

768513

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**TOPLU TAŞIMACILIĞIN GELİŞTİRİLMESİ İÇİN BİR  
TIKANIKLIK FİYATLANDIRMASI MODELİ ÖNERİSİ**

İnş. Yük. Müh. Haluk YÜKSEL

F.B.E. İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Ulaştırma Programında  
Hazırlanan

**DOKTORA TEZİ**

**Tez Savunma Tarihi** : 27.04.2005  
**Tez Danışmanı** : Prof. Dr. Zerrin BAYRAKDAR (YTÜ)  
**Jüri Üyeleri** : Prof. Dr. Güngör EVREN (İTÜ)  
: Prof. Dr. Ergun GEDİZLİOĞLU (İTÜ)  
: Prof. Dr. Haluk GERÇEK (İTÜ)  
: Prof. Dr. Aydın EREL (YTÜ)

**Tez Danışmanı** : Prof. Dr. Zerrin BAYRAKDAR (YTÜ)

**İSTANBUL, 2004**

## İÇİNDEKİLER

SİMGE LİSTESİ .....	iii
KISALTMA LİSTESİ .....	v
ŞEKİL LİSTESİ .....	vi
ÇİZELGE LİSTESİ .....	vii
ÖNSÖZ .....	viii
ÖZET .....	ix
ABSTRACT .....	x
1. GİRİŞ .....	11
2. KAYNAKLARIN GENEL DEĞERLENDİRMESİ .....	17
3. TIKANIKLIK FİYATI MODELİ GELİŞTİRİLMESİ.....	21
3.1 Tıkanıklık Fiyatı Hesabının Esası ve Aşamaları .....	21
3.2 Hız-akım Bağıntısının Seçilmesi.....	24
3.3 Araç Sahipliği Maliyeti.....	26
3.4 Hıza Bağlı Maliyetler.....	29
3.4.1 Yolculuk zamanının maliyeti.....	29
3.4.2 Hava kirliliği ve yakıt tüketimi maliyetleri .....	30
3.5 Ortalama ve Marjinal Maliyetler ve Teorik Tıkanıklık Fiyatı Modelinin Oluşturulması.....	35
3.6 Modelin Yapısı ve Yapılan Kabuller.....	38
3.7 Hız-akım Modelinin Katsayılarının Seçilmesi.....	39
3.8 Teorik Tıkanıklık Fiyatı ve Tercih Aşamasında Dikkate Alınan Maliyetler .....	41
3.9 Tercih Modelinin Yapısı .....	43
3.10 Tercih Modelinin Kalibrasyonu.....	43
3.11 Optimum Tıkanıklık Fiyatının Bulunması .....	50
3.12 Fiyat Uygulamasının Otobüs Taşımacılığına Etkileri.....	52
3.13 Fiyat Uygulamasının Getirisi ve Maliyeti .....	53
4. ÖRNEK UYGULAMALAR VE DEĞERLENDİRME .....	58
5. SONUÇ VE ÖNERİLER .....	68
KAYNAKLAR.....	70
EKLER.....	73
Ek 1 Toplam ortalama maliyet ve marjinal maliyet denklemleri .....	74
Ek 2 Tercih modelinin kalibrasyonu için yapılan anket formu .....	76



## SİMGE LİSTESİ

$\alpha$	Yolculuk süresi – akım bağıntısı kalibrasyon katsayısı
$\beta$	Yolculuk süresi – akım bağıntısı kalibrasyon katsayısı
$\mu$	Yolculuk süresi – akım bağıntısı kalibrasyon katsayısı
$a$	Türe özgün katsayı
$b$	Yararlılık fonksiyonu katsayısı
$bo$	Birim oto
$B_{yillıkoto}$	Toplam yıllık tıkanıklık fiyatı geliri (\$)
$B_{yillıkotb}$	Toplam yıllık otobüs fiyatı geliri (\$)
$c$	Yararlılık fonksiyonu katsayısı
$C_{otb}$	Otobüs alış maliyeti (\$)
$C_{otbişl}$	1 km otobüs işletme maliyeti (\$)
$D$	Ortalama özel otomobil doluluğu
$d$	Yararlılık fonksiyonu katsayısı
$f1(V)$	Yakıt tüketimi-hız bağıntısı (gr/km)
$f2(V)$	HC emisyonu-hız bağıntısı (gr/km)
$f3(V)$	CO emisyonu-hız bağıntısı (gr/km)
$f4(V)$	NO <sub>x</sub> emisyonu-hız bağıntısı (gr/km)
$J$	Yolculuk süresi – akım bağıntısı kalibrasyon katsayısı
$K$	Otobüs kapasite kullanım oranı
$l$	Yol uzunluğu
$L$	Tıkanıklık yaşanan güzergah kesiminin uzunluğu
$MM$	Marjinal maliyet
$M_{otb}$	Otobüs yolculuk maliyeti
$M_{oto}$	Özel otomobil yolculuk maliyeti
$N_{ekotb}$	Ek otobüs sayısı
$n$	Örnek sayısı
$n_{gün}$	Yıl boyunca fiyat uygulaması yapılan gün sayısı
$n_{sefer}$	Bir saatte bir otobüsün yapabileceği sefer sayısı
$n_{şerit}$	Yoldaki şerit sayısı
$O_K$	Ortalama otobüs yolcu kapasitesi
$OM$	Ortalama maliyet
$O_S$	Yolculuk talebini oluşturan kesimin özel otomobil sahipliği oranı
$P$	Tercih olasılığı
$q$	Trafik akım değeri (bo/saat.şerit)
$Q1$	Serbest akım hızında geçebilecek maksimum taşıt sayısı (bo/saat.şerit)
$Q2$	Pratik kapasite (bo/saat.şerit)
$Q_{otoilk}$	Uygulama öncesinde bir şeritten bir saatte geçen özel otomobil sayısı (otomobil/saat.şerit)
$Q_{otoson}$	Optimum fiyat uygulandığında bir şeritten bir saatte geçen özel otomobil sayısı (otomobil/saat.şerit)
$Q_s$	Durgun akım kapasitesi
$s$	Doygun akım değeri
$S_g$	Saatlik gerekli sefer sayısı
$T$	Şerit başına saatlik yolculuk talebi
$t$	Yolculuk süresi
$t_0$	Serbest akım hızında yolculuk süresi
$t_{aralık}$	Sefer aralığı (dakika)
$TM(q)$	Toplam maliyet
$TTF$	Teorik tıkanıklık fiyatı

$t_{zirve}$	Gün içinde fiyat uygulaması yapılan zirve saatler toplamı (saat)
$F_{opt}$	Optimum tıkanıklık fiyatı (\$)
$F_{otb}$	Otobüs bilet fiyatı (\$)
$u_{otb}$	Otobüs yararlılık fonksiyonu
$u_{oto}$	Özel otomobil yararlılık fonksiyonu
$V$	Trafik akım hızı (km/saat)
$V_k$	Kapasitedeki akım hızı (km/saat)
$V_{opt}$	Optimum akım hızı (km/saat)
$V_s$	Serbest akım hızı (km/saat)
$V_{sk}$	$V_s - V_k / Q_1 - Q_2$



## KISALTMA LİSTESİ

ALS	Area Licensing Scheme (Bölge Plaka Uygulaması)
BPR	Bureau of Public Roads (Kamuya ait Karayolları Bürosu)
EU-15	Avrupa Birliği üyesi 15 ülkeden oluşan komisyon
İETT	İstanbul Elektrik Tramvay Trolleybüs işletmeleri
OECD	Organization for Economic Cooperation and Development (Ekonomik İşbirliği ve Kalkınma Topluluğu)
OEK	Otomobil eşdeğerlik katsayısı
OSD	Otomobil Sanayicileri Derneği
TFL	Transport for London (Londra Ulaşımı Merkezi İdaresi)
VOC	Volatile Organic Compounds (Uçucu Organik Bileşikler)



## ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1	Merkezi Londra ücretli bölge uygulamasının sınırları (TFL, 2004).....	14
Şekil 1.2	Merkezi Londra ücretli bölge genişletme önerisi (TFL, 2004) .....	15
Şekil 3.1	Ortalama ve marjinal maliyet eğrileri ve ters talep eğrisi ilişkisi (Li, 2002).....	22
Şekil 3.2	Model akış çizelgesi .....	23
Şekil 3.3	2004 itibarıyla İstanbul'da otomobillerin motor hacmine göre dağılımı .....	27
Şekil 3.4	2004 itibarıyla İstanbul'da otomobillerin yaş gruplarına dağılımı .....	27
Şekil 3.5	Hidrokarbon emisyonlarının araç hızıyla değişimi .....	31
Şekil 3.6	Karbon monoksit emisyonlarının araç hızıyla değişimi .....	32
Şekil 3.7	Azotoksit emisyonlarının araç hızıyla değişimi .....	32
Şekil 3.8	Yakıt tüketiminin araç hızıyla değişimi .....	33
Şekil 3.9	Marjinal maliyet, ortalama maliyet ve tıkanıklık fiyatı ilişkisi .....	37
Şekil 3.10	Boğaziçi köprüsü Beylerbeyi katılımı sonrası ölçülen hız-akım değerlerinin dağılımı .....	40
Şekil 3.11	Değerleri kullanılan sayımın yapıldığı kesitler.....	40
Şekil 3.12	Hız-akım eğrisi.....	41
Şekil 3.13	Akım değerlerine karşılık gelen km başına teorik tıkanıklık fiyatları .....	43
Şekil 3.14	Anket sonuçlarına göre grupların geçiş fiyatına bağlı olarak tercihlerinin değişimi .....	45
Şekil 3.15	Gelir gruplarının ankette belirlenen oranlarda ve eşit oranlarda dağılımları sonucu oluşan tercihler .....	46
Şekil 3.16	Anket verileri ve model sonuçlarının karşılaştırması.....	49
Şekil 3.17	Optimum tıkanıklık fiyatının bulunması .....	50
Şekil 3.18	Uygulama güzergahının şematik gösterimi .....	53
Şekil 4.1	Uygulama örneği 1 için optimum akım ve tıkanıklık fiyatının bulunması .....	58
Şekil 4.2	Uygulama örneği 2 için optimum akım ve tıkanıklık fiyatının bulunması .....	60
Şekil 4.3	Uygulama örneği 3 için optimum akım ve tıkanıklık fiyatının bulunması .....	61
Şekil 4.4	Uygulama örneği 4 için optimum akım ve tıkanıklık fiyatının bulunması .....	62
Şekil 4.5	Uygulama örneği 5 için optimum akım ve tıkanıklık fiyatının bulunması .....	62
Şekil 4.6	Otobüs bilet fiyatı, talep ve optimum tıkanıklık fiyatı ilişkisi.....	64

## ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 3.1	Araç sahipliği maliyetleri .....	28
Çizelge 3.2	Yakıt tüketimi ve kirletici gaz emisyonlarının araç hızıyla değişimi (Haworth ve ark., 2001).....	31
Çizelge 3.3	Zararlı gaz emisyonlarının özellikleri (Litman, 2003) .....	34
Çizelge 3.4	Zararlı gaz emisyonlarının Türkiye koşullarına uyarlanmış gram maliyetleri ...	35
Çizelge 3.5	Tıkanıklık fiyatı hesabında dikkate alınan maliyet türleri ve değerleri.....	41
Çizelge 3.6	Anket tercih sonuçlarının gelir gruplarına göre dağılımı .....	44
Çizelge 3.7	Gelir gruplarının toplam içindeki oranları ve özel otomobilini bırakmayan kullanıcıların oranları .....	45
Çizelge 3.8	Özel otomobil kullanıcılarının ağırlıklı gelir ortalaması .....	46
Çizelge 3.9	Regresyonda kullanılan veriler .....	48
Çizelge 3.10	Gelir gruplarının yararlılık fonksiyonlarına ait katsayılar .....	48
Çizelge 3.11	Anket ve model sonuçlarının karşılaştırılması.....	49
Çizelge 3.12	Tercih modeline ait standart hata ve değişim katsayıları .....	50
Çizelge 3.13	İETT filosunun ortalama otobüs yolcu kapasitesi.....	51
Çizelge 3.14	Otobüs kapasite kullanım oranlarının yolcu ve işletme açısından değerlendirilmesi (Yüksel, 2003).....	52
Çizelge 3.15	Uygulamada kullanılan parametrelerin değişim aralıkları .....	52
Çizelge 3.16	Otobüs işletme maliyetinin bulunması .....	56
Çizelge 3.17	Yolcu.km otobüs işletme maliyetinin kapasite kullanım oranıyla değişimi.....	56
Çizelge 3.18	Boğaziçi köprüsünden geçen araçların saatlere dağılımı (Boğaziçi Köprüsü Bakım İşletme Baş Mühendisliği, 2003) .....	57
Çizelge 4.1	Uygulama örnekleri girdileri.....	59
Çizelge 4.2	Uygulama örnekleri model sonuçları .....	59
Çizelge 4.3	Farklı otobüs bilet fiyatları için model yardımıyla bulunan optimum değerler, uygulamanın maliyetleri ve gelirleri (Örnek 6) .....	66
Çizelge 4.4	Farklı otobüs bilet fiyatları için model yardımıyla bulunan optimum değerler, uygulamanın maliyetleri ve gelirleri (Örnek 7) .....	66
Çizelge 4.5	Farklı otobüs bilet fiyatları için model yardımıyla bulunan optimum değerler, uygulamanın maliyetleri ve gelirleri (Örnek 8) .....	67
Çizelge 4.6	Farklı otobüs bilet fiyatları için model yardımıyla bulunan optimum değerler, uygulamanın maliyetleri ve gelirleri (Örnek 9) .....	67



## ÖNSÖZ

Bu güne kadarki akademik kariyerimde en önemli kilometre taşını oluşturan doktora tezimin hazırlanmasında benden hiçbir konuda desteğini esirgemeyen danışmanım Prof. Dr. Zerrin Bayrakdar'a, çalışmalarım boyunca bilgi ve tecrübelerinden faydalandığım tez izleme komitesi üyeleri Prof. Dr. Güngör Evren ve Prof. Dr. Ergun Gedizlioğlu'na, her konuda yardımlarını gördüğüm k rs m zdeki tüm hocalarıma ve arkadaşlarıma, hep yanımda olan ve sabırla moral desteği sağlayan aileme ve eğime en içten teŐekkürlerimi sunarım.



## ÖZET

Dünyadaki bir çok büyük kentte trafik tıkanıklığının yoğun olarak yaşandığı bölge ve güzergahlarda, toplu taşımacılığın geliştirilmesi , desteklenmesi, özel otomobil kullanımının azaltılması amacıyla yapılan pek çok teorik çalışma ve ücretli bölge/güzergah giriş uygulamaları mevcuttur.

Bu tür uygulamalar, trafiğe katılan her özel otomobilin, trafikteki diğer araçlara ve hatta bölgede yaşayanlara getirdiği ve kendisinin üstlenmediği maliyetin, kullanıcıdan giriş fiyatı olarak alınması esasına dayanmaktadır. Bu fiyatın belirlenmesi ve uygulanması durumunda bölge/güzergah trafik akımında oluşacak değişikliklerin tahmin edilebilmesi, gerekli toplu taşıma hizmetinin öngörülebilmesi ve uygulamanın fizibilitesinin araştırılabilmesi için büyük önem taşımaktadır.

Dünyada yapılmış olan çalışmalar ve uygulamalar ışığında; İstanbul gibi yoğun trafik sorunları yaşayan bir kentte bu tür bir uygulamaya altyapı oluşturmak amacıyla bir tıkanıklık fiyatlandırması modeli ortaya koymak ve bu uygulamanın toplu taşımacılığa etkilerini araştırmak bu tezin konusunu oluşturmaktadır.

Çalışmada tıkanıklığın marjinal maliyetinin bulunmasında, araç sahipliği maliyetleri, yolculuğun zaman maliyeti, yakıt tüketimi ve hava kirleticilerin emisyon maliyetleri dikkate alınmıştır.

Fiyat uygulaması sonucunda yolculuk talebinin türel ayrımında oluşacak değişiklikleri önceden belirlemek amacıyla bir tercih modeli oluşturulmuş ve yapılan bir anketle modelin katsayıları belirlenmiştir.

Talepte oluşacak değişikliğin model yardımıyla belirlenmesinin ardından sunulması gereken ek toplu taşıma hizmetinin miktarı ve maliyeti hesaplanmıştır. Farklı koşullar için toplanan fiyatın oluşturduğu gelir ve gerekli ek toplu taşıma kapasitesi sunmanın maliyeti karşılaştırılarak maliyet analizleri yapılmıştır.

Son olarak tıkanıklık fiyatlandırmasından elde edilen gelir tarafından karşılanabilecek ek toplu taşıma yolcu kapasitesi araştırılmıştır. Model, Boğaziçi Köprüsü'nde yapılacağı düşünülen bir uygulama için çalıştırılmış; farklı koşullar altında model parametreleri değiştirilerek bulunan sonuçlar yorumlanmıştır.

**Anahtar kelimeler:** Tıkanıklık fiyatlandırması, toplu taşıma, marjinal maliyet

## **ABSTRACT**

There are numerous area/link congestion pricing applications in many metropolitan cities with traffic problems to decrease car use and support public transportation and there are even more research going on.

These applications are based on the fact that the cost “each private automobile joining the traffic imposes on other users in traffic and on the people living in that area which is not compensated by the user” is to be charged from the user as the entrance fee. The determination of congestion price and the changes to the traffic due to the application are very important for the prediction of public transportation capacity needs after the application and also for feasibility of the project.

The aim of the this study, after reviewing the literature and the projects realized so far around the world, is to put forward a congestion pricing model for Istanbul and to analyze the effects of the pricing scheme on the public transportation system.

In the study, while determining the marginal costs of congestion, the car ownership costs, the trip time costs and the costs for fuel consumption and toxic gas emissions are taken into consideration.

A mode choice model is constructed and calibrated with the help of a survey study to determine the changes in modal split after the pricing scheme is introduced. After the change in demand due to the pricing scheme is calculated, the amount and the cost of extra public transit capacity needed is determined.

For different scenarios, the benefits from pricing scheme and the costs of the extra public transit supply are compared and cost-benefit analysis's are made. Also the amount of extra public transit capacity that can be compensated with the benefits of the pricing scheme is also calculated for these scenarios. This model is used for a pricing application that is supposed to be on the Boğaziçi Bridge and the results are interpreted.

**Keywords :** Congestion pricing, public transport, marginal costs

## 1. GİRİŞ

Ulaşımında motorlu kara taşıtları kullanılmaya başladığında, büyük kentlerde ulaşım sorunlarının sonlanacağı düşünülmüştü. Fakat varolan yollar kısa bir süre içinde yaygınlaşan ve çoğalan otomobillere yetmez oldu. Kentler karayolu ağlarıyla sarıldı, ancak inşa edilen her yol kendi trafiğini oluşturuyordu. Başlangıçta düşünülenin aksine ulaşımında sorunlar yeni başlıyordu. Trafik sorunları hızla gündeme geldi. Bir süre sonra yaşanan büyük petrol krizi insanları düşünmeye mecbur etti. Kentiçi toplu taşımacılık ciddi bir seçenek olarak öne çıktı. Bu arada insanların çoğu özel otomobile bağımlı hale gelmişti bile. Giderek toplumların çarpık kentleşme, çevre kirliliği, toplum refahı gibi konulardaki bilinç düzeyi yükseldi. Kentiçi ulaşım sorunlarına pek çok farklı açıdan yaklaşılarak yepyeni bakış açılarıyla geliştirilen çözüm önerileri üretilmeye başlandı.

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 gerçekleştirmek ve çevreci bir yaklaşım sergilemek zorundadır. Özel otomobil kullanımını azaltırken, sunulacak cazip hizmetlerle toplu taşımacılığın payını arttırmak bu çözümlerin özünü oluşturmaktadır. Çalışmaların sözü edilen kısıtları sağlamak dışında, hem uygulanabilir, hem de yönetimler ve toplum açısından kabul edilebilir olmaları gerekmektedir.

Bu kadar karmaşıklaşan çözümler arasında tümit 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 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. Bu maliyetlerin toplumun ilgisiz kesimleri tarafından karşılanması, bir yandan da toplumsal refah anlayışına ters düşmektedir. Diğer yandan da, kentiçi toplu taşımacılık hizmetlerinin geliştirilmesi için oluşturulabilecek ve adil şekilde finanse edilebilecek önemli bir fon göz ardı edilmiş olmaktadır.

Ulaştırmada talep yönetimine göre, mevcut altyapıdan en yüksek faydayı sağlayacak şekilde, toplu taşımayı iyileştirerek çekiciliğini arttırmak ve özel otomobil kullanımının sebep olduğu maliyetleri kullanıcıdan talep ederek çekiciliğini azaltmak anlamlı ve etkili bir çözümdür. Teorik olarak basit görünen bu yöntemin aşağıda belirtilen hazırlık ve planlama aşamaları pek çok sorunu içinde barındırmaktadır;

- Uygulamanın yönetimler ve toplum tarafından kabul görmesinin sağlanması.
- Uygulama yeri ve zamanının belirlenmesi .
- Uygulamada karşılaşılabilecek bölgeye/güzergaha özel durumların belirlenmesi.
- Uygulamanın hedefinin ve buna uygun tıkanıklık fiyatının belirlenmesi.
- Uygulama için gerekli teknolojinin seçilmesi.
- Uygulamanın fizibilitesinin araştırılması.

Planlama ve uygulama aşamalarında pek çok güçlükle karşılaşılaçağı bilinmesine rağmen geçmişten günümüze benzer birçok tıkanıklık fiyatlandırması uygulamasına rastlanmaktadır.

Tıkanıklık fiyatlandırması teorisine ilk olarak 1920'lerde Pigou'nun çalışmalarında rastlanmaktadır. 1961 yılında ise Walters tarafından tıkanıklık fiyatının hesaplanması için basit ama akılcı bir teori ortaya konmuştur. Kentiçi yollarda tıkanıklık fiyatlandırması çalışmaları, ilk olarak İngiltere Ulaştırma Bakanlığı tarafından verilen destekle 1964'te hazırlanan, Smeed Raporu'nda ortaya çıkmıştır. Raporda fiyatın hesaplanması ve toplanması konularındaki teknolojik yetersizliklerden sözedilmiş, ayrıca kentiçi yolların doğrudan fiyatlandırılmasının kentiçinde otomobil kullanımını varlıklı kesime ait bir ayrıcalığa dönüştüreceği kaygısından bahsedilmiştir. 1974 yılında Londra Büyükşehir Belediyesince Londra'nın merkezindeki yolları kullanan araçları fiyatlandırmak için günlük bilet uygulanması teklifi gündeme gelmiştir. Uygulamaya göre, özel araçlar için günlük fiyat 1 Pound, ticari araçlar içinse 3 Pound öngörölmüş fakat ertesi yıl politik muhalefet sebebiyle teklif geri çekilmiştir. Singapur şehri, 1975 yılında uygulamaya koyduğu, ALS adını taşıyan tıkanıklık fiyatlandırması programıyla bu konuda öncü olmuştur. Şehrin iş merkezine yönelik olan bu uygulamada elektronik olmayan bir fiyat toplama sistemi oluşturulmuştur . İlerleyen yıllarda benzer teorik çalışmalara devam edilmiştir. Teknolojik gelişmeler sonucunda 1980'lerin ortalarında Hong Kong'da gerçek bir elektronik fiyatlandırma uygulaması denenmeye başlanmıştır . İki yıllık deneme süresince umut verici sonuçlar elde edilmesine karşılık, sosyal ve politik baskılar sonucu program durdurulmuştur. Baskıların arkasında yatan

sebepler kişilerin mahremiyetine müdahale ediliyor olması iddiası ve bu iddianın kaynağı da sistemin araç plakalarını kaydediyor olmasıdır. Singapur ise teknolojinin ilerlemesiyle birlikte akıllı kart kullanılan fiyatlandırma programlarını 1998 yılının Nisan ayında ekspres yollarda Eylül ayında ise kent iş merkezi bölgesinde uygulamaya başlamıştır. (Li, 2002).

