

Eminönü İçin Bir Trafik Tıkanıklık Fiyatlandırması Modeli

Haluk YÜKSEL*
Mustafa Sinan YARDIM**
Mustafa GÜRSOY***

ÖZ

Bu çalışmada, İstanbul'un ağır trafik problemi yaşanan bölgelerinden Eminönü İlçesi'nde, "Tıkanıklık Fiyatlandırması Yöntemi"nin uygulanıp uygulanamayacağı araştırılmıştır. Bu amaçla, ücretli bölge sınırları saptanarak, bölge trafiği incelenmiş; trafik akımını temsil eden bir model araştırılmış, Akçelik ve MTC hız-akım modellerinin trafik koşullarına uyduğu belirlenmiş; özel araç sahipleri anketi yardımıyla, bir talep fonksiyonu elde edilmiştir. Optimum tıkanıklık fiyatını değişken ve parametre değişimine göre hesaplamak üzere bir yazılım geliştirilmiştir. Farklı trafik koşulları için optimum tıkanıklık fiyatları belirlenmiştir. Uygulamanın bölgedeki karayolu trafiğinde azaltıcı bir etki yaratacağı; bunun da taşıt girişlerinde yaklaşık %15-%40'luk azalma, ortalama hızlarda ise 15-25 km/sa mertebesinde iyileşmeler şeklinde ortaya çıkacağı görülmüştür.

Anahtar kelimeler: Tıkanıklık fiyatlandırması, hız-akım ilişkisi, Eminönü, lojit türel ayırım modeli

ABSTRACT

A Traffic Congestion Pricing Model for Eminönü District

An investigation on applicability of a congestion pricing scheme to the Eminönü District, which is subject to heavy traffic problems in the Historical Peninsula of Istanbul, has been conducted. The area borders are set; field studies are performed to determine speed-flow characteristics of the roads and the demand function for automobile users. Akçelik and MTC speed-flow models are found suitable to represent the area's traffic. A computer program is developed to assess the optimum toll under many different conditions with higher sensitivity. As a result, optimum congestion toll rates for different scenarios are calculated and it is concluded that the congestion pricing application would have a

Not: Bu yazı

- Yayın Kurulu'na 04.08.2008 günü ulaşmıştır.
- 30 Haziran 2010 gününe kadar tartışmaya açıktır.

* Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul - hyuksel@yildiz.edu.tr

** Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul - yadim@yildiz.edu.tr

*** Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul - gursoy@yildiz.edu.tr

decreasing effect on the automobile road traffic of 15-40% and increase the mean traffic speed approximately 15-25 km/h.

Keywords: Congestion pricing, speed-flow relationship, Eminönü, logit modal split model

1. GİRİŞ

Büyük kentlerin en önemli problemlerinden biri de kentiçi ulaşım problemidir. Özel otomobil kullanımının artması, karayolu ağının genişletilmesinin zorlaşması ve bunun kesin bir çözüm olmadığına anlaşılması, toplu taşımacılığı en önemli çözüm olarak ön plana çıkarmaktadır. “Özel otomobil egemenliği”ndeki verimsiz yol kullanımına karşın, toplu taşımacılığın nicelik ve niteliğinin artırılması ve kentiçi yolculuk talebinin yönetilerek, cazip hale getirilmesi, günümüzde benimsenen bir bakış açıdır. Çevre bilincinin gelişmesi ve enerji tasarrufuna olan duyarlılığın artması ile ulaşım talebinin sorgulandığı ve biçimlendirilmeye çalışıldığı “Ulaştırma Talep Yönetimi” kavramı doğmuştur [1].

Ulaştırma talep yönetiminde öncelikli hedef; yolculuk kararları ve tür seçimlerini değerlendirerek, mevcut ulaşım ağı kapasitesini maksimum düzeyde kullanmaktır. Araçların ulaşımı yerine insanların ulaşımı, yolculuk talebi dikkate alınarak yapılan ulaşım planlamaları sayesinde sağlanabilir. Ayrıca, ulaştırma planları, yalnızca bugünün ihtiyaçlarını karşılamakla kalmayıp, gelecek kuşakların da sorunsuz olarak faydalanabileceği şekilde yapılmalı; yani “sürdürülebilir” olmalıdır [2, 3, 4]. Bu bakımdan, mevcut altyapıdan en yüksek faydayı sağlayacak şekilde, toplu taşımayı iyileştirerek çekiciliğini arttırmak ve özel otomobil kullanımının sebep olduğu maliyetleri kullanıcılardan talep ederek, bu türün de çekiciliğini azaltmak anlamlı ve etkili bir çözümdür. Özellikle kentlerin merkezi iş alanlarında, “Tıkanıklık Fiyatlandırması” uygulamaları çok verimli olabilmektedir.

Günümüzde kentiçi ulaşım konusunda üretilen çözümler, mevcut altyapıdan en iyi şekilde yararlanmak, ekonomik ve sosyal eşitliği gözetmek, yolculuk talebini güvenli, güvenilir, konforlu ve ekonomik şekilde yönetmek ve çevreci bir yaklaşım sergilemek zorundadır [4]. Özel otomobil kullanımını azaltırken, sunulacak cazip hizmetlerle toplu taşımacılığın payını arttırmak bu çözümlerin özünü oluşturmaktadır. Çözümlerin, hem uygulanabilir, hem de yönetimler ve toplum açısından kabul edilebilir olmaları da gerekmektedir.

Trafik tıkanıklık fiyatlandırması üzerine yapılan bu çalışmanın 2. Bölümde konunun teorik yönü ve çeşitli uygulamalarından bahsedilmiştir. 3. Bölümde özgün tıkanıklık fiyatlandırması modeli, hız-akım ilişkisi ve maliyetler bağlamında açıklanmıştır. 4. Bölümde modelin Eminönü İlçesi’ne uyarlanması için bir altyapı oluşturularak, hız-akım modeli ve talep modelinin kalibrasyonu yapılmıştır. 5. Bölümde modelin bölge için çalıştırılması ile elde edilen bulgular değerlendirilmiştir. Son bölümde ise bulgular ışığında, çalışmanın uygulanabilirliği tartışılmıştır.

2. LİTERATÜR

2.1. Tıkanıklık Fiyatlandırması Uygulamaları

Günümüzde geçerli olan serbest piyasa ekonomisi koşullarında, ulaşım hizmetlerinin

ücretlendirilmesi önemli bir problemdir. Özel otomobille yolculuk eden kişinin, yolculuk kararı aşamasında dikkate aldığı kişisel maliyetler, aslında ortaya çıkan maliyetin yalnızca bir kısmıdır. Trafığe özel otomobiliyle katılan her bir kişi, trafikteki diğer yolculara ve toplumun geri kalanına da bir takım maliyetler yüklemektedir. Tıkanıklık fiyatı uygulaması, özel otomobil kullanıcılarından belirli bir güzergâha ya da bölgeye giriş yapabilmeleri için bir fiyat talep edilmesi esasına dayanır. Pratikte sistem, değişken geçiş fiyatı, şerit fiyatlandırması ve bölge fiyatlandırması olarak üç şekilde uygulanmaktadır. Bu fiyatın belirlenmesi, planlama aşamasında kritik bir nokta olup, en belirleyici faktörlerden biri ise uygulamanın yapılacağı yolda ya da bölgede trafik hızı ve trafik akımı arasındaki ilişkiyi veren bağıntıdır [5]. Bu bağıntıyla akımdaki değişikliklerin, akım hızı, dolayısıyla da yolculuk süresine etkileri belirlenebilir.

Bilindiği gibi fiyatlandırma (pricing) ekonomik bir terimdir. Tüketicinin bir mal ya da hizmet için ödemeye rıza gösterdiği bedelin hesaplanması işlemine “fiyatlandırma” denir. Burada da trafik tıkanıklığının oluşturacağı maliyetlerin kullanıcıdan talep edilmesi söz konusu olup, bir fiyat hesaplanması gerekmektedir. Ancak fiyat belirlendikten sonra bölgeye giriş yapmak isteyen kullanıcıdan “giriş ücreti” adıyla bir bedel talep edilecektir. Bununla ilgili işlemlere de “ücretlendirme” adı verilmektedir. Çalışmada her iki terim de yeri geldikçe kullanılmıştır.

Tıkanıklık fiyatlandırması teorisine ilk olarak 1920’lerde Pigou’nun çalışmalarında rastlanmaktadır [6]. 1961 yılında ise Walters tarafından tıkanıklık fiyatının hesaplanması için basit, ama akılcı bir teori ortaya konmuştur [7]. Kentiçi yollarda tıkanıklık fiyatlandırması çalışmaları, ilk olarak İngiltere Ulaştırma Bakanlığı tarafından verilen destekle 1964’te hazırlanan Smeed Raporu’nda ortaya çıkmıştır [8]. 1974 yılında Londra Büyükşehir Belediyesi’nce kent merkezindeki yolları kullanan araçları fiyatlandırmak için, günlük bilet uygulanması teklif edilmiştir [5, 9]. Singapur şehri, 1975 yılında uygulamaya koyduğu, tıkanıklık fiyatlandırması programıyla bu konuda öncü olmuştur [5]. Teknolojik gelişmeler sonucunda 1980’lerin ortalarında Hong Kong’da gerçek bir elektronik fiyatlandırma uygulaması denenmiştir [10, 11]. Singapur ise akıllı kart kullanılan fiyatlandırma programlarını 1998’de ekspres ve kent içi yollarda uygulamaya başlamıştır [5]. Geride kalan on yıllar boyunca, İsveç, A.B.D., Almanya, Malta, Norveç gibi ülkelerde, belirli bir başarı sağlanmıştır.

Londra, 2006 itibarıyla tıkanıklık fiyatlandırması uygulanan en büyük şehirdir. 17 Şubat 2003 tarihinde başlayan uygulamada Londra merkezî bölgesine giriş ücreti 5 Pound olarak belirlenmiş, 4 Temmuz 2005’ten itibaren 8 Pound’a yükseltilmiştir. Uygulama, hafta sonu ve resmi tatiller hariç her gün 07:00 ile 18:00 arasında geçerlidir [12]. Fiyat bölge sakinleri için %90, engelli kullanıcılar içinse %100 indirimli olarak uygulanmaktadır. Taksi, motosiklet ve otobüsler fiyatlandırma dışında tutulmuşlardır. Giriş ücreti satış noktalarından, benzin istasyonlarından, telefon veya posta yoluyla, cep telefonu mesajı veya internet üzerinden ödenebilmektedir. Bölgedeki araçların plakaları elektronik olarak okunarak veri tabanı ile karşılaştırılmakta ve fiyatın ödenip ödenmediği saptanmaktadır. Uygulama 2004-2005 döneminde 93 milyon Sterlin, 2006-2007’de ise 123 milyon Sterlin gelir getirmiştir. 2005 yılı sonunda kent merkezindeki araçlarda % 18 ve gecikmelerde % 30 azalma gözlemlenmiştir. Günlük ortalama 50 bin araç “ücretli bölge”den uzak durmuş; gecikme, başlangıçta 2,3 dak/km iken, 2005’de 1,8 dak/km’ye indirilmiş; merkezdeki yaralanmalı kazalarda yılda %40-70 düzeyinde düşmüştür. 2013 yılında uygulamaya

Eminönü İçin Bir Trafik Tıkanıklık Fiyatlandırması Modeli

geçirilmek üzere daha geniş çalışmalar yapılmaktadır. Ayrıca, “Ne kadar gidersen o kadar öde (PAYD)” yönteminin uygulanması da düşünülmektedir [13].

Stockholm’de kent merkezine giren taşıtlardan “tıkanıklık vergisi” adı altında ücret alınması, deneme amaçlı olarak 2006 başlarında uygulanmış ve Eylül 2006’daki referandumda kalıcı hale getirilmesi konusunda katılanların %39,8’i evet, % 60,2’si hayır cevabını vermiştir [14]. 1 Ekim 2006’da İsveç Hükümeti, Stockholm tıkanıklık vergisinin Temmuz 2007’den itibaren kalıcı olacağını duyurmuştur.

22 Nisan 2007’de New York’da, Londra, Singapur ve Stockholm’deki başarılı uygulamalar dikkate alınarak, Manhattan’ın güneyinde bulunan merkezi iş bölgesinin kullanılması durumunda, araçlardan 8 \$ ücret alınmasına karar verilmiştir [15]. Ülkemizde henüz doğrudan bir uygulama bulunmamakla beraber, son yıllarda konunun kentlerimizde uygulanabilirliği üzerinde araştırmalar yapılmaya başlanmıştır [16, 17, 18].

