



Wichita State University Libraries
SOAR: Shocker Open Access Repository

Mehmet Bayram Yildirim

Industrial & Manufacturing Engineering

Mecidiyekoy Meydanındaki Trafik Isiklarinin Dúzenlenmesi
Scheduling Traffic Lights in a Capacitated Junction

Deniz A Ksen*

Murat Aksu*

I. Kuban Altinel*

Mehmet Bayram Yildirim*

bayram.yildirim@wichita.edu

* Boğaziçi University. Department of Industrial Engineering

Recommended citation

Ksen, Deniz A ., Murat Aksu, I. Kuban Altinel and Mehmet Bayram Yildirim. 2004.

Mecidiyekoy Meydanındaki Trafik Isiklarinin Dúzenlenmesi = Scheduling Traffic Lights in a Capacitated Junction. Endüstri Múhendisligi = Turkish Industrial Engineering Journal, v.5:6, 3-16.

This paper is posted in Shocker Open Access Repository

<http://soar.wichita.edu/dspace/handle/10057/3375>

ISSN 1300-3410

Cilt : 5 Sayı : 6
KASIM - ARALIK 1994

Endüstri Mühendisliği



tmmob makina mühendisleri odası yayınıdır



MECİDİYEKÖY MEYDANINDAKİ TRAFİK IŞIKLARININ DÜZENLENMESİ

Bu çalışmada, Mecidiyeköy Meydanında ve/veya ve araç geçişlerini kontrol eden trafik ışıklarının düzenlenmesine yardımcı bir doğrusal programlama modeli geliştirilmiştir. Meydandaki ışıkların arkasında oluşan toplam insan birikimini enküçüklemeyi amaçlayan bu model yeşil ışık süreleri, ışık uyumlulukları ve yolların kapasite sınırı tabanlı kısıtları içermektedir. Kurulan model, trafik ışık çizelgelerinin belirlenmesine yönelik olarak meydana bütün yönleriyle ele almaktadır. Yapılan senaryo ve duyarlılık çözümlerinden elde edilen sonuçlar gerçekte uyum içerisinde.

Bilkent Üniversitesi ve Yöneylem Araştırması Derneğince düzenlenen XVI. Yöneylem Araştırması ve Endüstri Mühendisliği Kongresinde, lisans öğrencilerinin bilimsel araştırma çabalarını teşvik etmek amacıyla bir araştırma yarışması düzenlenmiştir. Bu yarışmada birincilik ödülü kazanan çalışmaya ilgili öğretim üyesinin de katkıları ile düzenlenmiş halde, yayın politikamız doğrultusunda yayınlıyoruz. İlk defa düzenlenen bu yarışmaya katılan tüm lisans öğrencilerine ve onların çalışmalarını değerlendiren jüri üyelerine teşekkür eder, bu gibi çalışmaların sürekliliğini dileriz.

Anahtar sözcükler:

Çizelgeleme, Karışık Tamsayı Programlama, Kavşak, Trafik Işıkları

Deniz AKSEN
Murat AKSU
İ. Kuban ALTINEL
M. Bayram YILDIRIM

*Boğaziçi Üniversitesi
Endüstri Mühendisliği Bölümü*

GİRİŞ

Trafik genel olarak taşıtlar içindeki insanlar ve yayalar olmak üzere iki temel insan akışından oluşur. Bu akışlar çeşitli nedenlerle birbirlerini keser ve denetlenmediğinde süre kaybına neden olan bir karmaşa doğururlar. Bu düzensizliği çözümenin en etkin yöntemlerinden birisi *trafik ışıkları* kullanmaktır. Trafik ışıkları her ne kadar karmaşayı önleseler de iyi düzenlenmedikleri zaman her iki tip insan akışında birikmelere yol açan gereksiz duraklamalar oluşur. Özetle trafik ışıkları kullanmak uygundur, ancak ışıkların yol açtığı bekleme kayıplarını en aza indirmek için bir çizelgeleme yapılması, eniyi kırmızı ve yeşil yanma sürelerinin, başka bir deyişle *çevrim sürelerinin*, bulunması gerekir.

Işıklar ile düzenlenen kavşaklardaki trafik akışının matematiksel tanımı uzun süreden beri araştırmacıların ilgisini çeken bir konudur. Bu amaçla sayısız model geliştirilmiş ve bunları çözmek için daha çok eniyileme tabanlı olan, bilgisayar yöntemleri önerilmiştir. Bunlar içinde birleşik eniyileme

tekniklerini kullananlar (bkz.

Stoffers, 1968), karma tamsayılı programlama kullananlar (bkz. Improta ve Cantarella, 1984; Little, 1966; Gartner, Little ve Gabbay, 1975), kullanarak doğrudan arama yapanlar (bkz. Hallworth, 1980) ve sistem dinamiği yaklaşımını uygulayanlar (bkz. Stephanopoulos ve Michalopoulos, 1979) sayılabilir.

Kavşaklardaki trafiğin kontrolü için önerilen yöntemler iki ana küme halinde toplanabilir. Bunlardan ilkinin oluşturulanlar, sinyal döngü sürelerini sabit tutup yeşil ışık sürelerini eniyilemeyi amaçlayan, normal ve doymuş akışların bulunduğu varsayan modellerdir (bkz. Allsop, 1972; Yagar, 1974). İkinci kümeyi oluşturan modellerde de, yollardaki normal ve doymuş akışların bulunduğu varsayılır ve eniyi yeşil yanma süreleri hesaplanır. Ancak bu süreler bulunurken farklı olarak kavşak oluşturulan akışlardaki kesişmeler ve uyumlar da göz önüne alınır (bkz. Stoffers, 1968, Zuzarte Tully ve Murchland, 1978; Improta ve Cantarella, 1984).

Tüm bu modeller kullanı-

larak hem kuramsal, hem de uygulanabilir sonuçlar elde edilmiştir. Ne var ki problemin karmaşık yapısı, bu sonuçların ancak basit kavşaklar için elde edilmesine olanak tanımıştır. Özellikle değişik yönlerden gelen bir çok trafik akışının keşiştiği yerlerde bu modellerden birisini doğrudan kullanmak olası olmamaktadır. Ayrıca bu modellerin hepsi de yalnızca taşıtların içindeki insan akışını göz önünde bulundururlar ve taşıt trafiğinin keşişmesine göre kavşağı düzenlemeye çalışırlar. Aslında düzenleme sırasında kavşaklardaki yaya trafiğine de önem verilmelidir.

Bu çalışma her iki akışı da göz önüne alması açısından yukardakilerden daha farklı bir yaklaşım kullanır. Model, Mecidiyeköy Meydanı'ndaki trafik ışıklarının yeşil ve kırmızı sürelerini meydana getiren ışıklar arkasında oluşan yaya ve yolcuların toplam birikimini enküçükle-yecek şekilde bulmayı amaçlar. Meydandaki akışların çokluğu ve adeta bir düğüm oluşturan keşişmeleri nedeniyle, modeli çözülebilir kılmak için, ışıkların eniyi çizelgelemesini vermek modelin kapsamına alınmadı.

Toplam olarak beş bölümden oluşan bu makalede bundan sonraki ikinci bölümde geliştirilen model ayrıntılı olarak tanıtılıyor. Üçüncü bölümde modelin parametrelerindeki değişikliklere olan duyarlılığı tartışılıyor. Dördüncü bölüm model yardımıyla meydana getirdiği değişik trafik akış ve ışık düzenleme senaryolarının incelenmesini içeriyor. Beşinci ve son bölümde ise çalışmadan çıkarılan sonuçlar özetleniyor.

DOĞRUSAL PROGRAMLAMA MODELİ

Kavşak, çeşitli akımların keşiştiği ve bir geçiş alanının olduğu yerdir. *Akım* ise kavşağa trafik yükü veren yoldur. Eğer kavşakta keşişen iki akım aynı anda kavşaktan geçemiyorsa, bunlar *uyuşmaz akımlar* olur. *Çevrim süresi* bir ışığın bir dönemdeki toplam yeşil ve kırmızı yanma süresidir.

Mecidiyeköy, İstanbul'da iş merkezlerinin en yoğun olarak yer aldığı semttir ve kentin en merkezi yerlerinden birisinde bulunur. Mecidiyeköy Meydanında, E-5'ten gelen trafikle, Çağlayan, Taksim ve Zincirlikuyu yönünden gelen trafik keşişir. Burada aynı zamanda birçok otobüs hattının ilk ve son durakları da bulunur. Basit bir kavşaktan öte, kavşaklar bileşimi olan meydana getirdiği trafik yükünün çok ağır olduğu açıkça görülebilir.