Geride bıraktığımız on yıllar süresince dünyanın bir çok ülkesinde benzer uygulamalar geliştirilerek, uygulanmaya başlandı. Avrupa'daki kentlerin bazılarında benzer uygulamalara rastlanmaktadır. Yakın zamanda gerçekleşen en önemli uygulamalardan biri de Londra'daki Merkezi Londra Ücretli Bölge Projesi'dir. 17 Şubat 2003 tarihinde uygulanmaya başlanan bu proje elde ettiği olumlu sonuçlarla tıkanıklık fiyatlandırması uygulamaları konusunda önemli bir örnek oluşturmaktadır.

Londra'daki uygulamanın dört öncelikli amacı aşağıdaki şekilde ortaya konmuştur:

- Trafik tıkanıklığını azaltmak.
- Otobüs hizmetlerinin geliştirilmesini sağlamak.
- Otomobil kullanıcıları için yolculuk zamanı tahminlerinin güvenilirliğini arttırmak.
- Mal ve hizmetlerin dağıtımını daha güvenilir, sürdürülebilir ve etkin kılmak.

Uygulamanın yapıldığı bölgede hafta içi 07:00 – 18:30 saatleri arasında özel otomobille yolculuk yapmak ve park etmenin fiyatı günlük 5 Pound olarak belirlenmiştir. Bu fiyat bölge sakinleri için %90, engelli kullanıcılar içinse %100 indirimli olarak uygulanmaktadır. Taksi, motosiklet ve otobüsler fiyatlandırma dışında tutulmuşlardır. Uygulamanın yapıldığı bölge Londra'nın merkezinde 22 km<sup>2</sup> lik bir alanı kapsamaktadır. Giriş fiyatı satış noktalarından, benzin istasyonlarından, telefon veya posta yoluyla, cep telefonu mesajı veya internet üzerinden ödenebilmektedir. Bölgedeki araçların plakaları elektronik olarak okunarak veri tabanındaki araç listesi ile karşılaştırılmakta ve fiyatı ödeyip ödemediği saptanmaktadır. Fiyatı ödemeksizin giriş yapan araçlara cezalı fiyat uygulanmaktadır (TFL, 2004).

Projenin uygulandığı süre sonunda bölge içindeki trafikte %30 civarında bir azalma sağlanmıştır. Yapılan bir ankete katılan Londralıların %70'i fiyatlandırma uygulamasının trafik tıkanıklığını azalttığı görüşündedir. Uygulama yılda 70 milyon Pound ek getiri sağlamaktadır ve bu miktarın tamamının Londra'nın ulaşım sistemini iyileştirmek için kullanılması yasal olarak zorunludur (TFL, 2004).



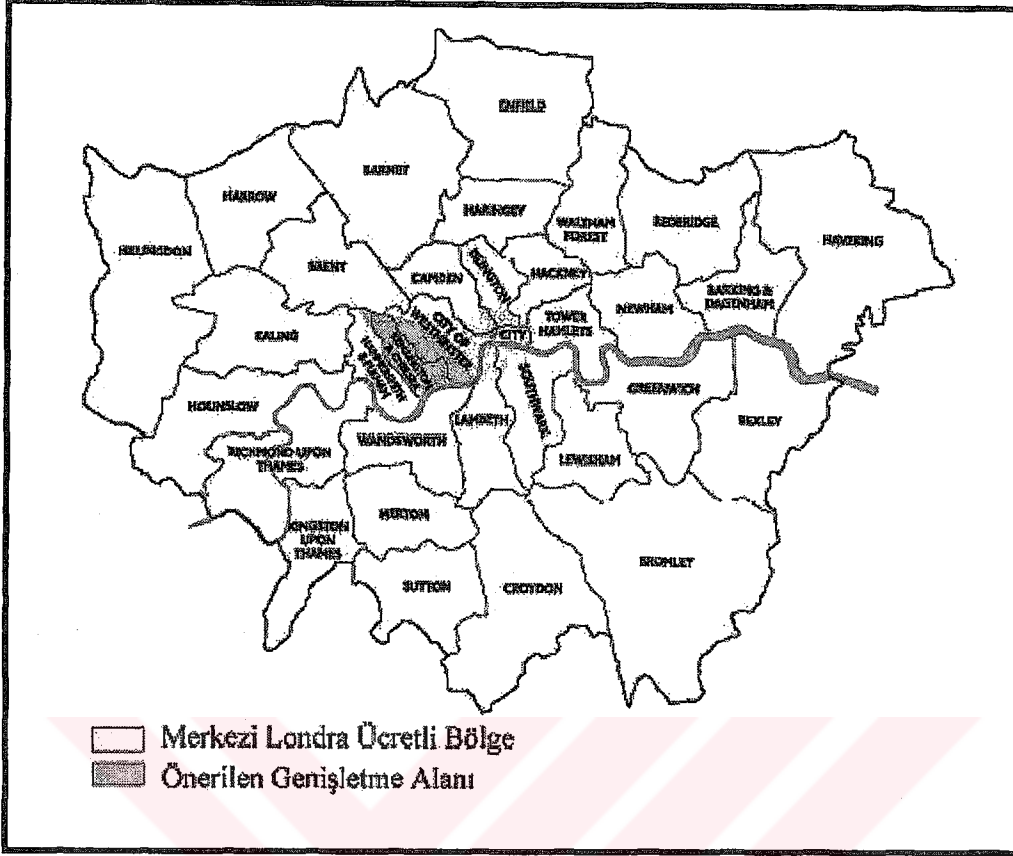


Şekil 1.1 Merkezi Londra ücretli bölge uygulamasının sınırları (TFL, 2004)

Uygulamanın ilk yılı sonunda bölge içinde otomobiller tarafından gerçekleştirilen araç.km yolculuklarda %34 azalma gözlenirken, yaralanmalı kaza sayısı da % 8 azalmıştır. Bölge içi yolculuklarda km başına düşen ortalama gecikme süresi 2,3 dak/km'den 1,7 dak/km'ye düşmüştür.

Sabah 07:00–10:00 arasındaki zirve saatlerde 29.000 ek otobüs yolcusu oluşmuş buna karşılık otobüs hizmetlerinde sabah zirve trafiğinde saatlik 14.500 ek koltuk kapasitesi uygulama başlamadan sağlanmıştır. Bölge içine hizmet veren otobüs hatlarında trafik tıkanıklıklarına bağlı olarak oluşan hizmet aksamaları %60 oranında azalmış, Londra genelinde ise bu azalma %40 olarak hesaplanmıştır (TFL, 2004).

Bu veriler ışığında projenin faydalı olduğuna inancını tazeleyen Londra Büyükşehir Belediyesi ücretli bölgenin genişletilmesi düşüncesiyle yeni planlar yapmakta ve Londralıların bu konudaki düşüncelerini öğrenmek amacıyla anketler düzenlemektedir.



Şekil 1.2 Merkezi Londra ücretli bölge genişletme önerisi (TFL, 2004)

Tıkanıklık fiyatlandırması uygulamalarının, günümüz koşullarında trafik sorunları yaşayan büyük kentlerde bu sorunların çözümü için bir alternatif olarak gözdardı edilmemesi gereklidir. Avrupa Birliği Ulaşım Komisyonunun gözetiminde Halcrow Fox Şirketi tarafından yapılan ve Avrupa'daki pek çok şehri kapsayan çalışmada, tıkanıklık fiyatlandırması uygulamalarının özel otomobilden toplu taşımaya geçişi sağlamada ve toplu taşımacılık için finansal kaynak yaratmada en etkili yöntem olduğu belirtilmiştir (European Commission, 1996) Tıkanıklık fiyatlandırmasının, Türkiye'nin nüfus, ekonomi ve özel otomobil sayısı açısından en büyük kenti olan İstanbul'un yaşadığı ciddi trafik problemlerine bir çözüm alternatifi olarak değerlendirilmesi gereklidir. Böyle bir uygulama İstanbul'daki toplu taşıma hizmetlerinin geliştirilmesi açısından da önemli bir fırsat oluşturacaktır.

Yapılan kaynak araştırması (2. Bölümde sunulmuştur) sonucunda tıkanıklık fiyatlandırması amacıyla oluşturulan modelin kaynak taraması sırasında karşılaşılanlardan farklılaştığı noktalardan biri dışsal maliyetlerin de hesaba katılması, bir diğeri yakıt tüketimi ve dışsal maliyetlerin km başına sabit değerler olarak değil hıza göre değişecek şekilde modelde yer alması ve bir diğeri ise fiyatlandırma sonucu oluşacak gerekli ek toplu taşıma kapasitesinin



bulunması ve bu kapasitenin fiyatlandırma geliriyle karşılanıp karşılamayacağını model içinde araştırılmasıdır. Modelde kullanılan tercih modelinin ve hız-akım bağıntısının kalibrasyonunda ve tüm maliyet hesaplarında İstanbul'a ait veriler kullanılmıştır.

Hazırlanan bu tezde, İstanbul'da bu tip bir uygulama için gerekli planlama çalışmalarının altyapısının oluşturulması ve farklı koşullar için optimum tıkanıklık fiyatının belirlenmesi amaçlanmış ve oluşturulan matematik modelle farklı senaryolar incelenerek, olası uygulamanın trafik koşullarına ve otobüs hizmetlerine etkileri araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlardan yola çıkılarak benzer projelerin yapılabilirliği yorumlanmıştır.

Tezin gelişme bölümünde öncelikle tıkanıklık fiyatlandırması projelerinin dayandığı esaslar konu edilmiş, dikkate alınması gereken faktörler tartışılmış ve ülkemiz koşulları için temel bir modelin çatısı oluşturulmuştur. İlerleyen bölümlerde modelin matematik yapısı ortaya konmuş ve verdiği sonuçlar sunulmuştur. Sonuçlar bölümünde ise modelin sonuçları yorumlanmış ve modelin geliştirilmesi ve uygulanması için önerilerde bulunulmuştur.



## 2. KAYNAKLARIN GENEL DEĞERLENDİRMESİ

Tıkanıklık fiyatlandırması özel otomobil kullanımının azaltılmasında etkili bir yöntemdir, ancak bir şartla, kullanıcılar otomobillerini kullanabilmek için sebep oldukları maliyetleri ödemek zorunda olsalar da tercihlerini otomobillerini bırakma yönünde kullandıkları takdirde kendilerine ekonomik ve konforlu bir toplu taşıma hizmeti sunulacağını bilirlerse bu yöntem etkili olacaktır. İngiltere’de yapılan bir anketin sonuçlarına göre özel otomobil kullanıcılarının %33’ü önlerindeki 12 ay içinde özel araç kullanımlarını azaltmak istediklerini ancak sadece %7’si bunu başarabileceğini düşündüğünü ifade etmiştir. Özel otomobil kullanımını azaltmaya yönelik uygulamaların büyük çoğunluğu, otomobil kullanımını güçleştirme yolunu izlese de, destek ve ek hizmet yoluyla bu işin daha kolay gerçekleşebileceği sosyologlar tarafından iddia edilmektedir (Ison, 2000).

Tıkanıklığın fiyatlandırılması için bir model oluşturulması amacıyla yapılmış olan çalışmalar incelenirken, oluşturulması planlanan modelin karmaşık olmaması ve istenildiğinde belli kısımlarının farklı koşullara uygun hale getirilecek şekilde esnek olması hedeflenmiştir. Bu konuda “Tıkanıklığın modellenmesi” isimli makalede basit modellerin, günümüzün teknolojik olanaklarının imkan sağladığı karmaşık simülasyon modellerine yenik düşmediğine ve her zaman gerçekçilik uğruna esneklik ve işlenebilirlikten vazgeçmek gerekmediği ifade edilmiştir (Lindsay, 1999).

Tıkanıklığın fiyatlandırılmasında temel bileşenlerin, trafik tıkanıklığının maliyeti, fiyatlandırılacak güzergah kesimindeki hız-akım ilişkisini veren bağıntı ve fiyata göre talebin değişimini veren talep eğrisi olduğu görülmüştür. Ancak trafik tıkanıklığının maliyeti hesaplanırken, tıkanıklıkta en büyük pay sahibi olan özel otomobillerin kullanım maliyetinin bulunması gerekir. Bu maliyetin hesaplanması konusunda değişik görüşler sözkonusudur. Aralarında, Amsterdam, Brüksel, Dublin ve Londra’nın da bulunduğu Avrupa’daki altı şehirdeki ulaşım türlerine, vergi, geçiş fiyatları vb. yöntemlerle uygulanan fiyatlarla, ekonomik refah gözetilerek belirlenen ve dışsal maliyetleri de içeren daha gerçekçi fiyatlar arasındaki farkların incelendiği makalede, özellikle talep dikkate alınarak bulunan optimum fiyatların mevcut marjinal dışsal maliyetlerin 1/3’ünü bile karşılamadığı bulunmuş fiyatların ve/veya vergilerin % 35 ile % 233 oranında yükseltilmesi gerektiği iddia edilmiştir (Proost, 2002). Demografik, ekonomik, sosyal ve kentçi yolcu ulaşım hizmetleri açısından İstanbul’a benzeyen özellikleri ile Santiago’da ulaşım türleri kişisel harcamalar ve dışsal maliyetler açısından incelenmiş, ulaşım maliyetlerinin %26’sının kullanıcılar tarafından karşılanmayan dışsal maliyetler olduğu gösterilmiştir. Bu olumsuzluğu ortadan kaldırmak için

uygulanabilecek yöntemler özetlenmiş ve marjinal maliyetlerin bulunmasının daha gerçekçi değerlere ulaşmak için gerekli olduğu vurgulanmıştır (Zegras, 1998).

Ulaştırmanın fayda ve maliyetlerinin araştırılması ve analizi konusunda kapsamlı bir başvuru kaynağı olan ve bu bilgileri planlama ve politikalar geliştirme konularında kullanabilmek için rehber niteliği taşıyan “Ulaştırma fayda-maliyet analizi. Teknikler, tahminler ve uygulamalar” adlı dokümanda 11 farklı ulaşım türü için 20 farklı maliyet kaleminin parasal karşılıkları ve tahmin yöntemleri ayrıntılı olarak incelenmiştir. Maliyetler sabit-değişken, içsel-dışsal, pazar içi-dışı olarak sınıflandırılmıştır. Çalışmalarda otomobil maliyetlerinin yaklaşık 1/3’ünün dışsal olduğu vurgulanmaktadır (Litman, 2003). Ulaştırmanın dışsal maliyetlerinin yanı sıra dışsal faydalarının incelendiği sıra dışı bir çalışmada ise ulaştırmanın türetilmiş bir hizmet olmasından dolayı dışsal faydalarının da piyasada dağılık ve ayrılması güç bir şekilde bulunduğu belirtilmiştir (Blum, 1998). Adı geçen çalışmalarda da vurgulandığı üzere özel otomobil kullanımının maliyetinin bulunmasında dışsal maliyetlerin gözardı edilmemesi gerekmektedir.

Ayrıca kişisel kullanım maliyetinin değil, trafiğe katılan bir otomobilin diğer kullanıcılara getireceği ek maliyetin dikkate alınması yani marjinal maliyetin bulunması daha anlamlı olacaktır. Bu konuda yazılmış olan makalede Brüksel’de kentiçi ulaşımın tıkanıklık, kaza, hava kirliliği, gürültü gibi dışsal marjinal maliyetlerinin hesap yöntemleri üzerinde durulmuştur. Bu maliyetlerin, otomobil, otobüs, raylı sistemler ve yük taşıyan karayolu araçları için hesaplanmasına yönelik geliştirilen yöntemler açıklanmıştır (Mayerers, 1996). Benzer şekilde yine Belçika için hazırlanan bir projenin özetlendiği makalede Kentiçi ve kentlerarası ulaşımın dışsal maliyetlerinin içselleştirilmesi amacıyla uygulanabilecek alternatif politikalar ve bunların toplumsal refaha katkıları, bu çalışmada, oluşturulan modeller yardımıyla incelenmiştir. Çalışmada farklı toplu taşıma hizmetleri dikkate alınmış, kentiçi ve kentlerarası ulaşım birarada düşünülmüş ve yük taşımacılığı modele dahil edilmiştir. Vergilendirme, fiyatlandırma ve araç üretimine getirilecek teknolojik kısıtlamalar gibi düzenlemelerle dışsal maliyetin içselleştirilmesi amaçlanmıştır (De Borger, 1997).

Oluşturulacak modelde kullanılacak dışsal maliyetlerin seçimi için araştırmalara devam edilmiştir. Avustralya’da hazırlanmış olan bir raporda, otomobil sürüş tarzının yakıt tüketimi, zararlı gazların emisyonu ve trafik kazalarına karışma olasılığı üzerindeki etkisi incelenmiştir. Sözedilen ilişkilerle ilgili gözlem ve araştırma sonuçları sunulmuştur. Kaza riskinin, yakıt tüketimi ve zararlı gaz emisyonlarının trafik akım hızı ile değişimi de raporda sunulan bilgiler arasındadır (Haworth, 2001). Oluşturulacak modelin, Türkiye, özellikle de İstanbul

koşullarında kullanılması amaçlandığından maliyete dahil edilecek dışsal maliyetleri seçimi ve parasal değerlerinin hesaplanması için ülkemize özgü bir değerlendirme yapılmasının gerekli olduğu ortadadır. Bir diğer dışsal maliyet olan trafiğin oluşturduğu gürültü maliyetinin parasal karşılığının bulunması üzerine bir çalışmada, Hollanda'da gürültünün azaltılması için uygulanan yöntemlerin fayda-maliyet analizleri sunulmuştur. . Faydanın ölçülmesinde, kent sakinlerinin konut seçimi konusundaki tercihleri dikkate alınmıştır (Nijlanda, 2003).

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

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 kirlenici 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-kirlenici emisyonu bağıntıları bulunarak kullanılmıştır. Dikkat edilirse kirlenici

maliyetleri de modele, akım hızıyla emisyon miktarlarının değişimi dikkate alınacak şekilde dahil edilmiştir.

Akım değerine göre değişen (araç.km) başına düşen marjinal kişisel ve dışsal maliyetlerin bulunmasının ardından, bu miktarın tıkanıklık fiyatı olarak uygulanması durumunda, tür seçiminde dolayısıyla da akımda oluşacak değişikliklerin belirlenmesi ve optimum fiyatın bulunması için bir tercih modeli oluşturulması tez çalışmasının diğer bir aşamasıdır. Singapur için yapılan bir çalışmada optimum tıkanıklık fiyatının bulunabilmesi için farklı bir yöntem öne sürülmüştür. Bu yöntemle talep eğrisinin yokluğunda ve yalnızca kaba bir genelleştirilmiş maliyetin hesaplanmış olması durumunda bile optimum tıkanıklık fiyatının bulunabilmesinin mümkün olduğu iddia edilmiştir. Buna göre bir hız-akım modeli ve genelleştirilmiş maliyet fonksiyonu yardımıyla bulunacak, seçilen herhangi bir akıma karşılık gelen teorik tıkanıklık fiyatının fiyatlandırma yapılacak bölgeye uygulanması sonucu oluşacak akım değeri gözlenir. Gözlenen akım değeri ve başlangıçta seçilen akım değerinin ortalaması kullanılarak yeni bir tıkanıklık fiyatı bulunur ve uygulanır. Birkaç iterasyon sonucunda bir denge noktasına ulaşılacak ve bu noktada oluşan akım ve tıkanıklık fiyatı optimum değerler olacaktır. (Li, 2002). Teoride bu yaklaşım doğru olmakla birlikte uygulama sırasında optimum fiyata ulaşmak amacıyla fiyat değişiklikleri yapmak pratikte uygulanması zor ve toplum tarafından kabulü güç bir yöntemdir. Bunun yerine oluşturulacak bir tercih modeliyle optimum fiyatın bulunması daha anlamlı bir yaklaşım olarak görülmüştür. Oluşturulan tercih modelinin bir anket çalışmasıyla kalibrasyonu yapıldığında, uygulamadan önce optimum fiyatın tespiti ve oluşacak akım koşullarının tahmini mümkün olacaktır.

Bu koşullarda böyle bir uygulamanın fizibilite hesapları ve sunulması gereken ek otobüs hizmetlerinin önceden belirlenmesi olasıdır. Oluşacak ek kaynağın kullanımı da önceden planlanabilir. Uygulama için gerekli ek toplu taşıma kapasitesinin belirlenmesi ve yatırım ve işletme maliyetlerinin hesaplanması ve böyle bir uygulamanın fayda-maliyet analizinin yapılması da modele dahil edilmiştir. Bu da oluşturulan modelin araştırmalarda karşılaşılan modellere göre farklılaşan diğer özelliği olmuştur. Bu şekilde tıkanıklığın marjinal kişisel ve dışsal maliyetlere göre fiyatlandırılması ve optimum fiyat-optimum akım değerlerinin belirlenmesinin ardından olası bir uygulamanın gerektirdiği ek toplu taşıma kapasitesinin belirlenmesi ve uygulamanın fayda-maliyet analizinin model tarafından yapılması amaçlanmıştır.



### 3. TIKANIKLIK FİYATI MODELİ GELİŞTİRİLMESİ

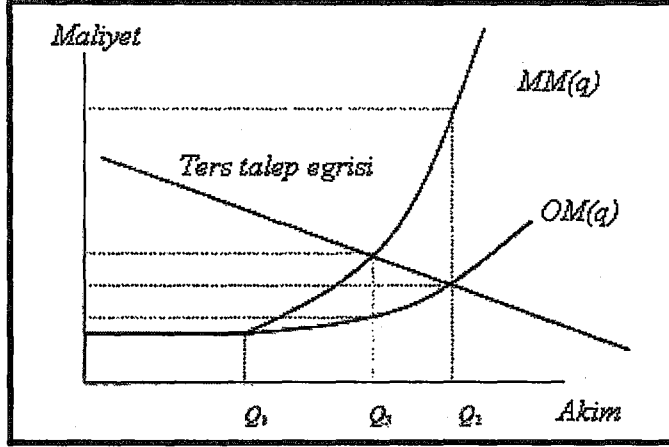
#### 3.1 Tıkanıklık Fiyatı Hesabının Esası ve Aşamaları

Tıkanıklık fiyatı uygulamasında özel otomobil kullanıcılarından belirli bir güzergaha ya da bölgeye giriş yapabilmesi 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. Trafiğe 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 trafiğe katılan araç kullanıcısının sebep olduğu ek maliyettir. Bu ise marjinal maliyet olarak adlandırılır (Li, 2002). Gerçekte maliyetlerin bir kısmının da dışsal maliyetler olduğunu dikkate almak gereklidir (Litman, 2003). 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 trafiğe 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.



