

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**TRAFİK TIKANIKLIĞI YÖNETİMİ OLARAK FİYATLANDIRMA VE
İSTANBUL-EMİNÖNÜ İÇİN BİR UYGULAMA**

**DOKTORA TEZİ
Hüseyin Onur TEZCAN**

Anabilim Dalı : İnşaat Mühendisliği

Programı : Ulaştırma Mühendisliği

HAZİRAN 2009

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**TRAFİK TIKANIKLIĞI YÖNETİMİ OLARAK FİYATLANDIRMA VE
İSTANBUL-EMİNÖNÜ İÇİN BİR UYGULAMA**

**DOKTORA TEZİ
Hüseyin Onur TEZCAN
(501002203)**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 19 Aralık 2008
Tezin Savunulduğu Tarih : 23 Haziran 2009**

**Tez Danışmanı : Prof. Dr. Nadir YAYLA(İTÜ)
Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Haluk GERÇEK (İTÜ)
Prof. Dr. Ergun GEDİZLİOĞLU (İTÜ)
Prof. Dr. Gökmen ERGÜN (BÜ)
Doç. Dr. İsmail ŞAHİN (YTÜ)**

HAZİRAN 2009

ÖNSÖZ

Tez çalışmamı tamamlamamda büyük emeği olan, benden her konuda hiçbir zaman destek ve yardımlarını esirgemeyen; her sorumu cevaplamak, her sorunumu çözmek için adeta seferber olan tez danışmanım Prof. Dr. Nadir YAYLA'ya teşekkürü bir borç biliyorum. Onun katkıları olmasaydı, çalışmamın bu hale gelmesi mümkün olamazdı.

Bana sağladığı bilimsel destek, yönlendirmeleri ve ayırdığı zaman sayesinde tezimin içeriğinin zenginleşmesini sağlayan Prof. Dr. Haluk GERÇEK'e minnetlerimi sunuyorum. Bu çalışmayı tamamlamamda onun yol göstericiliğinin büyük katkısı olmuştur.

Sıkıştığım anlarda tavsiye ve önerileri ile bana çok yardımcı dokunan Doç. Dr. Kemal Selçuk ÖĞÜT, çalışmada yolumu kaybettiğim pek çok anda benim kurtarıcımdı. Kendisine ne kadar teşekkür etsem azdır.

Tezimin hazırlanması sürecinde formatından içeriğine kadar pek çok konuda sıkça danıştığım ve her zaman yardım aldığım Araş. Gör. Mustafa TANIŞ'a, herhangi bir sorum olduğu her anda, işini gücünü bırakıp bana vakit ayırarak yardımcı olan Araş. Gör. Yaşasın ERYILMAZ'a teşekkürlerimi sunuyorum.

Farklı illerde olsak da her zaman yanımda hissettiğim, maddi, manevi destek aldığım, her ihtiyacımı karşılamak için seferber olan değerli ailemin hakkını ödemem mümkün değildir. Her anımda benim yanımda olan, bitmez tükenmez sorunlarıma sabırla çözüm üreten eşim Serpil GÜNAYDIN TEZCAN'a da teşekkürlerimi sunuyorum.

Aralık 2008

Hüseyin Onur TEZCAN
İnş. Y. Müh.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖNSÖZ.....	iii
İÇİNDEKİLER.....	v
KISALTMALAR.....	ix
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xi
ŞEKİL LİSTESİ.....	xiii
SEMBOL LİSTESİ.....	xv
ÖZET.....	xvii
SUMMARY.....	xxi
1. GİRİŞ.....	1
2. ULAŞTIRMADA TALEP YÖNETİMİ STRATEJİLERİ.....	7
2.1. Parasal Talep Yönetimi Stratejileri.....	8
2.1.1. Vergilerde yapılan düzenlemeler.....	8
2.1.1.1. Yeni satın alınan ve kullanımda olan araçlardan yıllık olarak tahsil edilen vergiler.....	8
2.1.1.2. Akaryakıt vergisi.....	9
2.1.1.3. Vergilerde yapılan düzenlemelerin genel değerlendirilmesi.....	9
2.1.2. Yeni fiyatlandırma uygulamaları.....	10
2.1.2.1. Otopark ücretlerinin artırılması.....	10
2.1.2.2. Tıkanıklık fiyatlandırması (Yol fiyatlandırması).....	11
2.1.3. Sübvansiyonlar.....	12
2.1.3.1. Toplu taşıma sisteminin sübvansiyon edilmesi.....	12
2.1.3.2. Çevre dostu akaryakıt kullanan araçlara uygulanan sübvansiyonlar.....	12
2.2. Parasal Olmayan Talep Yönetimi Stratejileri.....	13
2.2.1. Kapasitenin artırılması.....	13
2.2.2. Trafik miktarının doğrudan yöntemlerle sınırlandırılması.....	14
2.2.3. Trafik miktarının trafik yönetimi uygulamalarıyla sınırlandırılması.....	14
2.2.4. Bireylerin daha az yolculuk yapmaya yönlendirilmesi.....	15
2.3. Ulaştırma talep yönetimi stratejileri için genel bir değerlendirme.....	15
3. TIKANIKLIK FİYATLANDIRMASI.....	17
3.1. Tıkanıklık fiyatlandırması teorisinin tarihsel gelişimi.....	17
3.2. Fiyatlandırma uygulamalarının dün ve bugün.....	18
3.2.1. Norveç'teki fiyatlandırma uygulamaları.....	20
3.2.2. Londra tıkanıklık fiyatlandırması.....	21
3.2.3. Stockholm tıkanıklık fiyatlandırması.....	24
3.2.4. İstanbul için tıkanıklık fiyatlandırması çalışmaları.....	27
3.3. Tıkanıklık Fiyatlandırmasında Tahsilât Yöntemleri.....	28
3.3.1. Elektronik olmayan operatörlü tahsilât sistemleri.....	29
3.3.2. Elektronik olmayan otomatik tahsilât sistemleri.....	30
3.3.3. Elektronik otomatik tahsilât sistemleri.....	30

3.3.3.1. Kısa mesafeli haberleşme teknolojisi kullanılan sistemler.....	31
3.3.3.2. Geniş alanda haberleşme teknolojisi kullanılan sistemler.....	34
3.3.3.3. Video kamera tabanlı sistemler.....	35
3.4. Tıkanıklık Fiyatlandırması Tipleri.....	35
3.4.1. Tek bir ulaşım tesisinin fiyatlandırılması.....	35
3.4.2. Kordon fiyatlandırması.....	36
3.4.3. Alan fiyatlandırması.....	36
3.4.4. Yaratılan dışsal etkiye bağlı fiyatlandırma.....	36
3.4.5. Şerit yönetimi uygulamaları (Managed lanes).....	37
3.4.6. Kat edilen mesafeye bağlı fiyatlandırma.....	39
3.5. Tıkanıklık Fiyatlandırmasının Kabul Edilebilirliği.....	40
3.5.1. Trafik tıkanıklığının önemli bir problem olduğunun kabul edilmesi.....	42
3.5.2. Sorumluluk bilinci.....	42
3.5.3. Karar vericiler ile bireylerin amaçlarının çatışması.....	43
3.5.4. Uygulama hakkında yeterli bilgiye sahip olma.....	43
3.5.5. Gelirlerin doğru kullanılması.....	43
3.5.6. Eşitlik (Equity).....	44
3.5.7. Bireysel tercihler.....	45
3.5.8. Tıkanıklık fiyatlandırmasının kabul edilebilirliğini arttırmak için gerçekleştirilebilecek diğer uygulamalar.....	46
3.5.9. Tıkanıklık fiyatlandırmasının kabul edilebilirliğinin İstanbul açısından değerlendirilmesi.....	47
4. TRAFİK TIKANIKLIĞININ EKONOMİK ANALİZİ.....	49
4.1. Ulaştırmada Denge Kavramı.....	49
4.2. Wardrop Prensipleri: Kullanıcı Optimumu ve Sosyal Optimumu.....	50
4.2.1. Matematik optimizasyon problemi olarak kullanıcı ve sosyal optimumu.....	52
4.3. Stokastik ve Deterministik Yaklaşım.....	54
4.4. Marjinal Maliyet Fiyatlandırması: Birinci En İyi Optimumu.....	55
4.5. İkinci En İyi Optimumu.....	64
4.5.1. İkinci en iyi optimumu fiyatlandırması.....	67
4.6. Sayısal Örnek Üzerinde Değerlendirme.....	68
5. TRAFİK TIKANIKLIĞININ VE TIKANIKLIK FİYATLANDIRMASININ MODELLENMESİ.....	71
5.1. Zamandan Bağımsız Statik Modeller.....	72
5.1.1. Zamandan bağımsız modellere bir örnek: Dört aşamalı geleneksel ulaşım modeli.....	72
5.1.2. Dört aşamalı model ve tıkanıklık fiyatlandırması.....	73
5.1.3. Yolculuk üretimi aşamasında fiyatın tanımlanması.....	74
5.1.4. Yolculuk dağıtımı aşamasında fiyatın tanımlanması.....	75
5.1.5. Türel dağılım aşamasında fiyatın tanımlanması.....	76
5.1.6. Güzergah ataması aşamasında fiyatın tanımlanması.....	76
5.1.7. Fiyatlandırmanın dört aşamalı model ile incelenmesinde yaşanan problemler ve çözüm önerileri.....	77
5.2. Zamana Bağlı Dinamik Modeller.....	78
5.3. Talebin Yalnızca Yolculuğa Başlangıç Zamanına Göre Modellenmesi.....	78
5.3.1. Deterministik yaklaşım modelleri.....	80
5.3.1.1. Vickrey'in klasik şişe boynu modeli.....	80
Kullanıcı optimumu durumunda denge.....	82
Sosyal optimumu fiyatlandırması.....	84