Meydandaki trafiğin trafik ışıkları aracılığıyla

düzenlenmesi probleminin iskeleti Şekil. 1'den de görülebileceği gibi;

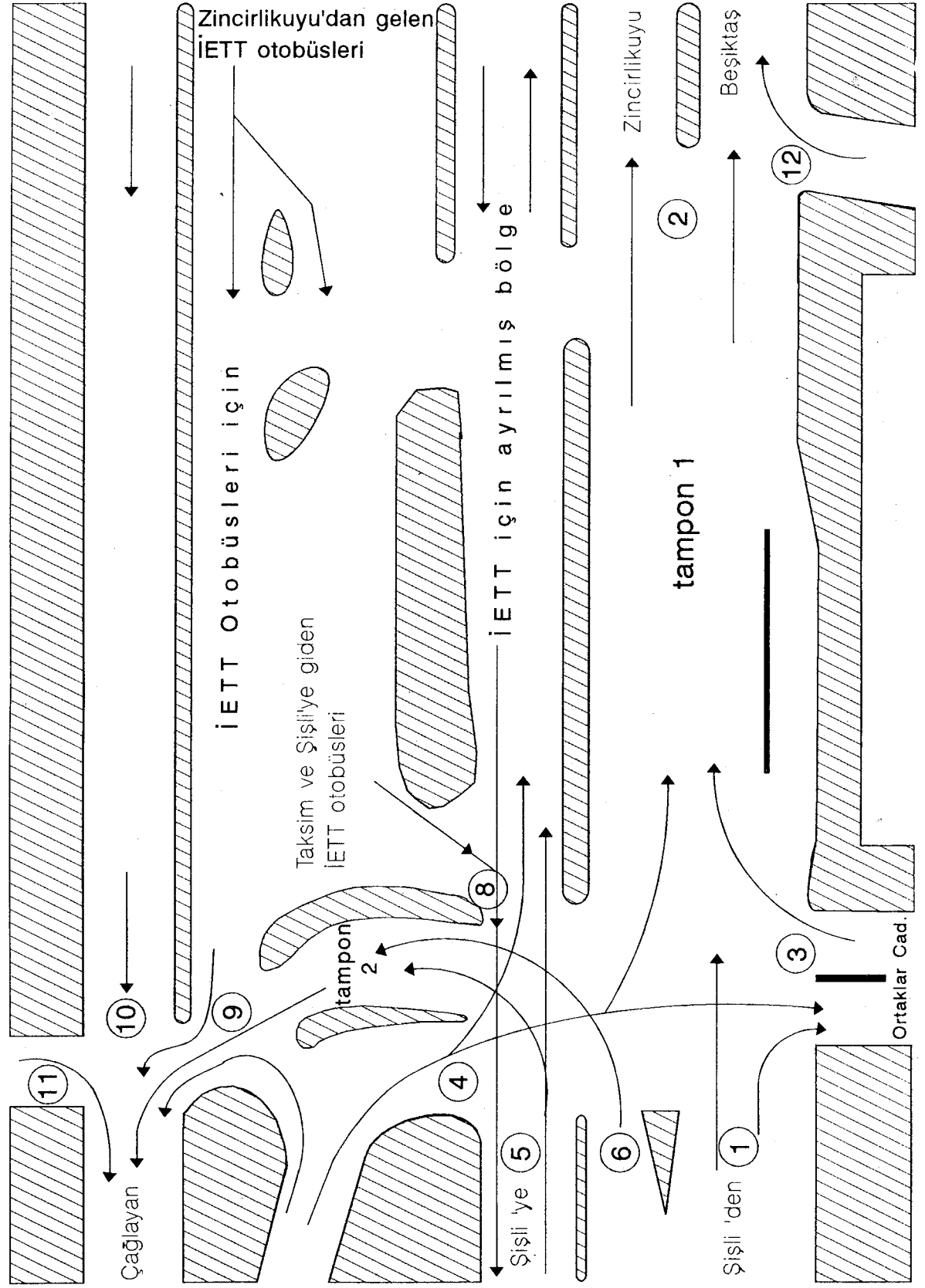
- i) Ortaklar Caddesi ile Şişli yönünden Çağlayan ve Zincirlikuyu'ya E-5'ten otobüs yoluna, Ortaklar Caddesine ve Zincirlikuyu'ya giden akımların keşiştiği 1., 3., 4., 5. ve 6. ışıklara ait,
- ii) tampon-2 ve Çağlayan yönüne giden akımın oluşturduğu kavşaktaki 9., 10. ve 11. ışıklara ait,
- iii) tampon-1'in Zincirlikuyu ve Beşiktaş çıkışı ile Boğaz Hattı otobüslerinin çıkış yolunun keşiştiği yerdeki 2. ve 12. trafik ışıklarına ait eniyi çevrim sürelerinin belirlenmesinden oluşur.

Şekil-1'de oklarla belirtildiği gibi [1, 4, 5, 6, ve 8], [1 ve 3], [2 ve 12], [9 ve 10] ile [10 ve 11] numaralı ışıklar *uyuşmaz akımlara* ait ışık kümelerini oluştururlar. Örneğin 4. ışık yeşilken 5., 6. ve 1. ışıkların kırmızı olması zorunludur.

1., 4. ve 6. ışıktan çıkan araçlar 2. ışığa doğru yol alırlar. Bu nedenle 2. ışık kırmızı yandığında, bu ışığın arkasındaki birikim artar. Eğer birikim, 1. ve 2. ışığın arasındaki bölgenin (tampon-1) kapasitesini aşarsa sözü geçen akışlar olanaksızlaşır. Benzer durum tampon-2 için de söz konusudur.

Mecidiyeköy Meydanı tanındıktan sonra kurulan model ve bu modeli oluştururken yapılan varsayımlar ile gözlemler üzerinde durulabilir. Modelde yer alan varsayımlar şunlardır:

1. Kurulan model, değişken giriş ve çıkış miktarlarını göz önüne almaz. Yani modelde bir trafik ışığına gelen yaya ve/veya araçların birim süredeki giriş ve çıkış miktarları sabittir. Geliş oranları bir ışığa birim sürede ulaşan kişi sayısıdır. Çıkış oranları ise o ışıktan birim sürede çıkan kişi sayısıdır.
2. Model sadece trafik ışıklarının yeşil ve kırmızı yanma sürelerini göz önüne alır. Işıkların sarı yanma süreleri, kırmızı yanma sürelerine dahil edilmiştir.
3. Meydanın ele alınan kısmı içinde araçları, bir trafik ışığından çıkıp diğer trafik ışığına varış süreleri göz önüne alınmamıştır.
4. 2 ve 9 numaralı ışıkların dışındaki bütün ışıkların arkalarındaki yıl kapasitelerinin sonsuz olduğu düşünülmüştür.
5. Birikimi enküçüklenen varlıklar yayalar ve araçların içindeki yolculardır.
6. Başlangıçta meydana herhangi bir birikim yoktur.
7. Tamponlardaki birikim kapasiteyi aştığında, o yöne doğru trafik akışının durması ge-



Şekil.1 Mecidiyeköy Meydanı

rekir. Bu, modelde ters yöne doğru hayali bir geri akış yaratılarak sağlanır.

8. 5.ve 8. ışıklara aynı uzunlukta yeşil yanma süresi verilmiş ve kesin uyuşan ışıklar olarak ele alınmıştır. Bu durum İETT ve halk otobüsü şoförlerinin o ışıklardan geçerken karşılıklı anlaşmaları neticesinde ortaya çıkar. Her ne kadar Şekil. 1'e göre 5 ve 8 numaralı ışıkların aynı anda yeşil yanması mümkün görünmese de, gerçekte her iki ışık da aynı anda yeşil olmak zorundadır. Çünkü 5 ve 8 numaralı ışıkların kontrol ettiği tercihli otobüs yolu, geliş ve gidiş olmak üzere sadece iki şeritlidir.

Modelde, meydana gelen ışıkların arkasında oluşan toplam yaya ve araç içerisindeki insan sayısının enküçüklenmesi amaçlandığından parametreleri belirlemede kullanılan veriler iş günlerinde, yaya ve araç trafiğinin en yoğun olduğu saatlerde, 17:00-19:00 arasında toplanmıştır. Veri toplama ile ilgili önemli noktalar şöyle sıralanabilir:

1. Araç ve yayaların çıkış miktarları, ilgili trafik ışığının toplam yeşil yanma süresince değil, tamamen doymuş yeşil yanma süreleri için ölçülmüştür. Yani belli bir süre boyunca ışıktan kaç kişinin çıkış yaptığı değil; o ışık arkasında toplanan birikimin büyüklüğü ve bu birikimin ne kadar sürede eridiği belirlenmiştir.
2. Meydandaki araçlar iki kategoriye ayrılmıştır: Arabalar ve otobüsler. Pikap ve kamyonetler arabalarla; minibüsler ise otobüslerle birlikte sayılmıştır.
3. Tampon bölgenin sonundaki trafik ışığına gelen araçların miktarı, o tampona araç gönderen ışıklara ait çıkış miktarlarının toplamına eşittir.
4. Bir ışığın iki tarafındaki yayaların geliş miktarları toplanarak o ışığa ait toplam yaya geliş miktarları bulunmuştur.
5. Her bir arabanın ortalama 1.5 yolcu taşıdığı gözlenmiştir.
6. Otobüslerin taşıdığı ortalama yolcu sayısı, seyrettikleri hatta göre 40 ile 100 arasında değişmektedir.
 - i) 1. ışığa gelen otobüsler: 50 yolcu
 - ii) 4. ışıktan tampon-1'e gelen otobüsler: 60 yolcu
 - iii) 5. ışığa gelen otobüsler: 40 yolcu
 - iv) 8. ışığa gelen otobüsler (Zincirlikuyu'dan): 70 yolcu
 - v) Çağlayan'dan tampon-2'ye gelen otobüsler: 40 yolcu

- vi) 9. ışıktan (İETT platformundan) çıkan otobüsler: 100 yolcu
- vii) 10. ışığa gelen otobüsler: 40 yolcu
- viii) 12. ışığa gelen otobüsler: 70 yolcu
- ix) Körüklü otobüsler yaklaşık 100 yolcu taşımaktadır.

