

ALT YAPI SİSTEMLERİNİN DEPREM PERFORMANSININ COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİ İLE DEĞERLENDİRİLMESİ

Selçuk TOPRAK¹, Filiz TAŞKIN², A. C. KOÇ¹,
Şule VARDAR³

stoprak@pamukkale.edu.tr, ftaskin@student.pamukkale.edu.tr, a_c_koc@pamukkale.edu.tr,
svardar@denizli.bel.tr

Öz: Son depremler, örneğin 1994 Northridge, Kaliforniya, Amerika Birleşik Devletleri (A.B.D.), 1995 Kobe, Japonya, 1999 Kocaeli, Türkiye ve 1999 Chi-Chi, Tayvan depremleri alt yapı sistemlerine geniş ölçüde zarar verdiler. Bu sistemlerde oluşan yaygın hasarlar ve toplanan kapsamlı veri tabanı, zararların coğrafik değişkenliğini ve boru hasarlarıyla değişik deprem parametreleri (maksimum yer hızı gibi) arasındaki ilişkilerin değerlendirilmesine imkan vermiştir. Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) geniş alana yayılmış olan alt yapı sistemlerini değerlendirmede günümüzün önemli ve gerekli araçlarından biri haline gelmiştir. Bu çalışmada alt yapı sistemlerinden özellikle su boru hatları ve kanalizasyon sistemleri üzerine yoğunlaşmış ve bu sistemlerin deprem esnasında performansını etkileyen özellikler tartışılmıştır. CBS'nin alt yapı sistemlerinin deprem performansının değerlendirilmesinde kullanılışı gösterilmiştir. Ayrıca Denizli şehrinde gelecekte olabilecek bir depremin alt yapı sistemlerinde oluşturabileceği hasarların belirlenmesi amacıyla oluşturulan CBS veri tabanı tasvir edilmiştir. Bu veri tabanı içme suyu şebekesini, kanalizasyon ve yağmur suyu drenaj sistemlerini kapsamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Borular, Boru Hasarları, CBS, Deprem Riski, İçme Suyu Şebekesi, Kanalizasyon

Giriş

Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) geniş alana yayılmış olan alt yapı sistemlerini değerlendirmede günümüzün önemli ve gerekli araçlarından biri haline gelmiştir. Özellikle son yıllarda büyük yerleşim alanlarını etkileyen depremlerde, alt yapı sistemlerinin performansı CBS kullanılarak değerlendirilmiş ve hangi faktörlerin bu performansı etkilediği araştırılmıştır (Toprak ve Yoshizaki, 2003). 1994 Northridge depremi sonunda Los Angeles şehri içme suyu şebekesinde oluşan hasarların değerlendirilmesi buna güzel bir örnektir. 1994 Northridge depremi, 1906 San Francisco depreminden beri A.B.D.'de bir su dağıtım şebekesinde meydana gelen en büyük zararı vermiştir. Los Angeles şehri içme suyu arıtma tesislerine kuzeyden su getiren Aqueduct 1, Aqueduct 2 ve Foothill Feeder adlı üç ana iletim hattı şehrin içme suyu ihtiyacının % 75'inden fazlasını sağlamaktadır. Deprem sonucunda şehre su getiren bu iletim hatlarında zararlar meydana gelmiştir. Los Angeles Su ve Elektrik İdare'sine (LADWP) ve Metropolitan Su Kuruluşu'na (MWD) ait suyu şehir içerisine ulaştıran iletim borularında (boru çapı ≥ 600 mm) 74 noktada ve LADWP dağıtım şebekesi borularında (boru çapı < 600 mm) 1013 noktada onarım gerekmiştir. Los Angeles'taki borularda depremin meydana getirdiği zararlar ve bu zararları karakterize etmek ve incelemek için oluşturulan veri tabanı Toprak (1998), O'Rourke, vd. (1998) ve O'Rourke ve Toprak (1997) yayınlarında sunulmuştur ve burada yalnız konuyla ilgili önemli ayrıntılar ele alınacaktır.

Ege bölgesinin doğusunda bulunan Denizli, birinci derece deprem bölgesindeki şehirlerimizden biridir. Batı Anadolu genişleme kuşağında normal faylarla sınırlı Gediz ve Menderes grabenlerinin kesiştiği bölgede yer almaktadır. Tarihi gelişimi içinde Denizli ve civarı büyük şiddetli pek çok depreme maruz kalmıştır (Altunel, 2000). Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Merkezinden (2004) alınan 1900-2004 verileri bölgenin depremsellik açısından aktif olduğunu göstermektedir. Aydan vd. (2001) Türkiye'deki geçmiş deprem verilerini ve GPS ölçümlerini kullanarak yaptığı değerlendirmelerde, Denizli civarında 6.3 büyüklüğünde bir depremin olabileceğini tahmin etmektedir. Deprem tehlikesinin böyle yüksek olduğu bir şehir için gelecekte olması muhtemel depremlerde alt yapı sistemlerinin performanslarının tahmin edilmesi önem kazanmaktadır. Bu tür tahminler zararların önlenmesi için tedbirler alınmasında ve deprem sonrası için hazırlıkların yapılmasında önemlidir. Bu amaçla Denizli için içme suyu şebekesini,

¹Pamukkale Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Kınıklı Kampüsü, Denizli 20070

