



INTERNATIONAL CONGRESS on ENGINEERING and ARCHITECTURE

14-16 November 2018

Alanya / Turkey

Sözlü Sunum

Kentiçi Ulaşım Ağlarında Şerit Ekleme Probleminin İki Seviyeli İkili Tamsayılı Programlama Metodu İle Çözülmesi

Cenk Ozan^{1,*}, Özgür Başkan², Hüseyin Ceylan²

^{1,*}Aydın Adnan Menderes Üniversitesi, Müh. Fak., İnş. Müh. Böl., Efeler 09010, Aydın / Türkiye

²Pamukkale Üniversitesi, Müh. Fak., İnş. Müh. Böl., Kınıklı, 20160, Denizli / Türkiye

*cenk.ozan@adu.edu.tr

Özet

Günümüzde kentiçi ulaşım ağlarının etkin olarak işletilmesinde kullanılan ilk yöntemlerden birisi kavşaklardaki ışık sürelerinin en iyi değerlerinin belirlenmesidir. Bu şekilde ulaşım ağı genelinde toplam seyahat maliyeti en küçüklenebilmektedir. Diğer taraftan farklı nedenlerden dolayı oluşabilecek ulaşım talebi artışına ışık sürelerinin en iyilenmesinin ne ölçüde yeterli olabileceğinin belirlenmesi oldukça önemlidir. Bu çalışmada ilk olarak stokastik denge bağ akımlarını dikkate alarak farklı Başlangıç-Variş (B-V) matrisi çarpanı değerleri için Allsop & Charlesworth ulaşım ağındaki ışık süreleri en iyilenmiştir. Buna bağlı olarak ağın sıklık etkisi altında olduğu diğer bir deyişle ışık sürelerinin en iyilenmesinin yetersiz kaldığı kritik B-V matrisi çarpanı değeri belirlenmiştir. İkinci olarak kentiçi ulaşım ağlarında şerit ekleme probleminin çözülmesi amacıyla kritik B-V matrisi çarpanı değeri dikkate alınarak iki seviyeli ikili tamsayılı programlama modeli geliştirilmiştir. Önerilen modelin üst seviyesinde ulaşım ağındaki beş adet bağa şerit eklenmesi amaçlanmış ve ağdaki toplam seyahat maliyeti Diferansiyel Gelişim (DG) algoritması kullanılarak en küçüklendirilmiştir. Ulaşım ağındaki bağların mevcut şerit sayılarının korunması veya bağlara şerit eklenmesi durumları 0-1 ikili tamsayı değerleri ile temsil edilmiştir. Şerit sayılarının değişmesi durumu dikkate alınarak kullanıcıların tepkileri alt seviyede Stokastik Kullanıcı Dengesi (SKD) trafik atama probleminin çözülmesi ile temsil edilmiştir. Bu amaçla logit rota seçim modeli tabanlı Rota Akım Tahmin (RAT) algoritması kullanılmıştır. Elde edilen sonuçların, kentiçi ulaşım ağlarında ulaşım talebi artışına bağlı olarak fiziksel yatırımların yapılmasının doğru zamanının belirlenmesi için yerel yönetimlere karar verme aşamasında faydalı olacağı düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Şerit ekleme, ikili tamsayılı programlama, ulaşım ağ tasarımı.

Giriş

Kentiçi ulaşım ağlarında sürücülerin uğramış oldukları gecikmelerin büyük bir bölümü eşdüzey kavşaklarda meydana gelmektedir. Bilindiği gibi eşdüzey kavşaklar farklı kontrol teknikleri kullanılarak yönetilebilmektedir. Ancak dünyada olduğu gibi ülkemizde de eşdüzey kavşaklar çoğunlukla sinyalizasyon sistemleri ile kontrol edilmektedir. Bu tür kontrol yönteminde kavşağı