Modelde yapılan varsayımlar ve veri toplarken yapılan çeşitli gözlemler sıralandıktan sonra karar değişkenleri tanımlanabilir. Karar değişkenlerinin endeksleri Şekil.1 'deki ışık numaraları ile aynıdır.

T₁: 1, 3, 4, 5, 6 ve 8 numaralı ışıkların çevrim süreleri.

T₂: 2 ve 12 numaralı ışıkların çevrim süreleri.

T₃: 9, 10 ve 11 numaralı ışıkların çevrim süreleri.

X_i: i. ışığın bir çevrim süresindeki yeşil yanma süresi.

Q_i: i. ışığın arkasında bir çevrim süresinde oluşan yolcu birikimi.

Q₇: T₁ çevrim süresinde 5. ışığın arkasında, 5. ışıktan tampon-2'ye giden otobüslerden dolayı oluşan yolcu birikimi.

B_{F_i}: Tampon bölgeler dolduğunda gelen akışı geri döndüren hayali akış. Bu hayali akış sayesinde bölgenin gerisindeki ışıkların yeşil de olsalar tıkanması sağlanmakta ve böylece trafikteki şişme modele yansıtılmaktadır.
(i= 1,3,4,6,7).

P_i: i. ışığın arkasında bir çevrim süresinde oluşan yaya birikimi (i= 1,2,3,4,10,11,12).

Y₁: 1. tampon bölgenin araç kapasitesi dolduğunda 1 değerini alan ikili değişken.

Y₂: 2. tampon bölgenin araç kapasitesi dolduğunda 1 değerini alan ikili değişken.

Hemen fark edilebileceği gibi modelde 7. ışık tanımlanmamıştır. Tampon-2'ye ve Zincirlikuyu'ya giden otobüsleri birbirinden ayırt edebilmek için Şekil-1'de görülmeyen hayali bir 7. ışık kullanılmıştır. Trafik ışıklarının uyuşmazlıkları ilk 3 kısıt ile sağlanmıştır. Her ışığa belli bir yeşil yanma süresi verildikten sonra çizelgelerken ise bu yeşil yanma sürelerinin birbirleriyle çakışmaması, uyuşmazlık kısıtlarının gereğidir.

Bu bölümün geri kalanında geliştirilen model sunuluyor. Hem yeterince açık olabilmek, hem de gereksiz ayrıntıdan kaçabilmek için amaç fonksiyonu açıklandıktan sonra modeli oluşturan kısıtlar kümelendirildi. Her küme, içinde bulunduğu kısıtın ne ile ilgili olduğunu anlatan kısa bir açıklama ile başlıyor. Daha sonra kümeyle ait bir kısıt örnek olarak veriliyor ve

içeriği sözle belirtiliyor. Kümeyi aynı yapıdaki diğer denklemlerin yarı sözel ifadeleri tamamlıyor.

Modelin ışıklar arkasındaki toplam insan birimini enküçüklemeyi amaçlandığından daha önce de bahsedilmişti. Bu birikimin iki ana ögesi var: Işıkların arkasında biriken yayalar ve ışıkların arkasında biriken yayalar ve ışıkların arkasında bekleyen taşıtlardaki insanlar. Hemen fark edilebileceği gibi birikim insan sayısı ile ölçülüyor. Bu nedenle herhangi bir uyumsuzluğa engel olmak için taşıt sayısı da insan sayısına çevrildi. Özetle amaç fonksiyonu

enküçükle $z = \text{Yaya ışıklarındaki toplam yaya birikimi} + \text{Taşıtlarda bekleyen insanların birikimi}$

olarak ifade edilebilir ki, bunun sayısal özdeşi karar değişkenlerini kullanarak;

$$\text{Enküçükle } z = \left\{ \sum_{i=1}^{12} Q_i + \sum_{j=1}^4 P_j + \sum_{j=9}^{12} P_j \right\}$$

olarak yazılabilir. Kısıt kümeleri ise yukarıda açıklanan biçim uyarınca dokuz küme halinde düzenlenebilir.

I) Birinci çevrim süresi ile ilgili uyuşmazlıklar:

Bu küme birinci çevrim süresi T_1 ile ona bağlı yeşil ışık süreleri arasındaki ilişkileri belirleyen eşitsizliklerden meydana gelir. Örneğin, T_1 en azından uyuşmaz ışıkların yeşil sürelerinin toplamından büyük olmalıdır. Bu, uyuşmayan 1. ve 4. ışıklar için şu şekilde sayısallaştırılabilir:

$$T_1 - X_1 - X_4 \geq 0$$

Benzer şekilde:

- $T_1 > \text{Işık-1 ve Işık-4'ün yeşil yanma süreleri toplamı}$
- $T_1 > \text{Işık-4, Işık-5 ve Işık-6'nın yeşil yanma süreleri toplamı}$
- $T_1 > \text{Işık-1 ve Işık-3'ün yeşil yanma süreleri toplamı}$

yazılabilir.

II) İkinci çevrim süresi ile ilgili uyuşmazlıklar:

Tek kısıt içeren bu küme bir önceki kümede yer alan ilişkilerin benzerini 2. ve 12. ışıkların ortak çevrim süresi olan T_2 için belirtir. Başka

bir deyişle T_2 , 2. ve 12. ışığın yeşil yanma sürelerinin toplamından fazla olmalıdır. Yani

$$T_2 - X_2 - X_{12} \geq 0$$

sağlanmalıdır.

III) Üçüncü çevrim süresi ile ilgili uyuşmazlıklar:

III. küme 9., 10. ve 11. ışıkların ortak çevrim süresi olan T_3 ile ilgili kısıtları içerir. Bu bölümün başında da belirtildiği gibi, 9. ve 11. ışıklar 10. ışık ile uyumsuzdur; dolayısıyla 10. ışık yeşilken diğer iki ışık kırmızı yanmak zorundadır. Öyleyse T_3 en azından uyuşmaz ışık çiftlerinin yeşil yanma sürelerinin toplamından daha büyük olmalıdır. Bu şartın birbiriyle uyuşmayan 9. ve 10. ışıklar için sayısal ifadesi aşağıdaki gibidir:

$$T_3 - X_9 - X_{10} \geq 0$$

Benzer şekilde:

- $T_3 \geq \text{Işık-9 ve Işık-10'nun yeşil yanma süreleri toplamı}$
 - $T_3 \geq \text{Işık-11 ve Işık-10'nun yeşil yanma süreleri toplamı}$
- yazılabilir.

IV) Ortak çevrim sürelerinde Işık-1, 3, 4'ün arkasında oluşan yolcu birikimi:

Bu ve bunu izleyen üç kısıt kümesinde ışıkların arkasında araçlar içinde biriken yolcuların sayısı ile ilgili belirleyen eşitsizlikler bulunuyor. Eşitsizliklerde yer alan çevrim süresi ile yeşil yanma sürelerini belirten karar değişkenlerinin önündeki katsayılar, eşitsizlikte adı geçen ışığa ait geliş ve çıkış oranlarının yolcu sayısına çevrilmiş halidir. Örneğin Işık-j'nin ($j= 1,3,4$) arkasında oluşan araç içindeki yolcu birikimi

$$\begin{aligned} & (\text{Işık-j'nin arkasındaki birikim}) \geq \\ & (\text{Işık-j'ye } T_1 \text{deki geliş} - \text{Işık-j'den yeşil süredeki çıkış} \\ & + \text{Tampon-1'den geri akış}) \end{aligned}$$

eşitsizliğiyle ifade edilebilir. Bu eşitsizlik 1. ışık için sayısal olarak yazılmak istenirse

$$- Q_1 + 1.42 T_1 - 2.802 X_1 + BF_1 \leq 0$$

elde edilir. Yukarıda adı geçen 1.42 çarpanı 1. ışığa *birim sürede*, yani 1 saniyede, gelen araçlar içindeki yolcuların miktarını gösterir.

2.802 ise aynı ışık yeşil yandığında buradan birim sürede çıkış yapan araçların içindeki yolcuların sayısıdır.