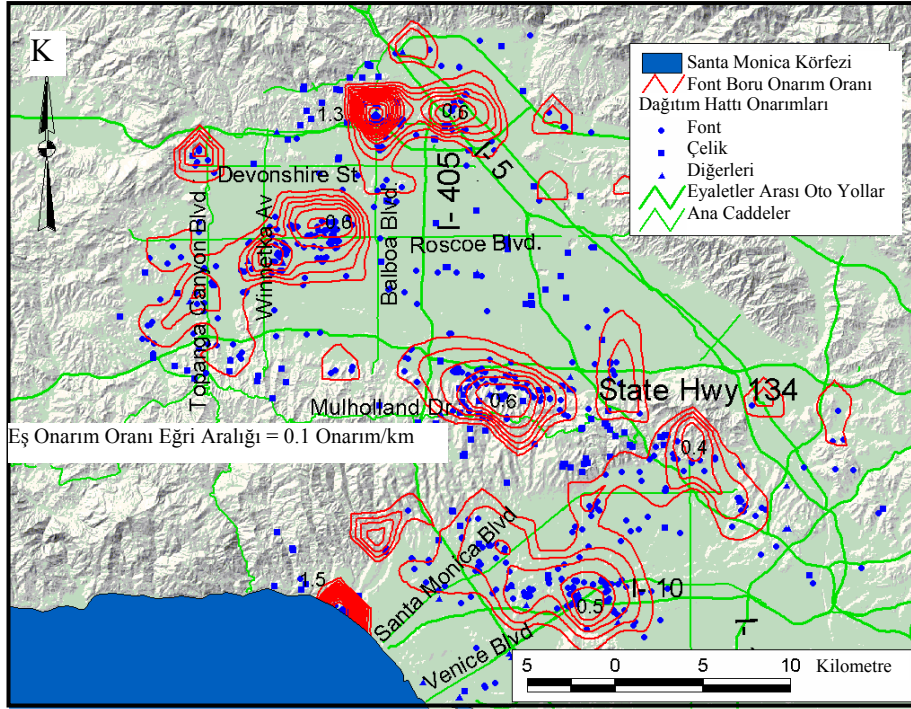
²Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği, Kınıklı Kampüsü, Denizli 20070

³Denizli Belediyesi, Su İşleri Müdürü, Denizli

kanalizasyon ve yağmur suyu drenaj sistemlerini içine alacak şekilde bir CBS veri tabanı oluşturulması çalışmaları yapılmaktadır. Burada CBS veri tabanının oluşturulması ve deprem zararlarının tahmininde nasıl kullanıldığı açıklanacaktır.

CBS ile Alt Yapı Sistemlerinin Deprem Performansının Değerlendirilmesi

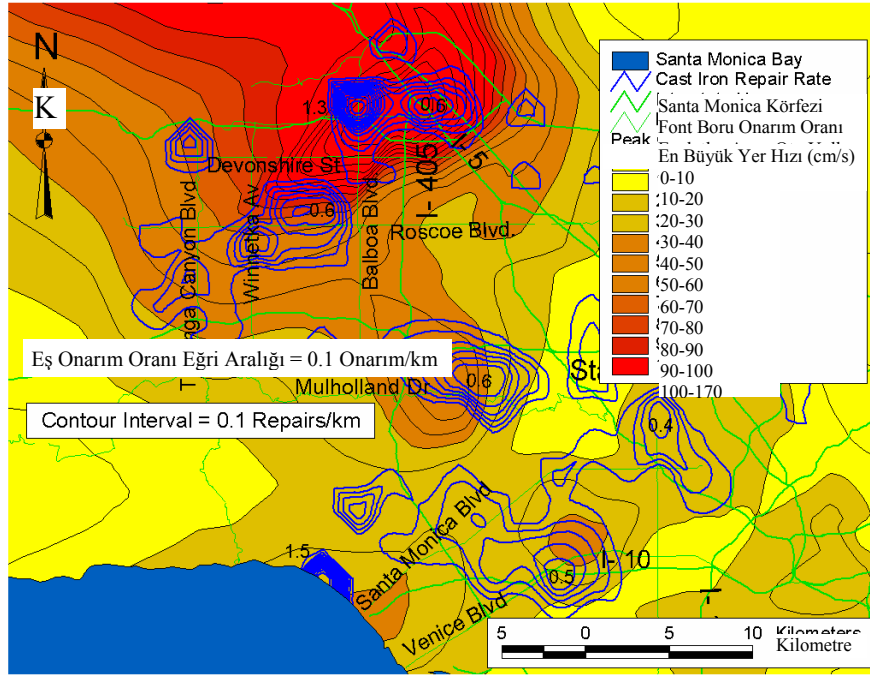
Coğrafi Bilgi Sistemleri kullanılarak değerlendirmelerin yapılabilmesi için öncelikle alt yapı sistemleri ile ilgili bilgilerin sayısallaştırılması gerekmektedir. Örneğin, Toprak (1998) Los Angeles şehri ve 1994 Northridge depremi için yaptığı çalışmada boru onarım yerleri, iletim ve dağıtım borularının cins ve boyut özellikleri ile ilgili bilgileri coğrafi bilgi sistemleri veri tabanı olarak ARC/INFO yazılımı ile hazırlamıştır. Yaklaşık olarak 11.000 km dağıtım hattı ve 1.000 km iletim hattı sayısallaştırılarak bilgisayar ortamına aktarılmıştır. Şekil 1 su dağıtım hatlarındaki onarım noktalarını ve font borular için eş onarım oranı eğrilerini harita üzerinde göstermektedir. Dağıtım hatlarının %76'sı font borudan oluşmaktadır. Bu borular kırılabilir özelliklere sahiptir ve ufak yer değiştirmelere karşı hassastır. O yüzden özellikle deprem dalgalarının etkisinin tespitinde kullanılmaya çok uygundur. Ayrıca dağıtım hatlarının yoğunluğunun bu boru cinsinden olması ve şehir içerisinde yaygın olarak dağılımı depremin etkilerinin incelenmesinde tercih edilmesini etkilemiştir. Eş onarım oranı eğrilerini belirleyebilmek için harita 2x2 km boyutunda alanlara bölünmüş ve her alan içerisindeki font boru onarım sayısı tespit edilmiş ve bu sayı yine aynı alan içindeki toplam font boru uzunluğuna bölünmüştür. Bu şekilde elde edilen onarım oranı, boru hasarlarını belirtmede kullanılan yaygın bir terimdir. Bu değerler her alanın merkezindeki



