

# ARMONİ ARAŞTIRMASI OPTİMİZASYON TEKNİĞİ İLE STOKASTİK TRAFİK ATAMASI

Hüseyin CEYLAN

Halim CEYLAN

Özgür BAŞKAN

Soner HALDENBİLEN

İnşaat Mühendisliği Bölümü  
Mühendislik Fakültesi  
Pamukkale Üniversitesi, DENİZLİ

Email: hceylan@pau.edu.tr

halimc@pau.edu.tr

obaskan@pau.edu.tr

shaldenbilen@pau.edu.tr

## Özet

Bu çalışmada, stokastik kullanıcı denge (SKD) ataması probleminin çözümü için meta-sezgisel armoni araştırması optimizasyon yöntemi tabanlı bir çözüm algoritması önerilmektedir. Geliştirilen algoritmasında, sürücü davranışları C-Logit rota seçim modeli kullanılarak temsil edilmekte ve SKD problemi, eşdeğer bir optimizasyon problemi olarak tanımlanmaktadır. Ulaştırma ağındaki toplam ulaşım talebinin, alternatif rotalara yüklenmesi olarak tanımlanan trafik atamasının çalışmada verilen sayısal uygulama sonucunda, armoni araştırması yöntemi ile oldukça hızlı ve başarılı bir şekilde yapılabildiği görülmektedir.

## 1. Giriş

Günümüzde ulaşım ağ tasarımı konusu, tasarımcılar ve trafik uygulamacıları arasında büyük ilgi uyandırmakta ve bilgisayar teknolojisindeki gelişme, yapılan çalışmalara büyük katkı sağlamaktadır. Ulaşım Ağ Tasarımının (UAT) etkili bir şekilde yapılabilmesi için, ağın hizmet verdiği talebin doğru şekilde belirlenmesi, ağın geometrik özelliklerinin ve ağ üzerindeki trafik kontrol sistemlerinin doğru şekilde tasarlanması gerekmektedir. Burada talep, mevcut yol ağını oluşturan yollar üzerinde oluşan saatlik trafik hacimleri olarak değerlendirilebilir ve sürücülerin güzergâhlar üzerindeki alternatif rotalara nasıl dağılacaklarının hesaplanması ile elde edilebilir.

Yol kullanıcılarının algılamalarını esnek bir şekilde ele alan ve buna rastgelelik ekleyen bir yaklaşım olan Stokastik Kullanıcı Dengesi (SKD) kavramı son yıllarda ulaşım ağ tasarımında yaygın olarak kullanılmaya başlamıştır. Bu yaklaşımda, alışkanlıkları nedeniyle yüksek maliyetli (ulaşım süreli) rotaları seçen kullanıcıların varlığından söz edilmektedir. Dolayısıyla stokastik yaklaşım, geçmiş yıllarda ulaştırma ağ tasarımında sıkça kullanılan deterministik yaklaşıma göre daha gerçekçi ve akılcıdır. Ancak, stokastik denge atama

akımlarının elde edilebilmesi için çözülmesi gereken probleme ait çözüm uzayı genellikle konveks olmayan bir yapıda olmakta ve bu nedenle büyük ulaşım ağları için değişken sayısının artmasına bağlı olarak türev işlemlerinin zorlaşmasına neden olmaktadır. Ayrıca, link kapasite kısıtlarının devreye girmesiyle problem çok kısıtlı bir optimizasyon problemi haline dönüşmekte ve çözüm işlemi zorlaşmaktadır. Bu nedenle, problemin geleneksel metotlarla çözümü oldukça zor olmaktadır.

Bu çalışmada, SKD ataması problemi bir eşdeğer optimizasyon problemi olarak tanımlanmış ve çözümü için literatürde kullanımı yaygınlaşmaya başlayan ve global optimumu bulmada iyi sonuçlar verdiği düşünülen bir yöntem olan meta-sezgisel armoni araştırması yöntemi önerilmektedir.

