukurluklar), düdenler, büyük debili kaynaklar, yer altı dereleri hatta yer altı ırmakları, mağaralar vb. karst morfolojisinin en belirgin özelliklerini göstermektedir. Bu karstik bölgede yüzey suyu akımlarını, Türkiye'nin birçok bölgesinden çok farklı olarak yer altı suları kontrol etmektedir (Tüstaş, 1999).



Şekil 6. Beyşehir Gölü Havzasından çıkan suların Konya kapalı havzasındaki sulama alanlarına ulaşımı

Göl, güneyindeki havzaların beslenim alanında kalan Mesozoyik yaşlı kireç taşlarıyla (genellikle Jura-Kretase yaşlı) irtibatlı bulunmaktadır. Gölün güneyindeki bu kireçtaşları yağışlı zamanlarda yeraltısuyu seviyelerinin yüksekliğine bağlı olarak gölü beslerken, yağışın olmadığı zamanlarda da gölün sularını daha güneydeki havzalara drene etmektedir. İşte bu özellikleri nedeniyle yeraltısuları Beyşehir Gölü su bilançosunun çıkartılmasında temel görev görecektir. Şekil 7'te karstik kireçtaşlarındaki yeraltısuyunun Beyşehir Gölü ile olan ilişkisi şematik bir kesitte gösterilmiştir. Bu şekilde 3 nolu seviye yağışlı periyottaki yeraltısu seviyesini ve 4 nolu seviye ise kurak periyottaki yeraltısu seviyesini göstermektedir. 1 nolu akımlar kurak periyotta gölden dış havzalara olan boşalımları, 2 nolu akımlar ise yağışlı periyotta yani yeraltısu seviyesinin yüksek olduğu zamanlarda göle olan beslenimleri temsil etmektedir (Tüstaş,1999).

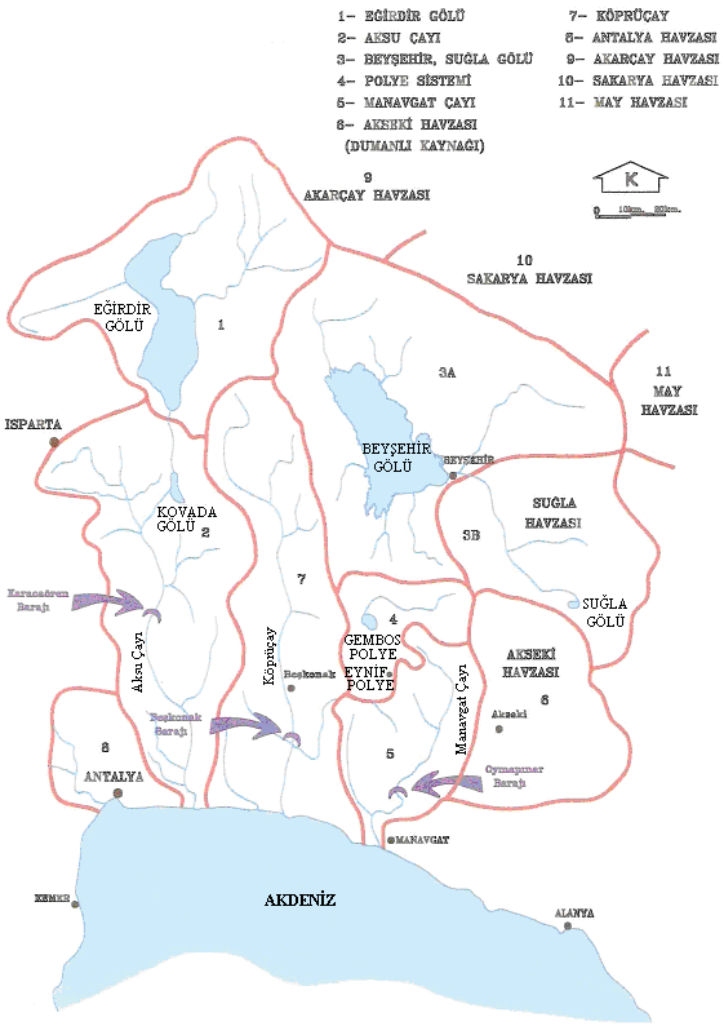


Şekil 7. Karstik kireçtaşlarındaki yeraltısuyunun Beyşehir Gölü ile ilişkisini gösteren şematik kesit (Tüstaş, 1999)

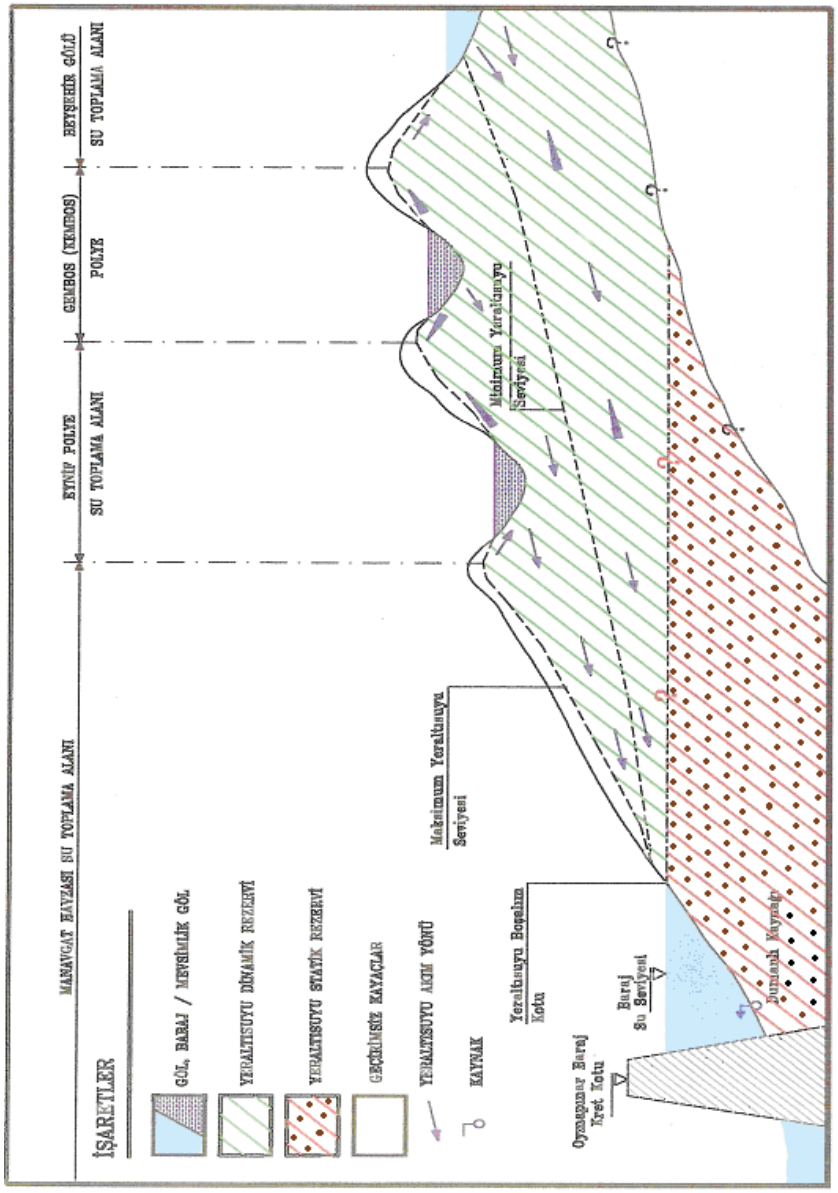
4.1. Beyşehir Gölü' nün Komşu Havzalarla İlişkisi

Türkiye'nin en önemli karstik bölgesi olan Batı Toroslardaki karstik alan içinde yer alan Beyşehir Gölü yüzey su toplama alanının komşu havzalarla ilişkisi son derece önemli görülmektedir. Çünkü karstik bölgelerdeki su akımı, yüzey topografyasından çok daha fazla, yeraltındaki jeolojik kayaçların geçirimlilik durumlarıyla tektonik yapılarına bağımlı bulunmaktadır. Karstik bölgelerdeki yağışlar yüzey suyu oluşturamamakta, oldukça büyük oranlarda yeraltına süzülmektedir. Bu bölgelerdeki yüzey suyu akımları genellikle yeraltısuyu boşalımlarından oluşmaktadır. Şekil 8'te Beyşehir Gölü su toplama alanının içinde yer aldığı karstik sisteme dahil diğer komşu havzalar gösterilmiştir. Beyşehir Gölü su toplama alanının doğusunda May ve Suğla, kuzeyinde Sakarya ve Akarçay, kuzeybatısında Eğirdir, batısında Köprüçay, güneyinde Gembos ve dolaylı olarak Eynif ve Manavgat Havzaları yer almaktadır(Tüstaş, 1999).

Tüstaş (1999), Beyşehir Gölü' nün Gembos ve Eynif Polyeleri ile Oymapınar barajı arasındaki yeraltısuyu ilişkisini Şekil 8 ve 9'daki gibi göstermiştir. Şekillerde sırasıyla Beyşehir Gölü, Gembos Polyesi, Eynif Polyesi ve Oymapınar Barajı ve bunlara bağlı olarak oluşan minimum ve maksimum yeraltısuyu seviyeleri görülmektedir. Gembos ve Eynif Polyelerinde mevsimlik göllerin oluştuğu ifade edilmiştir. Akiferin boşalım seviyesi üstünde depolanan su miktarı olan dinamik rezerv ve boşalım seviyesi altında su depolaması olan akiferlerde bu seviyenin altındaki su miktarı olan statik rezervler gösterilmiştir. Beyşehir Gölü, yeraltısuyunun sadece dinamik rezervi bölgesinde olduğundan, Beyşehir Gölü altında yeraltısuyu statik rezervi bulunmamaktadır. Daha açık bir ifadeyle Beyşehir Gölü' nün altında yeraltısuyu depolanmamakta, sadece daha alt kotlardaki yeraltısularını beslemektedir. Yeraltısuyu maksimum seviyelerde iken Beyşehir Gölü' nü beslemekte, minimum yeraltısuyu seviyesine doğru seviye düşümleri olduğu zaman da Beyşehir Gölü'nden beslenmektedir. Bu durumlarda oluşan yeraltısuyu akım yönleri Şekil 9'da gösterilmektedir.



Şekil 8. Beyşehir su toplama alanı ve diğer komşu havzalar (Tüstaş, 1999)



Şekil 9. Beyşehir Gölü' nün Gembos ve Eynif Polyeleri ile Oymapınar Barajı arasındaki yeraltısuyu ilişkisi (Tüstaş, 1999)

5. YAPILMASI PLANLANAN ARAŞTIRMALAR VE KULLANILACAK YÖNTEMLER

Bu çalışmada, mevcut iklim verilerine bağlı Beyşehir gölünün optimum dinamik işletme modeli oluşturulmaya çalışılacaktır. Optimum dinamik işletme modeli kavramı gölün minimum işletme kotunun önceki yılların ve/veya mevcut yılın yağış, buharlaşma ve yeraltısuyu seviyeleri dikkate alınarak belirlenmesini ifade etmektedir.

Gölün alt havzaları jeolojik yapı ve havza jeomorfolojisi açışından iki guruba ayrılacaktır. Gölün doğu kısmı nispeten daha az meyilli ve killi topraklardan oluşan bir yapıya sahip olup gölün batısındaki dağlık çok dik eğimli karstik yapıdan oluşan havzalardan çok farklı karakteristiğe sahiptir. Bu nedenle alt havzalar iki ana guruba ayrılıp her bir gurupta ki derelerden en az birinde aynı anda yağış akış ve yeraltısuyu seviye ölçümleri yapılarak yağış-akış ilişkisi belirlenmeye çalışılacaktır. Bu elde edilecek yağış-akış ilişkileri benzer karakteristikteki diğer alt havzalara dolayısıyla tüm göl havzasına genelleyebileceğimiz bir yağış-akış ilişkisine dönüştürülmeye çalışılacaktır. Diğer bir alternatif olarak ölçüm yapılmayan komşu dereler için arazi kullanımı toprak ve bitki örtüsü dikkate alınarak SCS yöntemi ile akış tahmini yapılacaktır. Elde edilen veriler yardımıyla göl havzasının yağış-akış ilişkisi bulunarak göle giren toplam yüzeysel akış hesaplanacaktır.

Göldeki buharlaşma miktarı Penman-Monteith yöntemi kullanılarak hesaplanacaktır ve Meteorolojik verilerle hesaplanan buharlaşma, tava buharlaşmaları ile karşılaştırılarak aylık tava katsayıları hesaplanacaktır.

Göl çevresindeki mevcut kuyular ve açılacak kuyular yardımıyla göl yeraltısuyu ilişkisi belirlenecektir. Göl havzasını kapsayan, gölü de aktif olarak içine alan bir yeraltısuyu modeli oluşturularak bölgenin yeraltısuyu potansiyeli belirlenecek mevcut kuyulardan ne kadar su çekilebileceği ve yeni kuyulara müsaade edilip edilemeyeceği gibi konulara ışık tutacak bilgiler elde edilecektir. Yeraltısuyu modellemesi GroundwaterVistas-MODFLOW bilgisayar programı kullanılarak yapılacaktır.

Meteorolojik veriler, havza içerisindeki beslenim ve boşalım miktarları dikkate alınarak ve yeraltısuyu modeli yardımıyla gölün hidrolojik bilançosu (su bütçesi) hesaplanacaktır. 2007 yılında hizmete giren Derebucak Barajı ile Gembos Derivasyon Kanalları ile Beyşehir Gölü' ne aktarılan suyun Manavgat Nehri'nin beslenimini azaltıp azaltmadığına ve Beyşehir Gölü' ne olan etkisine bakılacaktır. Bu amaçla, Gembos derivasyon tünelinin işletmeye açılmadan önceki ve sonraki yıllarına ait verilerinin korelasyon analizi yapılarak Manavgat Çayı (Oymapınar Barajı) ile Beyşehir Göl' ünün seviye değişimleri arasındaki ilişki incelenecektir.

Uydu verileri (Landsat-Aster) ve CBS yardımıyla bölgede mevcut sulu-tarım bitkilerin tespiti yapılacaktır ve su ihtiyacı hesaplanacaktır. Bu amaçla Blaney-Criddle yöntemi kullanılacaktır. Haritaların CBS ortamında analizi ve üretimi için ve gerekirse sayısallaştırılması için ArcGIS programı kullanılacaktır. Proje kapsamında elde edilen tüm veriler CBS yardımıyla örtüştürülecek ve havza için sentez haritaları hazırlanacaktır.

6. TEŞEKKÜR

Bu çalışma 109Y271 nolu ÇAYDAG Araştırma Projesi olarak TÜBİTAK tarafından ve kısmen Süleyman Demirel Üniversitesi tarafındanlar desteklenmektedir.

7. KAYNAKLAR

Acatay, T., Beyşehir Gölü Manavgat Irmağı İlişkisi. DSİ Teknik Bülteni, No:9, 76 s, 1966.

Aksoy, S., Beyşehir Gölü su potansiyeli hesabı, Beyşehir-Manavgat ilişkisi ve varılan sonuçlar, DSİ Araştırma Raporu, Ankara, 1966.

Anonim, ‘‘Kızıldağ Milli Parkı Master Planı Analitik Etüdü’’, Orman Bakanlığı Milli Parklar ve Av Yaban Hayatı Genel Müdürlüğü Milli Parklar Daire Başkanlığı, Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi, Isparta, 1999.

Baboğlu, M., Beyşehir Gölü’ nün Sorunları ve Alınması Gereken Önlemler. Konya İl Genel Meclisi, Beyşehir Araştırma Komisyonu. 34 s, 2007

DSİ, ‘‘Takdim Raporu’’, DSİ IV. Bölge Müdürlüğü, DSİ 41. Şube Müdürlüğü, Konya, 2005.

DSİ, ‘‘İnternet Sitesi’’, http://www.dsi.gov.tr/bolge/dsi4/konya.htm, Erişim Tarihi: 22.03.2010.

Ekmekçi, M., Hydrogeological Processes in Karst Terranes (Proceedings of the Antalya Symposium and Field Seminar, October 1990). IAHSPubI.no. 207, 1990.

Eroğlu, V., ‘‘İç Anadolu Bölgesinin 11 İlindeki Yatırım Faaliyetleri Bölgesel Toplantısı’’, Çevre ve Orman Bakanlığı, İnternet Sitesi, http://www2.cevreorman.gov.tr/bakan_sunu/15.pdf, Erişim Tarihi: 22.03.2010

Göksel, Ç., Mercan, D.E., Kabdaşlı, S., Bektaş, F., Şeker, D.Z., Definition of sensitive areas in a lakeshore by using remote sensing and gis, Fresenius Enviromental Bulletin, 13(9), 860-864, 2004.

Günay, G., Karst Groundwater Studies In Manavgat River Basin, Turkey Karst Water Resources (Proceedings of the Ankara - Antalya Symposium, July 1985). IAHS Publ.no. 16.1., 1985.

Hoşafçıoğlu, S., ‘‘Beyşehir Gölü Havzasında Noktasal ve Noktasal Olmayan Kirletici Kaynakların Değerlendirilmesi’’, Selçuk Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Konya, 2007.

Mercan, D., E., ‘‘Beyşehir Gölü’nün Hidrodinamik Modellemesi’’, İstanbul Teknik Üniversitesi, Doktora Tezi, İstanbul, 2006.

Mercan, D., E., ‘’Beyşehir Gölü’nün Hidrodinamik Modellemesi’’, İnternet Sitesi. http://www.ins.itu.edu.tr/hidrolik/seminerler/Beysehir_Dilek_Mart_2007.pdf. Erişim Tarihi: 01.12.2009

Nas, B., Karabörk, H., Berktay, A., Ekercin, S., ‘‘Coğrafi bilgi sistemleri, jeoistatistik ve aster verileri kullanılarak Beyşehir gölü su kalitesi dağılımının belirlenmesi’’, 105Y086 nolu Tübitak Projesi Raporu, 2008.

Örmeci S., Şarkikaraağaç Havzası’ nın(Isparta) Hidrojeoloji İncelemesi. Süleyman Demirel Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, 110 s., Isparta, 2005.

Özsoyeller, Y., Beyşehir Gölü ile Manavgat ve Köprüçay Nehirlerinin Hidrolojik İlişkisini Doğrulayan Boya Deneyi, DSİ Basımevi, Ankara, 1969.

Sodan, Z., ‘‘Beyşehir Gölü Havzası Planlama Sorunları’’, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 2006.

Tunçez, S. ve Candan, E., Konya 2007 Yılı İl Çevre Durum Raporu. 368 s., 2007.

Tüstaş Sınai Tesisler A.Ş. Projeler Daire Başkanlığı, ‘‘Beyşehir Gölü Sulak Alanı Yüzey Su Toplama Havzası Yönetim Planı’’, Analitik Etüd Raporu, Cilt I, II, III, IV, Konya Valiliği, Beyşehir Kaymakamlığı, Mahalli İdareler ve Çevre Birliği Başkanlığı, Ankara, 1999.

Yarar A., Beyşehir Gölü Su Seviyesi Değişimlerinin Yapay Sinir Ağları ile Belirlenmesi. Selçuk Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, 106 s., Konya, 2004.

Yurtsever, M., Beyşehir Manavgat İlişkisi, DSİ Genel Müdürlüğü, Ankara, 1979.

HİDROLOJİK MODELLEME

Akarsularda Su Seviyesi-Debi İlişkisinin Yapay Sinir Ağları ile Belirlenmesi

Hüsnü Demirpençe[1]

Özet: Bir akarsuyun debisinin güvenilir olarak tahmini,taşkın kontrolü ve su kaynakları mühendisliğinin temel problemlerinden birisidir. Hidrolojistler anahtar eğrisi olarak adlandırılan su seviyesi ile debi arasındaki ilişkiyi elde etmek amacıyla geçmişteki verileri kullanırlar. Bu ilişki yardımıyla, anahtar eğrisi sadece gelecekte su seviyelerinin ölçülmesiyle debi tahmininde kullanılabilir. Anahtar eğrilerinin en önemli eksikliklerinden biri seviye ile debi arasındaki iki kollu davranışı hesaba katmamasıdır. Bu çalışmada akarsuda seviye-debi ilişkisini modellemek için yapay sinir ağları(YSA) metodu kullanılmıştır.Modelleme için Missisippi'de Leaf Nehrine ait günlük su seviyesi ve debi verileri kullanılmıştır.Bugünkü seviye ve daha önceki günlerdeki seviye ve debi değerlerinin değişik kombinasyonları kullanılarak, bugünkü debi değeri tahmin edilmeye çalışılmıştır. Modelin tahmin kabiliyeti aynı veriler kullanılarak oluşturulan çok değişkenli doğrusal regresyon sonuçları ve anahtar eğrisi sonuçları ile karşılaştırılmış ve YSA'nın daha iyi sonuçlar verdiği bulunmuştur.

Anahtar Sözcükler: Su seviyesi; Debi; Anahtar Eğrisi; Yapay Sinir Ağları

ANN Approach to Establish Stage-Discharge Relationship

Abstract: Reliable discharge estimation of a river is one of the main problems in flood control studies and water resources engineering. Hydrologists use historical data to establish a relationship between stage and discharge, which is known as a rating curve. Using this relationship, it can be used for predicting discharge from future measurements of water level only. A rating curve fails in the cases where hysteresis is present in the data. In this study, models of stage-discharge relationship are built with artificial neural network (ANN). The daily water level and discharge data of Leaf River in Misisisppi are used. The current discharge is predicted using different combinations of past stage and discharge data. The predictive accuracy of the model is compared with regression techniques built with the same data and it is concluded that the ANN model is superior in accuracy then regression models.

Keywords: Water-Level; Discharge; Rating Curve; Artificial Neural Networks

[1] Süleyman Demirel Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Isparta, E-Posta: hdemir@mmf.sdu.edu.tr

1. GİRİŞ

Akarsularda su seviyelerinin tahmini su kaynaklarının planlanması ve işletilmesinde önemli bir problemdir. Taşkın zamanlarında taşkın seviyelerinin bilinmesi ve buna göre tedbirlerin alınması gereklidir. Ayrıca kurak dönemlerde baraj göllerinin işletilmesinde akarsu seviyelerinin bilinmesi gereklidir. Su seviyesi hakkındaki bilgiler, akarsular üzerindeki sürekli ölçüm istasyonlarında otomatik olarak kaydediciler vasıtasıyla elde edilebilir. Bu kayıtların analizi ve bu kayıtlara bağlı olarak gelecekle ilgili tahmin yapmak güçtür, çünkü yağış, sızma ve zemin özellikleri gibi akarsudaki su seviyesini etkileyen parametrelerin bilinmesi gerekir.

Akarsu seviyelerinin zamana bağlı olarak değişimi doğrudan veya dolaylı şekilde tahmin edilebilir. Dolaylı metot ya bir yağış-akış modeliyle veya menba kesitinde gözlenen akımın mansapta belirli bir kesit için ötelenmesi yoluyla yüzey akışının tahmininden ibarettir. Tahmin edilen bu yüzey akışı daha sonra anahtar eğrisi yardımıyla su seviyesine dönüştürülür. Fakat bunun için güvenilir bir anahtar eğrisi şarttır. Dolaylı metot hem çok karmaşık olup hem de çok sayıda veri teminini ve kabul yapılmasını gerektirir. Su seviyesinin doğrudan tahmininde ise istatistiksel korelasyon teknikleri kullanılmıştır. Akarsulardaki debilerin ölçülmesi ise zaman alıcı ve pahalı bir işlem olduğu için, uygulamada akarsu seviye ölçümlerinden bir anahtar eğrisi yardımıyla debinin tahmini tercih edilmektedir .

Yapay sinir ağları(YSA) son yıllarda su kaynakları mühendisliği ve özellikle hidrolojide tahmin çalışmalarında yaygın olarak kullanılagelmiştir. YSA akarsularda su seviyelerinin modellenmesinde de kullanım alanı bulmuştur. Thirumalaiah ve Deo(1998), akarsu seviyelerinin yapay sinir ağları ile tahmininde farklı öğrenme algoritmaları kullanmışlardır. Bhattacharya ve Solomatine (2005),su seviyesi-debi ilişkisini YSA ile modellemiş ve M5 modeli ile lineer regresyon modellerinin sonuçlarıyla karşılaştırmıştır. Liong ve diğ.(2000), Bangladeş'te Dakka Nehrindeki su seviyelerini çok yüksek doğrulukla tahmin etmişler ve YSA'nın gelecekteki su seviyelerinin tahmininde de kullanılabileceğini göstermişlerdir.

2. ANAHTAR EĞRİSİ

Anahtar eğrisi debi-su seviyesi arasındaki fonksiyonel ilişkiyi ifade eden bir eğridir. Akarsu debisinin su seviyesi ölçümlerinden elde edilmesinde hidrolojistler tarafından yaygın olarak kullanılır. Pahalı ve zaman alıcı debi ölçümleri yerine alternatif bir metottur.
En yaygın olarak kullanılan su seviyesi-debi ilişkisi aşağıdaki gibi tanımlanır:

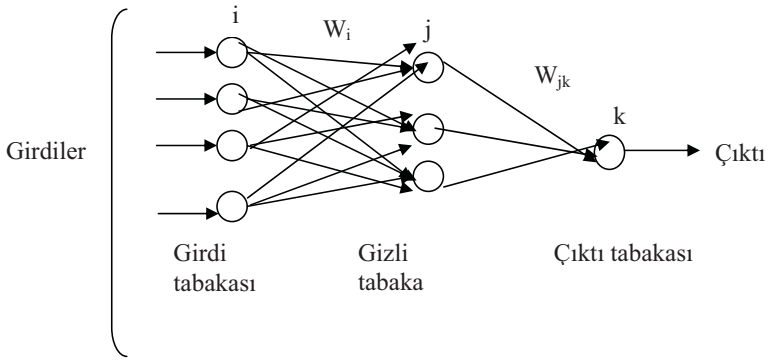
$$Q = a\, h^{b} \qquad (1)$$

Bu ilişkide Q debi,h akarsuda ölçülen su seviyesi, a ve b katsayılardır. a ve b katsayılarının belirlenmesi için en küçük kareler metodu kullanılır. Ancak anahtar eğrisinin uygulanması genişlik, enkesit alanı, eğim ve pürüzlülük gibi akarsu özelliklerinin değişmediği durumlarda mümkündür(Sahoo ve Ray,2005).

3.YAPAY SİNİR AĞLARI

Araştırmacıların temel amacı inceledikleri, araştırma yaptıkları konudaki girdi-çıktıların arasındaki temel bağıntıyı bulmaktır. Böylece incelenen problemin girdilere bağlı olarak değişimi elde edilebilir. Bu amaçla kullanılan pek çok algoritmalar mevcuttur. Ancak problem ne kadar karmaşık olursa, kullanılan algoritmalardaki kabul sayısı artmakta, böylece model ancak belirli bölge ve sınırlarda çalışır hale gelmektedir. Bu ve benzeri dezavantajların giderilmesi için araştırmacılar, günümüz bilgisayar teknolojisi ile hemen hemen her alanda uygulanabilen yapay sinir ağları metodunu ortaya çıkarmışlardır. Bu metot ilk olarak 1943 yılında hücre modelini öneren McCullough ve Pitts tarafından literatürde yer almıştır. Daha sonra 1949 yılında araştırmacılar dikkatlerini insanın öğrenme kabiliyeti ve bunun modellenmesine yoğunlaştırdılar. Bununla birlikte yapay sinir ağlarında gerçek gelişmeler 1980'li yıllarda meydana gelmiştir. Yapay sinir ağlarının temel mantığı, biyolojik sinir hücresi yapısından yola çıkarak problemin girdi ve çıktıları arasındaki ağırlık katsayılarının bulunması ve her girdi-çıktı için bu işlemin öğrenen bir sistem ile yapılması üzerine dayanmaktadır (Tokar ve Johnson,1999).

Tipik bir üç tabakalı yapay sinir ağı Şekil 1' de gösterilmiştir.



Şekil 1. Tipik bir üç tabakalı yapay sinir ağı modeli

Yapay sinir ağları, temel olarak üç tabakadan meydana gelmektedir. İlk tabaka, girdi değişkenleriyle bağlantılı olan işlem elemanlarından (hücre veya nöron) oluşur ve girdi tabakası adı verilir. Girdi tabakasının tek görevi ağda girdi tabakasından sonra gelen gizli tabakaya girdi değişkenlerini aktarmaktır. Son tabaka, çıktı değişkenlerinden oluşur ve çıktı tabakası adı verilir. Gizli tabaka ve çıktı tabakaları arasındaki işlem elemanlarından oluşan tabakaya da gizli tabaka adı verilir (Coulibaly ve diğ.,2000).

Gizli tabaka ve çıktı tabakasındaki hücrelere gelen girdiler, sadece bir önceki tabakadaki hücrelerden çıkıp, sadece kendisinden sonraki tabakaya ulaşır. Bu gizli tabakanın mevcudiyeti, karmaşık fonksiyonların modellenmesinde ağın kabiliyetini artırmaktadır. Her tabakadaki işlem elemanlarına hücre veya nöron adı verilir. Girdi ve çıktı tabakasındaki hücre sayısı, öğrenme safhasında ağda kullanılan girdi ve çıktı vektörlerinin boyutuyla ilişkilidir. Gizli tabaka sayısı ve gizli tabakadaki hücre sayısı,

problemin yapısına bağlı olarak değişmektedir. Tabakalar arasındaki her bir bağlantı, ağırlık katsayısı olarak adlandırılan ayarlanabilir bir parametreye sahiptir. Bu bağlantılar verileri, belirli ağırlık katsayıları ile çarparak bir sonraki tabakaya taşımaktadır. Gizli tabakadaki her bir hücreye gelen efektif girdi (NET_J) gelen bilgilerin ağırlıklı toplamıdır:

$$NET_J = \sum_{I=1}^{L} W_{ij} . X_i \tag{2}$$

Bu denklemde W_{ij} ağırlık katsayısı, X_i girdiyi temsil etmektedir. Transfer fonksiyonu ise, hücredeki net girdiye uygulanarak hücreden elde edilen çıktıyı hesaplar. Bu çalışmada, en yaygın olan sigmoid aktivasyon fonksiyonu kullanılmıştır. Aktivasyon fonksiyondan elde edilen çıktılar (OUT_J) 0-1 aralığındadır:

$$OUT_J = \frac{1}{1 + \exp(-NET_J)} \tag{3}$$

Çıktı tabakasındaki hücreler de gizli tabakadaki her bir hücreye bağlı olduğundan, çıktı tabakasındaki hücreler gizli tabakadaki her bir hücreden yine ağırlık katsayılarına göre girdi toplarlar, toplanan bu girdileri yine aktivasyon fonksiyonu ile çıktı olarak sonuçlandırırlar. Çıktı olarak bulunan bu değer, gerçek (ölçülen veya gözlenen) çıktı değerine göre kabul edilebilir bir değerde ise sonuç kabul edilir. Değilse, bu fark hata kabul edilerek, bu defa çıktı tabakasından gizli tabakaya, gizli tabakadan girdi tabakasına doğru öncekine benzer bir mantıkla ve hatayı minimize edecek şekilde ağırlık katsayıları düzeltilir(Denklem 4 ve 5). İleri-geri şeklindeki bu işlem, hata toleransı kabul edilebilir bir seviyede oluncaya kadar tekrarlanır. Bu işlem safhasına öğrenme adı verilir (Tığdemir,2000).

$$\mu = \sum_{I=1}^{L} [GER(j) - NET(j)](-1)NET(j)[1 - NET(j)]X_i \tag{4}$$

$$(W_{ij})_{yeni} = (W_{ij})_{eski} - 0,5 * \alpha * \mu \tag{5}$$

Burada,GER(j) gözlenen değeri,X_i girdi değerini, α öğrenme oranını tanımlamaktadır (Öztopal ve diğ.,2001).

4.YAPAY SİNİR AĞLARININ SU SEVİYESİ-DEBİ İLİŞKİSİNE UYGULANMASI

Son yıllarda, yapay sinir ağları, su kaynakları mühendisliğindeki çok değişkenli tahmin problemlerinin çoğunda başarıyla uygulanmıştır. Yapay sinir ağlarının, lineer olmayan hidrolojik olayların modellenmesinde yaygın olarak kullanılan ARMA modellerine göre pek çok üstünlükleri mevcuttur:

1-Kullanılan girdiler Gauss dağılımına uymak zorunda değildir.
2-Kullanılan girdiler düzensiz mevsimsel değişime sahip olabilir.

3-Yapay sinir ağları sınırlı sayıda verinin bulunması halinde dahi, lineer olmayan modellemelerde başarı gösterirler.

Bu çalışmada Missisippi'de Leaf Akarsuyu üzerinde 02473000 no'lu istasyona ait günlük su seviyesi ve debi verileri kullanılmıştır. Havza alanı 4475 km^2. olup, deniz seviyesinden yüksekliği 36 m.'dir. İstasyonun 21/03/2008 –21/03/2009 (1 yıl) tarihleri arasındaki verileri öğrenme, 22/03/2009- 21/03/2010 (1 yıl) tarihleri arasındaki verileri ise test amacıyla kullanılmıştır. Yapay sinir ağlarının öğrenme safhasında standart geri öğrenme algoritması ve sigmoid aktivasyon fonksiyonu uygulanmıştır. Öğrenme hızı α = 0,01 olarak seçilmiştir. Gizli tabakadaki hücre sayısı, 2 ile 10 arasında deneme-yanılma metoduyla belirlenmiştir. Bu yolla, gizli tabaka hücre sayısı, korelasyon katsayısını en büyük veren 4,6 ve 8 olarak tespit edilmiştir. İki yıllık veriler kullanılarak, su seviyesi-debi ilişkisi aşağıdaki modeller kullanılarak yapay sinir ağları ile benzeştirilmiştir:

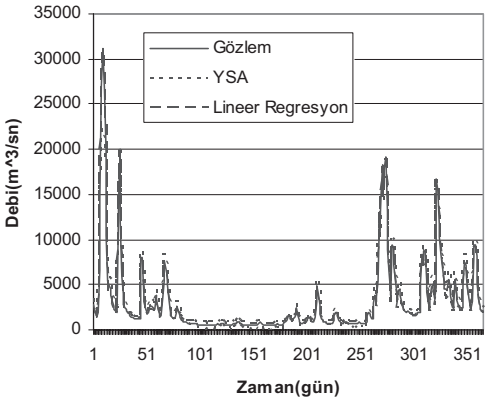
Model 1:$Q_t=f(h_t)$
Model 2:$Q_t=f(h_t, h_{t-1})$
Model 3: $Q_t=f(Q_{t-1}, h_{t-1})$
Model 4: $Q_t=f(Q_{t-1}, Q_{t-2}, h_{t-1})$
Model 5: $Q_t=f(h_{t-1}, h_{t-2}, Q_{t-1}, Q_{t-2})$

Yukarıda tanımlanan su seviyesi-debi ilişkisi modellerinden en iyi sonucu vereni belirlemek için korelasyon katsayısı kullanılmıştır. Bu modellerin yapay sinir ağlarına ve çok değişkenli lineer regresyon modeline uygulanması sonucu, öğrenme ve test safhasında elde edilen korelasyon katsayıları Çizelge 1' de verilmiştir.

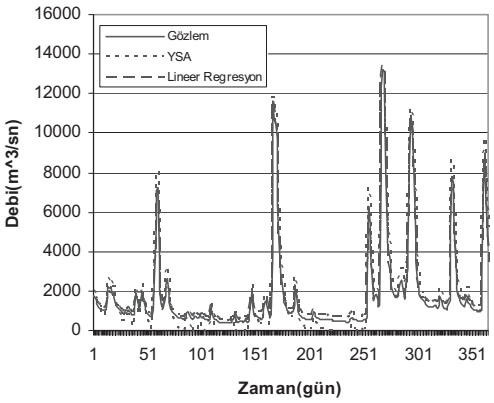
Çizelge 1. Leaf Nehri su seviyesi-debi ilişkisinin modellemesine ait öğrenme ve test safhaları korelasyon katsayıları

Model	Yapı	Yapay sinir ağları		Çok değişkenli lineer regresyon	
		R^2 (Öğrenme Safhası)	R^2(Test Safhası)	R^2 (Öğrenme Safhası)	R^2(Test Safhası)
Model 1	1-8-1	0,994	0,994	0,929	0,909
Model 2	2-6-1	0,999	0,998	0,930	0,910
Model 3	3-8-1	0,994	0,994	0,852	0,840
Model 4	4-4-1	0,998	0,998	0,823	0,810
Model 5	5-8-1	0,999	0,999	0,893	0,870

Leaf Nehrine ait debi- su seviyesi ilişkisinin YSA ile belirlenmesi için kurulan 5 modelde korelasyon katsayıları birbirine yakın çıkmasına rağmen, en yüksek korelasyon katsayıları Model 5' ten elde edilmiştir. Bir ve iki gün önceki su seviyesi ve debi değerlerinin girdi olarak ilavesi sonuçları çok etkilememektedir. Model 1'de su seviyesi girdi,debi çıktı olmak üzere en az değişken kullanılmış olmasına rağmen, yeterli derecede yüksek korelasyon katsayıları elde edilmiştir. Model 1'den elde edilen test değerleri ile gözlenen değerler arasındaki ilişki, öğrenme ve test safhaları için sırasıyla Şekil 2 ve Şekil 3' te verilmiştir.

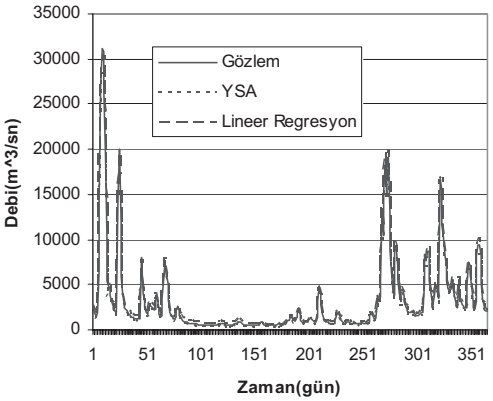


Şekil 2. Model 1 için öğrenme safhasında gözlenmiş ve tahmin edilen debi arasındaki ilişki

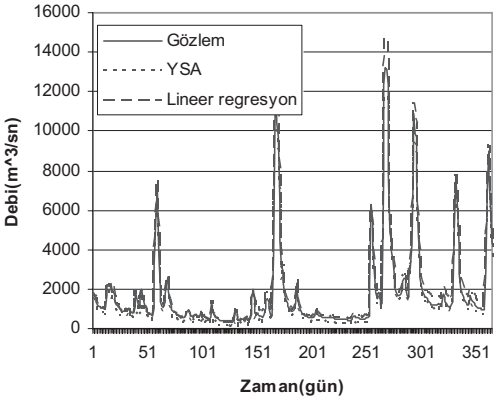


Şekil 3. Model 1 için test safhasında gözlenmiş ve tahmin edilen debi arasındaki ilişki

Model 5'te en fazla değişken (5 adet) girdi olarak kullanılmış olmasına rağmen elde edilen korelasyon katsayılarında çok önemli artışlar elde edilmemiştir. Model 5'ten elde edilen tahmin değerleri ile gözlenen değerler arasındaki ilişki, öğrenme ve test safhaları için sırasıyla Şekil 4 ve Şekil 5' te verilmiştir.



Şekil 4. Model 5 için öğrenme safhasında gözlenmiş ve tahmin edilen debi arasındaki ilişki



Şekil 5. Model 5 için test safhasında gözlenmiş ve tahmin edilen debi arasındaki ilişki

Ayrıca Model 1'deki debi-su seviyesi ilişkisi ,anahtar eğrisi yöntemiyle de modellenmiş ve korelasyon katsayısı öğrenme ve test safhalarında 0,90 ve 0,88 olarak elde edilmiştir. Çizelge 1'den görüldüğü gibi, tüm modeller için YSA'nın gerek lineer regresyon modeli gerekse anahtar eğrisi modeline göre daha iyi tahmin yaptığı söylenebilir.

5.SONUÇLAR

Bu çalışmada Leaf Nehri'ne ait su seviyesi-debi ilişkisinin modellenebilmesi için yapay sinir ağlarının kullanım potansiyeli araştırılmıştır. Bu amaçla söz konusu akarsuyun 2 yıllık verileri kullanılarak ve akarsu debisi çıktı; su yüksekliği ve debiden oluşan çeşitli veri kombinasyonları girdi alınarak, debinin tahmini için 5 model oluşturulmuştur. Bu

modeller üç tabakalı geri öğrenmeli yapay sinir ağlarına uygulanmış, öğrenme ve tahmin safhalarında modelden elde edilen veriler ile gözlenmiş veriler arasındaki ilişki belirlenmiştir. Ayrıca akarsu debisi çok değişkenli lineer regresyon ile de modellenmiş, her iki modelin karşılaştırılmasında kullanılan korelasyon katsayıları hem öğrenme hem de test safhasında YSA'da çok değişkenli lineer regresyon modeline göre daha yüksek bulunmuştur. Gerçekte çok karmaşık ve lineer olmayan akarsu su seviyesi-debi değişiminin yapay sinir ağları metoduyla, hiçbir kabul yapılmadan ve kolayca modellenebileceği gösterilmiştir.

6. KAYNAKLAR

1. THIRUMALAIAH K, DEO MC, "River Stage Forecasting Using Artificial Neural Networks",Journal of Hydrologic Engineering,3(1):1-7,1998.

2. BHATTACHARYA B, SOLOMATINE DP, "Neural Networks and M5 Model Trees in Modelling Water Level-Discharge Relationship",Neorocomputing, 65 :381-396,2005.

3. LIONG SY, LIM WH, PAUDYAL GN,"River Stage Forecasting in Bangladesh:Neural Network Approach",Journal of Computing in Civil Engineering,14(1):1-8,2000.

4. SAHOO GB, RAY C,"Flow Forecasting for a Hawaii Stream Using Rating Curves and Neural Networks", Journal of Hydrology,12:1-18,2005.

5. TOKAR AS, JOHNSON PA, "Rainfall-Runoff Modelling Using ANN ",Journal of Hydrologic Engineering, 4(3): 232-239, 1999.

6. COULIBALY P, ANCTIL F, BOBEE B, "Daily Reservoir Inflow Forecasting Using ANN with Stopped Training Approach ",Journal of Hydrology, 230:244-257, 2000.

7. Tığdemir M, " Yapay Sinir Ağları Kullanılarak Asfalt Betonu Yorulma Davranışının Belirlenmesi", 3. Ulusal Asfalt Sempozyumu,Ankara, 2000.

8. Öztopal A, Kahya C, Sırdaş S, "Yapay Sinir Ağları İle Akış Tahmini", I. Türkiye Su Kongresi, 311-317,İstanbul,2001.

Göksu Deresi ve Havzası'nın Hidrolojik ve Kirlilik Taşınımı Modellemesi

Ezgi Ünal [1], Betül Değer [2], Cevza Melek Kazezyılmaz-Alhan [3], İbrahim Işlak [4]

Özet: İçme suyu havzaları, kapsadıkları ormanlık, açık ve yeşil alanlar ile kent ekolojisi açısından yaşamsal önem taşıyan alanlardır. Su kaynaklarını, kentsel bölgelere en fazla ve en kaliteli suyu sağlayacak şekilde korumak çok büyük önem taşır. İçme suyunun elde edildiği su kaynaklarından en önemlileri dereler ve nehirlerdir. Nehir suyu, içme suyu temininde kullanıldığından dolayı nehir hidrolojisini ve nehir suyundaki kirlilik taşınımını doğru modelleyebilmek büyük önem taşımaktadır. Bu nedenle, bu çalışmada İstanbul'un önemli su havzalarından biri olan Elmalı Havzası'nın Göksu Deresi'ni besleyen bölgesinin ve Göksu Deresi'nin hidrolojik ve kirlilik taşınımı modellemesi yapılmıştır. Yapılan modelleme ile Göksu Deresi'ndeki akış ve kirlilik dağılımı incelenmiştir.

Anahtar Sözcükler: Havza Modellemesi, Kirlilik Taşınımı, EPA SWMM, Göksu Deresi

The Hydrologic and Contaminant Transport Modeling of Göksu Stream and Watershed

Abstract: Watersheds play a vital role in drinking water supply and ecological cycle balance since they involve huge amount of forested and green areas. Protecting our water resources is extremely important in terms of water supply and water quality for urbanized areas. Streams and rivers are among the most important drinking water resources; therefore, it is important to model both river hydrology and contaminant transport in rivers correctly and adequately. In this study, we developed a hydrological and contaminant transport model for the Göksu Stream and part of the Elmalı Watershed that feeds Göksu Stream, which is one of the most important watersheds of Istanbul. We investigated flow and concentration distribution in Göksu Stream by using this model.

Keywords: Watershed Modeling, Contaminant Transport, EPA SWMM, Göksu Stream

[1] İstanbul Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul, E-Posta: unal_ezgi@hotmail.com
[2] İstanbul Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul, E-Posta: b.deger@hotmail.com
[3] İstanbul Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul, E-Posta: meleka@istanbul.edu.tr
[4] İstanbul Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul, E-Posta: ibrahimislak@hotmail.com

1. GİRİŞ

Dereler ve nehirler doğadaki en önemli su kaynaklarındandır. Nehir suyu, içme suyu temininde kullanıldığından nehirlerin hidrodinamik ve su kalitesi modellemeleri büyük önem taşımaktadır. Ülkemiz son yıllarda meydana gelen ve artmakta olan küresel ısınmadan etkilenmekte ve mevcut su kaynaklarının azalması durumu ile karşı karşıya kalmaktadır. Gittikçe artan su sıkıntısının diğer bir nedeni ise gelişen endüstriye paralel olarak su kaynaklarının kirlenmesidir. Dolayısıyla, mevcut su kaynaklarının korunması ve geliştirilmesi için çözüm önerileri oluşturulmalı ve gerekli önlemler alınmalıdır.

Mevcut su kaynaklarının doğru şekilde kullanılmasına yönelik olarak dereler ve bulundukları havzaların hidrolojik modellemesi ile ilgili bugüne kadar pek çok çalışma yapılmıştır. Örneğin, Al-Abed ve diğ (2007) tarafından Fortran Hidrolojik Simülasyon Programı (HSPF) kullanılarak Zarqa Nehri Havzası'nın hidrolojik modeli geliştirilmiştir. Gündüz (2004) büyük havzalarda birleşik akım ve kirlilik taşınımı modellemeleri yapmış ve yeryüzü-yeraltı suyu akımlarını incelemiştir. Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) kullanılarak Karabulut ve diğ. (1999) tarafından Güvenç Havzası'nda dağınık parametreli hidrolojik model uygulaması çalışılmıştır. Radar yağış verileri kullanarak New England Nehri Havzası'nın hidrolojik modellemesi David (1988), yoğun insan aktivitelerine maruz kalan Zhangweinan Nehri Havzası'nın hidrolojik modellemesi ise Cai ve diğ. (2009) tarafından yapılmıştır. Bir başka hidrolojik çalışmada ise, Sakarya Havzası aylık yağışlarının otoregresif modellemesi Büyükyıldız (2006) tarafından tamamlanmıştır. Literatürde buna benzer farklı havzalara ait daha pek çok hidrolojik modelleme çalışmaları bulunmaktadır (Andersen ve diğ., 2001; Boyraz ve Kazezyılmaz-Alhan, 2008; Gülbaz ve Kazezyılmaz-Alhan, 2008; Gündüz ve Aral, 2003; Kazezyılmaz-Alhan ve diğ., 2007; Kazezyılmaz-Alhan ve diğ, 2009; Rudra ve diğ., 2000; Jeffrey, 2007; Şensoy ve diğ., 2000; Yao ve Terakawa, 1999).

Su kalitesi ile ilgili olarak da literatürde yapılmış pek çok çalışma bulunmaktadır. Örneğin, Runkel (1995) dereler ve akarsulardaki çözünmüş madde taşınımını incelemiştir. Ankara Su Temini Projesi kapsamında önerilen Işıklı Baraj Gölü için su kalitesi yönetim stratejilerinin geliştirilmesi konusu Gündüz (1997) tarafından incelenmiştir. Cavuoti ve diğ. (2002) noktasal kirletici kaynaklarının etkileri ve nehir suyu kalitesi modellemesi üzerine araştırmalar yapmıştır. Kentsel ve sanayi atıklarının Nilüfer Çayı'na boşaltılması sonucu, su kaynağındaki kirlenmenin boyutu Taşdemir ve Kaynak (2001) tarafından incelenmiştir. Marmara Havzası'nda kirlenme durumlarının incelenmesi ve kalite durumlarının belirlenmesi projesi Karpuzcu (1992) tarafından yapılmıştır. Su kalitesi ile ilgili çalışmalara bir başka örnek ise Soyupak (1990) tarafından yapılmış olan Tuz Gölü'ndeki azot ve fosfor taşınımı modellemesidir.

Bugüne kadar yapılmış olan hidrolojik ve kirlilik taşınımı ile ilgili çalışmalara katkıda bulunmak amacıyla, Göksu Deresi ve bu dereyi besleyen havzanın hidrolojik ve kirlilik taşınımı modeli Environmental Protection Agency Storm Water Management Model (EPA SWMM) (Çevre Koruma Kuruluşu, Yağmur Suyu Yönetim Modeli) programı kullanılarak oluşturulmuştur. Göksu Deresi, İstanbul Boğazı'nın Anadolu yakasındaki Elmalı Havzası'nda bulunmakta ve Anadolu Hisarı yakınından Boğaz'a dökülmektedir. Yapılan hidrolojik model simülasyonlarıyla sürekli yağış sonucu Göksu Deresi'nin mevsimlik ve yıllık akış davranışları elde edilmiştir. Kirlilik taşınımı modeli ile kesikli yağış sırasında Göksu Deresi'ndeki madde taşınımının genel davranışı incelenmiştir.

2.YÖNTEM VE ÇALIŞMA ALANI

2.1 EPA SWMM Yağmur Suyu Yönetim Modeli

EPA SWMM, yağış sonucu oluşan yüzeysel akışın dinamik simülasyonunu yapan bir bilgisayar programıdır. Kesikli (örneğin bir günlük) veya sürekli (örneğin bir senelik) yağış sonucu oluşan yüzeysel akışın su miktarını ve su kalitesini modeller. EPA SWMM, çalışma havzasının hidrolojik ve kirlilik taşınımı modelini oluşturarak akış, yeraltı suyu ve konsantrasyon gibi değişkenlerin yer ve zaman içerisindeki değişimini hesaplar. Ayrıca kanalizasyon, drenaj sistemi ve açık kanal akımlarının modellenmesi için de dünyada oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır (Huber ve Dickinson, 1988; Rossman, 2005).

EPA SWMM, yağış verilerini kullanarak havza parçaları üzerinde oluşan yüzeysel akışın miktarını ve kalitesini, her boru ve kanal içinde oluşan akımın debisini, derinliğini ve kirlilik konsantrasyonunu hesaplar. Havzanın eğimi, akış yönü ve geçirimsizliği; boru ve kanalların eğimi, uzunluğu, yüksekliği ve en kesiti; kirletici maddelerin konsantrasyon değerleri ve yağış şiddetinin zamana göre değişimi (hiyetograf) programa girilerek, debinin zamana göre değişimi (hidrograf) ve konsantrasyonun zamana göre değişimi (polutograf) yapılan modellemeden elde edilebilecek sonuçlardır.

2.1.1 Yüzeysel Akış

EPA SWMM'de debi ve yüzeysel akış hesaplarının temeli, kütle, momentum ve enerji korunumu prensiplerine dayanır. Boru ve kanal gibi iletim hatlarında ötelemede ise üniform akım, kinematik ve dinamik dalga denklemleri kullanılır. En basit öteleme metodu olan üniform akımda debi-derinlik ilişkisi Manning denklemi ile verilir. St. Venant denklemleri olarak da bilinen ve süreklilik ve momentum denklemlerinden oluşan dinamik dalga denklemleri ise şu şekildedir:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial A}{\partial t} = 0 \tag{1}$$

$$\frac{1}{A}\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{1}{A}\frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{Q^2}{A}\right) + g\frac{\partial y}{\partial x} - g(S_0 - S_f) = 0 \tag{2}$$

Burada Q debi (L^3/T), A akış kesiti (L^2), g yerçekimi ivmesi (L^2/T), y su derinliği (L), S_f hidrolik eğim (L/L), S_0 kanal eğimi (L/L), t zaman (T) ve x kanal boyunca olan uzunluk (L)' dur. Momentum denklemindeki basınç ve ivme terimleri ihmal edilerek yazıldığında ise kinematik dalga denklemi elde edilir ve şu şekildedir:

$$\left.\begin{aligned} &\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0 \\ &Q = \alpha A^m \end{aligned}\right\} \Rightarrow \frac{\partial A}{\partial t} + \alpha\frac{\partial\left(A^m\right)}{\partial x} = 0 \tag{3}$$

Burada α ve m debi-hidrolik eğim ilişkisine bağlı olarak belirlenen katsayılardır.

EPA SWMM'de sızma hesabı için ise Horton, Green Ampt ve SCS Eğri-Numarası metodu olmak üzere üç farklı seçenek bulunur. Bu çalışmada modellenen havzada yeşil alanların yerleşim alanlarına göre daha yoğun olması sebebiyle sızma metodu olarak Green-Ampt metodu seçilmiştir ve denklemi şu şekilde verilir:

$$\underline{F < F_s \text{ için:}}\ \ i > K_s \text{ ise } F_s = \frac{S_u M}{i/K_s - 1},\ \ i \le K_s \text{ ise } f = i \text{ ve } F_s \text{ hesaplanmaz.} \quad (4)$$

$$\underline{F \ge F_s \text{ için:}}\ f = f_p \text{ ve } f_p = K_s\left(1 + \frac{S_u M}{F}\right) \quad (5)$$

Burada f sızma hızı (L/T), f_p sızma kapasitesi (L/T), i yağış şiddeti (L/T), F toplam sızma miktarı (L), F_s yüzeyin doygunluğa ulaşması için gerekli toplam sızma (L), S_u kapiler basınç (L), M başlangıç nem eksikliği (L/L) ve K_s doygun zemin için hidrolik iletkenlik (L/T) olarak verilmiştir.

2.1.2 Kirlilik Taşınımı

Su kalitesi ötelemesi, kirlilik taşınımını modeller ve akımın iletildiği kanalları bir reaktör olarak varsayar. Bu varsayım ile su kalitesinin hesabı Kesikli Reaktör, Piston Akımlı Reaktör ve Tam Karışımlı Reaktör denklemleriyle ifade edilir. Üç denklem de öteleme zaman aralıkları aynı seçildiğinde çok yakın sonuçlar vermektedir. Nehir, göl, rezervuar gibi su kaynaklarının modellemesinde sıkça tercih edilen ve EPA SWMM'de kullanılan Tam Karışımlı Reaktör denklemi şu şekildedir:

$$\frac{d(\mathrm{VC_A})}{dt} = Q_g.C_{Ag} - Q_{ç}.C_{Aç} \quad (6)$$

Burada V, reaktör hacmi, (L^3); C_A reaktördeki A maddesinin konsantrasyonu, (M/L^3),$C_{Ag,}$ A maddesinin giriş konsantrasyonu, (M/L^3), Q_g, giriş debisi, (L^3/T), $Q_{ç}$ çıkış debisi, (L^3/T) ve $C_{Aç}$ A maddesinin çıkış konsantrasyonu (M/L^3) olarak tanımlanır.

EPA SWMM içerisinde noktasal ve noktasal olmayan kirleticiler tanımlanabilmektedir. Noktasal olmayan kirleticileri tanımlayabilmek için her havza parçası içinde arazi kullanımı ve her arazi kullanımına ait kuru havalarda yüzeyde biriken kirliliği hesaplayacak Kirlilik Birikimi fonksiyonu ile yağışlı günlerde yüzeyde oluşan yüzeysel akışla sürüklenen kirliliği hesaplayacak Kirlilik Yıkanımı fonksiyonu oluşturulur. EPA SWMM'de noktasal kirleticiler ise tek bir noktadan anlık veya sürekli kaynak olarak tanımlanır.

2.2 Göksu Deresi ve Havzası

Göksu Deresi'nin bağlı olduğu Elmalı Havzası İstanbul'un doğu yakasında il merkezine 15 km uzaklıkta olup Üsküdar, Beykoz ve Kartal ilçe sınırları içerisinde kalmaktadır. Doğusunda Ömerli içme suyu havzası, batısında Ümraniye, güneyinde Küçük Bakkalköy, ve kuzeyinde Beykoz'a bağlı köyler yer almaktadır. Göksu Deresi, İstanbul Boğazı'nın Anadolu yakasında bulunmakta ve Anadoluhisarı yakınında Boğaz'a

dökülmektedir. Kaynağını ilçe sınırları dışından İzmit körfezinin 4 km. kuzeyindeki Serçe tepe (645m)'nin batısından alır (http://tr.wikipedia.org). Şekil 1'de Göksu Deresi ve Elmalı Havzası'nın Göksu Deresi'ni besleyen kısmı yer almaktadır. Mavi çizgiyle gösterilen kısım Göksu Deresi'ni, kırmızı çizgi içerisinde kalan alan ise modellenen bölgeyi göstermektedir.



Şekil 1: Göksu Deresi Havza Görünümü (İBB Hava Fotoğrafı**)**

3. HİDROLOJİK VE KİRLİLİK TAŞINIMI MODELLEMESİ

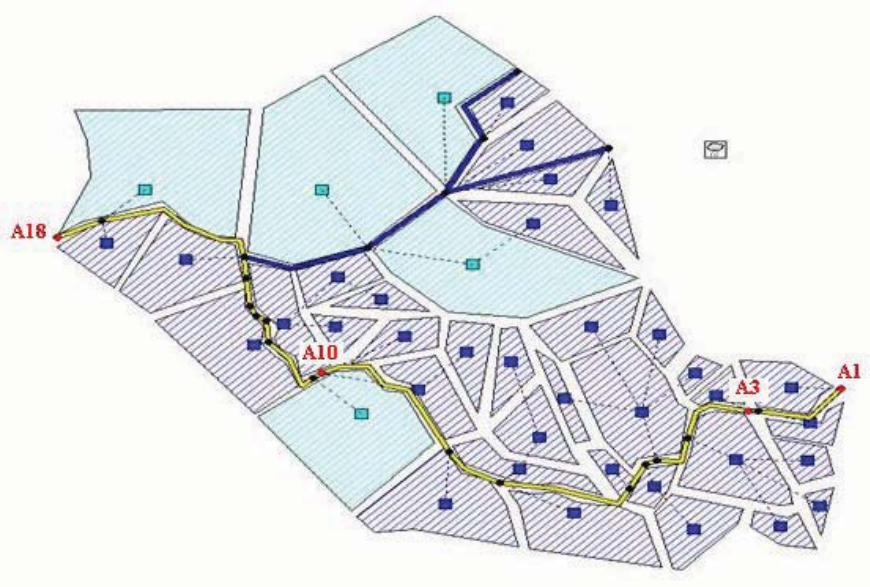
Bu çalışmada Elmalı Havzası'nda bulunan Göksu Deresi'nin ve dereyi besleyen havzanın hidrolojik ve kirlilik taşınımı modeli EPA SWMM kullanılarak modellendi. Modelin oluşturulması için öncelikle çeşitli devlet kurumlarından gerekli veriler ve haritalar temin edildi. İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi'nden (İSKİ) Göksu Deresi ve çevresinde bulunan bölgenin detaylı topoğrafik haritaları ve dereye ait bilgiler temin edildi. İstanbul Büyükşehir Belediyesi'nden (İBB) hava fotoğrafı destekli hazırlanan 1/5000 ölçekli yerleşim planı haritaları temin edildi. Devlet Su İşleri XIV. Bölge Müdürlüğü'nden (DSİ) zemin formasyonu ile ilgili bilgiler ve Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'nden ise (DMİ) 2006–2007 yılına ait yağış verileri alındı.

Göksu Deresi'nin çevresindeki bölgenin eş yükselti eğrilerini gösteren topoğrafik harita kullanılarak dere bölgesindeki havza parçalarının sınırları oluşturuldu. Şekil 2'de görüldüğü gibi dere bölgesi toplam 40 havza parçasına ayrıldı. Her havza parçasına ait alan, genişlik ve eğim değerleri hesaplandı. Eşyükselti eğrileri yardımıyla havza parçaları üzerinde oluşan yüzeysel akışın dereye doğru akarken izleyeceği ana kolların konumları ve bu akışın dereye katılacağı noktaların yerleri tespit edilip yükseklikleri hesaplandı. EPA SWMM programında oluşturulmuş dere bölgesinin modelini gösteren Şekil 2'de kalın çizgiler derenin konumunu, kesikli çizgiler havza parçaları üzerinden dereye akan yüzeysel akışın izlediği yolu ve dereyle birleştiği noktaları ve taralı alanlar ise havza parçalarını temsil etmektedir. Dere bölgesinde oluşan sızma miktarını hesaplamak üzere seçilmiş Green–Ampt metodu için gerekli olan hidrolik iletkenlik, porozite ve kapiler basınç parametrelerinin değerleri çalışma alanındaki zemin formasyonuna uygun olarak belirlendi.

4. BULGULAR

4.1. 2006 Yılı Hidrolojik Analiz Sonuçları

2006 yılı boyunca toplanmış tüm yağış verileri kullanılarak oluşturulan hidrolojik model ile sürekli yağış sonucu oluşan akışın simülasyonu yapılmıştır. 2006 yılında oluşan yağışlar sonucu oluşan akışlar derenin başlangıç (A1), orta (A10) ve bitiş (A18) noktası olmak üzere 3 farklı yerde incelenmiştir. 2006 yılı içerisinde en yüksek debi değerleri, derenin memba noktasında 1 m^3/sn, orta noktasında 14 m^3/sn ve mansap noktasında ise 25 m^3/sn'ye yaklaşmaktadır.



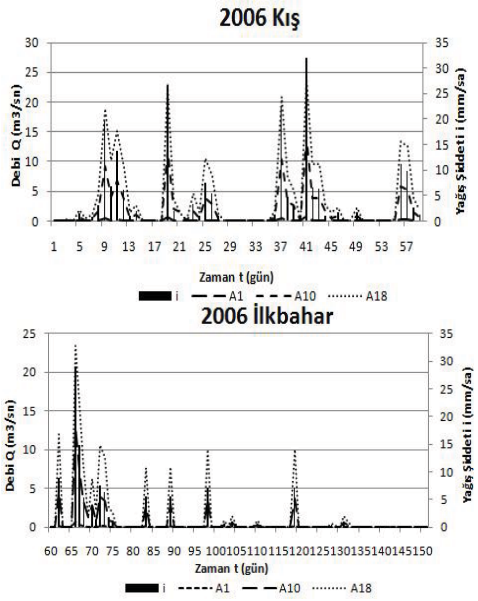
Şekil 2: Göksu Deresi ve Havzası'nın EPA SWMM ile oluşturulmuş modeli

2006 yılında Göksu Deresi ve Elmalı Havzası bölgesine düşen toplam yağış 595 mm ve buna karşılık Göksu Deresi'nde oluşan toplam su hacmi 1.63×10^{13} m^3 olarak hesaplanmıştır. 2006 yılında gözlemlenen en fazla yağış yüksekliği 32 mm ve buna karşılık olarak Göksu Deresi'nde oluşan pik debi 23.98 m^3/sn ve toplam su hacmi 2.1×10^6 m^3 olarak 10 Şubat'ta bulunmuştur. 2006 yılında en sık yağış kış mevsiminde toplam 228 mm olarak gözlemlenmiş ve buna karşılık gelen toplam su hacmi 2.3×10^7 m^3 olarak hesaplanmıştır. Toplam su hacimleri EPA SWMM programında oluşturulan model ile derenin mansap noktasında (A18) bulunan hidrograf kullanılarak elde edilmiştir.

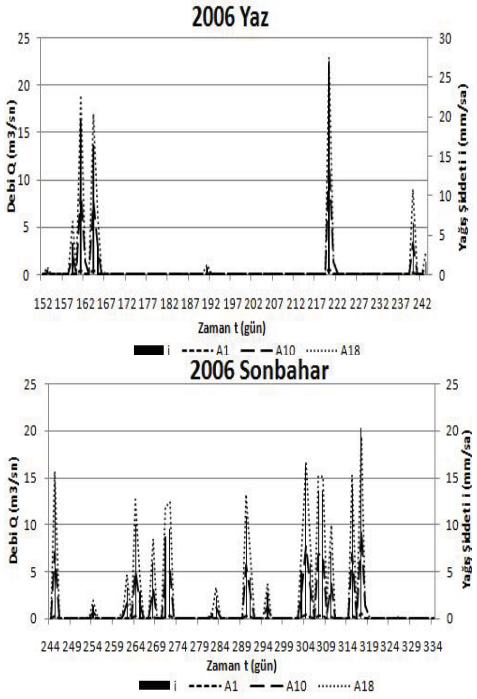
2006 yılının kış aylarında en büyük yağış yüksekliği Şubat ayında 32 mm ve buna karşılık gelen toplam su hacmi 2.1×10^6 m^3olarak hesaplanmıştır. Ocak-Şubat 2006 kış döneminde toplam altı büyük yağış gözlenmiş ve bu yağışlar sonucu dere yatağında oluşan pik debiler 19, 23, 21, 24, 13.5 ve 12 m^3/sn olarak hesaplanmıştır.

2006 yılının ilkbahar aylarında en büyük yağış yüksekliği Mart ayında 29 mm ve buna karşılık gelen toplam su hacmi 2×10^6 m^3 olarak hesaplanmıştır. Ancak, Nisan ve Mayıs aylarında yağış miktarı oldukça düşmüştür. Mart-Nisan-Mayıs 2006 ilkbahar döneminde toplam yedi büyük yağış gözlenmiş ve bu yağışlar sonucu dere yatağında oluşan pik debiler 12, 23, 10.5, 8.6, 8.8, 10 ve 10 m^3/sn olarak hesaplanmıştır.

2006 yılının yaz aylarında en büyük yağış yüksekliği Ağustos ayında 26.7 mm ve buna karşılık gelen toplam su hacmi 1.9×10^6 m^3 olarak hesaplanmıştır. Yılın en az yağış alan mevsimidir. Haziran-Temmuz-Ağustos 2006 yaz döneminde toplam beş büyük yağış gözlenmiş ve bu yağışlar sonucu dere yatağında oluşan pik debiler 19, 17, 23, 9 ve 16 m^3/sn olarak hesaplanmıştır.
2006 yılının sonbahar aylarında en büyük yağış yüksekliği Kasım ayında 20.3 mm ve buna karşılık gelen toplam su hacmi 1.7×10^6 m^3 olarak hesaplanmıştır. Eylül-Ekim-Kasım 2006 sonbahar döneminde toplam sekiz büyük yağış gözlenmiş ve bu yağışlar sonucu dere yatağında oluşan pik debiler 15.5, 12.6, 12.4, 13, 17, 15, 15 ve 19.3 m^3/sn olarak hesaplanmıştır. 2006 yılına ait mevsimsel yağış-debi-zaman grafikleri Şekil 3'de gösterilmiştir.



(a) (b)



(c) (d)

Şekil 3: 2006 yılı mevsimsel yağış-akış ilişkilerini gösteren hiyetograf ve hidrograf (a) kış, (b) ilkbahar, (c) yaz, (d) sonbahar.

4.2. 2007 Yılı Hidrolojik Analiz Sonuçları

2007 yılı boyunca toplanmış tüm yağış verileri kullanılarak oluşturulan hidrolojik model ile sürekli yağış sonucu oluşan akışın simülasyonu yapılmıştır. 2007 yılında oluşan yağışlar sonucu oluşan akışlar derenin başlangıç (A1), orta (A10) ve bitiş (A18) noktası olmak üzere 3 farklı yerde incelenmiştir. 2007 yılı içerisinde en yüksek debi değerleri derenin memba noktasında 0.6 m^3/sn, orta noktasında 10 m^3/sn ve mansap noktasında ise 21 m^3/sn'ye yaklaşmaktadır.

2007 yılında Göksu Deresi ve Elmalı Havzası bölgesine düşen toplam yağış 402 mm ve buna karşılık Göksu Deresi'nde oluşan toplam su hacmi 1.16×10^{13} m^3 olarak hesaplanmıştır. 2007 yılında gözlemlenen en büyük yağış yüksekliği 22.6 mm ve buna karşılık olarak Göksu Deresi'nde oluşan pik debi 20.87 m^3/sn ve toplam su hacmi 1.8×10^{6} m^3 olarak 14 Ekim'de bulunmuştur. 2007 yılında en sık yağış sonbahar mevsiminde toplam 168 mm olarak gözlemlenmiş ve buna karşılık gelen toplam su hacmi 1.7×10^{7} m^3 olarak hesaplanmıştır. Toplam su hacimleri EPA SWMM programında oluşturulan model ile derenin mansap noktasında (A18) bulunan hidrograf kullanılarak elde edilmiştir. 2007 yılındaki yağışların 2006 yılına göre daha az olduğu ve dolayısıyla oluşan toplam su hacminin de daha düşük olduğu görülmektedir. 2006 yılında en yüksek kesikli yağış 32 mm iken 2007 yılında 23 mm civarındadır.

2007 yılının kış aylarında en büyük yağış yüksekliği Aralık ayında 17.5 mm ve buna karşılık gelen toplam su hacmi 1.5×10^6 m^3 olarak hesaplanmıştır. Aralık-Ocak-Şubat 2007 kış döneminde beş büyük yağış gözlenmiş ve bu yağışlar sonucu dere yatağında oluşan pik debiler 9, 11.5, 5.5, 10 ve 5 m^3/sn olarak hesaplanmıştır.

2007 yılının ilkbahar aylarında en büyük yağış yüksekliği Mart ayında 15.4 mm ve buna karşılık gelen toplam su hacmi 1.4×10^6 m^3 olarak hesaplanmıştır. Mart-Nisan-Mayıs 2007 ilkbahar döneminde toplam altı büyük yağış gözlenmiş ve bu yağışlar sonucu dere yatağında oluşan pik debiler 12, 16, 11, 12.5, 10 ve 12 m^3/sn olarak hesaplanmıştır.

2007 yılının yaz aylarında en büyük yağış yüksekliği Haziran ayında 11.3 mm ve buna karşılık gelen toplam su hacmi 1.2×10^6 m^3 olarak hesaplanmıştır. Haziran-Temmuz-Ağustos 2007 yaz döneminde toplam üç büyük yağış gözlenmiş ve bu yağışlar sonucu dere yatağında oluşan pik debiler 14, 13 ve 8 m^3/sn olarak hesaplanmıştır.

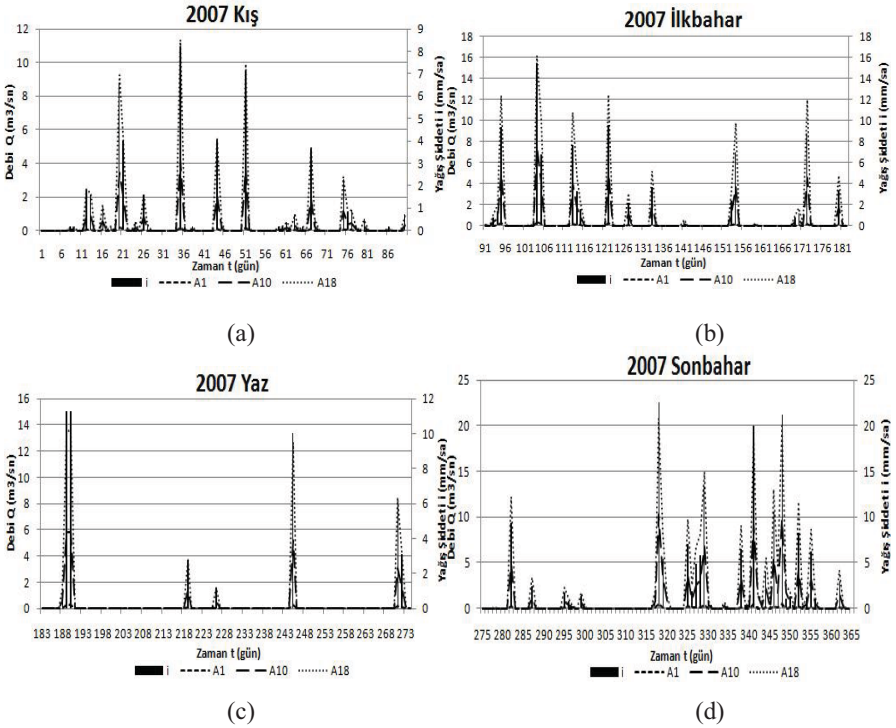
2007 yılının sonbahar aylarında en büyük yağış yüksekliği Ekim ayında 22.6 mm ve buna karşılık gelen toplam su hacmi 1.8×10^6 m^3 olarak hesaplanmıştır. Kış ayları bölgenin yıl içerisinde en çok yağış aldığı aylardır. Eylül-Ekim-Kasım 2007 sonbahar döneminde toplam yedi büyük yağış gözlenmiş ve bu yağışlar sonucu dere yatağında oluşan pik debiler 12, 21, 15, 19, 20, 13 ve 17.5 m^3/sn olarak hesaplanmıştır. 2007 yılına ait mevsimsel yağış-debi-zaman grafikleri Şekil 4'de gösterilmiştir.

4.3. Kirlilik Taşınımı Analizi Sonuçları

8-11 Ocak 2006 tarihinde gözlemlenmiş kesikli yağış sonucu oluşan kirlilik dağılımını incelemek üzere bir X maddesi 96 saat boyunca derenin memba noktasına sürekli kaynak olarak tanımlanmıştır. Analiz sonuçları yağışsız günlerde oluşan kirlilik dağılımı analiz sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Elde edilen kirlilik dağılımları, dere boyunca seçilmiş ve kotları 20, 14, ve 0 metre olan A1, A10 ve A18 numaralı 3 farklı noktada incelenmiştir.

4.3.1. Yağışsız günler için kirlilik dağılımı:

8-11 Ocak tarihleri arasında yağış olmadığı zamanki kirlilik taşınımı simülasyonu için bir X kirlilik maddesi konsantrasyonu 1 mg/L olarak derenin memba noktasına girilmiştir. X maddesi dereye bırakıldığı A1 noktasından bir sonraki A10 noktasına 5 saatte ve çıkış noktası olan A18 noktasına 25 saatte ulaşmaktadır. X maddesi mansap noktası olan A18 noktasında 1 mg/L değerine 30. saatte ulaşmıştır ve 104. saatte azalmaya başlayıp 130. saatte sıfırlanmıştır. Derenin bitiş noktasında ise 1 mg/L değerine 70. saatte ulaşmış 110. saatte azalmaya başlayarak 160. saatte sıfırlanmıştır.

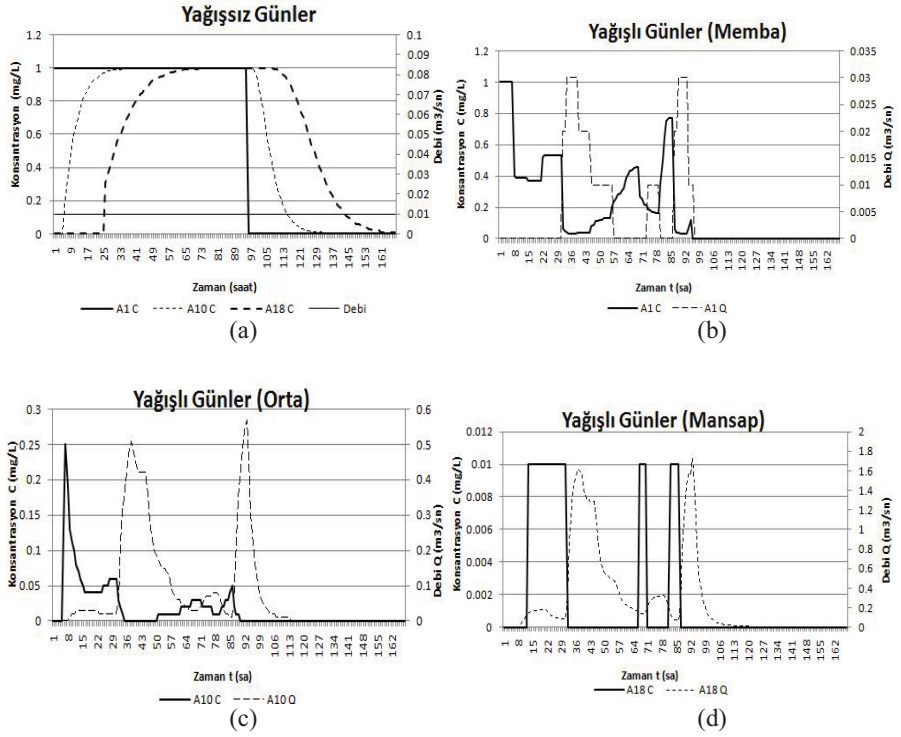


Şekil 4: 2007 yılı mevsimsel yağış-akış ilişkilerini gösteren hiyetograf ve hidrograf (a) kış, (b) ilkbahar, (c) yaz, (d) sonbahar.

4.3.2. Yağışlı günler için kirlilik dağılımı:

8-11 Ocak tarihleri arasındaki yağış sonucu oluşan kirlilik taşınımı simülasyonu için X maddesi konsantrasyonu 1 mg/L olarak derenin memba noktasına girilmiştir. X maddesi konsantrasyon dağılımının debi ile olan ilişkisine bakıldığında debinin azaldığı zaman dilimlerinde konsantrasyon miktarının arttığı, debinin arttığı zaman dilimlerinde ise konsantrasyon miktarının azaldığı gözlemlenmiştir. Derenin başlangıç noktasında (A1) konsantrasyon ilk 7 saat boyunca membaya girilen konsantrasyon değeri olan 1 mg/L'de sabit kalmış, daha sonra konsantrasyon değerleri 20-30 saatleri arasında A1 noktasında 0.53 mg/L, A10 noktasında 0.06 mg/L ve A18 noktasında neredeyse 0 mg/L değerlerini almış ve buna karşılık gelen debi değerleri ise A1 noktasında 0.01 m^3/sn, A10 noktasında 0.02 m^3/sn, ve A18 noktasında 0.09 m^3/sn olarak bulunmuştur. Daha sonra 32-45 saatleri arasında tüm noktalarda konsantrasyon değeri sıfıra yaklaşırken debi değerleri ise 1.62 m^3/sn'ye kadar yükselmiştir. 45. saatten sonra konsantrasyon değeri A1 noktasında 0.46 mg/L'ye kadar yükselmiş ve buna karşılık gelen debi değeri ise 0.14 m^3/sn'ye kadar düşmüştür. Sonra 70-80 saatleri arasında tekrar azalan konsantrasyon değerleri, 82-87 saatleri arasında tekrar yükselerek A1 noktasında 0.77 mg/L olarak en büyük değerlerine ulaşmıştır ve yağışın sonuna doğru yağış şiddetinin tekrar artmasıyla tekrar sıfır seviyesine geri düşmüş ve buna karşılık oluşan debi değeri

0.15 m^3/sn'ye ulaşmıştır. Bu durum yağışsız günler için elde edilmiş olan kirlilik dağılımı ile karşılaştırıldığında yağışsız günler için konsantrasyon değerinin maksimuma ulaştıktan sonra sabit kaldığı ancak yağışlı günlerde yağış şiddeti ve dolayısıyla oluşan akışa bağlı olarak sürekli değiştiği gözlemlenmiştir. X kirlilik maddesi A10 noktasına 5 saat ve A18 noktasına (çıkış noktası) 13 saat sonra yani yağışsız günlerde elde edilen süreden çok daha kısa sürede ulaşmıştır. X maddesinin farklı noktalardaki konsantrasyonunun zamana bağlı değişimi ve yağışsız günler için derenin taban akışı ile yağışlı günler için derede oluşan akımlar Şekil 5'de verilmiştir.



Şekil 5: 8-11 Ocak günleri akış-konsantrasyon ilişkilerini gösteren hidrograf ve polutograf (a) yağışsız günler, (b) yağışlı günler (memba), (c) yağışlı günler (orta), (d) yağışlı günler (mansap).

5. SONUÇ

Bu çalışmada Göksu Deresi ve Elmalı Havzası'nın Göksu Deresi'ni besleyen bölgesinin hidrolojik ve kirlilik taşınım modelleri EPA SWMM programı kullanılarak oluşturulmuştur. Yapılan analizler ile 2006 ve 2007 yıllarında gözlemlenen yağışlar sonucu Göksu Deresi'nde oluşan akışlar hesaplanmıştır. Ayrıca, 8-11 Ocak 2006 tarihleri arasında bir X kirlilik maddesi sürekli noktasal kaynak olarak derenin memba noktasında tanımlanmış ve buna bağlı olarak yağışlı ve yağışsız günler için konsantrasyonun dere boyunca ve zamana göre dağılımı incelenmiştir. Buna göre aşağıdaki şu sonuçlara varılmıştır:

- 2006 yılında toplam yağış 595 mm ve buna karşılık gelen toplam su hacmi 1.63×10^{13} m^3 iken 2007 yılında toplam yağış 402 mm ve buna karşılık gelen toplam su hacmi ise 1.16×10^{13} m^3 olarak hesaplanmıştır. 2007 yılındaki yağışların 2006 yılına göre daha az olduğu ve dolayısıyla oluşan akışın ve toplam su hacminin de daha düşük olduğu bulunmuştur.

- 2006 yılında en büyük yağış yüksekliği 32 mm olarak 10 Şubat tarihinde gözlemlenmiş ve buna karşılık düşen pik debi 23.98 m^3/sn ve toplam su hacmi 2.1×10^6 m^3 olarak bulunmuştur. 2007 yılında ise en büyük yağış yüksekliği 22.6 mm olarak 14 Ekim tarihinde gözlemlenmiş ve buna karşılık düşen pik debi 20.87 m^3/sn ve toplam su hacmi 1.8×10^6 m^3 olarak hesaplanmıştır. 2006 yılında en çok yağış ve akış kış ve an az yağış ve akış yaz mevsiminde iken 2007 yılında en çok yağış ve akış sonbahar ve en az yağış ve akış yaz mevsiminde oluşmuştur.

- Oluşturulan kirlilik taşınımı modeli kullanılarak dört gün boyunca süren kesikli yağış sonucu oluşan konsantrasyon dağılımı yağışsız günler için elde edilmiş olan konsantrasyon dağılımları ile karşılaştırılmıştır. Yağışlı günlerde kirlilik maddesi Göksu Deresi'nin membasından mansap noktasına 13 saatte ulaşırken yağışsız günlerde 25 saatte ulaşmıştır. Konsantrasyon miktarı yağışlı günlerde mansap noktasında neredeyse sıfır değerini alırken yağışsız günlerde memba noktasında tanımlanan değere (1mg/L) yakın bir değer almıştır.

- Yağışsız günlerde pik konsantrasyon değeri memba noktasına verilen değerle aynı olduğu ve dereye verilmeye devam ettiği süre boyunca bu şekilde kaldığı görülmüştür. Kirlilik maddesinin bu şekilde davranış izlemesinin nedeni dere yatağında yüksek ve değişken akış olmamasından dolayıdır. Dere yatağında debinin değişmesiyle konsantrasyon miktarının da farklı değerler aldığı gözlemlenmiş ve debi ile konsantrasyon arasındaki ilişkinin ters orantılı olduğu görülmüştür.

6. TEŞEKKÜR

Elmalı Havzası'na bağlı Göksu Deresi'nin hidrolojik ve kirlilik taşınım modellerinin oluşturulması için gerekli verilerin temininde yardımcı olan İstanbul Büyükşehir Belediyesi'ne (İBB), İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi'ne (İSKİ), Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü'ne (DSİ) ve Devlet Meteoroloji İşleri (DMİ) İstanbul Bölge Müdürlüğü'ne teşekkür ederiz.

7. KAYNAKLAR

Al-Abed N, Al-Sharif M, "Hydrological modeling of Zarqa River Basin, Jordan Using the Hydrological Simulation Program FORTRAN (HSPF) Model", Department of Civil Engineering, College of Engineering, Jordan University of Science and Technology, Irbid, Jordan, 2007.

Andersen J, Refsgaard J, Jensen K, "Distributed hydrological modelling of the Senegal River Basin" Department of Hydrodynamics and Water Resources (ISVA), Technical University of Denmark, Building 115, DK-2800 Lyngby, Denmark, 2001.

Anonim, "Türk Çevre Mevzuatı", Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği, Türkiye Çevre Vakfı Yayını, Ankara, Türkiye, 2004.

Boyraz U, Kazezyılmaz-Alhan C.M, "Büyükçekmece Havzası Bataklık Bölgesi'nin Hidrolojik Modeli", Ulusal Sulak Alanlar Konferansı, Kayseri, pp:142-153, 2008.
Büyükyıldız M, Berktay A, "Sakarya Havzası aylık yağışlarının otoregresif modellemesi" Pamukkale Üniv. Müh. Fak. Mühendislik Bilimleri Dergisi, 12(1):117-126, 2006.
Cai X, Su B, Xu Z, "Hydrological modeling for the Zhangweinan River Basin with intensive human activities", Key Laboratory of Water and Sediment Sciences, Ministry of Education, College of Water Sciences, Beijing Normal Univ., Beijing 100875, China, 2009.
Cavuoti C, Mancini I, Masi S, "A river water quality model to simulate the effect of a point pollutant source", Wessex Institute of Technology, United Kingdom and Universita degli Studi di Udine, Italy, 2002.
David J, "Hydrologic modeling of New England River Basins using radar rainfall data", Massachusetts Institute of Technology, Dept. of Earth, Atmospheric and Planetary Sciences, Bibliography: p. 157-164, 1988.
Gülbaz S, Kazezyılmaz-Alhan C.M, "Kinematik ve Dinamik Dalga Modelleri ile Akarsu Debisi Analizi". Ulusal Su ve Enerji Konferansı, Artvin, pp:363-372, 2008.
Gündüz O, "Ankara su temini projesi kapsamında önerilen Işıklı Baraj Gölü için su kalitesi yönetim stratejilerinin geliştirilmesi", ODTÜ Çevre Müh., 236s, Türkiye, 1997.
Gündüz O, "Büyük havzalarda birleşik akım ve kirletici taşınımı modellenmesi", İnşaat ve Çevre Müh. Bölümü, Georgia Institute of Technology, 467s Atlanta, A.B.D., 2004.
Gündüz O, Aral M, "Aşağı Altamaha Havzası'nın hidrolojik modellemesi", Georgia Su Kaynakları Konferansı Bildiriler Kitabı, Georgia, A.B.D, 2003.
http://tr.wikipedia.org/wiki/G%C3%B6ksu_Deresi
Huber W, Dickinson R, "Storm Water Management Model, Version 4, User's Manual", GA.: Environmental Research Laboratory, Office of Research and Development, U.S. Environmental Protection Agency (EPA), Athens, 1988.
Jeffrey G, "Hydrologic modeling of the Indus River Basin in Pakistan", Grassland Soil and Water Research Laboratory, Temple, Texas, 2007-2010.
Karabulut A, Arıkan A, Tezcan L, "CBS (Coğrafi Bölge Sistemleri) kullanılarak dağınık parametreli hidrolojik model uygulaması" Proceedings of the 52nd Geological Congrees of Turkey, Ankara, Türkiye, 1999.
Karpuzcu M, "Su havzalarında kirlenme durumlarının incelenmesi ve kalite durumlarının tesbiti projesi (Marmara Havzası)", Boğaziçi Üniv., Çevre Bilimleri Enst., İstanbul, 1992.
Kazezyılmaz-Alhan C.M, Medina M.A, Jr and Richardson C.J, "A Wetland Hydrology and Water Quality Model Incorporating Surface Water/Groundwater Interactions", Water Resources Research 43 (4): Art. No. W04434, 2007.
Kazezyılmaz-Alhan C.M, Medina M.A, Stepner D, "Wetland Hydrology and Water Quality Modeling of Duke University Restored Wetland Site" Proceedings of the 11th International Conference on Environmental Science and Technology, Chania, Crete, Greece, pp: A588-A595, 2009.
Rossman L, "Storm Water Management Model, User's Manual, Version 5", Water Supply and Water Resources Division National Risk Management Research Laboratory, Cincinnati, OH, U.S. Environmental Protection Agency, EPA/600/R-05/040, 2005.
Rudra R, Gharabaghi B, Gebremeskel S, Das S, Bai H, "Hydrological and water quality

modeling in the Ontario River basins and comparison of model results", Canada, 2000.
Runkel R, Bencala K, "Transport of reacting solutes in rivers and streams", In: Singh, V.P. (Ed.), Environmental Hydrology, Kluwer Academic Publishers, 1995.
Soyupak S, "Tuz Gölü'ne azot ve fosfor taşınım modellemesi", AFP Proje Kod No: 89-03-11-01, Ankara, 1990.
Şensoy A, Sorman A, Usul N, "Hydrologic modeling of Karasu Basin using Geographic Information Systems", ESRI European, Middle Eastern and African User Conf., 2000.
Taşdemir Y, Kaynak A, "Nilüfer Çayı'nın su kalitesi ve kirlilik yükleri", IV. Ulusal Çevre Mühendisliği Kongresi, 332-340, İçel, 2001.
Yao H, Terakawa A, "Distributed hydrological model for Fuji River Basin", Journal of Hydrologic Engineering, Vol. 4, No. 2, pp. 108-116, Japan, 1999.

Akarsu Havzalarında Erozyon Ve Katı Madde Hareketi İçin Yağış Simülatörü Geliştirilmesi

Kaan Koca [1], Hafzullah Aksoy [2], Özgür Durmuş [3], N. Erdem Ünal [4]
Şevket Çokgör [5], Abdullah Gedikli [6], Jaeyoung Yoon [7]

Özet: Toprak erozyonu, toprak parçacıklarının yağış, akış ve rüzgar gibi etmenlerle zeminden aşındırılıp, taşınması olarak tanımlanır. Erozyon, dünyanın yüzleştiği en ciddi problemlerden biridir. Erozyon araştırmalarında matematik modeli kalibre etmek için arazi ve laboratuvar deney verileri kullanılır. Yağış simülatörleri bu verilerin elde edilmesinde kullanılan vazgeçilmez araçlardır. Yağış simülatörü doğal yağmurun fiziksel karakteristiklerini mümkün olduğunda iyi benzeştirmelidir. Bu çalışmada, yağış simülatörleri tanıtılmış, konu ile ilgili literatür taranmıştır. Bu bilgiler ışığında geliştirilen İTÜ Yağış Simülatörü hakkında bilgi verilmiştir.

Anahtar Sözcükler: Erozyon; Yağış Simülatörü; Yağış Şiddeti; Norton Yağış Simülatörü; VeeJet Püskürtcüler

Development of a Rainfall Simulator for Erosion and Sediment Transport

Abstract: Soil erosion is the movement of soil particles detached by the factors such as rainfall, runoff and wind. Soil erosion is one of the most serious problem the world faces today. Field and laboratory experimental data are used in order to calibrate mathematical models in soil erosion studies. Rainfall simulators are used to obtain such data. A rainfall simulator should simulate the physical characteristics of the natural rainfall as closely as possible. In this study, the rainfall simulators were described, literature related to this issue was investigated. Finally, information on the ITU Rainfall Simulator which is being developed at the moment is provided.

Keywords: Erosion; Rainfall Simulator; Rainfall Intensity; Norton Rainfall Simulator; VeeJet nozzles

[1] İTÜ, İnşaat Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 34469 Maslak, İstanbul, E-Posta: kaankoca@itu.edu.tr
[2] İTÜ, İnşaat Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 34469 Maslak, İstanbul, E-Posta: haksoy@itu.edu.tr
[3] İTÜ, İnşaat Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 34469 Maslak, İstanbul, E-Posta: durmusoz@itu.edu.tr
[4] İTÜ, İnşaat Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 34469 Maslak, İstanbul, E-Posta: neu@itu.edu.tr
[5] İTÜ, İnşaat Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 34469 Maslak, İstanbul, E-Posta: cokgor@itu.edu.tr
[6] İTÜ, İnşaat Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 34469 Maslak, İstanbul, E-Posta: gedikliab@itu.edu.tr
[7] Kore Universitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Jochiwon, Korea, E-Posta: jyyoon@korea.ac.kr

1. GİRİŞ

Erozyon her türlü toprak kaybı olarak bilinir ve rüzgar, yağış ya da akış kaynaklı olabilir. Bunlar sırası ile rüzgar erozyonu, yağış erozyonu ve akış erozyonu olarak adlandırılır. Erozyon bir havzada şev yüzeyinde meydana gelebilir ve şevlerde oluşan küçük dereciklerde yoğunlaşabilir. Erozyon ile yerinden sökülen katı madde tanecikleri bulundukları yerden rüzgar, yağış ya da akış ile birlikte taşınır.

Literatür katı madde taşınımı konusunda yapılmış çok sayıda çalışma ile doludur. Konu çok önceden beri ilgi alanı olmuş, karmaşıklığı ve önemi dolayısıyla konu gündemden düşmemiştir. Farklı yaklaşımlar kullanılarak katı maddenin hareketi modellenmeye çalışılmış, bu yaklaşımlar değişik şekillerde sınıflandırılmıştır. Buna göre katı madde taşınımı için geliştirilmiş bir model kavramsal veya ampirik olabilir. Kavramsal modellerde akarsu havzası birbirine paralel veya seri bağlanmış tanklardan oluşan bir sistem olarak düşünülmektedir. Ampirik modeller ise belli bir bölgeden alınan verilere dayandıklarından bu bölge dışında dikkatle kullanılmaları gerekmektedir. Katı madde modeli havza katı madde bütçesinin korunumuna dayanıyorsa, yani kütle korunum denklemleri kullanılıyorsa, fiziksel tabanlı katı madde modeli olarak adlandırılır. ABD'den önemli miktarda veriye dayanan USLE ampirik bir modeldir. ANSWERS adlı katı madde taşınım modelinin kavramsal tabanlı bir hidrolojik bileşeni vardır. LASCAM modeli ise Avustralya'da kullanılan yine kavramsal bir katı madde taşınım modelidir. KINEROS, WESP, SEM, SHESED ve EUROSEM fiziksel tabanlı olarak geliştirilen katı madde modellerinden birkaç tanesidir.

Yağış-akış-katı madde taşınım modellerinde kullanılan parametrelerin kalibrajı gereklidir. Bu amaçla arazide ya da laboratuvar ortamında gözlenen verilere gereksinim duyulur. Yağış simülatörleri bu amaçla kullanılan deney sistemleri olup doğada ya da laboratuvarda kurulmaları mümkündür. 1930'lu yıllardan beri kullanılan bu simülatörler sayesinde doğal yağmurun fiziksel özelliklerine benzer yağış üretilebilir.

Bu çalışmada yağış simülatörleri ile ilgili bir inceleme yapılmış ve İTÜ İnşaat Fakültesi'nde yapımı devam eden yağış simülatörü hakkında bilgi verilmiştir.

2. YAĞIŞ SİMÜLATÖRLERİ

2.1. Genel

Doğada yağmurun oluşumu karmaşık bir süreçtir. Bu nedenle geliştirilecek yağış simülatörleri doğa şartlarında oluşabilecek yağmurun fiziksel özelliklerini mümkün olduğunca benzeştirmelidir. Örneğin; benzeştirilen yağmurun damla çapı dağılımı doğadaki yağmurunkine benzer olmalıdır. İdeal bir yağış simülatörü, üretilmesi ve işletilmesi pahalı olmayan, yağışı mükemmel şekilde uygulayan, hareket ettirmesi kolay ve istenildiği yerde ve şekilde kullanılabilen simülatördür (Meyer, 1958). Çoğu araştırmacıya göre bu bir ütopyadır. Bundan dolayı yağış simülatörü geliştirme çabaları günümüzde de devam etmektedir.

Yağış simülatörleri doğada yağmur yağmasını beklemeden ölçüm yapmaya imkan verir. Ayrıca doğal yağmurun kararsız durumunu ortadan kaldırır, kontrollü ve üniform

yağmurla çalışma imkanı sağlar. Araştırmalarda hangi tür ve boyutlarda simülatör kullanılacağına çalışmanın amacına göre karar verilir. Sızma ve akış çalışmaları için benzeştirilen yağmurun, doğal yağmurun karakteristiklerini tam olarak yansıtması gerekli değildir. Erozyon çalışmalarında ise benzeştirilen yağmur, doğal yağmurun karakteristiklerini mümkün olduğunca yansıtmalıdır.

Doğal yağmuru benzeştirmede kullanılacak yağış simülatöründe göz önüne alınması gereken en önemli yağmur karakteristikleri; damla çapı dağılımı, yağmurun zemine çarpma hızı ve şiddetidir. Bu üç faktör, akışın oluşmasında ve toprağın aşınmasında anahtar rol oynar.

Literatürde iki çeşit yağmur üretici mekanizma vardır. Bunlardan birisi, yağmur damlası bir başlangıç hızına sahip olacak şekilde çalışan basınçlı püskürtücülerdir. Diğeri ise yağmurun başlangıç hızı olmaksızın yerçekimi etkisiyle ivmelenip hız kazanmasına olanak veren damla şekillendirici püskürtücülerdir.
Erozyon çalışmalarında ve hidrolojik çalışmalarda kullanılacak yağış simülatörleri için arzu edilen karakteristikler aşağıdaki gibidir:

1. Damla çapı dağılımı: Benzeştirilen yağmurun damla çağı dağılımı doğadaki yağmur damlası çapı dağılımına benzer olmalıdır. Doğada yağmur damlalarının çapı 7 mm'ye kadar çıkabilmektedir. Yağmur damlaları çapının dağılımı oldukça değişkendir ve yağış şiddetinin artmasıyla büyük çapa sahip damlaların oranı artar. Erozyon meydana gelebilmesi için damla çapı ortalama 1 mm ile 3 mm arasında olan yağış yeterli olmaktadır.

2. Damla limit hızı: Doğal yağmur sonucu oluşan damlalar havadayken yerçekimi kuvveti etkisiyle ivmelenir ve zemine çarpmadan önce maksimum hızlarına ulaşır. Buna damla limit hızı denir. Limit hız damla çapının fonksiyonudur ve yağışın düşme mesafesi ile doğrudan ilgilidir. Örneğin, 2 mm çapa sahip yağmur damlalarının 6-7 m/s arasında bir hızla düştüğü gözlenmiştir.

3. Kinetik Enerji: Yağmurun kinetik enerjisi damlaların ortalama kinetik enerjisidir. Kinetik enerji hız ve damla çapının fonksiyonu olup, erozyona etki eden en önemli parametredir. Bu değerler tam olarak elde edilemediği için kinetik enerji yalnızca yağışın şiddeti ve süresine bağlı ifadeler ile belirlenmektedir.

4. Doğada yağışın şiddeti sürekli olarak değişmekte, 150 mm/saat'e kadar çıkabilmektedir. Genel olarak çok düşük yağış şiddetleri, erozyon ve hidrolojik çalışmalar açısından önemli olmamakla beraber, çok büyük yağış şiddetlerinin incelenmesi ise istisnai durumlarda uygulanmaktadır. Erozyon çalışmaları ve hidrolojik çalışmalar bakımından en çok incelenen yağış şiddeti aralığı 12 ile 120 mm/saat'dir.

Yağış ile ilgili bu karakteristiklerin elde edilebilmesi için yağış simülatörünün aşağıdaki koşulları sağlaması beklenir:

1. Çalışmanın amacına göre yağmurun uygulanacağı alan gerçekçi sonuçlar verebilecek kadar büyük olmalı ve yağış simülatörü de bu alana yağmur uygulayabilmelidir.

2. Yağmur damlası karakteristikleri ve şiddeti çalışma alanı üzerinde olabildiğince üniform dağılmalıdır.

3. Yüksek sıcaklık ve rüzgara karşı önlem alınmalı, rüzgardan etkilenmemesi için arazi çalışmalarında, yağış simülatörünün etrafı korunmalıdır.

4. Simülatör mümkün olduğunda hafif ve portatif olmalı, gerektiğinde çalışma alanları arasında rahatça taşınabilmelidir. Fakat bu şartı sağlarken sistemin stabil olmasına da dikkat edilmelidir.

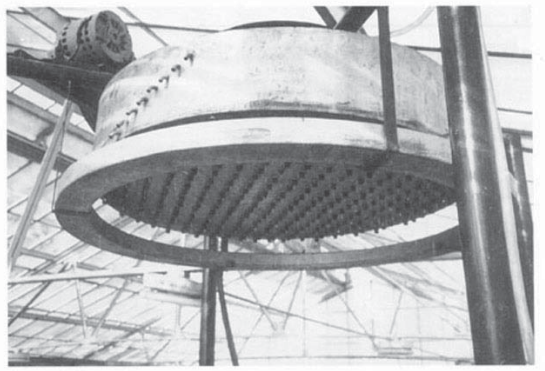
Yağış simülatörü bu karakteristiklere sahip olmalı; ama tüm bu karakteristikleri tam olarak sağlaması beklenmemelidir.

2.2. Literatür

Yağış simülatörleri 1930'lu yıllardan bu yana toprak erozyonu, akış karakteristiklerinin belirlenmesi, sızma, erozyon kontrolü gibi çalışmalarda kullanılmaktadır. Arada geçen 80 yıl boyunca araştırmacılar yağmuru en doğru şekilde benzeştirmek için birçok teknik ve donanım kullanmıştır. Yağış simülatörlerinin en önemli bileşeni, simule edilen yağmur damlalarını üretecek damla şekillendiricilerinin seçimidir. Bu nedenle deneyin amacına göre önce damla üretim aracı seçilir, daha sonra gerekli mekanik ve elektronik bileşenler geliştirilir.

Yağış simülatörleri "damla şekillendirici" ve "basınçlı püskürtücü" simülatörleri olmak üzere iki gruba ayrılır (Thomas ve Swaify, 1989). İki tür simülatörde de yağış şiddetinin kolayca kontrol edilmesine ihtiyaç vardır. Yağış şiddeti gerektiği zaman sabit tutulabilmeli, gerektiği zaman da değiştirilebilmelidir. Ayrıca benzeştirilecek yağmurun, damla hızları ve damla çapı dağılımı, doğadakine mümkün olduğunca benzer olmalıdır.

Şekil 1'deki gibi damla şekillendirici simülatörlerde damlalar boruların ucundan başlangıç hızları olmaksızın yerçekimi etkisiyle ivmelenerek serbest düşmeye bırakılır. Damlaların ağırlığı, yüzey gerilme kuvvetlerini aştığı zaman damlalar düşmeye başlar (Gunn ve Kinzer, 1949). Damlanın boyutu borunun boyutuna bağlıdır. Bu tür simülatörlerin en önemli avantajı damlaların boyutlarının ve düşme hızlarının sabit olmasıdır. Buna ek olarak yağmurun dağılımı üniformdur ve düşük basınç altında da yağmurun istenilen fiziksel özelliklerine ulaşılabilir. Ancak bu simülatörde yağmur damlalarının limit hızlarına ulaşması için borular yerden 10 m'yi aşkın bir yüksekliğe konulmalıdır. Mesela, 5 mm çapındaki yağmur damlasının limit hızına ulaşabilmesi için 12 m gibi bir düşme mesafesine ihtiyacı vardır. Ayrıca belli bir yağış şiddetinde, bu simülatörler aynı şartlar altındaki doğal yağmurdan daha düşük kinetik enerjiye sahip olma eğilimi gösterir.



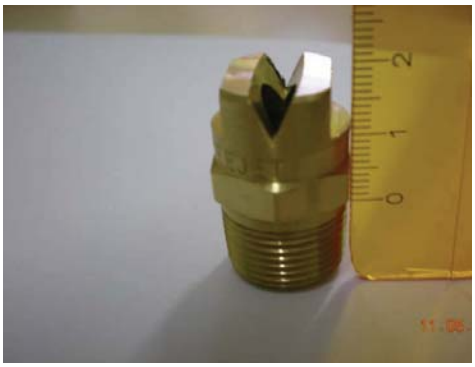
Şekil 1. Damla şekillendirici yağış simülatörü (http://www.fao.org/docrep/t0848e/t0848e-11.htm)

Basınçlı püskürtücüler ise birçok kullanım amacı için uygundur. Bu tarzdaki simülatörlerin yağış şiddetleri damla şekillendiricilere göre değişebilmektedir (Grierson ve Oades, 1977). Ayrıca damlalar püskürtücüden belli bir basınç altında çıktığından bu simülatörlerden üretilecek yağmur damlaları daha düşük mesafelerde limit hızlarına ulaşabilmektedir. Yağışın şiddeti, püskürtücünün orifis çapıyla, püskürtücüdeki hidrolik basınç ve püskürtücüler arasındaki mesafeyle değişmektedir (Meyer, 1979).

Püskürtücüdeki suyun yüksek basıncından dolayı yağış şiddeti ve damla hızları sıklıkla arzu edilen değeri aşar ve bu da doğal olmayan yağış koşulları meydana getirir. Bu problemin üstesinden gelebilmek için püskürtücüyü açıp-kapamak, sürekli akımdan saptırmak için hareket eden diskler, hareket eden kollar ve titreşimli püskürtücü kullanmak gibi yöntemler denenmiştir. Deneyler sonucunda titreşimli kol üzerinde veya hareket eden kol üzerinde kullanılan püskürtücünün en uygun olduğu anlaşılmıştır (Bubenzer, 1979b).

Doğal yağışın karakteristiklerinin belirlenmesi için ilk çalışmalar 1940 yıllarında yapılmıştır. Laws (1941), yağmur damlası düşme hızını, yağmur damlası çapını ve düşme yüksekliğini çalışmıştır. Laws ve Parsons (1943) yağmur damlalarının çap dağılımı ve yağış şiddeti ile ilgilenmiştir.

1940 yılından sonra yapılan çalışmalarda birçok püskürtücü denenmiştir. Daha sonra simülatör çalışmaları Meyer (1958) tarafından devam ettirilmiş olup, 1950'li yılların sonlarına doğru ABD Tarım Araştırma Birimi, Lafayette'de arazi çalışmaları için kullanılmak üzere bir yağış simülatörü oluşturmuştur (Meyer ve McCuen, 1959). Meyer (1958), VeeJet 80100, VeeJet 8070, FullJet 106SQ, FullJet 50SQ isimli dört adet püskürtücüyü denemiş, bu püskürtücüleri damla hızı, damla çapı dağılımı, kinetik enerjileri bakımından değerlendirmiştir. VeeJet tipi basınçlı püskürtücülerin doğal yağmurun fiziksel özelliklerini en iyi yansıtan püskürtücü olduğu gözlenmiş, nitekim 1959 yılında geliştirilen Rainulatör' de de VeeJet 80100 (Şekil 2) basınçlı püskürtücüsü kullanılmıştır.



Şekil 2. Basınçlı Püskürtücü VeeJet 80100

Simülatörde kullanılan püskürtücüler 2.44 m yükseklikten 41 kPa basınca sabitlenip, taradıkları çizgisel alan açısından değerlendirilmiş ve doğal yağmur damlalarının dağılımına oldukça benzer damla dağılışı verdiği gözlenmiştir. Ek olarak, Meyer ve McCune (1959) VeeJet 80100 tipi püskürtücülerden çıkan damlaların 41 kPa basınç altında 8.8 m/s çıkış hızına sahip olduğunu ve bu damlaların 3 m yükseklikten limit hızlarına ulaşıp, 4 mm'den küçük damla çapı oluşturduğunu belirlemiştir. Daha sonra doğal yağmur sonucu alınan veriler ile, Meyer ve McCuen (1959) tarafından geliştirilen simülatörden elde edilen veriler karşılaştırılmış ve simülatörün erozyon çalışmaları için kabul edilebilir sonuçlar verdiği anlaşılmıştır. Bu simülatörde püskürtücünün ürettiği yüksek yağış şiddetini düşürmek için sabit konumdaki püskürtücüyü ileri-geri hareket ettiren bir sistem kullanılmıştır (Şekil 3).



Şekil 3. Rainulator, 1960-1970 Tarım Araştırma Merkezi, Indiana, ABD (http://www.stormwater.ucf.edu/conferences/presentations/Norton%2520Rainfall%2520simulator.pps+norton+rainfall+simulator&cd=2&hl=tr&ct=clnk&gl=tr)

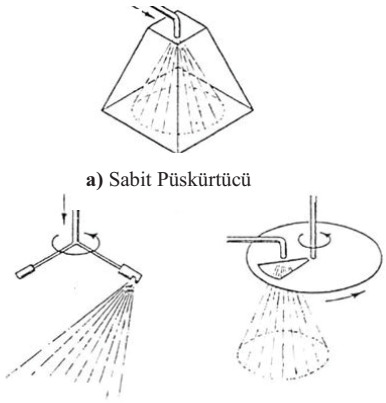
Swanson (1965) tarafından geliştirilen simülatörde de VeeJet 80100 püskürtücüleri kullanılmıştır. Dönerek hareket eden on adet kol üzerine yerleştirilen püskürtücülerden oluşan bu simülatörde, hareketli kollar üzerine sabitlenen püskürtücüler sürekli yağmur üretmekte, akım dairesel bir yol izlemektedir (Şekil 4).



Şekil 4. Swanson'un hareketli kollardan oluşan simülatörü (http://www.stormwater.ucf.edu/conferences/presentations/Norton%2520Rainfall%2520simulator.pps+norton+rainfall+simulator&cd=2&hl=tr&ct=clnk&gl=tr)

Meyer ve Harmon (1979) ile Neiblin ve diğ. (1981) tarafından geliştirilen simülatörde yağış şiddeti püskürtücünün titreşimiyle kontrol edilmiş ve istenilen şiddette yağmur elde edilmiştir. Yağış şiddeti püskürtücünün frekansı ile artmaktadır.

Morin ve diğ. (1967) dönerek hareket eden diskten oluşan simülatör sistemlerinde full-jet püskürtücüler kullanmıştır (Şekil 5). Bu simülatörle yağış şiddeti, püskürtücünün altında kullanılan ve hareket eden diskin üzerindeki deliklerin boyutuyla belirlenir. Bu simülatörde yaklaşık 35 mm/saat'lik yağış şiddetinde, doğadaki yağmurun ve simule edilen yağmurun damla çapı dağılımları benzer olmasına rağmen, simule edilen yağmurun kinetik enerjisi doğadakinden daha küçüktür.



a) Sabit Püskürtücü

b) Dönen Püskürtücü **c)** Dönen diskli sabit püskürtücü

Şekil 5. Püskürtücü Çeşitleri (http://www.fao.org/docrep/t0848e/t0848e-11.htm)

Norton (1998) tarafından geliştirilen Norton Yağış Simülatörü (Şekil 6) tüm dünya tarafından kullanılmaya başlanmıştır. Simülatör üzerinde birbirinden 1.37 m uzaklıkta

bulunan VeeJet püskürtücüler bulunmaktadır. Bu püskürtücü 6 psi (41 kPa) basınçta doğadaki yağmurun damla çapı dağılımına benzer sonuçlar vermektedir (Bubenzer, 1979a). Püskürtücüler zeminden 2.5 m yükseklikte bulunmaktadır.



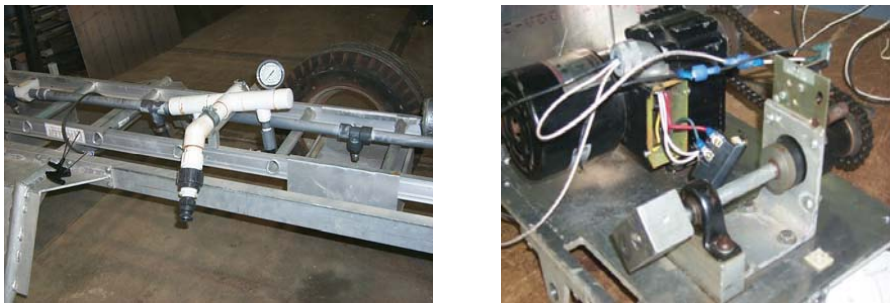
Şekil 6. Norton Yağış Simülatörü
(http://www.stormwater.ucf.edu/conferences/presentations/Norton%2520Rainfall%2520simulator.pps+norton+rainfall+simulator&cd=2&hl=tr&ct=clnk&gl=tr)

Bu tür simülatörler 5 ve 43.9 ^{0}C arasındaki sıcaklıkta ve %20 arazi eğimine kadar güvenli olarak çalışabilmektedir. Norton Yağış Simülatörü'nde VeeJet 80100 ve VeeJet 80150 olmak üzere iki çeşit basınçlı püskürtücü kullanılmaktadır.

Norton Yağış Simülatörü 41 kPa basınçta çalıştırılmak üzere geliştirilmiştir. Bu basınç altında VeeJet 80100 püskürtücülerden suyun çıkış hızı 8.8 m/s'dir. Püskürtücülerden 14.75 l/dak su çıkışı olmaktadır. Ayrıca VeeJet 80100 püskürtücüler için yağış enerjisi 200 kJ/ha-mm, VeeJet 80150 püskürtücüler için ise 275 kJ/ha-mm'dir. Bu değerler doğadaki yağmurun kinetik enerji değerleriyle uyuşmaktadır (Meyer ve Harmon, 1979). Norton Yağış Simülatörü'nde yağışın şiddeti, süpürücünün frekansını ayarlayabilen bir devre aracılığıyla gerçekleştirilir. Süpürücünün frekansının yüksek olması daha büyük yağış şiddetine, düşük olması daha düşük yağış şiddetine denk gelmektedir. Üzerinde neredeyse yağış simülatörü için gerekli olabilecek tüm yağış şiddetlerini ayarlayabilen 10 adet hazır, 2 adet de değiştirilebilen kontrol edici devresi bulunmaktadır. VeeJet 80100 cinsi püskürtücü için en düşük yağış şiddeti 9.65 mm/saat, en yüksek yağış şiddeti ise 104.24 mm/saat olarak ayarlanmıştır.

Norton Yağış Simülatörü için genelde VeeJet 80100 cinsi püskürtücü kullanılmış olsa da, bu daha yüksek yağış şiddetleri hedeflendiği anda VeeJet 80150 ile değiştirilebilir. Unutulmaması gereken nokta, iki püskürtücünün yağış oranları ve dolayısıyla yağış dağılışları farklı olacağından, yağış şiddetlerini belirlemek için her birinin ayrı ayrı kalibrajının yapılması gerekmektedir.

100 mm/saat'ten daha büyük yağış şiddetinin kullanılması durumunda VeeJet 80150 cinsi püskürtücüler kullanılmalıdır. Norton Yağış Simülatörü'nde kullanılan düzenek Şekil 7'de verilmiştir.



a) Püskürtücü Detayı **b)** Motor detayı

Şekil 7. Norton Yağış Simülatörü püskürtücü detayı
(http://www.stormwater.ucf.edu/conferences/presentations/Norton%2520Rainfall%2520simulator.pps+norton+rainfall+simulator&cd=2&hl=tr&ct=clnk&gl=tr)

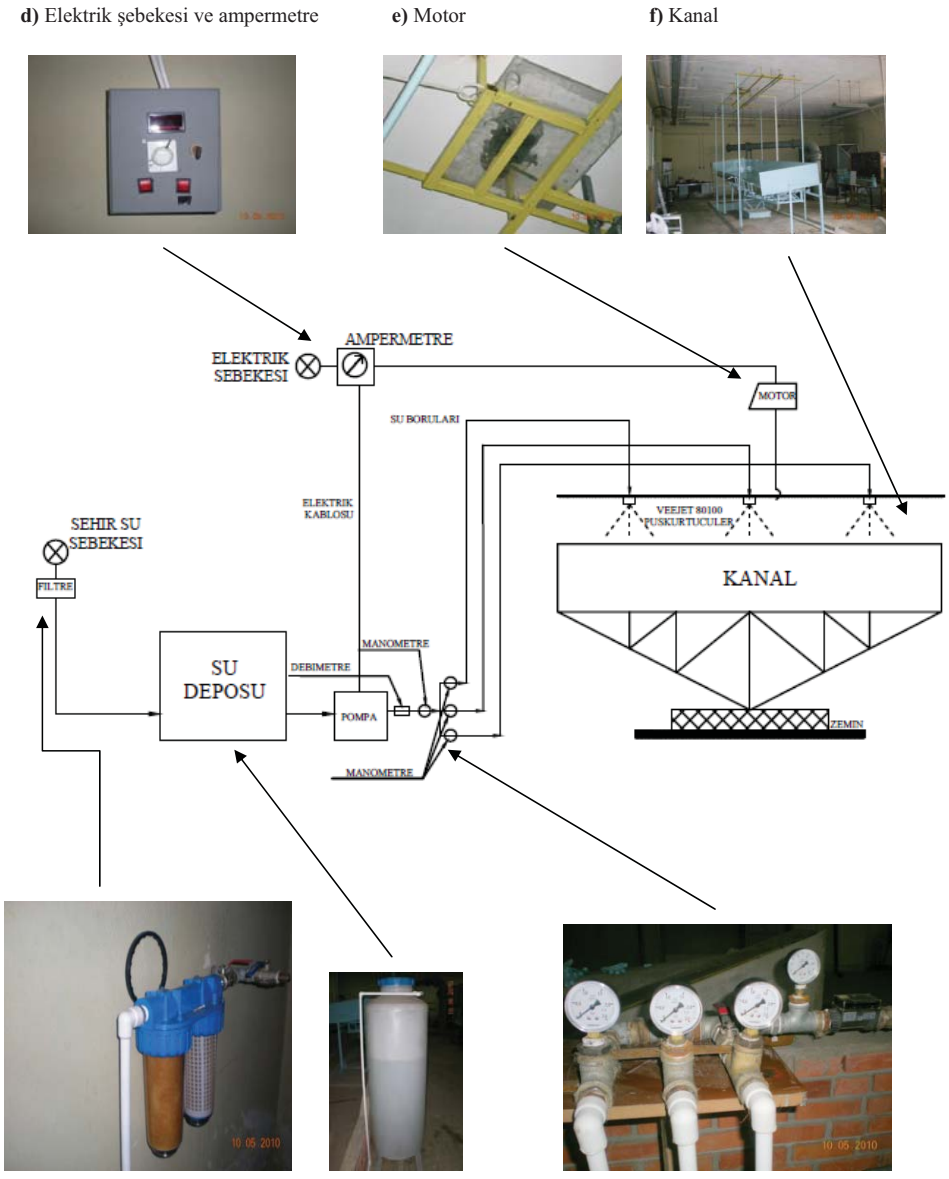
3. İTÜ YAĞIŞ SİMÜLATÖRÜ

TÜBİTAK destekli bir proje kapsamında halen geliştirilmekte olan fiziksel tabanlı erozyon ve katı madde hareketi modelinde, deneysel verilerle kalibrasyonu için İTÜ İnşaat Fakültesi Hidrolik laboratuvarında bir yağış simülatörü kurulmuştur (Şekil 8). Böylece yağış-akış-katı madde verilerinin elde edilmesi planlanmaktadır. Deneyler İTÜ İnşaat Fakültesi Hidrolik Laboratuvarında yer alan genişliği 1.0 m, uzunluğu 6.0 m, derinliği 25 cm olan; boyuna ve enine doğrultuda eğimi değiştirilebilen bir kanalda yapılmaktadır. Kanalın 25 cm'lik kısmı su ve erozyon malzemesini toplamak üzere ayrılmıştır. Buradan istenilen noktadan erozyona uğrayan malzeme ve yüzeysel akış ölçülebilecektir.

Deneylerde, kullanılmak üzere geliştirilen yağış simülatörü yukarıda değinildiği üzere geniş bir literatür taraması sonucunda oluşturulmuştur. Şehir şebekesinden çekilen su önce filtre yardımıyla arıtılır (Şekil 8a). Ardından 2.5 cm çapındaki borular yardımıyla yarım ton kapasiteye sahip su deposuna (Şekil 8b) aktarılır. Su, depodan aynı çaptaki borular ve pompa aracılığı ile püskürtücülere iletilir. Aralarındaki mesafe 1.47 m olan üç adet VeeJet 80100 tipi püskürtücü, kanaldan yaklaşık 2.5 m yüksekliğe yerleştirilmiştir. Püskürtücülerdeki su deneyler boyunca 41 kPa basınca sahip olacaktır. Bunun kontrolü için depoya bağlı ve püskürtücüye su sağlayan boruların girişine 2.5 kPa basınca kadar ayarlanabilen manometreler yerleştirilmiştir (Şekil 8c). Ayrıca depodan çekilen su miktarını belirlemek için pompanın çıkışına debimetre yerleştirilmiştir. Deneyler sırasında kullanılacak yağış şiddetini ayarlamak için püskürtücülerin üzerinde bulunduğu kolun titreşiminin frekansını ayarlayabilen ampermetre (Şekil 8d) kullanılmıştır. Titreşimi sağlayacak 1 hp (0,746 W)'lik güce sahip bir motor (Şekil 8e), kanalın (Şekil 8f) 2.5 m kadar üzerinde püskürtücülerin bulunduğu profilin üstüne yerleştirilmiştir.

Simülatörün yağmuru benzeştirdiği alanda yağışın dağılımını belirlemek için, kanalın uzunluğu ve genişliği boyunca, 50 ml kapasiteye sahip 5 cm çaplı ölçekler yerleştirilip yağmur uygulanmıştır. Bu ölçeklerde biriken su miktarları ölçülmüş, simülatörün

yağmuru kanalın 1 m genişliği boyunca homojen olarak dağıttığı belirlenmiştir. Boyuna doğrultuda üniformluğu sağlamak amacıyla simülatör deneyleri halen devam etmektedir.



Şekil 8. İTÜ Yağış Simülatörü ve elemanları

Literatürde kanal boyutları daha küçük olan deney sistemlerine ait veriler yayınlanmıştır. Kanala iki doğrultuda eğim verilebilmesi iki boyutlu çalışma olanağı sağlayacaktır. Bu yüzden bu deney düzeneğinin sağlayacağı erozyon verilerinin mevcut verilere göre daha anlamlı olması beklenmektedir.

4. SONUÇ

1950'li yıllardan beri yapılan çalışmalar, yağmuru benzeştiren en uygun yağmur püskürtücüsünün VeeJet 80100 tipi basınçlı püskürtücüler olduğunu göstermiştir. Son zamanlarda 100 mm/saat'ten daha yüksek yağış şiddetlerini elde edebilmek için VeeJet 80150 tipi püskürtücüler de yaygın olarak kullanılmaktadır. Norton Yağış Simülatörü, kolayca taşınabilmesi, hafifliği (127.5 kg), VeeJet 80100 ve 80150 cinsi püskürtücüleri kullanabilmesi açısından arazi ve laboratuvar deneylerinde kullanılan en yaygın yağış simülatörüdür. Bunun dışında simülatörleri üreten az sayıda firma olduğundan araştırmacılar genellikle kendi yağış simülatörlerini kendileri üretmektedir.

Üretilecek yağış simülatörleri hafif olmalı, laboratuvarda ve arazide kolaylıkla kullanılabilmelidir. Ayrıca benzeştirilen yağmurun damla çapı dağılımı mümkün olduğunca doğal yağmurunkine benzemelidir. Elde edilecek bütün verilerin önceki simülatörlerden elde edilen veriler ile kalibrajı da yapılmalıdır.

Geniş bir literatür taraması sonucunda İstanbul Teknik Üniversitesi'nde geliştirilen yağış simülatörünün, kullanılan kanalın hem boyutları hem de kanala iki doğrultuda eğim verilebilmesi açısından literatürde mevcut eşdeğerlerinden üstün olduğu düşünülmektedir.

5. TEŞEKKÜR

Bu çalışma TÜBİTAK-KRF (Kore Araştırma Vakfı) ortak destekli 108Y250 no'lu "Akarsu Havzaları için Yamaç Ölçeğinde Katı Madde Taşınım Modeli Geliştirilmesi" adlı uluslararası projeye dayanmaktadır.

6. KAYNAKLAR

Bubenzer GD, "Rainfall characteristics important for simulation", in Proc. Of the Rainfall Simulator Workshop, U.S. Department of Agriculture Science and Administration Agricultural Reviews and Manuals, Tucson, Arizona, 22-34, 1979a.

Bubenzer GD, "Rainfall characteristics important for simulation", in Proc. of the Rainfall Simulator Workshop, U.S. Department of Agriculture Science and Administration Agricultural Reviews and Manuals, Tucson, Arizona, 120-131, 1979b.

Grierson IT, Oades JM, "A rainfall simulator for field studies of run-off and soil erosion", Agricultural Engineering Research, 22: 37-44, 1977.

Gunn R, and Kinzer GD, “The Terminal Velocity of fall for water droplets”, Journal of Meteorology, 6: 243-248, 1949.

Laws JO, Parsons DA, “Measurements of fall velocity of water drops and raindrops”, Transactions of American Geophysics Union, 22: 709-721, 1941.

Laws JO, Parsons DA, “The relationship of raindrop size to intensity”, Transactions of American Geophysics Union , 24: 452-459, 1943.

Meyer LD, “An investigation of methods for simulating rainfall on standard runoff plots and a study of the drop size, velocity and kinetic energy of selected spray nozzles”, “USDA Special Report 81”, Lafayette, Indiana, 1958.

Meyer LD, McCune DL, “Rainfall simulator for runoff plots”, Agricultural Engineering, 10: 644-648, 1959.

Meyer LD, “Methods for attaining desired rainfall characteristics in rainfall simulators”, in Proc. Of the Rainfall Simulator Workshop, U.S. Department of Agriculture Science and Administration Agricultural Reviews and Manuals, Tucson, Arizona, 35-44, 1979.

Meyer LD, Harmon WC, “Multiple intensity rainfall simulator for erosion research on row sideslopes”, Transactions of the American Society of Agricultural Engineers, 22*:* 100-103, 1979.

Morin J, Goldberg D, Seginer I, “A rainfall simulator with rotating disk”, Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*, 10:* 74-79, 1967.

Neibling WH, Foster GR, Natternam RA, Nowhin JO, Holbert PV, “Laboratory and field testing of a programmable plot-sized rainfall simulator”, In: Erosion and Sediment Transport Measurement, Proceedings to the Florence Symposium, IAHS, 133: 405-414, 1981.

Swanson NP, “Rotating boom rainfall simulator”, Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*, 8:* 71-72, 1965.

Thomas NP, Swaify SA, “Construction and calibration of a rainfall simulator,” Journal of Agricultural Engineering Research, 43: 1-9, 1989.

Gr4j Günlük Yağış Akış Modeli Ve Gediz Havzasında Uygulanması

Ahmet Ali Kumanlıoğlu[1], **Okan Fıstıkoğlu**[2]

Özet: Sunulan çalışmada, sızma, evapotranspirasyon, perkolasyon gibi hidrolojik süreçlerin kavramsal olarak modellenmesine dayanan "Génıe Rural a 4 Parameters Jourlaier" (GR4J) günlük yağış akış modeli incelenmiştir. Model, Gediz havzasında yer alan ve Demirköprü barajını besleyen Murat kolunun günlük akımları için kurulmuş; model girdisini oluşturan alansal yağış değerleri ve evapotranspirasyon tahminleri Uşak, Simav ve Gediz meteoroloji istasyonlarından elde edilmiştir. Modelin dört parametresi 2005 su yılı akımlarıyla kalibre edilerek belirlenmiş ve bu parametreler 2006 su yılı akımlarıyla sınanmıştır. Çalışmada GR4J modelinin bölgede günlük akımların tahmin edilmesinde kullanılabilir bir araç olduğu gösterilmiştir.

Anahtar Sözcükler: GR4J modeli; günlük yağış-akış modeli; Gediz Havzası

Application Of The Gr4j Daily Rainfall Runnoff Model In Gediz River Basin

Abstract: In this study, Génıe Rural a 4 Parameters Jourlaier (GR4J) daily rainfall runoff model that includes modeling of hydrological process such as infiltration, evapotranspiration, percolation, is examined. Model is implemented to Murat Tributary in Gediz River Basin that is discharged to Demirköprü Dam. The meteorological inputs, the areal rainfall and temperature based evapotranspiration, are derived from Simav, Gediz and Uşak meteorological stations. Four model parameters are calibrated in the water year of 2005 and verified in 2006 water year. Finally the study performs that GR4J model is a feasible tool for modeling daily runoff for this region.

Keywords: GR4J; daily rainfall-runoff model; Gediz river basin,

[1] Dokuz Eylül Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İzmir, E-Posta: ahmet.kumanlioglu@deu.edu.tr
[2] Dokuz Eylül Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İzmir, E-Posta: okan.fistikoglu@deu.edu.tr

1. GİRİŞ

Parametrik yağış-akış modelleri, günümüzün su kaynakları araştırmalarında önemli bir yer tutmaktadır. Söz konusu modeller, havzaların yağış-akış dönüşüm mekanizmalarının açıklanması, akım tahmini ve hidrometeorolojik koşullardaki değişimlerin akımlar üzerindeki etkilerinin araştırılması gibi pek çok farklı amaç için kullanılmaktadırlar (Arnold, ve diğ. 2001, Pandey, ve diğ. 2009; Xu 2000, Xu, ve diğ. 2007, Xu ve Sing 2004).

Akış ve akışı oluşturan yağış, sıcaklık vb. girdiler arasındaki niceleyici ilişkilere dayanan istatistiksel yağış-akış modellerinin aksine, parametrik yağış-akış modelleri, yağışın akışa dönüşüm sürecinde yer alan sızma, evapotranspirasyon, yüzey, yüzeyaltı ve yeraltısuyu akımı gibi bileşenleri de dikkate almaktadır. Parametrik modellerde havza sistemi ne kadar çok alt bileşene ayrılırsa, geliştirilen model yağış-akış dönüşümünü o derecede iyi temsil etmektedir. Ancak, havza sisteminin çok sayıda alt bileşene ayrılması, model içindeki parametre sayısının artmasına; bu da modelin kalibrasyonunun güçleşmesine, neden olmaktadır (Beven, 1993; Lindström, ve diğ. 1997, Refsgaard J C, 1997, Uhlenbrook, ve diğ. 1999). Bu nedenle, uygulamada parametre yoğun modeller yerine az sayıda parametreyle yeter doğrulukta akım tahminleri yapan, tutumlu modeller tercih edilmektedir (Aubert ve diğ. 2003, Bayazıt 1998; Beven, 1989; Manujat 2009, Mroczkowski ve diğ., 1997, Post ve Jakeman 1999).

Sunulan çalışmada, Perrin (2003) tarafından geliştirilen GR4J günlük yağış-akış modeli ve modelin Ege bölgesindeki bir uygulaması incelenmiştir. İki tabakalı bir yapıya sahip olan ve sızma, evapotranspirasyon, perkolasyon gibi hidrolojik süreçleri de dikkate alarak, günlük akımları 4 parametreyle tahmin edebilen model, Gediz havzasındaki Demirköprü barajını besleyen Murat kolu günlük akımları için kurulmuş ve sonuçlar irdelenmiştir.

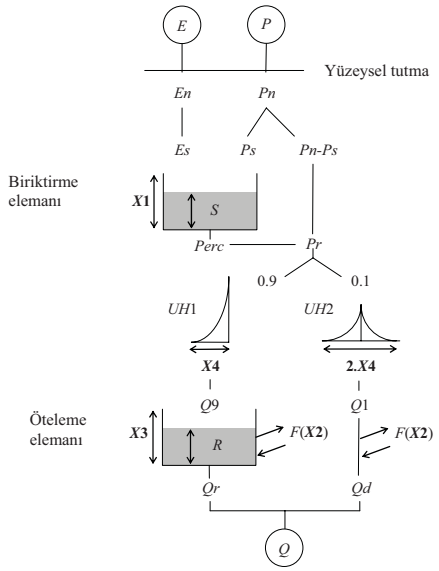
2. GR4J GÜNLÜK YAĞIŞ AKIŞ MODELİ

Basit bir yapıya sahip olan GR4J kavramsal yağış-akış modeli, biriktirme ve öteleme elemanlarından oluşmaktadır. Modelin şematik yapısı Şekil 1'de sunulmaktadır.

Modelde günlük akımları tahmin edebilmek için X_1, X_2, X_3 ve X_4 olmak üzere dört parametre bulunmaktadır. Bu parametrelerden X_1 (mm) biriktirme elemanının depolama kapasitesini, X_2 (mm) yeraltısuyu değişim katsayısını, X_3 (mm) öteleme elemanının depolama kapasitesini, X_4 (gün) ise öteleme elemanı birim hidrografının taban genişliğini ifade etmektedir.

Havzaya düşen alansal yağış (P, mm) ve havzanın potansiyel evapotranspirasyon değerleri (E, mm) modelin girdilerini oluşturmaktadır. Model ilk olarak yağış ile potansiyel evapotranspirasyonu karşılaştırarak yüzeyde kalan net yağışı (P_n, mm) ve net evapotranspirasyon açığını (E_n, mm) hesaplamaktadır (Denklem 1).

$$\begin{aligned} &P > E \quad \text{ise} \quad P_n = P - E \quad ; \quad E_n = 0 \\ &P < E \quad \text{ise} \quad P_n = 0 \quad ; \quad E_n = E - P \end{aligned} \tag{1}$$



Şekil 1. GR4J model yapısı

Yüzeyde kalan net yağış miktarının sıfıra eşit olmaması durumunda, P_s (mm) kadarı biriktirme elemanına gönderilmektedir. P_s, biriktirme elemanının depolama kapasitesinin bir fonksiyonu olarak Denklem 2'de tanımlanmaktadır.

$$P_s = \frac{X_1\left(1-\left(\frac{S}{X_1}\right)^2\right)\tanh\left(\frac{P_n}{X_1}\right)}{1+\frac{S}{X_1}\tanh\left(\frac{P_n}{X_1}\right)} \tag{2}$$

P_s : Biriktirme elemanına geçen yağış yüksekliği (mm)
S : Bir gün önceki biriktirme elemanı depolaması (mm)
P_n : Yüzeyde kalan net yağış (mm)
X_1 : Biriktirme elemanı depolama kapasitesi (mm)

Net evapotranspirasyon açığı miktarının sıfıra eşit olmaması durumunda ise, biriktirme elemanından E_s (mm) kadar evapotranspirasyon kaybı gerçekleşmektedir (Denklem 3). Burada E_n evapotranspirasyon açığı, S biriktirme elemanı depolaması ve X_1 ise biriktirme elemanının depolama kapasitesidir.

$$E_s = \frac{S\left(2-\frac{S}{X_1}\right)\tanh\left(\frac{E_n}{X_1}\right)}{1+\left(1-\frac{S}{X_1}\right)\tanh\left(\frac{E_n}{X_1}\right)} \tag{3}$$

E_s : Biriktirme elemanından çekilen evapotranspirasyon (mm)
E_n : Net evapotranspirasyon açığı (mm)

Biriktirme elemanına giren (P_s) ve çıkan (E_s) su yüksekliklerinin bulunmasıyla süreklilik denklemi yazılırsa, biriktirme elemanında güncellenen su yüksekliği Denklem 4 ile hesaplanmaktadır.

$$S = S + Ps - Es \tag{4}$$

S : Biriktirme elemanında depolanan su yüksekliği (mm)

Modelde, biriktirme elemanından perkolasyon yoluyla çıkan akım yüksekliği (Perc,mm) Denklem 5 ile hesaplanmaktadır.

$$Perc = S\left[1 - \left[1 + \left(\frac{4}{9}\frac{S}{X1}\right)^4\right]^{-1/4}\right] \tag{5}$$

Perc : Biriktirme elemanından perkolasyonla çıkan su yüksekliği (mm)

Bu durumda, biriktirme elemanında su bütçesi tekrar yazılarak depolanan su miktarı Denklem 6 ile güncellenmektedir.

$$S = S - Perc \tag{6}$$

Ötelenme elemanına giden su yüksekliği, net yağıştan kalan su yüksekliği ($P_n - P_s$) ile perkolasyonla gelen su yüksekliklerinin toplamı şeklinde ifade edilmektedir (Denklem 7).

$$P_r = Perc + (P_n - P_s) \tag{7}$$

P_r : Öteleme elemanına gönderilen su yüksekliği (mm)

Modelde öteleme elemanına gönderilen su miktarı (P_r), iki bileşene ayrılmaktadır. Birinci bileşen, P_r'nin %90'ını oluşturmaktadır. Bu su yüksekliği, taban genişliği X_4 gün olan birim hidrograf ile akıma dönüştürülerek öteleme elemanının girdi akımını (Q_9) oluşturmaktadır. İkinci bileşen, P_r'nin kalan %10 luk kısmından meydana gelmektedir. İkinci bileşen ise taban genişliği $2.X_4$ gün olan birim hidrograf ile akıma dönüştürülerek Q_1 akım değeri hesaplanmaktadır.