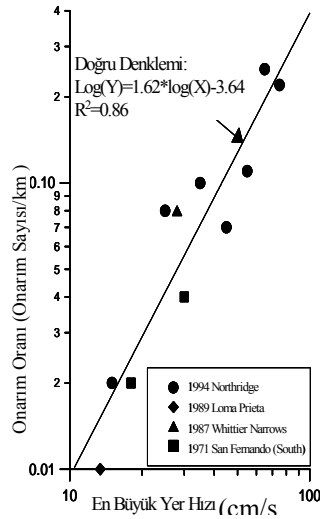
Şekil 1. 1994 Northridge Depremi için Font Boru Hatları Eş Onarım Oranı Eğrileri (O'Rourke ve Toprak, 1997) değer olarak kabul edilmiş ve interpolasyon uygulanarak eş onarım oranı eğrileri çizilmiştir. Değişik alan ölçütleri denenmiş ve 2x2 km'lik ölçü, bu çalışma bölgesi ve harita ölçeği için en uygunu olarak tespit edilmiştir (Toprak vd., 1999). Eş onarım oranı eğrilerinin en yoğun olduğu bölgeler dağıtım hatlarında oluşan hasarların en fazla olduğu yerleri göstermektedir.

Boru hatlarında oluşan zararlar ile farklı deprem parametreleri arasında coğrafi etkileşimi tespit edebilmek için Los Angeles ve civarında kaydedilmiş 240 kuvvetli yer hareket ölçeri verileri kullanılmıştır. Şekil 2 font boru eş onarım oranı eğrilerini en büyük yatay yer hızı (PGV) zonları üzerine bindirilmiş halde göstermektedir. PGV zonları kuvvetli yer hareketi ölçerlerinden elde edilen maksimum yer hızı değerlerinden interpolasyonla elde edilmiştir. CBS kullanarak her PGV zonu içindeki boru onarım sayısı ve boru uzunluğu hesaplanarak zona karşılık gelen onarım oranı hesaplanmıştır. Her zon içerisindeki boru hattı uzunluğunun sistemdeki toplam font boru uzunluğunun yaklaşık % 2'inden az olmaması bir eleme kriteri olarak kullanılmıştır. Bu oran her PGV zonu içerisindeki boru hattı uzunluğunun popülasyon istatistiğini uygun şekilde temsil edebilmesi için seçilmiştir. Bu kriter sonucunda elenen zonlar aynı

zamanda özellikle kalıcı yer hareketleri gözlenen bölgelere karşılık geldiğinden son veriler deprem dalgalarının geçişi esnasında oluşan hasarları temsil etmektedir. Bu şekilde elde edilen veriler Şekil 3’de gösterilmiştir. Yine aynı şekil üzerinde bazı geçmiş depremlerden elde edilen güvenilir veriler gösterilmiştir (Toprak, 1998). Bu verilerden hesaplanan onarım oranları ile PGV arasında geliştirilen korelasyon da şekilde gösterilmiştir. Kullanılan eleme kriterinin sonucu olarak korelasyon 75 cm/sn yer hızına kadar geçerlidir. Toprak (1998) benzer ilişkileri boru hattı onarım oranları ile en büyük yatay yer ivmesi (PGA), en büyük yatay yer değiştirme, geliştirilmiş Mercalli şiddeti (MMI), spectrum şiddeti (SI), Arias şiddeti (AI), ve spektral ivme ve hız gibi deprem parametreleri arasında geliştirmiştir. Bu parametreler arasında PGV, boru hattı onarım oranı ile en iyi korelasyon değerini vermiştir. Değişik boru cinsleri için boru hattı onarım oranları ve PGV arasındaki ilişkileri O’Rourke vd. (1999) ve O’Rourke ve Jeon (1999) kaynaklarında bulunabilir. Bu ilişkiler başka bir bölgede gelecekte olacak bir deprem için deprem zarar tahminlerinin yapılmasında, zararların önlenmesi için tedbirler alınmasında ve deprem sonrası için hazırlıkların yapılmasında önemlidir.