INTERNATIONAL CONGRESS on ENGINEERING and ARCHITECTURE

14-16 November 2018

Alanya / Turkey

kullanacak olan trafik akımlarına önceden belirlenmiş faz planları ve ışık süreleri dahilinde geçiş hakkı verilerek hem gecikmelerin azaltılmasına hem de trafik güvenliğinin sağlanmasına çalışılmaktadır. Bu noktada kavşak kollarına ait trafik hacimlerine bağlı olarak ışık sürelerinin en uygun değerlerinin belirlenmesi oldukça önemlidir. Ayrıca yıllar itibarıyla artan talep veya farklı nedenler ile kısa vadede oluşan talep değişimlerine bağlı olarak ışık sürelerinin güncellenmesi gerekmektedir. Diğer taraftan ulaşım ağlarında ağ kapasitesinin verimli kullanılmamasına bağlı olarak özellikle ışıklı kavşaklarda maliyeti yüksek fiziksel iyileştirmeler gereken zamandan daha önce yapılabilmektedir. Bilindiği gibi ulaşım ağlarında bulunan yedek kapasitenin etkin kullanılabilmesi için gecikmelerin en fazla yaşandığı kesimler olan ışıklı kavşaklardaki ışık sürelerinin yedek kapasiteyi maksimum yapacak şekilde iyileştirilmesi gerekmektedir. Bu amaçla literatürde birçok çalışma yapılmıştır. Webster ve Cobbe (1966) yedek kapasite maksimizasyonu konusunda yapılan literatürdeki ilk çalışmadır. 1966 yılında yapılan bu çalışmadan sonra Allsop (1972) daha karmaşık faz planı olan ışıklı kavşaklarda yedek kapasite değerinin belirlenmesi için yeni bir metot önermiştir. Yagar (1985) çalışmasında yedek kapasite değerinin belirlenmesi için farklı doymuş akım değerlerini dikkate almıştır. Wong ve Yang (1997) yedek kapasite probleminin çözümü için kullanıcı davranışlarını Deterministik Kullanıcı Dengesi (DKD) yaklaşımı ile dikkate alan bir model önermiştir. Ziyou ve Yifan (2002) farklı Başlangıç-Variş (B-V) matrisi çarpanı değerlerini kullanarak yedek kapasite probleminin çözümü için daha gerçekçi bir yaklaşım önermiştir. Ceylan ve Bell (2004) yedek kapasite probleminin çözümünde Stokastik Kullanıcı Dengesi (SKD) yaklaşımını dikkate alan iki adımlı bir model önermiştir. Chiou (2007) yedek kapasite probleminin çözümü için önerdiği metodun sonuçlarını geleneksel metotlar ile karşılaştırmış ve önerilen modelin gecikmelerin azaltılması açısından daha iyi sonuçlar verdiğini belirtmiştir. Miandoabchi ve Farahani (2011) yedek kapasite en büyükleme problemini kesikli ulaşım ağ tasarımı problemi şeklinde ele alarak çözümleyebilen iki seviyeli bir model geliştirmişlerdir. Chiou (2014) yedek kapasite maksimizasyonu ve gecikme minimizasyonu problemlerini denge kısıtlarını göz önüne alarak tek seviyeli problem şeklinde ifade etmiştir. Sonuç olarak gecikme parametresinin değerinin yedek kapasite probleminin çözümünde göz önüne alınması gerektiği vurgulanmıştır. Baskan ve Ozan (2017) DKD bağ akımlarını ve eşitlik parametresini kullanarak yedek kapasite maksimizasyonu problemini Armoni Araştırması Optimizasyonu (AAO) yöntemi ile çözebilen bir algoritma önermişlerdir.

Yukarıda verilen literatür çalışmaları incelendiğinde ışık sürelerinin en iyilenmesi ile ulaşım ağlarının kapasitesi belli bir noktaya kadar artırılabilir. Ancak belirlenen bu kritik noktadan sonra ışık sürelerinin iyileştirilmesi ulaşım ağındaki sıkışıklık etkisinin azaltılmasına olumlu etki yapamamaktadır. Bu durum kullanıcıların ulaşım ağında maruz kaldıkları gecikme değerlerini artırmaktadır. Bu aşamada ulaşım ağının kapasitesinin artırılması için fiziksel önlemlerin (şerit ekleme, bağ ekleme, şerit kapasitelerinin artırılması, vb.) devreye sokulması gerekmektedir. Yang ve Bell (1998) ulaşım ağlarında kapasite artırımı konusundaki literatürü derinlemesine incelenmişler ve belirtilen problemin çözüm yöntemleri ve gelecekte yapılması planlanan çalışmalar hakkında bilgi vermişlerdir. Poorzahedy ve Abulghasemi (2005) bağ kapasite artırımı ve ulaşım ağına yeni bağ ekleme problemlerini çözebilen bir algoritma önermişler ve çözüm için Karınca Kolonisi Optimizasyonu (KKO) tabanlı bir model geliştirmişlerdir. Bu çalışmanın devamı olarak Poorzahedy ve Rouhani (2007) aynı problemin çözümü için hibrit sezgisel algoritmalar geliştirmiş ve sonuçlar



INTERNATIONAL CONGRESS on ENGINEERING and ARCHITECTURE

14-16 November 2018

Alanya / Turkey

önerilen algoritmaların performansının temel KKO yöntemine göre daha iyi olduğunu göstermiştir. Ceylan (2009) şerit ekleme ve şerit yönlendirme problemlerini doğrusal olmayan karma tamsayılı programlama problemi olarak ifade etmiş ve çözüm için iki seviyeli programlama modeli önermiştir. Geliştirilen modelin çözümü için AAO metodu kullanılmış ve farklı ulaşım ağlarında geliştirilen modelin çözüm performansı test edilmiştir. Miandoabchi ve Farahani (2012) bir ulaşım ağındaki tek yön ve şerit ekleme problemlerini yedek kapasite maksimizasyonunu amaçlayarak çözebilen bir model önermişlerdir. Hibrit genetik algoritma ve tavlama benzetimi sezgisel algoritmaları çözüm için kullanılmıştır. Belirtilen ağ tasarım problemlerine ek olarak şerit yönlendirme problemi Miandoabchi ve ark. (2013) tarafından yapılan çalışmada üç farklı meta-sezgisel algoritma kullanılarak çözülmüştür. Başkan (2013) ulaşım ağına yeni bağ ekleme ve bağ kapasite genişletme problemlerini kesikli ulaşım ağ tasarım problemi olarak ele almıştır. Ağ tasarım elemanlarında yapılan değişikliklere karşı kullanıcı davranışları DKD trafik atama problemi çözülerek temsil edilmiştir. Önerilen iki seviyeli programlama modeli literatürde sıklıkla kullanılan bir test ulaşım ağına uygulanmış ve çözüm için Diferansiyel Gelişim (DG) algoritması kullanılmıştır. Başkan ve Ceylan (2014) ulaşım ağ tasarımı ve kentiçi karayolu ağlarındaki yol kenarı park yerlerinin belirlenmesi problemlerinin çözümü için iki seviyeli programlama modeli yaklaşımı altında DG algoritması tabanlı modeller geliştirilmiştir. Üst seviyede optimum yatırım ve parklanma stratejileri araştırılırken, alt seviyede sürücü reaksiyonlarını temsil eden DKD trafik atama problemi Frank-Wolfe algoritması ve VISUM trafik modelleme yazılımı kullanılarak çözülmüştür. Başkan ve Ozan (2018) ulaşım ağlarındaki tek yön probleminin çözülmesi amacıyla iki seviyeli sezgisel bir algoritma geliştirmişlerdir. Üst seviyede talep ağırlıklı en kısa rota seyahat sürelerinin toplamının en küçüklenmesi amaçlanmıştır. Alt seviyede ise DKD bağ akımları belirlenmiştir. Sonuçlar geliştirilen algoritmanın kentiçi ulaşım ağlarında yapılması planlanan tek yön uygulamalarında kullanılabileceğini göstermektedir.