Alternatif fiyatlandırma uygulamaları.....	86
Klasik şişe boynu analizinin genel değerlendirmesi.....	87
5.3.1.2. Henderson'un şişe boynu modeli.....	88
Kullanıcı optimumu durumunda denge.....	89
Sosyal optimumu fiyatlandırması.....	90
Henderson'un şişe boynu modelinin genel değerlendirmesi.....	90
5.3.1.3. Mun'un karma şişe boynu modeli.....	91
Kullanıcı optimumu durumunda denge.....	93
Sosyal optimumu fiyatlandırması.....	93
Mun'un karma şişe boynu modelinin genel değerlendirmesi.....	95
5.3.1.4. Verhoef'in araç takibi esasına dayalı şişe boynu modeli.....	95
Modelin yapısı.....	98
Kullanıcı optimumu durumunda denge.....	99
Sosyal optimumu fiyatlandırması.....	100
5.3.2. Stokastik yaklaşım modelleri.....	100
5.3.2.1. Klasik stokastik şişe boynu modeli.....	101
5.3.2.2. Geliştirilmiş klasik stokastik şişe boynu modeli.....	103
5.3.2.3. Bir ulaştırma ağında stokastik şişe boynu modeli.....	105
5.3.2.4. Aktivite tabanlı stokastik yolculuğa başlangıç zamanı modeli.....	107
5.4. Talebin Yolculuğa Başlangıç Zamanı ve Güzergâh Tercihlerine Göre Modellenmesi.....	111
5.4.1. Klasik yolculuğa başlangıç zamanı ve güzergah tercihi modeli.....	111
Kullanıcı optimumu durumunda denge.....	113
Sosyal optimumu fiyatlandırması.....	115
Alternatif fiyatlandırma uygulamaları.....	116
5.4.2. Bir ulaştırma ağında yolculuğa başlangıç zamanı ve güzergah tercihi modeli.....	117
Kullanıcı optimumu durumunda denge.....	119
Dinamik fiyatlandırma uygulamaları.....	122
5.5. Hipertıkanıklık.....	123
5.6. Trafik Tıkanıklığı ve Tür Tercihi İlişkisi.....	126
5.6.1. Karayolu-demiryolu arasında tür tercihi modeli örneği: Tabuchi tarafından geliştirilen model.....	127
5.6.1.1. Fiyatlandırılmayan durum: Kullanıcı optimumu.....	128
5.6.1.2. Yalnızca demiryolu bilet fiyatının ayarlanması.....	129
Bilet fiyatının demiryolunun ortalama işletme maliyetine eşit olması.....	130
Bilet fiyatının demiryolunun kullanıcı başına maliyetine eşit olması.....	131
Optimum demiryolu bilet fiyatı.....	131
5.6.1.3. Demiryolu bilet fiyatının ayarlanması ve yol fiyatlandırmasının birlikte uygulanması.....	132
5.6.2. Karayolu-demiryolu arasında tür tercihi modeli örneği: Huang tarafından geliştirilen model.....	136
5.6.2.1. Tür tercihi lojit yaklaşımı.....	137
5.6.2.2. Doğal denge durumu.....	138
5.6.2.3. Birinci en iyi fiyatlandırması.....	139
5.6.2.4. İkinci en iyi fiyatlandırması.....	140
5.6.3. Özel Otomobil-otobüs arasında tür tercihi modeli örneği: Huang, Tian, Yang ve Gao tarafından geliştirilen model.....	141
5.6.4. Özel otomobil-toplu taşıma arasında tür tercihi modeli örneği: Huang ve Yang tarafından geliştirilen model.....	145

5.6.4.1. Ulaştırma arzının durumu.....	146
5.6.4.2. Ulaştırma talebinin durumu.....	147
5.6.4.3. Tür tercihinin modellenmesi.....	149
6. İSTANBUL KENTİ İÇİN BİR TIKANIKLIK FİYATLANDIRMASI	
ÇALIŞMASI: EMİNÖNÜ ÖRNEĞİ.....	151
6.1. Eminönü Bölgesinin Özellikleri.....	151
6.2. Hesaplama Modeli.....	153
6.2.1. Hesaplama modelin kabulleri.....	154
6.2.2. Bağlantı-kapasite fonksiyonları.....	155
6.2.3. Maliyet bileşenlerinin tanıtılması.....	157
6.2.3.1. Yakıt tüketimi oranı.....	158
6.2.3.2. Zararlı madde emisyonlarının maliyetlerinin hesaplanması.....	159
6.2.4. Yolculuk ve güzergâh özelliklerinin belirlenmesi.....	163
6.2.4.1. İlçe kod numaraları.....	163
6.2.4.2. Yolculuk türleri.....	163
6.2.4.3. Yolculuk güzergâhları.....	164
6.2.4.4. Yolculuk süreleri.....	168
6.2.4.5. Eminönü bölgesi yol ağının kullanıldığı yolculukların adetleri.....	169
6.2.5. Maliyet hesaplamaları ve dağılım katsayıları.....	170
6.3. Eminönü Bölgesi Tür Tercihi Modeli.....	173
6.3.1. Kesikli tercih analizi modelleri.....	173
6.3.2. İMP Hane Halkı Anketi verilerinin analizi.....	176
6.3.3. Tür tercihi modeli verisi.....	179
6.3.3.1. Eminönü tür tercihi modelinde, toplu taşıma yolculuklarının maliyet ve sürelerinin hesaplanması.....	180
6.3.3.2. Eminönü tür tercihi modelinde, özel otomobil yolculuklarının maliyet ve sürelerinin hesaplanması.....	185
6.3.3.3. Tür tercihi modelinin verisinin oluşturulması.....	187
6.3.4. Fayda fonksiyonlarının belirlenmesi.....	188
6.3.4.1. Zaman değerinin hesaplanması.....	192
6.4. Maliyet Hesaplamaları ve Sonuçlar.....	192
6.4.1. Yolculuk süresi maliyetlerinin hesaplanması.....	192
6.4.2. Emisyon maliyetlerinin hesaplanması.....	193
6.4.3. Mevcut durumdaki maliyetlerin hesaplanması.....	195
6.4.3.1. Mevcut durumdaki ortalama maliyetler.....	195
6.4.3.2. Mevcut durumdaki toplam maliyetler.....	197
6.4.4. Ortalama ve marjinal maliyet bağıntılarının elde edilmesi.....	198
6.5. Talep İlişkisinin Elde Edilmesi.....	199
6.6. Optimum Fiyatın Değerinin Belirlenmesi.....	200
6.7. Fiyatlandırma Sonucunda Oluşan Kazanç ve Kayıplar.....	201
6.8. Çeşitli Duyarlılık Analizleri.....	208
6.8.1. Fiyat-gelir-kullanıcı sayısı ilişkileri.....	208
6.8.2. Zaman değeri-optimum fiyat ilişkisi.....	212
7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	215
KAYNAKLAR.....	219
EKLER.....	229
ÖZGEÇMİŞ.....	241

KISALTMALAR

GPS	: Global Positioning System
GSM	: Global System for Mobile Communications
GSYİH	: Gayri Safi Yurt İçi Hasıla
IPCC	: Intergovernmental Panel on Climate Change
İBB	: İstanbul Büyükşehir Belediyesi
İETT	: İstanbul Elektrik Tramvay ve Tünel İşletmeleri
IMF	: International Monetary Fund
İMP	: İstanbul Metropolitan Planlama ve Kentsel Tasarım Merkezi
KGM	: Karayolları Genel Müdürlüğü
KGS	: Kartlı Geçiş Sistemi
LPG	: Liquefied Petroleum Gas
OGS	: Otomatik Geçiş Sistemi
SGP	: Satın Alma Gücü Paritesi
TCMB	: Türkiye Cumhuriyet Merkez Bankası
TÜİK	: Türkiye İstatistik Kurumu
VTPI	: Victoria Transport Policy Institute

ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 1.1 : Amerika Birleşik Devletleri'nde trafik tıkanıklığına sebep olan faktörler ve ortaya çıkma yüzdeleri (2005) [2].....	2
Çizelge 2.1 : Amerika Birleşik Devletleri'nde standart bir araç için sahip olma ve işletme maliyetleri (2000) [12].....	9
Çizelge 3.1 : Tahsilât yöntemlerinin sınıflandırılması	28
Çizelge 4.1 : U ve T yollarının kullanıcı optimumundaki durumu.....	69
Çizelge 4.2 : U ve T yollarının sosyal optimumundaki durumu.....	69
Çizelge 5.1 : Fayda fonksiyonu için aktivite alternatifleri [99].....	108
Çizelge 6.1 : Ana arter özelliğinde yolların tipleri.....	157
Çizelge 6.2 : 2002 ABD Doları cinsinden birim emisyon maliyetleri [120].....	160
Çizelge 6.3 : Birim emisyon maliyetlerinin Türkiye'ye uyarlanmış değerleri (2002).....	160
Çizelge 6.4 : 2006 YTL cinsinden birim emisyon maliyetleri.....	161
Çizelge 6.5 : Gram/kilogram yakıt cinsinden emisyon faktörleri [124].....	161
Çizelge 6.6 : Gram/litre yakıt cinsinden emisyon faktörleri.....	162
Çizelge 6.7 : TL/litre yakıt cinsinden emisyon maliyetleri.....	162
Çizelge 6.8 : Bulundukları yakaya göre ilçelerin kod numaraları.....	163
Çizelge 6.9 : A, B, C türü yolculukların ayrıntılı güzergâh uzunlukları (km) ve hacim/kapasite oranları.....	167
Çizelge 6.10 : A, B, C türü yolculukların yolculuk süreleri (sn/km).....	168
Çizelge 6.11 : Eminönü bölgesi yol ağının transit geçişte kullanıldığı yolculuklar.....	169
Çizelge 6.12 : İlçelere göre, başlangıç veya son noktası Eminönü olan yolculuklar.....	170
Çizelge 6.13 : Yolculuk türlerine göre dağılım katsayıları (δ).....	171
Çizelge 6.14 : Güzergâh kesimi tiplerine göre dağılım katsayıları (λ).....	171
Çizelge 6.15 : D.3 ve D.4 numaralı soruya cevap veren bireylerden, yolculuklarının son noktası Eminönü olanların cevaplarının dağılımı.....	178
Çizelge 6.16 : Biniş sayısına göre toplu taşıma bilet maliyeti [133].....	180
Çizelge 6.17 : İstanbul'da otobüslerin bölgelere göre ortalama seyir hızları [134].....	181
Çizelge 6.18 : Toplu taşıma hesabı yapılan ilçelerin bölgeleri [134].....	182
Çizelge 6.19 : Üsküdar ve Kadıköy'den Eminönü'ne, vapur seferleri hesapları [133].....	182
Çizelge 6.20 : SEÇENEK 1'e ait ayrıntılar.....	184
Çizelge 6.21 : SEÇENEK 2'ye ait ayrıntılar.....	184
Çizelge 6.22 : Eminönü bölgesine toplu taşıma ile yapılan yolculuklara ait ayrıntılar.....	185

Çizelge 6.23 : A, B, C türü yolculukların kilometre başına yakıt tüketimi maliyetleri.....	186
Çizelge 6.24 : Fiyat aralıklarına göre, üretilen veri adedi.....	188
Çizelge 6.25 : Tür tercihi modeli tahmin sonuçları.....	189
Çizelge 6.26 : A, B, C türü yolculukların kilometre başına ve gerçek yolculuk süresi maliyetleri.....	193
Çizelge 6.27 : A, B, C türü yolculukların kilometre başına ve gerçek emisyon maliyetleri.....	194
Çizelge 6.28 : Güzergâh kesimlerine göre, kilometre başına maliyet bileşenlerinin ağırlıklı ortalamaları.....	196
Çizelge 6.29 : Güzergâh kesimlerine göre, gerçek maliyet bileşenlerinin ağırlıklı ortalamaları.....	196
Çizelge 6.30 : Yolculuk türü ve güzergâh kesimi dağılım katsayılarının kullanılması.....	196
Çizelge 6.31 : A, B, C türü yolculukların mevcut durumda toplam yolculuk maliyetleri.....	197
Çizelge 6.32 : Talep ilişkisi hesaplamaları.....	200
Çizelge 6.33 : Farklı fiyatlar için kullanıcı sayısı ve gelir.....	206
Çizelge 6.34 : Farklı fiyatlar için çeşitli ekonomik büyüklükler.....	206
Çizelge 6.35 : Çizelge 6.34’de verilen ekonomik büyüklüklerin kişi başına değerleri.....	207
Çizelge 6.36 : Kullanıcı sayısındaki hedef azalmaları sağlayacak fiyatlar.....	211
Çizelge 6.37 : Farklı zaman değerleri için optimum fiyatlar.....	213
Çizelge A.1 : Lojit model verisi.....	230
Çizelge A.2 : Çizelge A.1’de yer alan kolon başlıklarının açıklamaları.....	239

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 1.1 : Trafik tıkanıklığının oluşma mekanizması [2].....	3
Şekil 3.1 : Londra kent merkezinde tıkanıklık fiyatlandırması uygulanan bölge [22].....	21
Şekil 3.2a : Uygulama saatleri, fiyat ve ilgili alana kalan mesafeyi gösteren bir tabela örneği [22].....	22
Şekil 3.2b : Fiyatlandırma alanına yaklaşmakta sürücüler için konulan bir bilgilendirme tabelası örneği [22].....	23
Şekil 3.2c : Sürücüler, fiyatlandırma alanını terk etmekte oldukları konusunda bilgilendiren bir tabela örneği [22].....	23
Şekil 3.3 : Stockholm tıkanıklık fiyatlandırmasının uygulama alanı [24].....	24
Şekil 3.4a : Stockholm fiyatlandırma uygulamasının saatleri ve fiyatları konusunda bilgi veren sabit tabelalara bir örnek [24].....	25
Şekil 3.4b : Stockholm fiyatlandırma uygulamasında fiyatları konusunda bilgi veren değişken elektronik tabelalara bir örnek [24].....	26
Şekil 3.5 : Elektronik olmayan operatörlü tahsilât gişesi örneği (Türkiye) [30].	29
Şekil 3.6 : Çok düşük frekansların kullanıldığı uygulamalara ait bir gösterim [32].....	31
Şekil 3.7 : Boğaziçi Köprüsü'nde OGS gişeleri [33].....	33
Şekil 3.8 : Singapur'daki elektronik tahsilât uygulamasında yol üstü antenleri [34].....	33
Şekil 3.9 : Ortadaki iki şeridi, yüksek doluluk şeritleri olan bir uygulama (Dallas) [39].....	38
Şekil 3.10 : Ağır taşıtlar için bir tahsisli şerit uygulaması (Los Angeles) [39]....	39
Şekil 4.1 : (a) Hız-yoğunluk, (b) Hız-akım ve (c) Akım-yoğunluk grafikleri [60].....	56
Şekil 4.2 : Zaman-akım grafiği [66].....	58
Şekil 4.3 : Maliyet-akım grafiği üzerinde marjinal ve ortalama maliyet eğrileri [66].....	59
Şekil 4.4 : Maliyet-akım grafiğinde talep ve arz eğrileri [66].....	59
Şekil 4.5 : Talep ve ortalama maliyet ile marjinal maliyet eğrileri [14].....	60
Şekil 4.6 : Talep eğrisi ve arz eğrilerinin basitleştirilmiş gösterimi [14].....	62
Şekil 4.7 : B ve S noktalarını birbirine bağlayan U ve T yolları [83].....	67
Şekil 5.1 : B ve S noktaları arasındaki şişe boynu kesiti [88].....	80
Şekil 5.2 : Şişe boynu analizinin grafik gösterimi [89].....	83
Şekil 5.3 : B-S noktaları arasındaki yol [94].....	92
Şekil 5.4 : (a) Hız-yoğunluk ve (b) Hız-takip mesafesi grafikleri [68].....	96
Şekil 5.5 : Verhoef modelinde kullanılan yol ağı [68].....	98
Şekil 5.6 : Klasik stokastik şişe boynu modelinde kullanılan ulaşım ağı [97]...	101
Şekil 5.7 : Geliştirilmiş klasik stokastik şişe boynu modelinde kullanılan ulaşım ağı [97].....	103