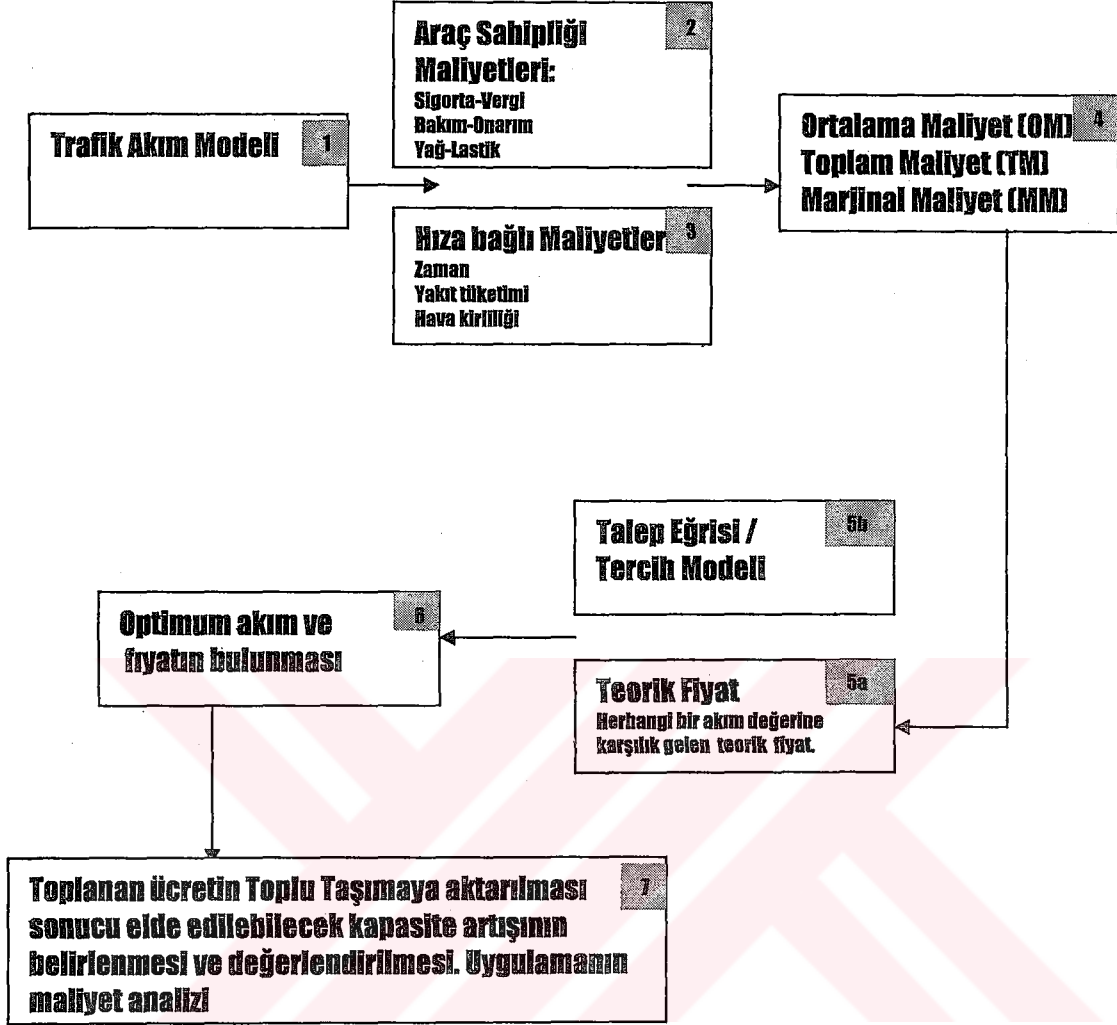
Şekil 3.1 Ortalama ve marjinal maliyet eğrileri ve ters talep eğrisi ilişkisi (Li, 2002)

Yukarıdaki grafikte  $MM(q)$  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 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. Yani  $Q_2$  akımı tıkanıklık fiyatının uygulanmadığı durumda gözlemlenecek akım değeridir. Oysa tıkanıklık fiyatı uygulanarak kullanıcı sebep olduğu maliyetleri karşılamak durumunda kaldığında, ortalama maliyet eğrisi değil marjinal maliyet eğrisi kullanıcı tarafından dikkate alınacak ve yeni denge noktası ( $Q_3$ ) olarak belirlenecektir çünkü bu noktadan sonra kullanıcının elde ettiği fayda toplam maliyetten düşük olacaktır. Bu noktada marjinal ve ortalama maliyet eğrileri arasındaki fark optimum tıkanıklık fiyatı, diğer adıyla Pigou vergisi (Li, 2002) olacaktır.

Bu temel yaklaşımın ışığında İstanbul'da kullanılabilir optimum tıkanıklık fiyatını hesaplayacak ve uygulama sonucunda trafiğin durumunu ve elde edilecek gelirle sunulabilecek ek toplu taşıma koltuk kapasitesini belirleyecek bir model oluşturulmuştur.

Bu modelin işleyişini gösteren akış şeması Şekil 2.2'de sunulmuştur. Şemada belirtilen adımlar ilerleyen bölümlerde ayrıntılı olarak açıklanmıştır.



Şekil 3.2 Model akış çizelgesi

Akış çizelgesinde de gösterildiği gibi modelin 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. Optimum fiyat ve optimum akım değerleri, akıma göre değişen teorik fiyatlar ve teorik fiyata göre değişen tercih sonucu oluşan akım fonksiyonlarının kesim noktasında oluşacaktır. Bulunan optimum fiyat değerine göre gerekli ek toplu taşıma kapasitesinin saptanması ve uygulamanın fayda maliyet analizinin yapılması modelin son aşamasını oluşturmaktadır.



### 3.2 Hız-akım Bağıntısının Seçilmesi

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. Başlıca yolculuk süresi-akım bağıntıları aşağıda verilmiştir (Branston, 1976).

- Smock (1962)

$$t = t_o \cdot (q/Q_s) \quad (3.1)$$

Bu bağıntıda ve izleyen diğer bağıntılarda  $t$ , 1 km başına düşen yolculuk süresini,  $t_o$ , serbest akım hızında 1 km yolculuğun süresini,  $Q_s$ , yolun durgun akım kapasitesini (steady-state capacity),  $Q_l$ , pratik kapasiteyi,  $q$  ise trafik akım değerini ifade etmektedir.

- BPR (The Bureau of Public Roads) (1964)

$$t = t_o \cdot [1 + \alpha \cdot (q/Q_l)^\beta] \quad (3.2)$$

Burada  $\alpha$  ve  $\beta$  kalibrasyon parametreleridir.

- Davidson (1966)

$$t = t_o \cdot [1 + J \cdot q/(s-q)] \quad (3.3)$$

Bu bağıntıda görülen  $J$  bir gecikme katsayısıdır  $s$  ise doymun akımı göstermektedir.

- Overgaard (1967)

$$t = t_o \cdot \alpha^{\beta(V/Q)} \quad (3.4)$$

Burada  $\alpha$  ve  $\beta$  kalibrasyon parametreleridir.

- Geliştirilmiş Davidson, Akçelik (1978)

$$t = t_o \cdot [1 + J \cdot q/(s-q)] \quad q \leq \mu s \quad (3.5)$$

$$t = t_\mu + K_\mu \cdot (q - \mu s) \quad q > \mu s \quad (3.6)$$

Burada  $0 < \mu < 1$  dir ve

$$t_\mu = t_o \cdot [1 + J \cdot \mu/(1-\mu)] \quad (3.7)$$

$$K_\mu = J \cdot t_o / s(1-\mu)^2 \quad (3.8)$$

olarak ifade edilmiştir. Burada  $J$  bir gecikme katsayısıdır  $s$  ise doygun akımı göstermektedir.

- Steenbrink (1974)

$$t = t_0 \cdot [1 + \alpha \cdot (q/Q_s)^\beta] \quad (3.9)$$

Bağıntıda  $\alpha$  ve  $\beta$  kalibrasyon parametreleridir.

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

$$t = \begin{cases} l/V_s & (q < Q_1) \\ l / (V_s + q \cdot V_{sk} - Q_1 \cdot V_{sk}) & (Q_1 < q < Q_2) \\ l / (V_k + (q/Q_2 - 1)/8) & (q > Q_2) \end{cases} \quad (3.10)$$

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. (Yang, 1998) 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.

$$V = f_v(q) = \begin{cases} V_s & (q < Q_1) \\ q \cdot V_{sk} - Q_1 \cdot V_{sk} + V_s & (Q_1 < q < Q_2) \\ 1/(1/V_k + ((q/Q_2 - 1)/8)) & (q > Q_2) \end{cases} \quad (3.11)$$

$q$  :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)

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

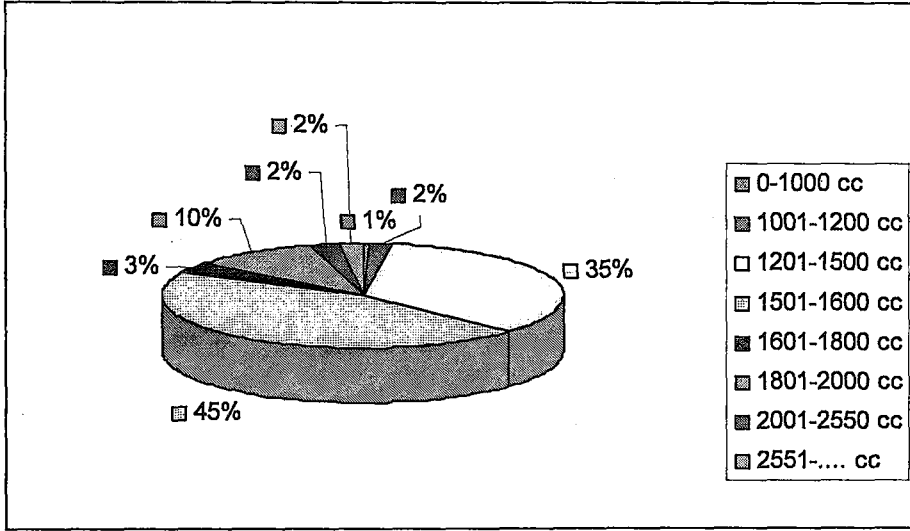
### 3.3 Araç Sahipliği Maliyeti

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;

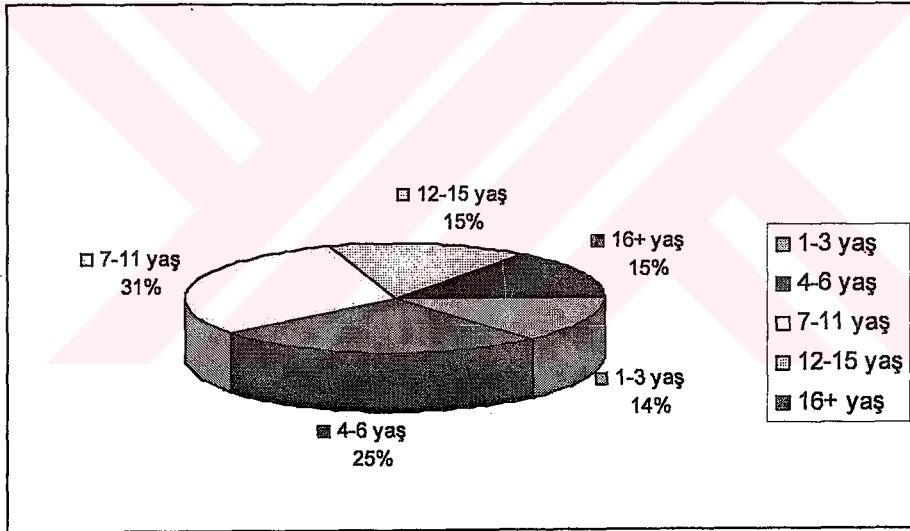
- Bakım-onarım maliyeti
- Yağ ve lastik maliyeti
- Motorlu taşıt vergisi
- Zorunlu trafik sigortası
- Araç muayene ve emisyon ölçüm bedelleri

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 (www.gelirler.gov.tr).



Şekil 3.3 2004 itibarıyla İstanbul'da otomobillerin motor hacmine göre dağılımı



Şekil 3.4 2004 itibarıyla İstanbul'da otomobillerin yaş gruplarına 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 (OSD, 2004). 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.

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 ([www.iem.gov.tr](http://www.iem.gov.tr)).

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 yapılması yasal olarak zorunludur ([www.emniyet.gov.tr](http://www.emniyet.gov.tr)).

Araç sahipliği maliyeti başlığı altında hesaplanan maliyetler aşağıda verilmiştir.

Çizelge 3.1 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
<b>Toplam</b>	<b>0,042</b>	<b>\$/km</b>

Hesaplarda bir aracın yıllık ortalama kullanımı 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 = 1.500.000 TL kuru kullanılmıştır

### 3.4 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 (Litman, 2003). 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

#### 3.4.1 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 (Litman, 2003). Yolculuk zamanı maliyeti, kullanıcı geliriyle doğru orantılı olarak artma eğilimindedir (Calfee, 1998)

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 gelirin 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 kısalmasının ona ekonomik olarak getirisi hesaplanmaya çalışılmaktadır. İkinci yöntem için genel kabul yolculuk zamanının maliyetinin, kullanıcı gelirin %50'si ile %100'ü arasında değiştiğidir (Li, 1999).

Yolculuk süresindeki değişimin miktarı, bulunan birim zaman maliyetinin her durumda kullanılmasına bir engel teşkil etmez (Mackie, 2001).

Yolculuk zaman maliyetinin hesaplanmasında ileride açıklanacak olan tercih modelinin kalibrasyonu için hazırlanan 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.

### 3.4.2 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 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 (Karakuş, 2001). 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), CO<sub>2</sub> (karbondioksit), NO<sub>x</sub> (azotoksitler), VOC ya da HC (uçucu organik bileşikler, hidrokarbonlar) ve mikro partiküllerdir.

Bu çalışmada model içinde kullanılmak üzere CO, NO<sub>x</sub>, HC emisyonlarının araç hızıyla değişimi incelenmiştir.

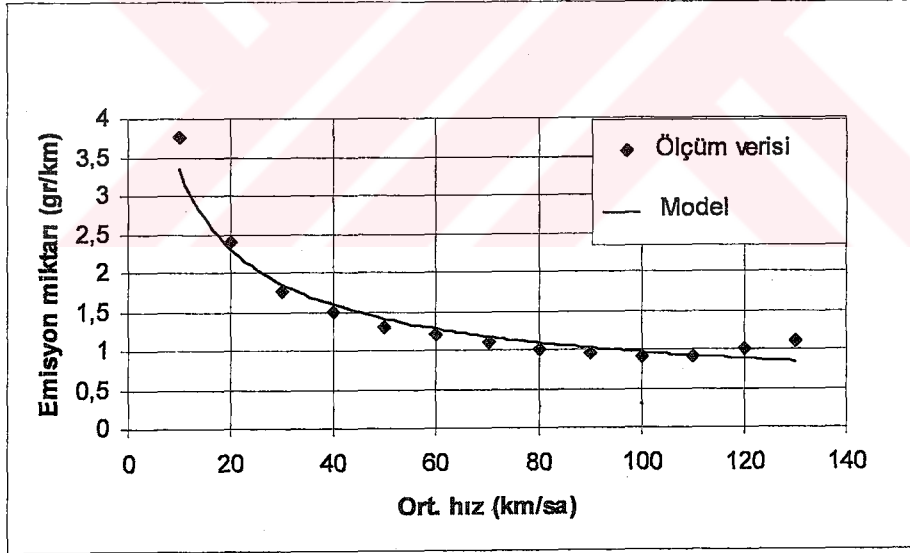
ECE 15-04 standartlarına uygun araçların tipik yakıt tüketimi ve zararlı gaz emisyonu ölçüm değerleri aşağıda verilmiştir.



Çizelge 3.2 Yakıt tüketimi ve kirletici gaz emisyonlarının araç hızıyla değişimi  
(Haworth ve ark., 2001)

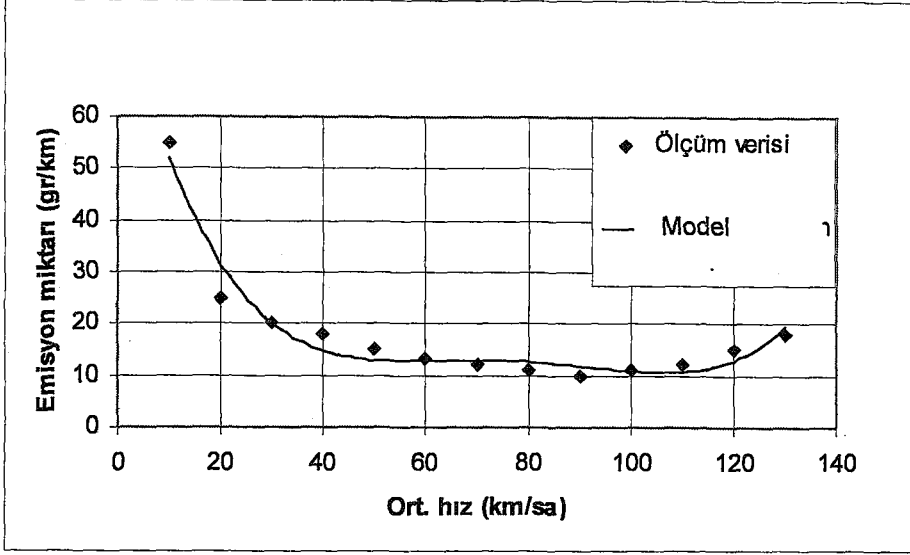
Ortalama Hız	HC Emisyon miktarı	CO Emisyon miktarı	NOx Emisyon miktarı	Yakıt Tüketim miktarı
km/sa	gr/km	gr/km	gr/km	gr/km
10	3,75	55	1,4	130
20	2,4	25	1,6	80
30	1,75	20	1,75	65
40	1,5	18	1,85	55
50	1,3	15	2,20	50
60	1,2	13	2,40	45
70	1,1	12	2,60	55
80	1	11	2,80	55
90	0,95	10	3,20	57
100	0,9	11	3,50	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.

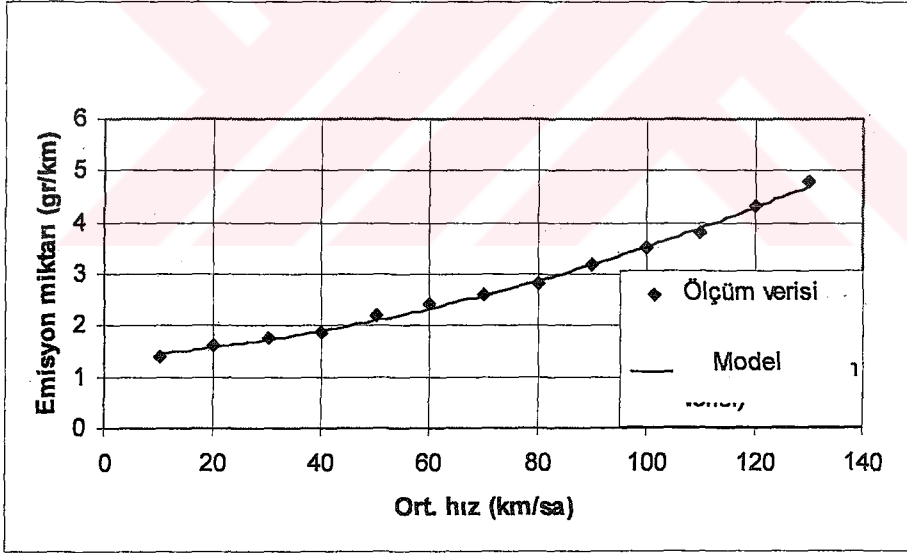


Şekil 3.5 Hidrokarbon emisyonlarının araç hızıyla değişimi

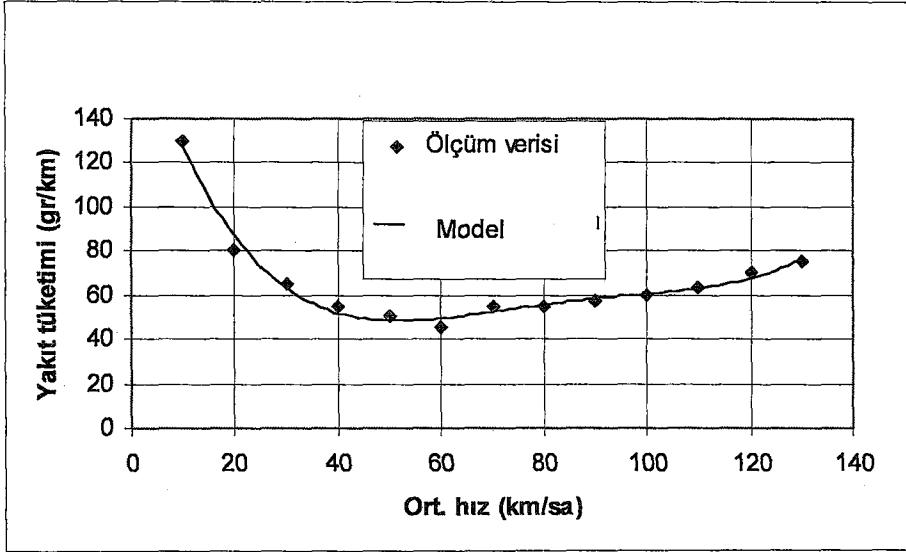




Şekil 3.6 Karbon monoksit emisyonlarının araç hızıyla değişimi



Şekil 3.7 Azotoksit emisyonlarının araç hızıyla değişimi



Şekil 3.8 Yakıt tüketiminin araç hızıyla değişimi

Elde edilen bağıntıların formülleri aşağıda gösterilmiştir.

$$f_1(V) = 0,00000351V^4 - 0,00119275V^3 + 0,1484397V^2 - 7,7275837V + 190,76923 \quad (3.12)$$

$$f_2(V) = 11,49431 V^{-0,53747} \quad (3.13)$$

$$f_3(V) = 0,00000237V^4 - 0,00073996V^3 + 0,0834485V^2 - 4,0557805V + 84,71328 \quad (3.14)$$

$$f_4(V) = 0,000138V^2 + 0,007835V + 1,366084 \quad (3.15)$$

$f_1(V)$  = 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<sub>x</sub> 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 3.3 Zararlı gaz emisyonlarının özellikleri (Litman, 2003)

Emisyon Cinsi	Tanımı	Kaynağı	Zararlı etkileri
CO (karbonmonoksit)	Kanın oksijen taşıma kapasitesini düşüren zehirli bir gazdır.	Motor	İnsan sağlığı İklim değişimi
NO <sub>x</sub> (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 (Litman, 2003).

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<sub>x</sub> ve HC emisyonlarının maliyetleri, EU-15 maliyetlerin ortalaması alınarak bulunmuştur (Holland, 2002). CO emisyonu maliyeti içinse yine Avrupa Birliği Komisyonu ExterneE programı çalışmaları dahilinde belirlenmiş olan ortalama maliyet kullanılmıştır (Litman, 2003). 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 (OECD, 2003).

Aşağıdaki tabloda bu bilgiler yardımıyla Türkiye için hesaplanan zararlı gaz emisyonu birim maliyetleri sunulmuştur. Euro birim maliyetlerinin 2004 yılına güncellenmesi için paranın yıllık getirisi olarak % 4 değeri kullanılmıştır. Euro, A.B.D. Doları paritesi 1.2 olarak seçilmiştir. 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 3.4 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

### 3.5 Ortalama ve Marjinal Maliyetler ve Teorik Tıkanıklık Fiyatı Modelinin Oluşturulması

Teorik tıkanıklık fiyatı hesaplama prensiplerinden Bölüm 2.1 de 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.

$$TM(q) = q \cdot OM(q) \quad (3.16)$$

$$MM(q) = q \cdot OM(q) \, dv / dq \quad (3.17)$$

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

$$V=f_v(q)$$

$$OM(V) = k_1 + k_2/V + k_3.f_1(V) + k_4.f_2(V) + k_5.f_3(V) + k_6.f_4(V) \quad (3.18)$$

$$k_1 = \text{Araç sahipliği maliyeti (\$/km)}$$

$$k_2 = \text{Zaman maliyeti (\$/saat)}$$

$$k_3 = \text{Yakıt maliyeti (\$/gr)}$$

$$k_4 = \text{HC maliyeti (\$/gr)}$$

$$k_5 = \text{CO maliyeti (\$/gr)}$$

$$k_6 = \text{NO}_x \text{ maliyeti (\$/gr)}$$

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 (2.12), (2.13), (2.14), (2.15) denklem numaralarıyla 2.4.2 no'lu bölümde verilmiştir.

(3.18) 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:

$$OM(V) = OM(f_v(q)) = OM(q) \quad (3.19)$$

olur.