Bu çalışmada literatürdeki ulaştırma problemlerinde sıklıkla kullanılan Allsop & Charlesworth (Allsop ve Charlesworth, 1977) test ağı kullanılmış ve öncelikle ağdaki toplam seyahat maliyetini minimum yapan ışık süreleri farklı Başlangıç-Varış (B-V) matrisi çarpanı değerleri için belirlenmiştir. Belirlenen kritik B-V çarpanı değeri için iki seviyeli ikili tamsayılı programlama modeli kullanılarak ağdaki 5 adet bağa şerit ekleme probleminin çözülebilmesi amacıyla DG algoritması tabanlı iki seviyeli ikili tamsayılı programlama modeli önerilmiştir. Çalışmanın ikinci bölümde problem formülasyonu, üçüncü bölümde sayısal uygulamalar ve son bölümde de sonuçlar ve gelecekte yapılması planlanan çalışmalar verilmiştir.

Problem formülasyonu

Yerel yöneticiler stratejik, taktiksel ve işletimsel önlemler olarak ulaşım ağlarının daha etkin olarak kullanılmasını sağlamayı amaçlamaktadırlar. Stratejik önlemler olarak ulaşım ağlarına yeni bağlar eklemek, mevcut bağların kapasitelerini artırmak ve bağlara şerit eklemek sayılabilmektedir. Taktiksel önlemler ise genellikle tek yön sistemlerinin planlanması, çift yönlü bağlarda şerit paylaşımlarının yapılması olarak uygulanabilmektedir. Diğer taraftan karar vericiler ışık sürelerini en iyileyerek işletimsel olarak ulaşım ağlarının performansını artırmak yoluna gidebilmektedirler. Bu çalışmada ulaşım ağlarının performansının iyileştirilmesi amacıyla stratejik ve işletimsel önlemlerin beraber ele alındığı iki seviyeli ikili tamsayılı programlama modeli geliştirilmiştir. İlk olarak ışık sürelerinin en



INTERNATIONAL CONGRESS on ENGINEERING and ARCHITECTURE

14-16 November 2018

Alanya / Turkey

iyilenmesinin yetersiz kaldığı bir başka deyişle ağın sıkışıklık etkisi altında hizmet verdiği kritik B-V matrisi çarpanının belirlenmesi amacıyla iki seviyeli programlama modeli önerilmiştir. Bu amaçla, herhangi bir ulaşım ağında B-V çiftleri kümesi K, bağlar kümesi A, rotalar kümesi R ve düğümler kümesi N ile temsil edilirse a bağının maliyet fonksiyonu Denklem (1)'de verildiği gibi ifade edilebilir (Ceylan, 2002).

$$c_a(q_a) = c_a^0 + d_a^U + d_a^{ro}(t) \quad (1)$$

Burada q_a a bağının trafik hacmi, $a \in A$, c_a^0 a bağının serbest akım seyahat süresi, d_a^U üniform gecikme, $d_a^{ro}(t)$ t zaman dilimindeki rastgele gecikme değeri olarak ifade edilebilmektedir.

Işık Süreleri Eniyileme Problemi

Çalışmanın ilk bölümünde farklı B-V matrisi çarpanı değerleri için ışık sürelerinin en iyilenmesi amacıyla oluşturulan amaç fonksiyonu Denklem (2)'de verilmiştir. Denklem (3-4) amaç fonksiyonuna ait kısıtları belirtmektedir.