V) Ortak çevrim sürelerinde Işık-5 ve Işık-6'nın arkasında oluşan yolcu birikimi:

Bu kümede $j=5$ ve $j=6$ için şu ilişki söz konusudur:

$$\begin{aligned} & (\text{Işık-}j\text{'nin arkasındaki birikim}) \geq \\ & (\text{Işık-}j\text{'ye } T_1\text{'deki geliş-Işık-}j\text{'den yeşil süredeki çıkış} \\ & + \text{Tampon-2'den geri akış}). \end{aligned}$$

Bu eşitsizlik örnek olarak 5. ışık için sayısallaştırılmak istenirse,

$$- Q_5 + 2.065 T_1 - 7.01 X_5 \leq 0$$

elde edilir. Burada 2.065 çarpanı 5. ışığa birim sürede gelen yolcuların miktarını, 7.01 ise aynı ışık yeşil yandığında buradan birim sürede çıkış yapanların miktarını gösterir.

VI) Ortak çevrim sürelerinde Işık-8, 9, 10, 11 ve 12'nin arkasında oluşan yolcu birikimi:

Bu küme için birikim ilişkisi $j=8, 9, 10, 11$ ve 12 olduğu göz önüne alınarak şöyle saptanabilir:

$$\begin{aligned} & (\text{Işık-}j\text{'nin arkasındaki birikim}) \geq \\ & (\text{Işık-}j\text{'ye } T_1\text{'deki geliş-Işık-}j\text{'den yeşil süredeki çıkış}). \end{aligned}$$

Dikkat edilirse, 8, 9, 10, 11 ve 12 numaralı ışıklardan iki tampon bölgenin herhangi birine çıkış yapılmadığı için bu ışıkların arkasındaki yolcu birikimini belirleyen kısıtlarda, tampon bölgelerden geriye doğru olan akışlar yer almamaktadır. Yukarıdaki eşitsizlik 8. ışık için sayısallaştırılmak istenirse,

$$- Q_8 + 1.94 T_1 - 7.818 X_5 \leq 0$$

ifadesi elde edilir. Modelin varsayımlarında da açıklandığı gibi 5 ve 8 numaralı ışıkların yeşil yanma süreleri eşit kabul edildiğinden X_8 yerine X_5 değişkeni yazılır. Burada 1.94 çarpanı 8. ışığa birim sürede gelen yolcuların miktarını; 7.818 ise aynı ışık yeşil yandığında buradan birim sürede çıkış yapanların miktarını gösterir.

VII) Işık-2 ve Işık-9 ile ilgili kısıtlar:

Bu kümede yer alan kısıtların içeriği Işık-2 için aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- (Işık-2'nin arkasında 2 saatte oluşan toplam birikim) \leq Tampon-1'in kapasitesi
- Eğer Işık-2'deki fiziksel birikim tampon-1'in kapasitesini aşmıyorsa, 1., 3. ve 4. ışıklara olan geri akışlar sıfır olmalıdır.
- (Işık-2'nin arkasında 2 saatte oluşan toplam birikim) \geq (1., 3. ve 4. ışıkların yeşil yanma süreleri boyunca bu ışıklardan yapılan çıkış-Işık-2'den yeşil süredeki çıkış + Tampon-1'den olan geri akış)

Işık-9 için ise benzer şekilde aşağıdaki kısıtlar yazılabilir:

- (Işık-9'un arkasında 2 saatte oluşan toplam birikim) \geq Tampon-2'nin kapasitesi
- Eğer Işık-9'daki fiziksel birikim tampon-2'nin kapasitesini aşmıyorsa, 5. ve 6. ışıklara olan geri akışlar sıfır olmalıdır.
- (Işık-9'un arkasında 2 saatte oluşan toplam birikim) \geq (5. ve 6. ışıkların yeşil yanma süreleri boyunca bu ışıklardan yapılan çıkış - Işık-9'dan yeşil süredeki çıkış + Tampon-2'den olan geri akış)

Işık-2 ile ilgili mantıksal kısıt Y_1 ikili değişkeni; Işık-9 ile ilgili olanı ise Y_2 ikili değişkeni yardımıyla yazılır. Örnek vermek amacıyla yukarıda sözlü olarak anlatılan kısıtlar Işık-2 için sayısal olarak şu şekilde elde edilebilir:

- $7200 Q_2 < 100 T_2$
- $1.92 X_1 + 1.86 X_4 + 0.773 X_3 - 3.665 X_2 - BF_1 - BF_3 - BF_4 \leq Q_2$
- $1.92 X_1 + 1.86 X_4 + 0.773 X_3 - 3.665 X_2 \leq 100 + 1000 * (1 - Y_1)$
- $1.92 X_1 + 1.86 X_4 + 0.773 X_3 - 3.665 X_2 \geq 100 * (1 - Y_1)$
- $BF_1 + BF_3 + BF_4 \leq 3 * 1000 * (1 - Y_1)$

Burada 7200 sayısı 2 saatin, yani meydanın incelendiği sürenin saniye cinsinden değeridir. 1000 sayısı, doğrusal programlamada mantıksal kısıtları kurarken yararlanılan büyük M yerine kullanılmıştır. 100 sayısı tampon-1'in araç kapasitesinin insan sayısına çevrilmişidir. 1.92, 1.86 ve 0.773 çarpanları sırasıyla araç içindeki insanların 1., 4. ve 3. ışıktan tampon-1'e doğru olan çıkış oranlarını; 3.665 çarpanı ise Işık-2'ye ait araç içindeki insan cinsinden çıkış oranını gösterir. Yukarıdaki beş sayısal eşitsizliğe benzer kısıtlar Işık-9 için de yazılabilir.

VIII) Çevrim sürelerinde Işık-1, 2, 3, 4, 9,10, 11 ve 12'nin arkasındaki yaya birikimi:

Bu kümedeki kısıtlarla bazı ışıkların arkasında oluşan yaya birikimleri belirlenir. Belli bir ışığın yeşil yanma süresi boyunca yayalara kırmızı yanacağından o ışığın arkasında bir yaya birikimi meydana gelir. Bu birikim, araçlara kırmızı yandığında yayalara yeşil ışık yanacağından erimeye başlar. Özetle, yaya birikimi için : (Işık-j'deki yaya birikimi) > (İlgili çevrim süresi boyunca yayaların gelişi - Işık-j'nin yayalara yeşil yandığı süre boyunca yayaların çıkışı)

denilebilir. Örneğin, çevrim süresi T_1 olan 1. ışıktaki yayaların birikimi sayısal olarak şu eşitsizlikle belirtilir:

$$0.3417 T_1 - 1.324 X_1 \leq P_1$$

Burada 0.3417, 1. ışığa birim sürede gelen yaya sayısını, 1.324 ise aynı ışıktan birim sürede çıkan yayaların sayısını gösterir. $(T_1 - X_1)$ ifadesi ise 1. ışığın yayalara yeşil yandığı süredir.

IX) Işık-1, 2, 3, 4, 5, 6, 9, 10, 11 ve 12'deki yaya geçişleri için at sınırlar:

Son kümedeki kısıtlar, yayaların ışıklarda güvenli bir biçimde karşıdan karşıya geçmelerini sağlamak için modele konmuştur. Bunlar, yayaların geçiş yaptıkları ışıkların kırmızı yanma sürelerine, dolayısıyla yayalar için yeşil yanma sürelerine, birer alt sınır getirmektedir. Örnek olarak yayaların normal adımlarla 1. ışıkta karşıdan karşıya geçmeleri için en az 20 saniyelik bir süreye ihtiyaç vardır. Buna göre

$$T_1 - X_1 \geq 20$$

kısıtı elde edilir.

Modelde ikisi ikili değişken olmak üzere 42

karar değişkeni ve 46 kısıt bulunmaktadır. Açık-tırki, akış miktarlarının değişmesi, kimi akışların başka yollara yönlendirilmesi, alt-üst geçit yapılması, tampon bölgeleri içinde kaza olması gibi trafik akışını etkileyen olaylar, ortalama akış parametreleri aracılığıyla modele yansıtılabilir ve sonuçların Mecidiyeköy Meydanındaki toplam insan birikimi açısından önemi irdelenebilir.