## 2. SKD Ataması

SKD atamasının temel prensibi, ulaştırma ağını oluşturan rotaların belli bir olasılıkla seçildiği şeklindedir. Bu olasılıkları elde edebilmek için çeşitli rota seçim modelleri kullanılmaktadır. Literatürde sıkça kullanılan modeller, *Logit*, *C-Logit* ve *Probit* modellerdir. Logit modelde tüm rota alternatifleri istatistiksel olarak bağımsızmış gibi düşünülürken, C-logit ve probit modellerde alternatif rotalar arasındaki bağımlılık dikkate alınır.

C-logit modelin fonksiyonel yapısı Denklem(1)'de verilmiştir [1].

$$P_p^w(t^w) = \frac{\exp(-\theta_0 t_p^w - \theta_1 CF_p^w)}{\sum_{k \in P_w} \exp(-\theta_0 t_k^w - \theta_1 CF_k^w)}, p \in P_w, w \in W \quad (1)$$

Burada,  $CF_p^w$ ,  $P_w$  rota setindeki tüm  $p$  rotaları arasındaki bağımlılığı temsil eden benzerlik faktörüdür. Bu parametrenin en çok kullanılan formu şu şekildedir:

$$CF_p^w = \sum_{a \in A} \delta_{ap}^w w_{ap}^w \ln N_a^w, p \in P_w, w \in W \quad (2)$$

Burada,  $N_a^w, w \in W$  Başlangıç-Varış (B-V) çiftini bağlayan ve  $a \in L$  linkini ortak kullanan rota sayısını,  $w_{ap}^w$  ise  $p \in P_w$  rotası için  $a$  linkinin oransal ağırlığını temsil etmektedir.

Rota seçim olasılıklarının bulunmasından sonra, SKD ataması problemi Denklem (3)'te görülen amaç fonksiyonunun minimizasyonu ile şu şekilde elde edilebilir:

$$v_a = \sum_{w \in W} \sum_{p \in P_w} f_p^w \delta_{ap}^w, a \in A$$

$$\sum_{p \in P_w} f_p^w = q_w, w \in W$$

$$f_p^w \geq 0, p \in P_w, w \in W$$

kısıtlarına bağlı olarak,

$$\min F(f_1^1, \dots, f_p^w, f_1^{1*}, \dots, f_p^{w*}) = \sum_{w \in W} \sum_{p \in P} (f_p^w - f_p^{w*}) \quad (3)$$

Burada  $A$  yol ağındaki linkler kümesi,  $W$  B-V kümesi,  $P_w, w \in W$  B-V çiftindeki rotalar kümesi,  $q_w, w \in W$  B-V seyahat talebi,  $f_p^w, p \in P$  rotasındaki akım,  $f_p^{w*}, p \in P$  rotasındaki optimum akım,  $v_a$   $a$  linkindeki akım ve  $\delta_{ap}^w$  ise link/rota belirleme matrisinin elemanıdır ve aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$\delta_{ap}^w = 1 \quad w \in W \text{ B-V çiftindeki } r \text{ rotası } a \text{ linkini kullanıyorsa,}$$

$$\delta_{ap}^w = 0 \quad \text{kullanmıyorsa.} \quad (4)$$

### 3. Armoni Araştırması Optimizasyon Tekniği

Optimizasyon modeli olarak yaygın şekilde kullanılmaya başlanan Armoni Araştırması optimizasyon tekniği, bir orkestradaki müzisyenlerin çaldıkları notalar ile armonik açıdan en iyi melodinin elde edilmesi prensibine dayanmaktadır [2]. Armoni araştırması tekniğinde orkestra, ancak tüm orkestra elemanlarının birbirleri ile armonik açıdan uyumlu bir şekilde çalmaları ile en estetik melodiyi elde edebilirken, optimizasyon modellerinde en iyi çözüm ancak amaç fonksiyonunun global optimuma giderek yaklaşması sonucu elde edilebilmektedir.