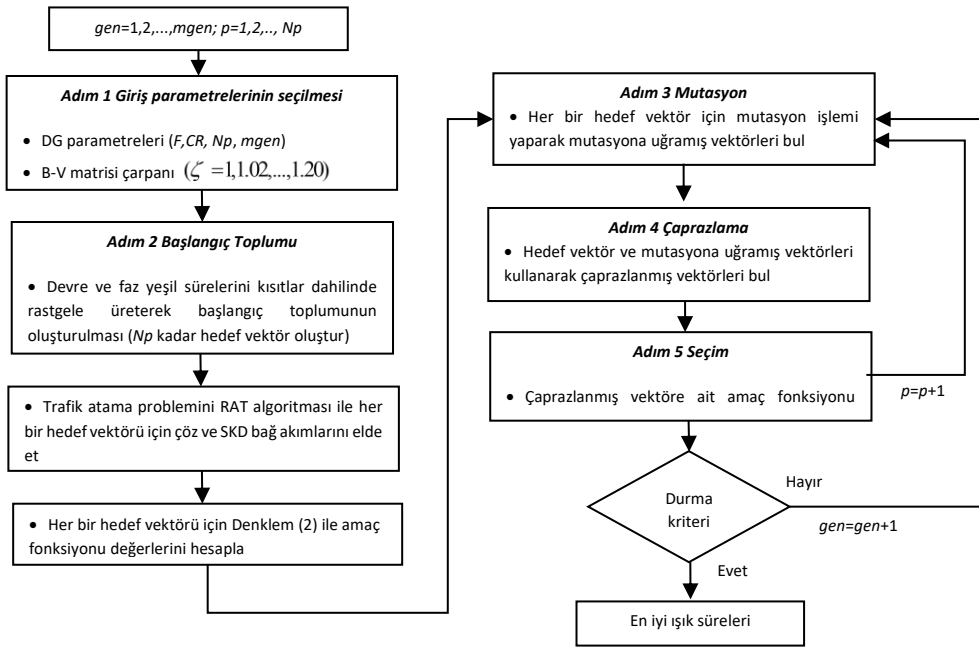
$$\min Z_1(\zeta, \mathbf{q}^*, \boldsymbol{\psi}) = \sum_{a \in A} [q_a^*(\zeta, \boldsymbol{\psi}) \cdot c_a(q_a)] + \sum_{a \in A} \sigma \max(q_a^*(\zeta, \boldsymbol{\psi}) - \mu_a(\boldsymbol{\psi}, s_a), 0) \quad (2)$$

$$\boldsymbol{\psi}(\mathbf{C}, \boldsymbol{\varphi}) \in \boldsymbol{\Omega}_0; \begin{cases} C_{\min} \leq C \leq C_{\max} \\ \varphi_{\min} \leq \varphi \leq C \\ \sum_{i=1}^z (\varphi + I)_i = C \end{cases} \quad (3)$$

$$q_a^*(\zeta, \boldsymbol{\psi}) \leq \mu_a(\boldsymbol{\psi}, s_a) \quad (4)$$

Burada ζ B-V matrisi çarpanı, $C_{\min}$ ve $C_{\max}$ devre süresi C için seçilen alt ve üst sınır değerleri, φ faz yeşil süresi, $\varphi_{\min}$ minimum faz yeşil süresi, I yeşillerarası süre, $\boldsymbol{\psi}$ sinyal süreleri vektörü, $\boldsymbol{\Omega}_0$ sinyal süreleri olası çözüm kümesi, s_a a bağına ait doygun akım değeri, z faz sayısı ve μ_a ise a bağının kapasitesi olarak tanımlanmaktadır. Denklem (2)'den görülebileceği gibi q_a^* olarak ifade edilen a bağına ait SKD trafik hacmi değerinin $c_a(q_a)$ olarak Denklem (1)'de verilen bağ maliyeti değeri ile çarpılması ile a bağına ait seyahat maliyeti değeri elde edilmektedir. Ulaşım ağındaki toplam seyahat maliyeti ise ağdaki tüm bağlara ait seyahat maliyeti değerlerinin toplamı olarak ifade edilmektedir. Denklem (3) ışık sürelerine ait kısıtları ifade ederken, Denklem (4)'te verilen kısıt ulaşım ağındaki bağlara ait trafik hacim değerlerinin bağ kapasitelerini geçmemesinin sağlanabilmesi için kullanılmış

ve Denklem (2)'ye σ parametresi kullanılarak ceza fonksiyonu olarak dahil edilmiştir. Şekil 1'de ışık sürelerinin en iyilenmesi için geliştirilen Diferansiyel Gelişim (DG) algoritması (Storn ve Price, 1995) tabanlı iki seviyeli programlama modeline ait akış şeması verilmiştir.



Şekil 1. İki seviyeli programlama modeli akış şeması (ışık süreleri en iyileme problemi)

SKD bağ akımları vektörü $\mathbf{q}^*$ Denklem (5)'te verilen SKD trafik atama probleminin çözülmesi ile elde edilebilmektedir (Bell ve Iida, 1997). Denklem (6) ise SKD trafik atama probleminin kısıtlarını ifade etmektedir.

$$\min_{\mathbf{q}(\psi)} f(\mathbf{q}(\psi), \psi) = -\zeta^T \mathbf{p}^T \mathbf{y}(\mathbf{q}(\psi), \psi) + \mathbf{q}^T \mathbf{c}(\mathbf{q}(\psi), \psi) - \sum_{a \in A} \int_0^{q_a(\psi)} c_a(\psi, w) dw \quad (5)$$

$$\zeta \mathbf{p} = \Lambda \mathbf{h}, \quad \mathbf{q}(\psi) = \delta \mathbf{h}, \quad \mathbf{h} \geq 0 \quad (6)$$

Burada $\mathbf{p}$ seyahat talebi vektörü, $\mathbf{c}$ ve $\mathbf{y}$ verilen $\mathbf{q}(\psi)$ bağ akımları vektörü için elde edilen bağ ve rota seyahat maliyetleri vektörleri, $\mathbf{h}$ rota akımları vektörü, δ bağ-rota belirleme matrisi ve Λ ise B-V/rota belirleme matrisidir $[\Lambda_{rk}; \forall r \in R; \forall k \in K]$.