Tıkanıklık fiyatlandırmasında eleştirilen en önemli konu, uygulamanın adil olmaması iddiası üzerinedir. Bölge fiyatlandırmasının idareler tarafından sürekli bir gelir kaynağı olarak görülmesinden ve yükselen bir vergi şekline dönüşmesinden çekinilmektedir. Bazı liberal gruplar ise bölge/yol fiyatlandırmalarının insan haklarına aykırı olduğunu düşünmektedir ve bu tür uygulamaların serbestçe seyahat etme hakkına aykırı olduğunu savunmaktadırlar. Diğer bir kesim ise, GPS gibi sistemlerin kullanılmasının özel haklara saldırı olduğunu savunmaktadır.

2.2. Yolculuk ve Trafik Tıkanıklığının Maliyeti

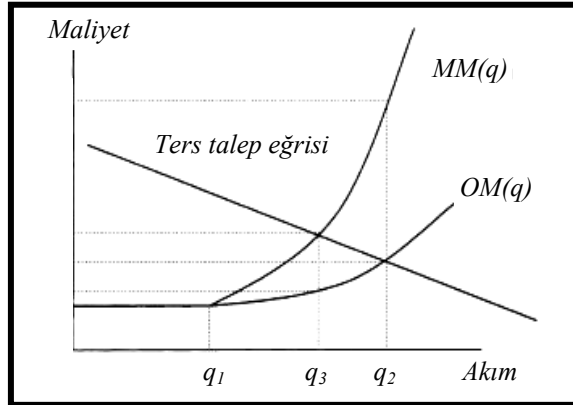
Sürücüler otomobillerini kullanabilmek için, sebep oldukları maliyetleri ödemek zorunda olsalar da tercihlerini otomobillerini bırakma yönünde yaptıkları takdirde, kendilerine ekonomik ve konforlu bir toplu taşıma hizmeti sunulacağını bilirlerse, tıkanıklık fiyatlandırması yöntemi, özel araç kullanımının azaltılmasında çok etkili olmaktadır. Özel ulaşım türlerini azaltıcı politikalar, otomobil kullanımını güçleştirme yolunu izlese de, destek ve ek hizmetler yoluyla, bu işin daha kolay gerçekleşebileceği ileri sürülmektedir [19]. Tıkanıklığın fiyatlandırılmasında kullanılan modellerin karmaşık olmaması; aksine istenildiğinde belli kısımlarının farklı koşullara uygun hale getirilecek şekilde esnek olması önerilmektedir. Bu açıdan basit modeller, hâlâ karmaşık simülasyon modellerine oranla tercih edilmektedir [20].

Fiyatlandırmadaki temel bileşenlerin, tıkanıklığın maliyeti, fiyatlandırılacak kesimindeki hız-akım bağıntısı ve talep eğrisi olduğu görülmüştür. Ancak maliyet hesaplanırken, en büyük pay sahibi olan özel araçların kullanım maliyetinin bulunması gerekir [16, 21, 22, 23]. Her maliyetin para değeri olarak karşılığı olduğu gibi, hesabında da farklı yöntemler geliştirilmiştir [24]. Ulaştırmanın dışsal maliyetlerinin yanı sıra dışsal faydaları da söz konusudur [25]. Tıkanıklık fiyatlandırması çalışmalarında, her bir otomobil sürücüsünün sebep olduğu marjinal maliyetin kullanılması, daha anlamlı ve yaygın olanıdır [26].

Yolculuk maliyetinin içeriğine bakıldığında, bir yanda kullanıcının tür seçimi yaparken dikkate aldığı ve kendi karşıladığı maliyetler, diğer yanda ise farkında olmadan diğer kullanıcılara ve toplumun geri kalan kısmına getirdiği maliyetler vardır. Kullanıcının kişisel maliyetleri, yakıt tüketimi, araç bakım-onarım, yedek parça masrafları, vergi ve sigortalar ile yolculuk süresinin maliyeti olarak alınabilir. Trafığe özel aracı ile katılan her bir

kullanıcı, mevcut trafik içinde seyreden tüm diğer araçları biraz daha yavaşlatacaktır. Bu yavaşlama sonucu kendisi de dahil olmak üzere, tüm kullanıcıların yakıt ve yıpranma maliyetleri ve de yolculuk süreleri küçük bir miktar artacaktır. Bu durumda, yolculuk yapmanın “marjinal kişisel maliyeti” artacaktır. Bu artış, kişilerin yolculuk yapma kararları üzerinde etkili olup, yolculuk süresine ve/veya ortalama akım hızına bağlı olarak da değişmektedir. Teorik olarak tamamının hesaplanması mümkün olan, tek bir özel aracın trafiğe katılmakla sebep olduğu maliyetlerin önemli bir kısmı, kullanıcıdan talep edilmemekte ve diğer kullanıcılar ya da toplumun başka kesimleri tarafından karşılanmaktadır.

Maliyetlerle yolculuk talebi de birbirini etkiler (Şekil 1). Aşağıda, $MM(q)$ ile gösterilen eğri, marjinal maliyeti, $OM(q)$ ise ortalama maliyeti temsil etmektedir. Görüleceği gibi, q_1 akımına kadar tıkanıklık oluşmadığından, marjinal ve ortalama maliyet eğrileri birbirinden ayrılmamakta; bu noktadan sonra ise ayrılmaktadır. Kullanıcının üstlenmediği ve tıkanıklık fiyatlandırması uygulamasında ondan talep edilecek olan fiyat, her akım değeri için marjinal ve ortalama maliyet eğrileri arasındaki fark kadar olmalıdır. Bu da “teorik tıkanıklık fiyatı”dır [5].



Şekil 1. Ortalama ve marjinal maliyet eğrileri ve ters talep eğrisi ilişkisi [5]

Tıkanıklık fiyatlandırmasının uygulanmadığı durumda, ters talep eğrisi ile ortalama maliyet eğrisinin kesiştiği noktada (q_2) bir denge oluşacaktır. Bu noktada, kullanıcının ödemeye razı olduğu miktar, ödediği miktara eşittir. Oysa kullanıcı, tıkanıklık fiyatı ile, sebep olduğu maliyetleri karşılamak durumunda kaldığında, $OM(q)$ eğrisi değil, $MM(q)$ eğrisi dikkate alınacak ve yeni denge noktası q_3 olacaktır. Çünkü bu noktadan sonra kullanıcının elde ettiği fayda, toplam maliyetten düşüktür. Bu noktada marjinal ve ortalama maliyet eğrileri arasındaki fark, “optimum tıkanıklık fiyatı”, diğer adıyla “Pigou vergisi” olacaktır [5].

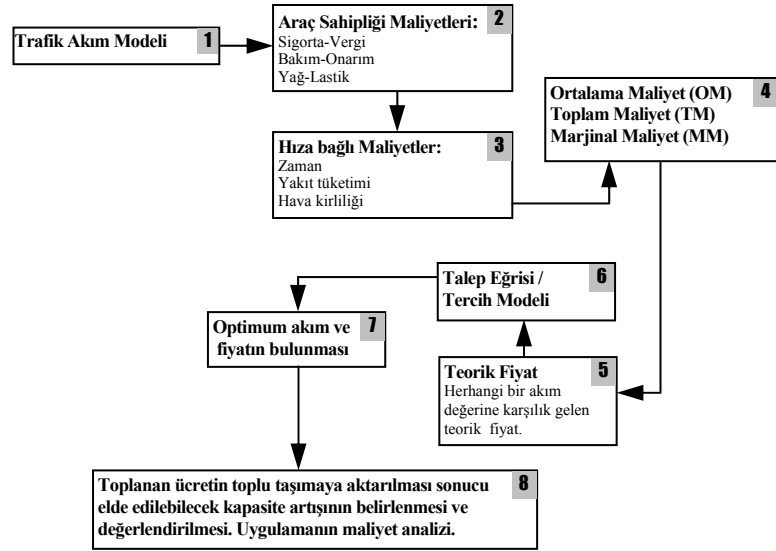
Sonuçta, tıkanıklık maliyetinin bulunması için, temel ekonomi ve trafik akım kuramlarından faydalanılarak oluşturulmuş hız-akım ilişkisi yardımıyla, marjinal maliyetin bulunması yöntemi benimsenmiştir. Ancak, yukarıda değinilen literatürden farklı olarak bu çalışmada, sadece araç sahipliği maliyetleri ile yakıt tüketimi ve zaman maliyetinin

Eminönü İçin Bir Trafik Tıkanıklık Fiyatlandırma Modeli

bulunduğu genelleştirilmiş maliyet değil, dışsal maliyetler de hesaba katılmıştır. Ayrıca, yakıt tüketimi, km başına ortalama bir parametrik değer olarak değil, akım hızına bağlı bir değişken olarak modele dahil edilmiştir.

3. TIKANIKLIK FİYATLANDIRMASI MODELİ

Yukarıdakilerin ışığında, optimum tıkanıklık fiyatını hesaplayacak ve uygulama sonucunda trafiğin durumunu ve elde edilecek gelirle sunulabilecek ek toplu taşıma koltuk kapasitesini belirleyecek bir model oluşturulmuştur (Şekil 2). İlk aşamada, hız-akım bağıntısı yardımı ile, ortalama ve marjinal maliyetler hesaplanacaktır. Ardından her akım değerine karşılık gelen teorik tıkanıklık fiyatları bulunacaktır. Optimum fiyat ve optimum akım değerleri, akıma göre değişen teorik fiyatlar ve teorik fiyata göre değişen tercih sonucu ortaya çıkan fonksiyonların kesim noktasında oluşacaktır. Bulunan optimum fiyata göre, gerekli ek toplu taşıma kapasitesinin saptanması ve maliyet analizinin yapılması, son aşamada gerçekleştirilecektir.

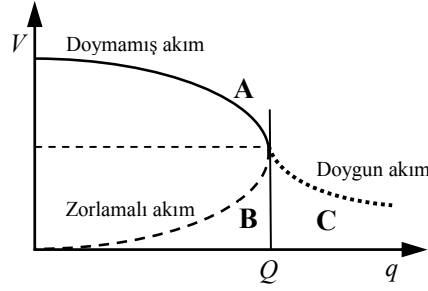


Şekil 2. Model akış şeması

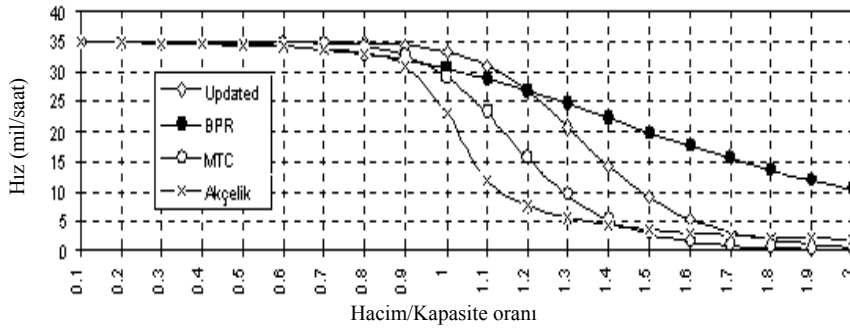
3.1. Hız-Akım Bağıntısının Seçimi

Modelde kullanılmak üzere, yolculuk süresi/hız-akım ilişkisini veren sürekli fonksiyonlar tercih edilmiştir. Bu fonksiyonlar, klasik Greenshields modelinden [27] farklıdır. Hız-akım eğrisinde görüldüğü üzere, A kesiminde doymamış akım durumu söz konusudur (Şekil 3). Klasik hız-akım eğrisinin B kısmında, kapasite değerine ulaşıldıktan sonra, daha fazla artış olmadığı ve hızın belli bir yerde sifıra doğru yaklaştığı görülmektedir. Klasik model sonuçları, hesaplamalar açısından sorun yaratabildiği için yeni modeller geliştirilmiştir

(Şekil 4). MTC ve Akçelik Modelleri de bu modellerdendir [28]. Yeni nesil modellerde Şekil 3'te de görüldüğü gibi, C kısmında aşırı doymuş akım durumu ortaya çıkar. Kapasitenin aşılmasıyla hız giderek azalır, hatta durma noktasına gelir; fakat hiçbir zaman sıfır olmaz.