Farklı enstrümanlar ile çalınan nota ve tonların estetik kalitesi, müzik çalışmalarında pratik yaparak iyileştirilirken, fonksiyon çözümünde bu iyileştirme birbirini takip eden iterasyonlarla

gerçekleştirilmektedir [3]. Armoni araştırması süreci 5 adımdan oluşmaktadır:

#### Adım 1: Problemin kurulması ve algoritma parametrelerinin tanımlanması

Burada, herhangi bir  $F(x)$  amaç fonksiyonu,  $x_i$  karar değişkenleri (orkestradaki enstrümanları),  $X_i$  her karar değişkeni için kullanılan çözüm uzayı ve  $N$  ise toplam karar değişkeni sayısı (orkestra büyüklüğü) olarak tanımlanır. Armoni araştırması çözüm sürecini kontrol eden 3 farklı parametre mevcuttur. Bunlar sırasıyla, armoni araştırmasındaki çözüm vektörü sayısını gösteren armoni belleği kapasitesi (HMS), armoni belleğini dikkate alma oranı (HMCR) ve ton ayarlama oranıdır (PAR).

#### Adım 2: Armoni belleğinin oluşturulması

Armoni belleği, tüm çözüm vektörlerinin ve amaç fonksiyonunun aldığı değerlerin saklandığı bellektir. Fonksiyon değerleri sayesinde, ilgili çözüm vektörlerinin kalitesi değerlendirilmektedir. Armoni araştırması tekniğinde çözüm için, Genetik Algoritmalar (GA) tekniğine benzer şekilde, aynı anda birçok çözüm vektörü araştırılmaktadır. Ancak, armoni araştırmasında bir iterasyonun tamamlanması GA'ya göre daha hızlıdır [4]. Ayrıca, matematiksel olarak GA'ya göre daha basit yapıya sahip olan armoni araştırması yöntemi, parametre seçimine bağlı olarak GA'ya göre daha az sayıda iterasyonlar çözüme ulaşabilmektedir [5]. Bu adımda, armoni belleği matrisi, rastgele üretilen çok sayıda çözüm vektörü ile doldurulur ve bu vektörler için ilgili amaç fonksiyonu değerleri hesaplanır.

#### Adım 3: Yeni armoninin oluşturulması

Bu adımda, yeni armoni vektörü  $x' = (x'_1, x'_2, x'_3, \dots, x'_N)$ , armoni belleğinde bulunan tonlara göre ve tamamen rastgele seçilen tonlara göre üretilmektedir. Değişkenlerin armoni belleğinden seçilip seçilmeyeceğinin belirlenmesi, değeri 0 ile 1 arasında değişen HMCR oranına göre yapılmaktadır. Burada, HMCR bir karar değişkeni değerinin mevcut armoni belleğinden seçilme olasılığını gösterirken, (1-HMCR) oluşturulan yeni karar değişkeninin mevcut çözüm uzayı içerisinde rastgele olarak seçilmesine karşılık gelmektedir.

Bu aşamadan sonra, ton ayarlama işleminin gerekli olup olmadığının belirlenmesi için her karar değişkeninin değerlendirilmesi yapılmaktadır. Bu işlem, ton ayarlama oranı (PAR) ile yapılmaktadır. Dikkat edilmesi gereken önemli bir nokta, HMCR ve PAR parametrelerinin, algoritmanın sırasıyla global ve lokal optimum çözümleri elde etmesinde tetikleyici rol almasıdır [6].

#### Adım 4: Armoni belleğinin güncellenmesi

Bu adımda, armoni belleğindeki tüm amaç fonksiyonu değerleri en iyiden en kötüye doğru sıralanır ve yeni armoni vektörü, armoni belleği içindeki en kötü vektör ile karşılaştırılır. Yeni vektör, bellek içindeki en kötü vektörden daha iyi bir sonuç veriyorsa belleğe dahil edilir ve en kötü vektör bellekten çıkarılır.