Şekil 2. Boru Hattı Onarım Oranı Eğrileri ve Northridge Depremi En Büyük Yer Hızları (O’Rourke ve Toprak, 1997)



Şekil 3. En Büyük Yer Hızı (PGV) ile Boru Hattı Onarım Oranı Arasındaki İlişki (Toprak, 1998; Toprak, 2004)

Boruların Deprem Performansını Etkileyen Faktörler

Depremi gömülü boru hatları üzerine olan zararı, geçici yer deformasyonlarıyla (GYD) veya kalıcı yer deformasyonlarıyla (KYD) olmaktadır. GYD deprem dalgalarının geçişi esnasında oluşan, zeminin dinamik tepkisi iken KYD deprem sonrasında zeminde oluşan ve geri dönmeyen son yer değiştirmelerdir. GYD bazen küçük miktarda kalıcı deformasyonlar oluşturabilir fakat bunlar genelde yüzeysel etkilerdir. KYD genellikle büyük olmakta, örneğin fay hatlarının hareketlerini, şev kaymalarını, sıvılaşma sonucu oluşan yer değiştirmeleri ve kohezyonsuz topraklarda oluşan farklı oturmaları içine almaktadır (O'Rourke, 1998; Toprak ve Yoshizaki, 2003). GYD ve KYD değerlerinin rölatif büyüklükleri hangisinin boru hattının üzerinde etkisinin hakim olduğunu belirler. Eğer KYD değeri GYD'den daha büyükse o zaman KYD gömülü boru hatlarına daha çok zarar verir ya da tersi durum gerçekleşir. Boru hatları üzerinde GYD genellikle KYD'e göre daha küçük uzama oranlarına ve deformasyonlara sebep olur. Bununla birlikte GYD'nin etkilediği alan KYD'nin etkilediği alandan çok daha büyüktür. Bu sebeple zayıf kısımların bulunduğu yada paslanma gibi sebeplerle parçaların zayıfladığı boru hattı sistemleri üzerinde GYD oldukça yaygın etkiler gösterebilir. KYD ise daha yerel bölgelerde gerçekleşmesine rağmen, etkilediği bölgede çok büyük zararlara sebep olur.

Gömülü boru hattı sistemlerinde oluşabilecek hasarlarda; boru cinsi, boru çapı, ek türleri, zemin korozyonu ve boru yaşı gibi faktörler önemli rol oynamaktadır. Geçmiş depremlerde boru hatlarının performansı değerlendirildiğinde boru çaplarıyla onarım oranları arasında bir ilişki gözlenmiştir. Toprak (1998) bu ilişkiyi boruları dağıtım (çapı 600 mm den küçük) ve iletim hatları (çapı 600 mm den büyük) olarak iki gruba ayırarak analiz etmiştir. Boru çapı büyüdükçe hasar oranı da düşmektedir. Bu konuyu irdeleyen O'Rourke ve Jeon (1999, 2000), hem yatay yer hızını hem de boru çapını, boru hattı onarım oranı ile ilişkilendiren bir bağıntı geliştirmiştir (Toprak, 2004). Boru hatlarının yapıldığı malzeme ve boruların ekleniş şekli deprem esnasındaki performanslarını etkilemektedir. En genel manasıyla boru hatları düktil ve kırılğan olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. Örneğin düktil demir ve günümüzdeki çelik borular düktil borular grubuna dahilken, font ve asbestli çimento (AÇB) borular kırılğan borular grubuna girmektedir. HAZUS (FEMA, 1999) düktil borular için onarım oranı değerlerinin kırılğan borular için olanların üçte biri olarak alınmasını önermektedir. Şekil 3 font borulardan elde edilen hasar ilişkisini göstermektedir. O'Rourke vd. (1999) ve O'Rourke ve Jeon (1999, 2000) diğer boru türleri içinde ayrı ilişkiler geliştirmiştir.

Alt yapı sistemleri için oluşturulacak veri tabanlarının, gömülü boru hattı sistemlerinde oluşabilecek hasarlarda rol oynayan faktörleri de kapsamı önemlidir. Örneğin, içme suyu şebekesi veri tabanında boru cinsi ve boru çapı gibi değerlerinde sağlanması özellikle deprem performansının değerlendirildiği çalışmalarda gereklidir.

Denizli Su Dağıtım ve Kanalizasyon Şebekesi

Denizli'de su şebekesi 1953 yılında servise başlamış ve nüfusunun 1960 yıllarında 48.925'ten 2000 yıllarında 275.480'e ulaşmasına bağlı olarak büyümüştür. Uygun topoğrafyaya bağlı olarak birkaç yüksek bölge dışında şebeke cazibeden istifade etmektedir. Denizli şehir merkezinde kanalizasyon ve yağmur suyu drenaj sisteminin gelişimi de içme suyu şebekesine paralel olmuştur. Önceleri sokaklardan geçen arıklar, açık kanallar ve foseptik çukurlarıyla çözülen problem şehrin büyümesiyle beton büz sistemine geçilmesini zorunlu kılmıştır. 1987 yılında tüm şehir için bir kanalizasyon tatbikat projesi yapılmıştır.

Denizli su dağıtım ve kanalizasyon şebekesinin CBS ortamına aktarılmasının iki temel amacı bulunmaktadır. Birinci amaç, bu sistemlerin elektronik ortamda envanterinin çıkarılmasıdır. İkinci amaç ise coğrafi bilgi sistemine girilen bu sistemlerin verilerini kullanarak çeşitli analizler yapmaktır. Bu analizler, sistemlerin deprem performanslarının değerlendirilmesi, gelecekteki bir depremde oluşabilecek hasarların tahmini, sistemlerde yapılacak değişiklik iyileştirmelerin deprem performansına etkilerinin ölçülmesi şeklinde olabileceği gibi deprem dışındaki konuları da kapsayabilmektedir. Bir örnek olarak sistemin hidrolik olarak çözülmesi ve şehrin büyümesine paralel olarak daha etkin bir dağıtımın sağlanması için yapılması gereken değişikliklerin test edilmesi verilebilir. Diğer bir örnek ise kanalizasyon sisteminde oluşacak debiler ve su derinliklerinin coğrafi bilgi sisteminde hem verileri kullanarak hem de ilave yazılımlarla bilinen yöntemleri kullanarak çözülmesidir. Sonuçlar yine coğrafi bilgi sistemlerinde görsel sorgulamalarla gösterilebilecektir. Özellikle su derinliği açısından kritik boruların belirlenmesi, henüz inşa edilmemiş borulardan önemli olanlarının belirlenerek öncelikle inşa programına alınmasının sağlanması, gerçek debilerle hesaplanan debiler arasındaki farkların belirlenmesi ve gerekirse şebekede yenilemeler yapılması hidrolik analizden beklenen bazı sonuçlardır.

