

**A MODEL PROPOSAL FOR CALCULATING THE THEORETICAL
CONGESTION PRICE FOR PRIVATE AUTOMOBILES IN ISTANBUL****Haluk YÜKSEL****Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Yıldız-İSTANBUL***Geliş/Received: 09.09.2005 Kabul/Accepted: 21.11.2005****ABSTRACT**

The congestion pricing method is one of the most promising solutions that uses the existing infrastructure, respects the economical and social equity and is environment friendly. for urban transportation problems. One of the most important steps in planning of such an application is calculating the theoretical congestion price with the help of a dynamic model, correctly. In this paper a congestion price calculation model that is developed for use in Turkey, is proposed. The trip time, fuel consumption and fuel emission costs are introduced in the models as costs that vary with the speed of the traffic flow. To serve this purpose a speed-flow relation is chosen and calibrated to represent the traffic conditions.

Keywords: Congestion pricing, Urban transportation, Speed-Flow relationship.

**İSTANBUL'DA ÖZEL OTOMOBİLLER İÇİN BİR TEORİK TIKANIKLIK FİYATI HESAPLAMA
MODELİ ÖNERİSİ****ÖZET**

Kentçi ulaşım konusunda üretilen çözümler arasında mevcut altyapıdan en iyi şekilde yararlanarak, ekonomik ve sosyal eşitliği gözeten ve çevreci bir yaklaşım sergileyen önemli bir yaklaşım da tıkanıklık fiyatlandırması yöntemidir. Bu yöntemin planlamasında önemli aşamalardan birisi de teorik tıkanıklık fiyatının dinamik bir model yardımıyla doğru olarak hesaplanmasıdır. Bu çalışmada bu amaçla tamamen ülkemize yönelik olarak geliştirilen bir tıkanıklık fiyatı hesaplama modeli önerilmiştir. Modele yolculuk zamanı, yakıt tüketimi ve kirletici emisyonu maliyetleri ortalama trafik hızına göre değişken olarak dahil edilmiştir. Bu amaçla bir hız akım bağıntısı seçilerek trafik koşullarını temsil edecek şekilde kalibre edilmiştir.

Anahtar Sözcükler:Tıkanıklık fiyatlandırması, Kentçi ulaşım, Hız-akım ilişkisi.

1. GİRİŞ

Günümüzde kentçi ulaşım konusunda üretilen çözümler, mevcut altyapıdan en iyi şekilde yararlanmak, ekonomik ve sosyal eşitliği gözetmek, yolculuk talebini güvenli, güvenilir, konforlu ve ekonomik şekilde gerçekleştirmek ve çevreci bir yaklaşım sergilemek zorundadır. Özel otomobil kullanımını azaltırken, sunulacak cazip hizmetlerle toplu taşımacılığın payını arttırmak bu çözümlerin özünü oluşturmaktadır.

Bu çözümler arasında ümit vaat edenlerden birisi de trafik tıkanıklığının fiyatlandırılması yaklaşımıdır. Günümüzde geçerli olan serbest piyasa ekonomisi koşullarında ulaşım hizmetlerinin fiyatlandırılması önemli bir sorundur. Bir mal ya da hizmetin maliyetinin

* e-posta: hyuksel@yildiz.edu.tr; Tel: (0212) 259 70 70 / 2338

kullanıcı tarafından tam olarak karşılanması ekonomik dengelerin bozulmaması açısından gereklidir.

Özel otomobille yolculuk eden kişinin yolculuk kararı aşamasında dikkate aldığı kişisel maliyetler aslında ortaya çıkan maliyetin yalnızca bir kısmıdır. Trafığe özel otomobiliyle katılan bir kişi, trafikteki diğer yolculara ve toplumun geri kalanına da bir takım maliyetler yüklemektedir. Bu maliyetler toplum tarafından, hatta özel otomobil sahibi dahi olmayan kesim tarafından da karşılanmaktadır. Bu durum sosyal eşitlik açısından önemli bir sorun oluşturmaktadır.

2. TIKANIKLIK FİYATI HESAPLAMA MODELİNİN ESASLARI

Bir tıkanıklık fiyatı uygulamasında özel otomobil kullanıcılarından belirli bir güzergaha ya da bölgeye giriş yapılabilmesi için bir fiyat talep edilir. Bu fiyatın belirlenmesi planlama aşamasının en kritik noktasını oluşturmaktadır.

Tıkanıklık fiyatı üzerinde etkili olan çok sayıda faktör vardır. En belirleyici faktörlerden biri ise uygulamanın yapılacağı yolda ya da bölgede (homojen trafik ve yol koşullarına sahip olduğu düşünülerek) trafik hızı ve trafik akımı arasındaki ilişkiyi veren bağıntıdır. Bu bağıntı sayesinde akımdaki değişikliklerin, akım hızı, dolayısıyla da yolculuk süresi üzerindeki etkisi belirlenebilir.

Fiyatı belirleyici diğer bir faktör ise yolculuk maliyetidir. 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 (genelleştirilmiş maliyet), yakıt tüketimi, araç bakım-onarım, yedek parça masrafları, vergi ve sigortalar ile yolculuk zamanının 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 yolculuk süreleri küçük bir miktar artacaktır. Bu durumda yolculuk yapmanın marjinal kişisel maliyeti artacaktır. Artan marjinal kişisel maliyet kişilerin yolculuk yapma kararları üzerinde etkilidir. Diğer yandan trafikte o anda bulunan tüm özel otomobil kullanıcılarının maliyetlerindeki artışın toplam değeri son olarak trafığe katılan araç kullanıcısının sebep olduğu ek maliyettir. Bu ise marjinal maliyet olarak adlandırılır [8]. Gerçekte maliyetlerin bir kısmının da dışsal maliyetler olduğunu dikkate almak gereklidir [10]. Örneğin, aynı kullanıcının sebep olduğu toplam hava kirliliği maliyeti, bu marjinal maliyetin dışsal kısmını oluşturmaktadır.