#### Adım 5: Durma kriterinin 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.

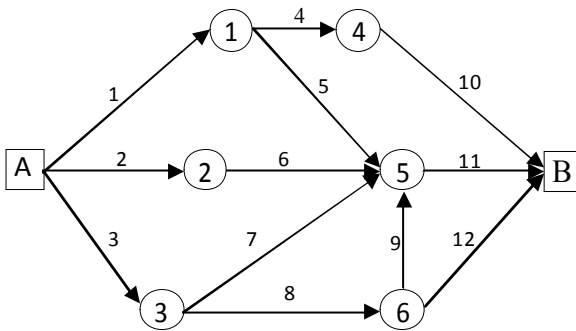
### 4. SKD Atama Problemi için Geliştirilen Çözüm Algoritması

UAT probleminin alt seviyesini teşkil eden SKD ataması probleminin, farklı rota akımları ve rota seçim olasılıkları için çok sayıda çözümü bulunduğundan atama problemi, bir eşdeğer optimizasyon problemi olarak tanımlanmıştır. Problemin çözümü için geliştirilen optimizasyon algoritmasının akış şeması Şekil 1’de verilmiştir.

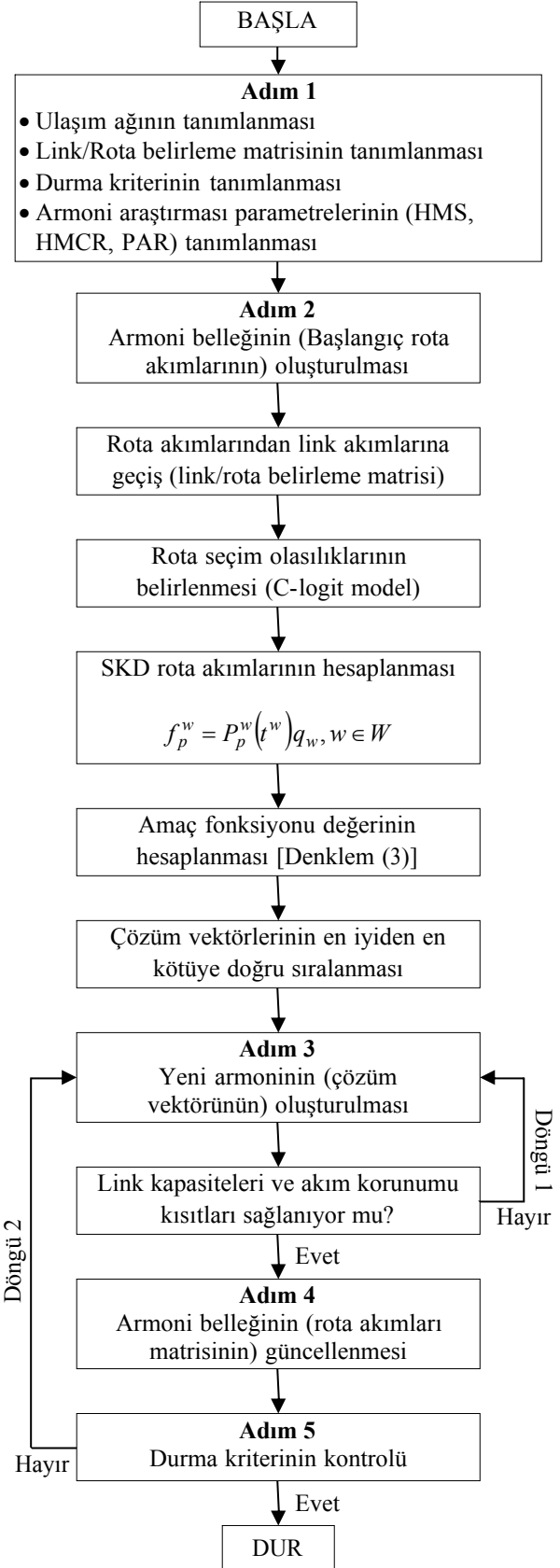
#### 4.1. Sayısal Uygulama

Bu bölümde, SKD atama probleminin çözümü için geliştirilen algoritmanın daha iyi anlaşılabilmesi için sayısal uygulama verilmiştir.