Modelde kullanılan (2.11) numaralı denklemlerle 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.

$$TTF_1(q) = MM(q) - OM(q) \quad (3.20)$$

Oluşturulan modelde ortalama maliyet fonksiyonu  $q$  değişkenine bağlı olarak yazıldığında;

$$OM(q) = k_1 + k_2/f_v(q) + k_3.f_1(f_v(q)) + k_4.f_2(f_v(q)) + k_5.f_3(f_v(q)) + k_6.f_4(f_v(q)) \quad (3.21)$$

şeklini alır.

Teorik tıkanıklık fiyatını bulabilmek için kullanıcının 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.

$$OMB(q) = k_1 + k_2/f_v(q) + k_3.f_1(f_v(q)) \quad (3.22)$$

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

$$TTF_2(q) = MM(q) - OMB(q) \quad (3.23)$$

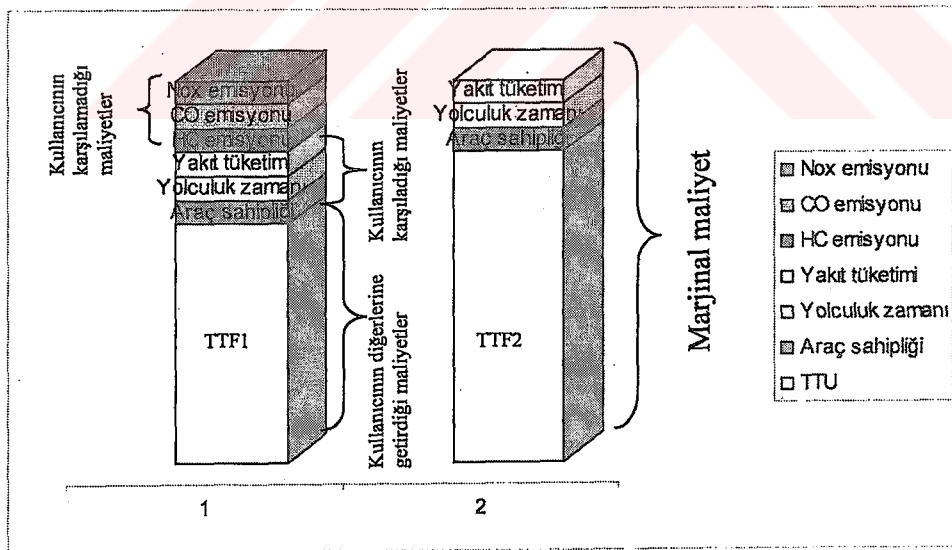
şeklinde bulunacaktır. Yani,

$$TTF_2(q) = MM(q) - [k_1 + k_2/f_v(q) + k_3.f_1(f_v(q))] \quad (3.24)$$

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 3.9):



Şekil 3.9 Marjinal maliyet, ortalama maliyet ve tıkanıklık fiyatı ilişkisi

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

Bilgisayar programı yardımıyla çözülmüş olan üçer farklı  $MM(q)$  ve  $OM(q)$  fonksiyonu Ek 1'de verilmiştir.

### 3.6 Modelin Yapısı ve Yapılan Kabuller

Model oluşturulurken esnek bir yapıya sahip olması amaçlanmıştır. Bu sayede farklı şartlar altında kullanılması olasıdır. Modelde, fiyat uygulanması düşünülen güzergah/bölge için belirlenen hız-akım ilişkisini kullanarak, hıza (dolayısıyla akıma) bağlı olarak değişen ve seçilmiş maliyetlerden oluşan birim (\$/araç.km) marjinal maliyet ve kullanıcı maliyeti hesaplanır ve teorik tıkanıklık fiyatı bulunur. Diğer yandan otomobil kullanıcılarının fiyat uygulaması sonucunda tür seçimi tercihleri modellenerek, uygulanacak fiyata karşılık akımda oluşacak değişim belirlenir. Akıma bağlı teorik fiyat ve fiyata bağlı talep (dolayısıyla akım) ifadelerinin kesim noktası optimum akım değerini ( $Q_{opt}$ ) ve tıkanıklık fiyatını ( $F_{opt}$ ) verir.

Modelin mantıksal yapısına sadık kalınarak, farklı hız-akım modelleri kullanılabilir, mevcut maliyet kalemleri artırılabilir, tercih modeli yararlılık fonksiyonları yeniden düzenlenebilir, güncel verilerle tekrar kalibre edilebilir. Tüm birim maliyetler güncellenebilir, otobüs ve otomobil dolulukları, otobüs fiyatları, güzergah/bölge ortalama seyahat mesafesi, ve akım yapısı (otomobil sahipliği vb.) ve otobüs taşımacılığı hizmetiyle ilgili parametreler (durak sıklığı, ayrılmış otobüs yolu vb.) değiştirilebilir.

Bu değişikliklerle model, kullanılacağı bölge/güzergah akım koşullarına, otobüs işletmeciliği özelliklerine, fiyatlandırmada dikkate alınması uygun görülen maliyetlere uyumlu hale getirilebilir.

Model oluşturulurken bazı kabuller yapılmıştır. En temel olanı bölge/güzergah trafiğindeki araçların homojen yapıda olduğu kabulüdür. Buna göre trafikteki otomobillerin teknik özellikleri ortalamayı temsil eden bir tip otomobille modele aktarılmıştır. Ayrıca bölge/güzergah dahilinde akım koşullarının ve yol üstyapısının da homojen olduğu kabul edilmiştir. Model içindeki diğer bir önemli kabul ise eklenen otobüslerin, seçilen otomobil eşdeğerlik katsayısı ( $OEK$ ) ile çarpılarak akıma katılmasıdır. Bu, marjinal maliyet hesaplanırken otobüslerin de otomobil cinsinden işlem görmesi anlamına gelmektedir. Ancak akım içindeki otobüs oranı çok düşük olduğu için bu kabulden kaynaklanan hata ihmal edilebilir.



Modelin farklı koşullar için kullanılması söz konusu olduğunda modelin genel yapısına aykırı olmayan kabuller yapılması olasıdır.

Oluşturulan model, İstanbul'da trafik tıkanıklığının yaşandığı tipik bir güzergah olan Boğaziçi Köprüsü'nde yapılacağı düşünülen bir tıkanıklık fiyatlandırması uygulamasının değerlendirilmesi için kullanılmıştır.

Uygulama örnekleri için Boğaziçi Köprüsü'nün seçilmesinin ana sebepleri şunlardır:

- Trafik tıkanıklığının yoğun olarak yaşandığı bir güzergah olması.
- Trafik sayımı vb. veri birikiminin fazla olması.
- Özel otomobil sahiplerinin tür seçimi tercihlerinin modellenmesinde kullanılacak anket sorularının yanıtlayan tarafından doğru algılanmasının sağlanması. (Ankette yer alan "Sabah ve akşam, trafiğin çok yoğun olduğu saatlerde Boğaziçi köprüsü geçiş fiyatının arttırılması durumunda, (Her iki yakada da tıkanıklığın başladığı noktalardan önce konumlandırılmış, özel aracınızı park ederek hızla otobüslere aktarma yapabileceğiniz park et-bin alanları tesis edilecektir. Bu alanlar arasında devamlı mekik servis yapacak otobüs seferleri konulacak, mekik servislerden son seyahat noktanıza giden otobüs seferlerinin sıklığı ve konforu arttırılacaktır. Otobüs fiyatı tek bilet fiyatı olarak sabit kalacaktır.) sizi özel otomobilinizi kullanmaktan vazgeçirecek köprü geçiş fiyatı aşağıdakilerden hangisi olurdu?" sorusu, yer belirtmeden ya da daha az bilinen özel bir bölge/güzergah için sorulsaydı algılanması ve yanıtlayanın gözünde canlandırılması daha güç olurdu dolayısıyla verilen cevap da sağlıklı olabilirdi.)

Örnek uygulamada bazı ek kabuller yapılmıştır. Park et-bin alanları arasında ara duraksız otobüs taşımacılığı yapılacağı ve mekik servis yapacak otobüsler, özel otomobillerle aynı trafik içinde yol alacakları için seyahat sürelerinin eşit olacağı kabul edilmiştir.

Uygulamada modelin esnekliğinden faydalanılarak pek çok farklı durum incelenmiştir. Her durum için optimum tıkanıklık fiyatı ve optimum akım değeri bulunmuş ve yorumlanmıştır.

### 3.7 Hız-akım Modelinin Katsayılarının Seçilmesi

Örnek uygulamada kullanılan hız-akım bağıntısının kalibrasyonu için aşağıdaki değerler kullanılmıştır:

Serbest akım hızı

: 90 km/saat

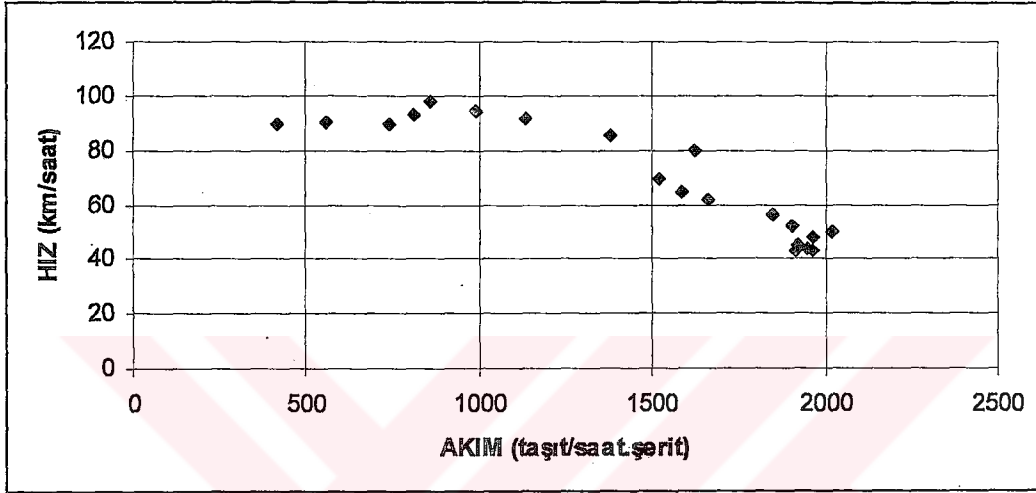


Pratik kapasitedeki akım hızı : 40 km/saat

Serbest akım hızında geçebilecek maksimum taşıt sayısı : 800 bo/saat.şerit

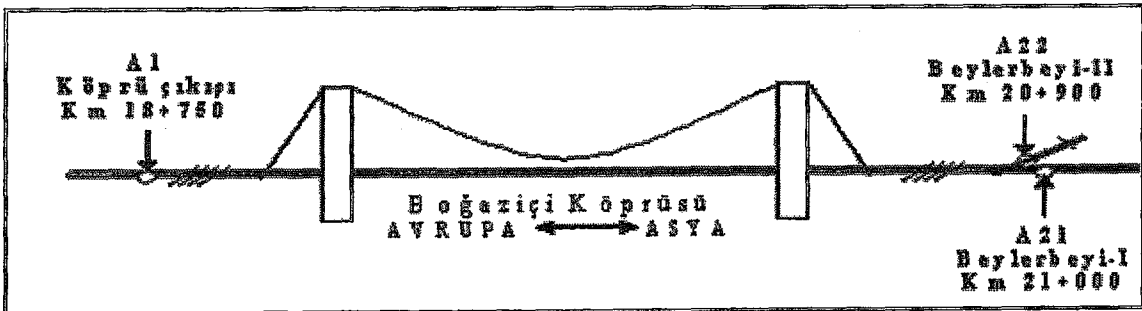
Pratik kapasite : 1800 bo/saat.şerit

Bu değerler, Tübitak Araştırma Projesi kapsamında Boğaziçi köprüsünde 20 Haziran 2002 tarihinde sabah saat 6:00-7:40 saatleri arasında yapılmış sayımlardan elde edilmiştir (Şahin, 2005) (Şekil 3.10).



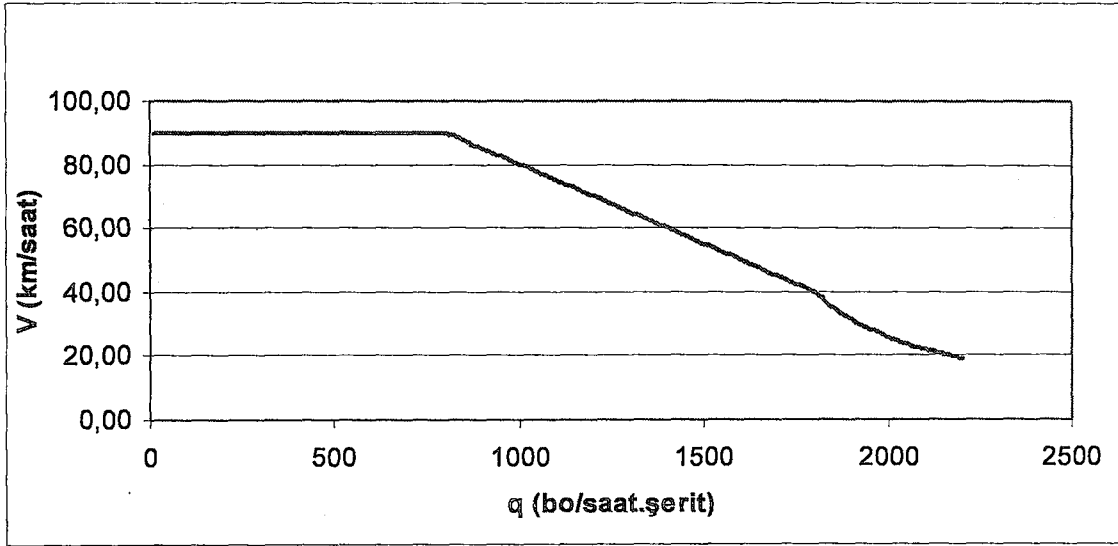
Şekil 3.10 Boğaziçi köprüsü Beylerbeyi katılımı sonrası ölçülen hız-akım değerlerinin dağılımı.

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 3.11 Değerleri kullanılan sayımın yapıldığı kesitler

Bu sınır değerlere göre kalibre edilerek modelde kullanılan hız-akım bağıntısı ise Şekil 3.12'de gösterilmiştir. Burada 2300 bo/saat.şerit değerinin üzerindeki akım değerleri için hızlar hesaplanmamıştır.



Şekil 3.12 Hız-akım eğrisi

### 3.8 Teorik Tıkanıklık Fiyatı ve Tercih Aşamasında Dikkate Alınan Maliyetler

Maliyetlerin bulunmasında daha önceki bölümlerde açıklandığı şekilde hesaplanarak bulunan değerler kullanılmıştır. Bu değerler Çizelge 3.5'de toplu olarak görülebilmektedir.

Çizelge 3.5 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

Kullanıcıların yolculuk kararı verirken modeldeki maliyet faktörlerinin içinden yalnızca yakıt tüketimi ve yolculuk süresini dikkate aldıkları, vergi, sigorta, bakım masrafları gibi maliyetleri göz önüne almadıkları bilinmektedir. Her ne kadar bu maliyetler gerçekte varolsalar da tercih sırasında kullanıcı tarafından hesaba katılmamaktadırlar.

Ayrıca uygulamada yapılan kabullerden biri otobüs ve özel otomobilin aynı trafik koşullarında seyahat ettikleri ve otobüslerin ara duraksız hizmet verdikleridir. Bu kabulde kullanıcı için otobüs ve otomobil seyahat sürelerinin aynı olacağı ve tercih aşamasında türlerin yolculuk sürelerindeki farkın da etkili olmayacağı ortaya çıkmaktadır.

Tercih modelinin kalibrasyonu için yapılan ankette kullanıcılar geçiş fiyatına ve otobüs fiyatına bakarak karar vermeleri konusunda yönlendirilmişlerdir. Bu kullanıcıların yakıt tüketimi maliyetlerini de tercihleri sırasında göz ardı etmelerine sebep olacaktır. Tercih modeli anket sonuçlarına göre kalibre edildiğine göre bu da uygulamada kullanıcıların yalnızca alınacak olan tıkanıklık fiyatı ve otobüs fiyatı arasındaki farka bakarak karar verecekleri anlamına gelmektedir.

Her farklı akım değeri için  $MM$  ile  $OMB$  arasındaki farkın birim tıkanıklık fiyatı değerini verdiği bilinmektedir. Bulunan  $TTF_2$  kullanıcıdan km başına istenecek olan fiyat,  $OMB$  de kullanıcının km başına düşen kişisel araç kullanma maliyetidir. Kullanıcılardan alınacak tıkanıklık fiyatı bulunurken hesaplanan  $TTF_2$ 'nin fiyatlandırma yapılacak kesimin uzunluğu ile çarpılması gereklidir.

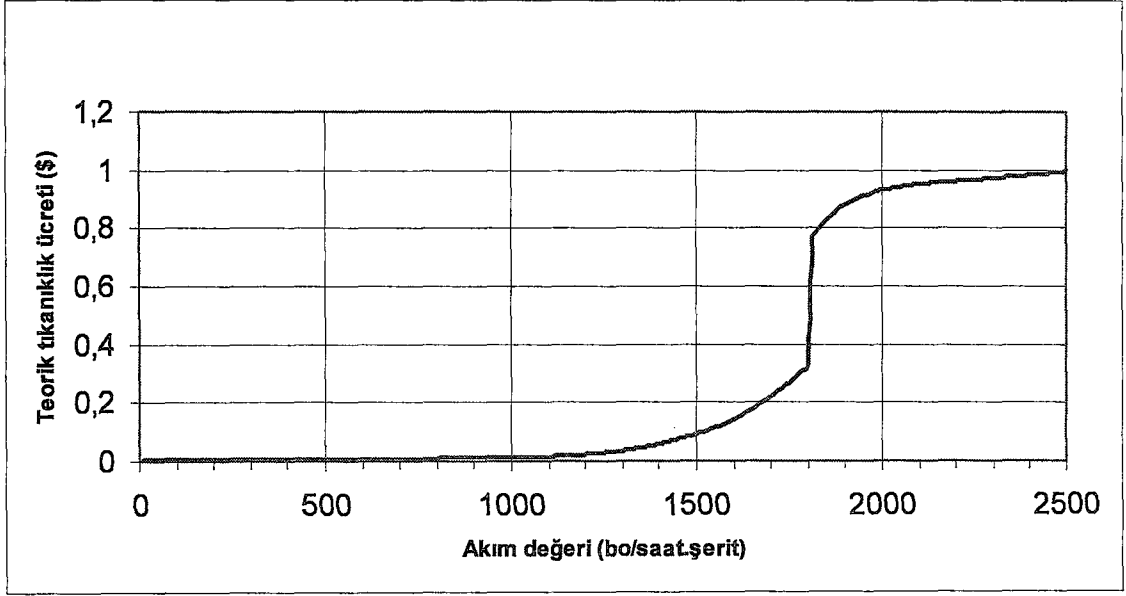
Modelin bir bölge için kullanılması durumunda tıkanıklık fiyatı belirlenirken bölge içindeki ortalama yolculuk mesafesi ( $L$ ) kullanılırken, bir güzergah için kullanıldığında ise ortalama tıkalı kesimin uzunluğu ( $L$ ) kullanılmalıdır. Bu durumda

Bu durumda otomobil kullanıcılarının tercihleri sırasında dikkate alacakları otomobil kullanmanın maliyeti ( $M_{oto}$ ) örnek uygulama için seçilen tıkanık güzergah kesiminin uzunluğu ile km başına hesaplanmış olan  $TTF_2$  değerinin çarpılmasıyla bulunacaktır.

$$M_{oto} = L \cdot TTF_2 \quad (3.25)$$

Bu durumda, tür seçimi sırasında kullanıcılar, km başına özel otomobil maliyeti olarak ( $M_{oto}$ ), otobüs yolculuğu maliyeti ( $M_{otb}$ ) olarak ise mesafeye göre değişmeyecek şekilde seçilen otobüs bilet fiyatını ( $F_{otb}$ ) dikkate alacaklardır.

Uygulamada fiyatın, şu an ki köprü geçiş fiyatı uygulamasında olduğu gibi tek yönde toplanacağı kabul edilebilir. Sabah köprüden geçen bir aracın akşam geri döneceği düşüncesiyle her iki yönde oluşan tıkanık kesimlerin toplam uzunluğu fiyat belirlenirken kullanılabilir. Örnek uygulama güzergahı olan Boğaziçi Köprüsü ve çevre yolu için bu mesafe 5-15 km arasında alınmıştır.



Şekil 3.13 Akım değerlerine karşılık gelen km başına teorik tıkanıklık fiyatları

### 3.9 Tercih Modelinin Yapısı

Tıkanıklık fiyatı uygulandığında daha önce de söz edildiği gibi özel otomobil kullanıcılarından o ana kadar onlardan talep edilmemiş olan sosyal maliyetleri karşılamaları istenecektir. Uygulamanın başlamasından itibaren özel oto kullanıcıları yolculuk kararlarını verirken söz konusu ek maliyeti de dikkate alacaklardır. Uygulamanın yapılacağı güzergahta/bölgede yolculuk talebinin türel ayrımı, fiyat uygulamasından dolayı değişecek ve yeni bir dengeye oturacaktır. Optimum akım ve optimum tıkanıklık fiyatı bu noktada oluşacaktır. Bu denge noktasının uygulamadan önce bir matematik model yardımıyla bulunabilmesi için buradaki yolcuların tür seçimi tercihlerinin modellenmesi gereklidir.

Söz konusu güzergahta/bölgede yolcular iki tür arasında tercih yapacaklardır; toplu taşıma araçları veya özel otomobil. Çalışmada seçilen güzergahta/bölgede toplu taşıma aracı olarak yalnızca otobüs seçeneği olduğu kabul edilmiştir.

### 3.10 Tercih Modelinin Kalibrasyonu

Tercih modelinin katsayılarının belirlenmesi için 2004 yılının Temmuz ayı içinde bir anket çalışması gerçekleştirilmiştir. Anketin bir örneği ekte sunulmuştur.

Hazırlanan anket elektronik posta yoluyla Yıldız Teknik Üniversitesi ve dört ayrı özel şirket çalışanlarına dağıtılmıştır. Yapılan anket sonucunda 72 yanıt değerlendirilmiştir.

Değerlendirmeye uygun bulunan anketler incelendiğinde iki ayrı üniversite ve sekiz ayrı özel şirketten yanıtların değerlendirmeye alındığı gözlenmiştir. 72 yanıtın 32 adedi özel şirketlerden 40 adedi ise üniversitelerden alınmıştır.

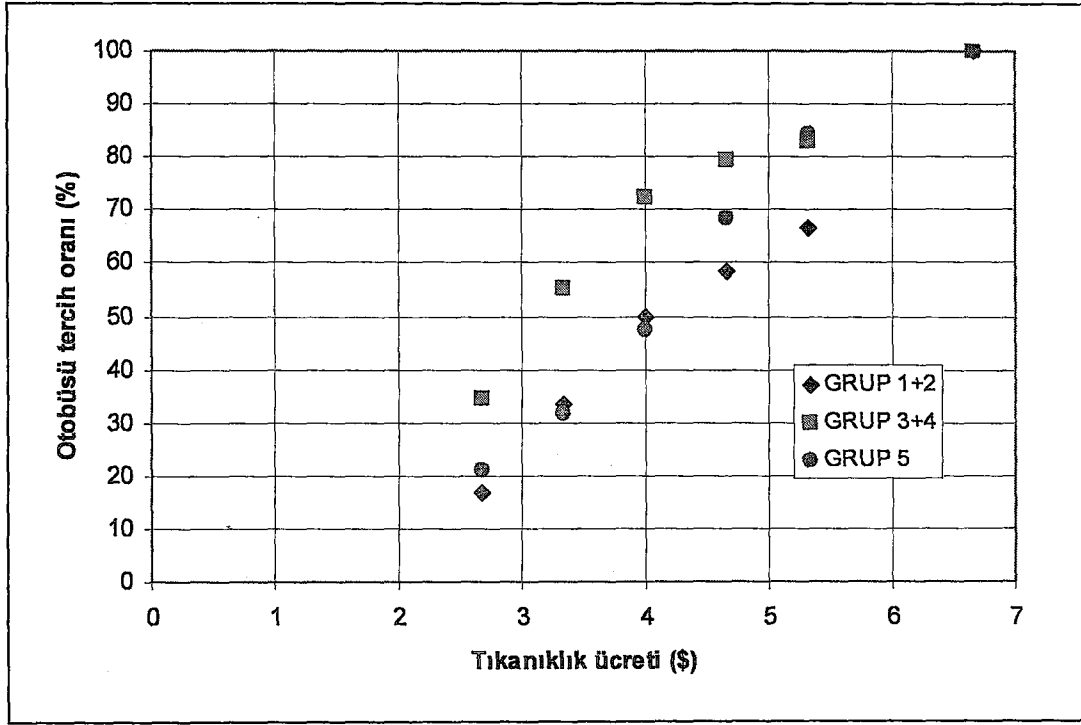
Anket için örnekleminin rasgele oluştuğu ve temsil edilmek istenen popülasyonun (İstanbul'da iki yaka arasında özel otomobilini kullanarak ev-iş amaçlı yolculuk yapanlar) 20.000 kişiden büyük olduğu kabul edilerek, 72 anketten oluşan örneğin %95 güven düzeyinde hata oranının % 11.54 olduğu bulunmuştur.