X_4 ve $2.X_4$ taban genişlikli birim hidrograflar Denklem 8'de verilen S hidrografları kullanılarak elde edilmektedir.

$$
\begin{array}{lll}
t \le 0 & SH1(t) = 0 & SH2(t) = 0 \\
0 < t \le X_4 & SH1(t) = \left(\frac{t}{X_4}\right)^{5/2} & SH2(t) = \frac{1}{2}\left(\frac{t}{X_4}\right)^{5/2} \\
X_4 < t \le 2X_4 & SH1(t) = 1 & SH2(t) = 1 - \frac{1}{2}\left(2 - \frac{t}{X_4}\right)^{5/2} \\
t > 2X_4 & SH1(t) = 1 & SH2(t) = 1
\end{array}
\qquad (8)
$$

S hidrografları bulunduktan sonra UH1 ve UH2 birim hidrografların ordinatları Denklem 9 ile hesaplanmaktadır.

$$
\begin{aligned}
UH1(j) &= SH1(j) - SH1(j-1) \\
UH2(j) &= SH2(j) - SH2(j-1)
\end{aligned}
\qquad (9)
$$

X_4 ve $2.X_4$ günlük birim hidrograflar kullanılarak Q_1 ve Q_9 akım yükseklikleri Denklem 10'da gösterildiği gibi hesaplanmaktadır.

$$
\begin{aligned}
Q_1 &= 0.1\sum_{k=1}^{l} UH1(k) P_r(i-k+1) \\
Q_9 &= 0.9\sum_{k=1}^{m} UH1(k) P_r(i-k+1)
\end{aligned}
\qquad (10)
$$

l : X_4 günden büyük, en küçük tamsayı
m : $2.X_4$ günden büyük, en küçük tamsayı

Yeraltısuyu yüksekliğindeki değişimler, öteleme elemanı depolamasında ve Q_1 akım yüksekliğinde değişimlere neden olmaktadır. Yeraltısuyu yüksekliğindeki değişimler öteleme elemanı depolamasının fonksiyonu olarak Denklem 11'de hesaplanmaktadır.

$$
F = X_2\left(\frac{R}{X_3}\right)^{7/2} \qquad (11)
$$

F : Yeraltısuyu yüksekliğindeki değişimler (mm)
R : Öteleme elemanı depolama yüksekliği (mm)
X_2 : Yeraltısuyu yüksekliği değişim katsayısı (mm)
X_3 : Öteleme elemanı depolaması kapasitesi (mm)

X_2 model parametresi pozitif ve negatif değerler alabilmektedir. X_2 değerinin pozitif olması öteleme elemanına yeraltısuyundan su girişi olduğunu, negatif değer alması da öteleme elemanından yeraltısuyuna doğru su çıkışı olduğunu göstermektedir.

Öteleme elemanına giren ve çıkan akım yüksekliklerinin hesaplanmasıyla bu eleman için güncellenen su yüksekliği Denklem 12'den bulunmaktadır.

$$R = R + Q_9 \mp F \tag{12}$$

Öteleme elemanından çıkan akım yüksekliği (Q_r) Denklem 13'le hesaplanmaktadır.

$$Q_r = R\left\{1 - \left[1 + \left(\frac{R}{X_3}\right)^4\right]^{-1/4}\right\} \tag{13}$$

Q_r : Öteleme elemanından çıkan akım yüksekliği (mm)

Öteleme elemanından çıkan akım yüksekliğinin hesaplanmasıyla bu elemanda depolanan su yüksekliği Denklem 14 ile güncellenmektedir.

$$R = R - Qr \tag{14}$$

UH2 birim hidrografi ile hesaplanan Q_1 akım yüksekliğinin yeraltısuyu yüksekliği ile etkileşimi Denklem 15'ten hesaplanmaktadır.

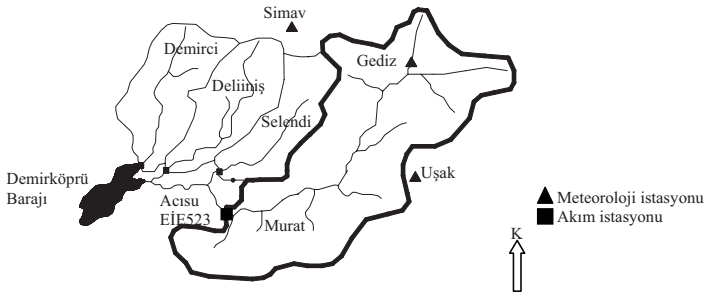
$$Q_d = Q_1 \mp F \tag{15}$$

Modelin çıktısını oluşturan akım yüksekliği, öteleme elemanından çıkan akım yüksekliği (Q_r) ile Q_d akım yüksekliklerinin toplamı ile (Denklem 16) bulunmaktadır.

$$Q_m = Q_r + Q_d \tag{16}$$

3. GR4J GÜNLÜK YAĞIŞ AKIŞ MODELİ UYGULAMASI

GR4J günlük yağış akış modeli, Gediz havzasında bulunan ve Demirköprü barajını besleyen Murat alt havzası akımları için kurulmuştur. Şekil 2'de Demirköprü barajını besleyen akım kolları ile bu kollara ait drenaj alanları gösterilmiştir.



Şekil 2. Demirköprü barajını besleyen alt havzalar

Drenaj alanı 3272 km^2 olan Murat alt havzası, Selendi, Deliiniş ve Demirci alt havzalarına göre en büyük alana; dolayısıyla Demirköprü barajına giren akımlar

açısından en büyük paya sahiptir. Alt havzanın morfolojik özellikleri Çizelge 1'de sunulmuştur.

Çizelge 1. Murat althavzasının morfolojik özellikleri

Alan (km^2)	Havza uzunluğu (km)	Min. kot (m)	Maks. kot (m)	Ana yatak uzunluğu (km)
3272	112.5	373	2206	96.9

Murat alt havzasında kurulan GR4J günlük yağış-akış modelinin kalibrasyonu için 2005 su yıllı, verifikasyonu için 2006 su yılı akımları kullanılmıştır. Modelde kullanılan alansal yağış yüksekliği ve evapotranspirasyon tahmini için gerekli olan sıcaklık değerleri, havza çevresindeki Uşak (17188), Simav (17748) ve Gediz (17750) meteoroloji istasyonlarından temin edilmiştir. Havzanın mansap bölgelerinde herhangi bir meteoroloji istasyonunun bulunmaması, gerek yağış gerekse sıcaklık değerlerinin alansal dağılımlarının yeterli doğrulukta belirlenmesini mümkün kılmamıştır (Şekil 2). Model girdisi olan potansiyel evapotranspirasyon yükseklikleri ortalama sıcaklığın bir fonksiyonu olarak modele entegre edilmiş (Denklem 17) böylece model 6 parametreli hale dönüştürülmüştür.

$$E = a\,T_{ort}^{b} \tag{17}$$

E :Potansiyel evapotranspirasyon (mm)
T_{ort} : Üç istasyonun ortalama sıcaklığı (^{0}C)
a, b : Evapotranspirasyon parametreleri

a ve b evapotranspirasyon parametreleri, modelin kalibrasyonu sırasında hesaplanmaktadır. Modelin kalibrasyonu Nash ve Sutcliffe (NS) kriteri (Denklem 18) esas alınarak gerçekleştirilmiştir. Model parametreleri, NS değeri maksimum oluncaya kadar iteratif biçimde değiştirilmiş ve olası en iyi parametre seti, model sonuçları ile gözlenmiş akımlar arasındaki determinasyon katsayısı (R^2) ve model ile gözlenmiş akım değerlerinin temel istatistikleri gözetilerek belirlenmiştir. Kalibrasyon sonucunda elde edilen model parametreleri Çizelge 2'de sunulmaktadır.

$$NS = 1 - \frac{\sum_{t=1}^{N}\left(Q_{ö} - Q_{m}\right)^2}{\sum_{t=1}^{N}\left(Q_{ö} - \overline{Q_{ö}}\right)^2} \tag{18}$$

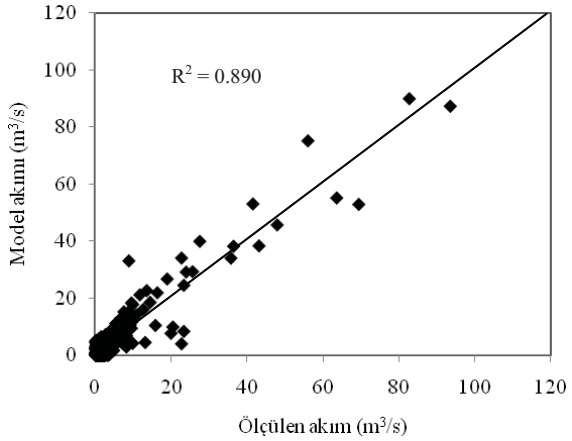
NS : Nash ve Sutcliffe (NS) kriteri
$Q_{ö}$: Ölçülen akım (m^3/s)
Q_m : Model akımı (m^3/s)

Çizelge 2. Kalibrasyon sonucunda hesaplanan model ve evapotranspirasyon parametreleri

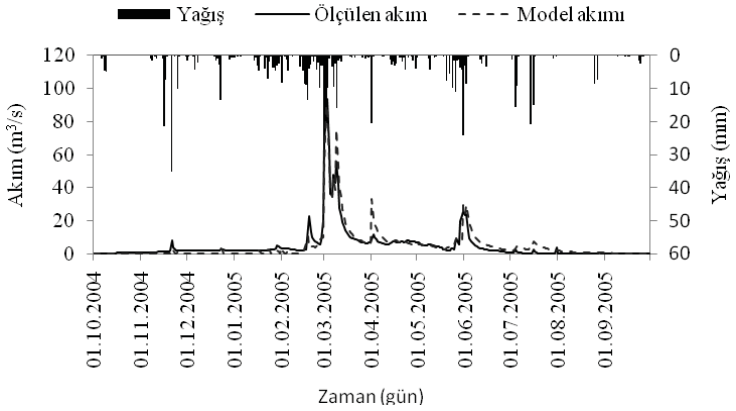
X_1 (mm)	X_2 (mm)	X_3 (mm)	X_4 (gün)	a	b
283.50	-14.32	70.75	0.92	0.01	1.80

Kalibrasyon sonucunda, Murat alt havzası biriktirme elemanı depolama kapasitesi (X_1) 283.50 mm bulunmuştur. X_2 model parametresi negatif değer olarak elde edilmiş; bu da öteleme elemanından 14.32 mm'lik akımın yeraltısuyunu beslediğini göstermektedir. Murat alt havzası öteleme elemanı depolama kapasitesi (X_3) 70.75 mm olarak belirlenmiştir. Modelde akımlar öteleme elemanında, taban genişliği (X_4) 0.92 gün ve 1.84 gün olan iki ayrı birim hidrografla ötelenmektedir.

Kurulan model, kalibrasyon döneminde ölçülen akımların varyansının %89'unu (R^2) açıklamaktadır. Kalibrasyon döneminde model akımları ile ölçülen akımların saçılma diyagramları Şekil 3'te, debi gidiş eğrileri Şekil 4'te verilmektedir. Model ve ölçülen akımların kalibrasyon sürecinde bulunan istatistikleri ise Çizelge 3'te sunulmaktadır.



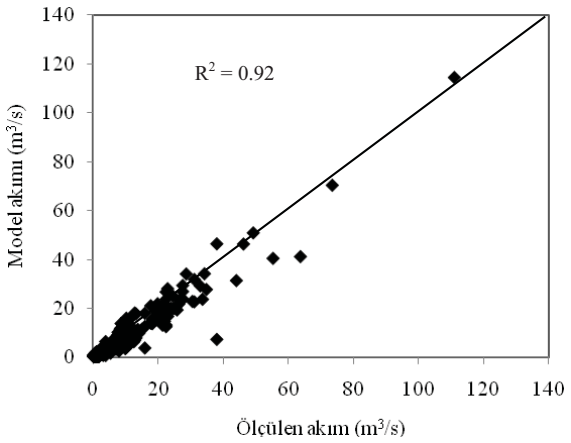
Şekil 3. Kalibrasyon döneminde ölçülen ve modellenen akım yüksekliklerinin saçılma diyagramı.



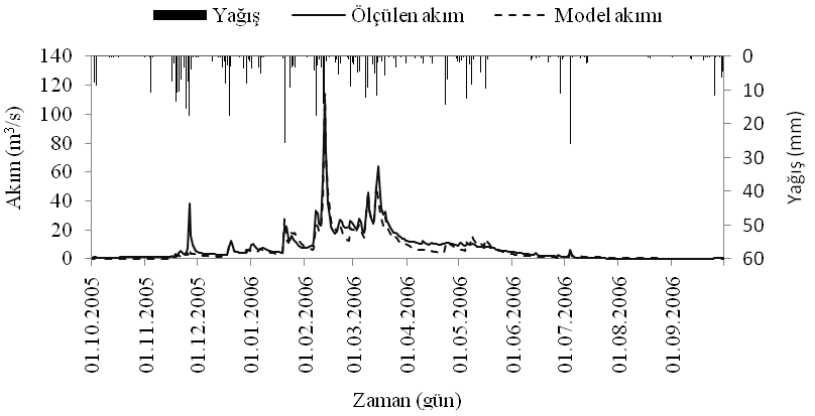
Şekil 4. Kalibrasyon döneminde ölçülen ve modellenen akım yüksekliklerinin gidiş eğrileri.

Model verifikasyonu için 2006 su yılı kullanılmıştır. Verifikasyon döneminde model, ölçülen akımların varyansının %92'ini (R^2) açıklamaktadır. Verifikasyon döneminde

model akımları ile ölçülen akımların saçılma diyagramları Şekil 5'te, debi gidiş eğrileri Şekil 6'da verilmektedir. Model ve ölçülen akımların kalibrasyon sürecinde bulunan istatistikleri ise Çizelge 3'te sunulmaktadır.



Şekil 5. Verifikasyon döneminde ölçülen ve modellenen akım yüksekliklerinin saçılma diyagramı.



Şekil 6. Verifikasyon döneminde ölçülen ve modellenen akım yüksekliklerinin gidiş eğrileri.

Çizelge 3. Kalibrasyon ve verifikasyon dönemi için ölçülen ve modellenen günlük akım yüksekliklerinin temel istatistikleri.

İstatistikler	Kalibrasyon		Verifikasyon	
	Ölçülen	Model	Ölçülen	Model
Ortalama (m^3/s)	4.90	5.13	7.84	6.58
Standart Sapma (m^3/s)	10.33	10.81	11.58	10.75
Çarpıklık	5.22	4.70	3.69	4.40
r^2	0.89		0.92	
NS	0.88		0.91	

4. SONUÇLAR

Çalışmada GR4J günlük yağış-akış modeli, Gediz Havzasında yer alan Demirköprü barajını besleyen Murat kolu günlük akımları için uygulanmıştır. Uygulamada, Murat havzasının mansap bölgelerini temsil eden meteoroloji istasyonlarının bulunmaması nedeniyle, sadece memba bölgelerindeki istasyonların yağışları dikkate alınmıştır. Buna rağmen, Çizelge 3'te verilen temel istatistikler ve kalibrasyon/verifikasyon dönemlerindeki gözlenmiş ve modellenmiş akımların saçılma diyagramları incelendiğinde, GR4J modelinin Murat kolu akımlarını başarıyla temsil ettiği görülmektedir. Alansal ortalama yağışın ve sıcaklığın yeterli doğrulukta belirlenmesi halinde model sonuçlarının daha da iyileşmesi mümkün olacaktır.

Sadece alansal ortalama yağış ve sıcaklık verileriyle kurulabilen model, gerek az veri ihtiyacı, gerekse Excel gibi yaygın kullanılan elektronik tablolama yazılımlarıyla kurulabilmesi açısından, basit ve hızlı modelleme imkanı sunmaktadır. Modelin ülkemiz havzalarında kullanım imkanları, benzer uygulamaların sayılarını arttırmak suretiyle irdelenmelidir.

5. KAYNAKLAR

AUBERT D., LOUMAGNE C., OUDIN L. "Sequential assimilation of soil moisture and streamflow datain a conceptual rainfall–runoff model" Journal of Hydrology, 280, 145-161, 2003.

ARNOLD J.G.. ALLEN P. M., MORGAN D. S., "Hydrological model for design and constructed wetland" Wetlands Vol 21, No 2, 167-178, 2001.

BAYAZIT M., "Hidrolojik Modeller" 1. baskı, İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul, Türkiye, 1998.

BEVEN K., "Changing ideas in hydrology – The case of physically – based models" Journal of Hydrology, 105, 157-172, 1989.

BEVEN K., "Prophecy, reality and uncertainty in distributed hydrological modeling" Advances in Water Resources, 16(1), 41-51, 1993.

LINDSTROM G., JOHANSSON B,. PERSSON M., GARDELIN M., BERGSTROM S., "Development and test of distributed HBV96 hydrological model" Journal of Hydrology, 201, 272-288, 1997.

Manujat C. M., Harlan D., Wangsadipura M. "Rainfall-Runoff Modelling Using Gr4j on The Case Of Citarum Hulu River Basin" International Conference on Sustainable Infrastructure and Built Environment in Developing Countries, Bandung, West Java, Indonesia, 2009

MROCZKOWSKI, M., RAPER P. G., KUCZERA G., "The quest for more powerful validation of conceptual catchment models", Water Resources Research, 33(10), 2325-2335, 1997.

PANDEY V.K., PANDA S. N., PANDEY A.,"Evaluation of effective management plan for agricultural watershed using AVSWAT model, remote sensing and GIS." Environmental Geology, Vol. 56 (5), 993-1008, 2009.

PERRIN C. MICHEL C., ANDREASSIAN V., "Improvement of a parsimonious model for streamflow simulation" Journal of Hydrology 279, 275-289, 2003.

POST D A., JAKEMAN A J., "Predicting the daily streamflow of ungauged catchments in S.E. Australia by regionalising the parameters of a lumped conceptual rainfall-runoff model" Ecological Modeling 123 (2-3), 91-104, 1999.

REFSGAARD J C. "Parameterisation, calibration and validation of distributed hydrological models" Journal of Hydrology 198, 69-97, 1997.

UHLENBROOK S., SEIBERT J., LEIBUNDGUT C., RODHE A., "Prediction uncertainty of conceptual rainfall-runoff models caused by problems in identifying model parameters and structure" Hydrological Sciences-Journal-des Hydrologiques 44 (5), 779-797, 1999.

XU C. "Modeling the effects of climate change on water resources in central Sweden" Water Resources Management 14, 177-189, 2000.

XU C. Y., SINGH V P., "Review on regional water resources assessment models under stationary and changing climate" Water Resources Management 18, 591–612, 2004.

XU L., ZHANG Q., LI H., VİNEY N. R., XU J., LIU J., "Modeling of Surface Runoff in Xitiaoxi Catchment, China" Water Resources Management 21, 1313-1323, 2007.

Sultan Sazlığı Göl Su Seviyelerinin Yapay Sinir Ağı - Dalgacık Modeli ile Tahmini

Özgür Kişi [1], Mehmet Güneş [2], Ersin Yaşlı [3]

Özet: Bu çalışmada ayrık dalgacık analizi ile göl su seviyeleri farklı frekanslarda alt serilere ayrılarak her bir alt serinin esas seriye etkisi araştırılmıştır. Daha sonra en etkili olan alt seriler kullanılarak göl su seviyeleri yapay sinir ağları ile modellenmiştir.

Bu modellemeler yapılırken uluslararası Ramsar Sözleşmesi kapsamında bulunan ve Kayseri ili sınırları içerisinde Develi Kapalı Havzası'nda yer alan Sultan Sazlığı'na ait seviye tahminleri yapılmaya çalışılmıştır.

Yapay sinir ağı ve dalgacık modeli oluşturulurken aynı kapalı havza içerisinde yer alan Çatalyol kuyu seviyesi, Yay Gölü su seviyesi ve Sultan Sazlığı'nın kendi su seviye verileri'nden oluşan 1994 ve 2005 yılları arasında DSİ XII. Bölge Müdürlüğü tarafından ölçülen toplam 141 adet aylık ölçüm verisi kullanılmıştır. Modeller, verilerin ilk %75'lik kısmı ile eğitilmiş, sonraki %25'lik kısmı ile de ortalama karesel hatanın karekökü, ortalama mutlak göreceli hata ve korelasyon değerlerine göre test edilerek en isabetli tahmin yapılmaya çalışılmıştır. Yapılan bütün testler sonucunda dalgacık analizi ile birlikte kullanılan yapay sinir ağı modellerinin daha başarılı sonuçlar verdiği anlaşılmıştır.

Anahtar Sözcükler: Göl Su Seviyesi; Dalgacık Analizi; Sultan Sazlığı; Yapay Sinir Ağı; Tahmin.

Estimation of Lake Water Level Using Artificial Neural Network - Wavelet Model

Abstract: In this study, the lake surface levels were separated into sub-series using discrete wavelet analysis and the effect of each sub-series on original series was investigated. The most effective sub-series were selected as inputs to the artificial neural networks to estimate lake levels.

[1] Erciyes Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Kayseri, E-Posta: kisi@erciyes.edu.tr; Tel: (352) 437-4901

[2] DSİ XII. Bölge Müdürlüğü, Planlama Başmühendisliği, Kayseri, E-Posta: mehmetgunes@dsi.gov.tr

[3] DSİ XII. Bölge Müdürlüğü, Proje İnşaat Şube Müdürlüğü, Kayseri, E-Posta: eyasli@dsi.gov.tr

The water level data of Çatalyol Well and the lake level data of Lake Yay and previous lake level data of Sultan Sazlığı were used to estimate future surface levels of Sultan Sazlığı which is located in Develi Closed Basin, Kayseri. The observed data are 12 years (144 months) long with observation period between 1994 and 2005. After examining the data and noting the periods in which there were gaps in one or more of the two variables, the periods for training and testing were chosen. In the applications, the first 9 years of flow data (108 months, 75% of the whole data set) was used for training and the remaining 3 years (36 months, 25% of the whole data set) for testing. The root mean square errors, mean absolute relative errors and correlation coefficient statistics were used to evaluate the accuracy of each model. The comparison results revealed that the suggested artificial neural networks-wavelet model could increase the forecast accuracy and perform better than the single artificial neural networks model.

Key Words: Lake Water Level; Wavelet Analysis; Sultan Sazlığı; Artificial Neural Network; Estimate.

1. GİRİŞ

Göl su seviyeleri alçaldığında veya yükseldiğinde göl çevrelerinde büyük ekonomik kayıplara hatta bazen tekrar düzelmesi mümkün olmayan doğa değişimlerine neden olurlar. İklim elemanlarındaki değişimler göl su seviyelerinde değişme olarak yansıma yaparlar. Göl su seviyelerine etkiyen başlıca sebepler, iklim değişiklikleri, meteorolojik ve hidrolojik özellikler, atmosferdeki sera etkisi, tektonik değişimler olarak düşünülür. İklim değişikliği sonucu beklenen en önemli olgu; sıcaklık, yağış, evapotranspirasyon, akış, göl su seviyesi gibi temel iklimsel ve hidrolojik değişkenlerdeki muhtemel değişimlerdir. Günümüzde pek çok çalışma iklim değişimlerinin topluma ve doğaya etkileri üzerine yapılmaktadır. İklim elemanlarındaki değişimler göl su seviyelerinde değişme olarak yansıma yaparlar. Genelde göllerdeki su seviye salınımları yağış, akış ve buharlaşma gibi iklimsel faktörlerin karmaşık etkileşmesinin bir sonucu olarak ortaya çıkmaktadır.

Türkiye'deki göller ve onların etrafındaki alanlarda planlama ve yapım işleri, tasarım işleri, tarımsal alanların işletmeciliği ve verimliliğinin sağlanması, mevcut veya sonradan oluşan sucul yaşamın idamesi, özel önem arz eden ve çeşitli uluslararası anlaşmalarla koruma altına alınan sulak alanlar ve içme suyu tesislerinin işletilmesinde göl seviyesindeki değişimin bilinmesi hayati önem arz etmektedir.

Göl seviyelerinin tespitine yönelik daha önce hidrolojik ve hidrometeorolojik veriler kullanılarak YSA ile değişik çalışmalar yapılmış ve bazı sonuçlara varılmıştır. Bu modellerle elde edilen sonuçlar ölçülen değerlerle karşılaştırılmış ve sonuçların doğruluk derecelerinin yüksek olduğu gözlemlenmiştir (Altunkaynak, 2007; Ondimu ve Murase, 2007; Çimen ve Kişi, 2009). Kisi (2009) ilk defa YSAD modeli ile önceki göl su seviyelerini kullanarak gelecekteki göl su seviyelerini tahmin etmiştir.

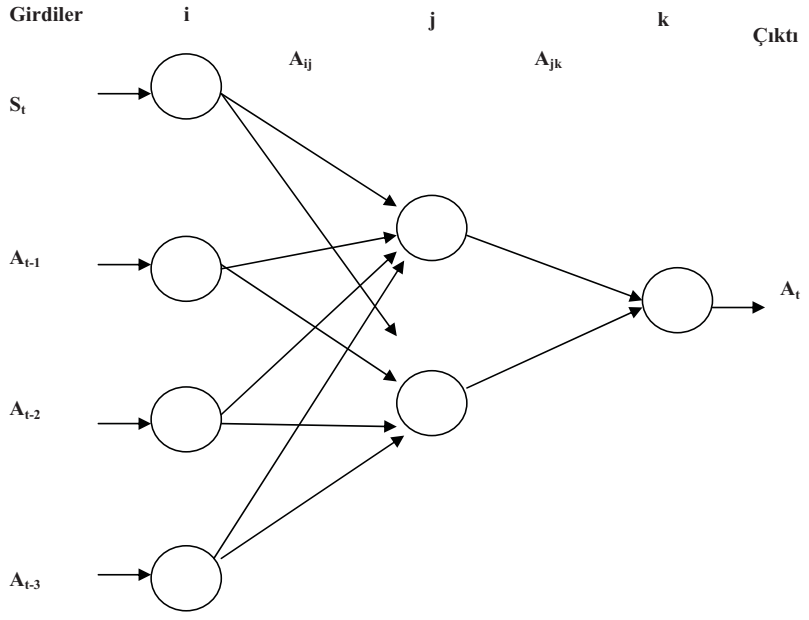
Bu çalışmada yapay sinir ağları-dalgacık modeli kullanılarak yapay sinir ağlarının göl su seviyelerini tahmindeki yeteneği geliştirilmeye çalışılmıştır. Literatürden farklı olarak Sultan Sazlığı'nın önceki göl su seviye verilerinin yanısıra Çatalyol kuyu seviyesi ve Yay Gölü su seviyesi verileri de kullanılmıştır.

2. YÖNTEMLER

Göl su seviyesi verileri temin edilerek YSA ile ileriye yönelik tahmin modelleri geliştirilmiştir. Daha sonra ayrık dalgacık analizi ile göl su seviyeleri farklı frekanslarda alt serilere ayrılarak her bir alt serinin esas seriye etkisi araştırılmış ve en etkili olan alt seriler kullanılarak göl su seviyeleri YSA ile modellenmiştir. Bu modeller yapay sinir ağı dalgacık (YSAD) modeli olarak adlandırılmaktadır. Son olarak YSAD modellerinden elde edilen göl su seviyesi tahminleri YSA tahminleri ile mukayese edilmiştir.

2.1. Yapay Sinir Ağları

Yapay sinir ağları (YSA), farklı ağırlıklarla birbirine bağlı birçok işlem elemanlarından oluşmuş yoğun paralel sistemlerdir. YSA metotları içerisinde en çok kullanılanı hataların geriye yayılma (back-propagation) ilkesine göre çalışanıdır (Lippman, 1987). Şekil 1, bu çalışmada kullanılan üç tabakalı bir YSA'nı göstermektedir. Burada i girdi tabakası, j gizli tabaka ve k çıktı tabakası, A_{ij} ve A_{jk} ise hücre tabakaları arasındaki bağlantı ağırlıklarıdır. Başlangıçta rastgele atanan ağırlık değerleri, eğitme sürecinde tahmin edilen çıktılarla gerçek çıktı değerleri karşılaştırılarak devamlı değiştirilir ve hataları minimum yapan bağlantı ağırlık değerleri ayarlanıncaya kadar hatalar geriye doğru (Şekil 1'de sağdan sola) yayılır. Burada ağırlıkları ayarlamak için kullanılan metot, Levenberg-Marquardt metodudur (Marquardt, 1963).



Şekil 1: Üç tabakalı YSA

Şekil 1'de j ve k tabakalarındaki herbir hücre, önceki tabakadan NET ağırlıklı toplam çıktılarını girdi olarak alır. NET değeri Denklem (1) ile hesaplanır.

$$NET_{pj} = \sum_{i=1}^{D} A_{ij} Ç_{pi} + \theta_j \tag{1}$$

Burada D girdi vektörünün boyutu, θ_j taraflılık sabiti (bias), A_{ij} i ve j tabakaları arasındaki ağırlıklar kümesi, $Ç_{pi}$ p örneği için i tabakasının çıktı kümesidir. j ve k tabakalarındaki herbir hücre, NET değerini doğrusal olmayan bir tasvir fonksiyonundan geçirerek f(NET) çıktısını üretir. Yaygın şekilde kullanılan bu tasvir fonksiyonu Denklem (2) ile

$$f(NET) = \frac{1}{1 + e^{-NET}} \tag{2}$$

şeklinde ifade edilir.

Eğitme aşamasında, p örneği için toplam hata H_p, tahmin edilen ve gerçek çıktılar arasında kareler farkına bağlı olarak Denklem (3) ile hesaplanır.

$$H_p = \sum_{k=1}^{N} \left(G_{pk} - Ç_{pk}\right)^2 \tag{3}$$

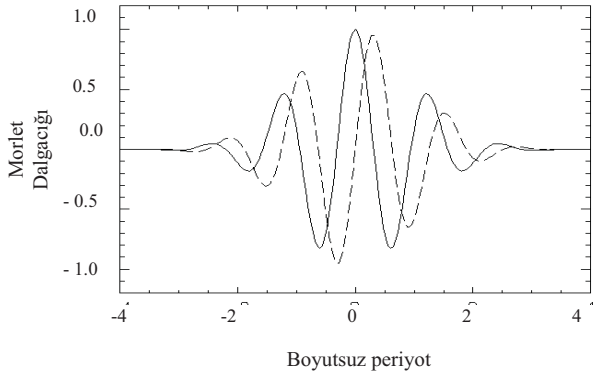
Burada N iterasyon sayısı olmak üzere G_{pk} ve $Ç_{pk}$ sırası ile p örneği için gerçek ve tahmin edilen çıktı değerleridir. Herbir bağlantı ağırlığı, A_{ij}, Denklem (4) ile yenilenir.

$$A_{ij}^{yeni} = A_{ij}^{eski} - \left[J^T J + \mu I\right]^{-1} J^T H_p \tag{4}$$

Burada J, hataların ağırlıklara göre türevlerini içeren Jacobian matrisini; J^T, Jacobian matrisinin transpozesini; I, birim matrisi ve μ ise yakınsama hızını etkileyen bir parametreyi ifade etmektedir. μ değeri büyüdüğünde eşitlik eğim azaltma algoritmasına, küçüldüğünde ise eşitlik Gauss-Newton algoritmasına dönüşür.

2.2. Dalgacık Dönüşümü

Dalgacık dönüşümü verilerin hem zaman hem de frekans ortamında işaretin incelenmesine imkân tanıyan çok yararlı bir yöntemdir. İşaret, sürekli dalgacık dönüşümünde dalgacık adı verilen zamanda ötelenebilen, genişliği değiştirilebilen bir fonksiyonla çarpılır. Analiz boyunca, adım adım öteleme sağlanarak her adımda o adımdaki dalgacık ve sinyalin çarpılmasıyla katsayılar elde edilmiş olur. Aşağıda, dalgacık dönüşümlerinde kullanılan dalgacık tiplerinden biri olan Morlet dalgacığı görülmektedir (Şekil 2).



Şekil 2. Morlet dalgacığı

Sürekli dalgacık dönüşümü (SDD) işlemi Denklem (5) ve Denklem (6) ile ifade edilmiştir (Drago ve Boxall, 2002).

$$SDD_x^{\psi}(\tau,s) = \psi_x^{\psi}(\tau,s) = \frac{1}{\sqrt{|s|}} \int x(t)\psi^*(\frac{t-\tau}{s})dt \tag{5}$$

$$\psi_{\tau,s} = \frac{1}{\sqrt{s}}\psi\left(\frac{t-\tau}{s}\right) \tag{6}$$

Burada *SDD*, τ (öteleme) ve *s* (ölçek) parametrelerinin bir fonksiyonudur. $\psi(t)$, dönüşüm fonksiyonudur ve ana dalgacık fonksiyonu olarak adlandırılır. *x(t)* ise analiz edilecek işarettir. Dönüşümde kullanılan farklı genişliğe sahip alt pencere fonksiyonları da ana dalgacıktan ölçekleme yoluyla türetilir. Öteleme terimi, Kısa Süreli Fourier Dağılımında (KSFD) kullanılan pencerenin zamandaki yerini ifade etmektedir. Pencere, işaret üzerinde gezdirilir. Zaman bilgisi, dönüşümden ötelemeyle sağlanır. Ölçek parametresi (s), 1/frekans olarak tanımlanır. Dalgacık fonksiyonunun işaretle ötelenerek çarpımı ile dalgacık dönüşümü katsayıları elde edilir.

Dalgacık katsayılarının ölçek değerinde hesaplanması çok miktarda katsayının oluşmasına ve işlem yüküne neden olduğundan dolayı, katsayıların yalnızca seçilen ölçekler ve zaman diliminde hesaplanması birçok avantaj sağlar. Bu sayede daha az sayıda ancak yinede işaretin frekans-ölçek bilgisinin zaman boyunca değişimini veren katsayılar elde edilmiş olur. Ayrık dalgacık dönüşümünde kullanılan ikili ölçek ve zaman adımıdır. Bu şekilde elde edilen her bir bileşen iki ve ikinin katları olacak şekilde ölçek değerlerine ait zaman serilerini ya da dalgacık katsayılarını verirler. Ayrık dalgacık dönüşümü için kullanılan dalgacık fonksiyonu aşağıda verilmiştir.

$$\psi_{m,n}\left(\frac{t-\tau}{s}\right) = s_0^{-m/2}\psi\left(\frac{t-n\tau_0 s_0}{s_0^m}\right) \tag{7}$$

burada *m* ve *n* tamsayı olarak dalgacığın sırası ile ölçek ve zaman eksenindeki öteleme parametreleridir. S_0 sabit bir öteleme adımını ifade eder ve bu çalışmada 2 olarak alınmıştır. τ_0 zaman eksenindeki öteleme aralığı değerini verir ve değeri 1 olarak alınmıştır. Bu değerler literatürde en çok kullanılan değerlerine göre alınmıştır. İkinin katları kullanılarak oluşturulan dalgacık fonksiyonu aşağıdaki şekilde tanımlanabilir.

$$\psi_{m,n}(t) = 2^{-m/2}\psi\left(2^{-m}t - n\right) \tag{8}$$

Bir *i* ayrık adımına sahip *x(t)* zaman serisi için ayrık dalgacık dönüşümü aşağıdaki şekilde tanımlanabilir.

$$W_{m,n} = 2^{-m/2}\sum_{i=0}^{N-1} X_i\psi\left(2^{-m}i - n\right) \tag{9}$$

Burada $W_{m,n}$, $s = 2^m$ ölçek ve $\tau = 2^m$ n zaman değerlerine sahip dalgacık dönüşümü katsayılarıdır.

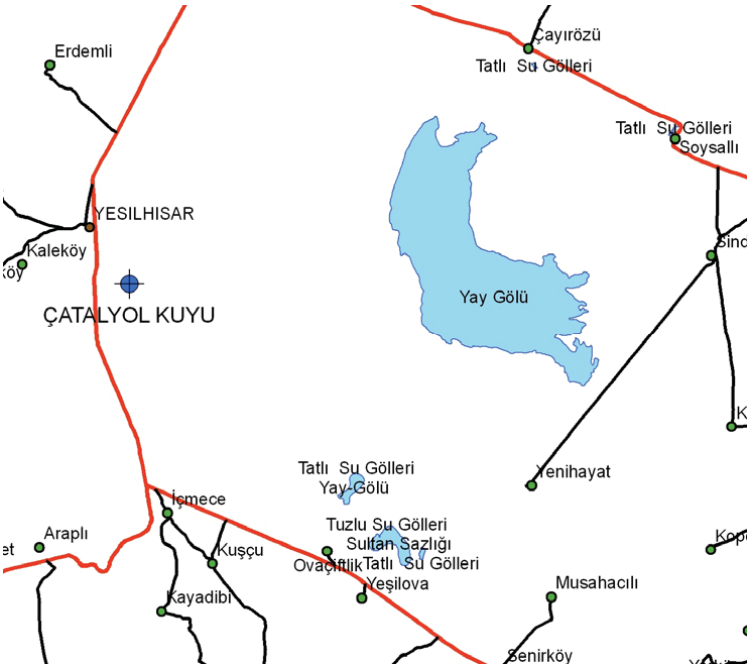
3. UYGULAMA

Bu çalışma yapılırken Kayseri ili sınırları içerisinde Develi Kapalı Havzası'nda yer alan Çatalyol kuyu seviyesi, Yay Gölü su seviyesi ve Sultan Sazlığı'nın kendi su seviye verileri'nden oluşan 1994 ve 2005 yılları arasında DSİ XII. Bölge Müdürlüğü tarafından ölçülen toplam 141 adet aylık ölçüm verisi kullanılmıştır. Çatalyol kuyu seviyesi ve Yay Gölü su seviyesine ait 1 ay önceki veriler ve buna ek olarak Sultan Sazlığı su seviyesine ait 2 ay öncesine kadarki veriler de girdi olarak kullanılmıştır. Sultan Sazlığı, Yay Gölü ve Çatalyol Kuyusu'nun havzadaki yerleşimi Şekil 3'te gösterilmiştir. Modeller, verilerin ilk %75'lik kısmı ile eğitilmiş, sonraki %25'lik kısmı ile de ortalama karesel hata, ortalama mutlak göreceli hata ve korelasyon değerlerine göre test edilerek en isabetli tahmin yapılmaya çalışılmıştır.

Bu çalışmada toplam 12 adet kombinezon YSA modeline girdi olarak denenmiş olup çalışmada kullanılan kombinezonlar Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1'deki kısaltmalar $ÇKS_t$, bu ayki Çatayol kuyu seviyesini, $ÇKS_{t-1}$, bir ay önceki Çatayol kuyu seviyesini, YGS_t, bu ayki Yay Gölü su seviyesini, YGS_{t-1}, bir ay önceki Yay Gölü su seviyesini, SSS_{t-1}, bir ay önceki Sultan Sazlığı su seviyesini, SSS_{t-2}, iki ay önceki Sultan Sazlığı su seviyesini göstermektedir.

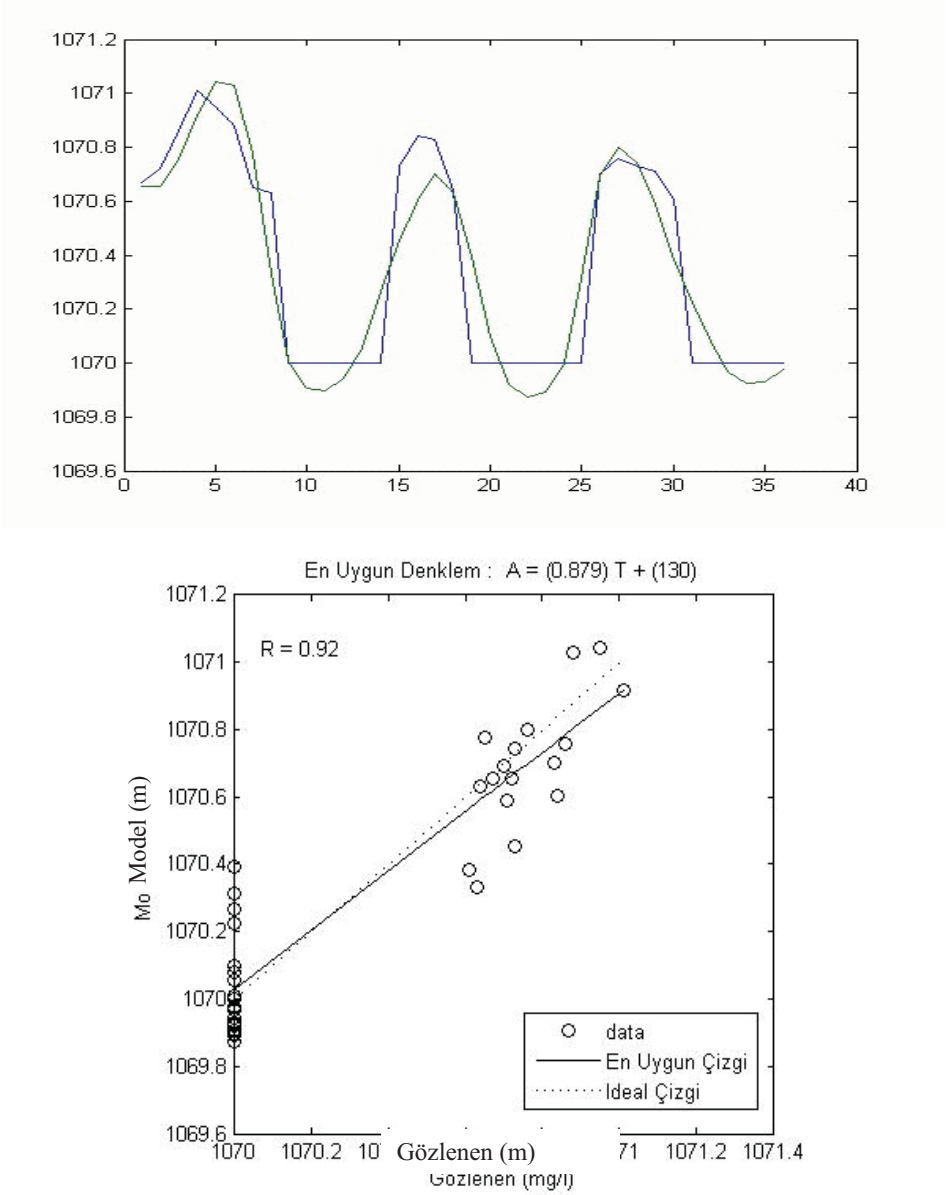
İlk olarak kullanılacak veriler ayrık dalgacık dönüşümü kullanılarak çeşitli frekans çözünürlüklerinde bileşenlerine ayrılmıştır. Herbir bileşen gözlenmiş veriler ile aynı uzunluğa sahip alt zaman serileridir.



Şekil 3. Sultan Sazlığı, Yay Gölü ve Çatalyol Kuyusunun Havzadaki Yerini Gösterir Pafta.

Tablo 1. YSA-Dalgacık yönteminden elde edilen sonuçlar

Girdi kombinezonları	ATHS	OKHK	OMGH	R
1 $ÇKS_t$	3—6	0.573	0.040	0.553
2 YGS_t	5	0.519	0.039	0.329
3 $ÇKS_t$, YGS_t	1--5—7	0.503	0.032	0.577
4 $ÇKS_t$, SSS_{t-1}	1—2	0.303	0.022	0.779
5 YGS_t, SSS_{t-1}	1--5--6—7	0.249	0.017	0.774
6 $ÇKS_t$, YGS_t, SSS_{t-1}	1	0.301	0.022	0.798
7 $ÇKS_t$, SSS_{t-1}, SSS_{t-2}	**4**	**0.153**	0.011	**0.920**
8 YGS_t, SSS_{t-1}, SSS_{t-2}	1--2—4	0.161	0.011	0.911
9 $ÇKS_t$, $ÇKS_{t-1}$, SSS_{t-1}, SSS_{t-2}	21	0.182	0.012	0.921
10 YGS_t, YGS_{t-1}, SSS_{t-1}, SSS_{t-2}	1—7	0.161	0.011	0.910
11 $ÇKS_t$, YGS_t, SSS_{t-1}, SSS_{t-2}	4	0.156	0.011	0.919
12 $ÇKS_t$, $ÇKS_{t-1}$, YGS_t, YGS_{t-1}	17	0.513	0.034	-0.453



Şekil 4. YSA-Dalgacık yönteminde en iyi kombinezona ($ÇKS_t$, SSS_{t-1}, SSS_{t-2}) ait sonuç grafikleri

Her bir dalgacık bileşeni ve ölçülen seviye verileri arasındaki korelasyon katsayıları hesaplanmıştır. Bu katsayılara göre hangi dalgacık bileşenini seçmenin daha faydalı olacağı belirlenmiş ve en etkili alt bileşenler toplanarak elde edilen yeni seri YSA yöntemi ile gözlenen seviyenin tahmininde kullanılmıştır. Bunun sonucunda en iyi sonucu veren kombinezonun bu ayki Çatalyol kuyu seviyesi ile Sultan Sazlığı'nın 1 ay

ve 2 ay önceki su seviyelerinin ($ÇKS_t$, SSS_{t-1}, SSS_{t-2}) girdi olarak kullanıldığı 7. kombinezon olduğu görülmüştür. YSA-Dalgacık yönteminde her bir kombinezon 15 ara tabaka hücre sayısı için denenmiş ve en iyi sonuçlar değerlendirme kriterleri ile birlikte Tablo 1'de ve en iyi kombinezona ait sonuç grafikleri de Şekil 4'te verilmiştir. Tablo 1'de ATHS, OKHK, OMGH ve R sırasıyla ara tabaka hücre sayısı, ortalama karesel hatanın karekökü, ortalama mutlak göreceli hata ve korelasyon katsayısını ifade etmektedir. Bu tabloda ikinci sütunda verilen değerler en uygun modellerin ara tabaka hücre sayılarını göstermektedir. Mesela ikinci satırda 1-5-7 değerleri sırasıyla 1, 5 ve 7 ara tabaka hücre sayısına sahip YSA modellerinin en iyi ve aynı sonucu verdiğini göstermektedir.

YSA-Dalgacık yönteminde kullanılan girdi kombinezonları YSA yönteminde de denenmiş ve en iyi kombinezonun Yay Gölü su seviyesinin ve Sultan Sazlığının 1 ay önceki su seviyelerinin (YGS_t, SSS_{t-1}) girdi olarak alındığı 5. kombinezon olduğu görülmüştür.

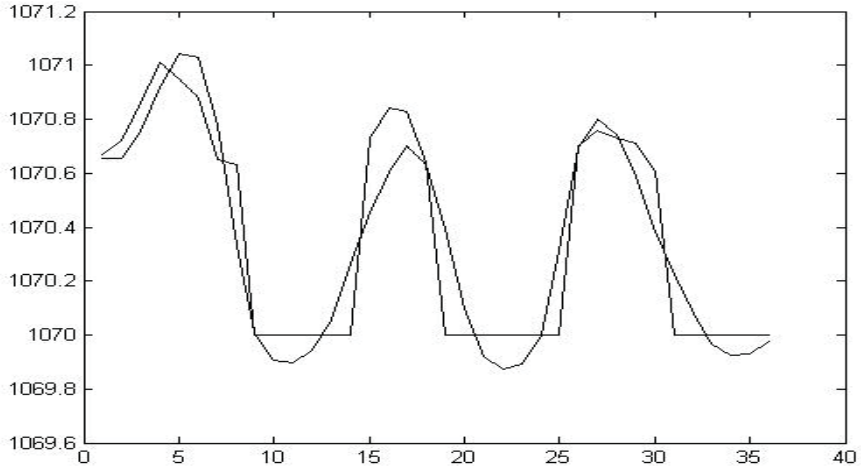
YSA yönteminde de her bir kombinezon 15 ara tabaka hücre sayısı için denenmiş ve en iyi sonuçlar değerlendirme kriterleri ile birlikte Tablo 2'de ve en iyi kombinezona ait sonuç grafikleri de Şekil 5'te verilmiştir. Tablo 1 ve Tablo 2 birlikte değerlendirildiğinde YSA-Dalgacık yönteminin daha düşük OKHK, OMGH ve daha büyük R kriterlerine sahip olduğu açıkça görülmektedir. Şekil 4 ve Şekil 5'e bakıldığında, gidiş grafiklerinden iki yöntem arasındaki farkı gözlemlemek oldukça zor olmaktadır. Halbuki saçılma grafiklerine bakıldığında, YSA-Dalgacık yönteminin daha büyük R değerine sahip olmasının yanı sıra doğru denkleminin (fit line equation) katsayılarının sırasıyla 1 ve 0'a daha yakın olduğu açıkça görülmektedir.

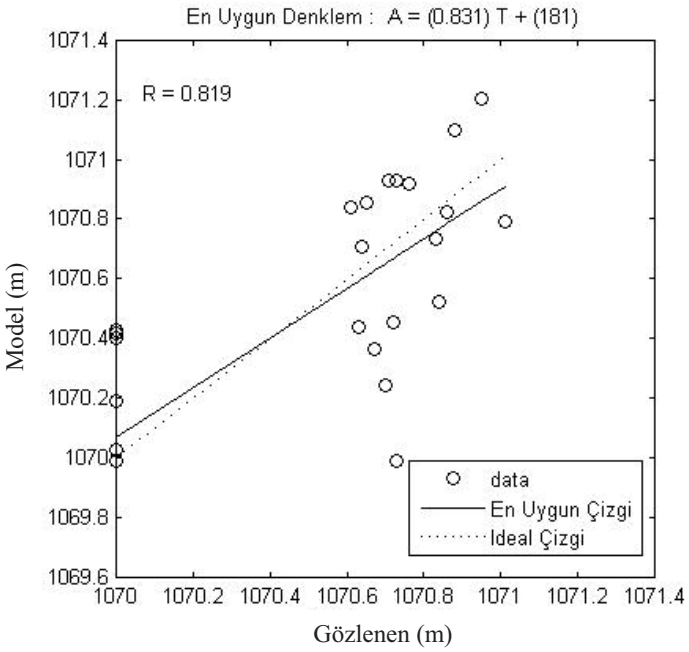
Tablo 2. YSA yönteminden elde edilen sonuçlar

Girdi kombinezonları	ATHS	OKHK	OMGH	R
1 $ÇKS_t$	2	1,129	0.099	-0,644
2 YGS_t	2	0.464	0.040	0,382
3 $ÇKS_t$, YGS_t	13	1,517	0.128	0,741
4 $ÇKS_t$, SSS_{t-1}	1	0.359	0.027	0,806
5 YGS_t, SSS_{t-1}	**4**	**0.234**	**0.014**	0,819
6 $ÇKS_t$, YGS_t, SSS_{t-1}	1	0.355	0.027	0,843
7 $ÇKS_t$, SSS_{t-1}, SSS_{t-2}	1	0.315	0.022	0,810
8 YGS_t, SSS_{t-1}, SSS_{t-2}	6	0.283	0.017	0,815
9 $ÇKS_t$, $ÇKS_{t-1}$, SSS_{t-1}, SSS_{t-2}	SONUÇ YOK			
10 YGS_t, YGS_{t-1}, SSS_{t-1}, SSS_{t-2}	SONUÇ YOK			
11 $ÇKS_t$, YGS_t, SSS_{t-1}, SSS_{t-2}	SONUÇ YOK			
12 $ÇKS_t$, $ÇKS_{t-1}$, YGS_t, YGS_{t-1}	SONUÇ YOK			

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada, Yapay Sinir Ağı ve Dalgacık Dönüşümü yöntemlerinin birlikte kullanıldığı YSA-Dalgacık modelinin göl su seviyesi tahmininde başarısı araştırılmıştır. Öncelikle, aylık veriler ayrık dalgacık dönüşümü yardımıyla çeşitli frekans çözünürlüklerinde bileşenlere ayrılmıştır. Herbir dalgacık bileşeni gözlenmiş veri ile aynı uzunlukta bir zaman serisidir ve gözlenmiş verinin bir temsilcisidir. YSA ve dalgacık dönüşümü modeli için en önemli aşamalardan birisi hangi bileşenlerin model girdisi olarak kullanılacağıdır. Bunun için bileşenlerin herbirisinin gözlenmiş seviye verileri ile korelasyonlarına bakılmıştır. Bu bileşenlerden uygun olanları seçilerek toplanmış ve yeni bir zaman serisi elde edilmiştir. Bu yeni serinin girdi olarak kullanılması ile YSA modeli oluşturulmuştur. Sonuçta oluşturulan modelin tahmin performansı belirlenen performans kriterleri çerçevesinde değerlendirilmiştir.





Şekil 5. YSA yönteminde en iyi kombinezona(YGS_t, SSS_{t-1}) ait sonuç grafikleri

Dalgacık dönüşümünün kullanıldığı ve kullanılmadığı 2 ayrı YSA modelinin performansları kıyaslanmıştır. Test sonuçlarına göre dalgacık dönüşümünün kullanılması ile yapılan tahminlerin daha başarılı olduğu bulunmuştur. Sonuç olarak dalgacık dönüşümü ile YSA yöntemini birleştiren bu yeni yöntemin, göl su seviyesi tahmininde başarılı bir şekilde kullanılabileceği görülmüştür. Çalışmada kullanılan veriler malesef ölçüm hataları içermektedir. Bu da yöntemlerin başarısını olumsuz yönde etkilemiştir. Bu çalışmada önerilen yöntem daha hassas ölçümlere uygulanarak çok daha iyi neticeler elde edilebilir.

5. KAYNAKÇA

ALTUNKAYNAK A. "Forecasting surface water level fluctuations of Lake Van by artificial neural Networks", Water Resources Management, 21: 399–408, 2007.

CİMEN, M., KISI, O. "Comparison of two different data driven techniques in modeling surface water level fluctuations of Lake Van, Turkey", Journal of Hydrology, 378(3-4): 253-262, 2009.

DRAGO, A.F., BOXALL, S.R., "Use of the wavelet transform on hydro-meteorological data", Physics and Chemistry of the Earth, 27: 1387-1399, 2002.

KİŞİ, O., "Neural network and wavelet conjunction model for modeling monthly level fluctuations of Van Lake in Turkey", Hydrological Processes, 23(14): 2081-2092, 2009.

LIPPMAN, R., “An introduction to computing with neural nets”, IEEE ASSP Mag., 4: 4-22, 1987.

MARQUARDT, D., “An algorithm for least squares estimation of non-linear parameters”, Journal of the Society for Industrial and Applied Mathematics, 11: 431–441, 1963.

ONDIMU S., MURASE H. “Reservoir level forecasting using neural networks: Lake Naivasha”, Biosystems Engineering, 96(1): 135–138, 2007.

Akım Ölçümü Olmayan Derelerde YSA Ve Regresyon Analizi İle Veri Tahmini

Osman Sönmez [1], Emrah Doğan [2]

Özet: Doğal akışlı hidroelektrik santrallerde (HES) akarsuda depolama, düzenleme olmadığı için var olan akım değerlerinde rastgelelik mevcuttur. Bu durumda proje debisinin belirlenmesi önem kazanmaktadır. Bu çalışmada akım ölçümü yapılmayan derelerde debi süreklilik çizgisinin elde edilebilmesi için gerekli olan debilerin tahmini yapılmıştır. Tahmin modeli için, çalışma sahası olarak seçilen Turnagöl Deresine yakın mesafelerdeki yağış gözlem istasyonlarından alınan yağış verileri ile aynı havza içerisindeki komşu dere olan Değirmendere'ye ait akım verileri temin edilmiştir. Bu veriler çeşitli senaryolar altında yapay sinir ağları (YSA) ve çoklu regresyon analizi (ÇRA)'ne tabi tutularak elde edilen sonuçlar kıyaslanmıştır. Bulunan 0,9381 mertebesindeki determinasyon katsayısı (R^2) 1'e yakınsadığından en iyi model olarak seçilmiş ve YSA'nın ÇRA'ne göre daha iyi sonuçlar verdiği ve debi tahmin modeli olarak YSA'larının kullanılabileceği görülmüştür.

Bu model ile 2 gün öncesinden debi tayini yapılarak HES' in optimum çalışmasına ve daha verimli bir enerji üretim planı yapılmasına fayda sağlayacağı ortaya konmuştur.

Anahtar Sözcükler: Debi, Hidroelektrik Santral, Yapay Sinir Ağları, Çoklu Regresyon Analizi, Turnagöl Deresi

Flow Estimation Using Artificial Neural Networks and Multiple Linear Regression Analysis on Non-Measurable Creeks

Abstract: Hydroelectric power stations (HPS) have a randomly flow discharges. Therefore it is not possible to storage and arrangement to flow in HPS. Under such circumstance, determining the project discharge will become more of an issue. In this study, flows which are essential for determining the flow duration curves were estimated. For this estimation model, the rainfall data sets are obtained from rainfall observation station which is nearby Turnagöl Creek which is study area. Flow data are obtained from Değirmendere Creek which is close to study are in same basin. This data

[1] Sakarya Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Sakarya,E-Posta: osonmez@sau.edu.tr; Tel: (264) 295-5713
[2] Sakarya Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Sakarya,E-Posta: emrahd@sau.edu.tr; Tel: (264) 295-5749

sets are used in artificial neural (ANN) and multiple linear regression analysis (MLR), so that the estimated data are compared to each other for determining the model which has the best result. The best result of the model is evaluated using determination coefficient (R^2) which is 0,9381 , converge to 1. For this consequence, ANN model outputs are better than MLR and ANN can be used for flow estimation.

By means of this model, it is thought that, HPS can be operated optimum and taking advantage to make more effective power generated plans with forecasting of flows before two days.

Keywords: Flow Discharge, Hydroelectric Power Station, Artificial Neural Network, Multiply Linear Regression Analysis, Turnagöl Creek

1. GİRİŞ

Gelişen teknoloji ve modern hayatın gereksinimleri insanların enerjiye olan ihtiyacını arttırmakta fakat mevcut kaynaklar gün geçtikçe azalmaktadır. Buda insanların alternatif enerji kaynaklarına yönelmesine neden olmaktadır. Alternatif enerji kaynakları içerisinde de hidroelektrik enerjinin önemi artmaktadır. Hidroelektrik enerji potansiyelinin belirlenebilmesi ise hidroelektrik santralin kurulacağı akarsuyun debi süreklilik çizgisine bağlıdır. Hidroelektrik santralin üreteceği enerji miktarı, debi süreklilik çizgisi altında kalan alanla düşünün çarpımına eşit olduğunda debi süreklilik çizgisinin elde edilmesi gerekmektedir. Buna rağmen, birçok proje, ölçüm istasyonu olmayan veya yeterli verinin bulunmadığı alanlarda inşa edilmektedir. Ancak gerekli olan debi süreklilik çizgileri eksik veya yetersiz veri nedeniyle elde edilememektedir. Çeşitli zamanlarda farklı bilim adamları akım ölçüm verileri eksik ve yetersiz olan yerlerdeki debi süreklilik çizgilerinin elde edilmesi konusunda çalışmış ve farklı yöntemler geliştirmişlerdir. Ama yinede bu çalışmalar konunun önemine oranla az sayıdadır. Bu çalışmada ise akım ölçümü olmayan derelerde debi süreklilik çizgisinin elde edilmesi için yapay sinir ağları ve regresyon analizi yöntemleri kullanılmış ve en uygun olan yöntemin belirlenmesi amaçlanmıştır.

Cığızoğlu (1997), debi süreklilik çizgisinin matematik modelleri konulu doktora tez çalışması akarsulardaki akımların süreklilik çizgileri ile ilgilidir. Çalışmada, debi süreklilik çizgileri stasyoner (yıllık) ve periyodik (aylık ve günlük) olarak ayrı ayrı incelenmiştir. Debi süreklilik çizgisinin akım modelleri ile ilgisi incelenmiş ve bir akım modeli verildiğinde süreklilik çizgisini elde etmek için algoritmalar geliştirilmiştir. Bu amaçla analitik yöntemlerde geliştirilmiştir. Geliştirilmiş modeller Türkiyedeki bazı nehir akım ölçüm istasyonları için, uygulanarak sonuçlar kıyaslanmıştır [3].

Yanık (2004), doğal akışlı hidroelektrik potansiyelin belirlenmesinde kullanılan bölgesel debi süreklilik eğrilerinin elde edilmesi konulu doktora tez çalışması yapmıştır. Bu çalışmada hidroelektrik santral yapılması planlanan yere ait akım verileri ile bölgeye ait drenaj alanı göz önüne alınmış, küme analizi yöntemiyle homojen alt bölgelere ayrılmış ve analiz edilmesi sonucu özgül debi süreklilik çizgileri elde edilmiştir. Elde edilen özgül debi süreklilik çizgilerinden faydalanılarak hidroelektrik potansiyelin belirlenebileceği tespit edilmiştir [10].

Şentürk (2008), akım gözlem istasyonu olmayan havzalarda su potansiyelinin belirlenmesi konusunda çalışma yapmıştır. Çalışmada, Çoruh havzasında mevcut akım gözlem istasyonlarına ait veriler kullanılarak bölgeselleştirme yapılması amaçlanmıştır. En uygun model belirlenerek parametrelerin yersel değişimi araştırılmıştır. Model parametresi olarak, toplam yağış, havza alanı, drenaj yoğunluğu, akarsu uzunluğu, eğim ve hipsometrik düşü seçilmiştir. Bölgesel regresyon eşitliklerin elde edilmesiyle herhangi bir alt havza için debi süreklilik çizgisinin elde edilebileceği bir model ortaya konmuştur [8].

Şahin (2007), Karadeniz bölgesindeki yağış-akış ilişkisinin farklı yapay sinir ağları metotlarıyla belirlenmesi konu başlıklı yüksek lisans tez çalışması yapmıştır. Bu çalışmada, Karadeniz bölgesine ait 4 adet yağış gözlem istasyonundan elde edilen yağış verileriyle, 11 adet akım gözlem istasyonundan elde edilen akım verilerinin YSA metotları ile yapılan analiz sonuçları ile ÇRA analizi sonuçları kıyaslanmıştır. ÇRA'nın daha iyi sonuç verdiği tespit edilmiştir [6].

Toluk (2006), akarsu akımlarının yapay sinir ağı metotları kullanılarak modellenmesi konulu çalışma yapmıştır. Sakarya nehri üzerinde yapılan çalışmada 2 adet akım gözlem istasyonuna ait akım verileri 4 farklı model için analizlere tabi tutularak en iyi sonucu verecek akım tahmin modeli belirlenmeye çalışılmıştır [9].

Alp (2004), farklı yapay sinir ağı metotları ile yağış-akış ilişkisinin modellenmesi konulu doktora tez çalışması yapmıştır. Bu çalışmada, hidrometeorolojik veriler yardımı ile nehir akımlarının tahmini yapılmaya çalışılmıştır. İleri beslemeli geri yayınım metodu ve genelleştirilmiş regresyon sinir ağ metotları kullanılmış, sonuçlar kıyaslanarak ileri beslemeli geri yayınım metodunun daha iyi sonuçlar verdiği ortaya konmuştur [1].

Bu çalışmada ise literatür özetinde belirtilen çalışmalardan farklı olarak, debi ölçümü bulunmayan bir derede debinin tahmini yapılmıştır. Bu amaçla aynı havza içerisindeki komşu dereye ait akım verileriyle çalışmaya konu olan derede 1 yıl boyunca yapılan debi ölçümlerinin çeşitli senaryolar altında hem YSA hem de ÇRA analizlerine tabi tutularak en iyi sonucu verecek modelin ortaya konulması amaçlanmıştır.

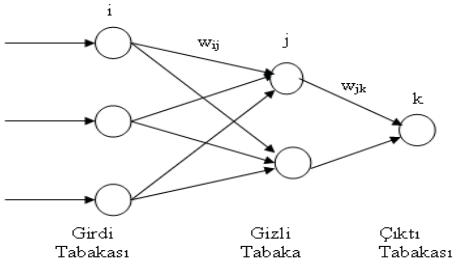
2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Yapay Sinir Ağları

YSA, Yapay Zekâ (YZ) biliminin bir alt dalıdır ve insan beyninin varsayılan çalışma prensibini kendine model edinmiş yapay sistemlerdir. Öğrenme yoluyla bilgi ve tecrübenin artırılması ve öğrenilenlerden faydalanarak sonuç üretilmesi prensibiyle işlemektedir.[7]

Günümüzde YSA birçok bilim alanına uygulanmaktadır. Bu yaklaşım diğer bilim dallarında olduğu gibi hidrolik ve hidroloji bilim dallarında da iyi sonuç elde etmek için kullanılmaktadır.

YSA' nın en önemli özelliklerinden birisi başlangıçta olay veya verilerle ilgili bir takım kabulleri gerektirmemesidir. YSA uygulamaları için paralel işlemlere meydan verebilecek en azından biri girdi, diğeri çıktı ve gerekirse de bir diğeri de ara saklı olacak biçimde üç tabakanın hücrelerle beraber tesis edilmesi gerekir.
YSA'larda bilgi işlemede ard arda gelen en azından üç tabaka bulunmaktadır. Bunlar dış ortamdan bilgileri algılama tabakası ki buna giriş tabakası adı verilir. Bilgileri işleme tabakası ki bu ortada bulunur ve nihayet bilgileri YSA ortamından insanın anlayacağı şekilde dışarıya veren çıkış tabakasıdır[7].



Şekil 2.1. Tek katmanlı YSA modelleri

Giriş katmanından alınan girişler, giriş katmanı ve gizli katman arasında bulunan bağlantı ağırlıkları ile çarpılıp gizli katmana iletilmektedir. Gizli katmandaki sinirlere gelen girişler toplanarak aynı şekilde gizli katman ile çıkış katmanı arasındaki bağlantı ağırlıkları ile çarpılarak çıkış katmanına iletilir. Çıkış katmanındaki sinirler de kendisine gelen bu girişleri toplayarak buna uygun bir çıkış üretirler [5].

YSA hesaplamaları arasında biri ileriye doğru girdileri çıktılar haline dönüştürmek diğeri de hataların azaltılması için ağılıkları geriye doğru yenilemek olmak üzere iki aşama vardır. Bir YSA modelinin geleceğe ait güvenilir tahminlerde kullanılabilmesi için değişik açılardan sınanması gereklidir [7].

YSA'da algıladığı bilgileri hatalar yaparak eğitim yolu ile öğrenirler. Eğitimden başarı ile geçtikten sonra YSA'lar artık algıladığı yeni bilgileri sınayarak kabul veya reddine karar verirler. YSA'lar ile desenler tanına bilmekte tarafsız sınıflamalar yapılabilmekte ve hatta bilgilerin biraz eksik olması durumunda bile genelleştirmeler yapılarak tam sonuca ulaşabilmektedir [7].

YSA modellenmesinde hiçbir ön şart ve kabul yoktur. Sonuçta YSA modellenmesi genelde birçoklu giriş çoklu çıkış ilişkisinin kurulmasını sağlar.

2.1.1. İleri Beslemeli Geriye Yayılım Sinir Ağları (İBGYSA)

İleri beslemeli geriye yayılım algoritması, su kaynaklarında en çok kullanılan yapay sinir ağları metodudur. İleri beslemeli geriye yayılım algoritması iki etaptan oluşmaktadır. Bunlar ileriye doğru besleme etabı ile çıktı birimindeki hesaplanan ve gözlenen bilgi sinyalleri arasındaki farklara dayanarak bağlantı kuvvetleri üzerinde değişikliklerin yapıldığı bir geriye doğru ilerleme etabıdır [4].

Eğitim sürecinin başında bağlantı kuvvetleri rastgele değerler olarak atanmaktadır. Öğrenme algoritması her iterasyonda eğitim başarı ile tamamlana kadar kuvveti değiştirmektedir. İterasyon süreci bir sonuca vardığında bağlantı kuvvetleri eğitim sürecinde kullanılan örneklerdeki mevcut bilgiyi elde eder ve saklar. Yeni bir girdi grubu sunulduğunda ileri doğru besleme ile yapay sinir ağının bağlantı kuvvetlerindeki öğrenilmiş ve saklanan bilgi sayesinde bir çıktı grubu elde edilir [4].

Geri yayılma algoritması gizli tabaka içeren YSA'larda kullanılan güçlü bir öğrenme algoritmasıdır. Geriye yayılma algoritmasında iki temel akış vardır. Bunlardan birincisi ağlar üzerinden ileriye doğru olan bilgi akışı, ikincisi ise geriye doğru olan hatanın yayılmasıdır. Geriye olan akışta ise gerçek çıkışlar ile hesaplanan çıkış değeri yardımıyla elde edilen hatanın geriye doğru yayılarak ağırlıkların değiştirilmesi sağlanır. Tüm öğrenme usullerinde olduğu gibi geriye yayılma algoritmasındaki amaç da giriş ve çıkış verileri arasındaki en uygun tasviri sağlayacak olan bağlantı ağırlıklarının elde edilmesidir [4].

Eğitme işleminin tamamlanması için iki seçenek mevcuttur. Bunlardan ilki belli miktardaki hata toleransını göze almak o hata değerinden daha düşük hata değerine ulaşıncaya kadar eğitmeyi sürdürmektir. Dolayısı ile bu durumda eğitme sayısından ziyade hata miktarı önemlidir. Diğer seçenek sabit bir eğitim sayısının seçilmesidir. Burada eğitici belirlenen eğitme sayısı sonunda elde edilecek hatayı kabul etmektedir [4].

Geriye yayılma algoritmasının mahsurları da vardır. Bunlar arasında örneğin ağın eğitilebilme garantisi yoktur. Eğitimin gerçekleştirilebilmesi için ağın büyütülmesinin yeterli olabileceği düşünülebilir. Ağın büyük tutulması öğrenmeyi ne kadar zorlayabileceği hususunda garanti verememektedir. Ağın büyütülmesi daha fazla işlem yükü getireceğinden bu kez de sonlu bir zaman diliminde eğitilebilme ihtimali azalmaktadır [4].

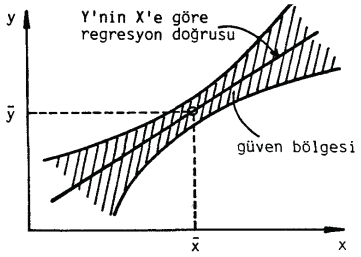
2.2. Regresyon Analizi

Mühendislik problemlerinin çoğunda iki ya da daha çok sayıda rastgele değişkenin aynı gözlem sırasında aldıkları değerlerin birbirinden bağımsız olmadığını, dolayısıyla bu değişkenler arasında istatistiksel bir ilişki bulunduğunu görürüz. İki değişken arasında bir ilişki bulunabileceği gibi, iki değişkenin başka bir değişkeni birlikte etkilemeleri de mümkündür. Regresyon analizinin amacı göz önüne alınan değişkenler arasında anlamlı bir ilişki bulunup bulunmadığını belirlemek, böyle bir ilişki varsa bu ilişkiyi ifade eden regresyon denklemini elde etmek ve bu denklemi kullanarak yapılacak tahminlerin güven aralıklarını hesaplamaktır [2].

Çok değişkenli doğrusal regresyon analizi ise bağımlı bir değişkene karşı iki veya daha fazla bağımsız değişken varsa ve bunlar arasındaki ilişki doğrusal ise;

$$Yi= \beta_o+\beta_1 X_{1i}+ \beta_2 X_{2i} +.....+ \beta_p X_{pi} +\varepsilon_i \qquad (2.1)$$

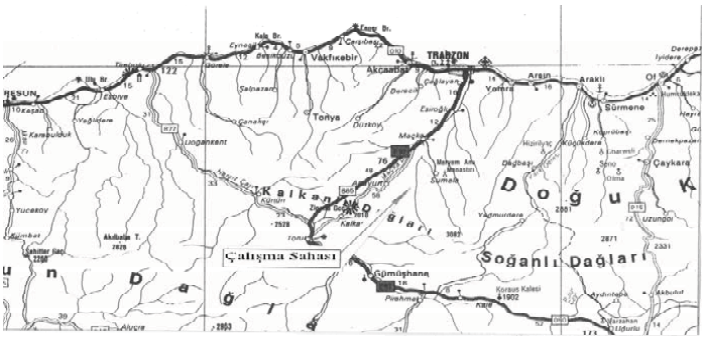
şeklinde gösterilebilir. Bu modele "çoklu doğrusal regresyon" adı verilir.



Şekil 2.2. Regresyon denklemiyle yapılan tahminler için belli bir güven düzeyindeki güven bölgesi [2]

3. AKIM TAHMİN MODELLERİNİN UYGULAMASI

Doğu Karadeniz havzasında yer alan Turnagöl deresi, akım verilerinin tahmini için çalışma sahası olarak seçilmiştir. Turnagöl deresi, Doğu Karadeniz Havzası içerisinde, Trabzon ili, Maçka ilçesi Maçka'nın yaklaşık 22 km. güneyinde yer almaktadır. Şekil 3.1'de çalışma sahası gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Turnagöl deresi coğrafi konumu

Turnagöl deresine ait akım verilerinin tahmini için, dereye yakın mesafelerde olan Trabzon'daki 1787 nolu, Maçka'daki 1626 nolu, Gümüşhane'deki 17088 nolu Devlet Meteoroloji İşlerine ait yağış ölçüm istasyonlarından, 1980–2000 yılları arasındaki yağış verileri temin edilmiştir.

Akım verisi olarak, Turnagöl deresi üzerinde her hangi bir Akım Gözlem İstasyonu (AGİ) bulunmadığından, Turnagöl Deresi ile aynı havza içerisinde yakın mesafelerde bulunan, Değirmendere üzerinde işletilmiş/işletilmekte olan DSİ 22–104 No'lu AGİ' ye ait 1980–2000 yılları arasındaki debi ölçümleri kullanılmıştır.

Yağış ve akım verilerinin belirli bir sınır aralığına çekilmesi için normalizasyon yapılmıştır. Normalizasyon işlemi için (3.1)'deki denklem kullanılmıştır.

$$y = 0{,}1 + 0{,}8\frac{X - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}} \tag{3.1}$$

Yağış ve akım verileri 3 gün öncesine katar ötelenerek (P(t–1),P(t–2),P(t–3)), hem verilerin daha uyumlu sonuçlar vermesi hem de 3 gün öncesinde debi tahmini yapılması amaçlanmıştır.

Yağış ve akım verileri Tablo 3.1 de gösterilmiş senaryolar için YSA ve ÇRA kullanılarak her yıl için ayrı ayrı analiz edilmiş sonuçlar kıyaslanarak en iyi sonucu veren model ve senaryo belirlenmiştir.

Tablo3.1. Model senaryoları

Senaryolar	Senaryo Numaraları	Girdiler
SENARYO I	Senaryo I-1	P(t-1)
	Senaryo I-2	P(t-1) P(t-2)
	Senaryo I-3	P(t-1) P(t-2) P(t-3)
SENARYO II	Senaryo II-1	Q(t-1)
	Senaryo II-2	Q(t-1) Q(t-2)
	Senaryo II-3	Q(t-1) Q(t-2) Q(t-3)
SENARYO III	Senaryo III-1	P(t)
	Senaryo III-2	P(t) P(t-1) Q(t-1)
	Senaryo III-3	P(t-1) P(t-2) Q(t-1) Q(t-2)

3.1. Çoklu Regresyon Analizi ile Debi Tahmini

Tablo 3.1'de gösterilen senaryolar, 3 yağış gözlem istasyonu ve 1 akım gözlem istasyonu için 1980–2000 yılları arasındaki verilerle regresyon analizine tabi tutulmuştur. Bu modelde Y=Debi değeri olarak alınacak X değerleri ise senaryolara göre değişiklik gösterecektir**.** Bulunan R^2 değerleri Tablo 3.2, Tablo 3.3, Tablo 3.4'de sunulmuştur.

Tablo 3.2. 1787 Nolu Trabzon İstasyonu için ÇRA Senaryoları R^2 değerleri

Senaryolar	Senaryo Numaraları	R^2
SENARYO I	Senaryo I-1	0,1640
	Senaryo I-2	0,1762
	Senaryo I-3	0,1998
SENARYO II	Senaryo II-1	0,9151
	Senaryo II-2	0,9249
	Senaryo II-3	**0,9264**
SENARYO III	Senaryo III-1	0,0503
	Senaryo III-2	0,9137
	Senaryo III-3	0,9162

Tablo 3.3. 1626 Nolu Maçka İstasyonu için ÇRA Senaryoları R^2 değerleri

Senaryolar	Senaryo Numaraları	R^2
SENARYO I	Senaryo I-1	0,1688
	Senaryo I-2	0,213
	Senaryo I-3	0,2186
SENARYO II	Senaryo II-1	0,9151
	Senaryo II-2	0,9249
	Senaryo II-3	**0,9264**
SENARYO III	Senaryo III-1	0,1024
	Senaryo III-2	0,8467
	Senaryo III-3	0,8469

Tablo 3.4. 17088 Nolu Gümüşhane İstasyonu için ÇRA Senaryoları R^2 değerleri

Senaryolar	Senaryo Numaraları	R^2
SENARYO I	Senaryo I-1	0,1970
	Senaryo I-2	0,1867
	Senaryo I-3	0,1878
SENARYO II	Senaryo II-1	0,9151
	Senaryo II-2	0,9249
	Senaryo II-3	**0,9264**
SENARYO III	Senaryo III-1	0,0767
	Senaryo III-2	0,9102
	Senaryo III-3	0,9094

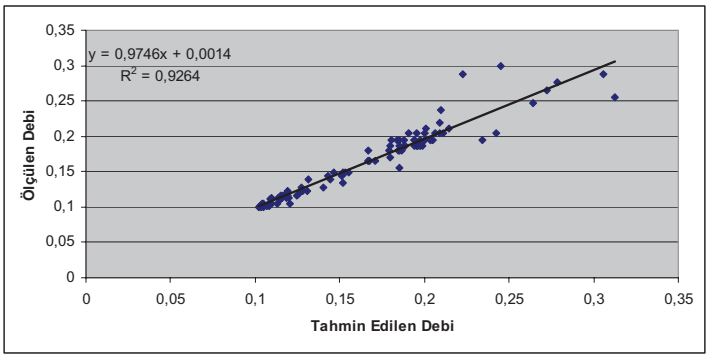
Üç istasyonda da Senaryo II için veri setleri aynı olduğu ve üçü içinde en iyi sonucu veren model Senaryo II-3 olduğundan, üç istasyon içinde ortak olan denklem oluşturulmuştur.

Senaryo II-3 için denklem,
$Q(t) = n.a_0 + a_1.X_1 + a_2.X_2 + a_3.X_3$ şeklindedir. Burada X_1, Q(t-1)' i, X_2, Q(t-2)' yi, X_3, Q(t-3)' ü ifade eden katsayılar olarak alınmış ve değerleri aşağıda gösterilmiştir.

Regresyon Analizi Sonucu Hesaplanan Katsayılar	
Kesişim	0,004748
X Değişkeni1	0,138027
X Değişkeni2	-0,42329
X Değişkeni3	1,267081

Denklem;
Q(t) = 0,004748+ 0,138027 Q(t-1). - 0,42329. Q(t-2) + 1,267081. Q(t-3)

şeklinde bulunmuştur. Elde edilen formül kullanılarak akım değerleri hesaplanmıştır. Hesaplanan akım değerleri ile ölçülmüş akım değerleri arasında korelasyon kurulup analiz verimi ölçülmüştür.
ÇRA modeli ile elde edilen performans değerlerine ait grafik Şekil 3.2'de verilmiştir.



Şekil 3.2. 1787 Nolu Trabzon, 1626 Nolu Maçka ve 17088 Nolu Gümüşhane İstasyonları Senaryo II–3 için ÇRA Yöntemiyle Debi Miktarının Tahmin Edilmesi

Şekil 3.2'den de görüldüğü gibi ÇRA modeli ile yapılan akım verilerinin tahmininde determinasyon katsayısı (R^2)değeri,
R^2=0,9264 olarak hesaplanmıştır. Buradan korelasyon katsayısı değeri R = 0,9625 olarak bulunmuştur.

3.2. YAPAY SİNİR AĞLARI İLE DEBİ TAHMİNİ

Akarsularda debi miktarı tahmini için YSA modelleri arasında İleri Beslemeli Geri Yayılımlı Sinir Ağları (İBGYSA) modeli akarsularda debi miktarı tahmininde uygun bir YSA modeli olduğu literatür çalışmalarından görülmektedir.
Yapılan bu çalışmada model girdisi olarak yağış ve akım verileri 3 gün öncesine kadar modele dâhil edilip çeşitli senaryolar altında modele olan etkisi araştırılmıştır. Düzenlenmiş senaryolarda sadece yağış, sadece akım ve hem yağış hem de akım verileri beraber olmak üzere ele alınmıştır. Bu verilere zaman ötelemesi de yaparak çok sayıda senaryo kurma imkânı bulunmuştur. Böylece en iyi sonucu verecek olan kombinasyon bulunmaya çalışılmıştır. Senaryolar her yıl için tekrarlanmış olup 365 veri setinin 260'ı eğitim, 105'i test kısmında kullanılmıştır.

Tablo 3.1'deki tüm senaryolar 3 ayrı veri seti için ayrı ayrı denenmiş, en iyi R^2, en küçük ortalama karesel hata (OKH) ve en küçük hata (%)' yı veren eğitim modeli uygulama sonuçları kısmında verilmiştir.

3.2.1.İBGYSA Uygulaması

Uygulamada Microsoft Excel 2003 ve bu program dahilinde çalışan Neuro Solution versiyon 4, paket programı kullanılmıştır. Modeller kurulurken İleri Beslemeli Geri Yayılımlı YSA modeli seçilmiştir. Bir tane gizli katman seçilmiş ve gizli katmandaki nöron sayıları 5 ile 8 arasında denenmiştir. İterasyon sayısı ise 1000 ile 5000 arasında en iyi sonucu verene kadar denenmiştir.

Tablo 3.6.1787 Nolu Trabzon Ölçüm İstasyonu İçin Senaryo I,II,III Sonuçları

1787 Nolu Trabzon Ölçüm İstasyonu İBGYSA Uygulaması Sonuçları							
Senaryolar	**Girdi Tabakası Nöron Sayısı**	**Gizli Tabaka Nöron Sayısı**	**Çıktı Tabakası Nöron Sayısı**	**İterasyon Sayısı**	**R^2**	**OKH**	**OMH**
S I-1	1	5	1	5000	0,1650	0,0549	1,092
S I-2	2	7	1	4000	0,3896	0,0088	0,403
S I-3	3	5	1	1000	0,2126	0,0085	0,229
S II-1	1	7	1	4000	0,9171	0,0002	0,051
S II-2	**2**	**5**	**1**	**5000**	**0,9381**	**0,0002**	**0,051**
S II-3	3	8	1	5000	0,9268	0,0002	0,062
S III-1	1	7	1	4000	0,0614	0,0195	1,197
S III-2	2	5	1	5000	0,9144	0,2080	0,0011
S III-3	3	6	1	3000	0,9173	0,075	0,0010

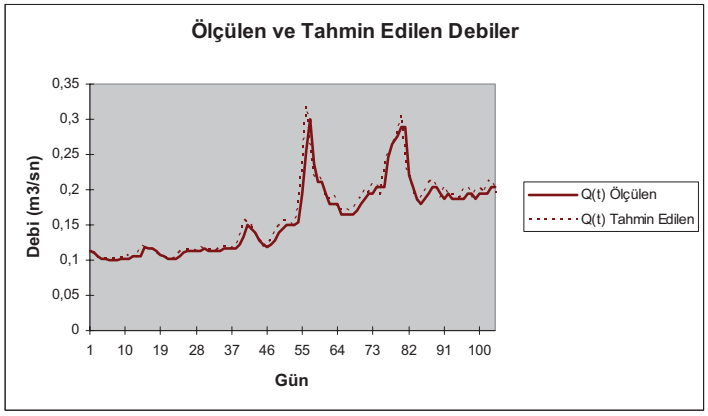
Tablo 3.7. 1626 Nolu Maçka Ölçüm İstasyonu İçin Senaryo I,II,III Sonuçları

1626 Nolu Maçka Ölçüm İstasyonu İBGYSA Uygulaması Sonuçları							
Senaryolar	**Girdi Tabakası Nöron Sayısı**	**Gizli Tabaka Nöron Sayısı**	**Çıktı Tabakası Nöron Sayısı**	**İterasyon Sayısı**	**R^2**	**OKH**	**OMH**
S I-1	1	7	1	4000	0,2230	0,0167	0,522
S I-2	2	5	1	5000	0,3148	0,0074	0,341
S I-3	3	7	1	4000	0,2792	0,0043	0,194
S II-1	1	7	1	4000	0,9171	0,0002	0,051
S II-2	**2**	**5**	**1**	**5000**	**0,9381**	**0,0002**	**0,051**
S II-3	3	8	1	5000	0,9268	0,0002	0,062
S III-1	1	6	1	3000	0,1027	0,6728	6,975
S III-2	2	5	1	1000	0,9324	0,0004	0,083
S III-3	3	5	1	5000	0,8503	0,0004	0,070

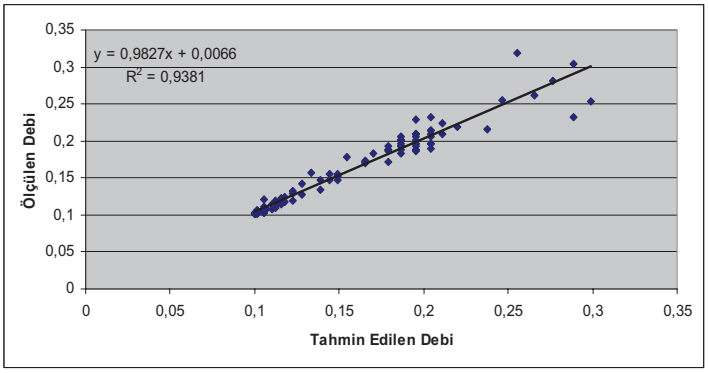
Tablo 3.8. 17088 Nolu Gümüşhane Ölçüm İstasyonu İçin Senaryo I,II,III Sonuçları

17088 Nolu Gümüşhane Ölçüm İstasyonu İBGYSA Uygulaması Sonuçları							
Senaryolar	**Girdi Tabakası Nöron Sayısı**	**Gizli Tabaka Nöron Sayısı**	**Çıktı Tabakası Nöron Sayısı**	**İterasyon Sayısı**	**R^2**	**OKH**	**OMH**
S I-1	1	6	1	3000	0,2909	0,0110	0,326
S I-2	2	8	1	5000	0,2843	0,059	0,994
S I-3	3	5	1	5000	0,2910	0,0096	0,260
S II-1	1	7	1	4000	0,9171	0,0002	0,051
S II-2	**2**	**5**	**1**	**5000**	**0,9381**	**0,0002**	**0,051**
S II-3	3	8	1	5000	0,9268	0,0002	0,062
S III-1	1	8	1	5000	0,1383	0,0313	0,859
S III-2	2	5	1	5000	0,9110	0,0003	0,100
S III-3	3	5	1	1000	0,9107	0,0004	0,095

Trabzon, Maçka, Gümüşhane, için yapılana analizlerde Senaryo II-2 en iyi determinasyon katsayısı, en küçük OKH ve OMH'yı verdiğinden en iyi senaryo olarak seçilmiştir.



Şekil 3.3. Trabzon, Maçka, Gümüşhane için Senaryo II-2'ye ait tahmin edilen ve ölçülen akım değerlerinin kıyaslanması



Şekil 3.4. Trabzon, Maçka, Gümüşhane için Senaryo II-2

Trabzon, Maçka, Gümüşhane için determinasyon katsayısı bakımından 0,9381 ile iki girdi, beş gizli nöron ve bir çıktılı, 5000 iterasyon sonucu oluşan Senaryo II–2 YSA modeli en iyi sonucu vermiştir. Senaryonun ortalama karesel hatası (OKH) 0,0002, ortalama mutlak hatası (OMH) 0,050 dir. Lineer bağımlılığını gösteren doğrunun denklemi y = 0,9827x + 0,0066 olarak bulunmuştur.

4.SONUÇ VE ÖNERİLER

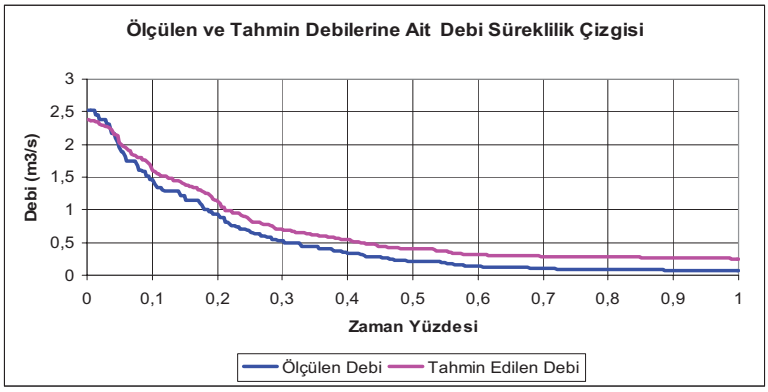
Değirmendere ve Turnagöl derelerinin akım verilerinin kendi aralarındaki uyumunun çok iyi olduğu kurulan modellerde görülmektedir. Yapılan analizlerde elde edilen korelasyon ve determinasyon katsayıları Tablo 4.1 de verilmiştir. En iyi sonucu YSA modelinin verdiği ortaya konmuştur.

Tablo 4.1. Değirmendere' Ye Ait 1980-2000 Yılları Arasındaki Akım Verilerinin Her Yıl İçin Analizi

Hesap Yöntemi	Determinasyon Katsayısı (R^2)	Korelasyon Katsayısı (R)
ÇRA Yöntemi	0,9249	0,9617
YSA Yöntemi	0,9381	0,9686

Tablo 4.1' den de görüleceği üzere ÇRA ve YSA sonuçlarının birbirine yakın olduğu, fakat YSA modelinin ÇRA' ne kıyasla daha iyi sonuçlar verdiği tespit edilmiştir. Yapılan analizler ile Turnagöl deresine ait akım verilerine en iyi yaklaşımı veren model olarak YSA ile senaryo II-2 olduğu belirlenmiştir. Bu model sonucu elde edilen verilerle de Turnagöl deresine ait debi gidiş ve debi süreklilik çizgileri elde edile bilmektedir.

Bu amaçla bulunan normalize edilmiş akım verileri denormalize edilerek elde edilen verilerle çizilen Turnagöl Deresine ait debi süreklilik çizgisi Şekil 4.1'de gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Turnagöl deresine ait ölçülen ve tahmin edilen debilere ait debi süreklilik çizgisi

Elde edilmiş olan bu debi süreklilik çizgisinden faydalanarak, bu dere üzerinde yapılması düşünülen su kaynakları projelerinin yapılabilirliğinin analizinde çok önemli bir aşama kaydedilmiş olmaktadır. Akım verilerinin tespitinde bu modelin kullanılabilir olduğu ortaya konmuştur.

KAYNAKLAR

ALP,M., "Farklı Yapay Sinir Ağı Metotları ile Yağış-Akış İlişkisinin Modellenmesi", BMYS, Eskişehir, 2008.

BAYAZIT, M., VE OĞUZ, B., "Mühendisler İçin İstatistik", Birsen Yayınevi, Cağaloğlu, İstanbul,1994.

CIĞIZOĞLU,H.K., "Debi Süreklilik Çizgisinin Matematik Modelleri ", Doktora Tezi, İTÜ, 1997.

EBERBART,R.C.,DOBBİNS,R.W., "Neural Network PC Tools.:A Practical Guide, 1990.

ELMAS,Ç., "Yapay Sinir Ağları", Seçkin Yayıncılık,Ankara,2003.

ŞAHİN,M., "Karadeniz Bölgesindeki Yağış-Akış İlişkisinin Farklı Yapay Sinir Ağları Metotlarıyla Belirlenmesi ", Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü., 2007.

ŞEN,Z., "Yapay Sinir Ağı İlkeleri ", Su vakfı, İstanbul,2004.

ŞENTÜRK,K., "Gözlem İstasyonu Olmayan Havzalarda Su Potansiyelinin Belirlenmesi", Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü., 2008.

TOLUK,T., "Akarsu Akımlarının Yapay Sinir Ağı Metotları Kullanılarak Modellenmesi ", Yüksek Lisans Tezi, Sakarya, 2006.

YANIK,B., “Doğal Akışlı Hidroelektrik Potansiyelin Belirlenmesinde Bölgesel Analiz Yaklaşımı”, Doktora Tezi, İ.T.Ü, 2004.

Devlet Meteoroloji İşleri DMİ, Ankara.

Devlet Su İşleri DSİ, Ankara.

Aylık Akımların Modellenmesi

Volkan BİRİNCİ [1], Bihrat ÖNÖZ [2]

Özet: Su kaynaklarının geliştirilmesi çalışmaları kapsamında yapılan planlama ve işletme aşamalarında akımların modellenmesi büyük önem arz etmektedir. Bu amaç için konvansiyonel modellemeler, istatistik modellemeler ve kara kutu modellemeleri olmak üzere üç temel yaklaşım mevcuttur. Konvansiyonel modeller akım fiziğini modellemeye yönelik lineer ve lineer olmayan, zaman sabitli ve deterministik modeller iken, istatistik modeller rastgele değişkenlerin davranışını tanımlayan bir matematiksel denklemler bütünüdür. Kara kutu modelleri ise işin fiziksel yönüyle ilgilenmeyen girdi-çıktı modelleridir. Son zamanlarda dikkat çeken kara kutu modelleme tekniklerinden birisi de Yapay Sinir Ağları (YSA) yöntemidir ve bu bağlamda en başarılı yapay sinir ağları tekniklerinden birisi de İleri Beslemeli Geri Yayılımlı Yapay Sinir Ağları tekniğidir. Yapay sinir ağları modelleri ile deterministik veya stokastik çözümü zor olan problemlerde insan beyninin tanımlama yeteneği (bunların içinde karşılaştırma, hatırlama ve tahmin vardır) kullanılarak başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Bu çalışmada 15 no'lu havzaya (Kızılırmak Havzası) ait olan Karanlık Dere'nin aylık akım verileri kullanılarak iki istatistiksel modelleme tekniği olan Çok Değişkenli Doğrusal Regresyon ve ARIMA ile bir yapay sinir ağları tekniği olan İleri Beslemeli Geri Yayılımlı Yapay Sinir Ağı tekniği karşılaştırılmıştır. Çalışmanın amacı bu üç tekniği karşılaştırmak ve sonuçlarını yorumlamaktır.

Anahtar Sözcükler: Regresyon, ARIMA, YSA, Modelleme

The Modeling of Monthly Flows

Abstract: Flow modeling has a great importance in planning and operation phases of water resources development studies. There are three basic approaches called as conventional modeling, statistical modeling and black box modeling for this purpose. Conventional models are linear and non-linear, time-invariant and deterministic models for modeling flow physics while statistical models are sets of mathematical equations which describe the behaviour of random variables. On the other hand, black box models are input-output models which are not involved with the physical approach. One of the black box modeling techniques, which is having more attention recently, is Artificial Neural Network (ANN) method and one of the most successful artificial neural network methods is Feed Forward Back Propagation (FFBP) technique. Artificial neural

[1] Okan Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul, E-Posta: volkan.birinci@okan.edu.tr
[2] İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul, E-Posta: onoz@itu.edu.tr

networks models get succesful results by using the cognition process of the human brain (comparison, recall, estimation) for deterministic and stochastic problems which are not easy to solve . In this study, monthly flows of Karanlık Dere of Kızılırmak Basin are used to compare the two statistical modeling techniques named Multivariate Linear Regression (MLR) and Auto Regressive Integrated Moving Average (ARIMA) with Feed Forward Back Propagation Neural Networks (FFBP NN). The goal of this study is to compare these three techniques and discuss the results.

Keywords: Regression, ARIMA, ANN, Modeling

1. GİRİŞ

Su kaynaklarının geliştirilmesi çalışmaları kapsamında yapılan planlama ve işletme aşamalarında akımların modellenmesi büyük önem arz etmektedir. Bu amaca ulaşmak içinse üç temel yaklaşım mevcuttur; bunlardan biri konvansiyonel modelleme, diğeri istatistiksel modelleme, sonuncusu ise kara kutu modellemesidir. Konvansiyonel modeller akımın fiziğini modelleyerek sonuca ulaşmaya çalışır ve genellikle doğrusal olmayan, zaman sabitli, deterministik, havza karakteristiklerine bağlı parametreler barındıran modellerdir. İstatistik modeller rastgele değişkenlerin davranışını tanımlayan bir matematiksel denklemler bütünüdür. Kara kutu modelleri ise bütün bu sayılan fiziksel süreçten bağımsız çalışan modellerdir. Kara kutu modelleri içerisinde ise özellikle hidroloji alanında ilgi çeken model ise yapay sinir ağlarıdır. Yapay sinir ağı modelleri insan beyninin tanıma ve öğrenme yeteneklerini taklit eder ve deterministik ya da stokastik süreçlerle tanımlanması zor olan problemlerde oldukça yararlı ve etkilidirler. Ek olarak, havzanın fiziki karakteristiklerinin önceden belirlenmiş olması veya verinin ön işlemlere tabi tutulması gerekmediğinden, yapay sinir ağları iyi bir çözüm olarak görünmektedir (Maier ve Dandy, 1996).

Hidrolojik tahmin olaylarında son çalışmalar göstermektedirki yapay sinir ağları yağış-akış modellenmesi (Hsu ve diğ., 1995; Shamseldin, 1997; Anctil ve Tape, 2004; Cığızoğlu ve Alp, 2004; Antar ve diğ., 2006), akım tahmini (Cığızoğlu, 2003; Kişi, 2004; Singh ve Deo, 2007) ve hazne giriş akımlarının tahmini (Jain ve diğ., 1999) gibi alanlarda oldukça sık kullanılmaktadırlar.

Bu çalışmanın amacı aylık akımların modellenmesinde yapay sinir ağları tekniklerinden biri olan İleri Beslemeli Geri Yayılımlı Yapay Sinir Ağı (İBGY YSA) ile çok değişkenli doğrusal regresyon ve otoregresif bütünleşik hareketli ortalama yöntemlerinin performanslarını araştırmak ve karşılaştırmaktır.

2.KULLANILAN YÖNTEMLER

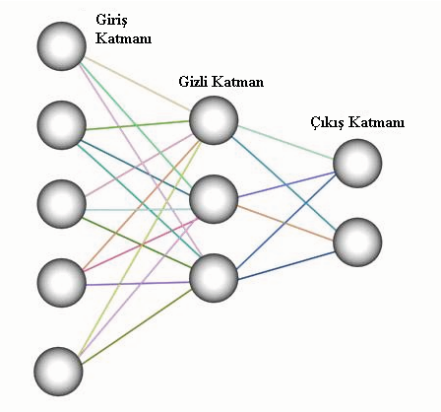
2.1. İleri Beslemeli Geri Yayılımlı Yapay Sinir Ağları (İBGY YSA)

Sinir sistemimizin özelleşmiş hücreleri olan nöronlar, bilindiği gibi bir hücre gövdesi, çekirdek, akson ve dendritlerden oluşmaktadır.

Dendritler bir nöronun alıcı ucudur ve etraftaki diğer nöronlardan veya dış dünyadan gelen sinyalleri toplarlar; hücre gövdesi bir nöronun beyni sayılabilecek çekirdeği muhafaza etmekle görevlidir; akson ise nöronun kendisinden diğer nöronlara gidecek olan sinyalleri göndermekle görevlidir. Vücuda gelen dış etkiler önce dendritlere ulaşır, daha sonra dendritler bu etkileri gerekli sinyaller halinde yorumlayarak çekirdeğe iletir ve çekirdek de sinyalleri aksona transfer eder. Eğer gelen sinyalin toplam büyüklüğü potansiyel limiti aşarsa akson çıktı olarak, yorumlanmış sinyali diğer bağlantılı nöronlara iletir ve hedef kas aktive olarak hareket eder.

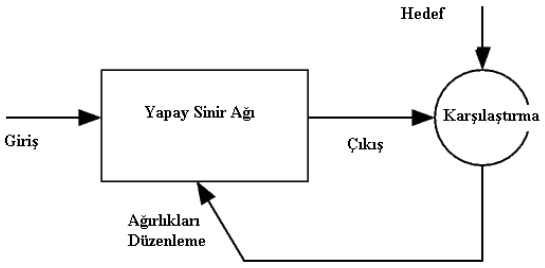
Yapay sinir ağlarının ardında yatan düşünce de yukarıda işleyişi kısaca açıklanan biyolojik nöronların işleyiş yönteminden farklı bir şey değildir. Yapay sinir ağlarının günümüz geleneksel bilgisayar yapısından en büyük farkı ise bilgisayarlardaki gibi bir mantıksal kurallar bütününü sıralı olarak uygulayan bir merkezi işlemciye sahip olmamasıdır. Bu durumun nedeni ise yapay sinir ağlarının bir karmaşık iletişim ağı çerçevesinde oluşturulmuş nöron yapılarından meydana gelerek paralel işlemlere izin veren bir yapı oluşturulabilmesini sağlamasıdır. Bu sistemin hesaplama yeteneğinin dayanak noktası ise nöronlar arasında farklılaştırılabilen ağırlıkl değerleri ile dinamik düğüm noktası yaratılabilmesidir. Yapay sinir ağlarının bu özelliği daha iyi bir kaynak kullanımı ve kısaltılmış işlem süreleri sağlar.

Yapay sinir ağlarının yapısı katmanlıdır ve bu katmanlı yapı üç ana katmandan oluşur. Bunlar Şekil 1'de de gösterildiği gibi giriş katmanı, gizli katman ve çıkış katmanıdır. Giriş ve çıkış katmanları sadece bir adet olabilirken gizli katman ise kendi içinde birden çok katmana sahip olabilmektedir.



Şekil 1. Yapay sinir ağlarının katmanlı yapısı

Yapay sinir ağları arasında oldukça geniş kullanım alanlarına sahip olan tekniklerden birisi İleri Beslemeli Geri Yayılımlı YSA tekniğidir. Bir İBGY YSA bir veya daha fazla gizli katmana sahip olabilmektedir ve saklı ve eşik düğüm noktaları, sigmoid veya bipolar fonksiyon seçimi yapılabilmesi, ayarlanabilir öğrenme oranı ve en dik iniş veya delta kuralı ile öğrenme yapılabilmesi gibi özellikleri vardır. İBGY YSA'ların en güçlü yanı bir çok deneme yapılabilmesi ve her denemeden sonra geri yayılım yaparak kendini düzeltmesidir. Bu özellik Şekil 2'de açıklanmıştır.



Şekil 2. Bir İBGY YSA geri yayılımı

2.2. Çok Değişkenli Doğrusal Regresyon (ÇDDR)

Çok değişkenli doğrusal regresyon aracılığıyla bir rastgele değişken ile birden fazla rastgele değişkenler arasındaki istatistik ilişkinin belirlenmesi amaçlanmaktadır. Bahsedilen rastgele değişkenin varyansının olabildiğince büyük bir kısmını açıklayacak şekilde belirlenecek bu ilişki (regresyon denklemi) ile değişkenin bir olayda alacağı değer, aldıkları değerler bilinen diğer rastgele değişkenlere bağlı olarak tahmin edilecektir (Bayazıt, 2006).

2.4. Otoregresif Bütünleşik Hareketli Ortalama (ARIMA)

Zaman serilerinin özelliklerini ortaya koymak ve aynı zamanda ileriyi öngörmek amacını taşıyan otoregresif bütünleşik hareketli ortalama [ARIMA(p,d,q)(P,D,Q)] modellerinde temel yaklaşım incelenen değişkenin bugünkü değerinin, geçmiş değerlerinin ağırlıklı toplamı ve rastsal şokların bileşimine dayandığı şeklinde açıklanmaktadır. Bununla birlikte, serilerin özelliklerinin ortaya çıkarılması için sistematik ve rastsal kısım olarak ayrıştırılması gerekmekte olup bahsedilen modeller hem analitik amaçla hem de zaman serilerinin sistematik kısmını tahmin amacı ile kullanılmaktadırlar. Bu bağlamda ARIMA modellerinin tahmini için izlenecek yaklaşım da Box ve Jenkins (1970) tarafından ortaya konulmuştur ve "Box-Jenkins Yaklaşımı" olarak adlandırılmaktadır (Akgül, 2003). ARIMA modelinin genel denklemi ise aşağıda denklem (2.1)'de verilmiştir.

$$f_p(B)\tilde{\nabla}^d Y_t = \mathrm{Q}_q(B)e(t) \tag{2.1}$$

Bu denklemde,

$$Y(t) = \{y(t), y(t-1), \ldots, y(t-n)\}, \qquad n = 1, 2, \ldots. \tag{2.2}$$

olmak üzere $\tilde{\nabla}^d Y_t$, $\{Y(t)\}$'nin d-adım farkı olarak tanımlanır.

$$e(t) = \{e(t), e(t-1), \ldots, e(t-n)\}, \qquad n = 1, 2, \ldots. \tag{2.3}$$

$$f_p(B) = 1 - j_1 B - j_2 B^2 - \ldots - j_P B^p \tag{2.4}$$

$$Q_q(B) = 1 + f_1 B + f_2 B^2 + ... + f_q B^q \quad (2.5)$$

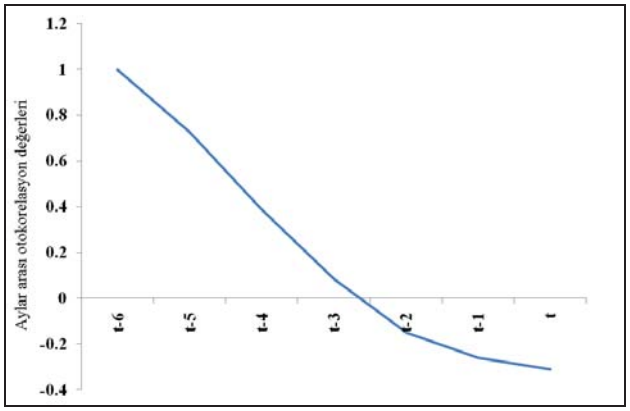
Denklemler (2.1), (2.3), (2.4) ve (2.5)'te ise p otoregresif adım sayısı; d fark adımları sayısı ve q ise hareketli ortalama modelinin adım sayısıdır. e(t) sıfır ortalama değerli beyaz gürültü (maskeleme ajanı da denebilir), B ise gecikme aritmetik operatörüdür.

3. VERİ SETİ

Bu çalışmada, Kızılırmak Havzası'nda bulunan Karanlık Dere İstasyonu'na (İstasyon No:1517) ait aylık ortalama akım verileri kullanılmıştır. Bölgenin yağış alanı 8592.4 km^2'dir ve sahip olunan veriler 1953-2000 yılları arasına aittir. Çizelge 1'de istasyona ait akım verilerinin tanımlayıcı istatistikleri verilmiştir. Ek olarak Şekil 3'te (t-6) ayının diğer aylar (t-6, t-5, …, t-1, t) ile olan otokorelasyon değerleri grafik halinde gösterilmiştir.

Çizelge 1. 1517 no'lu istasyona ait tanımlayıcı istatistikler

Ortalama	11.55
Standart Hata	0.50
Medyan	7.53
Standart Sapma	11.80
Varyans	139.33
Kurtosis	3.26
Çarpıklık Katsayısı	1.73

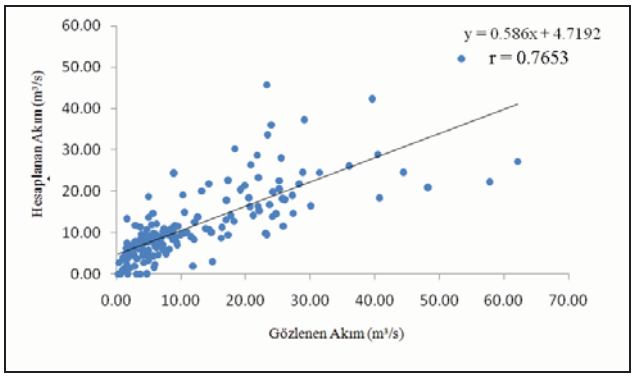


Şekil 3. Aylar arası otokorelasyon değerleri

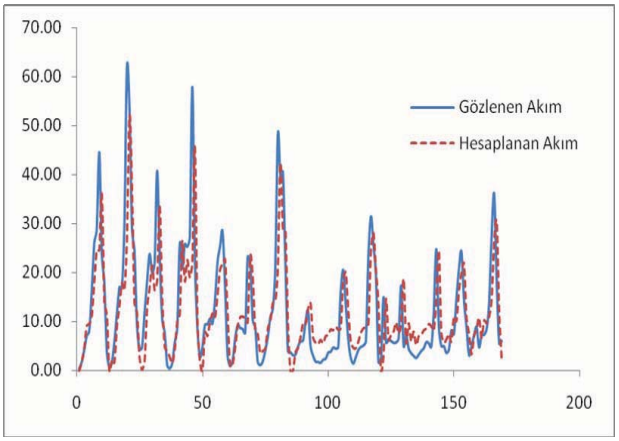
4. MODELLER

Çalışmada bir sonraki ayın akım ortalaması önceki 6 aydan yararlanılarak bulunmaya çalışılmıştır. Kullanılan ilk model çok değişkenli doğrusal regresyon yöntemidir. Verinin % 70'i regresyon denkleminin eldesinde, geri kalanı ise denklemin test

edilmesinde kullanılmıştır. Korelasyon katsayısı ve regresyon denklemi Şekil 4'te, gözlenen ve hesaplanan akımların birleşik grafiği ise Şekil 5'te görülebilir.

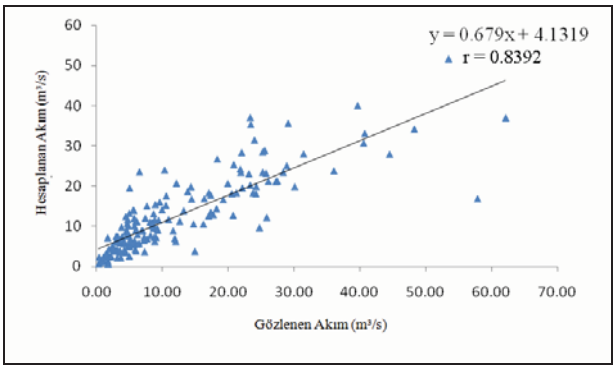


Şekil 4. Korelasyon katsayısı ve regresyon denklemi (ÇDDR)

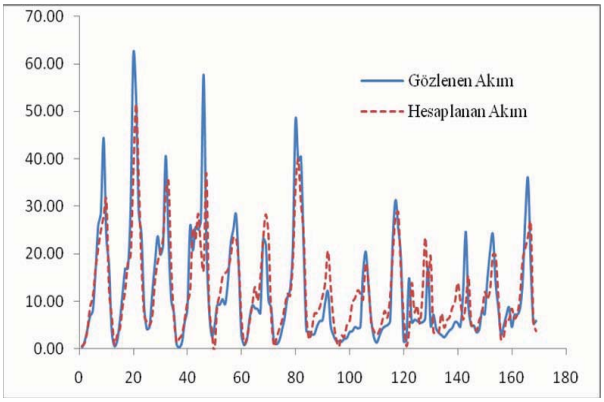


Şekil 5. Gözlenen ve hesaplanan akımlar (ÇDDR)

Kullanılan ikinci model ise ARIMA yöntemidir. Yapılan hesaplamalar sonucunda veri seti için en uygun ARIMA modelinin ARIMA(0,0,4)(6,0,6) olduğu gözlenmiş ve bu model hesaplamalarda kullanılmıştır. Verinin % 70'i regresyon denkleminin eldesinde, geri kalanı ise denklemin test edilmesinde kullanılmıştır. Korelasyon katsayısı ve regresyon denklemi Şekil 6'da, gözlenen ve hesaplanan akımların birleşik grafiği ise Şekil 7'de görülebilir.

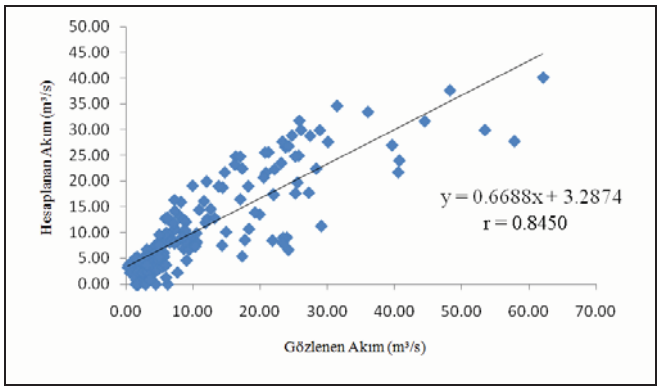


Şekil 6. Korelasyon katsayısı ve regresyon denklemi (ARIMA)

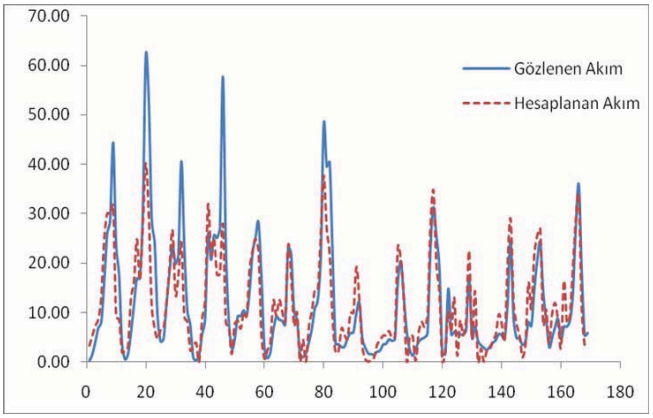


Şekil 7. Gözlenen ve hesaplanan akımlar (ARIMA)

Çalışmada uygulanan son model ise İBGY YSA modelidir. Verinin % 70'i regresyon denkleminin eldesinde, geri kalanı ise denklemin test edilmesinde kullanılmıştır. Hücre çıkışlarında sigmoid ve doğrusal fonksiyonlardan yararlanılmış, deneme sayısı 1000, öğrenme oranı ise 0.028 olarak seçilmiştir. Ağın yapısı ise 3 katmanlı olarak belirlenmiştir. Korelasyon katsayısı ve regresyon denklemi Şekil 8'de, gözlenen ve hesaplanan akımların birleşik grafiği ise Şekil 9'da görülebilir.



Şekil 8. Korelasyon katsayısı ve regresyon denklemi (İBGY YSA)



Şekil 9. Gözlenen ve hesaplanan akımlar (İBGY YSA)

5. SONUÇLAR

Çalışmanın sonuçları şu şekilde özetlenebilir:

a. ARIMA modeli ve İBGY YSA modeli ÇDDR modelinden gözle görülür derecede daha iyi sonuçlar vermiştir.

b. ARIMA modeli ile İBGY YSA modelinin R^2 değerleri arasında oldukça önemsenmeyebilecek kadar küçük bir fark bulunmaktadır.

c. ARIMA modeli İBGY YSA modelinden pik noktaları yakalama konusunda daha başarılıdır.

d. İBGY YSA modelinin bir kara kutu modeli olması nedeniyle bir kez elde edilen sonuçlar tekrar elde edilemeyebilir ve her işlem sırasında nöronlar arasındaki ağırlıklar değiştiğinden stabil bir model değildir.

e. İBGY YSA modelinde deneme sayısı arttıkça kullanılan bilgisayarın performansı düşmekte ve sonuçta model bu sorunu aşmak için oldukça yüksek ekipman maliyeti gerektirmektedir. ARIMA modelinde ise yapılan işlemler belirli olduğundan ekipman maliyetinde veya bilgisayar performansında herhangi bir artış veya azalış söz konusu olmamaktadır.

f. YSA modellerinde kullanılan yazılıma göre (genelde bu yazılım MATLAB'dir) ağırlık belirleme işlemleri elle yürütülemediği için kodda yapılan küçük bir hata yapılan modellemenin olduğundan daha iyi görünmesini de sağlayabilmektedir ve bu durum bilimsel yaklaşıma uygun değildir.

KAYNAKLAR:

AKGÜL I, "Zaman Serilerinin Analizi ve ARIMA Modelleri", 1. Baskı, DER Yayınları, İstanbul, Türkiye, 2003.

ANCTIL F, TAPE DG, "An Exploration of Artificial Neural Network Rainfall-Runoff Forecasting Combined with Wavelet Decomposition", J. Environ. Eng. Sci., 3, 121-128 (2004).

ANTAR MA, ELASSIOUTI I, ALLAM MN, "Rainfall-Runoff Modeling Using Artificial Neural Networks Technique: A Blue Nile Catchment Case Study", Hydrological Processes, 20, 1201-1216 (2006).

BAYAZIT M, "Çok Değişkenli İstatistik Analiz ve Hidrolojide Uygulamaları", 1. Baskı, Su Vakfı Yayıncılık, İstanbul, Türkiye, 2005.

CIĞIZOGLU HK, "Estimation, Forecasting and Extrapolation of Flow Data by Artificial Neural Networks", Hydrological Sciences Journal, 48(3), 349-361 (2003).

CIĞIZOGLU HK, ALP M, "Rainfall-Runoff Modeling Using Three Neural Network Methods", Artificial Intelligence and Soft Computing – ICAISC 2004, Lecture Notes in Artificial Intelligence, 3070, 166-171 (2004).

HSU K, GUPTA HV, SOROOSHIAN S, "Artificial Neural Network Modeling of the Rainfall-Runoff Process", Water Resources Research, 31, 2517-2530 (1995).

JAIN SK, DAS D, SRIVASTAVA DK, "Application of ANN for Reservoir Inflow Prediction and Operation", Journal of Water Resources Planning Management ASCE, 125(5), 263-271 (1999).

KİŞİ Ö, "River Flow Modeling Using Artificial Neural Networks", Journal of Hydrologic Engineering ASCE, 10.1061/(ASCE)1084-0699 (2004) 9:1 (60).

MAIER HR, DANDY GC, “The use of artificial neural networks for the prediction of water quality parameters”, Water Resour. Res. 32 (4) (1996) 1013–1022.

SHAMSELDIN AY, “Application of A Neural Network Technique to Rainfall-Runoff Modeling”, Journal of Hydrology, 199, 272-294 (1997).

SINGH P, DEO MC, “Suitability of Different Neural Networks in Daily Flow Forecasting”, Applied Soft Computing, 7, 968–978 (2007).

Adaptif Ağ Temelli Bulanık Çıkarım Sistemi ile Sediment Taşınımı Tahmini

M. Erol Keskin[1], E. Dilek Taylan[2]

Özet: Sediment taşınımı katı parçacıkların akım içerisinde hareketleri anlamına gelmektedir. Akım içerisindeki sediment hareketi arttığında yamaç erozyonuna neden olmaktadır. Bu çalışmada, Amerika'da Kaliforniya Eyaletinde yer alan 11152500 numaralı istasyona ait 1969-1979 yılları arasındaki aylık ortalama akım verileri kullanılarak Salinas R Nr Spreckels akarsuyu için sediment miktarı modellenmiştir. Modeller ANFIS- Adaptif Ağ Temelli Bulanık Çıkarım Sistemi kullanılarak oluşturulmuştur. Veriler USGS (United States Geological Survey) Amerikan Yerbilimsel Araştırma Kurumu'na ait internet sitesinden elde edilmiştir. Yapay zeka modelleri bilinen zaman serileri modellerinin aksine olaya etki eden değişkenlerle sonuç arasında bir neden-sonuç ilişkisi gerektirmez. Model sonuçları ve gözlenmiş değerler mukayese edildiğinde ANFIS modelleri ve sediment miktarı arasında iyi bir uyum olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Sözcükler: Sediment miktarı; ANFIS; Akım ölçümleri

Prediction of Sediment Load by Adaptive Neural Based Fuzzy Inference System

Abstract: Sediment transport means the movement of solid particles in flow. When sediment transport increased in flow, the slope erosion is formed. In study sediment load was modeled for Salinas R Nr Spreckels water stream by using monthly flow records of 11152500-station for 1969-1979 period in State of California, America. Models were formed by ANFIS- Adaptive Neural Based Fuzzy Inference System. Data was obtained from website of USGS - United States Geological Survey. Artificial Intelligence models were not required cause-effect relationship between variables which affect the event and results. As model results and observed values were compared, between ANFIS model results and historical sediment load data was found to be a good fit.

Keywords: Sediment load; ANFIS; Flow measuments

[1] Süleyman Demirel Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Isparta, E-Posta: merol@mmf.sdu.edu.tr
[2] Süleyman Demirel Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Isparta, E-Posta: edilek@mmf.sdu.edu.tr

1. GİRİŞ

Bilindiği gibi sediment hareketi, erozyona neden olması ve su kalitesini etkilemesi bakımından su kaynaklarının planlanmasına yönelik çalışmalarda büyük öneme sahiptir. Su mühendisliğinde akarsu yatağındaki sediment miktarının güvenilir ve doğru bir şekilde tahmin edilmesi gerekmektedir. Su yapılarının projelendirilmesinde akarsu havzasındaki erozyon nedeniyle ve akarsu yatağındaki suyun aşındırıcı etkisi nedeniyle meydana gelen katı madde hareketinin bilinmesi barajlarda faydalı biriktirme hacminin belirlenmesine, su yapılarının ana ve ara elemanlarının boyutlandırılmasına ve işletilmesine etki etmesi bakımından önemlidir (Ağıralioğlu ve Erkek, 1998). Baraj haznesinde biriken katı maddeler faydalı hacmin azalmasına ve su alma ağzının tıkanmasına neden olmaktadır. Bununla birlikte baraj göllerinde oluşacak toprak birikmesi nehirlerdeki ulaşımı etkilerken yükselen taşkın yatakları nedeniyle sellerin zararlı etkileri de artacaktır. Bunun neticesinde oluşacak toprak erozyonu nedeniyle verimli, tarım alanları da yok olacaktır. Diğer taraftan su yapılarında biriken katı madde, mekanik aksamın zarar görmesine ve işletme masraflarının artmasına neden olacaktır. Bu bakımdan akarsularda katı madde hareketinin miktarının ve yerinin belirlenmesi önemlidir (Ağıralioğlu, 2004).

Yüzey akışı ve sediment miktarı gibi hidrolojik süreçler başlangıç zemin nemi, arazi kullanımı, su toplama havzasının jeomorfolojisi, buharlaşma, sızma ve yağış süresi, yağış şiddeti gibi farklı değişkenlerin etkisinde olduklarından karmaşık yapılara sahiptirler. Yüzey akışı ve sediment miktarının tahmini için amprik bağıntılardan fiziksel modellere kadar çok sayıda hidrolojik çalışma mevcuttur (van Rijn, 2007; Markus ve Demissie, 2006; Raghuwanshi ve diğ., 2006, Sinnakaudan ve diğ., 2006; Kleinhans ve van Rijn, 2002, Şen ve diğ., 2004).

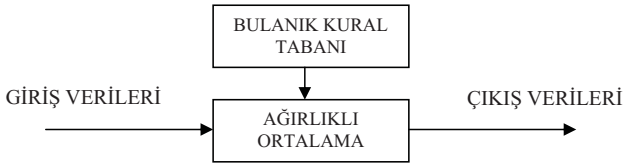
Su toplama havzasında ölçümler sıklıkla yapılsa bile bazı nedenlerle veri eksikliği görülmesi kaçınılmazdır. Bu yüzden akım miktarı ve sediment miktarının tahmini için mevcut yöntemlere alternatif olarak son yıllarda yapay zeka yöntemlerin kullanılmakta olduğu görülmektedir.

Bu bağlamda, çalışmanın amacı Kaliforniya'da bulunan Salinas akarsuyunda taşınan sediment miktarının tespiti amacıyla mevcut yöntemlere alternatif olarak yapay zekâ yöntemlerden adaptif ağ temelli bulanık çıkarım sistemlerinin-ANFIS kullanılmasıdır.

2. ADAPTIF AĞ TEMELLI BULANIK ÇIKARIM SISTEMI (ANFIS)

Genel bulanık sistemin mahzurlarını bir dereceye kadar ortadan kaldırabilmek için Takagi-Sugeno ve Sugeno-Kank tarafından teklif edilen Takagi-Sugeno-Kank bulanık sistemi denilen sistem kullanılır. Burada veri tabanındaki girdiler birer sayı, bulanık kural ve çıkarım motorunun çalışması sonunda, elde edilen çıktılar ise girdilerin bir fonksiyonu şeklindedir. Yani kural tabanındaki öncül kısımların değişkenleri olduğu gibi, İSE kelimesinden sonraki kural soncul kısmına bu değişkenlerin birer doğrusal fonksiyon olarak yansıtıldığı düşünülmüştür. Buna göre kural; *EGER arabanır x hız yüksek İSE gaza basma kuvveti y*, $y = ax$ şeklinde ifade edilebilir.

Bütün kuralların soncul kısımları sanki çok terimli bir doğrusal denklemden ibarettir. (Şekil 1).



Şekil 1. TSK bulanık sistemi

Aslında böyle bir bulanık sistemde çıktı uzayı, girdilerin fonksiyonu olarak, her bir alt uzayda geçerli bir kural olmak üzere temsil edilmiştir. TSK yaklaşımı ile çıktı yüzeyinin doğrusal olmaması halinde bile, bu yüzeyin alt uzaylar üzerinde girdi değişkenleri cinsinden düzlem parçaları halinde modellendiği anlaşılır. Ancak TSK bulanık sistemlerinin mahsurları arasında, İSE kısmından sonra matematik bir ilişki bulunduğundan, kuralların soncul kısımlarının insan tarafından verilecek sözel bilgileri modelleyememesi ve giriş çıkış değişkenleri arasında yazılması mümkün olan tüm kuralların soncul kısımlarının bulanık olmaması dolayısıyla yazılamamasıdır.

Bulanık kontrol ve yapay sinir ağları ilkelerinin kaynaşması esasına dayalı olarak meydana gelmiş bir Adaptif Ağ Temelli Bulanık Çıkarım Sistemi (ANFIS) her iki yapay zeka modelinin avantajlarına sahiptir. Böylece araştırmacı yapay sinir ağlarının kolay öğrenme ve hesap gücü ile EĞER-İSE kural tabanına bağlı olarak oluşturulmuş bulanık kontrol sistemlerinin tahmin gücünü bir arada kullanabilmektedir. Yani, yapay sinir ağları bulanık kontrol sistemleri ile birleşerek şeffaflaşırken, bulanık kontrol sistemleri de yapay sinir ağları sayesinde kendi kendini kontrol etme, yenileme özelliği kazanacaktır.

Girdi uzayının parçalara ayrılması için ve model yapısının tanımlanması için çok sayıda metot mevcuttur. Esas olarak ANFIS, yapay sinir hücreleri ile öğrenme yeteneğine sahip olan Sugeno tipi bulanık sistemler için grafiksel bir ağ yapısından oluşmaktadır. Ağ yapısı özel fonksiyonları olan tabakalardan ve düğüm noktalarından oluşmaktadır (Tsoukalas ve Uhrig, 1997).

ANFIS'in temsili yapısını göstermek amacıyla, TSK bulanık kurallarına bağlı olan bir nöral bulanık kontrol sistemi ele alınabilir. TSK bulanık kurallarında soncullar (çıktılar), öncüllerin (girdiler) lineer kombinasyonlarından oluşmaktadırlar. Bir TSK bulanık kuralı aşağıda verilen (Denklem 1) yapıdadır:

$$\begin{aligned} &R^j : EGER\ x_1\ ,\ A_1^j\ VE\ x_2\ ,\ A_2^j\ VE ... VE\ \ x_n\ ,\ A_n^j \\ &\dot{I}SE\ y = f_j = a_0^j + a_1^j x_1 + a_2^j x_2 + ... + a_n^j x_n \end{aligned} \tag{1}$$

burada, x_i (i = 1, 2, …, n) girdi değişkenlerini, y çıktı değişkenini, A_i^j, $\mu_{A_i^j(x_i)}$ üyelik derecesine sahip olan girdiler için sözel alt kümeleri, $a_I^j \in \mathbb{R}$ ise f_i (x_1, x_2, …, x_n) (j = 1, 2, ..., m, i= 1, 2, …, n) çıktı fonksiyonuna ait olan lineer denklem katsayılarını göstermektedirler.

Girdi değişkenleri x_1 ve x_2 olan, çıktısı ise y olan bir bulanık kontrol sistemi için TSK bulanık kurallarından iki tanesi aşağıdaki şekilde olacaktır:

$$R^1 : EGER\ x_1\ ,\ A_1^1\ VE\ x_2\ ,\ A_2^1\ ,\ İSE\ y = f_1 = a_0^1 + a_1^1 x_1 + a_2^1 x_2 \tag{2}$$

$$R^2 : EGER\ x_1\ ,\ A_1^2\ VE\ x_2\ ,\ A_2^2\ ,\ İSE\ y = f_2 = a_0^2 + a_1^2 x_1 + a_2^2 x_2 \tag{3}$$

Bulanık mantık yaklaşımında, verilen x_1 ve x_2 girdi değerlerine karşılık y^* çıktı değerinin hesaplanması,

$$y^* = \left(\mu_1 f_1 + \mu_2 f\right)_2 / \left(\mu_1 + \mu_2\right) \tag{4}$$

şeklindedir. Burada μ_j, R^j (j = 1, 2) kuralının zorlayıcı gücünü göstermektedir ve,

$$\mu_j = \mu_{A_1^j}(x_1) * \mu_{A_2^j}(x_2), \quad j = 1, 2 \tag{5}$$

bağıntısı ile hesaplanmaktadır.

Eğer ANFIS yapısı oluşturulurken çarpım çıkarım işlemi kullanılıyorsa, Şekil 2'de gösterilen ANFIS mimarisine uygun tabakalar ve düğüm fonksiyonları kullanılmaktadır. YSA mimarisine benzeyen bu yapıdaki bir yaklaşım için her bir tabaka aşağıda verilen şekilde tanımlanabilmektedir (Lin ve Lee, 1995).

Tabaka 1. Bu tabakadaki her düğüm bir girdi değerini göstermektedir ve düğümler dışardan gelen sinyalleri diğer tabakaya iletmektedir.

Tabaka 2. Bu tabakadaki her düğüm $\mu_{A_i^j}(x_i)$ üyelik fonksiyonu gibi çalışmaktadır ve çıktıları A_i^j miktarını veren x_i'nin derecesini vermektedir. Genel olarak, $\mu_{A_i^j}(x_i)$, maksimum değeri 1, minimum değeri 0 olan çan eğrisi şeklinde seçilmektedir.

$$\mu_{A_i^j}(x_i) = 1 / \left\{ 1 + \left[\left((x_i - m_i^j) / \sigma_i^j \right)^2 \right]^{b_i^j} \right\} \tag{6}$$

veya

$$\mu_{A_i^j}(x_i) = \exp\left\{-\left[\left((x_i - m_i^j)/\sigma_i^j\right)^2\right]^{b_i^j}\right\} \tag{7}$$

burada $\{m_i^j, \sigma_i^j, b_i^j\}$ düzenlenecek parametre setidir. Gerçekte bu tabakada, trapez yada üçgen üyelik fonksiyonu gibi sürekli ve kesikli farklı fonksiyonlar, düğüm fonksiyonları olarak kullanılmaktadır. Bu tabakadaki parametreler öncül parametreler olarak tanımlanmaktadır.

Tabaka 3. Bu tabakadaki her düğüm Π ile gösterilmektedir ve $\mu_j = \mu_{A_1^j}(x_1) + \mu_{A_2^j}(x_2)$ gelen sinyalleri çarparak çarpım sonucunu oluşturmaktadır. Her bir düğümün çıktısı bir kurala ait zorlayıcı gücü vermektedir.

Tabaka 4. Bu tabakadaki her düğüm N ile isimlendirilmektedir ve bir kurala ait zorlayıcı güç ile normalize edilmektedir. Yani, *j*'inci düğüm değeri, *j*'inci kuralın zorlayıcı gücünün tüm kuralların toplam zorlayıcı gücüne oranından bulunmaktadır.

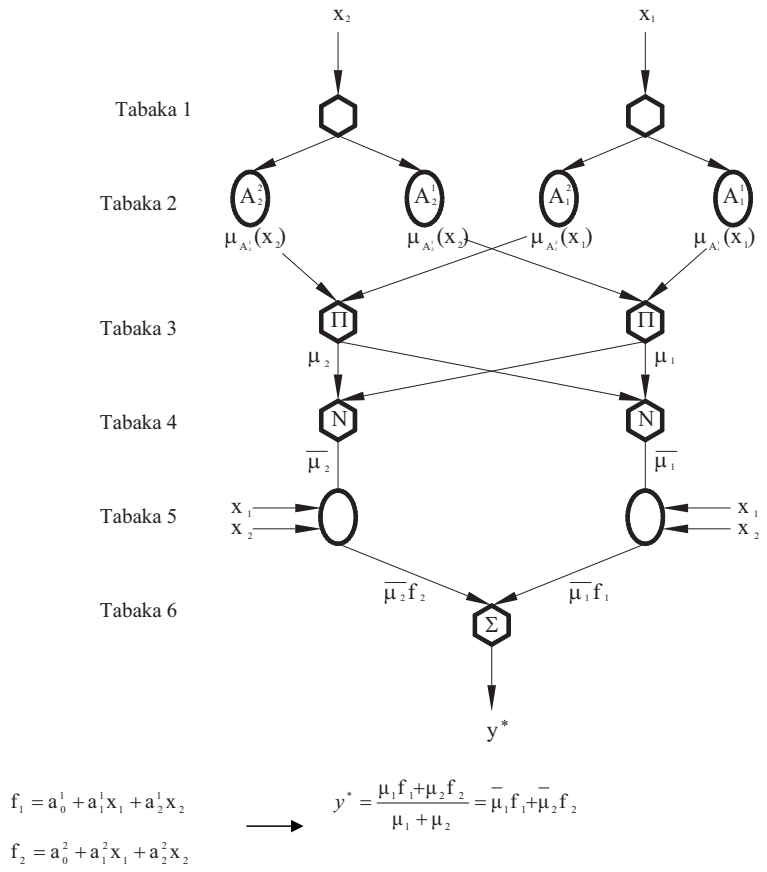
$$\overline{\mu}_j = \mu_j / \sum \mu_i \tag{8}$$

Tabaka 5. Bu tabakadaki her bir *j* düğümü ağırlıklı sonuç değerini vermektedir.

$$\overline{\mu_j}\left(a_0^j + a_1^j x_1 + a_2^j x_2\right) \tag{9}$$

burada $\overline{\mu_j}$ tabaka 4'ün çıktısıdır. $\left\{a_0^j, a_1^j, a_2^j\right\}$ ise düzenlenecek parametre setidir. Bu tabakadaki parametreler sonuç parametreleri olarak tanımlanmaktadır.

Tabaka 6. Bu tabakada tek bir düğüm vardır ve Σ ile gösterilmektedir. Σ tüm sistemin çıktısını elde etmek için gelen sinyallerin toplamını göstermektedir (Lin ve Lee, 1995).



$$f_1 = a_0^1 + a_1^1 x_1 + a_2^1 x_2$$

$$f_2 = a_0^2 + a_1^2 x_1 + a_2^2 x_2$$

$$\longrightarrow \quad y^* = \frac{\mu_1 f_1 + \mu_2 f_2}{\mu_1 + \mu_2} = \bar{\mu}_1 f_1 + \bar{\mu}_2 f_2$$

Şekil 2. ANFIS yapısı

3. UYGULAMA

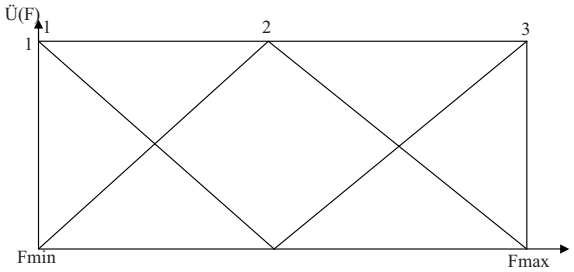
Çalışmanın bu kısmında, Amerika'da Kaliforniya Eyaletinde yer alan 11152500 numaralı istasyona ait 1969-1979 yılları arasındaki aylık ortalama akım verileri kullanılarak Salinas R Nr Spreckels akarsuyu için sediment miktarı yapay zekâ yöntemlerinden biri olan adaptif ağ temelli bulanık çıkarım sistemi (ANFIS) kullanılarak tahmin edilmiştir. Akarsu için modelin eğitimi ve testi safhalarında kullanılmak üzere seçilen eğitim ve test setleri ayrılmıştır. Eğitim seti olarak 1969 yılı ekim ayından 1977 yılı haziran ayına kadar olan periyodu kapsarken, test seti 1977 temmuz ayından 1979 eylül ayına kadar olan periyottan oluşmaktadır.

Aylık ortalama sediment miktarı (ton/gün) tahmini için akarsuya ait aylık ortalama akım verileri (feet^3/saniye) kullanılmıştır. İki girdili olarak ele alınan ANFIS modelleri farklı alt küme sayıları için tahkik edilmiştir. Salinas Nr Spreckels nehri sediment miktarının t

ayındaki değerinin tahmini için $F_{(t-1)}$, $F_{(t-2)}$ aylarındaki akımlar girdi değişkenleri olarak seçilmişlerdir.

Şekil 3'de ANFIS yaklaşımı ile sediment miktarı tahmini yapabilmek amacıyla akarsu için seçilen alt küme ve üyelik fonksiyonu özellikleri verilmektedir.