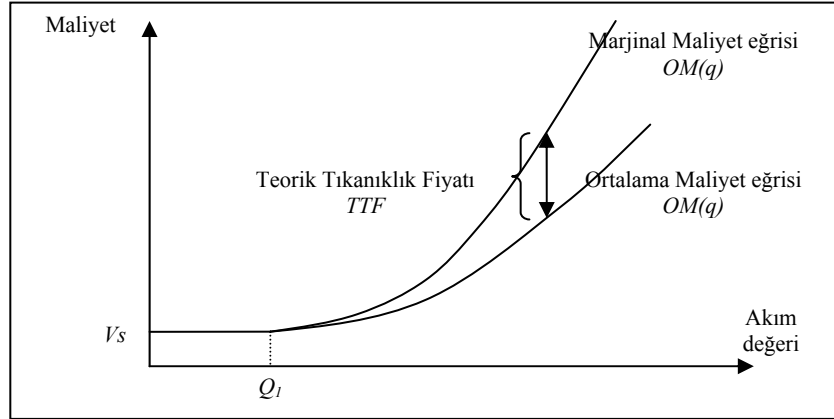
Tüm bu maliyetler yolculuk zamanına ve/veya ortalama akım hızına bağlı olarak değişmektedir. Böylece bir özel aracın trafığe katılmakla sebep olduğu maliyetin tamamını hesaplamak teorik olarak mümkündür. Oysa bu maliyetin önemli bir kısmı kullanıcıdan talep edilmemekte ve diğer kullanıcılar ya da toplumun başka kesimleri tarafından karşılanmaktadır. Bu ise hem serbest fiyatlandırma ilkelerine, hem toplumsal eşitlik ve refah ilkelerine ters düşen bir durumdur.

Şekil 1.1'de $MM(q)$ 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 marjinal maliyet hızla ortalama maliyetten 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 teorik tıkanıklık fiyatıdır.

Tıkanıklık fiyatının bulunması için, temel ekonomi ve trafik akım kuramlarından faydalanılarak oluşturulmuş olan hız-akım ilişkisinden faydalanılarak marjinal maliyetin bulunması yöntemi benimsenmiştir. Ancak modelin araştırmalar sırasında karşılaşılan çalışmalardan ayrıldığı ilk nokta, yalnızca araç sahipliği maliyetleri, yakıt tüketimi ve zaman maliyetinin bulunduğu genelleştirilmiş maliyet değil, dışsal maliyetlerin de hesaba katılmasıdır.

A Model Proposal for Calculating the Theoretical...

İkinci fark ise yakıt tüketiminin km başına ortalama bir değer olarak değil akım hızına bağlı olarak değişecek şekilde modele dahil edilmesidir.



Şekil 1.1. Ortalama ve marjinal maliyet eğrileri ve teorik tıkanıklık fiyatı

Dışsal maliyet kalemlerinin çok çeşitli olması ve parasal karşılıklarının bulunmasındaki zorluk araştırmalar sonucunda ortaya çıkmıştır. Modelin sağlığı açısından ülkemizdeki istatistiksel çalışmaların azlığı da gözönünde bulundurularak, dışsal maliyet kalemlerinden pek çoğu elenmiştir. Hava ve gürültü kirliliğinin modele dahil edilmesi planlanmış olsa da, gürültü kirliliği maliyetinin parasal karşılığının bulunması konusunda gerçekçilikten uzak kalınacağı anlaşılmıştır. Yurtdışında gürültü maliyetinin parasal karşılığı bulunurken genellikle kent sakinlerinin gürültü seviyesi düşük konutları tercih etmesinden yola çıkılarak, emlak değerleri ile gürültü seviyesi arasında bir ilişki bulunarak desibel başına düşen parasal değerlerin hesaplandığı görülmüştür. Oysa ülkemizde bir konutun önünden ana cadde geçmesi durumunda, belediyelerin konut sahibinden, konut değeri arttığı için şerefiye adıyla bir ek bedel talep ettiği düşünüldüğünde, gürültü maliyetinin emlak fiyatlarıyla bu şekilde ilişkilendirilemeyeceği ve yurtdışından alınacak değerlerin burada kullanılmasının anlamlı olmayacağı anlaşılmıştır. Hava kirliliği maliyetlerinin parasal karşılıkları ise hava kirliliğinden kaynaklanan sağlık sorunlarının tedavisi ve işgücü kaybıyla ölçülebilmektedir. Bu değerlerin ülkemize uyarlanması olasıdır. Böylece kirletici maddelerin gram başına düşen parasal karşılıkları modele dahil edilmiştir. İstanbul'da özel araçların yaş ve motor özelliklerine göre dağılımları dikkate alınarak buna uygun km başına düşen hız-yakıt tüketimi ve hız-kirletici emisyonu bağıntıları bulunarak kullanılmıştır. Dikkat edilirse kirletici maliyetleri de modele, akım hızıyla emisyon miktarlarının değişimi dikkate alınacak şekilde dahil edilmiştir.

Bu temel yaklaşımın ışığında İstanbul'da kullanılacak optimum tıkanıklık fiyatını hesaplamak için bir çalışma gerçekleştirilmiştir.

Çalışmanın ilk aşaması, kullanıcı maliyetlerinin hız-akım bağıntısı ile birlikte kullanılarak her akım değerine karşılık gelen km başına ortalama ve marjinal maliyetlerin hesaplanmasıdır. Ardından marjinal ve ortalama maliyetlerden faydalanılarak her akım değerine karşılık gelen teorik tıkanıklık fiyatları bulunacaktır.

2.1. Hız-Akım Bağıntısının Seçilmesi ve Kalibrasyonu

Tıkanıklık uygulaması yapılacak güzergahta/bölgede yol özelliklerinin benzer olduğu kabulüyle, bu yoldaki akım-hız ilişkisini verecek bir bağıntı, modelin temelini oluşturmaktadır. Literatürde yolculuk süresi-akım ya da hız-akım ilişkisini veren pek çok bağıntı vardır.

Bu bağıntılardan DTUK modeli; model yapısının sadeliği, modeldeki verilerin araziden temininin kolaylığı ve parçalı bir model olması yani farklı akım aralıklarını farklı fonksiyonlarla inceleme olanağı sunduğu ve bir yolculuk süresi –akım bağıntısından beklenen aşağıdaki koşulları sağladığı için tercih edilmiştir.

- Modellenmiş yolculuk süreleri (akım hızları) gerçeğe yakın olmalıdır.
- Fonksiyon artan olmalıdır yani artan akım değeri yolculuk süresini azaltmamalıdır.
- Akım değeri, kapasiteye eşit olduğunda ya da aştığında fonksiyonun ürettiği yolculuk süreleri ve buradan hesaplanan yolculuk maliyetleri sonsuz olmamalıdır. [14] Pratikte her zaman kısa süreli kapasite aşmaları olasıdır ve bunlar sonsuz süreli gecikmeler yaratmaz.

DTUK (Department of Transport in the UK) (1985)

$$t = \begin{cases} l/V_s & (q < Q_1) \\ l / (V_s + q \cdot V_{sk} - Q_1 \cdot V_{sk}) & (Q_1 < q < Q_2) \\ l / (V_k + (q/Q_2 - 1)/8) & (q > Q_2) \end{cases} \quad (2.1)$$

ve

$$V_{sk} = (V_s - V_k) / (Q_1 - Q_2)$$

şeklinde ifade edilmiştir.