Değerlendirmede ankette belirlenen beş ayrı gelir grubundan en yüksek olan aynen alınarak, diğer gelir grupları ikişerli olarak birleştirilmiş ve bulunan fiyat-tercih dağılımı Çizelge 3.6'da gösterilmiştir.

Çizelge 3.6 Anket tercih sonuçlarının gelir gruplarına göre dağılımı

Soru IV		GRUP 1+2	GRUP 3+4	GRUP 5
ücret (TL)	ücret (\$)	Otobüsü tercih eden kişi sayısı		
4 milyon	2,67	2	10	4
5 milyon	3,33	2	6	2
6 milyon	4,00	2	5	3
7 milyon	4,67	1	2	4
8 milyon	5,33	1	1	3
9 milyon	6,00	0	0	0
10 milyon	6,67	4	5	3
11 milyon	7,33	0	0	0
12 milyon	8,00	0	0	0
Vazgeçmem		2	2	8
TOPLAM		14	31	27

Otomobilinden hiçbir koşulda vazgeçmeyeceğini belirtenler tercih modeli dışında bırakıldıktan sonra üç grubun ankette ifade ettikleri tercihlerini gösteren grafik görüldüğü gibidir (Şekil 3.14).



Şekil 3.14 Anket sonuçlarına göre grupların geçiş fiyatına bağlı olarak tercihlerinin değişimi

Şekil 3.14'te de görüldüğü gibi tıkanıklık fiyatı artması durumunda otomobilden otobüse geçenlerin oranı da yükselmektedir.

Grupların toplam içindeki oranları ve gruplar içinde otomobillerinden hiçbir koşulda vazgeçmeyeceğini belirtenlerin oranları da aşağıdaki gibidir.

Çizelge 3.7 Gelir gruplarının toplam içindeki oranları ve özel otomobilini bırakmayan kullanıcıların oranları

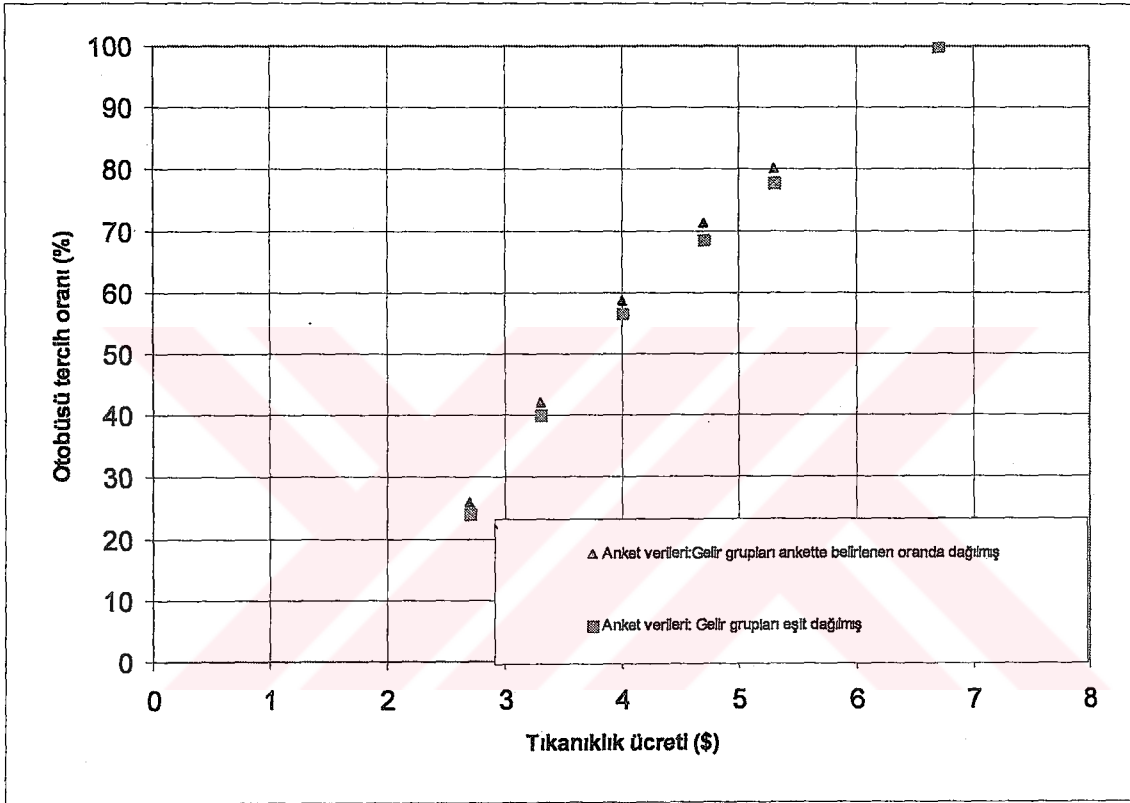
Toplam içindeki oranlar	GRUP 1+2	GRUP 3+4	GRUP 5
Grupların oranları	0,19	0,43	0,38
Aracını hiçbir koşulda bırakmayanların oranları	0,03	0,03	0,11

Ankette belirtilen gelir gruplarına göre grupların kişi başına düşen ağırlıklı gelir ortalaması ilgili tabloda (Çizelge no 3.8) görülebileceği gibi 8.30 ABD Doları/saat olarak bulunmuştur.

Çizelge 3.8 Özel otomobil kullanıcılarının ağırlıklı gelir ortalaması

KİŞİ BAŞINA DÜŞEN GELİR	GRUP 1+2	GRUP 3+4	GRUP 5
Ortalama aylık milyon TL	1000	2000	3000
Ortalama saatlik milyon TL	5,68	11,36	17,05
Ortalama saatlik \$	3,79	7,58	11,36
Gruplar ağırlıklı ortalaması \$	8,30		

Anket sonuçlarına göre grupların tür seçimindeki davranış kalıplarının birbirine çok benzemekte olduğu görülmüştür. Bu durumda tercihlerin, gelir dağılımlarından etkilenmediği ve anket sonuçlarının amaçlanan kesimi temsil ettiği kabul edilmiştir (Şekil 3.15).



Şekil 3.15 Gelir gruplarının ankette belirlenen oranlarda ve eşit oranlarda dağılımları sonucu oluşan tercihler

Bu veriler kullanılarak üç grubun tercihleri modellenmiştir. Kullanıcıların tercihleri sırasında yaklaşık olarak harcadıkları yakıt tutarının bilincinde oldukları kabul edilmiştir. Anketteki açıklamalarda da belirtildiği gibi kullanıcılar otobüs hizmeti için tek bilet fiyatı ödeyecekleri konusunda bilgilendirilmişlerdir. Otobüs bilet fiyatı olarak 900.000 TL değeri kabul edilmiştir. Söz konusu fiyat uygulamasında otobüsler trafikte diğer araçlarla birlikte yol alacak ve ara duraksız bir hizmet sunacaklardır. Bu koşullar göz önünde bulundurularak tür



seçimi için oluşturulacak modelde, otomobil kullanıcılarının tıkanıklık fiyatı ve otobüs bileti fiyatı arasındaki farkı ( $M_{oto}$ ,  $M_{otb}$ ) dikkate alarak karar verecekleri kabul edilmiştir.

Tercih modelinin ayrışık ikili lojit (Disaggregate Binomial Logit) (Ortuzar, 1993) yapısında olması uygun görülmüştür. Kullanıcılar üç ayrı gelir grubuna ayrıldıkları ve yalnızca otobüs ve özel otomobil arasında seçim yapacakları için ayrışık ikili lojit model seçilmiştir.

Özel otomobil ve otobüs için kullanıcı yararlılık fonksiyonları ( $u$ ) oluşturulurken daha önce belirtildiği gibi ödenecek fiyatların karar verme aşamasında dikkate alınacağı kabul edilmiştir. Ayrıca anket verileriyle model kalibre edilirken kullanıcıların türlere karşı tutumlarını ifade eden türe özgün bir katsayı ( $a$ ) da model gereği dikkate alınmıştır.

Yararlılık fonksiyonları oluşturulmadan önce anket verileri incelenerek tercihin fiyatla değişimi incelenmiştir. Bilgisayarda oluşturulan grafiklerden ve eğilim çizgisi araştırmalarından tercih-fiyat arasındaki ilişkiyi, üçüncü dereceden bir fonksiyonun, doğrusal veya ikinci dereceden bir fonksiyondan çok daha iyi ifade ettiği görülmüştür. Bu bilgi dikkate alınarak yararlılık fonksiyonları aşağıdaki gibi oluşturulmuştur.

$$u_{oto} = a_{oto} + b.M_{oto} + c.M_{oto}^2 + d.M_{oto}^3 \quad (4.2)$$

$$u_{otb} = a_{otb} + b.M_{otb} + c.M_{otb}^2 + d.M_{otb}^3 \quad (4.3)$$

Buna göre kullanıcıların otobüsü tercih etme oranı  $P_{otb}$  aşağıdaki şekilde bulunabilir.

$$P_{otb} = e^{u_{otb}} / (e^{u_{otb}} + e^{u_{oto}}) \quad (4.4)$$

Diğer bir ifadeyle,

$$P_{otb} = 1 / (1 + e^{u_{otb} - u_{oto}}) \quad (4.5)$$

şeklinde gösterilebilir.

Model sonucu,

$$y = \ln((1 - P_{otb}) / P_{otb}) = u_{otb} - u_{oto} \quad (4.6)$$

şeklinde olacaktır. Bu durumda,

$$u_{otb} - u_{oto} = (a_{oto} - a_{otb}) + b.(M_{oto} - M_{otb}) + c.(M_{oto}^2 - M_{otb}^2) + d.(M_{oto}^3 - M_{otb}^3) \quad (4.7)$$

ifadesi oluşturulurken işlem kolaylığı açısından,  $(a_{oto} - a_{otb}) = a$  olarak alınır. Böylece fonksiyonun son hali,

$$y = u_{otb} - u_{oto} = a + b.(M_{oto} - M_{otb}) + c.(M_{oto}^2 - M_{otb}^2) + d.(M_{oto}^3 - M_{otb}^3) \quad (4.8)$$

olacaktır.

Anketlerden toplanan veriler regresyonda kullanılmak üzere hazırlanmıştır. Aracını hiçbir koşulda bırakmayacağını belirtenler regresyon verisi içine katılmamıştır. Otobüs bilet fiyatını ve geçiş fiyatını dikkate yapılan tür tercihleri sonucu oluşan kümülatif tercih oranları Çizelge 3.9'da sunulmuştur.

Çizelge 3.9 Regresyonda kullanılan veriler

GEÇİŞ FİYATI (\$)	OTOBÜS BİLETİ (\$)	KÜMÜLATİF OTOBÜS TERCİH ORANLARI		
		GRUP 1+2 (%)	GRUP 3+4 (%)	GRUP 5 (%)
2,67	0,60	0,167	0,345	0,211
3,33	0,60	0,333	0,552	0,316
4,00	0,60	0,500	0,724	0,474
4,67	0,60	0,583	0,793	0,684
5,33	0,60	0,667	0,828	0,842
6,67	0,60	1,000	1,000	1,000

En küçük kareler yöntemiyle yapılacak regresyon sonucunda gözlem değerleri (Y) ve model sonuçları (y) arasındaki farkların toplamını minimum yapacak katsayılar bulunmuş ve bir tabloda toplanmıştır (Çizelge 3.10)

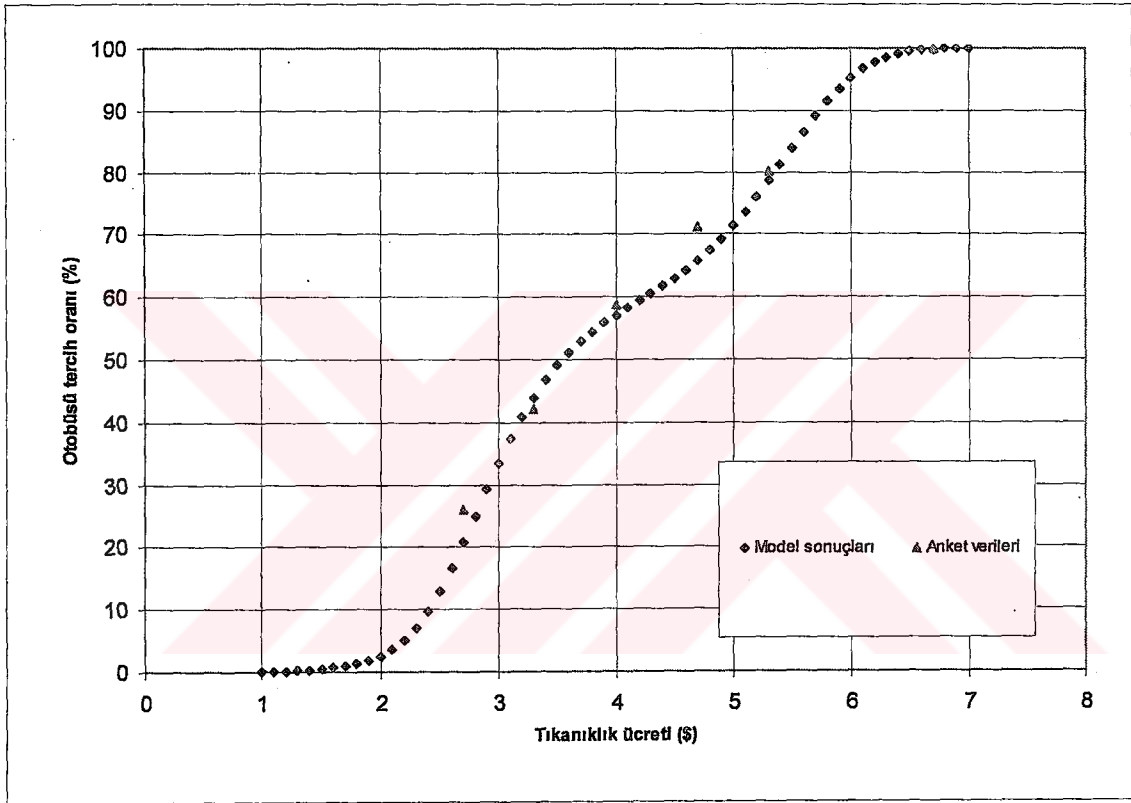
Çizelge 3.10 Gelir gruplarının yararlılık fonksiyonlarına ait katsayılar

	KATSAYILAR			
	a	b	c	d
GRUP 1+2	20,223	-22,504	5,333	-0,4245
GRUP 3+4	17,842	-20,408	4,766	-0,375
GRUP 5	8,6798	-8,761	2,1326	-0,1906

Bulunan katsayılar kullanılarak tercih modelinin verdiği sonuçlar ve anket sonuçları Çizelge 3.11'de karşılaştırılmıştır.

Çizelge 3.11 Anket ve model sonuçlarının karşılaştırılması

GEÇİŞ FİYATI (\$)	OTOBÜS BİLETİ (\$)	KÜMÜLATİF OTOBÜS TERCİH ORANLARI					
		GRUP 1+2 (%)		GRUP 3+4 (%)		GRUP 5 (%)	
		ANKET	MODEL	ANKET	MODEL	ANKET	MODEL
2,67	0,60	0,167	0,147	0,345	0,308	0,211	0,198
3,33	0,60	0,333	0,397	0,552	0,624	0,316	0,345
4,00	0,60	0,500	0,490	0,724	0,716	0,474	0,478
4,67	0,60	0,583	0,531	0,793	0,751	0,684	0,646
5,33	0,60	0,667	0,696	0,828	0,847	0,842	0,854
6,67	0,60	1,000	0,999	1,000	0,999	1,000	0,999



Şekil 3.16 Anket verileri ve model sonuçlarının karşılaştırılması

Tercih modelinin verdiği sonuçlar Şekil 3.16'dan da görüleceği gibi anket verilerine yakın çıkmıştır. Modelin sonuçlarını test etmek amacıyla model sonuçlarının standart hataları, değişim katsayıları R kare ve t testi değerleri her üç grup için de aşağıdaki gibi bulunmuştur.

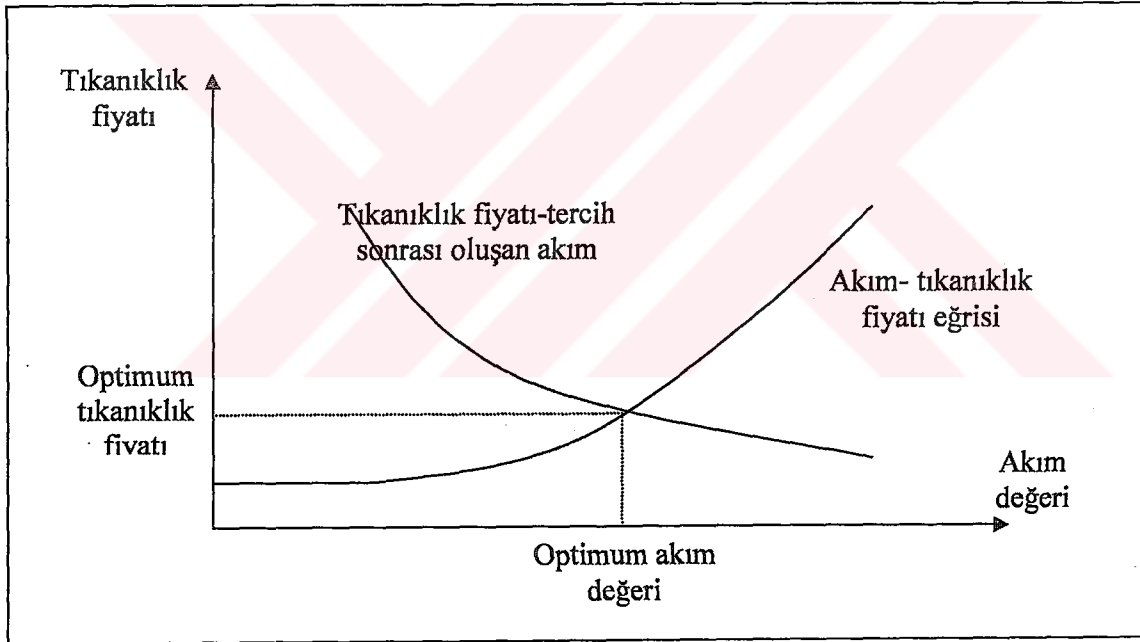
Çizelge 3.12 Tercih modeline ait standart hata ve değişim katsayıları

	GRUP 1+2	GRUP 3+4	GRUP 5
Standat hata	0,0321	0,0189	0,0132
Değişim katsayısı	0,0592	0,0267	0,0224
t testi değerleri	0,9929	0,9965	0,9954
R kare değerleri	0,9802	0,9675	0,9945

Çizelge 3.12’de görüleceği gibi model test sonuçları uygundur.

### 3.11 Optimum Tıkanıklık Fiyatının Bulunması

Optimum akıma ve tıkanıklık fiyatına ulaşabilmek için tercih modelinin ve tıkanıklık fiyatı-akım modelinin (2.24 nolu ifade ile verilmiştir) bir arada çalışmasının sağlanması gereklidir. Akım-tıkanıklık fiyatı ilişkisini veren bağıntı ile bu bağıntıdaki tıkanıklık fiyatlarının uygulanmasıyla tercihlerdeki değişiklik sonucu oluşan akım değerlerini veren bağıntının kesim noktası, optimum tıkanıklık fiyatı ve optimum akım değerini vermektedir. (Şekil 3.17)



Şekil 3.17 Optimum tıkanıklık fiyatının bulunması

Daha önce de söz edildiği gibi tıkanıklık fiyatı-akım eğrisi ile tıkanıklık fiyatı-tercih sonucu oluşan akım eğrisinin kesim noktası, optimum tıkanıklık fiyatını verecektir.

Ancak bu eğriler oluşturulmadan önce bazı parametrelerin seçilmesi gerekmektedir. Bunlar:

- Tıkanıklık yaşanan güzergah kesiminin uzunluğu ( $L$ ),

- Şerit başına saatlik yolculuk talebi ( $T$ ),
- Yolculuk talebini oluşturan kesimin özel otomobil sahipliği oranı ( $O_S$ ),
- Ortalama özel otomobil doluluğu ( $D$ ),
- Otobüsün alabileceği ortalama yolcu sayısı ( $O_K$ ),
- Otobüs kapasite kullanım oranıdır ( $K$ ).

Modelde zirve saatlerde saatlik yolculuk talebinin sabit olacağı kabul edilmiş ve modelin yapısından ötürü saatlik toplam talebin şerit sayısına bölünmesiyle bulunan şerit başına saatlik yolculuk talebi ( $T$ ) parametresi kullanılmıştır.

Bu parametrelerin alabileceği değişik değerler için optimum tıkanıklık fiyatı, optimum akım ve optimum akım hızı gibi değerler incelenebilecektir. Bu parametrelerin dışında otobüs fiyatı da değiştirilerek sonuçlardaki değişiklikler araştırılabilir.

Ortalama otobüs kapasitesi, İETT filosunun kapasite ortalaması bulunarak hesaplanmıştır. Bu değer yaklaşık 85 yolcu olarak bulunmuştur .

Çizelge 3.13 İETT filosunun ortalama otobüs yolcu kapasitesi

Araç tipi	Araç sayısı (adet)	Kapasite (yolcu)
Körüklü	409	110
İki katlı	33	55
Normal	2139	80
<b>Filo ortalaması</b>		<b>84,83</b>

Hesaplarda yolcu ve işletmeci açısından kabul edilebilir sınırlar içinde kalacak bir ortalama otobüs kapasite kullanım oranı belirlenmelidir. Bunun için aşağıdaki tablodan otobüs doluluğunun %60 olmasının kullanıcı ve işletmeci açısından kabul edilebilir olacağına karar verilmiştir.

Çizelge 3.14 Otobüs kapasite kullanım oranlarının yolcu ve işletme açısından değerlendirilmesi (Yüksel, 2003)

Kapasite kullanım oranları (K) (%)	Tanım	
	Yolcu konforu açısından	İşletme verimliliği açısından
$K \leq 20$	Konforlu	Kabul edilemez
$20 < K \leq 40$	Az konforlu (Konfor alt sınırı)	Hat yeniden düzenlenmeli
$40 < K \leq 60$	Katlanılabilir	Kabul edilebilir
$60 < K \leq 80$	Zor katlanılabilir (Konforsuzluk alt sınırı)	Verimli
$K > 80$	Konforsuz-katlanılamaz	Yüksek verimli

Uygulamada söz konusu parametreler için seçilen değer aralıkları Çizelge 3.15'te sunulmuştur.