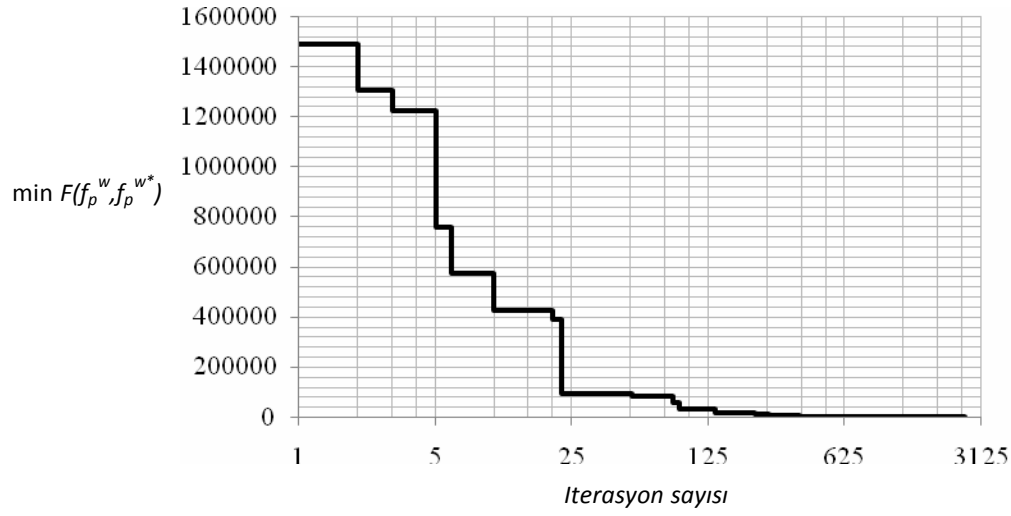
Şekil 2’de, 1 başlangıç-varış (B-V) çifti, 6 düğüm noktası ve 12 linkten oluşan ulaştırma ağı görülmektedir. Verilen ulaştırma ağında A başlangıcından B varışına yapılacak seyahatler 6 alternatif rota üzerinden gerçekleştirilebilir. Bu rotalar (kullandıkları linkler ile birlikte) sırasıyla, R1 (1-4-10); R2 (1-5-11); R3(2-6-11); R4 (3-7-11); R5 (3-8-9-11) ve R6 (3-8-12) şeklindedir. Tablo 1’de örnek ulaştırma ağı ile ilgili veriler görülmektedir.



Şekil 2. Örnek ulaştırma ağı



Şekil 1. Armoni araştırması tekniği ile SKD ataması akış şeması



Şekil 3. SDK ataması optimizasyon süresi yakınsama grafiği

Tablo 1. Test ağı verileri

| Link | $t_0$<br>(s) | C<br>(tş/sa) | Link | $t_0$<br>(s) | C<br>(tş/sa) |
|------|--------------|--------------|------|--------------|--------------|
| 1    | 18           | 2000         | 7    | 16           | 1200         |
| 2    | 10           | 1600         | 8    | 12           | 1400         |
| 3    | 15           | 1800         | 9    | 10           | 1200         |
| 4    | 10           | 1600         | 10   | 12           | 1600         |
| 5    | 12           | 1200         | 11   | 18           | 3200         |
| 6    | 15           | 1600         | 12   | 13           | 1400         |

$t_0$  ve C sırasıyla serbest akım seyahat süresi (s) ve doymun akım (taşıt/sa) değerleridir.