Şekil 3'den görüldüğü üzere girdi değişkenleri için üçgen üyelik fonksiyonu seçilmiştir. Fmin ve Fmax değerleri akarsu akımı için en büyük ve en küçük akım değerlerini göstermektedir. En büyük ve en küçük akımlar arasında alt küme sayısına göre, alt küme ayak aralıkları eşit alınmıştır. Modellerde sırasıyla 3,4,5,6,7,8 ve 9 alt kümeli üçgen üyelik fonksiyonları tahkik edilmiştir. En uygun sonuçlar 3 alt kümeli üçgen üyelik fonksiyonu için elde edilmiştir.



Şekil 3. ANFIS modelleri için girdi değişkenlerine ait üyelik fonksiyonları ve alt kümeleri

Bir ANFIS mimarisinde her değişken farklı alt küme değerleri alabilir dolayısıyla her bir kural için farklı parametreler oluşacaktır. Örneğin dört girdisi olan bir modelde, her bir değişken için üçer kural varsa ve her kuralda üçer parametre varsa Şekil 2'de verilen Tabaka 2'de 4 (değişken) × 3 (kural) × 3 (parametre) işleyişinden dolayı 36 adet parametre belirlenmesi gerekmektedir. Tabaka 3'de bu kurallar 3^4 adet düğüm noktası oluşturacaktır. Dolayısıyla Tabaka 5'de durulaştırılmak üzere $405(3^4*5)$ adet belirsiz parametre oluşacaktır. Girdi ve çıktı değişkenleri arasında kural tabanına bağlı bir ilişki oluşturmak için bulanık çıkarım kümesi kullanılmıştır. Bulanık çıkarım kümesi eğitim için ayrılmış girdi çıktı setlerini tarayarak otomatik olarak bulanık çıkarım sistemi üretme tekniğidir. Oluşturulan ANFIS modellerinde çıktı değişkenleri için üyelik fonksiyonu lineer olarak seçilmiştir.

ANFIS modellerinin oluşturulmasında ve sonuçların elde edilmesinde Matlab 6.5 programı kullanılmıştır. Modelin performansı akım tahmini hatasına bağlı olarak R^2 determinasyon katsayısı ve MSE ortalama karesel hatalar toplamı ile belirlenmiştir (Denklem 10 ve Denklem 13).

$$R^2 = \frac{S_o - S}{S_o} \tag{10}$$

$$S_o = \sum_{i=1}^{n} \left(S_{i(gerçek)} - S_{ort} \right)^2 \tag{11}$$

$$S = \sum_{i=1}^{n} \left(S_{i(gerçek)} - S_{i(model)} \right)^2 \tag{12}$$

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} \left(S_{i(gerçek)} - S_{i(\mathbf{model})} \right)^2 \tag{13}$$

Burada, n, gözlenmiş sediment miktarı verilerinin sayısı ve S_{ort}, ortalama ölçülmüş aylık sediment miktarı değeridir. En iyi model determinasyon katsayısı R^2 ve ortalama karesel hata MSE değerlerine göre belirlenmektedir. Determinasyon katsayısının 1'e ve ortalama karesel hatanın da 0'a yakınlığı tahmin modellerinin yeterliliğini göstermektedir.

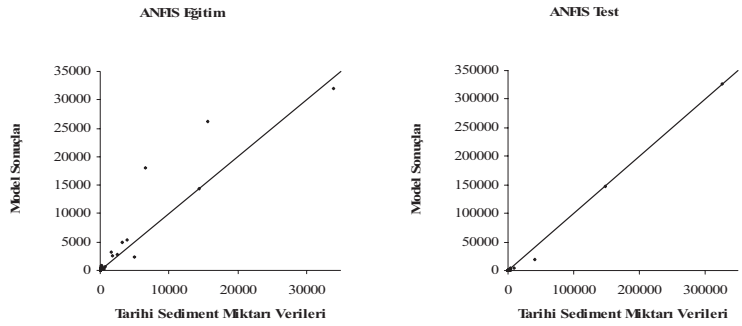
Gözlenmiş akım verilerini kullanarak ANFIS yöntemiyle sediment miktarı tahmini yaklaşımında elde edilen R^2 ve MSE değerleri Çizelge 1'de verilmektedir. Modeller oluşturulurken tarihi veriler eğitim ve test kısımlarına ayrılmıştır. Bunun için veri setinin ilk %80'lik kısmı modelin eğitimi için, kalan %20'lik kısmı ise modelin testi için ayrılmıştır.

Çizelge 1. ANFIS modeli R^2 - MSE değerleri

Model			**ANFIS**
Salinas Nr Spreckels	Eğitim	R^2	0.84
		MSE	5489879
	Test	R^2	0.99
		MSE	39939767

4. SONUÇLAR

Geliştirilen modelin performansını göstermek için, modelin sonuçları ile aylık sediment miktarı değerleri arasında çizilen saçılma diyagramları Şekil 4'de verilmiştir. Şekil 4'den de görüldüğü gibi, geliştirilen modelin sonuçlarının 45° lik doğru etrafındadır ve bir sapma mevcut değildir. Yüksek ve düşük sediment miktarı değerleri için geniş varyasyonlar olmasına rağmen bu periyotlardaki tahmin etme yeteneği ANFIS modelinin ekstrem noktaların tahmini için uygun kurallara sahip olduğunu göstermektedir.



Şekil 4. Tarihi sediment miktarı verileri ile model sonuçları arasında kıyaslama

KAYNAKLAR

AĞIRALİOĞLU N, "Baraj Planlama ve Tasarımı -1", Su Vakfı Yayınları, 2004.

AĞIRALİOĞLU N, ERKEK C, "Su Kaynakları Mühendisliği", Beta Basımevi, İstanbul, 1998.

KLEİNHANS MG, VAN RİJN LC, "Stochastic Prediction of Sediment Transport in Sand-Gravel Bed Rivers", Journal of Hydraulic Engineering, 128(4):412–425, 2002.

LIN CT, LEE CSG, "Neural Fuzzy System", Prentice Hall 797, Englewood Cliffs, New Jersey, USA, 1995.

MARKUS M, DEMİSSİE M, "Predictability of Annual Sediment Loads Based on Flood Events", Journal Of Hydraulıc Engıneerıng, 11(4):354-361, 2006.

RAGHUWANSHİ NS, SİNGH R, REDDY LS, "Runoff and Sediment Yield Modeling Using Artificial Neural Networks: Upper Siwane River, India", Journal of Hydrologic Engineering, 11(1): 71-79, 2006.

SİNNAKAUDAN SK, AB GHANİ A, AHMAD MSS, ZAKARİA NA, "Multiple Linear Regression Model for Total Bed Material Load Prediction", Journal of Hydrologic Engineering, 132(5):521-528, 2006.

ŞEN Z, ALTUNKAYNAK A, ÖZGER M, "Sediment Concentration and Its Prediction by Perceptron Kalman Filtering Procedure", Journal of Hydraulic Engineering, 130(8): 816–826, 2004.

TSOUKALAS LH, UHRIG RE, "Fuzzy and Neural Approaches in Engineering", Wiley-Interscience, John Wiley & Sons. Inc., New York, USA, 1997.

VAN RİJN LC, "Unified View of Sediment Transport by Currents and Waves. I: Initiation of Motion, Bed Roughness, and Bed-Load Transport", Journal Of Hydraulıc Engıneerıng, 133(6):649-667, 2007.

Doğrusal Olmayan Çekilme Eğrisi Analizi ile Taban Akışının Ayrılması

Hafzullah Aksoy [1], Hartmut Wittenberg [2]

Özet: Taban akışının tahminedilmesi su mühendisliğinin birçok dalını ilgilendiren önemli bir konudur. Buna karşın, taban akışını akarsu yatağında gözlenen toplam akıştan ayırıp hesap etmek için kullanılan teknolojik izleme yöntemleri çok masraflıdır. Taban akışını ayırmada kimyasal izleyiciler ve alan çalışma ve gözlemleri gibi yöntemler geniş havzalarda uygulanamamaktadır. Dolayısıyla hidrograf analizlerine dayanan taban akışı ayırma yöntemleri geliştirilmiştir. Dünyada olduğu gibi Türkiye'de de henüz genel kabul görmüş bir taban akışı ayırma yöntemi bulunmadığından uygulamada objektif olmayan ancak basit grafik yöntemlerle yetinilmektedir. Literatürde yeraltı suyu biriktirme sisteminin doğrusal hazne kabulü üzerine kurulmuş çok sayıda yöntem vardır. Son zamanlarda ise doğrusal olmayan hazne kabulüne dayanan yöntemler geliştirilmiştir. Bu çalışmada çok sayıda istasyon üzerinde yapılan denemeler sonucunda hazne-debi ilişkisinin doğrusal olmadığını gösteren bir yöntemin Trakya'dan Şeytan Deresi'nin günlük akım verilerine yapılan uygulaması gerçekleştirilmiştir. Uygulama sonrasında taban akışının toplam akışa paralel şekilde bir periyodiklik içerdiği, bu periyodikliğin akarsuyun kuru olması nedeni ile daha da belirgin olduğu anlaşılmıştır.

Anahtar Sözcükler: Doğrusal olmayan hazne, Hidrograf, Çekilme eğrisi, Kuruyan akarsu, Taban akışı, Yeraltı suyu.

Baseflow separation by nonlinear recession curve analysis

Abstract: Baseflow separation is an important topic related to water resources engineering problems. Although it is so, its separation from the total streamflow is still technılogically expensive and hence chemical trcaers are used. However, the latter chnique is not applicable to huge basins. As a result of thşese facts, simple graphical separation methods are developed. Also hydrological analysis based on linear-storage concept of groundwater is used. Receent yeras the nonlinear version of the groundwater storage is applied successively for baseflow separation. In this study, this concept is applied on daily streamflow data of Seytan Deresi in Threace. It is found that baseflow

[1] İTÜ İnşaat Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 34469 Maslak, İstanbul, E-Posta: haksoy@itu.edu.tr

[2] Leuphana Universitaet Lüneburg, Campus Suderburg 29556 Suderburg, Almanya, E-Posta: wittenberg@uni.leuphana.de

shows a periodicity bheviour similar to that in the total flow and also that the seasonality is more evident when the river is intermittent.

Keywords: Nonlinear storage, Hydrograph, Recession curve, Intermittent stream, Baseflow, Groundwater

1. GİRİŞ

Akarsu kesitinde gözlenen toplam akış, dolaysız akış ve dolaylı akış (taban akışı) olmak üzere iki ana bileşene ayrılabilir. Dolaysız akış, yüzeysel akış ve yüzeyaltı akışının gecikmeye uğramamış kısmı, dolaylı akış ise yeraltı akışı ve yüzeyaltı akışının gecikmeye uğramış kısmı olarak tanımlanabilir. Yağışsız kurak dönemlerde akarsuyu besleyen temel kaynak taban akışıdır. Bu yüzden taban akışı özellikle kurak dönemlerde önem kazanır. Taban akışının bu dönemlerdeki miktarı havza içersindeki mühendislik projelerinin maksatlarına ulaşmasında etkin rol oynar. Aynı dönem içinde taban akışı akarsudaki canlılar için de temel yaşam kaynağı niteliğindedir.

Su kaynakları planlama ve yönetiminde düşük akım dönemlerindeki taban akışı tahminleri; sulama, su temini, hidroelektrik projeleri, akarsu taşımacılığı, atıksu seyreltmesi gibi su projelendirme ve işletmesi alanlarında, yağış-akış ilişkilerinin kurulduğu matematiksel modelleme çalışmalarında, değişik akım karakteristiklerinin çalışıldığı hidrograf analizlerinde, düşük akım istatistikleri çalışmalarında, havza depolama kapasitesi tahminlerinin yapılması gibi hidrolojinin birçok çalışma alanında doğrudan ya da dolaylı olarak kullanılır. Bu yüzden taban akışının toplam akıştan ayrılması hidrolojik çalışmalarda araştırma ve uygulama açısından önemlidir. Ancak bu amaçla kullanılan teknolojik akım izleme teknolojisi çok gelişmemiştir. Kullanılabilecek nitelikteki teknikler de henüz çok sınırlı bir kullanıma sahiptir. Bu nedenle hidrograf analizine dayalı yöntemler ile taban akışının toplam akıştan ayrılması konusunda çok sayıda çalışma yapılmıştır.

Taban akışının tahmin edilmesi İnşaat Mühendisliği uygulamalarında önemlidir. Örneğin; su kaynakları planlama ve yönetimi çalışmalarında düşük akım dönemlerinin tahmin edilmesi; sulama, su temini, hidroelektrik projeleri, akarsu taşımacılığı, atık su seyreltmesi gibi su projelerinde; yağış-akış modelleri, hidrograf analizi, havza depolama kapasitesinin tayini gibi çok sayıda alanda doğrudan ya da dolaylı olarak kullanılabilir (Tallaksen, 1995).

Henüz genel geçerliliği ortaya konmuş bir taban akışı ayırma yöntemi önerilememektedir. Yine de uygulamada mühendisler tarafında kullanılan basit ve kaba grafik yöntemlerin varlığından söz edilebilir. Chow ve diğ. (1988)'de adı geçen düz çizgi yöntemi, sabit taban akışı yöntemi, sabit eğim yöntemi ve değişken eğim yöntemi grafik yöntemlerden belli başlı olanlarıdır.

Barnes (1939)'a kadar uzanan bir geçmişi olan taban akışı ayırma tekniklerinin başında yuvarlatılmış minimumlar yöntemi gelmektedir (UKIH, 1980). Bu yöntem günlük ortalama akımların üst üste binmeyen beş günlük gruplara ayrılması, her bir grubun minimum akım değerinin esas alınarak dönüm noktalarının belirlenmesi ve bu noktaların doğrusal enterpolasyonuna dayanmaktadır. Mazviwavi ve diğ. (2004) bu

yöntemi kullanarak taban akışını ayırmış, Piggott ve diğ. (2005) de yöntemi revize etmiştir. Nathan ve McMahon (1986), Arnold ve Allen (1999), Smakhtin (2001) ve Hughes ve diğ. (2003) bu yöntem ile birlikte dijital filtreleme yöntemini de kullanarak taban akışını ayırmıştır. Tüm bunlardan başka Singh ve Stall (1971), Tallaksen (1995), Chapman (1999), Szilagyi (2004) ve Fenicia ve diğ. (2006) taban akışı ile ile yapılan çalışmalardır.

Bunların yanısıra doğrusal olmayan hazne kabulüne dayanarak Wittenberg (1999) bir yöntem geliştirmiştir. Yöntem Wittenberg ve Sivapalan (1999), Aksoy ve Wittenberg (2001), Wittenberg (2003) ve Hammond ve Han (2006) tarafından da kullanılmıştır.

Bu çalışmada, havzadaki biriktirme sisteminin doğrusal olmayan yapısı dikkate alınarak taban akışını toplam akıştan ayıran bir yöntem önerilmiş, yöntemin Trakya'daki Şeytan Deresi günlük akım verilerine uygulaması gerçekleştirilmiştir.

2. DOĞRUSAL OLMAYAN HAZNE YAKLAŞIMI

Doğrusal olmayan hazne teorisinde (Tison, 1953), depolama hacmi (S) debi (Q) ile,

$$S = aQ^b \tag{1}$$

şeklinde ilişkilendirilmiştir. Hazneye girdi olmadığında (havzaya yağış düşmediğinde) süreklilik denklemi

$$\frac{dS}{dt} = -Q \tag{2}$$

şeklindedir. (1) ve (2) eşitliklerinin birleştirilmesi ile elde edilen diferansiyel denkleminin Q_0 başlangıç koşulu gözönünde bulundurularak yapılan çözümü

$$Q_t = Q_0 \left[1 + \frac{(1-b)Q_0^{1-b}}{ab} t\right]^{\frac{1}{b-1}} \tag{3}$$

olarak bulunur. (3) eşitliğinde geçen a ve b parametreleri gözlenen günlük akım verileri kullanılarak ayarlanır (kalibre edilir). Parametrelerin ayarlanması için iteratif en küçük kareler yöntemi kullanılarak

$$a = \frac{\Sigma(Q_{i-1} + Q_i)\,(t}{2\Sigma(Q_{i-1}{}^b - Q_i{}^b)} \tag{4}$$

yazılabilir. Çekilme eğrisi boyunca (Δt süresince) hesaplanan akımın hacmi aynı süre boyunca gözlenen hacme eşit olacak şekilde sistematik olarak değiştirilen b değerlerine gore a ayarlanmaktadır. Böylelikle elde edilen (a, b) çiftleri akiferin özelliklerini temsil eden değerler olarak kabul edilir. Ancak Wittenberg (1999) yaptığı çok sayıda uygulama sonrasında $b = 0.5$ alınabileceği sonucuna ulaşmış, basınçlı olmayan akiferler için $b = 0.5$'in standart bir üs olarak kullanılabileceği, a'nın ise zeminin boşluk oranı, hidrolik iletkenlik ve diğer morfometrik özellikleri ile ilgili bir parameter olabileceğini

düşünmüştür. Bu çalışmada da bu yüzden b = 0.5 alınmış, diğer parametre (a) ayarlanmıştır.

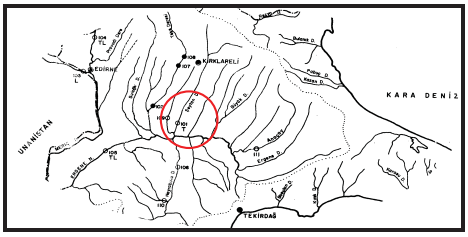
Modelin ayarlanması ile birlikte taban akışı toplam akıştan çekilme eğrisinin son gününden geriye doğru gelmek sureti ile

$$Q_{t-\Delta t} = \left[Q_t^{b-1} + \frac{\Gamma(b-1)}{ab} \right]^{\frac{1}{b-1}} \tag{5}$$

eşitliği ile ayrılır. Yöntem Δt = 1 gün ve daha kısa zaman aralıklarında çalıştırılabilir. Bu çalışmada Δt = 1 gündür.

3. UYGULAMA ALANI VE KULLANILAN VERİ

Trakya bölgesindeki Şeytan Deresi üzerinde bulunan EİE'nin 101 no.lu akım gözlem istasyonu verileri kullanılarak yöntemin uygulaması gerçekleştirilmiştir. İstasyonun yerleşimi Şekil 1'de, karakteristik özellikleri Tablo 1 ve genel istatistikleri de Tablo 2'de verilmiştir. Bilindiği üzere Trakya önemli bir tarım ve sanayi bölgesi olup, tarım için su gereksiniminin arttığı yaz aylarında bölgedeki akarsular kısmen kurumaktadır. Bölge iklimi Balkanlar'dan gelen karasal iklim ve kuzeyden kaynaklanan Karadeniz iklimi etkisindeki bir Akdeniz tipi iklimdir. Bölgenin kuzeyinde Istranca dağlarının Karadeniz tarafında Karadeniz iklimi egemendir. Şeytan Deresi'nin bulunduğu dağların güney tarafında ise karasal iklim etkindir. Bu yüzden bölgenin bu bölümünde sıcaklık değişimi aralığı yüksektir.



Şekil 1. Şeytan Deresi üzerindeki EİE 101 no.lu AGİ

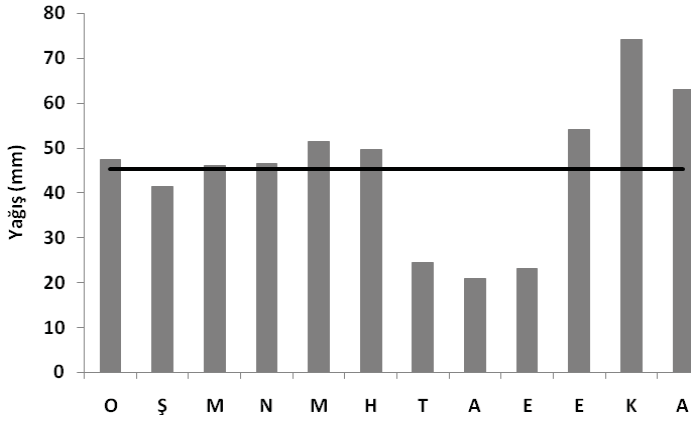
Tablo 1. Şeytan Deresi 101 no.lu Babaeski AGİ karakteristikleri

Coğrafi Koordinat	Kot (m)	Havza Alanı (km^2)
27°06' D - 41°25' K	50	478.4

Tablo 1. Şeytan Deresi 101 no.lu Babaeski AGİ istatistik özellikleri

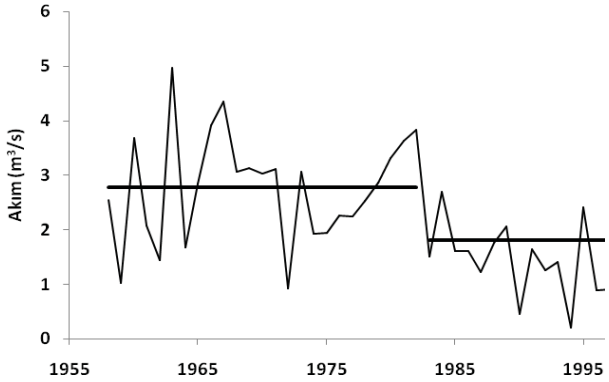
Gözlem periyodu	Ortalama (m^3/s)	Standart sapma (m^3/s)	Değişim katsayısı	Çarpıklık katsayısı	Otokorelasyon katsayısı	Kuruma oranı (%)
1957-2000	2.37	5.21	2.20	9.19	0.76	11.3

Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü internet sayfasında mevcut Kırklareli ili uzun yıllar (1970 – 2009) verilerine göre yıllık toplam yağış ortalaması 543 mm'dir (Şekil 2). Yağış yıl boyunca gözlenmektedir (Kırklareli Valiliği, 2005). Şeytan Deresi üzerinde bulunan EİE İdaresi'ne ait 101 no.lu Babeski AGİ'si günlük ortalama akım verileri kullanılarak yöntemin uygulaması gerçekleştirilmiştir.

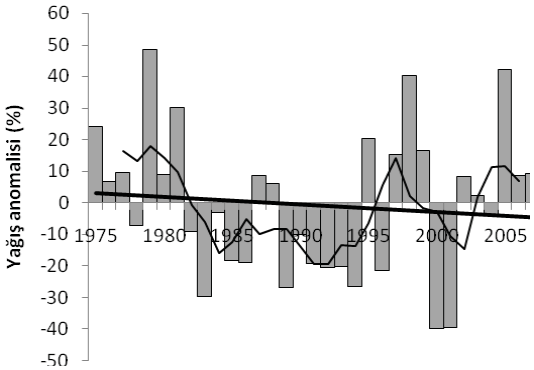


Şekil 2. Kırklareli aylık toplam yağış dağılımı uzun yıllar ortalaması

AGİ'nin yıllık ortalama akımları çizildiğinde 1983 yılında ani bir azalma meydana geldiği görülmektedir (Şekil 3). Bu yıl itibari ile bölgede yağış eksikliği kaynaklı kurak bir döneme girilmiştir (Şekil 4). Bu nedenle yeraltı suyu sulama ve endüstri amaçlı kullanılmaya başlanmıştır. Yeraltı su seviyesinin son 30-40 yılda 50 m kadar alçaldığı bilinmektedir (Aksoy ve diğ., 2005). Yeraltı su seviyesinin düşmesi sonucunda da bölge akarsularında yazın kurumalar başlamıştır. Şeytan Deresi üzerinde 1997 yılında Kırklareli Barajı'nın tamamlanması ile birlikte 101 no.lu AGİ'nin akım verilerinin doğallığı tamamen ortadan kalkmıştır. Bu yüzden bu çalışmada bu AGİ'nin 1958-1982 yıllarına ait veriler kullanılmıştır.



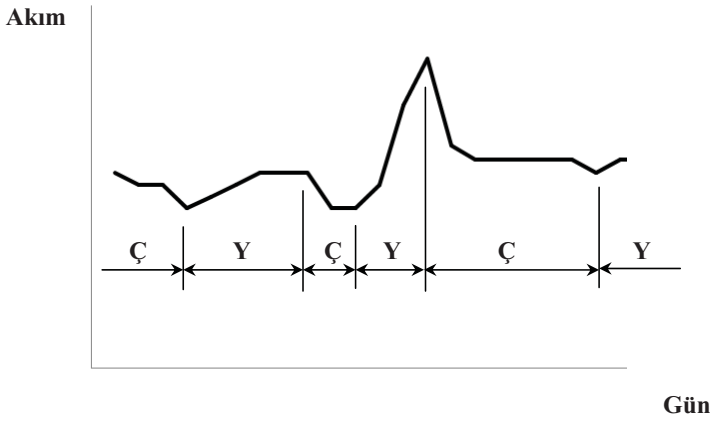
Şekil 3. Şeytan Deresi 101 Babaeski AGİ yıllık ortalama akım gözlemleri



Şekil 4. Kırklareli yağış verilerinin anomali, 5-yıllık hareketli ortalama ve eğilim durumu (Anomaliler DMİ tarafından normal dönem olarak kabul edilen 1971-2000 yağışlarına göre hesaplanmıştır.)

4. MODEL PARAMETRELERİNİN AYARLANMASI

Hidrografın çekilme eğrisi üzerindeki herhangi bir günün akımı kendisinden önceki günün akımından küçüktür. Sulak bölge akarsularında nadir olmakla birlikte kurak bölgelerin zaman zaman kuruyan akarsularında çekilme eğrisi üzerindeki ardışık günlerde aynı akım değerinin gözlenmesi mümkündür. Bu yüzden bu çalışmada akımın alçalmaya başlamasından sonra gözlenen sabit akımlı dönemler çekilme eğrisi içinde sayılmıştır. Benzer durumla yükselme eğrisinde de karşılaşılabilir (Şekil 5).



Şekil 5. Çalışmada kullanılan çekilme (Ç) ve yükselme (Y) eğrisi kavramları

Model parametreleri üç aşama sonrasında ayarlanabilir (Şekil 6). (1) Günlük akım serisinden çekilme eğrilerinin belirlenmesi, (2) Model uydurma, (3) Temsili çekilme eğrilerinin seçilmesi. Çekilme eğrileri Şekil 5'te açıklandığı üzere belirlenmiş, seçilen her çekilme eğrisine model uydurularak (4) denklemindeki *a* parametresi atanmıştır. *b* üssü ise sabit ve $b = 0.5$ alınmıştır. Model uydurma sırasında tüm çekilme eğrisi dikkate

alınmış; karar, gözlenen ve hesaplanan debi değerleri göz önünde bulundurularak hesaplanan

$$VK = \sqrt{\frac{n^2}{(n-1)} \frac{\Sigma(Q_g - Q_h)^2}{(\Sigma Q_g)^2}} \quad (6)$$

değişim katsayısı ile verilmiştir. Burada, n çekilme eğrisi üzerindeki gün sayısı, Q_g ve Q_h sırası ile gözlenen ve hesaplanan debilerdir. Atanan parametre $VK \leq 0.10$ olduğunda saklanmış, değilse çekilme eğrisi bir gün kısaltılmak sureti ile model yeniden uydurulmuştur. $VK > 0.10$ olduğu sürece çekilme eğrisi en az 5 gün oluncaya kadar kısaltılmıştır. Atanan parametreler saklanmış ve her ay için atanan parametrelerin ortalaması alınmıştır. Çekilme eğrisinin bir aydan başka bir aya sarkması durumunda çekilme eğrisi taban akışının başladığı kabul edilen günün bulunduğu aya ait kabul edilmiştir.

Bu süreç tamanlandığında her ay için temsili çekilme eğrileri seçilmiştir. Seçim sırasında yağış gözönünde bulundurulmuştur. Çekilme eğrisi sırasında havzaya yağış düşmemiş olmasına dikkat edilerek temsili çekilme eğrileri seçilmiştir. Ancak, yağış verilerinin olmadığı bazı dönemlerde deneyim esaslı tercihler de yapılabilmiştir.

Tablo 2'de parametre ayarlama aşamasında kullanılan çekilme eğrileri verilmiştir. Çekilme eğrisi sayısının akarsuyun genellikle kuru olduğu yaz aylarında önemli derecede düştüğü görülebilir. Her ay için bir tane çekilme parametresi belirlenmiştir. Bu parametre her bir ayı temsil eden çekilme eğrilerinin ortalama değeri alınarak hesaplanmıştır.

Daha önceki çalışmalardan ve bu çalışma kapsamında elde edilen sonuçlardan çekilme sürecinin periyodiklik içerdiği, bu nedenle de çekilme parametresinin yıl boyunca değiştiği gözlenmiştir. Şekil 7'de hesaplanan çekilme parametrelerinin yıl boyunca değişimleri uydurulan Fourier serisi ile birlikte görülmektedir. Eylül ve Şubat aylarında seçilen iki örnek çekilme eğrisi model uydurulmuş şekilde gösterilmiştir (Şekil 8).

5. TABAN AKIŞININ AYRILMASI

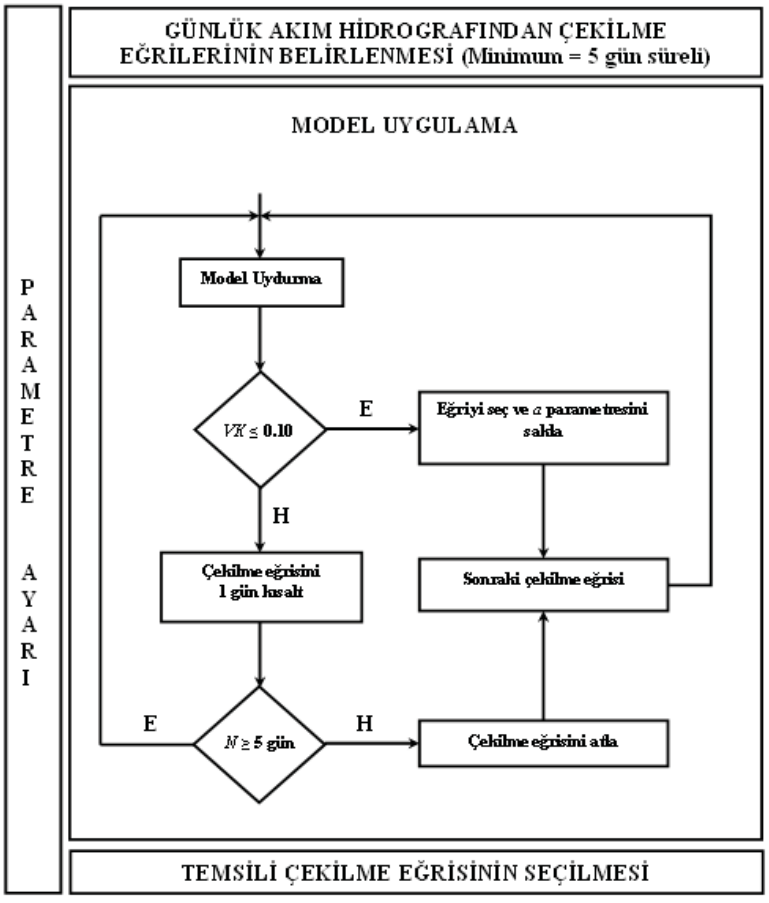
Taban akışı (5) eşitliğinden çekilme eğrisi üzerinde geri gidilmek sureti ile günlük akım verilerinden hesaplanmıştır. Algoritmanın sadece bir parametresi vardır. Bu parametre her ay için farklı bir değer almaktadır. Ya da yukarıda anlatıldığı üzere Fourier serisi uydurulmuş parametreler kullanılmaktadır (Table 2, Şekil 7). Bir-harmonikli Fourier serisi kullanılması durumunda toplam parametre sayısı 12'den üçe düşmektedir.

Bu algoritma BNLP adı altında FORTRAN dilinde kodlanmış, bu program kullanılarak taban akışı ayrılmıştır (Wittenberg, 1999). Program süreklilik denklemini kullanarak yeraltı suyu beslenmesini ve yeraltı suyundan olan çekilmeleri de hesaplayabilmektedir. Buna göre yeraltı suyu depolaması (S) yeraltı suyunun beslenmesi (GWR) ile artacak, kayıplar ile de azalacaktır. Bu kayıplar, akarsuya doğru olan taban akışı (Q_b), evapotranspirasyon (ET) ve sulama, endüstri, vb. amaçlı yeraltı suyu kullanımlarıdır (A). Süreklilik denklemi, buna göre

$$S_{i-1} + GWR_i = S_i + \int_{t_{i-1}}^{t_i} (Q_b + ET + A)dt \quad (7)$$

şeklinde yazılabilir. Bu denklem kullanılarak her bir zaman aralığındaki yeraltı suyunun hesaplanması mümkündür.

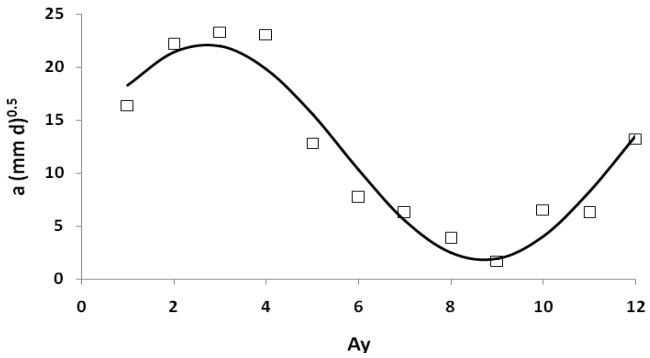
1982 takvim yılı için ayrılan taban akışı toplam akış ile birlikte Şekil 9'da verilmiştir. Taban akışının toplam akışa paralel bir seyir izlediği görülmeketdir. Çekilme parametrelerindeki periyodikliğe bağlı olarak evapotranspirasyon kuru aylarda artmakta, sulak dönemlerde ise azalmaktadır.



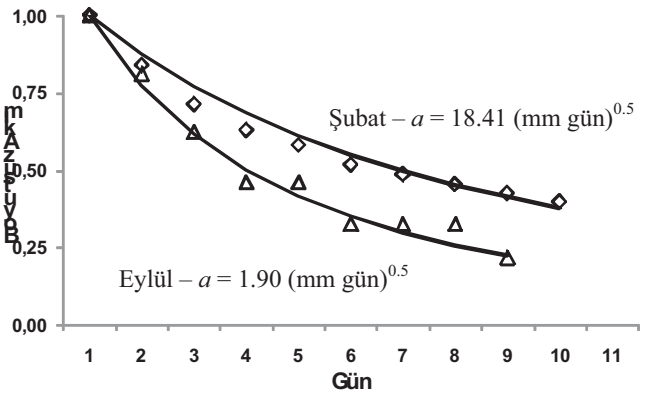
Şekil 6. Model parametresinin ayarlanması

Tablo 2. Model parametresinin gözlenmiş çekilme eğrilerinden ayarlanmış değerleri

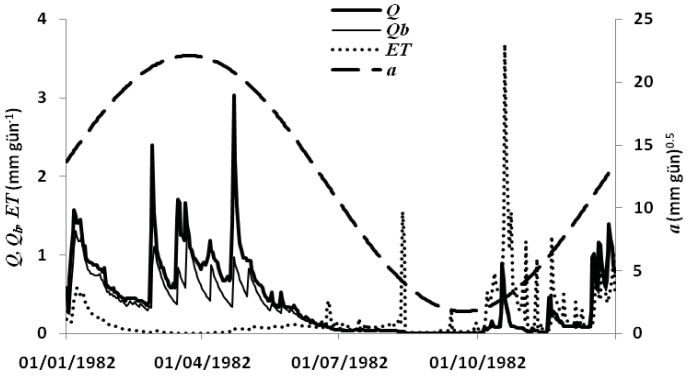
Ay	Çekilme eğrisi sayısı	*a*	
		$(m^3\ s)^{0.5}$	$(mm\ gün)^{0.5}$
1	12	38.46	16.35
2	9	52.10	22.14
3	13	54.83	23.30
4	7	54.22	23.04
5	17	30.18	12.83
6	7	18.06	7.68
7	11	14.67	6.23
8	2	8.99	3.82
9	2	3.92	1.67
10	5	15.33	6.51
11	5	14.68	6.24
12	10	31.10	13.22
Toplam / Ortalama	100	28.05	11.92



Şekil 7. Ayarlanmış çekilme parametresinin yıl boyunca değişimi ve uydurulan Fourier serisi

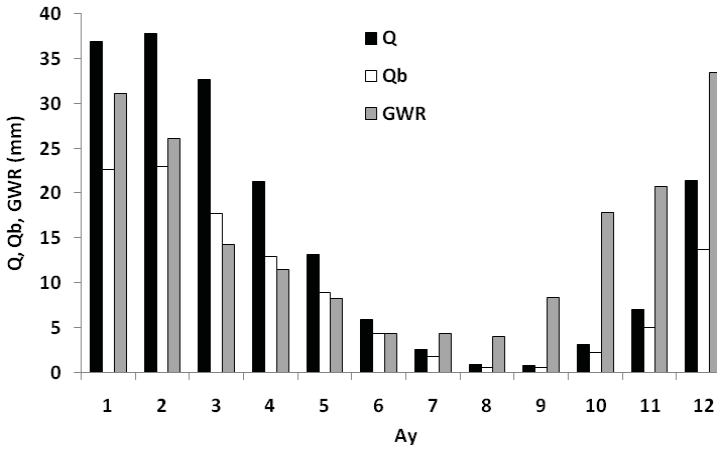


Şekil 8. Model uydurulmuş kuru ve sulak dönem çekilme eğrileri



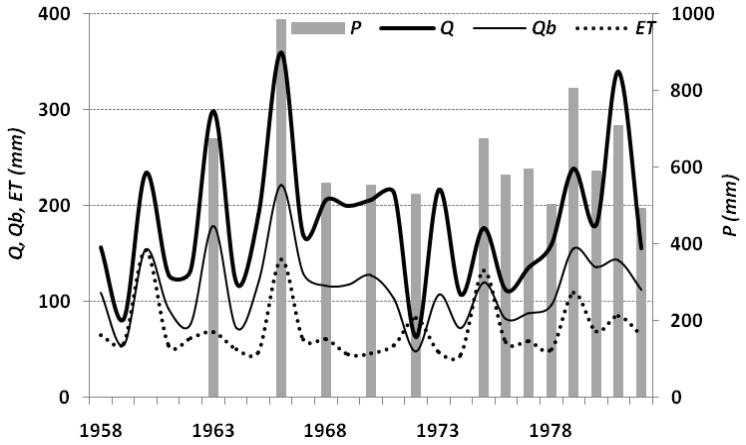
Şekil 9. 1982 yılı için gözlenen günlük toplam akım (Q), taban akışı (Q_b), evapotranspirasyon (ET) ve çekilme parametresinin (a) yılboyunca değişimi

Toplam akış, taban akışı ve yeraltı suyuna olan beslenme aylık zaman aralığında hesaplanmış ve Şekil 10'da verilmiştşir. Yaz aylarında taban akışının toplam akışa yaklaştığı görülmektedir. Bu aylarda taban akışı indeksi en büyük değerindedir. Ayrıca, yeraltı suyuna olan beslenme de yaz aylarına doğru giderek azalmaktadır.



Şekil 10. Aylık toplam akış (Q), taban akışı (Q_b) ve yeraltı suyu beslenmesinin (GWR) yılboyunca değişimi

Yıllık zaman aralığında olmak üzere yağış ile birlikte akış, taban akışı ve evapotranspirasyon değerleri havza üzerinde üniform su yüksekliği cinsinden karşılaştırıldığında, ortalama 634.6 mm olan yağışın 183.2 mm'sinin akışa geçtiği, buna göre havza akış katsayısının 0.29 olduğu hesaplanmıştır. Taban akışı yüksekliği ise 113.4 mm olarak elde edilmiştir (Şekil 11). Bu durumda taban akışı indeksi 0.62 hesaplanır.



Şekil 11. Gözlem süresi boyunca yağış (*P*), akış (*Q*), taban akışı (Q_b) ve evapotranspirasyon (*ET*) değişimi

6. SONUÇLAR

Daha önceki çalışmalardan zaten bilindiği üzere taban akışı periyodik bir süreçtir. Ancak bu periyodiklik toplam akışta olduğu gibi zaman zaman kuruyan akarsularda daha belirgindir. Bu durum kullanılan çekilme algoritmasının parametrelerine yansımaktadır. Doğrusal olmayan çekilme analizinin zaman zaman kuruyan akarsuların çekilme karakteristiklerinin ortaya konmasında yeterli derecede işlev gördüğü söylenebilir. Ancak katı sonuçlara ulaşmak üzere kuruma oranları daha yüksek akarsularda da bu algoritmanın denenmesi önerilmektedir. Çünkü bu tip akarsularda çekilme eğrisi sürekli azalan bir değişimden çok zikzaklı biçimde (merdiven şeklinde) olabilmektedir. Bu durumda önerilen çekilme algoritmasının yeterliliği incelenebilir.

7. TEŞEKKÜR

Bu çalışma ilk yazarın (H. Aksoy) Alexander von Humboldt Vakfı'nın Deneyimli Araştırmacı Programından sağladığı destek ile ikinci yazarın (H. Wittenberg) konuğu olarak Leuphana Universitaet Lüneburg'ta bulunduğu sırada yaptığı araştırmaya dayanmaktadır. Kullanılan veriler, DMİ (Devlet Meteoroloji İşleri) ve EİE (Elektrik İşleri Etüt) İdaresi kaynaklıdır.

8. KAYNAKLAR

Aksoy H, Wittenberg H, "Jahreszeitliche Veränderung der Trockenwetterganglinie – Fallstudie für einen Fluß im europäischen Teil der Türkei", Wasserwirtschaft 90(1): 38-41, 2001.

Aksoy H, Unal NE, Dahamsheh A, İtibar D, Kaynar L, "Assessment of the climate change impact on the elements of the hydrological cycle" adlı proje için Varna, Bulgaristan'da sunulan Türkiye Ulusal Raporu, 2005.
Arnold JG, Allen PM, "Automated Methods for Estimating Baseflow and Ground Water Recharge from Streamflow Records", Journal of the American Water Resources Association 35(2): 411-424, 1999.
Barnes BS, "The structure of discharge-recession curves", Trans. Am. Geophys. Union 20: 721-725, 1939.
Chapman T, "A comparison of algorithms for stream flow recession and baseflow separation", Hydrological Processes 13: 701-714, 1999.
Chow VT, Maidment DR, Mays LW, "Applied Hydrology", McGraw-Hill, New York, 1988.
Fenicia F, Savenije HHG, Matgen P, Pfister L, "Is the groundwater reservoir linear? Learning from data in hydrological modelling", Hydrol. Earth Syst. Sci. 10: 139-150, 2006.
Kırklareli Valiliği, "Kırklaerli İl Çevre Durum Raporu", Çevre ve Orman Bakanlığı, 2005.
Hammond M, Han D, "Recession curve estimation for storm event separations", J. Hydrology 330: 573-585, 2006.
Hughes AD, Hannart P, Deidre W, "Continious basefow separation from time series of daily and monthly streamflow data", Water SA 29(1), 43-48, 2003.
Mazvimavi D, Meijerink AMJ, Stein A, "Prediction of base flows from basin characteristics: a case study from Zimbabwe", Hydrological Sciences 49(4): 703-715, 2004.
Nathan RJ, McMahon TA, "Evaluation of Automated Techniques for Base Flow and Recession Analyses", Water Resour. Res. 26(7): 1465-1786, 1990.
Piggott AR, Moin S, Southam C, "A revised approach to the UKIH method for the calculation of baseflow", Hydr. Scienc. Jour. 50(5): 911-9203, 2005.
Singh KP, Stall JP, "Derivation of Base Flow Recession Curves and Parameters", Water Resour. Res. 7(2): 292-303, 1971.
Smakhtin VU, "Estimating continuous monthly baseflow time series and their possible applications in the context of the ecological reserve", Water SA 27(2): 213-217, 2001.
Szilagyi J, "Heuristic Continuous Base Flow Separation", J. Hydrologic Engineering 9(4), 311-318, 2004.
Tallaksen LM, "A review of baseflow recession analysis", J. Hydrology 165: 349-370, 1995.
Tison LJ, "Cours d'hydraulique I: Cours d'eau movement permanent: filtration, Gand.
UKIH (1980) Low flow studies", Research Report, Wallingford, Oxon, 1953.
Wittenberg H, "Baseflow recession and recharge as nonlinear storage processes", Hydrol. Processes 13: 715-726, 1999.
Wittenberg H, "Effects of season and man-made changes on baseflow and flow recession: case studies", Hydrol. Processes 17: 2113-2123, 2003.
Wittenberg H, Sivapalan M, "Watershed groundwater balance estimation using streamflow recession analysis and baseflow separation", J. Hydrol. 219: 20-33, 1999.

Sınır Otogressif (SAR) Modelleriyle Akım Serilerinin Analizi

Veysel GÜLDAL[1], Hakan TONGAL[2]

Özet: Akarsu akımlarının uygun yöntemlerle modellenmesinin, onların değişkenliğini anlamak, sulama yönetimi, taşkın ve kuraklık tahmini yapmak gibi pratik amaçları vardır. Akım serisi modellemesi, mevcut gözlenmiş serinin karakteristiklerine, uygulanacak model tipine ve modellemedeki seçme tekniklerine bağlı olarak kompleks ya da basit bir işlem olabilmektedir. Örneğin, bir akım serisinin istatistik karakterleri zamanla değişmiyorsa, bu seriye uygulanacak model tekniği, istatistik karakteristiklerinin zamanla değiştiği bir seriye göre daha basit olmaktadır. Bir akım serisine uygulanabilecek çok sayıda stokastik model tipi vardır. Bu modeller doğrusal (lineer) ve doğrusal olmayan (non-lineer) modeller altında toplanabilir. Her bir model tipi için de parametrelerinin hesabı ve modellerinin uygunluğunun kontrol edilmesinde birçok teknik mevcuttur. Bu teknik ve modellerden bazıları diğerlerinden daha kompleks yapıdadır. Özetle, modellemenin basitliği ya da karmaşıklığı; modellenecek serinin istatistiksel özelliklerine, uygulanacak modelin seçimine, parametre tahmin yöntemine ve modelleyicinin teorik bilgi/tecrübesine bağlıdır. Akarsu akımlarının stokastik modellenmesinde amaç; gözlenmiş akım serilerinin önemli istatistiksel özellikleri korunarak benzeşim modellerinin kurulması ve istatistik anlamdaki bu benzeşime dayanarak farklı seriler türetmek, ileriye dönük tahminler elde edilerek su kaynaklarının yönetiminde ve etkin kullanımında, taşkın koruma yapılarının boyutlandırılmasında ve bu çerçevede alınacak önlemlerde modellemeciye etkinlik ve kolaylık sağlamaktır.

Bu çalışmada, Köprüçay nehrine ait akım verilerinin stokastik özellikleri analiz edilerek, bu özelliklerin, doğrusal olmayan, sınır/eşik (threshold) otoregressif (SAR) modelleriyle modellenmesi ve eldeki seriyle aynı istatistik özelliklere sahip farklı dizilişte yeni akım serilerinin oluşturulması amaçlanmıştır. Modellemede, akım süreçlerindeki doğrusal olmayan dinamikler (nonlineer dinamikler) çeşitli alt uzaylara ayrılmış (rejim ayarlı) ve parçalı olarak doğrusal yaklaşımlarla (otoregressif (AR), hareketli ortalama (MA) ve karma otoregressif hareketli ortalama [ARMA) modelleri] modellenmiştir. Kurulan modellerin uygunluğuna istatistik testlerle karar verilmiş, uygulama sonuçları eldeki serilerle değerlendirilmiş ve modellerin başarılı olup olmadıkları kontrol edilmiştir. Doğrusal modellerin, akım serilerindeki dinamik değişimleri tam yansıtmadığı doğrusal olmayan modellerin bu süreçlerde daha başarılı olduğu görülmüştür.

[1] Süleyman Demirel Üniversitesi, İnşaat Müh. Böl. Isparta, E-Posta vguldal@mmmf.sdu.edu.tr

[2] Süleyman Demirel Üniversitesi, FBE İnşaat Müh. Böl. Isparta, E-Posta hakantongal@yahoo.com

Anahtar Sözcükler: Nonlineer zaman serileri, Stokastik modelleme, Akım tahmini, Sınır otoregressif model, Köprüçay nehri

The Analysis of Stream flows with the Threshold Autoregressive Models (TAR)

Abstract: Time-series modeling of stream flows with proper methods has practical objectives such as understanding stream flow variability, irrigation management, flood and drought prediction. The modeling of stream flows can be complex or simple depending on the characteristics of observed time series, type of the model and the selection techniques in the modeling process. For instance, the modeling technique which will be applied to the time series that statistical characteristics are invariant is simpler than modeling the non-stationary time series. In the literature, there are numerous stochastic models which can be grouped into linear and nonlinear model headings, besides plenty of parameter estimation and verification methods. Some of these techniques and models are more complex than the others. Consequently, the simplicity or complexity of the modeling process depends on the statistical properties of the time series, selection of the appropriate model, parameter estimation-verification methods and modeler's theoretical background and experience. The aim of the stochastic modeling of the stream flows is generating various time series or obtaining forecasts by preserving the important and descriptive statistical properties of the observed time series to provide efficiency and convenience to the modeler in the management and efficient usage of water resources, designing of flood control structures and actions will be taken in this frame.

In this study, the stochastic properties of the time series of Köprüçay streams flow were analyzed and modeled with the non-linear threshold autoregressive (TAR) and new sequenced stream flow time series having same statistical properties of the observed time series were obtained. In the modeling process, the non-linear dynamics were divided into various sub-spaces (regime switching) and modeled with piecewise linear approaches such as autoregressive (AR), moving-average (MA) and mixed autoregressive-moving average (ARMA) models. In the verification period, the appropriateness of the models was checked with the statistical tests and the obtained results were compared with the observed time series. The results showed that the linear models are not fully reflective of the dynamical changes whereas the non-linear models are much more efficient in the modeling of this process.

Keywords: Nonlinear time series, Stochastic modeling, Runoff forecasting, Threshold-autoregressive models, Köprüçay stream

1. GİRİŞ

Akarsu akımları gibi ardışık gözlemleri arasında iç bağımlılık bulunan verileri istatistik analiz için kullanmak mümkündür. Bu iç bağımlılıktan yararlanarak kurulacak matematiksel modeller ile ileride gözlemlenmesi olası akım serileri üretilebilir. Su yapılarının doğru planlanması, güvenilir ve uzun ömürlü işletilmesinde türetilecek bu

akım serileri, gelecekte oluşabilecek akımların önceden tahmin edilmesi veya eksik kalan ölçümlerin tamamlanmasında tasarımcıya kolaylıklar sağlar.
Bir sonraki durumunun ne olacağı önceki bilgiler ile kesin olarak bilinemeyen rastgele değişkenlerin zaman içinde aldıkları değerler ardışık olarak kaydedildiğinde bir zaman serisi elde edilmiş olur. Ardışık gözlemlerin arasında iç bağımlılık varsa, gelecekte alacakları değerleri geçmiş dönemlerdeki gözlemlerinden öngörmek mümkündür. Eğer bir zaman serisi tam olarak öngörülebiliyorsa, deterministik (kesin) zaman serisi olarak ifade edilir. Fakat zaman serilerinin birçoğu stokastik (olasılıklı) yapıdadır. Bu yapıdaki zaman serilerinin gelecekte alabileceği değerler kısmen geçmiş değerleri tarafından tanımlanabilmektedir. Stokastik zaman serilerinin gelecekteki alacağı değerleri tam olarak öngörmek mümkün değildir. Ancak gelecekteki değerler geçmiş değerlerin bilgisiyle ancak belirli olasılık dâhilinde tahmin edilebilir (Sevüktekin ve Nargeleçekenler, 2005). Stokastik zaman serilerine örnek vermek gerekirse akarsu akımı zaman serileri veya göl su seviyesi değişimleri sayılabilir.

Hidrolojik zaman serilerinin modellenmesinde, eldeki seriyle aynı istatistik özelliklere sahip olan faklı dizilişlerde çok sayıda seri elde etmek yoluyla, gelecekte gözlemlenmesi olası iklimde kuraklık, akarsuda taşkın ve barajlarda aşırı sediment birikimi gibi olumsuz durumlara göre farklı senaryolar üretmek ve mümkün olan en iyi çözümün bulunmasına yardımcı olmak amaçlanabilir. Bu sayılan olumsuzlukların herhangi bir zamanda olması mümkündür. Ancak eldeki gözlenmiş seriden oluşturulan zaman serisi modeli ile bu durumların en yüksek olasılıkla meydana geleceği zaman aralığı belirlenebilmektedir. Gözlenmiş zaman serisine en uygun modelin kurulabilmesi için seriye ait zaman yolu grafiği çizilip serinin belli bir trende veya periyodikliğe sahip olup olmadığı ve seriden ölçümdeki bir hatadan dolayı aşırı bir sapma olup olmadığı araştırılır (Yevjevich, 1972). Zaman yolu grafiğine göre uygun olması beklenen model tiplerinden biri seçilir ve tanımlanır. Modele ait parametreler eldeki seriden hesaplanır. Kurulan modelin, zaman serisini en iyi şekilde yansıtıp yansıtmadığı istatistiksel testler yardımıyla kontrol edilir. Modelin uygun olduğuna karar verilirse sentetik seriler türetilir ve olası durumlar incelenir. Model uygun değilse ilk aşamaya dönülür (Box ve Jenkins, 1994, 1970).

Bu çalışmada, Batı Akdeniz Bölgesinde yer alan Yukarı Köprüçay Havzasına ait yıllık akım serileri üzerinde uygulanmış, farklı rejimler arasında geçişkenliğine izin veren nonlineer bir model olan sınır otoregressif model örneği sunulmuştur.

2. NON-LİNEER PARAMETRİK ZAMAN SERİSİ MODELLERİ

Literatürde sıkça kullanılan klasik lineer zaman serisi modelleri gözlenen zaman serilerinin serilerin dinamik yapısını açıklamak için doğal bir çatı sağlar. Lineer zaman serisi teorisi durağanlık, dinamik bağımlılık, stokastik bağımlılık, otokorelasyon fonksiyonu, modelleme ve tahmin aşamalarını içerir. Bu modeller ile rastgele değişkene ait geçmiş gözlem değerlerindeki lineer ilişkinin modellenmesi amaçlanır ve bir değişkenin kendi geçmiş değerlerindeki istatistiksel bilgilerle, varsayımsal bir açıklama sürecini dikkate alarak aynı değişkenin gelecekte alabileceği değerler arasında doğrusal ilişki kurmaya çalışılır. Dikkate alınan değişken ile aynı değişkenin geçmiş değerleri arasındaki korelasyonlar, lineer zaman serisi modellerinin odak noktasıdır.

Literatürde çokça kullanılan lineer zaman serisi modelleri olarak (a) otoregressif (AR) modeller (b) hareketli ortalama (MA) modelleri (c) karma otoregressif-hareketli ortalama (ARMA) modelleri sayılabilir (Fan, 2003). Bu modeller ile stasyoner süreçler için başarılı sonuçlar elde etmek mümkündür. Özellikle ARMA zaman serisi modellerinin kullanım kolaylığı, lineer modellerin hidrolojik zaman serisi analizlerinde kullanımını yaygınlaştırmıştır. Ancak herhangi bir doğrusal model, bilinmeyen dinamik ilişkileri matematiksel formüllerle temsil etmek için sadece bir ilk adımdır. İstatistiksel modeller gerçek dünyaya sadece yakınsarlar. Asla gerçek dünyayı tam olarak temsil edemezler. Bu nedenle, lineer korelasyonun ötesindeki bağımlılık gibi doğrusal olmayan özellikleri modellemek için non-lineer modellere ihtiyaç vardır (Tongal, 2008; Fan, 2003).

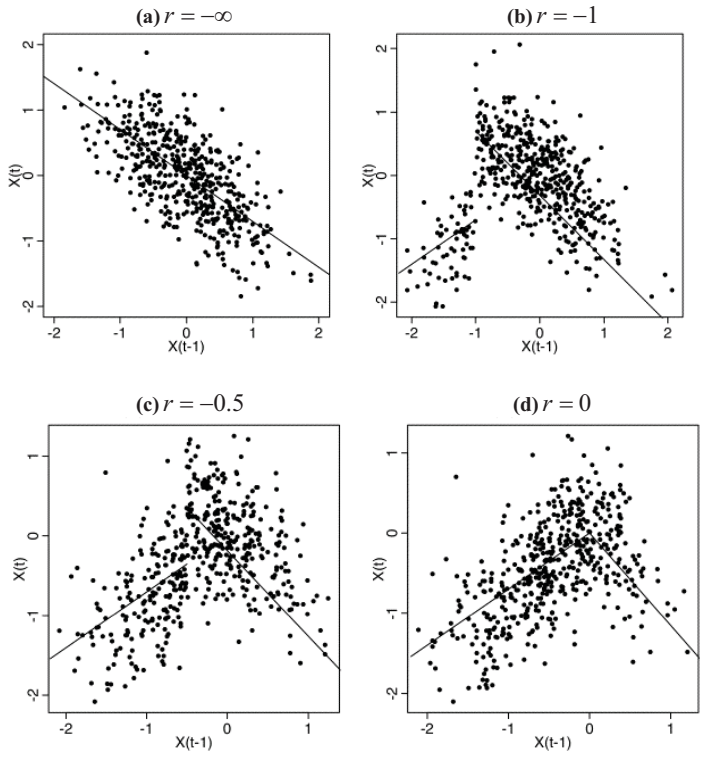
Ancak, hidrolojik zaman serileri gibi gerçek hayatta gözlenen rastsal değişkenler lineer zaman serileri ile modellenmek istendiğinde, bazı durumlarda çok yüksek dereceden lineer modeller gerekebilir. Bu dinamik süreci, yüksek dereceli lineer zaman serisi modelleri ile yakınsamak yerine non-lineer zaman serileri ile modelleme yoluna gidilebilir. Literatürde özellikle ekonometri biliminde yaygın kullanım alanı bulmuş, "*sınır otoregressif (SAR)"* modelleri (Threshold Autoregressive Model), "*Markov değişim modeli*" (Markov Switching Model), "*çift-lineer modeller*" (Bilinear Model), rastgele değişkenin farklı değerleri için farklı olasılık dağılımlarından kaynaklanan "*volatiliteyi"* belirsizlik halini de modellemeyi hedefleyen "*ARCH*" (Autoregressive Conditional Heteroscedastic) modeli, bu modelin genelleştirilmiş hali olan "*GARCH*" modeli non-lineer zaman serisi modelleri olarak sayılabilir (Tsay, 2002,1989).

2.1. Sınır Otoregressif (Threshold Autoregressive) Zaman Serisi Modeli

Sınır Otoregressif zaman serisi modelleri (SAR), nonlineer zaman serisi modelinin özel bir sınıfı olup literatürde kullanımı oldukça yaygındır, (Nieto, 2008; Monuz ve diğ., 2007; Bildirici, 2007;). İlk olarak Tong (1983; 1978) ve Tong ve Lim (1980) çalışmalarında sunulmuş olan bu modellerin tanımlanması, kullanımı ve yorumlanması diğer nonlineer zaman serisi modellerine göre daha avantajlıdır. Bu modeller, sınır değerlerinin belirlenmesindeki hesaplama yetersizlikleri gibi nedenlerle ilk zamanlar uygulamalarda hak ettiği yeri alamamıştır. Günümüzde ise SAR modellerinin nonlineer zaman serisi modelleri arasındaki payı ya da popülerliği, tahmininin daha basit olmasından ve az sayıda rejim olması durumunda da nonlineer bağımlı yapının bu modellerle açıklanabilmesinden doğmaktadır. Modelin temelinde, nonlineer dinamikleri çeşitli alt uzaylara (rejim) ayırıp, parçalı olarak lineer yaklaşımla modellenmesi düşüncesi yatar. Böylece, karmaşık stokastik sistemlerin analizi daha basit alt sistemler/parçalar kullanılarak kolaylaşmaktadır. Modelde lineer parçalar arasında geçiş keskin, diğer bir ifadeyle "V" tipidir. Bu yaklaşımla stasyonerliğin korunabilmesi mümkün olabilmektedir. Ancak, literatürde SAR modelinin geliştirilmesinde ARMA modelleri gibi yeter kapsamda teori ve metodoloji yoktur. Bu modellerin geliştirme çalışmaları halen devam etmektedir. Genel bir SAR modeli, k rejim sayısını göstermek üzere $k \geq 2$ için aşağıdaki gibi verilir (Hansen, 1996).

$$X_t = (\alpha_0 + \alpha_1 X_{t-1} + ... + \alpha_p X_{t-p}) I(X_{t-d} \leq r) + (\beta_0 + \beta_1 X_{t-1} + ... + \beta_p X_{t-p}) I(X_{t-d} > r) + e_t \quad (1)$$

Burada X_t gözlenmiş zaman serisi; α_p, $X_{t-d} \le r$ olduğu zaman regresyon katsayısı; β_p, $X_{t-d} > r$ olduğu zaman regresyon katsayısı ve d gecikme parametresidir. r sınır değeri, e_t ortalaması sıfır varyansı sıfırdan büyük olan rastsal değişken ve I koşul bildiren (belirteç) bir fonksiyondur. Aşağıdaki şekilde farklı süreçlerin bir gecikme değerinde çeşitli sınır değerleri $(-\infty, -1, -0.5, 0)$ için alt rejim örnekleri görülmektedir.



Şekil 1. Farklı sınır değerlerine göre SAR modelleri ve regrasyon fonksiyonları: (a) $r = -\infty$ (b) $r = -1$, (c) $r = -0,5$, (d) $r = 0$ (Fan, 2003)

İki rejimli bir gecikme değerli SAR modeli,

$$X_t = (\alpha_1 X_{t-1}) I(X_{t-1} \le r) + (\beta_1 X_{t-1}) I(X_{t-1} > r) + e_t \qquad (2)$$

şeklinde oluşturulabilir. Uygulamada bir gecikme değerli SAR tipi model oluşturulurken aşağıdaki adımlar izlenebilir (Fan, 2003).

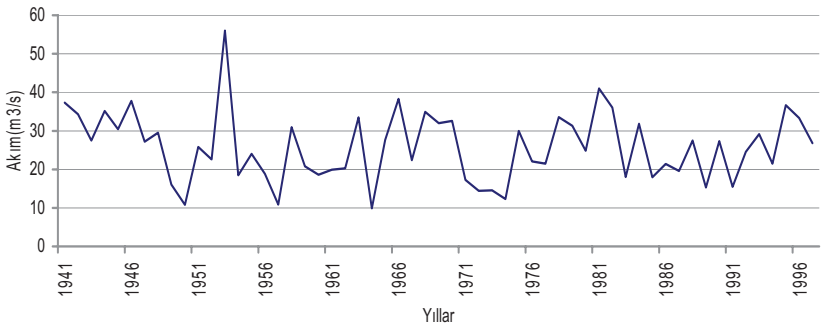
1. X_t gözlenmiş seri y eksenine ve bir gecikme uzunluğu X_{t-1}, x eksenine aktarılarak saçılım diyagramı çizilip doğrusal regresyon denklemi ($\hat{X}_t$) uydurulur.

2. $X_t - \hat{X}_t$ kalıntıları (residual) y eksenine ve X_{t-1}, x eksenine aktarılarak saçılım diyagramı çizilir.
3. Elde edilen bu yeni saçılım diyagramına hareketli ortalamalar veya düzleştirme yöntemlerinden herhangi birisi uygulanır. Eğer grafikteki noktalar hareketli ortalamalar eğrisinin iki tarafına düzgün olarak yayılıyorsa X_t ile X_{t-1} arasında doğrusal olmayan ilişki vardır. Eğer noktalar eğrinin iki tarafına düzgün yayılmıyorsa aynı işlemler X_{t-1} yerine X_{t-2} alınarak yapılmalıdır.
4. Hareketli ortalamalar eğrisinin ani olarak eğiminin değiştiği ve daha sonra eğiminin artmadığı/azalmadığı nokta sınır değeri (r) olarak alınarak modelin fonksiyonel biçimi en küçük kareler veya maksimum olabilirlik yöntemleri ile belirlenir.

Gecikme değerinin belirlenmesi için korelogram ya da çeşitli gecikme değerleri için Akaike Bilgi Kriteri test istatistiği kullanılabilir. Ayrıca, bu değerlerin belirlenmesinde çeşitli non-lineerlik testleri kullanılabilir (Tsay, 1989).

3. UYGULAMA ve BULGULAR

Çalışmada, Yukarı Köprüçay Havzasının 1941–1997 dönemi için yıllık akım süreçleri nonlineer etkiler dahilinde incelenerek bir sınır otoregressif zaman serisi modeli (SAR) geliştirilmiştir. Akım süreçleri parçalı rejimler halinde modellenmeye dahil edilmiş, gözlenmiş seriyle stokastik olarak benzer seri türetilmiş ve geliştirilen modelin lineer modellerle performansı karşılaştırılmıştır.



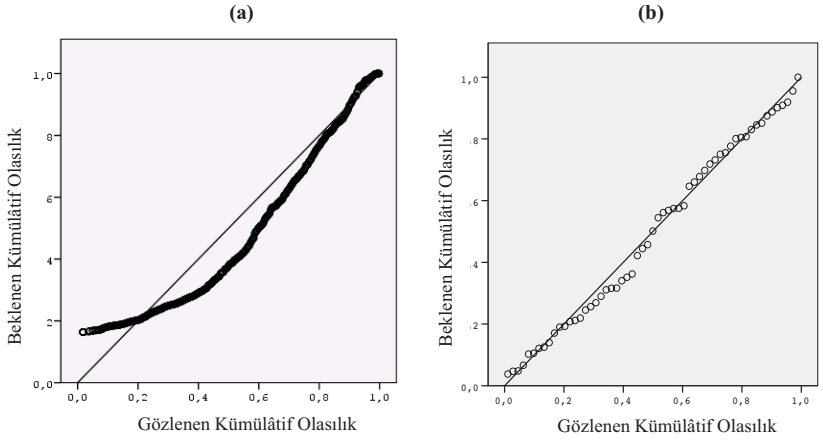
Şekil 2. Köprüçay Nehri yıllık akım serisi (1941–1997)

Yıllık akımların önce zaman yolu serisi oluşturularak (Şekil 2) belli bir periyoda ve belli bir trende veya sıçramaya sahip olup olmadığı araştırılmıştır. Şekil 2'de görüleceği üzere, seride hidrolojik anlamda beklenildiği üzere belli bir periyodikliğe rastlanmaktadır. Ayrıca seride stokastik bir trend bulunmadığı da görülmektedir. Yıllık akımlar belli bir ortalama etrafında (25,79 m^3/s) rastsal salımlar göstermektedir.

Çizelge 1. Köprüçay Nehri gözlenmiş akım verilerinin temel istatistikleri.

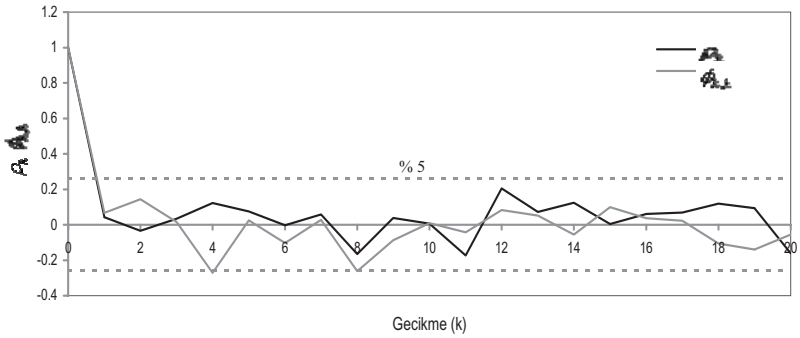
İstatistikler	Ortalama (m^3/s)	Stand. Sapma (m^3/s)	Varyasyon Katsayısı	Çarpıklık Katsayısı	Kurtosis Katsayısı
Aylık	25,787	26,330	1,021	1,858	5,550
Yıllık	25,787	8,959	0,347	0,532	2,840

Akım süreçlerinin temel istatistiksel parametreleri momentler yöntemine göre hesaplanmış ve Çizelge 1'de verilmiştir. Çizelge 1 incelendiğinde, zaman aralığı büyüdükçe; örneğin aylık süreçlerden yıllık süreçlere geçildiğinde, dağılımların çarpıklıklarının küçüldüğü ve yıllık verilerin normal dağılıma uyduğunu söylemek mümkündür. Bunun için SPSS programı yardımıyla olasılık çizgisi korelasyon katsayısı testi yapılmış ve sonuçlar Şekil 3'de verilmiştir. Bu şekillere bakıldığında da yıllık serinin normal dağıldığı açıkça görülmektedir. Bu nedenle modellemede yıllık akım verilerinin orijinal hali kullanılmıştır. Modellemede Matlab 6.5 ve Mathematica 4.0 ve SPSS 15.0 programlarının hesap güçlerinden yararlanılmış ve Excel ortamında programlar geliştirilmiştir.



Şekil 3. Olasılık çizgisi korelasyon katsayısı testi sonucu : (a) Aylık seri (b) Yıllık seri

Yıllık verilerin süreci stokastik bağımsız (iç bağımlılık çok küçüktür $\rho_1 = 0,068$), belli bir ortalama etrafında rastsal salımlar göstermekte ve korelasyon değerleri kısa bir gecikmeden sonra sıfıra yakınsamaktadır. Modelleme sürecinde bu çıkarımlar ($\mu_y = 0$, $\sigma_y^2 = 80,270$) dikkate alınmıştır. Serinin yirmi gecikme için hesaplanmış otokorelasyonları (ρ_k) ve kısmı otokorelasyonları ($\phi_{k,k}$) Şekil 4 olarak verilmiştir.



Şekil 4. Yıllık akım değerlerinin korelogramı ve kısmi korelogramı.

Hesaplanan otokorelasyonlar ve kısmi otokorelasyonlar %5 anlamlılık düzeyinde kontrol edilmiştir. Şekil 4'e bakıldığında görüleceği üzere, serinin tüm değerlerinin ($\rho_k < \pm 0,260$) güven aralığında kaldığı görülmektedir. Bu nedenle serinin stasyoner olduğu kabul edilebilir. Ayrıca serinin korelogram değerlerinin 0' dan anlamlı derecede farklı olmadığı dolayısıyla, modelleme açısından bakıldığında; 1. veya 2. mertebeden lineer modellerin yeterli olabileceği görülmektedir. Kurulan lineer modeller aşağıda verilmiştir.

$$
\begin{aligned}
&AR(1):\ y_t = 0,068 y_{t-1} + e_t \\
&MA(1):\ y_t = e_t + 0,121 e_{t-1} \\
&AR(2):\ y_t = 0,058 y_{t-1} + 0,144 y_{t-2} + e_t \\
&MA(2):\ y_t = e_t + 0,322 e_{t-1} + 0,173 e_{t-2} \\
&ARMA\ (1.1):\ y_t = 2,176 y_{t-1} + e_t - 2,105 e_{t-1}
\end{aligned}
\qquad (3)
$$

Burada, e_t rastsal bileşene ait varyans değeridir. AR(1) ve AR(2) için $\sigma_e^2 = 81,33$; $\sigma_e^2 = 81,09$ MA(1) ve MA(2) için $\sigma_e^2 = 79,90$; $\sigma_e^2 = 70,81$ ve ARMA (1,1) için $\sigma_e^2 = 87,51$.

Modellerin parametreleri incelendiğinde sadece ARMA (1,1) modelinin 1'den büyük olması stasyonerlik şartının sağlanmadığını göstermektedir. Bu modellerden en uygununu belirlemek için Akaike bilgi kriteri (A.I.C) testi kullanılmıştır (Çizelge 2).

Akaike bilgi kriteri testine göre modelde en küçük değeri veren MA(2) modelinin süreci en iyi şekilde temsil ettiği söylenebilir. Ancak bu modelin kalıntı terimlerinin bağımsız ve normal dağılıyor olması gerekmektedir. Seçilen bu modele ait rastsal değişkenlerin gerçekte rastgele olup olmadığının, her birinin diğeriyle korelasyonsuz olduğunun kontrol edilmesi gerekir. Bu amaçla seçilen model için rastgele bileşenlere ait korelasyon değerleri gecikme sürelerine göre hesaplanmış ve otokorelasyonların %95 güven düzeyinde tüm değerler için güven aralığında ($\rho_k < \pm 0,259$) kaldığı görülmüştür. Bu nedenle rastgele değişkenlerin korelasyonsuz dağıldığı kabul edilmiştir. Ayrıca rastsal değişkenlerin normal dağılıma uyup uymadığının kontrolü amacıyla olasılık

çizgisi korelasyon katsayısı testi yapılmıştır ve değişkenlerin normal dağılıma uyduğu görülmüştür[1].

Çizelge 2. Lineer zaman serisi modelleri için Akaike bilgi kriterleri (A.I.C.)

Model	*AR(1)*	*AR(2)*	*MA(1)*	*MA(2)*	*ARMA(1,1)*
A.I.C	252,715	254,547	251,704	246,820	258,890

Non-lineer model oluşturulurken ilk aşama serideki dinamik süreçlerin incelenmesi olmuştur. Bilindiği üzere dinamik ilişkilerin lineer modellerle temsil edilmesindeki güçlükler non-lineer modellerin oluşturulmasını zorunlu kılmaktadır. Bir dinamik sürecin çok yüksek dereceden lineer modellerle temsil edilmesinde dahi, rastgele değişkenlerin normal dağılmış olması kabulü, stasyonerlik koşulunun getirdiği zorunluluk, trend ve periyodikliğin ayrıştırılması zorunluluğu dolayısıyla dinamik etkilerin modellerde tam olarak temsil edilemeyeceği açıktır. Bu nedenle, lineer korelasyonun ötesindeki bağımlılık gibi doğrusal olmayan özellikleri modellemek için non-lineer modellere ihtiyaç vardır. Bir serideki süreci toptan hesaba katmak yerine; serinin dinamik sürecini alt süreçler dâhilinde inceleyerek, her bir alt sürecin kendi içindeki dinamikliğine doğrusal bir yakınsamayla modeller oluşturarak, sürecin götürü temsilinin modellenmesi gerekmektedir. Bu tip bir modelleme de her alt süreç bir rejim olarak tanımlanmaktadır.

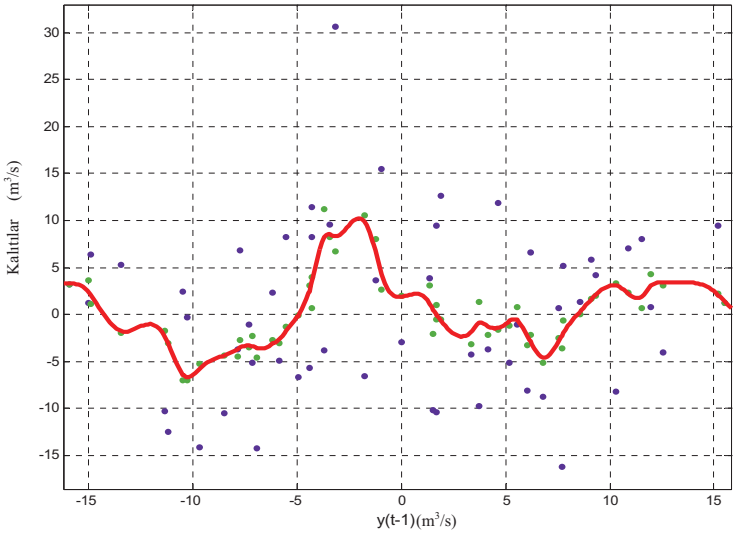
Çalışmada yıllık akım serisinin bir dönemlik gecikmeye bağlı dinamik değişimleri incelenmiştir. Yıllık süreç kendi içinde götürü olarak düşünülürse lineer yaklaşımın, serinin modellenmesinde yetersiz kalacağı ($R^2 = 0,005$) açıkça görülmektedir. Ayrıca, serinin lineer modellerle temsili düşünüldüğünde, gecikmelerine bağlı kalıntı terimlerinin[2] ve gözlenmiş seri ile değişimine (Şekil 5) bakıldığında, görüleceği üzere; modellemede yapılacak götürü temsillerin, yılık sürecin modellenmesinde yetersiz kalacağı açıktır. Bu nedenle de sürecinin non-lineer parametrik modelle, parçalı rejimler halinde hesaba katılarak modellemeye dâhil edilmesi uygun olmaktadır.

Gözlenmiş yıllık serinin (y_t) bir dönemlik gecikmiş (y_{t-1}) değerlerine lineer regresyon doğrusu ($\hat{y}_t$) uydurularak elde edilen kalıntılarına (Şekil 5) bakıldığında, 4 adet rejimin ($k = 4$) varlığı görülmektedir. Rejim değişikliklerini yansıtan sınır değerleri (r_{k-1}) olarak -6,75, -1,75 ve 6,92 değerleri seçilmiştir. Bu sınır değerleri ve seçilen rejimlere dayalı (*rejim 1; rejim 2;...)* hesaplanan otokorelasyon katsayıları ($\rho_{k,1}$; $\rho_{k,2}$;…) dikkate alınarak yıllık akımların 4 parçalı 1. mertebeden SAR modeli aşağıda verilmiştir:

$$y_t = (-0,367\, y_{t-1})I(y_{t-1} \le -6,75) + (0,270\, y_{t-1})I(-6,75 < y_{t-1} \le -1,75) + e_t$$
$$y_t = (-0,216\, y_{t-1})I(-1,75 < y_{t-1} \le 6,92) + (-0,196\, y_{t-1})I(6,92 < y_{t-1}) + e_t \qquad (4.11)$$

[1] Bu hesaplamalar yer darlığı sebebi ile verilmemiştir. Hesaplamaların ayrıntıları Tongal (2008) çalışmasında bulunabilir.

[2] y_t gözlenmiş seri y eksenine ve bir günlük gecikmesi y_{t-1} değerleri x eksenine aktarılıp saçılım diyagramı çizilmiş bu diyagrama lineer regresyon doğrusu ($\hat{y}_t$) uydurulup $y_t - \hat{y}_t$ kalıntıları elde edilmiştir. Kalıntılar (residuals) y eksenine ve y_{t-1} x eksenine çizilerek *m=2* için hareketli ortalamalar kullanılarak düzleştirme yapılmıştır.



Şekil 5. Yıllık akım serisinin kalıntı terimleri ile bir dönemlik gecikmelerinin düzleştirme eğrisi (m=2)

"Dört rejimli SAR modeli" olarak da adlandırılan bu modelde 4 adet alt model vardır. Her bir alt model, rejim içi lineer bağımlılıkları temsil etmektedir. Modellere ait her bir parametre, modellerin geçerli olduğu aralıklar için hesaplanmıştır. Burada e_t rastsal bileşene ait varyanslar, her bir rejim için sırasıyla $\sigma_e^2 = 9,212$, $\sigma_e^2 = 1,481$, $\sigma_e^2 = 7,755$ ve $\sigma_e^2 = 39,841$ değerlerini almaktadır.

Bu safhadan sonra, modeller kullanılarak istenilen uzunlukta sentetik serilerin türetilmesi mümkündür. Örneğin bir model için türetilen bağımsız rastgele sayılar modelde yerlerine konularak dönüştürülmüş serilerle aynı istatistiğe sahip farklı seriler elde edilir. Bu farklı serilerden, gözlenmiş serinin stokastik yapısına bağlı uygun dönüşümlerle sentetik seriler üretilir. Bu çalışmada yıllık akım değerleri modellenirken ortalaması sıfır yapılan seri kullanıldığı için türetilen farklı serilere gözlenmiş serinin ortalaması ilave edilerek, orijinal seriyle benzer istatistik taşıyan farklı gidişata sahip akım serileri elde edilmiştir. Modellerle elde edilen sentetik serilerin gözlenmiş serilerle karşılaştırılması için çok sayıda (50 simülasyon) seriler türetilmiştir. Orijinal seri ile karşılaştırılması açısından yıllık süreçlere ait bir örnek olarak türetilen sentetik akım serilerinin ortalamaları, standart sapmaları ve çarpıklık katsayıları hesaplanmış ve Çizelge 3'de verilmiştir. Ayrıca, lineer ve non-lineer modellerlin bir uygulaması olarak türetilmiş sentetik seriye bir örnek Şekil 6'da sunulmuştur.

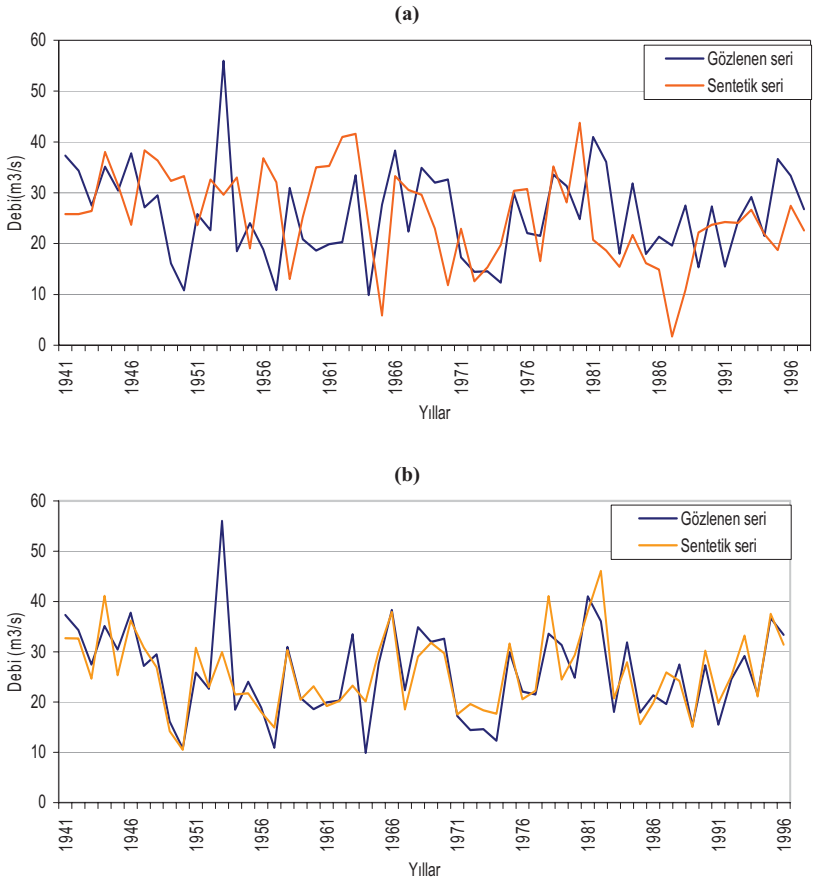
Çizelge 3. Türetilen ve gözlenen serilerin temel istatistikleri.

	Model Tipi	İstatistikler μ_y	σ_y	C_{sy}
Lineer Modeller	AR(1)	26,482	8,680	-0,242
	AR(2)	24,305	8,653	-0,261
	MA(1)	24,782	8,113	0,101
	MA(2)	25,513	9,047	-0,266
	ARMA(1,1)	P.Seri	P.Seri	P.Seri
Non-Lineer Modeller	SAR($r=0$)	25,772	7,684	0,469
	SAR($r=1$)	18,561	3,733	-0,176
	SAR($r=2$)	20,432	1,162	-0,070
	SAR($r=3$)	28,643	2,924	-0,317
	SAR($r=4$)	35,601	6,552	-0,386
Gözlenen Seriler	$r=0$	25,793	8,962	0,534
	$r=1$	15,501	3,274	-0,508
	$r=2$	21,661	1,202	0,507
	$r=3$	29,131	2,774	0,023
	$r=4$	37,840	6,461	2,587

Çizelge 3'e göre temel istatistiklere bakıldığında bütün modellerle türetilen serilerin orijinal serilerin karakteristiklerine benzer özellikler taşıdığı görülmektedir. Bu benzerliğin
lineer ve non-lineer modeller karşılaştırıldığında A.I.C. testine göre en iyi lineer model olan MA(*2*) modeli ile türetilen serinin istatistikleri ($\mu_y = 25,513 , \sigma_y = 9,047$) dört - rejimli non-lineer SAR (*k=4*) modeline göre ($\mu_y = 25,772 , \sigma_y = 7,684$,) orijinal seriye ($\mu_y = 25,793 , \sigma_y = 8,962$) daha az yakınsadığı görülmektedir. Bu durumun, yıllık akım verilerinin geçmiş dönemlerine bağımlılığın ($\rho_1 = 0,068$) çok az ve çok kısa dönemli olması yani uzun hafıza periyotlu bir süreç içermemesi (stokastik trende sahip olmaması (Şekil 2) ve geçmiş dönemlerine bağlı kalıntıların doğrusal olmayıp non-lineer bir dinamik değişim (Şekil 5) içermesi nedeniyle ortaya çıktığı düşünülmektedir. Burada lineer modeller süreci tümden hesaba kattığından süreç içindeki farklı dinamikleri yansıtmamakta, non-lineer modellerde ise sürecin parçalı olarak rejimler halinde hesaba katılması sebebiyle gözlenen akımların dinamikliğine/gidişatına daha benzer bir süreç elde edilmektedir. Ancak sadece istatistiksel parametrelere bakılarak yapılacak model seçiminin yanıltıcı olabileceği unutulmamalıdır. Yine Çizelge 3'e bakıldığında örneğin iki rejimli akım modelinin (SAR ($r=1$, $r=2$)), temel istatistiklerinin ($\mu_y = 18,561 , \sigma_y = 3,733 ; \mu_y = 20,432 , \sigma_y = 1,162$) gözlenen serinin alt rejimlerinin istatistiklerine ($\mu_y = 15,501$, $\sigma_y = 3,274$; $\mu_y = 21,661$, $\sigma_y = 1,202$) yakınsadığı görülmektedir. Hâlbuki lineer modellerde böyle bir karşılaştırma imkânı yoktur. Ayrıca, çarpıklık katsayılarına bakıldığında da non-lineer modelle türetilen serinin gözlenmiş serinin dağılımını daha iyi koruduğu görülmektedir.

Sonuç olarak lineer ve non-lineer modeller karşılaştırıldığında non-lineer modeller akım sürecindeki dinamiklikleri daha iyi taşımaktadır. Lineer modeller içerisinde, sürecin istatistiklerine en iyi yakınsayan ($\mu_y = 25,513 , \sigma_y = 9,047$) A.I.C. testine göre seçilmiş

en iyi model bile (*MA(2) modeli*) yıllık 4- rejimli non-lineer bir model olan SAR ($k=4$) modeli ($\mu_y = 25,772$, $\sigma_y = 7,684$) kadar süreç içi dinamikleri yansıtmamaktadır. Bu durum, Şekil 6 sunulan MA(*2*) ve SAR (*k=4*) modelleri için türetilmiş sentetik seri örneğinde de açık olarak görülmektedir. Bunun nedeni, yıllık akım serisindeki rastsallığın fazla ve uzun süreli olması (Şekil 6) ve geçmiş dönemlere lineer bağımlılığın çok az ($\rho_1 = 0,068$) olmasıdır.



Şekil 6. Yıllık akımlar için türetilen sentetik seri (a) Lineer model: MA(*2*) (b) Non-lineer model: SAR (*k=4*).

4. SONUÇ

Akarsu akımları gibi ardışık gözlemleri arasında iç bağımlılık bulunan verilerin istatistik analizi sonucunda, bu bağımlılık temel alınarak zaman serisi modelleri kurulabilir. Bu modeller ile ileride oluşması muhtemel akımlar önceden tahmin edilerek veya eksik kalan ölçümler tamamlanarak su yapılarının doğru planlanması, güvenilir ve

uzun ömürlü işletilmesi ve ileride oluşabilecek kritik durumlar için önceden önlemlerin alınması mümkün olabilmektedir.

Bu çalışmada, Köprüçay Nehri' ne ait yıllık ortalama akım verilerinin stokastik süreçleri analiz edilerek, bu süreçler lineer ve non-lineer parametrik modellerle modellenerek, eldeki seriyle aynı istatistik özelliklere sahip farklı dizilişte yeni akım serileri türetilmiştir. Lineer zaman serisi modelleri olarak otoregressif (AR), hareketli ortalama (MA) ve karma otoregressif-hareketli ortalama (ARMA), ve non-lineer model olarak da sınır (threshold) otoregressif (SAR) modelleri kullanılmıştır. Kurulan modeller kendi tiplerine alternatif olan diğer modellerle karşılaştırılarak uygulamadaki başarıları değerlendirilmiştir. Yıllık akımlarda rejim değişikliğine bağlı iki ve dört rejimli SAR modelleri olarak adlandırılan non-lineer modellerin uygulamalarda lineer modellere göre daha başarılı oldukları görülmüştür.

Dinamik etkilerin fazla olduğu süreçlerde, lineer korelasyonun ötesindeki bağımlılık gibi non-lineer ilişkilerin korunduğu SAR modellerinin süreci temsil etmede lineer modellerden daha başarılı olduğu söylenebilir.

5. KAYNAKLAR

BİLDİRİCİ M, AYKAÇ E, "Mevduat faiz oranlarının TAR ailesi modelleri ile analizi", 8. Türkiye Ekonometri ve İstatistik Kongresi, İnönü Üniversitesi, Malatya, 2007.

BOX G.E.P, JENKINS G.M, and REINSEL G.C, "Time Series Analysis Forecasting and Control", Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1994.

BOX G.E.P, and JENKINS G.M, "Time Series Analysis Forecasting and Control", Holden-Day, San Francisco, 1970.

FAN J, "Nonlinear Time Series: Nonparametric and Parametric Methods", Secaucus, NJ, USA: Springer-Verlag New York, Incorporated, 2003.
http://site.ebrary.com/lib/. Erişim Tarihi: 12.04.2007.

HANSEN B.E, "Inference in TAR Models", 1996.
http://www.bepress.com/cgi/viewcontent.cgi?article=1024&context=snde., Erişm. Tarihi: 08.05.2007.

MONUZ MP, MARQUEZ MD, ve ACOSTA LM, "Forecasting volatility by means of threshold models", Journal of Forecasting, 26: 343-363, 2007.

NIETO FH, "Forecasting with univariate TAR models", Statistical Methodology, 5: 263-276, 2008.

SEVÜKTEKİN M, ve NARGELEÇEKENLER M, "Zaman Serileri Analizi", Nobel Yayın Dağıtım, Ankara, 2005.
TONG H, "Threshold Models in Non-linear Time Series Analysis", New York,Springer-Verlag, 1983.

TONG H, LİM K.S, “Threshold Autoregression, Limit Cycles and Cyclical Data”, Journal of Royal Statistical Society B, 42,3:245-292, 1980.

TONG H, “On a Threshold Model”, in C.H.Chen(ed.), Pattern Recognition and Signal Procession, The Netherlands:Sijthoff and Noordhoof, 1978.

TONGAL H, “Akarsu Akımlarının Lineer ve Non-lineer Parametrik Zaman Serileriyle Modellenmesi” Y. Lisans Tezi, SDÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 2008.

TSAY R.S, “Analysis of Financial Time Series”, A Wiley-Interscience Publication John Wiley&Sons, Inc. 456s, New York, 2002.

TSAY R.S, “Testing and modeling threshold autoregressive processes”, Journal of the American Statistical Assoc., 84: 231-240, 1989.

YEVJEVICH V, “Probability and Statistics in Hydrology”, Water Resources Publ., Fort Collins, Colorado, pp 68-82. U.S.A., 1972.

GAP Alanında Günlük Maksimum ve Minimum Sıcaklıkların İçsel Bağımlı (Otoregresif) Modellerle İncelenmesi

Tahsin TONKAZ [1], Mahmut ÇETİN [2]

Özet: Sıcaklık değerleri tarımsal hidroloji ve mühendislik çalışmalarında yaygın olarak kullanılan temel parametrelerden biridir. Sıcaklık değerlerinin matematik modellerinin kurulması ve standart yinelenme yıllarına karşılık gelen sentetik serilerin türetilmesi mühendislik ve tarımsal amaçlı yürütülen projelerin başarısında önemli rol oynamaktadır. Zaman serilerinin matematiksel modelleri olarak ARMA(p, q) modelleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada, GAP alanındaki meteoroloji gözlem istasyonlarının günlük maksimum ve minimum sıcaklık serilerinin matematiksel olarak modellenmesi ve modellerin irdelenmesi amaçlanmıştır. Çalışmada, kurulan 70 adet modelden, 38'inin ARMA(3, 1), 16'sının ARMA(2, 1) ve kalanın diğer modeller olduğu saptanmıştır. Sentetik olarak türetilen verilere frekans analizi uygulanarak Tr=100 yıl yinelenmeli günlük maksimum sıcaklığın Ceylanpınar'da 51.9 ^{o}C kadar yükselebileceği belirlenmiştir. Elde edilen matematiksel modeller, tarımsal çalışmalar ve mühendislik projelerinde kullanılabilecektir.

Anahtar Sözcükler: GAP bölgesi, günlük maksimum ve minimum sıcaklık, içsel bağımlı (otoregresif modeller), sentetik veri türetimi

Examination of Daily Maximum and Minimum Temperatures by Using Autoregressive Models in the Southeastern Anatolian Project Area (SAP)

Abstract: Temperature data are the primary parameters used commonly in agricultural hydrology and engineering works. Mathematical modeling and generating of temperature data for a given recurrence interval are of great importance for the projects under consideration. Mathematical models of observed series -such as ARMA(p, q) models- are used commonly in practice. The aims of this study were (1) to establish mathematical models for daily maximum and minimum temperature series of stations located in the southeastern Anatolian Project (GAP) area, and (2) to evaluate thoroughly the models constructed. ARMA(3,1), ARMA(2,1) model were determined for 38 and 16 meteorological stations, out of 70, respectively, and remaining were fitted other ARMA(p, q) models. Synthetically generated temperature data showed that the highest

[1] Harran Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü, Şanlıurfa, E-Posta: ttonkaz@hotmail.com

[2] Çukurova Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü, Adana, E-Posta: mcet64@cu.edu.tr

maximum temperature of 100-year recurrence interval for the GAP area was estimated as 51.9 ^{o}C at Ceylanpınar station. It was expected that the established mathematical models of stations can be used in agricultural and engineering studies to be realized in SAP area.

Keywords: SAP region, daily maximum and minimum temperatures, autoregressive models, synthetic data generation

1. GİRİŞ

Sıcaklık değerleri, tarımsal üretim ve mühendislik çalışmalarında yaygın olarak kullanılan temel parametrelerden biridir. Meteoroloji gözlem istasyonlarında (MGİ) gözlenen sıcaklık serilerinin matematik modellerinin kurulması ve bu modeller kullanılarak kayıt uzunluğuna kıyasla oldukça uzun süreli sıcaklık verilerinin türetilmesi; ayrıca olasılıksal yaklaşımla standart yinelenme yıllarına karşılık gelen sentetik serilerin türetilmesi suretiyle gözlem periyodunda elde edilemeyen kritik değerler hakkında bilgi elde edilmesi olasıdır. Kurulan modelin uzun dönemde çalıştırılması sonucunda elde edilen kritik değerlerin uygulamaya yönelik projelerde kullanılması durumunda, projenin gelecekteki başarı şansı da artmaktadır. Sıcaklıklara ilişkin zaman serilerinin matematiksel modellerinin kurulmasında içsel bağımlı (otoregresif) modeller yaygın olarak kullanılmaktadır. Gözlem serilerinin matematiksel modellerinin oluşturulmasına yönelik literatürde çok sayıda araştırma görülmektedir. Bu çalışmalar genellikle yaygın olarak kullanılan iklim parametrelerinden sıcaklık, solar radyasyon, yağış ve nehir akımlarını kapsamaktadır.

Kyseli (2002), yıllık maksimum sıcaklıkları otoregresif model ile incelemiş ve AR(1) modelinin uygun olduğunu saptamıştır. Kurulan modelin sıcaklık serisinin karakteristiklerini koruduğunu ortaya koymuştur. Salas ve Obeysekera (1982) yaptıkları bir araştırmada, ARMA (p, q) modellerinin uygulamada yaygın olarak kullanıldığını belirterek, model mertebesine karar vermenin en önemli aşama olduğunu ifade etmişlerdir. Bu amaçla, Saint Lawrance nehir akımlarını otoregresif model ile ifade etmeye çalışmışlar; en uygun modelin ARMA(1, 3) olduğunu belirtmişlerdir. Hansen ve Driscoll (1977) tarafından saatlik sıcaklıkların stokastik modellemesi yapılmış, bu amaçla 11 yıllık veri kullanılmış ve birinci mertebeden Markov modelinin sıcaklık serisi için uygun olacağı sonucuna varılmıştır. Furman (1993) ise, Idaho'da yaz ayları günlük maksimum sıcaklıkların zaman serisi analizini ve olasılık dağılım fonksiyonları ile modellenmesini yapmıştır.

Bu konuda ülkemizde de çalışmalara rastlanılmaktadır. Örneğin; Sarıcalı (1984) hava sıcaklığı, bağıl nem, güneş radyasyonu, rüzgâr şiddeti ve bulutluluk gibi değişkenlere ait yıllık, günlük ve saatlik verileri kullanarak simülasyon modellerini kurmuş ve sentetik veriler türetmiştir. Yücel (1994), Adana Meteoroloji istasyonu uzun yıllık günlük maksimum, minimum ve ortalama sıcaklık verilerinin stokastik ve olasılık analizlerini yaparak Şubat, Mart ve Nisan ayının her bir günü için uygun olasılık dağılım modelini saptamıştır. GAP alanında yapılan çalışmada ise (Tonkaz, 2002), günlük ortalama sıcaklıkların otoregresif olarak modellenebileceği ortaya konulmuş ve elde edilen matematiksel model yardımı ile standart yinelenme yılları için sentetik seriler türetilmiştir. Diğer yandan, Baran ve Bacanlı (2006) tarafından yapılan

çalışmada ise, gözlenmiş yıllık akımlar ve türetilmiş sentetik diziler kullanılarak en uygun model seçiminde kullanılan olası yöntemler karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma denemelerinde, hidrolojide sık kullanılan AR(1), AR(2), AR(3), ARMA(1,1) ve ARMA(1,2) modelleri değerlendirmeye alınmıştır.

Bu çalışmada ise; ülkemizin en büyük entegre projesinin yürütüldüğü "*Güneydoğu Anadolu Projesi (GAP)*" alanında, meteoroloji istasyonlarında gözlenen "*günlük maksimum*" ve "*günlük minimum*" sıcaklık serilerinin içsel bağımlı (otoregresif) modellerinin kurulması, sentetik sıcaklık verilerinin türetilmesi ve standart yinelenme yılları için beklenen sıcaklıkların tahmin edilmesi amaçlanmıştır.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Materyal

Çalışmada, *Güneydoğu Anadolu Projesi* (*GAP*) alanında yer alan ve kayıt uzunluğu sekiz yıl ve daha fazla olan 36 istasyona ait günlük "*Maksimum Sıcaklık*" **(*GMakS*)** ve "*Minimum Sıcaklık"* **(*GMinS*)** serileri kullanılmıştır. Veriler, Devlet Meteoroloji İşleri (*DMİ*) Genel Müdürlüğünden bilgisayar ortamında alınarak amaç doğrultusunda yeniden düzenlenmiştir.

2.2. Yöntem

Günlük sıcaklık gözlem değerlerinin içsel bağımlı modellerle incelenebilmesi için öncelikle, zaman serisindeki gidiş bileşeni analiz edilmiştir. Gidişin saptanmasında hesaplama kolaylığı, lineer olmaması ve serideki gidişin başlangıç noktası hakkında da bilgi vermesi nedeni ile *ardışık Mann-Kendall u(t_i)* testi kullanılmıştır (Syners, 1990; Çetin ve diğ., 2001). Gözlem değerleri yerine sıra sayılarını (y_i) esas alan bu teste, n elemanlı bir seri artan yönde sıralandığında, yeni bir dizi oluşturan sıra sayılarının $i>j$ için ($i=2,...,n;\ j=1,...,i-1$), $y_i>y_j$ koşulunu sağlayan y_j elemanlarının sayısı, n_i, saptanarak her alt grup i için, test istatistiği t_i, beklenen değeri $E(t_i)$, varyansı $Var(t_i)$ ile standardize değişken $u(t_i)$ **Denklem (1)** ile hesaplanabilir.

$$t_i = \sum_{k=2}^{i} n_k \ ; \quad i = 2,3,4,...,n \ ; \quad E(t_i) = \frac{i(i-1)}{4}$$

$$Var(t_i) = \frac{i(i-1)(2i+5)}{72} \ ; \quad u(t_i) = \frac{t_i - E(t_i)}{\sqrt{Var(t_i)}} \qquad (1)$$

Günlük zaman serileri, periyodik karaktere sahip olduğundan dolayı, günlük maksimum ve minimum sıcaklık serilerinin ortalama ve standart sapma parametrelerindeki olası periyodik bileşen *Fourier* yaklaşımı ile modellenmiştir (Salas ve diğ., 1980).

Gidiş ve periyodik bileşenden arındırılan sürecin iç bağımlılığı, dolayısıyla otoregresif modelleme *[(AR(p), ARMA(p,q)]* yapılabilirliği *Anderson* testi ile araştırılmıştır (Baran ve Bacanlı, 2006). İçsel bağımlı ve gözlem aralığı "*bir gün*" olan bir zaman serisinin, v yılı ve τ günü göstermek üzere, genel tahmin modeli, **Denklem (2)**'deki gibi ifade

edilmektedir. Denklemdeki $y_{v,\tau}$ değeri sentetik veriyi ifade etmektedir (Salas ve diğ., 1980).

$$y_{v,\tau} = \mu_\tau + \sigma_\tau Z_t \tag{2}$$

Burada; μ_τ ve σ_τ periyodik ortalama ve standart sapmadır. Z_t ise ortalaması sıfır, varyansı bir olan bağımlı bir seri olup, *AR(p)* veya *ARMA(p,q)* modelleriyle **Denklem (3)** ifade edilmektedir.

$$\begin{aligned} Z_t &= \sum_{j=1}^{p} \phi_j Z_{t-j} + \varepsilon_t \\ Z_t &= \sum_{j=1}^{p} \phi_j Z_{t-j} - \sum_{i=1}^{q} \theta_i \varepsilon_{t-i} + \varepsilon_t \end{aligned} \tag{3}$$

Denklemlerde, ϕ, θ: Otoregresif ve hareketli ortalama model parametresi; *p, q* : Model mertebeleri, ε_t : Artık terimdir.

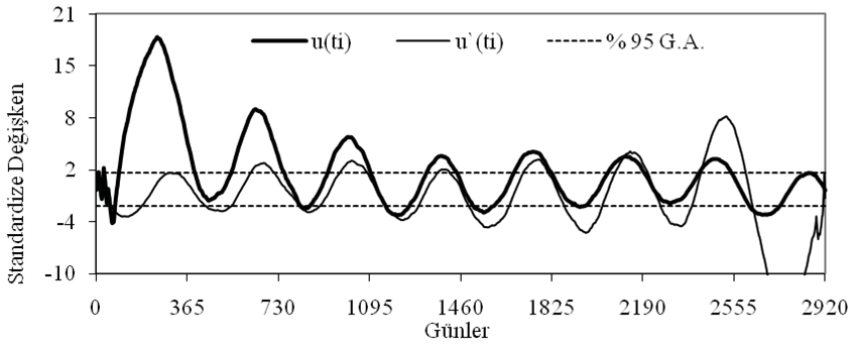
Modelin uygunluğu uygunluk sınaması (*testing the goodness of fit*) testi ve artık terimlerin bağımsızlığı da *Anderson* testi **Denklem (4)** ile kontrol edildikten sonra sentetik veri türetiminde kullanılacak rastgele karakterli seri türetiminde artık terimlerin uyduğu olasılık dağılım (*Normal, Weibull, Log-lojistik* v.b.) modeli Kolmogorov-Smirnov testi (Çetin, 1996) ile belirlenmiştir.

$$r_k(\%95) = \frac{-1 \pm 1.96\sqrt{N-k-2}}{N-k-1} \tag{4}$$

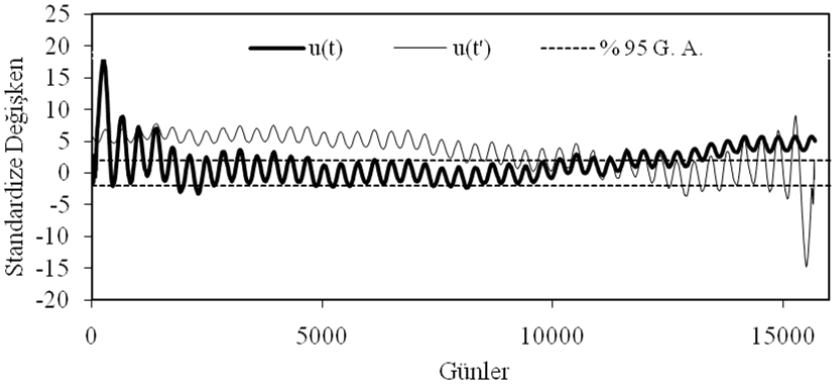
Saptanan zaman serisi bileşenleri tek bir eşitlik olacak şekilde yeniden düzenlenmiş (Salas ve Yevjevich, 1972; Burlando ve diğ., 1993) ve elde edilen matematiksel model kullanılarak standart yinelenmeli sentetik ***GMakS*** ve ***GMinS*** serileri türetilmiştir.

3. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Günlük maksimum ve minimum sıcaklık serilerindeki olası gidiş bileşeni, *ardışık Mann-Kendall* testi ile incelenmiştir. İstasyonların çoğunda gidiş gözlenmezken (Şekil 1) bazı istasyonlarda son yıllarda gidiş çizgisinin üst güven sınırını aştığı (Şekil 2) tespit edilmiştir. Bu artma eğiliminin gerçek bir gidiş mi yoksa bir dalgalanma mı olduğunu belirlemek şimdilik mümkün olmadığından, tüm istasyonlarda gidiş olmadığı kabulü ile analizlere devam edilmiştir.



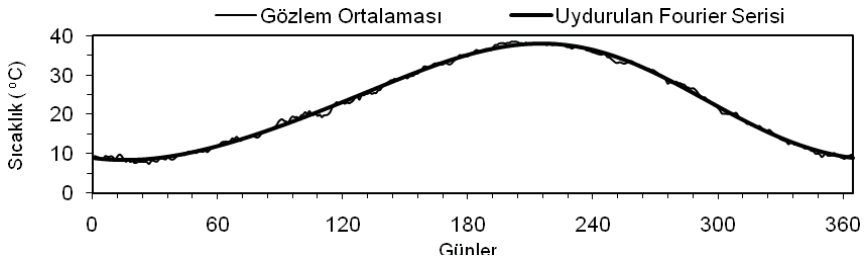
Şekil 1. İdil istasyonu ***GMakS*** zaman serisinin gidiş analizi sonuçları



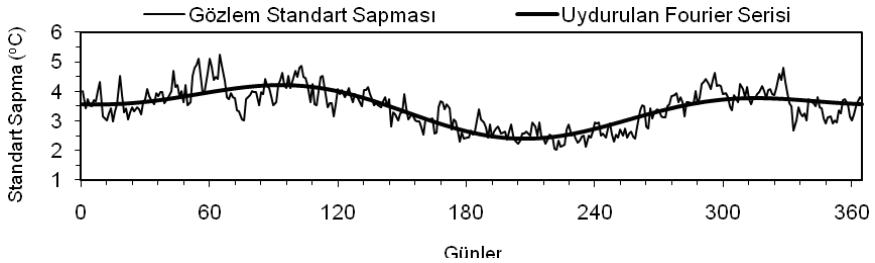
Şekil 2. Adıyaman istasyonu ***GMakS*** zaman serisinin gidiş analizi sonuçları

GAP alanında yer alan ve araştırmaya konu edilen tüm meteoroloji gözlem istasyonlarının günlük maksimum ve minimum sıcaklık serilerinin ortalama ve standart sapma parametreleri etrafındaki periyodik bileşen, *Fourier* analizi (Şekil 3 ve 4) ile incelenmiştir. Periyodik bileşen, elde edilen model kullanılarak serilerden uzaklaştırılmıştır.

Gözlem istasyonlarının hem minimum hem de maksimum sıcaklık serilerine ilişkin ortalama ve standart sapma etrafındaki periyodik bileşen seriden uzaklaştırıldıktan sonra, serilerinin iç bağımlılığı analiz edilerek otoregresif modeller kurulmuştur. Otoregresif modellerinin kurulmasından sonra periyodik, otoregresif ve olasılık bileşenler bütünleştirilerek her bir istasyonun dikkate alınan sıcaklık serisi için "*matematiksel model*" elde edilmiştir. Ancak, Mardin ve Nizip istasyonlarında maksimum sıcaklıkların otoregresif modelleri istatistiksel anlamda önemli bulunmamıştır. Bu nedenle, bu istasyonların otoregresif modelleri kurulamamıştır.



Şekil 3. Adıyaman MGİ maksimum sıcaklıkların gözlenen ve *Fourier* analizi sonucu tahmin edilen ortalamalarının yıl boyunca değişimi



Şekil 4. Adıyaman MGİ maksimum sıcaklıkların gözlenen ortalama ve *Fourier* analizi sonucu tahmin edilen standart sapmalarının yıl boyunca değişimi

Günlük maksimum sıcaklıklar için kurulan 34 modelden, 24'ünün ARMA(3, 1), 3'ünün ARMA(5, 3), 2'sinin ARMA(2, 1), birer adet ise ARMA(2, 2), ARMA(2, 4), ARMA(4, 2), ARMA(4, 4), ARMA(5, 4) modellerine uygun olduğu belirlenmiştir. Öte yandan, günlük minimum sıcaklıklar da ise kurulan 36 modelin: 14'ünün ARMA(2, 1) ve ARMA(3, 1), 3'ünün ARMA(4, 3), 2'sinin ARMA(5, 3), birer adedinin ise ARMA(1, 1), ARMA(3, 2) ve ARMA (4, 3) modellerine uygun olduğu belirlenmiştir.

Artık terimler *Lojistik, Loglojistik, Weibull, Lognormal, Normal, Erf, Ters Gauss* olasılık dağılım modellerinden birine uymuştur. *GMakS* ve *GMinS* serileri için saptanan olasılık dağılım fonksiyonları ve parametreleri kullanılarak, olasılık dağılımına uyan rast gele sayı dizileri türetilmiştir. Her bir istasyonun dikkate alınan sıcaklık serisi için türetilen sayılar, söz konusu istasyon için elde edilen bütünleşik modelde yerine konmak sureti ile sentetik *GMakS* ve *GMinS* serileri türetilmiştir. Bu çalışmada, amaç doğrultusunda uzunluğu 100 yıl olan (36500 gün) 30 adet sıcaklık serisi her bir model için türetilmiş ve türetilen bu değerlerden standart yinelenmeli yıllarına karşılık gelenler uzun yıllık ortalama beklenen sıcaklıklar olarak belirlenmiştir. Standart yinelenme yılları için tahmin edilen sıcaklıklarla ile gözlem serisindeki maksimum ve minimum değerler saptanarak Çizelge 1 ve 2'de verilmiştir. Elde edilen bulgulara göre; özellikle *GMakS* serilerinde gözlem süresindeki en büyük değer, modelden elde edilen standart yinelenmeli değerlerden genelde küçük kalmıştır. Bu, önümüzdeki yıllarda ekstrem sıcaklıkların yaşanacağına işaret etmektedir. Örneğin; *GMakS* serilerinde Tr=100 yıl yinelenmeli sıcaklık değerleri henüz gözlenmemiştir (Gaziantep istasyonu hariç). Bu nedenle, ilerleyen yılların herhangi birinde bu ekstrem değerin gerçekleşme olasılığı vardır. Bu nedenle, bu denli bir sıcaklık gerçekleştiğinde meydana gelecek olası

tehlikelere karşı şimdiden hazırlıklı olunmalıdır. Olası ekstrem maksimum sıcaklıkların yaşanması halinde, bölgede özellikle tarımsal üretimde (su kaynaklarının yetersiz kalmasına bağlı olarak) önemli kayıplar beklenmelidir. Ayrıca, bu denli yüksek sıcaklıklar gözlendiğinde, günlük yaşamı nasıl etkileyebileceği konusunda da öngörüler yapılmalıdır.

Çizelge 1. İstasyonların standart yinelenme yılları için beklenen "*Yılda En Büyük GMakS Değerleri*" ve kayıt süresince gözlenen maksimum değeri (^{0}C)

İller	Kayıt süresince gözlenen maksimum günlük sıcaklık	Yinelenme yılı					
		2	5	10	20	50	100
Adıyaman	45.3	43.8	45.4	45.9	46.6	47.6	48.4
Akarsu	43.8	43.3	44.3	44.9	45.8	46.7	47.2
Akçakale	46.7	46.2	47.0	47.8	48.8	49.6	50.1
Akpınar	44.0	41.8	43.0	43.4	43.8	44.7	45.0
Araban	44.6	45.3	46.3	47.3	48.0	49.1	49.9
Batman	50.0	46.5	47.9	48.8	49.8	50.6	51.1
Besni	41.0	41.3	42.0	42.7	43.5	44.2	45.0
Beşiri	44.0	44.1	44.7	45.5	46.3	47.6	48.4
Birecik	47.2	46.5	47.6	48.2	49.1	50.3	51.0
Bismil	44.6	44.8	46.2	47.0	47.3	48.0	48.4
Bozova	45.0	44.7	46.2	47.0	47.5	48.3	49.0
Ceylanpınar	48.2	47.7	48.9	50.1	50.9	51.6	51.9
Cizre	48.6	46.5	47.3	47.7	48.2	48.5	48.7
Camlıdere	44.4	44.8	46.2	46.9	47.5	48.5	49.4
Çermik	46.3	44.8	45.9	46.3	47.1	48.1	48.4
Derik	44.1	43.6	45.0	45.9	46.3	47.3	48.4
Dicle	41.6	40.8	41.4	41.9	42.6	43.0	43.6
Diyarbakır	46.2	44.9	45.4	45.8	46.3	47.3	48.1
Ergani	44.2	41.8	42.9	43.5	44.1	44.5	45.0
Gaziantep	44.0	40.4	41.2	41.8	42.5	43.1	43.4
Hazro	42.3	42.2	43.3	43.9	44.6	45.9	46.6
İdil	44.3	44.7	45.6	46.3	46.9	47.8	48.7
Kanlıavşar	43.9	43.5	44.7	45.4	46.3	47.4	47.7
Kilis	47.0	43.7	44.5	45.6	46.1	47.0	47.8
Kozluk	43.0	44.3	45.3	45.7	46.3	47.2	48.3
Kurtalan	45.0	45.4	46.2	47.0	48.2	49.0	49.7
Mardin	42.5	--	--	--	--	--	--
Mazıdağı	40.5	40.1	40.9	41.5	42.3	42.8	43.2
Nizip	45.3	--	--	--	--	--	--
Nusaybin	47.5	44.9	46.0	46.5	47.2	47.5	47.8
Savur	42.6	41.4	42.1	42.8	43.3	43.7	44.1
Silvan	42.5	41.1	41.8	42.5	43.3	44.3	44.9
Siirt	46.0	42.5	43.1	44.1	44.5	45.5	46.0
Siverek	45.0	43.4	44.2	45.6	46.4	47.3	48.2
Şanlıurfa	46.8	44.5	45.4	46.2	46.9	47.8	48.6
Viranşehir	45.0	45.3	46.3	46.7	47.6	48.3	49.1

Diğer yandan, minimum sıcaklıklarda da, maksimum sıcaklara benzer şekilde Tr=50 ve/veya Tr=100 yıl yinelenmeli sıcaklık değerlerinin henüz birçok istasyonda gözlenmediği dikkati çekmektedir. Bölgede yaşanacak olası minimum ekstrem değerler ise ısıtma problemleri yanında su dağıtım sistemlerinde ve bitkisel üretimde önemli zararlar doğuracağı göz önüne alınarak kullanıcılara gerekli bilgilendirilme yapılmalıdır.

Çizelge 2. İstasyonların standart yinelenme yılları için beklenen "*Yılda En Küçük GMinS Değerleri*" ve kayıt süresince gözlenen minimum değeri (^{0}C)

İller	Kayıt süresince gözlenen minimum günlük sıcaklık	Yinelenme yılı					
		2	5	10	20	50	100
Adıyaman	-14.4	-6.7	-8.3	-9.9	-11.0	-12.4	-13.2
Akarsu	-11.5	-7.1	-8.7	-10.2	-11.1	-12.4	-13.6
Akçakale	-15.1	-8.2	-9.7	-10.7	-11.2	-12.1	-12.8
Akpınar	-8.5	-7.7	-9.0	-10.1	-11.2	-12.4	-14.9
Araban	-16.2	-14.9	-16.8	-18.7	-20.3	-23.1	-24.7
Batman	-22.5	-12.2	-13.8	-15.7	-17.0	-18.7	-19.7
Besni	-15.0	-7.2	-8.7	-9.7	-10.8	-12.1	-12.6
Beşiri	-15.0	-8.7	-10.0	-11.3	-12.3	-14.3	-14.9
Birecik	-12.4	-8.1	-9.4	-10.5	-12.4	-13.7	-14.2
Bismil	-18.9	-15.0	-16.0	-17.4	-18.4	-20.4	-21.3
Bozova	-11.4	-9.6	-11.1	-12.7	-14.0	-15.4	-16.1
Ceylanpınar	-13.0	-9.1	-10.0	-11.1	-11.6	-12.2	-12.8
Cizre	-9.3	-4.9	-6.1	-6.9	-8.2	-9.3	-10.1
Camlıdere	-10.6	-9.2	-10.4	-10.8	-11.7	-12.8	-13.7
Çermik	-18.6	-10.5	-12.9	-14.1	-15.3	-16.7	-17.5
Derik	-18.4	-6.7	-8.7	-9.9	-11.6	-13.1	-13.5
Dicle	-20.8	-11.5	-13.1	-14.4	-15.4	-16.5	-18.1
Diyarbakır	-24.2	-14.7	-16.5	-18.0	-19.5	-20.7	-22.3
Ergani	-18.6	-9.1	-11.4	-13.0	-13.7	-14.9	-15.9
Gaziantep	-17.5	-10.2	-12.0	-13.5	-14.5	-16.3	-18.0
Hazro	-18.0	-11.2	-13.6	-15.2	-16.4	-18.1	-19.2
İdil	-14.0	-8.8	-11.4	-12.6	-13.8	-15.2	-16.6
Kanlıavşar	-13.0	-10.7	-11.9	-12.4	-13.3	-14.1	-15.0
Kilis	-12.0	-6.0	-8.2	-8.8	-9.6	-10.8	-11.9
Kozluk	-13.0	-8.1	-10.4	-11.7	-13.1	-14.1	-14.9
Kurtalan	-20.0	-10.5	-12.4	-15.2	-16.4	-17.9	-18.9
Mardin	-14.0	-7.2	-9.5	-10.9	-11.9	-13.1	-14.2
Mazıdağı	-17.8	-11.5	-13.9	-14.9	-16.5	-18.4	-20.0
Nizip	-12.5	-5.7	-7.2	-8.0	-9.1	-10.2	-10.8
Nusaybin	-10.0	-5.0	-6.2	-7.2	-7.9	-9.5	-10.9
Savur	-17.0	-12.8	-14.3	-15.4	-16.1	-18.2	-19.3
Silvan	-14.0	-9.4	-11.4	-12.5	-13.4	-15.1	-16.0
Siirt	-19.3	-9.5	-11.6	-12.7	-13.6	-15.1	-15.8
Siverek	-14.3	-8.0	-10.0	-11.3	-12.6	-13.7	-14.5
Şanlıurfa	-11.4	-5.8	-7.5	-8.7	-9.5	-11.1	-11.7
Viranşehir	-12.2	-2.6	-3.9	-4.9	-5.5	-6.4	-6.8

4. TEŞEKKÜR

Bu çalışma TÜBİTAK tarafından desteklenmiştir (Proje No: 106Y007).

5. KAYNAKLAR

BARAN, T.; BACANLI, Ü.G. "Evaluation of suitability criteria in stochastic modelling", Journal of European Water, Journal of European Water, EWRA, 13/14: 35-43 , 2006

Bulu, A, "Fırat nehri günlük debilerin yapısal analizi". Türkiye İnşaat Mühendisliği 6. Teknik Kongresi. Konu No.2, Tebliğ No.7, 1974.

BURLANDO P, ROSSO R, CADAVID LG and SALAS JD, “Forecasting of short-term rainfall using ARMA models”. Journal of Hydrology, 144, 193-211, 1983.

Çetin M, “Jeoistatistiksel yöntem ile nokta ve alansal yağışların saptanması ve stokastik olarak modellenmesi örnek havza uygulamaları” Doktora Tezi, Ç. Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 1996.

Çetin M, Tonkaz T, Yücel A ve Topaloğlu F, “Kimi iklim öğelerinde periyodik bileşenin otokorelasyon yapısı üzerine etkisinin araştırılması”, I. Türkiye Su Kongresi, 8-10 Ocak, İstanbul, Cilt I, s. 381-389, 2001.

FURMAN RWM, “Time series analysis of daily maximum temperatures on a mountain slope”, Journal of Applied Meteorology, 17(1), 110-115, 1978.

HALTINER JP, and SALAS JD, “Development and testing of a multivariate seasonal ARMA(1,1) model”, Journal of Hydrology, 104, 247-272, 1988.

HANSEN JE and DRISCOLL DM, “A mathematical model for the generation of hourly temperatures”. Journal of Applied Meteorology, 16 (9), 935-948, 1977.

KYSELI J, “Probability estimates of extreme temperature events: stochastic modelling approach vs. extreme value distributions”, Stud. Geophys. Geod., 46, 93-112, 2002.

QUIMPO, RG, “Stochastic model of daily river flow sequences”. Hydrology Papers, No. 18, Colorado State University, Fort Collins, Colorado, USA, 30p. 1967.

SALAS JD, and OBEYSEKERA JTB, “ARMA model identification of hydrologic time series”. Water Resources Research, 18(4), 1011:1021, 1982.

SALAS JD, DELLEUR JW, YEVJEVICH V and LANE WL, “Applied Modeling of Hydrologic Time Series”, Water Resources Publications, Littleton, Colorado, USA. 1980.

SALAS JD and YEVJEVICH V, “Stochastic Structure of Water Use Time Series”, Hydrology Papers, No:52, Colorado State University, Fort Collins, Colorado, 1972.

Sarıcalı, K, “Meteorolojik verilerin ısıl değerlendirilmesi ve bilgisayarda simülasyonu”. İTÜ Fen Bil. Enst. Doktora Tezi, Tanıtma Basım Ambalaj Matbaası, 1983.

SNEYERS, R, “On the Statistical Analysis of Series of Observations”, WMO Technical Note, 66, World Meteorological Organization, Geneva, 1990.

SRINKANTHAN R, McMAHAN TA, and IRISH JL, “Time series analysis of annual flows of Australian streams”. Journal of Hydrology, 66, 213-226, 1983.

Tonkaz T, “Güneydoğu Anadolu Projesi alanında günlük ortalama sıcaklıkların stokastik modellemesi ve ters uzaklık yöntemiyle alansal dağılımının haritalanması”. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı, Adana, 2002.

Yücel A, “Adana ili sıcaklık verilerinin stokastik ve olasılık yöntemlerle incelenmesi”. Yüksek Lisans Tezi, Ç. Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı, Adana, 1994.

NİTELİKSEL VE NİCELİKSEL HİDROLOJİ

Ankara Çamlıdere Barajı Havzasında Bütünleştirilmiş İndeks ile Kuraklık Analizi

Fatih Keskin[1], A. Ünal Şorman[2]

Özet: Bu çalışmada havza boyutunda yapılan çalışmalar neticesinde Ankara ili içmesuyu baraj havzalarından olan Çamlıdere Barajı havzasına yönelik aylık toplam yağış, ortalama akış ve ortalama yüzey sıcaklık verileri kullanılarak kuraklık analizleri yapılmıştır. Yağışın analizinde Normalleştirilmiş Yağış İndeksi, akışın analizinde Normalleştirilmiş Akış İndeksi baz olarak alınmış ve analizler Yüzey Nem İndeksi ile tamamlanmıştır. Değerlendirme yapılırken farklı indeks değerlerinden farklı sonuçlara varıldığı tespit edildiğinden, oluşturulan üç adet indeks temel bileşenler analizi yönteminden elde edilen katsayılar ile bütünleştirilmiş kuraklık indeksi (Aggregated Drought Index) olarak ifade edilmiştir. Yapılan değerlendirmelerde bütünleştirilmiş indeks ile bölgede yaşanan kuraklık olayları arasında yakın bir ilişki olduğu tespit edilmiştir. Aynı zamanda Kuzey Atlantik Salınımı ve El Nino/Güney Salınımı ve bütünleştirilmiş indeks arasındaki ilişki irdelenmiştir. Yapılan çalışma sonucunda salınımlar ile bütünleştirilmiş indeks arasındaki ilişkinin farklı zaman gecikmelerinde farklılık gösterdiği ve zaman gecikmeleri uzadıkça ilişkinin kuvvetlendiği belirlenmiştir. Çamlıdere içmesuyu barajı havzasında havza boyutunda yapılan bu çalışma kuraklık planlaması ve yönetimi açısından önem arz etmekte olup, ileride kuraklık yönetimine yönelik oluşturulacak karar destek sistemlerinde altlık olarak kullanılabilecektir.
;
Anahtar kelimeler: Kuraklık; indeks; Çamlıdere; Ankara; hidroloji

Analysis of Drought with Aggregated Drought Index in Çamlıdere Dam Basin

Abstract: The paper examines the existing drought conditions for one of the domestic water dams of Ankara named as Çamlıdere dam basin by using the monthly precipitation, discharge and air temperature data. The standardized precipitation index is used in the analysis of precipitation, standardized runoff index is used for the analysis of discharge and analysis was finalized with the standardized potential evapotranspiration index. All of the indexes define the drought in different categories, so the aggregated drought index is used in order to combine these indexes in one index by the principal

[1] DSİ Genel Müdürlüğü, Etüd ve Plan Dairesi Başkanlığı, Ankara E-Posta: fatihk@dsi.gov.tr
[2] Orta Doğu Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Ankara, E-Posta: sorman@metu.edu.tr

component analysis. The analysis showed that there is a relation between the drought events and aggregated drought index. Additionally, the relation between the aggregated drought index and Southern Oscilation-North Atlantic Osclation is studied. The study showed correlation between the aggregated drought index and oscilations. The correlation changes with different time lags and gets stronger with longer time lags. This study can be used as a tool for decision support systems for management and planning the drought events in basin.

Keywords: Drought; Index; Çamlıdere; Ankara; Hydrology

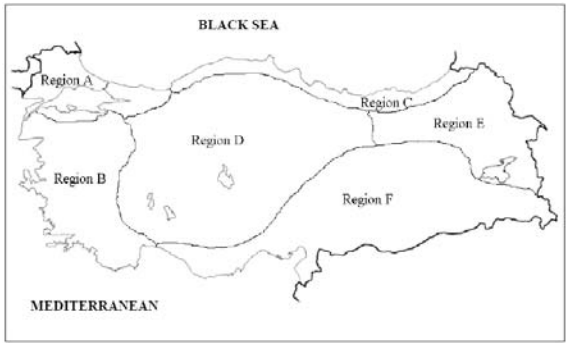
1.GİRİŞ

Kuraklık, tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de çok büyük maddi kayıplara neden olmaktadır. Kuraklıktan kaynaklanan zararlar dünyada her yıl 6-8 milyar dolarlık bir zarara neden olmaktadır (Wilhite, 2000). 2007 yılında ülkemizin çeşitli bölgelerinde meydana gelen kuraklık olaylarında da benzer zararlar oluştuğu düşünülmektedir. Kullanılabilir su kaynakları toprak nemi, yeraltı suyu, kar yükü, yüzey akışı ve baraj depolamalarından oluşmaktadır. Bu kaynakların herhangi birinde oluşan kuraklık (azalma) kuraklığın temel sebeplerini oluşturmaktadır. Su kullanımı kendine ait bir karakteristik zaman ölçeği bulunmakta olup, su temin sıkıntısından kaynaklanan etkiler su kaynağı ile su kullanımı arasında karmaşık bir ilişkiyi gerektirir. Yağış azalmasından kaynaklanan sıkıntı kendi zaman ölçeğine göre son derece önemli olmakta ve fonksiyonel olarak çeşitli tipte kuraklığa işaret etmektedir. Tarımsal (Toprak nemi) kuraklık hidrolojik (yüzey akışı, depolama, yeraltısuyu) kuraklığa göre çok daha kısa bir zaman ölçeğinde meydana gelmektedir (Mckee ve diğ.1993).

Dünyada kuraklıkla ilgili olan çeşitli çalışmalar bulunmakta olup bu çalışmalarda genel olarak durum tespiti ve hidrolojik değişkenlerin eğilim analizleri yapılmıştır (Van Belle and Hughes, 1984; Zhang ve diğ.2000,2001). Türkiye'ye yönelik çalışmalara bakıldığında yağış verilerinden yola çıkarak ısınma ve soğuma trendlerinin incelendiği ve değişik etkilerin belirlendiği çalışmalar gözlenmektedir (Kadıoğlu, 1997; Türkeş ve diğ.2002; Karabörk, 2007). Bazı çalışmalar ise yağış ve akış verilerine odaklanmış ve incelenen istasyonların yarısına yakınında önemli eğilim değişimleri gözlemlenmiştir (Türkeş, 1996; Kalaycı and Kahya 2006; Karabörk, 2007). Ünal ve Karaca (2003) ülkemizin iklim bölgelerinin belirlenmesine yönelik yapmış oldukları çalışmada ülkemizi altı farklı bölgeye ayırmış olup (A,B,C,D,E ve F bölgeleri) (Şekil 1) D Bölgesi bu bildiride de yer alan çalışma alanını içeren Orta Anadolu bölgesine karşılık gelmektedir.

Kuraklık genel olarak üç farklı şekilde incelenmekte olup, hidrolojik döngüdeki su sıkıntısına işaret etmektedir. Bu döngünün herhangi bir aşamasında meydana gelen sıkıntı bir sonraki aşamada da kuraklığa sebebiyet verebilmektedir. Normal değerlerin altındaki yağış miktarı meteorolojik kuraklığa işaret ederken, yağış azalmasından kaynaklanan toprak nemindeki olumsuz değişim tarımsal kuraklığa yol açabilmektedir. Aynı şekilde yağış azalması ve toprak nemine bağlı olarak havzada yağış-akış ilişkisinin değişimi hidrolojik kuraklığa sebep olabilmektedir. Tarımsal kuraklık, bitkiler için yeterli su sağlayamayacak şekilde olan düşük toprak nemi ile belirlenmektedir. Hidrolojik kuraklık ise değişik su kütlelerinde normalden az olan su miktarı ile ortaya

koyulmakta, sonucunda yüzey akışıları, barajlar ve göllerdeki düşük seviyeler olarak ortaya çıkmaktadır.



Şekil 1. Türkiye iklim Bölgeleri, Unal ve Karaca (2003)

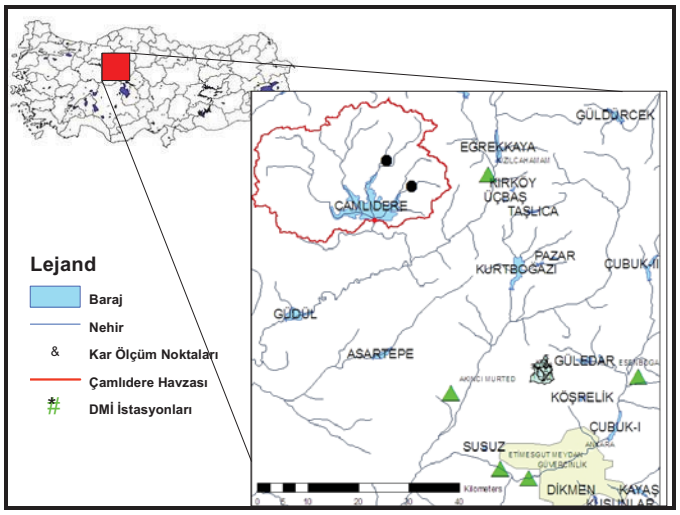
Kuraklığın tespitinde çok çeşitli indeksler bulunmakta, bunlardan her biri değişik tipte kuraklığın tespitinde kullanılmaktadır (Heim, 2002; Keyantash and Dracup, 2002). Normalleştirilmiş Yağış İndeksi (NYİ), Normalleştirilmiş Akım İndeksi (NAİ) ve Yüzey Nem İndeksi (YNİ) bunlara örnek olarak gösterilebilir. Ayrıca, yukarıda sayılan indekslerin tek bir indeks ile ifade edildiği çalışmalar bulunmaktadır. Palmer Kuraklık Şiddet İndeksi bunlardan en fazla kullanılanlardan biri olup, sınırlamaları sebebiyle her yerde uygulanamamaktadır (Keyantash ve Dracup, 2002). Diğer bir indeks olan Yüzey Su Temin İndeksi (Shafer ve Dezman, 1982) ise hidrolojik kuraklığı kar yükü ve su yüzeyi seviyelerinin entegrasyonu sonucu değerlendirmektedir. Sonraları Keyantash ve Dracup (2004) meteorolojik, hidrolojik ve tarımsal kuraklığı dikkate alan çok yönlü bir indeks olan Bütünleştirilmiş Kuraklık İndeksi (BKİ)'ni tanımlamışlardır.

Kuzey Atlantik Salınımı (NAO) ve Güney Atlantik Salınımı (ENSO) ülkemiz yağış ve sıcaklık değerlerine olan etkilerinin incelenmesi maksadıyla çeşitli çalışmalar yapılmış (Karabörk, 2007; Karabörk ve Kahya, 2003; Kahya ve Karabörk, 2001) olup, anlamlı korelasyonlar tespit edilmiştir.

Bu çalışmada NYİ, NAİ ve YNİ değişik aylık zaman aralıkları için hesaplanmış ve temel bileşenler analizi sonucunda elde edilen katsayılar ile BKİ hesaplanmıştır.

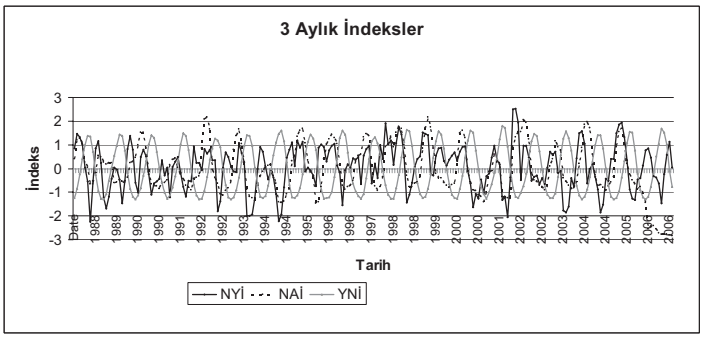
2. VERİ VE METODOLOJİ

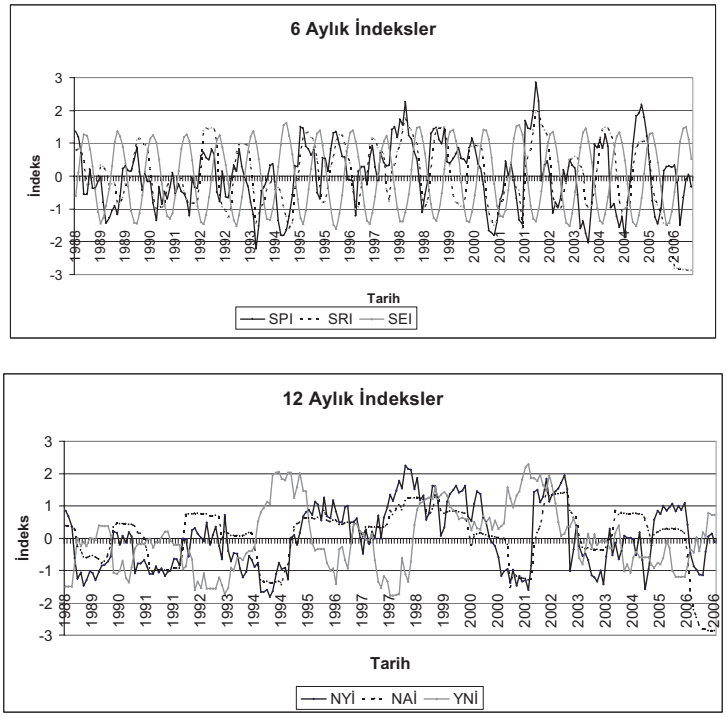
Çalışma alanı Ankara iline günlük ortalama 800.000 m^3'lük içmesuyu sağlayan barajlardan biri olan Çamlıdere barajı havzasıdır. Baraj havzasının yeri ve genel vaziyeti şekil 2'de gösterilmiş olup, çalışma alanı Ünal ve Karaca (2003) tarafından tanımlanan bölgelerden D bölgesinde yer almaktadır.