DUYARLILIK ÇÖZÜMLEMESİ

Aşağıdaki çözümler meydanın şu anki durumu ile ilgili çözümlerdir. Bu modelde bazı trafik ışıklarının kırmızı yanma süreleri için (o ışığın yayalar için yeşil yanma süresi) bir alt sı-

AMAÇ FONKSİYONUNUN DEĞERİ = 24.02041

DEĞİŞKEN	DEĞER	DEĞİŞKEN	DEĞER	DEĞİŞKEN	DEĞER	DEĞİŞKEN	DEĞER
T1	40.54993	T3	68.98125	Q7	0.00000	P9	0.00000
				Q8	0.00000	P10	0.00000
X1	20.54992	X9	22.96712	Q91	0.00000	P11	0.00000
X3	7.21296	X10	46.01413	Q92	0.00000	P12	0.00000
X4	20.00000	X11	22.96712	Q9	0.00000	BF1	0.00000
X5	11.94516			Q10	8.30475	BF3	0.00000
X6	8.60476	Q1	0.00000	Q11	0.85961	BF4	0.00000
		Q2	0.00000	Q12	0.00000	BF6	0.00000
T2	49.20834	Q3	0.00000	P1	0.00000	BF7	0.00000
		Q4	11.04240	P2	0.00000		
X2	22.43696	Q5	0.00000	P3	0.00000	Y1	1.00000
X12	26.77128	Q6	3.81365	P4	0.00000	Y2	1.00000

Tablo. 1 Modeldeki değişkenlerin eniyi değerleri

nır verilmiştir. Çözüme 109 basamakta ulaşılmıştır. Karar değişkenlerinin aldığı eniyi değerler Tablo-1'de; sağ-taraf çözümlenmeleri ise Tablo-2'de gösterilmiştir.

Bu sonuçlara göre yayalara verilen süre $(T_1 - X_1)$ genelde önceden belirlenen alt sınırdan kalma- mıştır. Örneğin 1. ışıktaki yeşil yanma süresi olan 20 süre birimi (saniye) önceden verilen alt sınırdır. Yaya birikiminin sıfır olması, yayaların modele birikim açısından katkılarının olmadığını belirtir. Birikim 2., 4., 10. ve 11. ışıklarda olmaktadır. Toplam birikim tampon bölgelerin kapasite-lerini aşmadığından, ilgili ikili değişkenler 1 değerini; geriye akış değişkenleri ise 0 değerini almışlardır.

Amaç fonksiyonunun değeri olan 24.020210 her bir trafik ışığına ait bir çevrim süresi bo-

SIRA	GEVŞEK	ÇİFTEŞ FİYATLAR	SIRA	GEVŞEK	ÇİFTEŞ FİYATLAR	SIRA	GEVŞEK	ÇİFTEŞ FİYATLAR
2)	0.00000	1.36700	17)	13.56900	0.00000	32)	48.77600	0.00000
3)	0.00000	-0.81800	18)	14.72000	0.00000	33)	2.25300	0.00000
4)	12.78700	0.00000	19)	0.00000	1.00000	34)	87.55600	0.00000
5)	0.00000	0.00000	20)	0.00000	1.00000	35)	14.40600	0.00000
6)	0.00000	-2.10800	21)	0.00000	0.00000	36)	0.00000	1.20100
7)	0.00000	-0.33200	22)	0.00000	0.99000	37)	14.77100	0.00000
8)	0.00000	0.91600	23)	0.00000	0.18200	38)	23.33700	0.00000
9)	0.00000	0.00000	24)	0.00000	1.00000	39)	7.55000	0.00000
10)	0.00000	1.00000	25)	50.00000	0.00000	40)	8.60500	0.00000
11)	0.00000	0.00000	26)	0.00000	0.00000	41)	11.94500	0.00000
12)	100.00000	0.00000	27)	0.00000	0.18200	42)	40.01400	0.00000
13)	0.00000	0.00000	28)	12.62400	0.00000	43)	15.96700	0.00000
14)	0.00000	0.00000	29)	16.65700	0.00000	44)	41.01400	0.00000
15)	0.00000	0.20700	30)	38.08400	0.00000	45)	17.43700	0.00000
16)	0.00000	1.00000	31)	11.59500	0.00000	46)	4920.83400	0.00000
						47)	3449.06300	0.00000

Tablo. 2 Modelin sağ-taraf çözümlemesi

yunca ulaşan toplam insan birikimidir. Bu değer sadece ilgili çevrim süresindeki birikimi verdiğinden ve çevrim süreleri de birer karar değişkeni olduğundan yanlıtıcı olabilir. Meydandaki trafiğin en yoğun olduğu 17:00 ve 19:00 arasındaki 2 saatlik **mutlak birikimi** bulmak daha iyi bir karşılaştırma olanağı sağlayabilir.

Model çözüldüğünde sadece 4, 6, 10 ve 11 numaralı ışıkların arkasında bir birikim olduğu görülmüştür. 4. ve 6. ışığın arkasındaki birikim, bu iki ışığın ortak çevrim süresi olan T_1 süresinde; 10. ve 11 ışığın arkasındaki birikim ise ortak çevrim süresi olan T_3 süresinde oluşmaktadır. Buna göre Mecidiyeköy Meydanında 2 saat boyunca birikecek mutlak insan sayısı aşağıdaki eşitlik yardımıyla bulunabilir:

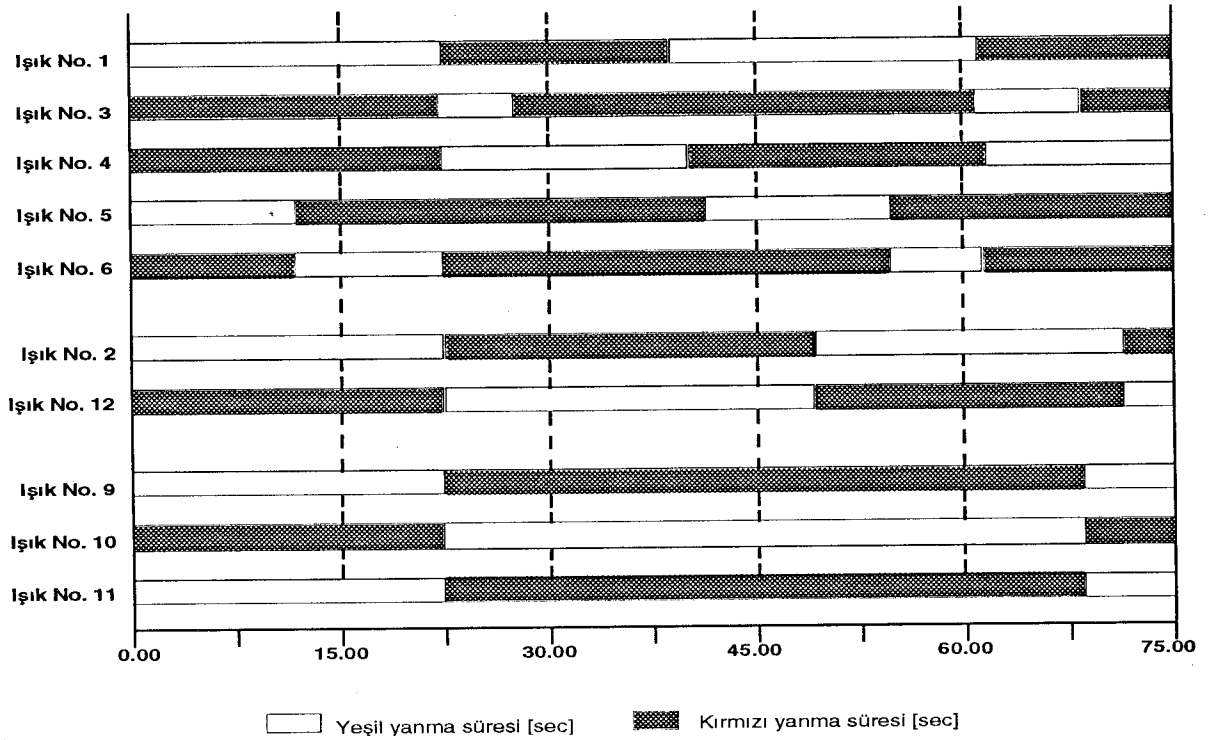
$$\text{Mutlak birikim} = (Q_4 + Q_6) \times 7200 / T_1 + (Q_{10} + Q_{11}) \times 7200 \times T_3$$

$7200/T_1$ ifadesi ile ilgili ışığın (2 saat= 7200 saniye) boyunca kaç defa kırmızı ve yeşil yanacağını (yani kaç dönem geçeceğini) verir. Bu sayı ile ilgili ışığın arkasında bir dönem süresince oluşan birikim çarpıldığında ilgili ışığa ait 2 saatlik mutlak birikim bulunacaktır.