Şekil 5.8	: (a) Hız-yoğunluk, (b) Hız-akım ve (c) Akım-yoğunluk eğrileri üzerinde tıkanık ve hipertıkanık akım [102].....	124
Şekil 5.9	: Maliyet-akım eğrisi üzerinde, farklı talep durumlarına göre tıkanık ve hipertıkanık akım [103].....	125
Şekil 5.10	: Özel otomobil-toplu taşıma tercih modelinde kullanılan ulaştırma ağı [108].....	145
Şekil 6.1	: Eminönü bölgesinin haritası [110].....	152
Şekil 6.2	: Optimum fiyat hesabının akış şeması.....	154
Şekil 6.3	: Eminönü bölgesine ulaşımında yolculuk türleri.....	164
Şekil 6.4	: İlçe merkezleri ve Eminönü'ne ulaşım güzergâhları [125].....	164
Şekil 6.5	: Beyoğlu ve Eminönü'nün, analiz için seçilen merkezleri [125].....	165
Şekil 6.6	: Beyoğlu ile Eminönü arası için seçilen ulaşım güzergâhı [125].....	165
Şekil 6.7	: İMP Hane Halkı Anketi'nde fiyatlandırma ile ilgili sorular [132]....	177
Şekil 6.8	: Optimum fiyat hesabında kullanılan ortalama maliyet, marjinal maliyet ve talep eğrileri.....	201
Şekil 6.9	: Fiyatlandırma ile ortaya çıkan ekonomik kayıp ve kazançlar [14]...	202
Şekil 6.10	: Tüketici fazlasının grafik gösterimi [7].....	203
Şekil 6.11	: Elde edilen gelirlerin kilometre başına fiyatlara göre değişimi.....	208
Şekil 6.12	: Elde edilen gelirlerin sabit fiyatlara göre değişimi.....	209
Şekil 6.13	: Kilometre başına fiyat-kullanıcı sayısı ilişkisinin grafik gösterimi...	210
Şekil 6.14	: Sabit fiyat-kullanıcı sayısı ilişkisinin grafik gösterimi.....	210
Şekil 6.15	: Kullanıcı sayısı-gelir ilişkisinin grafik gösterimi.....	211
Şekil 6.16	: Kullanıcı sayısında azalma (%)-sabit fiyat ilişkisinin grafik gösterimi.....	212
Şekil 6.17	: Zaman değeri-optimum fiyat ilişkisinin grafik gösterimi.....	213

SEMBOL LİSTESİ

N	: Adet
N^*, N^{**}, N^{***}	: Kritik toplam kullanıcı sayıları
m	: Birim başına maliyet (Ortalama maliyet)
$m(t)$	: Çeşitli bileşenlerden oluşan, kullanıcı başına toplam yolculuk maliyeti
m_a	: Bir a bağlantısındaki yolculuk maliyeti
m_k^{bs}	: Bir b-s başlangıç son çiftini birbirine bağlayan k güzergâhındaki yolculuk maliyeti
M_0	: Yolculuğun toplam sabit maliyetleri
OM	: Ortalama maliyet
MM	: Marjinal maliyet
M	: Toplam maliyet
q	: Trafik akımı (hacim)
q_a	: Bir a bağlantısındaki trafik akımı
q_k^{bs}	: Bir b-s başlangıç son çiftini birbirine bağlayan k güzergâhındaki trafik akımı
q^*	: Optimum akım
Q	: Bir ulaşım ağındaki toplam trafik akımı
v	: Akım hızı
v_s	: Serbest akım hızı
k	: Yoğunluk
U	: Fayda fonksiyonu
U_i	: Bir i türüne ait fayda fonksiyonu
V_i	: Fayda fonksiyonunun belirli bileşeni
ε_i	: Fayda fonksiyonunun rastgele bileşeni
p_i, P_i	: Bir bireyin yolculuğunda bir i türünü kullanma olasılığı
t	: Yolculuk süresi
t_a	: a bağlantısındaki yolculuk süresi
t_k^{bs}	: b-s başlangıç son çiftini birbirine bağlayan k güzergâhındaki yolculuk süresi
t^*	: Yolculuğun son noktasına arzu edilen varış zamanı
α	: Zaman değeri
O_i	: i alt alanından başlayan yolculukların sayısı
D_j	: j alt alanında sonlanan yolculukların sayısı
$f(c_{ij})$	: Ulaşım maliyeti direnç fonksiyonu
τ	: Yolu kullanma karşılığında tahsil edilen fiyat
τ_a	: a bağlantısından tahsil edilen fiyat
$\tau(t)$	: t anında tahsil edilen fiyat
s	: Şişe boynu kapasitesi
β	: Yolculuğun son noktasına erken varmanın birim maliyeti
γ	: Yolculuğun son noktasına geç varmanın birim maliyeti
$r(t)$	: Herhangi bir t anında yolculuğa başlama miktarı
$k(t)$	: Herhangi bir t anında şişe boynu kesiti girişindeki kuyruk boyu
y	: İterasyon veya aşama sayısı

L	: Yolculuk uzunluğu
w(t)	: Şok dalgasının hızı
E[q(t)]	: Dışsal maliyetleri temsil eden terim
h	: Uzunluk cinsinden araçların takip mesafesi
a	: İvme
x	: Herhangi bir anda yolun başlangıcına olan mesafe (konum)
g(t)	: Herhangi bir anda yolculuğun son noktasına varış miktarı
TA	: Talep
OM	: Ortalama maliyet
MM	: Marjinal maliyet
d_a^{bs}	: b-s noktaları arasındaki a bağlantısının trafik talebi
f	: Toplu taşıma bilet fiyatı
c(N)	: Toplu taşıma için yolcu sayısına bağlı rahatsızlık fonksiyonu
Q/C	: Hacim/kapasite oranı
NO_x	: Azotoksitler
SO₂	: Sülfürdioksit
SO_x	: Sülfüroksitler
VOC	: Uçucu Organik Bileşenler
CO	: Karbonmonoksit
CO₂	: Karbondioksit
Pb	: Kurşun
PM₁₀	: Çapı 10 µm değerinden küçük olan parçacık maddeler
HC	: Hidrokarbon
O₃	: Ozon
PA	: Yol kenarında park eden araçların bulunması durumunda 1, aksi durumda 0 değerini alan parametre
TC	: Yol kenarı arazi kullanımı yoğun veya az yoğun ticaret olması durumunda 1, diğer arazi kullanımı durumlarında 0 değerini alan parametre
δ_A, δ_B, δ_C	: Yolculuk türüne göre dağılım katsayıları
λ_i	: i = 0-0, 0-1, 1-0, 1-1 ve otoyol olmak üzere, güzergah kesimi tipine göre dağılım katsayıları
AO	: Ağırlıklı ortalama
f	: Yakıt tüketimi oranı
P_y	: Birim yakıt fiyatı
P_e	: Birim emisyon fiyatı
L(β)	: Olabilirlik fonksiyonu
LL(β)	: Log-olabilirlik fonksiyonu
-2LL	: -2 log-olabilirlik istatistiği
ρ²	: Yapay R ² değeri
χ²	: Ki-kare istatistiği değeri
NSK	: Net sosyal kazanç
NK	: Net kayıp
TMK	: Tıkanıklık maliyeti kazancı
TFK	: Tüketici fazlası kaybı

TRAFİK TIKANIKLIĞI YÖNETİMİ OLARAK FİYATLANDIRMA VE İSTANBUL-EMİNÖNÜ İÇİN BİR UYGULAMA

ÖZET

Trafik tıkanıklığı modern kent yaşantısının önemli sorunlarından biridir. Pek çok büyük kentte yapılan, yüksek maliyetli ulaşırma yatırımları trafik tıkanıklığı sorunun ortadan kaldırılmasını amaçlamaktadır. Trafik tıkanıklığı sorunun çözümünde büyük yatırımlar ve inşaatlar kadar etkili olan bir başka yöntem ulaşım talebinin sınırlandırılmasına yönelik uygulamalardır. Bu uygulamaları parasal olmayan ve parasal olarak iki grupta incelemek mümkündür. Parasal uygulamalar, altyapı veya ulaşırma sistemlerinin kullanımı ile ilgili ücret ve vergilerin düzenlenmesine yönelik stratejileri kapsamaktadır. Parasal olmayan uygulamalar ise, bireyleri ilave bir maddi yükümlölük altına sokmadan, özel otomobillerini daha az kullanmalarını veya hiç kullanmamalarını sağlamaya yönelik stratejilerdir. Bu çalışmanın konusu olan tıkanıklık fiyatlandırması parasal stratejilerin en önemlilerinden biridir. Tıkanıklık fiyatlandırması, özel otomobilleri ile yolculuk yapan bireylerin belli bir yolu kullanmaları veya araçları ile belirli bir bölgeye girmeleri karşılığında; sabit veya değışken bir fiyatı ödemek zorunda bırakılmaları uygulamasıdır. Değişken fiyat tahsil edilmesi durumunda fiyat tutarı, kat edilen mesafe veya yolun tıkanıklık durumu gibi faktörlere bağılı olarak belirlenmektedir.