Şekil 2. Havza ve istasyon yerleri

Çalışma için aylık hava sıcaklığı, akış ve yağış verileri kullanılmış olup, çalışmaya havzada yer alan kar ölçümleri dahil edilmiştir. Bölgede iki adet akım istasyonu yer almaktadır. Bunlardan biri Çamlıdere havzasında DSİ tarafından işletilen istasyon, diğeri ise çalışma alanının yakınında bulunan Güvenç havzasında Tarım ve Köyişleri Bakanlığı tarafından işletilen istasyondur. Yağış verileri için DMİ tarafından işletilen Ankara, Esenboğa ve Kızılcahamam istasyonlarından faydalanılmıştır. Bu üç istasyon özellikle şehre yakınlıkları dolayısıyla havzayı temsil edememe ihtimaline karşın, Güvenç havzası yağış verileri de çalışmaya dahil edilmiştir. Esenboğa ve Ankara istasyonları arasındaki yüksek korelasyon (0.80) sebebiyle Ankara istasyonuna ait veriler çalışmanın devamında kullanılmamıştır. DMI'den temin edilen hava sıcaklığı değerleri bölgede yüksekliğe bağlı sıcaklık değişimi hesabında kullanılmış ve her 100 metrede 0.33 ^{o}C değişim olduğu tespit edilmiştir. Havza ortasını temsil eden noktaya taşınan sıcaklık verileri YNİ hesabında kullanılmıştır. NAO indeks değerleri İklimsel Araştırma Birimi (Climatic Research Unit)'den temin edilmiş, ENSO indeks değerleri ise İklim Tahmin Merkezi (Climate Prediction Centre)'nden temin edilmiştir.





Şekil 3. 3-6-12 aylık periyotlar için NYİ, NAİ ve YNİ grafikleri

Bu çalışma için dört değişik indeks hesaplaması yapılmış olup, bunlar sırasıyla NYİ, NAİ, YNİ ve BKİ'dir. Yağış, Akım ve hava sıcaklığı verilerinden hesaplanan NYİ, NAİ ve YNİ Şekil 3'te gösterilmiştir.

2.1. NYİ Hesaplanması

İndeks hesaplamaları yapılmadan önce elde bulunan mevcut verinin hangi frekans dağılımına uyduğu titizlikle belirlenmelidir. NYİ değeri yağış değerinin toplam verinin ortalamasından çıkartılması ve sonucun tüm veri standart sapma değerine bölünmesi yolu ile hesap edilmektedir (Mckee ve ark., 1993). Mckee ve ark. (1993) yapmış oldukları çalışmalarda yağış verilerinin normal dağılım fonksiyonu ile ifade edildiğini kabul etmişlerdir. Ancak Shukla ve Wood, 2008 tarafından yapılan çalışmalarda yağış verisinin gamma ve log normal 3 dağılım fonksiyonu ile daha fazla uyum sağladığını göstermişlerdir. NYİ indeksi değişik zaman aralıkları (1,3,6,9,12,24 ay gibi) için hesaplanabilmektedir. Bulunduğu zamana bağlı olarak belirlenen zaman aralığı için toplanan veriler sonuçta ilgili zaman aralığı (1,3,6,9,12,24 ay) bütünleştirilmiş yağış verilerini oluşturmaktadır. Mckee ve ark. (1993), çalışmasından farklı olarak yağış olasılığın tespiti için gamma fonksiyon dağılım karakteristikleri kullanılmıştır. Hesaplanan olasılıklar gamma dağılımından normal dağılıma geçiş formülleri ile normal dağılım fonksiyon verilerine cevrilmiş ve NYİ değeri hesaplanmıştır. Mckee ve ark. (1993), kuraklık sınıflaması için NYİ değerine bağlı olarak bir tanımlama yapmış olup,

eksi olan NYİ değerinin kuraklığa işaret ettiğini belirtmişlerdir. Belirlenen kuraklık seviyeleri Çizelge 1'de verilmektedir.

Çizelge 1. Kuraklık Kategori Değerleri (Mckee ve diğ.1993)

NYİ Değeri	Kuraklık Kategorisi
0 to -0.99	Az Kurak
-1.00 to -1.49	Orta Kurak
-1.50 to -1.99	Şiddetli Kurak
< -2.00	Çok Şidetli Kurak

2.2. NAİ Hesaplanması

NAİ hesaplaması da NYİ hesaplamasında uygulanan yaklaşım ile hesaplanmıştır. NAİ değeri hidrolojik kuraklık tanımı için son derece önemli olup, baraj işletmesi ve su kalitesi değerlendirmelerinde kullanılmaktadır.

2.3. YNİ Hesaplanması

Potansiyel evapotranspirasyon hesaplaması su talebi, sıcaklık ve nem durumu gibi değişik faktörlerin bir arada kullanılması ile yapılabilmektedir. Aynı zamanda havza karakteristiklerinin evapotranspirasyon üzerinde etkisi bulunmaktadır. Potansiyel evapotranspirasyon durumu toprak nemi kuraklığı (tarımsal kuraklık) için belirtici olabilmektedir. Ölçümündeki zorluklar dolayısıyla ve ülkemizde bu tür ölçümlerin son derece az olması sebebiyle havzada buna yönelik herhangi bir veri temin edilememiştir. Ancak Potansiyel evapotranspirasyon (PET) iyi bilinen Thornthwaite'ın (1948) formülü ile hesaplanabilmekte olup, hesaplama şekli aşağıda belirtilmiştir.

$$PET = 16N_m * \left(\frac{10T}{I}\right)^a mm \qquad (1)$$

T değeri, ortalama aylık hava sıcaklığını, I ise aşağıdaki formül ile hesaplanan ısı indeksini göstermektedir.

$$I = \sum_{1}^{12} \left(\frac{Ti}{5}\right)^{1.5} \qquad (2)$$

a değeri ise aşağıdaki formül ile hesaplanmaktadır.

$$a = 6.7*10^{-7} * I^3 - 7.7*10^{-5} * I^2 + 1.8*10^{-2} * I + 0.49 \qquad (3)$$

Sıcalık verisinin sıfırın altında olması durumunda değeri sıfır olarak kabul edilmiştir. Yapılan değerlnedirmede PET verilerinin normal dağılım fonksiyonu ile uyum gösterdiği gözlemlendiği için bu değerler gamma dağılımı kullanılmadan hesaplamalara dahil edilmiştir.

Yukarıda belirtilen indeksler dışında başka türde indeksler bulunmakla beraber, verisinin rahat temin edilmesi ve hidrometeorolojik kuraklık tanımı için yeterli ön bilgileri vermesi sebebiyle başka indeks kullanılmamıştır. Ancak her bir indeksin

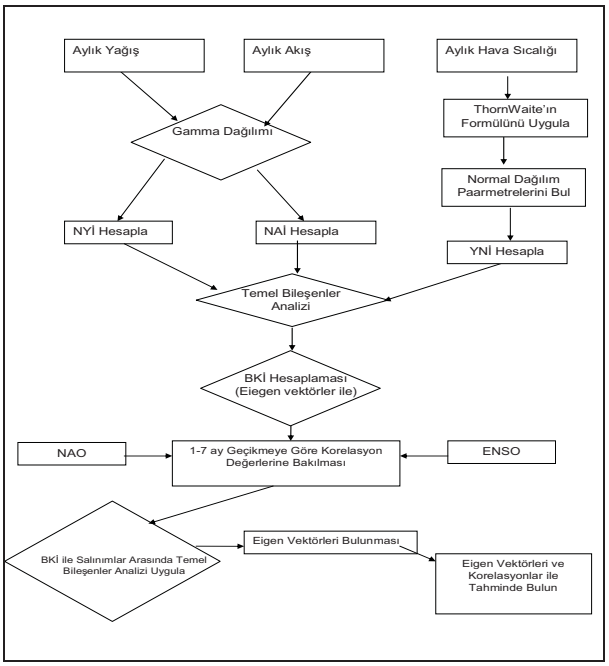
hidrolojik döngüde farklı aşamasındaki sıkıntıyı göstermesi sebebiyle, gerçekten kuraklık olup olmadığı yada kuraklığın hangi su kullanıcısı tarafından hissedildiğinin gösterilebilmesinin yolu ortak bir indeks tanımından geçmektedir. Bu sebeple BKİ çok amaçlı ve hidrometeorolojik kuraklığı göstermesi sebebiyle havza çalışmalarında kullanılan bir indekstir.

Üç farklı indeks için 3,6,12 aylık zaman aralıkları için hazırlanan grafikler Şekil 3'te gösterilmiştir. 3 ve 6 aylık zaman aralığı grafiklerinde salınımın çok fazla olması ve kurak ve ıslak zamanların belirli olmaması sebebiyle çalışmanın devamında 12 aylık indeks değerleri ile devam edilmiştir. Grafikler incelendiğinde 2005 yılına kadar NYİ, NAİ değerlerinde çok fazla farklılık göstermemektedir. Fakat bu tarihten sonra NYİ değerinde artış olmasına rağmen NAİ değerinde azalma halen devam etmektedir. Bu sonuç bile bize indekslerin tek başına kuraklık tanımında kullanılamayacağını ve ortak bir hidrometeorolojik indekse ihtiyaç olduğunu göstermektedir. Sadece NYİ değerine bakılarak kuraklık durumunda azalma olduğu düşünülebilecekken yeraltı suyundaki sıkıntı dolayısıyla NAİ, NYİ ile aynı şekilde yanıt verememektedir. 12 aylık toplamlardan oluşturulan grafiklerde yağışın akışa 1-2 aylık geçikmeler ile geçebildiği, kış şartlarındaki kar birikmesi ve erimesi sonucu bu sürenin 2-4 ay arasında olduğu gözlemlenmektedir.

2.4. BKİ hesaplanması

Keyantash ve Dracup (2004) Amerika Birleşik Devletleri Kalifornia eyaletinde üç farklı iklim bölümü için yapmış oldukları çalışmada BKİ kullanımını önermişlerdir. BKİ farklı özeliklerde olan kuraklığın tüm fiziksel bileşenlerini biraraya toplamaktadır. Elde bulunan indeks değerlerinin (NYİ, NAİ, YNİ) birleştirilmesi için Temel Bileşenler Analizi (PCA) kullanılmaktadır. Eigen vektörler ise PCA'den elde edilen birim vektörlerdir. PCA sonucu ortaya çıkan birinci bileşen (PC1) veriler arasındaki değişimi en fazla ifade edebilen bileşen olup, BKİ hesaplamalarında kullanılmaktadır. Keyantash ve Dracup (2004) çalışmalarında veri setlerinin fonksiyon dağılımlarında normal dağılım kullanmışlardır ancak daha öncede ifade edildiği gibi bu çalışmada veri setinin incelenmesinin ardından NYİ ve NAİ verilerinde gamma dağılım fonksiyon parametreleri kullanılmıştır.

BKİ değerinin hesaplanmasının ardından, bulunan değerler ile NAO ile ENSO arasındaki ilişkiler için korelasyon katsayılarına bakılmıştır. Korelasyon değerleri bulunurken verilerin aynı zaman dilimi için analizler yapılırken 1-7 ay geçikmeli ilişkilere de bakılmıştır. Korelasyon değerlerinde Spearman korelasyon katsayı hesapları kullanılmış olup, korelasyon değerlerinin anlamlılığı %95 güvenilirlik seviyesine gore test edilmiştir. Uygulanan metodolojiye ait akış şeması Şekil 4'te verilmektedir.



Şekil 4. Akış şeması

3. SONUÇLARIN ANALİZİ

3.1. İndeks Çalışmaları

Daha once de belirtildiği gibi her bir indeks farklı bir kuraklığa işaret etmektedir. Hidrolojik bir kuraklık hissedilememesine rağmen kısa dönemli tarımsal kuraklık görülebilmektedir. Yapılan analizler 2 ay önceki NYİ değeri ile buna karşılık gelen güncel NAİ değeri arasında kuvvetli ilişkiler göstermektedir. 1 ve 2 ay geçikmelerde korelasyon katsayıları sırasıyla 0.669 ve 0.641 olarak hesaplanmıştır. Korelasyon katsayılarının anlamlığının testi için yapılan çalışmalarda bulunan değerlerin %95 güvenilirlik seviyesinde anlamlı oldukları gözlenmiştir. Şekil 3-c'nin son kısmı incelendiğinde 12 aylık indeks değerleinde NYİ indeksi kuraklığın çok kuvvetli olmadığını (NYİ $\geq$ -1) göstermektedir. Ancak NAİ değerlerine bakıldığında kuraklığın çok daha kuvvetli olduğu (NAİ $\leq$ -2.5) görünmektedir. Bu sebeple kuraklık ve ıslaklık şiddeti için BKİ hesaplanmasına ihtiyaç duyulmuştur. Temel bileşenler (PC) hesaplamasında korelasyon matriksleri kullanılmaktadır. Değişik zaman aralıkları için yapılan PCA sonucu değişim açıklanabilirliğinin en fazla 3 ve 6 aylık değerlerde olduğu görülmektedir. Veri setlerindeki açıklanabilir değişimlere yönelik yapılan değerlendirme sonucu Çizelge 2'de verilmektedir. PC1'in indeks değerlerindeki değişimin %66'sını açıklayabildiği görülmektedir. Bu sebeple PC1'in NYİ, NAİ ve YNİ arasındaki ilişkiyi tarif eden bir bileşen olduğu kabul edilmektedir.

Çizelge 2. PC1 için Açıklanabilir Değişim Oranları

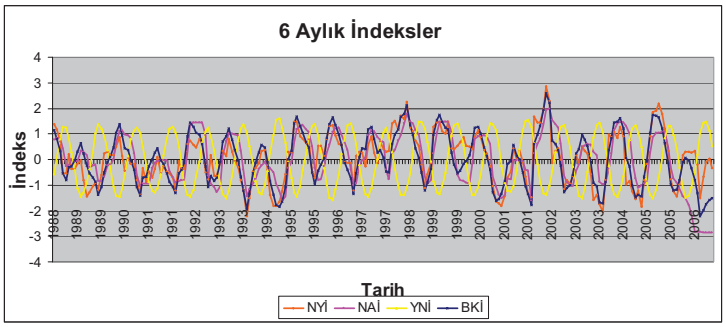
Zaman Aralığı	Açıklanabilir Değişim % PC1
1- ay	56.547
3- ay	64.871
6- ay	66.114
9- ay	60.063
12- ay	58.175

PCA sonucunda elde edilen eigen vektörler PC'ler ile orjinal indeks verileri arasındaki ilişkiyi göstermekte olup, üç indeks için bulunan değerler Çizelge 3'te verilmektedir. 3 ve 6 aylık zaman dilimi için bulunan açıklanabilir değişimin aynı olması sebebiyle eigen vektörler de benzerlik göstermektedir. NYİ ve NAİ değerleri PC1 ile aynı yönde (pozitif değer) olmasına rağmen, YNİ ile ters yönde ilişki göstermektedir.

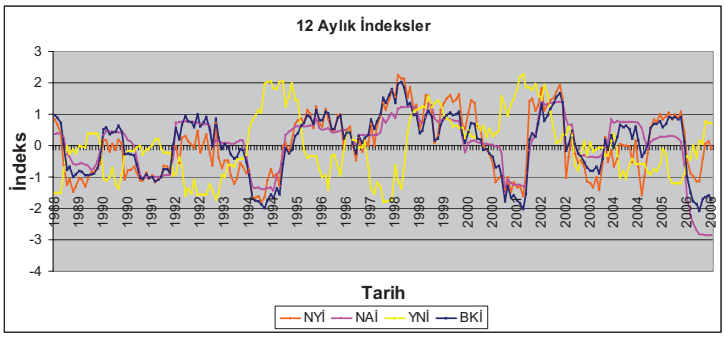
Çizelge 3. PC1 için hesaplanan eigen vektörler

Zaman Aralığı	NYİ	NAİ	YNİ
3 Ay	0.616	0.548	-0.565
6 Ay	0.631	0.569	-0.527

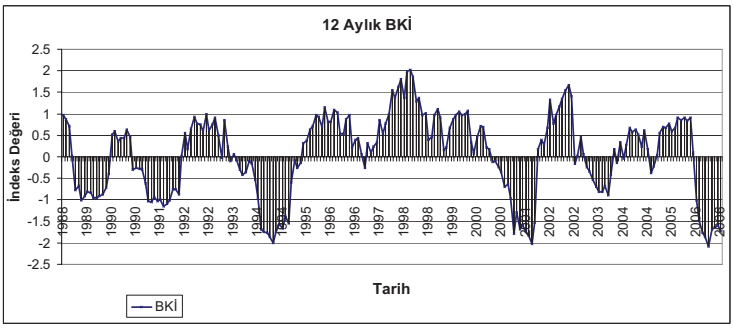
BKİ değerleri bulunan eigen vector değerleri ile indeks değerlerinin çarpımı sonucu elde edilerek Şekil 5 a ve 5 b de 6 ve 12 aylık zaman aralığı için gösterilmiştir. 6 aylıkta salınımın fazla olması ve 12 aylıkta salınımın daha az olması, 12 aylıkta analizin daha rahat yapılabileceğini göstermektedir. Islak ve kurak periyotlar arasında salınımlar sürekli olarak devam etmekle beraber, ıslaklık ya da kuraklık şiddetine bağlı olarak süreler değişmektedir. Uzun ıslak dönemler (1995-2000) taşkın olaylarında artışa işaret edebilmektedir (Şekil 7). Uzun kurak dönemler ise (1993-1995) kuraklık olaylarında artışa işaret etmektedir. Kurak periyotlara baktığımızda kuraklık süresi arttıkça kuraklık kendini daha fazla hissettirmekte, su yönetimi iyi yapılmadığı takdirde su kullanıcıları daha fazla sıkıntılar çekmektedir.



Şekil 5a. 6 aylık NYİ, NAİ, YNİ ve BKİ grafikleri



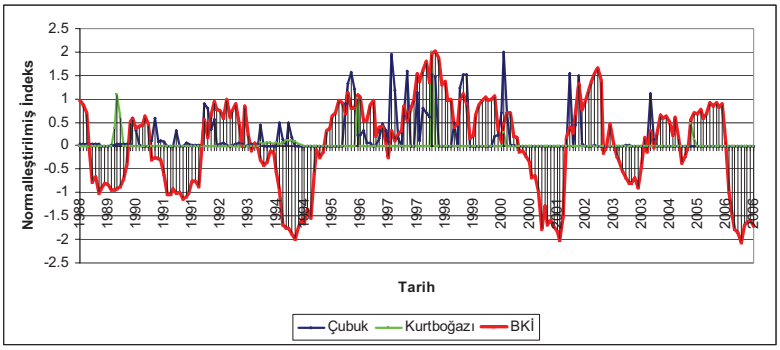
Şekil 5b. 12 aylık NYİ, NAİ, YNİ ve BKİ grafikleri



Şekil 6. 12 aylık BKİ grafiği

3.2. Islak ve Kurak Dönemler

BKİ verileri su yönetiminde görev alan karar vericiler için temel bazda kullanılabilecek bir veri olup, doğru ve yerinde kararlar alınmasında yardımcı olabilecektir. Islak dönemler genel olarak taşkın olaylarının fazla olduğu ya da baraj dolusavaklarından suyun tahliye edildiği dönemlerdir. BKİ verilerinin ıslak dönem için tanımlayıcı olup olmadığının testi için bu bölgede yer alan ve Ankara iline içmesuyu temininde kullanılan Çubuk ve Kurtboğazı barajları verilerinden faydalanılmıştır (Şekil 2). Bu iki barajın depolamaları yeterli olmadığı için fazla gelen su çoğu zaman dolusavaklardan tahliye edilmektedir. Çalışma dönemi için bu barajların dolusavaklarından tahliye edilen su miktarları (sırasıyla 22 milyon m^3 ve 92 milyon m^3) BKİ grafiğinde gösterilmiştir (Şekil 7). Grafik incelendiğinde baraj dolusavaklarının çalıştığı dönemlerde BKİ verisinin ıslak dönemi gösterdiği gözlemlenmiştir. 1998 yılında ülkemizin çeşitli yerlerinde meydana gelen taşkın olayları BKİ verisinin en yüksek olduğu ve ıslak dönemi gösterdiği zamanda meydana gelmiştir. Bu sonuçlar BKİ ıslak periyotların tespitinde kullanılabileceğine ve kullanılabilir bir karar destek system aracı olabileceğine ilişkin değerlendirme yapılmasını sağlamaktadır.



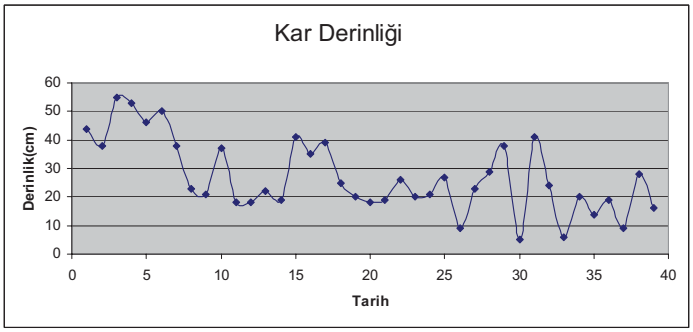
Şekil 7. Cubuk II ve Kurtbogazi barajlarının dolusavağından bırakılan suyun BKİ verisi ile gösterilmesi

Çizelge 4. Yaşanmış kuraklık olayları ve hesaplananlar ile kıyaslanması

Kuraklik Dönemi (Kaynaklar)	Kuraklık dönemi (Şekil 7)
1987-1995[1]	1989
1982-1994[2]	1991
1989-1994[3]	1994
1999-2006***	2001-2003-2006

Kaynaklar : [1] Akkemik ve diğ.2005. [2] Kalaycı and Kahya. 2006. [3] Yağcı. 2008

Kuraklık süresi arttıkça kuraklık şiddetininde benzer oranda artacağı ve su kullanıcısının sıkıntıya düşeceği bir gerçektir. Şekil 7'de görüldüğü gibi çalışma dönemi için 5 ana kurak dönem oluşmuş olup, BKİ değerlerine bakıldığında üç dönem (1994-1995, 2000-2001, 2006) için kuraklık daha şiddetli yaşanmıştır. Ülkemize yaşanmış kuraklık olayları için tarama yapılıp (Çizelge 4) BKİ verisi ile kıyaslanmıştır. Kaynaklar incelendiğinde çok değişik dönemler ortaya çıkmakla beraber 1989-1994 dönemi tüm kaynaklarda ortak kurak dönem olarak gözükmektedir. BKİ verisi ile kıyaslandığında yaşanan taşkınların BKİ grafiği ile uyum gösterdiği gözlemlenmiştir. Çalışma alanı için özel bir kuraklık çalışması olmaması dolayısıyla ülke genelinde yaşanan olaylardan faydalanılmıştır. Kuraklığın çalışma alanı için bir tehdit olup olmadığının testi için havzada yapılan kar ölçüm çalışmalarından faydalanılmıştır. Kar ölçümleri havzada 1992 yılında başlamış olup, ölçümlerde yer alan boşluklar regresyon analizi ile yakın istasyonlar ile tamamlanmış ve Şekil 8'de gösterilmiştir. Kar derinliğinin kurak periyotlar için normalin altında bir seviyede olduğu gözlenmiş ve genel eğilimin düşüş yönünde olduğu belirlenmiştir. Bu sonuçta verilerinin hidrolojik döngü açısından önemli olan yağış, akış ve buharlaşma verilerini kapsaması ile kar verileriyle birlikte su yönetiminde karar destek sistem aracı olabileceğini göstermiştir.



Şekil 8. Çamlıdere havzası kar derinlikleri

3.3. NAO, ENSO Salınımlarının BKİ Üzerindeki Etkisi

ENSO salınımın ülkemize olan etkileri konusunda yapılan çalışmalarda (Kahya ve Karabörk, 2001; Karabörk ve Kahya, 2003) ENSO ile yağış ve akış verileri arasında ilişki olabileceği ortaya konmuştur. Yapılan çalışmalar genelde ülke bazına yönelik çalışmalar olup, havza bazında çok fazla çalışma yapılmamıştır. Karabörk ve Kahya (2003) yapmış oldukları çalışmada NAO salınımının mevsimsel olarak sonbahar yağışları ile ters yönde ilişki olduğunu belirlemişlerdir. Karabörk (2007) tarafından yapılan çalışmada, NAO ile YNİ arasındaki ilşkinin belirlenmesi için eğilim analizi yapılmıştır. YNİ ile NAO arasında ilişki bulunmuş olup (-0.333 to 0.199), özellikle ilkbahar ve sonbahar dönemlerinde Orta Anadolu Bölgesi için (D Bölgesi) ilişkinin daha kuvvetli olduğu görülmektedir. Geçmişte yapılan çalışmalar ENSO'nun ülkemiz ikliminde etkisinin NAO'ya göre daha zayıf olduğunu göstermişir. (Karabörk, 2007). Genel olarak yapılan çalışmalar NAO ve ENSO'nun mevsimsel etkileri üzerine yapılmıştır. Ancak uzun dönemli kuraklık ve ıslaklık şiddetine yönelik çalışma bulunmamaktadır.

Bu çalışmada, BKİ, ENSO ve NAO arasındaki ilişki havza ölçeğinde bakılarak incelenmiştir. Parametrik olmayan Spearman Rho korelasyon katsayısı çalışması ile 3 aydan 12 aya kadar olan değişik zaman aralıkları için BKİ ile NAO ve ENSO arasındaki ilişkilere bakılmıştır. Kuraklığın önceden tahminine yönelik olarak korelasyon çalışmaları 7 aya varan zaman geçikmelerini içerecek şekilde genişletilmiştir. Yapılan çalışmanın sonucu BKİ değerlerini gruplayarak Çizelge 5'de verilmektedir. BKİ grup arttırımları sıfırdan 1.5'e kadar 0.5 değeri arttırımlı olarak düzenlenmiş olup, ıslak ve kurak periyotlardaki NAO ve ENSO arasında ıslak ve kurak dönem ilişkileri %95 güvenilirlik seviyesinde aranmıştır.

Çizelge 5. BKİ ile NAO ve ENSO arasındaki ilişkiyi gösteren özet tablo

Islak ve Kurak Dönemler (En Büyük değer)	
BKİ (Kurak dönem)	**NAO/BKİ korelasyon katsayısı**
BKİ<0	0.308
BKİ<-0.5	0.329
BKİ<-1.0	0.584
BKİ<-1.5	0.473
BKİ (Islak dönem)	**ENSo/ BKİ korelasyon katsayısı**
BKİ>0	-0.353
BKİ>0.5	-0.347
BKİ>1.0	-0.779
BKİ>1.5	-0.922

Çizelge 5 incelendiğinde ENSO ile BKİ arasında BKİ değerinin birden büyük durumlarda yüksek ilişki olduğu görülmektedir. BKİ değerinin sıfır ile 0.5 değeri arasında ve 0 ile -0.5 arasında olduğu zamanlarda ilişki çok zayıf kalmaktadır. Sonuçlar 1 ay geçikme olduğunda çok fazla değişmemektedir. ENSO ve NAO için orta ve yüksek ıslak-kurak dönemlerde korelasyon katsayısı 0.55 değerinin üzerindedir. Bu katsayı bile ilişkilerden çıkan sonuçların ıslaklık ya da kuraklık tahmininde kullanılabileceğine işaret etmektedir.

NAO ve ENSO'nun BKİ üzerinde değişik etkileri bulunmaktadır. Kurak dönemlerde NAO etkisi çok kuvvetli olmakta, ıslak dönemlerde ise ENSO etkisi kuvetli ve ters yönde olmaktadır. ENSO'nun BKİ üzerindeki etkisi sıfır ve 1 ay geçikmeli incelemede görülmekte ve anlamlı bulunmaktadır. Yağıştaki normalin üzerinde olan bir artış havzada ıslaklığı arttırmaktadır. NAO için durum biraz farklı olmaktadır. NAO'nun BKİ üzerindeki etkisi 4-6 aylık zaman geçikmelerinde görülmekte olup, yağıştaki artış hemen akışa geçmeden öncelikle yeraltı suyunu beslediğini göstermektedir. Yeraltı suyunun beslenmesinin ardından 4-6 ay sonra yağıştaki değişimin etkisi akımda gözlenmektedir. ENSO, NAO ve BKİ arasındaki etkinin görülmesi maksadıyla PCA çalışması yapılmış olup, çalışma ıslak ve kurak dönemler için ayrı ayrı uygulanmıştır. Üç veri seti arasındaki değişimin %80'e kadar açıklanabilir olduğu gözlenmiştir. Bu sonuç bile ıslaklık ve kuraklık yönetiminde BKİ'nin kullanılabilir olması sebebiyle büyük önem arz etmekte olup, Orta Anadolu'da yer alan benzer özellikte havzalar için uygulanabilir.

4. SONUÇ

Su yönetiminde karar vericilerin doğru karar almasına yardımcı olacak araçlar çok büyük öneme sahiptir. Bu çalışmada, kurak ve ıslak dönemlerin ortaya koyulabilmesi için hidrometeorolojik indeks olan BKİ hesaplanmıştır. Çalışma sonunda, BKİ değerlerinin hidrolojik, meteorolojik ve tarımsal kuraklığın belirlenmesinde yöneticilere yardımcı olabileceği sonucuna varılmıştır.

BKİ değerlerinin kullanılabilirliğinin kontrolü için baraj dolusavaklarından bırakılan su miktarları ile BKİ değerleri kıyaslanmış ve uyumlu oldukları gözlemlenmiştir. Kurak

periyotlarda beklenenden fazla gelen suyun depolanması yeraltısuyu depolaması ya da başka barajlara yönlendirme şeklinde uygulama yapılabilmesi ve gerekli planlama için BKİ değerlerinden faydanılabilir. Hidrolojik döngünün parçası olan yeraltı suyu seviye değerleri mevcut olduğunda BKİ hesaplamasına dahil edilmelidir. Veri setleri arasındaki değişimin %65'e varan oranlarda açıklanabilir olması metodolojinin doğruluğuna işaret etmektedir. NYİ ile NAİ arasındaki kuvvetli ilişki (korekasyon katsayısı 0.60) ve bunun 1-2 ay geçikmeli şekilde olması, bu verinin tahmin içinde kullanılabileceğini göstermektedir.

Aynı zamanda ENSO, NAO ve BKİ arasındaki ilişkinin orta ve yüksek kuraklık veya ıslaklık dönemlerinde 0.55 değerinin üzerinde olması da bu verilerin tahmin için kullanılabilir olduğunu göstermektedir. ENSO, NAO ve BKİ veri setlerindeki değişim %80'lere varan oranda açıklanabilmektedir. ENSO ve NAO değerlerinin 1-6 ay önceki değerlerinden yola çıkarak olası yağış ve akım tahminlerinde bulunulabilir. Yukarıda sayılan tüm sonuçlar Çamlıdere havzası için akımın belirli bir güvenirlik seviyesinde tahmin edilebilir olduğunu göstermekte olup, 1-6 ay öncesi elde edilecek veriler ile taşkın ya da kuraklık tahminlerinde bulunulabilir ve karar destek sistem aracı olarak kullanılabilir.

5. KAYNAKLAR

Akkemik Ü, Dagdeviren N, Aras N, "A preliminary reconstruction (A.D. 1635-2000) of spring precipitation using oak tree rings in the western Black Sea region of Turkey", Int. J. Biometeorology 49 (5), 297-302, 2005.

Heim RR, "A review of the twentieth-century drought indices used in United States", Bull. Am. Met. Soc. 83, 1149-1165, 2002.

Kadıoğlu M, "Trends in Surface air Temperature data over Turkey", Int. J. Climatol. 17, 511-520, 1997.

Kalaycı S, Kahya E, "Assessment of Runoff variability modes in Turkey:1964-1994", J. Hydrol. 324, 163-177, 2006.

Kahya E, Karabörk MC, "The analysis of El-Nino & La Nina signals in runoffs of Turkey", Int. J. Climatol. 21, 1231-1250, 2001.

Karabörk MC, "Trends in drought Patterns of Turkey", J. Environ. Sci. 6, 42-52, 2007.

Karabörk MC, Kahya E, "The Teleconnections between extreme phases of Southern Oscillation & precipitation patterns over Turkey", Int. J. Climatol. 23, 1607-1625, 2003.

Keyantash JA, Dracup JA, "The Quantification of Drought:An Evaluation of Drought Indexs". Bull. Am. Met. Soc. 83, 1167-1180, 2002.

Keyantash JA, Dracup JA, “An aggregate drought index : Assesing drought severity based on fluctuations in the hydrologic cycle & surface water storage”, Water Resour. Res. 40, 2004.

Mckee TB, Doesken NJ, Kleist J, “The Relationship of Drought Frequency & Duration to Time Scales”, Eighth Conference on Applied Climatology, 17-22 January, Anaheim: California, 1993.

Shafer BA, Dezman LE, “Development of a Surface Water Supply Index (SWSI) to assess the severity of drought conditions in snowpack runoff areas”, Proceedings of the Western Snow Conference, pp. 164-175, 1982.

Shukla S, Wood AW, “Use of Standardized runoff index for characterizing hydrologic drought”, Geophys. Res. Lett. 35, article in prof, 2008.

Thornthwaite CW, “An approach toward a rational classification of climate”, Geogr. Rev. 38, 55–94, 1948.

Türkeş M, “Spatial and Temporal Analysis of Abbual Rainfall Variations in Turkey”, Int.J. Climatol. 23, 1045-1055, 1996.

Türkeş M, Sümer UM, Demir İ, “Re-evaluation of trends & changes in mean, maximum & minimum temperatures of Turkey for the period 1929-1999”,nt. J. Climatol. 22, 947-977, 2002.

Unal TK, Karaca M, “Redifining climate zones for Turkey using cluster analysis”, Int. J. Climatol. 23, 1045-1055, 2003.

Van Belle G, Hughes JP, “Nonparametric tests for trend in water quality”, Water Resour. Res. 20, 127-136, 1984.

Yagci B, Erişim tarihi 18.01.2008, bağlantı adresi http://www.emo.org.tr/resimler/ekler/bd58b8a3f1d72f4_ek.pdf, 2008.

Wilhite DA, “Drought as a natural hazard: Concepts and definitions, in drought : A Global Assessment”, Hazards Disasters Ser. I, 3-18, 2000.

Zhang X, Vincent LA, Hogg WD, Niitsoo A, “Temperature and precipitation trends in Canada during 20th century”, Atmosphere-Ocean 38, 395-429, 2000.

Zhang X, Harvey KD, Hogg WD, Yuzyk TR, “Trends in Canadian Runoff”, Water Resour. Res.37, 987-998, 2001.

Moran ve Gould Olasılık Matris Yöntemlerinin Değerlendirilmesi: Adıgüzel Barajı

Mehmet Pilgir[1], **Ülker Güner Bacanlı**[2]

Özet: Su kaynaklarının geliştirilmesi çalışmalarında biriktirme hazneleri önemli bir yer tutmaktadır. Biriktirme hazneleri, akarsuyun getirdiği zamana bağlı olarak sürekli değişen akım ile akımın kullanılmak istendiği (enerji üretimi, sulama, akarsu ulaşımı gibi) amaçlar için gerekli su miktarı arasındaki dengesizliği belirli ölçüde gidermek için tasarlanır. Hidrolojik açıdan, belirli bir ihtiyacı karşılamak için akarsudan elde edilmesi gereken depolama hacmi; gelen akımın miktarı ve değişkenliğine, amaca (elde edilmek istenen su miktarına) ve bu ihtiyacın karşılanmasındaki güvenilirlik derecesine bağlıdır.

Biriktirme hazneleri tasarımında çok sayıda yöntem kullanılmaktadır. Sunulan çalışmada, biriktirme haznesi için kapasite-verim–risk ilişkisi araştırılmıştır. Bu çalışmada, Büyük Menderes Nehrinde bulunan Adıgüzel Barajının 1963–1984 arasındaki periyotta gözlenmiş aylık ve yıllık ortalama akım verileri kullanılmıştır. Moran ve Gould olasılık matris yöntemi ve Aylık su bütçesi ile hazne kapasitesi hesaplanmış ve elde edilen sonuçlar irdelenmiştir.

Anahtar Sözcükler: Düşük akım hidrolojisi, Kritik dönem, Moran olasılık matris yöntemi, Hazne kapasitesi-verim-risk ilişkisi

Evaluation of Moran and Gould Probability Matrix Methods: in Example of Adıgüzel Dam/Turkey

Abstract: Reservoirs in water resources development studies find an important place. Reservoirs are designed for decreasing the instability between the flow transferred by the river which is variable in time and the volume of the water required for the usage purposes of the flow (energy production, irrigation, river transportation etc.). Hydraulically the storage to be obtained from the river that serves to specific demand depends primarily on three factors: the magnitude and the variability of the river flows, the size of the demand, and the degree of reliability on the satisfaction of this demand.

A large number of procedures are being utilized to estimate storage requirements. In this study, reservoir capacity-yield-reliability relationships are investigated for a

[1] Pamukkale Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Denizli, E-Posta: mpilgir05@posta.pau.edu.tr
[2] Pamukkale Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Denizli, E-Posta: ugbacanli@pau.edu.tr

reservoir of Adıgüzel Dam/in West Turkey on the Great Meander River. For this aim, monthly and annual mean flow data in a period of 1963 and 1984 observed. The required reservoir capacity is calculated by using Moran and Gould probability matrix methods, and results are critized.

Keywords: Low flow hydrology, Critical period, Moran probability matrix method, reservoir capacity-yield-reliability relationships

1. GİRİŞ

Baraj hazne kapasitesi, sistemin gereksinimlerini karşılayacak şekilde planlanmalıdır. Bu nedenle hazne kapasitesi, hazneye giren akımlara, haznedeki buharlaşma ve diğer kayıplarla beraber hazneden çekilmek istenen ihtiyaca göre belirlenir. Baraj hazne kapasitesi yeterli değilse, barajlar atıl kalır ve zamanla öngörülen üretimi gerçekleştiremeyeceği için hedeflenen üretimin başka kaynaklarla sağlanması zorunluluğu ortaya çıkar. Hazne kapasitesi belirlenirken ihtiyacı karşılayamama olasılığı (risk) kapasite üzerinde belirli bir etken olmaktadır.

Biriktirme hazneleri maliyeti çok yüksek tesisler olduklarından bunlarla ilgili kararları verirken çok dikkatli olmak ve bu kararların etkisinin uzun süreli olacağını unutmamak gerekir. Optimal çözümler elde edebilmek için doğal olaylardaki belirsizliklerin etkileri göz önüne alınmalıdır (Bayazıt, 1981).

Öncelikle hazne hacmi ön tasarım yöntemleri tasarımcılara fikir vermesi açısından önemlidir. Ön tasarım yöntemlerinde yapılan kabullerin sonuçlara doğrudan etkisi vardır. Ön tasarım yöntemleri kullanılarak uygun olmayan baraj yeri seçenekleri elendikten sonra geriye kalan az sayıdaki seçeneğin bir "Kesin Tasarım" yöntemi kullanılarak değerlendirilmesi gerekir. Bu yöntemler, genellikle hazne hacmini etkileyebilecek birçok faktörü dikkate almaları nedeniyle daha karmaşıktır. Ancak günümüzde bilgisayar kullanarak yazılan yazılımlar sayesinde bu yöntemlerde hızlı bir şekilde çözüme gidilmektedir. Akım özellikleri, talepteki mevsimsel değişmeler, suyun kısıtlı verilmesi olasılığı, buharlaşmanın etkileri ve ihtiyacın karşılanamama olasılığı gerçekçi olarak ele alınmaktadır (Halden, 2004). Kesin tasarım yöntemlerinin çözümü ön tasarım yöntemlerine göre daha karmaşıktır. Kesin tasarım yöntemlerinde, düzenleme oranı ile kapasite arasında risk ilişkisi kurulabilmektedir.

Bu çalışmada, kesin tasarım yöntemleri ile elde edilecek hazne kapasitelerinin mukayesesi hedeflendiğinden, işlemleri basitleştirmek amacıyla buharlaşma kayıpları dikkate alınmamıştır. Su ihtiyacının aylık değişimi sabit kabul edilmiştir. Düzenleme oranı %10 ile %100 arasında değiştirilmiştir. Bu çalışmada, uygulamada kullanılan kapasiteleri kıyaslarken, çözüm aralığı mümkün olduğunca geniş seçilmiş, böylece kapasite ve düzenleme oranı üzerinde risk değişiminin hangi kapasitede ve çekimde etkili olduğu gözlenebilmiştir.

1.1. Olasılık Matris Yöntemleri

Stokastik hazne teorisinde, kapasite ve gelen akımın istatistiksel özellikleri ile çekim bilindiğine göre haznedeki su hacminin limit olasılık dağılımları belirlenmektedir.

Yöntemin ilk uygulaması pratikte sınırlı iken günümüzde gelişen bilgisayar yazılımları sayesinde hesaplamalar artık sorun oluşturmamaktadır (Bayazıt, 1981).

1.1.1. Moran Olasılık Matris Yöntemi

Moran olasılık matris yönteminde, yıllık akımlar kullanılarak, akım, çekim ve hazne hacmi bir temel birim cinsinden ifade edilmektedir. Hazne kapasitesi bu yöntem ile doğrudan belirlenemez. Ancak belirlenmiş olan kapasitelerin limit (kararlı) olasılık dağılımları sayesinde ihtiyacı (talep) karşılayamama olasılıkları bulunabilir. Moran yönteminde sabit çekim doğrultusunda gelen akımların histogramları çizilmektedir. Çekimin sabit olduğu kabul edilerek, haznenin dönem sonundaki süreklilik denklemi ile ifade edilebilir. Haznenin dönem sonundaki hacmi,

$$\begin{aligned} V_{t+1}^{*} &= V_{t}^{*} + X_{t}^{*} - D^{*} \\ 0 &\le V_{t+1}^{*} \le C^{*} \end{aligned} \tag{1}$$

ile belirlenmektedir. Burada; V_t^* haznenin başlangıçtaki durumu, V_{t+1}^* haznenin dönem sonundaki durumu, C^* hazne kapasitesi, D^* sabit çekim miktarıdır. * ise birim hacimde seçilmiş terimlerde ifade edilmiş birimleri göstermektedir. (1) denklemi ile döneme belirli bir hacim ile başlayıp, dönem sonunda herhangi bir hacim oluşması için hazneye girmesi gereken akım belirlenmekte ve akım histogramından yararlanarak geçiş matrisinde kullanılacak olasılık değeri bulunmaktadır. Geçiş olasılık matrisi, akımların değişkenlik katsayısına bağlı olarak seçilir fakat bu matrisin boyutları ne kadar büyük seçilirse sonuçların hassasiyeti de o kadar artar (McMahon ve Mein, 1986; Bacanlı ve Koç, 2006; Özkul, 2010).

1.1.2. Gould Olasılık Matris Yöntemi

Gould (1961), mevsimselliği ve aylık akımların içsel bağımlılığını dikkate alarak Moran yöntemini geliştirmiştir. Bu yöntemde bir yıllık zaman dilimlerine ait geçiş olasılıkları matrisi kullanılmakta, fakat aylık su bütçesi uygulanarak akımlardaki yıl içi değişimler de göz önünde bulundurulmaktadır. Yöntemde yıl başında haznedeki su hacmi için belli bir değer (*i=0,1,…,m* durumlarından biri) seçilir ve *n* yıl uzunluktaki gözlenmiş akım serisinin her bir yılının aylık akımları (2) denklemindeki X_t değerleri olarak alınarak *(t=1,2,…,12)* yıl sonunda haznedeki su hacmi belirlenir. Bu şekilde hesaplanan *n* adet değer kullanılarak başlangıçta seçilen *i* durumu için geçiş olasılık matrisinin elemanları bulunur. Bu işlemler başlangıç su hacmi için *m* durumun her birinde tekrarlanarak geçiş olasılık matrisi tamamlanır. Bu yöntemle, gözlenmiş aylık akım serisi ile çalışıldığından, akımların içsel bağımlılığı göz önüne alınmış olmaktadır. Çekimler her ay için farklı alınabileceği gibi, buharlaşma kayıpları da hesaba katılabilir.

$$V_{t+1} = \begin{cases} 0 & V_t + X_t - D \le 0 \\ V_t + X_t - D & 0 \le V_t + X_t - D \le \mathrm{K} \\ \mathrm{K} & \mathrm{K} \le V_t + X_t - D \end{cases} \tag{2}$$

Bu hesaplamalar sırasında, her bir başlangıç durumu için yıl boyunca haznenin kuruduğu ayların sayısı da belirlenerek her bir *i* durumu için yıl boyunca boş kalma

olasılığı bulunur (*F* satır vektörü). Geçiş olasılık matrisi kullanılarak (3) denklemi ile *P* kararlı durum olasılık vektörü belirlendikten sonra, bu vektörü *F* vektörü ile çarparak haznenin boş kalma olasılığı hesaplanır (Bayazıt, 1997).

$$P_{t+1} = P_t.P \tag{3}$$

2. UYGULAMA

2.1. Kullanılan Veriler

Denizli'nin Güney ilçesinin 12 km doğusundaki Büyük Menderes Nehrine ait 1963–1984 yılları arasındaki akım değerleri kullanılmıştır. Bu akımları elde etmek için (7–4) Işıklı bağlaması çıkış (DSİ), 717 Banaz çayı-Armutçuk (EİEİ), (7–65) B. Menderes Adıgüzel (DSİ) istasyonları ve Işıklı gölünün işletme çalışması sonucundaki çıkış akımları ile Çivril-Baklan sulamasından dönen sular esas alınmıştır (Büyük Menderes Cindere Projesi Planlama Raporu, 1986). Adıgüzel Barajı teknik özellikleri Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. Adıgüzel Barajının Teknik Özellikleri

Adı	ADIGÜZEL
Yeri	Denizli
Akarsu	B.Menderes
Gövde Dolgu Tipi	Kaya
Gövde Hacmi	7125 dam^3
Yükseklik (Talvegden)	144 m
Normal Su Kotunda Göl Hacmi	1076 hm^3
Normal Su Kotunda Göl Alanı	26 km^2
Sulama Alanı	89600 ha
Güç	62 MW
Yıllık Üretim	280 GWh

Çizelge 2. (7-65) Akım gözlem istasyonunda 1963- 1984 yılları arasındaki verilerin istatistikleri

İstatistik	**Aylık Ort. Akış Hacmi (milyon m3)**	**Yıllık Ort. Akış Hacmi (milyon m3)**
Ortalama	67,53	810,33
Standart Sapma	49,18	324,95
Değişkenlik Katsayısı	0,73	0,40
Çarpıklık Katsayısı	1,84	0,50
İçsel Bağımlılık	0,79	0,61

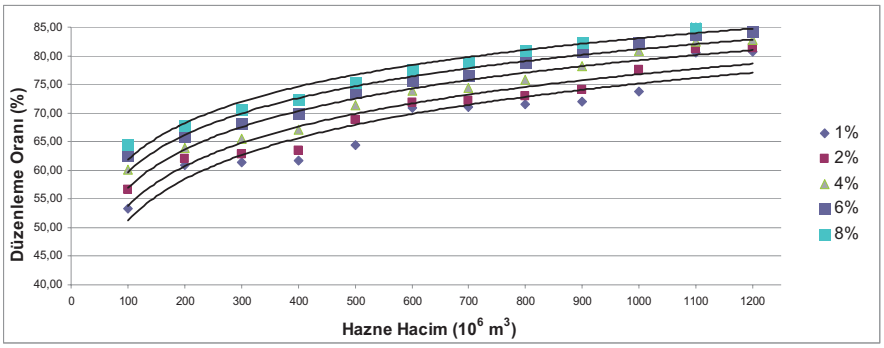
Baraj yerindeki (7-65) nolu istasyonun 1963-1984 yılları arasında ölçülmüş akım verilerinin istatistiksel özellikleri Çizelge 2'de verilmiştir.

2.2. Hazne Hacminin Belirlenmesi

Adıgüzel barajının planlama raporu kullanılarak, hazne hacmi kesin tasarım yöntemleri ile hesaplanmıştır. Her bir yöntemde, haznenin kapasite-düzenleme oranı - risk grafikleri çizilmiştir. Mevcut uygulamada buharlaşma dikkate alınmamıştır ve hazne hacmi aylık su bütçesi yönteminde, 100×10^6 m^3 -1200x10^6 m^3 , Moran ve Gould olasılık matris yöntemlerinde 500×10^6 m^3 -1200x10^6 m^3 arasındaki değerler dikkate alınarak ihtiyacı karşılamama olasılıkları grafiklerle gösterilmiştir. Bu uygulamadaki hesaplamalar, Excel ve Matlab kullanılarak yapılmıştır.

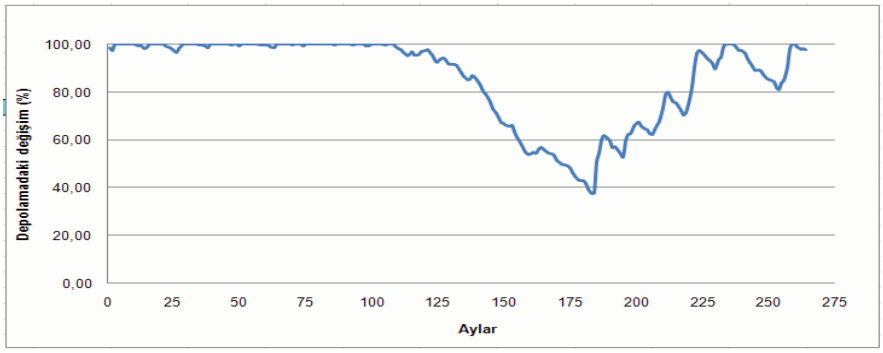
2.2.1. Aylık su bütçesi yöntemi

Bu yöntem ile mevcut 1963–1984 yılları arasındaki aylık ortalama akım verileri kullanılarak hazne hacmi belirlenmiştir. Başlangıçta hazne hacmi dolu kabul edilerek, düzenleme oranına göre toplam süre sonunda haznenin ihtiyacı karşılayamama olasılığı hesaplanmıştır. Hazne hacmi ve çekim için başlangıçta belli değerler kabul edilerek, belli sınırlar arasında bu ilişki grafiklerle gösterilmiştir (Şekil 1). Hazne hacmi $100x10^6$ m^3 ile $1200x10^6$ m^3, çekim ise %10 ile %100 değeri arasında değişecek şekilde, haznenin ihtiyacı karşılayamama olasılığı hesaplanmıştır.



Şekil 1. Aylık Su Bütçesi yöntemi ile belirlenen haznenin kapasite-düzenleme oranı ve risk ilişkisi

Risk; minimum %1, maksimum %8 alınarak çizilen grafikte (Şekil 1), dikkat edilmesi gereken bazı hususlar görülmektedir. Örneğin hazne hacmi 600 milyon m^3 ve düzenleme oranı %70 olan bir projede, risk %1 iken; aynı risk'te 1200 milyar m^3 hacimde ise düzenleme oranı için yaklaşık %77 gibi bir değer elde edilmektedir. Risk'in iyi belirlenememesi durumunda haznenin uzun bir süre boş kalacağı görülmektedir. Adıgüzel barajının planlama raporuna göre düzenleme oranı %70,7 iken hazne hacmi 1076.10^6 m^3 olup bu verilere göre ihtiyacı karşılamama olasılığı %1'in altına düşmektedir. Aylık su bütçesi yöntemine göre aylar içerisindeki depolamada değişimi Şekil 2'de gösterilmiştir (Rugumayo, 2001).



Şekil 2. Adıgüzel Barajının aylık su bütçesi yöntemine göre depolamadaki değişimi

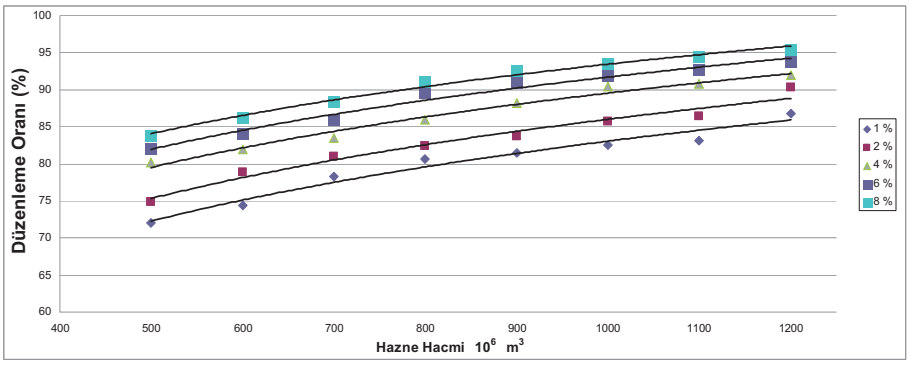
2.2.2. Moran olasılık matris

Moran olasılık matris yöntemi ile Adıgüzel istasyonun yıllık akım verileri kullanılarak, farklı düzenleme oranları ve hacimler arasındaki risk ilişkisi grafik olarak çizilmiştir (Şekil 3). Başlangıçta hazne, Moran'ın önerdiği değişkenlik sınırları içerisinde tabakalara ayrılır. Belirli bir hacimle başlanarak dönem sonunda herhangi bir hacim oluşması için hazneye girmesi gereken akım belirlenir ve geçiş olasılık matrisi kullanılarak olasılık değeri bulunur. Bu çalışmada hazne hacmi m=20 eşit tabakaya ayrılarak işlem yapılmıştır.

Çizelge 3. Moran geçiş olasılık matrisi

Moran O.Y.		V_t (Başlangıç Durumu) i=0	i=1	… …	i=19	i=m	Kararlı Hal	
V_{t+1} Bitiş Durumu	j=0	0,3182	0,2727		0,0000	0,0000	Sabit(Kararlı) Durum Matrisi	0,0000
	j=1	0,0000	0,0455		0,0000	0,0000		0,0000
	j=2	0,0455	0,0000		0,0000	0,0000		0,0000
	…	0,1364	0,0455		0,0000	0,0000		0,0000
	…	0,0909	0,1364		0,0000	0,0000		0,0000
	…	0,0455	0,0909		0,0000	0,0000		0,0000
	…	0,0455	0,0455		0,0000	0,0000		0,0001
	…	0,0000	0,0455		0,0000	0,0000		0,0001
	…	0,0455	0,0000		0,0000	0,0000		0,0002
	…	0,0000	0,0455		0,0000	0,0000		0,0004
	…	0,0000	0,0000		0,0000	0,0000		0,0008
	…	0,0455	0,0000		0,0000	0,0000		0,0014
	…	0,0455	0,0455		0,0000	0,0000		0,0026
	…	0,0455	0,0455		0,0000	0,0000		0,0047
	…	0,0455	0,0455		0,0000	0,0000		0,0085
	…	0,0455	0,0455		0,0000	0,0000		0,0167
	…	0,0455	0,0455		0,0455	0,0000		0,0263
	…	0,0000	0,0455		0,1364	0,0455		0,0571
	j=18	0,0000	0,0000		0,0909	0,1364		0,1112
	j=19	0,0000	0,0000		0,0455	0,0909		0,0750
	j=m	0,0000	0,0000		0,6818	0,7273		0,6948
	∑	1	1		1	1	∑	1

Çizelge 3'te Adıgüzel barajının hazne hacmi $1076x10^6$ m^3 ve düzenleme oranı %70,6' ya karşılık gelen geçiş olasılık matrisi gösterilmiş ve kararlı (sabit) durum matrisi bulununcaya kadar geçiş matrisinin $[T]^{2a}$ üssü alınmıştır. Elde edilen olasılık değerleri Çizelge 3'te gösterildi. Haznenin boş kalma olasılığı m=0 tabakasından yaklaşık sıfıra yakın elde edilmiştir. Ayrıca hazne-kapasite-verim arasındaki ilişkiyi tanımlayabilmek üzere 21x21 boyutlarındaki 80 tane geçiş olasılık matrisleri kararlı duruma getirilerek verdi-kapasite risk ilişkisi şekil 3'de gösterilmiştir.



Şekil 3. Moran Matris Yöntemiyle belirlenen hazne hacmi - düzenleme oranı(verim) - risk ilişkisi

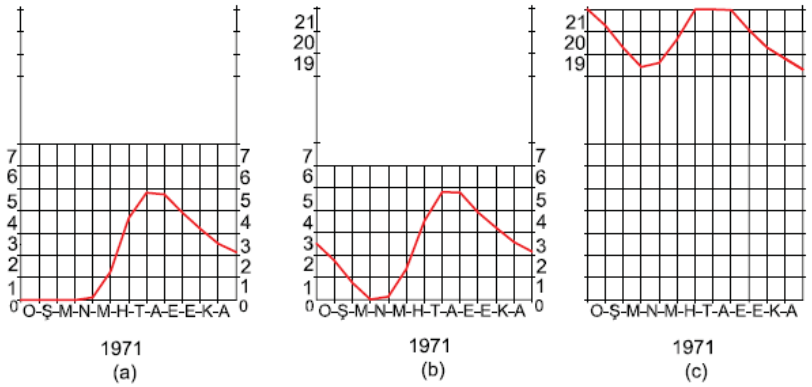
Şekil 3'de Adıgüzel barajının planlama raporuna göre hazne hacmi ve düzenleme oranına göre ihtiyacı karşılayamama olasılığı yaklaşık %0'dır. Hazne hacmi-düzenleme oranı-risk ilişkisi bir kez belirlendikten sonra, zaman içerisinde talebin değişmesi halinde, hazne kapasitesinin o dönemdeki ihtiyacı karşılayamama olasılığının belirlenmesi grafikteki eğrilerden yararlanılabilmektedir.

2.2.3. Gould Olasılık Matris

Gould tarafından önerilen yöntemde aylık veriler kullanılarak hazne hacmi başlangıç durumuna (belli bir bölgeden) göre başlanıp her bir yılın sonundaki değerlerin haznenin hangi bölgesinin kaldığı (1) denklemi ile hesaplanıp tüm başlangıç şartları için geçiş olasılık matrisi oluşturulur. Daha sonra (1) denklemi ile farklı hazne hacmi ve düzenleme oranları ile hesaplamış olduğumuz verilerin her bir yıl içerisinde tüm başlangıç şartlarına göre haznenin kaç ay boş kaldığı hesaplanır ve sütun vektörü oluşturulur. Geçiş olasılık matrisinden sabit durum belirlendikten sonra sütun vektörü her bir vektör elemanla çarpılıp eklenik toplanarak haznenin boş kalma olasılığı belirlenir. Gould yöntemi, Moran yönteminden farklı olarak (1) denklemi kullanılırken V_{t+1} ay sonundaki değeri bir sonraki ay'ın başlangıç V_t hacmi yerine alınmaktadır (Abubakar, 2008).

Adıgüzel istasyonuna ait 264 aylık veri, 22 farklı başlangıç durumu ve farklı hazne hacmi ile düzenleme oranlarıyla yıl sonundaki 1760 durum için oluşan değerler ile 22*22 boyutunda 80 adet geçiş olasılık matrisi hazırlanmıştır. Daha sonra haznenin her bir yıl içerisinde ne kadar süre boş kaldığı hesaplanarak sütun vektörler oluşturulmuştur. Şekil 4'te 1971 yılına ait veriler kullanılarak hazne hacmi $500x10^6$ m^3 ve düzenleme oranı %100 alınarak yıl içindeki değişimi gösterilmiştir ve başlangıç durumları için;

a) Başlangıçta hazne hacmi V_t boş (m=0) başlatıldı ve 3 ay haznenin boş kaldığı gözlenmiştir.
b) Başlangıçta hazne hacmi V_t (m=3) bölgesinden başlatılmıştır.
c) Başlangıçta hazne hacmi V_t dolu (m=21) bölgesinden başlatılarak değişimler Şekil 4'te gösterilmiştir.



Şekil 4. Gould yönteminin yıl içindeki dağılımı

Verilen örnekte haznenin boş kaldığı ayların sayısı Çizelge 4'te satır vektörü biçiminde gösterilmiştir. Her bir i durumu için tüm aylar boyunca boş kalma olasılığı (satır vektörü) bulunur. Daha sonra sabit durum olasılık matrisleri belirlendikten sonra, satır vektörü ile çarparak haznenin toplam boş kalma olasılığı hesaplanır (Bayazıt, 1981).

Çizelge 4. Aylık boş kalma süresi

V_t	0	1	2	3	4				21
Satır Vektörü	3(a)			1(b)					

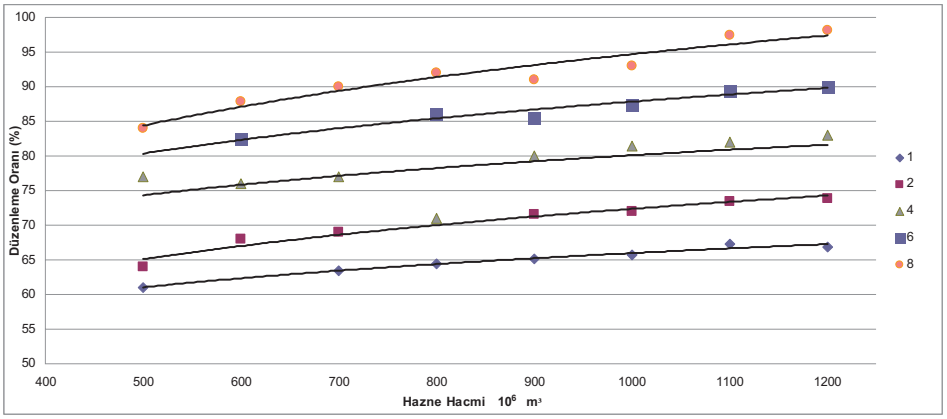
Adıgüzel barajının hazne hacmi, planlama raporuna ve düzenleme oranına karşılık gelen geçiş olasılık matrisi Çizelge 5'de verilmiştir. Geçiş olasılık matrisi kararlı hale getirildikten sonra başlangıç durumlarına göre aylar içerisindeki boş kalma olasılıkları ve toplam boş kalma olasılığı Çizelge 6' da verilmiştir. Adıgüzel barajının planlama raporu doğrultusunda barajın ihtiyacı karşılayamama olasılığı yaklaşık %1,62 hesaplanmıştır. Bu işlemler diğer farklı durumlar içinde uygulayarak Gould yöntemiyle hazne kapasitesi-düzenleme oranı ve risk ilişki grafik olarak Şekil 5'te gösterilmiştir.

Çizelge 5. Gould geçiş olasılık matrisi olasılığı

Gould Yöntemi		V_t (Başlangıç Durumu)						
		i=0	i=1	i=2	…	…	i=20	i=m
Bitiş Durumu V_{t+1}	j=0	0,0000	0,0000	0,0000			0,1818	0,0000
	j=1	0,0000	0,0000	0,0000			0,0455	0,0000
	j=2	0,0000	0,0000	0,0000			0,0455	0,0000
	…	0,0000	0,0000	0,0000			0,0455	0,0000
	…	0,0000	0,0455	0,0000			0,0455	0,0000
	…	0,0000	0,0455	0,0000			0,0455	0,0000
	…	0,0000	0,0455	0,0000			0,0455	0,0909
	…	0,0000	0,0455	0,0000			0,0455	0,0455
	…	0,0000	0,0455	0,0000			0,0455	0,0455
	…	0,0000	0,0455	0,0000			0,0455	0,0455
	…	0,0000	0,0455	0,0000			0,0455	0,0455
	…	0,0000	0,0455	0,0909			0,0455	0,0455
	…	0,0000	0,0455	0,0455			0,0455	0,0455
		0,0000	0,0455	0,0455			0,0455	0,0455
	…	0,0000	0,0455	0,0455			0,0455	0,0455
	…	0,0000	0,0455	0,0455			0,0455	0,0455
	…	0,0909	0,0455	0,0455			0,0455	0,0455
	…	0,0455	0,0455	0,0455			0,0455	0,0455
	…	0,0455	0,0455	0,0455			0,0455	0,0455
	j=19	0,0455	0,0455	0,0455			0,0000	0,0455
	j=20	0,0455	0,2727	0,5455			0,0000	0,3182
	j=m	0,7273	0,0000	0,0000			0,0000	0,0000
□	∑	1,0	1,0	1,0	…	…	1,0	1,0

Çizelge 6. Gould yöntemine göre haznenin boş kalma olasılığı

Bölgeler	Kararlı vektörü	Satır vektörü	Boş kalma olasılığı
	(a)	(b)	(c)
j=0	0,0516	0,2197	0,0113
j=1	0,0155	0,1780	0,0028
j=2	0,0199	0,0758	0,0015
…	0,0269	0,0189	0,0005
…	0,0282	0,0038	0,0001
…	0,0316	0,0000	0,0000
…	0,0399	0,0000	0,0000
…	0,0349	0,0000	0,0000
…	0,0374	0,0000	0,0000
…	0,0362	0,0000	0,0000
…	0,0362	0,0000	0,0000
…	0,0380	0,0000	0,0000
…	0,0402	0,0000	0,0000
	0,0415	0,0000	0,0000
…	0,0437	0,0000	0,0000
…	0,0443	0,0000	0,0000
…	0,0478	0,0000	0,0000
…	0,0455	0,0000	0,0000
…	0,0577	0,0000	0,0000
j=19	0,0671	0,0000	0,0000
j=20	0,1057	0,0000	0,0000
j=m	0,1105	0,0000	0,0000
∑	Toplam boş kalma olasılığı		%1,621



Şekil 5. Gould yöntemiyle hazne kapasitesi-düzenleme oranı ve risk ilişki

3. SONUÇLAR

Yapılan çalışmada elde edilen sonuçlarda, Aylık su bütçesi yöntemi ile Moran olasılık matris yöntemlerinin birbirlerine göre daha yakın sonuçlar verdiği Gould yönteminin ise boş kalma olasılığının biraz daha fazla olduğu görülmektedir. Adıgüzel Barajı hazne kapasitesi ve düzenleme oranının planlama raporundan alındığından dolayı bu iki yöntem benzer sonuçlar göstermiştir.

Aylık su bütçesi yöntemine göre; düşük düzenleme oranlarında haznenin ihtiyacı karşılayamadığı bilhassa haznenin bu süre içerisinde başlangıçtaki seçilen hazne kapasitesinde kaldığı görülmüştür.

Moran olasılık matris yöntemi, aylık su bütçesi yönteminin sahip olduğu tüm avantajlarla beraber kesikli veri ile de çalışılmasına olanak tanımakta ve daha da önemlisi elde edilen olasılıklar, haznenin başlangıçtaki doluluk oranından bağımsız durumu yansıtmaktadır. Yıllık veri kullanılması nedeniyle akımın yapısındaki içsel bağımlılık göz ardı edilmektedir.

Gould olasılık matris yöntemi diğer yöntemlere göre en büyük avantajı içsel bağımlılığı dikkate almasıdır. Gould yöntemi Moran yöntemine kıyasla başlangıçtaki hazne hacmi kabulü elde edilen olasılıkları etkilemektedir.

Uygulamada kullanılan olasılık matris yöntemlerinde düzenlenmiş akım verilerinin, geçiş matrisini kararlı hale getirirken etkilediği görülmüştür. Bu nedenle bu yöntemleri kullanırken doğal akımlar tercih edilmelidir. Ayrıca Gould yöntemi ile işletme çalışmalarında başlangıçta seçilen hazne hacmi ile sene sonundaki doluluk oranlarının tahmin edilmesinde kullanılabilir.

4. KAYNAKLAR

Bacanlı, Ü.G ve Koç, A.C, "Moran Olasılık Matris Yöntemiyle Hazne Tasarımı", Yenidere Barajı Örneği", Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen B. Enstitüsü Dergisi, 256-257, 2006.

Bayazıt, M, "Biriktirme Haznelerinin Tasarımı ve İşletilmesi", İnşaat Fakültesi Matbaası, 35-40, 1997.

Bayazıt, M, "Hidrolojide İstatistiksel Yöntemler", İTÜ Matbaası, 200-205, 1981.

Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, XXI. Bölge Müdürlüğü, "Büyük Menderes Cindere Projesi Planlama Raporu", 189, 1986.

Rugumayo, E, "Reservoir Capacity Yield Reliability Analysis", 27th WEDC Conference, 476, 2001.

Halden, E ve Özkul, S, "Kritik dönem yöntemleri ile hazne hacminin belirlenmesi", DEU Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi, 6-1: 101-115, 2004.

Abubakar, Ibn, "Assesment of Reservoir Storage in a Semi-Arid Environment Using Gould Probability Matrix", African Research Review, 42-44, 2008.

Mcmahon,T.A ve Mein ,R.G., "River and Reservoir Yield", 140-160, 1986.

Özkul, S, "Çağlayan Barajı Aktif Hazne Hacminin Olasılık Matris Yöntemleriyle İrdelenmesi", DSİ Teknik Bülteni Sayı: 107, 27-37, 2010.

Akışların Aktarımında Yükselti-Alansal Üs İlişkisinin Belirlenmesi

Behiye Önal[1], N. Orhan Baykan [2], Mutlu Yaşar[3]

Özet: Bu çalışma kapsamında, son yıllarda önemi giderek artan ve enerji üretimi sektöründe önemli bir yer tutan "küçük hidroelektrik santraller" e yönelik olarak, bağlama yerine veri aktarımı ele alınmıştır.

Veri aktarımında genellikle uygulanan yöntem alan oranlarına dayanmakta ve bu oranın belli bir üssü (genellikle 1) olarak dikkate alınmaktadır. Sunulan araştırma, "n" olarak işaretlenen bu üssün ne olması gerektiği konusuna değinmektedir. Bu amaçla "denel hidroloji" yönteminden yararlanılmıştır. Gerçekte verileri olan çeşitli bağlantı (kesişme) biçimlerine sahip üç adet sırasal ve birbirine yakın akım gözlem ölçeğinin (AGİ) verilerinden yararlanılarak, bunlardan birinin verisi sanki yokmuşçasına, diğer 1 yada 2 ölçek ve alansal oranlar kullanılmak suretiyle öngörülen farklı "n" üs değerleri göz önüne alınarak veri aktarımları gerçekleştirilmiş ve aslında verileri olan akım gözlem ölçeğinin verileri yeniden türetilerek gerçek değerleriyle karşılaştırılmıştır. Böylelikle, aktarımda hangi alansal üs değeri olan "n" değerinin kullanılmasının yapılmasının daha uygun sonuçlar verdiği ve güvenirliği saptanmıştır.

Sonuçta, tek istasyondan veri aktarımının daha uygun olduğu, yükselti ile "n" sayısının arasında, 2 inci dereceden bir polinomla ilişki kurulabileceği belirlenmiştir. Pratik amaçlı olarak, "n" değerinin yükseltiyle değişimi de çizgeleştirilmiştir.

Anahtar sözcükler: Akış, akaçlama alanı, polinominal korelasyon, yükselti, alansal üs.

Determinig of the Relationship between Elevation-Areal Power by Transferrıng of Flows

Abstract: Within the scope of this study, the transferring of flows to project axis has been handled that is often used by the designing step of small hydropower plants.

[1]Doğuş Mühendislik, Saraylar Mah. 506. Sk. No:1/1, Denizli, E-Posta: behiyeonal@hotmail.com

[2] Pamukkale Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Denizli, E-Posta: obaykan@pau.edu.tr

[3] Pamukkale Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Denizli, E-Posta: mutluyasar@pau.edu.tr

The usual data transferring method is based on the ratio of a certain power “n” (commonly proposed 1) of the drainage areas on rarely gauged or ungauged and relatively small catchments. The presented study deals to determine with the value of “n”, For this aim, the methods of experimental hydrology have been utilized. The recorded data of the 3 variously combined flow measurement stations (FMS) are considered. The data of the one of these 3 FMS’s is assumed not existing. The flow values of the supposed ungauged station have been created by the data of the remaining 1 and/or 2 FMS’s using different foreseen “n” powers. Then the artificial data have been compared with the real records. So the most suitable power “n” has been identified as a function of the elevation.

As a result, during the transferring process, 1 gauged station is sufficient (not necessary to use 2 stations in general) and the 2nd order polynomial function symbolizes quite well the relation between elevation and power “n” by areal-ratio. For practical uses, the obtained results and graphs showing the variation of “n” with elevation are given for Türkiye.

Keywords: Flow rate, drainage area, polynomial correlation, elevation, aerial power.

1. GİRİŞ

Su kaynaklarının geliştirilmesine aracı olan su yapılarının tasarımlandırılmasında, su yapısının yapılacağı yerdeki hidrometeorolojik bilgilerin elde bulunması gerekir. Su yapısının yapılacağı noktada akış verisinin genellikle bulunmaması, bu verinin yakında ve ölçümleri bulunan ölçeklerden aktarım yoluyla elde edilmesi ve bu aktarımda akaçlama oranlarının kullanılması alışılagelen bir yöntemdir.

Bu aktarım genellikle doğrusal biçimde olmamakta, akaçlama oranının belli bir üssü kullanılmaktadır. Bu üssün belirlenmesine yönelik gerek akarsu, gerekse havza bazında çalışmaların yapılması gerekmektedir.

Bu çalışma kapsamında, söz konusu üssün (“n”) belirlenmesine yönelik olarak denel hidroloji yöntemi düşüncesi ve yöntemlerinden yola çıkılmıştır.

Eldeki ölçülmüş verilerden yararlanılarak yapılan bilgi aktarımı çeşitli biçimlerde gerçekleştirilebilir. Bunlardan en çok kullanılanı, alanlar oranının işlevi yoluyla veri aktarımına gidilmesidir. İşlev olarak “üs” (n) kastedilmektedir.

Ülkemizde bu üssün değerine ilişkin bir çalışmaya rastlanmadığından, böyle bir çalışmanın yapılmasına gerek duyulmuştur. Böylelikle daha anlamlı ve gerekçeli biçimde seçilebilecek “n” sayısıyla, güvenlik/risk etmeni belli çalışmalar yapılabilecektir.

2. KULLANILAN VERİLER VE UYGULAMA YÖNTEMLERİ

2.1 Çatallanma Tipleri

Bir akaçlama havzasının genel durumunda ana ve yan kollar, çatallanma durumları ve havza çıkışı her havzaya göre değişiklik göstermektedir. AGİ'lerin (Akım gözlem istasyonu) durumuna göre farklı tipte çatallanmalar, yani AGİ'lerin farklı konuşlanmaları söz konusu olabilir.

Buna göre, AGİ'lerin akarsu üstündeki yerlerine bakılarak çatallanma tipleri düşünülmüş; bunların kaç değişik tipte olabileceği tasarlanmış ve sonuçta 10 farklı tipe indirgenebileceğine karar verilmiştir (Şekil 1).

Bu tipler aşağıda özetleniştir:

Tip 1: Ortadaki AGİ ana kol üstünde, bunun bir üstündeki ve bir altındaki AGİ yan kollarda;
Tip 2: İki AGİ ana kol üstünde, üçüncü AGİ yan kolda;
Tip 3: Bir AGİ yan kolda diğer ikisi ana kol üstünde;
Tip 4: Üç AGİ de ana kol üstünde;
Tip 5: İki AGİ 2 farklı yan kolda, üçüncü AGİ ana kol üstünde;
Tip 6: İlk AGİ ana kolda, diğer ikisi iki farklı yan kollarda;
Tip 7: İki AGİ aynı yan kolda, üçüncü AGİ ana kol üstünde;
Tip 8: İlk AGİ ana kolda, diğer ikisi aynı yan kol üstünde;
Tip 9: İlk AGİ ana kolda, ikincisi yan kolda ve üçüncü yine ana kolda;
Tip 10: Üç AGİ de yan kollarda.

2.2 Devlet Su İşleri (DSİ) ve Elektrik İşleri Etüt İdaresi (EİE) Akım Gözlem İstasyonları

Bu tiplere uygun çok fazla sayıda akım gözlem istasyonu bulunmasına karşın, çoğunun verisi bulunamamıştır. Çalışmada Devlet Su İşleri (DSİ) ve Elektrik İşleri Etüd İdaresi (EİE) akım gözlem istasyonları ayrı ayrı ele alınmıştır.

Hesaplamalar için öncelikle 1960 ve 2001 yılları arasındaki DSİ akım gözlem yıllıklarından yararlanılmıştır. DSİ AGİ'lerinden her üç istasyonda da ortak zamanlı veri bulunması 2, 7, 12, 15, 20, 21, 22 ve 23 No'lu havzalarda söz konusu olmuştur

Verisi bulunan akım gözlem istasyonlarından ortak yılları bulunan istasyonların özellikleri (hangi havzada bulunduğu, istasyon no'su, istasyon adı, alanı, gözlem yılı, yükselti ve koordinat değerleri) de Çizelge 1'de verilmiştir.

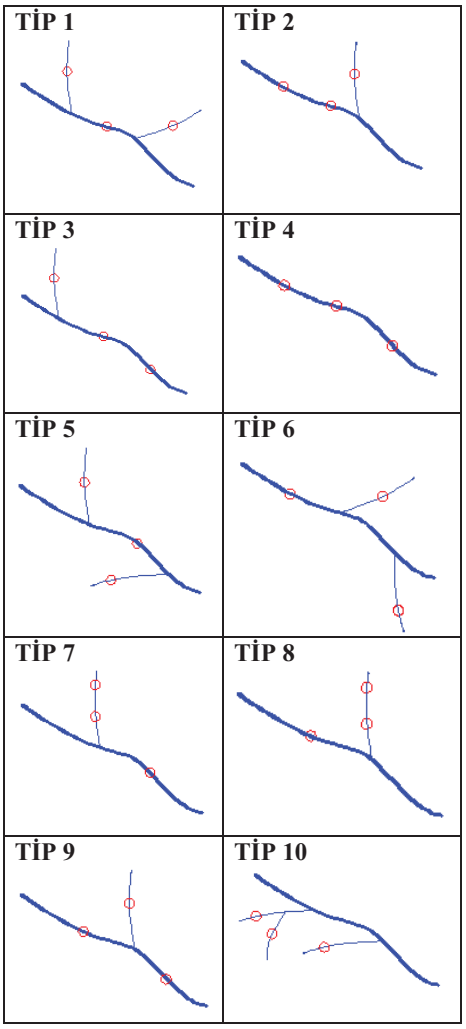
Hesaplamalar için daha sonra 1954 ve 2000 yılları arasındaki EİE akım gözlem yıllıklarından yararlanılmıştır. EİE'de her üç istasyonda da veri 13 ve 26 no.lu havzalarda bulunmuştur (EİE 1954, ..., EİE 2000).

Verisi bulunan akım gözlem istasyonlarından ortak yılları bulunan istasyonların özellikleri (hangi havzada bulunduğu, istasyon no su, istasyon adı, alanı, gözlem yılı, yükselti ve koordinat değerleri) de Çizelge 2'de verilmiştir.

3. UYGULANAN YÖNTEMLER

3.1 Akış Verilerinin Aktarım Yöntemleri

Akarsuyun su çevrim eksenindeki akım değerlerinin bulunmasında, akarsu üstünde bulunan akım gözlem istasyonlarının akım değerlerinden yararlanılır. Su çevrim ekseninde akım gözlem istasyonu varsa, çözümlemelerde bu istasyonun akımları kullanılır. Ancak, proje yapılmak istenen çevrim ekseninde uzun yıllar akım gözlemleri genellikle bulunmamaktadır.



Şekil 1. Çatallanma tipleri

Böyle durumlarda, akım gözlem değerlerinin yapı eksenine aktarılması gerekir. Bunun için kullanılan iki yöntem vardır.

3.2. Alansal Üs Yöntemi (1. yöntem)

Havza yağışı akış haline dönüştüren kapalı bir kutudur. Bu yüzden, $Q_x = Q_x (Q_1, Q_2, \ldots, Q_n)$ aranılan ilişkisi, A havza parametresinin bir işlevi olur. Bununla birlikte, havzaya nadiren eşyükseklikli yağış düşer ve değeri çoğu kez yerel olarak değişen bir gecikme gösterir. Farklı biçimli ve farklı büyüklükteki havzalarda, orantılılık özelliği göz önüne alınabilir.

İstasyonun değerleri aşağıdaki bağıntıya uygun olarak taşınabilir:

$$Q_x = Q_1 \left(\frac{A_x}{A_1} \right)^n \qquad (1)$$

Burada; Q_x: Aktarım noktası akımı
A_x: Aktarım noktası akaçlama alanı
Q_1: Mevcut AGİ akımı
A_1: Mevcut AGİ akaçlama alanı
n : 0,5 ile 1,0 arasında değişen katsayı

"n" değerinin 0,6 ila 1,2 arasında değişkenlik gösterdiği belirtilmektedir (Cofcof, 1993). Buna karşın bazı kaynaklar ise bu değerin 0,5 ila 1,0 arasında alınmasını önermektedir (Vischer ve Huber, 1979).

(1) bağıntısı ile genelde aktarım noktasına en yakın olan akım gözlem istasyonunun değerleri kullanılır. Fakat burada 3-lü gruplar haline getirilen akım gözlem istasyonlarında aktarım yeri olarak kabul edilen istasyonun akım değerlerini bulmak için, diğer iki istasyonla da (1) bağıntısını kullanarak hesaplamalar yapılmıştır. Bu işlemler hem aylık ortalama, hem de günlük değerler için yinelenmiştir. "n" in 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9 ve 1,0 olması durumundaki bütün akım değerleri ayrı ayrı hesaplanmıştır. Toplamda 6'şardan 12 tane aylık (2 istasyonla da yaptığımız için) ve yine 6'şardan 12 tane günlük olmak üzere 24 farklı aktarım yeri akım değerleri hesaplanmıştır.

$\frac{A_x}{A_1}$ oranının 0,80-1,20 değerlerinin dışına çıkması durumunda (1) bağıntısının kullanılmaması önerilmektedir (Cofcof, 1993). Ancak bu çalışmada bu oran dikkate alınmadan her istasyon için (1) bağıntısı kullanmıştır.

Çizelge 1'de DSİ; Çizelge 2'de EİE kurumlarının kullanılan verileri özetlenmiştir. Buna göre, Türkiye'nin 10 havzasında, verisi olan ve konumu verilen tiplere uyan birbirine yakın 30 AGİ değeri bulunabilmiş ve çalışmalar bu istasyonlarda sürdürülebilmiştir. Bu AGİ'lerin doğal olarak yükseltileri her tip için eş biçimde dağılmamıştır. Bu ise korelatif ilişkileri olumsuz biçimde etkilemiş, korelasyon katsayıları belli yükselti aralıklarında düşük çıkmıştır.

3.3. Alansal Fark Yöntemi (2. yöntem)

Eğer ilgilenilen nokta, iki akım gözlem istasyonunun yakınında bulunuyorsa doğrusal interpolasyon yada ekstrapolason yapılabilir. Bunun için aşağıdaki bağıntı kullanılır:

$$Q_x = Q_1 + (Q_2 - Q_1)\frac{(A_x - A_1)}{(A_2 - A_1)} \quad (2)$$

Burada; Q_x: Aktarım noktası akımı
A_x: Aktarım noktası akaçlama alanı
Q_1: Akışyukarısındaki AGİ akımı
A_1: Akışyukarısındaki AGİ akaçlama alanı
Q_2: Akışaşağısındaki AGİ akımı
A_2: Akışaşağısındaki AGİ akaçlama alanı

Çizelge 1. DSİ akım gözlem değerleri bulunan akım gözlem istasyonlarının ortak yılları

Havza Adı	Ortak İstasyonlar	Ortak Veri Aralıkları	Tip
2-Marmara Havzası	(2-41) - (2-126) - (2-134)	1999 - 2000	TİP 3
7-Büyük Menderes Havzası	(7-62) - (7-107) - (7-109)	1990 - 1991 - 1997	TİP 1
12-Sakarya Havzası	(12-54) - (12-63) - (12-173)	1985 -..- 1992 -1994 -..- 1996-1998 -..- 2000	TİP 2
15-Kızılırmak Havzası	(15-259) - (15-276) - (15-277)	1998 -..- 2001	TİP 4
20-Ceyhan Havzası	(20-46) - (20-58) - (20-59)	1992 -..- 2001	TİP 9
21-Fırat Havzası	(21-166) - (21-167) - (21-175)	1983 -..- 1996 - 1999 -..- 2001	TİP 10
22-Müt. Doğu Karadeniz Suları	(22-49) - (22-79) - (22-89)	1986 -..- 1988 - 1992 -..-1995	TİP 4
23-Çoruh Havzası	(23-35) - (23-36) - (23-37)	1991 -..- 1994 - 1996 - 1997 -1999 – 2001	TİP 6

Aylık ortalama ve günlük verilerle (2) bağıntısı kullanılarak birer tane aktarım noktası akım değeri hesaplanmıştır.

Çizelge 2. EİE akım gözlem değerleri bulunan akım gözlem istasyonlarının ortak yılları

Havza Adı	Ortak İstasyonlar	Ortak Veri Aralıkları	Tip
13- Müt. Batı Karadeniz Suları Havzası	(13-02) - (13-38) - (13-40)	1981 -..- 1984 - 1986 - 1992 -..-2000	TİP 2
26-Dicle Havzası	(26-20) - (26-27) - (26-28)	1983 - 1986	TİP 9

3.4. Karşılaştırma Ölçütleri

Literatürde çeşitli karşılaştırma ölçütleri verilmektedir (Baykan 1997). Bunlar arasında, Mutlak Hata Yüzdesi Ortalaması (MHYO), Karesel Sapma Ortalaması (KSO) ve Mutlak Sapma Ortalaması (MSO) sayılabilir. Çalışmada MSO kullanılmıştır.

Mutlak Sapma Ortalaması (MSO), öngörülen model serisindeki değerlerin özgün zaman serisindeki değerlere uygunluğunun bir ölçütüdür. Hataların (yanılgıların) niceliğini kavramsallaştırmaya yardımcı olan bu ölçüt verilerle aynı birime sahip olup, aşağıdaki bağıntı ile hesaplanır.

$$MSO = \frac{\sum_{t=1}^{n} \left| \left(y_t - \hat{y}_t \right) \right|}{n} \qquad (3)$$

Burada;
y_t : Özgün veri değeri
$\hat{y}_t$: Model değeri
n : Kestirimin yapıldığı veri sayısı

(3) bağıntısından da çıkarılabileceği üzere, denenen modellerin en uygunu, en küçük MSO değerini veren model olacaktır.

Akım gözlem istasyonları çatallanma tiplerine göre 3-lü gruplar halindedir. Her grupta bir akım gözlem istasyonu aktarım noktası olarak varsayılmıştır. Alansal üs yöntemi (1) bağıntısı kullanılarak aktarım noktası olarak varsayılan akım gözlem istasyonunun değerleri, gruptaki diğer iki istasyonla ayrı ayrı eşleştirilerek hesaplanmıştır.

Çizelge 3 ve 4'te, Çizelge 2 ve 3'te verilen istasyon gruplarından aktarım noktası olarak seçilen istasyon numaraları ve bunların eşleştirilerek hesap yapıldığı istasyonlar verilmiştir.

4.2. Yükselti – Alansal Üs arasındaki ilişkiler

Pratik amaçlı olarak, ele alınan ve Türkiye'nin tümünü simgeleyebileceği varsayımına dayanan 10 havzada, yükseltiye bağlı olarak alansal üs katsayısının (n) ne değerde seçilmesi gerektiği araştırılmıştır. Öncelikle bütün istasyonlar aylık ortalama ve karşılaştırma ölçütlerine göre birlikte incelenmiştir. Yatayda yükseltiler, düşeyde de "n" değerleri olacak şekilde grafikler çizilmiş ve bunlara eğilim çizgisi uydurulmuştur.

Alansal üs yönteminde aktarım noktası olarak seçilen akım gözlem istasyonları diğer istasyonlarla iki eşleştirme yapılarak hesap yapılmıştır. Ayrıca 1. ve 2. eşleştirmeler ayrı ayrı göz önüne alınarak yükselti-"n" değerleri grafikleri verilmiştir. Burada her eşleştirme belli yükselti aralıkları ile incelenmiştir.

Birisi doğrusal, diğeri de polinomial olmak üzere 2 farklı eğilim çizgisi uydurulmuştur. Burada, bir örnek olması açısından, aylık akışların polinomial; günlük akışların ise doğrusal eğilimleri verilmiştir (Şekil 2 ve 3). Yüksek korelasyon Çizelge 5 ve 6'da da görüleceği üzere, polinomial işlevdedir.

Çizelge 3. DSİ Akım gözlem istasyonları aktarım noktaları

Akım Gözlem İstasyonu Grubu	Aktarım Noktası Seçilen İst.	1. Eşleştirme	$\frac{A_{AN}}{A_{Aİ}}$	2. Eşleştirme	$\frac{A_{AN}}{A_{Aİ}}$
(2-41)(2-126)(2-134)	(2-126)	(2-126) (2-41)	0,14	(2-126) (2-134)	1,70
(7-62)(7-107)(7-109)	(7-62)	(7-62) (7-107)	604,08	(7-62) (7-109)	541,94
(12-54)(12-63)(12-173)	(12-173)	(12-173) (12-54)	0,97	(12-173) (12-63)	18,66
(15-259)(15-276)(15-277)	(15-277)	(15-277) (15-276)	3,19	(15-277) (15-259)	0,16
(20-46)(20-58)(20-59)	(20-58)	(20-58) (20-59)	0,14	(20-58) (20-46)	0,06
(21-166)(21-167)(21-175)	(21-167)	(21-167) (21-166)	1,56	(21-167) (21-175)	1,55
(22-49)(22-79)(22-89)	(22-79)	(22-79) (22-89)	1,35	(22-79) (22-49)	0,48
(23-35)(23-36)(23-37)	(23-35)	(23-35) (23-36)	1,28	(23-35) (23-37)	0,34

A_{AN}: Aktarım noktası alanı; $A_{Aİ}$: aktarım istasyonu alanı

Çizelge 4. EİE Akım gözlem istasyonları aktarım noktaları

Akım Gözlem İstasyonu Grubu	Aktarım Noktası Seçilen İst.	1. Eşleştirme	$\frac{A_{AN}}{A_{Aİ}}$	2. Eşleştirme	$\frac{A_{AN}}{A_{Aİ}}$
(13-02)(13-38)(13-40)	(13-40)	(13-40) (13-02)	1,09	(13-40) (13-38)	20,74
(26-20)(26-27)(26-28)	(26-20)	(26-20) (26-27)	0,79	(26-20) (26-28)	18,43

A_{AN}: Aktarım noktası alanı; $A_{Aİ}$: aktarım istasyonu alanı

5. SONUÇLAR

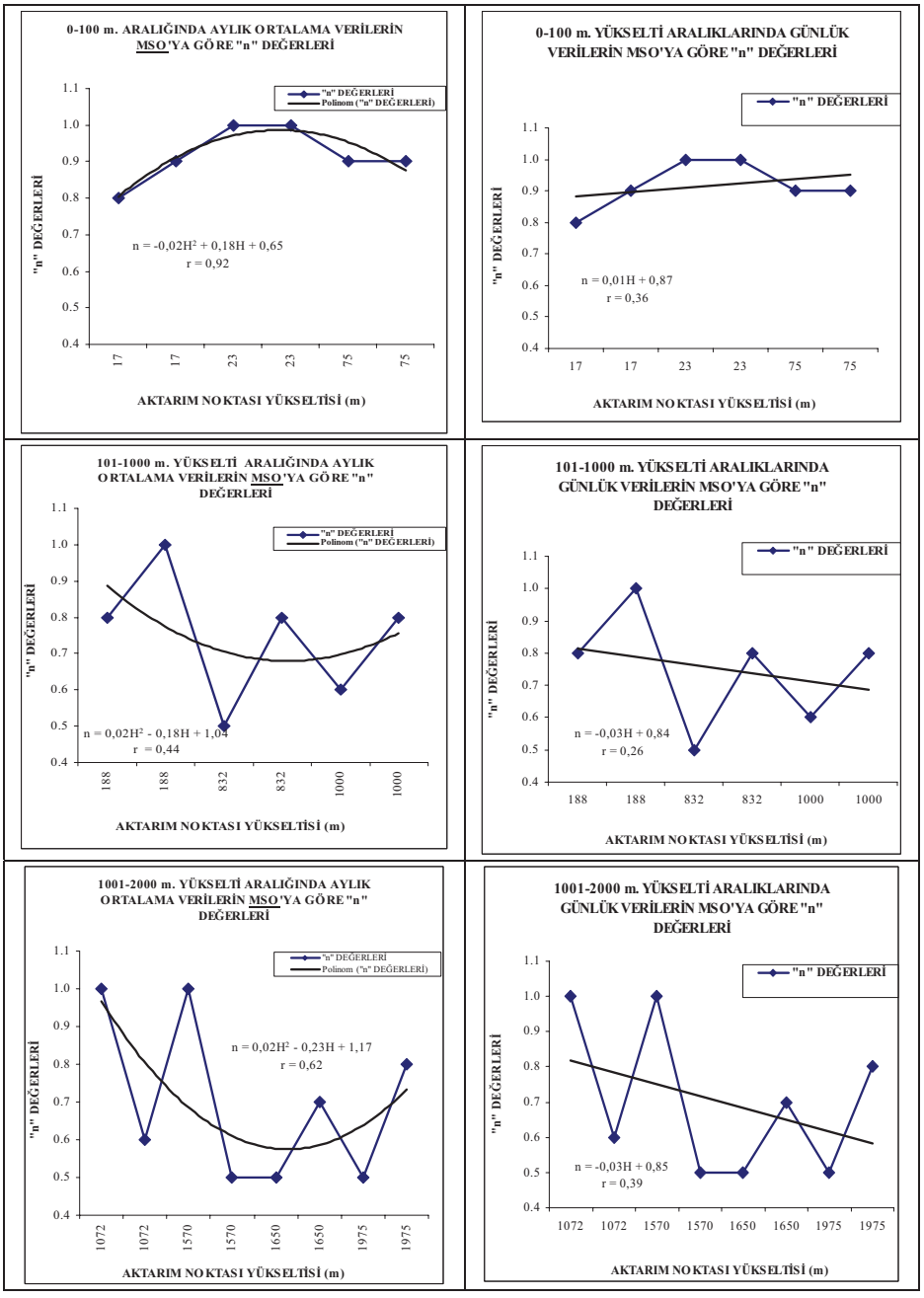
Tasarımlandırılan su yapısı yerine veri aktarımında, ülkemizde kullanılan aktarım yöntemi, alan oranlarına ve/veya bu oranın belli bir üssüne dayanmaktadır. Bu üs "n" ile gösterilirse, söz konusu "n" sayısının belli değerler arasında alınması önerilmektedir.

Doğal olarak, bu sayısının belirlenmesinde, çok farklı fiziksel parametreler devreye girmektedir. Bunlar arasında, zemin geçirgenliği, zeminin ıslaklığı, arazi eğim (leri), bitki örtüsü(leri) etkili parametrelerdendir. Ancak bunlar için çok emek isteyen fiziksel modellerin kurulması gerekir.

Literatürde, "n" üssünün belli değerler arasında (0,5-1,0 gibi) alınması öneriliyorsa da, bu değerin havza, alt havza ve/veya bölgelere göre belirlenmesinde yarar vardır. Son yıllarda özellikle büyük bir artış göstermiş küçük hidroelektrik santrallerin tasarımında temel girdiyi oluşturan hidrolojik çalışmalar kapsamında yer alan veri aktarımından da sorumlu olan Devlet Su İşleri (DSİ), bu katsayının her yerde "1,0" alınmasını önermektedir. Ancak literatürde yazılı bir kaynak ve/veya yapılmış özel bir çalışmaya rastlanmamıştır.

Böyle bir noktadan yola çıkılarak gerçekleştirilen bu çalışmada, aşağıdaki sonuçlara varılmıştır:

1.“n” üs sayısı, yükseltiye bağlı olarak ciddi değişiklik göstermektedir.
2. Günlük yerine aylık ortalama verilerle çalışmak daha güçlü bir bağımlılık sunmakta, dolayısıyla aktarım güvenliği artmaktadır. .
3. Polinomial ilişkiler doğrusal ilişkilerle karşılaştırıldığında, korelasyon katsayısı ciddi bir biçimde artış göstermektedir.
4. Yükselti- “n” arasında 2. mertebeden bir polinomun kullanılması, olayı yalnız başına belli oranda (% 40 ile % 100) simgelemektedir.
5. Komşu iki istasyondan yararlanarak veri aktarımı başarılı gözükmemektedir.
6. Veri aktarımı yapılacak istasyonun yeri ve konumu çok önemlidir. Her zaman yakın istasyon olumlu sonuç vermemektedir. Bazen akaçlama alanı oranı daha büyük istasyon aracılığıyla daha uygun veri aktarımı gerçekleşmektedir (bu durumun pınar ve/veya karst akımı katkısıyla ilişkilendirilebileceği düşünülmektedir).



Şekil 2. Aylık ortalama akışların "n" değerlerinin yükseltiye göre işlevsel değişimi

Şekil 3. Günlük ortalama akışların "n" değerlerinin yükseltiye göre işlevsel değişimi

Çizelge 5. Günlük ortalama akışların "n" değerlerinin yükseltiye göre doğrusal ve polinomial değişimi

GÜNLÜK AKIŞLAR		
n = f [Yükselti (H), Korelasyon Katsayısı (r)]		
Yükselti Aralığı (m)	MSO	
	Doğrusal	Polinomial
0-100	n = 0,01H+0,87 r = 0,36	n = -0,02H^2+0,18H+0,65 r = 0,92
101-1000	n = -0,03H+0,84 r = 0,26	n = 0,02H^2-0,18H+1,04 r = 0,44
1001-2000	n = -0,03H+0,85 r = 0,39	n = 0,02H^2-0,23H+1,17 r = 0,62
0-2000	n = -0,01H+0,92 r = 0,39	n = 0,0002H^2-0,01H+0,90 r = 0,39

Çizelge 6. Aylık ortalama akışların "n" değerlerinin yükseltiye göre doğrusal ve polinomial değişimi

AYLIK ORTALAMA AKIŞLAR		
n = f [Yükselti (H), Korelasyon Katsayısı (r)]		
Yükselti Aralığı (m)	MSO	
	Doğrusal	Polinomial
0-100	n = 0,01H+0,87 r = 0,36	n = -0,02H^2+0,18H+0,65 r = 0,92
101-1000	n = -0,03H+0,84 r = 0,26	n = 0,02H^2-0,18H+1,04 r = 0,44
1001-2000	n = -0,03H+0,85 r = 0,39	n = 0,02H^2-0,23H+1,17 r = 0,62
0-2000	n = -0,02H+0,95 r = 0,52	n = 2*10^{-5} H^2-0,02H+0,95 r = 0,52

6. KAYNAKLAR

1. BAYKAN (Cilasın), N., "Limanlarda Konteyner Sahalarının Planlaması ve Üst yapılarının Projelendirilmesi", Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Deniz Bilimleri ve Teknolojisi Enstitüsü, İzmir, 321s, 1997.

2. COFCOF, Ş., "Kanal Santrallarında Genel Boyutlandırma Esasları", Devlet su İşleri Genel Müdürlüğü Matbaası, Ankara, 84 s, 1993.

3. DSİ Akım Gözlem Yıllıkları, DSİ İdari ve Mali İşler Dairesi Başkanlığı Basım ve Foto-Film Şube Müdürlüğü, Ankara, (1960 ila 2001).

4. EİE Su Yılı Akım Değerleri, Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü, Ankara, (1954 ila 2000).

5. VISCHER, D., HUBER, A., "Wasserbau", ISBN 3-540-096663-9 2., veb. Aufl. Springer Verlag Berlin-Heidelberg-Newyork 217 S, 1979.

Sarnıçlar: KKTC'de Yoğunlaşacak Su Kıtlığına Karşı Alınacak Önlemlere Ne Ölçüde Katkıda Bulunabilir?

Gözen Elkıran[1], Ferhat Türkman[2]

Özet: KKTC'de 1960 yılından beri aşırı çekim yapılması nedeniyle kıyı şeridi akiferlerinde tuzlanama iç bölgelerdeki akiferlerde ise tamamen tükenme (kuruma) meydana gelmiştir. Bu sorunları aşmak veya azaltmak için hükümetler tarafından çeşitli önlemler denenmiştir. Bunlardan bazıları; içme suyunun haftada iki günde kullanıcıya verilmesi, Türkiye'den su ithali, sulama sistemlerinin modernleştirilmesi, kısmi atık sularının bahçe sulamalarında kullanılması olarak sıralanabilir.

Bu çalışmada yukarıda sıralanan nedenlerden ötürü su arzına katkıda bulunabilmek için bina çatılarından drenaj sistem ile yararlanılmadan uzaklaştırılan, niteliği içme suyu kalitesine yakın olacağı beklenilen suyun, sarnıçlar (depolar) ile derlenerek, zorunlu hallerde içme suyu olarak, diğer durumlarda kullanma veya sulama suyu olarak nasıl değerlendirilebileceği araştırılmıştır.

Girdi olarak rastgele davranış gösteren yağışlardan en etkin şekilde yararlanabilmek için uygun depolama hacimlerinin belirlenmesi, derlenen suyun en az kayıpla (depolardan savaklanma) değerlendirilebilmesi için çekim parterninin ne olması gerektiği, hangi çekim paterninde en çok suyun zamana en uzun süre ile yayılarak değerlendirilebileceği ve sistemin fizibilitesinin bir pilot tesis kurularak ve en az bir yağış sezonu boyunca işletilerek araştırması amaçlanmıştır.

Önemli sonuç olarak derlenen suyun birim maliyetinin 22,5 TL/ton gibi yüksek bir değer olduğu, bu suyun ancak içme suyu olarak kullanılabilmesi durumunda ekonomik olabileceği saptanmıştır.

Anahtar Sözcükler: Su kıtlığı, Sarnıçlar, KKTC

Cisterns: How They Can Contribute Against Increasing Trend of Water Shortage in TRNC?

Abstract: In TRNC, owing to the over extractions from the aquifers since 1960s,

[1]Lefke Avrupa Üniversitesi, , İne. Müh. Böl., Lefçe, KKTC, E-Posta: gelkiran@eul.edu.tr

[2]Lefke Avrupa Üniversitesi, , İnş. Müh. Böl., Lefke, KKTC, E-Posta: fturkman@eul.edu.tr

coastal aquifers are salinated and the interior ones are depleted. Several measurements were taken by the governments in order to overcome or reduce the salinization effect like; rationing the water to the users twice a week, water transportation form Turkey, modernization of irrigation system and reuse of partial institutional wastewater for irrigation of gardens.

In this study, following the foregoing reasons, the water at the rooftops of the buildings which is expected to be as near quality as potable water, however disposed away by a drainage system without any use has been searched in order how to be contributed to the water supply system by collecting them to the cesspools (water reservoirs) so that to be used as potable, utility or irrigation water.

The objective of this study is to find the most efficient way of how to benefit from the rainfall showing a random input by deciding on the reservoir volume of the cesspools, discharge pattern and the maximum retention time with an installation of pilot system and operating a hydrologic year in extend.

As an important account it is realized that the unit prize of the collected water is about 22,5 TL/ton which is uneconomic unless to be used as drinking water.

Keywords: Water shortage, Cisterns, TRNC

1. AMAÇ

Bu çalışmada bina çatılarından drenaj sistem ile yararlanılmadan uzaklaştırılan, niteliği içme suyu kalitesine yakın olacağı beklenilen suyun, sarnıçlar (depolar) ile derlenerek, zorunlu hallerde içme suyu olarak, diğer durumlarda kullanma veya sulama suyu olarak nasıl değerlendirile bileceği araştırılacaktır.

Girdi olarak rastgele davranış gösteren yağışlardan en etkin şekilde yararlanabilmek için uygun depolama hacimlerinin belirlenmesi, derlenen suyun en az kayıpla (depolardan savaklanma) değerlendirile bilmesi için çekim paterninin ne olması gerektiği , hangi çekim paterninde en çok suyun zamana en uzun sure ile yayılarak değerlendirilebileceği ve sistemin fizibilitesinin bir pilot tesis kurularak ve en az bir yağış sezonu boyunca işletilerek araştırması amaçlanmıştır.

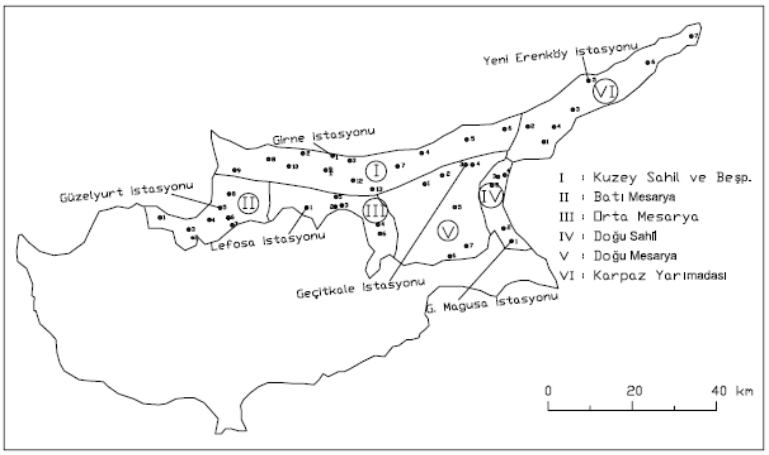
2. ÇALIŞMA BÖLGESİNİN TANITIMI, METEOROLOJİK VERİLER VE PROJENİN GEREKÇESİ

2.1 Çalışma Bölgesinin Tanıtımı

Kuzey Kıbrıs Türk Cumhuriyeti (KKTC) 9251 km^2 olan Kıbrıs adasının 3355 km^2 alanı ile yaklaşık 3'te birini teşkil etmektedir. Bu alanı 1870 km^2'si (%57) tarım alanı niteliğinde olup 87 km^2 si sulanabilir niteliktedir. Ülkede 643 km^2 orman alanı ve 163 km^2 mera bulunmakta, yerleşim alanları hazne alanları ve akış yatakları toplamı ise 368 km^2' yi bulmaktadır (Elkıran, 2006).

KKTC Şekil 1 de belirtildiği gibi 6 meteorolojik bölge olarak gruplandırılmıştır. Her grupta farklı tarihlerde gözlemlere başlamış (ilk 1975 yılında) değişik sayıda (en az 5) meteorolojik istasyonu bulunmaktadır (Göymen, 2003a).

Kış aylarında artan yağışlar bu altı meteorolojik bölgede farklılıklar göstermekte en yüksek yıllık ortalama yağış 456,6 mm/yıl ile Güney Sahil bölgelerinde en düşük yıllık ortalama yağış ise 294,7 mm/yıl ile Orta Meserya bölgesinde oluşmuştur. KKTC ortalaması ise 373,3 mm/yıl'dır. Su bütçesinin önemli bir unsuru olan sıcaklık değerleri de yukarıda tanımlanan meteorolojik bölgelerde büyük olmayan farklılıklar göstermekte yaz ayları ortalaması 25-30 C, diğer ayların ortalaması 10-15 C arasında bulunmakta, aylık buharlaşma miktarları ise yaz aylarında 10-12 mm/ay gibi yüksek değerlere ulaşmakta, yıllık ortalamanın %80'ine karşı gelmektedir (Göymen, 2003b).



Şekil 1. KKTC Meteorolojik Bölgeler Haritası

KKTC doğal olarak nitelendirilebilecek su kıtlığı çekmekte küresel ısınma ve iklim değişikliklerinin Akdeniz havzasını daha yoğun etkileyebileceği kestirildiğinden bu sıkıntının daha da artması beklenmektedir (Demitriou and Georgiou, 2004).

Kıbrıs'ta su sıkıntısı 1950'lerden itibaren ülkenin gelişen nüfusu, hayvancılık sektöründeki artış, üniversite öğrenci sayısının sürekli artması, turizm sektöründeki ihtiyacın her yıl büyümesi, tarımsal ürünlere olan gereksinimin artması, sulama sistemlerinin modernleşmesinin tam anlamıyla gerçekleşememesi, oldukça eski olan şebeke borularındaki kayıpların %30-60 arasında seyretmesi nedeniyle gün be gün suya olan ihtiyacı daha da artırmıştır (Charalambous, 2001; Mollaoğlu, 1985). Yarı kurak olan KKTC'de gereksinim duyulan su miktarını karşılamak için, mevcut akiferlerden, güvenli çekimin çok ötesinde kontrolsüz çekim yapılmış ve bu nedenle adanın iki büyük kıyı akiferinde deniz suyu etkileşimi gözlemlenmiştir. Devamlı akan dereler bulunmadığından, ihtiyaç duyulan su miktarı sınırlı potansiyele sahip yeraltı suyu kaynaklarından yararlanarak karşılanmaya çalışılmış ve bunun neticesinde kıyı akiferlerdeki açıklar daha da büyümüş ve yer yeraltı su deniz seviyesinin 45 m altına düşmüştür (Mollaoğlu, 1985). Buna paralel olarak iç bölgelerde bulunan akiferler de

tamamen kurumaya yüz tutmuştur. Yeraltı sularının kontrolü bir şekilde kullanılmaması kıyı akiferlerindeki tuz konsantrasyonunun 5000 ppm değerine kadar ulaşmasına neden olmuş ve akiferlerin içme ve kullanma suyu kalitesinin düşmesine ve netice olarak da küçük boyutlu içme suyu arıtma tesislerinin oluşmasına sebebiyet vermiştir (Günyaktı ve Ergil, 2002). Yıllar boyu deniz suyu girişine maruz kalan Gazi Mağusa akiferi 1960´lı yıllardan itibaren tamamen tuzlanmış ve şu an kullanım dışı kalmıştır. Bu nedenle Gazi Mağusa ile Başkent Lefkoşa'nın su ihtiyacını karşılamak amacıyla KKTC'nin en büyük akiferinin bulunduğu Güzelyurt şehri ile Lefkoşa arasına su iletim hattı döşenmiş ve yılda 4 milyon metre küp su bu isale hattından pompalanmıştır. Akiferden çekilen su miktarı artan ihtiyacı karşılamak için yıllar bazında paralel olarak artmış ve bu akiferde tuzlanmanın yanında bölgesel kurumalara sebebiyet vermiştir. Ayrıca, Güzelyurt akiferinde çekilen suyun kalitesinin giderek düşmesi narenciye ağırlıklı tarım bitkilerindeki verimin düşmesine neden olmuştur. Üretimdeki verimin yetersiz sulamadan kaynaklandığına inanan çiftçilerimiz suyu daha fazla çekerek tarımsal alanları sulamışlar ve daha büyük açıklara ve neticesinde deniz suyu girişimine sebebiyet vermişlerdir (Elkıran, 2006). Akiferlerdeki açıkları azaltmak ve ülke su ihtiyacına daha fazla cevap verebilmek için çeşitli çalışmalar yapılmıştır. TC hükümetinin mali ve teknik yardımıyla, yüzey sularının denize akışını önleyerek depolayıp sulu tarımda kullanılmasını sağlamak ve sızma yoluyla bazı küçük akiferleri beslemek amacıyla çeşitli bölgelere göletler yapılmıştır. Bunlar 2005 yılı itibariyle 41 adet olup, sadece 18'i sulama amaçlı kullanılmaktadır. Ancak, bu göletlerden 4'ü sağanak yağışlardan dolayı havzanın erozyona uğraması nedeniyle kısmen dolmuştur. Ayrıca, Lefke bölgesinde denize boşalan mevsimsel akışlı ırmaklardan faydalanmak için inşa edilen iki adet regülatör, bu suyun Güzelyurt barajına ulaştırılmasını sağlamıştır. Bu amaçla kazanılan kanal güzergâhı boyunca sızmaya olanak vermekte ve akifer beslenmektedir. Kanal yağışlı yılarda ortalama 8-10 milyon metreküp su drene edilmektedir. Ancak ülkedeki buharlaşma oranının %85'lere varması neticesinde bazı yıllarda bu akımlar Güzelyurt barajına ulaşmamaktadır. Tarım alanlarındaki çekimleri azaltmak için yine TC hükümetinin de yardımı ile 1997 yılında Tarım Bakanlığının kontrolünde Sulama Sistemleri Modernizasyonu projesi başlatılmış ve toplam 1400 hektar alanın damla sulama yöntemine uyumlu hale getirilmesi sağlanmıştır. Bu amaçla çiftçiler sübvanse edilerek teşvik edilmiştir. Netice itibariyle salma sulama yöntemiyle sulanan tarım alanlarının modernize edilmesiyle tarımsal alan sulamasında yaklaşık %35 tasarruf sağlanması öngörülmüştür. Günümüz itibariyle bu modernleşme henüz tamamlanmamış ve yapılan çalışmalarda 20 ile 25 milyon metreküp su kaybını sadece bu gecikmelerden kaynaklandığını hesaplamıştır (Öztürk, 1995; Elkıran, 2006).

Büyüyen su açığını azaltmak amacıyla Türkiye'nin Anamur kentinden gemilerle çekilen ve hacimleri 10.000 ile 30.000 arasında değişen su üstünde yüzebilen balonlarla ülkeler arası su taşımacılığı devreye sokulmuştur. Bu amaçla yılda 5 milyon metreküp suyun şehir şebekelerine pompalanabileceği varsayılmış, ancak, suyun bu yolla ithali 1998-2002 arasında 4,5 milyon metreküple sınırlı kalmış ve başarısız bulunarak bu yöntem terk edilmiştir (Elkıran, 2006).

Turizm sektörüne yeterli su sağlanmaması sektörü bireysel bazda çözümler bulmaya itmiş ve deniz suyunun arıtılması yolu kıyı bölgelerde denenmiştir. Bu yolla şehir suyu şebekelerindeki yetersiz su miktarı bireysel bazda takviye edilip kullanıcıları rahatlatma sağlanmıştır (Elkıran, 2006).

Ülkede atık suyun arıtılması üç merkezi tesiste yapılmakta ve yaklaşık olarak 3,5 milyon metreküp su arıtılmaktadır. Ancak bu suların kullanımı halk arasında kabul görmediği için atıl durumdadır. KKTC'de yağış oranlarının yıllar bazında azaldığı ve bölgeler bazında da değişkenlik gösterdiği düşünüldüğünde, iyi bir yönetimi ve planlamasına ihtiyaç duyulmaktadır (Öztürk, 1995).

Ülkedeki mevcut su açığı ile ilgili olarak çeşitli bilgiler literatürlerimizde bulunmaktadır. 1984 ile 1995 yıları arasında bu açık 20 milyon metreküp daha sonraları ise 28 milyon metreküp olarak kestirilmiştir (Mollaoğlu, 1985; Öztürk, 1995).

2.2 Meteorolojik Veriler

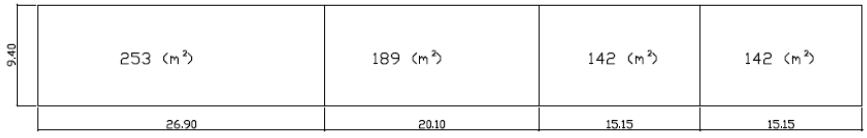
Çalışma bölgesi Lefke yakınlarındaki Gemikonağı bölgesinde bulunan Lefke Avrupa Üniversitesi kampüsüdür. Bölgenin içinde bulunduğu yağış meteoroloji istasyonu; Batı Mesarya'dır. Bu coğrafi bölgenin gözlemleri çalışma bölgesini en iyi temsil edecek veriler olarak kabul edilmiştir. Sıcaklık verileri olarak Güzelyurt bölgesi verileri bölgeye uygun olduğu düşünülmüştür (Göymen, 2003a, b).

Ek1'de 1975-2001 gözlem süresi içinde ölçülen aylık ortalama sıcaklık değerleri verilmiştir. Ek 2 ve 3'de sırasıyla Batı Mesarya meteoroloji istasyonunda ölçülen aylık ortalama buharlaşma ve nispi nem değerleri verilmektedir. Ek 4'te 1975-2001 yılları arasında Batı Mesarya Bölgesinde gözlemlenen ortama yağış değerleri verilmiştir (Göymen, 2003a, b).

3. SARNIÇ SİSTEMİNİN TANITMASI

Yağmur suyunun depolanması uygulaması için Lefke Avrupa Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi binasının çatısı uygun görülmüş, kiremit bulunmayan düz bir şekilde tertiplenmiş bulunan çatının yağmur suyu toplama alanı olarak uygun özelikler gösterdiği düşünülmüştür.

Boyutları 9,40*74,6= 701,2 m^2 olan çatının, üzerinde bulunan ayrımlar ve daha sonra yapılan bir ayırım ile Şekil 1 de tanımlandığı gibi 4 su toplama alanına dönüştürülmüştür.



Şekil 2. Seçilen binaya ait çatı görünüşü ve bölümleri

Her su toplama alanı drenajı için gerekli boru sistemi değişiklikleri yapılarak, her toplama alanı için zeminde 1135 LT kapasiteli 4 su tankı oluşturulmuştur ve akışlar bu tanklara depolanmıştır. Şekil 3'de su takı ve teçhizatı. Şekil 4'de ise drenaj alanı olarak kullanılan çatı görüntüsü verilmektedir.



Şekil 3. Projeye ait su tankları ve teçhizatı



Şekil 4. Drenaj alanı olarak kullanılan çatı görünüşü

T1, T2, T3, ve T4 olarak isimlendirilen su tanklarının su toplama alanları sırası ile 253, 189, 142 ve 142 m^2 olmuştur.

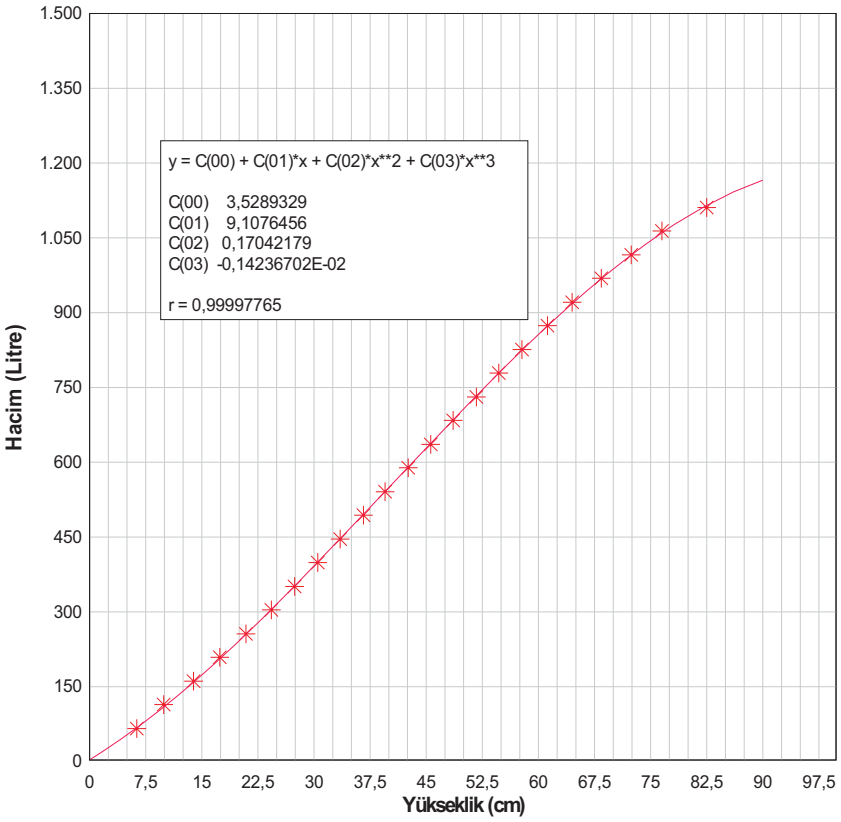
Su tanklarında toplanacak yağmur suyu miktarını belirleye bilmek için önce su tankları doldurulmuş ve kontrolü şekilde boşaltılarak tankların hacim-seviye ve seviye-hacim ilişkileri Şekil 5'te gösterildiği gibi belirlenmiş ve tank tahliyesinin yanına iliştirilerek, tanktan yapılacak su çekimlerinin belirlenmesi sağlanmıştır.

4. YAĞIŞ MEVSİMİ ÖNCESİ HAZIRLIK ÇALIŞMASI

Ön hazırlık olarak tanklara 4 farklı drenaj alanından toplanabilecek su miktarı yağış-akış katsayı 0,7 kabul edilerek 1975-2001 yılı yağış gözlemlerinin

a) aylık ortalama değerleri
b) aylık minimum değerleri
c) aylık maksimum değerleri

kullanılarak su toplama alanlarından gelecek su miktarı belirlenmiş, Ripple eğrisi olarak ifade edilmiştir (Öziş, 1983). Şekil 6'da bu çalışma örneği verilmiştir.



Şekil 5. Tankların seviye-hacim ilişkileri

5. ÇEKİM PATERNİNİN BELİRLENMESİ

Haznelerinin sağlayacağı suyun içme ve kullanma suyu olarak kullanılacağı varsayımı ile ve depo kapasiteleri göz önüne alınarak, İller Bankası yönetmeliğince nüfusu 3000 den az olan yerleşim bölgeleri için verilen 60 lt/gün /kişi miktarı esas alınmıştır. Çekimlerin her gün yapılması pratikte getireceği zorluk nedeni ile depoların haftada bir boşaltılması dolayısıyla 60 *7 = 420 l/hafta su çekimi yapılması planlanmıştır.

T1……..420 l / hafta
T2……..210 l / hafta
T3……..105 l / hafta
T4…….. depo mevcudunun yarısı

olarak belirlenen çekim paterni tankların su toplama alanları oranları oranında göz önüne alınarak aişağıda verildiği gibi belirlenmiştir

T1 …….. 420 l/ hafta
T2……...(420*0,5)*(189/253)= 160 l/ hafta
T3……...(420*0,25)*(142/253) 60 l/hafta

Bu arada amaç bir kişinin iller Bankası yönetmeliğine göre günlük düşük su ihtiyacı olan 60 l/gün'e karşılık gelen haftalık 420 l/haftanın temin edilmesi diğer depolarda ise sırasıyla gerektiren şartlarda bu ihtiyacın %50 si ve %25 i nin temin edilmesi ve bu sürenin ne kadar olabileceğinin belirlenmesi olmuştur. T4 deposu ise yağış-akış katsayısının kestirilebilmesi amacıyla işletilmiştir.

6. YAĞIŞ DÖNEMİ ÇALIŞMALARI

Yağış dönemi çalışmaları 2009 Şubat ayının ilk haftasında başlatılabilmiştir; ilk hafta yağışlar ile depolar tam dolmuş ve yetersiz kaldıklarından belirlenemeyen miktarda su depolardan savaklanmıştır; ekip arasında yanlış anlaşılma nedeniyle ilk hafta belirtilen suyun tamamı boşaltılmış, amaca yönelik çalışmalar şubat ayının 2'nci haftasından itibaren başlatılmıştır. Çekim paternine bağlı olarak işletim Mayıs ve Temmuz aylarına kadar devam ettirilmiştir.

T1 deposunda çekim patternine sağlayan 10 hafta, kısmı sağlayan 3 hafta ve hiç sağlamayan 3 hafta gözlenmiş ve toplam 5050 l su çekim amacına uygun olarak derlenmiştir. T2 deposunda ise sırası ile çekim planına uygun olarak Temmuz ayının ilk haftasına kadar 3200 l; T3 deposunda ise Temmuz un ikinci haftasına dek toplam 1320 l su derlenmiştir.

Depodaki mevcut suyun yarısını çekmek şeklinde planlanan T4 deposunda ise 5900 l su derlenmiştir.

Bu gözlemler yapılırken çatıya düşen yağış miktarı; çatıya konan bir kaba biriken suyun ölçümü ile belirlenemeye çalışılmış ancak standart dışı toplama kaplar nedeni ile düşük güvenlikli gözlemler olmuştur. Dolayısıyla amaçlanan çatının yağış-akış katsayısının belirlenmesi mümkün olmamıştır.

7.YAĞMUR SUYU DERLEMENİN EKONOMİSİ

Su depolama maliyeti depo ayakları ve gerekli tahliye vanası montajı ile beraber 700 TL olarak gerçekleşmiş, yılık geçerli faiz oranı %10 depoların ekonomik ömrü 10 yıl alındığında bir deponun yıllık işletme gideri,

$$(700) * ((0,1 * (1 + 0,1)^{10}) / ((1 + 0,1)^{10}) - 1) = 114 \quad \text{TL/yıl}$$

olarak belirlenmiştir. Bu değer ile kontrolü olarak çekilen suyun maliyeti TL için 114TL/5050 =22,5 TL/ton olarak belirlenmiş mevcut suyun yarısı çekilecek işletilen T4 deposunda ise 114TL/5900 = 19,3 TL/ton maliyet oluşmuştur.

Bu maliyet değerleri ters ozmos ile deniz suyundan tatlı su eldesi yaklaşık maliyeti 1,5TL/ton göz önüne alındığında kabul edilmeyecek kadar yüksek olmakta; ticari olarak damacana içinde satılan içme suyunun fiyatı ile (yaklaşık 200TL/ton) karşılaştırıldığında ise makul bir seviyede kalmıştır.

8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yağmur suyunun çatılardan derlenerek su bütçesine katkısının ne olabileceğini inceleme amacı taşıyan bu çalışmada aşağıda sıralanan bulgulara ulaşılmış; başlangıçtaki beklentilerin pratikte ne ölçüde ne ölçüde gerçekleştiği üstüne yorumlar yapılmış ve daha ilerde bu konuda yapılması uygun olacak çalışmalar önerilmiştir.

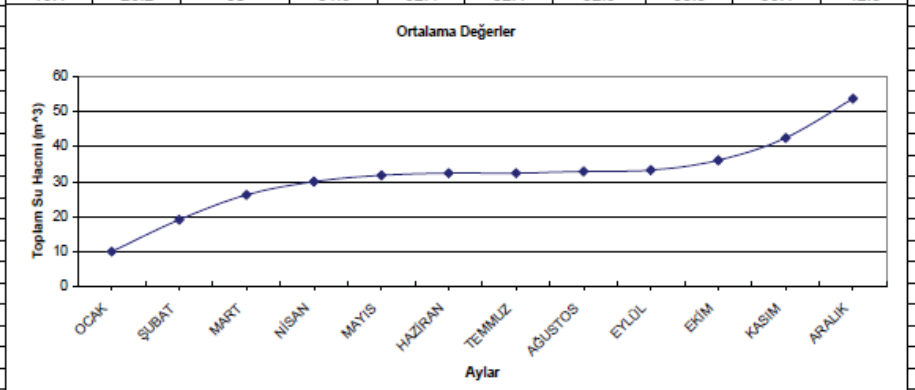
a) Bu çalışmada ve baştan karar verilen çekim paterni kullanılarak net olarak elde edilen su esas alınmıştır. Depoların taşmasına izin verilmiş uygulama esnasında yapılan yanlış çekimler, su kaçakları genel denetlenemeyen kayıplar olarak kabul edilmiştir.

Net derlenen suyun birim maliyeti sistem amortismanına bölümü sonucu çekim paternine bağlı olarak 22,5 TL/ton ile 19,3TL/ton olarak ölçülmüştür. Çok yüksek olan bu maliyet, derlenen suyun ancak içme suyu kalitesinde olması halinde makul karşılana bilir.

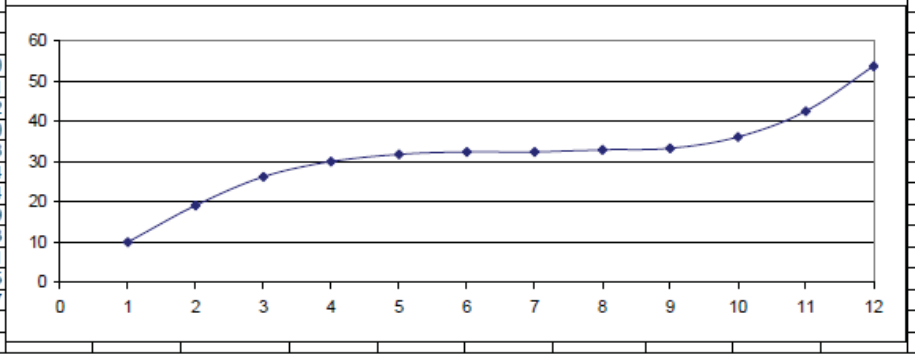
b) Dönem içinde düşen yağışın ölçülmesi ve çatıda oluşan akış-yağış katsayısının belirlenmesi amacı başarısızlık ile sonuçlanmıştır. Yağış gözlemlerinin yakında bulunan meteoroloji istasyonunda eldesi, her ne kadar yağışlar kısa mesafelerde büyük farklılıklar gösterse de standart ölçüm cihazları kullanıldığı için, daha sağlıklı olabileceği kanısı uyanmıştır.

c) Yağış verilerinin eldesi, en uzun süreli ve en çok su eldesi için hangi çekim paterninin benimsenmesi uygun olabileceği ve bölge için en uygun depolama hacminin (metreküp/metrekare) ne olması gerektiğinin incelenmesi yerinde olacaktır.

	OCAK	ŞUBAT	MART	NİSAN	MAYIS	HAZİRAN	TEMMUZ	AĞUSTOS	EYLÜL	EKİM	KASIM	ARALIK
	alan=	253	0.7	YagAkis Kat								
Ort	10	9.1	7.1	3.8	1.8	0.6	0	0.5	0.4	2.8	6.4	11.2
Cum	10	19.1	26.2	30	31.8	32.4	32.4	32.9	33.3	36.1	42.5	53.7



OCAK	10
ŞUBAT	19.1
MART	26.2
NİSAN	30
MAYIS	31.8
HAZİRAN	32.4
TEMMUZ	32.4
AĞUSTOS	32.9
EYLÜL	33.3
EKİM	36.1
KASIM	42.5
ARALIK	53.7



Şekil 6. Yağış gözlemlerinin aylık ortalama değerleri

d) Su niteliği konusunda da araştırma yapılması, depolanan suyun içme suyu standartları ile kıyaslanması, depolanma süresi içinde oluşacak nitelik değişikliklerinin incelenmesi ve suyu içme suyun standartlarına ulaştırılması için ne gibi işlemler yapılması gerektirdiği ve bunların ekonomik analizi uygun gelecek çalışma konuları olarak önerilmektedir.

e) Sistem kampus içinde öğrencilere acık bir alanda kurulması ilgi çekmiş öğrenciler su kıtlığı ve yeni su kaynaklarının oluşturulması zorunluluğu üzerinde bilgilenmenin yanı sıra suyun israf edilmeyecek kadar kıymetli bir varlık olduğu konusunda bilinçlenmişlerdir.

KAYNAKLAR

Elkiran G, "Integrated water resources planning and management of TRNC", G. Magosa, Ph.D. thesis in civil Engineering, Eastern Mediterranean University, 2006

Charalambous C. N, "Water management under drought conditions", Desalination and Environment: Water shortage, Cyprus, 3-6, 2001

Demitriou C. and Georgiou A, "Management of groundwater resources in Cyprus. Harmonization with the EU water framework directive", Integrated water resources management, BALWOIS 2004, Macedonia, 2004,
Goymen H, "Meteorolojik bilgi hk.", Report (no. M9/03/2), Bayındırlık ve Ulaştırma Bakanlığı, Meteoroloji Dairesi, KKTC, 2003a

Goymen H, "Meteorolojik bilgi hk.", Report (no. M9/03/100), Bayındırlık ve Ulaştırma Bakanlığı, Meteoroloji Dairesi, TRNC. , 2003b

Gunyakti A. and Ergil M, "KKTC Yağışları ve Bu Yağışlara Bağlı Su Sorunları", Çağdaş Kentler ve Yerel Yönetimler Sempozyumu, TRNC, 2002

Mollaoglu G, "Kuzey Kıbrıs'ın Doğal kaynakları", Su Kongresi, KTMMOB, KKTC, 9-20, 1985

Öztürk S, "KKTC' nin bugünkü su durumu", Su Kongresi, KTMMOB, KKTC, 1995

Öziş Ü, "Su Yapıları", İzmir, Ege Üniversitesi matbaası, 1983

Koontz N. et al, "Rainwater harvesting System; Operating instructions and Manual, USA, 2005

"Rainwater Harvesting; Harvesting, conserving and managing rainwater", http://www.gdrc.org/uem/water/rainwater/

"Rainwater Harvesting", http://rainwaterharvesting.tamu.edu/

Kuzey Ege Bölgesi için Meteorolojik Kuraklık Analizi

Ülker Güner Bacanlı[1], Fatih Dikbaş[2], Türkay Baran[3]

Özet: Ekolojik dengenin hızla bozulmasına yol açan, hızla afete dönüşme potansiyeli taşıyan kuraklık, dünya üzerinde her yıl binlerce ölüme ve milyonlarca dolar zarara sebep olmaktadır. Kuraklık, iklim ve bölgesel özellikleri içeren pek çok faktöre bağlı olduğundan tanımlanması zor ve halen tartışmalıdır. Kuraklığı saptamak için pek çok farklı ölçüt kullanılmaktadır. Kuraklık ülkemizde de en zararlı, ancak en az anlaşılan doğal afetlerdendir. Sunulan çalışmada, Kuzey Ege Bölgesi'nde kuraklık indisleri incelenmiştir. Bu amaçla, bölgede yer alan 30 meteoroloji istasyonuna ait uzun süreli yağış ve sıcaklık gözlemleri değerlendirilmiştir. Kuraklık analizi, Palmer kuraklık şiddeti ve Erinç indisi, De Martonne yöntemi gibi yaygın olarak kullanılan yöntemlerle değerlendirilmiştir. Araştırma sonucunda Kuzey Ege Bölgesi için geçerli kuraklık parametreleri belirlenerek bu konudaki bilgi ve veri eksikliği giderilmiş; kurak - sulak dönemlerin dağılımı, aylık zaman ölçeğinde araştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Kuraklık; Palmer Kuraklık Şiddet İndisi; De Martonne Yöntemi; Erinc Yöntemi; Kuzey Ege Bölgesi

Meteorological Drought Analysis for North Aegean Region

Abstract: Drought causes a rapid disturbance in ecological balance, it has a potential of transforming into a catastrophe and results with the deaths of thousands of people and loss of millions of dollars. As drought is related with many factors like climate and regional properties, definition of it is hard and still in debate.Many different measures are used to determine drought. In our country, drought is one of the most harmful but the least understood natural disasters. In the presented study, the drought indices of Northern Aegean Region is investigated. For this purpose, long term precipitation and temperature observations of 30 meteorological stations located in the region are evaluated. Drought analysis is performed by applying the widely used methods like Palmer Drought Severity Index, Erinç Index and De Martonne Method. As a result of the study, the valid drought parameters for the Northern Aegean Region are determined

[1] Pamukkale Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Denizli
E-Posta: ugbacanli@pau.edu.tr; Tel: (258) 296-3390
[2] Pamukkale Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Denizli
E-Posta: f_dikbas@pau.edu.tr
[3] Dokuz Eylül Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İzmir
E-Posta: turkay.baran@deu.edu.tr

and the lack of information and data on this subject is fulfilled; the distribution of drought - wet periods is investigated in monthly scale.

Keywords: Drought; Palmer Drought Severity Index; De Martonne Method; Erinç Method; Northern Aegean Region

1. GİRİŞ

Kuraklık, su mühendisliği sistemlerinin planlama, tasarım ve işletme aşamalarından; tarıma pek çok alanda hayati önem taşımaktadır. Hayatımızın her alanında bu kadar önem taşıyan kuraklığın ortaya konulması da son derece önem taşımaktadır.

Kuraklık, belirli bir bölgede ve belirli bir zaman aralığında, genellikle yağış miktarındaki azalma ile başlayan ve yüksek sıcaklık, yüksek rüzgar hızı, düşük nem oranı gibi diğer iklimsel faktörlerin etkileri ile şiddetlenen, canlı yaşamı ve ekonomisi için olumsuz etkilere sahip önemli bir doğal afettir (Sırdaş ve Şen, 2003). Bu kadar önemli ve etkili bir sorun olan kuraklığın, her koşulda ve disiplinde geçerli olabilecek kesin bir tanımı yapılmamıştır. Yapılan tanımlar meteorolojik, hidrolojik, tarımsal, coğrafi veya endüstriyel, enerji üretimi, su temini, denizcilik, mesire yerleri bakımından kuraklığı açıklamaktadır.

Kuraklığın taşıdığı tehlikelere karşı önlemler alabilmek için, kuraklığı ayrıntılı inceleme yöntemleri ile belirlemek ve izlemek gerekmektedir. Araştırmacılar geçmişten günümüze kuraklığı ortaya koymak ve aralarındaki ilişkileri belirlemek için, De Martonne, Thornthwaite, Palmer kuraklık şiddeti indisi, Thornthwaite gidişler analizi, istatistiksel ve stokastik yöntemler gibi çeşitli yöntemleri kullanarak çok çeşitli kuraklık analizi yapmışlardır.

Bu çalışmada Kuzey Ege bölgesinde, Devlet Meteoroloji İşleri tarafından işletilmekte olan, uzun süreli yağış ve sıcaklık gözlemlerine sahip 30 istasyonun verileri değerlendirilmiştir. Çalışmada, Palmer kuraklık şiddeti, Erinç indisi, De Martonne yöntemi gibi yaygın olarak kullanılan yöntemlerle kuraklık analizi yapılmıştır.