Örnek ağı için B-V talebi 3000 taşıt/sa olarak alınmıştır. Optimizasyon işleminde kullanılan armoni araştırması parametreleri ise HMS=20, HMCR=0.80 ve PAR=0.30 olarak alınmıştır.

Armoni araştırması optimizasyon yöntemi ile minimize edilmek istenen amaç fonksiyonu değerinin değişimi Şekil 3'te verilmiştir. SKD durumunun sağlandığı rota akımları, 2577 iterasyon sunucunda elde edilmiş ve Intel Pentium 4 işlemcili bir bilgisayarda bu işlem 27 saniyede tamamlanmıştır. 3000 taşıt/saatlik B-V talebinin 6 rotaya dağılımı ise Tablo 2, linklere dağılımı ise Tablo3'te görülmektedir.

Tablo 2. Örnek ağı SKD rota akımları

| Rotalar            | 1   | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   |
|--------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Akım<br>(taşı./sa) | 759 | 402 | 578 | 365 | 260 | 635 |

Tablo 3. Örnek ağı SKD link akımları

| Linkler            | 1    | 2   | 3    | 4   | 5    | 6   |
|--------------------|------|-----|------|-----|------|-----|
| Akım<br>(taşı./sa) | 1162 | 578 | 1260 | 759 | 402  | 578 |
| Linkler            | 7    | 8   | 9    | 10  | 11   | 12  |
| Akım<br>(taşı./sa) | 365  | 365 | 895  | 759 | 1605 | 635 |

Tablo 2'den de görüleceği üzere B-V çifti arasındaki alternatif rotalardan birincisi, link kapasitelerine ve serbest akım seyahat sürelerinin düşük olmasına bağlı olarak diğer linklere göre daha fazla akım taşımaktadır. Tablo 3 incelendiğinde optimizasyon çözümünde parametrekısıtı olarak girilen link kapasitelerinin aşılmadığı görülmektedir. Bu da sürücülerin, mevcut bilgi düzeylerine rastgelelik (stokastiklik) faktörü de eklendiğinde birinci rotaya daha fazla talepte bulunduklarını ve çözüm algoritmasının kapasite kısıtlarını başarıyla sağladığını göstermektedir.

## 5. Duyarlılık Analizi

Amaç fonksiyonunun, Armoni araştırması yönteminde kullanılan parametrelerin değişimine olan duyarlılığını görebilmek için bir duyarlılık analizi gerçekleştirilmiştir. Bunun için HMS, HMCR ve PAR parametrelerinin birbirinden farklı değerleri için optimizasyon işlemi 12 kez

tekrarlanmış ve elde edilen sonuçlar Tablo 4'te sunulmuştur.

Tablo 4'ten görüleceği gibi en az iterasyon sayısı ve en kısa sürede çözüm HMS=10, HMCR=0.90 ve PAR=0.40 değerleri için elde edilmiştir. Sonuç olarak, armoni araştırması parametrelerinin optimizasyon sürecinde oldukça etkili olduğu görülmektedir.

Tablo 4. Duyarlılık analizi sonuçları

| HMS | HMCR | PAR  | F(x)  | t (s) | İterasyon |
|-----|------|------|-------|-------|-----------|
| 10  | 0.80 | 0.30 | 0,022 | 23    | 1945      |
|     |      | 0.40 | 0,010 | 33    | 3155      |
|     | 0.90 | 0.30 | 0,019 | 14    | 1933      |
|     |      | 0.40 | 0,034 | 11    | 1196      |
| 20  | 0.80 | 0.30 | 0,035 | 27    | 2577      |
|     |      | 0.40 | 0,016 | 28    | 2363      |
|     | 0.90 | 0.30 | 0,019 | 15    | 1994      |
|     |      | 0.40 | 0,028 | 17    | 2020      |
| 30  | 0.80 | 0.30 | 0,022 | 70    | 4055      |
|     |      | 0.40 | 0,023 | 73    | 3861      |
|     | 0.90 | 0.30 | 0,021 | 24    | 2033      |
|     |      | 0.40 | 0,012 | 19    | 2517      |