INTERNATIONAL CONGRESS on ENGINEERING and ARCHITECTURE

14-16 November 2018

Alanya / Turkey

Şerit Ekleme Problemi

Ulaşım ağlarına şerit ekleme problemi ağdaki toplam seyahat maliyetini belirli bütçe kısıtları dahilinde en küçükleterek şerit eklenecek bağları belirlemek olarak tanımlanmaktadır. Söz konusu problem çalışmada iki seviyeli ikili tamsayılı programlama modeli kullanılarak çözülmüştür. Üst seviyede mevcut şerit sayısı korunan ve şerit ekleme yapılan bağlar 0-1 tamsayı değerleri ile temsil edilmiştir. Alt seviyede ise bağ fiziksel yapılarında yapılan değişikliklerin sürücülerin rota seçimleri üzerindeki etkilerinin belirlenebilmesi için SKD trafik atama problemi çözülmüştür. Üst seviye formülasyonu Denklem (7)'de verilmiştir.

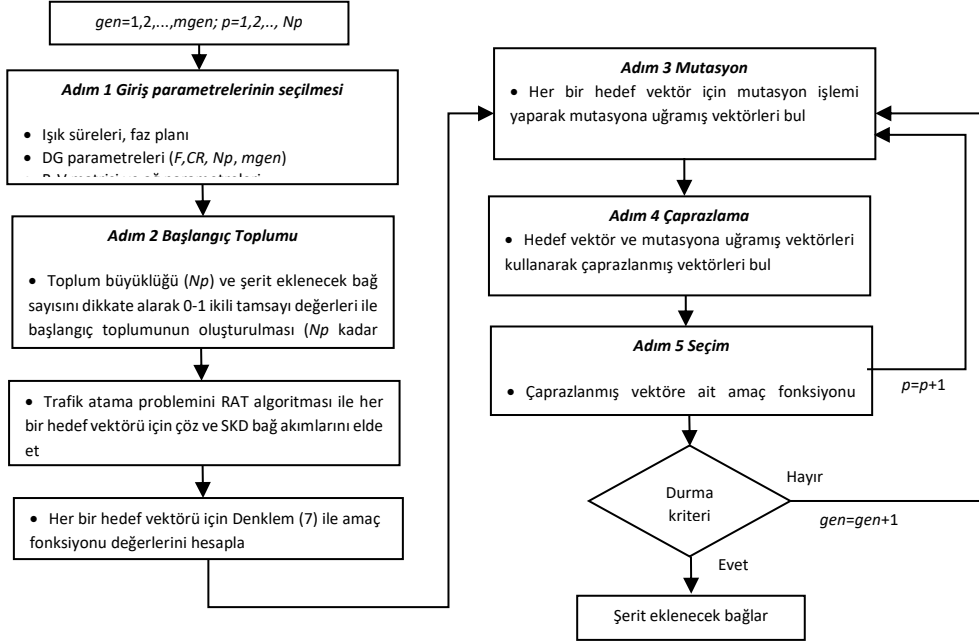
$$\min Z_2(\mathbf{q}^*, \mathbf{z}) = \sum_{a \in A} [q_a^*(\zeta, \psi) \cdot c_a(q_a)] + \sum_{a \in A} \sigma \max(q_a^*(\zeta, \psi) - \mu_a(\psi, s_a), 0) \quad (7)$$

$$\mathbf{z} = (z_1, z_2, \dots, z_a, \dots) \quad \forall a \in A \quad (8)$$

$$z_a = 0, 1 \quad \forall a \in A \quad (9)$$

$$q_a^*(\zeta, \psi) \leq \mu_a(\psi, s_a) \quad (10)$$

Denklem (7)'de verilen ifade toplam seyahat maliyeti olarak Denklem (2)'de verilen ifadeye benzetmekle birlikte şerit ekleme probleminde ışık süreleri ve B-V matrisi çarpanı değerleri önceden belirlenen değerler alınmaktadır. Diğer taraftan bütçe kısıtına bağlı olarak şerit eklenmesi muhtemel bağların sayısı belirlenerek bağların mevcut durumlarının korunması ve bağlara şerit eklenmesi yapılması durumları 0-1 ikili tamsayı değerleri ile ifade edilmektedir. Şerit ekleme probleminde alt seviye diğer bir deyişle SKD trafik atama problemi ışık süreleri en iyileme probleminde olduğu gibi Denklem (5-6)'da verilen ifadeler kullanılarak çözülebilmektedir. Bu çalışmada SKD trafik atama probleminin çözümü için Rota Akım Tahmin (RAT) algoritması kullanılmıştır (Bell ve Shield., 1995). Söz konusu problemin çözümü için önerilen DG algoritması tabanlı iki seviyeli ikili tamsayılı programlama modeline ait akış diyagramı Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2. İki seviyeli ikili tamsayılı proglama modeli akış şeması (Şerit ekleme problemi)