Şekil 3. Klasik hız-akım eğrisi ve model için değerlendirilen fonksiyon [29]



Şekil 4. Güncellenmiş BPR, BPR, MTC ve Akçelik fonksiyonları [28]

Yukarıdaki eğrilere ait yolculuk süresi/hız-akım ilişkisini veren fonksiyonlar aşağıda sıralanmıştır. Akçelik ve MTC fonksiyonlarının kent içi tıkalı yollarda gerçeğe en yakın sonuçları verdiği görüldüğünden (Şekil 4), modele entegrasyonuna karar verilmiştir. Nitekim, Akçelik eğrisi MTC eğrisi gibi hassastır ve tıkanıklığın akım hızı üzerindeki doğrusal etkisini tahmin etme avantajına sahiptir [28]. Tıkanık durumlar için daha düşük hızlar vermesi de istenen bir durumdur.

a) BPR (Bureau of Public Roads) hız-akım fonksiyonu:

$$\text{Tıkanık akım hızı} = (\text{Serbest akım hızı}) / (1 + 0.05[\text{hacim/kapasite}]^4) \quad (1)$$

b) Güncellenmiş BPR hız-akım fonksiyonu:

$$\text{Tıkanık akım hızı} = (\text{Serbest akım hızı}) / (1 + 0.05[\text{hacim/kapasite}]^{10}) \quad (2)$$

c) MTC (Metropolitan Transportation Commission) hız-akım fonksiyonu:

$$\text{Tıkanık akım hızı} = (\text{Serbest akım hızı}) / (1 + 0.20[\text{hacim/kapasite}]^{10}) \quad (3)$$

Eminönü İçin Bir Trafik Tıkanıklık Fiyatlandırması Modeli

d) Akçelik hız-akım fonksiyonu [30]:

$$t = t_0 + \{0.25T[(x-1) + \{(x-1)^2 + (8J_a x/QT)\}^{0.5}]\} \quad (4)$$

t : Birim mesafe başına düşen ortalama yolculuk süresi (saat/km)

t_0 : Birim mesafe başına düşen serbest akımda yolculuk süresi (saat/km)

T : Akım periyodu (saat)

Q : Kapasite (tş/sa/şr)

x : Doygunluk derecesi (hacim/kapasite)

J_a : Gecikme katsayısı (0-2 aralığında bir değer)

3.2. Araç Sahipliği Maliyeti

Araç sahipliği maliyeti, araç sahibi olunan süre boyunca kullanıcının karşılamak durumunda olduğu maliyettir. Bileşenleri, kullanıcının, gider hesabı yaparken genellikle dikkate aldığı maliyetler olup; araç tipine, yaşına, yaptığı kilometreye göre değişmektedir. Modelde, bakım-onarım maliyeti, yağ ve lastik maliyeti, motorlu taşıt vergisi, zorunlu trafik sigortası, araç muayene ve emisyon ölçüm bedelleri dikkate alınmış; İstanbul için derlenen verilerden yararlanılarak 0,042 \$/km değeri kullanılmıştır [18].

3.3. Hıza Bağlı Maliyetler

Trafik akımının durumu; yolculuk süresi ve konforu, yakıt tüketimi, araçtaki yıpranma, zararlı gaz emisyonu ve gürültü seviyeleri gibi pek çok konuda etkilidir. Ayrıca, akım hızı dışında sürücünün araç kullanma alışkanlıkları, trafik akımındaki ani hız değişimleri, dur-kalk hareketinin sıklığı, araç ve yolun özellikleri de etkili olmaktadır [24]. Modelde, akım, sürücü ve yol özelliklerinin homojen ve yoldaki araçların benzer oldukları kabul edilmiştir. Tıkanıklığın maliyetinin hesabında, modelde kullanılan hız-akım bağıntısından faydalanılarak bulunan maliyet faktörleri; yolculuk süresi, yakıt tüketimi; hava kirliliğine yol açan zararlı gaz emisyonlarıdır.

3.3.1. Yolculuk Süresinin Maliyeti

Yolculuk için harcanan zaman, özel otomobil kullanıcısı için bir maliyet oluşturur. Özellikle ev-iş yolculukları gibi, bir yere zamanında yetişmek için yapılan yolculuklar, kullanıcılar açısından daha yüksek maliyetli olarak değerlendirilmektedir. Yolculuk süresi maliyeti yolculuk amacı dışında konfor, stres gibi faktörlerden de etkilenmektedir. Ayrıca toplu taşıma hizmetlerinden faydalananların, araç bekleme süresini, araç içinde geçen sürenin ortalama iki katı uzun olarak algıladıkları ortaya konmuştur [24]. Yolculuk süresi maliyeti, kullanıcı geliriyle doğru orantılı olarak artma eğilimindedir [31]. Yolculuk süresinin parasal karşılığını hesaplayabilmek için birçok çalışma yapılmıştır [16].

Tür seçimi modellerinden elde edilmiş zaman maliyeti tahmin çalışmalarının başlangıcı 1960'lara kadar dayanmaktadır. Günümüzde ise bu konuda geçerli olan iki tahmin yöntemi vardır: İlki; kullanıcının tıkanıklıktan kaçınmak için ödemeye razı olduğu miktarın belirlenmesi, ikincisi; bir saatlik yolculuğa biçilen ekonomik değer kullanıcının saatlik gelirinin belli bir oranı ile ifade edilmesi, şeklindedir. İlk yöntem anketlerle potansiyel kullanıcıların tercih ifadelerine dayanılarak bir maliyet hesaplanması esasına dayanmaktadır. İkinci yöntemde ise kişinin yolculuk süresinin kısalmasının, ona ekonomik olarak getirisini hesaplanmaya çalışılmaktadır. Bu yöntemde genel kabul, yolculuk süresinin maliyetinin, kullanıcı gelirinin %50'si ile %100'ü arasında değiştiğidir [32]. Yolculuk süresindeki değişimin miktarı ise, hesaplanan birim zaman maliyeti değerinin her durumda kullanılmasına bir engel değildir [33].

Yolculuk süresi maliyetinin hesabında, tercih modelinin kalibrasyonu için hazırlanan ankette yer alan, "gelir grubunu belirleyici" soruya verilen cevaplar değerlendirilmiştir. Bulunan değerler %50'si olan 3,47 \$/saat ile %100'ü olan 6,93 \$/saat arasında değişen değerler, modelde, yolculuk süresi maliyetinin karşılığı olarak kullanılmıştır [18].

3.3.2. Hava Kirliliği ve Yakıt Tüketimi Maliyetleri

Araçlar tarafından atılan hava kirleticiler arasında, gazlar ve partiküller en önemli yeri tutmaktadır. Çevre ve insan sağlığı açısından bunların en zararlı olanları, CO, CO₂, NO_x, VOC/HC ve mikro partiküllerdir. Model Eminönü bölgesi için oluşturulduğundan, yukarıda belirtilen maliyetlerin hesabında, İstanbul'a ait veriler kullanılmıştır. Hesaplarda kullanılan temel veriler, İstanbul'daki tescilli araçların sayısı, motor hacmi ve yaşıdır. Yakıt tüketimi ve emisyon maliyetlerinin akım hızı ile değişimi için, Avrupa Birliği Ekonomi Komisyonu tarafından belirlenen ECE 15-04 sayılı düzenleme standartları içinde kalan özel otomobillerin, ölçümler sonucu ortaya konmuş olan ortalama seyir hızına karşılık gelen yakıt tüketimi ve zararlı gaz emisyon değerleri dikkate alınmıştır. Bahsedilen standart Avrupa'da üretilen otomobiller için 1984 yılında uygulamaya konulmuş olmasına rağmen, Türkiye'de ancak 1988'de uygulanmaya başlanmış; ancak 1996'da, iki sonraki standart olan EURO 93, motor hacmi 1600 cc'den büyük araçlara uygulanmaya başlanmıştır [34]. İstanbul'daki ağırlıklı ortalama özel otomobil yaşı 8,7 yıl olarak hesaplanmıştır. Tescilli araçların % 61'i 7 yaşından büyüktür. Yeni üretilen araçlar hariç, trafikte kullanılan motor hacmi 1600 cc'nin altında olan araçlar için EURO 93 standardına uyma açısından bir yasal zorunluluk yoktur. Tescilli araçların % 83'ünü motor hacmi 1600 cc altında olan araçlar oluşturmaktadır ve daha önce bahsedildiği gibi büyük bir kısmı 7 yaşından büyüktür. Bu koşullar altında yakıt tüketimi ve zararlı gaz emisyon değerlerinin hesaplanması için ECE 15-04 standartlarındaki araçların ölçüm değerlerinin dikkate alınması daha gerçekçi bulunmuştur [23, 24].

Bu çalışmada model içinde kullanılmak üzere CO, NO_x, HC emisyonlarının araç hızıyla değişimi dikkate alınmıştır. NO_x ve HC emisyonlarının maliyetleri, EU-15 maliyetlerin ortalaması alınarak bulunmuştur [35]. CO emisyonu maliyeti içinse yine Avrupa Birliği Komisyonu ExternE programı çalışmaları dahilinde belirlenmiş olan ortalama maliyet kullanılmıştır [24]. Bu maliyetlerin Türkiye koşullarına uyarlanması için 2003 yılında OECD tarafından hazırlanmış olan satın alma gücü paritelerine göre, kişi başına düşen ulusal gelir değerlerinden yararlanılmıştır. Bu çalışmada EU-15 için satın alma gücü

Eminönü İçin Bir Trafik Tıkanıklık Fiyatlandırması Modeli

paritelerine dayalı kişi başına düşen ulusal gelir, 26.000 A.B.D. Doları olarak hesaplanmıştır. Türkiye içinse bu değer 6.400 A.B.D. Doları'dır [36].

Euro birim maliyetlerinin güncellenmesi için paranın yıllık getirisi olarak % 4 değeri kullanılmış; Euro/A.B.D. Doları paritesi 1,2 olarak seçilmiştir. Emisyon maliyetleri, EU-15 için hesaplandığı için, Türkiye/EU-15 satın alma gücü paritelerine göre belirlenen kişi başına düşen millî gelir oranı, 0,246 katsayısı ile çarpılarak ülkemize uyarlanmıştır. CO, NO_x, HC emisyonlarının Türkiye'ye uyarlanmış birim maliyetleri sırayla; 0,00006 \$/gr, 0,00134 \$/gr, 0,00067 \$/gr olarak bulunmuştur [18].

3.3.3. Ortalama ve Marjinal Maliyetler ile Teorik Tıkanıklık Fiyatı Modelinin Oluşturulması

Ortalama maliyet (*OM*), özel oto kullanıcısının yolculuk kararı verirken dikkate aldığı maliyettir. Toplam maliyet (*TM*) ise, o anda trafikte bulunan araç sayısı ile *OM*'nin çarpımına eşittir. Marjinal maliyet (*MM*), trafiğe katılan her bir aracın, mevcut araçların her birine getirdiği ek maliyetlerin toplamıdır. *MM* ile *OM*'nin herhangi bir akım için hesaplanan değerleri arasındaki fark, o akım değerine karşılık gelen teorik tıkanıklık fiyatını (*TTF*) verecektir [5].

MM matematiksel olarak *TM*'nin trafik akım değeri *q*'ya göre türevi ile ifade edilebilir.

$$TM(q) = q \cdot OM(q) \quad (5)$$

$$MM(q) = q \cdot OM(q) \, dv / dq \quad (6)$$

Modelde kullanılacak ortalama maliyet (*OM*) fonksiyonu, hıza bağlı olarak şöyle ifade edilir:

$$V = f_v(q) \quad (7a)$$

$$OM(V) = k_1 + k_2/V + k_3 \cdot f_1(V) + k_4 \cdot f_2(V) + k_5 \cdot f_3(V) + k_6 \cdot f_4(V) \quad (7b)$$

k_1 : Araç sahipliği maliyeti (\$/km)

k_2 : Zaman maliyeti (\$/saat)

k_3 : Yakıt maliyeti (\$/gr)

k_4 : HC maliyeti (\$/gr)

k_5 : CO maliyeti (\$/gr)

k_6 : NO_x maliyeti (\$/gr)'dir.