Burada, V_s serbest akım hızı, V_k kapasitedeki (Q_2) hız, Q_1 , serbest akım hızında geçebilecek taşıt sayısı ve l de yol uzunluğunu göstermektedir.

Bu bağıntılardan DTUK modeli; model yapısının sadeliği, modeldeki verilerin araziden temininin kolaylığı ve parçalı bir model olması yani farklı akım aralıklarını farklı fonksiyonlarla inceleme olanağı sunduğu ve bir yolculuk süresi –akım bağıntısından beklenen aşağıdaki koşulları sağladığı için tercih edilmiştir.

- Modellenmiş yolculuk süreleri (akım hızları) gerçeğe yakın olmalıdır.
- Fonksiyon artan olmalıdır yani artan akım değeri yolculuk süresini azaltmamalıdır.
- Akım değeri, kapasiteye eşit olduğunda ya da aştığında fonksiyonun ürettiği yolculuk süreleri ve buradan hesaplanan yolculuk maliyetleri sonsuz olmamalıdır. [14] Pratikte her zaman kısa süreli kapasite aşmaları olasıdır ve bunlar sonsuz süreli gecikmeler yaratmaz.

DTUK yolculuk süresi-akım bağıntısı yol uzunluğu 1 km alınarak akım-hız bağıntısına dönüştürülmüştür. Bulunan bağıntı aşağıda verilmiştir.

$$V = f_v(q) = \begin{cases} V_s & (q < Q_1) \\ q \cdot V_{sk} - Q_1 \cdot V_{sk} + V_s & (Q_1 < q < Q_2) \\ 1 / (1/V_k + ((q/Q_2 - 1)/8)) & (q > Q_2) \end{cases} \quad (2.2)$$

q : Trafik akım değeri (bo/saat.şerit)

V : Trafik akım hızı (km/saat)

V_s : Serbest akım hızı (km/saat)

V_k : Kapasitedeki hız (km/saat)

Q_1 : Serbest akım hızında geçebilecek maksimum taşıt sayısı (bo/saat.şerit)

Q_2 : Pratik kapasite (bo/saat.şerit)

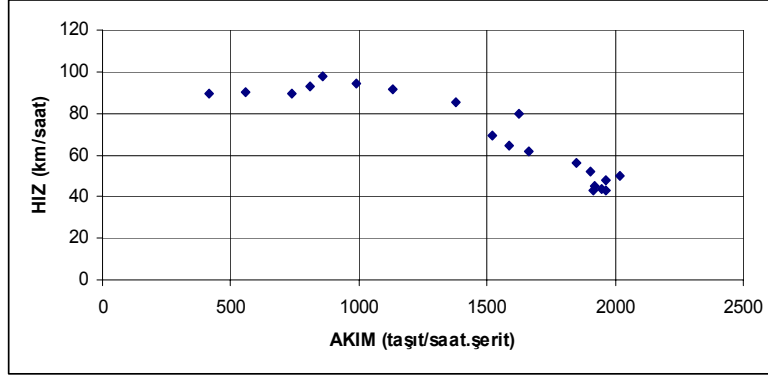
$V_{sk} = (V_s - V_k) / (Q_1 - Q_2)$

Seçilen hız-akım bağıntısının kalibrasyonu için aşağıdaki değerler kullanılmıştır:

Serbest akım hızı	: 90 km/saat
Pratik kapasitedeki akım hızı	: 40 km/saat
Serbest akım hızında geçebilecek maksimum taşıt sayısı	: 800 bo/saat.şerit
Pratik kapasite	: 1800 bo/saat.şerit

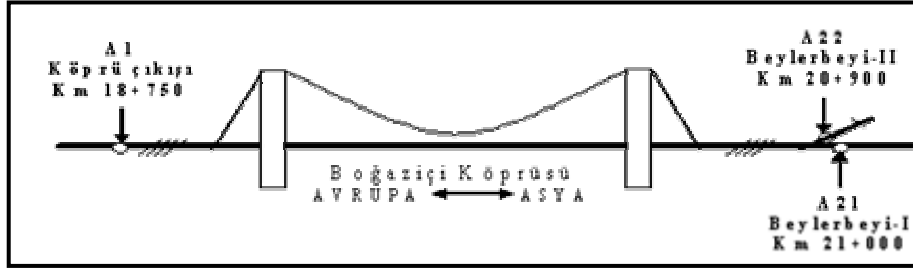
A Model Proposal for Calculating the Theoretical...

Bu değerler, Tübitak Araştırma Projesi kapsamında Boğaziçi köprüsünde 20 Haziran 2002 tarihinde sabah saat 6:00-7:40 saatleri arasında yapılmış sayımlardan elde edilmiştir [13] (Şekil 2.1).

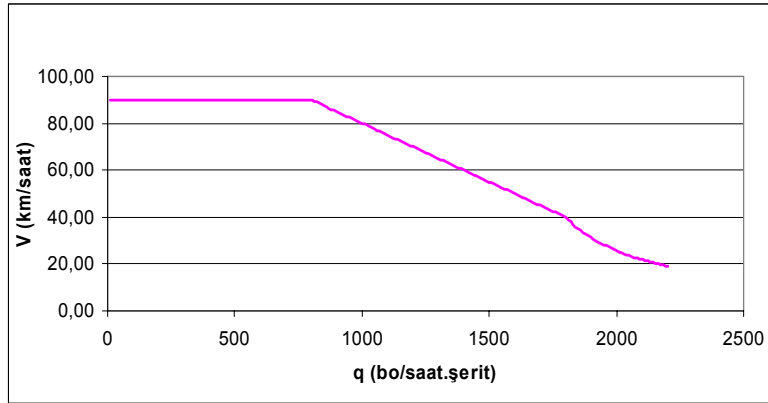


Şekil 2.1. Boğaziçi köprüsü Beylerbeyi katılımı sonrası ölçülen hız-akım değerlerinin dağılımı

Bir güzergah üzerinde oluşan darboğazın o güzergahtaki trafik koşulları için belirleyici olduğu düşüncesiyle O-1 karayolu üzerinde Asya-Avrupa yönünde A1-A21-A22 no'lu kesitler arasında oluşan darboğazın sebep olduğu trafik koşullarının, O-1 karayolu üzerinde oluşan trafiği temsil ettiği kabul edilmiştir.