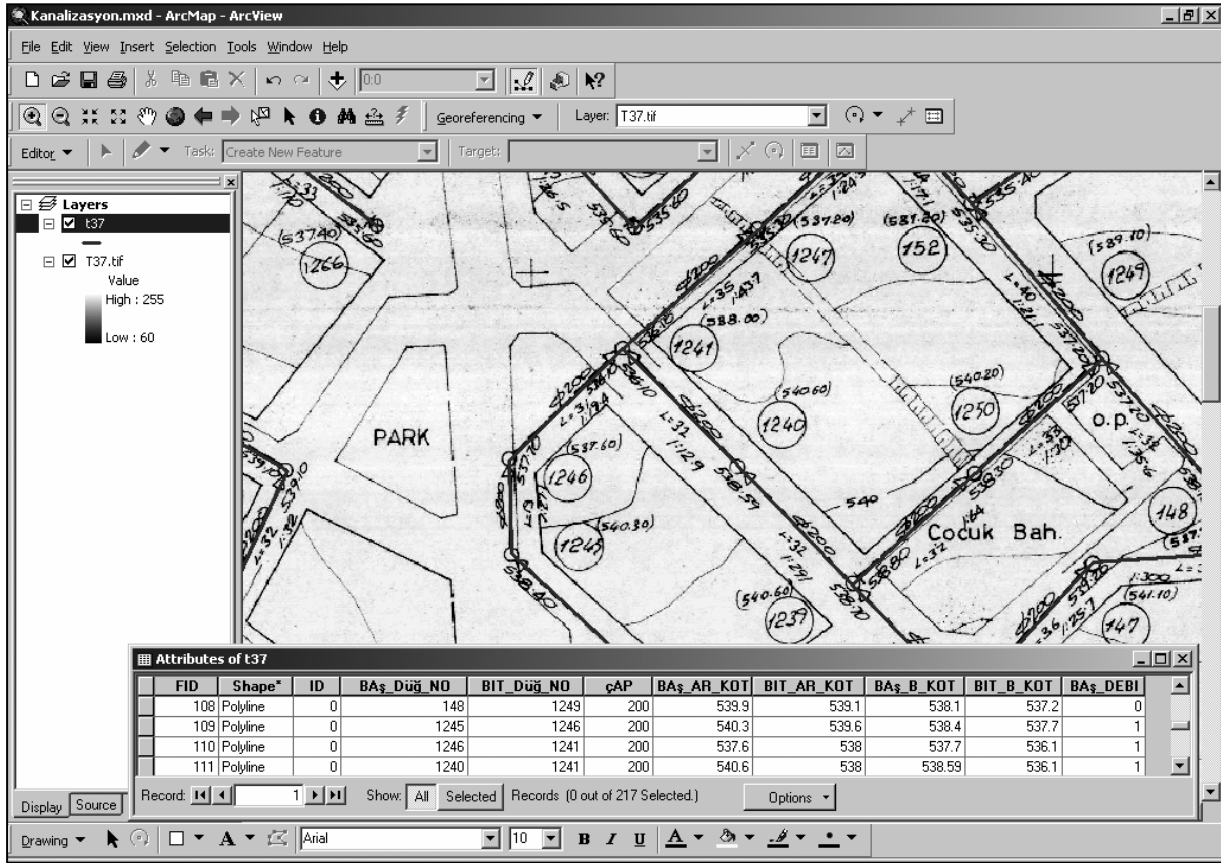
Denizli'de kanalizasyon sistemi ile ilgili iki proje bulunmaktadır. Bunlar "kanalizasyon tatbikat projesi" ve "kanalizasyon şebekesi işletme planı"dır. Kanalizasyon tatbikat projesinde, projesi yapılan tüm kanalizasyon sistemi gösterilmektedir. İşletme planında ise döşenmiş olan kısım görülmektedir. Tatbikat projesine genellikle sadık

DEPREM SEMPOZYUMU KOCAELI 2005

23-25 MART 2005

kalmakla birlikte uygulamada bazı boruların yerleri değiştirilmiş ve bunlar işletme planında gösterilmiştir. Dolayısıyla bu iki projenin ayrı ayrı envanterinin çıkarılmasının yararlı olacağı düşünülmüştür.

Şebekeyi coğrafi bilgi sistemlerine girmek için önce tatbikat projesinin ve işletme planının paftaları A0 tarayıcılarda taranarak resim şeklinde elektronik ortama aktarılmıştır. Daha sonra ArcGIS ve ArcView CBS (ESRI, 1996; 2004) programları ile resim halindeki paftalara üzerlerindeki koordinat sistemine göre koordinat verilmiştir. Böylece paftalar altlık olarak kullanılabilir duruma gelmiştir. Daha sonra CBS programları ile altlıkların üzerine kanalizasyon boruları “çizgi” formatında girilmeye başlanmıştır. Şekil 4 veri girişi ekranını göstermektedir. Şekilde koyu renkli çizgiler girilmiş olan kanalizasyon borularıdır. Borular girilirken akış yönüne doğru çizilmiş ve her boru için, başlangıç ve bitiş düğüm numaraları, başlangıç ve bitiş arazi kotları, başlangıç ve bitiş taban kotları, boru çapları ve üstten gelen debi olup olmadığına ait bilgi girilmiştir. Bu bilgiler tatbikat projesinde ve işletme planında bulunmaktadır. Bu veriler CBS’de grafik veri olan boruların özelliklerini gösterecek şekilde Şekil 4 te gösterildiği gibi tablosal veri olarak girilmiştir. Tüm borular beton boru olduğu için bu bilgi ayrıca belirtilmemiştir ve boru uzunlukları çizim sırasında program tarafından hesaplandığı için projelerde bulunmasına rağmen girilmemiştir. İstendiğinde boru uzunlukları programdan alınabilmektedir. Boru eğimleri başlangıç ve bitiş taban kotları arasındaki farkın boru uzunluğuna bölünmesiyle programa hesaplatılacaktır