Yukarıdaki ifade çözüldüğünde meydana ışıklar arkasında oluşan mutlak birikimin **3594** kişi olduğu ortaya çıkmaktadır. Bu aşamaya kadar geliştirilen model çevrim süresini, yani ışık-

ların yeşil ve kırmızı yanma sürelerini verir ve hangi ışığın ne zaman yanacağı konusunda bir çizelgeleme yapmaz. Ancak modelin önerdiği çevrim süreleri uyarınca uygun bir çizelgeleme oluşturulabilir. Yalnız bu çizelgelemeyi yaparken, uyumsuz ışıkların yeşil yanma sürelerinin aynı süre dilimine düşmemelerine dikkat etmek gerekir. Doğal olarak birçok sayıda **uygun** çizelgeleme yapmak olanaklıdır. Şekil. 2'de bir uygun çizelgeleme örneği verilmiştir. Bu çizelgeleme ortak çevrim süresi T_1 olan ışıkların durumlarına bakılarak incelenebilir. Örneğin 1. ışık başlangıçta yeşil yanmaktadır. 1. ışık yeşilken 3. ve 4. ışıkların kırmızı yanması zorunlu olduğundan bu iki ışık kırmızı olarak yanmaya başlarlar. Başka bir örnek, 6. ışık hem 5., hem de 4. ışık ile uyumsuz olarak çalışır. Şekil. 2'den de görülebileceği gibi 6. ışık yeşilken 4. ve 5. ışıklara gelen taşıtlar beklerler. Aynı durum 5. ışık için de söz konusudur. Bu ışığa gelen taşıtlara yol verildiğinde 4. ve 6. ışıklara gelen diğer araçlar beklemek zorundadır.

Duyarlılık çözümlemeleri modeli, modeldeki değişkenleri, amaç fonksiyonunu ve kısıtları daha iyi anlamamızı sağlar. Modelin hangi kısıtlarının bağlayıcı olmadığı ve bağlayıcı kısıtların hangilerinin sağ-taraf değişimlerine karşı duyarlılık gösterdiği bu çözümlemelerle belirlenir. Duyarlılık çözümlemelerinden elde edilen çifteş fiyatlar ise, bağlayıcı kısıtların sağ-taraf değerlerinin gevşetilmesiyle amaç fonksiyonunda ne



Şekil. 2 Meydandaki trafik ışıkları için uygun bir çizelgeleme

kadarlık iyileşmeler sağlanabileceği hakkında bilgiler içerir.

Duyarlılık çözümlenmeleri modeli, modeldeki değişkenleri, amaç fonksiyonunu ve kısıtları daha iyi anlamamızı sağlar. Modelin hangi kısıtlarının bağlayıcı olmadığını ve bağlayıcı kısıtların hangilerinin sağ-taraf değişimlerine karşı duyarlılık gösterdiği bu çözümlenmelerle belirlenir. Duyarlılık çözümlenmelerinden elde edilen çift fiyatlar ise, bağlayıcı kısıtların sağ-taraf değerlerinin gevşetilmesiyle amaç fonksiyonunda ne kadarlık iyileşmeler sağlanabileceği hakkında bilgiler içerir.

Tablo.3'te şu anki eniyi çözümün değişmemesi için, yaya ve insan birikimleriyle ilgili karar değişkenlerinin amaç fonksiyonundaki katsayılarının hangi aralıklar içinde bulunmaları gerektiği görülmektedir. Amaç fonksiyonundaki katsayıların değiştirilmesi, meydana trafik ışıklarının arkasında oluşan birikimlerin bazılarının daha ağırlıklı olarak ele alınması durumunda gündeme gelebilir.

Tablo.3'e bakacak olursak; yaya birikimlerini gösteren bütün karar değişkenlerinin (P_1, P_2, \dots, P_{12}) amaç fonksiyonunda 1 olan katsayıları sonsuz miktarda artırılabilir. Bu bize meydana yaya birikimlerine ne kadar ağırlık

verilirse verilsin, modelin eniyi çözümünde bu birikimlerin her seferinde sıfırlanacağını kanıtlamaktadır. Buna benzer 10 numaralı ışığın arkasındaki insan birikimini gösteren Q_{10} karar değişkeninin 1 olan katsayısı en fazla 0.00867 kadarlık bir artışı kabul etmekte, aksi takdirde bu değişken eniyi çözüm kümesinden çıkmaktadır. Dikkat edilirse, eniyi çözüm kümesinde 0 değerini alan karar değişkenlerinin amaç fonksiyonu katsayıları sonsuz miktarda dahi arttırılsa, bu değişkenler çözüme girememektedir.

Tablo. 4a ve 4b'de verilen sağ taraf çözümlenmelerinden şu sonuçlara ulaşmak olasıdır :

- Birinci çevrim süresi ile ilgili kısıtlar dışında kısıtlar bağlayıcı değildir.
- T_1 ve T_3 (ilk iki uyumsuzluk kısıtları) sağ taraf değişikliklerine oldukça duyarlıdır. Bu 4 kısıt bağlayıcıdır. Başka bir deyişle, sağ ve sol tarafların değerleri birbirine eşittir.
- Yaya birikimleri ile ilgili kısıtların sıfır çift fiyatları vardır ve P_1 'den P_{12} 'ye kadar olan karar değişkenlerinin amaç fonksiyonunu etkilemediği gözükmektedir.
- Birinci ışığın kırmızı yanma süresi verilen ($T_1 - X_1 \geq 20$) alt sınır kısıtının -1.201'lik bir

DEĞİŞKEN	KATSAYI	KABUL EDİLEBİLİR ARTIŞ	KABUL EDİLEBİLİR DÜŞÜŞ	DEĞİŞKEN	KATSAYI	KABUL EDİLEBİLİR ARTIŞ	KABUL EDİLEBİLİR DÜŞÜŞ
Q1	1.00000	SONSUZ	0.00000	P1	1.00000	SONSUZ	0.04878
Q2	1.00000	SONSUZ	363.57250	P2	1.00000	SONSUZ	1.00000
Q3	1.00000	SONSUZ	0.08358	P3	1.00000	SONSUZ	1.00000
Q4	1.00000	0.08556	1.00000	P4	1.00000	SONSUZ	1.00000
Q5	1.00000	SONSUZ	1.00000	P9	1.00000	SONSUZ	1.00000
Q6	1.00000	1.36679	0.62553	P10	1.00000	SONSUZ	1.00000
Q7	1.00000	SONSUZ	0.79252	P11	1.00000	SONSUZ	1.00000
Q8	1.00000	SONSUZ	0.28937	P12	1.00000	SONSUZ	1.00000
Q9	1.00000	SONSUZ	1.00000				
Q10	1.00000	0.00867	1.00000				
Q11	1.00000	3.49742	0.01044				
Q12	1.00000	SONSUZ	0.77765				

Tablo. 3 Çözüm değişkenleri çözümlenmeleri

SIRA	SAĞ TARAF DEĞERİ	KABUL EDİLEBİLİR ARTIŞ	KABUL EDİLEBİLİR DÜŞÜŞ	SIRA	SAĞ TARAF DEĞERİ	KABUL EDİLEBİLİR ARTIŞ	KABUL EDİLEBİLİR DÜŞÜŞ
2)	0.00000	3.81365	5.05373	25)	105.00000	SONSUZ	50.00000
3)	0.00000	8.60476	3.81365	26)	50.00000	0.00000	SONSUZ
4)	0.00000	12.78704	SONSUZ	27)	2000.00000	13.56910	0.00000
5)	0.00000	SONSUZ	5.38642	28)	0.00000	SONSUZ	12.62409
6)	0.00000	2.58919	1.28730	29)	0.00000	SONSUZ	16.65689
7)	0.00000	22.96712	2.58919	30)	0.00000	SONSUZ	38.08377
8)	0.00000	10.43400	13.20354	31)	0.00000	SONSUZ	11.59545
9)	0.00000	5.57562	9.88439	32)	0.00000	SONSUZ	48.77578
10)	0.00000	11.04240	SONSUZ	33)	0.00000	SONSUZ	2.25278
11)	0.00000	SONSUZ	0.00000	34)	0.00000	SONSUZ	87.55647
12)	1100.00000	SONSUZ	100.00000	35)	0.00000	SONSUZ	14.40555
13)	100.00000	0.00000	SONSUZ	36)	20.00000	SONSUZ	6.01632

Tablo. 4a Sağ taraf çözümlenmeleri

SIRA	SAĞ TARAF DEĞERİ	KABUL EDİLEBİLİR ARTIŞ	KABUL EDİLEBİLİR DÜŞÜŞ	SIRA	SAĞ TARAF DEĞERİ	KABUL EDİLEBİLİR ARTIŞ	KABUL EDİLEBİLİR DÜŞÜŞ
14)	3000.00000	9.88439	0.00000	37)	12.00000	14.77138	SONSUZ
15)	0.00000	13.19905	60.31939	38)	10.00000	23.33697	SONSUZ
16)	0.00000	3.81365	SONSUZ	39)	13.00000	7.54993	SONSUZ
17)	0.00000	SONSUZ	13.56910	40)	20.00000	8.60476	SONSUZ
18)	0.00000	SONSUZ	14.72043	41)	20.00000	11.94516	SONSUZ
19)	0.00000	8.30475	SONSUZ	42)	6.00000	40.01413	SONSUZ
20)	0.00000	0.85961	SONSUZ	43)	7.00000	15.96712	SONSUZ
21)	0.00000	10.39579	42.25629	44)	5.00000	41.01413	SONSUZ
22)	0.00000	2.35518	4.01850	45)	5.00000	17.43696	SONSUZ
23)	0.00000	35.04783	0.00000	46)	0.00000	SONSUZ	4920.83400
24)	0.00000	0.00000	2.35518	47)	0.00000	SONSUZ	3449.06300

Tablo. 4b Sağ taraf çözümlerinin devamı

çiftleş fiyatı vardır. Buna göre, bu alt sınır her bir birim küçültüğümüzde amaç fonksiyonu 1.201'lik bir iyileşme gösterecek; diğer bir deyişle meydanadaki toplam birikim 1.201 kadar azalacaktır.