(7b) bağıntısında $f_v(q)$ hız-akım değeri bağıntısını göstermek üzere, $V = f_v(q)$ olacak şekilde yerleştirildiğinde, q değişkenine bağlı ortalama maliyet fonksiyonu elde edilir:

$$OM(V) = OM(f_v(q)) = OM(q) \quad (8)$$

Ardından, $OM(q)$ fonksiyonu oluşturulur. Sonrasında, $MM(q)$ fonksiyonu bulunur ve buradan her akım değerine karşılık gelen teorik tıkanıklık fiyatları hesaplanır. Bunun için, kullanıcının akıma katılması durumunda oluşacak tüm maliyetlerden (MM), kullanıcının kendi karşıladığı kısmın (OM) çıkarılması gereklidir.

$$TTF_1(q) = MM(q) - OM(q) \quad (9)$$

Oysa modelde, kullanıcının kendi karşıladığı maliyeti veren fonksiyon içinde, gerçekte karşılanmayan emisyon maliyetleri de vardır. Bu nedenle, $OM(q)$ fonksiyonundan, emisyon maliyetlerini veren bağıntılar çıkarılarak $OMB(q)$ fonksiyonu elde edilir:

$$OMB(q) = k_1 + k_2 / f_v(q) + k_3 f_1(f_v(q)) \quad (10)$$

Buna göre, modelde kullanılacak teorik tıkanıklık fiyatı;

$$TTF_2(q) = MM(q) - OMB(q) \quad (11)$$

şeklinde bulunacaktır. Sonuçta teorik tıkanıklık fiyatının son hali şöyle olur:

$$TTF_2(q) = MM(q) - [k_1 + k_2 / f_v(q) + k_3 f_1(f_v(q))] \quad (12)$$

Bu şekilde bulunan TTF_2 değerinin içinde, TTF_1 'den farklı olarak, kullanıcının diğer kullanıcılara getirdiği ve karşılamadığı maliyetin dışında, kendi aracının sebep olduğu ve kendisi tarafından karşılanmayan emisyon maliyetleri de yer almış olur.

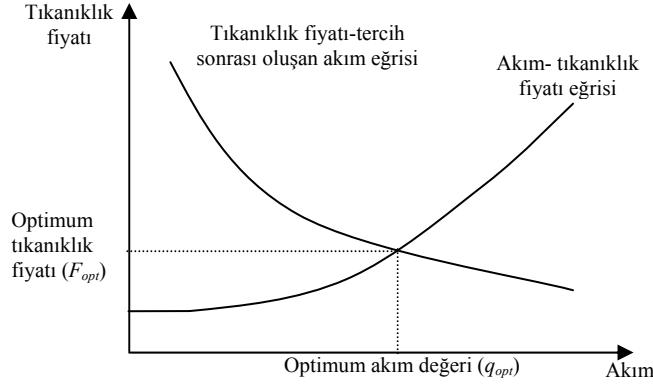
3.3.4. Optimum Tıkanıklık Fiyatının Bulunması

Farklı şartlar altında kullanımı mümkün kılmak üzere, modelin esnek bir yapıya sahip olması amaçlanmıştır. Modelde, fiyat uygulanması düşünülen bölge/güzergâh için belirlenen hız-akım ilişkisinin kullanımıyla, hızı (dolayısıyla akıma) bağlı maliyetlerden oluşan birim marjinal maliyet (\$/araç/km) ve kullanıcı maliyeti hesaplanarak teorik tıkanıklık fiyatı bulunur. Ayrıca, otomobil kullanıcılarının fiyat uygulaması sonucunda tür seçimleri modellenerek, uygulanacak fiyata karşılık, akımdaki değişim belirlenir. Akıma bağlı teorik fiyat ve fiyata bağlı talep ifadelerinin kesim noktası, optimum akım değerini (q_{opt}) ve tıkanıklık fiyatını (F_{opt}) verir.

Optimum akıma ve tıkanıklık fiyatına ulaşabilmek için tercih modelinin ve tıkanıklık fiyatı-akım modelinin bir arada çalışmasının sağlanması gereklidir (Şekil 5). Nitekim, akım-tıkanıklık fiyatı eğrisi ile tıkanıklık fiyatının uygulanmasıyla, tercihlerdeki değişiklik sonucu oluşan yeni akımı veren eğrinin kesim noktası, optimum tıkanıklık fiyatı ve optimum akım değeridir.

Modelin, simgesel türev alınmasını, veriye uygun yüksek dereceli polinomlar kullanılarak eğriler oluşturulmasını, karmaşık fonksiyonların karşılaştırılmasını gerektiren matematik ağırlıklı modüler bir yapısı olmasından ötürü, kodlama için MatLab® paket programı seçilmiştir [18]. MatLab® paketi kullanılarak yazılan Tıkanıklık Fiyatı Hesaplama Programı (TFHP) Ms Excel® yazılımı ile veri alışverişinde bulunabilmektedir.

Eminönü İçin Bir Trafik Tıkanıklık Fiyatlandırması Modeli



Şekil 5. Optimum tıkanıklık fiyatının bulunması

3.3.5. Modelde Yapılan Kabuller

Modeldeki en temel kabul; bölge/güzergâh trafiğindeki araçların homojen yapıda olmasıdır. Buna göre trafikteki otomobillerin teknik özellikleri, ortalamayı temsil eden bir tip otomobile modele aktarılmıştır. Ayrıca bölge/güzergâh üzerinde, akım koşullarının ve yol üstyapısının da homojen olduğu kabul edilmiştir. Kullanıcıların tercihlerini, giriş ücreti uygulanması durumunda, otomobil kullanımı maliyeti ve toplu taşıma aracı (otobüs) kullanımı maliyeti arasında yapacakları varsayılmıştır; otobüs kullanımı maliyetinin bölge içinde tek bilet (1 \$) olacağı kabulü yapılmıştır. Ayrıca, otobüs alım maliyeti de 200.000\$/tş'tır [18]. Model içindeki diğer bir önemli kabul ise eklenen otobüslerin, seçilen otomobil eşdeğerlik katsayısı (OEK) ile çarpılarak akıma katılmasıdır. Bölge özellikleri ve trafikteki araçlar göz önünde bulundurularak bazı parametrelerin değerleri Çizelge 1'deki gibi seçilmiştir [18].

Çizelge 1. Kullanılan parametrelerin değişim aralıkları

| Parametre | Değer aralığı | Birim |
|---|---------------|----------|
| Yolculuk talebini oluşturan kesimin özel otomobil sahipliği oranı | 60-80 | % |
| Tıkanıklık yaşanan güzergah kesiminin uzunluğu | 3-6 | km |
| Saatlik araç girişi | 9.000-10.000 | tş/sa |
| Ortalama özel otomobil doluluğu | 1,6-1,9 | yolcu/tş |
| Ortalama otobüs yolcu kapasitesi | 85 | yolcu/tş |
| Otobüs kapasite kullanım oranı | 60-80 | % |

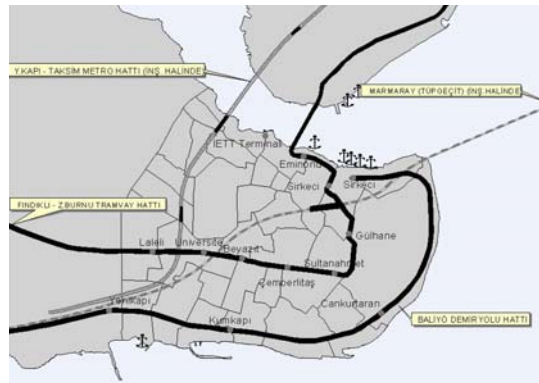
Çalışmada, paranın yıllık getirisi % 8 olarak kabul edilmiş; YTL/A.B.D. Doları kuru ise 1,25 olarak sabitlenmiştir. Ücret uygulamasının otobüs taşımacılığına etkilerinin tahmini için de modelde bir hesaplama yapılmıştır. Buna göre, belirlenen optimum akımdaki araç türlerinin dağılımı, fiyat uygulamasından önceki dağılımla karşılaştırıldığında, özel otomobil ve otobüs sayılarındaki değişim ortaya çıkacaktır. Modelin bundan sonraki aşaması tıkanıklık fiyatlandırması uygulaması sonucunda otomobil kullanımındaki azalmaya karşılık, otobüs kullanımındaki artışın karşılanması için sunulması gereken ek kapasitenin belirlenmesi ve toplanacak ücretlerle oluşacak kaynağın kullanımının planlanması olacaktır.

4. MODELİN EMİNÖNÜ İLÇESİNE UYARLANMASI

4.1. Eminönü İlçesi'nin Özellikleri

Eminönü İlçesi, 511 hektarlık alanı ve 33 mahallesi ile Tarihi Yarımada'nın doğusunda; Haliç, İstanbul Boğazi, Marmara Denizi ve Fatih İlçesi ile sınırlı bir alandır. 2000 yılı nüfus sayımı sonuçlarına göre ilçenin nüfusu 55.548 kişidir [37]. Türkiye'nin en gelişmiş ilçelerinden biri olan Eminönü, günümüzde başta turizm olmak üzere, önemli bir ticaret merkezi özelliğiyle, kentin en yoğun çekim odaklarından biri konumundadır. Eminönü İlçesi'nde salt konutun hâkim olduğu alanlar oldukça sınırlıdır. Ticaret, yaklaşık 74 hektarlık bir alana yayılmış olup, sürekli gelişme gösteren farklı faaliyet kollarına göre birçok alt merkez bulunmaktadır.

Zaman içinde bir geçiş güzergâhı haline dönen ve “aşırı derecede çığneden” Eminönü İlçesi, günümüz itibarıyla bu yoğunluğu kaldıramaz hale gelmiştir [37]. Bu süreç içinde, Eminönü İlçesi her tür ulaşım güzergâhının kesiştiği bir merkez halini almıştır (Şekil 6). Bölgede 131 hektarlık alana yayılan, karayolu ağırlıklı bir ulaşım alt yapısı hakimdir. İstanbul Büyükşehir Belediyesi sınıflandırma sistemine göre, birinci, ikinci ve üçüncü derece yolları, çıkmaz sokaklar, yaya yolları, meydanlar, açık ve kapalı otoparklar izlemektedir [37].



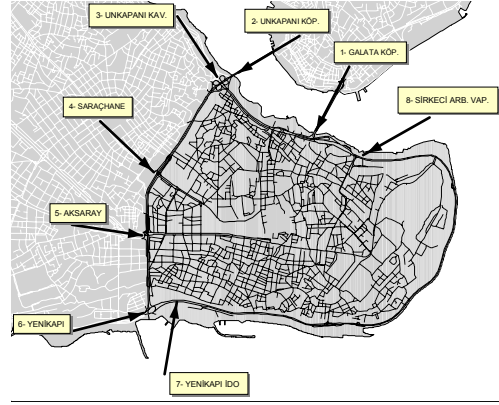
Şekil 6. Eminönü İlçesi ulaşım altyapısı

Eminönü İlçin Bir Trafik Tıkanıklık Fiyatlandırması Modeli

Eminönü'ndeki mevcut raylı sistem güzergâhları, Halkalı-Sirkeci TCDD hattı ve Zeytinburnu-Kabataş tramvaydır. Önümüzdeki yıllarda, 4. Levent-Taksim metro hattı, Havaalanı-Aksaray LRT hattı ve Marmaray hattı Yenikapı'daki transfer merkezinde birleştirilecektir.

Eminönü'nden Üsküdar, Kadıköy, Adalar ve Boğaziçi'ne vapur; Kadıköy, Bostancı ve Boğaziçi'ne deniz otobüsü; Harem'e arabalı vapur; Kadıköy ve Üsküdar'a dolmuş motor; Sarayburnu'ndan kentler arası feribot seferleri vardır. Yenikapı'dan ise, Bostancı, Kadıköy, Avşa, Bandırma, Mudanya ve Çınarcık'a deniz otobüsü; Bursa, Bandırma ve Yalova'ya feribot seferleri yapılmaktadır.

İlçede yer alan çok yönlü büyük çekim merkezlerinin varlığı, gün içerisinde kentin birçok noktasından, ilçeye yolculuk yapılmasını zorunlu kılmaktadır. Eminönü İlçesi'nin arterleri ve iskeleleri dikkate alındığında, Şekil 7'de görülen 8 ana noktada, lastik tekerlekli taşıt girişi vardır.



Şekil 7. Eminönü İlçesi lastik tekerlekli taşıt ana giriş-çıkış noktaları

4.2. Eminönü İlçesi Kordon Etüdü

Bölgedeki mevcut karayolu trafiğini belirleyebilmek için 2007 yılı Mayıs ayında yapılan kordon etüdlerinden faydalanılmıştır (Çizelge 2). Buna göre 07:30-19:30 arasındaki 12 saatlik dilimde, ilçeye giren taşıt sayısının yaklaşık olarak 117.269 olduğu tahmin edilmektedir [18].

