

Şehiriçi Ulaşım Ağlarında En Kısa Rota Uzunlukları Kullanılarak Tek Yön Düzenlemelerinin Yapılması

Cenk Ozan¹, Özgür Başkan²

¹ Adnan Menderes Üniversitesi, Müh. Fak., İnş. Müh. Böl., Efeler 09010, Aydın
Tel: (256) 213 75 03-3726

E-Posta: cenk.ozan@adu.edu.tr

² Pamukkale Üniversitesi, Müh. Fak., İnş. Müh. Böl., Kınıklı 20070, Denizli
Tel: (258) 296 34 16

E-Posta: obaskan@pau.edu.tr

Öz

Şehiriçi ulaşım ağlarında gün geçtikçe artan özel taşıt kullanımı neticesinde kullanıcılar trafik sıkışıklığı ve buna bağlı olarak ortaya çıkan birçok olumsuz etki ile karşı karşıya kalmaktadır. Bu olumsuz etkilerin en aza indirilebilmesi için şehiriçi ulaşım ağlarının etkin biçimde planlanması ve işletilmesi gerekmektedir. Bilindiği gibi şehiriçi ulaşım ağlarının performansının artırılması amacıyla yeni yolların yapılması, mevcut yolların kapasitesinin artırılması, sinyal sürelerinin düzenlenmesi, şerit yönlendirme ve tek yön uygulamaları gibi çözümler hem teorik hem de pratik olarak uygulanma olanağı bulabilmektedir. Bu yaklaşımların içinde uygulama kolaylığı açısından tek yön uygulamaları birçok kentte yerel yöneticiler tarafından tercih edilmektedir. Ancak problemin çözümünün karmaşıklığı ve literatürdeki çalışmaların sınırlı olmasından dolayı tek yön uygulamalarının hayata geçirilmesinde zorluklarla karşılaşmaktadır. Bu çalışmada deterministik trafik atama sonucu ortaya çıkan rota seyahat sürelerine bağlı olarak elde edilen en kısa rota uzunluklarını ve başlangıç-varış taleplerini dikkate alan bir amaç fonksiyonu önerilmiştir. Çözümde her bir farklı tek yön uygulaması için kullanıcıların tepkisini dikkate alabilmek için iki seviyeli sezgisel bir algoritma geliştirilmiştir. Geliştirilen algoritmada Armoni Araştırması Optimizasyon metodu kullanılmış ve VISUM trafik yazılımı ile birleştirilmiştir. Dğümler arasındaki bağların kullanılma durumu 0-1 kesikli değişkenleri ile temsil edilmiş ve problem doğrusal olmayan tamsayı programlama olarak ifade edilmiştir. Bağların kullanılma durumuna bağlı olarak her bir farklı ulaşım ağı VISUM yazılımına aktarılarak deterministik trafik atama problemi çözülmüş, en kısa rota uzunlukları belirlenmiş ve amaç fonksiyonu değerleri probleme özgü kısıtlar dikkate alınarak hesaplanmıştır. Geliştirilen algoritma literatürde sıklıkla kullanılan Sioux Falls ulaşım ağına uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar geliştirilen algoritmanın tek yön sistemlerinin planlanmasında kullanılabileceğini göstermiştir.

Anahtar sözcükler: Tek yön uygulaması, en kısa yol, trafik atama, iki seviyeli programlama.