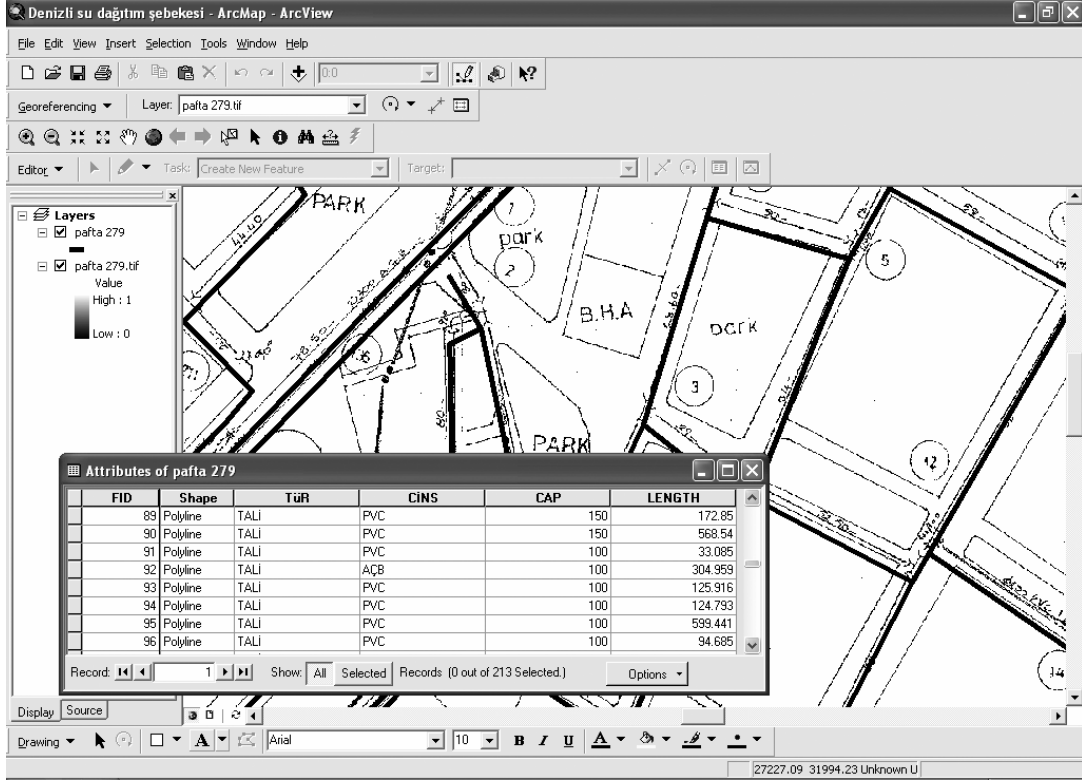
Şekil 4. Tatbikat projesi üzerinde kanalizasyon borularının çizilerek CBS veri tabanına aktarılması

Denizli şehrinin su dağıtım sistemi projesinin paftalarının tamamı Denizli Belediyesi tarafından sağlanmıştır. Bunlar arasında 1993’de yapılan projenin paftaları ve daha eski paftalar bulunmaktadır. 1993 yılında yapılan paftalar tüm Denizli şehrinin su temini sisteminin bir bölümü olarak hazırlanmıştır. Daha eski tarihlere ait paftalar font boruları gösterir. Ayrıca 2003 yılına kadar Denizli Belediyesi Su İşleri Müdürlüğü tarafından yapılan boru döşemelerini ve yenilemelerini gösteren çok sayıda çizim ve belge de Denizli Belediyesi’nden temin edilmiştir. Tüm bu veriler Denizli şehri su dağıtım sisteminin dijital haritalarının ve veri tabanının hazırlanmasında kullanılmıştır. Veri girişi ve analiz safhalarında ESRI tarafından üretilen ArcGIS ve ArcView CBS programları kullanılmıştır. Şekil 5 veri girişi ekranını göstermektedir. Şekilde koyu renkli çizgiler girilmiş olan su şebekesi borularıdır. Şekilde gösterildiği gibi borularla birlikte boru cinsi ve türü gibi nitelik bilgileri de girilmektedir.