Bu trafik değerleri, özellikle model çalıştırdıktan sonra ne şekilde bir değişim olacağının gözlenmesi için kullanılmıştır. Yapılan sayım sonuçlarına göre, tüm kesitlerin ortalaması dikkate alındığında, trafik kompozisyonu %51,2 özel oto; %27,1 kamyonet-panelvan; %19,0 ticarî taksi; %1,9 belediye otobüsü-halk otobüsü ve %0,8 ağır taşıt şeklinde gerçekleşmektedir. Çıkışta ise bu dağılım aynı sırayla, %50,9; %23,7; 20,1; %4,5 ve %0,9 olarak gözlenmiştir [38]. Anlaşılacağı üzere, 12 saatlik dilim içinde yaklaşık olarak giriş yönünde %2,7, çıkış yönünde %5,4'lük bir ağır taşıt trafiği söz konusudur. Buradaki kordon sayımları, model çıktılarının bölge üzerindeki genel etkilerinin gözlenmesi için yapıldığından, birim oto cinsinden değil taşıt cinsinden ifade edilmesi yeterlidir. Nitekim,

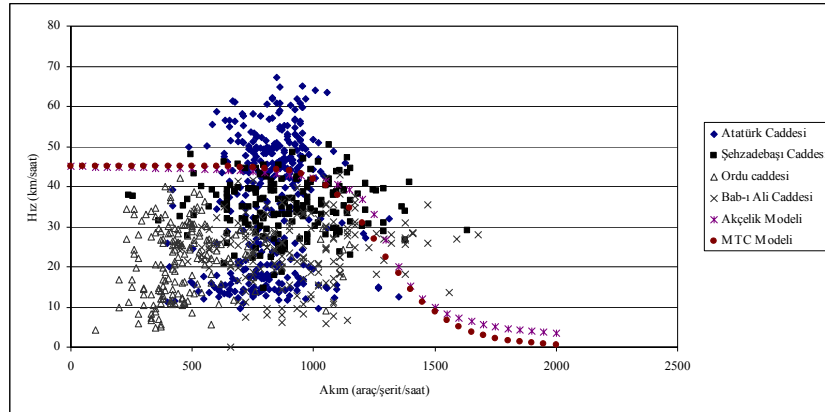
bölgede otobüsler dışındaki ağır taşıt trafiği kontrol altında ve de az olduğu için (%1'in altında), hesaplamalarda etkisi ihmal edilebilir düzeydedir.

Çizelge 2. Eminönü kordonu 12 saatlik taşıt sayım sonuçları (tş)

| Giriş-Çıkış Noktası | 07:30-10:30 | | 10:30-16:30 | | 16:30-19:30 | | Toplam | |
|---------------------|-------------|--------|-------------|--------|-------------|--------|---------|---------|
| | Giriş | Çıkış | Giriş | Çıkış | Giriş | Çıkış | Giriş | Çıkış |
| 1- Galata Köp. | 7.315 | 7.876 | 14.730 | 14.805 | 7.501 | 6.876 | 29.546 | 29.557 |
| 2- Unkapanı Köp. | 2.164 | 2.158 | 3.855 | 4.656 | 948 | 2.097 | 6.967 | 8.911 |
| 3- Unkapanı Kav. | 5.215 | 2.604 | 9.282 | 4.152 | 3.628 | 1.523 | 18.125 | 8.279 |
| 4- Saraçhane | 4.981 | 2.553 | 8.133 | 5.547 | 2.637 | 4.024 | 15.751 | 12.124 |
| 5- Aksaray | 3.484 | 2.214 | 7.203 | 5.550 | 2.377 | 3.145 | 13.064 | 10.909 |
| 6- Yenikapı | 5.731 | 2.576 | 13.785 | 13.497 | 8.138 | 7.693 | 27.654 | 23.766 |
| 7- Yenikapı İDO | 250 | 300 | 750 | 900 | 250 | 300 | 1.250 | 1.500 |
| 8- Sirkeci Ar. Vap. | 1.276 | 1.309 | 2.295 | 3.504 | 1.341 | 1.606 | 4.912 | 6.419 |
| Toplam (tş) | 30.416 | 21.590 | 60.033 | 52.611 | 26.820 | 27.264 | 117.269 | 101.465 |

4.3. Hız-Akım Modelinin Kalibrasyonu

Eminönü İlçesi'ndeki trafik koşullarını temsil etmek amacıyla, bölgede bulunan ve tıkanıklık etkilerinin gözlemlendiği önemli arterlerde kamera çekimleri yapılarak çözümlenmiştir [18]. Hız-akım modelleri, bu verilerden temsil gücü yüksek olanların kalibre edilmesiyle kullanılmıştır.



Şekil 8. MTC ve Akçelik fonksiyonlarının toplanan verilere göre kalibrasyonu

Eminönü İçin Bir Trafik Tıkanıklık Fiyatlandırması Modeli

Farklı yol sınıflarından dört caddeye ait hız-akım değerlerinin tek bir eğri ile temsil edilemeyeceği araştırılmıştır. Bunun için Atatürk Bulvarı, Şehzadebaşı, Ordu ve Bab-ı Ali Caddelerine ait hız-akım değerlerinin saçılma diyagramlarına bakılmıştır (Şekil 8). Grafikte de görüleceği gibi farklı caddelerden toplanan hız-akım verileri bir araya getirildiğinde verilerin önemli bir kısmı çakışmaktadır. Verilerin bölgede homojen bir hız-akım ilişkisi kabulünü destekleyecek şekilde uyumlu ve anlamlı oldukları görülmektedir. Bu sonuçlar göz önüne alınarak, modelde hız-akım fonksiyonunun kalibrasyonunda kullanılmak üzere, serbest akım hızı= 45 km/sa; pratik kapasite=1.300 bo/sa/şerit değerlerine ulaşılmıştır [18].

4.4. Talep Modelinin Kalibrasyonu

Bölgeye giriş yapan taşıt sahiplerinin “*kullanıcı eğilimleri*”ni belirlemek ve tercih modeli kalibrasyonu ve testlerinde kullanılmak üzere Mart-Mayıs 2007 döneminde, sadece özel otomobil sahipleriyle büyük oranda otoparklarda ve önemli çekim merkezlerinde 10 soru içeren bir anket çalışması yapılmıştır. Deneklerin, cinsiyet ve yaş bilgileri alındıktan sonra, ilk beş soruda, aylık hane geliri, eğitim düzeyi, bölgeye geliş amacı, özel araç mülkiyet durumu ve özel araç kullanım sıklığını belirlemeye yönelik sorular yöneltilmiştir. Son beş soruda ise genel olarak trafik tıkanıklığının fiyatlandırılması hakkında bilgi alınmaya çalışılmıştır.

Çalışmada yapılan 1648 adet anketin, istatistiksel olarak örnek büyüklüğü açısından Eminönü Bölgesine giriş yapan araç sahibi popülasyonu %95 güvenirlilik ve %3,17 hata payı ile temsil yeteneğine sahip olduğu hesaplanmıştır [18]. Anketler ilçenin 20 değişik alt bölgesinde uygulanmıştır. Sırasıyla Sirkeci, İBB Sarayhanı Binası, İstanbul Üniversitesi Beyazıt Kampüsü ve Mercan Bölgesi en çok anket yapılan yerlerdir. Anket çalışmasında cinsiyet, eğitim durumu, gelir düzeyi, yolculuk amacı gibi konuların alt başlıklarında özel bir örneklem hacmi belirlenmemiştir.

Değerlendirmede, belirlenen beş gelir grubundan en yüksek olan aynen alınarak, diğerleri ikiye bölünmüş olarak birleştirilmiştir. “Otomobillerinden hiçbir koşulda vazgeçmeyeceğini” belirtenlerin oranı, en yüksek gelire sahip 5. grupta %18, toplamda ise %35’dir. Gruplara göre, kişi başına düşen gelir de değişkendir (Çizelge 3). Gelirlerin ağırlıklı ortalaması ise 6,93 \$/saat olarak bulunmuştur.

Çizelge 3. Özel otomobil kullanıcılarının ağırlıklı gelir ortalaması

| Kişi Başına Düşen Gelir | Grup (1+2) | Grup (3+4) | Grup 5 |
|--|------------|------------|--------|
| Ortalama aylık (YTL/kişi) | 1000 | 3250 | 5000 |
| Ortalama saatlik (YTL/kişi) | 5,68 | 18,47 | 28,41 |
| Ortalama saatlik (\$/kişi) | 4,55 | 14,77 | 22,73 |
| Gruplar ağırlıklı ortalaması (\$/kişi) | 6,93 | | |

Kullanıcıların tercihleri sırasında yaklaşık olarak harcadıkları yakıt tutarının bilincinde oldukları kabul edilmiştir. Kullanıcılar otobüs için tek bilet fiyatı ödeyecekleri konusunda

bilgilendirilmiş olup, bilet fiyatı 1 \$ kabul edilmiştir. Söz konusu fiyat uygulamasında otobüsler trafikte diğer araçlarla birlikte yol alacaktır. Bu koşullardaki tür seçimi modelinde, otomobil kullanıcıları tıkanıklık fiyatı (M_{oto}) ve otobüs bileti fiyatı (M_{otb}) arasındaki farkı dikkate alarak karar vereceklerdir. Nitekim, anket sonuçlarına göre de, tıkanıklık fiyatının artması durumunda otomobilden otobüse geçenlerin oranı yükselmektedir (Şekil 9).

Kullanıcılar üç farklı gelir grubuna ayrıldıkları ve yalnızca otobüs ve özel otomobil arasında seçim yapacakları için, ayrışık ikili lojit (disaggregate binomial logit) model seçilmiştir [39].

Mevcut ikili lojit modelde, tıkanıklık ücretinin, dolaylı olarak yolculuk süresini ve bunun kullanıcıya maliyetini içeriyor olması ve aralarında oluşacak bir korelasyonun önüne geçilmek istenmesi sebebiyle, yalnızca fiyat değişkeni kullanılmıştır. Diğer taraftan, tıkanıklık yaşanan bölgede uygulanacak bir fiyatlandırma uygulamasıyla, özel araç kullananların yolculuk sürelerinde oluşacak azalmanın, yalnızca bu bölge ile sınırlı kalması dolayısıyla, kullanıcıların toplam yolculuk süreleri içindeki payının düşük olması; bu azalmanın ayrı olarak algılanmasının güçlüğü ve anketlerde kişilerin ifade edecekleri tercihlerinde anlamlı bir değişiklik yaratacağının beklenmemesi de yalnızca fiyat değişkeninin kullanılmasında etkili olmuştur.

Özel otomobil ve otobüs için kullanıcı yararlılık fonksiyonları (u) oluşturulurken, ödenecek fiyatların karar verme aşamasında dikkate alınacağı kabul edilmiş ve de öncelikle anket verileri yardımıyla tercihin fiyatla değişimi incelenmiştir. Hazırlanan bilgisayar yazılımıyla, tercih-fiyat arasındaki ilişkiyi, yedinci dereceden bir polinomun R^2 değeri 1 olacak şekilde ifade ettiği tespit edilmiştir. Buna göre elde edilen yararlılık fonksiyonları aşağıdaki gibidir:

$$u_{oto} = a_{oto} + b.M_{oto} + c.M_{oto}^2 + d.M_{oto}^3 + e.M_{oto}^4 + f.M_{oto}^5 + g.M_{oto}^6 + h.M_{oto}^7 \quad (13)$$

$$u_{otb} = a_{otb} + b.M_{otb} + c.M_{otb}^2 + d.M_{otb}^3 + e.M_{otb}^4 + f.M_{otb}^5 + g.M_{otb}^6 + h.M_{otb}^7 \quad (14)$$

Bu durumda, kullanıcıların otobüsü tercih etme oranı, P_{otb} aşağıdaki şekilde bulunabilir:

$$P_{otb} = e^{u_{otb}} / (e^{u_{otb}} + e^{u_{oto}}) \quad (15)$$

Model sonucu,

$$y = \ln((1 - P_{otb}) / P_{otb}) = u_{otb} - u_{oto} \quad (16)$$

şeklinde olacaktır. Bu durumda, $(a_{oto} - a_{otb}) = a$ olarak alınırsa, fonksiyonun son hali;

$$y = u_{otb} - u_{oto} = a + b.(M_{oto} - M_{otb}) + c.(M_{oto}^2 - M_{otb}^2) + d.(M_{oto}^3 - M_{otb}^3) + e.(M_{oto}^4 - M_{otb}^4) + f.(M_{oto}^5 - M_{otb}^5) + g.(M_{oto}^6 - M_{otb}^6) + h.(M_{oto}^7 - M_{otb}^7) \quad (17)$$

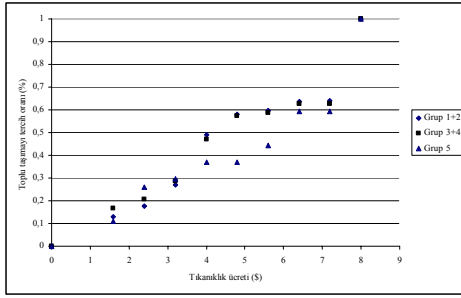
şeklinde ifade edilebilir.