Giriş

Şehir içi ulaşım ağlarında artan özel taşıt kullanımı neticesinde kullanıcılar trafik sıkışıklığı ve buna bağlı olarak ortaya çıkan olumsuzluklarla karşı karşıya kalmaktadır. Kentlerde trafik sıkışıklığına bağlı olarak oluşan problemlerin en aza indirilebilmesi için yerel yönetimlerin önünde farklı seçenekler bulunmaktadır. Bu seçeneklerin en başında kapasitenin artırılması, ışıklı kavşakların performansının iyileştirilmesi, şerit yönlendirme ve tek yön uygulamaları sıralanabilir. Tek yön uygulamasının yapıldığı bir şehir içi ulaşım ağında tek yön olarak hizmet veren bağlardaki ulaşım hızının artacağı ve ağdaki toplam seyahat süresinde azalma olacağı araştırmacılar tarafından birçok çalışmada belirtilmiştir (Drezner ve Salhi, 1998; Drezner ve Salhi, 2002; Drezner ve Wesolowsky, 2003; Poorzahedy ve Shirazi, 2013). Bu uygulama belirtilen önlemlerin içinde en az maliyetli ve en kolay uygulanabilen seçenek olarak karşımıza çıkmaktadır. Ancak bu tür önlemler kolay uygulanabilir olmasına rağmen başarı şansı da bir o kadar düşüktür. Bunun nedeni, tek yön olarak hizmet verecek uygun bağların belirlenmesi probleminin karmaşık bir optimizasyon problemi olmasıdır. Aslında bu noktada esas problem uygun amaç fonksiyonu ve kısıtlarının belirlenmesidir. Literatürde bu konuda fazla çalışma olmaması aslında problemin içerdiği zorlukların bir göstergesi olarak karşımıza çıkmaktadır. Ancak son yıllarda bazı araştırmacılar probleme farklı açılardan yaklaşarak bu konuda çalışmışlardır. Drezner ve Wesolowsky (1997) tek yönlü ve çift yönlü bağların ulaşım ağları içindeki en uygun konfigürasyonunun belirlenmesi için farklı algoritmaları karşılaştırmışlardır. Amaç fonksiyonu olarak akım ağırlıklı toplam seyahat süresinin en küçüklenmesi seçilmiştir. Sayısal uygulamalar farklı ulaşım ağları üzerinde yapılmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Drezner ve Salhi (1998) tek yönlü bağların belirlenmesi için tabu arama sezgisel metodunu kullanmışlar, küçük ve orta ölçekli ulaşım ağlarında geliştirdikleri algoritmayı test etmişlerdir. Drezner ve Salhi (2002) büyük ölçekli ulaşım ağlarında problemin çözümü için genetik algoritma ve tavlama benzetimi algoritmalarını kullanmışlar ve sonuç olarak genetik algoritmanın daha iyi sonuçlar verdiğini belirlemişlerdir. Zargari ve Taromi (2006) gerçek bir ulaşım ağında toplam seyahat süresini en küçükleyerek tek yön uygulaması probleminin çözümünde genetik algoritma metodunu kullanmışlar ve başarılı sonuçlar elde etmişlerdir. Benzer şekilde Miandoabchi ve diğ. (2012) tek yön uygulaması problemini kesikli ulaşım ağ tasarımı kapsamında modellemişler ve çözümde parçacık sürü optimizasyonu yöntemini kullanmışlardır. Salcedo-Sanz ve diğ. (2013) kullanıcıların hareketliliğini sağlayan alternatif rotalar oluşturmak için tek yön uygulaması problemi üzerine çalışmışlardır. Problemin çözümü için Armoni Araştırması Optimizasyon yöntemini kullanmışlardır. Afandizadeh ve diğ. (2013) acil kaçış durumunun dikkate alındığı tek yön uygulaması probleminin çözümü için tavlama benzetimi metodu tabanlı bir algoritma geliştirmişlerdir. Literatürden görülebileceği gibi tek yön uygulaması probleminin çözümü için çok fazla çalışma bulunmamaktadır. Bunun sebebi olarak problemin çözümünde kullanılacak uygun amaç fonksiyonu ve kısıtlarının oluşturulmasındaki zorluklar söylenebilir. Yapılan çalışmalarda ise genellikle toplam seyahat süresinin en küçüklenmesine dayalı sezgisel algoritmalar geliştirilmiş ve farklı ulaşım ağları üzerinde test edilmiştir.

Bu çalışmada problemin çözümünde kullanıcıların tepkisini dikkate alabilmek için iki seviyeli sezgisel bir algoritma geliştirilmiştir. Alt seviyede VISUM yazılımı ile deterministik trafik atama problemi her bir farklı tek yön uygulaması için çözülmüş ve rota seyahat süreleri elde edilmiştir. Literatürden farklı olarak bulunan rota seyahat sürelerine göre elde edilen en kısa rota uzunluklarını ve Başlangıç-Variş (B-V)

taleplerini dikkate alan bir amaç fonksiyonu önerilmiş ve üst seviyede en küçüklenmeye çalışılmıştır. Döğümler arasındaki bağların kullanılma durumu (0-1) kesikli değişkenleri ile temsil edilmiş ve problem doğrusal olmayan tamsayılı programlama olarak ifade edilmiştir. Amaç fonksiyonunun en küçüklenmesi için son yıllarda birçok alanda uygulama alanı bulan Armoni Araştırması Tekniği (AAT) kullanılmıştır. Sonuç olarak geliştirilen algoritma örnek bir ulaşım ağına uygulanmış ve sonuçlar değerlendirilmiştir.

Bildirinin ikinci bölümünde problem formülasyonu, üçüncü bölümde ise iki-seviyeli sezgisel çözüm algoritmasının adımları verilmiştir. Sonraki bölümde sayısal uygulamalar, son bölümde ise sonuçlar ve gelecekte yapılması planlanan çalışmalar sunulmuştur.