Trafik tıkanıklığı yaşanan bir yolu kullanmaya başlayan sürücüler, yalnızca kendi yüklendikleri maliyetleri dikkate alıyor olsalar da gerçekte, o anda yolu kullanmakta olan diğerk kullanıcılar ve çevrede yaşayanlar üzerine de ilave bir maddi yük getireceklerdir. Trafik akımına son katılan araç; tüm sistemde yolculuk süresinin uzamasının yanında seyir hızlarının düşmesine paralel olarak yakıt tüketimi ve zararlı madde emisyonlarında da artış olmasına neden olacaktır. Böylece zaman maliyeti, yakıt tüketimi maliyeti ve emisyon maliyetleri artacaktır. Maliyetler üzerinde herhangi bir müdahale olmaksızın, bireylerin doğal tercihleri ile ulaşılabilen denge durumunda dışsal etkiler mevcut olmasına rağmen hiçbir birey yarattığı etkinin bedelini ödememektedir. Bireylerin yarattıkları etkinin bedelini ödemeleri, diğerk bir deyişle, dışsal etkilerin içselleştirilebilmesi amacıyla sıkça kullanılan yöntem marjinal maliyet fiyatlandırmasıdır. Marjinal maliyet fiyatlandırmasında, optimum fiyat olarak adlandırılan tutar, her bireyin diğerk bireyler üzerine yüklediği dışsal maliyet tutarında olmaktadır.

Tıkanıklık fiyatlandırması ile ilgili analizlerin temelinde ulaşırma ekonomisi prensipleri yer almaktadır. Uygulamanın modellenmesi için çok sayıda yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntemler zamandan bağımsız statik ve zamana bağılı dinamik modeller olmak üzere iki grupta toplanabilmektedir. Zamandan bağımsız statik modeller, incelenen yol veya bölgede, trafik değışkenlerinde zaman içinde yaşanan değışiklikleri değerkendirmeye almaksızın, sabit bir hız-akım-yoğunluk ilişkisi için

hesap yapılan modellerdir. Zamana bağılı dinamik modeller ise, trafikte bir gün içinde yaşanan değişiklikleri de dikkate alan yöntemlerdir. Bu modeller çoğunlukla, temelleri Vickrey tarafından atılmış olan şişe boynu analizinden türetilirler. Dinamik modeller, bireylerin yolculuğa başlangıç zamanı ve yolculuk güzergâhı ile ilgili tercihlerinin, beraber veya ayrı ayrı analiz edildiği modellerdir.

Bu çalışmada, tıkanıklık fiyatlandırmasının İstanbul kenti için uygulanabilirliğinin araştırılması amacıyla, kentte bir pilot bölge seçilerek o bölge için çeşitli hesaplamalar yapılmıştır. İstanbul kenti ilçe bazında değerlendirildiğinde, ilçelerin hemen hemen tamamı gerek yol ağı, gerek sınırları ve gerekse coğrafi özellikleri bakımında, bir fiyatlandırma uygulamasına uygun değildir. Bu değerlendirmede Eminönü bölgesi, üç tarafının denizlerle çevrili olması, küçük yüzölçümüne bağılı olarak görece dar yol ağı ve son derece iyi tanımlanmış sınırları ile ayrı bir noktadadır. Bölgenin barındırdığı tarihi ve kültürel yapıların önemli bir ulaşım talebine yol açması ile bölge bir model uygulama yanında, gerçek bir uygulama için de uygun koşullardadır.

Eminönü bölgesi için yapılan çalışmada esas olarak optimum fiyatın hesabı yapılmıştır. Optimum fiyatın, sosyal optimumunu sağlayan bir fiyat olması, bu özelliği ile sosyal adaleti de sağlıyor özellikte olması, bu çalışmayı son derece önemli kılmaktadır. Çalışmada fiyat tutarlarına yönelik çalışmalar yalnızca optimum fiyatın araştırılması ile sınırlı tutulmamış, karar vericilerin çeşitli gerekçelerle optimum fiyattan fazla veya az bir fiyat belirlemeleri durumunda nasıl sonuçlar elde edilebileceği üzerinde de durulmuştur.

Optimum fiyat araştırmasında zamana bağılı statik modellere ait prensiplerden hareketle, sabit kabul edilen talep ve arz arasındaki denge koşullarının araştırılması amacıyla; Eminönü bölgesi ulaşım ağı için ortalama ve marjinal maliyet eğrileri ile talep eğrisi elde edilmiştir. Maliyet eğrileri, ilk olarak 1961 yılında A. A. Walters tarafından ortaya atılan yaklaşım paralelinde, trafik akımının türetilmiş değişkenleri arasındaki ilişkiye bağılı olarak elde edilmiştir. Talep eğrisinin elde edilmesi için ise toplu taşıma ile özel otomobil arasında bir tür tercihi modeli oluşturulmuş ve ilgili ilişki bu modelden elde edilmiştir. Optimum fiyat tutarının, tanımı gereği, marjinal maliyet ile talep eğrisinin kesiştiği noktadaki kullanıcı sayısını temin eden fiyat tutarı olması bilgisinden hareketle ilgili fiyat elde edilmiştir.

Eminönü bölgesi ile ilgili çalışmanın bir sonraki aşaması, optimum fiyatın tahsil edilmesi durumunda ekonomik büyüklüklerin aldığı değerlerin hesaplanması olmuştur. Bu hesaplamada, yalnızca uygulama ile elde edilmesi beklenen gelirlerin hesabı yapılmamış, zaman kazancının ekonomik değeri, net kayıp, net kazanç gibi büyüklükler de hesaplanmıştır.

Eminönü bölgesi için modellenen pilot çalışma, İstanbul kentinin tamamı için de son derece yararlı veriler ortaya koymuştur. Öncelikle, fiyatlandırma uygulaması ile özel otomobil kullanıcılarının sayısında ciddi bir azalma sağlanabileceği açıktır. Bu ciddi azalma ile beraber, özel otomobillerini kullanmaya devam eden kullanıcılar, önemli bir gelir elde edilmesini sağlamaktadırlar. Uygulamanın sürdürülebilirliğinin sağlanması ve bireyler arasında kabul edilebilirliğinin artırılması açısından kritik nokta, elde edilen gelirlerin yine sisteme döndürülerek bölgenin toplu taşıma sisteminin geliştirilmesi ve iyileştirilmesinde kullanılmasıdır. Bu sayede, daha fazla sayıda kullanıcının özel otomobillerini kullanmaktan vazgeçmesi de söz konusu

olabilecektir. Öte yandan, İstanbul'un diğer bölgelerinin durumu incelendiğinde, daha önce de değinilen güçlükler aşılması gereken önemli bir sorundur. Bu sorunun kapsamlı ve iyi planlanmış bir uygulama ile çözülmesi mümkündür.

PRICING AS A CONGESTION MANAGEMENT TOOL AND AN APPLICATION FOR ISTANBUL-EMINONU

SUMMARY

Congestion is one of the major problems of modern city life. Ongoing expensive investments on transportation infrastructure around the world aim to create solutions to this problem. Congestion problem arises with the increase in demand for travelling with private vehicles. Regulating or restricting this demand by using travel demand management strategies can act as effective as infrastructure investments. Travel demand management strategies are classified in two main groups: Fiscal and non-fiscal strategies. Fiscal strategies are implemented to regulate the demand by arranging taxes or tariffs collected for the usage of the transportation infrastructure or facilities. Non-fiscal strategies are applied to regulate the demand for private vehicle usage without imposing any financial measures on individuals. Congestion pricing is one of the most important fiscal strategies. By definition, congestion pricing is collecting fixed or variable amount of tolls from private vehicle users due to the usage of a road or a road network. For variable toll implementations the amount can be determined according to distance covered or congestion level of the facility.