Eminönü İçin Bir Trafik Tıkanıklık Fiyatlandırması Modeli

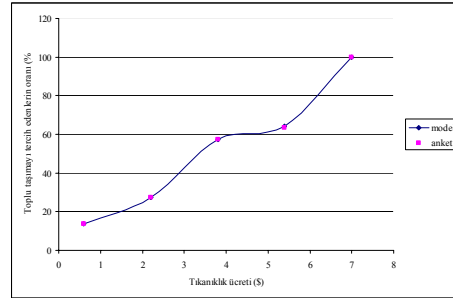
En Küçük Kareler yöntemiyle yapılan regresyon analizi sonucunda, anket değerleri (Y) ve model sonuçları (y) arasındaki farkların toplamını minimum yapacak katsayılar bulunmuş (Çizelge 4) ve buna göre fonksiyonun grafiği çizilmiştir (Şekil 9). Bu şekilde oluşturulan modelden elde edilen tercihler ile tıkanıklık fiyatına bağlı, ifade edilmiş tercihler aşağıda aynı grafik üzerinde gösterilmiş (Şekil 10) olup, ilgili değerler ise Çizelge 5’de verilmiştir.

Çizelge 4. Gelir gruplarının yararlılık fonksiyonları katsayıları

| Kullanıcı Gelir Grupları | Katsayılar | | | | | | | |
|--------------------------|------------|---|---|----------|---|----------|------------|-----------|
| | a | b | c | d | e | f | g | h |
| Grup (1+2) | 1,928825 | 0 | 0 | -0,12754 | 0 | 0,011626 | -0,00158 | 0,0000249 |
| Grup (3+4) | 1,628249 | 0 | 0 | -0,08883 | 0 | 0,004869 | -0,0000061 | -0,000077 |
| Grup 5 | 2,127702 | 0 | 0 | -0,23704 | 0 | 0,043644 | -0,01011 | 0,000636 |



Şekil 9. Ankete göre grupların geçiş fiyatına bağlı olarak tercihlerinin değişimi [18]



Şekil 10. Modelden elde edilen tercihler ile tıkanıklık fiyatına bağlı ifade edilmiş tercihler

Çizelge 5. Ankette belirlenen ve model ile elde edilen toplu taşımanın tercih edilme oranları

| Ücret (\$) | Anket (%) | Model (%) |
|----------------|-----------|-----------|
| 0,6 | 13,64863 | 13,74467 |
| 2,2 | 27,32172 | 27,46805 |
| 3,8 | 57,44792 | 57,25297 |
| 5,4 | 63,30831 | 64,11965 |
| 7 | 100 | 99,99279 |
| $R^2=0,999872$ | | |

5. EMİNÖNÜ İLÇESİ İÇİN MODELİN ÇALIŞTIRILMASI

Bölgedeki bir fiyatlandırma uygulaması sonuçlarının ne olacağı konusunda fikir edinebilmek için, çeşitli senaryolar incelenmiştir. Bu senaryo çözümlenmeleri, hafta içi günlerde, 12 saatlik periyot boyunca (07:30-19:30 arasında) bölgeye sadece karayolu ile yaklaşık 120.000 araç gireceği göz önünde bulundurularak yapılmıştır. Otomobilinden vazgeçen kişilere bölge içinde 5 dakika aralıkla hizmet veren mekik otobüslerin sunulacağı kabul edilerek, bu ek hizmetin işletme ve ilk yatırım maliyetleri ile uygulamanın getirisi karşılaştırılarak bu tür bir projenin fizibilitesi incelenmiştir. Modelde dikkate alınmayan tek maliyet grubu otopark ve ücretlendirme sisteminin kurulmasıdır ki bu başlı başına ayrı bir çalışma gerektirmektedir. Ayrıca hava kirliliği, dışa bağımlı yakıt tüketimi ve gürültü kirliliğinin azaltılması gibi dışsal faydaların göz önüne alınması durumunda, getirinin daha büyük olacağı bir gerçektir.

5.1. Modelin Girdileri

Tıkanıklık Fiyatı Hesaplama Programı (TFHP) paketinde kullanılmak üzere, model kabullerinin de yansıtılmasıyla hazırlanan bir girdi seti, Çizelge 6'da görüldüğü gibidir.

Çizelge 6. Tıkanıklık fiyatı hesaplama programı (TFHP) girdileri

| Model Girdileri | |
|---|---------|
| Yıl Boyunca Fiyat Uygulaması Yapılan Gün Sayısı | 250 |
| Bölgeye Saatlik Araç Girişi (tş/sa) | 10.000 |
| Gün İçerisinde Uygulama Yapılan Toplam Saat | 12 |
| Otomobil Sahipliği Oranı (%) | 0,70 |
| Otobüs Eşdeğer Birim Oto Katsayısı | 2 |
| Otomobil Doluluğu (yolcu/tş) | 1,70 |
| Otobüs Doluluğu (yolcu/tş) | 68,0 |
| Otobüs Kapasite Kullanım Oranı | 0,80 |
| Otobüs Kapasitesi (yolcu/tş) | 85 |
| Otobüs Alım Maliyeti (\$/tş) | 200.000 |
| Paranın Yıllık Getirisi | 0,08 |
| Otobüs Rotasyon Uzunluğu (km) | 2,00 |
| Ortalama Yolculuk Mesafesi (km) | 3,00 |
| Otobüs Bilet Fiyatı (\$/yolculuk) | 1,00 |

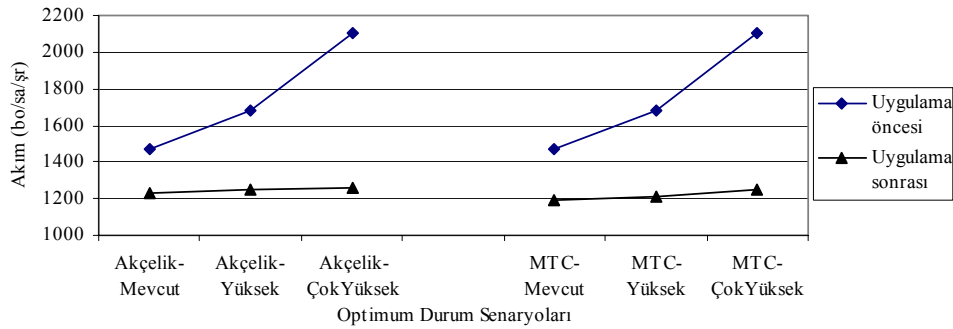
5.2. Modelin Çıktıları

Model, Akçelik ve MTC fonksiyonları kullanılarak çeşitli senaryolar için çalıştırılmıştır. Her bir fonksiyon için, önce “mevcut duruma yakın” akım değerleri, sonra “daha yüksek” akım değerleri, son olarak da “çok yüksek” akım değerlerinin dikkate alındığı senaryolar üretilmiştir. Ayrıca, bunlara ek olarak, model her optimum çözüm (optimum fiyatın bulunduğu denge noktası çözümü) senaryosunun yanı sıra, optimum fiyatın altında bir ücret alınması ve optimum fiyatın üzerinde bir ücret uygulanması durumları için de çalıştırılmıştır.

Model çıktıları, uygulama öncesi ve sonrası akım hızı (km/sa), akım (bo/sa/şerit), otomobil sayısı (araç/saat/şerit); kullanıcıdan istenecek tıkanıklık fiyatı (\$), eksilen otomobil sayısı (araç/saat/şerit), ek otobüs yolcusu (yolcu/saat), gerekli ek sefer sayısı (sefer/saat), sefer aralığı (dakika), rotasyon süresi (dakika), bir saatte yapılabilecek sefer sayısı, gerekli ek otobüs sayısı, toplam ek otobüs alım maliyeti (\$), günlük ve yıllık uygulama geliri (\$), tek otobüs alım maliyetinin geri ödeme süresi (yıl) başlıklarını içermektedir (Çizelge 7-9, EK’de).

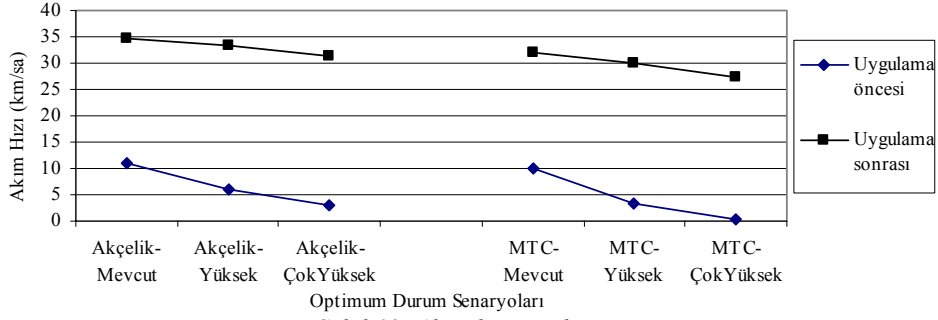
Trafik akımdaki artışların (Şekil 11) tıkanıklığı arttırarak, akımın hızını düşürdüğü (Şekil 12) ve bunun da tıkanıklık fiyatını yükselttiği (Şekil 13) görülmüştür. Trafik akım hızı olarak özellikle “yüksek” ve “çok yüksek” akımlarda, 0-10 km/sa aralığında kalan çok düşük değerlere rastlanmaktadır (Şekil 12). Bu değerler, araçların tekil hızları değil, trafik akımının ortalama hızı olup; aşırı tıkanıklık yaşanan durumlarda akım durma noktasına gelmekte ve oluşan kuyruklanmaların çözülmesi bazen saatler alabilmektedir. Optimum tıkanıklık fiyatının kullanılmasıyla, akımlarda % 15 ile % 40 arasında azalmalar olacağı öngörülmektedir (Şekil 11).

2007 yılı kordon sayımlarına göre Eminönü İlçesi’ne 07:30-19:30 saatleri arasında 117.269 taşıtın giriş yaptığı belirlenmiştir (Çizelge 2). Tıkanıklık fiyatlandırması uygulamasının trafik hacminde %15’lik bir iyileşme getirmesi durumunda bunun yaklaşık 96.679’a düşeceği; %40’lık bir iyileşme durumunda ise 70.361’e kadar ineceği tahmin edilmektedir. Bölgeye giriş noktalarında bu taşıtlardan dolayı tıkanıklık yaşanmasa bile, en iyi ihtimalle, bölge içinde daha düşük dereceli yollarda hareketlerine devam ettikleri sürece, tıkanıklık etkileri söz konusu olabilecektir. Zaten, modelde dikkate alınan tıkanıklık koşulları da bu durumu temsil etmek amacıyla oluşturulmuştur.

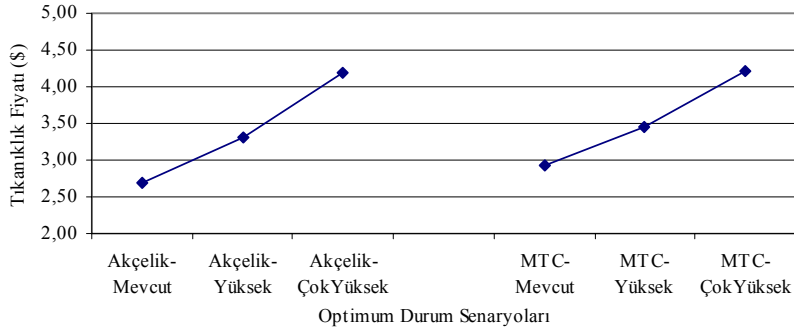


Şekil 11. Akımın değişimi

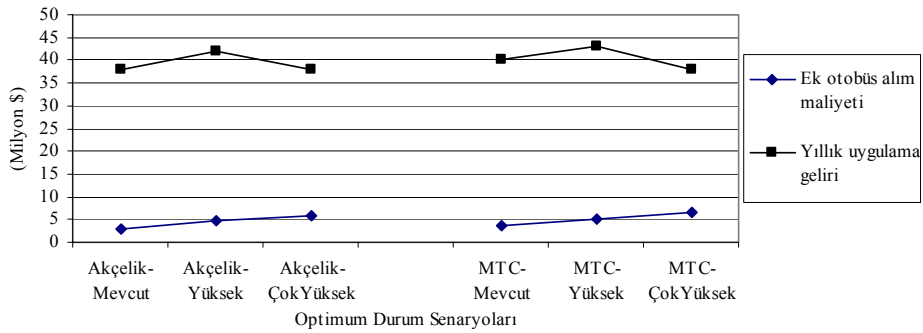
Yine benzer şekilde akım hızlarında ise 20-30 km/sa'lik yükselmeler beklenebileceği anlaşılmaktadır (Şekil 12). Akım hızlarını bu düzeye çıkaran optimum tıkanıklık fiyatları, Akçeliklik fonksiyonu için 2,68-4,28 \$ aralığında; MTC fonksiyonu içinse 2,93-4,22 \$ aralığında elde edilmiştir (Şekil 13).