Problem Formülasyonu

Şehiriçi ulaşım ağlarında yeni yolların yapılması, yeni şeritlerin eklenmesi, şerit yönlendirme veya tek yön sistemi gibi uygulamalar literatürde Kesikli Ulaşım Ağ Tasarım (KUAT) problemi çerçevesinde değerlendirilmektedir. Bunun nedeni çözümden kesikli değişkenlerin (0-1) kullanılmasıdır. Bu tür problemlerde “1” değişkeni herhangi bir yatırımın veya uygulamanın yapılacağını, “0” değişkeni ise yapılmayacağını göstermektedir. Diğer bir deyişle çözüm kümesi (0-1) değişkenlerinden oluşmaktadır. Problem bu nedenle doğrusal olmayan tamsayılı programlama olarak ifade edilmiştir. Bu tür problemler NP-zor olarak nitelendirilirler ve dal-sınır metodu vb. kesin çözüm sağlayan algoritmalar küçük boyutlu problemlerin çözümünde kullanılabilir iken problemin boyutu büyüdükçe bu tür algoritmalarla çözüme ulaşabilmek oldukça zor ve maliyetli olabilmektedir. Bu nedenle bu tür problemlerin çözümünde son yıllarda meta-sezgisel algoritmalar tercih edilmektedir. Bu algoritmalar her ne kadar matematiksel altyapısı oldukça az olan ve içinde büyük ölçülerde rastgelelik içeren algoritmalar olsada NP-zor problemlerin çözümünde kabul edilebilir seviyelerde ve sürelerde çözüme ulaşma imkânı sağlayabilmektedirler.

Diğer taraftan ağ tasarım problemlerinin çoğunda olduğu gibi tek yön uygulamaları da lider ve takipçi problemi olarak ifade edilebilmektedir (Fisk, 1984). Bu yaklaşımda lider (yerel yöneticiler) ulaşım ağında döğümler arasındaki bazı bağları tek yön olarak düzenlemekte ve takipçinin (kullanıcılar) bu değişime nasıl tepki vereceğini gözlemlemektedirler. Bu etki-tepki ilişkisinin değerlendirilebilmesi için çalışmada iki seviyeli programlama yaklaşımından faydalanılmış ve sezgisel bir algoritma geliştirilmiştir (Başkan, 2013a; Başkan, 2013b; Başkan, 2014a; Başkan, 2014b; Başkan ve Ozan, 2015a; Başkan ve Ozan, 2015b). İki seviyeli programlamada, üst seviyede en kısa rota uzunluklarını ve B-V taleplerini dikkate alan bir amaç fonksiyonu önerilmiş ve en küçüklenmeye çalışılmıştır. Çalışmada tek yönlü olarak hizmet vermesi önerilen bağlardaki işletme hızının artışı temsil edebilmek için bu bağların uzunluğu α parametresi dikkate alınarak belli bir oranda kısaltılmıştır. Diğer bir deyişle tek yönlü bağlardaki işletme hızı $1/\alpha$ oranında artırılmış olmaktadır. Alt seviyede ise üst seviyede belirlenen tek yön konfigürasyonuna bağlı olarak deterministik trafik atama problemi algoritmaya dâhil edilen VISUM yazılımı ile çözülmüştür. Algoritmada kullanılan üst seviye amaç fonksiyonu Denklem (1)'de verilmiştir.

$$\min F(\mathbf{z}) = \sum_{(r,s) \in D} d_{rs} s_{rs}(\mathbf{z}) \quad (1)$$

$$\mathbf{z} = (z_1, z_2, z_3, \dots, z_a, \dots) \quad \forall a = 1, 2, \dots, A \quad (2)$$

$$z_a = 0 \text{ veya } 1; \quad \forall a = 1, 2, \dots, A \quad (3)$$

$$n_{giriş} \geq 1 \quad \forall n \quad (4)$$

$$n_{çıkış} \geq 1 \quad \forall n \quad (5)$$

$$K_{rs} \geq 1 \quad \forall r, s \quad (6)$$

Burada d_{rs} B-V çifti r - s arasındaki talep, $s_{rs}(\mathbf{z})$ ise \mathbf{z} tek yön konfigürasyonuna bağlı olarak trafik atama probleminin çözümü sonucunda elde edilmiş B-V çifti r - s arasındaki en kısa rota uzunluğunu temsil etmektedir. Üst seviye amaç fonksiyonu tek yön uygulaması sonucunda B-V çiftleri arasındaki talebi ve en kısa rota uzunluklarını kullanarak toplam taşıt-km'yi en küçükmektedir. Denklem (2) ve (3) her bir bağın kullanılma durumunu temsil eden (0-1) kesikli değişkenlerini ifade etmektedir. Eğer n düğümünden $n+1$ düğümüne giden bir bağ \mathbf{z} vektörünün değişkenlerine bağlı olarak kapatılması durumunda $n+1$ düğümünden n düğümüne giden bağ tek yön olarak hizmet verecek anlamına gelmektedir. Tek yön uygulaması yapılması durumunda düğümler arasındaki rotaların oluşturulabilmesi diğer bir deyişle tüm düğümler arasındaki bağlantının sağlanabilmesi için Denklem (4) ve (5)'deki kısıtlar kullanılmıştır. Denklem (4) her bir düğüme en az bir giriş yapılması gerektiğini, Denklem (5) ise her bir düğümünden en az bir çıkış olması gerektiğini ifade etmektedir. Denklem (6) ise her B-V çifti r - s arasında en az bir rota olması gerekliliğini göstermektedir.