Any driver considering entering a congested road will base his/her decision solely on the perceived costs he/she is going to bear. However, entering an already congested road will impose external costs on other drivers currently on the road as well. The last vehicle entering an already congested road will increase not only the travel times but also the fuel consumption and emission amounts of all other vehicles accordingly. In the case when the demand is distributed over the road network naturally (without any intervention), although abovementioned costs already exist, none of the users are paying the price of creating them. In order to make the users pay the price of the external costs they create, marginal cost pricing is implemented. In the first-best case the toll is set equal to the external costs that users create.

The concept of congestion pricing is based on the principles of transportation economics. In general, there are two methods for modelling congestion pricing: Time-independent static models and time-dependent dynamic models. Time-independent static models deliberately ignore the hourly changes in the traffic parameters and assume unchanging relationship between these parameters throughout the analysis. On the contrary, time-dependent dynamic models include the time dimension to the analysis and model the implementation with regard to departure time in addition to route choice. The basis of dynamic models is the bottleneck model, originally developed by Nobel Prize winner researcher William Vickrey.

The aim of this study is to analyse the applicability of congestion pricing in Istanbul. As a part of this analysis, a congestion pricing model is constructed for the Eminonu

district. Considering the districts of Istanbul as a whole; road network, borders and geographic conditions of almost all of the districts are too complicated to model and implement a congestion pricing scheme. Among all districts Eminonu has unique properties. First of all, the district which is a peninsula (The district is known as the historic peninsula) has clearly defined borders for access control. Moreover, due to the small surface area of Eminonu, the road network is relatively small and less complicated. However, as the host of many historic and recreational areas, the demand for the usage of the district's road network is very high and severe congestion is routinely experienced.

The focal point of the modelling studies for Eminonu is the calculation of optimum price. In this study, the calculation of optimum price is based on the static models of congestion pricing. In order to explore the equilibrium conditions, average cost, marginal cost and demand curves representing the district as a whole are obtained. Provided that optimum price secures social optimum (therefore social equity), this calculation is very meaningful. Practically marginal cost pricing is difficult to implement and often ignored or not preferred by decision makers. Thus, an evaluation of other pricing regimes different than optimum price is also included in the study. Furthermore, the gains, losses and related measurable economic quantities for the individuals are also calculated.

The average and marginal cost curves are obtained according to the relationship between basic variables of traffic flow which is a notion first introduced by A. A. Walters in 1961. The estimation of the demand curve required a binary mode-choice model for public transport and private vehicle trips to Eminonu. The mode choice model is also utilized in calculating the value of time of target individuals.

The modelling study for Eminonu, provides valuable information about the applicability of the implementation to Istanbul. Most obvious result is, when a congestion pricing scheme is introduced, significant amount of individuals will travel without their private vehicles. On the other hand, considerable amount of money will be collected from the individuals that continue to travel with their private vehicles. In order to secure sustainability and acceptability of the scheme, the revenue collected from these individuals must be returned to the system to improve the condition of the users who are worse-off by congestion pricing. This will not only help those users but also increase the probability of more private vehicle abandonment. It is clear that, although most of the districts of Istanbul have substantial problems for introducing a scheme, a well planned implementation always has the potential to overcome any barrier.

1. GİRİŞ

Dünya tarihi boyunca, kentlerin gelişim süreci ile ulaştırma talebi paralellik göstermiştir. Özellikle endüstri ve teknolojide kaydedilen gelişmeler sonucunda sosyal yaşamda da değişiklikler yaşanması ile beraber, ulaştırma ve haberleşme kentselden küresele kadar her boyutta önem kazanmıştır. Kırsal alandan kentlere göç ile artan kent nüfusları ve kent yaşantısının gerekleri, bireyleri ulaşım altyapısına daha fazla bağımlı hale getirmiştir. Ayrıca, kentlerde yaşanan ekonomik büyüme ile beraber ulaştırma talebi, altyapı kapasitelerini aşacak boyutlara ulaşmış ve çeşitli negatif dışsallıkların ortaya çıkmasına yol açmıştır [1].

Genellikle düşük seyir hızları, uzun yolculuk süreleri ve araç kuyrukları ile karakterize edilen trafik tıkanıklığı modern kent yaşantısının en önemli sorunlarından biridir. Trafik tıkanıklığını, yol kapasitesinin trafik talebini karşılamadığı durum olarak tanımlamak mümkündür.

Trafik tıkanıklıklarının sebepleri çeşitlidir. Gelişmekte olan ülkelerde, hızlı nüfus artışı, kentlerin plansız olarak büyümesi, altyapı yetersizliği ve toplu taşıma hizmetlerindeki yetersizlik ana sebepler olurken; gelişmiş ülkelerde en önemli faktörün özel otomobil kullanımının önlenemez artışı olduğu görülmektedir.

Trafik tıkanıklıklarının, yol ve trafik koşullarına bağlı olan sebeplerini üç başlıkta toplamak mümkündür. Birinci grubu trafiği etkileyen çeşitli olaylar oluşturmaktadır. Trafik kazaları, araçların bozulması, uygunsuz yol içi park etmeler, çeşitli malzemelerin yola dökülmesi vb. trafik olayları, yollarda fiziksel engeller oluşturarak trafiğin normal akışını etkilemek suretiyle trafiğin tıkanmasına sebep olabilmektedir. Yollarda bir veya daha fazla şeridin geçici olarak kapatılmasına sebep olarak yolun fiziksel koşullarının değişmesine yol açan çeşitli yol çalışmalarının da benzeri etkileri vardır. Bunların yanı sıra hava koşulları da trafiği etkileyen olaylardan biridir. Özellikle olumsuz hava koşulları, sürücü davranışlarını ve dolayısıyla trafik akımını olumsuz yönde etkileyebilmektedir [2].

Trafik tıkanıklığına sebep olan yol ve trafik koşullarında ikinci grup trafik talebi ile ilgili unsurları içermektedir. Bireylerin otomobillerini kullanmaları ile trafik talebinde beklenmedik bir artışa yol açan özel durumlar (Konser, spor karşılaşması gibi etkinlikler vb.) trafik tıkanıklığına yol açabilmektedir [2].

Trafik tıkanıklığına sebep olan faktörlerin üçüncü grubu yollara ait fiziksel koşullardır. Yolların kapasitesi ve kapasiteyi etkileyen çeşitli faktörler (Şerit genişliği ve sayısı, enine ve boyuna eğimler, yolun yatay geometrisi vb.) trafik tıkanıklığının düzeyini etkilemektedir. Öte yandan, trafik kontrol elemanlarının durumu da trafik tıkanıklıkları yaşanmasına sebep olan bir başka faktördür. Uygun düzenlenmemiş trafik sinyalizasyon sistemleri vb. elemanlar trafiğin kesintili olarak akmasına ve araç kuyrukları oluşmasına yol açmaktadır [2].

Çizelge 1.1’de 2005 yılı itibariyle Amerika Birleşik Devletleri için trafik tıkanıklığının başlıca sebepleri, ortaya çıkma yüzdeleri ile beraber verilmiştir.

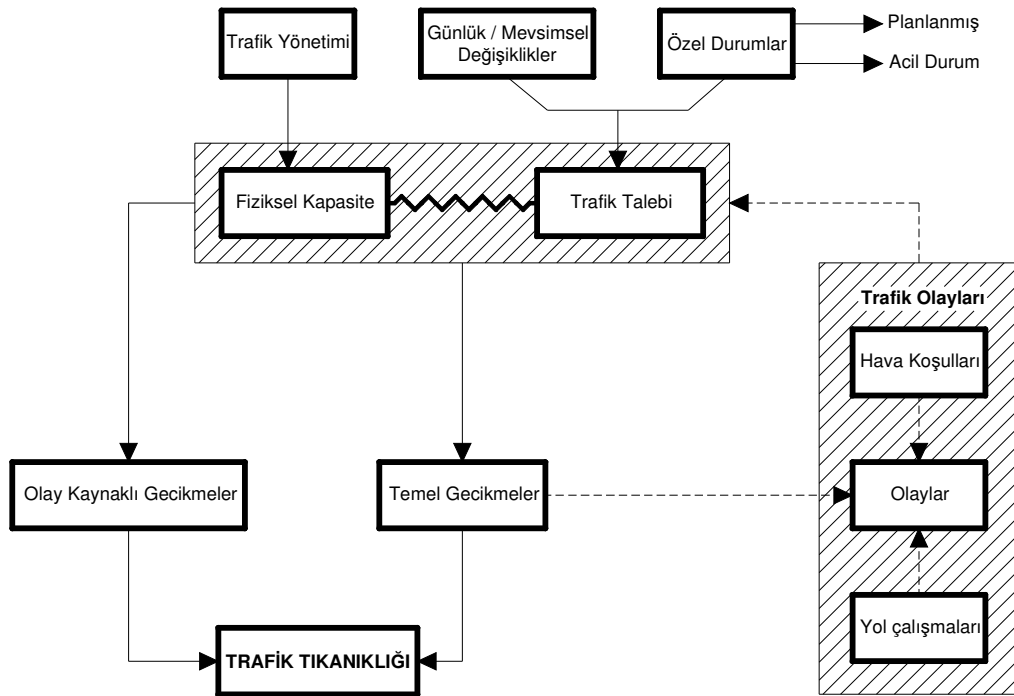
Çizelge 1.1 : Amerika Birleşik Devletleri’nde trafik tıkanıklığına sebep olan faktörler ve ortaya çıkma yüzdeleri (2005) [2].