2. YÖNTEM

Sunulan çalışmanın yapılması sırasında, ülkemizde de bazı bölgelerde uygulanmış yöntemlerden Palmer Kuraklık Şiddeti İndisi, Erinç İndisi, De Martonne Yöntemlerinden yararlanılmıştır.

2.1. Palmer Kuraklık Şiddet İndisi

Palmer Kuraklık Şiddeti İndisi, Wayne Palmer (1960) tarafından aylık ortalama yağış ve sıcaklık verilerini kullanarak, hidrolojik kuraklığı incelemek üzere önerilmiştir. Palmer, bir yerin kuraklık ölçüsünü ifade ederken, hesaplanan kuraklık şiddeti indisinin aldığı değeri dikkate almaktadır. Hesaplanan kuraklık şiddeti indisinin değerlendirme biçimi Çizelge1'de (Karl, 1986) sunulmuştur.

Çizelge 1. Palmer Kuraklık Şiddet İndisine Göre Kurak ve Nemli Dönemlerin Sınıflandırılması

P.K.Ş.İ.	SINIFI	P.K.Ş.İ.	SINIFI
≥ 4.00	Aşırı nemli	(-1.50)-(-2.99))	Orta kurak
3.00-3.99	Çok nemli	(-3.00)-(-3.99)	Çok kurak
1.50-2.99	Orta nemli	≤ -4.00	Aşırı kurak
(-1.49)-(1.49)	Normale yakın nemli		

PKŞİ'nin hesaplanmasındaki ilk adım, uzun süreli aylık yağış ve sıcaklık verilerini girdi olarak kullanarak iklimsel su dengesinin saptanmasıdır. Palmer, toprağı subjektif olarak tanımlanan iki tabakaya ayırarak, nem biriktirme yapısını tanımlamaya yarayan ampirik bir yaklaşım kullanmaktadır. Yüzeysel toprak olarak adlandırılan üst tabaka neminin 25 mm olduğu varsayılmaktadır. Bu tabaka yağmurun düştüğü ve buharlaşmanın oluştuğu tabakadır. Üst tabakadaki buharlaşma kaybının potansiyel düzeyde oluştuğu varsayılmaktadır. Yüzeysel tabakadaki nem sürekli olarak doygun kaldığı ya da tümüyle buharlaştığı sürece alt tabakada herhangi bir değişiklik olmamaktadır. Su gereksinmesinin karşılanması için sırasıyla, önce potansiyel evapotranspirasyonun (PE) gerçekleşmesi, sonra toprağın doygun hale gelmesi gerekecektir. Yüzeysel akış daha sonra oluşacaktır (Alley, 1984; Dalezıos v.d. 1991; Güner, 1996; Johnson ve Kohne, 1993; Karl, 1986).

Palmer yönteminde, Thornthwaite ile hesaplanan potansiyel evapotranspirasyonu dikkate alınmaktadır. Kuraklık şiddetinin belirlenmesi için, önce akışın toprakta meydana gelen evaporasyon ve evapotranspirasyon kayıplarının aylık ortalamalarının potansiyel değerlerine olan oranlarından katsayılar türetilmektedir. Hesaplanan bu katsayılardan CAFEC (Mevcut Koşullar için İklimsel Uygunluk Değerleri) yağışı olarak tanımlanan değer belirlenmekte; CAFEC yağışıyla gerçek yağış farkına göre bir dizi ampirik denklem kullanılarak kuraklığın şiddeti belirlenmektedir.

Palmer Kuraklık Şiddeti İndisi'nin aylık değerlerini hesaplamadan önce, su denge modelinin normal seviyelere yönelik kalibrasyonları yapılmalıdır. Proje kapsamında yapılan kalibrasyonda, gözlenmiş yağış ve sıcaklık değerleri (uzun süreli), bölge için türetilmiş olan iklimsel parametreler ve katsayılar kullanılmıştır. Aşağıda ifadeleri verilen dört katsayı 1 denklemi ile potansiyel dört terim olan PE, PR, PRO ve PL kullanılarak hesaplanmıştır:

$$a_j = \frac{ET_j}{PET_j}, \quad b_j = \frac{R_j}{PR_j}, \quad c_j = \frac{RO_j}{PRO_j}, \quad d_j = \frac{L_j}{PL_j} \tag{1}$$

İfadelerde yer alan ET_j, ve PET_j, sırasıyla j ayı için evapotranspirasyon ve potansiyel evapotranspirasyon ortalaması; R_j, ve PR_j , sırasıyla j ayı için toprak su dolumu ve potansiyel toprak su dolumu ortalaması; RO_j, ve PRO_j, sırasıyla j ayı için akış ve potansiyel akış ortalaması; L_j ve PL_j ise sırasıyla j ayı için topraktan kaybolan su miktarı ve topraktaki su miktarının potansiyel kaybının ortalamasıdır.

Türetilen katsayılar, ilgili aydaki normal hava için gerekli nem miktarını tanımlamaya yönelik olarak, zaman serilerini yeniden analiz etme amacıyla kullanılmıştır. Hesaplanan CAFEC değerleri (") simgesiyle gösterilmiştir. Örneğin, j ayı için ETj' nin CAFEC değeri; $ET_j^{"}$ = aj * PEj olmak üzere, P_j mevcut koşullar için CAFEC yağış değeri:

$$P_J = (a_j * PE) + (b_j * PR) + (c_j * PRO) - (d_j * PL) \quad (2)$$

ifadesiyle hesaplanmıştır. Her bir ay için, gerçek yağış ve CAFEC yağış arasındaki fark; incelenen alan ya da istasyonda söz konusu ay için su eksikliği ya da fazlalığının bir göstergesidir.

Dünyada daha yaygın olarak kullanılan Palmer Kuraklık Şiddet İndisi, zemin nem algoritması gibi sınıflandırmalar nispeten homojen bölgeler için uygun olmaktadır. Bu yöntemler, tarımsal uygulamalar için nispeten uygun olup, özellikle Amerika da yaygın kullanım alanı bulmaktadır. Ancak, çok fazla girdi gerektiren, çok parametreli yöntemlerdir.

2.2. Erinç İndisi

Erinç İndisi Türkiye'nin kuraklık sorununu ve kurak/nemli alanlarını ve devrelerini gösterebilmek amacıyla yaygın olarak kullanılmaktadır. Erinç, gelir kaynağı olarak yağışa ve buharlaşmayla su kaybına yol açan esas etmen olarak maksimum sıcaklığa dayanmış ve aşağıdaki yağış etkinliği ($İ_m$) ya da kuraklık indisi eşitliğini önermiştir:

$$İ_m = P/T_{om} \quad (3)$$

İfadede, P yıllık yağış tutarını (mm) ve T_{om} yıllık ortalama maksimum sıcaklığı (^0C) gösterir. $İ_m$'in hesaplanmasında evapotranspirasyon ile kaybın çok az olması nedeniyle, aylık ortalama maksimum sıcaklığın 0^0C'den düşük olduğu aylar göz önüne alınmaz. Böylece evapotranspirasyonun etkili olmadığı donlu ayların sıcaklık ortalamasını düşürücü ve bu nedenle de yağış etkinliği bakımından aldatıcı etkileri ortadan kaldırılmış olur. Buna karşılık aynı aylarda düşen ve bir bölümü sonraki aylarda evapotranspirasyona uğrayan kar ve buz olarak tutulmuş yağışların olumlu etkisini göstermek mümkün olmaktadır.

Erinç (1957), indis sonuçlarını vejetasyon formasyonlarının yayılış alanları ile karşılaştırarak, yağış etkinliği bakımından sınıflara ayırmıştır (Çizelge 2).

Erinç formülünü herhangi bir süre ya da mevsim için kullanmak olasıdır. Bu durumda elde edilecek indis değerinin yağış etkinliği sınıflarından hangisine girdiğini saptamak için, bunlar süreye göre değişen katsayılar ile çarpılır. Örneğin, bir aylık indis 12, iki aylık indis 6, üç aylık indis 4, dört aylık indis 3 ve altı aylık indis 2 ile çarpılır.

Çizelge 2. Erinç İndisine göre sınıflandırma

Sınıfı	İndisi	Bitki Örtüsü
Tam Kurak	<8	Çöl
Kurak	8-15	Çöl, step
Yarı Kurak	15-23	Step
Yarı Nemli	23-40	Park görünümlü orman
Nemli	40-55	Nemli orman
Çok Nemli	55<	Çok nemli orman

2.3. De Martonne Yöntemi

De Martonne'un iklim sınıflandırmasında, nisbi nem, güneşlenme süresi, buharlaşma gibi parametrelerin yanında sıcaklık ve yağış da dikkate alınmıştır. Hesaplamada yıllık ortalama yağış ve sıcaklığın yanında, Temmuz ve Ocak ayı sıcaklık ve yağış ortalamaları arasındaki ilişki de dikkate alınmaktadır. Yıllık yağış miktarı yağışlı ve kurak iklimleri ayırmaya imkân verir. Kurak devrelerin tespitinde aylık yağışların yanında buharlaşma da önemli bir parametredir (DMİ, 1972). De Martonne'un en son Gottmann ile 1942'de geliştirdiği yıllık kuraklık indis formülü:

$$I_a = (P / (T + 10) + (12 * p /(t + 10)))/2 \quad (4)$$

10 = Sıcaklığın 0°C'nin altında olduğu yerlerde t'yi pozitif yapmaya yarayan sabit sayı
P = Uzun yıllar yıllık toplam yağışların ortalaması (mm);
T = Uzun yıllar ortalama hava sıcaklığı (°C).
p = En kurak ayın toplam yağışı (mm);
t = En kurak ayın ortalama sıcaklığı (°C)

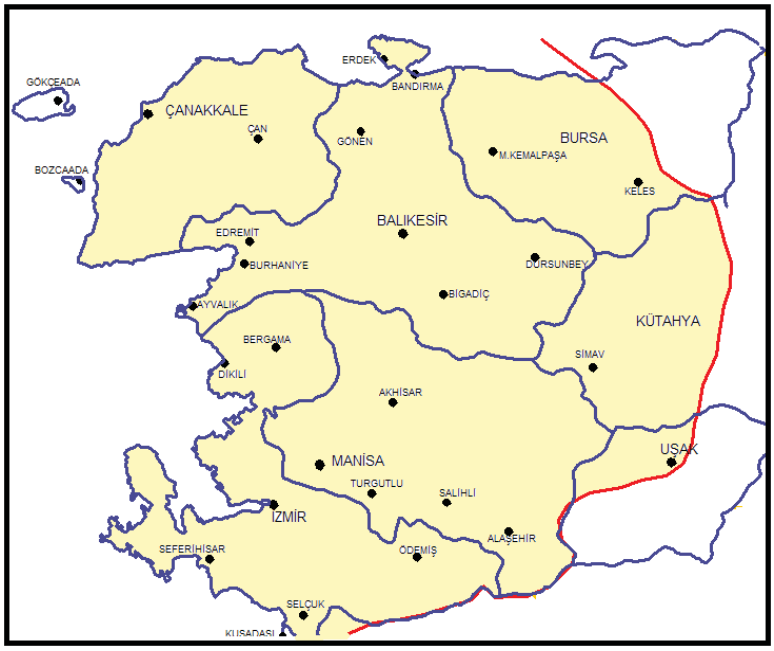
De Martonne'un yıllık kuraklık indisi sınıflandırması (Şensoy, 2007) Çizelge 3' de sunulmuştur.

Çizelge 3. De Martonne yıllık kuraklık indisi sınıflandırması

DMADI	SINIFI	DMADI	SINIFI
0-8	Kurak	29-35	Nemli
8-10	Yarı Kurak	36-55	Çok Nemli
11-20	Step - Y. Nemli	56-73	Islak
21-28	Yarı Nemli		

3.Veriler

Kuzey Ege Bölgesindeki çalışmada proje alanı yer alan sınırları, il merkezleri ve projede değerlendirmesi yapılan istasyonların konumları Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Kuzey Ege Bölgesi

Kuzey Ege Bölgesi'nin büyük bir kesiminde Akdeniz ikliminin, Kuzey Ege Bölgesi'nin iç kesimlerinde ise Marmara (Geçiş) ikliminin etkili olduğu görülmektedir. Akdeniz İklimi, yazları sıcak ve kurak, kışları ılık ve yağışlıdır. Marmara (Geçiş) İklimi ise, Marmara Bölgesi'nin kuzey Ege'yi de içine alacak şekilde güney kesiminde görülür. Kışları Akdeniz iklimi kadar ılık, yazları Karadeniz iklimi kadar yağışlı değildir (Şensoy, 2000).

Kuzey Ege bölgesinin batı yarısında yıllık ortalama yağış 624-691 mm arasında değişmekte iken, bölgenin doğu yarısında ortalama yağış değerleri azalmakta ve 541 ile 623 mm arasında değerler almaktadır. Bu durumun doğal sonucu olarak, ortalama yağışlı günler sayısı da batıya doğru ilerledikçe azalmaktadır. Kuzey Ege sahillerinde yıllık ortalama yağışlı gün sayısı 52-60 gün arasında değişirken, Kuzey Ege'nin iç bölgelerinde yağışlı gün sayısı 81-100 aralığında olmak üzere yaklaşık iki katına çıkmaktadır.

Sunulan çalışmada, Kuzey Ege Bölgesinde uzun süreli yağış ve sıcaklık verileri olan istasyonlar seçilmiştir. Bu istasyonların özellikleri Çizelge 4'de verilmiştir.

Çizelge 4. Kuzey Ege Bölgesindeki İstasyonların Özellikleri

İstasyon Adı	Enlem	Boylam	Yükseklik (m)	Yağış ve Sıcaklık Verilerinin Gözlem Aralığı	Alt Zemin Tabakasının Su Tutma Kapasitesi (W)
Akhisar	38.54	27.49	92.034	1950-2007	100
Alaşehir	38.21	31,25	189	1964-2007	100
Ayvalık	39.19	26.42	3.55	1964-2007	100
Balıkesir	39.28	27.52	120	1950-2007	100
Bandırma	40.19	27.59	63	1950-2007	100
Bergama	39.08	27.11	53	1963-2007	100
Bigadiç	39.24	28.08	260	1971-2007	100
Bornova	38.28	27.13	27	1963-2007	100
Bozcaada	39.50	26.04	30	1967-2007	110
Burhaniye	39.30	26.58	20	1975-2007	100
Çanakkale	40.09	26.24	10	1950-2007	100
Çeşme	38.18	26.18	5	1964-2007	105
Dikili	39.04	26.53	3.4	1950-2007	105
Dursunbey	39.35	28.37	637	1965-2007	100
Edremit	39.34	27.01	18.95	1962-2007	105
Erdek	40.24	27.48	2	1964-2007	100
Gökçeada	40.11	25.54	79	1967-2007	110
Gönen	40.06	27.39	37	1967-2007	100
İzmir	38.26	27.04	28.55	1950-2007	100
Keleş	39.55	29.04	1063	1966-2007	100
Kuşadası	37.52	27.15	25	1939-2007	100
Manisa	38.37	27.26	50	1950-2007	100
M.K.Paşa	37.52	28.24	25	1939-2007	100
Ödemiş	40.02	27.58	60	1964-2007	100
Salihli	40.23	28.08	13	1965-2005	110
Seferihisar	38.14	26.51	111	1960-2007	95
Selçuk	38.29	27.22	111	1967-2007	100
Simav	38.12	28.59	22	1972-2007	100
Turgutlu	37.57	27.42	17	1984-2007	95
Uşak	39.05	29.24	809	1960-2007	100

4. BULGULAR

Sunulan çalışmada, Kuzey Ege Bölgesinde uzun süreli yağış ve sıcaklık verileri olan DMI istasyon (Çizelge 4) verileri kullanılmıştır. Tüm istasyonlar için Palmer Kuraklık Şiddeti İndisi, Erinç İndisi ve De Martonne yöntemleri uygulanmıştır.

Palmer yönteminde, Thornthwaite yöntemi ile hesaplanan potansiyel evapotranspirasyon değerleri dikkate alınmıştır. Çalışmada PKŞİ değerlerinin, PKŞİ kurak ve nemli dönemlerin sınıflandırılmasına göre seçilmiş istasyonlar için Çizelge 5'de görüldüğü gibi göreli sıklıkları hesaplanmıştır. Palmer Kuraklık Şiddeti İndisinin aylara bağlı olarak değişiminde yaz aylarındaki kadar kış aylarında da kuraklığın gözlendiği saptanmıştır.

Çizelge 5. Kuzey Ege Bölgesindeki Bazı İstasyonların PKŞİ Değerlerinin Göreli Sıklıkları (%)

İSTASYON ADI	>=4	3,00 3,99	2,00 2,99	1,00 1,99	0,50 0,99	0,49 -0,49	-0,5 -0,99	-1,00 -1,99	-2,00 -2,99	-3,00 -3,99	<= -4,00
Alaşehir	6	8	9	10	6	21	9	13	9	5	4
Balıkesir	1	3	5	13	9	21	15	20	11	2	0
Çanakkale	2	4	8	9	7	17	16	28	9	1	0
İzmir	4	3	6	13	6	17	14	23	12	2	0
Manisa	1	4	7	13	8	17	13	24	10	3	0
Uşak	1	3	9	15	9	17	13	19	11	3	1

Ayrıca yapılan çalışmada aylara göre PKŞİ değerlerinden kuraklık dönemlerinin, yaz aylarında olduğu kadar kış aylarında da görüldüğü belirlenmiştir. Ayrıca, diğer aylara göre daha şiddetli boyutta kendini hissettiren kuraklığın Haziran, Temmuz, Ağustos ve Eylül aylarında yaşandığı, bölgede gözlenen en kurak ayın ise Haziran olduğu ifade edilebilir.

Bu çalışmada, Palmer Kuraklık Şiddeti İndisleri ile istasyonların yer aldığı bölgenin sıcaklık ve yağış değerleri arasındaki ilişki göze çarpmaktadır. Bir yerin yağış ve sıcaklık değeri, ortalamasından ne kadar sapmış ise o yer o derece kurak veya sulak olarak değerlendirilmektedir. Bu özellik yöntemin istatistiksel yanını gösteren bir özellik olarak göze çarpmaktadır. PKŞİ sonuçlarından 1955-1961, 1985-1995 ve 1999-2002 yıllarında Kuzey Ege Bölgesinde genel kuraklık eğilimi göstermektedir. Tüm bölge bu kuraklık periyodundan etkilenmiştir. Son yıllarda diğer şehirlerde hem ıslak hem de kurak periyotlar gözlenmekle birlikte; tüm bölgede genel olarak pek çok istasyonda kurak periyot 2007 yılına kadar devam etmektedir.

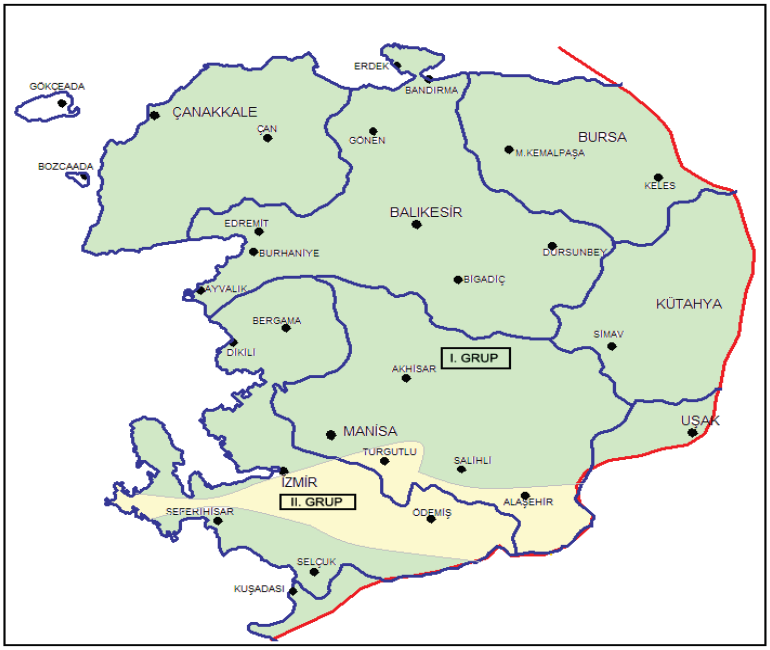
Çalışmada Erinç yöntemine göre kuraklık indisi değerleri yağış verileri kullanılarak hesaplanmıştır. Kuzey Ege Bölgesindeki bazı istasyonlar için gözlem sürelerince hesaplanan Erinç yöntemine göre göreli sıklıkları Çizelge 6'da verilmiştir. Alaşehir'de en yüksek %41 kurak dönem gözlenmiştir. Bigadiç, Çanakkale, Demirci, Dursunbey, Edremit, Gönen, Keleş, Simav'da kurak dönem gözlenmemiştir (%0). Kuzey Ege Bölgesindeki istasyonlar için gözlem sürelerince hesaplanan Erinç yöntemine göre Turgutlu ve Erdek'te en yüksek %71 yarı kurak dönem gözlenmiştir. Keleş'te en düşük %0, Simav'da %4 yarı kurak dönem gözlenmiştir.

Erinç yöntemine göre, proje alanına genel olarak bakıldığında son yıllarda kuraklık dönemine girilmiş olduğu söylenebilir.

Projede De Martonne yıllık kuraklık sınıflandırmasıyla bölgedeki illerde değerlendirme yapılmıştır. Kuzey Ege bölgesindeki sonuçlar özet olarak Şekil 2'de harita üzerinde verilmiştir. Bölgede incelenen meteoroloji istasyonları De Martonne yıllık kuraklık sınıflandırması yöntemine göre 2 gruba ayrılmıştır:
I.GRUP: II. Grup dışındaki tüm istasyonlar
II. GRUP: Turgutlu, Ödemiş, Çeşme, Alaşehir
Gruplar kendi içinde Şekil 2'deki haritada görüldüğü gibi noktalandığında farklı bölgeler oluşturmaktadırlar. De Martonne yöntemi ile uzun yıllara göre elde edilen indis sonuçları haritada verilmiştir. Buna göre Turgutlu, Ödemiş, Çeşme ve Alaşehir istasyonları yarı kurak, bölgedeki diğer istasyonlar 11-20 aralığında Step-Yarı nemlidir.

Çizelge 6. Kuzey Ege Bölgesindeki Bazı İstasyonların Erinç Yöntemi değerlerinin Göreli Sıklıkları (%)

	Tam Kurak	Kurak	Yarı Kurak	Yarı Nemli	Nemli	Çok Nemli
Alaşehir	2	41	45	12	0	0
Balıkesir	0	2	60	38	0	0
Çanakkale	0	0	41	59	0	0
İzmir	0	5	40	55	0	0
Manisa	0	2	31	65	2	0
Uşak	0	3	44	53	0	0



Şekil 2. Kuzey Ege Bölgesinde De Martonne Yıllık Kuraklık Sınıflandırması

5. SONUÇLAR

Kuzey Ege bölgesinde uzun yıllar gözlemi olan istasyonlardan da görüldüğü gibi, kuraklık dönemleri periyodik olarak tanımlanabilmektedir. Kuraklık, yaz aylarında olduğu kadar yağışlı dönem olan kış aylarında da ortalama yağışın azalması biçiminde hissedilmektedir.

Palmer Kuraklık Şiddet İndisi, Kuzey Ege bölgesinde incelenen istasyonların özellikle son yıllarda genel olarak kurak dönemde olduğunu göstermektedir. Birbirine yakın olan istasyonlarda meteorolojik kurak ve sulak dönemlerin bir istasyondan diğerine kayma eğilimi gösterdiği görülmektedir. Örneğin;

- Manisa istasyonunda 1967 – 1978 ve 1982'de görülen kuraklıklar sırasıyla, Salihli istasyonunda 1968 – 1980 ve 1984 yıllarında; Alaşehir istasyonunda ise 1970 - 1983 ve 1987 yıllarında gözlenmektedir.
- Selçuk istasyonunda 1970'te görülen kuraklık, Kuşadası istasyonunda 1971 yılında gözlenmektedir.

Bir başka ifadeyle, meteorolojik kuraklık bölgede kuzeyden güneye doğru kayma göstermektedir. Dolayısıyla, kurak/sulak dönemin öncelikle gözlendiği istasyonları izlemek kuraklığı/sulaklığı izleyebilmek için öncü bilgiler almayı sağlayabilecektir.

Kuzey Ege bölgesinde incelenen istasyonlarda genel olarak normal ve normale yakın kuraklık gözlenmektedir. Zamanın daha küçük bölümünde, kuraklık şiddeti artmaktadır. Genel olarak bölgede frekans değerleri arasında önemli farklar gözlenmemiştir. Bu sonuç, bölgenin benzer kuraklık davranışına sahip olduğunu tanımlamaktadır. Bölgesel indis olan Palmer Kuraklık Şiddet İndisinin, tarımsal kuraklığı iyi ifade ettiği bilinmektedir.

Erinç yönteminde, PKŞİ yönteminden farklı olarak yıllık kuraklık indisi değerleri kullanılmaktadır. Erinç yöntemine göre kuraklık %41.0 değerine kadar ulaşmakta, yarı kuraklık ise %71 ile %4 arasında değişmektedir.

De Martonne yöntemi ile yıllık kuraklık sınıflandırmasıyla bölgedeki meteoroloji istasyonlarında yapılan değerlendirme sonucunda Turgutlu, Ödemiş, Çeşme ve Alaşehir istasyonları yarı kurak olarak belirlenmiştir. Kuzey Ege Bölgesinde incelenen diğer istasyonlar step-yarı nemli aralığında değerlendirilmiştir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma 107Y348 numaralı TÜBİTAK Araştırma Projesi kapsamında desteklenmiştir. Yazarlar katkılarından dolayı TÜBİTAK kurumuna teşekkür ederler.

6. KAYNAKLAR

Alley WM, "The Palmer drought severity index: Limitations and assumptions", Journal of Climate and Applied Meteorology, 23, 1100-1109, 1984.

Dalezios NR, Papazafiriou ZG, Papamichail DM, Karacostas TS, "Drought assesment for the potential of precipitation enhancement in Northern Greece, Theoretical and Applied Climatology, 44, 75-88 1991.

De Martonne E, "Nouvelle carte mondiale de l'indice d'aridit é", Annales de Géographie, 51: 242-250, 1942.

DMİ., "Türkiye İklim Tasnifi (De Martonne Metoduna Göre)", Ankara, 1972.

Erinç E, "Tatbiki Klimatoloji ve Türkiye İklimi", İ.T.Ü Hidrojeoloji Enstitüsü, İstanbul, 1957.

Güner Ü, "Büyük Menderes havzası kuraklık çözümlemesi", (Yüksek Lisans Tezi), Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Denizli, 1996.

Johnson WK, Kohne RW, "Susceptibility of reservoirs to drought using Palmer Index", Journal of Water Resources Planning and Management, 119(3), 367-387, 1993.

Karl TR, "The sensitivity of the Palmer Drought Severity Index and Palmer's Z-Index to their calibration coefficients including potential evapotranspiration", Journal of Climate and Applied Meteorology, 25, 1986.

Palmer WC, "Meteorological Drought", Research Paper, US, 1960.

Sırdaş S, Şen Z, "Meteorolojik kuraklık modellemesi ve Türkiye uygulaması", İTÜ Mühendislik Dergisi, 2(2), 95-103, 2003.

Şensoy S, D.M.İ. Genel Müdürlüğü web sitesi, 2007.
http://www.meteor.gov.tr/2005/genel/iklim/iklim.htm

Şensoy S, Türkiye İklimi, DMİ web sitesi, 2000.
http://www.meteor.gov.tr/2005/genel/iklim/turkiyeiklimi.htm

Çevre-Enerji İlişkileri Açısından Akarsularımızın Durumu

Mehmet Yıldız [1], Filiz Malkoç [2], Yüksel Malkoç [3]

Özet: Hidroloji ile ilgili yatırım yapan kişi, kurum ve kuruluşlar geleceğe dönük planlarını yaparlarken çalışma yapılacak havzadaki geçmişte su akımlarının nasıl bir değişim gösterdiğini bilmek durumundadırlar. 21'inci yüzyılda hem tatlı su gereksinimlerinin karşılanması hem de genel enerji gereksinimlerinin çözüme kavuşturulması gerekmektedir. Benzer sorunlar enerji ihtiyacı yıldan yıla hızla artan ülkemiz için de mevcuttur. Bu bağlamda hidroelektrik enerji, Türkiye'nin en önemli kullanılabilir ve yenilenebilir enerji kaynağını oluşturmaktadır. Jeomorfolojik yapısı ve klimatolojik/hidrolojik özellikleri göz önüne alındığında, Türkiye, hem düşü hem de su tutarı açısından şanslı sayılabilecek ülkeler arasında yer almaktadır. Bu çalışmada, ülke genelinde akarsularımızın akım trendleri (gidiş) incelenmiş ve çevre-enerji ile birlikte değerlendirilmiştir. Doğal kaynaklarımız olan sularımızın sürdürülebilir biçimde kullanımı ve çevrenin korunması bu çalışmada ön plana çıkmaktadır. Konuyla ilgili olarak toplumumuzun belli bir çevresel duyarlılığa sahip olmasına rağmen, sorunların azaltılması veya ortadan kaldırılması konusunda sorumluluklarını yeteri kadar yerine getirmediği görülmektedir. Burada yön verici kurum ve kuruluşlara büyük görevler düşmektedir. Bu kurumlardan biri olan Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı enerji üretim tesislerinin teşvik edilmesine büyük önem vermektedir.

Anahtar Sözcükler: Su potansiyeli, trend (gidiş), yenilenebilir enerji, çevre-enerji, sürdürülebilirlik

Ancient Hydraulic Engineering Systems of Lycia Region (Middle Mediterranean/Türkiye)

Abstract: Before making a investment on hydropower in a stream or basin; institution, organization and private companies must know to how stream flow showed a change in past in basin which will be studied. Problems needed to be solved in 21th century the society are to meet necessity of fresh water and general energy. Similar problems are same for our country which necessity of energy increases fast from year to year too. Therefore, hydropower energy is the most important usable and renewable energy of Turkey. When structure of geomorphologic and hydrological/climatologically

[1] EİE Genel Müdürlüğü, Hidrolik Etütler Dairesi Başkanlığı, Ankara, E-Posta : myildiz@eie.gov.tr

[2] EİE Genel Müdürlüğü, Hidrolik Etütler Dairesi Başkanlığı, Ankara, E-Posta : fmalkoc@eie.gov.tr

[3] EİE Genel Müdürlüğü, Proje Dairesi Başkanlığı, Ankara, E-Posta : ymalkoc@eie.gov.tr

properties have been taken into consideration, Turkey is located amongst in lucky countries according to altitude and quantity of water. In this study, the flow trends of our streams are investigated and evaluated together with environment-energy in general of country. As a result of study, the subject protection of environment and sustainable using of water which is our natural sources come to the fore. Although there has been some environmental sensitivity in our society, there is no enough responsibility to reduce or remove the environmental problems. For minimizing the environmental problems, governmental organizations must have some responsibilities. Ministry of Energy and Natural Resources which is one of the governmental organizations is of great importance to promote for energy production facilities based renewable energy sources.

Keywords: trend, renewable energy, sustainability, environment-energy, water resource potential.

1. SU

Tarih boyunca medeniyetler daha çok suya yakın yerlerde hayat bulmuştur. Antik medeniyetlerin başlangıç noktaları hep nehir kenarlarında veya deltalarındadır. Mısır ve Ortadoğu efsane ve destanları incelendiğinde Nil, Dicle, Fırat ve diğer sularla göllerin bölge insanı için yaşamın olmazsa olmaz koşulu olduğunu görmekteyiz. Orta doğu için su tarih öncesi çağlardan günümüze kadar önemini hiç yitirmemiştir. İnsanlık tarihinde suyun fazlalığı zararlara neden olurken az su da insanların yaşamını etkilemekte ve toplu göçlere bile neden olabilmektedir (Anonim, 2003; Bilen, 2009a; Bilen, 2009b).

Günümüzde birçok ülkede genel hayat standardının artışıyla birlikte nüfusunda hızlı artışı, su ile ilgili sulama, endüstri ve kentsel su sağlanması konularındaki istekleri de artırmaktadır ve bunun yanında var olan suyun kalitesi ve niceliği azalmaktadır. Artan su ihtiyacını karşılamak için suyun bol olduğu yerlerden az olduğu yerlere taşınması ve su biriktirme hazneleri oluşturmak gibi önlemler gündeme gelmektedir. Fakat en etkili yol suyun geçmişteki davranışını inceleyip gelecekteki davranışını tahmin etmektir. Su miktarlarının zaman serisinin bilinmesi depolanan ve depolanacak suyun daha dikkatli olarak kullanılmasına ve planlanmasına yardımcı olur. Hidroloji, hidrometeoroloji ve su ile ilgili yatırım yapan kişi, kurum ve kuruluşlar geleceğe dönük planlarını yaparlarken çalışma yapılacak havzadaki geçmişte su akımlarının nasıl bir değişim gösterdiğini bilmek durumundadırlar (Yıldız ve Malkoç, 2000; Cığızoğlu ve diğ., 2002; Anonim, 2003).

1.1. Dünyada Su

Dünyada yaklaşık olarak $1.4*10^9$ km³ su bulunmakla beraber bu suyun % 97.5 'i Okyanuslarda ve denizlerdeki tuzlu sudur. Dünyadaki insan yaşamı için kullanılabilir tatlı suyun oranı ise % 2.5 ($35*10^6$ km³) civarında olduğu belirlenmiştir. Tatlı sularında yaklaşık olarak % 70'i kutuplardaki buzulları içermekte olup geriye kalan kısım ise akiferlerdeki yeraltı suyu ve yüzeysel akış şeklinde nehirlerden oluşmaktadır. Tatlı su yağış oranına bağlı olduğu için yeryüzünde dağılımı aynı oranda değildir. Yeryüzüne her yıl yaklaşık olarak 110.000 km³ yağış düşmektedir. Bunun yaklaşık olarak 42.700 km³ lük kısmı yüzeysel akışa geçerek nehirler tarafından taşınmakta, diğer kısmı ise

buharlaşma yoluyla atmosfere geri dönmekte ve bitkiler tarafından absorbe edilmektedir (Anonim, 2009; http://www.fao.org).

Dünyada Tatlı suyun en bol olduğu kıta Asya'dır. Daha sonra sırasıyla Güney Amerika, Afrika, Kuzey Amerika, Avrupa ve Avustralya gelir. Kişi başına düşen tatlı su miktarı dünya ortalaması 7300 m^3 (kişi başına düşen tatlı su miktarında 1970 yılına göre % 37'lik bir azalma mevcuttur) olmasına karşın kıtasal dağılımı Avustralya da 27.500, Güney Amerika da 21.000, Kuzey Amerika da 7.500, Afrika da 5.500, Avrupa da 2.100 ve Asya da 2.000 m^3 dür.

Önümüzdeki 50 yıl içerisinde dünyadaki su tüketiminde % 200-300 oranında artış olacağı öngörülmekte, nüfus artışının yoğun olduğu az gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde susuzluk tehlikesi ile karşı karşıya gelineceği, suyun pahalı bir madde haline gelmesiyle, yoksul ülkeler açlık yanında susuzlukla da mücadele etmek zorunda kalacaktır. Halen günümüzde yaklaşık 1.3 milyar kişi su sıkıntısı çekmektedir. 20. yüzyılın son on yılında suyun dünyada ekonomik bir değer kazanması, su elde edilmesindeki maliyetlerin artması üzerine, su konusunda tüm dünyanın dikkatinin çekilmesi amacıyla Birleşmiş Milletler tarafından 1992 yılında Rio De Jenerio' da toplanan konferansta her yıl 22 mart "Dünya Su Günü" olarak ilan edilmiştir (Anonim, 2009; http://www.fao.org).

1.2. Ülkemizde Su

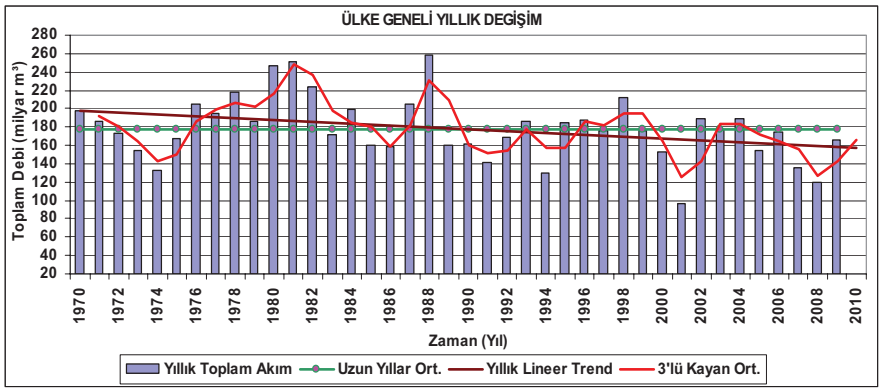
Üç tarafı denizlerle çevrili ülkemizde su ihtiyacı akarsulardan, göllerden ve yeraltı sularından karşılanmaktadır. Ülkemizin su potansiyelinin tespitine yönelik olarak Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğünce 1935 yılından bu yana hidrolojik etütler yapılmaktadır. Genel Müdürlüğümüzce yürütülen Hidrolojik Etütlerden elde edilen sonuçlara göre akarsularımızın Türkiye toplamı uzun yıllar ortalama yüzeysel akım miktarı 5708.38 m^3/s (178.15 milyar m^3) olarak tespit edilmiştir (Yıldız ve Malkoç, 2000) (Çizelge 1). Çizelgede havza bazında hesap edilmiş diğer hidrolojik elemanlara ait ayrıntılı dökümlerde yer almaktadır.

DSİ 2008 verilerine göre yüzeysel akışlara ilave olarak yer altı sularından çekilebilir yıllık su potansiyeli ise 13.66 milyar m^3 dır. Yapılan tespitlere göre yerüstü sularından yıllık ortalama tüketilebilecek su miktarı 95.00 milyar m^3 tür. Yukarıda verilen rakamlardan hareketle toplam yüzeysel akışlar ve yeraltı kaynakları birlikte müteala edildiğinde her ne kadar ülkemizde kişi başına düşen su miktarı 2664 m^3 mertebesinde görünse de, gerçekte tüketilebilecek olan su miktarları dikkate alındığında kişi başına düşen su miktarı yalnızca 1509 m^3 mertebesinde olduğu gerçeği vardır.

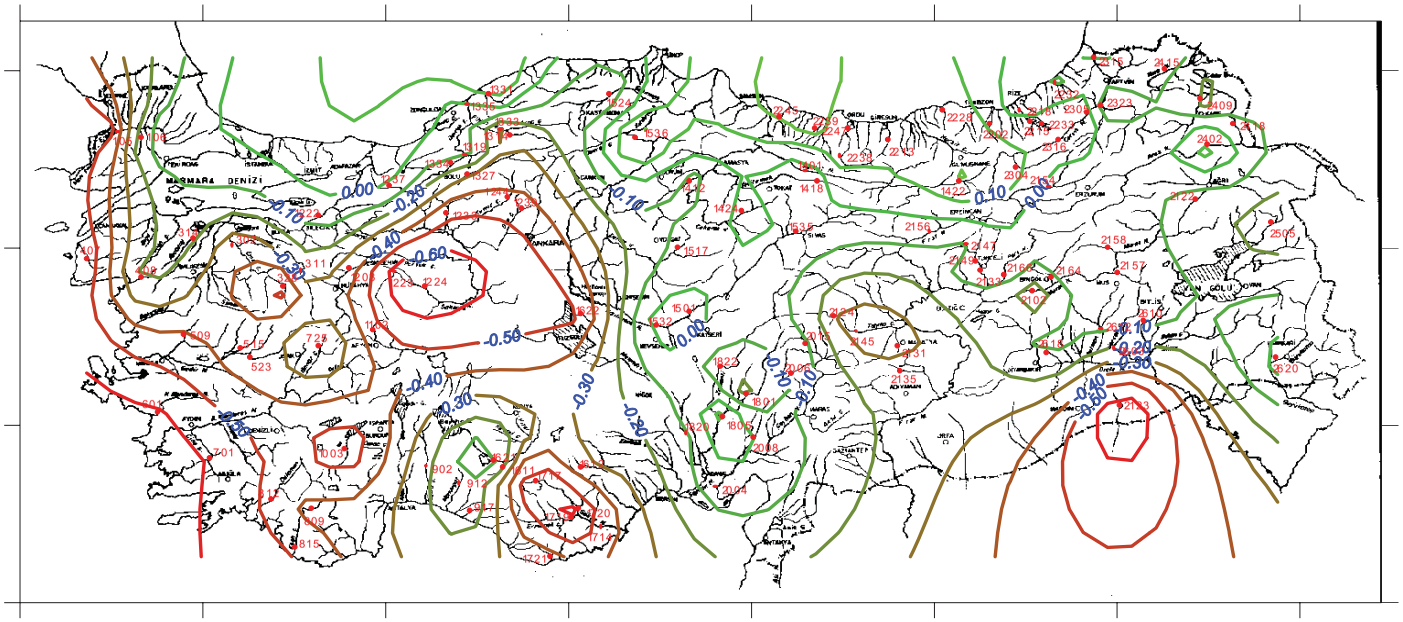
Bir ülkenin su zengin olabilmesi için kişi başına düşen ortalama su miktarının en az 10.000 m^3 olması gerekirken bu miktarın ülkemiz için 1509 m^3 oluşu, bilinenin aksine Türkiye'nin su zengini olmadığını gözler önüne sermektedir. Burada dikkate verilen rakamlar uzun süreli ortalama değerlerdir. Hadisenin aslına baktığımızda ülkemiz su potansiyelinin yıllar itibariyle değişkenlik arz ettiği gözlenmekte, hatta uzun dönem akım trendlerinde (gidiş) azalma eğilimleri görülmektedir. Bahsedilen değişkenlikler Şekil 1'de verilen ülke geneli toplam su potansiyeli uzun dönem (1970-2009) grafiğinde izlenebilir.

Şekil 1'de görüldüğü gibi gözlem periyodu içerisinde 1972-1975 yılları arasında akımların en az olduğu bir dönem yaşanmış ve bunu 1976-1982 yılları arasında oldukça verimli bir süreç takip etmiştir. 1983 yılından 1986 yılı sonuna kadar akımlarda tekrar bir azalma ve bu süreci 1987-1988 verimli yılları takip etmiştir. 1989-1994 döneminde ülke genel su bilançosu bakımından en uzun kurak dönemlerden birisi yaşanmış ve bu kurak dönemi geçmiş yıllarda olduğu gibi verimli bir dönem takip etmeyip 2007 yılına kadar ortalamalar civarında ve kısmen de verimsiz bir dönem izlemiş ve devamında 2007-2008 kurak dönemi takip etmiştir. 2009 su yılı bir kısım havzalarda verimli geçse de ülke genelinde yine ortalamaların altında bir potansiyel gerçekleşmiştir. Son verimsiz dönemi 1989-2009 yılları arası kabul edilirse (bu periyotta 1998, 202, 2004 münferit yılları kısmen verimli kabul edilebilir) 21 yıllık verimsiz periyotta ülke genelinde akış ortalaması 163.79 milyar m^3 olarak tespit edilmiş olup bu değer uzun yıllar ortalamasına göre sularımızda % 8'lik bir azalmaya tekabül etmektedir.

Şekil 1'de görülen ülke geneli toplam su potansiyeli grafiğindeki akımların yine uzun periyottaki havzalar bazında ayrıntılı değişiminin tespit edilebilmesi için, Şekil 2'de görülen hidrolojik harita elde edilmiştir. Haritada görüldüğü gibi Marmara bölgesi batısı, Ege bölgesi sahil ve iç kesimleri, İç Anadolu bölgesinin batısı, Akdeniz Bölgesinin büyük bölümünde ve Güneydoğu Anadolu bölgesinin Orta bölümlerinde akımlarda azalma görülmektedir. Diğer bölgelerin ortalama akımlarında ise zamanla bir miktar artan ilişki olduğu göze çarpmaktadır (Cığızoğlu ve diğ., 2002, Yıldız ve Malkoç, 2000).



Şekil 1. Ülke geneli akarsu havzaları uzun dönem toplam yıllık ortalama akımları ve trendleri



Şekil 2.Türkiye akarsu akımlarının zamanla değişim haritası (Yıldız ve Malkoç, 2000)

Çizelge 1. Akarsu havzaları karakteristik bilgileri

HAVZA NO	HAVZA ADI	HAVZA TOPLAM YAĞIŞ ALANLARI (km^2)	HAVZA ORTALAMA YILLIK YAĞIŞ YÜKSEKLİĞİ (mm)	HAVZA ORTALAMA YILLIK AKIM (m^3/s)	HAVZA ORTALAMA YILLIK AKIM MİKTARI (milyar m^3)	HAVZA ORTALAMA YILLIK AKIŞ YÜKSEKLİĞİ (mm)	HAVZALARIN ORTALAMA YILLIK VERİMİ ($l/s/km^2$)	AKIŞ YAĞIŞ ORANI	HAVZALARIN TOPLAM AKIŞA KATKISI (%)
1	*MERİÇ*	49482,3	604,00	205,38	6,48	130,90	4,15	0,22	3,64
2	*MÜT.MARMARA SULARI*	24100,0	728,70	161,49	5,09	211,31	6,70	0,29	2,86
3	*SUSURLUK*	23765,0	711,60	127,30	4,01	168,93	5,36	0,24	2,25
4	*MÜT.EGE SULARI*	9032,0	624,20	42,61	1,34	148,77	4,72	0,24	0,75
5	*GEDİZ*	17118,0	603,00	32,95	1,04	60,70	1,92	0,10	0,58
6	*KÜÇÜK MENDERES*	7165,0	727,40	16,32	0,51	71,83	2,28	0,10	0,29
7	*BÜYÜK MENDERES*	24903,0	664,30	60,08	1,89	76,08	2,41	0,11	1,06
8	*MÜT.BATI AKDENİZ*	22615,0	875,80	219,23	6,91	305,71	9,69	0,35	3,88
9	*MÜT.ORTA AKDENİZ*	14518,0	1000,40	397,91	12,55	864,34	27,41	0,86	7,04
10	*BURDUR GÖLÜ KAP. HAV.*	8764,0	446,30	7,41	0,23	26,66	0,85	0,06	0,13
11	*AFYON SULARI KAP. HAV.*	8377,0	455,80	8,21	0,26	30,91	0,98	0,07	0,15
12	*SAKARYA*	56504,0	524,70	154,64	4,88	86,31	2,74	0,16	2,74
13	*MÜT.BATI KARADENİZ*	29682,0	811,00	289,30	9,12	307,37	9,75	0,38	5,12
14	*YEŞİLIRMAK*	36129,0	496,50	165,69	5,23	144,63	4,59	0,29	2,93
15	*KIZILIRMAK*	78646,0	446,10	154,29	4,87	61,87	1,96	0,14	2,73
16	*ORTA ANADOLU KA P. HAV.*	56554,0	416,80	181,59	5,73	101,26	3,21	0,24	3,21
17	*MÜT.DOĞU AKDENİZ*	22484,0	745,00	289,52	9,13	406,08	12,88	0,55	5,12
18	*SEYHAN*	20731,0	624,00	204,01	6,43	310,34	9,84	0,50	3,61
19	*HATAY SULARI*	25241,4	815,60	61,66	1,94	77,04	2,44	0,09	1,09
20	*CEYHAN*	21222,0	731,60	202,79	6,40	301,35	9,56	0,41	3,59
21	*FIRAT DİCLE HAV.-FIRAT K.*	120917,0	540,10	993,67	31,34	259,16	8,22	0,48	17,59
22	*MÜT.DOĞU KARADENİZ*	24022,0	1198,20	556,71	17,56	730,85	23,18	0,61	9,85
23	*ÇORUH*	19894,0	629,40	199,75	6,30	316,65	10,04	0,50	3,54
24	*ARAS*	27548,0	432,40	150,37	4,74	172,13	5,46	0,40	2,66
25	*VAN GÖLÜ KAP. HAV.*	15254,0	474,30	94,40	2,98	195,16	6,19	0,41	1,67
26	*FIRAT DİCLE HAV.-DİCLE K.*	51489,0	807,20	671,86	21,19	411,50	13,05	0,51	11,89
	TOPLAM	816156,7		5649,14	178,15				
	ORTALAMA		659,02			229,92	7,29	0,35	

(*) Göl alanları yağış alanlarına dahil edilmemiştir, Meriç ve Asi Nehirlerinin sınırlarımız dışındaki yağış alanları hesaplamalara dahil edilmiştir.

(**) Havza Ortalama Yağış Yüksekliği, Havza Ortalama Akış Miktarı ve Havza Ortalama Verimi değerleri uzun yıllar (1970-009) ortalama değerlerden elde edilmiş yıllık ortalamalardır

2. SU-ÇEVRE-ENERJİ

En geniş anlamıyla çevre "ekosistemler" ya da "biyosfer" şeklinde açıklanır. Daha açık olarak çevre, insanı ve diğer canlı varlıkları doğrudan ya da dolaylı olarak etkileyen fiziksel, kimyasal, biyolojik ve toplumsal etmenlerin tümüdür.

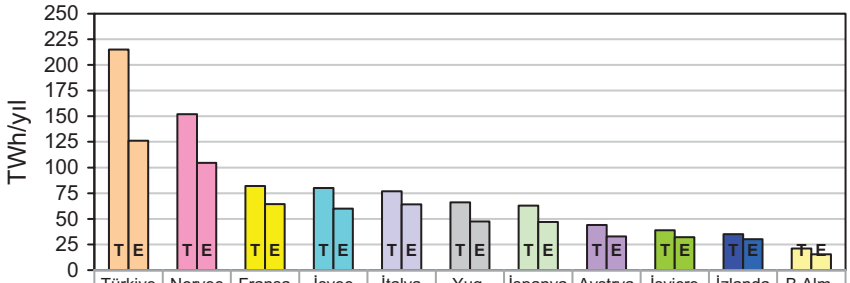
Tatlı su kaynaklarının durumu insan sağlığı ile doğrudan ilgilidir. Dünyada her gün yaklaşık 25000 kişinin sağlıksız koşullarda su kullanımından dolayı ölmekte olduğu dünya sağlık örgütü (WHO) verilerinde belirtilmektedir. Yeryüzünde içme ve kullanma suyunun miktarı sınırlıdır. Zamanla su kaynaklarının azalması, insan nüfusunun artması

ve daha önemlisi, suların kirlenmesi yaşamı giderek zorlaştırmaktadır. Su kirliliğini oluşturan etmenlerin başında lağım sularıyla sanayi atık suları gelmektedir. Bunun yanında petrol atıkları, nükleer atıklar, katı sanayi ve ev atıkları da önemli kirleticilerdir(Anonim, 2009; http://www.fao.org).

Denizlerin, denizlerdeki canlı kaynakların korunması için denizlere kavuşan akarsuların temiz akması ve göllerin korunması gerekmektedir. Doğal dengeyi bozan ve su kaynaklarını kirleten etkenleri ortadan kaldırmak için son yıllarda yapılan çalışmalar yoğunlaşmıştır. Atık suları arıtma istasyonlarından geçirildikten sonra tabii su kaynaklarına bırakılmakta, fabrikalara filtre ve arıtma tesisleri konmakta, suların hem kimyasal hem de biyolojik olarak temizlenmesine çalışılmaktadır.

Ülkemiz yüzey suları ve yer altı su kaynakları açısından kısmen dünyanın şanslı ülkeleri arasında bulunsa da iklim değişikliği, çölleşme, nüfus artışı, çarpık kentleşme, hızla sanayileşme gibi tüm faktörler göze alındığında su kaynaklarımızın özellikle yüzey sularının çok ciddi bir tehlike altında olduğu ortaya çıkmaktadır.

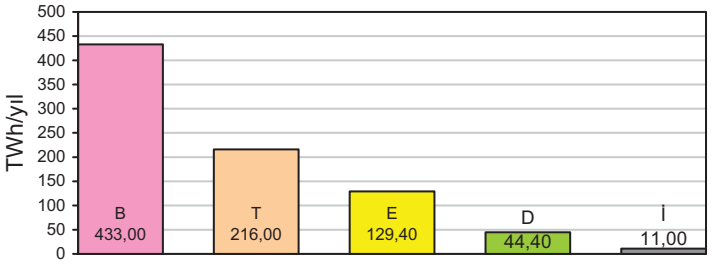
21'inci yüzyılda dünyanın önemli temel problemleri olan toplumların tatlı su gereksinimlerinin karşılanmasının yanında genel enerji gereksinimlerinin de çözüme kavuşturulması sorunu bulunmaktadır. Benzer sorunlar enerji ihtiyacı yıldan yıla hızla artan ülkemiz içinde mevcuttur. Bu bağlamda çözüme katkı sağlayacak hidroelektrik enerji, Türkiye'nin kullanılabilir en önemli ve yenilenebilir enerji kaynağını oluşturmaktadır. Jeomorfolojik yapısı ve klimatolojik/hidrolojik özellikleri göz önüne alındığında, Türkiye, hem düşü hem de su tutarı açısından şanslı sayılabilecek ülkeler arasında yer almaktadır. Özellikle, dahil olmaya çalıştığımız Avrupa Birliği ülkeleriyle mukayese yapıldığında ülkemizin hidroelektrik potansiyelindeki üstünlüğü görülecektir (Ünsal, 2004) (Şekil 3).



	Türkiye	Norveç	Fransa	İsvec	İtalya	Yug.	İspanya	Avstrya	İsvicre	İzlanda	B.Alm.
T	215.00	152.00	82.00	80.00	77.00	66.00	63.00	44.00	39.00	35.00	21.00
E	126.10	104.50	64.50	60.00	64.10	47.50	47.10	32.90	32.00	30.00	15.50

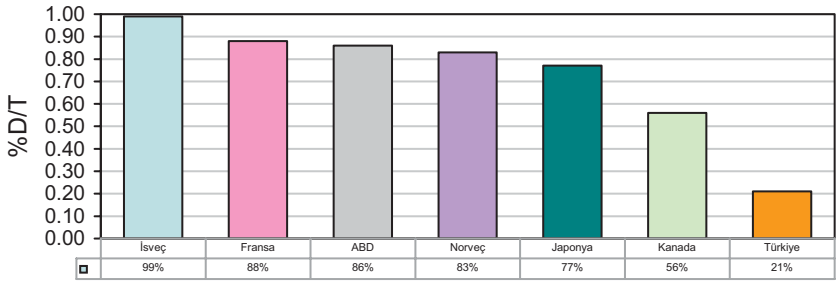
Şekil 3. Avrupa ülkeleri B-T-E HE potansiyeli

Buna göre, topografyasının ve hidrolojisinin bir fonksiyonu olarak Türkiye için hesaplanan hidroelektrik brüt enerji potansiyeli, 433 milyar kWh düzeyindedir. Türkiye için 216.00 milyar kWh olarak hesaplanmış olan teknik potansiyelin, bugüne kadar yalnız 44.40 milyar kWh'lik bölümünün kullanıma sunulduğu bilinmektedir (Ünsal, 2004) (Şekil 4).

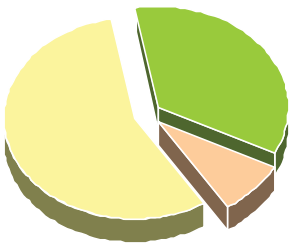


Şekil 4. Türkiye B-T-E-D-İ HE potansiyeli

Başka bir anlatımla, gelişmiş ülkelerin hemen tümünde hidroelektrik potansiyelin büyük bir bölümü değerlendirilmiş olmasına karşın, Türkiye'de işletmeye açılan tesislerle söz konusu teknik potansiyelin ancak % 21'lik bölümü kullanıma sunulmuş durumdadır (Şekil 5).



Şekil 5. Ülkelerin % D/T HE potansiyeli



Şekil 6. Ekonomik HE potansiyelimizin durumu

Türkiye'deki gerçekleşme oranının istenen düzeyde olmamasının başlıca nedeni olarak, hidroelektrik santral projelerinin ilk yatırım maliyetlerinin öteki kaynaklarla karşılaştırıldığında daha yüksek ve inşaat süresinin daha uzun oluşu gösterilmektedir. Fakat, termik santraller gibi çevreye zararlı olan işletmelerin işletilmesi sırasında çevreye verdikleri zararların giderilmesi maliyeti hesaba katıldığında, hidroelektrik potansiyelden daha fazla yararlanılmasının gerekli olduğu ortaya çıkmaktadır. Türkiye'nin enerji politikalarını yansıtan yayınlarda, ekonomik hidroelektrik santral (HES) potansiyeli 129.4 milyar kWh/yıl ile sınırlı gibi görülmektedir (**Şekil 6**) ve bu

potansiyelin %36 ‘sı işletmede % 9 ‘u inşa halinde ve % 53 ‘ü proje seviyesindedir. Burada ekonomik olarak verilen potansiyel değerin yeniden gözden geçirilmesi gerekmektedir. Bunun yanı sıra, Türkiye'nin küçük ve orta ölçekli hidrolik potansiyeli, ilgili kurumlarca henüz olması gereken düzeyde araştırılmamış ve değerlendirilmemiştir. Elektrik İşleri etüt İdaresi Genel Müdürlüğünce son yıllarda bu yönde başlatılan çalışmalar neticesinde bu kaynaktan da önemli bir potansiyel beklenmektedir. Bu potansiyel, 'teknoloji-ekonomi-çevre' bütüncül yaklaşımı doğrultusunda uygun teknolojiler kullanılarak, koruma ve kullanma dengesinin sağlanması sonucunda, çevre ile uyumlu projelerin geliştirilmesine yardımcı olacaktır.

3. SONUÇ VE ÖNERİLER

21’inci yüzyılda dünyanın önemli temel problemleri olan toplumların tatlı su gereksinimlerinin karşılanmasının yanında genel enerji gereksinimlerinin de çözüme kavuşturulması sorunu bulunmaktadır. Benzer sorunlar enerji ihtiyacı yıldan yıla hızla artan ülkemiz içinde mevcuttur. Fakat bu enerji ihtiyacının karşılanmasında termik santraller gibi çevreye zararlı olan işletmelerin işletilmesi sırasında çevreye verdikleri zararların giderilmesi maliyeti hesaba katıldığında, hidroelektrik potansiyelden daha fazla yararlanılmasının gerekli olduğu ortaya çıkmaktadır. Rezervuarlı ve nehir tipi olarak yapılan hidrolik santraller, elektrik enerjisi üretimi aşamasında atmosfere hiç sera gazı salımı vermemektedir. Ayrıca, öteki azaltıcı ve önleyici (enerji tasarrufu, karasal karbon yutakları, taşkın önleme, su ve toprak kaynaklarının geliştirilmesi ve korunması, vb.) sektörlere yaptığı doğrudan ya da dolaylı katkı ile küresel ısınmaya neden olan salınımlarının sınırlandırılmasında ve azaltılmasında çok yönlü katkı sağlamaktadır. Bunlara ek olarak; su, hidroelektrik enerji üretirken tükenmez ve ulusal bir kaynak olarak üretime temel oluşturur.

Doğadan fosil yakıtlarının çıkarılması, kullanılır hale getirilmesi ve taşınması için enerji tüketilirken; hidroelektrik enerji üretiminde buna gerek yoktur. Fosil yakıtlarının çıkarıldığı yörelerde yüzey ve yeraltı doğal dengesi bozulmakta, yeraltında tünellerde kullanılan orman ürünleri ve kesilen orman alanları önemli bir karbon yutağı kaybına neden olmaktadır. Bu bağlamda çözüme katkı sağlayacak hidroelektrik enerji, Türkiye'nin kullanılabilir en önemli ve yenilenebilir enerji kaynağını oluşturmaktadır. Akarsularımızı çevre-enerji birlikteliğiyle değerlendirdiğimizde karşımıza çıkan en önemli kavram sürdürülebilirliktir. Burada doğal kaynaklarımız olan sularımızı sürdürülebilir biçimde kullanımı ve çevrenin korunması öne çıkmaktadır. Dolayısıyla tüm su kaynaklarımızın kıymetli olduğu unutulmamalı ve bu kaynakların korunması için gerekli tüm tedbirler alınmalıdır. Ülkemiz kamuoyu belli bir çevresel duyarlılığa sahip olmasına rağmen; sorunların azaltılması veya ortadan kaldırılması konularında belli yükümlülükler ve külfetleri paylaşım hususunda çok fazla istekli olmadığı görülmektedir. Burada yön verici kurum ve kuruluşlara büyük görevler düşmektedir. Bu bağlamda Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı enerji üretim tesislerinin teşvik edilmesine büyük önem vermekte olup bu kaynakların kullanımını özendirmek amacıyla teşvik uygulamaları ve mevzuat oluşturulması konusunda büyük çaba göstermektedir.

4. KAYNAKLAR

Anonim, “Enerji Dünyası”, Dünya Enerji Konseyi Milli Komitesi Bülteni, Sayı 46-47, Ankara, 2003.

Anonim, “Sınır Aşan Sular ve Türkiye”, Bildiriler Kitabı, İstanbul, 2009.

Bilen Ö, “Ortadadoğu Su Sorunları ve Türkiye”,Ankara, 2009a.

Bilen Ö, “Türkiye’nin Su Gündemi”,Ankara, 2009b.

Cığızoğlu K, Bayazıt M, Önöz B, Yıldız M ve Malkoç Y, “Türkiye Nehirleri Taşkın, Ortalama ve Düşük Akımlarındaki Trendler”, EİE Genel Müdürlüğü ve İTÜ Ortak Projesi, EİE Matbaası, 265s, Ankara, 2002.

http://www.fao.org .

Ünsal İ, “Enerji Gündemi ve Hidroelektrik Potansiyelimiz”,V.Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu Bildiri Kitabı Cilt I. Mayıs, İstanbul, 2004.

Yıldız M, ve Malkoç Y, “Türkiye Akarsu Havzaları ve Hidrolojik Kuraklık Analizi”, EİE Matbaası, 185s, Ankara, 2000.

HİDROLOJİ VE CBS

Tahtalı ve Şaşal Derelerine Taşınan Katı Madde Miktarının Tahmini

Aslı Bor[1], Şebnem Elçi[2], Gökmen Tayfur[3]

Özet: Akarsularda hareketli taban ile akım sürekli etkileşim halindedir ve taşınan katı madde miktarının tahmini birçok araştırmaya konu olmuştur. Katı madde miktarının doğru olarak tahmini baraj haznelerinin kapasitesinin belirlenmesi, su yapılarının tasarımı ve nehir ve baraj haznelerindeki kirliliğin kontrol edilebilmesi için gereklidir. Akarsulardaki hareketli taban ile su kolonu arasındaki etkileşimi süreklilik ve hareket denklemleri ile açıklamak mümkündür. Sığ sularda sıklıkla kullanılan St. Venant ve Exner denklemleri ile taşınan askıda ve sürüntü maddesinin modeli oluşturulabilmektedir. Bu çalışma kapsamında, kinematik dalga yaklaşımına dayalı, bir boyutlu, ve kararsız katı madde taşınım nümerik model geliştirilmiştir. Bu model ile Tahtalı Baraj haznesine akan Tahtalı ve Şaşal derelerinde katı madde taşınımının modellenmesi yapılmıştır. Bu amaç için, öncelikle Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) haritaları oluşturularak Tahtalı Havzası alt havzalara ayrılmış ve USLE (Üniversal Toprak Kaybı Eşitliği) denklemiyle havzaların her birinde erozyona uğrayan toprak miktarı tahmin edilmiştir. Bu miktar nümerik modelin girdisini oluşturmuştur. Daha sonra dereler nümerik model için uygun bölümlere ayrılarak her bir bölümün uzunluğu CBS haritalarından, genişliği ise yerinde yapılan ölçümlerle belirlenmiştir. Yine arazide yapılan akış ölçümlerinden yararlanılarak derelere gelen taşkın hidrografı oluşturulmuş ve derelerdeki sürüntü maddesinin miktarı nümerik olarak modellenmiştir. Nümerik model bazı kollarda katı madde birikiminin azalma gösterdikten sonra, belli bir süre sonra tekrar artışa geçtiğini göstermiştir. Bunun sebebi olarak diğer kollardaki katı madde varış zamanlarının farklı olması düşünülmüştür. Bir koldaki besleme kesilince yatakta oyulma başlamakta ve tekrar başka koldan aktarım başladığında katı madde yığılmaya başlamaktadır. Nümerik model sonuçlarına göre, en fazla yığılma en uzun kolda gözlenmiştir.

Anahtar Sözcükler: Kinematik dalga teorisi, katı madde tahmini, Tahtalı Baraj Haznesi, Nümerik model, CBS

[1] Dokuz Eylül Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İzmir, E-Posta: aslibor4@yahoo.com
[2] İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, İzmir, E-Posta: sebnemelci@iyte.edu.tr
[3] İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, İzmir, E-Posta: gokmentayfur@iyte.edu.tr

Prediction of Sedimentation in Tahtalı and Şaşal Streams

Abstract: In alluvial rivers sediment and flow are in constant interaction and the prediction of sediment load has been a major research. The correct prediction of sediment load is important for designing capacity of a reservoir and hydraulic structures, and contamination in rivers and lakes. The sediment transport process is mathematically expressed by the St. Venant and Exner equations. In this study, based on the kinematic wave theory, one-dimensional, and unsteady sediment transport numerical model is developed. By this model, the sediment transport in Tahtali and Sasal creeks that flow into the Tahtali reservoir is moleded. For this purpose, using the GIS maps, the basin is first subdivided into subregions and then, by the USLE, from each subregion the total eroded sediment is predicted. This predicted loads formed the lateral sediment loadings into the numerical model. Later, each creek is divided into subreaches for the numerical model. The length of each reach is obtained from GIS maps, and the widths from field measurements. By the measurements in the field the flood hydrograph is formed and the sediment loads in the creeks are numerically modeled. The simulations has shown that in some reaches first degreadationa and then agradation have taken place. This is because, time lag occurs between the sediment front travel times in each creek reach. When there is no feeding coming from tributary reaches a degradation occurs, but when sediment front moves in it starts causing aggradation. The simulatin results show that aggradation mostly occurs in the longest reach.

Keywords: Kinematic wave theory, sediment prediction, Tahtalı reservoir, Numerical model, GIS

1. GİRİŞ

Katı madde miktarının doğru tahmini, hem ekonomik baraj haznesi kapasitesini belirlemek hem de kirliliğin taşınımını öngörebilmek açısından önemlidir. Günümüzde kullanılan katı madde taşınımı tahmini yaklaşımları, nümerik modelleme (Hotchkiss ve Parker 1991) ve deneysel (Guy et. al. 1966; Soni 1981a) yöntemlere dayanmaktadır. Katı madde taşıma kapasitesi akımın değişkenleri cinsinden ifade edilebilmekle beraber, önceleri katı madde dalga hareketi difüzyon dalga hareketi olarak tanımlanabiliyorken Langbein ve Leopold (1968), yaptıkları araştırmalarda katı madde hareketinin aslında kinematik dalga özelliklerine sahip olduğunu görmüşlerdir. Bu çalışmada sediment taşınımı kinematik dalga yaklaşımı ile temsil edilmiş, kararsız ve dengede olan tek boyutlu bir model geliştirilmiştir. Ayrıca bu model Tahtalı ve Şaşal derelerinin senaryolarıyla test edilmiş, yaklaşık birikim yerleri belirlenmiştir.

2. ÇALIŞMA ALANI

Tahtalı Barajı, kaya dolgu baraj olarak projelendirilmiş ve 1996 yılında tamamlanmıştır. Baraj haznesinin yüzey alanı 20 km^2'dir. Baraj haznesinin ortalama derinliği 15 m'dir ve haznedeki en derin yer 27 m'dir (hazne su seviyesi deniz seviyesinden 60 m iken). Baraj kapasitesi 175 milyon m^3'tür ve toplamda aylık 5 milyon m^3 su üretilmektedir. Baraj, İZSU (İzmir Belediyesi Su ve Kanalizasyon İşletme Müdürlüğü) tarafından işletilmektedir. Baraj haznesini besleyen ana nehirler Kuzey yönünden gelen Şaşal ve

Tahtalı nehirleridir. Bunlardan Tahtalı nehrinin katkısı Şaşal'a göre daha fazla ve % 67 oranındadır. Su alma ünitesi, haznenin Güneybatı yakasındadır ve ünitenin bulunduğu noktadaki derinlik 27 m'dir. İzmir iline gönderilmek üzere hazneden çekilen su yaklaşık 3 m^3/s'dir. Çekilen su, hazneden, arıtma tesisine pompalanmakta, burada arıtıldıktan sonra kullanım suyu olarak şehre gönderilmektedir.

3. NÜMERİK MODEL

Kinematik dalga teorisi yaklaşımına göre katı madde konsantrasyonu ve katı madde taşınım oranı birbirleriyle ilişkilidir. Alüvyal nehirlerde katı madde taşıma sistemini iki ayrı bölüme ayırırsak (Tayfur ve Singh 2006), katı madde parçacıklarının askıda bulunduğu akım tabakası ve çökelmiş halde bulunduğu hareketli taban tabakasını ayrı ayrı matematiksel olarak ifade edebiliriz. Dikdörtgen kesitli bir kanalın herhangi bir yerinde su için süreklilik denklemini ifade edersek (Tayfur ve Singh 2006):

$$\frac{\partial[h(1-c)]}{\partial t}+\frac{\partial[hu(1-c)]}{\partial x}+p\frac{\partial z}{\partial t}=0 \tag{1}$$

Doğal bir yatak taban sedimenti için süreklilik denklemini aşağıdaki gibi ifade edebiliriz (Tayfur ve Singh 2006):

$$\frac{\partial(hc)}{\partial t}+\frac{\partial(huc)}{\partial x}+(1-p)\frac{\partial z}{\partial t}+\frac{\partial q_{bs}}{\partial x}=0 \tag{2}$$

Burada, h = akım derinliği (L); u = akım hızı (L/T); c = askıda katı madde konsantrasyonu (L^3/L^3); z = hareketli tabanın kalınlığı (L); p = porozite (L^3/L^3); q_{bs} = hareketli tabandaki birim katı madde debisi (L^2/T), x = akım yönü, t = zaman.

Sediment konsantrasyonu için Velikanov (1954) denklemi kullanılırsa;

$$c=\frac{\kappa u^3}{g v_f h} \tag{3}$$

g =yerçekimi ivmesi (L/T^2); v_f = sediment düşüm hızı (L/T); κ = sediment taşınım katsayısı. Kinematik dalga yaklaşımı kullanarak akım hızı aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

$$u=\alpha h^{\beta-1} \tag{4}$$

Denklem (4) deki değişkenler: u, h, α ve β katsayılardır. Chezy formülü kullanıldığında; $\beta = 1.5$ ve $\alpha = C_z S_f^{0.5}$ şeklinde ifade edilebilir. (C_z = pürüzlülük katsayısı; S_f = enerji çizgisi eğimi). Kinematik dalga yaklaşımına göre $S_f = S_o$ alınabilir. Langbein ve Leopold (1968) katı madde taşınım oranını katı madde konsantrasyonuna bağlı olarak ifade etmişlerdir. Kinematik dalga yaklaşımına göre katı madde taşınım oranı aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$q_{st} = v_s C_b \left[1 - \frac{C_b}{C_{b_{\max}}} \right] \quad (5)$$

Denklem (5) deki değişkenler: q_{st} = katı madde taşınım oranı ($M/L/T$); v_s = katı madde tanecik hızı (L/T); C_b = alan ağırlıklı katı madde konsantrasyonu (M/L^2); ve C_{bmax} = alan ağırlıklı maksimum katı madde konsantrasyonu (M/L^2). Katı madde taşınım oranı ve hareketli tabandaki birim katı madde debisinin birbirleri cinsinden ifadesi aşağıdaki gibi gösterilebilir.

$$q_{st} = \rho_s q_{bs} \quad (6)$$

Denklem (6) da ρ_s = katı madde kütle yoğunluğu (M/L^3). Alan ağırlıklı katı madde konsantrasyonu (C_b), diğer taraftan, taban tabaka yüksekliğine (z) aşağıdaki şekilde ilişkilendirilebilir (Tayfur ve Singh 2006):

$$C_b = (1-p)\, z\, \rho_s \quad (7)$$

Ayrıca **(6)** ve **(7) denklemleri Denklem (5)** in içine konulduğunda:

$$q_{bs} = (1-p) v_s z \left[1 - \frac{z}{z_{\max}} \right] \quad (8)$$

ifadesi elde edilir. **Denklem (8)** de z_{max} = maksimum taban yüksekliği (L). 3—8 **(1)** ve **(2)**'nin içine yerleştirilip ve de düzenlendiğinde, aşağıdaki denklemler elde edilir Bor (2008).

$$\left[1 - 1.5\delta\alpha^3 h^{0.5}\right]\frac{\partial h}{\partial t} + \left[1.5\alpha h^{0.5} - 1.5\delta\alpha^4 h\right]\frac{\partial h}{\partial x} + p\frac{\partial z}{\partial t} = 0 \quad (9)$$

$$\left[1.5\delta\alpha^3 h^{0.5}\right]\frac{\partial h}{\partial t} + \left[2\delta\alpha^4 h\right]\frac{\partial h}{\partial x} + (1-p)\frac{\partial z}{\partial t} + (1-p)v_s\left[1 - \frac{2z}{z_{\max}}\right]\frac{\partial z}{\partial x} = 0 \quad (10)$$

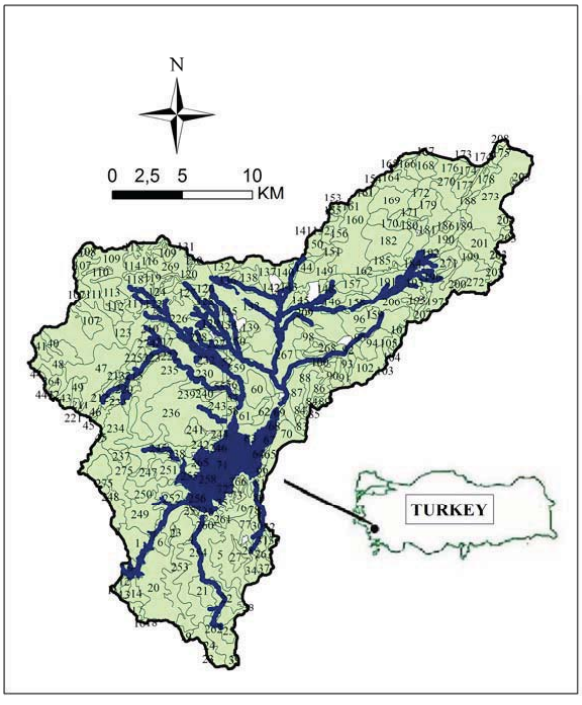
4. NÜMERIK MODELIN TAHTALI HAVZASINDAKI DERELERE UYGULANMASI

Tahtalı ve Şaşal derelerinde katı madde taşınımının modellenmesi amacıyla önce havzada erozyona uğrayan madde miktarı hesaplanmıştır. Bu amaçla Üniversal Toprak Kaybı Eşitliği (USLE) alt havzalara ayrılan Tahtalı Havza'sında **(Şekil 1)** kullanılmıştır. USLE metodu erozyonla kaybolan toprak miktarının tahmin edilebilmesi amacıyla en çok kullanılan metodlardan biridir. USLE toprak erozyonunu altı faktöre bağlı olarak hesaplar. Bu faktörler: yağış miktarı ve yüzey akışın toprağı aşındırma etkisi, toprak erodibilitesi, eğim uzunluğu, eğim derecesi, bitki amenajman pratikleri ve destekleyici koruma teknikleridir. USLE eşitliği aşağıda verilmiştir:

$$A = RKLSCP \quad (11)$$

Bu eşitlikte; A = bir tarım arazisinden oluşması muhtemel toprak kaybı (t/ha/yıl); R = yağış erozyon indisi (metrik ton-m/ha); K = toprakların erozyona duyarlılık faktörü (ton-h/MJ/mm); L = eğim uzunluğu faktörü (birimsiz); S = eğim derecesi faktörü (birimsiz); C = bitki amenajman faktörü (birimsiz); P = toprak koruma önlemleri faktörü (birimsiz).

Yağış erozyon indisi, R, Türkiye genelinde 96 ayrı meteoroloji istasyonunda ölçülen ve 8-32 yıllık verileri kapsayan verilere dayanılarak hesaplanmış olup (Doğan 2002), İzmir için *R=166* olarak verilen değer hesaplarda kullanılmıştır. Toprakların erozyona duyarlılık faktörü, *K*, zemin özellikleriyle değişmekte olup toprağın yağış/akış ile meydana gelen erozyona uzun süreli tepkisinin göstergesidir. Yüksek *K* değeri zeminin erozyona duyarlı olduğunu göstermektedir. Genel olarak alüvyonlu topraklarda *K* değeri düşük ve içeriğinde silt ve demir içeren topraklarda yüksek olmaktadır. Değişik toprak tipleri için kullanılan *K* değerleri aşınıma duyarlılık derecesine göre değişmektedir. Buna göre aşınıma duyarlılık derecesi düşük topraklar için 0.15, orta için 0.28, yüksek için 0.45 ve aşınıma duyarlılık derecesi çok yüksek topraklar için 0.60 kullanılmaktadır. Tahtalı erozyon haritasına göre havzanın %17'si aşınıma çok yüksek duyarlılık göstermekte, %42'si yüksek duyarlılık göstermektedir.



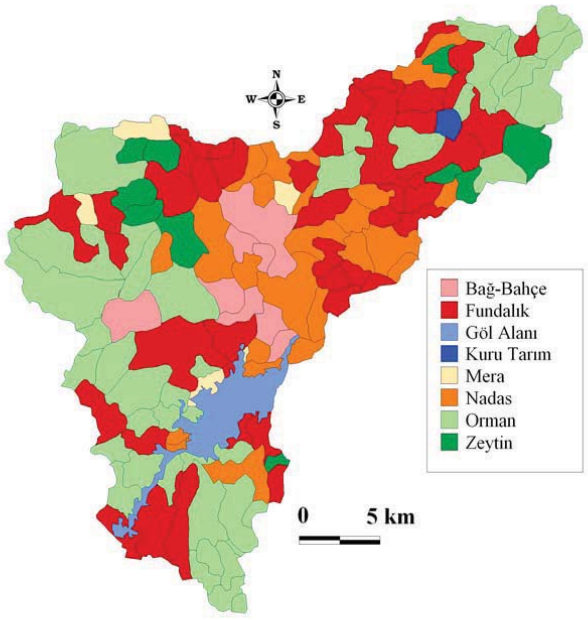
Şekil 1. Tahtalı Havzası'nda baraj haznesi ve dereler. Şekil ayrıca toprak yapısı ve arazi kullanımına göre belirlenmiş 245 poligonu göstermektedir.

Eğim uzunluğu yüzey akışın başladığı noktadan, depolanmanın başladığı veya akımın belli bir kanala yoğunlaştığı noktaya kadar olan yatay mesafedir (Wischmeier ve Smith 1978). Eğim uzunluğu arttıkça erozyonda artar. Kullanılacak *(L)* meyil uzunluğu faktörü aşağıdaki eşitlik yardımı ile hesaplanabilmektedir (McCool et al. 1989);

$$L = \left(I/22.1\right)^{0.5} \tag{12}$$

Bu denklemde, *L*= meyil uzunluk faktörünü ve *I* = meyil uzunluğunu (m) göstermektedir. Eğim derecesi faktörü *(S),* erozyon üzerinde eğim derecesinin etkisini belirtmekte kullanılır. Eğim dikliği arttıkça yüzey akış ve toprak kaybı artmaktadır. Tahtalı Havzası'nda her bir poligon (toplam 245 tane) için eğim uzunluğu ölçülmüş ve eğimlerin dağılım haritası çıkarılarak eğim derecesi faktörü belirlenmiştir. Eğim uzunluğu *(L)* ve eğim derecesi *(S)* faktörleri bir arada topoğrafik faktör olarak *(LS)* değerlendirilmektedir.

Bitki yönetim faktörü *(C),* erozyon miktarı üzerinde bitki ve yönetim uygulamalarının etkisini belirtmekte kullanılır. Tahtalı Havzası için arazi kullanım haritası **Şekil 2**'de verilmiştir. Buna göre havzanın %35'i orman, %31'i fundalık alan ve %10'u tarım alanıdır. Erozyon bu alanda en fazla olup *C* değeri bu alanlarda 1 olarak tanımlanmıştır. Toprak koruma önlemleri faktörü, *P*, önlem uygulanan parselde meydana gelen toprak kaybının nadas, doğal parseldeki toprak kaybına oranıdır. Bu çalışmada *P* değeri Oğuz ve diğerlerinin (2006) Izmir bölgesi için tanımladığı (0.10-0.92) değerlerinin ortalaması olan 0.44 alınmıştır.



Şekil 2. Tahtalı Havzası'nın arazi kullanım haritası

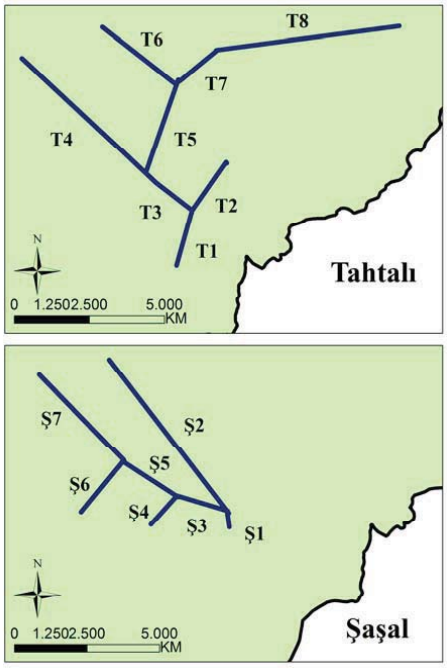
Tahtalı Havzası'nda oluşan toprak kaybını hesaplamak üzere havzanın İZSU'dan temin edilen 1:5000 ölçekli topoğrafik haritaları ve Köy Hizmetleri'nden temin edilen 1:25.000 ölçekli toprak ve arazi kullanım haritaları kullanılarak coğrafi bilgi sistemleri (CBS) ortamında sayısal veri tabanı oluşturulmuştur. Havzadaki toprak kaybı USLE kullanılarak toprak ve arazi kullanım haritalarında yer alan 245 poligon için ayrı ayrı hesaplanmıştır.

Daha sonra dereler kollara ayrılarak (**Şekil 3**) her bir kolun uzunluğu haritadan, genişliği ise yerinde yapılan ölçümlerle belirlenmiştir. **Çizelge 1'de** Tahtalı ve Şaşal dereleri için bölümlere ayrılan nehrin bölüm uzunluğu ve genişliği ile her bir bölüme alt havzalardan gelen ve USLE ile hesaplanan toprak kaybı miktarını göstermektedir.

Çizelge 1. Tahtalı ve Şaşal derelerinin bölümleri için uzunluk ve genişlik bilgileri ile her bir bölüme alt havzalardan gelen ve USLE ile hesaplanan toprak kaybı

Şaşal	Dilim No	Uzunluk (km)	Genişlik (m)	A (t/ha/yıl)
	S1	2	15	3.455
	S2	6.5	12	92.828
	S3	1.8	13	1.030
	S4	2	10	2.466
	S5	2.2	10	0.142
	S6	4.3	10	51.458
	S7	4	10	1.514
Tahtalı	T1	2	30	1.288
	T2	3.5	5	59.161
	T3	1.5	10	0.524
	T4	6	12	11.145
	T5	3	20	9.897
	T6	3	15	97.427
	T7	1.5	10	9.904
	T8	6	10	45.269

Havzada görülen taşkın sıklıklarına göre USLE ile hesaplanan yıllık sediment konsantrasyonları dilim birim alanlarına göre paylaştırılmıştır. **Çizelge 2'de** dilimlerin uzunlukları, genişlikleri, eğimleri, sediment konsantrasyonları *c (kg/m^2)*, maddenin dilim boyunca ilerleme süreleri (t) ve ilerleyiş hızları *(Vs)* verilmiştir. Debi tahmini, her bir dilimin kapsadığı havza alanlarına göre İzmir ili için %30 sızma kabulu ile *i=70mm/saat* yağış şiddeti hesaplanarak yapılmıştır. Nümerik model, taşkın hidrografı ve yanal sedıment miktarlarını girdi alarak, dereler boyunca sedimentin ilerleme sürelerini ve ilerleyiş hızlarını hesaplanmıştır.



Şekil 3. Bölümlere ayrılan **(a)** Tahtalı ve **(b)** Şaşal dereleri

Çizelge 2. Tahtalı ve Şaşal derelerinin bölümleri için uzunluk, genişlik, eğim ve sediment konsantrasyonları ile taşkın anında gelen akımın debi ve hızları

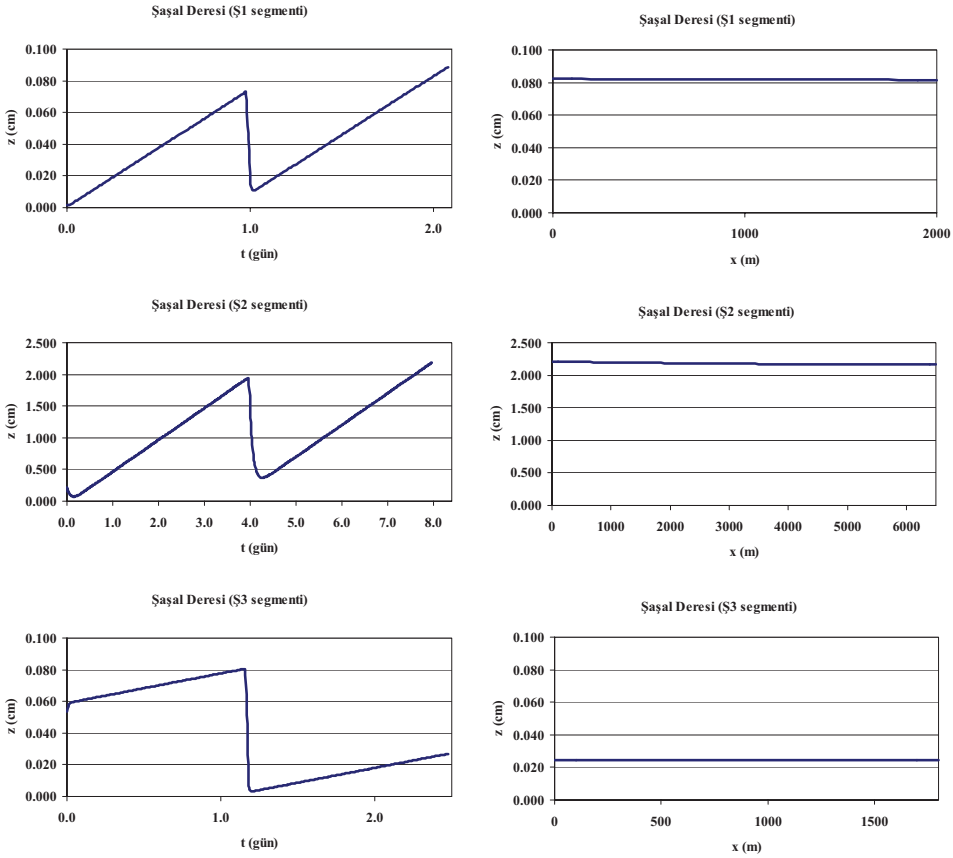
NO	L (m)	B (m)	c (kg/m^2)	Q (m^3/s)	t(gün)	Vs (m/sn)	So eğim
S1	2.0	15	0.12	20	2.1	0.01	0.0010
S2	6.5	12	3.09	20	8.4	0.01	0.0085
S3	1.8	13	0.03	20	2.5	0.01	0.0233
S4	2.0	10	0.08	20	2.1	0.01	0.0140
S5	2.2	10	0.00	20	2.3	0.01	0.0177
S6	4.3	10	1.72	20	4.5	0.01	0.0347
S7	4.0	10	0.05	20	4.2	0.01	0.0095
T1	2.0	30	0.04	40	3.3	0.01	0.0045
T2	3.5	5	1.97	40	1.6	0.03	0.0017
T3	1.5	10	0.02	40	0.6	0.03	0.0053
T4	6.0	12	0.37	40	3.5	0.02	0.0022
T5	3.0	20	0.33	40	1.7	0.02	0.0050
T6	3.0	15	3.25	40	1.7	0.02	0.0027
T7	1.5	10	0.33	40	0.5	0.04	0.0113
T8	6.0	10	1.51	40	2.7	0.03	0.0042

5. SONUÇLAR

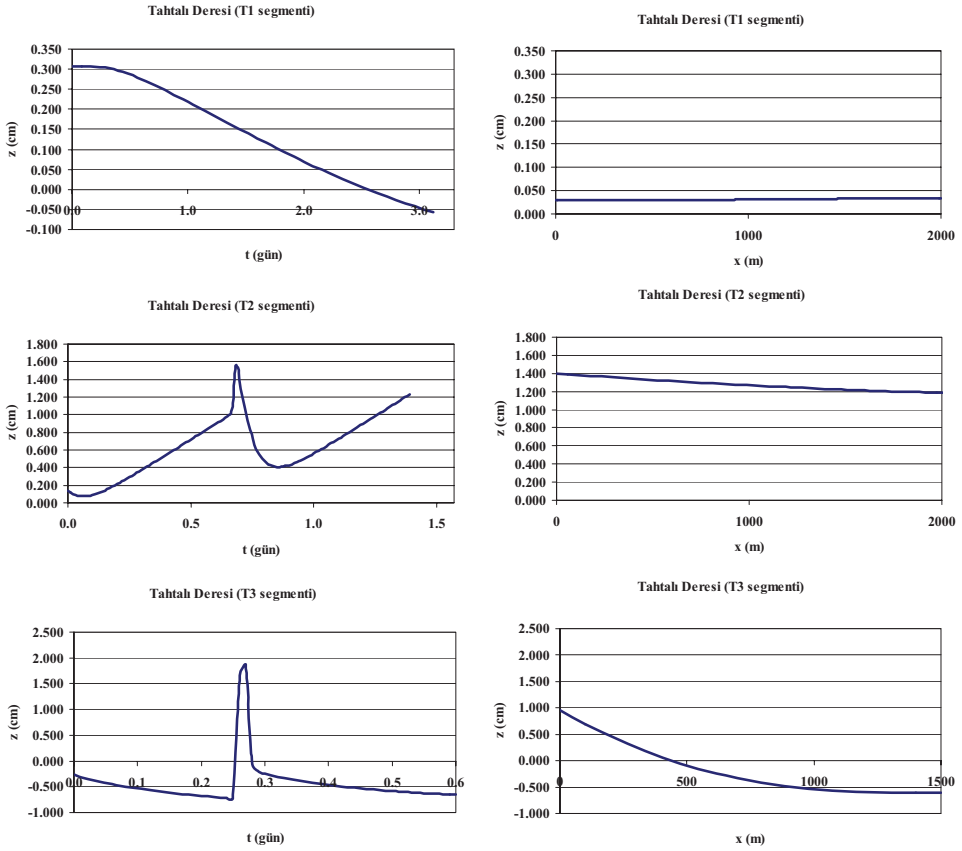
Nümerik model derelere uygulandığında Şaşal deresinin mansap kollarında dilim boyunca ve zamana bağlı olarak yığılan maddenin kalınlığı **Şekil 4'de** verilmiştir. Derenin üç kolunda da belli bir süre sonra katı madde birikimi azalma gösterdikten sonra, tekrar artışa geçmiştir. Bu süreler *Ş1* ve *Ş3* kollarında yaklaşık 1 gün, *Ş2* kolunda ise yaklaşık 4 gün olmuştur. Bunun sebebi diğer kollarındaki katı madde varış zamanlarının farklı olmasıdır. Bir koldaki besleme kesilince yatakta oyulma başlamakta ve tekrar başka koldan aktarım başladığında katı madde de yığılmaya başlamaktadır. En fazla yığılma en uzun dilim olan *Ş2* kolunda gözlenmiş ve 8 gün sonunda 2.2 cm civarında olmuştur.

Benzer şekilde Tahtalı deresi için mansap kollardaki yığılma kalınlıkları incelendiğinde grafikleri incelediğimizde (**Şekil 5**), yığılmanın en fazla *T2* kolunda oluştuğu, *T3* kolunda katı madde beslemesinin yetersiz kaldığı ve oyulma olduğu gözlenmiştir.

Tahtalı baraj haznesinin hidrodinamik ve sediment taşınımı modellenmesinin detayları Çalışkan ve Elçi (2009) ve Elçi ve diğerleri (2009) makalelerinde bulunabilir. Havzaya gelen yağışlar incelendiğinde yağışlı mevsimde (Aralık-Mart) ortalama 12 gün yağış olduğu gözlenmiş, yaz aylarında ise derelerin kuruduğu yahut çok az akışlarla hazneyi beslediği görülmüştür. Yağışlı mevsime göre modelleme yapıldığında derelerce taşınan maddenin yığılma bölgeleri belirlenmiştir. Buna göre en fazla yığılma dere ağızlarında, talveg denilen eski iki dere yatağında ve su alma yapısının önünde, derelerin birleştiği yerde meydana gelmektedir. Model sonuçları baraj haznesinin doldurulmasından itibaren (9 yıl) boyunca yığılma kalınlığını maksimum 1.27 m olarak en derin yer olan derelerin birleşme yerinde vermektedir. Haznede ortalama kalınlık ise yaklaşık 23 cm olarak hesaplanmıştır. Özellikle hazneye taşınan madde miktarının hesabındaki belirsizlikler nedeniyle model sonuçlarının gösterdiği yığılma miktarları değil de katı maddenin biriktiği bölgeler ileriki çalışmalarda referans teşkil etmelidir.



Şekil 4. Şaşal deresinde mansapta 1, 2 ve 3 nolu dilimlerde dilim boyunca ve zamana bağlı oluşan yığılma kalınlıkları



Şekil 5. Tahtalı deresinde mansapta 1, 2 ve 3 nolu dilimlerde dilim boyunca ve zamana bağlı oluşan yığılma kalınlıkları

6. Teşekkür

Bu çalışma TÜBİTAK 106M274 nolu proje kapsamında gerçekleştirilmiş olup yapılan maddi katkılar nedeniyle yazarlar TÜBİTAK'a müteşekkirdir.

7. Kaynaklar

Bor A,"Numerical modeling of unsteady and non-equilibrium sediment transport in riers", Master Thesis, Institute of Technology , Izmir, Turkiye, 2008.

ÇALIŞKAN A, ELÇİ Ş, "Effects of selective withdrawal on hydrodynamics of a stratified reservoir", Water Resources Management, 23, 2009.

Doğan O, "Türkiye yağışlarının erozyon oluşturma gücü ve üniversal toprak kaybı eşitliğinin yağış erozyon indis değerleri. Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü, Ankara

Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü Yayınları, Genel Yayın No:220, Rapor Seri No:120, Ankara, 2002.

ELÇI Ş, BOR A, ÇALIŞKAN A, "Utilizing numerical models and acoustic methods to predict reservoir sedimentation", Lake and Reservoir Management, 25, 3, 2009.

Guy H. P, Simons D. B and Richardson E. V, "Summary of alluvial channel data from flume experiments", U.S. Geol. Surv. Prof. Pap.,462-I, 96 pp. 1966.

HOTCHKISS, R. H, AND PARKER G, "Shock fitting of aggradational profiles due to backwater", J. Hydraul. Eng., 117(9), 1129-1144., 1991.

Langbein W. B, and Leopold L. B, "River channel bars and dunes – Theory of kinematic waves" U.S. Geol. Surv. Prof. Pap., 422 – L, 20 pp. 1968.

MCCOOL D. K, FOSTER G. R, MUTCHLER C. K, MEYER L. D, "Revised slope length factor for the universal soil loss equation", Trans. ASAE, 32, 1989.

Oğuz I, Cebel H, Özden S, Ayday E, Demiryürek M, USLE Manual for Turkey, Technical report of TAGEM – BB – TOPRAKSU 2006/01: 225, 41, 2006.

SONI J. P, "Laboratory study of aggradation in alluvial channels", J. Hydrol.,49, 87 – 106., 1981a.

TAYFUR G, and SINGH V. P, "Kinematic wave model of bed profiles in alluvial channels", Water Resour. Res., 42, W06414, doi: 10.1029/2005WR004089. 2006.

Wischmeier W. H, Smith D. ., Predicting Rainfall Erosion Losses – A Guide to Conservation Planning, U.S. Department of Agriculture, Agriculture Handbook: 537, 1978.

Ankara – Haymana Sırçasaray Barajı Mühendislik Hidrolojisinde Coğrafi Bilgi Sistemlerinin Kullanılması

İnci İnal[1], Hakan Kırmızıgül[2]

Özet: Bu çalışmada DSİ V.Bölge Müdürlüğü Planlama programında yer alan Ankara - Haymana Sırçasaray Barajının Mühendislik Hidrolojisi çalışmalarının, çağımızda hızla gelişen teknolojiye paralel olarak geliştirilen ileri yazılım ürünlerinden biri olan Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) kullanılarak yapılması hedeflenmiştir. Bu kapsamda, Yağış Alanı, En Uzun Dere Boyu (L) ve Havza Ağırlık Merkezinin bulunması, Hidrometeoroloji Bulduru Haritasının hazırlanması, havzada etkin olan Meteoroloji İstasyonları (Thissen Poligonu) ve Havza Eğri Numarasının belirlenmesi ve Harmonik Eğim hesabındaki kot okumaları bu yöntemle elde edilmiştir. CBS' nin ekipmanlarından olan "Arc Hydro Tools 9" ile belirlenen proje havzamızın Google Earth'e uyarlanmasında, Trackmaker ara yazılımı kullanılmıştır.

Anahtar Sözcükler: Coğrafi Bilgi Sistemleri, Arc Hydro, Google Earth

USING GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEM IN HYDROLOGIC ENGINNERING (SIRÇASARAY DAM PROJECT EXAMPLE)

Abstract: Sırçasaray Dam Project in Haymana district of Ankara province is in planning program of the 5th Regional Directorate of DSİ. In this study, hydrologic engineering studies of Sırçasaray Dam are carried out using one of the advanced sofware products, GIS. Within this context drainage area, the longest brook length (L), center of mass of the drainage area, hydrometeorological map, efficient meteorological stations in the drainage area (Thiessen Polygon), watershed curve number, altitude readings in harmonic slope calculations are all calculated by this software. Project basin is determined with "Arc Hydro Tools 9" and Trackmaker software is used for adapting this basin to Google Earth.

Keywords: Geographic Information System, Arc Hydro, Google Earth

1. GİRİŞ

Proje alanı, 12. havzada Ankara ili Haymana ilçesi Sırçasaray Köyü sınırları içerisindedir. Bu projede Sırçasaray Köyü arazilerinin sulanması amacıyla, köyün kuzeyinden geçen Acıöz Deresi üzerinde baraj yapılması planlanmıştır. Baraj ekseni

Sırçasaray Köyü içinde yer aldığından, projemiz Sırçasaray Barajı olarak adlandırılmıştır.
Proje hidrolojisindeki amaç, bir proje kesitinde beklenen taşkınların en doğru şekilde tahmin edilerek istenen emniyette gerçekleşmesini sağlamaktır. Hesaplamaları yapan mühendisin araziyi iyi tanıması ve araziye hakim olması gerekmektedir. Bu kapsamda CBS, verilerin mekandaki konumlarının gösterilmesine, yönetilmesine, işlenmesine, analiz edilmesine, modellenmesine ve görüntülenebilmesine olanak kıldığından, mühendislik çalışmalarında kullanılacak iyi bir araçtır.

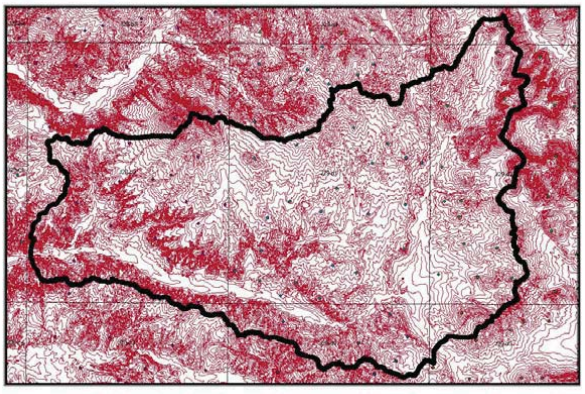
2. KULLANILAN YAZILIMLAR VE VERİ KAYNAKLARI

Çalışmada, 1:25 000 ölçekli vektör haritalar ve raster görüntü haritaları kullanılmıştır. Vektör haritalarının tepe noktaları(point) ve eş yükselti eğrileri (line), CBS sisteminin tanıdığı format olan "shp" dosyalarına dönüştürülmüştür. Vektör ve raster haritalarının tümünde projeksiyon koordinat sistemi UTM ve datum sistemi Europen 1950_Utm_Zone_36N kullanılmıştır.

Çalışmada, ArcGIS 9.2 yazılımlarından olan ArcMap uygulaması ile haritalama ve görselleştirme işlemi yapılmış, Arc Catalog uygulaması ile veri tabanı ve yönetimi oluşturulmuş ve ArcHydro uygulaması ile havzaya ait topoğrafik özellikler bulunmuştur. ArcMap' te bulunan proje yağış alanı Trackmaker ile Goolge Earth' e aktarılarak havza örtüsü tespit edilmiştir.

3. PROJE HAVZASINDA YAPILAN İŞLEMLER

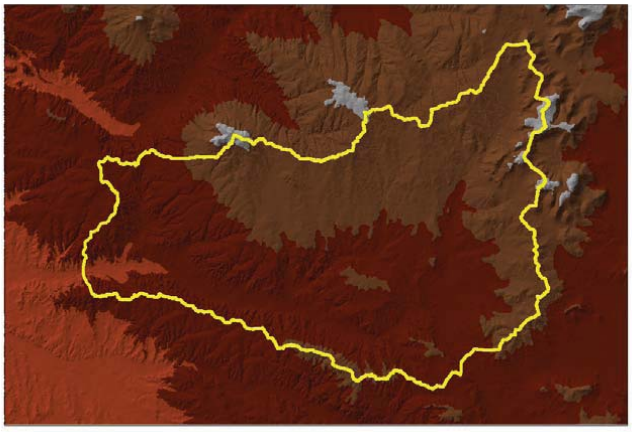
Havzamıza ait "shp" dosyası halindeki vektör ve raster haritalar CBS ortamına çağırılır ve aşağıdaki işlem sırası izlenir (Şekil:1).



Şekil 1: Sırçasaray Barajı "shp" haritası

3.1. TIN Haritası;

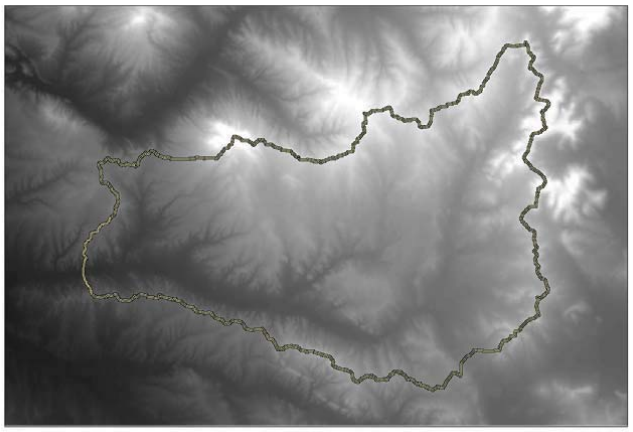
ArcMap' teki "3D Analyst" ekipmanlarından "Creat/Modify TIN" ve "Creat TIN from Feature" işlemleri seçilerek ilgili vektör haritalardan TIN katmanı oluşturulur. Oluşturduğumuz TIN katmanı, noktasal ve çizgisel yükseklik veri setlerinden eğim, bakı ve yükseklik bilgilerini kapsayan düzensiz üçgenler ağıdır (Şekil 2).



Şekil 2: Sırçasaray Barajı TIN haritası

3.2 TINGRID (Sayısal Yükseklik Modeli)

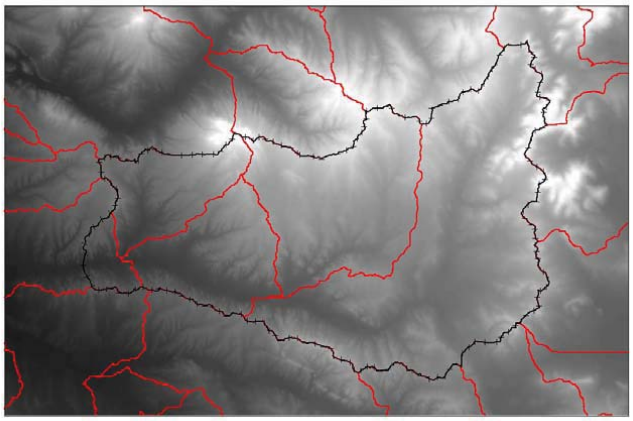
ArcMap' teki "3D Analyst" ekipmanlarından "Convert" ve "TIN to RASTER" işlemleri seçilerek TIN verisi, raster veri formatına dönüştürülerek TINGRID katmanı elde edilir (Şekil: 3)



Şekil 3: Sırçasaray Barajı TINGRID haritası

3.3. Yağış Alanı;

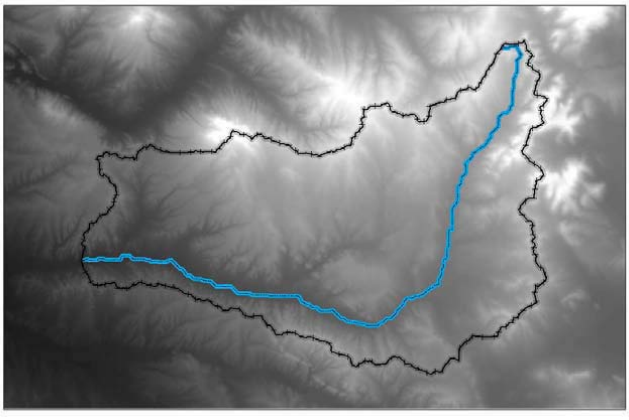
Sırçasaray Barajı Yağış Alanı, "ArcHydro Tools 9" modelindeki "Terrain (Arazi) Preprocessing" bölümünün altında yer alan Fill Sink, Flow Direction, Flow Accumulation (Su toplama Alanı), Stream Definition, Stream Segmentation, Catchment Grid Delinenation, Catchment Plygon Processing, Drainage line Processing ve Adjoint Catchment Processing işlemleri sırasıyla yapılarak tespit edilir. (Şekil:4).



Şekil 4: Sırçasaray Barajı YAĞIŞ ALANI haritası

3.4. En Uzun Dere Boyu (L);

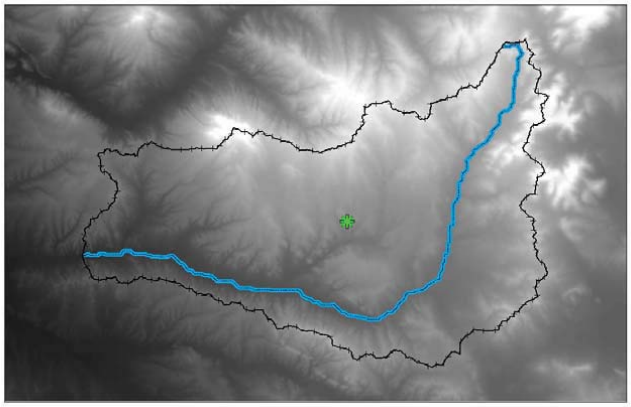
Sırçasaray Barajı En Uzun Dere Boyu (L), "ArcHydro Tools 9" modelindeki "Terrain (Arazi) Preprocessing" bölümünün altında yer alan Drainage Point Processing, Longgest Flow Path for Catchment ve Longest Flow Path for Adjoint Catchment işlemleri sırasıyla yapılarak tespit edilir (Şekil:5).



Şekil 5: Sırçasaray Barajı L (En Uzun Dere Boyu) haritası

3.5. Havza Ağırlık Merkezi;

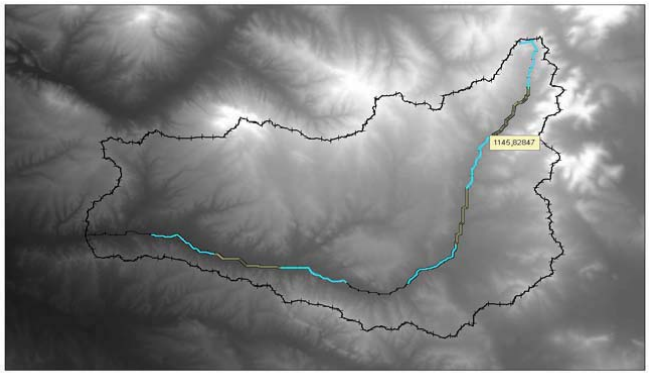
Sırçasaray Barajı Havza Ağırlık Merkezi, "ArcHydro Tools 9" modelindeki "Watershed Processing" bölümünün altında yer alan "Drainage Area Centroid" kullanılarak bulunur (Şekil:6).



Şekil 6: Sırçasaray Barajı AĞIRLIK MERKEZİ haritası

3.6. Harmonik Eğim;

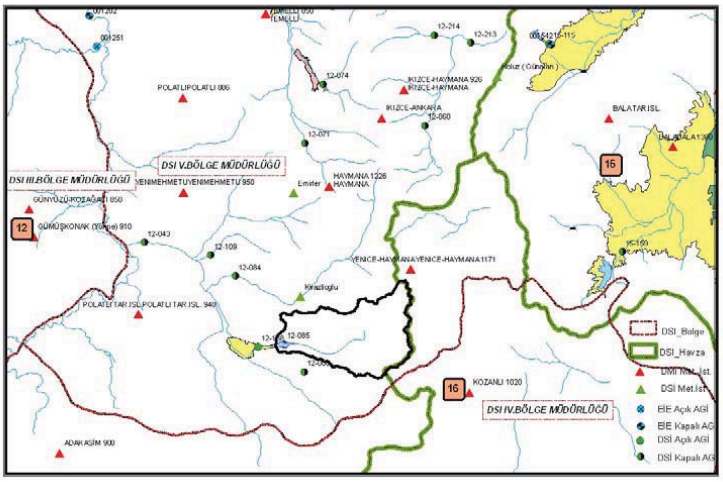
Sırçasaray Barajı Harmonik Eğim hesabı için En Uzun Dere Boyunun 10 eşit parçaya bölünüp her parçada kot okuması yapılmalıdır. Bunun için Longest Flow Path for Adjoint Catchment katmanı aktif hale getirilerek ArcMap' te "Editör" altındaki "Divide" işlemi ile En Uzun Dere Boyu (L) 10 eşit parçaya böldürülür. Tingrid Katmanı, yükseltileri gösterecek konuma getirilerek kotlar okunur (Şekil:7).



Şekil 7: Sırçasaray Barajı EN UZUN DERE (L) Boyundaki kot okumaları

3.7 Hidrometeoroloji Bulduru Haritası;

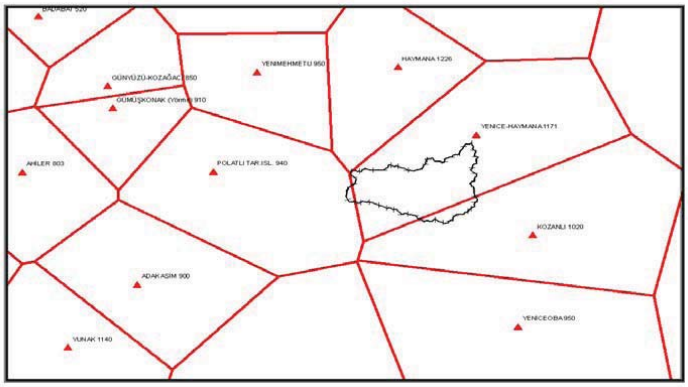
Sırçasaray Barajı hidrolojik çalışmalarında kullanılacak olan Akım Gözlem ve Meteoroloji Gözlem İstasyonlarının ve mevcut ve mutasavver projelerin yerinin görsel tespitine yönelik kullanılacak olan Hidrometeoroloji Bulduru Haritası, gerekli veri altlıkları kullanılarak hazırlanmıştır (Şekil:8).



Şekil 8: Sırçasaray Barajı HİDROMETEOROLOJİ BULDURU Haritası

3.8 Thissen Poligonu;

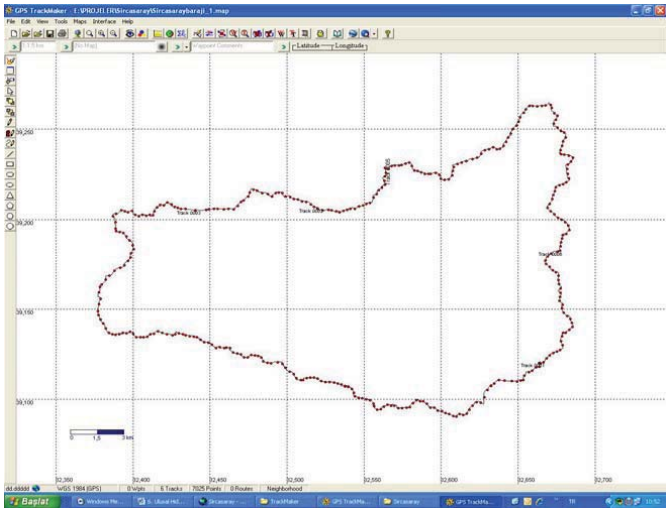
Sırçasaray Barajı havzasında etkin olan Meteoroloji Gözlem İstasyonlarından oluşturulan Thissen Poligonu, ArcMap' teki "Arctool box", "Analysis Tools", "Proximity", "Create Thissen Polygons" işlemleri sırasıyla yapılarak tespit edilir (Şekil:9).



Şekil 9: Sırçasaray Barajı THİSSEN POLİGONU

3.9 Havza Eğri Numarası;

Sırçasaray Barajı Havza Eğri Numarasının bulunmasında, Poligon formatında olan yağış alanı Line formatına çevrilir ve "Data Export" ile "shp" uzantılı dosya haline dönüştürülür. Trackmaker yazılımı ile bu "shp" uzantılı dosya çağırılır. (Şekil:10).



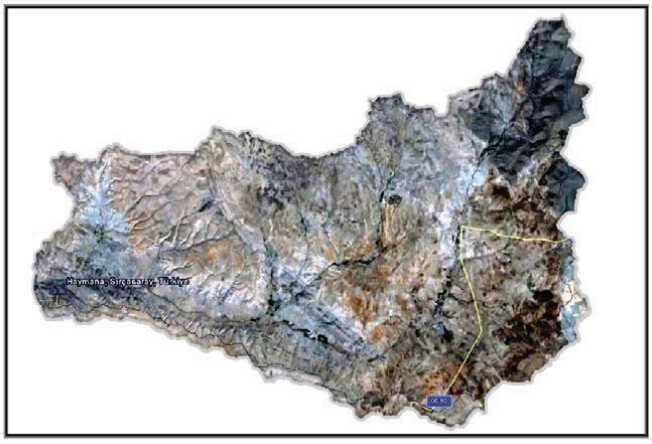
Şekil 10: Sırçasaray Barajı TRACKMAKER görüntüsü

Tarckmaker' da "Google Earth" işlemi yapılarak Sırçasaray Barajı yağış alanı, koordinatları ile gerçek yerine oturtulur. (Şekil:11).



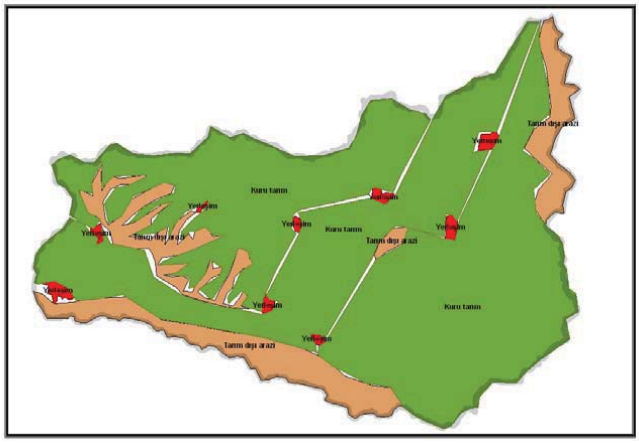
Şekil 11: Sırçasaray Barajı yağış alanının GOOGLE EARTH görüntüsü

Bu aşamada yağış alanı içindeki arazi örtüsü Google Earth imkanları ile kolaylıkla tespit edilecek konumdadır. Görüntü "jpg" dosyası olarak kaydedilir. ArcMap' te çağırılan "jpg" uzantılı görüntü üzerinde 4 veya 5 nokta seçilir ve "Georeferencing" altındaki "Rectify" ile görüntü ArcMap' teki koordinat sistemine oturtulur (Şekil:12).



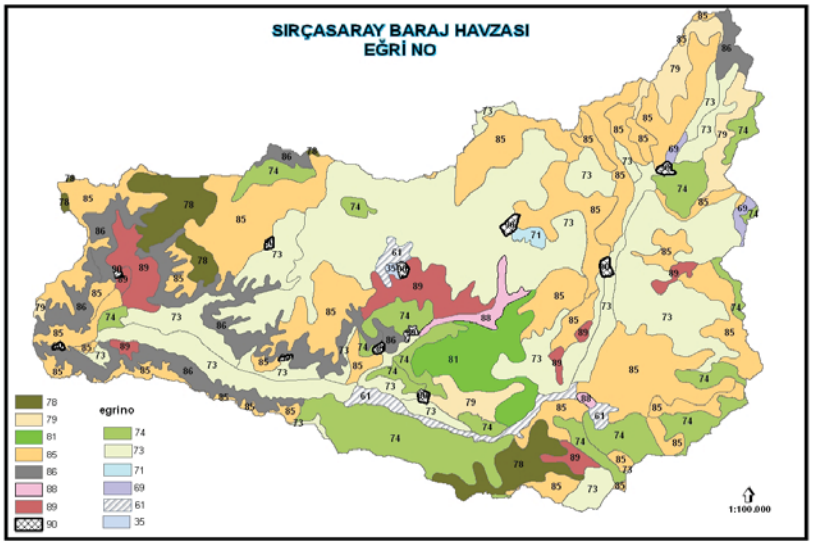
Şekil 12: ArcMap'te Sırçasaray Barajı yağış alanının GOOGLE EARTH görüntüsü

ArcMap' te yağış alanımıza ait havza üzerinde, hidrolojik zemin grupları ve bitki örtüsüne göre alanlar (sulu tarım, kuru tarım, tarım dışı arazi, yerleşim yeri, orman çiftlik ağaçları, yollar) belirlenir (Şekil:13).



Şekil 13: ArcMap'te Sırçasaray barajı HAVZA EĞRİ NO için belirlenen alanlar

Eğri numarasının diğer bir yöntemle hesaplanmasında ise Devlet Su İşlerinin taşkın uygulamalarında baz aldığı Uygulamalı Taşkın Hidrolojisi kitabında yer alan "Hidrolojik Zemin Grupları ve Bitki Örtüsüne Göre Akış Eğri No.ları"tablosundaki şartlar dikkate alınmıştır. Ayrıca eski Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğünün arazi etütleri sonucu elde ettiği toprak gruplarına ait haritalama standartları ve CBS'de oluşturulan veri tabanı bilgileri DSİ'nin eğri no bulunmasına ait tablo ile çakıştırılmış, bu tablo bilgilerine göre **CBS'nin bileşeni** olan **ArcMap** ortamında Sırçasaray barajının gerçeğe en yakın havza eğri no çalışması elde edilmiş ve aşağıda haritasal olarak verilmiştir.



3.10 CBS Teknolojisi İle Veri Üretimi

Bu çalışma, kişisel bilgisayarlarda yüklü bulunan CBS yazılımı imkanlarını kullanarak yapılmıştır. Üretilen datalar, "Microsoft Office Access" veritabanı altında oluşturulan tablolarda yer alan proje veya projelere ait bilgilerdir. Bununla beraber CBS, Oracle ve benzeri güçlü ilişkisel veritabanlarını altlık olarak kabul etmektedir. Şunu demek istiyoruz ki CBS; ".NET" gibi yazılım araçları ile oluşturulacak giriş ekranlarına statik bilgileri ve dinamik bilgi girişlerini (Akım Gözlem İstasyonu veya Meteoroloji Gözlem İstasyonundan Uydu veya GSM ile alınan gerçek zamanlı verileri) veri tabanı analizi iyi yapılmış ilişkisel veri tabanlarına kaydedebilir ve bu altlığı kullanarak kullandığı veriyi görsel olarak aktarabilir. Bu çalışmada da görüldüğü üzere, eski Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü tarafından üretilen toprak etüdleri verileri, eğri numarasının elde edilmesine ait çok önemli bir veri altlığı oluşturmaktadır. Hidrolojik veri tabanı tasarımı açısından burada çıkarılacak sonuç şudur; veri tabanı tasarımında etüd edilecek ve üretilecek tüm hidrolojik verilerin neler olduğuna karar verilmesi, karar verilen verilerin tek bir kurum tarafından üretilmesi gereklidir. Örneğin bu kurum "Su Entitüsü" olarak adlandırılabilir. Daha sonraki aşamada **veri üretimine** yönelik veri

tabanı çalışmalarının yapılmasının ve çeşitli hidrolojik modellere bu çalışmaların transferinin yapılmasının sağlıklı olacağını düşünmekteyiz.

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada Sırçasaray Barajının Mühendislik Hidrolojisi çalışmalarında kullanılacak olan Havza Fiziksel Özellikleri , yukarıda bahsedilen CBS çalışmaları kullanılarak elde edilmiştir. Hidroloji çalışmalarında sağlıklı sonuçlar alabilmek için proje havzasının tüm özelliklerinin bilinmesi gereklidir. Havzaya ait mekansal ve sayısal verilerin kaydedilmesi ve bunların mekansal durumlara göre sorgulanması için en etkin teknolojik yazılım aracı CBS olarak görülmektedir. Bu sebeple, Hidroloji çalışmalarında CBS' nin etkin olarak kullanılmasının, bu işi yapan teknik elemanlara hem zamandan tasarruf hem de güçlü bir analiz olanağı sağladığı görülmüştür.

5. KAYNAKLAR

ANONİM, 2010, DSİ Sayısal Bilgi Sistemi

ÖZDEMİR, H.,1978, "Uygulamalı Taşkın Hidrolojisi", DSİ Yayını

KOL, Ç., KÜPCÜ, S., 2008, "Esri ArcGIS 3D Analiz", İşlem Coğrafi Bilgi Sistemleri Müh. Ve Ltd. Şti.

KOL, Ç., KÜPCÜ, S., 2008, "Esri ArcGIS Spatial Analiz", İşlem Coğrafi Bilgi Sistemleri Müh. Ve Ltd. Şti.

Farklı Yöntemlerle Olasılıklı Ortalama Sıcaklık Değerlerinin Coğrafi Bilgi Sistemi Ortamında Haritalanması ve Karşılaştırılması: Seyhan Havzası Örneği

Ali Demir Keskiner[1] , Mahmut Çetin[2]

Özet: Bu çalışmada, tarımsal amaçlı küçük göletlerin *M.Turc* yöntemiyle projelendirilmesinde kullanılan yıllık ortalama sıcaklık serilerinin uygun olasılık dağılım fonksiyonlarının saptanması; %50 olasılıklı sıcaklıkların farklı yöntemlerle gözlemi olmayan noktalarda tahmin edilmesi ve *coğrafi bilgi sistemi* (*CBS)* ortamında haritalanarak kıyaslanması amaçlanmıştır. Araştırma, 21 470.3 km² genişliğindeki Seyhan Havzasında yürütülmüştür. Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'ne (*DMİ*) ait 45 adet meteoroloji gözlem istasyonunun uzun yıllar ortalama sıcaklık serileri temel materyal olarak kullanılmıştır. Kayıt uzunlukları on beş yıldan daha az olan istasyonların ortalama sıcaklık serileri, regresyon analiz tekniği ile tamamlanarak frekans analizine tabi tutulmuştur. Uygun olasılık dağılım modelleri, %5 önem düzeyinde *Kolmogorov-Smirnov* uygunluk testi ile saptanmıştır. Uygunluk testi sonuçlarına göre; istasyonlardan %60'ının *Lojistik*, %11'inin *Log-Lojistik*, %11'inin *Normal*, %11'inin *Weibull*, %7'sinin ise *Genel Beta* dağılıma uyduğu belirlenmiştir. *M.Turc* yönteminde kullanılan %50 olasılıklı ortalama sıcaklık değeri, her bir istasyon için olasılık dağılım modelinden kestirilmiştir. *Ordinary Kriging ve Ordinary Cokriging* kestirim teknikleri ile *Çoklu Regresyon* yöntemi kullanılarak %50 olasılıklı ortalama sıcaklık değerleri *CBS* ortamında 250 m x 250 m boyutlu gridler esas alınarak haritalanmıştır. Minimum hata kriterine göre, Seyhan Havzasında %50 olasılıklı ortalama sıcaklıkların *Çoklu Regresyon* yöntemi ile haritalanmasının uygun olduğu sonucuna varılmıştır. *Çoklu Regresyon* yöntemiyle üretilen %50 olasılıkla beklenen sıcaklık haritasının, Seyhan Havzasında verisi olmayan alt havzalardaki gölet planlama çalışmalarında kullanılması önerilmiştir.

Anahtar Sözcükler: Seyhan Havzası; Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS); Kriging; M.Turc Yöntemi; Çoklu Regresyon

[1] İl Özel İdaresi Tarımsal Hizmetler Müdürlüğü, Osmaniye, E-Posta: jdemir1@hotmail.com; Tel: 0506 582 62 27

[2] Prof. Dr., Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi,Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü, 01330 Balcalı-Adana
E-Posta: mcet64@cu.edu.tr; Tel: ++90 (322)338 68 77; ++90533 740 53 19; Faks: ++90 (322) 338 63 86

Mapping of Probability Mean Temperatures through Using Different Interpolation Techniques in Geographic Information Systems Media and Comparison: A Case Study in the Seyhan River Basin

Abstract: The objectives of this study were (1) to determine the best fitting probability distribution models to the mean annual temperature series, required by *M. Turc* method in the planning and design of small earthen dams, (2) to estimate mean temperature values at the 50% probability level in areas where no observations are available, and (3) to produce maps of estimated temperatures in geographic information systems (*GIS*) media by using different interpolation techniques, and to compare interpolation techniques used. This study was carried out in the Seyhan River Basin, covering 21 470.3 km² surface area. Long-term annual temperature series of 45 meteorological observation stations of Turkish State Meteorological Service were utilized in this study. Meteorological stations of record length less than 15-year were determined and record length was extended to at least 15-year through using regression analysis. Then, frequency analysis was performed on the temperature series. *Kolmogorov-Smirnov* goodness-of-fit test was utilized to determine whether observed temperature values came from a particular, known, and completely specified cumulative probability distribution at the 5% significance level or not. Goodness-of-fit test results indicated that the percentages of stations fitted to the *Logistic, Log-Logistic, Normal, Weibull, Generalized Beta* distribution models were 60, 11, 11, 11 and 7, respectively. Mean temperature values -used in *M.Turc* surface runoff estimation method- of the 50% probability of occurrence were estimated from probability distribution models for each meteorological. *Ordinary Kriging, Ordinary Cokriging* and *multiple regression techniques* were employed to produce 50% probability mean temperature maps by setting 250 m x 250 m size-grids in *GIS* media. Based on the "*minimum error"* criterion, it was concluded that *Multiple Regression* technique was the best suitable interpolation method for the purpose of mapping mean temperature with 50% probability level in the Seyhan Basin. It was recommended that probability temperature map produced by *Multiple Regression* method may be used confidently in the planning and design phases of small earthen dams in sub-catchments of Seyhan Basin where no temperature observations are available.

Keywords: Seyhan Basin; Geographic Information Systems (GIS); Kriging; M.Turc Method; Multiple Regression

1. GİRİŞ

Su kaynaklarının, sürdürülebilir kalkınma ilkesine uygun olarak havza bazında ve diğer doğal kaynaklarla bütünlük içerisinde yönetilmeleri gerekmektedir. Bu ise, sürekli olarak güncelleştirilip, uyarlanabilen bir havza bilgi sistemi ile olasıdır. Ülkemizde, henüz "*havza bilgi sistemi*" kavramı ve felsefesi yerleşmiş değildir. Dolayısıyla, havza yönetiminin başlangıç aşamasında bile önemli bir eksiklikle karşı karşıya kalınmaktadır (Şen, 2002). Coğrafi Bilgi Sistemleri (*CBS)* havza yönetimi açısından; havzaya ait verilerin toplanması, sayısal ortamda depolanması ve konumsal analizlere olanak sağlayacak şekilde sorgulanmasına gerekli ortamları hazırlamaktadır (Nişancı ve diğ., 2007). *CBS* ortamında; iklim parametrelerinin noktasal gözlem değerleri kullanılarak alansal dağılımları elde edilebilmekte, elde edilen haritalar farklı katmanlarda

saklanabilmekte ve işlemlerin gerçekleştirilmesinde birden çok yöntemin kullanılma olanağı bulunmaktadır. Ancak, bir bölge için uygun olan yöntem diğer bir bölgede uygun olmamaktadır. Yapılacak çalışmalarla bölgenin özelliklerine ve eldeki verilerin yapısına bağlı olarak uygun yöntemin ya da yöntemlerin (Güler ve Kara, 2007) belirlenmesi gerekmektedir. Özellikle göletlerin planlanmasında, bu tür çalışmalara daha çok ihtiyaç duyulmaktadır.

Gölet planlamalarında ve havza su veriminin saptanmasında en güvenli yol, akım gözlemlerine dayanan hesaplamalardır. Ancak, göletlerin tesis edildiği derelerin çoğunda akım gözlemleri bulunmaması nedeniyle; havza su verimleri ampirik yöntemler ile belirlenmektedir (Gündoğdu ve diğ., 2001). Bu nedenle, göletlerin kapasitelerinin saptanmasında ülkemizde uygulamacı kuruluşlarca *M. Turc* yönteminin yaygın olarak kullanıldığı (Vanlı, 1990) dikkati çekmektedir. *M. Turc* yöntemi ile havza su verimi hesaplanırken, havzayı temsil ettiği varsayılan meteoroloji gözlem istasyonunun yıllık toplam yağış serileri ve yıllık ortalama sıcaklık serileri kullanılmaktadır. Ancak; söz konusu istasyonun yıllık yağış ve sıcaklık serileri, noktasal nitelikli olduğundan, havzayı yeterince temsil ettiği söylenemez. Ayrıca, iklim elemanlarının meteoroloji gözlem istasyonlarında gözlenen uzun yıllar ortalama değerleri çarpık dağılım gösterebilmektedir. Dolayısıyla, uzun yıllar ortalaması gibi bir değerin proje kriteri olarak kullanılması da sakınca yaratmaktadır (Çetin ve diğ., 2001). Bu nedenle; bu araştırmada havzayı temsil eden istasyonun ortalama sıcaklık değeri yerine, havzadaki istasyonların sıcaklık serilerinin frekans dağılımlarından elde edilen %50 olasılıkla beklenen ortalama sıcaklık değerlerinin kullanılması benimsenmiştir. Barnes (2003) tarafından da işaret edildiği gibi, bir alan üzerine rastgele dağılmış meteoroloji gözlem istasyonlarına ilişkin iki farklı zamana ait, iki farklı veri gurubundan elde edilen istatistikler hemen hemen birbirine çok yakın ve histogramları da birbirine oldukça benzer olabilmektedir. Bu istatistiklere bakılarak, iki veri gurubunun alan üzerindeki dağılımlarının aynı olduğu ya da bu verilerin aynı populasyona ait olduğu sonucuna da varılamaz. Çünkü, havzada eş zamanlı olarak gözlenen verilere ilişkin istatistiklerin hesabında da gözlemlerin yapıldığı yerin coğrafi konumu, gözlem istasyonlarının alan üzerindeki dağılımı ve gözlemler arasındaki korelasyon (Çetin, 1996) dikkate alınmamaktadır. Gözlemlerin birbirinden bağımsız olduğu, örnek ortalamasının kitle ortalamasını en iyi şekilde temsil ettiği ve normal dağılıma uyduğu kabul edilmektedir (Çetin ve Tülücü, 1997). Ancak; bir gözlem uzayındaki veriler konumları ve aralarındaki uzaklığa bağlı olarak önemli derecede birbirleriyle bağımlı olabilmektedirler. Bu nedenle; eksik verilerin tamamlanması, gözlemi bulunmayan noktalardaki ihtiyaç duyulan verilerin tahmini, verilere ilişkin istatistikler haritalanarak elde edilen eş düzey eğrileri yardımı ile incelenen özelliğin alan üzerindeki değişiminin belirlenmesinde, veriler arasındaki korelasyonda (Burgess ve Webster, 1980) göz önünde bulundurulmalıdır. Böylece, gözlemi olmayan bir yer için sıcaklık, yağış vb. veri tahmininde tek bir istasyon yerine birden çok istasyon verisi kullanılarak daha gerçekçi bir tahmin yapılabilecektir. Bu tahmin ise, tek bir istasyon verisi kullanılarak elde edilecek tahmine göre daha gerçekçi olacaktır.

Seyhan Havzasında, havza bilgi sistemine yönelik yapılan bu çalışmada; göletlerin projelendirilmesinde temel parametrelerden biri olan *yıllık ortalama sıcaklık* değerleri yerine, *%50 olasılıklı ortalama sıcaklık* değerlerinin kullanılma olanaklarının araştırılması; %50 olasılıklı ortalama sıcaklıkların *CBS* ortamında haritalanmasında *Ordinary Kriging, Ordinary Cokriging* ve *Çoklu Regresyon Analizi* yöntemlerinden en

uygun olanının saptanması ve uygun yönteme göre çizilecek olasılıklı sıcaklık haritasının uygulayıcıların hizmetine sunulması amaçlanmıştır.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Materyal

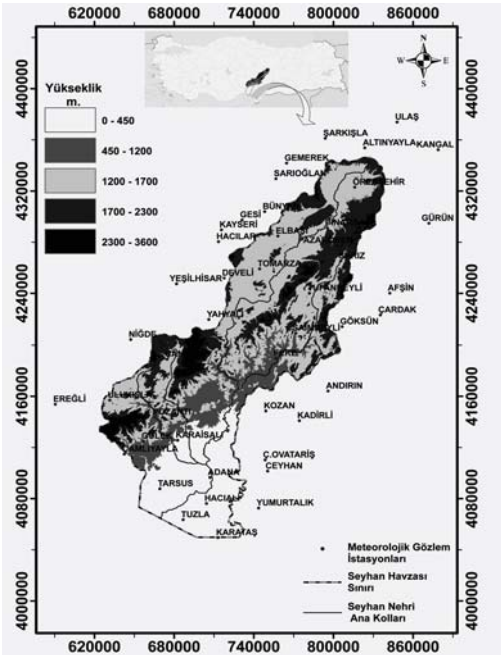
Bu çalışma; 21 470.3 km² genişliğindeki Seyhan Havzasında yürütülmüştür. Araştırmada; havza içinde ve hemen sınırında yer alan 45 adet meteorolojik gözlem istasyonun DMİ Genel Müdürlüğünden günlük olarak temin edilen uzun yıllık ortalama sıcaklık serileri kullanılmıştır. Meteoroloji istasyonlarının enlem ve boylam olarak koordinat değerleri, DMİ'den derece-dakika biriminden temin edilmiştir. Gauss-Krüger koordinat sistemine *NETCAD* yazılımı ile çevrilmiştir.

Araştırmada kullanılan Seyhan Havzasına ait sayısal yükseklik modeli (SYM) görüntüleri, 1/250 000 ölçekli topoğrafik haritalar kullanılarak *ArcGIS* yazılımı ile sayısallaştırılmış ve 250 m x 250 m çözünürlükte türetilerek işleme alınmıştır. Seyhan Havzasının SYM görüntüsü ile meteoroloji gözlem istasyonları konumları **Şekil 1'de** verilmiştir.

2.2. Yöntem

2.2.1. Regresyon Analizi

Bu araştırmada; *Polinom Tipi Regresyon* Modelleri (**Denklem 1)** ve *Çoklu Doğrusal Regresyon* modeli (**Denklem 2)** kullanılmıştır. Doğrusal, Kuadratik ve Kübik regresyon modelleri (Ryan ve Cryer, 2005) ile eksik veriler tamamlanmıştır. Belirtme Katsayısı (R^2) değeri en büyük, standart sapması en küçük model seçilerek eksik gözlem serileri uzatılmıştır.



Şekil 1.. Çalışma Alanının Türkiye'deki Konumu ve SYM Görüntüsü

$$\left.\begin{aligned} Y &= b_0 + b_1 X + e \\ Y &= b_0 + b_1 X + b_2 X^2 + e \\ Y &= b_0 + b_1 X + b_2 X^2 + b_3 X^3 + e \end{aligned}\right\} \quad (1)$$

Burada;

Y = Bağımlı değişkeni, X = Bağımsız değişkeni

b_i = Regresyon katsayılarını, e = Hata terimini göstermektedir.