Alt seviyede ise deterministik trafik atama problemi VISUM yazılımı kullanılarak çözülmüştür. Üst seviyede belirlenen her bir tek yön konfigürasyonuna göre fiziki yapısı şekillenen ulaşım ağına ait trafik atama problemi alt seviyede çözülmekte ve en kısa rota uzunlukları ile B-V talepleri kullanılarak üst seviye amaç fonksiyonunun değeri belirlenmektedir. Deterministik trafik atama problemi Wardrop (1952) tarafından öne sürülen herhangi bir B-V çifti arasındaki tüm kullanılan rotaların seyahat maliyetleri kullanılmayan rotaların seyahat maliyetine eşit veya daha az olması ilkesine dayanmaktadır. Bu yaklaşımda tüm sürücülerin rotalar hakkında mükemmel bilgiye sahip olduğu ve en az maliyetli rotaları seçtiği kabulü yapılmaktadır. Her ne kadar söz konusu ifade gerçeği tam olarak yansıtmasa da, bu yaklaşım altında trafik atama probleminin dışbükey olması nedeniyle literatürde sıklıkla tercih edilmektedir. Deterministik trafik atama probleminin matematiksel ifadesi Denklem (7)'de verilmiştir (Beckmann ve diğ., 1956).

$$\min f(\mathbf{x}) = \sum_{a \in A} \int_0^{x_a} t_a(w) dw \quad (7)$$

$$\sum_{k \in K} f_k^{rs} = D_{rs} \quad \forall r \in R, s \in S, k \in K_{rs} \quad (8)$$

$$x_a = \sum_{rs} \sum_{k \in K_{rs}} f_k^{rs} \delta_{a,k}^{rs} \quad \forall r \in R, s \in S, a \in A, k \in K_{rs} \quad (9)$$

$$f_k^{rs} \geq 0 \quad \forall r \in R, s \in S, k \in K_{rs} \quad (10)$$

Burada; Denklem (8) herhangi bir B-V çifti r - s arasında bulunan rotalardaki toplam trafik hacminin talebe eşit olması gerektiğini ifade etmekte; Denklem (9) herhangi bir bağdaki trafik hacminin bu bağı kullanan rotalardaki trafik hacminin toplamına eşit olması durumunu göstermektedir. Ayrıca tüm rota trafik hacimlerinin pozitiflik kısıtı Denklem (10)'da verilmektedir. Herhangi bir a bağının seyahat maliyeti (t_a), Amerikan Karayolları Bürosu (BPR, 1964) tarafından önerildiği şekliyle Denklem (11)'de verilmiştir.

$$t_a(x_a) = \tau_a + \sigma_a \left(\frac{x_a}{\theta_a} \right)^4 \quad (11)$$

Burada; τ_a ve σ_a bağ parametreleri olup x_a ve θ_a sırasıyla a bağının hacmini ve kapasitesini ifade etmektedir.

İki Seviyeli Sezgisel Çözüm Algoritması

Çalışmada tek yön uygulaması probleminin çözümü amacıyla iki seviyeli sezgisel bir çözüm algoritması geliştirilmiştir. Visual Basic (VBA) programlama dilinde kodlanan algoritmada ulaşım ağlarındaki bağların kullanılma durumunu temsil eden (0-1) değişkenleri üst seviyede Armoni Araştırması Tekniği (AAT) ile belirlenmiştir. Alt seviyede ise deterministik trafik atama problemi VISUM yazılımı ile çözülmüştür. Trafik atama probleminin çözümü sonucu elde edilen en kısa rota uzunlukları ile B-V taleplerini içeren amaç fonksiyonu önerilen algoritmada AAT ile en küçüklenmeye çalışılmıştır. Geem ve diğ. (2001) tarafından önerilen AAT, bir orkestradaki müzisyenlerin çaldıkları notalar ile en iyi melodinin elde edilmesi prensibinin optimizasyon problemlerine uyarlanması ile geliştirilmiştir. Bir orkestradaki müzisyenlerin melodiyi en kusursuz şekilde çalmaları için nasıl sürekli prova yapmaları gerekiyor ise bir optimizasyon problemindeki en iyi çözümün bulunabilmesi için amaç fonksiyonu değerinin sürekli iyileştirilerek global optimuma yaklaştırılması gerekmektedir. Amaç fonksiyonu değerinin iterasyonlar boyunca iyileştirilebilmesi için AAT'de Armoni Belleğini Dikkate Alma Oranı (HMCR), Ton Ayarlama Oranı (PAR) olarak tanımlanan iki temel parametre kullanılmaktadır (Dell'Orco ve diğ., 2013).