Çizelge 3.15 Uygulamada kullanılan parametrelerin değişim aralıkları

Parametre	Değer aralığı	Birim
Tıkanıklık yaşanan güzergah kesiminin uzunluğu	5-15	km
Şerit başına saatlik yolculuk talebi	4000-6000	yolcu/saat.şerit
Yolculuk talebini oluşturan kesimin özel otomobil sahipliği oranı	60-80	%
Ortalama özel otomobil doluluğu	1,6-1,9	yolcu
Ortalama otobüs yolcu kapasitesi	85	yolcu
Otobüs kapasite kullanım oranı	60	%

### 3.12 Fiyat Uygulamasının Otobüs Taşımacılığına Etkileri

Belirlenen optimum akımdaki araç türlerinin dağılımı, fiyat uygulamasından önceki dağılımla karşılaştırıldığında özel otomobil ve otobüs sayılarındaki değişim ortaya çıkacaktır.

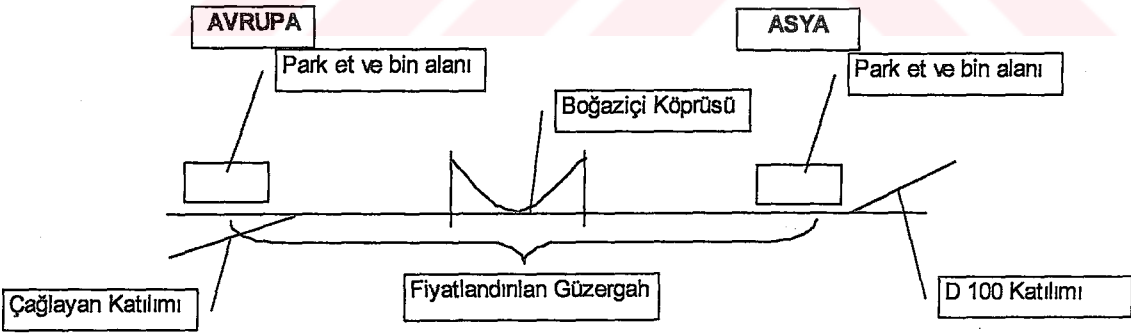
Modelin bundan sonraki aşaması tıkanıklık fiyatlandırması uygulaması sonucunda otomobil kullanımındaki azalmaya karşılık otobüs kullanımındaki artışın karşılanması için sunulması gereken ek kapasitenin belirlenmesi ve toplanacak fiyatlarla oluşacak kaynağın kullanımının planlanması olacaktır.

### 3.13 Fiyat Uygulamasının Getirisi ve Maliyeti

Uygulama getirisi ve maliyetinin hesap yönteminden bahsedilmeden önce Boğaziçi Köprüsü'nde yapılacağı varsayılan örnek uygulamanın koşullarının ortaya konulması gereklidir. Uygulamada zirve saatlerde yoğun yönde şerit ilave etme uygulamasının devam edeceği kabulüyle, her iki yöndeki akımda da benzer yoğunluğun yaşanacağı düşünülmüştür. Bu koşullar altında her iki yön için de tıkanıklık fiyatı uygulaması benzer sonuçlar verecektir. Optimum tıkanıklık fiyatı tek yöndeki gişelerde ödenecek ve çevre yolu üzerinde belirlenen toplam tıkalı güzergah uzunluğuna göre hesaplanacaktır. Otomobilini bırakan otomobil kullanıcıları için belirlenen otobüs fiyatı gidiş ve dönüş için tek bilet fiyatı olarak uygulanacaktır.

Buradaki örnek uygulamalarda fiyat toplama, kontrol mekanizmalarının tesisi ve park et ve bin alanlarının yapımı için bir kaynak ayrılmayacağı düşünülmüştür. Fiyat toplamada mevcut gişe altyapısından faydalanılacaktır. Diğer konularda ise yerel ve merkezi idarelerin sağlanacak sosyal faydaları göz önünde bulundurarak bu destek olacağı kabul edilmiştir.

Uygulamada sözü edilen park et ve bin alanlarının yerlerinin belirlenmesinde gerekli alanın bulunabilmesi kısıtının dışında yapılacak gözlemlerle kuyruklanmanın zirve saatlerde ulaştığı son noktaların tespiti etkili olacaktır. Genel duruma bakıldığında Asya tarafında E80 otoyol ayrımının öncesinde Avrupa tarafında ise Çağlayan katılımı civarında park et ve bin alanlarının yapılabileceği tahmin edilmektedir (Şekil 4.8).



Şekil 3.18 Uygulama güzergahının şematik gösterimi

Hatırlatılması gereken bir diğer nokta da boğaz köprüsü geçişlerinde halihazırda devam etmekte olan ücretli geçiş uygulamasında olduğu gibi tıkanıklık fiyatlandırması yapılması durumunda da iki köprü de bu uygulamaya dahil edilmelidir. Aksi takdirde geçiş fiyatlarında oluşacak dengesizlik talebin iki köprü arasındaki dağılımını etkileyecektir.



Otobüs maliyetlerinin bulunması için öncelikle, uygulama sonucunda özel otomobilini kullanmaktan vazgeçeceği belirlenen kesimin ulaşım ihtiyacını karşılamak amacıyla sunulması gereken otobüs hizmeti belirlenmelidir. Bu hizmetin, yeni araç alımıyla karşılanması gerektiği düşünülerek, gerekli ek otobüs sayısının belirlenmesi için aşağıdaki hesap yöntemi izlenmiştir:

Gerekli ek otobüs sayısı ( $N_{ekotb}$ ),

$$N_{ekotb} = S_g / n_{sefer} \quad (3.25)$$

bağıntısıyla hesaplanır, burada bir otobüsün bir saate yapabileceği sefer sayısı ( $n_{sefer}$ )

$$n_{sefer} = 60 / ((2.L / (V_{opt}/60)) + 2.t_{aralık}) \quad (3.26)$$

formülüyle bulunur. Burada,

$L$  : Tıkanıklık yaşanan güzergah kesiminin uzunluğu

$V_{opt}$  : Optimum akım hızı (km/saat)

$t_{aralık}$  : Sefer aralığı (dakika)

dır. Toplam saatlik gerekli sefer sayısı ( $S_g$ ) ise

$$S_g = ((Q_{otoilk} - Q_{otoson}) \cdot D \cdot n_{şerit}) / (K \cdot O_K) \quad (3.27)$$

şeklinde hesaplanır. Burada;

$Q_{otoilk}$  :Uygulama öncesinde bir şeritten bir saatte geçen özel otomobil sayısı (otomobil/saat.şerit)

$Q_{otoson}$  : Optimum fiyat uygulandığında bir şeritten bir saatte geçen özel otomobil sayısı (otomobil/saat.şerit)

$D$  : Ortalama özel otomobil doluluğu

$n_{şerit}$  : Yoldaki şerit sayısı

$K$  : Otobüs kapasite kullanım oranı

$O_K$  : Otobüsün alabileceği ortalama yolcu sayısı

dır. Toplam ek otobüs alım maliyeti ( $\sum C_{otb}$ ) ;

$$\sum C_{otb} = N_{ekotb} \cdot C_{otb} \quad (3.28)$$

şeklinde hesaplanır.

$C_{otb}$  : Otobüs alış maliyeti (\$)

Otobüs fiyatının yıllık getirisi(  $B_{yillikotb}$  ),

$$B_{yillikotb} = (Q_{otoilk} - Q_{otoson}) \cdot D \cdot n_{şerit} \cdot F_{otb} \cdot (t_{zirve}/2) \cdot n_{gün} \quad (3.29)$$

şeklinde hesaplanır.

Tıkanıklık fiyatının yıllık getirisi ( $B_{yillik}$ ) ise aşağıdaki gibi bulunur:

$$B_{yillikoto} = F_{opt} \cdot Q_{otoson} \cdot n_{şerit} \cdot (t_{zirve}/2) \cdot n_{gün} \quad (3.30)$$

Sunulan ek otobüs hizmetinin işletme maliyeti hesaplanırken aşağıdaki formül kullanılmıştır:

$$\sum C_{otbişl} = S_g \cdot (2 \cdot L) \cdot t_{zirve} \cdot C_{otbişl} \quad (3.31)$$

$C_{otbişl}$  : 1 km otobüs işletme maliyeti (\$)

$n_{gün}$  : Yıl boyunca fiyat uygulaması yapılan gün sayısı

$n_{şerit}$  : Yoldaki şerit sayısı

$T$  : Şerit başına saatlik yolculuk talebi

$t_{zirve}$  : Gün içinde fiyat uygulaması yapılan zirve saatler toplamı (saat)

$F_{opt}$  : Optimum tıkanıklık fiyatı (\$)

$F_{otb}$  : Otobüs bilet fiyatı (\$)

Otobüs taşımacılığında hizmet kalitesinin artırılması amacıyla otobüs kapasite kullanım oranının Çizelge 3.14'de belirtildiği üzere %60'ın üzerine çıkması istenmemektedir. Konforun artırılması amacıyla yolcu talebinin, ek taşıt alımıyla karşılanması tercih edilmelidir.

Otobüs işletme maliyeti km başına 1,50 \$ olarak hesaplanmış ve yolcu.km işletme maliyeti %60 kapasite kullanım oranı için yaklaşık 0,03 \$ olarak bulunmuştur. Bu maliyetlere yakıt, yağ, personel, bakım ve yedek parça masrafları dahildir.

Bu değer bulunması için 2001 yılının ilk 7 ayına ait işletme maliyetleri 2004 yılına güncellenerek kullanılmıştır. Güncellemede 2001 yılı ilk 7 aylık A.B.D Dolar kuru ortalaması

909.000 TL ve paranın yıllık getirisi % 4 olarak alınmıştır. Bulunan değerler Çizelge 3.16'da gösterilmiştir.

Çizelge 3.16 Otobüs işletme maliyetinin bulunması

	Değer	Birim
7 aylık gider (Ocak-Temmuz 2001) (212 günlük)	123.802.634	\$
Güncellenmiş toplam maliyet	142.046.348	\$
Günlük yapılan km	471.969	km
Ortalama otobüs kapasite kullanım oranı	60	%
Ortalama otobüs kapasitesi	85	yolcu
Ortalama taşınan yolcu	51	yolcu/araç
<b>Otobüs km işletme maliyeti</b>	<b>1,50</b>	<b>\$</b>
<b>Yolcu.km maliyeti</b>	<b>0,03</b>	<b>\$</b>

Çizelge 3.17 Yolcu.km otobüs işletme maliyetinin kapasite kullanım oranıyla değişimi

kapasite kullanım oranı (%)	yolcu.km işletme maliyeti (\$)
70	0,025
60	0,030
50	0,035
40	0,044
30	0,059

Çizelge 3.17'de görüldüğü gibi kapasite kullanımı azaldıkça yolcu.km maliyetleri artmaktadır.

Boğaziçi Köprüsü için model yardımıyla yapılan tıkanıklık fiyatı uygulamasında, gerekli ek taşıt alım ve işletme maliyetlerinin, tıkanıklık fiyatının geliriyle ne kadar zaman içinde karşılanabildiği araştırılırken burada bulunan işletme maliyetleri kullanılmıştır.

Uygulama için gerekli bir diğer değerse zirve saatlerin gün içindeki toplam süresidir. Boğaziçi köprüsünde yapılan sayımlar incelendiğinde zirve yapan akım değerlerinin gün içinde bir yönde 4-5 saate yayıldığı görülmektedir. Çizelge 3.18'de verilen sayım değerleri 29.04.2003 tarihine ait Avrupa-Anadolu yönünde gişelerden geçen araç sayılarını göstermektedir. Farklı tarihlere ait değerlerin büyük benzerlik gösterdiği görülmüştür. Değerler, Karayolları 17. Bölge Müdürlüğü Boğaziçi Köprüsü Bakım İşletme Baş Mühendisliği'nden alınmıştır.

Çizelge 3.18 Boğaziçi köprüsünden geçen araçların saatlere dağılımı  
(Boğaziçi Köprüsü Bakım İşletme Baş Mühendisliği, 2003)

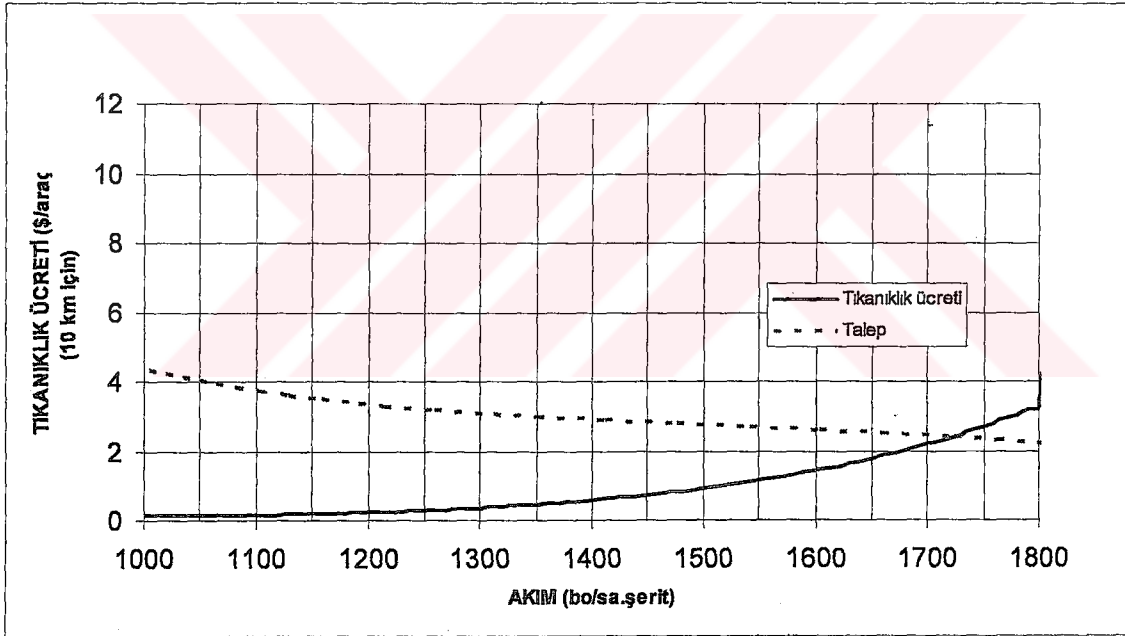
SAAT	ARAÇ SAYISI	ORAN
	araç/saat	%
0 - 1	2227	2,3
1 - 2	1003	1,0
2 - 3	634	0,7
3 - 4	429	0,4
4 - 5	317	0,3
5 - 6	414	0,4
6 - 7	1030	1,1
7 - 8	3108	3,3
8 - 9	4057	4,2
9 - 10	3845	4,0
10 - 11	3659	3,8
11 - 12	3905	4,1
12 - 13	5189	5,4
13 - 14	4900	5,1
14 - 15	5329	5,6
15 - 16	5755	6,0
16 - 17	6791	7,1
17 - 18	7139	7,5
18 - 19	7386	7,7
19 - 20	6813	7,1
20 - 21	6425	6,7
21 - 22	5903	6,2
22 - 23	5235	5,5
23 - 24	4068	4,3
<b>TOPLAM</b>	<b>95561</b>	<b>100</b>

#### 4. ÖRNEK UYGULAMALAR VE DEĞERLENDİRME

Boğaziçi Köprüsü için kabul edilebilir varsayımlar yapılarak geliştirilen uygulama örnekleri bu bölümde sunulmuştur. Modelin işlerliğini göstermeye yönelik bu uygulama örneklerinin sonuçları değerlendirilmiş ve yorumlanmıştır.

Örneklere ek taşıt alımı için uygulama başlamadan önce bir kaynak bulunacağı kabul edilmiştir. Uygulama başlamadan önce otobüs bilet fiyatının ne kadar olacağına karar verilmelidir. Bu aşamanın ardından model tarafından, uygulanacak optimum tıkanıklık fiyatı bulunur ve gerekli ek otobüs miktarı ortaya konulur.

Farklı koşullar altında modelin verdiği sonuçları gösterebilmek için aşağıdaki örnekler (Çizelge 4.1 – 4.2) hazırlanmıştır. Örneklere kullanılan değerler ve elde edilen sonuçlar tablolar halinde sunulmuş, sonuçlar, grafikler (Şekil 4.1 – 4.2 – 4.3 – 4.4 – 4.5) üzerinde de gösterilmiştir. Kolaylık sağlamak amacıyla, modelin girdileri ve çıktıları ayrı tablolarda verilmiş, değişen girdiler koyu renk zemin üzerine yazılarak vurgulanmıştır.



Şekil 4.1 Uygulama örneği 1 için optimum akım ve tıkanıklık fiyatının bulunması

Çizelge 4.1 Uygulama örnekleri girdileri

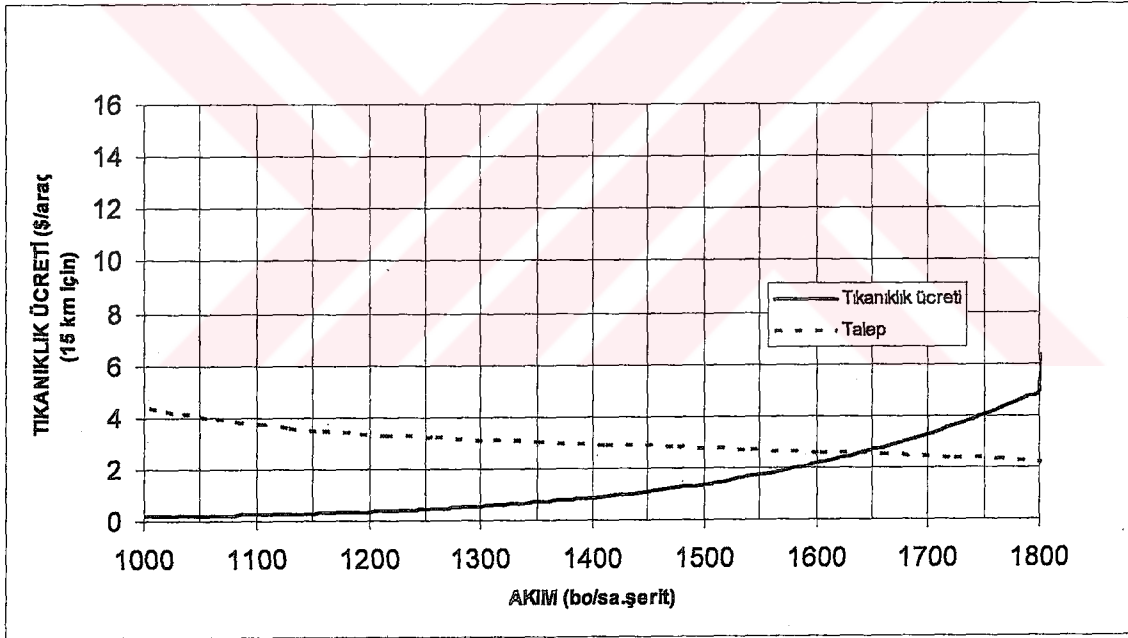
MODEL GİRDİLERİ	BİRİM	DEĞERLER				
		ÖRNEK 1	ÖRNEK 2	ÖRNEK 3	ÖRNEK 4	ÖRNEK 5
Yılda uygulanan gün		250	250	250	250	250
Şerit sayısı		4+2	4+2	4+2	4+2	4+2
Zirve saat toplamı		10	10	10	10	10
Yolculuk talebi	yolcu/saat.şerit	5000	5000	5000	4000	6000
Güzergah uzunluğu	km	10	15	15	15	15
Otomobil sahibi olan yolcu oranı	%	70	70	70	70	70
Otomobil eşdeğerlik katsayısı		2	2	2	2	2
Ortalama otomobil doluluğu	yolcu/otomobil	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9
Ortalama otobüs doluluğu	yolcu/otobüs	51	51	51	51	51
Otobüs kapasite kullanım oranı	%	60	60	60	60	60
Ortalama otobüs kapasitesi	yolcu	85	85	85	85	85
Otobüs bilet fiyatı	\$	0,6	0,9	0,9	0,45	0,6
Otobüs alış maliyeti	\$	200.000	200.000	200.000	200.000	200.000

Çizelge 4.2 Uygulama örnekleri model sonuçları

DEĞİŞEN GİRDİLER	BİRİM	DEĞERLER				
		ÖRNEK 1	ÖRNEK 2	ÖRNEK 3	ÖRNEK 4	ÖRNEK 5
Yolculuk talebi	yolcu/saat.şerit	5000	5000	5000	4000	6000
Güzergah uzunluğu	km	10	15	15	15	15
Otobüs bilet fiyatı	\$	0,6	0,9	0,9	0,45	0,6
MODEL SONUÇLARI	BİRİM	DEĞERLER				
Uygulama öncesi akım hızı	km/saat	31,5	31,5	31,5	54	17,1
Uygulama öncesi akım	bo/saat.şerit	1901	1901	1901	1521	2281
Uygulama öncesi otomobil sayısı	otomobil/saat.şerit	1842	1842	1842	1474	2211
Optimum akım hızı	km/saat	44	48	41	54,75	46,25
Optimum akım	bo/saat.şerit	1720	1640	1780	1505	1675
Optimum fiyat	\$	2,4	2,54	4,5	1,4	2,93
Optimum fiyat	TL	3.600.000	3.810.000	6.750.000	2.100.000	4.395.000
Uygulama sonrası oto sayısı	otomobil/saat.şerit	1646	1560	1710	1460	1560
Eksilen otomobil sayısı	otomobil/saat.şerit	197	283	133	14	651
Ek otobüs yolcusu	yolcu	1498	2151	1011	107	4948
Gerekli ek sefer sayısı		30	43	20	3	98
Sefer aralığı	dakika	5	5	5	5	5
Rotasyon süresi	dakika	37,3	47,5	53,9	42,9	48,9
Bir saatte yapılabilecek sefer sayısı		1,6	1,3	1,1	1,4	1,2
Gerekli ek otobüs sayısı		19	35	18	3	80
Toplam ek otobüs alış maliyeti	\$	3.800.000	7.000.000	3.600.000	600.000	16.000.000
Günlük uygulama geliri	\$	118.512	118.872	230.850	61.320	137.124
Yıllık uygulama geliri	\$	29.628.000	29.718.000	57.712.500	15.330.000	34.281.000

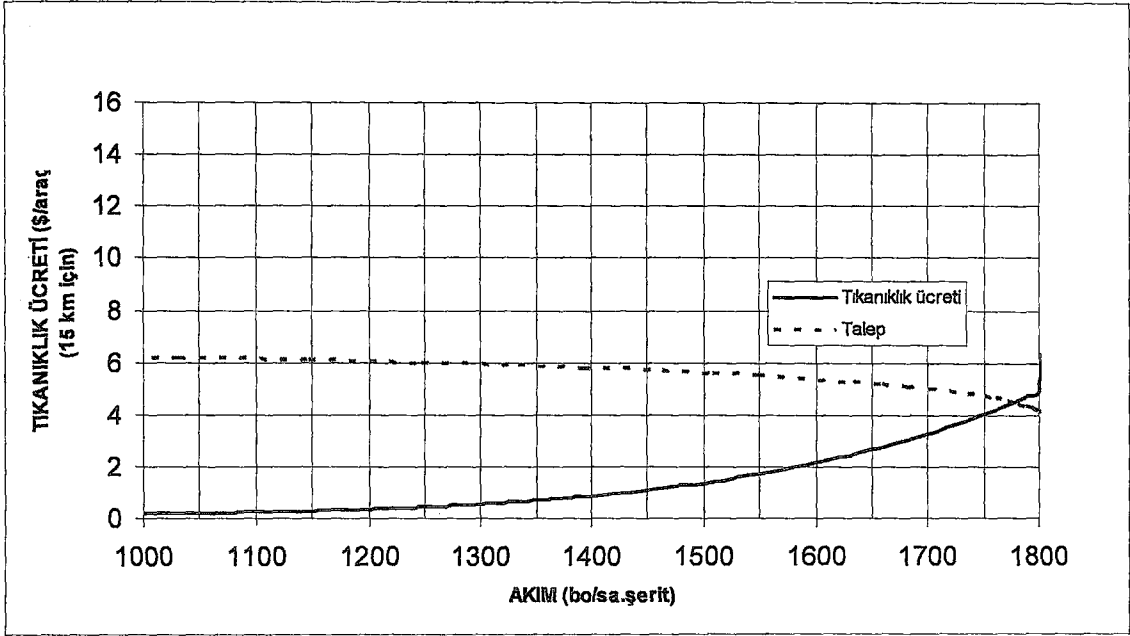
Örnek 1’de yolcu talebi 5000 yolcu/saat.şerit, otobüs fiyatı 0,6 \$, tıkalı güzergah uzunluğu 10 km olarak seçilmiş ve optimum tıkanıklık fiyatının özel otomobil başına 2,4 \$ olacağı belirlenmiştir. Uygulama sonucunda akım hızında yaklaşık 12,5 km/saat’lik bir artış olacağı, saatlik akımdan şerit başına 197 otomobil eksileceği ve 19 adet yeni otobüs alımının gerekli olacağı hesap sonucu bulunmuştur. Toplanacak tıkanıklık fiyatının yılda 29.628.000 \$ gelir getireceği, ek otobüs alımı içinse 3.800.000 \$’lık bir kaynağın uygulama öncesinde bulunmasının gerektiği hesaplar sonucu ortaya çıkmıştır.