Şekil 2.2. Değerleri kullanılan sayımın yapıldığı kesitler



Şekil 2.3. Hız-akım eğrisi

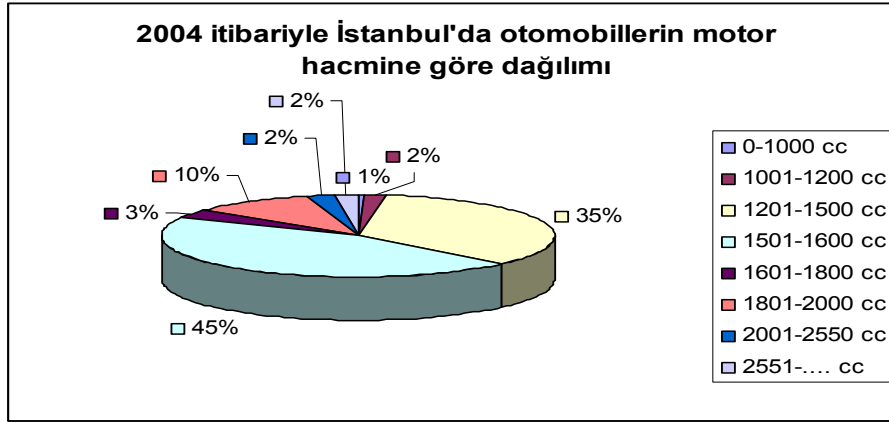
Bu sınır değerlere göre kalibre edilerek modelde kullanılan hız-akım bağıntısı ise Şekil 2.3'de gösterilmiştir. Burada 2300 bo/saat.şerit değerinin üzerindeki akım değerleri için hızlar hesaplanmamıştır.

2.2. Araç Sahipliği Maliyeti

Araç sahipliği maliyeti kavramıyla anlatılmaya çalışılan, özel otomobil kullanımının getirdiği, araç sahibi olunan süre boyunca kullanıcının karşılamak durumunda olduğu maliyetlerdir. Bu maliyetler araç tipine, yaşına, aracın yaptığı mesafeye göre değişkenlik göstermektedir. Bunlar araç kullanıcısının, gider hesabı yaparken genel olarak dikkate aldığı maliyetlerdir. Modelde dikkate alınan, araç sahipliği maliyetleri aşağıda sıralanmıştır;

- Bakım-onarım maliyeti
- Yağ ve lastik maliyeti
- Motorlu taşıt vergisi
- Zorunlu trafik sigortası
- Araç muayene ve emisyon ölçüm bedelleri

Modelin İstanbul için kullanılması amaçlandığından, yukarıda belirtilen maliyetlerin hesabında gerekli olduğunda İstanbul'a ait veriler kullanılmıştır. Hesaplarda kullanılan temel veriler İstanbul'daki tescilli araçların sayısı, motor hacmi, yaşı gibi bilgilerdir. Veriler 2004 yılına ait olup Maliye Bakanlığı tarafından hazırlanan yayınlardan alınmıştır [2].

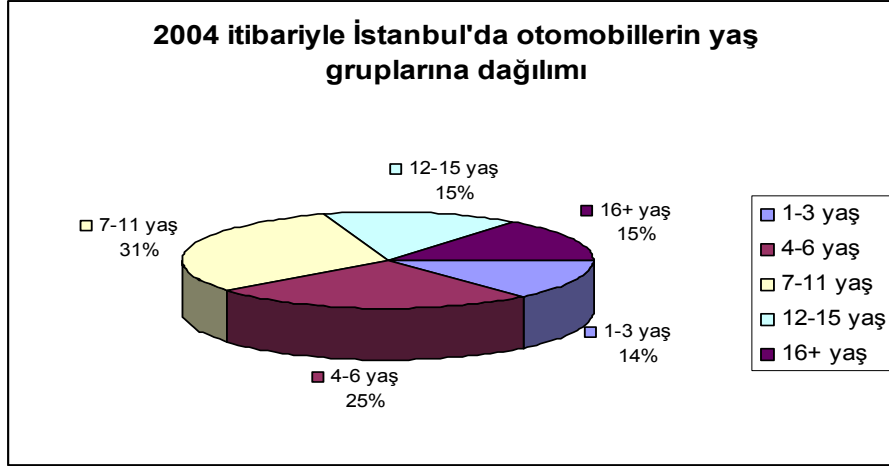


Şekil 2.4. 2004 itibarıyla İstanbul'da otomobillerin motor hacmine göre dağılımı

Bakım-onarım maliyetleri hesaplanırken 2004 yılının ilk yarısında Türkiye'de en çok otomobil satan ilk iki otomobil markasının 1200 cc ile 2000 cc arasında değişen motor hacmine sahip modelleri dikkate alınmıştır [12]. Bu araçların 80.000 km içinde düzenli servise gitmelerinin ve bu arada değişme olasılığı çok yüksek olan parçalarının yenilenmesinin maliyetleri dikkate alınarak, km başına düşen ağırlıklı ortalama bakım-onarım maliyeti hesaplanmıştır. İstanbul'da araçların motor hacimlerine göre dağılım oranları dikkate alınarak ağırlıklı maliyet hesabı yapılmıştır. 1200cc-2000 cc arasında motor hacmine sahip araçlar tescilli araçların %93'ünü oluşturdukları için ortalama bakım-onarım maliyetinin bulunmasında da bu aralıktaki araçların maliyetleri dikkate alınmıştır.

Yağ tüketiminin dikkate alınan araçlarda ortalama 7500 km için 4 lt olduğu belirlenmiştir.

Ortalama lastik ömrünün 60.000 km olduğu dikkate alınarak, lastik değişim maliyeti, 60.000 km'de 4 lastiğin de değiştirileceği kabulüyle hesaplanmıştır.



Şekil 2.5. 2004 itibariyle İstanbul'da otomobillerin yaş gruplarına dağılımı

Ortalama motorlu taşıt vergisi hesabı 2004 yılı için Maliye Bakanlığı tarafından araç yaşı ve motor hacmine göre belirlenmiş olan vergi miktarları kullanılarak hesaplanmıştır. Oluşturulan araç yaşı-motor hacmi matrisinin hücrelerine, ilgili vergi miktarları yerleştirilerek ağırlıklı ortalama motorlu taşıt vergisi bedeli bulunmuştur. Bu hesapta tüm motor hacmi gruplarındaki araçların aynı oranlarda yaş gruplarına dağıldığı kabul edilmiştir.

Zorunlu taşıt sigortası bedeli tüm araçlar için aynıdır. Tüm araç sahipleri trafiğe çıkmak için yılda bir bu sigortayı yenilemek zorundadır [6].