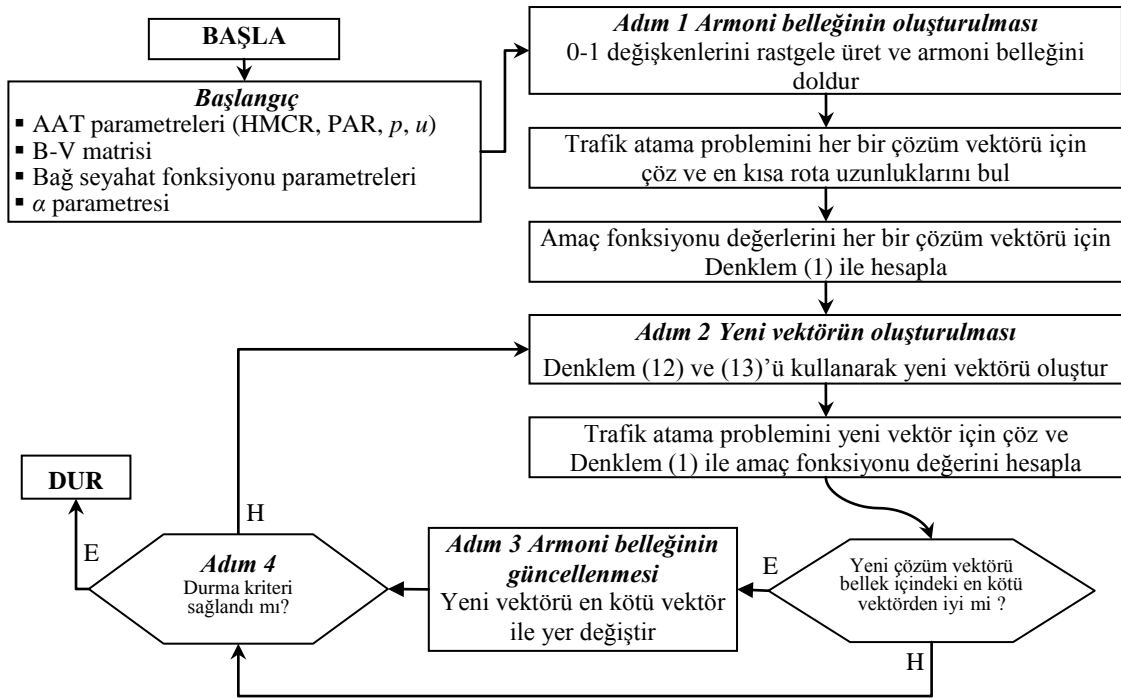
Çalışmada çözümü amaçlanan tek yön uygulaması probleminde armoni belleği ilk olarak (0-1) değişkenleriyle rastgele oluşturulmaktadır (Adım 1). Armoni belleği içindeki her bir çözüm vektörüne karşılık amaç fonksiyonu değerleri Denklem (1)'de verildiği gibi hesaplanmaktadır. Başlangıçta rastgele oluşturulan armoni belleği içindeki vektörlerin en iyi çözüme yaklaştırılabilmesi için AAT'de ilk olarak yeni vektörün oluşturulması işlemi yapılır (Adım 2). Bu amaçla ilk olarak armoni belleğine girmesi aday yeni vektör z_i^{p+1} , $i=(1,2,\dots,A)$ belli bir olasılık dahilinde mevcut bellek içinden seçilmekte yada çözüm kümesi içinden seçilmektedir. Bu seçim HMCR parametresi ile yapılmakta olup Denklem (12)'de verilmiştir.

$$z_i^{p+1} = \begin{cases} z_i^{p+1} \in \{z_i^1, z_i^2, \dots, z_i^p\} & \text{eğer } rastgele(0,1) \leq HMCR \\ z_i^{p+1} \in \{0,1\} & \text{aksi takdirde} \end{cases} \quad (12)$$

İkinci olarak ton ayarlama işleminin gerekli olup olmadığının belirlenmesi için her karar değişkeninin değerlendirilmesi yapılmaktadır. Karar değişkenleri için bu işlem PAR olarak ifade edilen parametre ile aşağıdaki gibi yapılmaktadır:

$$z_i^{p+1} = \begin{cases} z_i^{p+1} \pm rastgele(0,1) * b_g & rastgele(0,1) \leq PAR \\ z_i^{p+1} & \text{aksi takdirde} \end{cases} \quad (13)$$