Trafik Tıkanıklığına Sebep Olan Faktörler	Tüm Faktörler İçindeki Yüzdesi
Şişe boynu kesimleri	%40
Çeşitli trafik olayları	%25
Kötü hava koşulları	%15
Çeşitli yol çalışmaları	%10
Uygun olmayan trafik sinyalizasyon düzeni	%5
Diğer	%5
TOPLAM	%100

Trafik tıkanıklığının ortaya çıkış mekanizması son derece karmaşıktır. Bu mekanizmanın başlıca unsurları, hiç şüphesiz, yolun fiziksel kapasitesi ve trafik talebi arasındaki ilişkidir. Bunlar yanında, kapasiteye veya trafik talebine etki eden diğer faktörler de söz konusudur. Şekil 1.1’de trafik tıkanıklığının ortaya çıkış mekanizması şematik olarak verilmiştir [2].

Şekil 1.1 trafik tıkanıklığının karmaşık mekanizmasını ortaya koymaktadır. Trafik tıkanıklığının temel sebebi olan fiziksel kapasite ile trafik talebi arasındaki ilişkiye etki eden çeşitli faktörler bulunmaktadır. Fiziksel kapasite çeşitli trafik yönetimi uygulamalarına bağlı olarak sınırlanmakta iken, trafik talebi gerek günlük veya mevsimsel değişiklikler ve gerekse çeşitli özel durumlar sebebiyle değişiklik

göstermektedir. Diğer taraftan, hem fiziksel kapasiteyi hem de trafik talebini etkileyen çeşitli trafik olayları bulunmaktadır. Bu trafik olaylarına çoğunlukla olumsuz hava koşulları veya yol çalışmaları sebep olmaktadır. Şekil 1.1’de görülebileceği gibi trafik tıkanıklığının mekanizmasında bir döngü mevcuttur. Fiziksel kapasite ile trafik talebi arasındaki ilişki sonucunda ortaya çıkan temel gecikmeler, trafik olayları oluşmasına yol açmakta; trafik olayları da hem fiziksel kapasiteyi hem de trafik talebini olumsuz yönde etkilemektedir. Sonuçta ortaya çıkan toplam trafik tıkanıklığı ise temel gecikmeler ile yine fiziksel kapasite trafik talebi ilişkisi sonucunda ortaya çıkan olay kaynaklı gecikmelerin bir sonucudur.



Şekil 1.1 : Trafik tıkanıklığının oluşma mekanizması [2].

Kentiçi bir yolda trafik, genellikle, sabah işe gidiş saatleri olan 08.00-09.00 arasında ve akşam işten dönüş saatleri olan 18.00-19.00 arasında yükselir ve maksimum değerlere ulaşır. Ayrıca öğlen saatlerinde 12.00-13.00 arasında da trafikte bir artış olması söz konusudur. Trafikte artışın yaşandığı bu zaman dilimleri zirve saat (pik saat) olarak adlandırılmaktadır [3]. Zirve saati oluşturan zaman diliminin aralığı ile başlangıç ve son saatleri kentten kente ve ülkeden ülkeye farklılık göstermektedir. İşte bu zirve saat zaman dilimleri trafik tıkanıklıklarının en çok yaşandığı zamanlardır.

Günümüzde trafik tıkanıklıkları yalnızca nüfusun yoğun olduğu büyük yerleşim birimlerinin sorunu olmaktan çıkmıştır. Amerika Birleşik Devletleri'nde, 1982 ile 2003 yılları arasında incelemeye tabi tutulan 85 kentte, nüfusu 500.000'den küçük olanlardan, 3.000.000'u aşanlara kadar hepsinde, her geçen yıl artan bir düzeyde ciddi trafik tıkanıklıkları yaşandığı görülmüştür. Diğer taraftan, motorlu taşıt ile yolculuk yapan bireylerin, trafik tıkanıklıklarından kaynaklanan gecikmelerden dolayı bir yıl boyunca kaybettikleri ortalama zaman; 1982 yılında yalnızca 16 saat iken, bu değerin 1993 yılında 40 saate, 2003 yılında ise 47 saate çıktığı tespit edilmiştir [2,4].

Trafik tıkanıklıkları bir ulaştırma mühendisliği konusu olması yanında; ekonomik kayıplar, zaman kaybı, çevreye olumsuz etkiler gibi sebeplerle de bireylerin yaşam kalitelerini olumsuz olarak etkileyen önemli bir sosyal sorundur. Trafik tıkanıklıkları gündelik yaşantı ile ilgili faaliyetlerden, çalışma hayatı ile ilgili faaliyetlere kadar pek çok aktiviteyi olumsuz olarak etkilemektedir.

Dünyada trafik tıkanıklığının izlediği seyir göz önüne alındığında; nüfus artışı ve ekonomik büyümenin körüklediği ulaşım talebinin, ulaştırma seçeneklerinin yetersizliği ve özel otomobil edinmenin kolay olması ile beraber özel araç kullanımında orantısız artışa yol açtığı görülmektedir. Örneğin, bugün Amerika Birleşik Devletleri'nin pek çok büyük kentinde en geçerli bireysel ulaşım aracı özel otomobillerdir. 1980 ile 2000 yılları arasında Amerika Birleşik Devletleri'nin nüfusu %24 oranında artarken, kayıtlı motorlu araç sayısında %46 oranında bir artış tespit edilmiştir [5]. 1970 ile 2005 yılları arasındaki 35 yıllık süreçte, Avrupa Birliği üyesi 25 ülkede ise otomobil sahipliğinin yaklaşık %61 oranında arttığı görülmektedir [6].

Ülkemizdeki durum büyük kentler açısından çok farklı değildir. Ülke bütününe bakıldığında, otomobil sahipliği oranının, 1000 kişiye düşen otomobil sayısı 80 olarak [5], düşük olmasının da etkisi ile küçük ve orta büyüklükteki kentlerde ciddi trafik tıkanıklıklarına rastlanmamaktadır. Buna karşılık, nüfusun yoğun olduğu başta İstanbul olmak üzere, Ankara, İzmir, Adana gibi büyük kentlerimizde trafik tıkanıklıkları, bu kentlerin en önemli sorunlarından biri haline gelmiştir. Bu sebeple Büyükşehir yerel yönetimlerinde ulaşım altyapısına yapılan yatırımlar öne çıkmış, bütçelerde büyük paylar bu yatırımlara ayrılmıştır. İstanbul, Ankara, İzmir gibi büyük kentlerin dışında da nüfusu bir milyona yaklaşan kentlerde bir yandan

karayolu altyapısı geliştirilmeye çalışılırken diğer yandan raylı sistemler devreye sokulmaktadır (Bursa, Konya, Kayseri, Eskişehir gibi).

Bu çalışmada, trafik tıkanıklığını azaltmaya yönelik uygulamalardan tıkanıklık fiyatlandırması konusu incelenmiştir. Londra, Stockholm gibi çeşitli kentlerdeki başarılı örnekleri ile gündemde olan bu uygulamanın, İstanbul gibi trafik tıkanıklığı sorunu ile boğuşan bir kent için de uygun olduğu düşünülmektedir. Çalışma kapsamında, tıkanıklık fiyatlandırmasının İstanbul'da uygulanabilirliğinin araştırılması amacıyla, kentin yoğun trafik çeken, önemli bölgelerinden Eminönü için bir tıkanıklık fiyatlandırılması modeli oluşturulmuştur. Bu bağlamda, geçmişten günümüze tıkanıklık fiyatlandırılması modelleri ve uygulamaları incelenmiş, Eminönü tıkanıklık fiyatlandırması modelinin temelini oluşturan ekonomik analiz yöntemi hakkında ayrıntılı bilgilere yer verilmiştir.