Örnek 2’de yolcu talebi 5000 yolcu/saat.şerit, otobüs fiyatı 0,6 \$, tıkalı güzergah uzunluğu 15 km olarak seçilmiş ve optimum tıkanıklık fiyatının özel otomobil başına 2,54 \$ olacağı belirlenmiştir. Uygulama sonucunda akım hızında yaklaşık 16,5 km/saat’lik bir artış olacağı, saatlik akımdan şerit başına 283 otomobil eksileceği ve 35 adet yeni otobüs alımının gerekli olacağı hesap sonucu bulunmuştur. Toplanacak tıkanıklık fiyatının yılda 29.718.006 \$ gelir getireceği, ek otobüs alımı içinse 7.000.000 \$’lık bir kaynağın uygulama öncesinde bulunmasının gerektiği hesaplar sonucu ortaya çıkmıştır.



Şekil 4.2 Uygulama örneği 2 için optimum akım ve tıkanıklık fiyatının bulunması

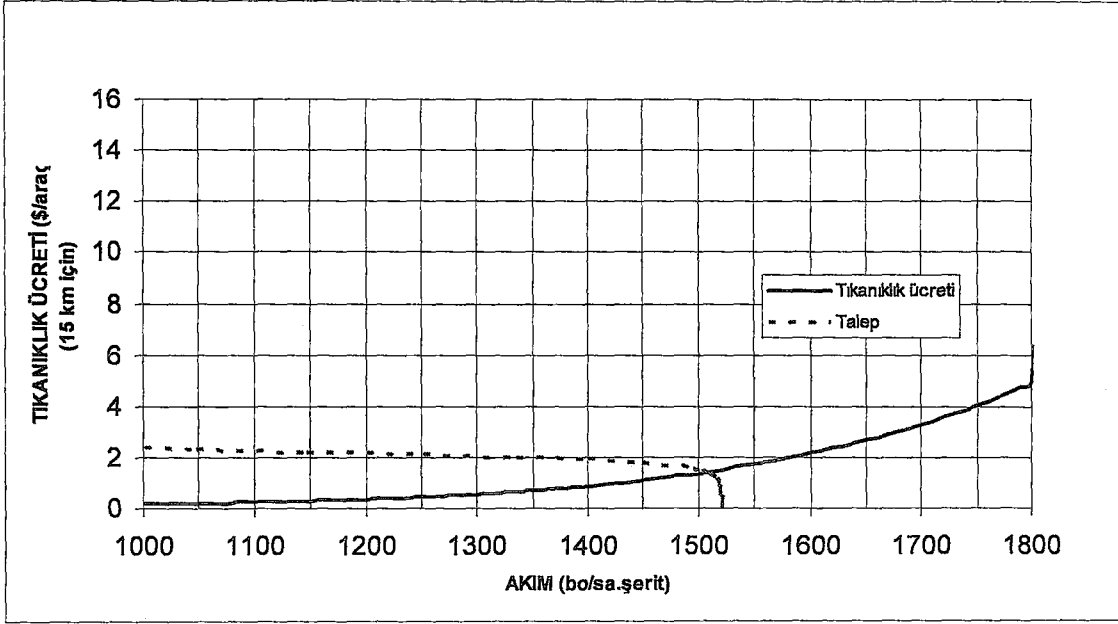




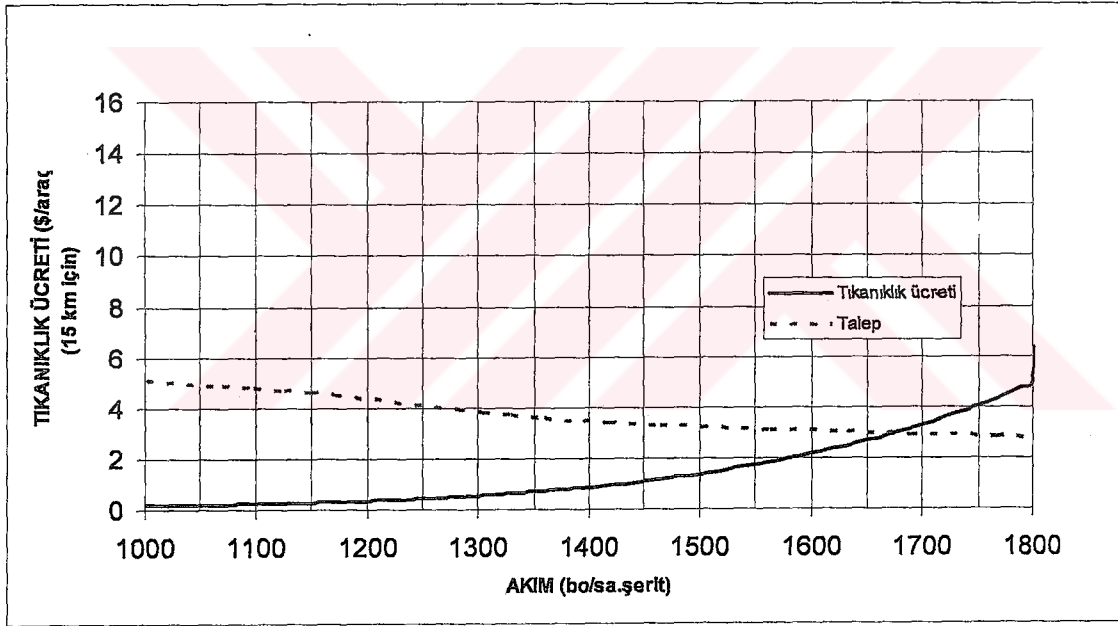
Şekil 4.3 Uygulama örneği 3 için optimum akım ve tıkanıklık fiyatının bulunması

Örnek 3'de yolcu talebi 5000 yolcu/saat.şerit, tıkalı güzergah uzunluğu 15 km, olarak seçilmiş ancak otobüs fiyatı 0,9 \$'a yükseltilmiş ve optimum tıkanıklık fiyatının özel otomobil başına 4,5 \$ olacağı belirlenmiştir. Uygulama sonucunda akım hızında yaklaşık 9,5 km/saat'lik bir artış olacağı, saatlik akımdan şerit başına 133 otomobil eksileceği ve 18 adet yeni otobüs alımının gerekli olacağı hesap sonucu bulunmuştur. Toplanacak tıkanıklık fiyatının yılda 57.712.500 \$ gelir getireceği, ek otobüs alımı içinse 3.600.000 \$'lık bir kaynağın uygulama öncesinde bulunmasının gerektiği hesaplar sonucu ortaya çıkmıştır. Otobüs fiyatının yükseltilmesinin toplu taşımanın cazibesi azalttığı sonuçlardan anlaşılmaktadır.

Örnek 4'de yolcu talebi 4000 yolcu/saat.şerit, otobüs biler fiyatı 0,6 \$, tıkalı güzergah uzunluğu 15 km olarak seçilmiş ve optimum tıkanıklık fiyatının özel otomobil başına 1,4 \$ olacağı belirlenmiştir. Uygulama sonucunda akım hızında yaklaşık 1 km/saat'lik bir artış olacağı, saatlik akımdan şerit başına 14 otomobil eksileceği ve 3 adet yeni otobüs alımının gerekli olacağı hesap sonucu bulunmuştur. Toplanacak tıkanıklık fiyatının yılda 15.330.000 \$ gelir getireceği, ek otobüs alımı içinse 600.000 \$'lık bir kaynağın uygulama öncesinde bulunmasının gerektiği hesaplar sonucu ortaya çıkmıştır. Önceki örneklere göre yolcu talebi düşürülerek 4000 yolcu/saat.şerit olduğunda, uygulama başlamadan önceki trafik koşullarının nispeten daha iyi olması uygulamanın özel otomobil kullanıcıları için caydırıcılığı azaltmıştır.



Şekil 4.4 Uygulama örneği 4 için optimum akım ve tıkanıklık fiyatının bulunması



Şekil 4.5 Uygulama örneği 5 için optimum akım ve tıkanıklık fiyatının bulunması

Örnek 5’de yolcu talebi 6000 yolcu/saat.şerit, otobüs bilet fiyatı 0,6 \$, tıkalı güzergah uzunluğu 15 km olarak seçilmiş ve optimum tıkanıklık fiyatının özel otomobil başına 2,93 \$ olacağı belirlenmiştir. Uygulama sonucunda akım hızında yaklaşık 29 km/saat’lik bir artış olacağı, saatlik akımdan şerit başına 651 otomobil eksileceği ve 80 adet yeni otobüs alımının gerekli olacağı hesap sonucu bulunmuştur. Toplanacak tıkanıklık fiyatının yılda 34.281.000 \$ gelir getireceği, ek otobüs alımı içinse 16.000.000 \$’lık bir kaynağın uygulama öncesinde bulunmasının gerektiği hesaplar sonucu ortaya çıkmıştır. Burada da Örnek 4’ün aksine yolcu talebinin artması akım koşullarını kötüleştirmiş ve bu koşullardan kurtulmak isteyen özel otomobil kullanıcısı sayısı artmıştır.

Örnekler incelendiğinde, uygulamaların tümünde ek otobüs alım maliyetlerinin, tıkanıklık fiyatı gelirleriyle karşılanabileceği görülmektedir. Bunun yanı sıra uygulamalar sonucunda trafik akımındaki otomobil sayılarında büyük düşüşler ve trafik akım hızında belirgin artışlar gözlenmiştir.

4.3 – 4.4 – 4.5 – 4.6 no’lu çizelgelerde ise değişik koşullarda modelin vereceği sonuçlar toplu halde sunulmuştur. Burada elde edilen saatlik tıkanıklık fiyatı geliriyle, bir zirve saatte en fazla ne kadar ek yolcunun otobüs ile taşınabileceği araştırılmış ve uygulama sonucu taşınması gereken ek yolcu sayısı ile karşılaştırılmıştır. Ayrıca farklı otobüs bilet fiyatları uygulanması durumunda, işletme maliyeti ve ek taşıt alım maliyetleri dikkate alınarak, uygulamanın, uygulama başında araç alımı için sağlanan kaynağı ne kadar sürede geri ödeyebileceği araştırılmıştır.

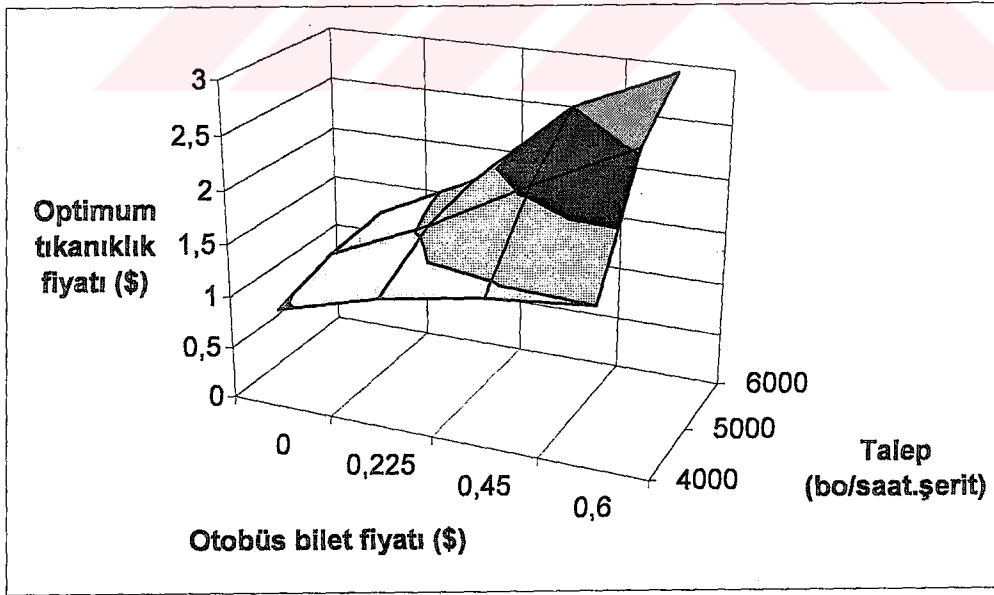
Çizelge 4.3’de yolculuk talebinin 4000 yolcu/saat.şerit olduğu ve tıkanık toplam güzergah uzunluğunun 15 km olduğu kabul edilmiş ve otobüs bilet fiyatı alınmaması durumuyla, bilet fiyatının 0,6 \$ olması durumu arasında toplam dört farklı koşulda uygulama sonuçları incelenmiştir. Otobüs bilet fiyatı alınmaması durumunda ve seçilen diğer otobüs bilet fiyatları için uygulamanın kısa bir sürede kendini amorti edeceği sonuçlardan anlaşılmaktadır.

Çizelge 4.4’de yolculuk talebinin 5000 yolcu/saat.şerit olduğu ve tıkanık toplam güzergah uzunluğunun 15 km olduğu kabul edilmiş ve otobüs bilet fiyatı alınmaması durumuyla, bilet fiyatının 0,9 \$ olması durumu arasında toplam beş farklı koşulda uygulama sonuçları incelenmiştir. Otobüs bilet fiyatı alınmaması durumunda yani işletme maliyetlerinin ve ek otobüs alım maliyetinin tamamının uygulamadan elde edilecek tıkanıklık fiyatı geliriyle karşılanması söz konusu olduğunda uygulama kendini yaklaşık 4 yılda amorti edebilmektedir. Bunun üzerinde belirlenecek tüm otobüs bilet fiyatları için uygulamanın kısa bir sürede kendini amorti edeceği sonuçlardan anlaşılmaktadır.

Çizelge 4.5’de yolculuk talebi 6000 yolcu/saat.şerit’e çıkartılmış ve tıkanık toplam güzergah uzunluğu 15 km olarak kabul edilmiştir. Burada da otobüs bilet fiyatı alınmaması durumuyla, bilet fiyatının 0,9 \$ olması durumu arasında toplam beş farklı koşulda uygulama sonuçları incelenmiştir. Otobüs bilet fiyatı alınmaması durumunda yani işletme maliyetlerinin ve ek otobüs alım maliyetinin tamamının uygulamadan elde edilecek tıkanıklık fiyatı geliriyle karşılanması söz konusu olduğunda bu yüksek yolculuk talebi karşısında uygulamanın kendini amorti edemediği görülmektedir. . Otobüs bilet fiyatının bunun üzerinde belirlenmesi durumunda ise uygulamanın kendini makul süreler içinde kendini amorti edeceği sonuçlardan anlaşılmaktadır.

Çizelge 4.6’da ise yolculuk talebinin 5000 yolcu/saat.şerit ve tıkanık toplam güzergah uzunluğunun 10 km olduğu kabul edilmiş, otobüs bilet fiyatı alınmaması durumuyla, bilet fiyatının 0,6 \$ olması durumu arasında toplam beş farklı koşulda uygulama sonuçları incelenmiştir. Otobüs bilet fiyatı olarak belirlenen tüm miktarlarda ve bilet için bir bedel alınmadığı durumda da uygulamanın çok kısa sürelerde kendini amorti edeceği sonuçlardan anlaşılmaktadır.

Tüm uygulama örneklerinde seçilmiş olan otobüs fiyatları, işletme maliyetlerinin altındadır. Gidiş-dönüş ortalama otobüs kapasite kullanım oranı %45 olarak gerçekleşmekte 4.3 – 4.4 – 4.5 no’lu çizelgelerde verilmiş olan örneklerde otobüs işletme maliyeti 1.20 \$, 4.6 no’lu çizelgedeki örnekte ise 0,80 \$’dır.



Şekil 4.6 Otobüs bilet fiyatı, talep ve optimum tıkanıklık fiyatı ilişkisi

Talepteki ve otobüs bilet fiyatındaki artışların optimum tıkanıklık fiyatını yükselttiği örneklerden görülmektedir (Şekil 4.6).

Dikkat edilirse verilen örneklerde kullanıcıdan talep edilen tıkanıklık fiyatının mevcut köprü geçiş fiyatının altında kaldığı durumlar vardır. Bu durumlarda bile trafik akımlarında bir azalma görülmektedir. Bunun sebebi toplanan ücretlerle, otomobil kullanıcılarına cazip bir alternatif ulaşım hizmeti sunulması, otobüs doluluklarının azaltılması ve bilet fiyatlarının aşağıya çekilmiş olmasıdır.

Uygulamalarda dikkat edilmesi gereken nokta, bu tür uygulamaların dünyadaki örneklerinde de görüldüğü gibi uygulama sonucunda elde edilecek gelirin yine toplu taşıma koşullarının iyileştirilmesi ve uygulama masraflarının karşılanması için kullanılmasının gerektiğidir. Bu, piyasa ekonomisi, sosyal refah ve eşitlik açılarından bir zorunluluktur. Artan gelirin kullanımı için bir çok farklı öneri getirilebileceği düşünülmektedir. Bunlardan en önemlisi, kentiçi toplu taşımacılığın geliştirilmesidir; örneğin raylı sistemlerin yaygınlaştırılmasına kaynak oluşturmak gibi.

Çizelge 4.3 Farklı otobüs bilet fiyatları için model yardımıyla bulunan optimum değerler, uygulamanın maliyetleri ve gelirleri (Örnek 6)

Yolculuk Talebi = 4000 yolcu/saat.şerit Güzergah uzunluğu=15 km												
Otobüs Bilet Ücreti	Optimum akım hızı	Uygulama öncesi akım hızı	Optimum akım değeri	Uygulama öncesi akım	Optimum tıkanıklık ücreti	Günlük tıkanıklık ücreti geliri	Gelirin yarattığı ek otobüs kapasitesi	Gerekli ek otobüs kapasitesi	Ek araç alım maliyeti	Yıllık tıkanıklık ücreti geliri	Yıllık toplam gelir -toplam işletme maliyeti farkı	Tıkanıklık ücret gelirinin ek araç alım maliyetini geri ödeme stresi
\$	km/saat	km/saat	bo/saat.şerit	bo/saat.şerit	\$/otomobil	\$/gün	yolcu/saat *	yolcu/saat	\$	\$/yıl	\$/yıl	yıl
0	58,75	54	1425	1521	0,96	39.456	4472	791	2.200.000	9.864.000	8.064.000	<1
0,225	56	54	1480	1521	1,23	52.767	5980	335	1.000.000	13.191.750	12.545.578	<1
0,45	54,75	54	1505	1521	1,4	61.320	6950	107	600.000	15.330.000	15.082.781	<1
0,6	54	54	1521	1521	1,5	66.330	7517	0	0	16.582.500	16.582.500	<1

\* 10 saatlik zirve boyunca 15 km'lik otobüs yolculuğu dikkate alınarak hesaplanmıştır. Otobüs km işletme maliyeti 1,50 \$ alınmıştır. Paranın yıllık getirisi % 8 olarak alınmıştır

Çizelge 4.4 Farklı otobüs bilet fiyatları için model yardımıyla bulunan optimum değerler, uygulamanın maliyetleri ve gelirleri (Örnek 7)

Yolculuk Talebi = 5000 yolcu/saat.şerit Güzergah uzunluğu=15 km												
Otobüs Bilet Ücreti	Optimum akım hızı	Uygulama öncesi akım hızı	Optimum akım değeri	Uygulama öncesi akım	Optimum tıkanıklık ücreti	Günlük tıkanıklık ücreti geliri	Gelirin yarattığı ek otobüs kapasitesi	Gerekli ek otobüs kapasitesi	Ek araç alım maliyeti	Yıllık tıkanıklık ücreti geliri	Yıllık toplam gelir -toplam işletme maliyeti farkı	Tıkanıklık ücret gelirinin ek araç alım maliyetini geri ödeme stresi
\$	km/saat	km/saat	bo/saat.şerit	bo/saat.şerit	\$/otomobil	\$/gün	yolcu/saat *	yolcu/saat	\$	\$/yıl	\$/yıl	yıl
0	57,5	31,5	1450	1901	1,13	45.901	5202	3717	10.200.000	11.475.150	3.262.650	<4
0,225	53,75	31,5	1525	1901	1,55	67.053	7599	3048	8.800.000	16.763.250	11.299.125	<1
0,45	50,5	31,5	1590	1901	2,07	93.461	10592	2569	7.800.000	23.365.125	19.795.219	<1
0,6	48	31,5	1640	1901	2,54	118.872	13472	2151	7.000.000	29.718.000	27.300.375	<1
0,9	41	31,5	1780	1901	4,5	230.850	26163	1011	3.600.000	57.712.500	57.168.563	<1

\* 10 saatlik zirve boyunca 15 km'lik otobüs yolculuğu dikkate alınarak hesaplanmıştır. Otobüs km işletme maliyeti 1,50 \$ alınmıştır. Paranın yıllık getirisi % 8 olarak alınmıştır



Çizelge 4.5 Farklı otobüs bilet fiyatları için model yardımıyla bulunan optimum değerler, uygulamanın maliyetleri ve gelirleri (Örnek 8)

Yolculuk Talebi = 6000 yolcu/saat.şerit Güzergah uzunluğu=15 km												
Otobüs Bilet Ücreti	Optimum akım hızı	Uygulama öncesi akım hızı	Optimum akım değeri	Uygulama öncesi akım	Optimum tıkanıklık ücreti	Günlük tıkanıklık ücreti geliri	Gelirin yarattığı ek otobüs kapasitesi	Gerekli ek otobüs kapasitesi	Ek araç alım maliyeti	Yıllık tıkanıklık ücreti geliri	Yıllık toplam gelir -toplam işletme maliyeti farkı	Tıkanıklık ücret gelirinin ek araç alım maliyetini geri ödeme süresi
\$	km/saat	km/saat	bo/saat.şerit	bo/saat.şerit	\$/otomobil	\$/gün	yolcu/saat *	yolcu/saat	\$	\$/yıl	\$/yıl	yıl
0	56,5	17,1	1470	2281	1,2	48.024	5443	6666	18.400.000	12.006.000	-2.731.500	KARŞILAMAZ
0,225	53	17,1	1540	2281	1,66	70.069	7941	6111	17.600.000	17.517.150	6.595.228	<4
0,45	48,25	17,1	1635	2281	2,5	113.325	12843	5320	16.600.000	28.331.250	21.007.500	<1
0,6	46,25	17,1	1675	2281	2,93	137.124	15541	4948	16.000.000	34.281.000	28.822.500	<1
0,9	39	17,1	1805	2281	5,62	286.114	32426	3907	14.600.000	71.528.550	69.459.113	<1

\* 10 saatlik zirve boyunca 15 km'lik otobüs yolculuğu dikkate alınarak hesaplanmıştır. Otobüs yolcu.km işletme maliyeti 0,03\$ alınmıştır. Paramın yıllık getirisi % 8 olarak alınmıştır

Çizelge 4.6 Farklı otobüs bilet fiyatları için model yardımıyla bulunan optimum değerler, uygulamanın maliyetleri ve gelirleri (Örnek 9)

Yolculuk Talebi = 5000 yolcu/saat.şerit Güzergah uzunluğu=10 km												
Otobüs Bilet Ücreti	Optimum akım hızı	Uygulama öncesi akım hızı	Optimum akım değeri	Uygulama öncesi akım	Optimum tıkanıklık ücreti	Günlük tıkanıklık ücreti geliri	Gelirin yarattığı ek otobüs kapasitesi	Gerekli ek otobüs kapasitesi	Ek araç alım maliyeti	Yıllık tıkanıklık ücreti geliri	Yıllık toplam gelir -toplam işletme maliyeti farkı	Tıkanıklık ücret gelirinin ek araç alım maliyetini geri ödeme süresi
\$	km/saat	km/saat	bo/saat.şerit	bo/saat.şerit	\$/otomobil	\$/gün	yolcu/saat *	yolcu/saat	\$	\$/yıl	\$/yıl	yıl
0	53	31,5	1540	1901	1,1	48.015	5442	2949	6.400.000	12.003.750	5.478.750	<2
0,15	50,5	31,5	1590	1901	1,36	61.812	7005	2493	5.600.000	15.453.000	10.641.656	<1
0,225	49,5	31,5	1610	1901	1,5	68.625	7777	2417	5.600.000	17.156.250	12.775.922	<1
0,45	46	31,5	1680	1901	2	96.240	10907	1817	4.400.000	24.060.000	21.543.094	<1
0,6	44	31,5	1720	1901	2,4	118.512	13431	1498	3.800.000	29.628.000	27.938.250	<1

\* 10 saatlik zirve boyunca 10 km'lik otobüs yolculuğu dikkate alınarak hesaplanmıştır. Otobüs yolcu.km işletme maliyeti 0,03\$ alınmıştır. Paramın yıllık getirisi % 8 olarak alınmıştır



## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Kaliteli ve güvenilir bir toplu taşıma hizmetinin büyük şehirlerin ulaşım sorunları için tek çözüm olduğu bir gerçektir. Çağımızda insanların beklentileri her konuda yüksektir. Kentiçi ulaşımında özel otomobilin kendine has avantajlarıyla rekabet edebilmek için sunulması gereken toplu taşıma hizmetlerinin de konforlu, hızlı ve güvenilir olması gereklidir. Diğer yandan toplumlarda çevre bilinci de yaygınlaşmaktadır. Ekonomik dengeler sürekli değişmektedir. 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 çalışmada tıkanıklığın fiyatlandırılması durumunda zaman, yakıt tüketimi ve araç sahipliği maliyetinin yanı sıra hava kirliliği maliyetleri de dikkate alınarak optimum tıkanıklık fiyatı ve optimum akım değerinin bulunması ve bulunan optimum fiyatın uygulanması durumunda gerekli ek toplu taşıma kapasitesini hesaplamaya ve bu kapasitenin tıkanıklık fiyatı uygulamasından elde edilecek gelirle karşılanıp karşılanamayacağı irdelenmiştir. Modelde kullanılan maliyetler ülkemiz koşullarını temsil edecek şekilde belirlenmiştir.