Araç muayene ve emisyon ölçümü bedelleri olarak, 2004 yılı için belirlenmiş fiyatlar kullanılmıştır. Emisyon ölçümünün kanunen her yıl yenilenmesi gerekmektedir. Araç muayenesinin ise, yeni bir aracın tescilinden itibaren geçen ilk üç yıldan sonra her iki yılda bir yaptırılması yasal olarak zorunludur [3].

Araç sahipliği maliyeti başlığı altında hesaplanan maliyetler aşağıda verilmiştir.

Çizelge 2.1. Araç sahipliği maliyetleri

Maliyet cinsi	Tutarı	Birimi
Motorlu taşıt vergisi	0,014	\$/km
Zorunlu trafik sigortası	0,004	\$/km
Emisyon denetimi bedeli	0,001	\$/km
Araç muayene bedeli	0,001	\$/km
Yağ	0,004	\$/km
Lastik	0,004	\$/km
Bakım onarım+yedek parça	0,014	\$/km
Toplam	0,042	\$/km

Hesaplarda bir aracın yıllık ortalama kullanımını 15.000 km olarak kabul edilmiştir. Bu ve bundan sonra sözü edilecek tüm TL-A.B.D. Doları kur çevrimlerinde 1 A.B.D. Doları = 1.50 YTL kuru kullanılmıştır

2.3. Hıza Bağlı Maliyetler

Özel aracıyla yolculuk yapan kullanıcılar için, içinde buldukları trafik koşulları bağlayıcıdır. Trafik akımının durumu, yolculuk süresi ve konforu, yakıt tüketimi, araçtaki yıpranma, zararlı gaz emisyonu ve gürültü seviyeleri gibi pek çok konuda etkilidir. Bu konularda akım hızı dışında sürücünün araç kullanma alışkanlıkları, trafik akımındaki ani hız değişimleri, dur-kalk hareketinin sıklığı, araç ve yolun özellikleri de etkili faktörlerdir [10]. Oluşturulan modelde, akım, sürücü ve yol özelliklerinin homojen ve yoldaki araçların benzer oldukları kabul edilmiştir. Tıkanıklık maliyetinin hesaplanması aşamasında model içinde kullanılan hız-akım bağıntısından faydalanarak akım hızına bağlı olarak değişimi hesaplanan maliyet faktörleri aşağıda sıralanmıştır;

- Yolculuk zamanı
- Yakıt tüketimi
- Hava kirliliğine yol açan zararlı gaz emisyonları

2.3.1. Yolculuk Zamanının Maliyeti

Yolculuk için harcanan zaman özel otomobil kullanıcısı için bir maliyet oluşturur. Özellikle bir yere zamanında yetişmek için yapılan yolculuklar, ev-iş yolculukları gibi, kullanıcılar açısından daha yüksek maliyetli olarak değerlendirilmektedir. Yolculuk zaman maliyeti yolculuk amacı dışında konfor, stres gibi faktörlerden de etkilenmektedir. Ayrıca toplu taşıma hizmetlerinden faydalananların, araç bekleme süresini araç içinde geçen zamanın ortalama iki katı uzun olarak algıladıkları ortaya konmuştur [10]. Yolculuk zamanı maliyeti, kullanıcı geliriyle doğru orantılı olarak artma eğilimindedir [1]

Yolculuk zamanının parasal karşılığını hesaplayabilmek için bir çok çalışma yapılmıştır. Tür seçimi modellerinden elde edilmiş zaman maliyeti tahmin çalışmalarının başlangıcı 1960'lara dek dayanmaktadır. Günümüzde ise bu konuda geçerli olan iki tahmin yöntemi vardır. Kullanıcının tıkanıklıktan kaçınmak için ödemeye razı olduğu miktarın belirlenmesi veya bir saatlik yolculuğa biçilen ekonomik değer kullanıcının saatlik gelirinin belli bir oranı ile ifade edilmesi. İlk yöntem anketlerle potansiyel kullanıcıların tercih ifadelerine dayanılarak bir maliyet hesaplanması esasına dayanmaktadır. İkinci yöntemde ise kişinin yolculuk süresinin kılmasının ona ekonomik olarak getirisi hesaplanmaya çalışılmaktadır. İkinci yöntem için genel kabul yolculuk zamanının maliyetinin, kullanıcı gelirinin %50'si ile %100'ü arasında değiştiğidir [9].

Yolculuk süresindeki değişimin miktarı, bulunan birim zaman maliyetinin her durumda kullanılmasına bir engel teşkil etmez [11].

Yolculuk zaman maliyetinin hesaplanmasında Temmuz 2004'te Boğaziçi Köprüsü güzergahını kullanan otomobil kullanıcılarıyla yapılan anket içinde yer alan gelir grubu belirleyici soruya verilen yanıtlar değerlendirilmiştir. Buradan bulunan, otomobil sahiplerinin ağırlıklı ortalama saatlik gelirleri A.B.D. Doları para birimine dönüştürülmüş ve bulunan değerlerin %50'si olan 4.15 Dolar/saat ile %100'ü olan 8.30 Dolar/saat arasında değişen değerlerin modelde, yolculuk zaman maliyeti için kullanılmasına karar verilmiştir.

2.3.2. Hava Kirliliği ve Yakıt Tüketimi Maliyetleri

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

A Model Proposal for Calculating the Theoretical...

otomobillerin ölçümler sonucu ortaya konmuş olan ortalama seyir hızına karşılık gelen yakıt tüketimi ve zararlı gaz emisyon değerleri kullanılmıştır. Bahsedilen standart Avrupa'da üretilen otomobillerde 1984 yılında uygulamaya konmuş olmasına rağmen Türkiye'de ancak 1988'de uygulanmaya başlanmış ve ancak 1996'da, iki sonraki standart olan EURO 93, motor hacmi 1600 cc'den büyük araçlara uygulanmaya başlanmıştır [7]. İstanbul'daki ağırlıklı ortalama özel otomobil yaşı 8,70 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 yasal zorunluluğu 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.

Araçlar tarafından atılan hava kirleticiler arasında gazlar ve partiküller bulunmaktadır. Çevre ve insan sağlığı açısından en zararlı olanlar CO (karbonmonoksit), CO₂ (karbondioksit), NO_x (azotoksitler), VOC ya da HC (uçucu organik bileşikler, hidrokarbonlar) ve mikro partiküllerdir.

Bu çalışmada kullanılmak üzere CO, NO_x, HC emisyonlarının araç hızıyla değişimi incelenmiştir.

ECE 15-04 standartlarına uygun araçların tipik yakıt tüketimi ve zararlı gaz emisyonu ölçüm değerleri aşağıda verilmiştir.