Sayısal Uygulamalar

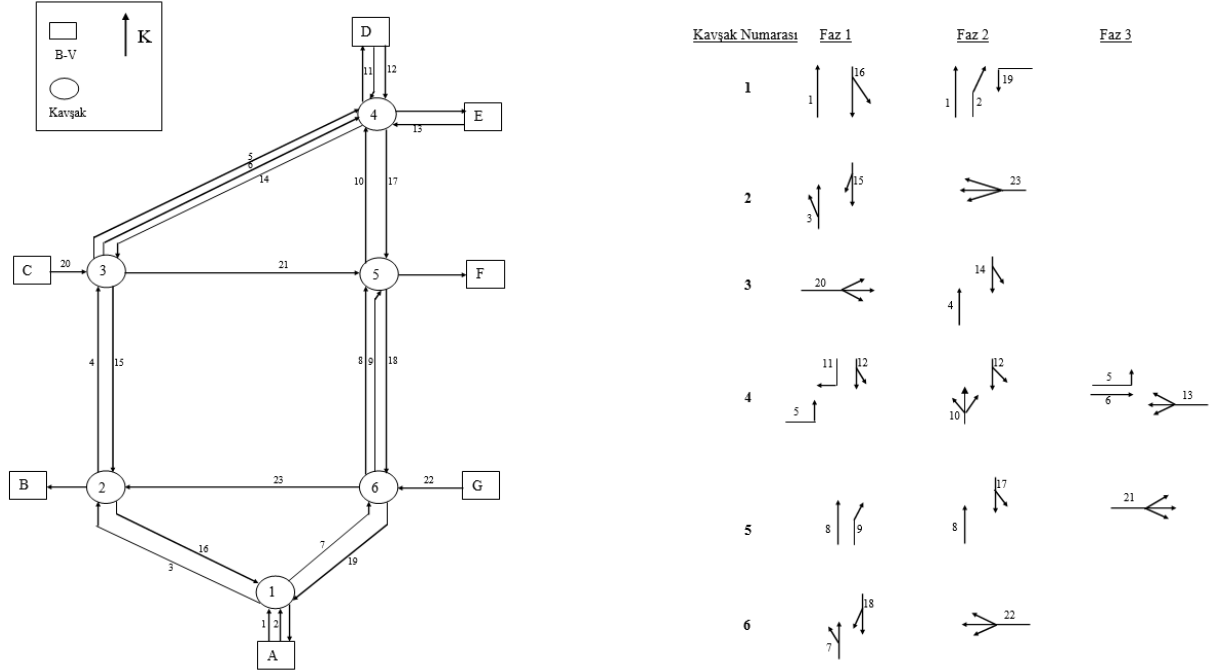
Işık Sürelerinin En İyilenmesi

Kritik B-V matrisi çarpanının bulunabilmesi amacıyla önerilen Denklem (2-6)'da verilen formülasyonların kullanıldığı iki seviyeli model MATLAB2016 programında kodlanmıştır. Şekil 3'te verilen Allsop & Charlesworth⁷ ulaşım ağında B-V matrisi çarpanının (ζ) farklı değerleri için sonuçlar elde edilmiş ve Çizelge 1'de verilmiştir. DG algoritması parametreleri probleme ait karar değişkenlerinin sayısı dikkate alınarak $F=0.8$, $CR=0.8$, $Np=30$ ve maksimum jenerasyon sayısı (mgen) 300 olarak seçilmiştir. $C_{\min}$ ve $C_{\max}$ 36-120 sn, $\varphi_{\min}$ 7 sn, ve I ise 5 sn olarak seçilmiştir. Çizelge 2'de elde edilen SKD bağ trafik hacimleri ve doyumluk dereceleri verilmiştir.

Çizelge 1. Farklı B-V matrisi çarpanı değerleri için toplam seyahat maliyetleri

n	ζ_n	Z_1 (ta-sa)	n	ζ_n	Z_1 (ta-sa)
1	1.00	147	7	1.12	198
2	1.02	154	8	1.14	209
3	1.04	163	9	1.16	218
4	1.06	171	10	1.18	243
5	1.08	179	11	1.20	276
6	1.10	187			

⁷ B-V matrisi ve ulaşım ağına ait parametreler Ceylan (2002) kaynağından alınabilir.



Şekil 3. Allsop & Charlesworth ulaşım ağı ve faz planı

Çizelge 2. SKD bağ akımları ve doyumluk dereceleri ($\zeta=1.20$)

Bağ numarası	Trafik hacmi (ta/sa)	Doygunluk derecesi	Bağ numarası	Trafik hacmi (ta/sa)	Doygunluk derecesi
1	859	0.51	13	540	0.89
2	557	0.61	14	944	0.82
3	859	0.65	15	945	0.88
4	696	0.61	16	791	0.99
5	764	0.72	17	496	0.96
6	210	0.41	18	423	0.59
7	557	0.74	19	757	0.89
8	574	0.65	20	1548	1.01
9	146	0.49	21	1269	1.01
10	574	0.92	22	1500	0.93
11	597	0.94	23	1004	0.69
12	303	0.28			