SENARYO İNCELEMELERİ

Modelin değişik durumlara uygulanabilmesi ve duyarlı sonuçlar üretmesi onun doğru bir model olduğunu gösterir. Böylece model kullanılarak çeşitli senaryolar artık incelenebilir. Üretilen senaryoların hepsi hayali olmakla beraber meydana yakın geleceğinde yer alacak olası değişimleri yansıtan gerçekçi kurgulardır. Tablo. 5'te bu senaryoların çözümlerinden elde edilen sonuçlar ilk modelin çözümleri ile birlikte gösterildi.

Senaryo. 1: Yaya Alt Geçidi

Bu senaryoda birinci trafik ışığının bulunduğu yola bir alt (veya üst) geçit yapılması önerildi. Bu alt geçit yayaların beklemeden karşıdan karşıya geçmesini sağlayacaktır. Modelde gerekli değişiklikler yapıldığında şu sonuçlar alındı:

Birikimin olduğu yerler değişmemektedir. Önceden olduğu gibi yaya birikimi olmamaktadır. Amaç fonksiyonunun değeri %37 azalmakla beraber 2 saatteki mutlak birikim aldığı değeri değişmemektedir. Bunun sebebi, çevrim süreleri T_1 , T_2 ve T_3 'ün daha küçük değerler almalarıdır. Sonuç olarak bir alt ya da üst geçit

yapımı şu an için gereksiz bir yatırımdır.

Senaryo. 2: Metro Çıkışı

Taksim-Levent hattında Mecidiyeköy Meydanından geçecek bir metro yapılmaktadır. Metro istasyonlarından birinin Mecidiyeköy Meydanının altında bulunması 1 numaralı ışığındaki yayaların birim süredeki geliş ve gidiş miktarlarını önemli ölçüde arttıracaktır. Modelde gerekli değişiklikler yapıldığında 1. ışığın arkasındaki insan birikimi artmakta, yaya birikimi olmamakta, çevrim ve yeşil sürelerde büyük bir değişiklik yaşanmamaktadır. Mutlak birikim 3594'ten 4041'e çıkmıştır. Bundan çıkartılabilecek sonuç, meydana bir metro istasyonu eklendiğinde beraberinde yayalar için de alt geçit yapılmasının gerekliliğidir.

Senaryo. 3: Işıktaki Araçları 3 Numaralı Işığa Yönelme

6. ışığa gelen akım 3. ışığa yönlendirilebilir. Bu da 3. ışıktan Çağlayan yönüne akış verebilmemizi sağlar. Böyle bir akışa izin verilmesi ışıkların uyumsuzluk matrisini de değiştirecek ve 3. ışık, 1, 4, 5, 7 ve 8 numaralı ışıklarla uyumsuz hale gelecektir. Modele ayrıca 3. ışığın arkasındaki araç kapasitesi de bir kısıt olarak konuldu. Bu kapasite kısıtının konmasıyla 3. ışığın yeşil yanma süresinin 0 saniye olması; dolayısıyla 3. ışığın arkasında Ortaklar Caddesi'nin arka tarafındaki trafiği kesecek kadar çok araba birikmesi de önlenmiş oldu. Belirtilen değişiklikler yapıldığında X_1 ve X_4 oldukça küçülmektedir. Bu da amaç fonksiyonunun çok

	İLK MODEL	SEN. 1	SEN. 2	SEN 3	SEN. 4	SEN. 5	SEN. 6
AMAÇ FONKSİYONU	24.02	15.20	24.36	53.64	17.37	24.02	24.02
T1	40.55	25.65	37.62	28.35	32.37	40.55	40.55
X1	20.55	13.00	17.62	8.35	12.37	20.55	20.55
X3	7.21	12.65	6.69	16.12	5.76	7.21	7.21
X4	20.00	12.65	20.00	3.84	20	20.00	20.00
X5	11.95	7.56	11.08	8.35	9.54	11.95	11.95
X6	8.60	5.44	6.54	---	---	8.60	8.60
T2	49.21	34.87	45.61	16.23	39.14	37.39	123.02
X2	22.44	15.90	20.79	7.40	17.85	22.44	56.09
X12	26.77	18.97	24.81	8.83	21.29		66.93
T3	68.98	43.64	62.03	51.77	45.67	68.98	68.98
X9	22.97	14.53	20.65	17.24	15.21	22.97	22.97
X10	46.01	29.11	41.38	34.53	30.46	46.01	46.01
X11	22.97	14.53	20.65	17.24	15.21	22.97	22.97
MUTLAK BİRİKİM	3594	3594	4041	12837	3471	3594	3594
BİRİKİMİN OLDUĞU IŞIKLAR	4, 6, 10, 11	4, 6, 10, 11	1, 4, 6, 10, 11	1, 3, 4, 10, 11	1, 10, 11	4, 6, 10, 11	4, 6, 10, 11

Tablo. 5 Değişik senaryolar ile ilk modelin çözümlerinin karşılaştırılması

büyük bir değer, 12837, almasına neden olmaktadır. Bu değerden de anlaşılacağı gibi 6. ışığa gelen araçların 3. ışığa yönlendirilmeleri mantıklı değildir.

Senaryo. 4: Işığa Gelen Trafik Akışının Kaldırılması

6. ışığa verilen trafik akışı meydan dışına kaydırıldığına mutlak birikimin nasıl değişeceği bu senaryoda incelendi. T₂, 29.74 saniyeye, X₂ ise 17.85 saniyeye düştü. Yaya birikiminde herhangi bir değişikliğe rastlanmadı. İnsan birikimi 1, 10 ve 11 numaralı ışıklarda oluştu. Mutlak birikim ise 3471'e indi. Buradan, Çağlayan yönüne verilen özel araç trafiğinin başka yöne kaydırılmasının mutlak birikim açısından meydanı olumlu etkileyeceği sonucuna varılabilir.

Senaryo. 5: Işığa Gelen Boğaz Hattı Otobüslerine Başka Bir Yerden Geçiş Verilmesi

Bu senaryo ile, 12. ışığın arkasında bekleyen ve yoğunlukla kentin Asya yakasına giden İETT ve Özel Halk Otobüslerinden oluşan araçlara meydanın ilerisinde geçiş verilmesi durumunda amaç fonksiyonunun nasıl etkile-

neceği araştırıldı. Kurulan senaryoya göre X₁₂ değişkeni ve 12. ışıkla ilgili kısıtlar ortadan kalkmaktadır. Sonuçta T₂'de kaydedilen bir düşüş dışında hiç bir iyileşme gözlemlenmedi. Model, X₂'yi de değiştirmeyerek 2. ışığa gelen araçlar için ilgili çevrim süresinin daha büyük bir kısmında geçiş olanağı sağladı. Meydanda iki saatte oluşan toplam birikim yine 3594 olarak bulundu. Varılan sonuçlar ışığında bu senaryonun öngördüğü değişikliğin tamamen gereksiz olduğu söylenebilir.

Senaryo. 6: 2. Işığın Arkasında Biriken Araçların Çıkış Oranının Düşürülmesi

Son senaryoda 2. ışığa ait araç çıkış oranının düşmesi halinde ne gibi sonuçların doğabileceği araştırıldı. 2. ışığa ait araç çıkış oranı, 1 numaralı tampon bölgede meydana gelebilecek bir kaza yüzünden düşebilir. İlk modelde yolcu sayısı cinsinden 3.665 insan/saniye olan bu oranın %60 azalarak 1.466'ya düşeceği varsayıldı. Model tekrar çalıştırıldı ve alınan sonuçlar, 2. ve 12. ışıkların ortak çevrim süreleri ile yeşil yanma sürelerinin kritik bir biçimde arttığını gösterdi. Modelin diğer karar değişkenlerinde ve amaç fonksiyonunda herhangi bir

değişme olmadı. 1 numaralı tampon bölgede, bu bölgenin sonundaki 2. ve 12 ışıklara ait ortak çevrim süresi T_2 'nin 123.02 saniye gibi yüksek bir değer alması nedeniyle hiç bir yolcu birikimi oluşmadı. Ne var ki model, 2. ışığın kırmızı olduğu süre boyunca bu ışığa 1., 3. ve 4. ışıkların birden fazla akış gönderebileceklerini gözönünde bulunduramamakta, en kötü olasılıkla birer akış göndereceklerini varsaymaktadır. Bu yüzden yine 3594 değerini alan amaç fonksiyonunun aslında daha yüksek bir değer olması beklenebilir. Kısaca, 2. ışığa ait araç çıkış oranının çok fazla düşmesinin meydanadaki toplam birikimi etkilemeyeceği kesin olarak söylenemez.