Çizelge 2.2. Yakıt tüketimi ve kirleticiler gaz emisyonlarının araç hızıyla değişimi [4]

Ortalama Hız	HC Emisyon miktarı	CO Emisyon miktarı	NO _x Emisyon miktarı	Yakıt Tüketim miktarı
km/sa	gr/km	gr/km	gr/km	gr/km
10	3,75	55	1,4	130
20	2,4	25	1,6	80
30	1,75	20	1,75	65
40	1,5	18	1,85	55
50	1,3	15	2,20	50
60	1,2	13	2,40	45
70	1,1	12	2,60	55
80	1	11	2,80	55
90	0,95	10	3,20	57
100	0,9	11	3,50	60
110	0,9	12	3,80	63
120	1	15	4,30	70
130	1,1	18	4,80	75

Yukarıdaki ölçüm değerleri kullanılarak hız ile yakıt tüketimi ve hız ile emisyonlar arasındaki bağıntıları veren matematik ifadeler aşağıda sunulmuştur.

Elde edilen bağıntıların formülleri aşağıda gösterilmiştir.

$$f_1(V) = 0,00000351V^4 - 0,00119275V^3 + 0,1484397V^2 - 7,7275837V + 190,76923 \quad (2.3)$$

$$f_2(V) = 11,49431 V^{-0,53747} \quad (2.4)$$

$$f_3(V) = 0,00000237V^4 - 0,00073996V^3 + 0,0834485V^2 - 4,0557805V + 84,71328 \quad (2.5)$$

$$f_4(V) = 0,000138V^2 + 0,007835V + 1,366084 \quad (2.6)$$

$f_1(V)$ = Yakıt tüketimi-hız bağıntısı (gr/km)

$f_2(V)$ = HC emisyonu-hız bağıntısı (gr/km)

$f_3(V)$ = CO emisyonu-hız bağıntısı (gr/km)

$f_4(V)$ = NO_x emisyonu-hız bağıntısı (gr/km)

Bu bağıntılardan maliyete geçilebilmesi için bu değerlerin parasal karşılıklarının hesaplanması gerekmektedir.

Otomobille yapılan bir km yolculuğun yakıt tüketimi maliyetini bulmak amacıyla km başına düşen tüketim değeri benzin satış fiyatıyla çarpılmalıdır. Bunun için kurşunlu ve kurşunsuz süper benzin pompa satış fiyatlarının ortalaması dikkate alınarak 1 gr benzinin maliyeti bulunmuş ve TL'den A.B.D. Dolarına çevrilerek 0.00152 A.B.D. Doları olarak hesaplanmıştır.

Zararlı gaz emisyonlarının maliyetleri hesaplanırken bu gazların doğaya ve insan sağlığına verdiği zararlar dikkate alınmaktadır. Tabloda, modelde maliyetleri dikkate alınan emisyon türlerinin özellikleri bulunmaktadır.

Çizelge 2.3. Zararlı gaz emisyonlarının özellikleri [10]

Emisyon Cinsi	Tanımı	Kaynağı	Zararlı etkileri
CO (karbonmonoksit)	Kanın oksijen taşıma kapasitesini düşüren zehirli bir gazdır.	Motor	İnsan sağlığı İklim değişimi
NO _x (Azotoksitler)	Çeşitli bileşiklerdir. Bazıları zehirlidir, tümü ozon oluşumuna katkıda bulunur.	Motor	İnsan sağlığı Ozon üretimini tetikler
HC (Hidrokarbonlar)	Tam yanmamış yakıt. Ozon oluşturur.	Yakıt üretimi, motor.	İnsan sağlığı Ozon üretimini tetikler

Maliyet hesabında izlenen iki temel yöntem vardır; zarar maliyeti yöntemi ve kontrol maliyeti yöntemi. İlki meydana gelen zararların birim emisyon başına düşen kısmının maliyetinin belirlenmesidir. İkinci yöntem ise emisyon miktarında bir birim azalma sağlamak için atılması gereken adımların maliyetinin hesaplanmasıdır [10].

Yapılan araştırmalara sonucu, Türkiye'de otomobillerden kaynaklanan emisyonların maliyetlerini hesaplamaya yönelik sonuçlanmış bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bunun için yurtdışında yapılmış çalışmalar sonucunda elde edilmiş birim maliyetlerin, Türkiye koşullarına uyarlanarak kullanılması yolu çözüm olarak benimsenmiştir. Bu amaçla EU-15 olarak adlandırılan Avrupa Birliğine üye 15 ülkenin belirlemiş olduğu emisyon maliyetlerinden faydalanılmıştır.

NO_x ve HC emisyonlarının maliyetleri, EU-15 maliyetlerin ortalaması alınarak bulunmuştur [5]. CO emisyonu maliyeti içinse yine Avrupa Birliği Komisyonu ExternE programı çalışmaları dahilinde belirlenmiş olan ortalama maliyet kullanılmıştır [10]. 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 paritelerine dayalı kişi başına düşen ulusal gelir 26.000 A.B.D. Doları olarak hesaplanmıştır. Türkiye içinse bu değer 6400 A.B.D. Doları'dır.

Aşağıdaki tabloda bu bilgiler yardımıyla Türkiye için hesaplanan zararlı gaz emisyonu birim maliyetleri sunulmuştur. Euro birim maliyetlerinin 2004 yılına güncellenmesi için paranın yıllık getirisini olarak % 4 değeri kullanılmıştır. Euro, A.B.D. Doları paritesi 1.2 olarak seçilmiştir.

A Model Proposal for Calculating the Theoretical...

Emisyon maliyetleri, EU-15 için hesaplanan değerler olduğu için, Türkiye/EU-15 satın alma gücü paritelerine göre belirlenen kişi başına düşen ulusal gelir oranı olan 0,246 katsayısı ile çarpılarak ülkemize uyarlanmıştır.

Çizelge 2.4. Zararlı gaz emisyonlarının Türkiye koşullarına uyarlanmış gram maliyetleri

Emisyon Cinsi	EU-15 maliyeti (EURO/gr)	Ait olduğu yıl	EU-15 güncellenmiş birim maliyeti (2004) (EURO/gr)	ABD Doları birim maliyeti (\$/gr)	Türkiye'ye uyarlanmış birim maliyet (\$/gr)
NOx	0,00420	2002	0,00454	0,00545	0,00134
HC	0,00210	2002	0,00227	0,00273	0,00067
CO	0,00015	1998	0,00019	0,00023	0,00006

3. TEORİK TIKANIKLIK FİYATININ HESAPLANMASI

Teorik tıkanıklık fiyatı hesaplama prensiplerinden daha önce kısaca bahsedilmişti. Bu prensiplere dayanarak teorik tıkanıklık fiyatının hesaplanmasını sağlayacak temel matematik bağıntının oluşturulması bu altbaşlıkta aktarılmıştır.