Çizelge 1’den görülebileceği gibi B-V matrisi çarpanı 1.16 değerine kadar toplam seyahat maliyeti değerleri doğrusala yakın bir artış gösterirken, B-V matrisi çarpanı 1.16 değerinden sonra seyahat maliyeti önemli ölçüde artmaya başlamıştır. Çizelge 2’de B-V matrisi çarpanı 1.20 değeri için verilen SKD bağ trafik hacimleri ve doyumluk derecelerinin incelenmesi durumunda 10 ve 17 numaralı bağlarda doyumluk dereceleri “1” değerinin üzerine çıkmıştır. Bu durum B-V matrisi çarpanı 1.20 değerinden sonra ulaşım ağının sıkışıklık etkisi altında hizmet vermeye devam edeceğini

göstermektedir. Çizelge 3’de B-V matrisi çarpanı 1.20 değeri için elde edilen en iyi ışık süreleri verilmiştir. Ancak Çizelge 2’den görüldüğü gibi ışık sürelerinin en iyi değerlerinin belirlenmesi ulaşım talebinin %20 artması durumunda ağı sıkışıklık etkisinden kurtaramamaktadır.

Çizelge 3. B-V matrisi çarpanı $\zeta = 1.20$ için en iyi ışık süreleri

Kavşak no	Devre Süresi (sn)	Yeşil süreler (sn)		
		Faz 1	Faz 2	Faz 3
1	65	18	37	---
2	75	31	34	---
3	109	60	39	---
4	120	38	34	33
5	115	20	35	45
6	74	31	33	---

Şerit Ekleme Problemi Uygulaması

Ulaşım ağlarında şerit ekleme probleminin çözümü için geliştirilen iki seviyeli ikili tamsayılı programlama modeline ait Şekil 2’de verilen akış diyagramı MATLAB2016 programında kodlanmış ve Allsop & Charlesworth ulaşım ağına uygulanmıştır. Bütçe kısıtları göz önüne alındığında ulaşım ağında sadece 5 adet bağda şerit ekleme yapılabileceği varsayımı altında çözüm gerçekleştirilmiştir. DG algoritması parametreleri literatürle uyumlu olarak $F=0.8$, $CR=0.8$, $N_p=15$ ve $m_{gen}=300$ alınmıştır. B-V matrisi çarpanı $\zeta = 1.20$ için çözüm yapılmış ve ışık süreleri için Çizelge 3’te verilen değerler kullanılmıştır. Amaç fonksiyonunun (Z_2) minimum değeri 195.80 ta-sa olarak elde edilmiştir. 13,17,18,19 ve 20 numaralı bağların yeni düzenlemeye göre iki şerit, ulaşım ağındaki diğer bağların ise tek şerit olarak hizmet vereceği belirlenmiştir. Bu durumda elde edilen SKD bağ trafik hacimleri, kapasiteleri ve doyumluk dereceleri Çizelge 4’de verilmiştir. Elde edilen doyumluk derecelerinden anlaşılabilirliği gibi B-V talebi %20 artırılmasına rağmen ağdaki tüm bağlar kapasitesinin altında hizmet vermektedir.

Çizelge 4. Şerit ekleme sonucu elde edilen SKD bağ akımları ve doyumluk dereceleri

Bağ numarası	Trafik hacmi (ta/sa)	Kapasite (ta/sa)	Doyumluk derecesi	Bağ numarası	Trafik hacmi (ta/sa)	Kapasite (ta/sa)	Doyumluk derecesi
1	859	1692	0.51	13	540	1210	0.45
2	557	911	0.61	14	635	1145	0.55
3	859	1323	0.65	15	707	1075	0.66
4	697	1145	0.61	16	227	803	0.28
5	764	1065	0.72	17	805	1035	0.78
6	210	509	0.41	18	661	1424	0.46
7	557	754	0.74	19	1321	1708	0.77
8	574	885	0.65	20	1548	3083	0.50
9	145	296	0.49	21	1199	1252	0.96
10	574	623	0.92	22	1500	1605	0.93
11	300	633	0.47	23	678	1451	0.47
12	600	1080	0.56				



INTERNATIONAL CONGRESS on ENGINEERING and ARCHITECTURE

14-16 November 2018

Alanya / Turkey

Sonuçlar ve Öneriler

Çalışmada ilk olarak SKD bağ trafik hacimlerini dikkate alarak farklı B-V matrisi çarpanı değerleri için Allsop & Charlesworth ulaşım ağına ışık süreleri en iyilenmiştir. Bu şekilde ışık sürelerinin en iyilenmesinin yetersiz kaldığı ve ağıdaki en az bir bağın kapasitesinin üstünde hizmet verdiği kritik B-V matrisi çarpanı değeri belirlenmiştir. İkinci olarak ulaşım ağlarında şerit ekleme probleminin çözülmesi amacıyla kritik B-V matrisi çarpanı değeri dikkate alınarak DG algoritması tabanlı iki seviyeli ikili tamsayılı programlama modeli geliştirilmiştir. Önerilen modelin üst seviyesinde bütçe kısıtları dahilinde ulaşım ağındaki beş adet bağa şerit eklenmesi amaçlanmış ve ağıdaki toplam seyahat maliyeti en küçüklenmeye çalışılmıştır. Bağ trafik hacimlerinin kapasitelerini aşmasını önlemek amacıyla bu durumu temsil eden ceza fonksiyonu amaç fonksiyonuna dahil edilmiştir. Ulaşım ağındaki bağların mevcut şerit sayılarının korunması veya bağlara şerit eklenmesi durumları 0-1 ikili tamsayı değerleri ile temsil edilmiştir. Alt seviyede ise RAT algoritması kullanılarak trafik atama probleminin çözülmesi ile SKD bağ trafik hacimleri elde edilmiştir. Sonuç olarak B-V matrisinin %20 artırılması durumunda ağı sıkışıklık etkisi altında hizmet vermesini önlemek amacıyla 13,17,18,19 ve 20 numaralı bağlara şerit ekleme yapılması gerektiği belirlenmiştir. Gelecek çalışmalarda koordine ulaşım ağlarında şerit ekleme probleminin çözülebilmesi amacıyla ofset parametresinin probleme dahil edilmesi planlanmaktadır.