Frekans analizi sonucu elde edilen P=%50 olasılıklı ortalama sıcaklık (*T%50)* değerlerinin kestiriminde çoklu regresyon modeli **(Denklem 2)** kullanılmıştır. Denklemin parametreleri *SPSS* istatistik yazılımı kullanılarak *geriye doğru ayıklama yöntemi* ile α= 0.10 önem düzeyinde belirlenmiştir.

$$T\ \%50 = b_0 + b_1\, EN + b_2\, YÜK + b_3\, DU + b_4\, SR + b_5\, B \quad (2)$$

Burada;

T%50=%50 Olasılıklı Ortalama Sıcaklık (C°), b_i = Regresyon katsayıları

SR = Solar Radyasyon (k J/m²), *B* = Bakı (derece)

DU = Denizden Uzaklık (m), *EN*= Enlem (m)

YÜK = Yükseklik (m)'dir.

2.2.2. Frekans Analizi

Frekans analizleri; arşivinde 28 adet olasılık dağılım fonksiyonu olan *BestFit* yazılımı ile gerçekleştirilmiştir (Bestfit, 2004). Dağılımların uygunluk testleri (Tülücü, 1988); %5 önem düzeyinde Kolmogorov-Smirnov testine göre yapılmıştır. Belirlenen dağılımlar ve parametreleri kullanılarak *"frekans faktörü eşitliği"* (Chow ve diğ., 1988) yardımı ile (**Denklem 3)** %50 olasılıkla beklenen ortalama sıcaklıklar tahmin edilmiştir.

$$X_{p\%} = \overline{X} + K_{p\%}.S \tag{3}$$

Burada;

$X_{p\%}$ = İncelenen değişkenin $P_{\%}$ olasılık düzeyinde beklenen değeri,

$\overline{X}$ = Seri ortalaması,

$K_{p\%}$ = Frekans faktörü olup, belirlenen olasılık düzeyinde ($P_{\%}$) verilen frekans dağılımının bir özelliğidir (Çetin ve diğ., 2001),

S = Standart sapmadır.

2.2.3. CBS Ortamında Çoklu Regresyon Modeli İle Tahmin Haritalarının Oluşturulması

Bu çalışmada çoklu regresyon analizi ile elde edilen regresyon modelleri ve cebirsel haritalama tekniği (Ninyerola ve diğ., 2000) kombinasyonu birlikte uygulanmıştır. **Denklem (2)**'de yer alan *EN, YÜK, DU, SR ve B* bağımsız değişkenlerinin her biri için *Erdas* yazılımı ile Seyhan Havzası SYM görüntüsü kullanılarak raster formatındaki haritaları oluşturulmuş; harita katmanları ile model denkleminin işletimi, *ArcGIS* yazılımının *Map Algebra* modülü ile 250 m x 250 m boyutlu gridler için yapılmıştır.

2.2.4. Jeoistatistik Analiz

Jeoistatistik analizin birinci ve en önemli aşaması gözlem alanı içersindeki uzaysal bağımlılık yapısını ortaya koyan yarıvariogram analizidir (Olea,. 1977; Çetin, 1996). x_i ve x_j sırasıyla *i* inci ve *j* inci gözlem noktası koordinatlarını, $z(x_i)$ ve $z(x_j)$ sırasıyla *i* ve *j* gözlem noktalarındaki gözlenen değeri göstermek üzere; *N* sayıdaki gözlem değerinin deneysel yarıvariogramı, *(i,j)* gözlem çiftleri arasındaki öklid uzaklığı *h*'a bağımlı olarak **Denklem (4)** ile belirlenmektedir (Vieira ve diğ., 1983; Tabios ve Salas, 1985).

$$\gamma(h) = \frac{1}{2} E\left[\{Z(x_i) - Z(x_j)\}^2\right] \quad ; \quad i, j = 1,N \tag{4}$$

Hidrolojik çalışmalarda genellikle *Küresel*, *Doğrusal* ve *Gauss* tip yarıvariogram modelleri kullanılmaktadır (Delhomme, 1978; Clark, 1979; Englund ve Sparks, 1988).

2.2.4.1. Ordinary Kriging Yöntemi

Gözlemi bulunmayan ya da eksik gözlemli yörelerin noktasal değerleri yarıvariogram modeli ve kriging denklem sistemi yardımıyla tahmin edilebilir (Bastin ve Gevers, 1985; Burgess ve Webster, 1980). Yapılan tahminin güvenilirliği, tahmin varyansının büyüklüğü ile ters orantılıdır. Tahmin varyansı, tahminde kullanılan gözlem sayısı *n* ve yarıvariogram fonksiyonu tarafından etkilenir (Trangmar ve diğ., 1985).

2.2.4.2. Ordinary Cokriging Yöntemi

Cokriging yöntemi; yarıvariogram veya kovaryansı (otokorelasyon) ve çapraz kovaryansı (çapraz korelasyon) kullanır. *Ordinary Krigingden* farkı, ikinci bir değişkenin eklenmesidir (Güler ve Kara, 2007). Covariogramların oluşturulması ve Cokriging tahminlerine ilişkin matematiksel eşitlikler Goovaerts (1998)'de ayrıntılı bir şekilde verilmiştir.

2.2.5. Yöntemlerin Kıyaslanması

Tahminlerin performansının belirlenmesinde; Bias (**Denklem 5)**, PH_T (**Denklem 6)**, RMSE (**Denklem 7)**, MSE (**Denklem 8)** ve MAD (**Denklem 9)** ölçütleri yaygın olarak (Topaloğlu, 1999) kullanılmaktadır. Seyhan Havzasında, üç yöntemle elde edilen %50

olasılıkla beklenen ortalama sıcaklık haritalarından hangisinin havzayı daha iyi temsil ettiği bu ölçütlere göre belirlenmiştir.

$$Bias = \left[n^{-1} \sum_{i=1}^{n} \left(\hat{Y}_i - Y_i \right) / Y_i \right] \tag{5}$$

$$PH_T = n^{-1} \sum_{i=1}^{n} \left| \left(Y_i - \hat{Y}_i \right) / Y_i \right| 100 \tag{6}$$

$$RMSE = \left[n^{-1} \sum_{i=1}^{n} \left(Y_i - \hat{Y}_i \right)^2 \right]^{0.5} \tag{7}$$

$$MSE = \left[n^{-1} \sum_{i=1}^{n} \left(Y_i - \hat{Y}_i \right)^2 / Y_i \right] \tag{8}$$

$$MAD = n^{-1} \sum_{i=1}^{n} \left| \left(Y_i - \hat{Y}_i \right) \right| \tag{9}$$

Burada;

$\hat{Y}_i$ = Göz önüne alınan yöntemle her bir istasyon için tahmin edilen değeri,

Y_i = İstasyonlardan elde edilen değeri, n = Gözlem sayısını göstermektedir.

3. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

3.1. Eksik Gözlemlerin Tamamlanması

Güvenilir frekans analizi yapabilmek için, en az on beş gözlem kullanılması önerilmektedir. Bu nedenle, çalışma alanındaki on yedi istasyonun eksik olan sıcaklık değerleri **Çizelge 1'de** görüldüğü gibi komşu istasyon verilerinin regresyon analizine tabi tutulması ile on beş yıla tamamlanmıştır.

Regresyon analizleri, *MINITAB* istatistiksel paket programı ile yapılmıştır. İstasyonların eksik gözlemlerinin tamamlanmasında ve serilerin uzatılmasında, doğrusal modellerin kullanılması gerektiği sonucuna varılmıştır. Doğrusal olmayan parabolik ilişkiler kullanıldığında verilerdeki küçük değişimlerin, hesaplanan değerlerde büyük farklılıklara neden olduğu görülmüştür.

Çizelge 1. Eksik Verilerinin Tamamlanmasında İlişkilendirilen İstasyonlar

No	Bağımlı Değişken	Bağımsız Değişken	Korelasyon Katsayısı r	Belirtme Katsayısı R^2(%)	Düzeltilmiş Belirtme Katsayıs R^2düz. (%)	Tahminlerin Standart Sapması, S	Kullanılan Model
1	Altınyayla	Kangal	0.938	96.7	95.4	0.175	Kuadratik
2	Andırın	Feke	0.860	74.0	70.3	0.330	Doğrusal
3	Bünyan	Kayseri	0.958	91.8	91.0	0.225	Doğrusal
4	Ç.Ovatariş	Ceyhan	0.946	89.4	88.2	0.233	Doğrusal
5	Çamlıyayla	Gülek	0.997	99.0	99.0	0.004	Kübik
6	Çardak	Göksün	0.969	93.9	92.8	0.251	Doğrusal
7	Elbaşı	Pınarbaşı	0.834	85.7	71.5	0.125	Kuadratik
8	Gesi	Pınarbaşı	0.997	99.4	99.1	0.100	Doğrusal
9	Hacılar	Pınarbaşı	0.963	92.8	91.0	0.114	Doğrusal
10	Kadirli	Kozan	0.840	70.5	65.6	0.340	Doğrusal
11	Örenşehir	Bünyan	-0.486	98.9	96.6	0.092	Kuadratik
12	Pazarören	Pınarbaşı	0.968	93.7	92.8	0.219	Doğrusal
13	Saimbeyli	Tufanbeyli	0.932	91.2	86.8	0.266	Kübik
14	Tarsus	Yumurtalık	0.838	70.2	66.5	0.374	Doğrusal
15	Tuzla	Yumurtalık	0.982	96.4	96.0	0.093	Doğrusal
16	Yahyalı	Niğde	0.914	83.6	81.6	0.361	Doğrusal
17	Yeşilhisar	Develi	0.962	94.7	92.6	0.207	Kuadratik

3.2. Sıcaklık Serilerinin Frekans Analizi Sonuçları

BestFit istatistik programı ile 45 adet istasyonun yıllık ortalama sıcaklık serilerinin frekans analizi yapılmış; olasılık dağılımları ve parametreleri belirlenmiştir. Frekans analizi sonucunda; Seyhan Havzası içinde ve dışında bulunan 45 istasyonun yıllık ortalama sıcaklık serileri 5 farklı olasılık dağılımı ile temsil edilmiştir. İstasyonların; 27'si *Lojistik*, 5'i Log-Lojistik, 5'i *Normal*, 5'i *Weibull* ve 3'ü *Genel Beta* dağılımları ile ifade edilmiştir. Bu bulgulara göre; yıllık ortalama sıcaklık serilerinin olasılık dağılımlarının karakteristiğinin homojen bir yapı sergilediği görülmüştür.

3.3. Çoklu Regresyon Analizi Sonuçları

CBS ortamında çoklu regresyon modeli ile iklim elemanları haritasını yapabilmek için haritalanacak değişkenin model denklemi olmalıdır. Bu nedenle **Denklem (2)**'de gösterilen model değişkenlerinin regresyon analizi yapılarak sonuçlar **Çizelge 2'de** sunulmuştur.

Yapılan *F* ve *t* testi sonuçlarına göre, α=0.10 önem düzeyinde iki nolu regresyon modeli **(Çizelge 2)** ve regresyon katsayıları istatistiksel olarak çok anlamlıdır. Yükseklik ve denizden uzaklık değişkenlerinin Model 2'de kesinlikle olması önerilmektedir. Seyhan Havzasında %50 olasılıkla beklenen ortalama sıcaklık değerlerinin yapılan regresyon analizi sonucu elde edilen regresyon modeli, **Denklem (10)** ile ifade edilebilmiştir.

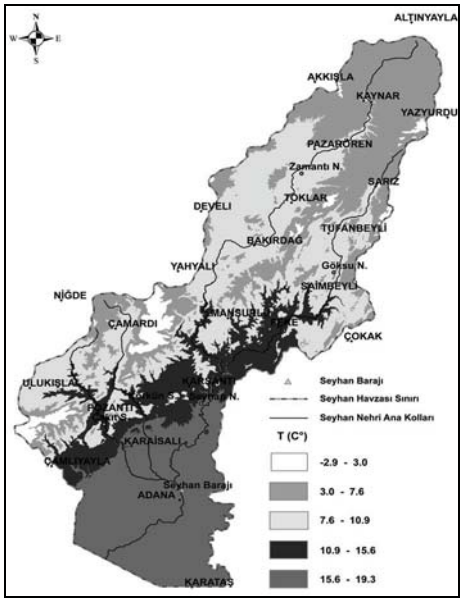
$$T\ \%50 = 19.3 - 0.0057304\ YÜK - 0.00001236\ DU \quad (10)$$

Çizelge 2. Seyhan Havzasında %50 Olasılıkla Beklenen Ortalama Sıcaklık Değerlerinin Model Denklemi Regresyon Analizi Sonuçları

Model	Bağımlı Değişken	Bağımsız Değişkenler	t İstatistiği	t Olasılığı	R^2	$R^2_{düz}$	F İstatistiği	F Olasılığı
1	*T*%50	Sabit	-1.21	0.24	0.96	0.95	154.08	0
		EN	1.52	0.14				
		YÜK	-12.43	0				
		DU	-2.26	0.03				
		SR	-1.09	0.28				
		B	-0.16	0.87				
2	*T*%50	Sabit	74.47	0	0.96	0.95	509.19	0
		YÜK	-15.33	0				
		DU	-5.14	0				

Seyhan Havzasında %50 olasılıkla beklenen ortalama sıcaklık *(T%50)* değerleri denizden uzaklık ve yükseklik değişkenleri ile oluşturulan çoklu regresyon modeliyle açıklanabildiği belirlenmiştir. Denizden uzaklık (m) ve yükseklik (m) artıkça beklenen sıcaklık azalmaktadır. Bu durum, sıcaklığın havzadaki dağılımı ile paralellik arz etmektedir.

P=%50 olasılıkla beklenen sıcaklıkların çoklu regresyon modeli **Denklem (10),** *CBS* ortamında raster formatındaki harita katmanlarına uygulanmıştır. Model denkleminin raster katmanları ile cebirsel olarak işleme alınması sonucu; %50 olasılıklı ortalama sıcaklık değerlerinin raster formatında haritası elde edilmiştir **(Şekil 2)**.



Şekil 2. Seyhan Havzasının *Çoklu Regresyon* Yöntemi ile Oluşturulan %50 Olasılıklı Ortalama Sıcaklık Haritası

3.4. Jeoistatistiksel Analiz Sonuçları

Ordinary Kriging yöntemiyle olasılıklı sıcaklık haritasını elde etmek için, istasyonların %50 olasılıkla beklenen ortalama sıcaklık değerleri kullanılmıştır. *Ordinary Cokriging* yönteminde %50 olasılıkla beklenen ortalama sıcaklık değerleri ile birlikte, yardımcı değişken olarak Seyhan Havzası SYM görüntüsü kullanılmıştır. Yükseklik arttıkça sıcaklığın azalması gerçeği ve dikkate alınan her noktanın yüksekliğinin kolayca elde edilebilmesi ikincil değişken olarak SYM kullanılmasında belirleyici olmuştur.

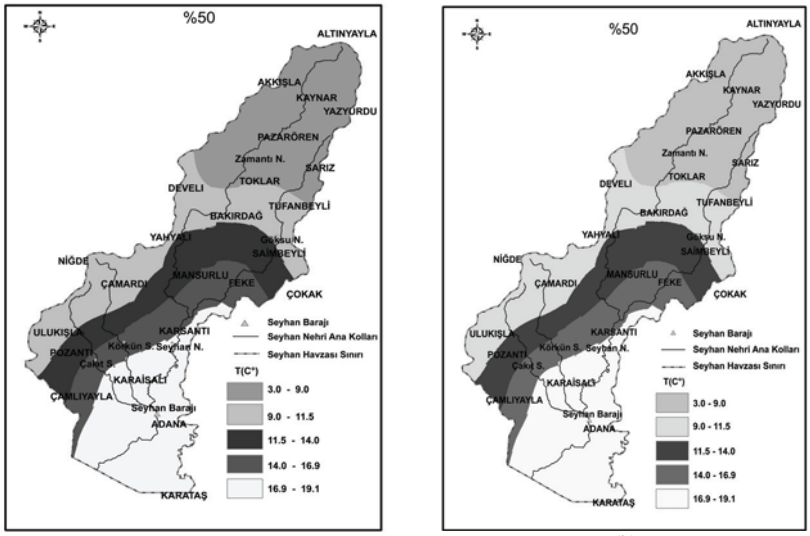
Söz konusu iki yöntemi ile *CBS* ortamında %50 olasılıklı ortalama sıcaklık değerlerinin haritalarını yapabilmek için olasılıklı sıcaklık değerlerinin deneysel yarıvariogram ve covariogram yapıları belirlenmiştir. En iyi deneysel variogram yapısı, 45 derecelik yön açısı için bulunmuştur. Yarıvariogramların sınıf aralıkları ve sayısı incelenen değişkeni temsil edebilecek en uygun model bulununcaya kadar değiştirilmiş ve en uygun yapı belirlenmiştir **(Çizelge 3)**. *ArcGIS* ortamında yapılan variogram analizleri sonucunda; *Ordinary Kriging* ve *Ordinary Cokriging* tahminlerinde kullanılabilecek yarıvariogram modellerinin "*küresel tip*" model olduğu sonucuna varılmıştır.

Çizelge 3. P=%50 Olasılıklı Ortalama Sıcaklıkların (C°) Küresel Tip Teorik Yarıvariogram ve Covariogram Model Parametreleri ve Test İstatistiği *(RMSE)*

Yöntemler	Lag Uzunluğu (km)	Lag Adedi	C_0 $(C°)^2$	C_1 $(C°)^2$	a (km)	*RMSE*
Kriging	27.5	19	0	15	200	1.268
Cokriging	26.5	19	0	13	180	1.266

Sonuç olarak, çalışma alanını en iyi temsil edebilecek %50 olasılıklı ortalama sıcaklık değerlerinin deneysel variogramları 26.5-27.5 km sınıf aralığı kullanılarak elde edilmiştir. Variogram modellerinin etki uzaklığı 180 ve 200 km olarak bulunmuştur. Yarıvariogram modellerinin, kontrolsüz etki varyansı bulunmamıştır. Model parametreleri belirlendikten sonra gözlemi bulunmayan noktaların %50 olasılıkla beklenen ortalama sıcaklık değerleri *Kriging* ve *Cokriging enterpolasyon yöntemiyle* elde edilmiştir. Tahminde, sektör yarıçapları *Kriging* yönteminde 62 km, *Cokriging* yönteminde ise 62.5 km alınmıştır. En düşük RMSE değerlerini veren tahmin parametreleri ile %50 olasılıklı ortalama sıcaklık haritaları elde edilmiştir (**Şekil 3**).

Cokriging ve *Kriging* yöntemleri ile %50 olasılıkla beklenen ortalama sıcaklık haritaları incelendiğinde **(Şekil 3)**; +3 C°′nin altındaki sıcaklık değerlerinin havzada temsil edilmediği ve bu iki haritanın birbirine benzer olduğu görülmüştür. Bunun sebebinin; *Cokriging* tekniği ile %50 olasılıklı ortalama sıcaklık tahmininde ikinci değişken olarak kullanılan Seyhan Havzası SYM görüntüsünün, konumla aynı algılamasından kaynaklandığı düşünülmüştür. Nitekim; istasyonlardaki sıcaklık gözlemleri, istasyonun bulunduğu yüksekliğinde bir fonksiyonu olarak kaydedilmektedir. Dolayısıyla; *Cokriging* yönteminde ikinci değişken olarak kullanılan SYM görüntüsünün enterpolasyona anlamlı bir etkisi olmamıştır.



Şekil 3. *Ordinary Kriging* (a) ve *Ordinary Cokriging* Yöntemi (b) ile %50 Olasılık Düzeyi İçin Elde Edilen Sıcaklık Haritaları

3.5. Yöntemlerin İstatistiksel Test Ölçütlerine Göre Kıyaslanması

Ordinary Kriging, Ordinary Cokriging ve *Çoklu Regresyon* yöntemi ile oluşturulan olasılıklı sıcaklık haritalarının minimum hata kriterine göre karşılaştırılması sonucu; %50 olasılıkla en iyi ortalama sıcaklık tahmininin *Çoklu Regresyon* yöntemi ile elde edildiği anlaşılmıştır (**Çizelge 4)**. *Çoklu Regresyon* yöntemi ile elde edilen test istatistikleri diğer iki yönteme göre sıfıra daha yakın çıkmıştır. Ayrıca, Seyhan Havzasının Demirkazık mevkii ve diğer yüksek bölgelerinde %50 olasılıklı sıcaklık değerlerinin eksi sıcaklık değerleri ile temsil edilmesi tahminlerin doğruluğu açısından olumlu değerlendirilmiştir. Seyhan Nehri ve kolları incelendiğinde, vadi içerisindeki sıcaklık değişimlerinin *Çoklu Regresyon* yöntemi ile oluşturulan haritalarda daha belirgin ve gerçeğe uygun dağılım gösterdiği görülmüştür.

Çizelge 4. Haritalanmada Kullanılan Yöntemlerin İstatistiksel Test Ölçütlerine Göre Kıyaslanması

Yöntemler	*Bias*	PH_T	*RMSE*	*MSE*	*MAD*
Ordinary Kriging	0.017	10.04	1.27	0.16	1.06
Ordinary Cokriging	0.017	10.02	1.27	0.15	1.06
Çoklu Regresyon	0.008	6.02	0.82	0.06	0.67

Ordinary Kriging ve Ordinary Cokriging yöntemlerinin iyi tahminde bulunamamasının temel nedeninin Seyhan Havzasındaki oldukça kompleks yüzey şekillerinden kaynaklandığı düşünülmüştür. Bu iki haritada da havzanın güneyden kuzeye doğru dağlık alanlara gidildikçe sıcaklık değişimi iyi yansıtılmış olmasına karşın, yüksek rakımlı alanlarda %50 olasılıklı ortalama sıcaklık değerleri eksi sıcaklıklarla ifade edilmemiştir. Vadilerdeki sıcaklık değişiminin yansıtılamadığı ve havzadaki sıcaklık dağılımının kabaca haritalanabildiği görülmüştür. Topoğrafyanın daha düzgün olduğu

güney kesiminde ise, *Ordinary Kriging ve Ordinary Cokriging* yöntemi *Çoklu Regresyon* yöntemiyle benzer tahminlerde bulunmuştur. Sonuç olarak; Seyhan Havzasında 45 adet meteoroloji gözlem istasyonu kullanılarak yapılan bu araştırmada, *Ordinary Kriging ve Ordinary Cokriging* yöntemleri kullanılarak yapılan sıcaklık tahminleri, topoğrafik farklılığın yüksek olduğu bölgelerde iyi sonuçlar vermemiştir. Regresyon tabanlı enterpolasyon tekniği ise, jeoistatistik yöntemlere kıyasla daha iyi sonuçlar vermiştir. Bu nedenle; göletlerin depolama hacminin saptanmasında uygulayıcı kuruluşlarca kullanımı benimsenen *M. Turc* yöntemi ile havza su verimi hesaplanırken *Çoklu Regresyon* yöntemi ile elde edilen %50 olasılıklı ortalama sıcaklık haritalarının kullanılması önerilmiştir. Ayrıca; Seyhan Havzası havza bilgi sitemine yönelik olarak yapılacak çalışmalarda, *Coğrafi Ağırlıklı Regresyon (GWR)* yöntemi de kullanılabilir ve olasılıklı sıcaklık haritaları elde edilebilir; yöntemlerin kıyaslaması yapılabilir.

KAYNAKLAR

Barnes R, "Variogram Tutorial", Golden Software, Inc., 23 p. 2003.

Bastin G and Gevers M, "Identification and Optimal Estimation of Random Fiels from Scattered Point-Wise Data". AUTOMATICA, 21(2), 139-155, 1985.

Bestfıt, "Guide to Using BestFit: Distribution Fitting for Windows". http://www.palisade.com/downloads/pdf/bestfit4.5.pdf, Palisade Corporation, 2004.

Burgess, T. M. and Webster, R. "Optimal Interpolation and Isarithmic Mapping of Soil Properties I, The Semivariogram and Punctual Kriging". Journal of Soil Science, 31(3), 315-331, 1980.

Chow, V. T., Maidment, D. R. and Ways, L., W., 1988. Applied Hydrology. McGraw-Hill, Inc., Civil Engineering Series, New York, 572 p.

Clark, I., 1979. Practical Geostatistic. Department of Mineral Resources Engineering, Royal School of Mines, Imperial College of Science and Technology, London, U.K.

Çetin, M. ve Tülücü, K., 1997. Doğu Akdeniz Bölgesinde Aylık Yağışların Yersel Değişimlerinin Jeoistatistik Yöntemle İncelenmesi. Tr. J. of Agriculture and Forestry 23 (1999) Ek Sayı 3, 691-698, ADANA.

Çetin, M., 1996. Jeoistatistiksel Yöntem İle Nokta Ve Alansal Yağışların Saptanması ve Stokastik Olarak Modellenmesi Örnek Havza Uygulamaları. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarımsal Yapılar ve Sulama Ana Bilim Dalı, Doktora Tezi, ADANA .

Çetin, M., Özcan, H. ve Tülücü, K., 2001. Aşağı Seyhan Ovası IV.Merhale Proje Alanında Toprak ve Taban Suyuna İlişkin Bazı Fiziksel ve Kimyasal Özelliklerin Yersel Değişimlerinin Jeoistatistik Yöntemle Araştırılması. Araştırma Projesi Sonuç Raporu, ADANA.

Delhomme, J. P., 1978. Kriging in the Hydrosciences. Advances in Water Resources, 1(5):251-266.

Englund, E. and Sparks, A., 1988. Geoeas User's Guide. EPA, Las Vegas, NV.

Goovaerts, P., 1998. Ordinary Cokriging Revisted. Mathematical Geology, Vol. 30, No. 1.

Güler, M. ve Kara, T., 2007. Alansal Dağılım Özelliği Gösteren İklim Parametrelerinin Coğrafi Bilgi Sistemleri İle Belirlenmesi ve Kullanım Alanları; Genel Bir Bakış. Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Dergisi, 22 (3): 322-328.

Gündoğdu, K. S., Demir, A. O. ve Akkaya Aslan, Ş. T., 2001. Göletlerin Bazı Hidrolojik Analizlerinin Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) Ortamında Yapılma Olanaklar. I. Ulusal Sulama Kongresi, 8-11 Kasım, S: 247-253, ANTALYA.

Ninyerola, M., Pons, X. and Roure, J. M., 2000. A Methodological Approach of Climatological Modelling of Air Temperature and Precipitation Through GIS Techniques. University of Barcelona, Intrenational Journal of Climatology, Vol. 20, Page:1823-1841.

Nişancı, R., Yıldırım, V. ve Yıldırım, A., 2007. TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası Ulusal Coğrafi Bilgi Sistemleri Kongresi, 30 Ekim – 02 Kasım, Karadeniz Teknik Üniversitesi, TRABZON.

Olea, R. A., 1977. Measuring Spatial Dependence With Semivariograms. Kansas Geological Survey, Series on Spatial Analysis, No. 3, Lawrance, KANSAS.

Ryan, B. F. and Cryer, J., 2005. Minitab Handbook, Fifth Edition, Regression and Correlation, Pages 313-349, Belmont, CALIFORNIA.

Şen, Z., 2002. Hidrolojide; Veri İşlem, Yorumlama ve Tasarım. Seminer Notları, Su Vakfı Yayınları, İSTANBUL.

Tabios III, G. Q., Salas, J. D., 1985. A Comparative Analysis of Techniques for Spatial Interpolation of Precipitation. Water Resources Bulletin, Vol. 21, No. 3, Pages 365-380.

Topaloğlu, F., 1999. Seyhan Havzası Akarsularında Taşkınların Büyüklük ve Frekanslarının Tahmini İçin Uygun Bir Yöntemin Araştırılması. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarımsal Yapılar ve Sulama Ana Bilim Dalı, Doktora Tezi, ADANA.

Trangmar, B. B., Yost, R. S. and Uehara, G., 1985. Application of Geostatsitics to Spatial Studies of Soil Properties. Advances in AGRONOMY, Volume 38, Pages ; 45-91, Science and Technology Agency for International Development, Department of State, D.C., WASHINGTON.

Tülücü, K., 1988. KT-310 Uygulamalı Hidroloji. Ç. Ü. Ziraat Fakültesi Ders Kitapları, No:76, ADANA.

Vanlı, M., 1990. Göletlerde Su Temini Çalışmaları. T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, Hidrometri ve Taşkın Hidrolojisi Semineri, 3-4 Eylül, İSTANBUL.

Vieira SR ve diğ., Geostatistical Theory and Application to Variability of Some Agronomical Properties. HILGARDIA, Volume 51, Number 3, Pages:1-75, Davis-CALIFORNIA, 1983.

HİDROLOJİDE SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK

SEDİMENT AÇISINDAN BARAJLARIN ÖMRÜ

M. Saraç [1]

Özet: Enerji toplumsal refahın sağlanması için gerekli araçlardan ve üretim faaliyetlerinin ana girdilerinden biri olarak, ekonomik ve sosyal kalkınmanın vazgeçilmez temel taşlarından biridir. Bu nedenle, endüstrideki gelişmelerin, yaşam standartlarındaki yükselişin ve artan nüfusun ihtiyaç duyduğu enerjinin yeterli ve güvenilir bir şekilde ve düşük maliyetle sağlanması büyük önem arz etmektedir. Bu maksatla planlanan hidroelektrik santralardan özellikle rezervuarlı olanlarının sistem güvenirliği ve işletmeciliği açısından önemi büyüktür.

Enerji amaçlı barajların planlanmasında en önemli konulardan biri, su alma yapılarının projelendirilmesidir. Bu maksatla ihtiyaç duyulan sediment çalışmaları ve buna bağlı olarak barajların kaç yıllık sediment hacmini depolayabilmelerine karar vermek projelendirme açısından çok önemlidir. Ne yazık ki bu maksatla yapılan çalışmalarda önemli yanlışlıklar yapılmaktadır. Barajlarda ölü hacim, sediment hacmi, aktif hacim, taşkın hacmi ve toplam hacim gibi kavramlar yanlış değerlendirilmektedir. Bu nedenle doğru planlamalar yapılabilmesi için bu kavramların iyi anlaşılması ve bilinmesi gerekir.

Anahtar Sözcükler: Sediment, Baraj Ömrü, Enerji

LIFE SPANS OF DAMS REGARDING SEDIMENTATION

Abstract: As being basic input of production activities and necessary tools for providing social welfare, energy is one of the basic parameters of economics and social development. Thus, it comes into prominence that cheaper and sufficient energy generation is necessary for improvement of industry, population growth, and life quality. For this reason, storage type hydroelectric power plants are more significant than others in terms of supplying system reliability and operation.

One of the most important issues in planning of storage type hydropower plants dams is design of water intake structures. Sedimentation studies and judging the capability of the structure to store accumulation of the sediment material are of great importance in design studies. Unfortunately, serious mistakes are made in studies regarding sedimentation. Concepts of dead volume, sediment volume, active volume and total

[1] Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü (EİE), Proje Dairesi Başkanlığı, Ankara, E-Posta: msarac@eie.gov.tr

volume are assessed in an erroneous way. These terms are needed to be well identified to attain an accurate planning.

Keywords: Sedimentation, Life spans of dams, Energy

1. SEDİMENT AÇISINDAN BARAJLARIN ÖMRÜ

Barajlar pahallı ve büyük hidrolik yapılardır. Ekonomik bir kalkınma için mümkün olduğu kadar uzun süreli kullanılabilmesi gereken bu yapıların ömrünü belirleyen en önemli faktör rezervuar sedimantasyonudur. Bu nedenle baraj planlamalarında sediment konusu daha detaylı olarak ele alınmalı ve buna bağlı olarak sediment hacimlerinin hesaplanması, su alma yapılarının dizaynı ile bu yapıların kotlarının belirlenmesinde gereli hassasiyet gösterilmelidir. Dolayısı ile rezervuar sedimantasyonu, bir barajın projelendirilmesinde göz önüne alınması gereken en önemli faktörlerden biridir.

2. REZARVUAR SEDİMANTASYONU

Rezervuar sedimantasyonu havzanın yukarı kesimlerinden akış ile taşınan sedimentin rezervuarda birikmesi olarak tanımlanabilir. Biriken sediment zamanla rezervuarın yukarı kesimlerinden baraj gövdesine doğru ilerleyen bir delta oluştururken, ince tanecikli sedimentin baraj gövdesine kadar taşınmasıyla da su alma yapıları tıkanabilmektedir. Bu durum, rezervuarın su depolama kapasitesinde, suyun düzenlenmesinde ve enerji üretiminde olumsuzluklara yol açmaktadır. Sediment ile dolmuş bir rezervuarın tekrar kazanılması genellikle mümkün olmadığından veya pahalı bir yöntem olmasından dolayı barajlarda sedimantasyon ve buna bağlı yapıların planlamasında önemlidir.

Nehir ve rezervuar sedimantasyonu akışın sediment taşıma kapasitesinin azaldığı bölgelerde gerçekleşen bir olaydır. Taşıma kapasitesi akış hızındaki azalmaya bağlı olarak düşüş göstermektedir. Kanalın profildeki eğimi, kanal yan yüzeylerindeki eğim, ayrıca boyut, şekil ve iç sürtünme açısından oluşan sediment tanecik özellikleri de malzemenin taşınma ve depolanma eğilimini etkilemektedir.

Akışın rezervuara ulaşmasıyla kesit alanında çok büyük bir artış olmakta ve hız 0 değerine kadar düşmektedir. Bu durumda çökelme eğilimi sedimentin difüzyon hareketinden daha baskın hale gelmekte ve rezervuar tabanında depolanma başlamaktadır.

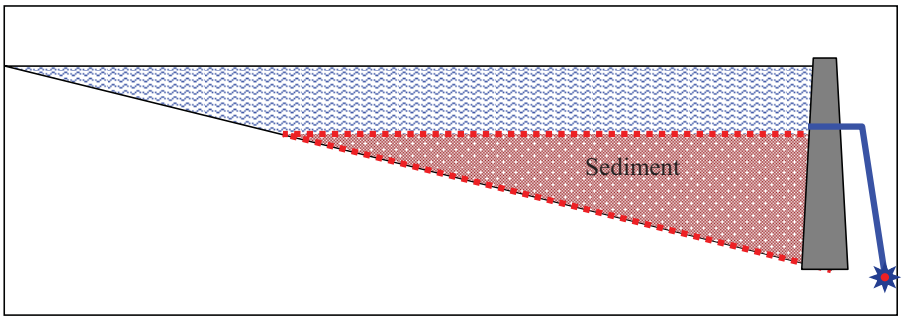
Akış ile rezervuara gelen büyük çaplı tanecikler rezervuarın girişinde bir delta oluştururken, küçük tanecikler baraj gövdesine yakın yerlere kadar taşınır. Sediment ile doldukça rezervuarın sediment tutma kapasitesinde bir azalma görülür. Bunun sebebi rezervuar kesit alanındaki azalma ve dolayısıyla akış hızında meydana gelen artıştır. Bir süre sonra rezervuara gelen sedimentin belli bir kısmı çökelmeden akışın mansabına geçebilir. Bu nedenle ileriki aşamalarda rezervuarın sediment ile dolma hızı azalabilmektedir.

Bir rezervuarın ömrü, ölü hacim olarak ayrılan kısmının sediment ile dolması sonucu sona ermektedir. Bu nedenle sediment debisi, rezervuar ölü hacmi ve sedimentin kuru haldeki özgül ağırlığı rezervuar ömrü hesabında büyük önem taşımaktadır.

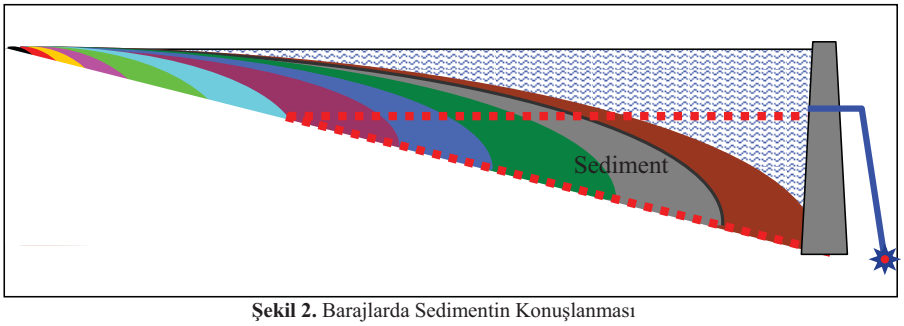
2.1. Özel Sektör Projelerinde Sediment

4628 Sayılı Kanun, özel sektör tarafından hidroelektrik santral (HES) projelerine yapım ve işletme izni vermiştir. Bugüne kadar özel sektör tarafından bu maksatla yaklaşık 1600 adet HES projesine başvuru yapılmıştır. Genel Müdürlüğümüz uhdesinde olan HES projelerine yönelik özel sektör tarafından hazırlanan/hazırlatılan fizibilite raporlarında özellikle sediment konusunun yanlış değerlendirildiği görülmüştür. Hazırlanan fizibilite raporlarında, barajlarda sediment hacminin tespitinde 50 yıllık sediment veriminin dikkate alındığı görülmektedir. Baraj rezervuarında hiçbir gerekçe göstermeden sadece 50 yıllık sediment hacminin ayrılması hatalıdır. Bu konu ile ilgili ayrıntılı açıklamalar "3.Barajlarda Ölü Hacim Tayini" bölümünde ayrıntılı olarak verilmektedir.

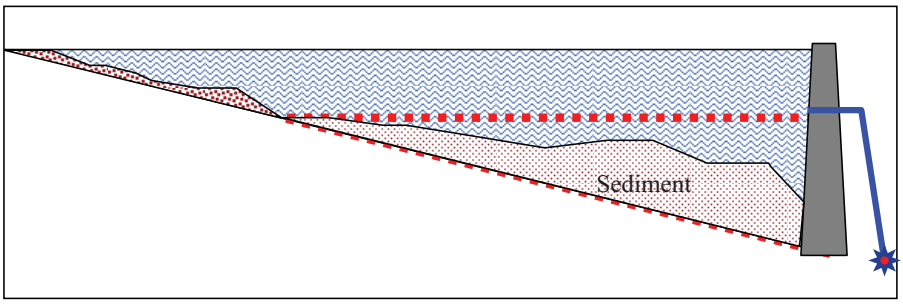
Burada üzerinde durulması gereken konu baraj rezervuarındaki sedimentin konuşlanmasına yöneliktir. Bu konuda hazırlanan HES fizibilite raporlarında sedimentin Şekil-1'deki gibi veya Şekil-2'deki gibi olacağı kabul edilmektedir. Aslında bu iki yaklaşımda doğru değildir. Daha doğru yaklaşım Şeki-3'deki gibi olmalıdır. Sedimentin rezervuarda konuşlanması, sedimentin özelliklerine bağlı olduğu gibi rezervuar özellikleri ile de yakından alakalıdır.



Şekil 1. Barajlarda Sedimentin Konuşlanması



Şekil 2. Barajlarda Sedimentin Konuşlanması



Şekil 3. Barajlarda Sedimentin Konuşlanması

2.2. Sediment Yükü

Akışın belli bir kesitinden geçen sediment miktarına toplam sediment yükü denilmektedir ve taşınma şekline göre yatak yükü, yıkama yükü ve askı yükü olarak isimlendirilmektedir. Sediment yükünü oluşturan malzeme yataktan sökülme yoluyla hareketine başlamakta, akışla belli bir mesafe kattettikten sonra belli yerlerde çökelmeye uğrayarak tekrar statik hale geçerek buralarda depolanmaktadır. Şekil-4'te bir nehir yatağından alınan sediment fotoğrafı ile yatak sedimenti örnekleri gözükmektedir.



Şekil 4. Sediment Alma ve Yatak Sedimenti Örnekleri

2.2.1. Yatak Yükü

Yatak yükü sedimentin akış içinde yuvarlanarak, sürüklenerek ve sıçrayarak taşınan kısmını oluşturmaktadır. Bu tür hareketin gerçekleştiği bölge yatak tabakası olarak

adlandırılmaktadır. Yatak yükünü oluşturan malzeme genellikle kum ve çakıl gibi yüksek çökelme hızlı taneciklerden oluşmaktadır.

2.2.2. Asılı Yük

Asılı yük akışla taşınırken nadiren nehir yatağıyla temas eden, küçük boyutlu tanelerden oluşmuş sediment yüküdür. Askı yükünü oluşturan sedimentin kaynağını yatak tabakasında taşınmakta olan malzeme oluşturmaktadır. Akış sırasında yatak malzemesi ile askı malzemesi arasında sürekli bir geçiş söz konusudur.

2.2.3. Yıkama Yükü

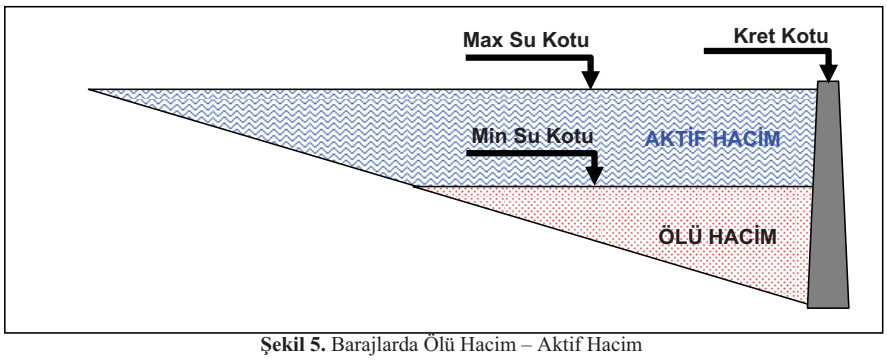
Yıkama yükü toplam yükün nehir yatağında önemli miktarda bulunmayan ve ince taneciklerden oluşan kısmıdır. Yıkama yükünün kaynağı havzanın yukarı kesimlerindeki veya nehir kıyılarındaki malzemedir. Yıkama yükü asılı yükün bir parçası olarak kabul edilmektedir ve yatak malzemesinin çok az bir kısmını meydana getirmektedir.

2.2.4. Toplam Yük

Toplam yük bir akışın belli bir kesitinden birim zamanda geçen yatak, askı ve yıkama yüklerinin toplamından oluşmaktadır. Toplam yük kanalın herhangi bir yerinde aşınma veya depolanmanın olup olmayacağının veya ne miktarda olacağının belirlenmesi için hesaplanması gereken bir parametredir.

3.BARAJLARDA ÖLÜ HACİM TAYİNİ

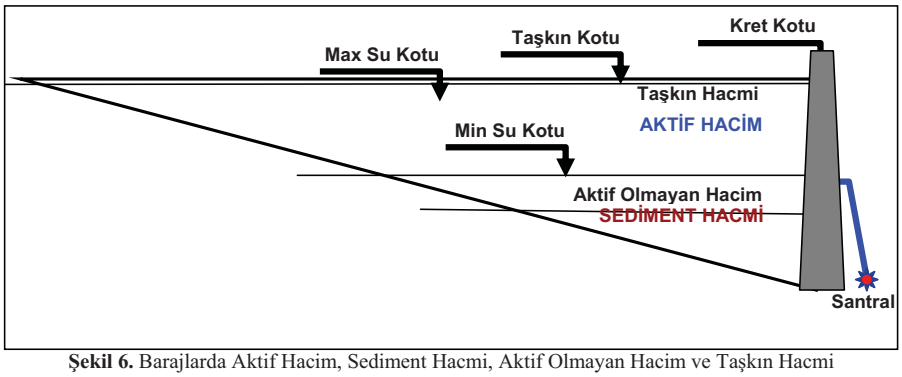
Bir barajın kullanım ömrü boyunca rezervuarına akış yoluyla gelen sedimentin sebep olacağı çeşitli etkiler barajın projelendiriliş şeklini belirleyen önemli unsurlardır. Rezervuara ulaşarak çökelmeye uğrayan sedimentin barajın kullanılabilirliliğini engellememesi için rezervuar tabanında belli hacme sahip bir bölge kullanılmayan bir kısım olarak ayrılmaktadır. Rezervuara gelen sedimentin çökelmesi için ayrılan bu hacim "ölü hacim" olarak adlandırılmaktadır. Zaman zaman ölü hacim ifadesi minimum su seviyesinin altındaki hacmim ile karıştırılmaktadır. Bu nedenle sediment için ayrılan hacme ölü hacim yerine "sediment hacmi" denilmesi daha doğru bir yaklaşım olacaktır.



Şekil 5. Barajlarda Ölü Hacim – Aktif Hacim

Barajlarda ölü hacim ve aktif hacim tanımlamaları ve bu tanımlamaya bağlı olarak yapılan projelerde önemli yanlışlıklar yapılmaktadır. Bu yanlışlıkların başında bir

barajın hacmi Şekil-5'teki gibi aktif hacim ve ölü hacim olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Bu ayırım yanlıştır. Bunun yerine ölü hacmin; aktif olmayan hacim ve sediment hacmi olarak ikiye ayrılması daha doğru bir yaklaşımdır.
Şekil-6'da hacimler açısından baraj rezervuarı dört bölüme ayrılmıştır. Bunlar, sediment hacmi, aktif olmayan hacim, aktif hacim ve taşkın hacmidir. Baraj rezervuarlarının Şekil-5'teki gibi ölü hacim ve aktif hacim olarak ikiye ayrılması doğru bir yaklaşım değildir. Zira projelendirme çalışmalarında yanlışlıklara yol açmaktadır.



Şekil 6. Barajlarda Aktif Hacim, Sediment Hacmi, Aktif Olmayan Hacim ve Taşkın Hacmi

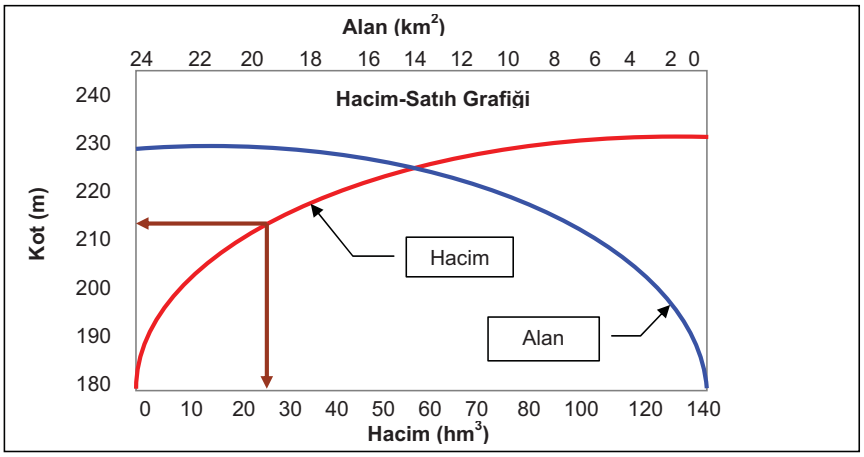
3.1. Ölü Hacim Tahmini ve Önemi

Bir barajın sediment hacmi tahmini sediment yükü hesapları ile elde edilen sonuçlara göre yapılmaktadır. Belli bir ölü hacim değeri için baraj inşasının ekonomik olup olmayacağı yapılan sediment yükü hesaplarının sonuçlarına göre karar verilmesi gereken önemli bir noktadır. Barajların kullanım ömürleri boyunca depolanacak sediment seviyesinin geçit ve dolusavaklardan oluşan su alma yapılarının altında kalacak şekilde dizayn edilmektedir. Bu şartın sağlanması için sediment hacmi tahmini yapılarak su alma yapılarının minimum kot değeri hesaplanmaktadır.

Sediment hacmi; bir baraj rezervuarında sediment depolanmasının gerçekleştiği en son bölgedir. Görevi, barajın kullanım ömrü boyunca dolusavak ve su alma yapılarının sediment ile tıkanmaya karşı korumaktır. Akış yolu ile gelen sedimentin çoğunlukla sediment hacminin dışındaki daha yukarı seviyelerden başlayarak depolanması sebebiyle içme- kullanma suyu veya enerji üretimi için kullanılacak aktif hacimde bir kayıp olmaktadır. Fakat sediment hacminin konumuna uygun olarak inşa edilen su alma yapıları bu yukarı kesimlerdeki sediment depolanması süresince herhangi bir tıkanmaya uğramadan barajın işlerliğini sürdürebilmesini sağlamaktadır.

Bu güne kadar incelemiş olduğum onlarca barajda, pratik olarak barajlarda sediment kotu; genellikle Şekil-7'deki gibi 50 yıllık sediment hacmine karşılık bulunan kottur. Bulunan bu kotun üzerine su alma yapısında vorteks oluşmayacak şekilde seçilen yüksekliğin ilavesi ile de minimum su kotu bulunmaktadır. Yada 50 yıllık sediment hacmine karşılık bulunan kot, minimum su kotu olarak seçilmektedir. Başka bir bakış açısı ise, önce minimum su kotu seçilmekte, bulunan bu kota karşılık gelen rezervuar

hacminin 50 yıllık sediment verimine karşılık gelen hacimden büyük yada eşit olmasına dikkat edilmektedir. Bu yaklaşım çok doğru değildir.



Şekil 7. Hacim-Satıh Grafiği

Burada bütün barajlarda 50 yıllık sedimentin dikkate alınması yanlıştır. Barajlarda 50 yıllın anlamı aslında ekonomik kriterler açısındandır. Şöyle ki barajlarda yapılabilirlik şartlarından en önemlisi gelirlerin giderlerden büyük olasıdır. Bu nedenle yıllık gelirlerin toplamı bulunurken, sonraki yıllarda elde edilecek gelirlerin bugünkü değerleri dikkate alınmaktadır. Şekil-8'de %9,5 iskonto oranı dikkate alındığında 1.000.000 $ yıllık geliri olan bir HES'in 50.yılındaki gelirinin bugünkü değeri 11.714 $, 100.yıldaki gelirin bugünkü değeri sadece 125 $'dır. Dolayısı ile barajın ekonomik ömürleri boyunca gelirlerinin toplamını bulmak için 50 yılın üzerindeki gelirlerin bugünkü değerlerini bulmak yatırımın yapılıp yapılmayacağını etkilememektedir.

Ekonomik kriterlerde dikkate alınan 50 yıl, sediment hacminin bulunmasında da kullanılması yanlıştır. Barajlarda minimum su seviyesinin bulunması ve buna bağlı olarak su alma kotunun tespiti, sediment kotu ve her şeyden önemlisi baraj ömrünün tespiti baraj işletme çalışmaları ile ve minimum su kotu optimizasyonu yapılarak bulunmalıdır. Dolayısı ile barajların ömrünün 50 yıl olarak dikkate alınarak sediment hacminin 50 yıllık sediment verimine bağlı olarak tespit edilmesi doğru değildir.

$$\frac{1}{(1+0{,}095)^{0}} \times 1.000.000\ \$ = 1.000.000\ \$$$

$$\frac{1}{(1+0{,}095)^{50}} \times 1.000.000\ \$ = 11.714\ \$$$

$$\frac{1}{(1+0{,}095)^{100}} \times 1.000.000\ \$ = 125\ \$$$

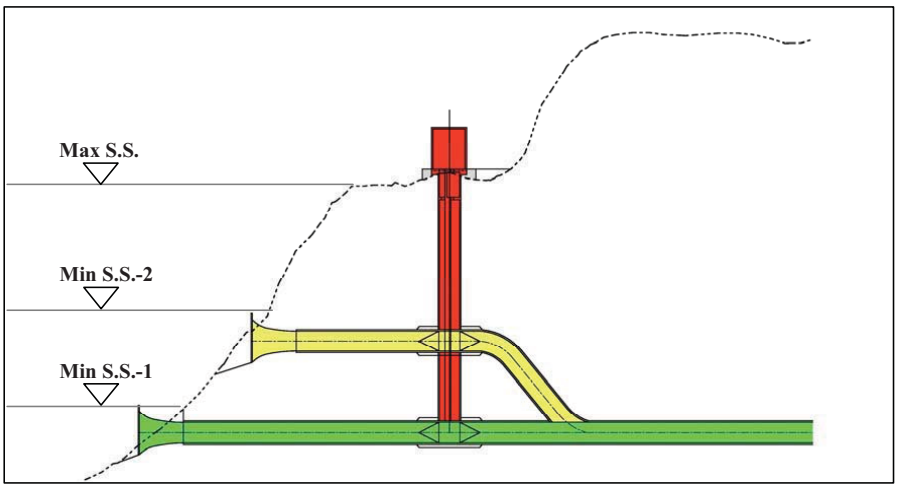
Şekil 8. Bugünkü Değer

3.2 Arkun Barajı ve HES Minimum Su Seviyesi

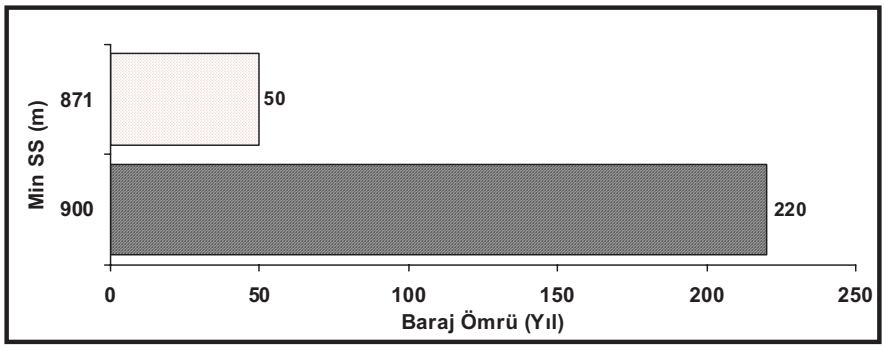
Çoruh nehri üzerinde bulunan Arkun Barajının minimum su seviyesi 871 m ve 900 m olarak çalışılmış ve bu seviyelere bağlı olarak enerji üretimi ile baraj ömürleri Çizelge-1'de verilmekted ve Şekil-10'da grafik olarak da gösterilmektedir. Burada minimum su seviyesinin 871 m'den 900 m'ye çıkması durumunda enerji üretiminde azalış değil artış olduğu gözükmektedir. Özellikle minimum su seviyesinin yukarı çekilmesinde firm enerjinin azalacağı akla gelebilir. Burada firm debinin azalması sözkonusudur. Ancak firm enerjide de artış olmuştur. Sebebi ise firm debi azalırken, firm güce esas yükseklikte artış gerçekleşmiştir. Bundan daha önemlisi sediment açısından baraj ömrü 50 yıldan 220 yıla çıkmıştır. Minimum su seviyesindeki değişikliğin tek olumsuz tarafı zor zamanlarda ihtiyaç olabilecek olan aktif hacme karşılık gelecek olan enerjinin azalmasıdır. Bu sorunu da Şekil-9'da gösterilen iki su alma yapısı ile çözüme kavuşturmak mümkündür. Arkun Barajı ve HES'in projelendirilmesi bu şekilde yapılmıştır. Bu planlama ise ülkemizde bir ilk olma özelliğine sahiptir.

Çizelge 1. Arkun Bararajı ve HES'in Minimum Su Seviyelerine Göre Baraj Ömrü

Min SS (m)	N (MW)	Q_{Firm} (m^3/sn)	Q_{Prj} (m^3/sn)	Savak %	Ef (GWh)	Es (GWh)	Et (GWh)	**Baraj Ömrü**
871,00	216	37,5	125	3,56	470	280	750	**50 Yıl**
900,00	225	32,0	125	1,92	476	285	761	**220 Yıl**



Şekil 9. İki Ağızlı Sualma Yapısı



Şekil 10. Arkun Bararajı ve HES'in Minimum Su Seviyelerine Göre Baraj Ömrü

3.3. Ölü Hacim ve Rezervuar İşletmesi

Bir barajın kullanım ömrünün uzatılması için izlenmesi gereken yollardan biride baraj rezervuarında sediment için ayrılan hacmin artırılmasıdır. Çizelge-1'de minimumsu kotunu 871 m'den 900 m'ye çıkarmanın başka bir anlamı baraj rezervuarında sediment için ayrılan hacmin artırılmasıdır. Bu durumda aktif hacim de azalacaktır. 2009 yılı verilerine göre elektrik enerjimizin yaklaşık %50'sinden fazlası doğal gaz ile karşılanmakta ve bu gaz da ithal edilmektedir. Gazın kesilmesi durumunda acil çözüm olarak, rezervuarlı HES'lerin açığın kapatılması için çalıştırılmasıdır. Bu durumda minimum su seviyesinin yukarı çekilmesi halinde de rezervuarlı santrallardan istenildiği gibi yararlanılamayacaktır. Çizelge-2'de Laleli Barajının minimum su seviyesinin değiştirilmesi durumunda aktif hacim olarak depolanan suyun enerji değerlerindeki değişim verilmektedir. Burada minimum su seviyesi 1440 m iken aktif hacimde depolanan suyun enerji değeri 225 milyon kilovat-saat, 1460 m iken aktif hacimde depolanan suyun enerji değeri 159 milyon kilovat-saattir.

Çizelge 2. Laleli Barajı ve HES Min. Su Seviyeleri ve Aktif Hacim Enerji Değerleri

Min.Su Kotu	Top. Hacim	Aktif Hacim	Aktif Hacim Enerji Değeri
1440 m	969 hm3	796 hm3	225 GWh
1450 m	969 hm3	688 hm3	201 GWh
1460 m	969 hm3	523 hm3	159 GWh

4.SONUÇ

Barajlarda sediment hacminin 50 yıllık sediment verimi ile seçilemeyeceği bunun yerine çok daha ayrıntılı çalışma yapılması gerektiği açıktır. Barajlarda sediment kotu için ayrılan hacmin artırılması baraj ömrünü artırırken, diğer taraftan aktif hacmin

azalmasına yol açılmaktadır. Bu durumda da zor zamanlarda kullanılabilecek olan aktif hacim için ayrılan suya karşılık gelen enerji azalmaktadır. Bu nedenle bütün barajlar için olmasa da Şekil-9'da verilen iki ağızlı su alma yapısının benzer barajlar için de önerilmesi faydalı olacaktır.

Minimum su seviyesinin, sediment hacminin, su alma yapılarının planlaması mühendisi dar bir kalıba koymak doğru değildir. Mühendis her projenin kendine özgü kriterlerini dikkate almalıdır. Bazı projeler için sediment hacmi için 50 yıllık sediment verimi yeterli olurken, bazı projelerde ise bu sürenin çok üzerinde bir sediment verimi alınabilir. Dolayısı ile mühendis, her projenin kendine özgü durumunu dikkate alarak projeyi öyle değerlendirmelidir.

5. KAYNAKLAR

Tez: Bülent Abbas KAYHAN, "Nehir Erozyonu Hidroliği ve Rezervuar Ölü Hacim Hesaplama Metotları", Kırıkkale Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Kırıkkale, Türkiye, 2000

Harşit Çayı Hidrolik Yapılarının Askı Madde Hareketine Etkileri

Adem BAYRAM [1], Murat KANKAL [2], Hızır ÖNSOY [3], Volkan N. BULUT [4]

Özet: Bu çalışmanın amacı, Harşit Çayı'nda bulanıklık ve askıda katı madde (AKM) konsantrasyonu değerlerini belirlemek, Torul ve Kürtün barajlarının bu parametrelere olan etkilerini incelemek ve bulanıklık değerlerini kullanarak AKM konsantrasyonunu regresyon analizi ve yapay sinir ağları (YSA) yöntemi ile tahmin etmektir. Bu amaçla 2009 Mart ile 2010 Şubat tarihleri arasındaki dört mevsim boyunca Torul ve Kürtün barajlarının memba ve mansabında seçilen dört istasyonda on beş günlük aralıklarla bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Elde edilen bulanıklık ve AKM konsantrasyonu verilerinin yıllık ortalamaları dikkate alındığında Torul barajının bulanıklık değerinde % 66.6'lık bir azalmaya sebep olduğu, AKM'nin % 78.6'sını tuttuğu ve AKM tahmini için kullanılan YSA yönteminin regresyon analizine göre daha iyi sonuç verdiği belirlenmiştir.

Anahtar Sözcükler: Harşit Çayı, Torul Barajı, Bulanıklık, Askıda Katı Madde

The Effects of Hydraulics Structures in the Stream Harşit on Suspended Sediment Transport

Abstract: The aim of this study is to determine the turbidity and suspended sediment concentration (SSC) values in the stream Harşit, evaluate the impact of Torul and Kürtün dams on these parameters, and estimate SSC with regression analysis and artificial neural networks (ANN) method using turbidity values. For this reason, a study was fortnightly conducted in four monitoring stations, upstream and downstream of Torul and Kürtün dams, during the four seasons between March 2009 and February 2010. When the annual average values of turbidity and SSC data were taken into account it was determined that Torul dam caused to a decrease with 66.6 % for turbidity value, settled 78.6% of suspended sediment, and ANN method used estimation of SSC provided better result in comparison with regression analysis.
Keywords: The Stream Harşit, Torul Dam, Turbidity, Suspended Sediment

[1] Karadeniz Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Trabzon, E-Posta: abayram@ktu.edu.tr
[2] Karadeniz Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Trabzon, E-Posta: mkankal@ktu.edu.tr
[3] Karadeniz Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Trabzon, E-Posta: honsoy@ktu.edu.tr
[4] Karadeniz Teknik Üniversitesi, Kimya ve Kimyasal İşl. Tekn Bölümü, Trabzon-Maçka, E-Posta: vnbulut@ktu.edu.tr

1. GİRİŞ

Su içinde bulunan askı halindeki maddeler suya bulanıklık verir. Bunlar genellikle kolloidal haldeki kil ve silt gibi ince inorganik taneciklerden ve mikroorganizmalardan ileri gelir. Suda bulunan bulanıklığı belirlemek için su içinden ışık geçirilir ve ışığın ne derece engellenmiş olduğu ölçülür. Işık şiddetinde meydana gelen azalma ile bulanıklık derecesi belirlenebilir. Bu amaçla Jackson türbidimetresi veya nephelometrik cihazlar kullanılır. Bu cihazlar bulanıklığı önceden bilinen çözeltiler ile kalibre edilir (Yalçın ve Gürü, 2002).

Su içinde askıda kalan ve uzun süre içinde çökelebilen çok küçük çaplı organik ve inorganik katı maddelere askıdaki katı maddeler (AKM) denir. Bunlar gözenek boyutu 2 μm olan filtrelerden süzülerek ayrılabilir. Askıda katı madde tayini mümkün olduğunca çabuk olarak yapılmalıdır. Su numunelerinin çoğu kararlı halde değildir. Su numunelerinin muhafaza süresine, taşıma koşullarına, pH değerine ve suyun kimyasal bileşimine bağlı olarak zamanla değişebilir (Yalçın ve Gürü, 2002).

Genellikle katı madde miktarı ya sediment gözlem istasyonlarından yapılan doğrudan ölçümlerle ya da literatürde olan katı madde taşınım denklemlerinden belirlenmektedir. Katı madde miktarının doğrudan akarsudan ölçümle belirlenmesi en güvenilir yol olmasına rağmen zaman alan ve maliyetli bir yöntemdir. Birçok gözlem istasyonunda su debisi ölçülmesine karşın katı madde miktarı ölçümü yapılmamaktadır. Ayrıca taşkınlar sırasında da sediment gözlem istasyonlarında katı madde miktarı ölçümü yapılamamaktadır (Öztürk ve diğ., 2001; Doğan ve diğ., 2005).

Çalışmanın ilk amacı Harşit Çayı ana kol boyunca askıda katı madde (AKM) miktarının nasıl değiştiği, üzerindeki Torul ve Kürtün barajlarının AKM hareketini nasıl etkilediklerini araştırmaktır. Çalışmanın bir diğer amacı ise AKM miktarını belirlemeden sadece bulanık ölçümleri ile AKM miktarını tahmin etmenin mümkün olup olmayacağını araştırmaktır. AKM miktarının tahminde yapay sinir ağları (YSA) yaklaşımı kullanılmaktadır. Son yıllarda, yapay zeka tekniklerinden YSA yaklaşımı hidroloji ve hidrolik mühendisliğinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Askı maddesinin doğrudan akarsudan ölçümle belirlenmesi en güvenilir yol olmasına rağmen zaman alan ve maliyetli bir yöntemdir.

2. ÇALIŞMA ALANI

Türkiye hidrolojik olarak 26 havzaya ayrılmaktadır. Hidrolojik havzaların 22. si olan Doğu Karadeniz Havzası, Çoruh (23) ve Aras (24) havzaları ile birlikte, Kafkasya Ekolojik Bölgesi'nin Türkiye kısmını oluşturur. Doğu Karadeniz Havzası, Melet Çayı, Harşit Çayı, Pazar Çayı, Karadere ve Fırtına Deresi gibi birbirine paralel olarak uzanan akarsuların alt havzalarından oluşur. Harşit Çayı havzası bu alt havzaların en büyüğüdür.

Harşit Çayı, Gümüşhane İli'nin doğu sınırında Vauk dağlarından Sifon deresi adıyla doğar ve Tirebolu'da Karadeniz'e dökülür. 143 km ana kol uzunluğuna sahip Harşit Çayı'nın yağış alanı 3280 km^2'dir.

2.1. Torul Barajı ve HES

Torul barajı, Doğu Karadeniz Bölgesinde, Gümüşhane İli'nin Torul Kasabasına 14 km uzaklıkta ve Harşit Çayı üzerinde bulunmaktadır. Baraj yeri Gümüşhane'nin 40 km kuzeybatısında, Trabzon'un 90 km güneybatısındadır. 01.11.1998 tarihinde ihalesi yapılan Torul Barajı ve HES Tesisleri işinde, 14.11.2000 tarihinden itibaren fiilen işe başlanmış, 2007 yılında ise iş tamamlanıştır.

Harşit Çayı üzerinde DSİ tarafından inşa edilen Doğankent HES ile Kürtün Barajı ve HES inşaatından sonraki 3. büyük tesis konumunda olan Torul barajı ve HES temelden yüksekliği 142 m'dir (talvegden yükseklik: 137 m). Ön yüzü beton kaplamalı kaya dolgu tipinde 4.6 hm^3 gövde hacmine sahip olan barajın, normal su kotunda göl alanı 3.62 km^2, göl hacmi 168 hm^3 olup (aktif hacim:83.3 hm^3, ölü hacim:84.7 hm^3) 2096 km^2 yağış alanına sahiptir (Şekil 1).



Şekil 1. Torul Baraj gölü boş ve dolu durumları

2.2. Kürtün Barajı ve HES

Kürtün barajı ve HES, Doğu Karadeniz Bölgesinde Gümüşhane'nin Torul ilçesinin 27 km kuzey batısında, Harşit Çayı üzerindedir. 1986 yılında ihale edilen Kürtün Barajı ve HES İnşaatı, başlangıçta proje sorunları çözülememiş olması ve yeterli ödeneğin 1994 yılından sonra sağlanabilmiş olmasından dolayı gerçekleşme, 1995 yılından başlayarak önemli bir gelişme göstermiştir. 2002 yılında tamamlanan baraj 2003 yılında işletmeye açılmıştır (Şekil 2).



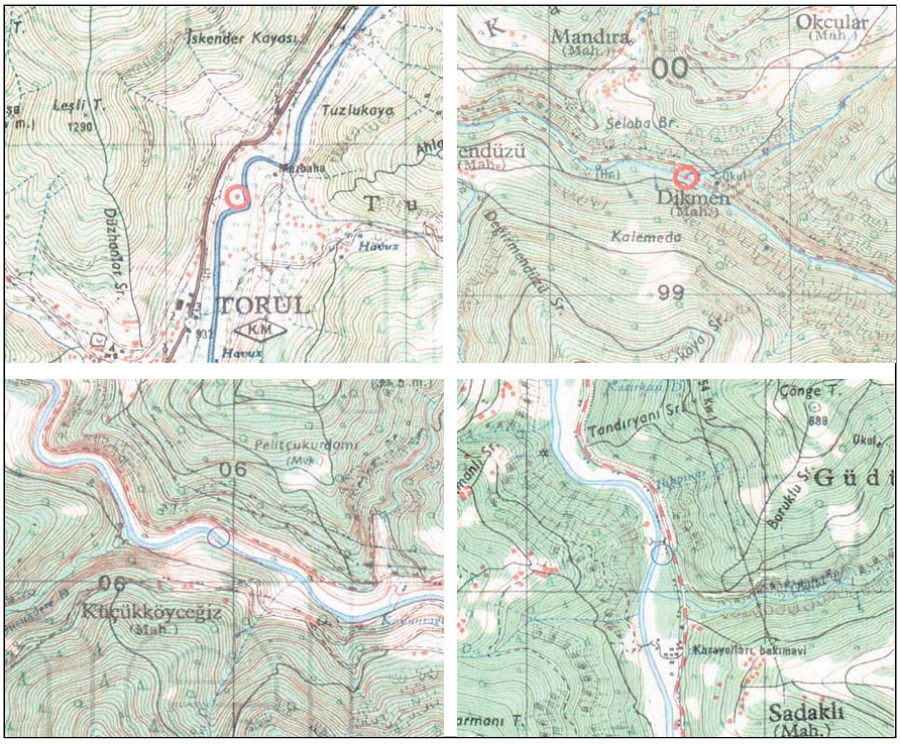
Şekil 2. Kürtün Baraj gölü boş ve dolu durumları

Ülkemizde ilk defa ön yüzü beton kaplamalı kaya dolgu tipinde inşa edilen Kürtün barajı ve HES, temelden yüksekliği 133 m'dir (talvegden yükseklik: 110 m). 3.8 hm^3 gövde hacmine sahip olan barajın, normal su kotunda göl alanı 2.08 km^2, göl hacmi 80.25 hm^3 olup (aktif hacim: 61.4 hm^3) 2686 km^2 yağış alanına sahiptir (Pehlivan, 2008).

Çalışma, Torul baraj gölü öncesinde 1 (Gümüşhane-Torul), Torul HES sonrasında 1, Kürtün HES sonrasında 1 ve Doğankent HES sonrasında 1 adet olmak üzere (Giresun-Doğankent) Harşit Çayı ana kol boyunca belirlenen toplam 4 gözlem istasyonunda gerçekleştirilmiştir. Yerinde bulanıklık ölçümlerinin yapıldığı ve su örneklerinin alındığı istasyonlar Tablo 1'de ve topoğrafik haritadaki yerleri ise Şekil 3'te verilmektedir.

Tablo 1. Gözlem istasyonları

İstasyonlar	Doğu	Kuzey	Yükseklik	Pafta
1. istasyon	39° 17' 54.7"	40° 33' 56.7"	907	G 42 C4
2. istasyon	39° 11' 03.0"	40° 38' 39.7"	642	G 42 D2
3. istasyon	39° 04' 11.8"	40° 42' 18.4"	498	G 42 D1
4. istasyon	38° 54' 42.4"	40° 49' 19.6"	150	G 41 B3



Şekil 3. Gözlem istasyonları (sol üst: 1. istasyon, sağ üst: 2. istasyon, sol alt: 3. istasyon, sağ alt: 4. istasyon)

3. YÖNTEM

3.1. Arazi ve Laboratuar Çalışmaları

Çalışma 2009 Mart-2010 Şubat dönemini kapsamakta olup 15 günlük aralıklarla ayda iki kez, toplamda 24 kez yerinde bulanıklık ölçümü ile laboratuarda askıda katı madde tayini şeklinde gerçekleştirilmiştir. Bulanıklık ölçümleri Japon menşeli Horiba U-10 portatif cihaz yardımıyla NTU (Nephelometric Turbidity Units) cinsinden yerinde belirlenmiş olup, alınan yüzeysel ham su örneklerinin laboratuarda filtre edilmesiyle de mg/L cinsinden AKM tayini yapılmıştır. Su örnekleri, 47 mm çaplı süzme haznesine sahip Sartorius marka filtrasyon seti ile gözenek boyutu 1.2 µm olan 47 mm çaplı cam yünü filtreler kullanılarak filtre edilmiş, 105 °C'de 6 saat süre ile etüvde kurutulmuştur. Daha sonra desikatörlere alınarak oda sıcaklığına getirilmiş ve 0.0001 gr hassasiyetli Sartorius marka hassas terazide tartılmıştır.

3.2. Askıda Madde Tahmini

3.2.1. Regresyon Analizi

Regresyon analizinde bağımsız değişken olarak bulanıklık değerleri bağımlı değişken olarak da AKM değerleri kullanılmıştır. Analizde doğrusal, logaritmik, ikinci derece, ters, kübik, bileşik, üs, S, artış olmak üzere dokuz farklı fonksiyon kullanılmıştır. Bu bölümde en büyük regresyon katsayısına sahip kübik fonksiyon değerlendirilecektir. Kübik fonksiyon şu şekilde tanımlanmaktadır.

$$y = a_1 + a_2x + a_3x^2 + a_4x^3 \quad (1)$$

Burada y AKM'yi, x bulanıklığı ve $a_{1\text{-}4}$ ise katsayıları ifade etmektedir. Kübik fonksiyon için hesaplanan katsayı değerleri ve R^2 değeri Tablo 2'de verilmektedir.

Tablo 2. Kübik fonksiyon katsayı değerleri

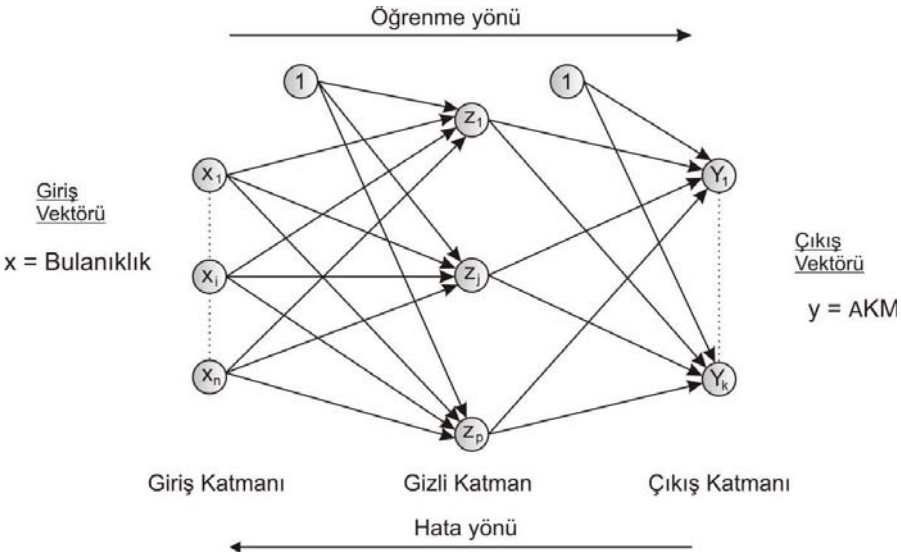
a_1	a_2	a_3	a_4	R^2
6.759	0.214	0.001	$-1*10^{-6}$	0.929

3.2.2. YSA Analizi

Yapay sinir ağları, insan beyninin özelliklerinden olan öğrenme yolu ile yeni bilgiler türetebilme, yeni bilgiler oluşturabilme ve keşfedebilme gibi yetenekleri herhangi bir yardım almadan otomatik olarak gerçekleştirmek amacı ile geliştirilen bilgisayar sistemleridir. Bu yetenekleri geleneksel programlama yöntemleri ile gerçekleştirmek mümkün değildir. O nedenle, yapay sinir ağlarının, programlanması çok zor veya mümkün olmayan olaylar için geliştirilmiş adaptif bilgi işleme ile ilgilenen bir bilgisayar bilim dalı olduğu söylenebilir.

Teknik olarak bir yapay sinir ağının en temel görevi, kendisine gösterilen bir girdi setine karşılık gelebilecek bir çıktı seti belirlemektir. Bunu yapabilmesi için ağ, ilgili olayın örnekleri ile eğitilerek (öğrenme) genelleme yapabilecek yeteneğe kavuşturulur. Bu genelleme ile benzer olaylara karşılık gelen çıktı setleri belirlenir (Öztemel, 2006).

Çalışmada oluşturulan çok katmanlı ileri beslemeli geri yayınımlı YSA'da, ölçülen bulanıklık değerleri girdi vektörünü, AKM konsantrasyonu değerleri ise çıktı vektörünü oluşturmaktadır (Şekil 4). Üç noktadan 15 gün arayla alınan 24 seri örnek olan toplam 72 adet veri YSA'da kullanılmıştır. Bu verilerin 57 tanesi eğitim, 15 tanesi ise test için kullanılmıştır.



Şekil 4. YSA modeli mimarisi

Veriler YSA'ya girilmeden önce 0.1 ila 0.9 değerleri arasında normalize edilmiştir. Normalize işlemi şu şekilde yapılmaktadır:

$$\text{Normalize değer} = \frac{\text{Asıl değer} - \text{En küçük değer}}{\text{En büyük değer} - \text{En küçük değer}} \text{ x } (0.9 - 0.1) + 0.1 \quad (2)$$

Çalışmada yalnız bir adet gizli katman ve en iyi YSA yapısını belirlemek için gizli katmanda dört farklı nöron sayısı kullanılmıştır. Bunun yanında en iyi çözüme ulaşmak için beş farklı öğrenme katsayısı ve beş farklı momentum katsayısı denenmiştir (Tablo 3).

Giriş katmanı ile gizli katman arasında sigmoid, gizli katman ile çıkış katmanı arasında ise doğrusal transfer fonksiyonları kullanılmıştır. Ağ eğitiminde en büyük yineleme sayısı 3000 olarak belirlenmiştir. En iyi sonucu veren YSA özellikleri Tablo 4'te verilmektedir.

Tablo 3. Farklı YSA mimarileri için kullanılan değişkenler

Gizli katman nöron sayısı	Öğrenme katsayısı	Momentum Katsayısı
3	0.10	0.10
5	0.25	0.25
7	0.50	0.50
10	0.75	0.75
	1.00	1.00

Tablo 4. En iyi sonucu veren YSA'nın özellikleri

Gizli Katman Nöron Sayısı	Öğrenme Katsayısı	Momentum Katsayısı	Yineleme	Eğitim Hatası (%)	Test Hatası (%)	Test Setindeki En Büyük Rölatif Hata (%)	Test Setindeki Ortalama Rölatif Hata (%)
3	0.25	0.50	3000	0.1035	0.0063	49.31	25.52

4. BULGULAR

4.1. Arazi ve Laboratuar Çalışmalarından Elde edilen Bulgular

Elde edilen bulanıklık ve AKM konsantrasyonu değerlerinin mevsimsel aralıkları, sırasıyla Tablo 5 ve 6'te verilmektedir.

Tablo 5. Bulanıklık değerleri (NTU)

Mevsimler	Torul	Torul HES	Kürtün HES	Doğankent HES
İlkbahar	24 - 525	23 - 125	3 - 24	18 - 168
Yaz	10 - 188	4 - 97	0 - 1	2 - 89
Sonbahar	21 - 288	0 - 221	0 - 406	0 - 583
Kış	17 - 215	7 - 22	0 - 210	17 - 37

Tablo 6. AKM konsantrasyonu değerleri (mg/L)

Mevsimler	Torul	Torul HES	Kürtün HES	Doğankent HES
İlkbahar	8.2 - 263.4	4.8 - 21.4	2.0 - 18.8	6.2 - 83.8
Yaz	11.4 - 59.6	2.2 - 22.0	1.2 - 13.5	3.2 - 22.2
Sonbahar	20.4 - 111.0	2.4 - 58.0	0.2 - 194.6	11.8 - 305.6
Kış	9.4 - 126.2	1.6 - 8.6	1.2 - 91.8	7.2 - 25.0

İlk istasyon için yıllık ortalama bulanıklık ve AKM konsantrasyonu değerleri sırasıyla 117 NTU ve 57.9 mg/L'dir. Bulanıklık 10 - 525 NTU arasında değişmekte olup en yüksek değerlere ilkbahar aylarında (ortalama 164 NTU), en düşük değerlere ise yaz aylarında (ortalama 76 NTU) rastlanılmıştır. Dolayısıyla en yüksek AKM konsantrasyonu değerleri ilk bahar aylarında 86.7 mg/L, en düşük değerler yaz aylarında 32.3 mg/L olarak elde edilmiştir.

İkinci istasyon için yıllık ortalama bulanıklık ve AKM konsantrasyonu değerleri sırasıyla 39 NTU ve 12.4 mg/L'dir. Bulanıklık 0 - 221 NTU arasında değişmekte olup

en yüksek değerlere ilkbahar aylarında (ortalama 66 NTU), en düşük değerlere ise kış aylarında (ortalama 13 NTU) rastlanılmıştır. Fakat en yüksek AKM konsantrasyonu değerleri son bahar aylarında 24.7 mg/L, en düşük değerler kış aylarında 5.5 mg/L olarak elde edilmiştir.

Üçüncü istasyon için yıllık ortalama bulanıklık ve AKM konsantrasyonu değerleri sırasıyla 34 NTU ve 26.2 mg/L'dir. Bulanıklık 0 - 406 NTU arasında değişmekte olup en yüksek değerlere sonbahar aylarında (ortalama 85 NTU), en düşük değerlere ise yaz aylarında (ortalama 0 NTU) rastlanılmıştır. Dolayısıyla en yüksek AKM konsantrasyonu değerleri son bahar aylarında 69.4 mg/L, en düşük değerler yaz aylarında 6.2 mg/L olarak elde edilmiştir.

Son istasyon için yıllık ortalama bulanıklık ve AKM konsantrasyonu değerleri sırasıyla 60 NTU ve 29.9 mg/L'dir. Bulanıklık 0 - 583 NTU arasında değişmekte olup en yüksek değerlere sonbahar aylarında (ortalama 133 NTU), en düşük değerlere ise yaz aylarında (ortalama 24 NTU) rastlanılmıştır. Dolayısıyla en yüksek AKM konsantrasyonu değerleri son bahar aylarında 70.9 mg/L, en düşük değerler yaz aylarında 12.1 mg/L olarak elde edilmiştir.

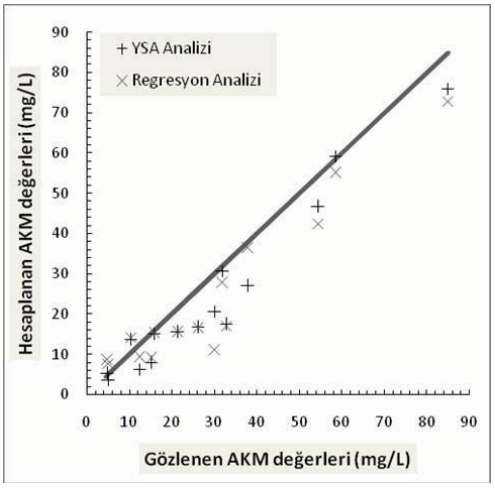
4.2. Analiz Sonuçlarının İrdelenmesi

YSA performansı ile eğitim için harcanan zaman arasında ters orantı söz konusudur. Gizli katman sayısının, gizli katmandaki nöron sayısının, momentum ve öğrenme katsayılarının ve yineleme sayısının artması YSA performansının daha iyiye gitmesine neden olmaktadır. Bunun yanında bu değerlerdeki artış, ağ eğitimi için harcanan zamanın oldukça artmasına neden olmaktadır. Ağ eğitiminde kullanılan değişkenler bu durum dikkate alınarak belirlenmiştir.

YSA analizinden elde edilen sonuçlara göre, test seti için elde edilen en büyük rölatif hata değeri % 49.31 olarak belirlenmiştir. Bu değer kübik fonksiyonun kullanıldığı regresyon analizinde % 76.55'dir. Ortalama rölatif hata değerleri ise YSA için % 24.55, regresyon analizi için % 31.52 olarak belirlenmiştir. YSA için bulunan ortalama rölatif hata değerlerinin, ağı durdurma ölçütü olan yineleme sayısının, gizli katmandaki nöron sayısının, gizli katman sayısının veya öğrenme ve momentum katsayılarının değişmesi ile arttırılması mümkün olabilmektedir. Kullanılan rölatif hata değeri şu şekilde hesaplanmaktadır:

$$e_{röl} = (\frac{G_H - G_G}{G_G}) x100 \qquad (3)$$

Burada G_H, hesaplanan değeri, G_G ise gerçek gözlem değerini göstermektedir. Şekil 5'te test seti için YSA ve regresyon analizinden hesaplanan değerler ile gerçek değerlerin karşılaştırması görülmektedir.



Şekil 5. Test verileri için gözlenen ve hesaplanan AKM (mg/L) değerleri

5. SONUÇLAR

Elde edilen bulanıklık ve AKM konsantrasyonu değerlerinin yıllık ortalamaları dikkate alınıp ilk iki istasyon karşılaştırıldığında, Torul barajının bulanıklık değerinde % 66.6'lık bir azalmaya sebep olduğu, AKM'nin % 78.6'sını tuttuğu belirlenmiştir. Bu da Kürtün barajının ekonomik ömrünü uzatacağı anlamına gelmektedir.

AKM tahmini için yapılan analizlerden elde edilen sonuçlara göre, test seti için elde edilen en büyük rölatif hata değeri YSA'da % 49.31 ve kübik fonksiyonun kullanıldığı regresyon analizinde ise % 76.55 olarak belirlenmiştir. Ortalama rölatif hata değerleri ise YSA için % 24.55, regresyon analizi için % 31.52 olarak belirlenmiştir. Sonuç olarak YSA yönteminin regresyon analizine göre daha iyi sonuç verdiği belirlenmiştir.

6. TEŞEKKÜR

Yazarlar, arazi çalışmalarındaki yardımlarından dolayı, Teknisyen Yüksel HARDAL, Dr. Mustafa DURMAZ, Dr. Tayfun DEDE, Aydın BAYRAK, Zekeriya BAYRAK'a, laboratuar çalışmalarındaki yardımlarından dolayı Prof. Dr. Mehmet TÜFEKÇİ, Dr. Ali GÜNDOĞDU, Duygu ÖZDEŞ'e teşekkür ederler.

7. KAYNAKLAR

Doğan, E, Şaşal, M, Işık S, "Suspended Sediment Load Estimation in Lower Sakarya River by Using Soft Computational Methods", Proceeding of the International Conference on Computational and Mathematical Methods in Science and Engineering, CMMSE 2005 Alicante, Spain, June, 27-30, 395-406, 2005.

Öztemel, E, “Yapay Sinir Ağları”, Papatya Yayıncılık, 2006.

Öztürk, F, Apaydın, H, Walling, DE, “Suspended Sediment Loads Through Flood Events for Streams of Sakarya Basin”, Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences TUBITAK 25 643-650, 2001.

Pehlivan, M, “Kürtün Baraj Gölünün Sağ Sahilindeki Özkürtün (Gümüşhane) Beldesinin Heyelan Analizi”, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Trabzon, 2008.

Yalçın, H, Gürü, M, “Su Teknolojisi”, Palme Yayıncılık, Ankara, 2002.

Türkiye'deki 24 Saatlik En Büyük Yağışların Eğilim Analizi

A.Deniz ÖZDEMİR[1], M. Kemal ERKUŞ[2]

Özet: Günümüzde küresel sıcaklık artışı ve buna bağlı olarak ortaya çıkacak aşırı (ekstrem) hava olaylarında bir artış olacağı öngörülmektedir. İklim değişikliği sonucunda, bazı bölgelerde yağışların dağılımı, şiddeti ve süresinde değişiklikler meydana geleceği ve taşkın olaylarında artış olacağı belirtilmektedir.

Bu çalışmada 159 meteoroloji gözlem istasyonunun 1966-2005 yıllarına ait her yıl içindeki 24 saatlik en büyük yağış değeri kullanılmıştır. Tüm istasyonların genel ve küme (cluster) analizi yapılarak bölgesel olarak, her yıl için ölçülen 24 saatlik en büyük yağış değerlerinin belirlenen sınıf aralıklarına göre görülme sıklığı (frekans) elde edilmiştir. Daha sonra her bir sınıf aralığı için görülme sıklığının yıllara göre değişiminin değerlendirilmesi amacıyla Mann-Kendall testi kullanılarak eğilim (trend) analizi yapılmıştır. Böylece Türkiye'de görülen ve taşkınlara da neden olan şiddetli yağışlardaki değişim belirlenmeye çalışılmıştır.

Anahtar Sözcükler: İklim Değişikliği; Yağış; Küme Analizi; Eğilim; Mann-Kendall

Trend Analysis of Maximum 24-Hour Precipitation for Turkey

Abstract: It is foreseen that there will be an increase in extreme weather phenomenon in parallel with global warming. As a result of climate change, it is indicated that there will be changes in the distribution, intensity and duration of the precipitation and an increase in flood events in some regions.

In this study, maximum 24-hour precipitation data of 159 meteorological observation stations is used for each year between 1966–2005. General and cluster analysis of all stations has been performed and the occurrence frequency of the measured maximum 24-hour precipitation value for each year according to the defined class intervals has been obtained. Then trend analysis was performed via Mann-Kendall test in order to assess the change of the occurrence frequency for each class intervals for each year. Thus, the change of extreme precipitation in Turkey which result in floods was tried to determine by this study.

Keywords: Climate Change; Precipitation; Cluster Analysis; Trend; Mann-Kendall

[1] DSİ Genel Müdürlüğü, Etüd ve Plan Dairesi Başkanlığı, Hidroloji Şube Müdürlüğü, E-Posta: dozdemir@dsi.gov.tr
[2] DSİ Genel Müdürlüğü, Etüd ve Plan Dairesi Başkanlığı, Hidroloji Şube Müdürlüğü, E-Posta: mkerkus@dsi.gov.tr

1. GİRİŞ

Günümüzde küresel ısınma ve bunun paralelinde ortaya çıkacak sorunlar dünya gündeminde en ön sıralarda yer almaktadır. Bilim adamları küresel ısınma ve buna bağlı olarak gerçekleşecek iklim değişikliği senaryolarına ilişkin araştırmalar yapmakta, dünyada ne gibi sorunların ortaya çıkacağı ve insanoğlunun bunlardan nasıl etkilenecekleri konusunda çalışmalarını sürdürmektedir.

Dünyada iklim değişikliği senaryolarına göre yapılan çalışmalarda gelecekteki yağış rejiminde değişim olacağı beklenilmektedir. İklim değişikliği sonucunda, bazı bölgelerde en büyük yağışların dağılımı, şiddeti ve süresinde değişiklikler meydana geleceği ve taşkın olaylarında artış olacağı belirtilmektedir.

Ülkemizde gerçekleşen yağışlar analiz edilerek, çeşitli senaryolara göre de iklim değişikliğinin etkisiyle gelecekteki yağışlardaki değişimin belirlenmesine ilişkin çalışmalar yapılmış ve yapılmaktadır.

Bu çalışmada ülkemizde görülen ve taşkınlara da neden olan günlük en büyük yağışlardaki değişim analiz edilerek, 1966-2005 yılları arasında gerçekleşen 24 saatlik en büyük yağışlardaki eğilim belirlenmeye çalışılmıştır.

2. YÖNTEM

Küme Analizi ve Mann-Kendall testi konusunda ülkemizde yapılan çalışmalarda genellikle hidro-klimatolojik parametrelerin toplam ve ortalama değerlerine ilişkin analizler yapılmıştır. Bu çalışmada söz konusu yöntemler kullanılarak, 24 saatlik en büyük yağış değerlerinin belirlenen sınıf aralıklarına göre görülme sıklığı değerlendirilmeye çalışılacaktır.

Küme analizi veri nesnelerini yalnızca nesneleri tanımlayan ve ilişkilerini ortaya koyan verilerden çıkarılacak bilgiler ışığında gruplar. Amaç aynı grup içerisindeki nesnelerin birbirine benzer veya ilişkili olması; farklı gruptakilerin ise birbirinden farklı olması ya da ilişkilerinin bulunmamasıdır (GYTE, 2010).

Kümeleme metotlarından hiyerarşik kümeleme metodunda, her küme bir veri setindeki her bir nesnenin dizideki bir sonraki nesnenin içinde yer aldığı bir nesneler dizisidir (Guha ve diğ. 2002).

Genellikle yaygın olarak kullanılan yedi çeşit hiyerarşik küme analizi bulunmaktadır. Bunlar; single linkage, complete linkage, centroid teknik, ward minimum varyans tekniği ve avarage linkage metodlarıdır. Bu metodların bazılarının zincirleme problemlerine sahip olması ve bazılarının yine eşit sayıda gruplamaya gitmesi gibi çeşitli problemlerle birlikte, yapılan araştırmalarda Ward Varyans Tekniği metodu yaklaşımının klimatolojik araştırmalar için en gerçekçi sonuçları verdiği görülmüştür (Ünal ve Karaca, 2003).

Hiyerarşik tekniklerin tümü şu dört temel adımı izlemektedir:

I. Euclidean distance adı verilen ve tüm veriler arasındaki mesafeyi hesaplayan formül tüm istasyonlar için uygulanmaktadır,
II. En yakın iki sonuç yeni bir küme olarak birleştirilmektedir,
III. Bütün istasyonlar arasındaki mesafeler tekrar hesaplanmaktadır,
IV. İkinci ve üçüncü adımlar tüm istasyonlar tek bir küme oluncaya kadar devam etmektedir (Ünal ve Karaca, 2003).

Bu çalışmada tüm istasyonların ve küme analizi sonucunda oluşan grupların verilerindeki değişiminin belirlenmesi amacıyla Mann-Kendall testi kullanılarak eğilim (trend) analizi yapılmıştır.

Genellikle Kendall τ istatistiği olarak da bilinen Mann-Kendall testi (Mann 1945, Kendall 1975) verilerin eğiliminin rastgele olup olmadığının belirlenmesi için hidroloji ve klimatolojide yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu test non-parametrik bir test olduğundan verilerin dağılımından bağımsızdır. Bu test ile zaman serisinde eğilim olup olmadığı sıfır hipotezi ile "H_o:Eğilim Yok" ile kontrol edilmektedir (Bayazıt 1996). Testin uygulanacağı zaman serisi (x_1,….., x_n) x_i ve x_j çiftleri olarak iki gruba ayrılır. i<j için $x_i<x_j$ olan çiftlerin sayısı P ve $x_i>x_j$ olan çiftlerin sayısı M ile gösterilirse Test istatistiği S= P-M şeklinde tanımlanır. (Gümüş ve Yenigün, 2006). Test istatistiği S, ortalama sıfırken ve varyans **Denklem (3)** vasıtasıyla hesaplanmışken **Denklem (1) ve (2)** kullanılarak hesaplanır (Partal ve Kahya., 2006).

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^{n-1} \text{sgn}(x_j - x_k) \tag{1}$$

$$\text{sgn}(x_j - x_k) = \begin{cases} +1 \; eger \; (x_j - x_k) > 0 \\ 0 \; eger \; (x_j - x_k) = 0 \\ -1 \; eger \; (x_j - x_k) > 0 \end{cases} \tag{2}$$

$$Var(S) = \left[n(n-1)(2n+5) - \sum_t t(t-1)(2t+5) \right] / 18 \tag{3}$$

Verilen herhangi bir bağıntının büyüklüğünü t gösterir, Burada t eşit olan gözlemlerin sayısını göstermektedir. Örnek büyüklüğü n>10 olan bu çalışmada standart normal dağılım z değeri, **Denklem (4)** kullanılarak hesaplanmıştır. H_o hipotezi, α anlam seviyesinde eğer $|z| \leq z\alpha/2$ ise kabul edilmekte ve incelenen zaman serisinde eğilim olmadığını, büyükse eğilim olduğunu göstermektedir. S göstergesinin pozitif değeri yukarı (artan) eğilimi, aynı şekilde S göstergesinin negatif değeri aşağı (azalan) eğilimi gösterir (Partal ve Kahya, 2006).

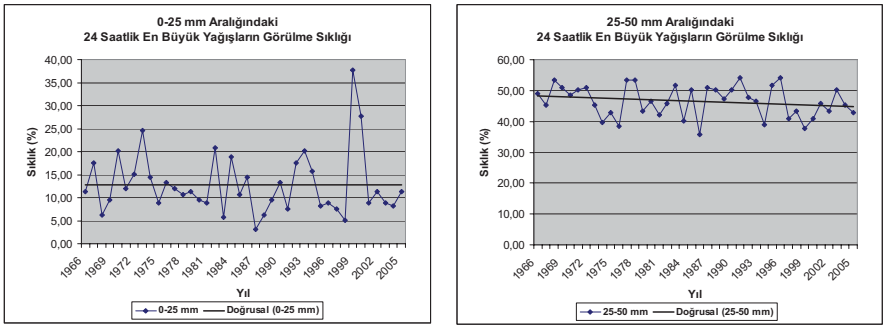
$$z = \begin{cases} \dfrac{S-1}{\sqrt{Var(S)}} \; eger \; S > 0 \\ 0 \quad eger \quad S = 0 \\ \dfrac{S+1}{\sqrt{Var(S)}} \; eger \; S < 0 \end{cases} \tag{4}$$

3. ANALİZ

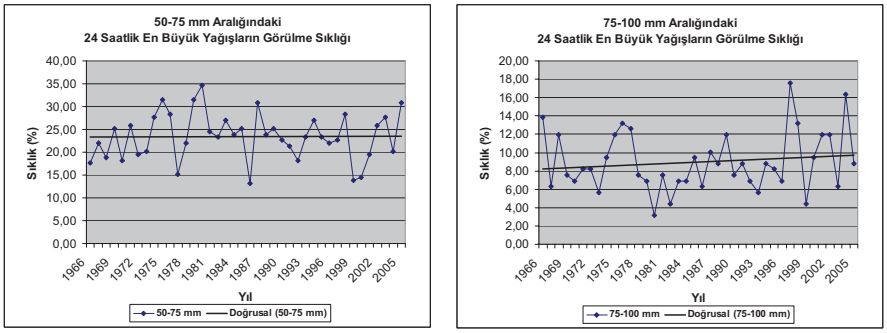
Yapılan çalışmada 159 meteoroloji gözlem istasyonunun 1966-2005 yıllarına ait her yıl içindeki 24 saatlik en büyük yağış değeri kullanılmıştır. 24 saatlik en büyük yağış değeri plüviyograflı istasyonların yağış kayıtları değerlendirilerek belirlenmekte olup, yerel saat ile 7.00-7.00 arasında ölçülen günlük toplam yağıştan farklı olarak ardışık iki gün içerisinde gözlenen en büyük 24 saatlik yağış değeridir.

Çalışmada tüm istasyonların tamamı alınarak ve küme (cluster) analizi yapılarak bölgesel olarak, her yıl için ölçülen 24 saatlik en büyük yağış değerlerinin belirlenen sınıf aralıklarına göre görülme sıklığı elde edilmiş, daha sonra her bir sınıf aralığı için görülme sıklığının yıllara göre değişiminin değerlendirilmesi amacıyla Mann-Kendall testi kullanılarak eğilim (trend) analizi yapılmıştır.

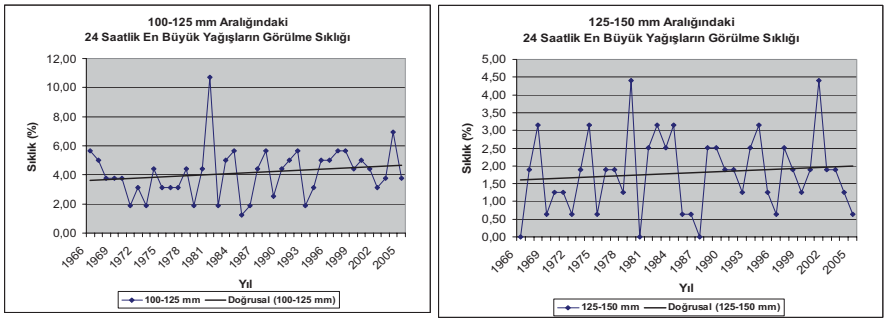
Çalışmada öncelikle tüm istasyonlar genel olarak değerlendirilmiş 24 saatlik en büyük yağış değerlerinin belirlenen sınıf aralıklarına göre görülme sıklığı elde edilmiş bu değerler **Grafik 1, 2, 3 ve 4** de verilmiştir.



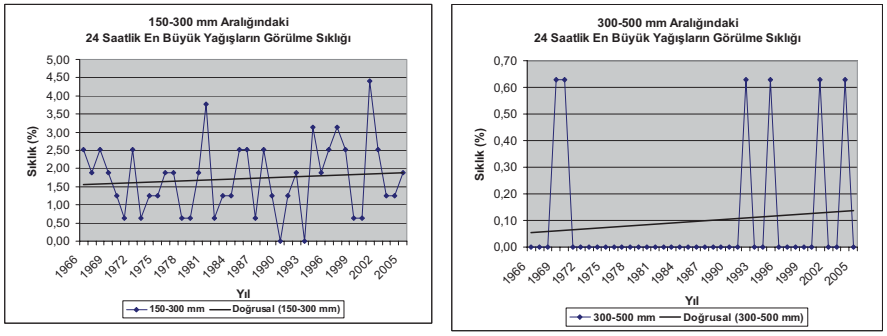
Grafik 1. Belirlenen Sınıf Aralıklarına Göre Yağışların Görülme Sıklığı



Grafik 2. Belirlenen Sınıf Aralıklarına Göre Yağışların Görülme Sıklığı



Grafik 3. Belirlenen Sınıf Aralıklarına Göre Yağışların Görülme Sıklığı



Grafik 4. Belirlenen Sınıf Aralıklarına Göre Yağışların Görülme Sıklığı

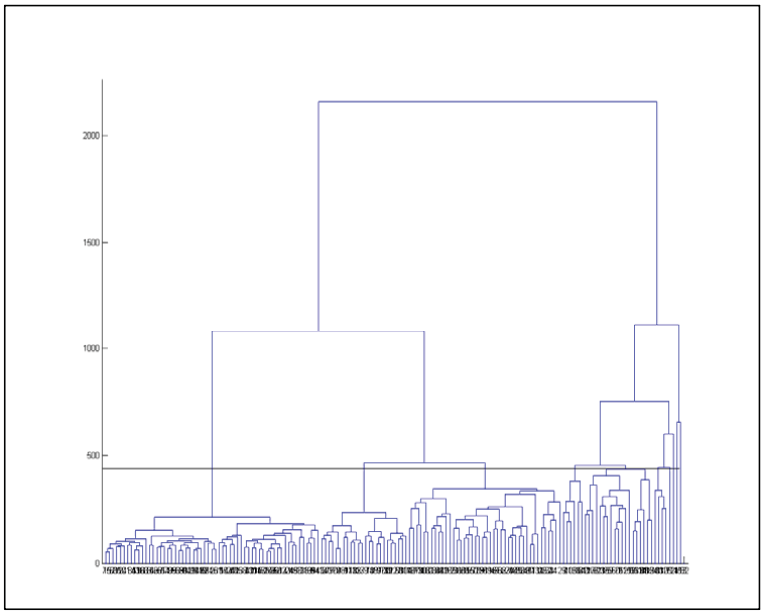
Daha sonra her bir sınıf aralığı için görülme sıklığının yıllara göre değişiminin belirlenmesi amacıyla anlamlılık düzeyi %10 olarak seçilmiş ve Mann-Kendall testi kullanılarak eğilim analizi yapılmıştır. Anlamlı bir eğilim yoksa "0", artan bir eğilim varsa "+", azalan bir eğilim varsa "-" ile gösterilerek **Tablo 1** de verilmiştir.

Tablo 1. Tüm İstasyonların Mann-Kendall Testi Sonuçları

İst Sayısı	Min	Max	0-25	25-50	50-75	75-100	100-125	125-150	150-300	300-500
159	6,6	466,3	0	0	0	0	0	0	0	0
			-1,12	-1,20	0,14	0,68	1,25	0,47	0,36	0,41

Daha detaylı bir değerlendirme yapmak amacıyla 159 istasyonun verileri küme analizine tabi tutulmuştur. Yapılan küme analizi çalışmasında hiyerarşik küme analiz yöntemleri uygulanmıştır. Ward metodunun en uygun yöntem olduğuna karar verilerek küme sayısı 10 olarak belirlenmiştir. Kümeler arası ilişkiyi gösteren dendogram **Şekil 1'de** verilmektedir.

Belirlenen her grup için yukarıda verilen işlemler sırasıyla gerçekleştirilmiş ve bölgesel olarak eğilim analizi yapılmıştır. Böylece ülkemizde görülen 24 saatlik en büyük yağışlardaki eğilim belirlenerek **Tablo 2 ve 3'te** verilmiştir.



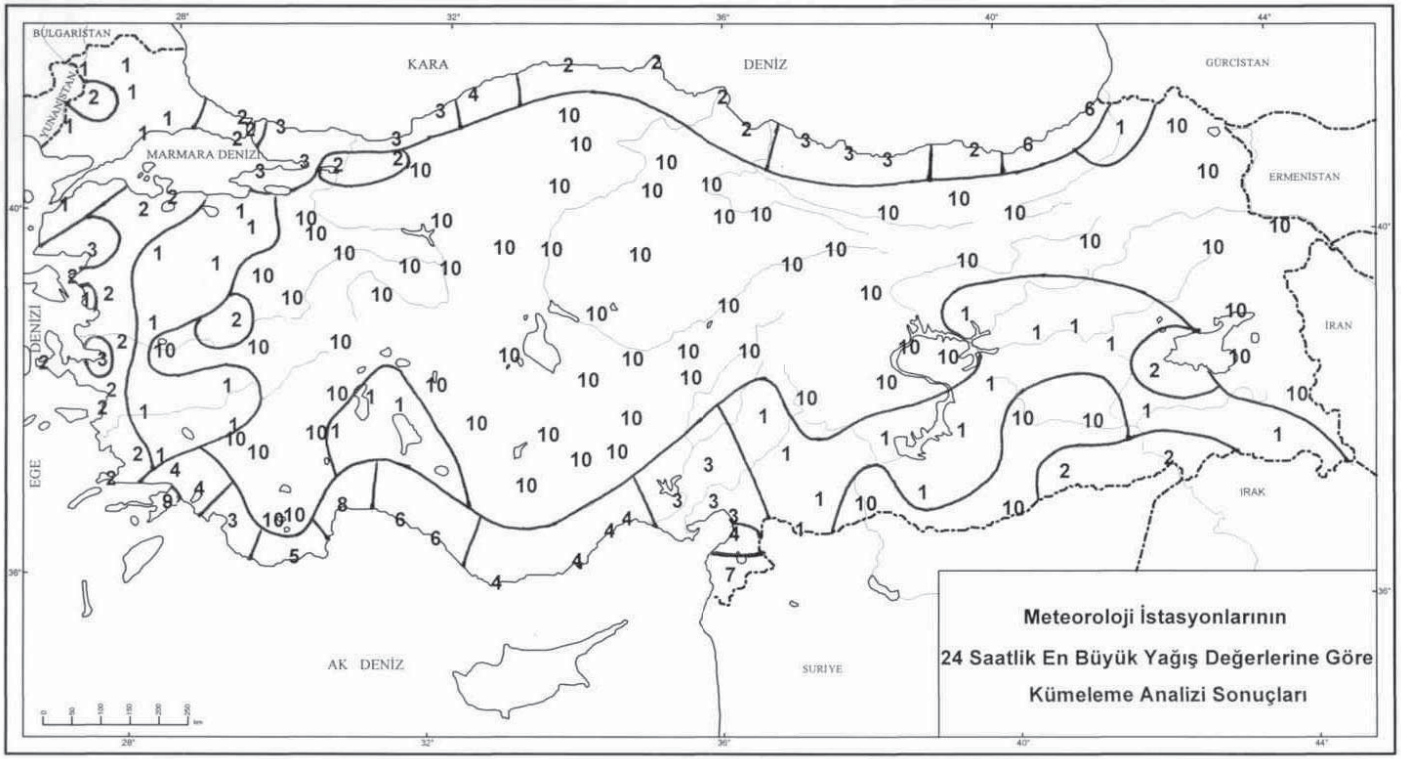
Şekil 1. İstasyonlara Ait Dendogram.

Tablo 2. Kümeleme Analizi Sonucu Oluşturulan Gruplara Ait Mann-Kendall Testi Sonuçları

Grup No	İst Sayısı	Min	Max	0-25	25-50	50-75	75-100	100-125	125-150	150-300
1	35	9,4	142,7	0	-	+	0	0	0	
				0,48	-2,78	1,58	0,93	0,20	0,55	
2	25	11,1	244,2	0	0	0	0	0	0	0
				-0,41	0,13	-0,62	0,06	-0,08	0,21	0,19
3	15	14,8	222,4	0	0	0	0	0	0	0
				0,12	-0,69	0,66	-0,31	0,40	-0,30	-0,29
4	8	10,3	239,4	0	0	-	+	0	0	0
				0,01	-0,50	-1,53	2,25	-0,55	0,37	0,07
6	4	38,9	266,5		0	0	0	0	0	0
					-0,41	-1,12	0,34	0,57	-0,07	0,70
10	68	6,6	116,6	0	+	0	0	0		
				-1,12	1,42	-1,26	0,86	1,25		

Tablo 3. Kümeleme Analizi Sonucu Oluşturulan Gruplara Ait Mann-Kendall Testi Sonuçları

Grup No	İst Adı	Min	Max	Z	İşaret
5	Finike	48,5	265,8	0,00	0
7	Antakya	41,4	442,6	1,11	0
8	Antalya	63,7	428,6	0,99	0
9	Marmaris	55,7	466,3	1,00	0



Harita 1. Seçilen İstasyonların Küme Analizi ile Gruplandırılması

4. SONUÇ

Yapılan çalışma ile Türkiye'de görülen ve taşkınlara da neden olan şiddetli yağışların sıklığındaki değişim belirlenmeye çalışılmıştır.

Çalışmada öncelikle 159 meteoroloji gözlem istasyonunun 1966-2005 yıllarına ait her yıl içindeki 24 saatlik en büyük yağış değerlerinin belirlenen sınıf aralıklarına göre görülme sıklığı elde edilmiş ve bu değerlerin eğilimini saptamak amacıyla anlamlılık düzeyi %10 olarak seçilerek Mann-Kendall testi yardımıyla eğilim analizi yapılmıştır. Yapılan analiz sonucunda **Tablo 1'de** görüleceği gibi, belirlenen sınıf aralıklarına göre anlamlı bir artış veya azalış eğilimi tespit edilmemiştir.

Daha detaylı bir değerlendirme yapmak amacıyla 159 istasyonun verileri küme analizine tabi tutulmuş ve istasyonlar 10 gruba ayrılmıştır. İstasyonların dağılımı **Harita 1'de** verilmiştir. Harita 1 incelendiğinde;

1. **Grup (35 istasyon):** Trakya, İç Ege, Göller Bölgesi, Güney ve Doğu Anadolu'nun bir bölümünü kapsamıştır.
2. **Grup (25 istasyon):** Marmara Bölgesinin bir bölümü, Kıyı Ege, Karadeniz Bölgesi'nin orta bölümü ve Güney Doğu Anadolu'nun bir bölümünü kapsamıştır
3. **Grup (15 istasyon):** Marmara Bölgesi'nin bir bölümü, Batı Karadeniz'in bir bölümü, Adana civarı, Doğu Karadeniz'in batı bölümünü kapsamıştır.
4. **Grup (8 istasyon):** Muğla civarı ve Akdeniz Bölgesi'nin orta bölümünü kapsamıştır.
6. **Grup (4 istasyon):** Hopa, Rize, Alanya ve Manavgat'ı kapsamıştır.
10. **Grup (68 istasyon):** Ege'nin doğusu, İç Anadolu ve Doğu Anadolu'yu kapsamıştır.

Kalan 4 istasyon farklı özellik göstermiştir. Bunlar Finike **5. Grup**, Antakya **7. Grup**, Antalya **8. Grup** ve Marmaris **9. Grup** olarak adlandırılmıştır.

1, 2, 3, 4, 6 ve 10. Grupların 24 saatlik en büyük yağış değerlerinin belirlenen sınıf aralıklarına göre görülme sıklığı elde edilmiş ve bu değerlerin eğilimini saptamak amacıyla anlamlılık düzeyi %10 olarak seçilerek Mann-Kendall testi yardımıyla eğilim analizi yapılmıştır.

5, 7, 8 ve 9. Grupta birer istasyon olması nedeniyle bu istasyonların gözlenen 24 saatlik en büyük yağış değerlerinin, anlamlılık düzeyi %10 olarak seçilerek Mann-Kendall testi yardımıyla eğilim analizi yapılmış **Tablo 2 ve 3'de** verilmiştir.

Analiz sonucunda, 24 saatlik en büyük yağış değerlerine göre;

1. Grup olan; Trakya, İç Ege, Göller Bölgesi, Güney ve Doğu Anadolu'nun bir bölümünde 25-50 mm arasındaki yağışların görülme sıklığında anlamlı bir azalma, 50-75 mm arasındaki yağışların görülme sıklığında anlamlı bir artış eğilimi görülmektedir.

4. Grup olan; Muğla civarı ve Akdeniz Bölgesinin orta bölümünde 50-75 mm arasındaki yağışların görülme sıklığında anlamlı bir azalma, 75-100 mm arasındaki yağışların görülme sıklığında anlamlı bir artış eğilimi görülmektedir.

10. Grup olan; Ege'nin doğusu, İç Anadolu ve Doğu Anadolu'da 25-50 mm arasındaki yağışların görülme sıklığında anlamlı bir artış eğilimi görülmektedir.

Bunların dışındaki tüm yerlerde 24 saatlik en büyük yağış değerlerinin görülme sıklıklarında anlamlı bir eğilim tespit edilmemiştir.

Bu çalışma ışığında iklim değişikliğinin ülkemizdeki yağış şiddeti üzerine etkileri konusunda somut bir şey söylemek mümkün görülmemekle birlikte, yapılan değerlendirmeler bu konudaki çalışmalara altlık oluşturabilecektir.

Bununla birlikte, ülkemizde Küme Analizi ve Mann-Kendall testi kullanılarak yapılan çalışmalarda genellikle hidro-klimatolojik parametrelerin toplam ve ortalama değerlerine ilişkin analizler yapılmıştır. Bu çalışma ile söz konusu yöntemlerin sıklık (frekans) analizinde de kullanılabileceği görülmüştür.

5. KAYNAKLAR

BAYAZIT, M, "İnşaat Mühendisliğinde Olasılık Yöntemleri", I. baskı, İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul, Türkiye, 1996.

DMİ Genel Müdürlüğü Yağış Verileri.

GUHA, S, RASTOGI, R, SHIM, K, "CURE: An Efficient Clustering Algorithm for Large Databases", Information Systems 26, 1, 35-58, 2002.

GÜMÜŞ, V, YENİGÜN, K, "Aşağı Fırat Havzası Akımların Trend Analizi ile Değerlendirilmesi", Yedinci Uluslararası İnşaat Mühendisliğinde Gelişmeler Kongresi, Yıldız Teknik Üniversitesi İstanbul, 2006.

KENDALL, MG, "Rank Correlation Methods", Charles Griffin, London, 1975.

MANN, HB, "Non-parametric Test Against Trend", Econometrica, Vol. 13, pp.245-259, 1975.

PARTAL, T, KAHYA, E, "Trend Analysis in Turkish Precipitation Data", Hydrological Processes 20, 2011-2026, 2006.

ÜNAL, Y, KARACA, M, "Küme Analizi ile Türkiye'de İklim Bölgelerinin Yeniden Belirlenmesi", Kuvaterner Çalıştayı IV, İTÜ Avrasya Yerbilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2003.

GYTE, http://www.bilmuh.gyte.edu.tr/~htakci/vm/kumeleme_analizi.doc, 1.3.2010.

Türkiye'nin Yüzeysel Su Potansiyeli

Mehmet YILDIZ [1], Mustafa ÖZKAYA [2], İsmail UÇAR [3], Ömer AYHAN [4]

Özet: İçme, sulama, enerji ve diğer amaçlar için talebi sürekli artan suyun ülkemizdeki kıymeti gün geçtikçe önem kazanmaktadır. Talebi ve kıymeti artan suyun varlığı ve bunun zaman içinde miktarsal değişimi nedir? Sorusu gündemde önemli yer tutmaktadır. Bu sorulara cevap olarak yapılan bu çalışmada, Türkiye akarsu havzalarında yüzeysel sulardaki akımların miktarsal durumu ve yıllara göre değişimi incelenmiştir. Çalışmada, Türkiye genelindeki 25 havzanın 130 akım gözlem istasyonuna ait aylık ve günlük ortalama akım verileri kullanılmıştır.

Mevcut su potansiyeli ile birlikte gözlenen akımların zamanla değişimlerinin bölgelere göre dağılımı incelendiğinde Marmara, Ege, İç Anadolu (Sakarya Havzası dahil) ve Akdeniz bölgelerindeki akarsuların çoğunun akımlarında bir değişim olduğu anlaşılmaktadır. Akımlarda gözlenen bu değişim; az sayıda istasyon dışında genellikle zamanla azalan yöndedir. Sonuç olarak, son 40-75 yıllık dönemde Türkiye'nin batı, orta ve güney bölgelerindeki yüzeysel sularında anlamlı bir azalma olduğu ortaya çıkmaktadır. Diğer bölgelerdeki yüzeysel sulardaki akımlarda ise zamanla az da olsa artan yönde bir değişim görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Akarsu havzası, Akarsu Gözlem İstasyonu, Su Potansiyeli

Surface-Water Potantial of Turkey

Abstract: Precious of water in our country which continously increasing petition of water for irrigation, drinking, energy and another aims comes into prominence day by day. Questions take a place as important at appointment. Increasing petition and precious of water subsistence and what is quantity variation of that in time. Done in this study as answer to questions, quantity situation of streamflow on shallow water in basins of Turkey and variation acording to years have been examined. In this study,

[1] EİE Genel Müdürlüğü, Hidrolik Etütler Dairesi Başkanlığı, Ankara, E-Posta : myildiz@eie.gov.tr
[2] EİE Genel Müdürlüğü, Hidrolik Etütler Dairesi Başkanlığı, Ankara, E-Posta : mozkaya@eie.gov.tr
[3] EİE Genel Müdürlüğü, Hidrolik Etütler Dairesi Başkanlığı, Ankara, E-Posta : iucar@eie.gov.tr
[4] EİE Genel Müdürlüğü, Hidrolik Etütler Dairesi Başkanlığı, Ankara, E-Posta : oayhan@eie.gov.tr

monthly and daily mean streamflow data belonging to 130 flow-observation station of the 25 basins have been used.

It is understanded that become a variation at streamflow of mostly river in Mediterranean, Center Anatolia, Aegean and Marmara area when variation s of streamflow observed together with existent water potential time by time are examined distrubition acording to areas. This variation of observed on streamflow generally are at decreasing-direction time by time. As result there is a meaningful decreasing at Shallow water in last 40-75 years period on West, Middle and South area of Turkey (emerge). It has been shown a variation into increasing-direction at streamflow on shallow water in another area time by time.

Keywords: River Basin, Gauging Station, Water Potential

1. GİRİŞ

İklim değişikliği ve küresel ısınma kavramları gündemimizi sıkça işgal eden konular arasındadır. Özellikle son yıllarda dünyanın farklı bölgelerinde meydana gelen sel ve kuraklık olayları bu kavramların insan hayatını doğrudan etkileyip etkilemediği konusunu gündemimize getirmiştir. Sadece sellerin değil kuraklıkların da bir doğal afet olduğu konusu özellikle dikkate alınması gereken bir noktadır. Mevcut nehir akım verilerinin zaman serileri incelenerek nehir akımlarında bir artış ya da azalış (trend) olup olmadığının belirlenmesi önem taşımaktadır. Nehir akımlarında zamanla belli bir değişim olup olmaması yalnızca doğal afetler açısından değil bu akımlara bağlı olarak projelendirilmesi düşünülen ya da işletmede olan su mühendisliği yapılarının (hiroelektrik santraller, içme suyu yapıları, sulama yapıları v.b.) işletilmesi açısından da büyük önem taşımaktadır.

Ortalama, düşük ve maksimum akımlar su kaynakları mühendisliği uygulamalarında farklı açılardan önem taşımaktadır. Taşkın ve ortalama akım değerleri baraj haznelerinin biriktirme kapasitesinin hesabı ve taşkın yapılarının projelendirilmesi; düşük akımlar ise baraj dip savağından nehrin mansap tarafına verilecek debi miktarının belirlenmesi ya da su kalitesi standartlarının muhafazası gibi konular açısından önem taşımaktadır. Bu nedenle geçmiş akım kayıtları incelenerek gerek düşük akım gerekse de taşkın akım değerlerinde bir trend bileşenin araştırılması gelecekteki su kaynakları projelerinin planlanması açısından önemlidir. Ayrıca, akımlardaki eğilimlerin bilinmesi su yapılarının optimum bir şekilde işletilmesi ve özellikle hidroelektrik santrallerin işletilmesi aşamalarında büyük önem kazanmaktadır. Düşük akım, ortalama akım ve maksimum akımlarda azalan yönde trend, su kaynakları mühendisliğinde farklı açılardan değerlendirilmektedir. Düşük akımlardaki azalma akarsuların bazı dönemlerde kuruyabileceğinin göstergesi olarak kabul edilebilir. Bu durum özellikle sulamanın önemli olduğu yaz ayları için söz konusudur. Aynı zamanda düşük akım dönemlerinde atık suların yüzeysel sulara verilmesinde seyrelme bakımından önemli sorunlar ortaya çıkar. Düşük akım istatistiklerinde zamanla meydana gelebilecek azalma, arıtma tesislerinin yerinin belirlenmesi, sulama ve içme suyu temini, akarsularda doğal yaşama engel olmadan alınabilecek su miktarlarının belirlenmesi gibi konular açısından önem taşımaktadır. Düşük akım istatistik değerlerindeki değişiklikler aynı zamanda hidroelektrik santrallar, su biriktirme yapıları ve soğutma tesislerindeki minimum etek

suyu bırakma hesaplarını etkiler. Yıllık ortalama akımlardaki bir azalma ise hazne kapasitesinin belirlenmesi ve daha sonra hazne işletim çalışmalarının gerçekleştirilmesi açısından önem taşımaktadır. Taşkınlardaki bir azalma baraj dolu savak projelendirilmesi açısından önemlidir. Bilindiği gibi baraj boyutlandırmasında taşkın debisi değerleri dikkate alınmaktadır. Aynı şekilde akarsu düzenleme yapılarının projelendirilmesinde de taşkın değerlerindeki değişim dikkate alınmalıdır.

Bu konuda farklı ülkelerin nehirleri için yapılmış uluslararası çalışmaların literatürde bulunmasına karşın ülkemiz için sadece Malkoç ve Yıldız 2001 yılında ve Cığızoğlu, Bayazıt, Önöz, Yıldız ve Malkoç 2003 yılında ülke genelini kapsayan birer çalışma yapmışlardır. Bu çalışmanın sonuçları, ileride kurulabilecek iklim değişikliği modellerinede ışık tutacaktır. Bunun yanında su kaynakları mühendisliğini ilgilendiren projelerin geleceği açısından yardımcı bilgiler sağlayacaktır.

Bu çalışmada, Türkiye genelinde tüm havzaları kapsayacak şekilde havza bazında ve ülke geneli mevcut yüzeysel su potansiyel miktarıyla birlikte nehir akım verilerinde uzun periyodta bir değişiklik olup olmadığı incelenmiştir. Çalışmada kullanılan nehir akım verileri Elektrik İşleri Etüt İdaresi (EİE) Genel Müdürlüğü'nden temin edilmiş olup konuyla ilgili EİE çalışmasıyla birlikte 2003 yılında İTÜ İnşaat Fakültesi Hidrolik Anabilim Dalı ile yapılan ortak proje çalışması sonuçlarından da faydalanılmıştır.

2. KULLANILAN VERİLER ve YÖNTEM

2.1. İncelenen Akarsu Gözlem İstasyonları

Proje kapsamında incelenen nehir akım verilerinin tamamı EİE Genel Müdürlüğü tarafından sağlanmıştır. İlk etapta toplam 25 havzada mevcut olan bütün nehir akım verileri dikkate alınmıştır. Ölçüm yapılan nehirlerde ölçüm süresince herhangi bir zaman diliminde bir müdahele yapılıp yapılmadığı da belirlenmiştir. Bu bilgiler ışığında 25 havzadan 3'ün de akımların tamamen müdahaleli olduğu (1,2 ve 19 No'lu havzalar) ve toplam 22 havzaya ait müdahelesiz ya da analizi etkilemeyecek boyuttaki düşük müdaheleli istasyonlara ait nehir akım verileri çalışmaya dahil edilmiştir. Akarsuların müdahale durumları, EİE İdaresi Hidrometri Etüt Merkezlerince işletilen akarsu gözlem istasyonları durum raporlarından belirlenmiştir. Buna göre çalışmada kullanılan müdehalesi az olan akarsu havza sayısı 22, akım gözlem istasyonu sayısı ise 110'dur. Belirlenen bu istasyonlara ait günlük ve aylık ortalama akım değerleri kullanılmıştır.

2.2. Kullanılan Yöntem

Çalışma, yıllık ortalama akım; bir su yılı boyunca gözlenen günlük ortalama akımların ortalaması olarak değerlendirilmiştir. İstasyonlar bazında bir akım yılına ait ortalama değerleri hesaplandıktan sonra her havza için yıllık havza su potansiyel miktarları elde edilmiştir (Tablo 1) ve sonra bu değerlerin zamanla değişimleri grafik haline getirilmiştir. Bu çalışmada akımların belirgin azalış gösterdiği Büyük Menderes Havzası Yıllık Akım grafiği (Şekil 1) ile Akımlarında belirgin artışın gözlendiği Aras Havası Yıllık Akım Grafiği (Şekil 2) örnek olarak verilmiştir. Daha sonra bu grafikler üzerinde trend çizgisi oluşturulmuş olup, zaman ve akım istatistik değerleri arasındaki ilişkiyi tanımlayan ve ilişkinin yönünüde belirleyen korelasyon katsayıları

belirlenmiştir. Takiben akımlardaki azalma veya artmayı gösteren kurak ve ıslak periyod dönemleri işaretlenmiştir (Tablo 2). Tablodaki kırmızı tonlar azalmaları yeşil tonlar ise artmaları göstermektedir. Çalışmada daha sonra istasyonlar bazında yapılan akım hesaplamaları ve havza bazı genellemelerinden sonra havzalardaki yüzeysel su potansiyelinin uzun periyod değişim miktarları hesaplanmıştır.

3. BULGULAR

3.1. Ortalama Akımlar

Türkiye genelindeki akım gözlem istasyonlarının uzun yıllar günlük akımlarından elde edilen sonuçların zamanla ilişkileri incelendiğinde Marmara Bölgesinin batısı, Ege Bölgesi, İç Anadolu Bölgesinin batısı, Akdeniz Bölgesi (Orta ve Doğu Akdenizin bazı kesimleri hariç) ve Güneydoğu Anadolu Bölgesinin orta bölümlerindeki akımlarda azalma olduğu görülmektedir. Diğer bölgelerin ortalama akımlarında ise zamanla az da olsa artan bir ilişki olduğu göze çarpmaktadır.

3.2. Türkiye Yüzeysel Su Potansiyeli

Yıllık ortalama akım bilgileri kullanılarak 25 havzaya ait akım potansiyeli bilgileri ile buna bağlı havza karakteristikleri elde edilmiş ve havzaların ıslak ve kurak periyodları belirlenmiştir. Yine yıllık ortalama akım verilerinden Türkiye geneli akarsu havzaları uzun yıllar yıllık yüzeysel su potansiyeli değişimleri bulunmuştur (Şekil 3).

4. SONUÇLAR

Son 40-75 yıllık periyodlar incelendiğinde, Türkiye'nin batı, orta ve güney bölgelerindeki akarsuların özellikle ortalama akımlarında anlamlı bir azalma olduğu ortaya çıkmaktadır. Başta yukarıda belirtilen bölgelerde olmak üzere, genel olarak akarsu havzalarında gözlenen ıslak periyodların sürelerinin kısaldığı ve verimin düştüğü, buna karşılık kurak periyodların şiddetlerinin daha fazla hisedilmeye başladığı gözlenmiştir. 40 yıllık periyodda yapılan akarsu havzaları yüzeysel su potansiyeli hesaplamalarında, ülkemizin sahip olduğu su miktarlarındaki azalmalar özellikle nufusun ve sanayinin yoğun olarak bulunduğu havzalarda belirgin şekilde görülmesi gelecekte bu havzalarda ciddi ölçüde su sıkıntılarının yaşanacağı gerçeğini göstermektedir.

5. KAYNAKLAR

Cığızoğlu, K., Bayazıt, M., Önöz, B., Yıldız, M. ve Malkoç, Y., "Türkiye Nehirleri Taşkın, Ortalama ve Düşük Akımlarındaki Trendler", Ankara, EİEİ Genel Müdürlüğü ve İTÜ Ortak Projesi, EİEİ Matbaası, 265s, 2003.

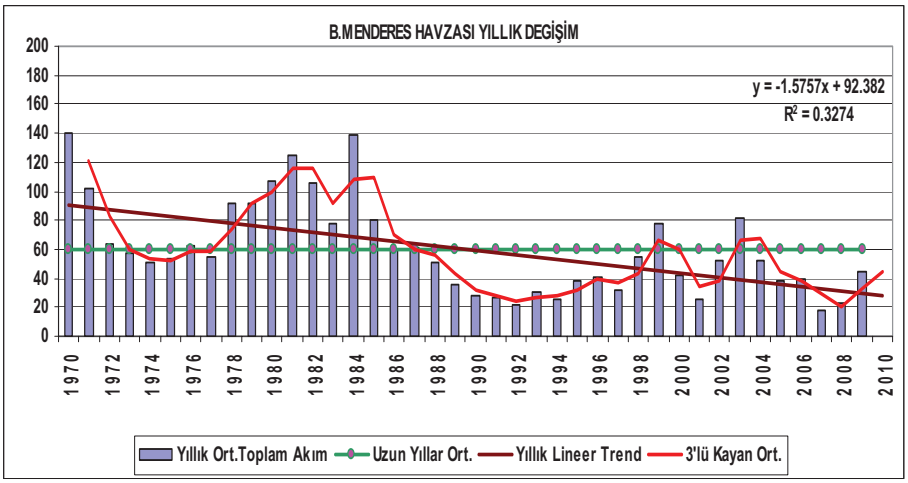
EİE, "1935-1997 Su akımları Yıllıkları", Ankara, EİE Genel Müdürlüğü.

EİE, "Akarsu Gözlem İstasyonları ve Göl Gözlem İstasyonları Genel Bilgileri", Ankara, EİE Genel Müdürlüğü, 2010.

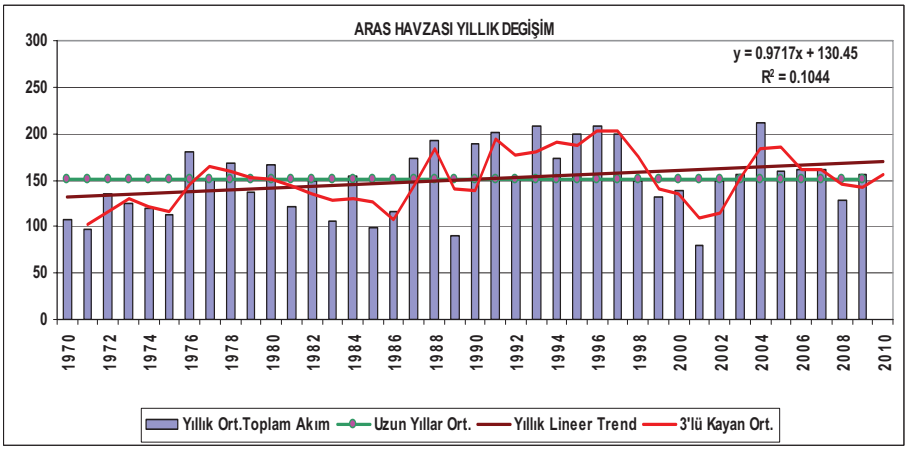
EİE, “Su Akımları Aylık Ortalamaları (1935-2005)”, Ankara, EİE Genel Müdürlüğü, 2008.
EİE, “Su Akımları Ekstremler ve Yıllık Ortalamalar (1935-2000)”, Ankara, EİE Genel Müdürlüğü, 2005.
Malkoç, Y. ve Yıldız, M., “Türkiye Akarsu Havzaları ve Hidrolojik Kuraklık Analizi”, Ankara, EİEİ Matbaası, 185s, 2002.