Genel hesap prensibi özetlenecek olursa: Ortalama maliyet (OM) özel oto kullanıcısının yolculuk kararı verirken dikkate aldığı (km) başına düşen maliyettir. Toplam maliyet (TM) ise o anda o yol üzerindeki trafikte bulunan araç sayısı ile OM 'nin çarpımına eşittir. Marjinal maliyet (MM) yola katılan her bir aracın, trafikte bulunan araçların her birine getirdiği ek maliyetlerin toplamıdır. MM ile OM 'nin herhangi bir akım değeri için hesaplanan değerleri arasındaki fark o akım değerine karşılık gelen teorik tıkanıklık fiyatını (TTF) verecektir.

MM matematiksel olarak TM 'nin trafik akım değerine göre türevi ile ifade edilebilir.

$$TM(q) = q \cdot OM(q) \quad (3.1)$$

$$MM(q) = q \cdot OM(q) \, dv / dq \quad (3.2)$$

Modelde kullanacağımız ortalama maliyet (OM) fonksiyonu hıza bağlı olarak şöyle ifade edilir:

$$V=f_v(q) \quad (3.3)$$
$$OM(V) = k_1 + k_2/V + k_3 \cdot f_1(V) + k_4 \cdot f_2(V) + k_5 \cdot f_3(V) + k_6 \cdot f_4(V)$$

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)

Kirletici gaz emisyonları ve yakıt tüketimi miktarlarını hıza bağlı olarak veren bağıntılar, $f_1(V)$, $f_2(V)$, $f_3(V)$, $f_4(V)$ sırasıyla (2.3), (2.4), (2.5), (2.6) denklem numaralarıyla 2.4.2 no'lu bölümde verilmiştir.

(3.1) 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. Yani:

$$OM(V) = OM(f_v(q)) = OM(q) \quad (3.4)$$

Modelde kullanılan (2.11) numaralı denklemle verilen hız-akım bağıntısı parçalı olduğundan üç akım aralığı için üç farklı $OM(q)$ fonksiyonu oluşturulur. Daha önce açıklandığı

gibi $MM(q)$ fonksiyonu bulunur ve buradan her akım değerine karşılık gelen teorik tıkanıklık fiyatları hesaplanır.

$$TTF_1(q) = MM(q) - OM(q) \quad (3.5)$$

Oluşturulan modelde ortalama maliyet fonksiyonu q değişkenine bağlı olarak yazıldığında;

$$OM(q) = k_1 + k_2/f_v(q) + k_3f_1(f_v(q)) + k_4f_2(f_v(q)) + k_5f_3(f_v(q)) + k_6f_4(f_v(q)) \quad (3.6)$$

şeklini alır.

Teorik tıkanıklık fiyatını bulabilmek için kullanıcın yola katılması durumunda oluşacak tüm maliyetlerden (MM), kullanıcının kendi karşıladığı kısmı (OM) çıkarılması gereklidir. Oysa modelde, kullanıcının kendi karşıladığı maliyeti veren ortalama maliyet fonksiyonu, içinde gerçekte karşılanmayan emisyon maliyetlerini de bulundurmaktadır.

Bu nedenle, $OM(q)$ fonksiyonundan, emisyon maliyetlerini veren bağıntılar çıkarılarak $OMB(q)$ fonksiyonu elde edilir.

$$OMB(q) = k_1 + k_2/f_v(q) + k_3f_1(f_v(q)) \quad (3.7)$$

Teorik tıkanıklık fiyatı kullanıcının sebep olup karşılamadığı maliyetlerin toplamından oluştuğuna göre modelde kullanacağımız teorik tıkanıklık fiyatı;

$$TTF_2(q) = MM(q) - OMB(q) \quad (3.8)$$

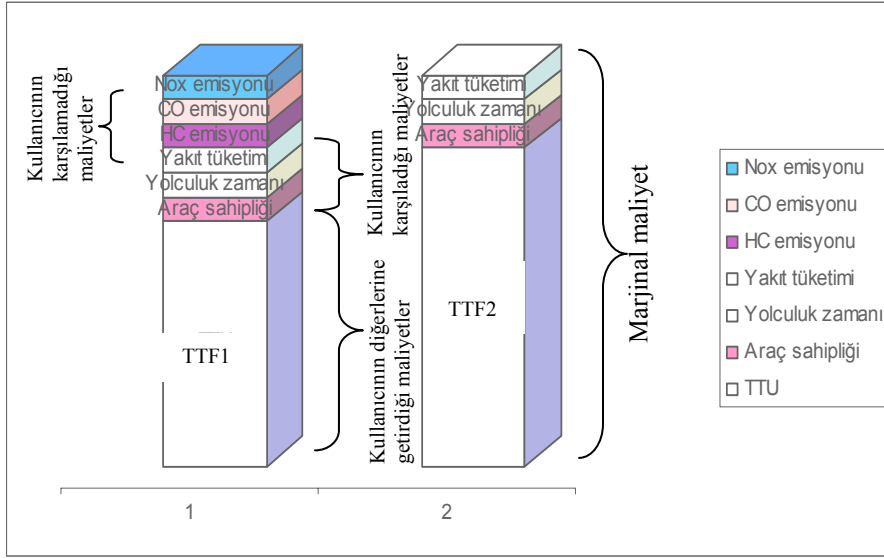
şeklinde bulunacaktır. Yani,

$$TTF_2(q) = MM(q) - [k_1 + k_2/f_v(q) + k_3f_1(f_v(q))] \quad (3.9)$$

olacaktır.

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 bulunur.

Bunu bir şekilde de anlatabiliriz (Şekil 3.1):



Şekil 3.1. Marjinal maliyet, ortalama maliyet ve tıkanıklık fiyatı ilişkisi

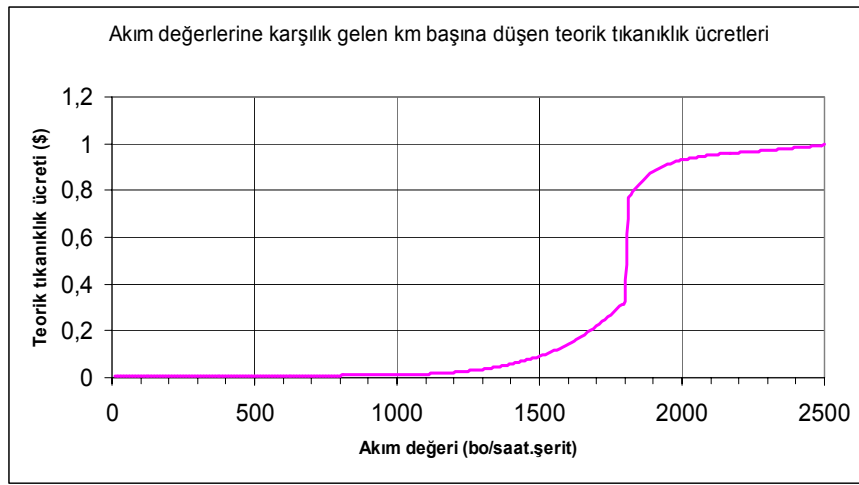
A Model Proposal for Calculating the Theoretical...