Şekil 12. Akım hızının değişimi



Şekil 13. Kullanıcılardan istenecek tıkanıklık fiyatının değişimi



Şekil 14. Uygulama geliri ve ek otobüs maliyetinin değişimi

Yıllık uygulama gelirlerinin, 37-43 milyon \$ aralığında seyrettiği görülmektedir (Şekil 14). Tüm senaryolarda, uygulamanın kendini 1 yılın altındaki bir sürede amorti edebileceği

Eminönü İçin Bir Trafik Tıkanıklık Fiyatlandırması Modeli

tahmin edilmektedir (Çizelge 7-9'daki, "Ek otobüs alım maliyetinin geri ödeme süresi" değeri).

Optimum fiyatın altında ücret talep edilmesi durumunda uygulamanın akım değerlerinde ve trafik hızlarında daha zayıf iyileşmeler sağladığı ve gelirlerin düştüğü anlaşılmaktadır (Çizelge 7-9'daki, "Yıllık uygulama geliri" değeri). Bunun tam tersine, optimum fiyatın üzerinde ücret talep edilmesi durumunda ise, akım değerlerinin gereğinden fazla düşmesine ve trafik hızlarının fazlasıyla artmasına sebep olunacağı görülmektedir.

Sadece, "mevcut duruma yakın" tıkanıklık koşullarının modellendiği senaryolarda bile, akım değerlerinde, % 15-20 arasında azalma, trafik hızlarında 20 km/sa civarında bir artış beklenebileceği ve tıkanıklıktan doğan maliyetin kullanıcı tarafından üstlenilmesiyle oluşacak yıllık uygulama gelirinin 37-40 milyon \$ seviyelerinde gerçekleşebileceği bulgusu, umut vericidir.

6. SONUÇ

Bu çalışmanın ışığında, Eminönü Bölgesinde bir tıkanıklık fiyatlandırması uygulamasının yapılabilir olduğu ve trafik koşullarının iyileştirilmesinde, zararlı emisyonlarla, zaman ve yakıt tüketiminin azaltılmasında faydalı olacağına dair güçlü ve olumlu bir kanaate erişilmiştir.

Model çıktılarında görüldüğü gibi, Akçelik ve MTC hız-akım modelleri birbirine yakın değerler vermektedir. Genel bir değerlendirme yapıldığında projenin kendini her koşulda bir yılın altında amorti edebildiği saptanmıştır. 2007 yılı sayımlarına göre, Eminönü İlçesi'ne 07:30-19:30 saatleri arasında yaklaşık olarak 117.269 taşıtın giriş yaptığı belirlenmiştir. Model çıktılarına göre, trafikte görülecek %15'lik bir azalmayla bölgeye girişlerde yaklaşık 18.000 taşıtlık bir düşüş yaşanacağı; trafikteki %40'lık bir azalma ile de 47.000 taşıtlık bir düşüşün ortaya çıkacağı tahmin edilmektedir. Optimum fiyatlandırma koşullarında, otomobil kullanıcıların araçlarını kullanmamaları durumunda ortaya çıkacak ek lastik tekerlekli toplu taşıma aracı kapasitesi ihtiyacının karşılanması için, yapılacak 5'er dakika sıklıktaki seferlere göre, 14 ila 33 adet otobüsün temin edilmesi gerekmektedir. Bölge sınırlarında park et-devam et şeklinde kullanılacak birkaç otopark ile bölge içi ek mekik otobüslerin sunulmasıyla, bu tür bir çalışma, yapılabilir görünmektedir.

Elbette bu tip uygulamaların toplumsal ve politik olarak kabul görmesinin zor olduğu bilinmektedir; ancak zaman zaman cesur girişimlerle, yeni yöntemlerin uygulamaya konması kaçınılmaz duruma gelmektedir. Bölgede yapılan anket çalışmasında %44'lük bir kesimin bu tür bir uygulamanın faydalı olacağını düşündüğü belirlenmiştir. Deneklerin % 86'sının trafik tıkanıklığını önemli bir problem olarak görmesi de çalışmalar için destek vaad etmektedir. Bölgenin bir tıkanıklık fiyatlandırması uygulaması için haklı sebeplere ve uygun yerleşim koşullarına sahip olduğu görülmektedir. Bölge, toplu taşıma araçlarıyla ulaşım açısından zengin olup, özellikle de raylı sistemlerin desteğine sahiptir. İleride İstanbul'un iki yakasının raylı sistemle birleştirilmesiyle, bölge daha da avantajlı duruma gelecektir. Özellikle, Galata ve Unkapanı Köprüleri'nin konumu, ücretlendirme uygulamasında kontrol açısından son derece uygundur. Hali hazırda kullanılmakta olan OGS sistemi bölgedeki uygulamalar açısından çok kullanışlıdır.

Çalışmanın geliştirilmesi konusunda atılabilecek ilk adım, homojen trafik koşulları kabulünün ortadan kaldırılması ve en azından bölge içindeki farklı tipteki yollarda farklı hız-akım ilişkilerinin kullanılmasıyla, temsil yeteneği daha yüksek bir modelleme yapılmasıdır. İkinci adım olarak, tercih modelinin geliştirilmesi amacıyla yolculuk süresinin bir değişken olarak modele dahil edilmesi söz konusu olabilir. Bir diğer gelişmeye açık konu ise anketlerdir. Anketlerin uygulanması sırasında, örneğin popülasyonu daha iyi temsil edebilmesi amacıyla, farklı bir örneklem çalışması yapılarak, cinsiyet, eğitim durumu, gelir düzeyi, yolculuk amacı gibi başlıklar altında seçenekler için özel bir örneklem hacmi belirlenebilir.

Uygulamanın altyapısının oluşturulması ise, gelecek vaad eden bir araştırma konusudur. Modeller ve simülasyon yöntemleri kullanılarak gerçekleştirilecek çalışmalarda, daha uygun çözümlere ulaşmak içinse, her zaman daha fazlası yapılabilir.

Teşekkür

Yazarlar, Haziran 2008’de, Projem İstanbul kapsamında tamamlanan “Tıkanıklık Ücretlendirmesi Uygulamalarının Eminönü Bölgesi’nde Bir Trafik İyileştirme Yöntemi Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması” adlı Araştırma Projesini destekleyen İstanbul Büyükşehir Belediyesi’ne ve TFHP yazılımının geliştirilmesindeki katkılarından dolayı İnşaat Y. Müh. Ufuk Kırbas’a teşekkürlerini sunarlar.

Semboller

- a : Türe özgü yararlılık fonksiyonu katsayısı
 b : Yararlılık fonksiyonu katsayısı
 c : Yararlılık fonksiyonu katsayısı
CO : Karbonmonoksit
CO₂ : Karbondioksit
 d : Yararlılık fonksiyonu katsayısı
 e : Yararlılık fonksiyonu katsayısı
 f : Yararlılık fonksiyonu katsayısı
 F_{opt} : Optimum tıkanıklık fiyatı (\$)
 g : Yararlılık fonksiyonu katsayısı
 h : Yararlılık fonksiyonu katsayısı
HC : Hidrokarbonlar
 J_a : Gecikme katsayısı
 k_i : Hıza bağlı maliyet bileşenleri
 MM : Marjinal maliyet (\$)

Eminönü İçin Bir Trafik Tıkanıklık Fiyatlandırması Modeli

| | |
|-----------|--|
| M_{otb} | : Otobüs bileti fiyatı (\$) |
| M_{oto} | : Otomobil kullanıcıları tıkanıklık fiyatı (\$) |
| MTC | : Metropolitan Transportation Commission |
| NO_x | : Azotoksitler |
| OEK | : Otomobil eşdeğerlik katsayısı |
| OM | : Ortalama maliyet (\$) |
| OMB | : Emisyon maliyetleri hariç ortalama maliyet (\$) |
| P_{otb} | : Kullanıcıların otobüsü tercih etme oranı |
| Q | : Kapasite (tş/sa/şr) |
| q | : Trafik akımı (tş/sa) |
| q_{opt} | : Optimum akım (tş/sa) |
| T | : Akım periyodu (saat) |
| t | : Birim mesafe başına düşen ortalama yolculuk süresi (saat/km) |
| t_0 | : Birim mesafe başına düşen serbest akımda yolculuk süresi (saat/km) |
| TFHP | : Tıkanıklık Fiyatı Hesaplama Programı |
| TM | : Toplam Maliyet (\$) |
| TTF_i | : Teorik tıkanıklık fiyatı (\$) |
| u | : Kullanıcı yararlılık fonksiyonu |
| V | : Akım hızı (km/sa) |
| VOC | : Uçucu organik bileşikler |
| x | : Doygunluk derecesi (q/Q) |

Kaynaklar

- [1] COMSIS and ITE, (1993), "Implementing Effective Travel Demand Management Measures: Inventory of Measures and Synthesis of Experience", Report No. DOT-94-02, Washington D.C.
- [2] Litman, T. A., (2003), "Reinventing Transportation: Exploring the Paradigm Shift Needed to Reconcile Sustainability and Transportation Objectives", Victoria Transport Policy Institute, <http://www.vtpi.org>.
- [3] Litman, T. A. ve Burwell, D., (2003) "Issues in Sustainable Transportation", Victoria Transport Policy Institute, <http://www.vtpi.org>.

- [4] EC, (2001), “White Paper - European Transport Policy for 2010: Time to Decide”, http://ec.europa.eu/comm/transport/white_paper/documents/doc/lb_texte_complet_en.pdf.
- [5] Li, M. Z. F., (2002), “The Role of Speed-Flow Relationship in Congestion Pricing With an Application to Singapore”, *Transportation Research Part B* 36, 731-754.
- [6] Pigou, A.C., (1920), “Wealth and Welfare”, Macmillan, London.
- [7] Walters, A.A., (1961), “The Theory and Measurement of Private and Social Cost of Highway Congestion”, *Econometrica*, 29(4), 676-697.
- [8] Smeed, R. J., (1968), “Traffic Studies and Urban Congestion”, *Journal of Transport Economics and Policy* 2, 33-70.
- [9] Button, K. J., (1982), “Road Pricing: Some Practical and Economic Considerations for Its Introduction in Britain”, *Logistics and Transportation Review* 18, 353–371.
- [10] Dawson, J. A. L. ve Catling, I., (1986), “Electronic Road Pricing in Hong Kong”, *Transportation Research A* 20, 129–134.
- [11] Hau, T. D., (1990), “Electronic Road Pricing: Developments in Hong Kong 1983-89”, *Journal of Transport Economics and Policy* 24, 203–214.
- [12] Transport for London, (2004), “Congestion Pricing: Update on Scheme Impacts and Operations February 2004”, TFL Report, London.
- [13] Transport for London, (2007), “Central London Congestion Charging”, 5. Annual Impact Monitoring Report, <http://www.tfl.gov.uk/assets/downloads/fifth-annual-impacts-monitoring-report-2007-07-07.pdf>.
- [14] Swedish Road Administration, (2008), “Congestion Tax in Stockholm”, http://www.vv.se/templates/page3___17154.aspx.
- [15] NYC Municipality, (2008), “PlanYC2030 Report”, Transportation Chapter, http://www.nyc.gov/html/planyc2030/downloads/pdf/report_transportation.pdf.
- [16] Yüksel, H., (2005) “Toplu Taşımacılığın Geliştirilmesi için bir Tıkanıklık Fiyatlandırması Modeli Önerisi”, YTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İstanbul.
- [17] Yüksel H., (2005), “İstanbul’da Özel Otomobiller İçin Bir Teorik Tıkanıklık Fiyatı Hesaplama Modeli Önerisi”, *Sigma Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 2005/4, 137-150.
- [18] Yüksel, H. ve Yardım, M. S., (2008), “Tıkanıklık Ücretlendirmesi Uygulamalarının Eminönü Bölgesi’nde Bir Trafik İyileştirme Yöntemi Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması”, İBB desteğiyle Projem İstanbul kapsamında hazırlanan Araştırma Projesi.
- [19] Ison, S., (2000), “Local Authority and Academic Attitudes to Urban Road Pricing: A UK Perspective”, *Transport Policy* 7, 269-277.