## 6. Sonuçlar

Ulaşım ağ tasarımı ilk aşaması olan atama problemi günümüzde, sürücülerin seyahat ettikleri ağ ile ilgili bilgi düzeylerini ve yapılan seyahatlerdeki rastgeleliği de göz önünde bulunduran stokastik kullanıcı dengesi yaklaşımı ile ele alınmaktadır. Rota seçim olasılıklarının elde edilebilmesi için çözülmesi gereken denklem sistemlerinin konveks olmayan yapısı ve içsel bağımlılığı nedeniyle geleneksel türeve dayalı çözüm yöntemleri genellikle SKD çözümünde etkili olamamaktadır. Bu nedenle bu çalışmada meta-sezgisel armoni araştırması optimizasyon tekniği SKD probleminin çözümü için önerilmektedir.

Geliştirilen çözüm algoritmasında rota seçim olasılıklarının belirlenmesi için alternatif rotalar arasındaki korelasyonları da göz önünde bulunduran C-Logit model kullanılmış ve bu algoritmanın çözüm yeteneğini göstermek amacıyla örnek bir ulaştırma ağı üzerinde sayısal bir uygulama gerçekleştirilmiştir.

Elde edilen sonuçlar, meta-sezgisel armoni araştırması tekniğinin, SKD probleminin çözümünde oldukça iyi sonuçlar verdiğini göstermektedir. Ancak, daha büyük ulaştırma

ağlarının çözümünde optimizasyon işlemi çok daha uzun süreceğinden, armoni araştırması parametrelerinin seçiminin çözüm algoritmasının performansı üzerindeki etkisi ihmal edilmemelidir.

Örnekte verilen ağ boyutlarındaki küçük ölçekli şehiriçi ve şehirlerarası ağların çözümünde, armoni araştırması parametrelerinden HMS, HMCR ve PAR için sırasıyla 10, 0.90 ve 0.40 değerleri kullanılabilir.

## 7. Teşekkür

Bu çalışma Pamukkale Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Biriminin desteklemiş olduğu BAP-FBE-003 nolu proje kapsamında gerçekleştirilmiştir.

## 8. Kaynaklar

- [1] E. Cascetta, A. Nuzzolo, F. Russo, A. A. Vitetta, Modified Logit Route Choice Model Overcoming Path Overlapping Problems: Specification and Some Calibration Results for Interurban Networks. *Proceedings of 13<sup>th</sup> International Symposium on Transportation and Traffic Theory*, eds J. B. Lesort, Lyon, Fransa, Temmuz 24-26, Pergamon, 697-711, 1996.
- [2] Z. W. Geem, J-H. Kim, G. V. Loganathan, A New Heuristic Optimization Algorithm: Harmony Search, *Simulation*, 76(2), 60-68, 2001.
- [3] Z. W. Geem, Optimal Cost Design of Water Distribution Networks Using Harmony Search, *Engineering Optimization*, 38(3), 259-280, 2006.
- [4] K. S. Lee, Z. W. Geem, S. H. Lee, K. W. Bae, The harmony search heuristic algorithm for discrete structural optimization. *Eng Optimiz* 37(7), 663-684, 2005.
- [5] T. Ayvaz, 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.
- [6] T. Ayvaz, H. Karahan, G. Gürarlan, Su Dağıtım Şebekelerinin Armoni Araştırması Optimizasyon Tekniği ile Optimum Tasarımı, 5. *Kentsel Altyapı Ulusal Sempozyumu*, Bildiriler Kitabı, Türkiye, Hatay, Kasım 1-2, 2007.