Şekilden de görüleceği gibi TTF_2 hesaplanırken kullanıcının kendi tarafından yaratılan ve karşılamadığı maliyetler de teorik tıkanıklık fiyatına eklenmiştir.

Maliyetlerin bulunmasında daha önceki bölümlerde açıklandığı şekilde hesaplanarak bulunan değerler kullanılmıştır. Bu değerler Çizelge 3.1’de toplu olarak görülebilmektedir.

Çizelge 3.1. Tıkanıklık fiyatı hesabında dikkate alınan maliyet türleri ve değerleri

Maliyet			
Türü	Modeldeki gösterimi	Miktarı	Birimi
Araç sahipliği	k_1	0-0,042	\$/km
Yolculuk zamanı	k_2	4,15-8,30	\$/saat
Yakıt tüketimi	k_3	0,00152	\$/gr
HC emisyonu	k_4	0,00067	\$/gr
CO emisyonu	k_5	0,00006	\$/gr
Nox emisyonu	k_6	0,00134	\$/gr



Şekil 3.2. Akım değerlerine karşılık gelen km başına teorik tıkanıklık fiyatları

4. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Günümüzde toplu taşımacılığın gelişmesi ve serbest piyasa koşullarında rekabet gücünü kaybetmemesi için çalışmalar yapılmaktadır. Toplumsal refah ve eşitlik ilkelerine uygunluk, çevre bilinci ve mevcut ulaşım yapısından en iyi şekilde yararlanma amaçlarını sağlarken toplu taşımanın gelişimini sağlamaya yönelik en güncel uygulamalardan biri de tıkanıklık fiyatlandırmasıdır.

Bu makalede İstanbul’da özellikle Boğaziçi köprüsü ve bağlı çevre yollarında kullanılmak üzere teorik tıkanıklık fiyatlarının hesaplanması için ortaya bir model konulmuştur. Modelin bir bölge yada güzergahta yapılacak bir tıkanıklık fiyatlandırması uygulaması için kullanılması amaçlanmıştır.

Modelde kullanılan değerler tamamen Türkiye –özellikle İstanbul- için elde edilmiştir. Modelin yapısı esnek olup mevcut hız-akım bağıntısının farklı güzergahlar için kalibre edilmesi

mümkündür. Ayrıca kullanılan katsayılar güncellenebilir ve dinamik olarak zaman ve mekana göre değiştirilebilir. İstenildiği durumda modele ek maliyet faktörlerinin adapte edilmesi mümkündür.

Yurtdışında yoğun kent merkezlerinde ve otoyollarda başarılı tıkanıklık fiyatlandırması uygulamaların sayısının arttığı ve elde edilen ek gelirin toplu taşımanın geliştirilmesinde kullanıldığı göz önüne alındığında, ülkemizde yapılacak bu tür bir uygulamanın planlanmasında, tıkanıklık fiyatının belirlenmesi önemli bir yer tutacaktır. Geliştirilen modelin bu tip uygulamalar için önemli bir altyapı hazırladığı ve geliştirilmeye ve güncellenmeye açık olmasının da bir fırsat olduğu inancındayım.

KAYNAKLAR

- [1] Calfee, J., Winston, C., “The Value of Automobile Travel Time: Implications for Congestion Policy”, *Journal of Public Economics*, 69, 83-102, 1998.
- [2] Gelir İdaresi Başkanlığı (2004), Motorlu Taşıt İstatistikleri [Internet], Available from <http://www.gelirler.gov.tr> [Accessed at October, 2004].
- [3] Emniyet Genel Müdürlüğü (2004), Araç Fenni Muayene ve Emisyon Ölçümü [Internet], Available from <http://www.emniyet.gov.tr> [Accessed at October, 2004].
- [4] Haworth, N., Symmons, M., “The Relationship between Fuel Economy and Safety Outcomes”, Monash University Accident Research Centre, Report No 188, 2001.
- [5] Holland, M., Watkiss, P., “Estimates of Marginal External Costs of Air Pollution in Europe”, European Commission DG Environment, 2002.
- [6] İstanbul Emniyet Müdürlüğü (2004), Zorunlu Taşıt Sigortası [Internet], Available from <http://www.iem.gov.tr> [Accessed at October, 2004].
- [7] Karakuş, S.Z., “Benzinli Araçlardan Kaynaklanan Hidrokarbonların Ozon Oluşumuna Etkisinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2001.
- [8] Li, M.Z.F., “The role of speed-flow relationship in congestion pricing with an application to Singapore”, *Transportation Research Part B* 36, 731-754, 2002.
- [9] Li, M.Z.F., “Estimating Congestion Toll by Using Traffic Count Data –Singapore’s Area Licensing Scheme”, *Transportation Research Part E* 35, 1-10, 1999.
- [10] Litman, T.A., “Transportation Cost and Benefit Analysis. Techniques, Estimates and Implications”, Victoria Transport Policy Institute, 2003.
- [11] Mackie, P.J., Jara-Diaz, S., Fowkes, A.S., “The Value of Travel Time Savings in Evaluation”, *Transportation Research Part E* 37, 91-106, 2001.
- [12] OSD, “Otomobil Sanayicileri Derneği Aylık İstatistiki Bilgiler Bülteni Haziran 2004”, Otomobil Sanayicileri Derneği Yayınları, 2004.
- [13] Şahin, İ., “Uzun Otoyol Kuyruklarının İncelenmesi ve İyileştirme Stratejilerinin Araştırılması Adlı Tübitak Araştırma Projesi Sonuç Raporunda kullanılan Verilerle Hazırlanmış Akım-Hız-Yoğunluk Büyüklükleri Arasındaki İkili İlişkileeri Gösterir Eğriler”, Yayınlanmamış Çalışma, 2005.
- [14] Yang, H., Huang, H., “Principle of Marginal Cost Pricing: How Does it Work in a General Road Network?”, *Transportation Research Part A*, Vol 32, No 1, 45-54, 1998.