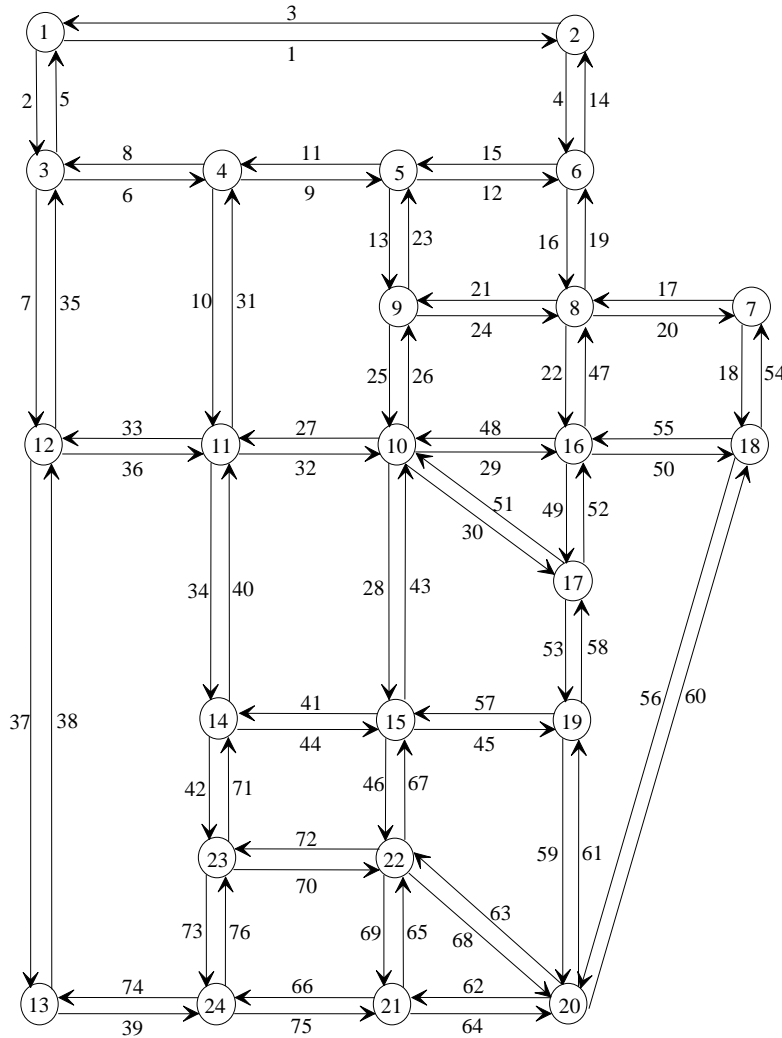
Burada; *rastgele* (0,1) olarak verilen ifade 0 ile 1 arasında üretilen rastgele sayıyı temsil etmekte, b_g ise kullanıcıya özel bant genişliği olarak kullanılmaktadır. Yeni vektör üretildikten sonra amaç fonksiyonu Denklem (1)'de verildiği gibi belirlenmekte ve eğer yeni vektör bellek içindeki en kötü vektörden daha iyi bir amaç fonksiyonu değeri veriyorsa belleğe dahil edilmekte ve en kötü vektör bellekten çıkarılmaktadır (Adım 3). Son olarak algoritmanın durma koşulunun sağlanıp sağlanmadığı kontrol edilmektedir (Adım 4). Koşulun sağlanmaması durumunda, Adım 2 ile 4 arasındaki işlemler istenen koşul sağlanıncaya veya verilen maksimum iterasyon sayısına ulaşıncaya kadar tekrar edilmektedir. İki seviyeli sezgisel algoritmanın akış şeması Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1 İki Seviyeli Sezgisel Algoritma Akış Şeması.

Sayısal Uygulama

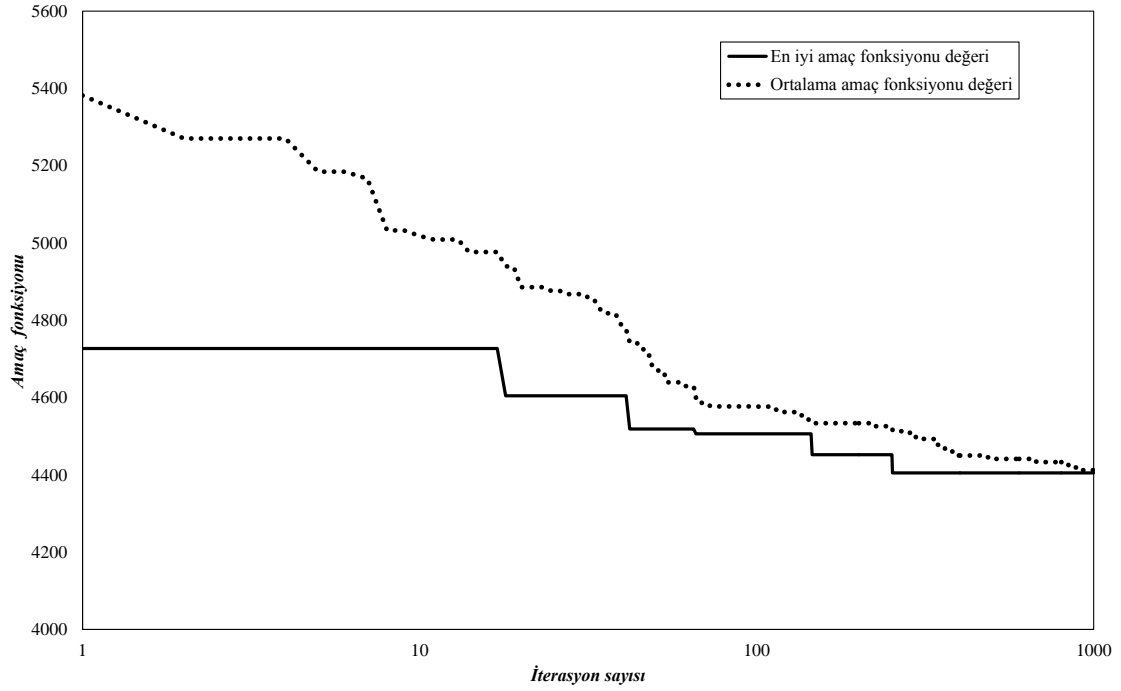
Geliştirilen iki seviyeli sezgisel çözüm algoritmasının test edilmesi amacıyla 24 düğüm, 76 bağ ve 552 B-V çifti olan Sioux Falls ulaşım ağı seçilmiş ve Şekil 2’de verilmiştir. Bağ parametreleri, bağ kapasiteleri ve B-V matrisi Başkan (2014a)’dan alınmıştır. Ulaşım ağındaki her bir bağın iki şeritli olduğu kabul edilmiştir. Şekilden görülebileceği gibi her bir düğüm arasındaki bağların kullanılma durumuna göre (0 veya 1) ağın fiziksel yapısı değişmektedir. Örnek olarak düğüm 1 ile 2 arasındaki 1 numaralı bağın herhangi bir çözüm vektörü içinde 0 olarak temsil edilmesi bu bağın ulaşım ağından kaldırılması ve düğüm 2 ile 1 arasındaki 3 numaralı bağın tek yön olarak hizmet vereceği anlamına gelmektedir. Aynı zamanda tek yönlü bağların hızının artırılmasını temsil edebilmek için önerilen algoritmada bu tür bağların uzunluğu α parametresi kullanılarak kısaltılmaktadır. Çalışmada α parametresi 0.5 olarak seçilmiştir.