Modelin işlerliğini göstermek amacıyla, İstanbul Boğaziçi Köprüsü üzerinde bazı varsayımlarla örnek değerlendirmeler yapılmıştır.

Modelin değişikliklere uyum sağlayabilmesi için mümkün olduğunca esnek bir yapıya sahip olması sağlanmıştır.

Model yardımıyla çözülen örneklerin sonuçları, bu tür uygulamaların, uygulamanın gelirinin kesinlikle toplu taşımayı desteklemek ve kentiçi ulaşımı geliştirmek amacıyla kullanılması prensibine sadık kalınarak gerçekleştirilmesi durumunda yapılabilir olduğunu göstermiştir.

Bu tür uygulamalar sonucu elde edilecek kaynağın kentiçi toplu taşımacılık projeleri için önemi sonuçlardan açıkça anlaşılmaktadır.

Elde edilen sonuçlar bu tür uygulamaların, kendi kendilerini (tüm altyapı ve işletme maliyetleri dahil olacak şekilde) finanse edecek yeterlilikte olduğunu ve uzun vadede toplu taşımacılık hizmetlerinin çeşitliliğinin ve niteliklerinin artırılması, yaygınlaştırılması ve ekonomik açıdan kendi ayakları üzerinde duracak konuma getirilmesi amacıyla kullanılmak üzere önemli bir finansal kaynak oluşturabileceğini göstermiştir.

Örnek üzerinde uygulanan modelin sonuçlarına göre, tıkanıklık fiyatlandırmasıyla trafikte % 25-40 arasında azalmalar sağlanabileceği ve akım hızlarında zaman zaman 25 km/saat'e ulaşan artışlar olabileceği görülmüştür.

Çalışmanın ileride yapılacak uygulamalarda kullanılabilmesi ve başka akademik çalışmalar için bir kaynak olarak kullanılacağı düşüncesiyle, birtakım önerilerde bulunulması uygun görülmüştür. Bu öneriler şöyle sıralanabilir;

- Uygulamanın yapılacağı bölgede/güzergahta özel olarak oluşturulacak bir hız-akım modelinin kullanılması gerekir. Bunun söz konusu bölgede arazi çalışmalarıyla toplanacak trafik verilerinden bir hız-akım modeli oluşturulmalıdır.
- Marjinal maliyetlerin hesabında kullanılacak pek çok farklı dışsal maliyet faktörü bulunmaktadır. Bunların çoğunun ülke koşullarına göre modellenmesi ve parasal karşılıklarının hesaplanması için disiplinli bir çalışma ile veriler sürekli toplanmalı ve bir veri tabanı oluşturulmalıdır.
- Tercih modelinde kullanılacak yararlılık fonksiyonlarının düzenlenmesi ve kalibrasyonu için uygulamanın yapılacağı bölgeye/güzergaha ait, bu çalışmada yapılan anketten daha kapsamlı bir anket çalışması yapılmalıdır.
- Uygulama sonrasında denetimler sürekli devam ettirilmelidir. Gerçekleşen durum kontrol edilmeli ve toplu taşımacılığın cazibesini koruması sağlaması sağlanmalıdır. Yolculuk talebi, yol koşulları ve maliyetler gibi tıkanıklık fiyatını etkileyecek faktörler izlenerek, gerektiğinde uygulanan tıkanıklık fiyatında ayarlamalar yapılmalıdır.

Sonuç olarak, İstanbul gibi büyük kentlerde bu tür uygulamaların gerçekleştirilmesinin trafik sorunları için bir çözüm ve kentiçi toplu taşımacılığın geliştirilmesi için gereken kaynakların temininde önemli bir fırsat olduğu bu çalışmayla ortaya konulmuştur. Çalışmada ortaya konan yöntem ve oluşturulan model bu konuda gelecekte yapılacak çalışmalar için önemli bir kaynak olabilecektir.

**KAYNAKLAR**

- Blum, U., (1998), "Positive Externalities and the Public Provision of Transportation Infrastructure: An Evolutionary Perspective", *Journal of Transportation and Statistics*, 81-88
- Branston, D., (1976), "Link Capacity Functions A Review", *Transportation Research Part B*, 18B3, 181-199
- Calfee, J., Winston, C., (1998), "The Value of Automobile Travel Time: Implications for Congestion Policy", *Journal of Public Economics* 69, 83-102
- De Borger, B., Ochelen, S., Proost, S., Swysen, D., (1997) "Alternative Transport Pricing and Regulation Policies: A Welfare Analysis for Belgium in 2005", *Transportation Research Part D*, Vol 2, No 3, 177-198
- European Commission DG Transport , (1996), "Transport Research, APAS, Pricing and Financing of Urban Transport", Luxembourg: Office for Official Publications of the European Community
- Haworth, N., Symmons, M., (2001) "The Relationship between Fuel Economy and Safety Outcomes", *Monash University Accident Research Centre, Report No 188*
- Holland, M., Watkiss, P., (2002), "Estimates of Marginal External Costs of Air Pollution in Europe", *European Commission DG Environment*
- Ison, S., (2000) "Local Authority and Academic Attitudes to Urban Road Pricing: A UK Perspective", *Transport Policy* 7, 269-277
- İETT, (2001), "İETT istatistikleri 2001 Ocak-Temmuz", *APK Daire Başkanlığı İstatistik ve Tarifeler Şube Müdürlüğü*
- Karakuş, S.Z., (2001), "Benzinli Araçlardan Kaynaklanan Hidrokarbonların Ozon Oluşumuna Etkisinin İncelenmesi", *Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*
- Karayolları 17. Bölge Müdürlüğü Boğaziçi Köprüsü Bakım İşletme Baş Müdürlüğü, (2003), *2003 Nisan Ayı Boğaziçi Köprüsü Gişe Sayımları*
- Komisyon Raporu, (2002), "Toplu Taşıma Sistemi Komisyon Raporu", *İstanbul Büyükşehir Belediyesi için Hazırlanan Rapor*
- 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
- 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
- Lindsay, C.R., Verhoef, E.T., (1999), "Congestion Modelling", *Tinbergen Institute Discussion Paper*
- Litman, T.A., (2003), "Transportation Cost and Benefit Analysis. Techniques, Estimates and Implications", *Victoria Transport Policy Institute*
- Mackie, P.J., Jara-Diaz, S., Fowkes, A.S., (2001), "The Value of Travel Time Savings in Evaluation", *Transportation Research Part E* 37, 91-106

Mayeres, I., Ochelen, S., Proost, S., (1996), "The Marginal External Costs of Urban Transport", *Transportation Research D*, Vol 1, No 2, 111-130

Nijlanda, H.A., Van Kempena, E.E.M.M., Van Weeb, G.P., Jabben, J., (2003), "Costs and Benefits of Noise Abatement Measures", *Transport Policy* 10, 131-140

OECD, (2003), "GDP per Capita for OECD Countries. National Accounts of OECD Countries, Main Aggregates Vol 1, 2003", OECD Report

Ortuzar, J.dD., Willumsen, L.G., (1990), "Modelling Transport", John Wiley and Sons Ltd. England

OSD, (2004), "Otomobil Sanayicileri Derneği Aylık İstatistiki Bilgiler Bülteni Haziran 2004", Otomobil Sanayicileri Derneği Yayınları

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., Verhoef, E., (2002), "How Large is the Gap Between Present and Efficient Transport Prices in Europe?", *Transportation Policy* 9, 41-57

Small, K.A., (1997), "Economics and Urban Transportation Policy in the United States", *Regional Science and Urban Economics* 27, 671-691

Stradling, S.G., Meadows, M.L., Beatty, S., (2000), "Helping Drivers out of Their Cars: Integrating Transport Policy and Social Psychology for Sustainable Change", *Transport Policy* 7, 207-215

Şahin, İ., (2005), "Uzun Otoyol Kuyruklarının İncelenmesi ve İyileştirme Stratejilerinin Araştırılması Adlı Tübitak Araştırma Projesi Sonuç Raporunda kullanılan Verilerle Hazırlanmış Akım-Hız-Yoğunluk Büyüklükleri Arasındaki İkili İlişkileri Gösterir Eğriler", Yayınlanmamış Çalışma

Transport for London, (2004), "Congestion Pricing: Update on Scheme Impacts and Operations February 2004", TFL Report

Transport for London, (2004), Merkezi Londra ücretli bölge projesini Kensington-Chelsea ve Westminster bölgelerinin çoğunluğunu kapsayacak şekilde genişletme önerisi, TFL Survey Booklet

Yang, H., Huang, H., (1998), "Principle of Marginal Cost Pricing: How Does it Work in a General Road Network?", *Transportation Research Part A*, Vol 32, No 1, 45-54

Yüksel, H., Yardım, M.S., (2003), "Urban Bus Transit Conditions in Istanbul", 10<sup>th</sup> World Conference on Transport Research July 4-8 Istanbul-Turkey, Abstract Book I

YTÜ Uygur Merkezi, (2002), "İETT Hatlarının Etüdü ve Rehabilitasyon Projesi Mayıs -Eylül 2002", İETT için Hazırlanan Araştırma Projesi

Zegras, C., (1998), "The Costs of Transportation in Santiago de Chile: Analysis and Policy Implications", *Transport Policy* 5, 9-21

**INTERNET KAYNAKLARI**

[1]www.die.gov.tr

[2]www.emniyet.gov.tr

[3]www.gelirler.gov.tr

[4]www.ibb.gov.tr

[5]www.iem.gov.tr

[6]www.iett.gov.tr

[7]www.sigortam.net



**EKLER**

- Ek 1 Toplam ortalama maliyet ve marjinal maliyet denklemleri  
Ek 2 Tercih modelinin kalibrasyonu için yapılan anket formu



## Ek 1 Toplam ortalama maliyet ve marjinal maliyet denklemleri

### 1. Aralık Maliyet Bağlılıkları

$$OM_1(q) =$$

$$k1.q+k2.q/Vs+k3.q.(0.00000351.Vs^4-0.00119275.Vs^3+0.14843977.Vs^2-7.72758369.Vs+190.769230)+k4.q.11.49431.Vs^{(-0.53747)}+k5.q.(0.00000237.Vs^4-0.00073996.Vs^3+0.08344851.Vs^2-4.05578049.Vs+84.713286)+k6.q.(0.000138.Vs^2+0.007835.Vs+1.366084)$$

$$MM_1(q) =$$

$$k1+k2/Vs+k3.(0.00000351.Vs^4-0.00119275.Vs^3+0.14843977.Vs^2-7.72758369.Vs+190.769230)+k4.11.49431.Vs^{(-0.53747)}+k5.(0.00000237.Vs^4-0.00073996.Vs^3+0.08344851.Vs^2-4.05578049.Vs+84.713286)+k6.(0.000138.Vs^2+0.007835.Vs+1.366084)$$

### 2. Aralık Maliyet Bağlılıkları

$$OM_2(q) =$$

$$k1.q+k2.q/(Vsk.q-Q1.Vsk+Vs)+k3.q.(0.00000351.(Vsk.q-Q1.Vsk+Vs)^4-0.00119275.(Vsk.q-Q1.Vsk+Vs)^3+0.14843977.(Vsk.q-Q1.Vsk+Vs)^2-7.72758369.(Vsk.q-Q1.Vsk+Vs)+190.769230)+k4.q.11.49431.(Vsk.q-Q1.Vsk+Vs)^{(-0.53747)}+k5.q.(0.00000237.(Vsk.q-Q1.Vsk+Vs)^4-0.00073996.(Vsk.q-Q1.Vsk+Vs)^3+0.08344851.(Vsk.q-Q1.Vsk+Vs)^2-4.05578049.(Vsk.q-Q1.Vsk+Vs)+84.713286)+k6.q.(0.000138.(Vsk.q-Q1.Vsk+Vs)^2+0.007835.(Vsk.q-Q1.Vsk+Vs)+1.366084)$$

$$MM_2(q) =$$

$$k1+k2/(Vsk.q-Q1.Vsk+Vs)-k2.q/(Vsk.q-Q1.Vsk+Vs)^2.Vsk+k3.(0.00000351.(Vsk.q-Q1.Vsk+Vs)^4-0.00119275.(Vsk.q-Q1.Vsk+Vs)^3+0.14843977.(Vsk.q-Q1.Vsk+Vs)^2-7.72758369.(Vsk.q-Q1.Vsk+Vs)+190.769230)+k3.q.(4.0.00000351.(Vsk.q-Q1.Vsk+Vs)^3.Vsk-3.0.00119275.(Vsk.q-Q1.Vsk+Vs)^2.Vsk+2.0.14843977.(Vsk.q-Q1.Vsk+Vs).Vsk-7.72758369.Vsk)+k4.11.49431.(Vsk.q-Q1.Vsk+Vs)^{(-0.53747)}-k4.q.11.49431.(Vsk.q-Q1.Vsk+Vs)^{(-0.53747)}.0.53747.Vsk/(Vsk.q-Q1.Vsk+Vs)+k5.(0.00000237.(Vsk.q-Q1.Vsk+Vs)^4-0.00073996.(Vsk.q-Q1.Vsk+Vs)^3+0.08344851.(Vsk.q-Q1.Vsk+Vs)^2-4.05578049.(Vsk.q-Q1.Vsk+Vs)+84.713286)+k5.q.(4.0.00000237.(Vsk.q-Q1.Vsk+Vs)^3.Vsk-3.0.00073996.(Vsk.q-Q1.Vsk+Vs)^2.Vsk+2.0.08344851.(Vsk.q-Q1.Vsk+Vs).Vsk-4.05578049.Vsk)+k6.(0.000138.(Vsk.q-Q1.Vsk+Vs)^2+0.007835.(Vsk.q-Q1.Vsk+Vs)+1.366084)+k6.q.(2.0.000138.(Vsk.q-Q1.Vsk+Vs).Vsk+0.007835.Vsk)$$



### 3. Aralık Maliyet Bağınıtları

$$OM_3(q) =$$

$$k1.q+1/8.k2.q/Vk/Q2.(8.Q2+Vk.q-Vk.Q2)+k3.q.(4096.0.00000351.Vk^4.Q2^4/(8.Q2+Vk.q-Vk.Q2)^4-512.0.00119275.Vk^3.Q2^3/(8.Q2+Vk.q-Vk.Q2)^3+64.0.14843977.Vk^2.Q2^2/(8.Q2+Vk.q-Vk.Q2)^2-8.7.72758369.Vk.Q2/(8.Q2+Vk.q-Vk.Q2)+190.769230)+k4.q.11.49431.(8.Vk.Q2/(8.Q2+Vk.q-Vk.Q2))^{(-0.53747)}+k5.q.(4096.0.00000237.Vk^4.Q2^4/(8.Q2+Vk.q-Vk.Q2)^4-512.0.00073996.Vk^3.Q2^3/(8.Q2+Vk.q-Vk.Q2)^3+64.0.08344851.Vk^2.Q2^2/(8.Q2+Vk.q-Vk.Q2)^2-8.4.05578049.Vk.Q2/(8.Q2+Vk.q-Vk.Q2)+84.713286)+k6.q.(64.0.000138.Vk^2.Q2^2/(8.Q2+Vk.q-Vk.Q2)^2+8.0.007835.Vk.Q2/(8.Q2+Vk.q-Vk.Q2)+1.366084)$$

$$MM_3(q) =$$

$$k1+1/8.k2/Vk/Q2.(8.Q2+Vk.q-Vk.Q2)+1/8.k2.q/Q2+k3.(4096.0.00000351.Vk^4.Q2^4/(8.Q2+Vk.q-Vk.Q2)^4-512.0.00119275.Vk^3.Q2^3/(8.Q2+Vk.q-Vk.Q2)^3+64.0.14843977.Vk^2.Q2^2/(8.Q2+Vk.q-Vk.Q2)^2-8.7.72758369.Vk.Q2/(8.Q2+Vk.q-Vk.Q2)+190.769230)+k3.q.(-16384.0.00000351.Vk^5.Q2^4/(8.Q2+Vk.q-Vk.Q2)^5+1536.0.00119275.Vk^4.Q2^3/(8.Q2+Vk.q-Vk.Q2)^4-128.0.14843977.Vk^3.Q2^2/(8.Q2+Vk.q-Vk.Q2)^3+8.7.72758369.Vk^2.Q2/(8.Q2+Vk.q-Vk.Q2)^2)+k4.11.49431.(8.Vk.Q2/(8.Q2+Vk.q-Vk.Q2))^{(-0.53747)}+k4.q.11.49431.(8.Vk.Q2/(8.Q2+Vk.q-Vk.Q2))^{(-0.53747)}.0.53747.Vk/(8.Q2+Vk.q-Vk.Q2)+k5.(4096.0.00000237.Vk^4.Q2^4/(8.Q2+Vk.q-Vk.Q2)^4-512.0.00073996.Vk^3.Q2^3/(8.Q2+Vk.q-Vk.Q2)^3+64.0.08344851.Vk^2.Q2^2/(8.Q2+Vk.q-Vk.Q2)^2-8.4.05578049.Vk.Q2/(8.Q2+Vk.q-Vk.Q2)+84.713286)+k5.q.(-16384.0.00000237.Vk^5.Q2^4/(8.Q2+Vk.q-Vk.Q2)^5+1536.0.00073996.Vk^4.Q2^3/(8.Q2+Vk.q-Vk.Q2)^4-128.0.08344851.Vk^3.Q2^2/(8.Q2+Vk.q-Vk.Q2)^3+8.4.05578049.Vk^2.Q2/(8.Q2+Vk.q-Vk.Q2)^2)+k6.(64.0.000138.Vk^2.Q2^2/(8.Q2+Vk.q-Vk.Q2)^2+8.0.007835.Vk.Q2/(8.Q2+Vk.q-Vk.Q2)+1.366084)+k6.q.(-128.0.000138.Vk^3.Q2^2/(8.Q2+Vk.q-Vk.Q2)^3-8.0.007835.Vk^2.Q2/(8.Q2+Vk.q-Vk.Q2)^2)$$

**Ek 2 Tercih modelinin kalibrasyonu için yapılan anket formu**

**I) Otomobiliniz var mı? (Cevabınız HAYIR ise III ve IV numaralı soruları cevaplamanıza gerek yoktur.)**

1. EVET
2. HAYIR

**II) Aylık geliriniz aşağıdaki aralıklardan hangisine girmektedir?**

1. 500 milyon TL - 1 milyar TL
2. 1,001 milyar TL - 1,5 milyar TL
3. 1,501 milyon TL - 2 milyar TL
4. 2,001 milyon TL - 2,5 milyar TL
5. 2,501 milyar TL ve üstü

**III) Ev-iş yolculuğu amacıyla özel aracınızı kullanarak iki yaka arasında seyahat ediyor musunuz? (Cevabınız HAYIR ise son soruyu cevaplamanıza gerek yoktur.)**

1. EVET
2. HAYIR

**IV) Sabah ve akşam, trafiğin çok yoğun olduğu saatlerde Boğaziçi köprüsü geçiş ücretinin artırılması durumunda, (Her iki yakada da tıkanıklığın başladığı noktalardan önce konumlandırılmış, özel aracınızı park ederek hızla otobüslere aktarma yapabileceğiniz park et-bin alanları tesis edilecektir. Bu alanlar arasında devamlı mekik servis yapacak otobüs seferleri konulacak, mekik servislerden son seyahat noktanıza giden otobüs seferlerinin sıklığı ve konforu arttırılacaktır. Otobüs ücreti tek bilet ücreti olarak sabit kalacaktır.) sizi özel otomobilinizi kullanmaktan vazgeçirecek köprü geçiş ücreti aşağıdakilerden hangisi olurdu?**

1. 4 milyon TL
2. 5 milyon TL
3. 6 milyon TL
4. 7 milyon TL
5. 8 milyon TL
6. 9 milyon TL
7. 10 milyon TL
8. 11 milyon TL
9. 12 milyon TL
10. Ücret daha yüksek olsa da özel aracımdan vazgeçmem.

**ÖZGEÇMİŞ**

Doğum tarihi	25.07.1971	
Doğum yeri	İstanbul	
Lise	1982-1989	Kadıköy Anadolu Lisesi
Lisans	1989-1995	Yıldız Üniversitesi Mühendislik Fak. İnşaat Mühendisliği Bölümü
Yüksek Lisans	1995-1998	Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Müh. Anabilim Dalı, Ulaştırma Programı
Doktora	1998-2004	Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Müh. Anabilim Dalı, Ulaştırma Programı

**Çalıştığı kurum(lar)**

1997-Devam ediyor YTÜ İnşaat Fakültesi Araştırma Görevlisi