Tablo 1: Havzalarda Yıllar İtibariyle Yüzeysel Su Potansiyeli Miktarı (milyar m3)

	Havza No																						
Yıl	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	22	23	24	25
1970	9,31	4,43	6,57	2,36	2,67	1,26	4,41	11,20	18,21	0,55	0,49	8,09	7,01	4,25	7,00	8,04	12,07	6,65	1,40	6,73	14,93	5,25	3,40	2,64
1971	9,49	6,86	4,82	2,16	1,38	0,82	3,20	7,85	12,46	0,56	0,29	6,08	11,11	5,50	5,40	4,68	9,54	5,91	1,48	6,96	17,67	6,38	3,05	2,48
1972	5,19	3,07	3,01	0,81	0,90	0,40	2,01	5,68	10,09	0,32	0,33	5,45	11,11	5,79	5,18	4,99	9,28	5,38	2,26	4,15	19,50	6,40	4,28	3,88
1973	11,99	8,10	3,58	2,11	0,66	0,25	1,80	5,69	9,10	0,23	0,27	4,39	10,16	3,69	4,99	7,88	5,06	3,97	1,15	3,25	17,13	5,97	3,91	3,26
1974	4,42	4,74	5,22	0,93	1,25	0,56	1,60	4,85	8,06	0,16	0,35	4,17	8,77	3,49	2,52	4,56	5,36	3,73	1,98	3,75	16,66	4,89	3,75	2,37
1975	6,39	5,98	4,47	1,96	1,21	0,65	1,69	8,15	15,46	0,12	0,17	5,20	9,06	5,07	4,42	3,67	13,80	8,62	2,45	7,37	16,61	5,19	3,55	2,07
1976	6,26	3,88	3,89	1,12	1,25	0,47	1,98	7,04	12,13	0,18	0,42	5,07	8,00	5,81	5,60	3,44	10,75	6,36	3,50	8,83	18,14	6,78	5,66	3,16
1977	9,22	5,22	3,47	1,23	1,04	0,48	1,74	6,19	12,41	0,14	0,17	4,23	5,99	6,27	6,69	2,70	11,34	8,49	3,40	9,79	17,35	5,47	4,77	3,10
1978	6,06	6,84	7,52	2,28	2,60	1,42	2,91	9,00	15,71	0,26	0,41	5,42	8,40	6,16	4,94	3,46	12,13	7,73	3,48	9,11	18,45	7,05	5,31	3,61
1979	7,54	2,81	3,92	1,28	1,99	0,77	2,89	9,49	14,96	0,43	0,24	6,64	8,90	4,42	5,11	6,11	10,82	6,69	2,25	6,89	16,47	6,52	4,32	2,94
1980	10,78	6,86	6,10	1,79	1,94	0,67	3,38	11,44	15,09	0,74	0,36	6,47	11,22	6,15	5,99	9,45	14,11	14,13	3,41	12,28	16,72	6,59	5,23	3,01
1981	10,29	9,84	7,56	2,30	2,93	1,80	3,94	12,58	19,70	0,52	0,42	8,22	11,43	6,46	7,64	16,16	14,90	10,28	2,78	9,09	18,14	6,21	3,84	2,58
1982	7,18	7,04	7,47	2,72	2,52	1,54	3,35	11,10	17,39	0,24	0,22	7,32	10,59	5,88	5,67	7,29	12,21	7,12	2,11	7,64	17,06	5,94	4,71	3,03
1983	5,98	2,10	3,14	1,05	1,17	0,58	2,44	8,76	11,54	0,35	0,18	4,92	10,61	4,20	5,83	7,11	9,94	6,24	2,01	5,62	16,63	4,61	3,33	2,52
1984	9,25	5,45	5,40	2,05	2,03	1,63	4,37	11,15	17,30	0,44	0,55	6,87	10,29	6,70	7,12	5,69	11,46	7,09	1,67	6,07	17,33	6,00	4,88	3,08
1985	4,22	2,17	2,23	0,74	0,95	0,32	2,55	8,35	11,00	0,36	0,27	4,63	10,05	3,78	5,26	8,39	8,72	5,36	2,16	3,81	13,90	5,54	3,13	3,71
1986	4,85	3,74	4,29	1,57	0,97	0,51	1,87	6,64	11,91	0,23	0,12	4,64	7,74	5,35	5,30	7,46	9,87	4,67	1,73	3,76	17,78	6,72	3,64	2,34
1987	4,61	4,13	5,64	1,53	1,21	0,35	1,91	7,22	12,75	0,14	0,21	6,61	9,44	7,10	6,03	7,58	11,67	8,32	3,55	10,73	18,78	7,64	5,46	4,40
1988	4,56	2,64	3,44	1,14	0,73	0,24	1,61	6,91	13,06	0,12	0,19	4,40	8,97	8,63	9,54	7,00	11,29	9,54	3,95	10,76	22,58	9,43	6,09	5,01
1989	3,96	5,07	1,80	1,12	0,31	0,07	1,11	5,30	10,15	0,08	0,06	3,54	8,94	5,72	5,97	7,33	8,39	4,76	1,64	4,08	22,86	8,07	2,83	2,67
1990	2,81	1,55	2,92	0,41	0,33	0,10	0,88	4,14	11,76	0,04	0,18	4,62	9,81	6,63	5,34	7,15	8,54	5,84	1,67	4,70	22,21	7,39	5,96	2,90
1991	4,34	3,50	3,78	0,63	0,36	0,14	0,85	3,60	6,38	0,04	0,24	3,82	9,78	5,16	4,73	5,91	4,81	4,09	0,96	3,58	22,21	7,01	6,34	2,19
1992	3,71	6,60	2,36	0,56	0,14	0,00	0,69	4,00	9,74	0,04	0,20	4,69	10,27	5,15	4,57	7,26	8,62	7,20	2,14	6,04	24,81	7,55	4,82	3,58
1993	2,65	5,05	2,66	0,83	0,37	0,16	0,97	4,64	11,27	0,04	0,20	3,85	10,83	8,47	6,75	6,45	8,43	7,23	1,56	6,15	24,00	10,21	6,57	4,69
1994	1,76	2,62	1,70	0,37	0,22	0,06	0,80	4,29	9,47	0,03	0,10	2,21	3,74	3,22	3,74	3,02	6,16	4,77	1,70	4,52	13,42	5,66	5,48	3,32
1995	4,71	5,84	3,59	1,36	0,54	0,31	1,22	6,45	14,27	0,10	0,05	3,72	10,74	5,16	3,69	5,20	8,51	7,63	1,29	6,46	17,44	6,04	6,30	3,18
1996	6,42	6,06	4,01	1,20	0,51	0,24	1,30	4,84	14,73	0,09	0,07	4,19	7,73	5,95	4,59	5,41	7,92	9,49	2,05	9,85	16,55	5,87	6,55	2,66
1997	6,58	4,17	3,56	0,95	0,39	0,18	1,01	4,73	10,67	0,04	0,01	4,79	12,67	4,61	4,58	6,56	6,48	5,93	1,87	6,62	18,12	7,19	6,27	2,89
1998	10,62	9,35	5,70	2,17	0,84	0,46	1,72	6,30	14,29	0,30	0,28	6,92	16,44	6,17	7,05	6,72	7,47	6,82	1,73	6,24	18,51	7,48	4,73	2,67
1999	10,31	7,92	5,35	2,89	1,60	0,86	2,44	10,22	17,46	0,45	0,44	4,30	6,61	3,90	5,50	5,52	9,80	6,20	1,24	6,17	16,11	6,11	4,13	1,96
2000	4,77	3,81	3,37	1,32	0,62	0,14	1,32	4,68	9,40	0,35	0,35	5,33	12,51	5,58	5,95	7,13	7,62	6,21	0,86	5,45	17,62	6,37	4,37	1,98
2001	2,92	1,79	1,16	0,50	0,27	0,04	0,81	3,42	7,73	0,10	0,08	2,37	4,72	2,82	2,42	2,01	4,97	3,75	0,77	3,53	12,47	3,16	2,53	1,39
2002	3,66	6,61	4,75	1,62	0,83	0,42	1,64	8,66	19,06	0,43	0,43	4,86	9,48	3,65	3,39	3,27	14,92	8,43	1,80	5,98	18,42	5,75	4,69	3,15
2003	8,51	6,99	4,08	1,38	0,98	0,90	2,58	9,30	13,40	0,34	0,33	3,82	6,37	3,65	2,62	5,05	8,51	5,15	2,80	5,76	13,85	3,97	4,94	4,16
2004	5,52	5,20	3,85	0,58	0,78	0,46	1,64	7,47	14,09	0,29	0,37	5,37	10,00	4,50	3,35	4,82	9,82	6,02	2,59	6,66	16,93	6,23	6,65	3,01
2005	9,71	4,96	2,63	0,85	0,60	0,23	1,19	4,62	8,69	0,16	0,14	3,60	7,86	5,04	1,91	2,98	5,22	3,82	1,15	5,80	15,49	6,49	5,04	2,66
2006	11,99	7,93	3,97	1,16	0,88	0,40	1,26	4,76	10,16	0,09	0,36	4,61	5,90	4,83	2,26	2,58	5,73	4,44	1,01	6,68	16,23	6,34	5,10	2,56
2007	5,11	2,27	1,18	0,32	0,34	0,06	0,58	3,31	8,72	0,10	0,14	2,35	6,14	3,55	2,05	2,48	4,50	3,32	0,58	4,31	14,07	6,02	5,07	3,37
2008	7,30	2,72	2,03	0,58	0,30	0,12	0,71	4,55	8,01	0,06	0,12	2,94	6,68	4,95	1,24	2,52	4,91	3,67	0,52	4,01	14,60	5,35	4,07	2,17
2009	4,15	7,79	4,38	1,80	0,94	0,53	1,39	7,95	14,17	0,07	0,55	4,32	8,84	5,60	2,72	4,04	9,55	6,28	1,15	6,61	14,53	5,14	4,92	2,76
2010																								
Ort.	6,48	5,09	4,01	1,34	1,04	0,51	1,89	6,91	12,55	0,23	0,26	4,88	9,12	5,23	4,87	5,73	9,13	6,43	1,94	6,40	17,56	6,30	4,74	2,98

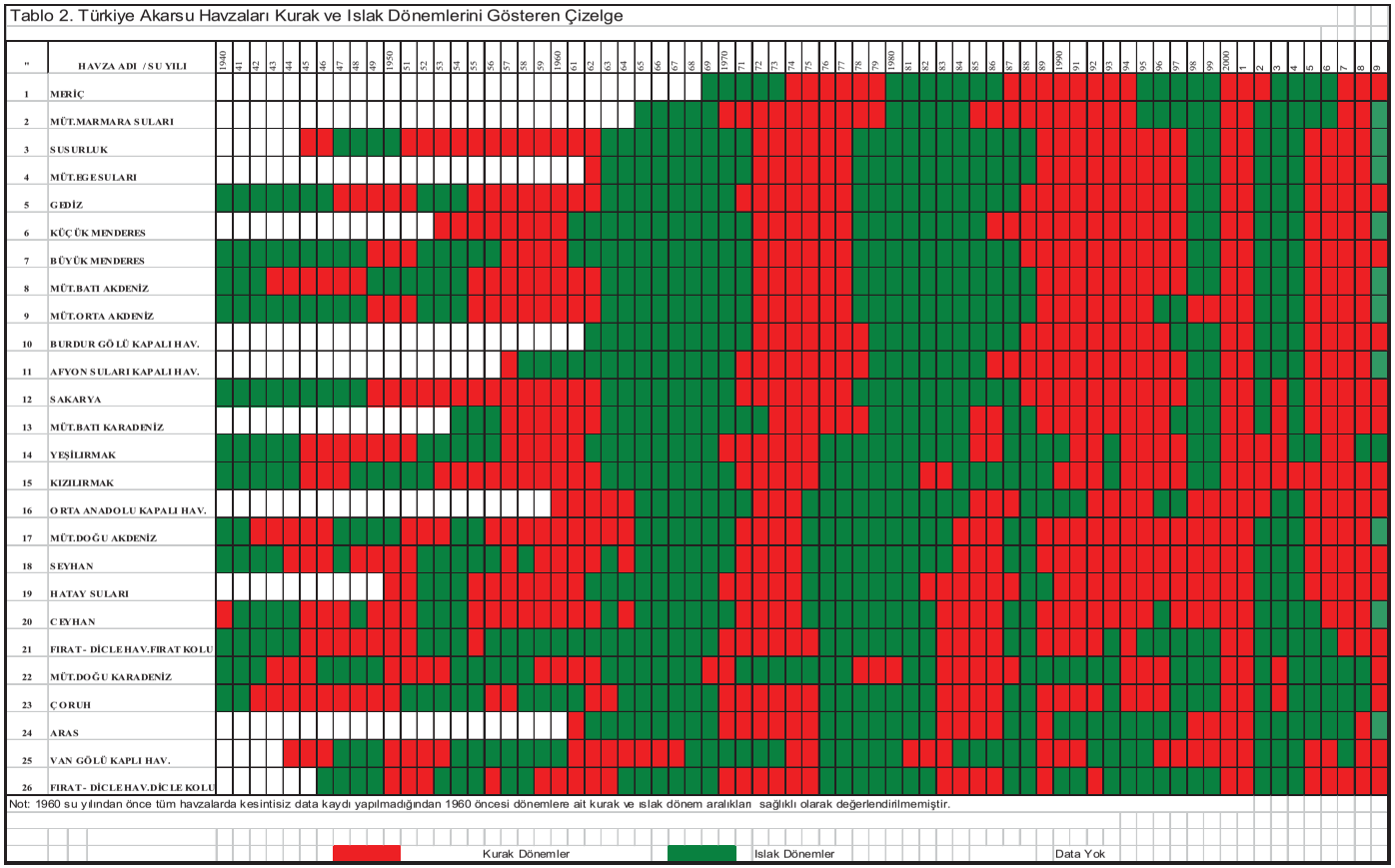


Şekil 1. **B. Menderes Havzasına Ait Uzun Dönem Toplam Yıllık Ortalama Akımları Ve Trendleri**

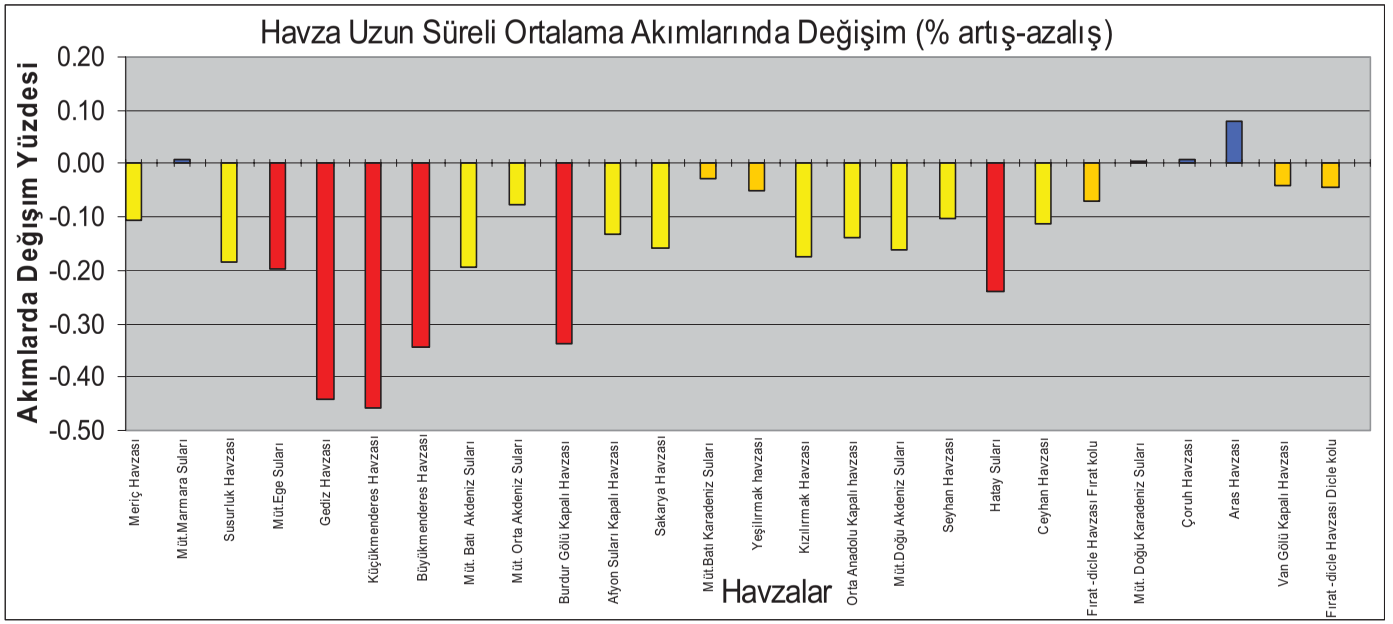


Şekil 2. **Aras Akarsu Havzasına Ait Uzun Dönem Toplam Yıllık Ortalama Akımları ve Trendleri**

Tablo 2. Türkiye Akarsu Havzaları Kurak ve Islak Dönemlerini Gösteren Çizelge



Not: 1960 su yılından önce tüm havzalarda kesintisiz data kaydı yapılmadığından 1960 öncesi dönemlere ait kurak ve ıslak dönem aralıkları sağlıklı olarak değerlendirilmemiştir.



Şekil 3. **Akarsu Havzalarında Uzun Süreli Yıllık Akımların Değişim Miktarları**

HAVZA YÖNETİMİ

Hidroelektrik Santraller ve Havza Yönetimi

İsmail Küçük[1]

Özet: Yeni ve yenilenebilir enerji kaynakları, iklim değişimine neden olan sera gazlarının ve enerji alanında dışa bağımlılığın azaltılması bakımından önemlidir. Bu kapsamda bakıldığında hidrolik enerji, enerji kaynakları içerisinde yararlanılması gereken öncelikli kaynaklarından biri olarak değerlendirilmektedir. Ancak, hidrolik enerji tesislerinin fizibilitesinden, projelendirilmesine ve üretim sürecinde havza bir bütün olarak gözetilerek su kullanım öncelikleri ve doğal yaşam mutlaka dikkate alınmalıdır.

Bu çalışmada, 4628 Sayılı Kanun ve bağlı olarak Su Kullanım Anlaşması sonrasında hidrolik santral projelerinin, havza planlaması özelinde ve ileride karşılaşılacak sorunlar ile bu tesislerin Çevresel Etki Değerlendirmelerindeki durumları irdelenmiştir.

Anahtar Sözcükler: Hidroloji; Çevresel; Enerji; Santral; Fizibilite

Hydropower Plants and Basın Management

Abstract: New and renewable energy resources are important in view of reduction of greenhouse gasses causing climate change and in eliminating of dependence on foreign sources in energy respects. Within this context, hydraulic energy is evaluated as one of the prior energy resources that should be utilized. However, a basin should be considered as a whole from hydropower plant feasibility to project design and production process, and water usage priorities and natural life should be taken into consideration.

In this study, law number of 4628 and accordingly, status of hydro power plant projects in basin planning after Water Usage Treaty and problems that may be encountered in future, and status of these facilities in terms of environmental impact assessment are examined.

Key Words: Hydrology; Environmental; Energy; Hydro Power Plant; Feasibility

[1] Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü Hidrolik Etütler Dairesi Başkanlığı ismkck@gmail.com; ikucuk@eie.gov.tr

1. GİRİŞ

Enerji talepleri ve arzı konusunda ortaya konan varsayımlar ve bu kapsamda alınan kararlar her geçen gün değişmektedir. Öngörülerin ve kararların sürekli değişmesi enerji güvenliği açısından sorunlar oluşturmaktadır. Biriken sorunlar her geçen gün daha karmaşık yapı oluşturmaktadır. Ancak enerji planlamasında enerjinin çeşitlendirilmesi ve yerli kaynakların oranının artırılması konusu bütün taraflarca kabul görmektedir.

Son yıllarda iklim değişimi üzerinde insan kaynaklı etkilerin hızlı bir şekilde artması, yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarına yatırım konusunda teşvikleri gündeme getirmiştir. Kısmen yenilenebilir enerji olarak değerlendirilen enerji kaynaklarından birisi olan hidrolik enerji potansiyelinin geliştirilmesi ve değerlendirilmesi içinde çalışmalar hızlanmıştır.

Türkiye'de hidrolik enerji potansiyelinin yeterince değerlendirilmediği tartışmaları uzun yıllardır devam etmektedir. 2001 yılında çıkarılan 4628 Sayılı Kanun ve 2003 yılında yayınlanan Su Kullanım Anlaşması ile hidrolik enerjinin serbest piyasa kurallarına göre değerlendirilmesi konusunda önemli adımın atıldığı bilinmektedir. Ancak bu süreç, havza planlamasından kopuk bir çalışmanın yürütülmesinin yanı sıra, kamu yararı ve aynı zamanda yatırımcılar açısından da değerlendirildiğinde birçok sorunu barındırdığı görülmektedir.

Suya dayalı yapıların projelerinin ilk girdilerini oluşturan hidrometrik ölçümlerin yeterli zaman periyodunda ve temsiliyette olmaması, yapının ekonomik ve çevreye uyumlu olamayacağının ortaya konmasının yanı sıra özellikle biriktirmeli yapılarda çok daha farklı kaza risklerinin oluşmasına neden olacağı bilinmektedir.

Son yıllarda, halk arasında HES'lere karşı artan tepkiler ÇED'lerle giderilmeye çalışılmaktadır. Oysa çevresel etki değerlendirme raporlarının kendileri bilimsel ve teknik olarak sorunludur.

HES'lerin sadece enerji amacına ilişkin projeler özelinde değerlendirmelerle ele alınmasının doğru olmadığı, havza bazında, havza özelliklerinin korunması öncelikli olmak üzere, suyun kullanım önceliğine göre planlama yapılması zorunlu olmasına rağmen bu durumun 4628 ile fiilen ortadan kalktığı gerçeği kamuoyunun gündemdedir.

Son yıllarda HES'ler konusunda yapılan tartışmalar karşıt ya da taraf olmak gibi yanlış ve yanlı yönlendirmeler ile gündeme alınarak özünden saptırılmaktadır.

HES'ler sadece maksimum enerji üretimine bağlı değil, havzanın bütünü ekolojisi ile ele alınarak değerlendirilmek zorundadır. Bir havzada ardışık yapıların her biri için ayrı ÇED değil, bütünleşik değerlendirme yapılması gereklidir. Eğer havzalar arasında etkileşim söz konusu ise diğer havza yada havzaların etkileri de değerlendirmeye alınmalıdır. Günümüzdeki uygulamalar bu anlayışlardan uzaktır.

Sadece HES'lerin ÇED'leri değil diğer sektörler için hazırlanan ÇED'lerde bütünleşik değerlendirmelerden uzaktır. Örneğin üç km uzaklıkta eş zamanlı ÇED'i hazırlanan ve inşa edilen iki çimento fabrikası için bile bütünleşik değerlendirmelerin yapılmasından kaçınılmaktadır.

2. 4628 SAYILI YASA ÖNCESİ ENERJİ VE HES'LER[1]

Elektrik sektöründe kamu hizmetlerinin özel sektöre yaptırılmasında, 3096 sayılı kanun ve uygulama yönetmeliğiyle iki tür sözleşme ile ortaya konmuştur. Bunlar "Elektrik üretimi yapacak tesisi kurma ve işletme müsaadesi" üzerine yapılacak "görev sözleşmesi" ile görev bölgelerinde kamu kurum ve kuruluşlarınca (KİT'ler dahil) yapılmış veya yapılacak üretim, iletim ve dağıtım tesislerinin işletme haklarının görevli şirketlere verilmesi sonucu yapılacak "işletme hakkı verilmesi sözleşmesi"dir.

1984 yılında yayınlanan 3096 sayılı kanun, bir kamu iktisadi kuruluşu olan Türkiye Elektrik kurumu dışındaki kuruluşların elektrik üretimi, iletimi, dağıtımı ve ticareti konularında görevlendirilmelerini mümkün kılmaktadır.

2.1. Yap İşlet Devret Modeli (YİD)

Projeyi gerçekleştirecek olan yerli ya da yabancı şirketler bir sermaye şirketi kurarak, projenin tasarımından işletmeye alınması, işletilmesi bakım ve onarımı söz konusu şirket tarafından yapılmakta, işletme süresi olarak da, 3096 sayılı kanuna göre 99 yıla kadar süre verilebilmesine izin verilmektedir. Ancak genel olarak uygulamada inşaat süresi, borçların ödenmesi ve bunu takiben öz sermayenin geri alınmasını sağlayacak asgari 15-20 yıl içermektedir. Bu süre karşılıklı anlaşmayla uzatılabilmektedir.

2.2. Yap İşlet Modeli (Yİ)

1997 yılında ve 4283 sayılı "Yap-İşlet Devret Modeli ile Elektrik Enerji Üretim Tesislerinin Kurulması, İşletilmesi ve Enerji Satışının Düzenlenmesi Hakkında Kanun" mülkiyeti üretim şirketine ait olmak üzere tesisin kurulmasını, işletilmesini ve işletme süresi boyunca üretilen hizmetin devlet tarafından alınmasını düzenleyen bir modeldir. Yİ modeli ile üretim şirketlerine sadece termik (hidrolik, jeotermal, nükleer ve diğer yenilenebilir enerji alanları kapsam dışında tutulmuştur) santral kurma konusunda kurallar belirlenmiştir[2].

İzleyen süreçte mahkeme kararları ile kanunlarda bir çok değişiklikler yapılmak zorunda kalınmıştır. 3996 sayılı yasa'nın ikinci maddesine 4493 sayılı yasa ile elektrik üretim, iletim, dağıtım ve ticareti konuları eklenerek ve Anayasa Mahkemesi tarafından iptal gerekçelerine kanunlarda uygun düzenlemeler yapılmak suretiyle yasa ile özel hukuk normlarına uygun işlemlerin yapılmasının yolunu açmıştır.

Bu yasalardan sonra sektöre ilişkin kuralları belirleyecek olan yasa 2001 yılında 4628 sayısıyla yayınlanmıştır.

[1] Küçük, İ, "4628 ve Hidrolik Enerji", TMMOB Enerji Sempozyumu Bildiriler Kitabı ,17-19 Aralık 2009, Ankara, S.214

3. 4628 SAYILI YASA SONRASI HES'LER

20 Şubat 2001 tarihli ve 4628 sayılı "Elektrik Piyasası Kanunu" ile Rekabet ortamında enerji piyasası oluşturulması ve bu piyasada bağımsız bir düzenleme ve denetimin sağlanması amacıyla yeni bir yapı olarak "Elektrik Piyasası Düzenleme Kurulu" oluşturulmuştur. Bu kanunla birlikte enerjide bütün alanlarda serbest girişimin önü açılmıştır.

4628 sayılı kanunun ardından 26 Haziran 2003 tarihli Elektrik Piyasasında Üretim Faaliyetinde Bulunmak Üzere Su Kullanım Hakkı Anlaşması İmzalanmasına İlişkin Usul ve Esaslar Hakkında Yönetmelik yayınlanmıştır[1]. Bu yönetmelik hukuki dayanağını; **"**Madde 3 - Bu Yönetmelik; 6200 sayılı Devlet Su İşleri Umum Müdürlüğü Teşkilat ve Vazifeleri Hakkında Kanun, 3154 sayılı Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Teşkilat ve Görevleri Hakkında Kanun ile 4628 sayılı Elektrik Piyasası Kanunu hükümleri**"**nden alırken, amaç ve kapsam maddeleri; **"**Madde 1 - Bu Yönetmeliğin amacı, 4628 sayılı Elektrik Piyasası Kanunu hükümleri çerçevesinde halen piyasada faaliyet gösteren veya gösterecek tüzel kişiler tarafından hidroelektrik enerji üretim tesisleri kurulması ve işletilmesine ilişkin üretim, otoprodüktör, otoprodüktör grubu lisansları için DSİ ve tüzel kişiler arasında düzenlenecek Su Kullanım Hakkı Anlaşması imzalanması işlemlerinde uygulanacak usul ve esasları belirlemektir. Madde 2 - Bu Yönetmelik, 4628 sayılı Elektrik Piyasası Kanunu hükümleri çerçevesinde halen piyasada faaliyet gösteren veya gösterecek tüzel kişiler tarafından, hidroelektrik enerji üretim tesisleri kurulması ve işletilmesine ilişkin üretim, otoprodüktör, otoprodüktör grubu lisansları için DSİ ve tüzel kişiler arasında imzalanacak Su Kullanım Hakkı Anlaşmasında yer alması gereken hükümler, Su Kullanım Hakkı Anlaşması'nın imzalanmasına, yenilenmesine, tadiline ve sona ermesine ilişkin usul ve esaslar ile Su Kullanım Hakkı Anlaşması imzalayacak tüzel kişilerin yükümlülüklerini kapsar**"** olarak belirlenmiştir.

Bu kanun ve devamındaki yönetmelik koruyuculuğunda, özel ya da tüzel olarak bir çok kişi herhangi bir su üzerinde belirlediği noktadan suyu alıp bir başka noktaya aktararak enerji üretimine ilişkin fizibilite raporu çalışmalarına başlamışlardır.

Gelinen süreç, HES'lerin mühendislik bakımından teknik ve çevresel etkileri boyutuyla eksik ve hatalı olduğunu göstermektedir.

4. SU YAPILARINDA MÜHENDİSLİK HİDROLOJİSİ

Suya ilişkin yapıların her türlü raporlarının hazırlanabilmesi için, temsili yerde ve yeterli zamanda su ölçümlerinin yapılması gerekir. Su ölçümlerinin yanı sıra diğer meteorolojik parametrelerinde (sıcaklık, yağış, nem, rüzgar gibi) ölçülmüş değerlerinin bilinmesi gerekmektedir. Kısaca proje yeri ve etkileyeceği alanlar için hidrolojik döngü dikkate alınmalıdır.

Su yapıları ile ilgili çalışmalar kurumsal olarak ilk önce 1935 yılında 2819 sayılı yasayla kurulmuş olan Elektrik İşleri Etüt İdaresi (EİE) Genel Müdürlüğü tarafından başlamıştır. Su yapılarına ilişkin öncelikli olarak hidrolojik ölçümlerin öneminden

[1] TC Resmi Gazete 26 Haziran 2003, Sayı 25150

hareketle ölçüm istasyonları ağı oluşturulmaya başlanmıştır. Bu çalışmalara 1954 yılında 6200 sayılı yasa ile kurulmuş olan Devlet Su İşleri (DSİ) Genel Müdürlüğü de başlamıştır.

Bu kurumlar, su yapılarının projelendirilmesinde ölçümlerin temsili ve sağlıklı yapılabilmesi için gerekli teknik çalışmaları yapmıştırlar. Ancak gelinen süreçte dışsal baskılanmalar sonucu teknik çalışmaların tamamlanamadığı gerçeği ilgili kurum ve kişilerin bilgisindedir.
DSİ ve EİE büyük projelerde teknik olarak başarılı olduklarını göstermişlerdir. En azından yıkılan bir su yapısıyla can ve mal kayıplarına neden olmamışlardır. Kurumların idari nedenlerle ürettiği hatalı projeler burada konu edilmemiştir.

Su yapılarına ilişkin projelerde öncelikle ve özellikle ölçülmüş ve temsili su değerleri kullanılmalıdır. Türkiye'deki su ölçümlerine ilişkin veriler (bu veriler her proje yeri için temsili olmayabilir) EİE ve DSİ'nin arşivlerinde bulunmaktadır. Bu tip projelerde başvurulması gereken veri setleri öncelikle EİE ve DSİ veri setleridir. Ancak bu verilerin ortaya konmuş olan bütün HES projeleri için kullanılamayacağı bilinmektedir.

Türkiye'deki meteorolojik ölçüm istasyonlarının da yeterince temsiliyeti sağlayamadığı bütün kurumlar, bilim çevreleri ve ilgili kişilerce bilinmektedir.

4.1. Teknik Boyutuyla HES'ler

HES'ler de iki temel veri su ve düşüdür. Gerekli olan düşü yeri bulunabilir. Ancak bu noktadan enerji elde edilebilmesi için uygun rejimde ve miktarda suyun bulunması gerekir. Bu açıdan bakıldığında ilgili noktanın su rejiminin ve miktarlarının doğrudan ölçülmesi yada hesaplanması gerekir. Mevcut HES'ler ve projeleri, su verileri bakımından değerlendirildiğinde, projelerin birçoğu için teknik anlamda olumlu düşünceleri ifade edebilmek mümkün değildir.

EİE İdaresi Genel Müdürlüğü Mühendislik Hizmetleri Normlarından "Su yapılarının Mühendislik Hidrolojisi Çalışmaları" en az 20 yıllık süreci kapsayan akım değerlerine gerek olduğu belirtilmektedir. DSİ**, "**Mühendislik Hidrolojisi Teknik Şartnamesi"nde, Hidrolojide Kullanılan Genel Kriterler başlıklarında su yapısı için hidrolojik ve meteorolojik etütlere bağlı yapıların durumuna göre en az 20 ila 25 yıllık süreleri kapsar şeklinde belirlemiştir[1]. Ancak 4628 sayılı Yasadan den sonra ortaya konan projeler için bu normların kullanıldığını söyleyebilmek mümkün değildir.

Bunca HES'in mevcut su ölçüm istasyonlarının değerlerine göre projelendirilmesi mümkün değildir. Düşü görülen yerleri proje yeri olarak kabul edip, bu noktalara ilişkin su teminleri elde etmek için öyle yeni teoriler geliştirilmiştir ki, bunların **"hidroloji**" kuralları ile hiç bir ilişkisi bulunmamaktadır.

Ortaya çıkan baskılama sonucu piyasanın kurallarına göre ortaya konan projelerin çoğunda hiçbir hidrolojik kurala uymayan HES başvuruları bulunmaktadır. Çoğu proje yerlerine ilişkin su teminleri, mevcut ölçüm istasyonları ile bir ilişkinin olup olmadığı

[1] DSİ (20 Mart 2010) 'a göre
http://www.dsi.gov.tr/sydk/proje_sartname/M%C3%9CHEND%C4%B0SL%C4%B0K_H%C4%B0DROLOJ%C4%B0S%C4%B0_H%C4%B0ZMETLER_TEKN%C4%B0K_%C5%9EARTNAMES%C4%B0.doc,

araştırılmadan alan oranı ve korelasyon gibi basit işlemlerle hesaplanmaktadır. Oysa alan oranı her havzada kullanılamaz. Korelasyon işlemleri içinde havzaya ilişkin özelliklerin araştırılması ve temsiliyet ilişkisi ortaya konması gerekmektedir. Karstik bölgelerde su teminleri alan oranıyla elde edilmiş bir çok projeye mevcuttur. Örneğin Kızılırmak havzası ana koldaki bir istasyondan (yağış alanı 58645 km^2) alt havzadaki tesis yeri (yağış alanı 50 km^2) için alan oranı ile su teminleri yapıldığı, ayrıca yan havzalardaki ölçümlere göre havzanın hiçbir özelliği dikkate alınmadan korelasyon ilişkisi arayarak su teminlerinin yapıldığına ilişkin bir çok örnekler vardır.

Tesis bütün olarak, kanalları, tünelleri ile ele alındığında üretimi yapılamayacak bir enerjiden söz edildiği çoğu çevrelerce bilinmektedir. Yani izafi kurulu güçlerden söz edilmektedir.

4.2. HES Raporlarını Kimler Hazırlamaktadır?

Mühendislik projelerinin hazırlanmasında belli kriterler aranır. Oysa bu projelerin hazırlanmasında yada hazırlayanlar için hiçbir kriter aranmamaktadır. Bu yapılar ve yapıların imalatının boyutlandırılmasında kullanılacak olan veriler tamamen mühendislik çalışmalarını gerektirmektedir.

DSİ suya bağlı kendi projelerinin yapılması için belli şartnameler yayınlamıştır. Örneğin Mühendislik Hidrolojisi Hizmetleri Teknik Şartnamesi'nde[1] "Proje hidroloji çalışmalarını yürütecek teknik elemanın, hidroloji konusunda en az 5 (Beş) yıllık kesintisiz deneyime sahip meteoroloji mühendisi ve/veya meteoroloji yüksek mühendisi olmalıdır" diye belirtmektedir. Her nedense resmi kurumlar zorunlu kıldıkları uygulamaları sözü geçen HES raporlarında hiç aramamaktadırlar.

Bu raporların hiç birisinde ve herhangi bir yerde dahi mühendis ismine rastlamak mümkün değildir. Oysa bu çalışmaların ilk fizibilite raporlarında mutlaka, Meteoroloji, Jeoloji ve İnşaat mühendislerin imzalarının mutlaka istenmesi gerekmektedir. Kesin projelerde ise makine, elektrik, çevre, harita, ziraat gibi diğer, mühendislerinin de çalıştırılması gerekmektedir.

4.3. HES Raporları Nasıl Denetlenmektedir?

Kamu tarafından planlanan ve geliştirilen HES projeleri uzun erimli çalışmalar sonucu uygulamaya konmaktaydı. Bu tip projelerde öncelikle su ölçümlerinin yerinde ve süresinin yeterliliği gibi konulara özenle dikkat edilirdi. Ancak 4628 sayılı kanundan sonra HES projesi adı altında özel girişimciler tarafından bir çok proje ortaya konmuştur.

Bu projelerin kontrolü için görevli olan DSİ ve EİE Genel Müdürlükleri kontrol işlemlerini yürütmeye devam etmektedirler.
Sözü edilen bu HES projelerinin, özellikle suya dayalı ölçümlerinin temsili ve yeterli olmadığı her kesimce bilinmektedir. Ancak, girişimciler projelerinin bir an önce uygulamaya girmeleri konusunda ısrarcı olmaktadırlar. Girişimcilerin ısrarı baskıya dönüştüğünden, proje kontrolünü yapanlarında zorda kaldıkları açıktır.

[1] DSİ, (20 Mart 2010)'a göre,

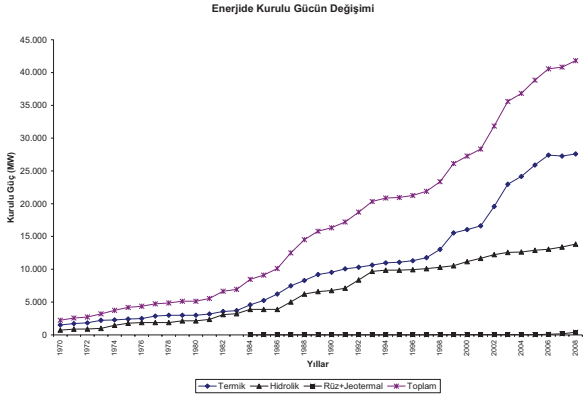
Yeterli ve temsili olmayan ölçüm yerleri için, firmalar su temin hesaplarında, akım değerleri için "firmamız tarafından yapılan ölçümler" ifadesiyle mertebe vermektedirler. Oysa bu ifadenin su temin değerlerinin kabulü için kullanılmış ifadeler olduğu da herkes tarafından bilinmektedir. Sonuç olarak sanal su değerleri üzerinden işlemler gerçekleştirilmektedir.

DSİ ve EİE'den geçen projeler EPDK'dan lisans alma işlemlerini tamamladıktan sonra, piyasada pazarlanmaya devam edilmektedir. Bu aşamalardan sonra, kamu kurumlarınca projeler için yazılan tenkit yazıları gizlenmekte ve ortaya çıkarılmamaktadır. Gizlenen uyarı yazılarıyla proje pazarlamacılığına devam edilmektedir.

Yatırımcılar, bu projelerin gerekli teknik ve idari aşamalardan geçtiğini düşünerek ve kamu kurumlarının işlemlerine güvenerek projelere müşteri olmaktadırlar. Projelerin gerçekte bu enerjileri üretemeyeceği, ancak ne kadar enerji üreteceği ise santral tamamlandıktan sonra üretim aşamasında ortaya çıkacağından her şey için çok geç kalınmış olacaktır.

5. HİDROLİK ENERJİ SANTRAL PROJELERİNİN GELİŞİMİ

Türkiye'de enerjide kurulu güçte artış özellikle 3096 sayılı kanundan sonra termik santrallarda olmuştur. Hidrolikteki kurulu gücün artış hızında fazla bir değişim olmamıştır (Şekil 1).



Şekil 1. Enerjide Kurulu gücün değişimi[1]

Ülkemizin hidroelektrik potansiyeli için ortaya konan 125 bin MW'lık kurulu güç değeri tartışmalıdır. Çünkü bu hesaplama genel yaklaşımla ortaya konmuştur. Gerçekte böyle bir değerin çok yüksek olduğu mevcut ve geliştirilen projelerle değerlendirildiğinde kolayca anlaşılabilmektedir. Genel ifadelerle ortaya konan rakamlar üzerinden yapılan değerlendirmeler, günümüzde HES uygulamalarına karşı oluşan toplumsal baskılandırmayı sönümlemek içinde kullanılmaktadır. Bir yandan, su

[1] ETKB, (23 Mart 2010) a göre

kendi doğasında ayrıymış gibi gösterilerek, “su boşa akmaktadır” ifadeleri kullanılırken diğer yandan iklim değişiminin önlenmesi için karbon emisyonlarının azaltılması üzerinden HES’ler konusunda yürütülen politikalar özünden saptırılmış durumdadır. Su kendi doğasıyla birlikte değerlendirilmek koşuluyla, enerji alanında su gücünden yararlanılması gerekir.

4628 ve su kullanım anlaşması sonrasında kısa zamanda çok sayıda HES projeleri ortaya çıkmıştır. Kısa bir sürede tüzel kişilerce 1200 den fazla projenin ortaya konması piyasanın serbestleşmesinin katkısı olarak algılanabilir. Oysa bir projenin gerçekten proje olabilmesi için hidrometrik ölçümlerin süresinin yeterli ve temsili olması gerekirken 1200 den fazla projeden kaç tanesi için bu bilimsel ve teknik yeterlilikten söz edebiliriz.

Projede su ölçümleri yok sayılırken çevreye ilişkin bir çok değerde yok sayılmaktadır. Şöyle ki, havzanın topoğrafik yapısının fazla eğimli olması durumunda projeler bir biri ardına dizilmektedir. Dere yatağı suyu göremeden borularla denize ulaştırılmaktadır. Bu konuda en fazla mağdur olan bölgeler Karadeniz ve Akdeniz bölgeleridir.

Son yönetmelik değişikliğinde can suyu bırakılması konusunda ortaya konan değerin çok genel bir yaklaşım olduğu, oysa bu değerin akarsu bazında ele alınması gerektiği gerçeği yadsınamaz. Can suyunun da doğal yatağa bırakılıp bırakılmayacağının denetlenmesi de ayrı bir sorundur. Bu konu hiçbir zaman girişimcinin insafına bırakılamaz.

4628 sayılı kanunun devamında EİE ve DSİ tarafından üretilen yaklaşık proje sayısı 259 adet olup toplam kurulu gücü 4.857 MW ve tüzel kişilerce ortaya konan yaklaşık 1209 projenin kurulu gücü 8.200 MW dır (Çizelge 1).

Projeler bir bütün olarak değerlendirildiğinde yaklaşık toplam 1935 tesisin kurulu gücü 78.411 MW ve 1209 tesisin kurulu gücü yaklaşık 8.200 MW dır. Bir bütün olarak bakıldığında kamu ve tüzel kişilerce ortaya konan projeler çevresel ve toplumsal etkileriyle birlikte değerlendirilmek zorunludur.

Projelerin sayı olarak artması sonucu çoğu alanda çevre sorunlarını da gündeme çıkarmıştır. Bu konuda kamuoyunun duyarlılığının ve dikkatinin artması nedeniyle ÇED uygulamalarıyla bu projeler için çıkış yolu aranmaktadır. Su kullanım anlaşmasıyla birlikte enerji alanında birçok şirket kurulmuş olduğu ve bu şirketlerin sürekli el değiştirmekte olduğu kamuoyunun bilgisindedir. Bu gelişmede değerlendirmeye alınmalıdır.

Çizelge 1. Hidrolik Enerjide Gelişme Durumu[1]

Durumu	Adet	Kurulu Güç (MW)
İşletmede Olan	158	13.282,7
İnşa Halinde Olan	24	9.477,5
Katı Projesi Hazır Olan	15	10.828,0
Planlama Raporu Hazır Olan	175	26.667,0
Master Planı Hazır Olan	95	5.098,27
İlk Etüt Hazır Olan	259	4.857,6
Toplam	726	70.211,1
Tüzel Kişiler Tarafından Geliştirilen	1.209	8.200
Genel Toplam	1.935	78.411,1

Son günlerde 4628 sayılı kanunun maddelerinde değişiklik önerisi gündeme gelmiştir. Bu değişiklik önerisinde, lisanssız yürütülebilecek faaliyetler başlığında sayılan "kurulu gücü azami beş yüz kilovatlık üretim tesisi" diye belirtilmektedir. Kanunun bu şekilde değiştirilmesi durumunda sadece HES olarak en az 10 bin civarında tesisin daha gündeme geleceği mevcut uygulamalardan açıkça görülmektedir. Bu tesisler için ÇED istenemeyeceği içinde yaşanabilecek sorunların boyutlarının çok yıkıcı olacağını söylemek yanlış olmaz.

6. HES VE ÇEVRESEL ETKİ DEĞERLENDİRMESİ

ÇED Yönetmeliği[2] "Çevresel etki değerlendirmesi (ÇED): Gerçekleştirilmesi planlanan projelerin çevreye olabilecek olumlu ve olumsuz etkilerinin belirlenmesinde, olumsuz yöndeki etkilerin önlenmesi ya da çevreye zarar vermeyecek ölçüde en aza indirilmesi için alınacak önlemlerin, seçilen yer ile teknoloji alternatiflerinin belirlenerek değerlendirilmesinde ve projelerin uygulanmasının izlenmesi ve kontrolünde sürdürülecek çalışmalar" olarak tanımlanmaktadır.

Yönetmeliğin 5. maddesi ile Yetki "MADDE 5 – (1) Bu Yönetmeliğe tabi projeler hakkında "Çevresel Etki Değerlendirmesi Olumlu", "Çevresel Etki Değerlendirmesi Olumsuz", "Çevresel Etki Değerlendirmesi Gereklidir" veya "Çevresel Etki Değerlendirmesi Gerekli Değildir" kararlarını verme yetkisi Bakanlığa aittir. Ancak Bakanlık gerekli gördüğü durumlarda "Çevresel Etki Değerlendirmesi Gereklidir" veya "Çevresel Etki Değerlendirmesi Gerekli Değildir" kararının verilmesi konusundaki yetkisini, sınırlarını belirleyerek Valiliklere devredebilir" olarak belirlemiştir (Bu yetki Valiliklere verilmiştir).

Su yapılarına ilişkin işlemler ÇED Yönetmeliğinde; Çevresel etki değerlendirmesine tabi projeler ve seçme eleme kriterleri Uygulama Yöntemi diye iki başlık altında sayılmıştır. Yönetmeliğin Çevresel etki değerlendirmesine tabi projeler başlığında; "Madde 7 – (1) Bu Yönetmeliğin; a) EK-I listesinde yer alan projelere, b) Seçme Eleme Kriterlerine tabi olup "Çevresel Etki Değerlendirmesi Gereklidir" kararı verilen projelere, c) Bu Yönetmelik kapsamında ya da kapsamı dışında bulunan projelere ilişkin

[1] DSİ (20 Mart 2010) http://www.dsi.gov.tr/ska/ska.htm , Tablo-1, Tablo-2, Tablo-3, Tablo- 4, Tablo-5, Tablo-6, Tablo-7 ve EÜAŞ, (20 Mart 2010) http://www.euas.gov.tr/_Euas/web/gozlem.aspx?sayfaNo=100, tablolarından hesaplanmıştır.
[2] TC Resmi Gazete 17 Temmuz 2008, Sayı 26939

kapasite artırımı ve/veya genişletilmesi halinde, kapasite artışı toplamı bu Yönetmeliğin EK-I'inde belirtilen eşik değer veya üzerindeki projelere, Çevresel Etki Değerlendirmesi Raporu hazırlanması zorunludur" denmektedir.

EK– I Listesi (Çevresel Etki Değerlendirmesi Uygulanacak Projeler Listesi) "15- Su depolama tesisleri (Göl hacmi 10 milyon m3 ve üzeri olan baraj ve göletler.) 16- Kurulu gücü 25 MW ve üzeri olan nehir tipi santraller." olarak belirlenmiştir.

Yönetmeliğin Seçme, Eleme Kriterleri Uygulama Yöntemi "Madde 15– (1) Bu Yönetmeliğin; a) EK-II listesinde yer alan projeler, b) Bu Yönetmelik kapsamında ya da kapsamı dışında bulunan projelere ilişkin kapasite artırımı ve/veya genişletilmesi halinde, kapasite artış toplamı bu Yönetmeliğin EK-II'sindeki eşik değer veya üzerindeki projeler, seçme eleme kriterlerine tabidir" diye belirlemektedir.

EK– II Listesi (Seçme-Eleme Kriterleri Uygulanacak Projeler Listesi) (Ek– 1 Listesinde Yer Alan Alt Sınırlar Bu Listede Üst Sınır Olarak Alınır).

Ulaşım, altyapı ve kıyı yapıları; 27- Alt yapı tesisleri: m) Su depolama tesisleri (göl hacmi 5 milyon m^3 ve üzeri baraj ve göletler), 28- Kurulu gücü 0,5 MW ve üzeri olan nehir tipi santraller" olarak belirlenmiştir.

6.1. Çevresel Etki Değerlendirme Uygulamaları

ÇED uygulamalarının başladığı günden itibaren 23 Mart 2010 tarihine kadar 1880 tesis yeri için ÇED raporu hazırlanmış ve sonuçlanmıştır (Çizelge 2).

Çizelge 2. ÇED'leri Sonuçlanan Projelerin Sektörel Dağılımları[1]

Sektör	Sanayi	Atık ve Kimya	Turizm-Konut	Petrol-Maden	Enerji	Tarım-Gıda	Ulaşım	İçme Suyu	Toplam
Adet	263	327	189	472	320	126	182	1	1880

ÇED değerlendirme sonuçlarına göre 1880 tesisten 29 tanesine olumsuz karar verilirken 1850 tanesine olumlu kararı verilmiştir. Bakanlık resmi olarak ÇED'de mahkeme tarafından bir tanesinin iptal edildiğini belirtilmesine rağmen (Çizelge 3), bir çok ÇED'in mahkeme kararıyla iptal edildiği yada yürütmesinin durdurulduğu ve çoğu olumlu ÇED'in de mahkemelerde olduğu kamuoyu bilgisindedir.

Çizelge 3. ÇED Değerlendirme ve Karar sonuçları[8]

Olumlu	1850
Olumsuz	29
Mahkeme İptal	1
Toplam	1880

Enerji sektöründeki ÇED raporlarından sadece bir tanesi olumsuz olarak sonuçlanmıştır (Çizelge 4). Bu ÇED, Köprüçay Projesi (Beş Konak 1 Barajı ve HES) için verilen olumsuz kararıdır. Yine aynı tarihli kararla Köprüçay Projesi Beş Konak 2 Baraj ve

[1] ÇEDGM, (23 Mart 2010)'a göre http://www2.cedgm.gov.tr/dosya/cedsonuckarar/cedsonuc.htm , sayfasından hesaplanmıştır.

HES) için olumlu raporu verilmiştir. Yani bunların alternatif projeler olduğu açıktır. Veriler bu kapsamda değerlendirildiğinde, enerji sektöründe verilmiş hiç bir olumsuz ÇED yoktur diyebiliriz.

Çizelge 4. Enerji Sektöründeki ÇED Karar Sonuçları[1]

Sektör Dağılımı	Olumlu	Olumsuz	Toplam
Termik	44	-	44
HES	124	1	124
İletim	143	-	144
Jeotermal	1	-	1
Sulama	4	-	4
Rüzgar	3	-	3
Toplam	319	1	320

Enerji sektöründe devam eden toplam 158 ÇED'in 119'u HES içindir (Çizelge 5). Geçmiş örnekler ele alındığında bu 119 ÇED'inde olumlu olacağı kanısına varmak yanlış olmaz.

Çizelge 5. Enerji Sektöründe ÇED'leri devam eden Projeler[2]

Sektör Dağılımı	Toplam
Termik	22
HES	119
İletim	6
Jeotermal	0
Sulama	3
Rüzgar	7
Diğer	1
Toplam	158

6.2. HES'ler Açısından ÇED

6.2.1. ÇED'in Gerçek Yüzü -1

ÇED hazırlamak istemeyen şirket 25 MW olan santral gücünü 24.5 MW olarak gösterebilir. Bu durum tamamen matematiksel olarak ifade edilebilir. Gücü bu kadar azaltmak enerji üretimini azaltmayacağı gibi ÇED raporu gibi bir işlemden kurtulmak mümkün olmaktadır.

ÇED raporu gereklidir kararı çoğunlukla bölgedeki kamuoyunun duyarlılığı karşısında verildiği gerçeği göz ardı edilmemelidir. Aynı yada benzer yerde yapılacak tesisin kurulu gücünün 25 MW'ın altında yada üstünde olmasının ÇED gerekliliği kararı için belirleyici olduğunu anlamak zordur.

Kurulu gücü 0.5 MW altında olması demek inşa edileceği bölgede daha büyük güçteki bir santralden daha fazla etki yaratmayacağını göstermez. Aynı şekilde 0.6 MW kurulu gücü de bu değerin altına çekmek işletmeci açısından bir zarar oluşturmaz. Ancak ÇED gibi bir işlemden kurtulur.

[1] ÇEDGM, (23 Mart 2010)' a göre http://www2.cedgm.gov.tr/dosya/cedsonuckarar/cedsonuc.htm , sayfasından hesaplanmıştır.

[2] ÇEDGM, (23 Mart 2010)'a göre http://www2.cedgm.gov.tr/cedsureci/ced_sureci_devam_eden.htm , sayfasından hesaplanmıştır

6.2.2. ÇED'in Gerçek Yüzü -2

ÇED hazırlayabilmek için, Çevre ve Orman Bakanlığından yeterlilik belgenizi almanız gerekmektedir[1]. Bunun için Çevre ve Orman Bakanlığı bazı kriterler getirmiştir. Bu kriterlerde belli meslek disiplinlerinin çalıştırılması zorunlu tutulmaktadır. Kısaca ÇED işleminin çok önemli olduğunu kabul eden Bakanlık bu konuda bir kural ve denetim zinciri oluşturmuştur.

ÇED hazırlanmasında kullanılan veriler öncelikle projelerden alınmaktadır. Ancak; herhangi bir HES'in herhangi bir aşamasında fizibilite, uygulama projesi gibi hiçbir kriter yoktur. Özellikle bu mühendislik yapılarını projelendirmek için hiçbir mühendis çalıştırılması zorunlu değildir.

Bu durum HES ve ÇED gerçeğini yansıtmaktadır.

7. HES'LER VE SU YAPILARI DENETİM YÖNETMELİĞİ

HES projelerindeki artışlar sonucunda, ilk denetimlerinin zaman alması ve imalatlarındaki denetimleri hızlandırmak amacıyla 15 Ağustos 2009 tarihinde Su Yapıları Denetim Yönetmeliği[2] yayınlanmıştır.

Bu yönetmeliğin amacı, "MADDE 1 – (1) Bu Yönetmeliğin amacı, gerçek veya tüzel kişiler tarafından, yeraltı ve yerüstü sularından faydalanmak ve bunların zararlarını önlemek amacıyla yapılacak her türlü su yapılarının inşası esnasında yatırımların hızlandırılması, taşkın, deprem gibi doğal felaketlerden sonra meydana gelebilecek ülke kaynaklarının israfının önlenmesi, çevre ile uyumlu uygulama projelerinin ve yapım aşamasındaki teknik denetimlerinin yapılması ve bu denetimi yapacak firmalara verilecek izin belgeleri ile çalıştıracakları yetkili elemanların niteliklerine ilişkin usul ve esasları belirlemek" olarak, kapsamı; "MADDE 2 – (1) Bu Yönetmelik, gerçek veya tüzel kişiler tarafından tesis edilecek su yapılarının proje onayını, yapım aşamasındaki denetim iş ve işlemlerini ve bu işlemlerin yerine getirilmesi aşamasında denetim firmalarının görev ve sorumlulukları ile bu firmaların yetkilendirilmesini ve bu işlerde çalışacak denetim elemanlarının niteliklerinin belirlenmesini, yetki belgesi ile ilgili işlemlerin yapılmasını, yetkilendirilmiş firma ve bu firmalarda çalışan denetim elemanlarının görev ve sorumlulukları ile su yapıları denetim hizmet sözleşmesinin düzenlenmesi ve hizmet bedellerinin ödenmesine ilişkin hususları kapsar" olarak belirlenmiştir.

Yönetmeliğin başlığı ile amaç maddesi birbiriyle uyuşmadığı da açıktır. Ancak bu yönetmelikte esas ele alınması gereken konu, projenin ya da denetimi yapılacak olan imalatın denetiminin nasıl yapılacağını ortaya koyarak bu firmalarda belli kriterleri ararken bu projeleri kimlerin yapacağına ilişkin hiçbir tanımlaması yoktur.

Bu yönetmelik her ne kadar bu alandaki denetimi sağlamayı hedeflese de uygulamada bu konunun denetimden uzak olduğu açıktır. Kısaca bu yönetmelik şekil açısından

[1] ÇEDGM, (23 Mart 2010)'a göre http://www.cedgm.gov.tr/CED/AnaSayfa/tebligler.aspx?sflang=tr

[2] TC Resmi Gazete 15 Ağustos 2009, Sayı 27320

ÇED benzeri bir uygulamayı ortaya koyarken, piyasa açısından 4708 sayılı Yapı Denetiminin emsali olduğu açıktır.

Bu yönetmeliğin tamamen iptali konusunda Türk Mühendis ve Mimar Odaları Birliği (TMMOB) ve Kamu Emekçileri Sendikaları Konfederasyonu, Enerji, Sanayi ve Maden Kamu Emekçileri Sendikası (ESM) tarafından ayrı ayrı açılmış olan davaların her ikisi içinde Danıştay yönetmeliğin yürütmesinin durdurulmasına karar vermiştir.

8. HES ve HAVZA PLANLAMASI

Yaşamın her alanında toplumcu ve kamusal çıkarları gözeten planlamanın toplumsal kalkınmada önemli yer tuttuğu bilinmektedir.

Havza planlaması ekolojik, sosyolojik ve ekonomik kriterlere göre kamusal yaklaşımla yapıldığı sürece anlamlıdır. HES'ler havzada suya bağlı ekolojik sorunların yanı sıra suyun paylaşımıyla da doğrudan ilgilidir.

Suyun nitelik ve nicelik olarak değişmesi su havzalarının bir bütün olarak ele alınması gerektiğini he zamankinden daha önemli kılmaktadır.

Havzada yapılacak olan herhangi bir su yapısı suyun davranışını doğrudan etkileyecektir. HES'ler de suyun havzadaki kullanımına müdahale anlamına gelmektedir.

Herhangi bir su yapısına yada su kullanımına izin vermek suyun alınacağı havza ve diğer komşu havzalar içinde suya bağlı sorunların yaşanmasına neden olabileceği dikkate alınmalıdır.

4628 sayılı yasa ve Su Kullanım Anlaşmasından sonra ortaya konmuş olan HES'ler havza planlamasına bağlı olmayan tesislerdir. Ancak karar vericiler bunların havza planlamasında olduğunu sürekli belirtmektedirler.

Oysa planlaması yapılmış olan bir havzada nerede neyin nasıl yapılacağı bellidir. Havza planlaması olsaydı her HES başvurusu için ayrı ayrı izin verilmezdi. Zaten bu anlayışla mevcut yada ortaya konan projeler planın parçasıymış gibi plana eklenebilir.

Her ne kadar havza planlamasına çalışmaların yapıldığı belirtilse de, bu başvurularda havza planlamasına ilişkin hiçbir değerlendirme bulunmamakta olup, sadece mevcut ya da önceki başvurular ile kotlar arasında bir çakışma olup olmadığı konusunda karşılaştırma yapılmaktadır. Ayrıca bu projelerin hidrolojik kısımları göz ardı edilmektedir. Oysa herhangi bir su yapısı için projenin esasını oluşturan hidrolojik çalışmaların önemi ve bunların uygulaması durumunda yaşanacak sorunlar ilgili kurum, kuruluş ve kişilerin bilgisindedir.

4628 sayılı kanun sonrasında HES'lerin ticari anlayışla devreye girmesiyle birlikte havza planlamaları sadece sözde kalmıştır.

9. SONUÇ

Suya dayalı bütün projeler, su kirliliğinin her geçen gün arttığı gerçeğinin yanı sıra iklim değişiminin de su kaynakları üzerindeki etkisi dikkate alınarak, havzadaki su gereksinimleri bir bütün olarak değerlendirilmek suretiyle yapılacak olan bir havza planlaması sonucu üretilmelidir. Mevcut HES'lerin projelendirilmesi bu konulardan uzaktır.

Havza planları, havzanın ekolojik ihtiyaçları doğrultusunda yapılmalıdır.

HES projesi diye ortaya konan bir çok proje mühendislik gerçeklerinden uzaktır. Mevcut kurulu gücünü çalıştırmayacak ve belirtikleri enerjilerin yarısından daha azını bile üretemeyecek ve hatta hiç enerji üretemeyecek HES'ler ile karşılaşacağımız açıktır. Ayrıca bu HES yapılarının bir çoğuda taşkınlardan doğrudan zarar göreceklerdir.

HES'lere ilişkin izlenen sürecin fizibiliteden itibaren yanlış olduğu bilinmektedir. Ancak hiçbir önlem alınmamaktadır.

Havzalardaki yapılar birbirinden bağımsızmış gibi değerlendirilmektedir. Oysa herhangi bir havzadaki yapıların ÇED değerlendirmeleri bütünleşik olarak yapıldığında etkilerinin sonuçları gerçekçi olarak ortaya konabilir.

ÇED ve Su Yapıları Denetim Yönetmelikleri işin özünden uzak sadece toplumsal baskılamayı ertelemek yada susturmak için işleyen süreçlerdir.

Günümüzde ÇED, bir formalitenin yerine getirilmesi olarak işlem gördüğünden, yatırımcılar içinde gereksizce işleri geciktiren işlemler olarak algılanmaktadır.

Yıllardır, Ülkemizdeki hidrolik enerji potansiyelin değerlendirilmesini savunan bir çok kurum ve kişi ortaya konan bu durum karşısında şaşkındır.

Mühendislik kriterlerinden uzak olarak ortaya konan bütün HES projeleri durdurularak, ekolojik gereksinimler ve toplumsal fayda gözetilerek havza planlaması yapılmak koşuluyla yeniden gerçekçi projeler üretilmelidir.

HES'ler konusunda yapılan tartışmalar, işin özünden uzaklaşılarak taraf ya da karşıtlık noktasına getirilmektedir.

HES'ler "çanta ticareti" konumundan kurtarılmalıdır.

4628 sayılı kanunda özellikle lisanssız yürütülebilecek faaliyetler başlığında yapılması düşünülen değişiklikler yapıldığında muhtemel en az 10.000 sözde HES projesi, hidrolik enerjiden akılcı şekilde yararlanmanın tüm yollarını tıkayacaktır.

Ekolojik gerçekler ve kamu yararı göz ardı edildiği sürece ortaya konan HES projeleri enerji gereksinimin karşılanmasına katkısı olmayacağı gibi, oluşacak zararların karşılanması içinde yeni kaynaklara gereksinim doğacaktır.

Kaynaklar

ÇEDGM, Çevre Etki Değerlendirme Genel Müdürlüğü, ÇED Devam Eden Projeler, http://www2.cedgm.gov.tr/cedsureci/ced_sureci_devam_eden.htm , 2010.

ÇEDGM, Çevre Etki Değerlendirme Genel Müdürlüğü ,ÇED Sonuçlanan Projeler, http://www2.cedgm.gov.tr/dosya/cedsonuckarar/cedsonuc.htm , 2010.

ÇEDGM, Çevre Etki Değerlendirme Genel Müdürlüğü, Yeterlilik Belgesi Tebliği, http://www.cedgm.gov.tr/CED/AnaSayfa/tebligler.aspx?sflang=tr , 2010.

DSİ, Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, Baraj Projesi Yapım Teknik Şartnamesi http://www.dsi.gov.tr/sydk/insaat_sartname/BARAJ_PROJES%C4%B0_YAPIM_TEKNK_SARTNAMES%C4%B0.doc, 2010.

DSİ,Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, Hidro Elektrik Santral Proje yerleri, http://www.dsi.gov.tr/ska/ska.htm , 2010.

DSİ, Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, Mühendislik Hidrolojisi Hizmetleri Teknik Şartnamesi, http://www.dsi.gov.tr/sydk/proje_sartname/M%C3%9CHEND%C4%B0SL%C4%B0K_H%C4%B0DROLOJ%C4%B0S%C4%B0_H%C4%B0ZMETLER_TEKN%C4%B0K_%C5%9EARTNAMES%C4%B0.doc, 2010.

ETKB, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, istatistiki veriler, http://www.enerji.gov.tr/index.php?dil=tr&sf=webpages&b=y_istatistik&bn=244&hn=244&id=398#, 2010.

EUAŞ, Elektrik Üretin Anonim Şirketi Genel Müdürlüğü, Hidrolik Santralar, http://www.euas.gov.tr/_Euas/web/gozlem.aspx?sayfaNo=100, 2010.

Kaymakçıoğlu F., "Kamu Yönetiminde Uluslararası Tahkim ve Enerji Politikaları", 1.Baskı, Paragraf Yayınevi, 2005.

Küçük İ., "4628 ve Hidrolik Enerji", TMMOB VII.Enerji Sempozyumu 17-19 Aralık 2009.

Küçük İ., "Enerjide Hidrolik Santral Gerçeği", Jeoloji Mühendisleri Odası 63.Jeoloji Kurultayı, Nisan 2010.

TC Resmi Gazete 26 Haziran 2003, Sayı 25150.

TC Resmi Gazete 17 Temmuz 2008, Sayı 26939.

TC Resmi Gazete 15 Ağustos 2009, Sayı 27320.

Havza Yönetimi ve Kentsel Atıksu Arıtımının Havza Yönetimine Etkisi

Mahmud Güngör[1], Sibel Yıldız[2], İ.Engin Demirci[3], M. Akif Dikbaş[4]

Özet: Su kaynaklarının sürdürülebilir bir şekilde kullanılabilmesi amacıyla yürütülen çalışmalarda, havza yönetimi ilkelerinin değerlendirilmesi ve havza ölçeğinde plânlanması giderek yaygınlaşırken, ülkemizde havza yönetimi ilkelerine göre gerekli çalışmaların da henüz yapılmaya başlandığı görülmektedir. Havza yönetimi için, su üretim miktarının gereken düzeyde olması önemlidir. Bu nedenle baraj havzaları, iklim, jeoloji, topografya, toprak yapısı, bitki örtüsü, atıksu arıtımı, arazi kullanım şekilleri ve sosyo-ekonomik unsurlar asındaki ilişkiler yönetim ilkeleri açısından ele alınarak, havzalarımızın yenilenebilir doğal kaynakları su üretimi amacıyla değerlendirilmelidir.
Bu bildiri, havza yönetimi ilkelerinin tanıtılması ve su toplama havzalarının yenilenebilir doğal kaynaklarının planlanmasının önemini vurgulamak, havza yönetiminin mevzuat açısından değerlendirilmesi, kentsel atıksu arıtımının havza yönetimine etkisinin ortaya konulması amacıyla hazırlanmıştır. Bildiri kapsamında örnek olarak Büyük Menderes Havzası incelenerek değerlendirilmiştir.
Bu bağlamda Büyük Menderes Havzasında bulunan evsel nitelikli atıksu arıtma tesislerinin mevcut durumu ve ileriye dönük planlamalar ile endüstriyel nitelikli atıksuların mevcut durumlarının araştırılması ve elde edilen veriler ışığında havza yönetim planının hazırlanmasının zorunluluğu vurgulanmıştır.
Çalışmada Havza yönetiminde ele alınacak başlıca önemli Su Yönetimi Konuları şu şekilde sıralanmaktadır;

- Noktasal kirlilik kaynakları - kentsel atıksular ve endüstriyel atıksular
- Yayılı kirlilik kaynakları - tarım
- Hidro-morfoloji (Su Kütleleri Üzerindeki Yapılar)
- Su kıtlığı ve kuraklık

Anahtar Sözcükler: Havza yönetimi; Kentsel atıksu arıtma tesisleri; Havza yönetim mevzuatı

Basin Management and Effects of Urban Waste Water Treatment on Basin Management

[1] Denizli Belediyesi, Su ve Kanalizasyon Müdürlüğü Denizli, E-Posta: mgungor@pau.edu.tr
[2] Denizli Belediyesi, Su ve Kanalizasyon Müdürlüğü, Denizli, E-Posta: yildizsibel1979@hotmail.com
[3] Denizli Belediyesi, Su ve Kanalizasyon Müdürlüğü, Denizli, E-Posta: edemirci72@hotmail.com
[4] Denizli Belediyesi, Su ve Kanalizasyon Müdürlüğü, Denizli, E-Posta: mehmetakifdikbas@hotmail.com

Abstract: During the studies to utilize water sources in a sustainable way, while evaluation of basin management principles and planning in basin scale are gradually becoming widespread, it is been observed that required studies according to basin management principles have recently begun in our country. For basin management, it is important that water production amount has to reach the required level. Therefore, by handling the relationships among river basins, climate, geology, topography, soil structure, flora, waste water treatment, land use plans and socio-economic elements in terms of management principles; renewable natural sources of our basins have to be utilized for the purpose of water production.
This notice has been prepared so as to promote the basin management principles, emphasize the importance of planning renewable natural sources of water basins, evaluate basin management in terms of legislation and introduce effects of urban waste water treatment on basin management. Within the scope of the notice, Büyük Menderes Basin is evaluated as the example.
In this context; current situation of domestic waste water treatment plants existing in Büyük Menderes Basin, plans regarding future, research on current situation of industrial waste water and preparation of basin management plan in light of obtained data are emphasized as the obligatory topics.
Primary Water Management Subjects to be handled in basin management are listed as follows;

- Discrete pollution sources – urban waste water and industrial waste water
- Invasive pollution sources – agriculture
- Hydro-morphology (Structures on Water Mass)
- Water famine and drought

Keywords: Basin Management; Urban Waste Water Treatment Plants; Basin Management Legislation

1. HAVZA YÖNETİMİ VE SU KALİTESİ

1.1.Giriş

Su, yüzyıllar boyunca tüm medeniyetler için çok önemli bir doğal kaynak olmuş, bütün büyük uygarlıklar su kenarında kurulmuştur. Teknolojinin ilerlemesi ile sudan faydalanma şekil ve oranlarının artması, su kaynaklarının içme-kullanma, sulama suyu, enerji üretimi gibi pek çok amaç için geliştirilebilmesi, ülkelerin ekonomik kalkınmasında suyun vazgeçilmez bir yer edinmesinde büyük rol oynamıştır. Bugün "gelişmiş ülke" olarak tanımlanabilen pekçok ülke bu seviyelere, ülkelerinin su potansiyelinden azami faydayı sağlayarak ulaşmışlardır. Teknolojinin ilerlemesi, su kaynaklarından azami faydanın sağlanmasına aracı olmakla birlikte, bu ilerlemeye paralel olarak sanayileşmenin ve şehirleşmenin de artması beraberinde "çevre kirliliği"ni ve özellikle "su kirliliği"ni gündeme getirmiştir. Su kirliliğinin giderek önemli boyutlara ulaşması, ülkeleri bu konuda ciddi önlemler almaya zorlamış, bu da bu alanda pekçok mevzuatın oluşması sonucunu doğurmuştur.

1951'de Avrupa Kömür ve Çelik Topluluğu ile temelleri atılan ve 1991 Maastricht Antlaşması ile kurulan Avrupa Birliği'nde su kaynaklarının korunması ve yönetimine ilişkin mevzuat AB mevzuatı içerisinde çok önemli bir yer tutmakta olup bu alanda

yirmiyi aşkın direktif bulunmaktadır. Bu direktifler arasında en önemlisi ise 23 Ekim 2000 tarihli ve 2000/60/EC sayılı "Su Çerçeve Direktifi"dir.

21. Yüzyılın tüm dünyayı ilgilendiren en önemli çevre konularından birisi olan su kalitesinin bozulması ve su azlığı bir çok ülkenin en önemli sorunudur. Tatlı su varlığı ise, öteden beri doğal kaynakların sürdürülebilirliğindeki en önemli gösterge olmuştur. Tüm dünyanın tatlı su kullanımı 1940 yılında yaklaşık 1500 km^3/yıl iken, 2000 yılında bu değerin 5000 km^3/yıl olacağı öngörülmüştür. Su kıtlığı çeken ülkelerin sayısı 1955 yılında 7 iken 1995 yılında bu sayı 20'ye yükselmiş ve 2025 yılında da bu sayının 34'e yükseleceği öngörülmüştür. Su kıtlığının olması su kalitesinin bozulmasına da işaret etmektedir. Havza sınırları içerisinde ve havza yönetim ilkeleri benimsenerek belirli bir soruna ilişkin yürütülen çalışmalarda, su veriminin istenilen kalite ve miktarda olacağı belirtilmektedir. Bir havzadaki sorunların çözümü ise, her ülkenin kendi arazi koşulları ve maddi olanakları ile bilgi birikimlerinin o havzada toplanması ile olanaklı olabilecektir. Bu nedenle, su kullanımı ve yönetimi, yalnızca bir tek unsur örneğin ulaşım, sulama, enerji üretimi, sportif faaliyetler ya da ticari balıkçılık gibi konular üzerinde tek tek yoğunlaşılmadan, sistemdeki kaynakların bütünlüğünü koruyacak şekilde ele alınmalıdır. Bu durumda su kaynakları ile ilgili sorunların, tüm dünyanın ortak sorunu olduğu ve bu sorunun da havza yönetimi yaklaşımı ile ilgili olduğu söylenebilir.

1.2.Türkiye'de Su Yönetimi ve Mevzuat

Ülkemiz dünyanın yarı kurak bir bölgesinde yer almaktadır. Dünya yüzüne düşen yağış ortalaması 800 mm civarında iken bu değer Türkiye'de yılda ortalama 643 mm'dir. Ülkemizde bölgeler arasında da büyük farklılıklar görülmekte, yağışlar bazı yörelerde yılda 3000 mm'yi aşarken bazı bölgelerimizde ise 250 mm'nin altına düşmektedir. Bu yüzden, ülkemiz açısından su kaynakları planlama ve geliştirme çalışmaları geçmişte olduğu gibi bugün ve gelecekte de daha büyük önem ve değer kazanarak devam etmek zorundadır. Yapılan etütler neticesinde günümüz teknik ve ekonomik şartları çerçevesinde çeşitli maksatlara yönelik olarak tüketilebilecek yerüstü ve yeraltı suyu potansiyelinin ise yılda ortalama 110 milyar m3 olduğu belirlenmiştir. Bu miktarın 95 milyar m3'ünün yurt içinden doğan akarsulardan, 3 milyar m3'ünün yurt dışından giriş yapan akarsulardan, 12 milyar m3'ünün ise yeraltı suyundan sağlanabileceği kabul edilmektedir.

Türkiye'de bugün için kişi başına düşen kullanılabilir su potansiyeli, yaklaşık 1 600 m3/yıl civarındadır. Türkiye'nin kişi başına kullanılabilir su varlığı, diğer bazı ülkeler ve dünya ortalaması ile karşılaştırıldığında su zengini olmayan ülkeler arasında yer aldığı görülmektedir. 2025 yılında nüfusumuzun 80 milyona ulaşacağı tahmininden hareketle kişi başına düşen kullanılabilir su miktarının 2025 yılında 1375 m3/yıl olacağı söylenebilir. Mevcut büyüme hızı, su tüketim alışkanlıklarının değişmesi gibi faktörlerin etkisiyle, su kaynakları üzerine olabilecek baskıları tahmin etmek mümkündür. Bütün bu tahminler mevcut kaynakların geleceğe tahrip edilmeden aktarılması durumunda söz konusu olabilecektir. Dolayısıyla Türkiye'nin gelecek nesillere sağlıklı ve yeterli su bırakabilmesi için kaynaklarını çok iyi koruyup, akılcı kullanması gerekmektedir.

Türkiye'deki Su Kaynakları Yönetimi'nin kurumsal yapısı birçok ülkede olduğu gibi geçmişte saptanan kalkınma hedeflerine uyumlu olmaya ve büyük ölçüde talep faktörüne cevap verilmeye çalışılarak tedricen oluşturulmuştur. Pekçok kurum ve kuruluşun yer aldığı bu yapı içerisinde en önemli rol, DSİ Genel Müdürlüğü'ne düşmektedir.

Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü (DSİ), ülkemizdeki tüm su kaynaklarının planlanması, yönetimi, geliştirilmesi ve işletilmesinden sorumlu, katma bütçeli ve tüzel kişiliğe haiz en yetkili kuruluştur. DSİ, ülkemizdeki su ve toprak kaynaklarının geliştirilmesinden sorumlu ana kuruluş olarak söz konusu doğal kaynakların en akılcı şekilde kullanılmasını amaçlamaktadır.

DSİ faaliyetlerini aşağıda belirtilen kanunlara göre yürütmektedir:

- 6200 sayılı "DSİ Genel Müdürlüğü'nün Teşkilat ve Vazifeleri Hakkında Kanun"
- 167 sayılı "Yeraltısuları Hakkında Kanun"
- 1053 sayılı "Nüfusu 100.000'den Fazla Olan Yerleşim Birimlerine İçme, Kullanma ve Endüstri Suyu Temini Hakkında Kanun"

Yasal mevzuat ve kurumsal yapılaşma yönünden dünyadaki gelişmelere paralel olarak yakın geçmişte Türkiye'de gerçekleştirilen en önemli değişiklik, çevre unsuruna Su Kaynakları Yönetimi içinde yer verilmesi olmuştur. Yasal mevzuattaki eksiklik, 2872 sayılı Çevre Kanunu'na dayalı olarak çıkarılan "Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği" ve "Çevresel Etki Değerlendirmesi (ÇED) Yönetmeliği" yürürlüğe sokularak giderilmeye çalışılmıştır. Ayrıca en son düzenleme ile 30 Haziran 2009 tarihinde Resmi Gazetede yayınlanarak yürürlüğe giren 27274 Sayılı Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği Havzalarda Özel Hüküm Belirleme Çalişmalarina İlişkin Usul Ve Esaslar Tebliği ile su yönetimine tüm ülkede havza bazında bakılması gerekliliği ortaya konulmuş ve lokal çalışmalara başlanmıştır.

Diğer taraftan mevzuattaki yeniliğe uyumlu bir şekilde, ilgili faaliyetleri yönlendirmek ve denetlemek üzere 1991 yılında kurulan Çevre Bakanlığı ile bağlı kuruluşlara yürütme erkinde yer verilmiştir. Bununla birlikte, çevreyle ilgili kararların başarıyla uygulanabilmesi için gerekli entegrasyon sağlanmasında henüz yeterli bir ilerleme görülmemektedir. Su kaynakları yönetimi konusunda birden fazla kurumun faaliyette bulunması, su kaynakları yönetimi konusunda birbiriyle çelişebilen yasal mevzuatın varlığı, bazı durumlarda kısmi çakışmalara ve uygulamalarda zorluklara yol açmaktadır.

1.2.1. Su Kaynakları Yönetimi

Su Kaynakları Yönetimi kapsamında yer alması gereken konulardan birçoğu DSİ faaliyetlerini yakından ilgilendirmekte olduğundan, entegrasyon işlevi bu kuruluş bünyesinde bir ölçüde kendiliğinden yerine gelebilmektedir. Bununla birlikte, gerekliliği giderek artan bir şekilde kabul gören sürdürülebilir kalkınmanın sağlanabilmesi için, Türkiye için önem arz eden entegrasyon elemanlarının somut bir şekilde tanımlanması ihtiyacının doğduğu ifade edilebilir. Bu doğrultuda, başta DSİ olmak üzere, Su Kaynakları Yönetimi kurumsal yapısında yer alan kuruluşların kendi bünyelerinde ve ilgili kuruluşlar arasında entegrasyon sağlanmasında yarar görülmektedir.

Halen Türkiye'de aralarında yeterince entegrasyon sağlanamayan Su Kaynakları Yönetimi elemanları şu şekilde sıralanabilir:

- Su kaynakları ve bu kaynaklar ile yakından ilgili diğer doğal kaynakların (toprak, orman, doğal turistik değerler) yönetim planları,
- Yeraltı suları rezerv ve dinamiğinin yüzey suları ile olan etkileşimi dikkate alınarak, kaynak koordinasyonu yapılması,
- Yüzey ve yeraltı sularının deniz kıyısı sularına etkisini dikkate alacak şekilde kıyı suları yönetimi esaslarının belirlenmesi,
- Su kllanımı ve atıksu uygulamalarının su kalitesi üzerindeki etkileri ile kirlenmelerin değişik amaçlı su teminleri üzerindeki etkilerini değerlendiren kalite yönetimi,
- Çeşitli amaçlara yönelik su teminlerine baz olmak üzere, yenilenebilir yerüstü ve yer altı tatlı su potansiyelinin sağlıklı ve sistematik bir şekilde belirlenebilmesi için uygun hidrolojik yöntemlerin geliştirilmesi,
- Her bir kullanım konusu bazında, kümülatif olarak giderek büyüyen küçüksu işi ve gölet depolaması kullanımları da dahil edilerek, mevcut kullanımlar ile uzun vadeli kullanımlar için ayrıntılı ve sağlıklı projeksiyonlar yapılması,
- Bağımsız akarsu havzaları bazında, mevcut ve gelecekteki ihtiyaçlara göre su bilançolarının oluşturulması, tahsis ve yeniden esaslarını belirleyen havza yönetim birimlerinin teknik ve kurumsal anlamda oluşturulması.

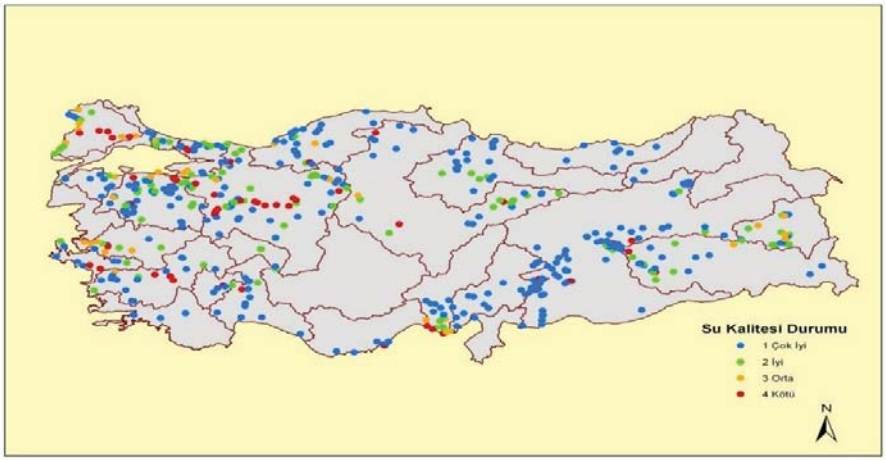
2- SU KALİTE YÖNETİMİ

Çevre Kanunu'na bağlı olarak 1988 yılında yayınlanan Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği (SKKY) su kalitesi yönetimine ilişkin kapsamlı düzenlemeler getirmiştir. Bu yönetmelikte, iki temel yaklaşım benimsenmektedir: birincisi, su kaynaklarının birer eko-sistem kabul edilerek mevcut kalitelerinin korunması; ikincisi, ülke ihtiyaçlarına göre su kalitesinin geliştirilmesidir. Bu çerçevede, 3 ana grupta toplanabilen düzenlemeler getirilmiştir.

Bunlar:

- İçme ve kullanma suyu rezervuarların çevresinde oluşturulması gerekli koruma alanlarına ilişkin düzenlemeler (koruma kuşaklarında gerekli teknik yapılar hariç hiçbir yapılanmaya izin verilmemektedir).
- Evsel ve endüstriyel atıksu deşarjlarına getirilen kısıtlamalar (tüm noktasal atıksu kaynaklarının yönetmelikle verilen sınır değerleri sağlamaları ve deşarj izni almaları gerekmektedir).
- Tarım arazilerinin korunması hakkında getirilen düzenlemeler (verimli tarım alanlarında şehirleşme ve endüstrileşme kısıtlanmaktadır).

Şekil1'de Türkiye genelinde su kalite durumunun envanter çalışması görülmektedir.



Şekil 1. Su Kalite Haritası

2.1. Su Kaynaklarının Korunması, Geliştirilmesi ve Plânlanmasında Havza Yönetimi İlkelerinin Önemi

Havza, tüm doğal kaynakları içinde barındıran bir arazi parçası olarak tanımlanırken, tüm kaynakların bütünlük içinde korunmasını sağlayacak yönetim kavramı da havza yönetimi olarak belirlenmiştir. Başka bir ifade ile havza yönetimi, bir havza sınırı içerisinde kalan toprak, su, bitki örtüsü varlığı ile bunları etkileyen bir faktör olarak da insan faaliyetlerinin birlikte ele alındığı bir doğal kaynak yönetimidir. İlgili yönetimin plânını oluşturacak ve işletecek anahtar ise havza yönetim ilkeleridir. Bunları genel ve özel yönetim ilkeleri olmak üzere iki grupta toplamak mümkündür. İlk gruptakiler, havzalara ve amaçlara göre değişmeyen diğer bir anlatımla sabit olan ilkelerdir. Örneğin; havzaların korunmaları ve bir bütün olarak algılanmaları ve havzalardaki canlı çeşitliliğinin sürekliliğinin sağlanması gibi. İkinci gruptaki ilkeler ise, havzaların iklim, jeoloji, topografya, toprak, bitki örtüsü, arazi kullanma şekilleri ve sosyo-ekonomik yapı gibi yetişme ortamı koşulları ile bunlar arasındaki ilişkilere göre değişen ilkelerdir.

Genel ve özel havza yönetim ilkeleri ; havzaların su, toprak ve bitki örtüsü gibi yenilenebilir doğal kaynakların korunması ve geliştirilmesi amacıyla plânlanmasında kullanılan temel unsurlardır. Ancak ülkemizde yenilenebilir doğal kaynaklardan yararlanılması çalışmalarında su ve bitki kaynaklarının yönetim biçimleri ayrı düşünülmüş ve havza yönetim ilkeleri gözetilmemiştir. Buna ek olarak, yenilenebilir doğal kaynaklarımızla ilgili değişik sorunların çözümünde uygulamacı olarak rol oynayan kurum ve kuruluşların hareket noktası, her bir uygulama biriminin ya da kurumun kendi çalışma konusu içerisinde belirlenmiştir. Bütün bu olgular, havzalarımızın gelişi güzel kullanılmalarına yol açmıştır. Böylece havzalarımızda su, toprak ve bitki örtüsü üçlüsü arasındaki doğal denge bozulmuştur.

Havza ve havza yönetimi kavramları, toprak, su ve bitki varlığının bir bütün olarak ele alınmasının ve bu ilke doğrultusunda proje ve planlama yapılmasının gerekliliğini göstermektedir. Ancak, ülkemizde doğal kaynakların korunmasına yönelik çalışmalarda,

toprak, su ve bitki kaynaklarının yönetim biçimleri birbirlerinden ayrı düşünülmüş, uygulamada koruma ve kullanımlara bir bütünlük kazandırılamamıştır. Öte yandan, doğal kaynaklarla ilgili değişik sorunların çözümünde uygulamacı olarak rol oynayan kurum ve kuruluşların faaliyetleri birbirlerinden kopuk olarak her bir uygulama birimi ya da kurumun kendi çalışma disiplini içerisinde sürdürülmektedir. Havza yönetimi ise tüm bu kurum ve kuruluşların aynı hareket noktasından, fakat birbirini tamamlayan çalışmalarla ortak çözüm yolları üretmelerini ve bu çalışmaların ortak plan ve projelerle uygulanmasını gerekli kılmaktadır. Nehir havzası yönetimi yaklaşımının önemli bir yanı, su yönetiminin farklı bir şekilde organize olmasıdır. Nehir havzasının sınırları genellikle idari sınırlar ile örtüşmemektedir. Bunun yanında su yönetimi ile ilgili yetkiler birçok organizasyon arasında paylaşılmış durumdadır. Bu durum, su yönetimi ile ilgilenen organizasyonlar arasında, idari ve organizasyonel sınırlar arasında, işbirliği mekanizmasının gelişmesini gerektirmektedir.

Çevre ve Orman Bakanlığı koordinasyonunda yapılan çalışmalarda, Türkiye 25 adet havzaya ayrılmıştır. Havzaların ortalama yıllık toplam akışları 186 milyar m3 tür.



Şekil 2. Türkiye'de Su Havzaları

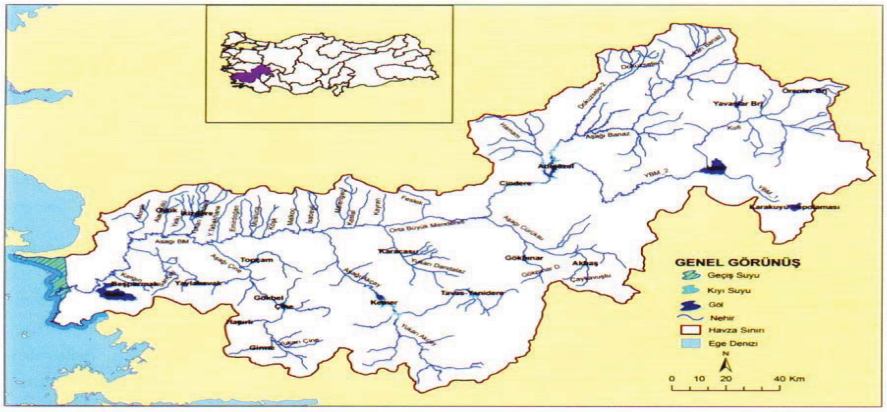
Çevre ve Orman Bakanlığının yapmış olduğu havza önceliklendirme çalışmalarında Büyük Menderes Havzası 5. Sırayı almıştır.



Şekil 3. Havza Önceliklendirme Haritası

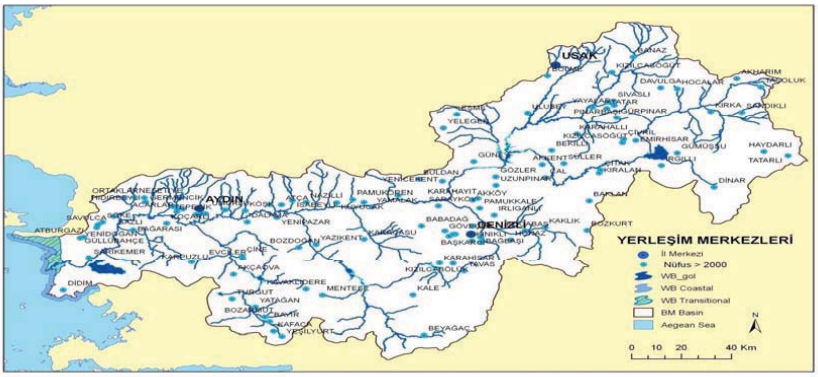
3- BÜYÜK MENDERES NEHİR HAVZASI BÖLGESİNİN GENEL TANIMI

Büyük Menderes Nehri Batı Anadolu'da Türkiye'nin güney batı kısmında 37° 6' - 38° 55' kuzey enlemleri ve 27°- 30° 36' doğu boylamları arasında yer almaktadır. Türkiye yüzölçümünün %3,2'sini oluşturan havzanın sınırları, Aydın, Uşak, Denizli, Muğla, Afyon, Isparta, Burdur ve İzmir illerinin bir kısmını kapsamaktadır. Şekil 4 havzanın genel görünüşünü ve havzanın Türkiye'deki konumunu göstermektedir.



Şekil 4. Büyük Menderes Havzası Genel Görünüşü ve Türkiye'deki Konumu

Türkiye yüzölçümünün %3,2'sini oluşturan havzanın sınırları, Aydın, Uşak, Denizli, Muğla, Afyon, Isparta, Burdur ve Izmir illerinin bir kısmını kapsamaktadır.



Şekil 5. Büyük Menderes Havzasındaki Yerleşim Merkezleri

Büyük Menderes Nehri Dinar yakınlarındaki kalker oluşumlarından kaynaklar halinde doğar ve batıya doğru akıp Ege Denizi'ne ulaşmadan önce İzmir'in 115 km güneyinde bulunan Büyük Menderes Deltası'nda 584 km mesafe kat ederek Türkiye'nin güneybatısında 24.873 km2lik alanı drene eder. Nehrin akış güzergâhı boyunca birçok menderes bulunmaktadır. Ana kolları Çine, Banaz, Çürüksu ve Akçay'dır. Küçük kolların çoğu yaz dönemi boyunca kurudur. Büyük Menderes Nehri, Işıklı Gölü, Bafa Gölü ve Büyük Menderes Nehri deltası gibi sulak alanları kapsayan önemli bir nehir sistemidir. Ayrıca biyo-çeşitlilik açısından da çok önemli bir nehir havzasıdır. Havzada toplam 66 su kütlesi bulunmakta olup, bunların 39 adedi nehir, 21 adedi göl, 4 adedi yeraltısuyu kütlesi, 1 adedi geçiş suyu ve 1 adedi de kıyı suyu kütlesidir. Su kütlelerinin mevcut durumu, kimyasal, biyolojik ve hidromorfolojik özelliklerine dayanmaktadır. Çizelge 1 havza hakkında bazı önemli veriler sunmaktadır.

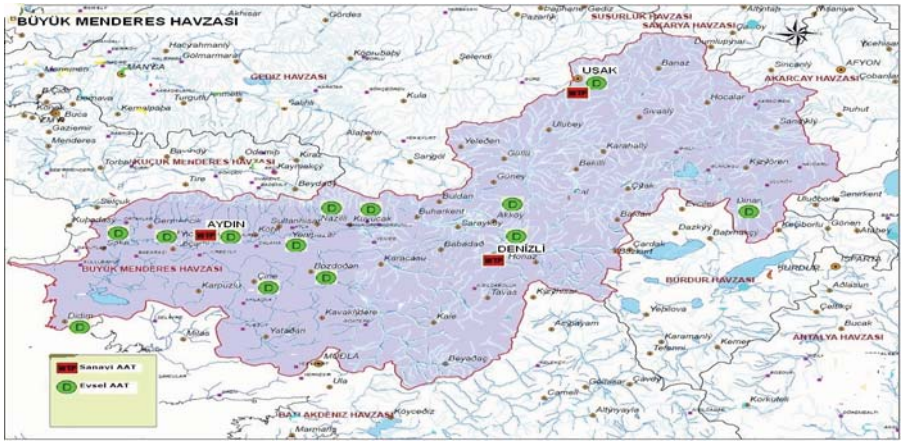
Çizelge 1. Büyük Menderes Nehir Havzası İle İlgili Önemli Bilgiler

Koordinatlar	37°6* - 38° 55' kuzey ve 27°- 30° 36* doğu
Alan	24.873 km2
Nüfus	Yaklaşık 2,4 milyon
Nüfusu 2000'den büyük yerleşimlerin sayısı	116
Nehrin ana kolunun uzunluğu	584 km
Ülke yüzölçümüne oranı	%3,2
Ortalama yıllık yağış miktarı	649,9 mm (263,9 -733,1 mm)
Deltanın yüzölçümü	98 km2 (16,7 km2 Milli Park)
Havzadaki arazi kullanımı	%44 tarım, %33 yarı doğal alanlar , %20 ormancılık , %2 kırsal ve kentsel alanlar %1 yüzey suları
Havzadaki ana tarım ürünleri	pamuk, incir, zeytin ve kestane, sığır, koyun, keçi

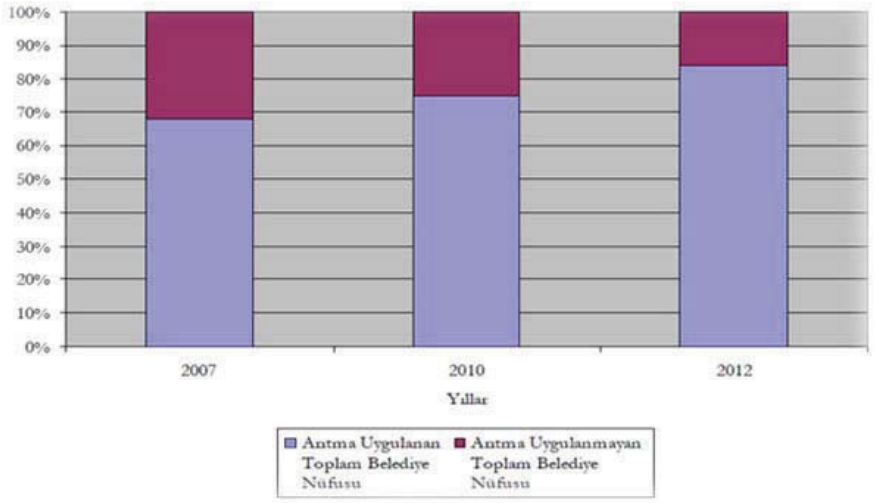
3.1. Büyük Menderes Havzasında Bulunan Kentsel Atıksu Arıtma Tesislerinin Durumu

Havaza sınırları içersinde atıksuları Büyük Menderes nehrine ulaşan 3 büyük il bulunmaktadır. Kentsel atıksuyu bulunan ve Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliğine göre arıtım yapılan bu illerde arıtılan tüm atıksular Büyük Menderes Havza sınırları dahilinde Büyük Menderes nehrine deşarj edilmektedir. Ayrıca bu illere ait bir çok ilçe beldiyeleri ve nüfusu 2000 kişiden az yerleşim merkezlerinden oluşan kentsel atıksularının bir çoğu herhangi bir arıtımdan geçirilmeden direkt Büyük Menderes Nehrine deşarj edilmekte olup, havza içersinde yoğun kirlilik unsuru oluşturmaktadır.

Yine bu illere ait organize sanayi bölgelerinin de bazılarının arıtma tesisi mevcut bulunmakta ve bu sanayi bölgelerine ait atıksular yine belli oranlarda arıtıldıktan sonra Büyük Menderes Nehrine deşarj edilmektedir. Fakat arıtma tesisi olmayıp, henüz proje veya inşaat aşamasında olan sanayi bölgeleride mevcuttur. Şekil 6 'da havza sınırları içersinde bulunan Kentsel Atıksu arıtma tesisileri ile bazı büyük ölçekli sanayi tesislerine ait atıksu arıtma tesislerinin dağılımı görülmektedir. Şekil 7' de ise 2007, 2010 ve 2012 yıllarına ait Büyük Menderes Havzasında arıtma uygulanan ve uygulanmayan belediye nüfusunun dağılımı grafik üzerinde görülmektedir. Grafige göre Çevre ve Orman Bakanlığının belediyelerden aldıkları iş termin planları çerçevesinde 2012 yılına kadar havza bazında bir çok belediyenin kentsel atıksu arıtma tesislerini tamamlayacağı görülmektedir.



Şekil 6. Büyük Menderes Havzasında Bulunan Kentsel ve Sanayi Atıksu Arıtma Tesisleri



Şekil 7. Büyük Menderes Havzasında Arıtma Uygulanan ve Uygulanmayan Belediye Nüfusunun Dağılımı

Bu bağlamda Büyük Menderes Havzasında bulunan evsel nitelikli atıksu arıtma tesislerinin mevcut durumu ve ileriye dönük planlamalar ile endüstriyel nitelikli atıksuların mevcut durumlarının araştırılması ve elde edilen veriler ışığında havza yönetim planının hazırlanmasının zorunluluğu doğmuştur.

4- BÜYÜK MENDERES NEHIR HAVZASINDA SU YÖNETİMİ

4.1 Su Yönetimi Konuları

Büyük Menderes Nehir Havzasında Su Yönetimi Konuları için noktasal kaynaklı baskılar, yayılı kaynaklı baskılar ve hidro-morfolojik baskılar envanteri gerçekleştirilmiştir. Bu envanter, şu anda su kütlelerinin insani faaliyetlerin baskılarından dolayı nasıl bir risk altında olduğu konusunda bilgi vermektedir:

4.1.1 Noktasal Kirlilik Kaynakları:

Bunlar madenler, sanayiler, kanalizasyon sistemleri ile kentsel atıksular ve endüstriyel atıksular vb. kirlilik kaynaklarını içerir. Diğer olası kaynaklar ise katı atık depolama alanları ve hayvansal gübre depolama gibi kaynaklardır. Kanalizasyon bağlantısı olmayan daha küçük kentsel alanların da büyük bir kirlenme kaynağı olduğu düşünülmektedir. Noktasal kaynaklı baskılar çoğunlukla endüstriyel çıkış suyu ve kentsel kanalizasyondan (hem arıtılmış hem de arıtılmamış) ve küçük bir oranda da tarımsal faaliyetlerden kaynaklanmaktadır. Noktasal kaynaklı baskıların Büyük Menderes Nehir Havzasında çok önemli bir risk kategorisi olduğu görülmektedir. Örneğin Aydın ilinden Büyük Menderes Nehir Havzasına deşarj edilen evsel atıksuyun miktarı 146.000 m3/gün'dür ve bu miktarın 85.000 m3/gün'ü arıtılmaktadır. Havzadaki

evsel atıksu hacminin yaklaşık 350.000 m3/gün olduğu rapor edilmiştir. Endüstriyel kaynaklardan gelen ise yaklaşık 150.000 m3/gün dür. Zeytinyağı üretim tesisleri hem noktasal hem de yayılı kirlilik kaynağıdır. Bazı zeytinyağı üretim tesisleri atıksularını arıtmakta ve çıkış suları noktasal kirlilik kaynağı olmaktadır. Bazı tesisler ise atıksularını havuzlarda biriktirmektedir. Aşırı yağışlarla birlikte bu havuzlar taşmakta, bu nedenle de bu tesisler yayılı kaynaklı kirliliğe sebep olmaktadır. Sadece Aydın Bölgesinde yaklaşık 200 civarında zeytinyağı tesisi vardır. Muğla Bölgesi'nin de incelenmesi gereklidir. Her bir tesis günde yaklaşık 8 ton zeytinyağı üretmektedir. Bir ton zeytinyağı ise yaklaşık 1000 kişiye eşdeğer kirlilik yükü meydana getirmektedir. Zeytinyağı üretim sezonu yılda sadece 3 ay olmasına rağmen, oluşan kirlilik yükü çok yüksektir. Büyük Menderes havzasında işletmede olan dört adet Organize Sanayi Bölgesi'nden (OSB) üçünün (Aydın OSB, Denizli OSB ve Uşak Karma OSB) atıksu arıtma tesisleri bulunmaktadır. Aydın OSB için ek bir arıtma tesisi daha inşa edilecektir. Ayrıca Aydın ASTİM OSB nin Atıksu Arıtma Tesisi de inşaat aşamasındadır.

Havzada, Aşağı ve Orta Büyük Menderes su kütlelerinin ağırlıklı olarak kuzeyinde yer alan tektonik kuşaktaki aktif faylar boyunca jeotermal enerji tesisleri bulunmakta olup, yeni tesislerin açılmasına yönelik çalışmalar hızla devam etmektedir. Bu jeotermal tesisler Büyük Menderes Nehir Havzasına sodyum ve bor deşarj edebilmektedir. Örneğin Sarayköy Jeotermal Enerji Santrali'nde jeotermal üretimin başlamasından sonra topraktaki bor ile tuzluluk konsantrasyonunun önemli oranlarda arttığı tespit edilmiştir. Dolayısıyla, özellikle Nazilli Yöresi'nde yoğun olarak üretimi yapılan narenciye bitkileri önemli ölçüde zarar görmekte, bu bitkilerin kalitelerinde önemli düşüşler görülmektedir. Ayrıca bor elementine hassas olan birçok diğer bitki türü de aynı şekilde olumsuz yönde etkilenmektedir.

4.1.2 Yayılı Kirlilik Kaynakları:

Ormancılık, tarım, balıkçılık, madencilik faaliyetleri gibi arazi kullanımı ile kentsel yüzey akışı yayılı kirlenmenin ana kaynaklarını meydana getirmektedir. Bunlar arasında tarımın en büyük etkiye sahip olması beklenmektedir.

Yayılı kaynaklı baskılar özellikle suyun kimyasal kalitesini etkilemektedir. Yüzey sularının nütrientler bakımından, özellikle de fosfor ve azot ile zenginleşmesi ötrofikasyona sebep olabilir. Ötrofikasyon, nütrientlerin aşırı alg (bunların bazıları zehirli olabilir) ve diğer bitki gelişimine neden olduğu yapay bir zenginleşme sürecidir. Biyolojik çeşitlilik ve su kalitesi üzerinde olumsuz etkiler yaratan bu durum rekreasyon ve su temini için kullanılan su kütlelerinin değerini düşürebilir. Nütrientler suya atmosferden gelen birikimler, noktasal kaynaklar ve bunların yanı sıra arazi kullanımı faaliyetleri yoluyla girmektedir. Büyük Menderes Nehir Havzasında pek çok nehir, göl ve baraj gölü yayılı kaynaklı baskılar nedeniyle risk altındadır.

4.1.3 Hidro-morfoloji:

Sanayiler, evler ve tarım için su çekimlerini, akış düzenlemeyi, fiziksel engelleri, yatak taraması/malzeme alımı ve kanal düzenlemeyi içerir. Nehirlerden kentsel, tarımsal, endüstriyel ve diğer amaçlarla su çekimi gibi baskılar, akışın kanallara ya da başka bir havzaya yönlendirilmesi su seviyesini ve su seviyesindeki doğal iniş-çıkışları değiştirebilir. Aynı zamanda su yollarındaki kimyasal konsantrasyonları da

etkileyebilir. Sulama, evsel ve endüstriyel su temini, enerji üretimi ve taşkın koruma amacıyla havzada akış düzenlemesi yapılmaktadır. Havzadaki mevcut sulama alanlarına ve yerleşim yerlerine baraj, gölet vb. depolama yapıları ile regülatör gibi su alma yapılarından su verilmektedir.

4.1.4 Su Kıtlığı ve Kuraklık:

Tüm bu kirlilik kaynakları baskısı altında havza bazında mevcut su kaynaklarının kirlenmesi sonucu su kıtlığı oluşması ve bozulan su kütle dengesi sonucu havzada kuraklık yaşanması olasılığıdır.

4.2. Kirlilik Kaynaklarına Göre Alınabilecek Önlemler:

4.2.1 Noktasal kirlilik kaynakları (kentsel atıksular ve endüstriyel atıksular)

- En kısa sürede tüm sanayi kollarının Atık Su Arıtma Tesislerini kurup işletmeye alması
- Tüm sanayilerde çevre uzmanlarının görevlendirilmesi
- Tüm sanayilerde atık su arıtma için mevcut en iyi teknolojilerin kullanılması
- Sanayi bölgelerinde ileri arıtma tesislerinin kullanılmasının temin edilmesi
- Endüstriyel Atık Su Arıtma Tesislerinde çalışan personelin eğitimi (bilgilendirilmesi)
- Nüfusu 2000'den fazla olan yerleşimler için Kentsel Atık Su Arıtma Tesislerinin inşa edilmesi
- Nüfusu 2000'den az olan yerleşimler için uygun arıtma seçeneğinin kullanılması
- Hassas alanlarda ileri arıtması olan Atık Su Arıtma Tesislerinin yaygınlaştırılması
- Kentsel Atık Su Arıtma Tesislerindeki personelin eğitimi (bilgilendirilmesi)
- Endüstriyel ve kentsel Atık Su Arıtma Tesislerinde denetimler yoluyla yasaların uygulanmasını geliştirme
- Deri sanayiinden gelen atıksular için ileri arıtma tesislerinin kurulması
- Tekstil sanayiinde kullanılan hammaddelerin değiştirilmesi
- Tekstil sanayiinde kullanılan suyun geri kazanımı
- Deri sanayilerinin organize sanayi bölgelerine taşınması
- Sanayiler için kirlilik azaltma planlarının hazırlanması
- Kirlilik azaltma planlarının uygulanması
- Zeytinyağı sanayilerinin organize sanayi bölgelerinde toplanması
- Yüzey sularına arıtılmış atık su deşarjı için lisans verilmesi
- Jeotermal suların arıtılmasını veya reenjeksiyonunu teşvik etme
- Eskiden vahşi depolama için kullanılan alanların rehabilitasyonu
- Yeni düzenli katı atık depolama alanların inşası
- Arıtılmış atık suların tarımda yeniden kullanımı
- Taşocakları ve madencilikten doğan kirliliğin azaltılması
- Zeytinyağı sanayiinde üç fazlı sistemden iki fazlı sisteme geçiş
- Zeytin karasuyunun gübre olarak tarımda kullanılması

4.2.2 Yayılı kirlilik kaynakları – tarım

- Çiftçilerin iyi tarım uygulamaları konusunda eğitilmesi (su, suni ve hayvansal gübre, pestisitler)
- Denetçiler yoluyla kanunların uygulanması (su, suni ve hayvansal gübre, pestisitler)
- Hayvansal gübre yönetiminin geliştirilmesi
- Hassas bölgelerde suni gübre kullanımının kısıtlanması
- Yer altı suyu koruma alanları ve içme suyuna yönelik yüzey suları etrafında koruma alanlarının oluşturulması
- Tüm içme suyu kuyuları etrafında koruma alanlarının oluşturulması
- Su yolları boyunca tampon şeritler oluşturulması
- Drenaj sularının nehirlere deşarjından önce toplanıp arıtılması
- Yeni hayvan yetiştiriciliği işletmeleri için hayvan yetiştiriciliği sanayi bölgelerine teşvik sağlanması
- İçme suyu alanları ve barajları etrafında organik tarımın desteklenmesi
- Baraj gölleri dışındaki alanlarda da organik tarımın yaygınlaştırılması
- Pestisitlerde zincir yönetiminin geliştirilmesi (ithalat, üretim, dağıtım ve rezidüler)
- Nitrat Direktifi'nin uygulanması için kurallar geliştirilmesi (eşleştirme projesi)
- Nitrat Direktifi politikalarının uygulanması
- Toprak verimlilik analizleri için sübvansiyonlar
- Korunan / hassas alanlarda nütrient hassasiyetinin incelenmesi
- Denetçiler aracılığıyla içme suyu kuyuları için koruma alanı olarak belirlenen yerlerde kanunların uygulanması
- Kirleticilerin atmosferik birikiminin azaltılması

4.2.3 Hidro-morfoloji

- Pilot yağmur suyu hasadı uygulamaları
- Sanayilerde su sayaçlarının kullanılması
- Sanayilerde hacme dayalı su fiyatlandırmasının başlatılması
- Çevresel akışın başlatılması
- Açık kanal sulama sisteminden kapalı basınçlı sulama sistemine geçiş
- Drenaj sularının yeniden kullanılması
- Yeraltı suyu sulama kuyularından yapılan su çekimlerini kontrol etmek için su sayaçlarının kullanılması
- Tarımda hacme dayalı su fiyatlandırmasının başlatılması

5- SONUÇ VE ÖNERILER

Proje ve inşaat aşamasında izlenen ve kalite sınıfı tanımlanan su kaynaklarında, atıksu deşarjlarının kontrol altında tutulamaması nedeniyle, zaman içerisinde su kalitesinde düşüşler yaşanabilmekte ve bu durumdan inşa edilmiş su arıtma tesisleri olumsuz etkilenmekte, su şebekelerine kalitesi uygun olmayan su verilmektedir.

Noktasal atıksu kaynaklarının kontrolüne ilişkin deşarj standartlarının çeşitliliği ve bazen yetersizliği; bu standartların hayata geçirilebilmesi için gerekli kurumsal ve

fiziksel altyapının bulunmaması nedenleriyle uygulanamaması, yeraltı ve yüzey sularında ciddi kalite kayıplarına yol açmaktadır. Deşarj izni alan kuruluşların atıksu deşarjlarının, sahip oldukları deşarj iznine ne derece uyduğunun izlenmesi büyük oranda kuruluşun kendisine bırakılmıştır. Bu aşamada yönetime halkın katılımı tamamiyle göz ardı edilmiş, kamunun atıksu kaynaklarını denetlemesine olanak tanınmamıştır.

Atıksu deşarjlarının kontrolüne ilişkin yaptırım genelde çok zayıf olup, yaptırım politikaları kirlilik kontrolündeki teknolojik ilerlemeye ayak uydurabilmekten çok uzaktır. Atıksu deşarjlarında uygulanmakta olan para cezaları çoğu kez caydırıcı; bu nedenle, çoğu kez arıtma tesisi kurmaktansa, yatırım için gerekli finansmanının çok küçük bir kısmını para cezası olarak ödemek tercih edilebilmektedir.

Evsel atıksuların yönetimi kamu finansmanı yoluyla gerçekleştirilmekte, yaratılabilen fonlar yetersiz kalmakta ve kirleten-öder-prensibi tam olarak uygulanamamaktadır. Bazı belediyeler tarafından su kullanıcılarından alınan atıksu paraları ile yaratılan fonlar diğer amaçlarla kullanılabilmektedir.

Tüm Dünya'da deşarj noktasında arıtım seçeneğinden, kirliliğin önlenmesi seçeneğine doğru çok hızlı bir yaklaşım değişikliği yaşanırken, Türkiye'de hala deşarj noktasında arıtım seçeneği üzerine yoğunlaşılmakta, kirliliğin önlenmesine ilişkin politikalar geliştirilmemektedir.

Buna ilave olarak, bazı alanlarda S.K.K.Y' nde belirlenen endüstriyel atıksu deşarj standartlarıyla üretim teknolojileri tutarsızlık göstermektedir. Bazı endüstri sınıflarında halen S.K.K.Y'nde tanımlanan deşarj standartlarını yakalamak mümkün olmazken, diğer bazı endüstri kategorilerinde standardı tanmlanmamış kirletici parametreler bulunabilmektedir. Benzer şekilde tesis içi geri kazanım sadece yüksek su ve deşarj bedellerinin tahakkuk ettirildiği bazı büyükşehir sınırları içinde ekonomik yaptırımlarla özendirilmeye çalışılmaktadır. Bu yaklaşım yaygınlaştırılarak, endütriyel kirlilik az su tüketmek ve geri kazanım yoluyla kaynağında azaltılmalıdır. Bunun sonucu olarak atıksu arıtma tesislerine gelecek yük de azalmış olacaktır.

Ancak mevcut tesislerin yeni teknolojilere geçişi belli bir süreç ve kaynak gerektirecektir. İlgili bakanlıkların ve yatırımları denetleyen kurumların (Sanayi Bakanlığı, DPT, Hazine Müsteşarlığı gibi) yeni yatırımları özendirici önlemlerle yönlendirmeleri uygun olabilir. Halihazırda kentsel ölçekte uygulanan evsel atıksu arıtma tesislerinde konvansiyonel arıtma sistemleri uygulanmaktadır. Hassas bölgelerde alıcı ortamın özümleme kapasitesine göre (ötrofikasyon riski bulunan ortamlarda) ileri arıtma teknolojilerinin uygulanması, yoğun yerleşimli turistik alanlarda kompakt tesislerin uygulanması ve az hassas bölgelerde uygun arıtma teknolojilerinin benimsenmesi uygun olabilir. Ancak bu uygulamaların etkin şekilde hayata geçirilmesi ve atıl duruma düşmemesi için ilgili yatırımcı ve denetleyici kurumların personel eğitimi açısından güçlendirilmesi gerekmektedir. Böyle bir eğitim sayesinde, Türkiye koşullarında hangi teknolojilerin uygun olacağı, yatırım ve işletme maliyetleri beraber değerlendirilerek belirlenebilir. Çeşitli maksatlar için kullanılan sular çeşitli şekillerde kirlenmektedirler. Yüzeysel ve yeraltı su kaynaklarının kalitelerinin korunabilmesi için, atıksuların arıtılmadan hidrolojik çevrime katılmaması gerekmektedir. Kullanılmış suların geri kazanılması amacıyla teknolojik ve mali olarak yapılabilir en üst kademede arıtılarak aynı veya farklı maksatla tekrar kullanımı sağlanmalıdır.

6- Kaynaklar

Erol A, "Su Kaynaklarının Korunmasında Havza Yönetimi İlkelerinin Önemi", TMMOB Su Politikaları Kongresi, 20-22 Mart 2008.

Özyuvacı N, Hızal A, Gökbulak F, 2001. Su Üretimine Tahsis Edilen Yağış Havzalarını Planlama ve Kullanım İlkeleri, I. Türkiye Su Kongresi, 8-10 Ocak 2001.

Çiçek N, "Türkiye'de Su Yönetimi & Türkiye'de Su Sektörü için Kapasite Geliştirilmesi Projesi Büyük Menderes Havzası", Çevre ve Orman Bakanlığı, Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü, 2009.

"Büyük Menderes Nehir Havzası Yönetim Planı Nihai Taslak", Çevre ve Orman Bakanlığı, Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü - DSİ, 2009.

Akkaya C, ve diğ., Avrupa Birliği Su Çerçeve Direktifi Ve Türkiye'de Uygulanabilirliği", TMMOB Su Politikaları Kongresi, 20-22 Mart 2008.

Küçük Su Kuvvetinin Türkiye'deki Durumu Üzerine Bir Değerlendirme

Onur Abay [1], N. Orhan Baykan [2], Mutlu Yaşar [3]

Özet: Dünyada enerji üretiminde yaygın olarak işletilen küçük su kuvveti tesisleri (KSKT'ler) (küçük hidroelektrik santraller) *yenilenebilir*, *yeşil* ve *temiz* enerji kısıtlarının tümünü sağlamakta, yerel olanaklarla inşa edilerek işletmeye alınabilmekte ve enerji kayıplarından görece daha az etkilenmektedir. KSKT'ler ülkemizde daha ender kullanılmaktayken, özellikle 4628 sayılı Elektrik Piyasası Kanunu'nun yürürlüğe girmesi ile yapımları hızlanmıştır. Fakat aynı zamanda hukuksal ve yönetsel düzenlemelerin yoğun yapım çalışmalarının hızına yetişemediği, tesislerin yapım yeri seçiminde çevresel kısıtlamaların göz ardı edildiği ve dolayısıyla enerji üretimi konusunda beklenen ilerlemenin sağlanamadığı da son dönemde sıkça tartışılan konular arasındadır. Özellikle ikincil (mini-mikro) hidroelektrik potansiyeli henüz bütünüyle değerlendirilememiş olan ülkemizde, yenilenebilir enerjinin öneminin anlaşılmasına koşut olarak, KSKT'lerin öneminin ve yapımının artacağı göz önüne alındığında, konu özelinde mevzuat ve teknik yönlerden yoğunlaşmanın gerekliliği anlaşılmaktadır.

Anahtar Sözcükler: Küçük Su Kuvveti; Yenilenebilir Enerji; Yerel Enerji Araçları; Hidroelektrik Potansiyel; Elektrik Piyasası Kanunu

An Overview of the Small Hydropower Potential in Türkiye

Abstract: Small hydropower plants (SHPs) which are widely operated around the world by generating power to meet all of the requirements for *renewable*, *green* and *clean* energy, can be constructed utilizing of local sources like material and manpower and are relatively less affected by energy losses. Feasibility-studies and also their construction-works of SHPs have been accelerated rapidly after into coming force of the Electric Market Law No. 4628, while they were up to now rarely under operation in Türkiye. But at the same time, certain subjects are still under discussion focusing on legal and administrative arrangements, selection of localizations of the plants without considering environmental sensibilities, satisfactions of various construction attempts that they cause to delay of the realizations of the SHPs and consequently energy productions. Especially, in our country who's secondary energy productions from mini and micro

[1] Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli, E-Posta: onurabay@hotmail.com
[2] Pamukkale Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Denizli, E-Posta: obaykan@pau.edu.tr
[3] Pamukkale Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Denizli, E-Posta: mutluyasar@pau.edu.tr

plants have not yet been entirely determined and evaluated, so the speeding up of the discussions show a great necessity.

Keywords: Small Hydropower; Renewable Energy; Local Energy Instruments; Hydroelectric Potential; Electric Market Law *Of Türkiye*

1. GİRİŞ

Hidroelektrik santrallerin kurulu güce göre sınıflandırmada, kurulu gücü 10 MW'dan az olanlar "küçük su kuvveti tesisi" (KSKT) olarak adlandırılmaktadır. Enerji gereksinmesinin tamamının içbağımlı (enterkonnekte) sistemden karşılanmasının yol açtığı kayıplar göz önüne alındığında, yerel enerji üretim araçları, dolayısıyla hidroelektrik potansiyelin elverişli olduğu yerlerde de KSKT'ler öne çıkmaktadır. KSKT'ler aynı zamanda *yenilenebilir*, *yeşil* ve *temiz* enerji kavramlarının üçünün birden gerektirdiği koşulları sağladığından, çevresel etki değerlendirmelerinden ayrı tutulmayan hidroelektrik enerji üretiminde vazgeçilmez araçlar olma yolundadır (Çizelge 1). Yerel olanaklarla inşa edilerek işletmeye alınabilmeleri ise KSKT'lerin bir başka olumlu yanıdır.

Çizelge 1. Enerji üretiminin teknoloji gruplarına göre sınıflandırılmasında çevresel kısıtların durumu

Teknoloji		Motor/Türbin	Yenilenebilir	Yeşil	Temiz
Ana Grup	Alt Grup	Türü	Enerji	Enerji	Enerji
Hidroelektrik	Küçük su kuvveti tesisleri (<10 MW)	Su türbini	Evet	Evet	Evet
	Büyük su kuvveti tesisleri (>10 MW)	Su türbini	Evet	Hayır	Evet
Biyokütle	Organik maddelerden üretilen gaz	Gaz motoru veya gaz türbini	Evet	Evet	Hayır
	Çöplük gazı	Gaz motoru, gaz türbini, buhar türbini	Evet	Evet	Hayır
	Kanalizasyon gazı	Gaz motoru	Evet	Evet	Hayır
	Organik malzemenin yakılması	Buhar türbini	Evet	Evet	Hayır
	Çöplük malzemesinin yakılması	Buhar türbini	Evet	Evet	Hayır
Rüzgâr	-	Rüzgâr türbini	Evet	Evet	Evet
Güneş	Fotoelektrik (fotovoltaik)	-	Evet	Evet	Evet
	Termik	Buhar türbini	Evet	Evet	Evet
Jeotermal	-	Buhar türbini	Evet	Evet	Evet
Kömür	-	Buhar türbini	Hayır	Hayır	Hayır
Doğalgaz	-	Gaz motoru, gaz türbini, buhar türbini	Hayır	Hayır	Hayır
Nükleer	-	Buhar türbini	Hayır	Hayır	Evet

Amerika Birleşik Devletleri (ABD), Avrupa Birliği (AB) ve Çin Halk Cumhuriyeti'nde (ÇHC), KSKT'lerin sayıları ve toplam kurulu güçleri dikkate alındığında, özellikle *kırsal* kesimlere enerji sağlanmasında oldukça önemli bir yer tuttukları görülmektedir. ABD'de kırsal kesimin elektriğinin yaklaşık %91'i 1935 yılında kurulan Kırsal Kesim Elektrik Yönetimi (REA) aracılığıyla bir dere ya da ırmak kolu üstüne kurulan KSKT'den çevredeki köylere enerji sağlanması yöntemiyle üretilmekte, İtalya'da kırsal kesimin enerji gereksinmesi, kentsel ve endüstriyel elektrikten ayrı tutularak

karşılanmakta ve ÇHC'inde de büyük baraj inşa etmeden enerji üretmek için ırmakların akış hızından yararlanılmaktadır. Avrupa'da başta ESHA (European Small Hydropower Agency) olmak üzere, küçük su kuvveti üstüne politikalar geliştirilmesi için çalışan kurumlar bulunmakta; Finlandiya, Norveç, Avusturya, İsviçre, İsveç gibi ülkelerde de konu ile ilgili özelleşmiş organizasyonlar çalışmalar yapmaktadır. Türkiye'nin tam üye olmak için çaba gösterdiği AB'de, toplam KSKT sayısı 13.359, bunların toplam kurulu gücü ve yıllık enerji üretimleri de sırasıyla 10.149 MW ve 40.079 GWh iken, AB üyesi olmayan ülkelerdeki toplam KSKT sayısı 4.104, bunların toplam kurulu gücü ve yıllık enerji üretimleri de sırasıyla 2.468 MW ve 10.556 GWh'dir (Leckscheidt and Tjaroko, 2002). Avrupa'da 1000'den fazla KSKT'ye sahip ülkelere ilişkin bilgiler aşağıda verilmektedir (Çizelge 2).

Çizelge 2. KSKT sayısı 1000'den fazla Avrupa ülkeleri için değerler (Leckscheidt and Tjaroko, 2002)

Ülke	MW	GWh	Sayı	MW/Tesis
İspanya	1.548	5.390	1.056	1,47
İsviçre	757	3.300	1.109	0,68
Avusturya	848	4.246	1.110	0,76
Çek Cumhuriyeti	250	677	1.136	0,22
İsveç	1.050	4.600	1.615	0,65
İtalya	2.209	8.320	1.668	1,32
Fransa	1.977	7.100	1.700	1,16
Almanya	1.502	6.253	5.625	0,27

Türkiye'de ise KSKT'lerin daha önceden belli olanaklar çerçevesinde işletildiği, zamanla kullanımlarının azaldığı, fakat son dönemde yapımlarının yeniden ivme kazandığı görülmektedir. İşletmede olanlar yanında *kesin projesi*, *planlama raporu*, *master plan raporu* ve *ilk etüdü hazır* olan projelerden KSKT tanımına uyanlar dikkate alındığında, Türkiye'deki KSKT sayısının artacağı görülmektedir. Ayrıca AB mevzuatına uyum yasaları çerçevesinde çıkarılan 4628 sayılı Elektrik Piyasası Kanunu ile özel sektör şirketlerinin, kendiüretirlerin (otoprodüktör) ve kendiüretir gruplarının hidroelektrik enerji üretimi amaçlı santral inşa etmeleri, işletmeleri ve enerji arzları olanaklı kılınmıştır.

Fakat aynı zamanda hukuksal ve yönetsel düzenlemelerin bu yoğun yapım çalışmalarının hızına yetişemediği, tesislerin inşaat yeri seçiminde çevresel kısıtlamaların göz ardı edildiği ve dolayısıyla enerji üretimi konusunda beklenen ilerlemenin sağlanamadığı da son dönemde sıkça tartışılan konular arasındadır. Ayrıca aynı akarsu üstünde birden fazla KSKT ve barajın olduğu yerlerde de suyun paylaşımı konusunda sorunlar çıkabileceği olasılığı bulunduğundan, konuyla ilgili bilimsel çalışmaların artırılması gerektiği düşünülmektedir.

Bu çalışmada, hidroelektrik potansiyeli henüz bütünüyle değerlendirilememiş olan ülkemizde, yenilenebilir-temiz-yeşil enerjinin öneminin anlaşılmasına koşut olarak, KSKT'lerin de gündemdeki yerlerini koruyacağı göz önüne alındığında, konunun mevzuat, proje karakteristikleri, devlet tarafından veya tüzel kişilerce inşa ve işletme durumları ve uygulama yöntemlerine ilişkin önerilerde bulunulması amaçlanmıştır.

2. KÜÇÜK SU KUVVETİNİN TÜRKİYE'DEKİ GELİŞİMİ

Kalkınma için gerekli temel bileşenlerden biri olan enerji, ucuz, yeterli ve çevreye uyumlu biçimde üretilmek zorundadır. Potansiyelin uygun olduğu ülkelerde, fosil yakıtlara olan üstünlüğü ve yurtiçi olanaklardan yararlanılması sonucunda dışa bağımlılığın azaltılması gibi nedenlerle, hidroelektrik kaynaklardan enerji üretimi seçeneği ilk sıralarda gelmektedir. Geçmişe bakıldığında, Türkiye'de hidroelektrik enerji üretiminin hükümetlerden bağımsız bir devlet politikası olarak ilerlediği ve her dönemde özendirildiği görülmektedir.

Türkiye'nin brüt hidroelektrik potansiyeli (HEP) 433 bin GWh/yıl, teknik olarak değerlendirilebilir HEP 216 bin GWh/yıl, ekonomik HEP 126 bin GWh/yıl ve 2007 yılı hidroelektrik enerji üretimi 46 bin GWh/yıl'dır; ayrıca Türkiye'nin gerçek HEP değerinin resmi kurumlar tarafından hesaplanan 126 bin GWh/yıl'dan çok daha fazla, 190-200 bin GWh/yıl düzeyinde olduğu da bildirilmektedir (Önsoy ve diğ., 2009). Bu potansiyel yalnızca büyük su kuvveti tesisleri (BSKT) ile değil KSKT'leri ile de değerlendirilecektir.

Türkiye'de ilk hidroelektrik enerji üretimi 1902 yılında Tarsus'ta inşa edilen ve aynı zamanda bir KSKT olan 60 kW'lık bir tesiste yapılmıştır. KSKT'lerin daha sonra İller Bankası, DSİ (Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü), YSE, MKE Kurumu, Sümerbank, Etibank, Belediyeler, Tüccarlar Birlikleri ve özel kişiler/şirketler tarafından yaptırılmış oldukları; bir bölümünün sonradan TEK'e devredilmiş, bir bölümünün kendiüretir kuruluşlara bırakılmış; bir bölümünün de çeşitli nedenlerle zaman içinde işletme dışı kalmış oldukları görülmektedir. 1960'lı yıllara kadar Türkiye'de belli olanaklar çerçevesinde işletilen KSKT'ler, izleyen yıllarda başka birçok ülkede olduğu gibi, büyük boyutlu baraj ve hidroelektrik santrallerin inşasının hızlanması ile geri plana itilmiştir. Fakat hızla artan enerji istemi, büyük barajların işletmeye alınış aşamalarında karşılaşılan yatırım güçlükleri, çevresel kısıtlamalar ve zamansal boyut sonucu, hidroelektrik potansiyelin tümünden yararlanma zorunluluğu ortaya çıkınca, KSKT ile enerji üretimi yeniden önem kazanmaya başlamıştır.

"DSİ Tablo-1"e göre, Nisan 2010 itibariyle işletmede olan 74 adet KSKT bulunmaktadır. Bunların toplam kurulu gücü 192,95 MW, yıllık ortalama üretimi de 722,28 GWh'dir (Çizelge 3).

Çizelge 3. Türkiye'de küçük su kuvveti potansiyelinin proje düzeylerine göre dağılımı (DSİ Tablo-1)

Sıra no.	Durum	Sayı	Toplam Kurulu Güç (<=10 MW)	Toplam Ortalama Üretim (GWh)	Toplam Güvenilir Üretim (GWh)
1	İşletmede	74	192,95	722,28	287,00
2	İnşa Durumunda	8	45,45	227,56	151,00
3	Kesin Projesi Hazır	3	17,60	69,00	56,00
4	Planlama Raporu Hazır	63	309,64	1.392,12	436,80
5	Master Plan Raporu Hazır	29	149,84	680,70	355,35
6	İlk Etüdü Hazır	158	531,38	2.433,61	648,99
	TOPLAM	335	1.246,86	5.525,27	1.935,14

Bu değer Türkiye'nin elektrik enerjisi isteminin yaklaşık % 0,56'sına, toplam elde edilebilir hidroelektrik potansiyelin % 0,55'ine karşılık gelmektedir. Toplam potansiyelin % 0,17'sine karşılık gelen inşa durumundaki 8 adet KSKT'nin toplam kurulu gücü 45,45 MW, yıllık üretim kapasitesi ise 227,56 GWh/yıl'dır. Planlama aşamasındaki (kesin projesi hazır, planlama raporu hazır, master plan raporu hazır ve ilk etüdü hazır) toplam 253 adet KSKT ile 4.575,43 GWh/yıl'lık potansiyel değerlendirilecektir ki bu da ekonomik değerlendirilebilir potansiyelin % 3,51'ine karşılık gelmektedir. İnşa durumundaki ve planlama aşamasındaki KSKT'lerin tamamlanması ile üretilecek enerji 722,28 GWh/yıl'dan 5.525,27 GWh/yıl'a çıkacak ve böylece KSKT ile enerji üretiminde % 665 dolayında bir artış sağlanmış olacaktır.

Ayrıca KSKT'lerin toplam kurulu güçler bakımından tüm hidroelektrik santrallere oranının işletmedekiler için % 1,5; inşa durumundakiler için % 1,4; kesin projesi hazır olanlar için % 0,5; planlama raporu hazır olanlar için % 4,2; master plan raporu hazır olanlar için % 2,9 iken, ilk etüdü hazır olanlar için % 10,9 olduğu görülmektedir. Dolayısıyla planlama aşamasındaki, özellikle de ilk etüdü hazır KSKT'lerin tümü işletmeye alınabilse, bu alanda önemli bir atılımın sağlanacağı söylenebilir.

Türkiye'nin ekonomik olarak değerlendirilebilir küçük su kuvveti potansiyeli 19.300 GWh/yıl olarak verilmektedir (Punys and Laguna, 2005). Bu miktar toplam 126 bin GWh/yıl olarak hesaplanan ekonomik potansiyelin % 15,3'üne karşılık gelmektedir. İşletmede olan 74 adet KSKT ile yapılan yıllık 722,28 GWh'lik üretim ise 19.300 GWh/yıl'lık potansiyelin ancak % 3,7'sidir. İnşaat ve planlama aşamalarındaki tesislerle 5.525,27 GWh'ye çıkması öngörülen tutar ise bu potansiyelin % 28,6'sını oluşturacaktır.

3. 4628 SAYILI KANUN SONRASINDAKİ GELİŞMELER

1983 yılına değin Türkiye'de hidroelektrik enerji yatırımlarında, projelendirme, inşa ve işletme aşamalarında olduğu gibi, kamunun çok büyük bir ağırlığının olduğu görülmektedir. Fakat elektrik arzında istenen niceliğe ulaşılamaması ve kamu kaynaklarının yeni yatırımlar için yetersiz kalması sonucunda 3096 sayılı Kanun çıkarılmıştır. Yap-İşlet, Yap-İşlet-Devret, Yap-İşlet-İşletmeye Devam Et, İşletme Hakkı Devri ve kendiüretirlik gibi yeni modeller ortaya konarak bir anlamda kamu tekeli kaldırılmış ve sektör özel girişimcilere de açılmıştır. Buna karşın bu modeller ciddi bir planlama sürecinden geçirilmeden uygulamaya konulduğundan sektörde bir rekabet

ortamı oluşturulamadığı ve hidroelektrikte beklenen atılım sağlanamadığı gibi, 1990'lı yıllarda doğalgaz çevrim santrallerinin sayısının çoğaltılması ve dışalımın artırılması gibi nedenlerle, Türkiye enerjide belli ölçüde dışa bağımlı duruma gelmiştir.

Bu sonuçların değerlendirilmesi ile birlikte yeni çözüm yolları aranmış ve başka birçok alanda olduğu gibi enerji alanında da süren AB mevzuatına uyumlaştırma çalışmaları da dikkate alınarak 20/02/2001 tarih ve 4628 sayılı Elektrik Piyasası Kanunu çıkarılmıştır. Aynı zamanda Elektrik Piyasası Düzenleme Kurulu'nun da (EPDK) oluşturulduğu Kanun'un 1. Maddesi'nde yer alan, "Bu Kanunun amacı; elektriğin yeterli, kaliteli, sürekli, düşük maliyetli ve çevreyle uyumlu bir şekilde tüketicilerin kullanımına sunulması için, rekabet ortamında özel hukuk hükümlerine göre faaliyet gösterebilecek, mali açıdan güçlü, istikrarlı ve şeffaf bir elektrik enerjisi piyasasının oluşturulması ve bu piyasada bağımsız bir düzenleme ve denetimin sağlanmasıdır" anlatımı, Kanun'un amacını açıkça belirtmektedir. Burada elektrik üretiminin çevreye uyumlu biçimde üretilmesine ve özel sektörce sürdürülmesine vurgu yapılması dikkat çekici iki önemli noktadır.

04/08/2002 tarihli Elektrik Piyasası Lisans Yönetmeliği, 26/06/2003 tarihli hidroelektrik üretimi özel sektöre açan Yönetmelik, bu Yönetmelik'te değişiklik yapan ve süren DSİ projelerinin de özel sektörce tamamlanmasını sağlayan 25/05/2004 tarihli Yönetmelik, 18/05/2005 tarih ve 5346 sayılı yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik enerjisi üretimi amaçlı kullanımına ilişkin Kanun ve 4628 sayılı Kanun'un uygulanmasında karşılaşılan sorunları giderme amaçlı 09/07/2008 tarih ve 5784 sayılı Kanun ile mevzuat geliştirilmiştir (T.C Resmi Gazete). Böylece elektrik üretim hizmetleri EPDK yönetimine verilmekte, bu konudaki üretim hizmetleri özel sektöre açılmakta, üretim için bu tarihe kadar görev yapan devlet, elindeki işleri tamamladıktan sonra üretim işinden çekilmeyi planlamaktadır (Oğuz, 2009).

DSİ'nin internet sitesinde, Türkiye'nin Hidroelektrik Santral Projeleri Listesi Tablo-1'de; DSİ ve EİE tarafından geliştirilen ve Su Kullanım Anlaşması yapmak üzere şirketler tarafından başvurulabilecek hidroelektrik enerji projelerinin listesi Tablo-2'de; tüzel kişiler tarafından geliştirilen projeler listesi Tablo-3'te; inşaatı devam etmekte olup başvuru yapılabilecek HES projeleri Tablo-4'te; ikili anlaşmalar kapsamından çıkarılan, başvurulan ve başvurulabilecek HES projeleri listesi Tablo-5'te; Yap-İşlet-Devret kapsamından çıkarılan, başvurulan ve başvurulabilecek HES projeleri listesi Tablo-6'da; başvurulan ve başvurulabilecek grup hidroelektrik santral projeleri listesi Tablo-7'de yayımlanmaktadır. Bu "Tablo"larda yer alan KSKT sayıları Çizelge 4'te verilmektedir. Fakat 23/02/2010 itibarıyla toplam 1214 adet proje içeren ve mevzuatın önemli bir bölümünü oluşturan Tablo-3'te kurulu güçler projelere göre ayrı ayrı belirtilmediği için, kurulu gücü 10 MW'den küçük olan tesisler Tablo-3'te bu aşamada belirlenememiştir.

Çizelge 4. DSİ "tablo"larında yayımlanan KSKT sayıları (Tablo-3 dışında)

DSİ Tablo No	Güncelleme Tarihi	Sayı	Toplam Kurulu Güç (<=10 MW)	Toplam Ortalama Üretim (GWh)	Toplam Güvenilir Üretim (GWh)
2	15/04/2010	162	629,47	2.919,87	1.107,62
4	25/05/2009	2	20,00	85,00	59,00
5	01/02/2010	1	10,00	59,00	24,00
6	08/08/2006	-	0	0	0
7	20/04/2010	3	16,19	75,19	8,35
	TOPLAM	168	675,66	3.139,06	1.198,97

Buna göre, özellikle DSİ ve EİE tarafından geliştirilen ve Su Kullanım Anlaşması yapmak üzere şirketler tarafından başvurulabilecek hidroelektrik enerji projelerinin yayımlandığı DSİ Tablo-2'ye önemli sayıda başvuru olduğu görülmektedir. Bu kapsamdaki toplam 629,47 MW Kurulu gücündeki 162 adet KSKT projesinden yıllık 2.919,87 GWh'lık bir enerji üretimi öngörülmektedir. Çeşitli düzeylerdeki bu projelerin sayı olarak % 1,9'unun kesin projesi hazır; % 8,6'sının planlama raporu hazır; % 10,5'inin master plan raporu hazır; %13,0'ünün ön inceleme raporu hazır ve % 66,0'sının ilk etüdü hazırdır (Çizelge 5).
Ayrıca 15/04/2010 itibarıyla, DSİ Tablo-2'de toplam 339 olarak verilen tüm hidroelektrik santraller içinde KSKT'ler sayı bazında % 47,8; kurulu güç bazında % 6,2 ve ortalama üretim bazında % 7,6'lık paya sahiptir. İlk etüdü hazır 107 adet KSKT'nin de ilk etüdü hazır toplam 144 adet hidroelektrik santralin sayı bazında % 74,3'ünü oluşturması, Türkiye'de küçük su kuvvetinin geleceği hakkında yeterince fikir vermektedir (Çizelge 5).

DSİ ve EİE tarafından geliştirilen ve Su Kullanım Anlaşması yapmak üzere şirketler tarafından başvurulabilecek KSKT projeleri gerçekleştirilebilirse, gerçekleştirilecek yıllık ortalama 2.919,87 GWh tutarındaki üretim, 19.300 GWh/yıl olarak verilen Türkiye'nin ekonomik olarak değerlendirilebilir küçük su kuvveti potansiyelinin %15,1'ine karşılık gelecektir.

Çizelge 5. DSİ ve EİE tarafından geliştirilen ve Su Kullanım Anlaşması yapmak üzere şirketler tarafından başvurulabilecek KSKT projelerinin listesi (DSİ Tablo-2)

	Sayı	Top. Kurulu Güç (<=10 MW)	Toplam Ort. Üretim (GWh)	Top. Güvenilir Üretim (GWh)
Kesin Projesi Hazır	3	17,56	69,50	56,50
Planlama Raporu Hazır	14	88,10	413,01	210,18
Master Plan Raporu Hazır	17	85,34	417,23	195,16
Ön İnceleme Raporu Hazır	21	106,75	522,99	236,07
İlk Etüdü Hazır	107	331,72	1.497,14	409,71
TOPLAM	162	629,47	2.919,87	1.107,62

4. SONUÇLAR

Yerel/bölgesel ve kırsal enerji gereksinmesine hizmet etmeleri, enerjinin içbağımlı sistemden karşılanmasının yol açtığı kayıplardan etkilenmemeleri, bu amaçla dünyanın

gelişmiş pek çok ülkesinde işletmede olmaları, hidroelektrik enerjinin *yenilenebilir* ve *temiz* oluşuna ek olarak aynı zamanda *yeşil enerji* kapsamına girmeleri, yerel olanaklarla inşa edilerek işletmeye alınabilmeleri, KSKT'lerin olumlu yanları olarak ortaya çıkmaktadır.