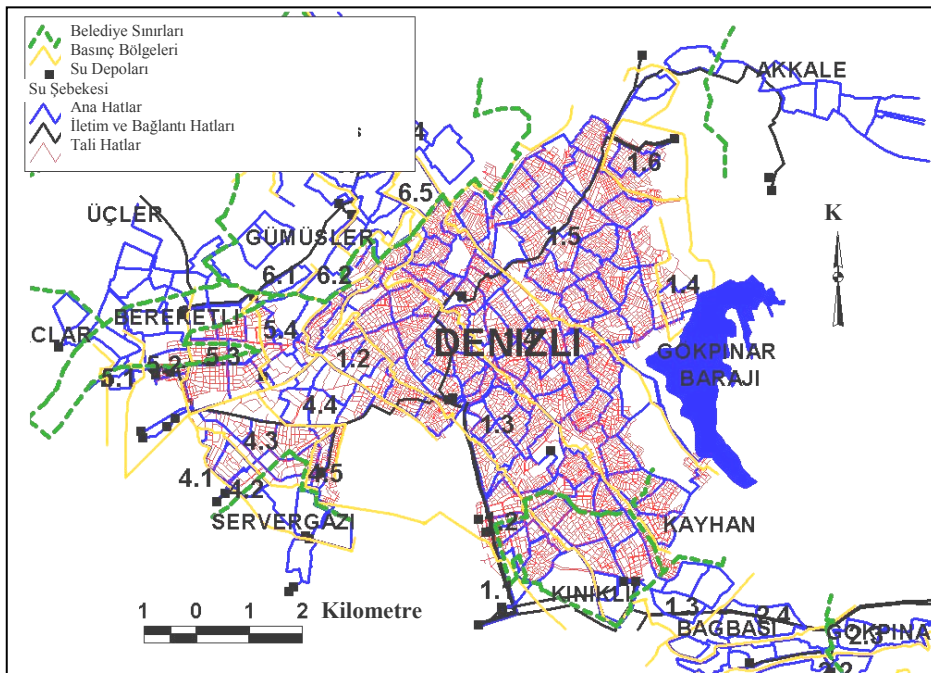
DEPREM SEMPOZYUMU KOCAELI 2005

23-25 MART 2005

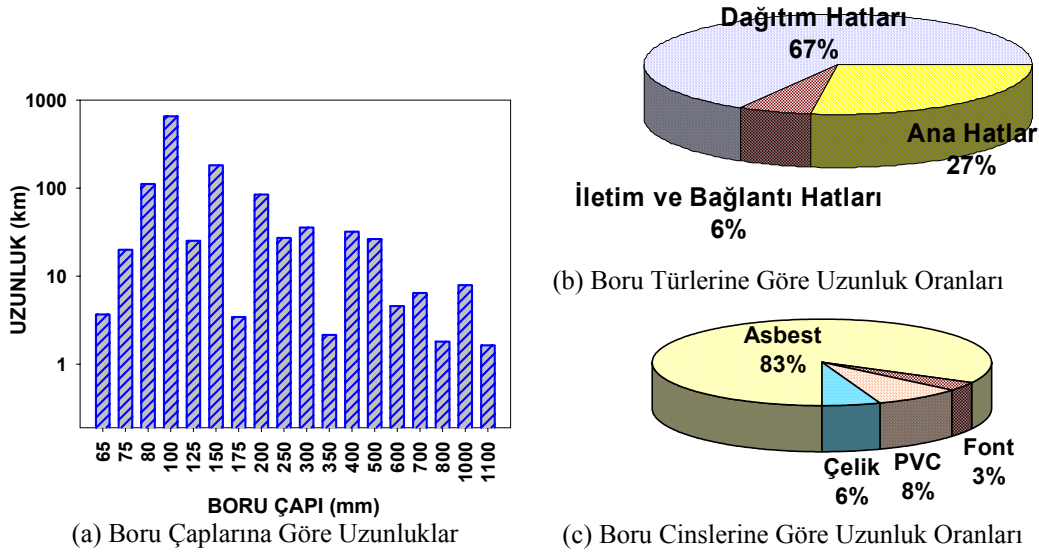
Denizli su iletim ve dağıtım şebekesi ve oluşturulan CBS veri tabanı ayrıntılarıyla Toprak vd. (2004) ve Toprak (2004)'te anlatılmıştır. Burada yalnızca ana özelliklerine değinilecektir. Şekil 6 Denizli şehri su şebekesini göstermektedir. Ana hatlar, iletim ve bağlantı hatları bütün Denizli şehir merkezi için, tali borular ise Denizli ve Kınıklı belediyesine ait alanlar için gösterilmiştir. Şebeke birbirinden bağımsız 7 basınç bölgesine ayrıldığından oluşabilecek hasarlar basınç bölgeleri içinde sınırlanabilmektedir.



Şekil 5. Tatbikat projesi üzerinde su dağıtım şebekesi borularının çizilerek CBS veri tabanına aktarılması



Şekil 6. Denizli Su Şebekesi Haritası (Toprak vd., 2004)



Şekil 7. Su

Şebekesindeki Boruların Oluşum İstatistikleri (Toprak vd., 2004)

Şekil 7 boruların, çaplarına, türlerine ve malzeme özelliklerine göre istatistik bilgilerini göstermektedir. Boru hatlarının toplam uzunluğu 1232 km'dir. Boruların % 86'ı kırılğan boru hatları grubuna giren asbest ve font borulardan oluşmaktadır.

Toprak vd. (2004) ve Toprak (2004) Denizli su iletim ve dağıtım sisteminde GYD etkisiyle oluşabilecek hasarları tespit etmek için normal faylar etkisiyle oluşabilecek 6.3 büyüklüğünde bir depremi gözönüne almıştır. Bu senaryo depremi için boru hatları sisteminde GYD etkisiyle oluşabilecek hasarları değişik hasar ilişkileri kullanarak hesaplayan Toprak (2004), toplam hasarın 62 ile 106 arasında olacağını tahmin etmektedir. Bu çalışma hasar tahminlerini bütün Denizli şehir merkezini kapsayacak şekilde devam etmektedir. Kanalizasyon sistemi de bu çalışma kapsamında değerlendirilmektedir.