Kaynaklar

- Allsop, R.E., 1972. Estimating the traffic capacity of a signalized road junction. *Transportation Research*, 6, 245-255.
- Allsop, R.E., Charlesworth, J.A., 1977. Traffic in a signal-controlled road network: an example of different signal timings including different routings. *Traffic Engineering Control*, 18 (5), 262-264.
- Baskan, O., Ozan, C., 2017. Reserve Capacity Model for Optimizing Traffic Signal Timings with an Equity Constraint. H. Yaghoubi (Edt.), *Highway Engineering*, içinde (s.1-15), IntechOpen.
- Başkan, Ö., 2013. Birleştirilmiş Ulaşım Ağ Tasarım Probleminin Diferansiyel Gelişim Algoritması ile Çözümü. 10. Ulaştırma Kongresi, 24-26 Eylül, İzmir, 301-311.
- Başkan, Ö., Ceylan, H., 2014. Ulaşım Ağ Tasarımı Problemlerinin Çözümünde Diferansiyel Gelişim Algoritması Tabanlı Çözüm Yaklaşımları. *Pamukkale Univ Muh Bilim Derg*, 20(9), 324-331.
- Başkan, Ö., Ozan, C., 2018. Determining optimum configuration of one-way and two-way streets using shortest path travel costs based on results of traffic assignment. *Pamukkale University Journal of Engineering Sciences*, in press.
- Bell, M. G. H., Iida, Y. (1997). *Transportation Network Analysis*, John Wiley and Sons, Chichester, UK, ISBN: 978-0-471-96493-3.
- Bell, M.G.H., Shield, C.M., 1995. A log-linear model for path flow estimation. Y.J. Stephanedes, F. Filippi (Edt.), *Proceedings of the 4th International Conference on the Applications of Advanced Technologies in Transportation Engineering*, 695-699, Capri, Italy.
- Ceylan, H., 2009. Şehiriçi Ulaşım Ağlarının Armoni Araştırması Optimizasyon Tekniği ile Tasarımı. Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Pamukkale Üniversitesi.
- Ceylan, H., 2002. A genetic algorithm approach to the equilibrium network design problem. Doktora Tezi. Newcastle upon Tyne Üniversitesi, İngiltere.



INTERNATIONAL CONGRESS on **ENGINEERING** and **ARCHITECTURE**

14-16 November 2018

Alanya / Turkey

- Ceylan, H., Bell, M.G.H., 2004. Reserve capacity for a road network under optimized fixed time traffic signal control. *Journal of Intelligent Transportation Systems: Technology, Planning, and Operations*, 8 (2), 87-99.
- Chiou, S.-W., 2007. Reserve capacity of signal-controlled road network. *Applied Mathematics and Computation*, 190 (2), 1602-1611.
- Chiou, S.-W., 2014. Optimal signal-setting for road network with maximum capacity. *Information Sciences*, 273, 287-303.
- Miandoabchi, E., Daneshzand, F., Szeto, W. Y., Farahani, R. Z., 2013. Multi-objective discrete urban road network design. *Computers & Operations Research*, 40, 2429-2449.
- Miandoabchi, E., Farahani, R.Z., 2011. Optimizing reserve capacity of urban road networks in a discrete network design problem. *Advances in Engineering Software*, 42 (12), 1041-1050.
- Miandoabchi, E., 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., Abulghasemi, F., 2005. Application of Ant System to network design problem. *Transportation*, 32, 251-273.
- Poorzahedy, H., Rouhani, O.M., 2007. Hybrid meta-heuristic algorithms for solving network design problem. *European Journal of Operational Research*, 182, 578-596.
- Storn, R., Price, K., 1995. *Differential Evolution: A Simple and Efficient Adaptive Scheme for Global Optimization over Continuous Spaces*. ICSI, Technical Report, TR-95-012, USA.
- Webster, F.V., Cobbe, B.M., 1966. *Traffic signal*. Road Research Technical Paper No. 56, HMSO, London.
- Wong, S.C., Yang, H., 1997. Reserve capacity of a signal-controlled road network. *Transportation Research Part B*, 31, 397-402.
- Yagar, S., 1985. Addressing errors and omissions in paper on intersection capacity maximization. *Transportation Research Part B*, 19, 81-84.
- Yang, H., Bell, M.G.H., 1998. Models and algorithms for road network design: a review and some new developments. *Transport Reviews*, 18(3), 257-278.
- Ziyou, G., Yifan, S., 2002. A reserve capacity model of optimal signal control with user-equilibrium route choice. *Transportation Research Part B*, 36, 313-323.