SONUÇ

Bu çalışmada doğrusal programlama yöntemi ile Mecidiyeköy Meydanında yaya ve araç geçişlerini kontrol eden trafik ışıklarının dönemse çizelgesi çıkarılmış; ışıkların çevrim süreleriyle yeşil yanma süreleri eniyilenecek meydana yaya ve yolcuların toplam birikimi enküçüklenmiştir. Bu olabilecek eniyi çizelgelemeye yakın bir çizelgelemedir. Kullanılan trafik modeli yeşil ışık süresi, uyuşmayan trafik ışıkları ve yolların kapasite kısıtlarını içermektedir. Model meydana ışıkların arkasında oluşan insan birikimini (yayalar ve araçlardaki insanlar) enküçüklerken, yolların tampon bölge kapasitelerini göz önüne almaktadır.

Modelin değişikliklere en duyarlı kısmı tampon bölgelerin bulunduğu yerler ve yaya geçişleri için verilen alt sınırlardır. Amaç fonksiyonu bu duyarlılığı belirlemek için oluşturulan senaryolarda değişik değerler almıştır. Mutlak birikim ilk kurulan modelde 3594 kişi olurken, en az birikim 6. ışığın başka bir yöne kaydırılması ile oluşturulan 4 numaralı senaryoda 3471 kişi olarak elde edilmiştir. Yapılan senaryo incelemeleri çerçevesinde aşağıda belirtilen hükümlere varılabilir :

- i) 1. ışığın bulunduğu yere yaya altgeçidi veya üstgeçidi yapımı gereksizdir.
- ii) 1. ışığın yakınında bir metro istasyonu yapılması durumunda meydanadaki toplam insan birikimi artmakta, bu da 1. ışığın olduğu yere yayalar için altgeçit veya üstgeçit yapımını gündeme getirmektedir.
- iii) 6. ışığa gelen araç trafiğinin kaldırılarak 3. ışığa yönlendirilmesi, dolayısıyla 3. ışıktan Çağlayan yönüne gitmek üzere 2. tampon bölgesine geçiş izni verilmesi kesinlikle

yanlıştır. Böyle bir düzenleme meydanadaki 2 saatlik toplam birikimin bir anda 3.5 katına çıkmasına neden olmaktadır.

- iv) Meydanın arkasından Zincirlikuyu yönüne gitmek üzere 12. ışığa gelen yolcu otobüslerinin başka bir yoldan Zincirlikuyu'ya gönderilmeleri gereksizdir.
- v) Meydandaki toplam birikimi azaltmak, ancak Çağlayan yönüne gitmek üzere 6. ışığa gelen sivil araç akışının bu yöne meydanın dışından verilmesiyle olanaklıdır. Bu yapıldığı taktirde Mecidiyeköy Meydanı içinden Çağlayan'a sadece İETT ve Özel Halk Otobüsleri gidebilecektir.

Bulunan sonuçlar trafik polisleri ve İETT person amirleri gibi uzmanların görüşüne sunulmuş ve geçerliliği onlar tarafından da onaylanmıştır. Özetle; kurulan model, trafik ışık çizelgelerinin belirlenmesine yönelik olarak meydana bütün yönleriyle ele almaktadır ve elde edilen çözümler gerçekte uyum içerisinde.

Model, yeşil ve kırmızı ışıkların matematiksel olarak eniyi çizelgesini çıkaramamakta ve ışıklara gelen araç akışının zamana göre değişmediğini varsaymaktadır.

Çizelgeleme problemi karışık tamsayı programlama yöntemi kullanılarak çözülebilir. Bütün ışıklara her süre birikimi, örneğin her saniye için ikili değişkenler atanabilir. Bu ikili değişken, ışığın o anki durumunu (yeşil veya kırmızı) gösterir. Ne var ki bu atamalar meydana iki saatlik durumunu ele alan bir modelin boyutlarının bile aşırı derecede büyümesine ve bilinen çözüm yöntemlerinin yetersiz kalmasına yol açabilir. Çizelgelemeyi de yapabilecek bir modelin kurulması ve çözebilecek yöntemlerin geliştirilmesi araştırmanın bir sonraki aşamasını oluşturmaktadır.

KAYNAKÇA

1. Allsop R.E. "Estimating the traffic capacity of a signalized road junction" Transportation Research Vol. 8 pp. 245-255. (1972)
2. Bruno G. and Improta G. "Individual Controlled Junctions: Optimal Design" European Journal of Operation Research Vol. 71 pp. 222-234 (1993)
3. Cantarella G.E. and Improta G. "Capacity Factor or Cycle Time Optimization For Signalized Junctions: A Graph Theory Approach": Transportation Research Vol. 22B pp 1-23. (1988)
4. Gartner N.H., Little J.D.C. and Gabbay H. "Optimization of Traffic Signal Settings by Mixed Integer

- Programming": Transportation Science Vol 9 pp. 321-363 (1975)
5. **Hallworth M.S.** "High-capacity signal design": Traffic Engineering and Control Vol.2 pp. 53-66 (1980)
 6. **Improta G. and Cantarella G.E.** "Control system design for an individual signalized junction": Transportation Research Vol. 18B No. 2 pp. 147-167. (1984)
 7. **Little J.D.C.** "The Synchronization of Traffic Signals by Mixed Integer Programming": Operations Research Vol. 14 pp. 568-594. (1966)
 8. **Michalopoulos PG. and Stephanopoulos G and Pisharody V.B.** "Modelling of traffic flow at signalized links": Transportation Science Vol. 14 No.1. (1980)
 9. **Schrage, L.** LINDO User's Manual, Release 5.0", The Scientific Press, San Fransisco. (1991)
 10. **Serafini P. and Ukovich W. A.** "A mathematical model for the fixed-time traffic control problem": European Journal of Operational Research Vol. 42 pp. 152-165 (1989)
 11. **Stephanopoulos G. and Michalopoulos P.G.** "Modelling and Analysis of Traffic Queue Dynamics at Signalized Intersections": Transportation Reserach Vol. 13 pp. 295-307. (1979)
 12. **Stoffers K.E.** "Scheduling of Traffic Lights - A new Approach": Transportation Research Vol. 2 pp. 199-234 (1968)
 13. **Yagar S.** "Capacity of a Signalized Roal Junction: Critique and Extensions": Transportation Research Vol. 8 pp. 137-147 (1974)
 14. **Zuzarte Tully I.M. and Murchland J.D.** "Calculation and use of the critical cycle time for a single traffic controller": PTRC Summer Annual Meeting Proc. pp. 96-112 (1978)

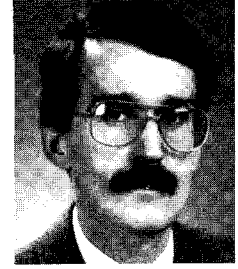
Deniz Aksen

1971 yılında Ağrı'da doğdu. Orta ve lise öğrenimini 1982-1989 yılları arasında İstanbul Erkek Lisesi'nde tamamlayarak Boğaziçi Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü'ne girdi. 1994 yılında Boğaziçi Üniversitesi'nden Endüstri Mühendisliği derecesini aldı. Halen aynı bölümde yüksek lisans öğrenimini sürdürmekte ve araştırma görevlisi olarak çalışmaktadır.



İ. Kuban Altinel

1959 yılında İstanbul'da doğdu. Orta öğrenimi 1978 yılında Galatasaray Lisesi'nde tamamladı ve aynı yıl İTÜ Makina Fakültesi Sanayi Mühendisliği Bölümüne girdi. Bu bölümden 1982 yılında mezun oldu. 1983 yılı başında lisans üstü ve doktora eğitimi için ABD'ne gitti 1985 yılında New York kentindeki Columbia University'de Yöneylem Araştırması dalında ki lisans üstü eğitimini tamamladı ve Pittsburgh kentinde bulunan Pittsburgh Üniversitesi Endüstri Mühendisliği bölümünde doktora eğitimine başladı. Bu bölümden 1989 yılında Endüstri Mühendisliği dalında lisans üstü derecesini, 1990 yılında da Yöneylem Araştırması dalında *Sistem tabanlı bileşen sınamlarının eniyi tasarımı isimli çalışması* ile doktora derecesini aldı. 1991 yılında göreve başladığı Boğaziçi Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümünde 1994 yılından beri doçent



M. Bayram YILDIRIM

Diyarbakır Anadolu Lisesi'ni 1990 yılında bitirdi. Boğaziçi Üniversitesi Endüstri Mühendisliğinden 1994 yılında mezun oldu. Şu anda Bilkent Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü Yüksek Lisans öğrencisi.



Murat AKSU

İstanbul Atatürk Fen Lisesi'nden 1989 yılında mezun oldu. Aynı yıl girdiği Boğaziçi Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümünden 1994 yılında Lisans derecesi aldı. Halen Bilkent Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümünde Yüksek Lisans öğrencisidir.