Sonuçlar

Bu çalışmada alt yapı sistemlerinin deprem performansını etkileyen faktörler ve bu sistemleri değerlendirmek için Coğrafi Bilgi Sistemlerinin (CBS) nasıl kullanılacağı gösterilmiştir. Alt yapı sistemlerinin deprem sonrasında performanslarının değerlendirilmesi, bu sistemlerin deprem esnasında davranışlarının anlaşılması açısından çok önemlidir. Bu tür değerlendirmelerin yapılmadığı her deprem, mühendislik açısından kaçırılmış bir fırsattır. Bu değerlendirmeler sonucunda öğrenilenler ve tecrübeler gelecekte olması muhtemel depremlerde alt yapı sistemlerinde oluşabilecek hasarların tahmininin daha doğru bir şekilde yapılmasına imkan verecektir. Bu tür tahminler zararların önlenmesi için tedbirler alınmasında ve deprem sonrası için hazırlıkların yapılmasında önemlidir. Bu açıdan örnek olarak Denizli şehri alt yapı sistemleri için oluşturulan CBS veri tabanı bu çalışmada gösterilmiştir.

Teşekkür

Bu çalışma Pamukkale Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi No. 2003MHF006 ile desteklenmiştir.

KAYNAKLAR

1. Altunel, E., 2000. Historical earthquake activity in and around Hierapolis, D'Andria F, Silvestrelli F. Editors, Ricerche Archeologiche Turche Nella Valle Del Lykos, Lykos Vadisi Turk Arkeoloji Araştırmaları, Congedo Editore. 299-325 (in Italian and Turkish).
2. Aydan, O., Kumsar, H. ve Ulusay, R., 2001. How to infer the possible mechanism and characteristics of earthquakes from the striations and ground surface traces of existing faults, Seismic Fault Induced Failures, 153-162.
3. Environmental Systems Research Institute ESRI, 1996. Using ArcView GIS. Redlands: Environmental Systems Research Institute Inc.

4. Environmental Systems Research Institute ESRI, 2004. Getting Started with ArcGIS. Redlands: Environmental Systems Research Institute Inc.
5. Federal Emergency Management Agency (FEMA). Earthquake loss estimation methodology, HAZUS 99: technical manual. Prepared by the National Institute of Building Sciences, 1999.
6. Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Merkezi 2004. www.koeri.boun.edu.tr.
7. O'Rourke, T. D., 1998. An Overview of Geotechnical and Lifeline Earthquake Engineering. In *Geotechnical Special Publication No. 75*, ASCE (Pakoulis, P., Yegian, M., Holtz, D.(eds.)), Reston, VA, 1998, II, pp. 1392-1426.
8. O'Rourke, T. D. ve Toprak, S., 1997. GIS assessment of water supply damage from the Northridge Earthquake, *Geotechnical Special Publication No. 67*, J. D. Frost., Ed., ASCE, New York, NY, pp. 117-131.
9. O'Rourke, T. D., Toprak, S., ve Sano, Y., 1998. Factors affecting water supply damage caused by the Northridge Earthquake, *Proceedings, Sixth U.S. National Conference on Earthquake Engineering*, Seattle, WA, June, pp. 1-12.
10. O'Rourke T. D. ve Jeon S. S., 2000. Seismic zonation for lifelines and utilities. Invited Keynote Paper on Lifelines. *Proceedings Sixth International Conference on Seismic Zonation*. Palm Springs, CA. EERI CD ROM.
11. O'Rourke, T. D., ve Jeon S. S., 1999. Factors affecting the earthquake damage of water distribution systems, *Optimizing Post-Earthquake Lifeline System Reliability*, *Proceedings, Fifth U.S. Conference on Lifeline Earthquake Engineering*, W. M. Elliott and P. McDonough, Eds., Seattle, WA, August, ASCE, pp. 379-388.
12. O'Rourke T.D., Toprak, S., ve Jeon, S. S., 1999. GIS Characterization of the Los Angeles Water Supply, *Earthquake Effects, and Pipeline Damage, Research Progress and Accomplishments, 1997-1999*, MCEER, Buffalo, NY.
13. Toprak, S., 1998. Earthquake effects on buried lifeline systems, Ph.D. Thesis, Cornell University, Ithaca, NY.
14. Toprak, S., 2004. Gömülü boru sistemlerinde deprem zararlarının tahmini, Altıncı Uluslararası İnşaat Mühendisliğinde Gelişmeler Kongresi, 6-8 Ekim 2004, Boğaziçi Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, sayfalar 823-832.
15. Toprak, S., Koç, A. C., ve Taşkın, F., 2004. Seismic vulnerability assessment of Denizli City, Turkey water supply system, 13th World Conference on Earthquake Engineering, Vancouver, B. C. Canada. Paper No. 812.
16. Toprak, S., O'Rourke, T. D., ve Tutuncu, I., 1999. GIS characterization of spatially distributed lifeline damage, *optimizing post-earthquake lifeline system reliability*, *Proceedings, Fifth U.S. Conference on Lifeline Earthquake Engineering*,. Elliott, W. M., and McDonough, P., Eds., Seattle, WA, August, ASCE, pp. 110-119.
17. Toprak, S. ve Yoshizaki, K., 2003. Boru hatlarına deprem yüklerinin etkisi, 5. Ulusal Deprem Mühendisliği Kongresi, 26-30 Mayıs, İstanbul. Bildiri No: 025. CDROM.