Şekil 2 Sioux Falls ulaşım ağı.

Durma kriteri olarak armoni belleği içindeki en iyi amaç fonksiyonu değeri ile ortalama değer arasındaki göreceli hatanın 0.002’den küçük olması durumu seçilmiştir. HMCR, PAR, p ve u parametreleri sırasıyla 0.90, 0.40, 10 ve 1000 olarak belirlenmiştir. Önerilen algoritmanın Sioux Falls ulaşım ağına uygulanması neticesinde elde edilen yakınsama grafiği Şekil 3’de verilmiştir. Algoritmanın çalıştırılması neticesinde verilen

durma kriteri 908. iterasyonda sağlanmış ve algoritma sonlanmıştır. Çözüm sırasında başlangıç armoni belleğinin oluşturulmasından hemen sonra elde edilen en iyi ve ortalama amaç fonksiyonu değerleri yaklaşık 4700 ve 5400 iken özellikle ilk 100 iterasyon sonunda bu değerlerde önemli bir iyileşme sağlanmıştır. Çözüm sonunda en iyi amaç fonksiyonu değeri yaklaşık 4405 olarak elde edilmiş ve ulaşım ağındaki tüm bağların açık olması durumuna göre yaklaşık % 10 iyileşme elde edilmiştir. Sonuç olarak 23, 21 ve 63 numaralı bağların kapatılarak 13, 24 ve 68 numaralı bağların tek yön olarak hizmet vereceği belirlenmiştir.



Şekil 3 Algoritma yakınsama grafiği.

Sonuçlar

Bu çalışmada şehiriçi ulaşım ağlarının performansının iyileştirilmesinde son yıllarda yerel yöneticiler tarafından sıklıkla tercih edilen tek yön uygulaması problemini çözmek amacıyla iki seviyeli sezgisel algoritma önerilmiştir. En kısa rota uzunlukları ile B-V taleplerini dikkate alan bir amaç fonksiyonu önerilmiş ve üst seviyede Armoni Araştırması Tekniği ile en küçüklenmeye çalışılmıştır. Alt seviyede ise en kısa rota uzunlukları üst seviyede belirlenen tek yön konfigürasyonuna bağlı olarak çözülen deterministik trafik atama sonuçlarına göre belirlenmiştir. Bilindiği gibi ulaşım ağlarında tek yönlü bağlarda işletme hızı çift yönlü bağlara göre daha yüksek olabilmektedir. Algoritmada tek yönlü bağlardaki hız artışını temsil edebilmek amacıyla bu bağların uzunlukları belli bir oranda azaltılmıştır. Önerilen algoritma Sioux Falls ulaşım ağına uygulanmış ve amaç fonksiyonu değerinde tüm bağların açık olması durumuna göre yaklaşık % 10 iyileşme sağlandığı görülmüştür. Sonuç olarak geliştirilen algoritmanın tek yön uygulaması probleminin çözümünde alternatif olarak yerel yöneticiler tarafından değerlendirilebileceği düşünülmektedir.