Türkiye'de inşa edilen/edilmiş büyük barajların işletilmesinde karşılaşılan sorunlar arasında; sürüntü maddesi taşınımını durdurarak deltalarda kıyı aşınımına yol açmaları (Kızılırmak deltası); akışaşağısına gidecek suyu kısıtlamaları (Eşmekaya sazlıkları); su gereksinmesi fazla bitkilerin tarımını özendirmeleri (Konya Kapalı Havzası); insanları bir biçimde göçe zorlamaları (Halfeti); bitki varlığı *(flora)* ve hayvan varlığına *(fauna)* etkileri; büyük yatırım ve yapım giderleri ve iklim nedeniyle uzun yapım süreleri sayılabilir.

Büyük hazneye sahip barajlar, hidroelektrik enerji üretimi amacıyla da işletildiklerinden, Türkiye'nin hidroelektrik enerji potansiyelinin tümünün değerlendirilmesinde KSKT'ler de BSKT'ler ile birlikte planlamalarda göz önünde bulundurmalıdır. Türkiye'nin henüz ekonomik gözükmeyen 216 bin GWh/yıl'lık hidroelektrik enerji potansiyeli, teknolojide hızla artan gelişmelere koşut olarak, gelecekte işletilme olanağı bulacağına ilişkin değerlendirilmelerde bulunulmaktadır (Önsoy ve diğ., 2009). Bu doğrultuda yapılacak araştırmalarda ve çözümlemelerde KSKT'ler göz ardı edilmemelidir.

4628 sayılı kanun ve mevzuatı sonrasında yapılan çalışmalarda KSKT'lere de yer verilmiş olması umut vericidir. Her ne kadar KSKT'ler özel sektörce inşa edilecekse de kamunun etkili bir biçimde denetim yapması gerekmektedir. Ancak bu kapsamdaki çok yoğun iş yükü sonucu kamu kurumlarının karşılaştığı yetişmiş teknik eleman yetersizliği sorunu ön rapor ve fizibilite raporlarının incelenmesinde gecikmelere yol açmaktadır. Dolayısıyla kamu kurumlarının sorunlarının çözülmesi hidroelektrik potansiyelin geliştirilmesine ivme kazandıracaktır.

Bazı bölgelerde su kuvveti tesislerinin inşasında çevresel kısıtlamalara uyulmadığı ileri sürülmektedir. Türkiye'de hidroelektrik enerji potansiyelinin geliştirilmesinin devlet politikası olduğu da düşünülürse, yenilenebilir ve yerli araçlar olan su kuvveti tesislerinin inşasının süreceği görülmektedir. Bu tür bölgelerde KSKT'lerin işletilme seçiminin uygun olduğu düşünülmektedir. Yerel halka KSKT'lerin olumlu yanlarının anlatılması, doğal çevreye ve yaşamlarına zararlı olmayacağı konusunda "halktan onay alınması" ve halkın da sürece katılması konusunda girişimlerin artması yerinde olacaktır.

Son yıllarda yapılan çalışmalarda, sulama barajlarına, türbin/jeneratör eklentinin yapılması ve böylelikle bu barajların aynı zamanda HES'lere dönüştürülmesi önerilmektedir (Akbay Önal B. ve diğ., 2007; Akbay Önal B. ve diğ., 2008). Bu konuda yapılmış bazı dönüşümler halen işletmededir. Ayrıca Türkiye'de sulama yapılan çok sayıda bağlama ve küçük baraj bulunduğu dikkate alınarak bu tür bir çalışma "hangi sulama barajları hangi yöntemlerle KSKT'lere dönüştürülebilir?" sorusuna yanıt aranacak biçimde geliştirilebilir.

Sulama birliklerinin, ve hatta yerel yönetimlerin, KSKT ihalelerine katılmaları ve işletmeci olabilmeleri için yasal ve yönetsel düzenlemeler yapılması yerel halka önemli bir ekonomik destek sağlayabilir. Özellikle önemli bir küçük su kuvveti potansiyeli olan

ve aynı zamanda kırsal kalkınmanın çok önem taşıdığı Doğu Karadeniz Bölümü, Doğu Anadolu Bölgesi ve Güneydoğu Anadolu Bölgesi gibi yerlerde tesis yatırımlarını yapacak, işletecek ve pazarlayacak yerel organizasyonlar kurulup ekonomik ve teknik olarak desteklenebilir. Bu durumun bir *kırsal kalkınma'*yı başlatabileceği ve bölgelerden dış göçü önleyecek katkılar sağlayacağı düşünülebilir.

İşletmedeki uygun barajların pompaj biriktirmeli santraller haline dönüştürülmeleri ise ayrı ve yakında gündemde yerini alabilecek bir konudur. Yapım, proje ve araştırma aşamasındaki barajların projeleri böyle bir dönüşümü sağlayacak biçimde revize edilebilir.

Eskiden işletmeye alınmış ve fakat içbağımlı ulusal sisteme bağlanmış olmaları, donanım eksikliği ve işletme giderlerinin karşılanamamış olması gibi nedenlerle işletmesi bırakılmış KSKT'lerin sadece kırsal enerji sağlayacak biçimde yeniden işletmeye alınabilmesi için çalışmalar yapılabilir. Bunun dışında küçük akarsuları potansiyel oluşturan, ulusal şebekeden ayrılması olanaklı köyler varsa bunlar belirlenerek enerjileri kendi akarsularından sağlanabilir.

Yeni tesislerin elektromekanik donanımları ve işletme süreçleri ile ilgili yazılımları yurtiçinden sağlanacak nitelikte olduğundan bu yolla da yerel olanaklar kullanılabilir.

Kuşkusuz ki anılan değerlendirmelerin ve çözümlemelerin yapılması oldukça kapsamlı, çokboyutlu, aşamalar halinde gerçekleştirilebilecek ve en önemlisi Türkiye koşullarına uyularak sürdürülmesi gereken işlerdir. Bu nedenle KSKT'ler konusunda bir atılım yapılmak isteniyorsa, her şeyden önce ulusal/yerel koşullara uygun bir bilgi birikimi sağlanması gerekmektedir. Bunun için projelendirme, inşaat ve işletme aşamalarını kapsayan hem akademik hem sektörel bazdaki çalışmaların sayısı hızla artırılmalıdır.

5. KAYNAKLAR

Akbay (Önal) B., Baykan N. O., Yaşar. M., "Türkiye'deki Barajların Fiziksel İlişkilerine Dayanarak Hidroelektrik Gücün Arttırılmasına İlişkin Bir Yaklaşım", III. Ulusal Su Mühendisliği Sempozyumu, DSİ Genel Müdürlüğü, Gümüldür/İzmir, 565-576, 2007.

Akbay (Önal) B., Baykan N. O., Yaşar M., Abay O., "An Approach for Increasing Hydroelectric Capacity Based on Physical Relations of Dams in Türkiye", 5th International Architecture and Engineering Symposiums - 5th International Symposium on Civil and Environmental Engineering, European University of Lefke, Lefke/Turkish Republic of Northern Cyprus, 18-23, 2008.

http://www.dsi.gov.tr/skatablo/Tablo1.htm

http://www.dsi.gov.tr/skatablo/Tablo2.htm

Leckscheidt J., Tjaroko T. S., "Overview of Mini and Small Hydropower in Europe" ASEAN Centre for Energy, Jakarta, Indonesia, 2002.

Oğuz S., "Yenilenebilir Enerji ve Küçük Hidroelektrik Santraller", II. Ulusal Baraj Güvenliği Sempozyumu ve Sergisi, Baraj Güvenliği Derneği, Eskişehir, 743-753, 2009.

Önsoy H., Akpınar A., Kömürcü M. İ., Kankal M., "Türkiye'de Hidroelektrik Enerji Alanındaki Gelişmeler ve 4628 Sayılı Yasa", IV. Ulusal Su Mühendisliği Sempozyumu, DSİ Genel Müdürlüğü, İstanbul, 501-510, 2009.

Punys P., Laguna M., "Small Hydropower Has Much to Offer", Renewable Energy World, May-June 2005: 74-79.

Su Hukuku Öğretileri

Nesrin Baykan [1], Onur Abay [2], N. Orhan Baykan [3], Mutlu Yaşar [4]

Özet: Su sağlanımının su kullanıcılarının gereksinmelerini karşılamada yetersiz kaldığı bölgelerde su oldukça önemli bir "değer"dir. Tüm dünyada suyu paylaşmak, verimini arttırmak ve niteliğini korumak için hukuk çerçevesinde kurallar koyulmaya çalışılmıştır. Hukuksal sistemler su kıtlığı görüldüğünde su hakkına kimin sahip olacağını belirleme amacını da taşımaktadır. Su hukuku, "kıyıdaşlık öğretisi" ve "geçmişten gelen (kadim) hak öğretisi" olarak iki öğreti (doktrin) üstünde biçimlenmiştir. Türkiye'de de başta Anayasa ve kanunlar olmak üzere suyla ilgili pek çok hukuksal düzenleme yapılmıştır. Fakat benzer yetkilerin farklı kurumlara verilmesi ve farklı kanunların aynı konuyu hükme bağlaması nedenleriyle Türkiye'nin su hukukunun karışık bir yapısı olduğu görüşü egemen duruma gelmiştir. Ayrıca AB'ye (Avrupa Birliği) aday konumdaki ülkemizde birçok uyumlaştırma çalışması sürdürülmekte, bu çalışmaların su hukuku boyutu SÇD (Su Çerçeve Direktifi) kapsamında gerçekleştirilmektedir. Bu çalışmayla su hukuku öğretileri ışığında, su politikalarının günümüzdeki etkisinin ortaya konması, ülkemizin ulusal su hukukunun incelenmesi ve ayrıca uluslararası hukuk-ulusal hukuk arakesiti için iyi bir örnek oluşturan sınırgeçen (sınıraşan) sularımızın durumunun değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Bir başka boyut olarak da, varolan Türkiye su hukukunun SÇD ile uyumu, SÇD'nin sağlayacağı olanaklar ve uygulanabilirliği araştırılmıştır.

Anahtar Sözcükler: Su Hukuku; Su Kaynakları Yönetimi; Öğreti; Uluslararası Sular; Avrupa Birliği Su Çerçeve Direktifi (SÇD)

Water Law Doctrines

Abstract: Water is an important "worth" in the regions where demand of the water consumers is met insufficiently. Rules were tried to be constituted with aims to share the water, to increase its efficiency and to protect its quality within the framework of law all over the world. Legal systems also aim to determine who will have the right to possess the water in a case of water scarcity. Water policy has been formed on two doctrines called "riparian doctrine" and "appropriation doctrine". Many legal regulations for water have been carried out in Turkey as well which are led by the Constitution and laws. But a recent opinion is more dominant emphasizing water law of

[1] Pamukkale Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Denizli, E-Posta: nbaykan@pau.edu.tr
[2] Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli, E-Posta: onurabay@hotmail.com
[3] Pamukkale Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Denizli, E-Posta: obaykan@pau.edu.tr
[4] Pamukkale Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Denizli, E-Posta: mutluyasar@pau.edu.tr

Turkey is chaotic because similar charges have been given to different authorities and different laws solve the same subject. Moreover in Turkey, a candidate country for the EU, many harmonization processes are under way and water law dimension of these works are carried out within content of the EU Water Framework Directive (WFD). In this study, under the light of water law doctrines, it is aimed to determine how water policies affect water resources management today, to investigate the national water law of our country, and, moreover, to assess the case of our transboundary watercourses which are fine examples for the intersection between national and international watercourses. As another dimension, the harmonization of existing Turkish water law to WFD and possibilities and applicability of WFD have been investigated.

Keywords: Water Law; Water Resources Management; Doctrine; International Watercourses; European Union Water Framework Directive (WFD)

1. GİRİŞ

Su, bir bireyin varlığından bir ulusun politikasına değin her ölçekte yaşamı sürdürmedeki üstün rolü nedeniyle, toplumsal ve ekonomik gelişmeler için önem taşıyan bir kaynak olduğundan tarih boyunca denetim altında tutulmak istenmiştir. Tarihte bu amaçla inşa edilen sulama ve taşkın denetim sistemleri, içme suyu ve atıksu şebekeleri, biriktirme yapıları uygarlık düzeyini belirleyecek ölçüde önem kazanmıştır. Bu durumun bir sonucu olarak da suyu paylaşmak, verimini artırmak, sonraları da niteliğini (kalitesini) korumak için hukuk çerçevesinde kurallar koyulmaya çalışılmıştır. Uygarlığın gelişimi içinde su hukuku, "kıyıdaşlık öğretisi" ve "geçmişten gelen (kadim) hak öğretisi" olarak iki öğreti (doktrin) üstünde biçimlenmiş; değişen bilimsel, toplumsal, uluslararası hukuksal koşullar sonucu bu öğretiler de tartışmaya açılmıştır.

Su sağlanımının potansiyel su kullanıcılarının gereksinimlerini karşılamada yetersiz olduğu bölgelerde su oldukça önemli bir "değer"dir. Hukuksal sistemler su kıtlığı görüldüğünde su hakkına kimin sahip olacağını belirleme amacını da taşımaktadır. Bu bağlamda uluslararası su hukuku devreye girmektedir. Türkiye'nin kuzeybatı, kuzeydoğu ve güneydoğu kesimlerindeki akarsular aracılığı ile kıyıdaş olduğu ülkelerin herbiri ile ilişikleri farklı düzeyde ve duyarlılıktadır. Başta Fırat ve Dicle nehirleri olmak üzere su hukukuna ilişkin düzenlemeler de bu duyarlılıklar dikkate alınarak yapılmaya çalışılmıştır ve dış ilişkilerde belirleyici oldukları konular vardır. Dolayısıyla uluslararası su hukuku kavramı ülkemizi yakından ilgilendirmektedir.

Öte yandan ülkemizin ulusal su hukukunu düzenlemek için yetkilendirilmiş birçok kurum ve çeşitli amaçlarla çıkarılmış birçok kanun, yönetmelik ve tebliğ bulunmaktadır. Benzer yetkilerin farklı kurumlara verilmesi ve farklı kanunların kimi zaman aynı konuyu hükme bağladığı bu karmaşık yapının verimli hizmet sunulmasını ve bütünleşik havza yönetimi gibi çağcıl tekniklere uyum sağlanıp bunlar için gereken altyapının kurulmasını yavaşlattığı yönündeki görüşler son dönemlerde tartışma alanı bulmuştur.

Türkiye su hukukunu ilgilendiren üçüncü kavramın Avrupa Birliği Su Çerçeve Direktifi (SÇD) olduğu görülmektedir. Çıkarılan direktifler arasında en önemlisi olan SÇD, su kaynaklarının korunmasında bütünleşik yaklaşım getirmekte, kaynak iyileştirilmesi ve sürdürülebilir kullanım olanağı sağlamakta, Türkiye'yi yakından ilgilendiren "nehir

havzası yönetim planı" tanımlamasını ve sınırgeçen sular konusunda düzenlemeleri getirmektedir. AB adayı olan ülkemizde diğer alanlarda olduğu gibi su hukuku için de uyumlaştırma çalışmaları sürdürülmekte, bu çalışmalar SÇD kapsamında gerçekleştirilmektedir.

Bu çalışmada su hukuku öğretilerinin günümüze etkisinin ortaya konması, ülkemizin ulusal su hukukunun incelenmesi ve ayrıca uluslararası hukuk-ulusal hukuk arakesiti için iyi bir örnek oluşturan sınırgeçen sularımızın durumunun değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Bir başka boyut olarak da AB'ye aday durumdaki Türkiye için SÇD'nin varolan mevzuatla uyumu, sağlayacakları ve uygulanabilirliği araştırılmıştır.

2. SU HUKUKUNDAKİ TEMEL ÖĞRETİLER

2.1. Kıyıdaşlık Öğretisi

Günümüz su hukuku, kıyıdaşlık öğretisi ve geçmişten gelen (kadim) hak öğretisi olarak iki asal öğreti üstünde biçimlenmiştir. Oldukça katı kurallar getiren kıyıdaşlık öğretisi kurak ülkelerde yerini geçmişten gelen (kadim) hak öğretisine bırakmıştır.

Kıyıdaşlık öğretisi İngiltere ve Fransa gibi görece sulak, dolayısıyla su paylaşım sorunlarının daha az olduğu ülkelerde gelişmiştir. Bu öğretiye göre akarsuyun niteliğini ve niceliğini değiştirmeye kimsenin hakkı bulunmamaktadır. Fakat zamanla bu katı kısıtlama "suyu paylaşan, başkalarına zarar vermemek kaydı ile suyu kullanabilir" biçimine dönüşmüştür. Kıyıdaşlık öğretisinin asal ilkeleri şu biçimde sıralanabilir:

1) Kıyıdaşlık öğretisi akarsu kenarında bulunan araziler ile sınırlandırılmıştır.
2) Akarsu kenarında bulunan arazinin mülkiyeti bölünür ve bir bölümü akarsu kenarında kalmazsa bu bölüm kıyıdaşlık haklarını yitirir.
3) Kıyıdaş, akarsuyun doğal akışlarından yararlanabilir, fakat akışları bir haznede biriktiremez.
4) Kıyıdaşlık arazinin mülkiyetine bağlı olduğundan arazi devredildiğinde o da devredilmiş sayılır.
5) Akışların yetersiz olduğu dönemlerde kıyıdaşlara su tahsisi önceden kullandıkları oranlarda ve içme ve kullanma, sulama, endüstri ve dinlence (rekreasyon) önceliği gözetilerek yapılır.

2.2. Geçmişten Gelen (Kadim) Hak Öğretisi

Kıyıdaşlık öğretisi su biriktirilmesine ve kıyıdaş olmayanların su kullanmasına olanak tanımadığından görece kurak ülkelerde geçerli olmamıştır. Güney Avrupa'da Roma hukukuna dayalı olarak geçmişten gelen (kadim) hak öğretisi gelişmiştir. Geçmişten gelen (kadim) hak öğretisinin asal ilkeleri de şu biçimde sıralanabilir:

1) Kullanıcılara kanunlar ile belirlenen yöntemler çerçevesinde su tahsis edilir.
2) Su kıtlığı görülen dönemlerde ilk hak sahibi gereksinimi kadar su kullanır. Diğer hak sahipleri kayıtlı olan öncelik sırasına göre kalan suyu kullanır. Bu durumda bazı hak sahiplerine su kalmayabilir.
3) Su sadece yararlı amaçlar doğrultusunda kullanılabilir. Bu hakkı kötüye kullananların hakkı geri alınabilir.
4) Hak sahibi, diğer kullanıcılara zarar vermemek koşulu ile, suyun çevirme noktasını değiştirebilir; başka yerde ve başka amaçlar doğrultusunda kullanabilir ve biriktirebilir.
5) Bu hak arazi mülkiyeti hakkından bağımsız olarak devredilebilir.

Günümüzde su, nüfus artışına bağlı olarak kişi başına kullanılabilir niceliğin azalması, teknoloji ve kentleşme sonucu gereksinmelerin çeşitlenmesi, su kaynaklarının çevresel kirlenmeden yeterince korunamaması ve küresel iklim değişikliği gibi nedenlerle, tüm dünyada hızla nitelik ve nicelik yitirmekte ve gerekli istemi karşılamaktan uzaklaşmaktadır. Bu süreçlerin bir sonucu olarak geçmişten gelen (kadim) hak öğretisi de işlevini yitirmektedir. Hukuk sistemlerinde *"kişilerin su kullanımı ile ilgili haklarını mülkiyet hakkı değil yararlanma hakkı olarak kabul etme"* eğilimi ağırlık kazanmaktadır.

3. TÜRKİYE'NİN ULUSAL SU HUKUKU

3.1. Genel Yapı

Ülkemizin su hukuku, diğer alanlarda olduğu gibi, öncelik sırasıyla Anayasa, yasalar, yasa hükmünde kararnameler, yasa hükmünde kabul edilen uluslararası sözleşmeler, tüzükler, yönetmelikler, tebliğler ve kararlar ile düzenlenmiştir. Bu bölümde Anayasa ve kanunlar aracılığı ile yapılan düzenlemeler ele alınacaksa da öncelik sıralamasında kanunlardan sonra gelen düzenleyicilerin varlığı unutulmamalıdır.

Anayasanın 168. maddesindeki "tabii servetler ve kaynaklar devletin hüküm ve tasarrufu altındandır" anlatımı ile su hukukunun temeli oluşturulmuştur. Suyun tüm topluma ait olduğu ve herkesin sudan yararlanma hakkı bulunduğu belirtilmiş, aynı maddede "…bunların aranması ve işletilmesi hakkı devlete aittir. Devlet bu hakkını belli bir süre için gerçek ve tüzel kişilere devredebilir" anlatımına yer verilmiştir.

Anayasa'daki anlatımlardan sonra hukuk gereği düzenleyici nitelikte olan kanunlar işleyiş amaçlarına göre dört bölüme ayrılabilir. Bu bölümler ve kapsadıkları bazı kanunlar şunlardır:

- Sudan yararlanmak, suyun zararlarından sakınmak ve niteliğini korumak için yapılan hukuksal düzenleme çerçevesindeki kanunların bazıları:

a) 442 sayılı Köy Kanunu (1924)
b) 831 sayılı Sular Hakkında Kanun (1926)
c) 743 sayılı Türk Kanun-i Medenisi (1926)
d) 4721 sayılı Türk Medeni Kanunu (2001)
e) 1471 sayılı Belediye Kanunu (1930)
f) 2819 sayılı Elektrik İşleri Etüd Dairesi'nin Teşkiline Dair Kanun (1935)
g) 4373 sayılı Taşkın Sulara ve Su Baskınlarına Karşı Koruma kanunu (1943)
h) 927 sayılı Sıcak ve Soğuk Maden Sularının İstismarı ile Kaplıcalar Tesisatı Hakkında Kanun (1926)
i) 7478 sayılı Köy İçme Suları Hakkında Kanun (1960)

- Bölgesel ve genel idarelerin görev ve yetkilerini tanımlayan kanunların bazıları:

a) 6200 sayılı Devlet Su İşleri Umum Müdürlüğü Teşkilat ve Vazifeleri Hakkında Kanun (1953) (DSİ Genel Müdürlüğü 2007 yılında 3046 sayılı Kanunun 4060 sayılı Kanunla değişik 4. ve 3313 sayılı Kanunla değişik 10. maddeleri gereğince Çevre ve Orman Bakanlığı'na bağlanmıştır.)
b) 505 sayılı Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'nın Teşkilat ve Görevleri Hakkında Kanun (1985)
c) 2819 sayılı Elektrik İşleri Etüd İdaresi Teşkiline Dair Kanun (1935)
d) 2560 sayılı İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü Kuruluş ve Görevleri Hakkında Kanun (1981)
e) 3305 sayılı "2560 Sayılı İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü Kuruluş ve Görevleri Hakkında Kanunun 21, 23, Ek 4, 5inci Maddelerinde Değişiklik Yapılmasına Dair" Kanun (1986) (İZSU, ASKİ vb. kurumların kurulmasına olanak sağlamıştır.)

- Belediyelere su hizmetlerinde görev ve yetki veren kanunların bazıları:

a) 5216 sayılı Büyükşehir Belediyesi Kanunu (2004)
b) 1593 sayılı Umumi Hıfzıssıhha Kanunu (1930)
c) 4759 sayılı İller Bankası Kanunu (1945)

- Hidroelektrik Enerji ile ilgili kanunların bazıları:

a) 4628 sayılı Elektrik Piyasası Kanunu (2001) (Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu da bu kanunla kurulmuştur.)
b) 5624 sayılı Enerji Verimliliği Kanunu (2007)

- Su hukuku ile dolaylı ilgisi olan kanunların bazıları:

a) 2510 sayılı İskân Kanunu (1934)
b) 5516 sayılı Bataklıkların Kurutulması ve Bunlardan Elde Edilecek Topraklar Hakkında Kanun (1950)
c) 3202 sayılı Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü'nün Teşkilatı ve Görevleri Hakkında Kanun (1985) (Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü, 13/01/2005 tarih ve 5286 Sayılı, "Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğünün Kaldırılması ve Bazı Kanunlarda Değişiklik Yapılması Hakkındaki Kanun" ile 16 Mayıs 2005'te kapatılarak hizmetleri illerde İl Özel İdaresi bünyesine kaydırılmıştır.)
d) 3621 sayılı Kıyı Kanunu (1990) (T.C Resmî Gazete)

Görüldüğü üzere ülkemizin ulusal su hukukunu düzenlemek için yetkilendirilmiş birçok kurum ve çeşitli amaçlarla çıkarılmış birçok kanun, yönetmelik ve tebliğ bulunmaktadır.

3.2. Yerüstü Su Hukuku

Ülkemizde yerüstü su hukuku kapsamında sular: (1) denizler, göller ve akarsuları kapsayan *genel sular*; (2) kaynak sularını kapsayan *özel sular* olmak üzere iki başlık altında incelenmektedir.

Genel sular devletin tasarrufu altında olduğu için tüm halk bu sulardan yararlanma hakkına sahiptir. İlgili kanun maddelerinde bu sularda geçmişten gelen yararlanma hakkı olduğu, bu hakkın gereksinimden fazla ve komşulara zarar verecek biçimde kullanılamayacağı belirtilmiştir. Örneğin bir kimse genel sular kapsamındaki bir akarsudan sulama yaparken bir başka kimse aynı akarsuyun akışyukarısından aynı amaçla su çevirirse bu çevrilen su eskiden beri sulama yapanın (geçmişten gelen hakka sahip olanın) niceliğini azaltmamalıdır.

Özel sular pınar niteliği taşıyan kaynaklar olarak tanımlanmıştır. Bu suların toprağın bütünleyicisi olduğu, toprağın mülkiyeti ile birlikte edinilebileceği, sahibinin mülkiyet hakkı mutlak bir hak olduğundan bu hakkı, komşuluk hukuku/kamu yararı gibi bazı kısıtlamalar dışında, dilediği gibi kullanabileceği belirtilmiştir. Özel sular akışa geçtiğinde genel sular konumunda değerlendirilmektedir.

3.3. Yeraltısuyu Hukuku

Ülkemiz yeraltısuyu hukukunda iki önemli belirleyici 167 sayılı Yeraltı Suları Hakkında Kanun (1960) ve Yeraltı Suları Tüzüğü'dür (1961). "Kanun"da yeraltısuyu "yeraltındaki durgun ve hareketli bütün sular", akifer de "bünyesinde yeraltısuyu bulunan tabakalardır ki bu tabakanın bir noktasından su çekildiğinde bütün su kütlesine tesir edilmiş olur" biçiminde tanımlanmıştır. Kanuna göre yeraltısuyunun hüküm ve tasarrufu devlet adına DSİ tarafından yerine getirilmektedir. Buna göre, el ile açılacak kuyular dışında, açılacak kuyuların sayısı, yeri, derinliği ve diğer özellikleri ile çekilecek su miktarları DSİ tarafından kararlaştırılır ve belirlenir. Duyurulan yeraltısuyu işletme alanları dışında her arazi sahibi kendi arazisinde yeraltısuyu arama ve bulduktan sonra bunun kendine yetecek "yararlı gereksinim miktar"ını kullanma hakkına sahiptir. Yararlı gereksinim miktarı amaca göre ilgili bakanlıkların görüşünü alınarak DSİ tarafından kararlaştırılır ve belirlenir. Kanunda komşu "bitişik arazi sahibi veya aynı bölgede bulunan ve halin icaplarına göre bitişik arazi sahibi gibi aynı yeraltısuyu imkânlarından faydalanması lâzım gelen kimse" olarak tanımlanmıştır.

Yeraltı Suları Tüzüğü'nde arazisinde gereksinimleri için yeterli miktarda su bulunmayan veya bu suyu sağlaması için giderleri büyük olacak bir kimsenin komşu arazideki yeraltısuyundan yararlanabilmesi olanakları belirtilmiştir.

3.4. Suyun Niteliğinin Korunması Hukuku

1970'lere kadar su kaynaklarının geliştirilmesinde suyun yeri ve niceliği "belli bir gereksinimi karşılayacak su sağlanımı" kavramı temelinde değerlendirilmiştir. Nüfus artışı, teknoloji ve kentleşme sonucu gereksinmelerin çeşitlenmesi ve küresel iklim

değişikliği gibi nedenlerle 1980'li yılların başında çevre kirliği sorunlarının ortaya çıkması ile bu kavrama "su niteliğinin (kalitesinin) korunması" da eklenmiştir (Abay, 2008). Su niteliğinin korunması içme ve kullanma suyunun gerekli teknik koşulları sağlaması, sanayileşmenin getirdiği akarsu/göl kirliliğinin önlenmesi, sanayi bölgelerinde su arıtım tesislerinin işlerliğinin artırılması, su kaynaklarını tehdit eden noktasal ve alansal kirleticilerin denetlenmesi gibi çevresel süreçleri kapsamaktadır. Suyun niteliğinin korunmasının hukuksal yapısı, su niteliğinde belirleyici olan etmenlerin cinsinin çokluğu ve bunların dağılımının karmaşıklığı nedeniyle yerüstü/yeraltı su hukukuna göre daha kapsamlıdır.

Ülkemizde bu konudaki birincil belirleyici Çevre Kanunu'dur (1983). Bu kanuna bağlı olarak çıkarılmış iki önemli yönetmelik Su Kirliliği Kontrolu Yönetmeliği (1988) ve Çevresel Etki Değerlendirmesi Yönetmeliği'dir (1997):
1. Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği: Yerüstü/yeraltı su kaynakları potansiyelinin her türlü kullanım amacı çerçevesinde korunmasını, kullanımlarının en iyi biçimde sağlanmasını, su kirliliğinin önlenmesini, su kirliliğinin denetimi için gereken hukuksal ve teknik esasların ortaya konmasını ve bunların ekonomik ve toplumsal kalkınma erekleri ile uyumlu bir biçimde gerçekleştirilmesini amaçlamaktadır. Kapsamı oldukça geniş olan bu yönetmelikte tanımlar ve genel ilkeler ortaya konmuş, su ortamlarının nitelik sınıflandırılması, yeraltısuyunun ve deniz suyunun sınıflandırılması ve nitelik ölçütlerinin belirlenmesi, su niteliğine ilişkin izlence esasları ve yasaklar, atıksu boşaltım ilkeleri-boşaltım izni esasları ve atıksu altyapı tesislerindeki uygulama esasları, kıtaiçi su kaynaklarının sınıflarına göre nitelik ölçütleri kurallara bağlanmıştır. Hukuksal düzenlemeyi tamamlama amacıyla Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği altında çıkarılan tebliğler de: İdari Usuller Tebliği (1989), Suda Tehlikeli ve Zararlı Maddeler Tebliği (1989), Numune Alma ve Analiz Metodları Tebliği (1991), Teknik Usuller Tebliği (1991) dir.

2. Çevresel Etki Değerlendirmesi Yönetmeliği: Turizm, sanayi, tarım vb. alanlardaki etkinliklere ve baraj, HES, karayolu gibi büyük ölçekli inşaatlara izin, ruhsat ve lisans verilmesi için etkinliğin doğal ortam üzerindeki etkilerinin belirlenmesi amacıyla kapsamlı bir "çevresel etki değerlendirmesi" (ÇED) çalışması yapılması zorunluluğu bu yönetmelik ile getirilmiştir. Anılan etkinliklerin bitki varlığı *(flora)* ve hayvan varlığına *(fauna)* olduğu kadar su kaynaklarına olası etkilerinin saptanması ÇED çalışmasının önemli bir bölümünü oluşturmaktadır.

Hukuk sistemimizde yerüstü/yeraltı su niteliğinin ve su ürünlerinin korunması doğrultusunda çeşitli konularda kural koyan diğer düzenleyiciler şunlardır:

1) 1593 sayılı Umumi Hıfzıssıhha Kanunu (1930)
2) 3998 sayılı Mezarlıkların Korunması Hakkında Kanun (1994)
3) 1380 sayılı Su Ürünleri Kanunu (1971)
4) Su Ürünleri Tüzüğü (1973)

Bilim ve teknolojiye koşut olarak sanayileşmenin getirdiği yeni kimyasallar ve kirleticiler ve bunların sucul *(aquatic)* yaşama etkileri nedeniyle kanun, yönetmelik ve tüzüklerde bunlara ayak uyduracak hızlı bir değişime gereksinim duyulmaktadır.

4. ULUSLARARASI SU HUKUKU

4.1. Tanımlar

Geçtiğimiz yüzyılın başlarına kadar uluslararası su hukuku ve bağlı kavramlarının çağcıl hukukta içinde gereken yeri alamamış olduğu bir gerçektir. Dünyada değişen koşullar sonucunda ülkelerin kendi içinde olduğu gibi uluslararası alanda da suya ilişkin hukuksal tanımlamalar yapma gereği ortaya çıkmıştır. Uluslararası su hukuku ile ilgili bazı kavramların tanımları şöyledir:

Uluslararası su: İki kıyısı veya akışaşağısı ile akışyukarısı iki ayrı devletin sınırları içinde kalan, iki devletin sınırını çizen sulardır. Örneğin Fırat nehri uluslararası sudur.
Talveg hattı: Uluslararası suların paylaşım sınırını belirlemek için esas alınan orta çizgidir.
Sınıroluşturan su: Üçüncü bir ülkenin kullanımına uygun ve açık olmayan uluslararası sulardır. Örneğin Meriç nehri Türkiye ile Yunanistan arasında sınıroluşturan sudur.
Sınıraşan su: Bir ülkeden doğan ve bu ülke sınırları içinde aktıktan sonra bir veya daha çok ülkenin sınırlarını aşarak akmayı sürdüren sulardır. Örneğin Fırat nehri sınırgeçen (sınıraşan) sudur.
Kıyıdaş ülke: Uluslararası suların kıyısında bulunan ülkelerdir. Örneğin Fırat nehri için Türkiye, Suriye ve Irak birbirleri ile kıyıdaş ülkelerdir.
Yukarıkıyıdaş ülke: Sınırgeçen suların akışyukarısındaki havzada bulunan ülkelerdir. Örneğin Fırat nehri için Türkiye Suriye'nin yukarıkıyıdaş ülkesidir.
Aşağıkıyıdaş ülke: Sınırgeçen suların akışaşağısındaki havzada bulunan ülkelerdir. Örneğin Fırat nehri için Suriye Türkiye'nin aşağıkıyıdaş ülkesidir (Avcı, 2002).

4.2. Su Hukuku Açısından Yaklaşım

Dünyada 260'tan fazla akarsu havzası iki veya daha fazla sayıda ulus tarafından paylaşılmaktadır (Çizelge 1) (Gleick, 2005). Bu nedenlerle ülkeler arasında özellikle su tahsisi konusunda anlaşmazlıklar görülebilmektedir. Uluslararası havzalar olarak tanımlanan bu havzalardan yararlanma amacıyla ülkeler arasında yapılmış 300 civarında anlaşma bulunmaktadır. 2004 yılı sonunda bazı önemli uluslararası akarsu havzalarının kapsadığı devlet sayısı Çizelge 2'de verilmektedir.

Çizelge 1. Uluslararası akarsu havzalarının kıtalara göre dağılımı (Gleick, 2005)

Kıta	Uluslararası Havza Sayısı
Afrika	60
Kuzey ve Orta Amerika	39
Güney Amerika	38
Asya	53
Avrupa	71
TOPLAM	261

Çizelge 2. 2004 sonunda bazı önemli uluslararası akarsu havzalarının kapsadığı devlet sayısı* (Gleick, 2005)

Uluslararası Havza	Kapsadığı Devlet Sayısı	Uluslararası Havza	Kapsadığı Devlet Sayısı
Mississippi	2	Ganj-Brahmaputra-Meghna	6
Colorado	2	Ürdün**	6
Amazon	8	Kura-Aras	6

La Plata	5	Fırat-Dicle	6
Vistül-Wista	5	Nil	10
Neman	5	Çad gölü (içdeniz)	8
Ren	9	Nijer	11
Tuna	17	Volta	6
Aral gölü (içdeniz)	6	Kongo	11
Tarım	7	Zambezi	9
Mekong	6		

* Zaman içinde sınırlar değişmekte, ülkeler parçalanabilmekte veya birleşebilmektedir.
** Ürdün havzasında Batı Şeria bir devlet olarak değerlendirilmiştir.

Uluslararası hukuk bakımından sorunların çözümünde antlaşmalar, teamüller, genel hukuk ilkeleri ve hukuk otoritelerinin görüşleri etkilidir. Fakat yine de sınırgeçen sular konusunda bütün devletleri bağlayıcı hukuksal esaslar uzun süre oluşturulamamıştır. Sınırgeçen suların geliştirilmesi konusunda uluslararası hukuk açısından dört yaklaşım söz konusu olmuştur (Öziş ve diğ., 2002):

1) Bir ülkenin kendi topraklarından kaynaklanan suları dilediği gibi kullanabilmesi ilkesine dayanan "mutlak egemenlik" görüşü
2) Bir ülkede akan suların o ülke toprağının ayrılmaz bir parçası olduğu ve akışyukarısındaki ülkelerin bu suyu doğal nicelik ve niteliğini değiştirme hakkı olmadığı ilkesine dayanan "alansal bütünlük" görüşü
3) Akışaşağısı ülkelere belirgin zarar vermemek üzere akarsuyun herbir ülkedeki yağış alanı, sağladığı debi, geçmiş ve varolan kullanımı, gelişme gereksinimi, toplumsal ve ekonomik koşullar, su tutumluluğu, diğer seçenekler, dengeleme olanakları gibi bir dizi etkinin dikkate alınarak su tahsisini öngören, diğer ülkelere önemli zarar vermeden "hakça ve makul yararlanma" görüşü
4) Ülkeler arasındaki sınırları gözetmeden bir akarsudan "havza bütününde en iyi yararlanma" görüşü

İki karşıt görüş olan *mutlak egemenlik* ve *alansal bütünlük* uzun yıllar birbirleriyle çekişmiştir. Uluslararası su hukuku tarihinde yapılan çalışmalar şu biçimde özetlenebilir: Uluslararası Hukuk Derneği (ILA) 1966'da Helsinki'de "hakça ve makul kullanım" *(equitable reasonable use)* ve "başkasına önemli zarar vermeme" *(not to cause significant harm)* ilkelerine dayanan bir öneri kararı almıştır. Birleşmiş Milletler Ulusararası Hukuk Komisyonu'nun (UNILC) 1970'li yıllarda başladığı ve uzun yıllar sürdürdüğü çalışmalar sonucunda aynı ilkelere dayanan bir taslak hazırlamıştır. 1992'de imzalanan, birçok AB ülkesinin de taraf olduğu Sınıraşan Sular ve Uluslararası Göller Hakkında Helsinki Sözleşmesi'nde (kıs. Helsinki Sözleşmesi) *uluslararası su* ve *sınıraşan su* kavramları ayrı ayrı tanımlanmıştır.

1996'da Marsilya'da kurulan Dünya Su Konseyi'nin (WWC – World Water Council) ve aynı yıl Stockholm'de kurulan Küresel Su Ortaklığı'nın (GWP – Global Water Partnership) etkisi ile sınırgeçen ve sınıroluşturan sular kıyıdaş ülkeler arasında tartışma konusu olmalarının ötesine uluslararası zeminlere de taşınmaya çalışılmıştır. Bu çalışmalar sonucunda UNILC'e bağlı altkurul, yaklaşık 30 yıllık çaba ile, 1966'daki öneriye dayanan "başkasına önemli zarar vermeden hakça ve makul yararlanma" ilkesine dayalı bir karar tasarlamıştır. Bu tasarı 1997 yılında BM Genel Kurulu'nda oylanarak Uluslararası Suların Ulaşım Dışı Amaçlarla Kullanılması Sözleşmesi imzalanmıştır. Bazı maddeleri üye ülkelerin sadece üçte birinin oyu ile kabul edilen sözleşmede bazı sorunlar olduğu görülmektedir. Öyle ki, oylamada Türkiye, Çin ve

Burundi red yönünde, birçok ülke çekinser oy kullanmış ve birçok ülke de oylamaya girmemiştir. 1992 Helsinki Sözleşmesi'nin tersine burada *sınırgeçen ve/veya sınıroluşturan su* kavramları yerine sadece *uluslararası su* tanımı ile yetinilmiştir. Ayrıca teknik kurullarca önemli bir yaklaşım olarak değerlendirilen "havza bütününden en iyi yararlanma" görüşü arka planda kalmıştır.

4.3. Türkiye'nin Sınırgeçen ve Sınıroluşturan Suları

Daha önce tanımı yapılan sınırgeçen sular ve sınıroluşturan sular kavramları çerçevesinde ülkemizin kuzeybatı, kuzeydoğu ve güneydoğu kesimlerinde önemli su kaynakları bulunmaktadır. Türkiye'nin bu sular aracılığı ile kıyıdaş olduğu ülkelerin herbiri ile ilişikleri farklı düzeyde ve duyarlılıktadır. Dolayısıyla su hukukuna ilişkin düzenlemeler de bu duyarlılıklar dikkate alınarak yapılmaya çalışılmıştır ve dış ilişkilerde belirleyici oldukları konular vardır. Türkiye'nin sınırgeçen ve sınıroluşturan suları ile ilgili durumu Çizelge 3'te özetlenmeye çalışılmıştır.

Çizelge 3. Türkiye'nin sınırgeçen ve sınıroluşturan suları

Havza	Diğer Kıyıdaşlar	Türkiye'nin Konumu
Meriç havzası	Bulgaristan, Yunanistan	Aşağıkıyıdaş
Istranca uç dereleri	Bulgaristan	Yukarıkıyıdaş
Çoruh havzası	Gürcistan	Yukarıkıyıdaş
Aras havzası	Ermenistan, Nahçıvan, İran	Yukarıkıyıdaş
Asi havzası	Suriye	Aşağıkıyıdaş
Fırat – Dicle havzası	Suriye, Irak	Yukarıkıyıdaş

Çizelge 3'te verilenler dışında diğer küçük tekil akarsular olarak bir kümede toplanabilecek akarsular da vardır (Öziş ve diğ., 2002).

Türkiye'nin sınırgeçen ve sınıroluşturan sularından Fırat ve Dicle gerek Ortadoğu'nun büyük birkaç havzasından birini oluşturmaları, gerek Türkiye'nin güney komşuları ile ilişkilerini belirleyecek düzeyde siyasal önem taşımaları nedeniyle su hukuku açısından her zaman tartışma konusu olmuştur. 1946'da Irak ile düzenli su alınması ve taşkınların korunması amaçlı, 1980'lerde Suriye ve Irak ile yapılan üç aşamalı planlamaya dayanan, 1987'de Suriye ile aylık an az 500 m^3/s akış öngören anlaşmalar Fırat – Dicle suları için Türkiye'nin akışaşağısı ülkelerle yaptığı anlaşmaların başlıcalarıdır. İlk iki anlaşma uygulamaya geçirilememiştir.

5. AVRUPA BİRLİĞİ SU ÇERÇEVE DİREKTİFİ

5.1. SÇD'nin Gelişimi

Gerek Birlikler öncesi dönemde, gerek AB'nin öncüsü Birlikler (Avrupa Kömür ve Çelik Topluluğu, Avrupa Ortak Pazarı, Avrupa Ekonomik Topluluğu) döneminde ve gerekse AB sürecinde üye ülkeler, hidroelektrik enerji üretimi/dağıtımı, her türden su yapısının projelendirilmesi/uygulanması, sınırgeçen suların yönetimi ve akarsu ulaşımı gibi konularda önemli deneyim ve ilerleme sağlamıştır. Dolayısıyla su kaynaklarının tamamına yakın bölümünü "geliştirmiş" durumdaki Birlik ülkelerinin öncelikli hedefleri su kaynaklarının kirliliğinin önlenmesi, yeni kirleticilerin oluşmasına ve çeşitlenmesine

fırsat tanınmaması, olası çok çeşitli kirleticilerle gereken savaşımın yapılması için bilgi birikimi, ekonomik kaynak ve altyapı sağlanması olmuştur.

Şubat 1996'da Avrupa'nın su politikasının geleceği konusunda Avrupa Komisyonu, Avrupa Parlamentosu ve üye ülkeler düşünce birliğine varmış ve tüm su kaynaklarının bütünleşik bir yaklaşımla ele alınmasını benimsemiştir. İzleyen yıllarda çalışmalar yapılarak su ile ilgili tüm direktifler birleştirilmiş, aynı zamanda yeni yaklaşımları da içeren SÇD 23 Ekim 2000 tarih ve 2000/60/EC sayı ile yürürlüğe girmiştir. SÇD Hollanda'nın sınırgeçen akarsularda aşağıkıyıdaş ülke olması ve yukarıkıyıdaşlarından taşınan kirliliğin kendi havzalarındaki su niteliğini azaltması sonucu büyük ölçüde Hollanda'nın çalışmaları ile oluşturulmuş ve biçimlendirmiştir. Bu nedenle temelde aşağıkıyıdaş ülkeleri gözetici özelliktedir.

5.2. SÇD'nin Getirdikleri ve Hedefleri

SÇD'nin kendinden önceki direktiflerden farkı tüm su kaynaklarını kapsaması ve bunların korunmasında bütünleşik yaklaşım önermesi, kaynak iyileştirilmesi ve sürdürülebilir kullanım olanağı sağlaması, sınırgeçen sular konusunda bazı düzenlemeler getirmesi ve en önemlisi "nehir havzası yönetim planı"nı tanımlamasıdır. Suyun korunması ve savunulması gereken bir kamu değeri olduğu düşüncesini temel alan SÇD'nin *hedefleri* şunlardır:

1) Sucul ekosistemler ve bunlara bağlı diğer ekosistemlerin daha fazla tahribatını önlemek;
2) Sucul çevrenin iyileştirilmesi (Örneğin emilimleri azaltarak)
3) Varolan su kaynaklarının uzun vadeli korunması temel alınarak sürdürülebilir kullanımı teşvik etmek
4) Yeraltısuyu kirliliğini azaltmak (Grontmij Advies & Techniek bv, 2003)

Hedefler dışında nehir havzası bazında yönetim kavramının yaygınlaştırılması SÇD'de *ana hedef* olarak benimsenmiştir. Öyle ki Direktif, nehir havza planlarının ve önlemlerinin nehir havzası ölçeğinde kurulması için uygulanması gereken yaklaşımı adım adım tanımlamaktadır. SÇD'nin ana ilkeleri suyun adil ücretlendirilmesi (Madde 9), sürdürülebilir su kullanımı (Madde 18, 19, 41), uluslararası işbirliği ve yeni su birliği (Madde 3), suyun herkesin konusu olduğu (Madde 14), suyun duyarlı bir kaynak olduğu (Madde 4, 8, 10, 11, 16, 17) biçiminde sıralanabilir (WFD, 2000).

"Nehir havza yönetimi" kavramına göre kaynaklar yönetsel veya siyasal sınırlara göre değil, doğal coğrafik ve hidrolojik ilkelere göre belirlenecek "nehir havza bölgeleri"ne ayrılarak yönetilecektir. Bazıları ulusal sınırları da aşabilecek herbir "nehir havza bölgesi" için bir "nehir havzası yönetim planı" hazırlanması gerekmektedir. Nehir havzası yönetim planı, herhangi bir nehir havzası için amaçlanan çevrebilimsel, niceleyici, kimyasal ve özel koruma alanları ile ilgili hedeflere öngörülen zaman dilimleri içerisinde nasıl ulaşılacağını gösteren bir belgedir. Plan, akarsu havzalarının karakteristiklerine, toplumsal etkinliklerin sözkonusu havzadaki sular üzerindeki etkisi ile ilgili durum belirlenmesine, varolan yasal düzenlemelerin koyulan hedeflere ulaşmadaki etkinliğine, yetersizliklerin ve/veya boşlukların doldurulmasına yönelik çalışmaları da içerecektir. Nehir havza yönetiminin diğer önemli özellikleri şu biçimde

sıralanabilir: 1) yönetimin havza bazında yapılması; 2) farklı tür ve biçimdeki suların bütünleşik değerlendirilmesi; 3) arazi ve su kaynakları ilişkisinin dikkate alınması; 4) doğal kısıtların, toplumsal ve ekonomik ihtiyaçların, siyasal ve yönetsel süreçlerin bütünleşmesi (entegrasyonu); 5) nehirlerin ve havzalarının şimdiki ve gelecek kuşaklar için çok yönlü kullanımının devam ettirilmesi (sürdürülebilirlik) (Dalkılıç ve Harmancıoğlu, 2008).

5.3. SÇD'nin Türkiye'de Uygulanmasına Yönelik Çalışmalar

1999 Helsinki Doruğu ile Avrupa Birliği üyeliğine aday olan Türkiye'de, birincisi 2001'de yayımlanan ve 2003'te güncelleştirilen Avrupa Birliği Müktesebatının Üstlenilmesine İlişkin Ulusal Program'ın "çevre" başlıklı 22. bölümünde belirtilen yükümlülükler çerçevesinde, çevre mevzuatının Avrupa Birliği çevre mevzuatına uyumlulaştırılması için çalışmalar yapılmıştır. Bu kapsamda, Hollanda hükümetinin finansal desteği ile Ocak 2002'de başlatılan "SÇD'nin Türkiye'de Uygulanması Projesi"nin teknik çalışmaları Kasım 2003'te tamamlanmıştır. Proje MATRA Katılım Öncesi Programı'nca da desteklenmiştir. MATRA, AB adayı ülkelerin AB Müktesebatı'na uyumlulaştırma çalışmaları için bu ülkelere destek sağlamakta ve Hollanda ile desteği alan ülkeler arasında ilişkiler kurulmasını amaçlamaktadır. MATRA projesinde pilot havza olarak seçilen Büyük Menderes Nehir Havzası için oluşturulan "Nehir Havzası Çalışma Grubu" tarafından SÇD Ek-IV'te belirtilen kapsam dikkate alınarak taslak bir "Büyük Menderes Havzası Entegre Yönetim Planı" hazırlanmaya çalışılmıştır.

5.4. Türkiye Nehir Havzaları

Bütünleşik su yönetiminin etkin biçimde uygulanabilmesi ve sürdürülebilir su yönetimine yöneliş için gerekli ve önem taşıyan koşullardan biri de görev ve yetkilerin bölge düzeyine aktarılabilmesidir. SÇD'deki *nehir havzası* ve *nehir havza bölgesi* tanımlarına dikkatle bakıldığında nehir havzalarının nehir havza bölgeleri olarak atanmasının çok önemli olduğu görülmektedir. Çünkü kararların hangi düzeyde verileceği ve bütünleşik su yönetiminin kurumsal yapısı bu tanıma bağlıdır. Bugünkü durumda bölgesel teşkilatlar var olduğu ve verimli biçimde çalıştıkları için, bölgesel platformlar veya nehir havza çalışma grupları ile çalışmalara devam etmenin, kurumlar arasında bölgesel eşgüdüm ve işbirliği geliştirmenin en iyi yolu olacağı düşünülmektedir ve bu etkili bir bölgesel ve/veya nehir havza bölgesi su yönetimini sağlayacaktır (Dalkılıç ve Harmancıoğlu, 2008).

6. SONUÇLAR

Dünyada su hukukunda kıyıdaşlık ve geçmişten gelen hak öğretilerinin yerine *"kişilerin su kullanımı ile ilgili haklarını mülkiyet hakkı değil yararlanma hakkı olarak kabul etme*" anlayışı ağırlık kazanmaktadır. Su kaynaklarının geliştirilmesinde "belli bir gereksinimi karşılayacak su sağlanımı" ilkesine çevresel sorunlar nedeniyle "su niteliğinin korunması" boyutu da eklenmiştir. Bu nedenle hukuksal düzenlemelerde "bütünleşik havza yönetimi" ve "sürdürebilir kalkınma" anlayışına önem verilmektedir.

Ülkemizde su kaynaklarının yönetilmesi ve geliştirilmesi için yetkilendirilmiş birçok kurum ve çeşitli amaçlarla çıkarılmış yasalar bulunmaktadır. Benzer yetkilerin farklı kurumlara verilmesi sonucunda, farklı yasaların kimi zaman aynı konuyu hükme bağladığı bu karmaşık yapının, verimli hizmet sunulmasını, değişen tekniklere uyum sağlanıp bunlar için gereken altyapının kurulmasını, etkin enerji politikaları oluşturulmasını, bütünleşik havza yönetimi ve sürdürebilir toprak-su yönetimi uygulamalarını yavaşlattığına ilişkin görüşler vardır (TMMOB 1. Su Politikaları Kongresi, 2006). Öte yandan, SÇD'nin uygulama aşamaları için öngörülen tarihlere uygun biçimde, 2009-2013 yılları arasında, suya ilişkin devlet kuruluşlarının yetki sınırlarının belirlenmesi (gerekirse tek bir kurumun yetkilendirilmesi), ilgili sektörlerin yetki ve sorumluluklarının belirginleştirilmesi yolları ile mevzuattaki dağınıklığın giderilmesi için bir su yasasının çıkarılmasının yararlı olacağı düşünülmektedir.

Bilim ve teknolojiye koşut olarak sanayileşmenin getirdiği yeni kimyasallar ve kirleticiler ve bunların sucul *(aquatic)* yaşama etkileri nedeniyle yasa, yönetmelik ve tüzüklerde bunlara ayak uyduracak hızlı bir değişime gereksinme duyulmaktadır. Ayrıca SÇD'nin en önemli hedefi tüm olan Avrupa sularının "iyi çevrebilimsel (ekolojik) ve kimyasal durum"a gelmesi için gereken aşamalar nedeniyle çıkarılacak olan su yasasında bu çevresel koşullar da göz önüne alınmalıdır.

Ülkemizde SÇD için teknik çalışmaları yürüten kuruluşlarda önemli bilgi birikimi oluşmasına karşın Direktif'in bir havzada adım adım nasıl uygulanacağı bilinmemektedir. Bütünleşik havza yönetiminin ülkemizde yerleştirilmesi için yapılan çalışmaların, farklı kurumların aynı konuda yetkilendirilmiş olması, değişik amaçlarla çıkarılmış çok sayıda yasa bulunması, tanımların belirsizliği, altyapı eksiklikleri gibi nedenlerle, olması gerekenden yavaş ilerlediği görülmektedir. Bu durumun önüne geçilerek bütünleşik havza yönetiminin Türkiye'de uygulanması sağlanmalıdır.

Yine SÇD'nin uygulama aşamaları için öngörülen tarihlere göre 2009 yılında nehir havzası yönetim planlarının tamamlanması gerekmekte (SÇD Madde 11 ve 13), 2009-2015 yılları arasında akarsu havzası yönetim planlarının uygulanması, değerlendirilmesi ve güncellenmesi gerekmektedir (SÇD Madde 4, 9 ve 11).

SÇD'nin giriş bölümü 35. paragrafta, Madde 13 ve 3'te Türkiye'yi çok yakından ilgilendiren sınırgeçen sular ile ilgili düzenlemelere yer verilmiştir. Ulusal Program'da özellikle sınırgeçen sular ve çevresel bilgiye erişim ile ilgili anlaşmalara tam üyelik durumunda taraf olunacağı belirtilmiştir. Özellikle Doğu ve Güneydoğu Anadolu'da bulunan sınırgeçen nitelikteki ve ülkemiz su kaynakları potansiyelinin büyük bir bölümünü oluşturan akarsularımız üzerinde su kaynaklarının geliştirilmesi henüz tamamlanmamıştır. SÇD'de ise bu anlaşmalara atıfta bulunulmakta, bu anlaşmalardan doğan yükümlülüklerin yerine getirilmesinin gerekliliği belirtilmekte ve AB üyesi olmayan kıyıdaş ülkelerle de akarsu havzası yönetim planları konusunda işbirliği önerilmektedir. Öneri niteliğinde de olsa gelecekte bu durum uygulamada sorunlara neden olabilecektir. Bu nedenle SÇD'nin uyumlaştırılması sırasında sınırgeçen sularla ilgili hükümlerin dikkatli değerlendirilmesi ve bu konudaki ulusal çıkarlarımızı da dikkate alacak düzenlemeler yapılması özel önem taşımaktadır (Akkaya ve diğ., 2006). Türkiye, altı akarsu havza bölgesinden birinin "*uluslararası* akarsu havza bölgesi" olarak adlandırılmasının Ortadoğu için önem taşıyan kendi sınıraşan suları üzeri yapacağı etkiyi göz önünde tutmalıdır. Türkiye'den doğan ve Ortadoğu için yaşamsal

önem taşıyan Fırat ve Dicle sularından aşağıkıyıdaş ülkelere anlaşmalar doğrultusunda su bırakılmaktadır. Türkiye, Fırat ve Dicle akışları konusunda politika belirlerken ABD müdahalesine uğramış Irak'ın gelecekteki siyasal yapısına ilişkin kestirimlere gereken önemi vermelidir (Abay ve Baykan, 2008; Abay ve Baykan, 2008,).

7. KAYNAKLAR

Abay, O., "Avrupa Birliği Su Çerçeve Direktifi'nde Nehir Havza Yönetiminin Önemi", DSİ II. Bölge Müdürlüğü Havza Kirliliği Konferansı, DSİ, İzmir, 1-7, 2008.

Abay, O., Baykan, N. O., "Büyük Ortadoğu Projesi Su Politikaları", TMMOB 2. Su Politikaları Kongresi, TMMOB. Ankara, 459-470 (2. Cilt), 2008.

Abay, O., Baykan, N. O., "Water Policy Aspects of the Greater Middle East Partnership Initiative", European University of Lefke 5th International Architecture and Engineering Symposiums - 5th International Symposium on Civil and Environmental Engineering, EUL, Lefke, Turkish Republic of Northern Cyprus, 162-166, 2008.

Akkaya, C., Efeoğlu, A., Yeşil, N., "Avrupa Birliği Su Çerçeve Direktifi ve Türkiye'de Uygulanabilirliği", TMMOB 1. Su Politikaları Kongresi, TMMOB, Ankara, 195-204, 2006.

Avcı, İ., "Sınıraşan Su Kaynaklarımız: Su Potansiyeli, Su Kullanım Talepleri, Mevcut ve Muhtemel Sorunlar", Sınıraşan Sularımız, Su Vakfı Yayınları, İstanbul, 85-102, 2002.

Dalkılıç, Y.; Harmancıoğlu, N.; "Avrupa Birliği Su Çerçeve Direktifinin Türkiye'de Uygulama Olanakları", TMMOB 2. Su Politikaları Kongresi, TMMOB, Ankara, 415-424 (2. Cilt), 2008.

"European Union Water Framework Directive, the", DIRECTIVE 2000/60/EC, 2000.

Gleick, P. H., "Freshwater and Foreign Policy: New Challenges", www.greatdecisions.org, 2005.

Grontmij Advies & Techniek bv, "Su Çerçeve Direktifi'nin Türkiye'de Uygulanması El Kitabı", Project number: 105774, Document number: 13/99047338/MJH, 2003.

Öziş, Ü., Türkman, F., Baran, T., Özdemir, Y., Dalkılıç, Y., "Güneydoğu Anadolu Projesi ve Su Siyaseti", TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası Türkiye Mühendislik Haberleri Dergisi, ISSN 1300-3445, 35-45, 2002.

Öziş, Ü., Türkman, F., Baran, T., Özdemir, Y., Dalkılıç, Y., Fıstıkoğlu, O., "Türkiye'nin Sınır-aşan Sularının Su Hukuku ve Su Siyaseti Açısından Durumu", Sınıraşan Sularımız, Su Vakfı Yayınları, İstanbul, 27-62, 2002.

T.C Resmî Gazete, çeşitli tarih ve sayılı.

TMMOB 1. Su Politikaları Kongresi, Çeşitli Bildiriler, (Bildiriler CD-ROM), Ankara, 21-23 Mart 2006.

Wolf, A. T., "Middle East Water Conflicts and Directions for Conflict Resolution", http://pdf.usaid.gov/pdf_docs/PNABY541.pdf, Washington D. C., International Food Policy Research Institute, 27 P., USA, March 1996.

Hidroenerji, Hidroloji ve Su Kaynakları Yönetimi İlişkisi

Dursun YILDIZ[1]

Özet: Ülkemizde halen hidroelektrik enerji potansiyelimizin yıllık ortalama üretim olarak sadece %37'si geliştirilmiştir. 2001 yılında 4628 sayılı yasanın yürürlüğe girmesiyle özel sektör lisans alma modeli ile enerji üretimi ve dağıtımı alanında faaliyet göstermeye başlamıştır. 4628 sayılı yasa kapsamında geliştirilen hidroelektrik enerji projelerindeki hidrolojik hesaplar, proje rantabilitesi açısından en temel unsur olmuştur. Bu ani gelişme karşısında ülkemizin "Hidrolojik Ölçüm Ağı" tam anlamıyla yeterli olamamıştır. Bu nedenle bazı projelerde mühendislik hidrolojisi hesapları eksik ve yetersiz verilerle yapılmıştır. Bu durum hem tekil olarak proje rantablitesini, hem enerji üretim verimliliğini, hem projeninin çevresel etkilerini, hem de aynı nehir üzerindeki projelerin işletme programını olumsuz etkileme potansiyeli yaratmıştır.

Son dönemde geliştirilen hidroenerji projelerinin çok büyük bir bölümünde Akım Gözlem İstasyonları (AGİ) kurularak ölçüm yapılmamış olması, özellikle bazı küçük nehir havzalarındaki hesapların güvenilirliğinin sorgulanması sonucunu doğurmuştur. Bu durum yatırımların rantabilitesini düşürdüğü gibi, elektrik enerjisi potansiyelimizin de en uygun şekilde geliştirilmesine engel olan bir sonuç ortaya çıkartmıştır. Önümüzdeki süreçte yaşanacak gelişmeler ülke çapında güvenilir ve yaygın bir hidrolojik veri toplama ağının önemini ve gereğini açıkça ortaya koyacaktır.

Enerji üretiminde olduğu gibi ülkemizin çok dinamik olan ve hızla artan ihtiyaçlarını karşılayabilmek için, yasal altyapıdan kurumsal yapılara kadar birçok hızlı düzenlemeye ihtiyaç vardır.

Özetle su kaynaklarımızın akılcı, planlı ve verimli bir şekilde geliştirilmesi için nesnel su kaynakları yönetimi politikalarına ve hızlı karar ve etkili denetim mekanizmalarına ihtiyaç vardır. Bu ihtiyacın hızla karşılanmaması su kaynaklarımızın geliştirilmesi alanında geri dönülmesi çok zor olacak teknik sorunlarla ve ekonomik kayıplara neden olacaktır.

Anahtar Kelimeler: Hidroenerji, Hidroloji Su Yönetimi

Relationship between Hydropower, Hydrology and Water Resources Management

[1] İnşaat Mühendisi, Su Politikaları Uzmanı, *ada* Müh Müş Ltd Şti., E-Posta: dursun.yildiz@gmail.com

Abstract: Turkey has developed only 37% of its total hydropower potential. The Turkish electricity market is one of the fastest growing market in the world with an average 8% annual growth. The regulatory reform in the electricity sectors has been launched by the enactment of the Electricity Market Law in March 2001. The EIectricity Market Law, No: 4628 issued in 2001 and market liberalization was initiated in the electricity sector. More then 1500 HEPP projects were developed. Engineering Hydrology has been one of the most important factor effecting these developed projects rantability. But network of flow measurements has not been wide enough to meet the need of the hydrological data of the new projects. Therefore, the HEPP projects have been planned with somehow inadequate data. This can affect project rantability, energy production efficiency, environmental protection measures as well as the application of the described operation rules.

Most companies have not established a flow measurement station on the river to recheck the hydrological computations of their HEPP projects. This affects badly their project rantability especially for smaller river basin HEPP projects.

Missing of wide-spread hydrological measurement network has also negative effects to compute and consequently estimate real hydroenergy potential of the entire country.

Demand has been growing very rapidly in many areas as well as in energy sector of Turkey. In order to meet these growing needs, it must be created new institutions to change rules and regulations to make a rapid progress.

We need a rapid decision making mechanism and strong control systems in water management area do not to face irreversible environmental and technical problems as well as economical losses.

Rational and effective water resources management system must be aware of strong relationship between Hydropower and Hydrology.

Keywords: Hydropower, Hydrology, Water Management

1. AMAÇ

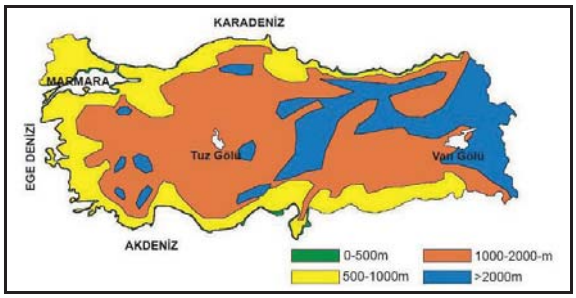
Bu bildiride özellikle hidroelektrik enerji potansiyelimizin geliştirilmesi için sürdürülen mühendislik hizmetlerinde mühendislik hidrolojisinin ve hidrolojik ölçüm ağının önemine vurgu yapılmıştır. Bu çalışmaların veri kalitesine bağlı olarak nasıl etkilenebileceği ortaya konulmuştur. Rasyonel bir planlama yapmak ve doğal yaşamı korumak için hidrolojik veri toplanmasına daha fazla önem verilmesinin ilgililere duyurulması amaçlanmıştır.

Bu bildiride aynı zamanda yukarıda belirtilen eksiklikler su kaynakları yönetimimizin sorunları açısından da ele alınarak incelenmiştir.

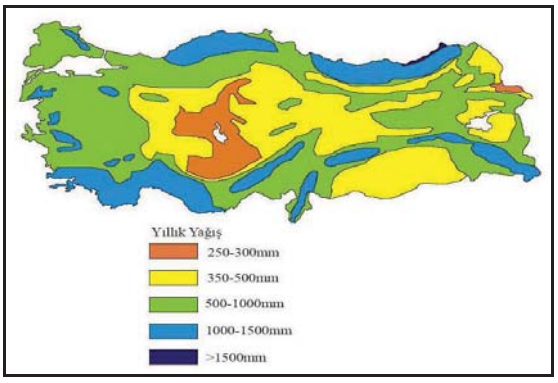
2. GİRİŞ

Ülkemizin ortalama yükseltisi 1. 131 metre olup 1000 m'den yüksek alanlar toplam yüzeyin % 55. 5'ini kaplamaktadır. Ülkemiz arazisinin % 64'ünün eğimi % 12'nin üzerindedir. Ortalama yüksekliği bir kilometrenin üstünde olan ülkemizde akarsu eğimleri de fazladır. (Kanber 2003).Bu topoğrafik yapı ve hidrolojik koşullar ülkemizi

hidroelektrik enerji üretimi açısından avantajlı kılmaktadır (Şekil1, Şekil 2). Hidroelektrik enerji santrallerinin yerli kaynak kullanma avantajının yanı sıra işletme, çevre ve stratejik açılardan da avantajları bulunmaktadır. Tüm bu avantajlar, bu tesisleri ulusal çıkarlarımız için bir an önce geliştirilmesi gereken enerji tesisleri arasına koymaktadır(Yıldız 2007).



Şekil-1. Türkiye Yükselti Haritası



Şekil-2. Yıllık Ortalama Yağış Haritası

Ülkemizin hidroelektrik enerji potansiyeli topoğrafik ve hidrolojik özellikler açısından tüm yurda eşit olarak dağılmamıştır. Bu dağılımda Dicle ve Fırat Havzası ve dolayısıyla GAP bölgesi barajları ağırlıklı bir yer tutmaktadır. 2005 yılında üretilen hidroelektrik enerjinin %47'sinin sadece Keban, Karakaya ve Atatürk barajlarından üretildiği dikkate alındığında Fırat Havzası'nın ülkemizin hidroelektrik üretim potansiyeli içindeki yeri ve önemi ortaya çıkmaktadır. Fırat üzerindeki bu potansiyelin geliştirilmesi sürecinde karşılaşılan birçok engelin aşılarak bu projelerin tamamlanmasının ekonomik ve stratejik önemi bugün daha açık bir şekilde görülmektedir. Bu durum geliştirilmeyi bekleyen diğer hidroelektrik projelerimiz için örnek olmalıdır.

Ülkemizde tüketilen elektrik enerjisinin yaklaşık %50'si ise sanayide kullanılmaktadır. Elektrik üretiminde ise Türkiye'nin diğer doğal kaynakları dışında kullanabileceği çok zengin bir hidroelektrik potansiyeli vardır. Buna rağmen, Türkiye elektrik üretiminde de

giderek daha çok dışa bağımlı hale gelmektedir. Tüm bu koşullar ülkemizin hidroenerji kaynaklarını hızla geliştirmesinin gerekli olduğunu orataya koymaktadır.

Suyun oluşumunu, alansal ve zamansal dağılımı ile sirkülasyonu yer bilimleri arasında kısaca su bilimi diye tanımlanan "Hidroloji" inceler. Baraj ve HES, derivasyon yapıları, sulama, drenaj, menfez, köprü gibi büyük ve küçük su (hidrolik) yapılarının tasarımı ve inşaatının ardından işletilmesi için "Mühendislik Hidrolojisi" teknikleri uygulanır, bu yapıların ekonomik, verimli ve emniyetli olmasında mühendislik hidrolojisi önemli rol oynar.

Bu nedenle bu projelerin planlı verimli ve çevreye duyarlı olarak geliştirilebilmesi öncelikle çok sağlıklı hidrololjik veri ve hesaplara ihtiyaç vardır. Bu kapsamda ülkemizin su kaynakları yönetimi yasal ve kurumsal yapısı da ülkemizin hızla artan ihtiyaçlarını planlı ve verimli bir şekilde karşılayabilmek için hızla yenilenmelidir.

3. HİDROELEKTRİK ENERJİ POTANSİYELİMİZ

Ülkemiz teorik olarak 433 milyar kWh/yıl, teknik olarak 216 milyar kWh/yıl ve teknik-ekonomik olarak ise 130 milyar kWh/yıl hidrolik enerji üretim kapasitesine sahip bulunmaktadır. Bunun yıllık ortalama üretim olarak ancak 48,1 milyar kWh/yıl'lık bölümü (%37) geliştirilmiş bulunmaktadır. Elektrik Enerjisi Piyasası ve Arz Güvenliği Strateji Belgesi (2009) Hedefleri arasında "2023 yılına kadar teknik ve ekonomik olarak değerlendirilebilecek hidroelektrik potansiyelimizin tamamının elektrik enerjisi üretiminde kullanılması sağlanacaktır" ifadesi yer almaktadır. Ancak buna rağmen teknik ve ekonomik olarak geliştirilebilecek hidroelektrik enerji potansiyelimizin tamamının ne olduğu hala hesaplanabilmiş değildir.

26 adet havzada yapılan hesaplamalarda net teknik potansiyelin üst sınırının 190 milyar kwh/yıl olacağı tahmin edilmektedir.Türkiye'nin hidroelektrik enerji potansiyelinin bu safhaya kadar olan hesaplamalarında, enerji sektöründe çalışan uzmanların görüşlerinde bir mutabakat mevcuttur. Ancak, Türkiye'nin 190 milyar kwh/yıl olarak hesaplanan net teknik potansiyelinin içinden,ekonomik olarak yapılabilir hidroelektrik tesislerde üretilecek yıllık elektrik üretimi miktarında ciddi görüş ayrılıkları mevcuttur.

DSİ Genel Müdürlüğünün Türkiye'nin hidroelektrik enerji potansiyelinin yeniden değerlendirmesi ile ilgili yaptığı ön etüt çalışmalarında da teknik ve ekonomik olarak geliştirilebilecek potansiyelin 163 milyar kwh/yıl a yükselebileceği tahmin edilmiştir.
Sonuç olarak; Türkiye'nin hidroelektrik enerji potansiyelinin gelişmesinden sorumlu Genel Müdürlükleri HES projelerinin seçiminde kullanılan ekonomik kriterleri yeniden gözden geçirerek EİEİ Genel Müdürlüğü tarafından 12 havzada tamamlanan çalışmalar diğer havzalar için de tamamlanarak Türkiye'nin ekonomik hidroelektrik enerji potansiyelini yeniden tespit etmelidirler. Halen ülkemizin teknik olarak değerlendirilebilir hidroelektrik enerji potansiyelimizin % 21'i kullanılmaktadır. Bu halihazırda teknik ve ekonomik olarak değerlendirilebilir hidroelektrik enerji potansiyelimizin ise %35'ine karşılık gelmektedir.

HES'ler aşağıda açıklanan avantajları nedeniyle entegre havza planlama ve projelendirme anlayışı içerisinde öncelikli olarak geliştirilmesi gerekmektedir.

3.1. Hidroelektrik Enerjinin Özellikleri, Faydaları ve Üstünlüğü

Hidroelektrik enerji üretimi diğer enerji kaynaklarında çok nadir bulunan kendine özgü faydalara sahip bir enerji üretim çeşididir. Hidroelektrik temiz, yenilenebilir enerji seçeneklerinin en önemlisi olarak kabul edilmektedir. Sekizinci Beş yıllık Kalkınma Planı'nda "Doğanın korunması amacı dikkate alınarak yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarının geliştirilmesi, yaygınlaştırılması ve tüketimde daha büyük oranlarda yer alması için tedbirler alınacaktır. Böylece yerli fosil kaynakların yanına yenilenebilir enerji kaynakları da katılarak ülke enerji potansiyelinin en üst derecede kullanıma sokulması sağlanacaktır."ilkesi yer almıştır (DPT 2001).

Yenilenebilir enerji kaynaklarımızın en önemlilerinden olan hidroelektrik enerji kaynaklarımız da bu kapsamda öncelikli olarak geliştirilmesi gereken kaynaklar arasına girmektedir. Hidroelektrik, yüzyıldan fazla bir deneyime sahip, kanıtlanmış ve çok iyi gelişmiş bir teknolojinin ürünüdür. Modern santrallar % 90 95 dolayında en yüksek verimli enerji dönüşüm işlemi sağlamaktadır. Bu ayın zamanda önemli bir çevresel faydadır. En gelişmiş fosil kaynaklı santrallerin verimi % 60, güneş enerji panellerinin ise %18 dolayındadır.

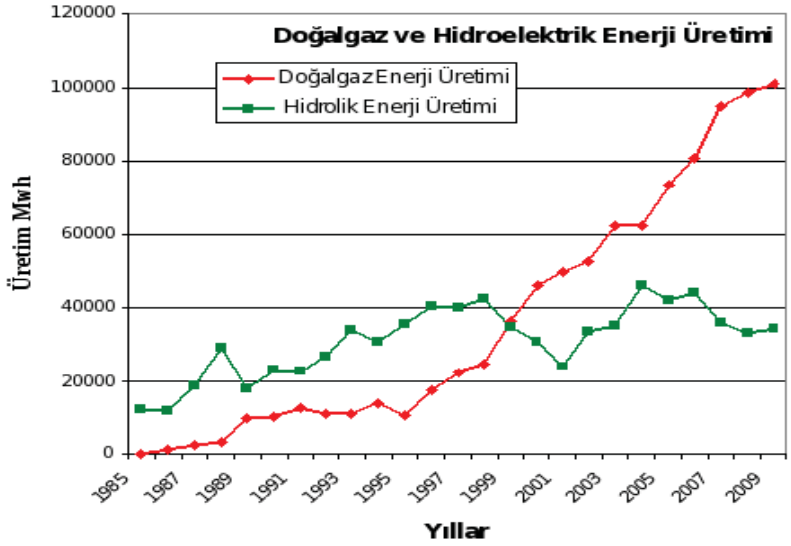
Hidroelektrik diğer büyük ölçekli enerji üretim seçenekleriyle kıyaslandığında, en düşük işletme maliyetine ve en uzun işletme ömrüne sahiptir. Hidroelektrik enerji doğal yakıtını kullanıp tüketmeden yeniden doğaya veren ender enerji üretim sistemidir.

3.2. Gelişme Durumu

Türkiye hidroelektrik potansiyelinin Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanının 16.11.2009 tarihli açıklamasına göre 51,8 milyar kWh'lik bölümü işletmede, 21 milyar kWh'lik kısmı ise yatırım aşamasındadır. Potansiyelin yaklaşık 97,2 milyar kWH kapasiteye sahip % 57,18'lik bölümü ise değerlendirmeyi beklemektedir.

2009 yılı sonu itibarıyla işletmeye açılmış 191 adet HES tesisi bulunmaktadır. Bu HES tesislerinden 106 adedi EÜAŞ tarafından işletilmektedir. Yap-İşlet-Devret (YİD) kapsamında 18 adet, özelleştirilen 7 adet ve işletme hakkı devredilen 3 adet HES tesisi bulunurken kalanı ise 4628 sayılı kanun kapsamında özel sektörce işletilmektedir. DSİ'ce inşa edilerek işletmeye açılan ve EÜAŞ'a devredilen 57 adet HES tesisi bulunmaktadır. Bu DSİ HES tesislerinin toplam kurulu gücü 10784 MW ve toplam üretim kapasiteleri de 38410 GWh/yıl olarak tesis edilmiştir. Bu DSİ inşalı HES tesisleri, yasa gereği işletilmeleri için yapılan bir protokolle işletmeye geçiş aşamasında EÜAŞ'a devredilmiş bulunmaktadır. Bundan sonra DSİ'ce inşa edilecek ve işletmeye alınacak HES tesisleri de EÜAŞ'a devredilecektir. EÜAŞ tarafından toplam106 adet HES tesisi işletilmekte olup, bu işletmedeki HES'lerin toplam kurulu gücü 11452 MW olup, toplam kapasiteleri de 38864 GWh/yıl'dır.

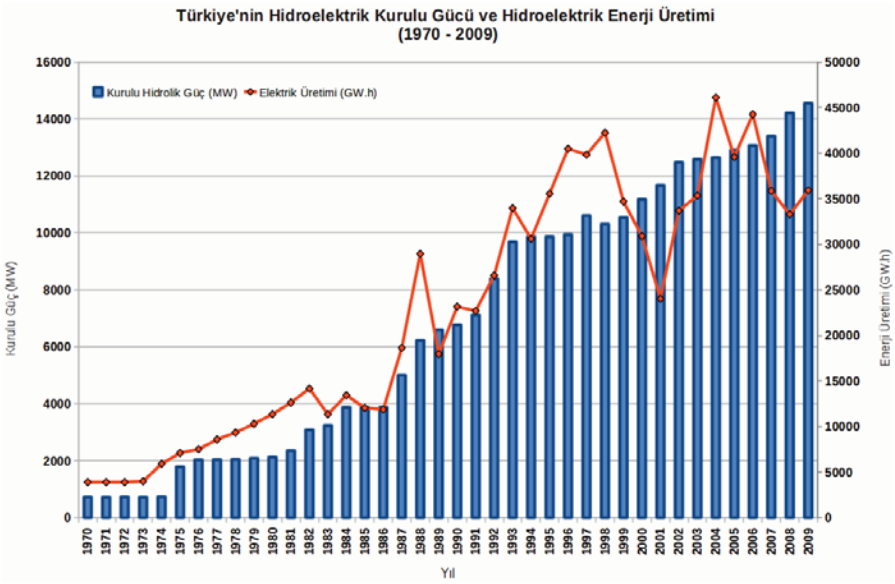
Şekil 3, Şekil 4 ve Şekil 5 incelendiğinde, hidroelektrik enerji üretiminin toplam elektrik enerjisi üretimindeki oranı azalırken doğalgazla yapılan elektrik enerjisi üretiminin arttığı görülmektedir. Yerli ve yenilenebilir enerji kaynakları planlı bir şekilde ve hızla geliştirilmezse doğalgazla enerji üretimin aşağıdaki şekilde görülen artış eğilimi ile bu kaynağa bağımlılık yakın bir gelecekte % 65 oranına ulaşacaktır.



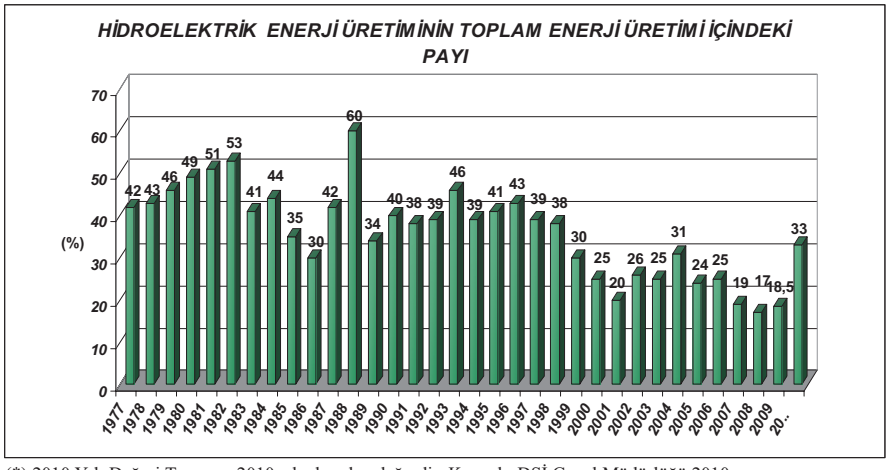
Şekil 3. Doğalgaz ve Hidroelektrik Enerji Üretimi (USİAD 2010).

Hidroelektrik enerji üretiminin toplam enerji üretimindeki payı özellikle 1998 yılından itibaren düşmeye başlamıştır. Bu düşüş 2010 yılına kadar tedrici bir şekilde sürmüş olup bu yıl düşen yağmurdaki artışın da etkisiyle tekrar artış göstermektedir.

DSİ verilerine göre kurulu güç olarak ülkemizin hidroelektrik potansiyelinin yaklaşık % 35'i kullanılırken % 14 ü inşaat aşamasındadır. Kalan % 51'lik bölüm ise değerlendirmeyi beklemektedir (Şekil 6).

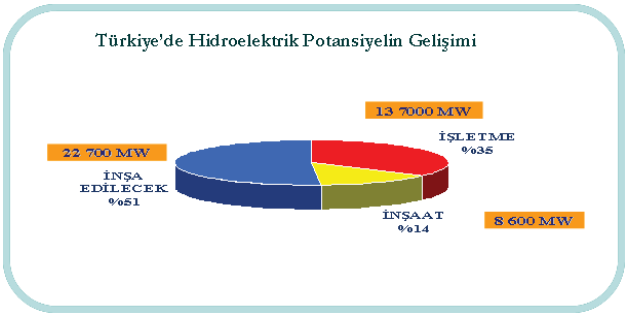


Şekil 4. Hidroelektrik Kurulu Güç ve Enerji Üretimi (USİAD 2010).



(*) 2010 Yılı Değeri Temmuz 2010 a kadar olan değerdir. Kaynak: DSİ Genel Müdürlüğü 2010

Şekil 5. Hidroelektrik Enerjinin toplam elektrik enerjisi içindeki payı (USİAD 2010).



Şekil 6. Türkiye'de Hidroelektrik Potansiyelin Gelişimi (USİAD 2010)

Yenilenebilir temiz enerji kaynaklarından biri olan hidroelektrik potansiyelin geliştirilmesi amacıyla HES tesislerinin kurulması ve işletiminde kamunun yanı sıra, 3096 ve son olarak 4628 sayılı kanunların yürürlüğe girmesiyle de özel sektör enerji üretiminde yerini almıştır. 2010 yılı Haziran ayı itibarıyla 228 adet HES tesisi işletmeye açılmış olup, toplam 14503 MW kurulu güçteki HES santralleri EÜAŞ ve özel sektör tarafından işletilmektedir. Her geçen gün bu sayı hızla artmaktadır. Özellikle 2005 yılında çıkan 5346 sayılı YEK Kanunu ile verilen teşvikler sonucunda nehir ve kanal tipi başta olmak üzere küçük hidroelektrik santrallerin kurulması artmıştır. 7 Haziran 2010 'a kadar işletmeye açılan toplam HES sayısı ve kurulu güçleri aşağıdaki çizelgede verilmiştir.

Çizelge 1. HES ve Kurulu Güçleri

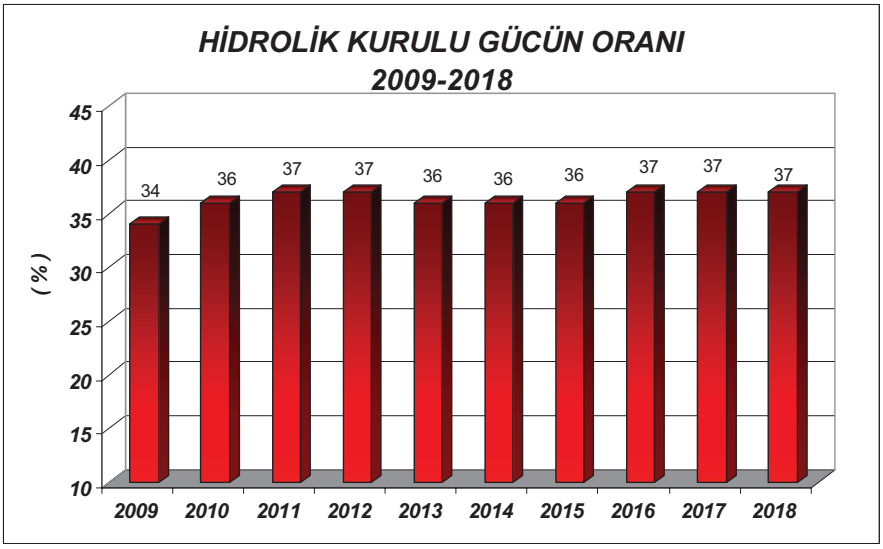
7 Haziran 2010 TARİHİNE KADAR İŞLETMEYE AÇILAN TOPLAM HES TESİSLERİ			
HES Grupları	**Adet**	**Toplam Kurulu Güç (MW)**	**Enerji Üretimi (GW.h/yıl)**
EÜAŞ	106	11 627.78	41 374.78
İHD	3	570.12	1 680
ÖZELLEŞTİRME	7	92.46	418.2
YİD	18	969.65	3 879.51
ÖZEL ŞİRKET (4628)	94	1 243	3 135.001
Toplam	**228**	**14 503.01**	**50 487.491**

3.3. Kurulu Güç Projeksiyonu

TEİAŞ Yüksek Talep Projeksiyonlarında 2018'e kadar 6000 MW Hidrolik Kurulu Güç ilavesi öngörmektedir (Şekil 7 a-b).



Şekil 7. a) Hidrolik Kurulu Gücün Gelişim Projeksiyonu (Yüksek Talep Senaryosu)(TEİAŞ 2009).



Şekil 7. b) Hidrolik Kurulu Gücün Gelişim Projeksiyonu (TEİAŞ 2009)

4. 4628 SAYILI YASA KAPSAMINDA GELİŞTİRİLEN HİDROENERJİ PROJELERİ

4628 sayılı EPDK Kanununun 2001 yılında yürürlüğe girmesiyle özel sektöre hidroenerji projelerini geliştirme olanağı tanınmıştır. 4628 sayılı yasa kapsamında geliştirilen veDSİ ile yapılan su kullanım hakkı anlaşmasından işletme aşamasına kadar ilerleyen HES Projelerinin son durumu aşağıdaki çizelge ve şekillerde verilmiştir (Şekil 8).

(7 Haziran 2010 İtibariyle)	Sayı	Kurulu Güç (MW)	Ortalama Kurulu Güç (MW)
Lisanslı Toplam HES	583	15744	27
Lisanslı HES Projesi (15 MW – 528 MW)	224	13258	59
Lisanslı HES Projesi (0 MW – 15 MW)	359	2486	7
Tamamlanan HES	94		
HES Proje İş İlerme Programlarına Göre Tamamlanma Durumu (< %10)	338		
HES Proje İş İlerme Programlarına Göre Tamamlanma Durumu (%10 - %25)	58		
HES Proje İş İlerme Programlarına Göre Tamamlanma Durumu (%25 - %50)	38		
HES Proje İş İlerme Programlarına Göre Tamamlanma Durumu (> %50)	55		

Kaynak: *EPDK, 2010.*

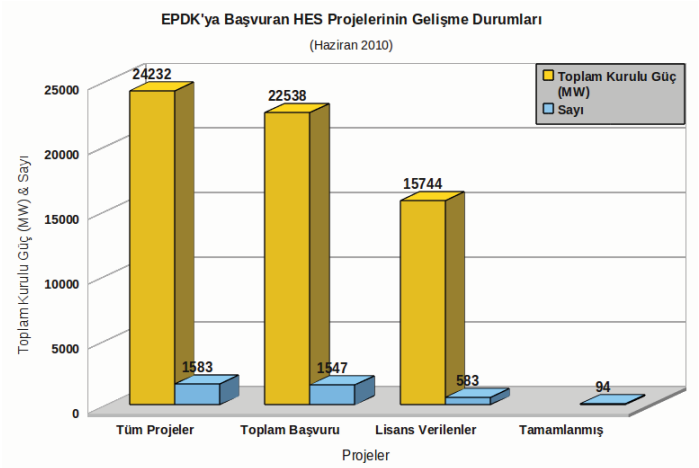


Şekil 8. HES Projelerinin İş İlerleme Programlarına Göre Tamamlanma Durumları

7 Haziran 2010 itibariyle Lisans alan HES Projelerinin iş ilerleme programlarına göre tamamlanma durumları dikkate alındığında yarısı ve yarısından fazlası tamamlanmış olan proje sayısının sadece 55 olduğu görülmektedir. Diğer taraftan lisans almış 338 projenin sadece %10 a kadarlık bir bölümünün tamamlanmış olması ise bu konudaki ilerlemenin yavaş olduğunu ortaya koymaktadır.

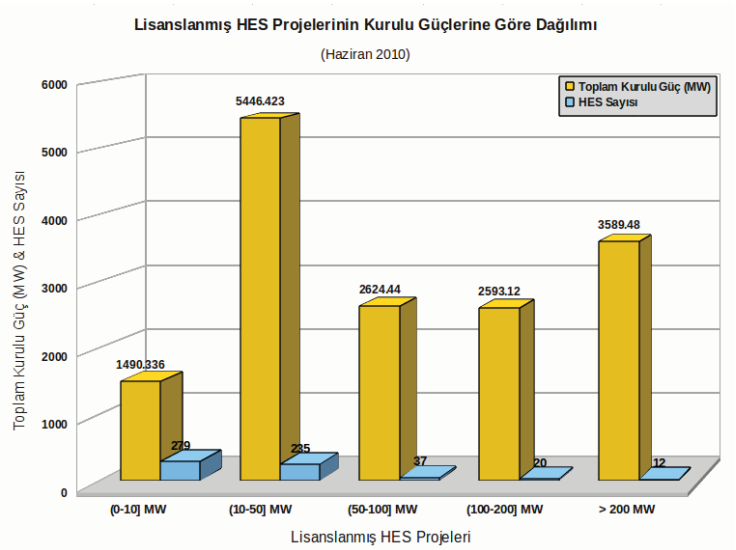
Şekil 8'den de görüldüğü gibi EPDK'ya 1547 proje başvurusu yapılmış olup bunların şimdiye kadar 583 adedine lisans verilmiş ve sadece 94 adedi tamamlanarak işletmeye alınmıştır. Bunun yanı sıra, 318 HES 'in planlama raporu hazırlanmış ve DSİ'ye başvurusu yapılmıştır. 145 HES projesinin ise inşaatı devam etmektedir.

Şekil 10 incelendiğinde, 7 Haziran 2010 tarihine kadar lisans alan HES projelerine bakıldığında, bu projelerin 279 ve 235 adetle sırasıyla daha çok 0-10MW ve 10-50 MW arasında toplandığı görülmektedir. Ancak 50 MW'ın üstündeki 69 adet HES, 8807 MW kurulu güçle toplam kurulu güç açısından öne çıkmaktadır.



EPDK'ya Başvuran HES Projelerinin Gelişme Durumları (Haziran 2010)				
	Tüm Projeler	**Toplam Başvuru**	**Lisans Verilenler**	**Tamamlanmış**
Toplam Kurulu Güç (MW)	24232	22538	15744	
Sayı	1583	1547	583	94

Şekil 9. HES Projelerinin İş Gelişme Durumları (USİAD 2010)



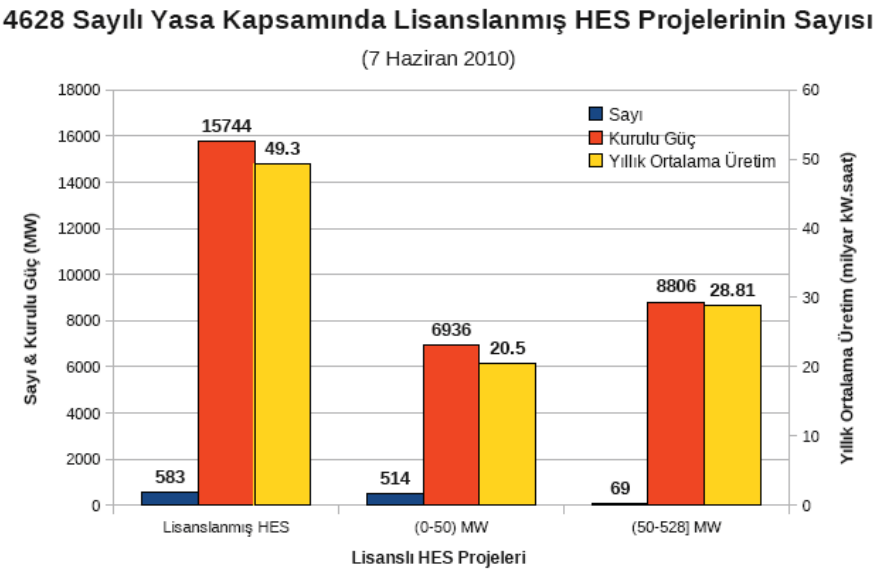
Lisanslanmış HES Projelerinin Kurulu Güçlerine Göre Dağılımı (Haziran 2010)					
	(0-10] MW	**(10-50] MW**	**(50-100] MW**	**(100-200] MW**	**> 200 MW**
Toplam Kurulu Güç (MW)	1490.336	5446.423	2624.44	2593.12	3589.48
HES Sayısı	279	235	37	20	12

Kaynak: USİAD Sektör Broşürü 2010

Şekil 10. Lisanslanmış HES Projeelerinin Kurulu Güçlerine Göre Dağılımı

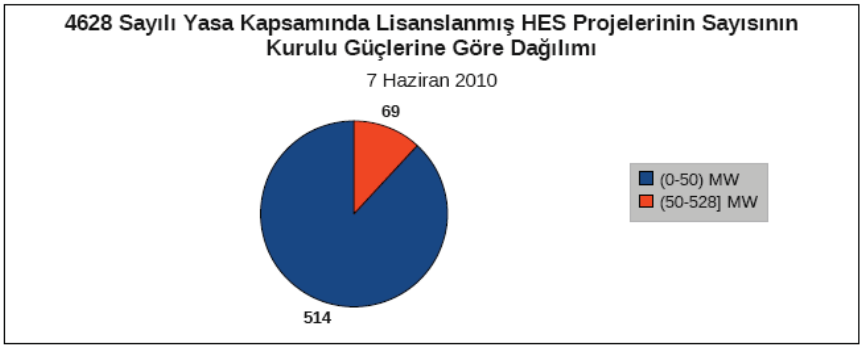
Şekil 11 ve Şekil 12 incelendiğinde, 4628 sayılı yasa kapsamında lisans almış hidroelektrik enerji santrali projelerinden 50 MW'ın üzerinde kurulu güce sahip 69 adedinin 50 MW'ın altındaki 514 adetten yaklaşık dörtte bir daha fazla yıllık ortalama enerji üreteceği görülmektedir.

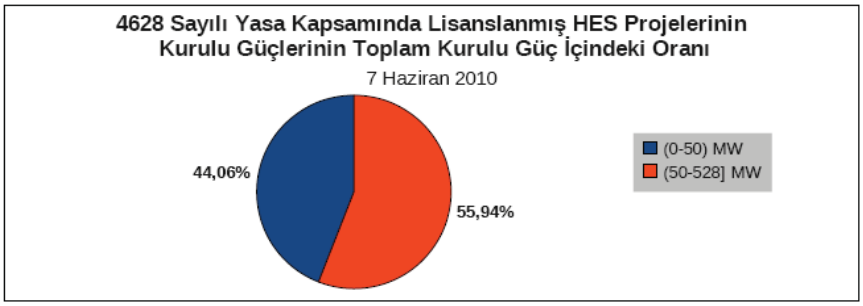
7 Haziran 2010 Tarihi İtibariyle 4628 Sayılı Yasa Kapsamında Lisanslanmış HES Projeleri	
Lisanslı HES Sayısı:	583
Lisanslı HES'lerin Toplam Kurulu Gücü:	15 744 MW
Yıllık Ortalama Üretim:	~49.3 milyar kW.saat
Nehir Kanal Santralleri (0-50 MW) Sayısı:	514
Nehir Kanal Santralleri (0-50 MW) Toplam Kurulu Gücü:	6 936 MW
Nehir Kanal Santralleri (0-50 MW) Yıllık Ortalama Üretim:	~20.5 milyar kW.saat
Depolamalı Baraj ve HES Sayısı (50-... MW):	69
Depolamalı Baraj ve HES Toplam Kurulu Gücü (50-... MW):	8 806 MW
Depolamalı Baraj ve HES Yıllık Ortalama Üretim:	~28.81 milyar kW.saat
Kaynak: *EPDK, 2010.*	

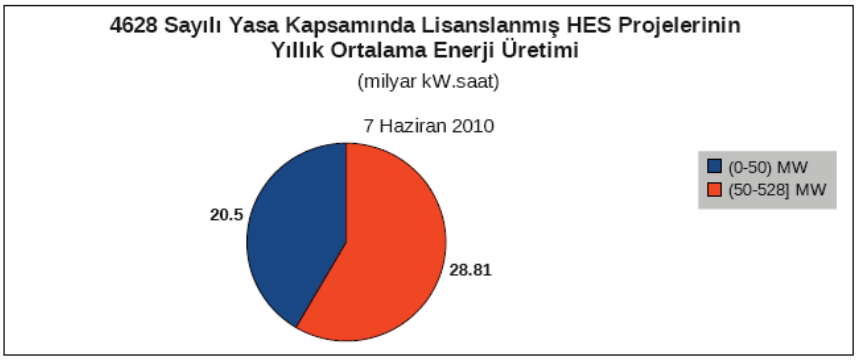


Kaynak: USİAD Sektör Broşürü

Şekil 11. Lisanslanmış HES Projelerinin Kurulu Güçlerine Göre Dağılımı







Şekil 12. Lisanslanmış HES Projelerinin Kurulu Güçlerine Göre Dağılım Oranları

5. GELİŞTİRİLEN HES PROJELERİNDE MÜHENDİSLİK HİDROLOJİSİ

5.1. Genel

Enerji Piyasasındaki hızlı bir serbestleşme sürecine girilmesi ile yasal ve yönetmeliksel altyapı oluşturulduktan kısa bir süre sonra özel sektör başvuruları kabul edilmiştir. Bu süreç içerisinde, ilgili kurumlarca havza değerlendirmesi yapılmamıştır. Mevzuatın öngördüğü süre kısıtları dolayısıyla da havza bazında planlama ve proje bazında yeterli bir teknik inceleme ve değerlendirme olanağı bulunamamıştır. Proje Fizibilite Raporları ise genellikle mevcut akım gözlem istasyonlarındaki ölçümlerinden yararlanılarak hazırlanmıştır. Havza özellikleri ve ihtiyaçları dikkate alınarak; başvurular havza bazında incelemeye alınmamış ve başvuru değerlendirilmeleri 2-3 yıl gibi bir sürece yayılmıştır. Bu da bir havzada geliştirilen projelerin tekil bazda değerlendirilip, fizibilitelerin bütüncül havza planlaması çerçevesinde ele alınmamasına neden olmuştur.

DSİ Genel Müdürlüğü ve Elektrik İşleri Etüt İdaresi tarafından geliştirilen projeler, toplanan veriler ve fizibilite açısından uzun yıllara dayanan gözlemler sonunda ve gerektiği takdirde tüm havza göz önüne alınarak geliştirilmektedir. Şirketler tarafından geliştirilen projelerin birçoğu da güncel veriler yerine, bölge ile ilgili geçmişte yapılmış ölçümler temel alınıp olasılık hesapları yapılıp kendi havzalarına taşımayla geliştirilmiştir. Ancak şirketlerin büyük bölümü proje başvurusu sonrasında Akım Gözlem İstasyonu kurmadığı için bu hesap değerlerini karşılaştırabilecek gerçek ölçüm değerleri elde edememiştir.

AGİ (AkımGözlem İstasyonları) ve diğer gerekli tesisleri kurarak ölçüm alan az sayıda şirket ise ölçtükleri akım değerleri ile hesapta kullanılanlar arasında fark çıkması nedeniyle fizibilite raporunda ve projelerde revizyona gitmektedir. Bu nedenle ölçüm yapılan projelerin veya bu ölçümden yararlanan yakın projelerin birçoğu için revize fizibilite raporları hazırlanmaktadır. Bu durum tesislerin yapımının gecikmesine, lisansların tadiline ve bağlantı görüşlerinin tekrar değerlendirilmesine/değişmesine neden olmaktadır.
Akım ölçümünün yapılmadığı projelerde uzun bir dönem santrale su gelmemesi veya az su gelmesi durumunda işletmeye geçmiş HES lerin gelen mevcut suyun tümünü kullanma ve akışaşağısındaki doğal yaşamı tahrip etme olasılığı çok yüksektir.

Diğer taraftan projelerin bulunduğu nehirler üzerinde Akım Gözlem İstasyonu verileri bulunması halinde projede akışaşağısına bırakılacak doğal yaşam için gerekli su miktarı çok daha kesin bir şekilde tesbit edilebilmektedir. Proje karakteristikleri ve proje rantablitesi bu akım değerlerine göre belirleneceğinden daha sonra yaşanacak işletme ve sorunlarının önüne geçilmiş olacaktır. Ancak HES projelerinin birçoğunda bu akımlar ölçülmediği için gerek projenin uygulanabilmesi gerekse doğal çevrenin korunması için belirsizlikler artmaktadır.

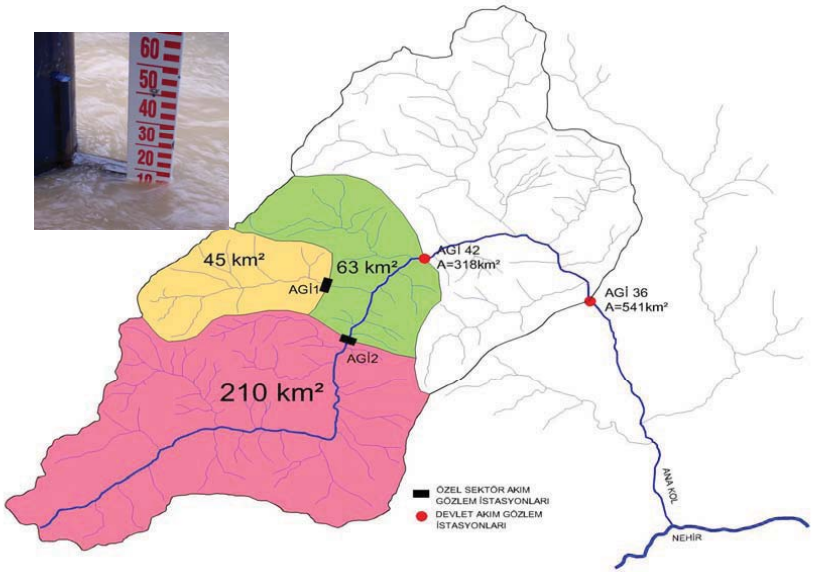
Proje yerini temsil eden istasyon/istasyonların olmadığı HES projeleri için en az 5 yıl akım ölçümlerinin yapılması ve proje ve işletme çalışmalarının da bu değerler dikkate alınarak yapılması gerekmektedir. Bu nedenle sağlıklı bir şekilde akım gözlem ölçümleri yapılmayan bazı HES'lerin ölü yatırıma dönüşme olasılığı da bulunmaktadır.

Sağlıksız hidrololjik veriler memba ve mansapta ilişkisi içerisinde olan projelerin birbirlerine olan etkilerinin sağlıklı bir şekilde dikkate alınmasını olanaksız kılar. Bu hidrololjik veri eksikliğinin yanısıra ve işletme planlamasının birlikte yapılmayışı da işletme aşamasında tesislerin verimliliği ve üretilecek enerji miktarı üzerinde etkili olacaktır.

Bunun yanısıra özellikle Doğu Karadeniz'deki HES projelerinin taşkın hidrolojisi hesapları büyük yaklaşıklıklar içermekte olup bu projelerin çok büyük bir bölümü taşkın riski altında bulunmaktadır. Daha inşaat aşamasında oluşan birkaç taşkınla yaşanan sorunlar gelecekte yaşanabilecek daha büyük sorunların habercisi olmuştur.

5.2. Bir Havza Ölçeğinde Yapılan Akım Ölçümleri ve Karşılaştırma

4628 sayılı yasa kapsamında bir havza ölçeğinde geliştirilen HES projeleri için yan kollar üzerine Akım Gözlem İstasyonları (AGİ) kurulmuştur. Bu AGİ'lerden elde edilen veriler hesaplanan ve aynı havzada ana kol üzerinde EİEİ tarafından işletilen akım gözlem istasyonundan elde edilen verilerle karşılaştırılmıştır. Ölçümlerin yapıldığı havza Şekil 13'de verilmiş, akım ölçüm işlemleri ise Şekil 14'te sunulmuştur.



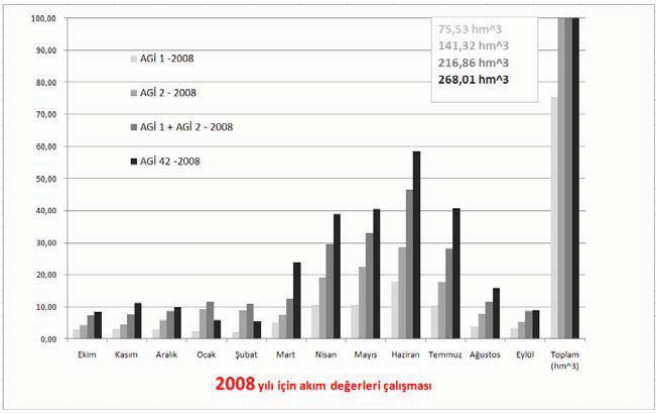
Şekil 13. Karşılaştırma Yapılan Havzadaki Akım Gözlem İstasyonları

Şekil 13'de verilen havzada kurulan AGİ'lerde 3 yılı aşkın ölçüm yapılmıştır. Bu ölçüm değerleri aynı döneme ait EİEİ'nin ana kol üzerindeki ölçüm değerleriyle karşılaştırılmış ve mertebe olarak çok yakın değerler elde edilmiştir.

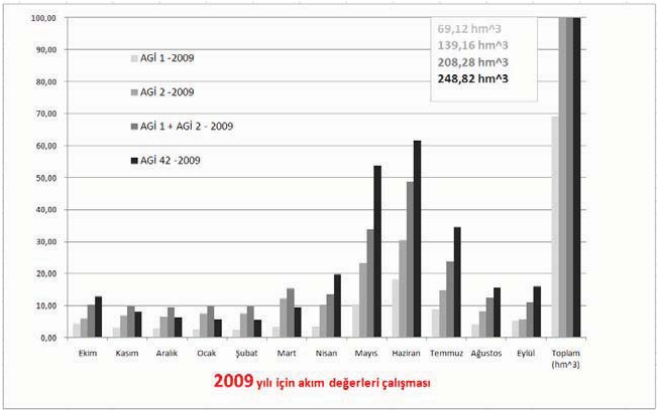
Havzadaki toplam 5 adet AGİ de yapılan ölçümlerin değerleri bu ölçümlerin doğruluklarının belirlenmesi açısından da kullanılmıştır.



Şekil 14. Akım Ölçümleri



Şekil 15. Havzada 2008 Yılında Ölçülen Aylık Ortalama Akımlar



Şekil 16. Havzada 2009 Yılında Ölçülen Aylık Ortalama Akımlar

Toplam havza alanı 318 km^2 olan anakol üzerindeki 42 nolu EİEİ AGİ'sinden alınan aylık toplam akım değerleri 2008 ve 2009 yılları için Şekil 15 ve Şekil 16'da verilmiştir. Bu şekillerin üzerine membada bir yan kol üzerindeki AGİ1 ve yine membada aynı anakol üzerindeki AGİ 2 den ölçülen aylık ortalama debi değerleri de işlenmiştir.

42 nolu AGİ'nin temsil ettiği nehir havzasında sadece kaydadeğer bir yan kolun akımı ölçülememiştir. Ancak bu yan kolun getirdiği debi değeri de gözardı edilmeden ana kol ve ölçülen yan koldaki aylık ortalama akımlar, havza alanları da dikkate alınarak incelenmiştir.

Bu incelemede yağışlı dönemdeki yan kollar toplam ve anakol toplam akım değerlerinin birbiriyle uyum içinde olduğu ancak kurak (Kasım-Şubat)dönemde anakolda yan kollarda ölçülen değerlerden daha düşük değerler bulunduğu görülmüştür. Ölçümler devam etmekte olup yeni veriler de kullanılarak havza ile ilgili daha detaylı değerlendirmeler yapılacaktır.

Çizelge 2. AGİ'lerde Ölçülen Günlük Ortalama Akım Değerleri ile hesaplanan Yıllık Ortalama Akımlar

	2007 Yılı	**2008 Yılı**	**2009 Yılı**
	Toplam Akım (hm^3)		
AGİ 42 (318 km^2)	331,00	268,00	249,00
AGİ 2 (210 km^2)		141,32	139,16
AGİ 1 (45 km^2)		75,53	69,12

Çizelge 2 incelendiğinde, 1'nolu AGİ nin havza alanı, AGİ 42'nin havza alanının % 14'ü olmasına rağmen 2008 ve 2009 yıllarında AGİ 42'de ölçülen akımın %28'i bu küçük havzadan gelmiştir. Bu küçük havza için yakın çevredeki AGİ'ler kullanılarak alan taşıma yöntemi ile yapılan hesaplarda ölçülen akım değerlerinden üçte bir oranında daha düşük değerler elde edilmiştir.

6. SU KAYNAKLARI YÖNETİMİMİZ VE SORUNLARI

Son yıllardaki hızlı nüfus artışına paralel olarak artan su talebine karşı uygun kaynak mevcudiyetinin azlığı ve gün geçtikçe gelişen sanayi ve tarımsal faaliyetlere bağlı olarak aşırı kullanım ve çeşitli kirlilik parametreleri nedeniyle ortaya çıkan sorunlar, su kaynaklan yönetiminin önemini bir kat daha arttırmıştır.

Su kaynakları yönetimi,, doğal çevrim içerisinde suyun insanlar tarafından gerek .nicelik gerekse nitelik olarak en verimli şekilde ekonomik, sosyal ve çevresel faydalar içinde sistematik olarak kullanılmasıdır. Bu yönetim, suyun çok amaçlı kullanımının yanı sıra sürekli olmasını da sağlamalıdır. Bu nedenle de sürdürülebilir bir yönetim olmalıdır.

Havza, 'hidrolojik sistemi kontrol eden doğal sınırlarla çevrili bir alandır. Su kaynakları sisteminin havza ölçeğinde tanımlanması, sistemin doğal sınırlar ile kısıtlanması, dolayısıyla bir bütün olarak ele alınmasına olanak sağlayarak, hidrolojik sistemi etkileyen, süreçler arasındaki, ilişkilerin doğru olarak ortaya konmasına yardımcı olmaktadır (Meriç 2004).

Bu sayede sistem daha kolay anlaşılmakta ve sistemin, değişik, etkilere karşı vereceği tepkiler de en uygun şekilde analiz edilebilmektedir. Havza ölçeğinden daha küçük ölçeklerde ele alınan, gerek yönetim gerekse işletim çalışmalarının başarısı sistemin tümünü karakterize etmediği için sınırlı seviyede kalmaktadır.

Ayrıca hidrolojik sistem içinde tüm süreçlerin birbiriyle etkileşim içinde olan dinamik bir yapıda olması, havza ölçeğinden küçük ölçekte gerçekleştirilen çalışmaların sürdürülebilir özelliğini çok büyük ölçüde kısıtlamaktadır.

Bu kapsamda su kaynakları yönetim çalışmalarında temel amaç, kaynak üzerinde kalıcı zararlar oluşturmadan, hidrolojik sistemin işleyişini değiştirmeyecek ama günümüzün ve geleceğin gereksinimlerini da gözetecek bir sürdürülebilir potansiyelin belirlenmesi olmalıdır. Belirlenen sürdürülebilir potansiyel, su hakları gözetilerek ve sosyal ve ekonomik koşullar altında kullanım önceliği ve türüne göre en uygun tahsisata da sahip olmalıdır. Bu kapsamda yönetimin sürdürülebilir olmasının yanında diğer önemli bir faktör de etkin olması yani en uygun kullanımın gerçekleştirilmesidir (Meriç, 2003).

Ancak bugün ülkemizin su kaynakları yönetimi, doğal hayatı da koruyarak hızla artan enerji talebini akılcı planlı ve verimli bir şekilde planlayacak refleksleri gösterememiştir.. Çok başlı çok parçalı ve koordinasyon eksikliği içindeki bu yapı nedeniyle bugün doğal hayatı da azami ölçüde koruyarak havzaların hidroelektrik enerji potansiyellerinden optimum ölçülerde yararlanabilmek konusunda tatminkar bir sonuç alınamamıştır. Bu eksiklik hızla artan nehir ve kanal tipi hidroelektrik enerji tesislerinin planlamasından işletmesine kadar kendisini olumsuz yönde hissettirmektedir.

7. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

4628 sayılı yasa kapsamında 7 Haziran 2010 itibariyle 1547 HES Projesi başvurusu yapılmıştır.Bu projelerin toplam kurulu gücü 22 537 MW olarak verilmiştir.Bunlardan

583 adedine (15 744 MW) lisans verilmiştir.Geriye kalan 964 projenin kurulu gücü 6794 MW dır.

Bu da geriye kalan projelerin kurulu güçleri çok küçük olan projeler olduğunu ortaya koymaktadır. Yani burada 964 HES yapılacak ve 6794 MW kurulu güç elde edilecektir. Ancak bu kurulu güçten yaklaşık 2000 MW daha fazla olan 8806 MW'lık kurulu güç sadece 69 adet lisans almış projeyle elde edilebilmektedir.

EPDK'dan 7 Haziran 2010 tarihine kadar lisanas almış olan projeler incelendiğinde 583 Lisanslı HES'in 514'ünün 0-50 MW arasında olduğu görülmektedir.

0-50 MW kapasitesi olan Nehir ve Kanal Tipi HES'lerden EPDK'dan lisans alan 514 ünün yıllık ortalama enerji üretimi yaklaşık 20,5 milyar kwh olarak verilmektedir. Ancak bu tesislerin planlama raporlarında özellikle hidroloji (proje debisi tespiti) konusunda yeterli ve güvenilir debi ölçümleri kullanılamamış ve doğaya bırakılan "doğal yaşam suyu" planlamada az hesaplanmıştır. Bu nedenelerle su ölçümleri yapıldığında ve doğaya bırakılacak su miktarı gerekli değerlere çekildiğinde bu üretimin azalacağı şeklinde değerlendirme yapılmaktadır.

Bunun yanısıra geriye kalan lisanas almamış 6794 MW'lık 964 projenin tümünün yapıldığı kabul edildiğinde ve yukarıdaki kriterler uygulandığında bu projelerden de teorok olarak hesaplanandan daha az enerji üretileceği düşünülebilir. Bu durum projelerin uygulamasında önem ve öncekllik sırasına dikkat edilmesi sonucunu doğurmaktadır.

Ülkemizde son dönemde özel sektöre açılan enerji yatırımları nedeniyle hızla artan HES projelerinde mühendislik hidrolojisi çalışmaları en önemli yeri tutmaktadır. Ancak gerek hidrolojik ölçüm ağı yetersizliklerinin giderilmemiş olması gerekse su kaynakları yönetimindeki zaafiyetler ekonomik ekolojik sorunlarla karşı karşıya gelmemize neden olmuştur. Bu sorunlar eksik mühendislik hidrolojisi nedeniyle HES projelerinin rantabilitesinin düşmesi hatta ortadan kalkması, doğal yaşamın devamı için gerekli suyun nehir yatağına bırakılmadan türbinlenmesi, taşkın hasarı risklerinde artış ve havzadaki enerji potansiyelinin tümüyle geliştirilememesi gibi sorunlar olarak ortaya çıkacaktır.

1500'ü aşkın yeni HES projesinin işletme süresinde de hidrolojik ölçüme olan ihtiyacı olacaktır. Bu ihtiyaç dikkate alınarak herbir HES'in Akım Gözlem İstasyonu kurması ve bunun akış kontrolü ve işletme düzeni için merkezi bir ağa bağlanması zorunlu tutulmalıdır.

Özetle ülkemizde su tahsisi konusundaki karmaşanın önlenmesi ve suyun havza ölçeğinde entegre ve verimli bir şekilde kullanılması için daha etkili bir gözlem ağı ve veri bankasının eksikliği son dönemdeki HES projelerinde büyük oranda hissedilmiştir.

Bu nedenle su kaynaklarının gözlenmesi, planlanması, değerlendirilmesi, kullanımı ve yönetilmesinde çokbaşlılık ve yetki karmaşasını ortadan kaldıracak yeni bir model hızla oluşturulmalıdır. Bu model mevcut kurumların yeni bir su yasası kapsamında yenilenmesi yerine bu yasal düzenlemeyi de içinde barındıran bir **"Su Kaynakları Bakanlığı "** yasası ve kurumsal yapısı şeklinde olmalıdır.

8. KAYNAKLAR

DPT "Su Havzaları Kullanımı ve Yönetimi Özel İhtisas Komisyonu Raporu", Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı, DPT 2555, ÖİK 571, Ankara, 198 s., 2001.

EPDK Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu. Lisanslı projelerin ilerleme durumu http://www.epdk.gov.tr/lisans/elektrik/ilerleme_proje.htm 12 Ağustos 2010.

Kanber, R. "Türkiye'de Su Kaynakları Potansiyeli: Kullanımı, Sorunları ve Çözüm Önerileri", TMMOB İMO Su Politikaları Kongresi, Bildiriler Kitabı, Cilt: 1 Sh: 1-12, Ankara, 2003.

Meriç, B.T., "Akarçay (Afyon) Havzası Su Kaynakları Yönetim Modeli", Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji (Hidrojeoloji) Mühendisliği Anabilim Dalı Doktora Tezi, Beytepe, Ankara, 127 s. 2003 (yayımlanmamış).

Meriç, B.T., "Su Kaynakları Yönetimi ve Türkiye", Jeoloji Mühendisliği Dergisi 28 (1) 2004.

TEİAŞ Türkiye Elektrik Enerjisi 10 Yıllık Üretim Kapasite Projeksiyonu (2009 – 2018) Haziran 2009

USİAD, "Hidroelektrik Enerji İçin Acil Durum Tesbiti ve Öneriler", Sektör Broşürü 2010, (hazırlayan: Topraksuenerji Grubu www.topraksuenerji.org), Ankara, 15 Temmuz 2010.

Yıldız, D. (Ed.) "Su Raporu", Ulusal Sanayici ve İşadamları Derneği, Ankara, Haziran 2007.

SOYADI DİZİNİ

ABAY, O. ……. 64, 933, 943
ACAR, R. ……. 536
AĞIRALİOĞLU, N. …. 428
AKSOY, H. …….. 651, 719
AKYÜREK, Z. ……. 22, 327
ALTIPARMAK, B. ….. 11
ARSLAN, F. ……. 282
ARSLAN, O. …… 612
AYHAN, Ö. ……... 892
AYVAZ, M. T. ……. 569
BARAK, M. ……... 408
BARAN, T. ……..... 188, 416, 804
BATUR, E. ……... 452
BAYKAN, N. O. …….. 64, 88, 77, 110, 243, 781, 933, 943
BAYKAN, N..……... 77, 88, 943
BAYRAM, A. ……... 522, 873
BENZEDEN, E. ……... 201
BİÇKİCİ, F. …….. 369
BİLEN, O. ..……..... 11
BİRİNCİ, V. ..……..... 700
BOR, A. ..……..... 826
BUDAKOĞLU, M. 388
BÜYÜKYILDIRIM, G. 45
CANGEL, T. ..……... 2
ÇAKMAK, Ö. ……... 416
ÇETİN, M. …… 745, 848
ÇITAKOĞLU, H. ..…... 176
ÇİMEN, M. ……... 154
ÇOBANER, M. ……. 229
ÇOKGÖR, Ş. …… 651
DALKILIÇ, H. Y. ……. 555
DEĞER, B. ……... 637
DEMİRCİ, İ. E. ……. 917
DEMİRPENÇE, H. ….... 629
DİKBAŞ, F. …….. 339, 804
DİKBAŞ, M. A. …….. 917
DOĞAN, A. …… 612
DOĞAN, E. ……. 686
DURMUŞ, Ö. …….. 651
ELÇİ, A. ……... 583
ELÇİ, Ş. ……... 826
ELKIRAN, G. ……. 793
ERGİN, G. …….. 408
ERİŞ, E. ……... 428
ERKUŞ, M. K. ……... 883
FIRAT, M. …….. 339
FISTIKOĞLU, O. …….. 546, 583, 663
GEDİKLİ, A. …….. 651
GENÇ, S. ……. 77
GÖZEL, E. …….. 510
GÜLDAL, V. …….. 731
GÜNDOĞDU, İ. ……. 254
BACANLI, Ü. G. …… 77, 770, 804
GÜNEŞ, M. ……. 674
GÜNEY, M. …… 141
GÜNGÖR, M. ……. 339, 917
GÜRARSLAN, G. …….. 601
HAKTANIR, T. ……. 176
HORSBURGH, J. S. ….. 349
IŞLAK, İ. ……. 637
İNAL, İ. ……... 838
KANKAL, M. ……. 522, 873
KARAHAN, H. ……... 210, 379, 569, 601
KARAMAN, İ. …… 282
KARAMAN, M. ……. 388
KAYA, B. ……... 88, 110
KAYA, Y. ……... 452, 469
KAZEZYILMAZ-ALHAN, C. M. 637
KEBAPCIOĞLU, E. ….. 141
KENTEL, E. ……. 439

KESKİN, E. …….. 408
KESKİN, F. …….. 755
KESKİN, M. E. 710
KESKİNER, A. D. …… 848
KIRMIZIGÜL, H. …… 838
KİŞİ, Ö. …… 229, 674
KOCA, K. …….. 651
KOÇ, A. C. ……... 339
KÖKEN, E. …….. 201
KÖMÜRCÜ, M. İ. …… 522
KÖSE, Ö. …….. 360
KUMANLIOĞLU, A. A. . 663
KUMRAL, M. …….. 388
KÜÇÜK, İ. …… 902
MALKOÇ, F. …… 32, 127, 265, 815
MALKOÇ, Y. ……... 127, 265, 815
N. BULUT, V. …….. 873
OKKAN, U. …….. 546, 555
ÖNAL, B. …….. 781
ÖNÖZ, B. …….. 2, 11, 700
ÖNSOY, H. …….. 522, 873
ÖZDEMİR, A. D. ……. 883
ÖZGENÇ, A.A. …… 141
ÖZKAYA, M. …….. 282, 310, 452, 469, 892
ÖZKUL, S. ……... 254
ÖZTÜRK, D. …… 32, 127, 265
ÖZTÜRK, S. …… 32
PALA, M. …….. 11
PİLGİR, M. ……..... 770
SABAN, M. …….. 452
SARAÇ, M. …….. 863
SCHREUDERS, K. …….. 349
SOYTEKİN, A. …… 327
SÖNMEZ, O. …… 686
SÜRER, S. …… 22
ŞARLAK, N. …… 349
ŞENOCAK, S. …….. 536
ŞENSOY, A. ……. 491, 510
ŞORMAN, A. A. …….. 491, 510
ŞORMAN, A. Ü. …….. 22, 491, 755
TANRIÖVER, Y. E. …. 88, 110
TARBOTON, D. G. …. 349
TAŞDELEN, S. …… 388
TAYFUR, G. …… 166, 254, 826
TAYLAN, E. D. …….. 710
TEMİZ, Ö. …… 188, 416
TERZİ, Ö. …….. 408
TONGAL, H. …… 731
TONKAZ, T. …… 745
TUNA, H. ……. 32, 127, 265
TÜRK, S. …….. 88, 110
TÜRKEN, N. E. …….. 88
TÜRKMAN, F. ……. 88, 793
UÇAR, İ. …….. 310, 892
UYSAL, G. ……... 491
ÜLKE, A. …… 254
ÜNAL, B. ……. 229
ÜNAL, E. ……. 637
ÜNAL, N. E. ……. 651
WITTENBERG, H. ….. 719
YAMANKURT, E. ….. 510
YAŞAR, M. …….. 243, 781, 933, 943
YAŞLI, E. ……. 674
YEĞEN, B. ……... 11
YILDIZ, D. ……... 958
YILDIZ, M. …….. 127, 310, 815, 892
YILDIZ, S. ……... 917
YOON, J. ……..... 651



Yatırımlarımızla Büyüyor, Ülkemizin Kalkınmasına Değer Katıyoruz.

Limak İnşaat Grubu: Barajlardan sulama tesislerine, havaalanlarından otoyollara, boru hatlarından sanayi tesislerine, limanlardan arıtma tesislerine, tatil köylerinden bina komplekslerine... Başarıyla tamamlanmış 4 milyar dolarlık taahhüt. **Limak Turizm Grubu:** Arcadia Golf & Sport Resort, Limra Hotel & Resort, Atlantis Hotel & Resort, Limak Lara De Luxe Hotel & Resort, Ambassadore Butik Hotel, Limak Babylon Resort Kıbrıs, Yalova Termal Butik Otel, İstanbul Kavacık Şehir Oteli. **Limak Enerji Grubu:** Pamuk, Çal, Seyrantepe, Alkumru, Tatar, Uzunçayır, Pembelik, Demirkapı, Kargı, Eriç, Kirazlık Hidroelektrik Santralleri. **Limak Çimento Grubu:** Siirt Kurtalan, Diyarbakır Ergani , Gaziantep, Şanlıurfa ve Bitlis Çimento Fabrikaları. **Limak Havacılık Grubu:** İstanbul Sabiha Gökçen Uluslararası Havalimanı, Limak Havacılık. **Limak Gıda Grubu:** Limkon Meyve Suyu Konsantresi Üretim Tesisleri.

Limak

www.limak.com.tr



AKBAŞ HOLDİNG



Akbaş Holding önderliğinde oluşturulmuş olan GERİLİM ENERJİ A.Ş. Dünya elektromekanik türbin üretici devlerinden Tianjin Tianfa ile işbirliği kurarak yurt içinde elektromekanik ekipman teminini sağlamaktadır.Aynı zamanda, proje danışmanlık ve inşaat alanlarında hizmet vermektedir. Akbaş Holding, 2000 çalışanı yıllık 250 milyon dolarlık ihracatı ve Çindeki yapılanması ile enerji sektöründe iddialı yatırımcı ve tedarikçi olma hedefi ile yola çıkmıştır.



Çayhane sokak No:21/9 Çankaya-ANKARA
Tel:0(312)436 08 79 Fax:0(312)436 23 61

NTF İNŞAAT TİCARET LTD. ŞTİ.

DALAMAN AKKÖPRÜ BARAJI VE HES



NTF İnş.Tic.Ltd.Şti Şirketi Baraj ve Hidroelektrik Santraller,Sulama ve Drenaj Projeleri,Yol Köprü ve Tünel İşleri, Kazı ve Dolgu İşleri, İçmesuyu suyu ve Atıksu Şebekeleri, Sondaj ve Enjeksiyon İşleri, Maden ve Ocak işletmeleri, Binalar ve Sanayi Tesisleri, Şehir Altyapıları, Havaalanları, Limanlar, Doğalgaz ve Petrol Boru hatları alanlarında faaliyet göstermektedir.

Adres: Yaşam Caddesi Ak Plaza Kat:2 No:7
Söğütözü 06520 /Ankara
Tel : (312) 219 20 13
Faks: (312) 219 20 99



modern beton

TS EN 206-1 güvencesi ile,

Uzman mühendis kadrosu ile,

Çevreye olan duyarlılığı ile,

Zamanında beton dökümü ile,

Yüksek standartlarda hizmet sözü veriyor.

size yakın bir **modern beton** tesisi mutlaka vardır...

http://www.modernbeton.com.tr

Genel Merkez Tel: 0258 816 34 00 Fax: 0258 816 34 37	Gümüşler / DENİZLİ Tel: 0258 371 52 70 Fax: 0258 371 52 54	Kocabaş / DENİZLİ Tel: 0258 814 50 73 Fax: 0258 814 55 55	Tavas / DENİZLİ Tel: 0258 613 13 30 Fax: 0258 613 13 12	Acıpayam / DENİZLİ Tel: 0258 518 18 04 Fax: 0258 518 31 72	Kumocağı / DENİZLİ Tel: 0 555 647 12 63
Merkez / MANİSA Tel: 0236 214 00 60 Fax: 0236 214 00 59	Alaşehir / MANİSA Tel: 0236 654 49 03 Fax: 0236 654 49 05	Soma / MANİSA Tel: 0236 612 09 91 Fax: 0236 612 09 73	Turgutlu / MANİSA Tel: 0232 880 20 13 Fax: 0232 880 20 14	Merkez / AYDIN Tel: 0256 231 01 33 Fax: 0256 231 01 40	Söke / AYDIN Tel: 0256 511 12 19 Fax: 0256 511 12 60
Kuşadası / AYDIN Tel: 0256 622 10 37 Fax: 0256 622 10 82	Sarnıç / İZMİR Tel: 0232 281 54 90 Fax: 0232 281 54 95	Tire / İZMİR Tel: 0232 512 85 28 Fax: 0232 512 85 36	Yeni Şakran / İZMİR Tel: 0 555 647 12 42 Tel: 0 533 747 71 22	Yeniköy / ANTALYA Tel: 0242 421 43 30 Fax: 0242 241 43 33	Taş Ocağı / ANTALYA Tel: 0 242 412 33 00 Fax:0 242 412 33 00

eren CRH













SU yapı MÜHENDİSLİK VE MÜŞAVİRLİK A.Ş.

Kuruluşu 1964

"Deneyim ve Gelişim ile Geleceğe Katkı"

- Su Temini ve Dağıtımı
- Su Arıtma Tesisleri
- Atıksu ve Yağmursuyu Drenajı
- Atıksu Arıtma Tesisleri
- Çevre Teknolojileri
- Boru Hatları, Pompa İstasyonları
- Sulama ve Drenaj Sistemleri
- Su Kaynakları Mühendisliği
- Barajlar ve Hidroelektrik Santrallar
- Tüneller ve Köprüler
- Doğal Gaz Projeleri
- Binalar, Toplu Konutlar
- Yollar, Otoyollar, Demiryolları
- Endüstriyel Tesisler

- **Planlama**
- **Projelendirme**
- **İnşaat Kontrolluğu**
- **Proje Yönetimi**

ISO 9001 BUREAU VERITAS Certification

Ahmet Rasim Sokak 16, 06550 Çankaya - Ankara
Tel : (312) 441 32 26 Faks : (312) 438 27 26
E-posta : suyapi@suyapi.com.tr

www.suyapi.com.tr

MASTER PLAN
FİZİBİLİTE
KESİN PROJE

UYGULAMA PROJESİ
KONTROLLUK
MÜŞAVİRLİK

- HAVZA PLANLAMASI
- HİDROELEKTRİK SANTRALLAR
- BARAJLAR
- TÜNELLER
- SU TEMİNİ VE ARITMA
- ATIKSU VE ÇEVRE SAĞLIĞI
- SULAMA VE DRENAJ
- YAĞMURSUYU DRENAJI
- YOLLAR VE OTOYOLLAR
- HAVAALANLARI
- BORU HATLARI
- HARİTA
- JEOLOJİ VE JEOTEKNİK

- TÜRKİYE
- AZERBAYCAN
- KAZAKİSTAN
- KIRGIZİSTAN
- ÖZBEKİSTAN
- TACİKİSTAN
- TÜRKMENİSTAN
- SUUDİ ARABİSTAN
- ÜRDÜN



İstanbul Gebze-Haydarpaşa, Sirkeci-Halkalı Toplu Taşıma Sistemi İyileştirme Projesi, Türkiye

Al Wehdah Barajı (SSB), Ürdün



Borçka - Artvin Yolu'nda Viyadük, Türkiye



Bolaman - Perşembe Yolu, Kadıoğlu Tüneli, Türkiye



Borçka Barajı ve HES, Türkiye



temelsu

ULUSLARARASI MÜHENDİSLİK HİZMETLERİ A.Ş.
Yıldızevler 4. Cad., 721. Sokak, No:6, Çankaya 06550 Ankara - TURKEY
Tel: +90 312 442 47 20 • Fax: +90 312 438 52 14
web:// www.temelsu.com.tr • e-mail: temelsu@temelsu.com.tr

CE-Yapı Mühendislik

İLGİ ALANLARI

- HİDROLOJİ
- HİDROELEKTRİK
- İÇME SUYU
- SULAMA
- ATIK SU
- RÜZGAR ENERJİSİ
- HAVZA PLANLAMA



2006 YILINDA ENERJİ SEKTÖRÜNDE ÇALIŞMALAR YAPMAYI HEDEFLEYEREK FAALİYETLERİNE BAŞLAYAN FİRMAMIZ GENÇ VE DİNAMİK MÜHENDİSLİK KADROSU VE DENEYİMLİ EKİBİ İLE BU HEDEFİNE KISA ZAMANDA ULAŞMIŞTIR.



ÇEVREYE DUYARLI, HAVZA PLANLAMALARI İLE UYUŞAN, EN UYGUN YÖNTEMLER KULLANILARAK HAZIRLANAN HİDROLOJİ ÇALIŞMALARI İLE ÖZELLİKLE HİDROELEKTRİK KONUSUNDA SİSTEMLİ ÇALIŞMALARIMIZ HAYATA GEÇMEYE BAŞLAMIŞTIR.

HEDEFİMİZ BUGÜNE KADAR GERÇEKLEŞTİRİLMİŞ OLAN KALİTELİ ÇALIŞMA SİSTEMİNDEN ÖDÜN VERMEDEN YATIRIMCILARIN, HALKIN, DOĞANIN, İDARELERİN MÜŞTEREK İHTİYAÇLARINA CEVAP VEREBİLEN DİNAMİK BİR FİRMA OLARAK FAALİYETLERİMİZİ SÜRDÜRMEKTİR.



İLETİŞİM

Adres:

Ceyhun Atıf Kansu Cad.
No: 112/14 Balgat
ANKARA

Tel: 90 312 473 40 30

Fax: 90 312 473 62 76

www.ceyapi.com

HYDRO-TU ENGINEERING

HİDROELEKTRİK santral PROJELERİ İÇİN ÇİN' Lİ ÜRETİCİ VE TEDARİKÇİ HYDRO-TU İLE YAPILAN İŞBİRLİĞİ İLE MAKİNE VE EKİPMAN ÇÖZÜMLERİ SUNMAKTAYIZ.





Hydropower.com.cn

Bringing you a prosperous future with clean,reliable,renewable energy.

HYDRO-TU

HANGZHOU HYDROTU ENGINEERING CO.

Suyun gücü


Koyulhisar 63 MW

Suyun gücünü, ülkenin gücüne katmak için yeni projeler üretmeye devam ediyoruz.

PROJELER:

Göktaş I	135 MW
Göktaş II	165 MW
Aksu	50 MW
Çankırı	135 MW

YATIRIMLAR:

Çırakdamı	50 MW
Dereli	50 MW
Toros	50 MW


Mentaş 40 MW


Gökyar 11MW


Feslek 9MW


Dalaman (I) 7.5MW


Dalaman (II) 7.5MW


Dalaman (V) 7.5MW


Dalaman (III) 7.5MW


Dalaman (IV) 7.5MW


Denizli (II) 1.6MW


Denizli (I) 1.6MW

bereket enerji
Üretim A.Ş.

Atatürk Bulvarı, 15 Mayıs Mahallesi 832 Sk. No: 2 75.Yıl Esnaf Sarayı Kat:2 Denizli Tel: 0258 242 2776 - 242 0980 - 265 0616 Faks: 0258 265 1585
www.bereketenerji.com.tr