Eminönü İçin Bir Trafik Tıkanıklık Fiyatlandırması Modeli

- [20] Lindsey, C.R. ve Verhoef, E.T., (1999), "Congestion Modelling", Tinbergen Institute Discussion Paper, No. 99/091-3, Amsterdam.
- [21] Proost, S., Van Dender, K., Courcelle, C., De Borger, B., Peirson, J., Sharp, D., Vickerman, R., Gibbons, E., O'Mahony, M., Heaney, Q., Van den Bergh, J. ve Verhoef, E., (2002), "How Large is the Gap Between Present and Efficient Transport Prices in Europe?", *Transportation Policy* 9, 41-57.
- [22] Zegras, C., (1998), "The Costs of Transportation in Santiago de Chile: Analysis and Policy Implications", *Transport Policy* 5, 9-21.
- [23] Haworth, N. ve Symmons, M., (2001), "The Relationship between Fuel Economy and Safety Outcomes", Monash University Accident Research Centre, Report No. 188.
- [24] Litman, T. A., (2003), "Transportation Cost and Benefit Analysis. Techniques, Estimates and Implications", Victoria Transport Policy Institute, <http://www.vtpi.org>.
- [25] Blum, U., (1998), "Positive Externalities and the Public Provision of Transportation Infrastructure: An Evolutionary Perspective", *Journal of Transportation and Statistics*, 1(3), 81-88.
- [26] Mayeres, I., Ochelen, S. ve Proost, S., (1996), "The Marginal External Costs of Urban Transport", *Transportation Research D*, 1(2), 111-130.
- [27] Greenshields, B. D., (1934), "A Study of Traffic Capacity", *Proceedings of the Highway Research Board* 14, 448-477.
- [28] Singh, R. (1999), "Improved Speed-Flow Relationships: Application to Transportation Planning Models", The 7th TRB Conference on Application of Transportation Planning Methods, Boston, Massachusetts.
- [29] Akçelik, R., (2003), "Speed-Flow Models for Uninterrupted Traffic Facilities", Akcelik and Associates, Technical Report, www.sidrasolutions.com/traffic_resources_downloads.htm.
- [30] Akçelik, R. (1991), "Travel Time Functions for Transport Planning Purposes: Davidson's Function, Its Time-Dependent Form and an Alternative Travel Time Function", *Australian Road Research* 21(3), 49-59 (Minor revisions: December 2000).
- [31] Calfee, J. ve Winston, C., (1998), "The Value of Automobile Travel Time: Implications for Congestion Policy", *Journal of Public Economics* 69, 83-102.
- [32] Li, M. Z .F., (1999), "Estimating Congestion Toll by Using Traffic Count Data-Singapore's Area Licensing Scheme", *Transportation Research Part-E*, 35, 1-10.
- [33] Mackie, P. J., Jara-Diaz, S. ve Fowkes, A. S., (2001), "The Value of Travel Time Savings in Evaluation", *Transportation Research Part E*, 37, 91-106.
- [34] Karakuş, S. Z., (2001), "Benzinli Araçlardan Kaynaklanan Hidrokarbonların Ozon Oluşumuna Etkisinin İncelenmesi", YTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.

- [35] Holland, M. ve Watkiss, P., (2002), “Estimates of Marginal External Costs of Air Pollution in Europe”, European Commission DG Environment.
- [36] OECD, (2003), “GDP per Capita for OECD Countries. National Accounts of OECD Countries, Main Aggregates Vol 1, 2003”, OECD Report.
- [37] İBB Planlama ve İmar Müdürlüğü, (2003), “İBB Tarihi Yarımada Eminönü-Fatih 1/5000 Ölçekli Koruma Amaçlı İmar Planı Raporu”, İstanbul.
- [38] Okubay, M., (2008), “Bölgesel Otopark Yönetimi ve Stratejileri: Tarihi Yarımada-Eminönü Bölgesi Örneği”, YTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- [39] Ortuzar, J.dD. ve Willumsen, L. G., (1990), “Modelling Transport”, John Wiley and Sons Ltd., England.

EK

Çizelge 7. Tıkanıklık fiyatı hesaplama programı sonuçları (Mevcut akım durumu)

| MODEL SONUÇLARI - MEVCUT AKIM | | | | | | |
|---|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Kullanılan Hız-Akım Modeli | Akçelik | | | MTC | | |
| Senaryo Tipi | Optimum | Opt. Altı | Opt. Üstü | Optimum | Opt. Altı | Opt. Üstü |
| Uygulama Öncesi Akım Hızı (km/sa) | 10,86 | 10,86 | 10,86 | 10,08 | 10,08 | 10,08 |
| Uygulama Öncesi Akım (bo/sa/şerit) | 1472 | 1472 | 1472 | 1472 | 1472 | 1472 |
| Uygulama Öncesi Otomobil Sayısı (araç/saat/şerit) | 1441 | 1441 | 1441 | 1441 | 1441 | 1441 |
| Uygulama Sonrası Akım Hızı (km/sa) | 34,78 | 25,88 | 42,81 | 32 | 21,98 | 43,53 |
| Uygulama Sonrası Akım (bo/sa/şerit) | 1230 | 1306 | 926 | 1188 | 1306 | 926 |
| Kullanıcıdan İstenecek Tıkanıklık Fiyatı (\$) | 2,68 | 1,5 | 4 | 2,93 | 1,5 | 4 |
| Uygulama Sonrası Otomobil Sayısı (araç/saat/şerit) | 1187 | 1266 | 866 | 1146 | 1266 | 866 |
| Eksilen Otomobil Sayısı (araç/saat/şerit) | 254 | 175 | 575 | 295 | 175 | 575 |
| Ek Otobüs Yolcusu (yolcu/saat) | 977 | 787 | 1993 | 1197 | 868 | 1978 |
| Gerekli Ek Sefer Sayısı (sefer/saat) | 42 | 29 | 96 | 50 | 29 | 96 |
| Sefer Aralığı (dakika) | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| Rotasyon Süresi (dakika) | 10,35 | 13,91 | 8,41 | 11,25 | 16,38 | 8,27 |
| Bir Saatte Yapılabilecek Sefer Sayısı (sefer/ts/sa) | 3 | 3 | 4 | 3 | 3 | 4 |
| Gerekli Ek Otobüs Sayısı | 14 | 12 | 29 | 18 | 13 | 29 |
| Toplam Ek Otobüs Alım Maliyeti (\$) | 2.800.000 | 2.400.000 | 5.800.000 | 3.600.000 | 2.600.000 | 5.800.000 |
| Günlük Uygulama Geliri (\$) | 155.706 | 94.131 | 194.562 | 166.488 | 94.131 | 194.562 |
| Yıllık Uygulama Geliri (\$) | 37.783.059 | 22.748.212 | 46.061.191 | 40.280.209 | 22.748.212 | 46.061.191 |
| Ek Otobüs Alım Maliyetinin Geri Ödeme Süresi (yıl) | < 1 | < 1 | < 1 | < 1 | < 1 | < 1 |

Eminönü İçin Bir Trafik Tıkanıklık Fiyatlandırması Modeli

Çizelge 8. Tıkanıklık fiyatı hesaplama programı sonuçları (Yüksek akım durumu)

| Kullanılan Hız-Akım Modeli | MODEL SONUÇLARI - AKIM YÜKSEK | | | | | |
|---|-------------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| | Akçelik | | | MTC | | |
| Senaryo Tipi | Optimum | Opt. Altı | Opt. Üstü | Optimum | Opt. Altı | Opt. Üstü |
| Uygulama Öncesi Akım Hızı (km/sa) | 5,84 | 5,84 | 5,84 | 3,18 | 3,18 | 3,18 |
| Uygulama Öncesi Akım (bo/sa/şerit) | 1682 | 1682 | 1682 | 1682 | 1682 | 1682 |
| Uygulama Öncesi Otomobil Sayısı (araç/saat/şerit) | 1647 | 1647 | 1647 | 1647 | 1647 | 1647 |
| Uygulama Sonrası Akım Hızı (km/sa) | 33,26 | 10,68 | 43,27 | 29,91 | 9,86 | 44,32 |
| Uygulama Sonrası Akım (bo/sa/şerit) | 1247 | 1476 | 856 | 1214 | 1476 | 856 |
| Kullanıcıdan İstenecek Tıkanıklık Fiyatı (\$) | 3,31 | 2 | 5 | 3,46 | 2 | 5 |
| Uygulama Sonrası Otomobil Sayısı (araç/saat/şerit) | 1213 | 1430 | 778 | 1167 | 1430 | 778 |
| Eksilen Otomobil Sayısı (araç/saat/şerit) | 434 | 217 | 869 | 480 | 217 | 869 |
| Ek Otobüs Yolcusu (yolcu/saat) | 1540 | 1530 | 2571 | 1753 | 1628 | 2544 |
| Gerekli Ek Sefer Sayısı (sefer/saat) | 65 | 31 | 124 | 70 | 31 | 124 |
| Sefer Aralığı (dakika) | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| Rotasyon Süresi (dakika) | 10,82 | 33,71 | 8,32 | 12,03 | 36,51 | 8,12 |
| Bir Saatte Yapılabilecek Sefer Sayısı (sefer/ts/sa) | 3 | 2 | 4 | 3 | 2 | 4 |
| Gerekli Ek Otobüs Sayısı | 23 | 22 | 38 | 26 | 24 | 37 |
| Toplam Ek Otobüs Alım Maliyeti (\$) | 4.600.000 | 4.400.000 | 7.600.000 | 5.200.000 | 4.800.000 | 7.400.000 |
| Günlük Uygulama Geliri (\$) | 175.121 | 118.881 | 204.673 | 179.875 | 118.881 | 204.673 |
| Yıllık Uygulama Geliri (\$) | 42.018.568 | 28.886.500 | 47.824.454 | 43.073.292 | 28.886.500 | 47.824.454 |
| Ek Otobüs Alım Maliyetinin Geri Ödeme Süresi (yıl) | < 1 | < 1 | < 1 | < 1 | < 1 | < 1 |

Çizelge 9. Tıkanıklık fiyatı hesaplama programı sonuçları (Çok yüksek akım durumu)

| Kullanılan Hız-Akım Modeli | MODEL SONUÇLARI - AKIM ÇOK YÜKSEK | | | | | |
|---|-----------------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| | Akçelik | | | MTC | | |
| Senaryo Tipi | Optimum | Opt. Altı | Opt. Üstü | Optimum | Opt. Altı | Opt. Üstü |
| Uygulama Öncesi Akım Hızı (km/sa) | 3,01 | 3,01 | 3,01 | 0,36 | 0,36 | 0,36 |
| Uygulama Öncesi Akım (bo/sa/şerit) | 2103 | 2103 | 2103 | 2103 | 2103 | 2103 |
| Uygulama Öncesi Otomobil Sayısı (araç/saat/şerit) | 2059 | 2059 | 2059 | 2059 | 2059 | 2059 |
| Uygulama Sonrası Akım Hızı (km/sa) | 31,45 | 5,82 | 41,21 | 27,29 | 3,16 | 39,61 |
| Uygulama Sonrası Akım (bo/sa/şerit) | 1264 | 1684 | 1065 | 1245 | 1684 | 1065 |
| Kullanıcıdan İstenecek Tıkanıklık Fiyatı (\$) | 4,18 | 3 | 6 | 4,22 | 3 | 6 |
| Uygulama Sonrası Otomobil Sayısı (araç/saat/şerit) | 1168 | 1617 | 966 | 1152 | 1617 | 966 |
| Eksilen Otomobil Sayısı (araç/saat/şerit) | 891 | 442 | 1093 | 907 | 442 | 1093 |
| Ek Otobüs Yolcusu (yolcu/saat) | 2039 | 3415 | 2204 | 2255 | 5899 | 2246 |
| Gerekli Ek Sefer Sayısı (sefer/saat) | 84 | 42 | 104 | 86 | 42 | 104 |
| Sefer Aralığı (dakika) | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| Rotasyon Süresi (dakika) | 11,45 | 61,8 | 8,74 | 13,19 | 114,04 | 9,09 |
| Bir Saatte Yapılabilecek Sefer Sayısı (sefer/ts/sa) | 3 | 1 | 4 | 3 | 1 | 4 |
| Gerekli Ek Otobüs Sayısı | 30 | 50 | 32 | 33 | 87 | 33 |
| Toplam Ek Otobüs Alım Maliyeti (\$) | 6.000.000 | 10.000.000 | 6.400.000 | 6.600.000 | 17.400.000 | 6.600.000 |
| Günlük Uygulama Geliri (\$) | 161.049 | 138.324 | 195.694 | 161.237 | 138.324 | 195.694 |
| Yıllık Uygulama Geliri (\$) | 37.996.875 | 33.447.954 | 46.120.324 | 37.992.711 | 33.447.954 | 46.120.324 |
| Ek Otobüs Alım Maliyetinin Geri Ödeme Süresi (yıl) | < 1 | < 1 | < 1 | < 1 | < 1 | < 1 |