Ek: Notasyon

A	Bağlar kümesi
N	Düğüm kümesi
K_{rs}	B-V çifti $rs \forall r \in R, s \in S$ arasındaki rotalar kümesi
R	Başlangıç kümesi
S	Variş kümesi
\mathbf{D}	B-V talepleri vektörü, $\mathbf{D} = [D_{rs}] \forall r \in R, s \in S$
\mathbf{f}	Rota akımları vektörü, $\mathbf{f} = [f_k^{rs}] \forall r \in R, s \in S, k \in K_{rs}$
\mathbf{t}	Bağ seyahat süreleri vektörü, $\mathbf{t} = [t_a(x_a)] \forall a \in A$
\mathbf{x}	Denge bağ akımları vektörü, $\mathbf{x} = [x_a] \forall a \in A$
$\delta_{a,k}^{rs}$	Bağ-rotaya belirleme matrisi değişkeni, $\forall r \in R, s \in S, k \in K_{rs}, a \in A$
p	Armoni belleği büyüklüğü
u	Maksimum iterasyon sayısı

Kaynaklar

Afandizadeh, S., Jahangiri, A. and Kalantari, N. (2013) Identifying the Optimal Configuration of One-Way and Two-Way Streets for Contraflow Operation during an Emergency Evacuation. Natural Hazards, 69, 1315-1334.

Baskan, O. (2013a) Determining Optimal Link Capacity Expansions in Road Networks Using Cuckoo Search Algorithm with Levy Flights. Journal of Applied Mathematics, 2013, Article ID: 718015.

Başkan, Ö. (2013b) Birleştirilmiş Ulaşım Ağ Tasarım Probleminin Diferansiyel Gelişim Algoritması ile Çözümü. 10. Ulaştırma Kongresi, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası İzmir Şubesi, Bildiriler Kitabı, s. 301-311, 25-27 Eylül, İzmir.

Baskan, O. (2014a) Harmony Search Algorithm for Continuous Network Design Problem with Link Capacity Expansions. KSCE Journal of Civil Engineering, 18 (1), 273-283.

Baskan O. (2014b) An evaluation of heuristic methods for determining optimal link capacity expansions on road networks. International Journal of Transportation, 2(1), 77-94.

Başkan, Ö. ve Ozan, C. (2015a) Sinyalize Yol Ağlarında Bağ Kapasite Artırımı ve Sinyal Optimizasyonu Problemlerinin Eşzamanlı Çözümü. 11. Ulaştırma Kongresi, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi, Bildiriler Kitabı, s. 117-127, 27-29 Mayıs, İstanbul.

Baskan O. and Ozan C. (2015b) Combined solution of capacity expansion and signal setting problems for signalized road networks. Transportation Research Procedia, 10, 61-70.

Beckmann, M. J., McGuire, C. B. and Winsten, C. B. (1956) Studies in Economics of Transportation, Yale University Press, New Haven.

BPR (1964) Traffic Assignment Manual: Bureau of Public Roads, U.S. Department of Commerce, Washington, D.C.

Dell'Orco, M., Baskan, O. and Marinelli, M. (2013) A harmony search algorithm approach for optimizing traffic signal timings. Promet Traffic & Transportation, 25(4), pp. 349-358.

Drezner, Z. and Weselowsky, G. O. (1997). Selecting an Optimum Configuration of One-Way and Two-Way Routes. Transportation Science, 31, 386-394.

Drezner, Z. and Salhi, S (1998). Selecting an Optimum Configuration of One-Way and Two-Way Routes Using Tabu Search. KURENAI (Kyoto University Research Information Repository), 1068, 203-215.

Drezner, Z. and Salhi, S (2002). Using Hybrid Metaheuristics for the One-Way and Two-Way Network Design Problem. Naval Research Logistics, 49 (5), 449-463.

Drezner, Z. and Weselowsky G. O. (2003). Network Design: Selection and Design of Links and Facility Location. Transportation Research Part A, 37, 241-256.

Fisk, C. (1984). Optimal Signal Controls on Congested Networks. Proceedings of 9th International Symposium on Transportation and Traffic Theory, VNU Science Press, 197-216.

Geem, Z. W., Kim, J-H. and Loganathan, G. V. (2001) A New Heuristic Optimization Algorithm: Harmony Search. Simulation, 76(2), pp. 60-68.

Miandoabchi, E. and Farahani, R. Z. (2012) Bi-objective bimodal urban road network design using hybrid metaheuristics. Central European Journal of Operations Research, 20, 583-621.

Poorzahedy, H. and Shirazi, D. M. (2013) A simulated annealing approach to solve the network design of one-way streets: case of Shiraz network. Computational Methods in Civil Engineering, 4(1), 83-101.

Salcedo-Sanz, S., Manjarres, D., Pastor-Sanchez, A., Del Ser, J., Portilla-Figureas, J. A. and Gil-Lopez, S. (2013). One-way Urban Traffic Reconfiguration using a Multi-Objective Harmony Search Approach. Expert System with Applications, 40 (9), 3341-3350.

Wardrop, J. G. (1952). Some Theoretical Aspects of Road Traffic Research. Proceedings of the Institution of Civil Engineers Part II, 1, 325-378.

Zargari S. A. and Taromi, R. (2006). Selecting an Optimum Configuration of Urban One-Way and Two-Way Streets Using Genetic Algorithms. International Journal of Civil Engineering, 4 (3), 244-259.