Eminönü bölgesi (Eski Eminönü ilçesi sınırları içinde kalan alan) için hazırlanan, esasları ileri bölümlerde ayrıntılı olarak açıklanacak olan tıkanıklık fiyatlandırması modelinde, motorlu taşıt kullanıcılarının Eminönü bölgesi sınırları ile ortaya çıkan bir kordon hattından geçişleri karşılığında bir ücret ödemeleri durumunda, bölge ulaşım ağının motorlu taşıtlarla kullanılması durumu mercek altına alınmıştır. Hesaplamalarda bireylerin yarattıkları marjinal dışsal maliyetler karşılığında ödedikleri optimum fiyatın yanı sıra farklı fiyat tutarları için de çeşitli değerlendirmeler yapılmıştır.

Eminönü tıkanıklık fiyatlandırması modeli, ekonomik analizde kullanılan talep eğrisinin elde edilmesinin yanı sıra çeşitli hesaplamalarda da faydalanılan bir tür tercihi modeli de içermektedir. Ayrıntılarının çalışmanın, hesaplama modelinin tanıtıldığı bölümünde sunulduğu Eminönü tür tercihi modeli, İstanbul Metropolitan Planlama ve Kentsel Tasarım Merkezi (İMP) tarafından gerçekleştirilen Hane Halkı Anketi kapsamında yer alan ve bireylere bir tıkanıklık fiyatlandırması uygulaması hayata geçirilmesi durumunda, ulaşım tercihleri ile ilgili eğilimlerinin sorulduğu bir grup soruya verilen cevaplardan faydalanılarak türetilmiştir.

Bu çalışmada Eminönü bölgesi için analizi yapılan tıkanıklık fiyatlandırması modeli, umut verici sonuçlar ortaya koymuş ve fiyatlandırmanın İstanbul kentinin trafik tıkanıklığı problemine karşı etkili olabilecek bir uygulama olduğu görülmüştür.

2. ULAŞTIRMADA TALEP YÖNETİMİ STRATEJİLERİ

Çok sayıda dünya kentinde altyapı iyileştirmeleri ve toplu taşımayı özendiren uygulamalara rağmen bireyleri özel otomobillerinden ayırmada başarı sağlanamamakta, bunun sonucu olarak da kentlerin merkez bölgelerindeki trafik tıkanıklıkları ve trafik tıkanıklıklarından kaynaklanan dışsal etkiler varlığını arttırarak sürdürmektedir. Bu durum, özel araç kullanımını kısıtlamayı amaçlayan çeşitli talep yönetimi stratejilerinin ortaya çıkmasına yol açmıştır. Ulaştırma talep yönetimi stratejileri, artan talep karşısında yetersiz kalan yol kapasitesinin etkin bir şekilde kullanılmasını sağlamak amacıyla başvurulan stratejilerin bütünüdür. Bu stratejiler, bireylerin yolculuk karakterini, ulaştırma talebini azaltarak veya yeniden düzenleyerek değiştirmeyi amaçlamaktadır. Talep yönetimi stratejilerinin başlıca amaçları aşağıda sıralanmıştır [7]:

- Trafik tıkanıklığının azaltılması
- Kentiçi bölgelerin ekonomik çekiciliğinin korunması ve arttırılması
- Trafiğin çevresel etkilerinin (Gürültü, hava kirliliği vb. gibi etkiler) azaltılması
- Trafik kazalarının azaltılması
- Toplu taşıma ve motorlu olmayan ulaşım türlerinin kullanımının arttırılması

Bu amaçlardan trafik tıkanıklığının azaltılması, tümü içerisinde, diğer amaçlara ulaşılmasına da hizmet ediyor olması özelliği ile en önemlisidir. Gerçekten de kentiçi yollarda yaşanan trafik tıkanıklığının azaltılması ile beraber, çeşitli çevresel etkilerin azaltılması, ekonomik etkinliğin sürdürülmesi ve arttırılması gibi diğer unsurların da gerçekleşebilmesi mümkün olabilecektir.

Talep yönetimi stratejilerinin hayata geçirilmesi ile bireylerin ulaşım tercihleri açısından yeni seçenekler ortaya çıkmaktadır. Bu seçenekler aşağıda verilmiştir [8]:

- Ulaşım tercihlerinde hiçbir değişikliğe gidilmemesi
- Yeni düzende ortaya çıkan avantajlara bağlı olarak daha fazla yolculuk yapılması
- Ulaşım tercihlerinde değişikliğe gitmeden maliyeti azaltıcı alternatifler bulunması (Motorlu araçların farklı bireyler tarafından ortak kullanımı vb.)

- Ulaşım hedef ve düzeyinde değişiklik yapmaksızın çeşitli ulaşım tercihlerinin değiştirilmesi (Yolculuk zamanının, türünün veya güzergâhının değiştirilmesi)
- Yolculuk sayısının azaltılması
- Mekânsal değişiklikler yapılması (İş veya ikamet yerinin değiştirilmesi, alışveriş mekânlarının değiştirilmesi vb.)

Talep yönetimi stratejileri ile erişilmek istenen, hiç şüphesiz, bireylerin amaçlanan hedeflere uygun düşen seçenekleri tercih etmeleridir. Bireylerin tercih yapmalarında gelir düzeyinin yanı sıra, alternatif türlerin varlığı gibi çeşitli dış etkenler de önemli rol oynamaktadır.

Ulaştırmada talep yönetimi stratejilerini parasal ve parasal olmayan stratejiler olmak üzere iki ana başlıkta toplamak mümkündür [9].

2.1. Parasal Talep Yönetimi Stratejileri

Parasal talep yönetimi stratejileri, altyapı veya ulaştırma sistemlerinin kullanımı ile ilgili fiyat ve vergilerin düzenlenmesine yönelik uygulamaları içeren stratejilerdir. Fiyat ve vergiler ile ilgili üç tür düzenleme bulunmaktadır. Bu düzenlemeler; halen tahsil edilmekte olan vergilerin arttırılması, talebin sınırlanabilmesi için ücretsiz olarak kullanılan ulaştırma tesislerinin fiyatlandırılması ve çeşitli sübvansiyonlar olarak ifade edilebilmektedir.

2.1.1. Vergilerde yapılan düzenlemeler

2.1.1.1. Yeni satın alınan ve kullanımda olan araçlardan yıllık olarak tahsil edilen vergiler

Yeni satın alınan araçlardan alım satım işlemi sırasında tahsil edilen vergiler ve kullanımda olan araçlardan yıllık olarak tahsil edilen vergiler temelde trafiğe çıkan toplam araç sayısına etki etmektedir. Bu vergilerin tutarlarında yapılan düzenlemeler ile yolculuklarda özel otomobilin tercih edilmesine olmasa da, toplam trafik akımına dolaylı bir müdahalede bulunmak mümkün olabilmektedir. Bu özelliği ile vergilerde yapılan düzenlemelerin, özel otomobil ile trafik talebini sınırlamayı amaçlayan bir uygulama için yeterli etkinlikten yoksun olduğu açıktır [9,10]. Bir birey her 5-10

yılda bir yeni araç almaya niyet ederken; herhangi bir yolculuğu, herhangi bir güzergâhı kullanarak, herhangi bir tür ile yapma konusunda bir kararı bir gün içinde dahi defalarca alabilmektedir [11].

2.1.1.2. Akaryakıt vergisi

Otomobillerin yakıt tüketiminin, düşük hızlarda ve sık dur-kalk yapılan durumlarda daha yüksek olduğu bilinmektedir. Akaryakıttan alınan verginin yüksek olması durumunda, trafik tıkanıklıklarının yaşandığı kentiçi yollarda otomobil ile yolculuk etmenin maliyeti de yüksek olmaktadır. Akaryakıt vergisinin tutarının yakıt cinsine (motorin, benzin vb.) ve niteliğine (kurşunsuz vb.) bağlı olarak belirlenmesi durumunda, bu verginin yakıt tüketimi ile doğrudan ilişkili olan zararlı madde emisyonlarının azaltılmasında da etkili olması söz konusu olabilmektedir. Akaryakıt vergisinin yüksek tutulması ile yolculuklarda özel otomobil kullanımının belli bir düzeyde sınırlanması mümkündür. Ancak, akaryakıttan alınan verginin, bireyin özel otomobilini nerede ve ne zaman kullandığına bağlı olarak tahsil edilmemesi sebebiyle, bu vergi ile bölge odaklı etkin bir uygulama gerçekleştirmek güçtür [9,10].

2.1.1.3. Vergilerde yapılan düzenlemelerin genel değerlendirilmesi

Motorlu araçlara sahip olan bireylerden çeşitli gerekçelerle tahsil edilen vergiler günlük trafik talebine doğrudan etki sağlama özelliğinden yoksundur. Bu vergilerin özel otomobil sahibi olma ve kullanma ile ilgili genel talep üzerindeki etkileri de oldukça sınırlıdır. Çizelge 2.1’de 2000 yılı için, Amerika Birleşik Devletleri’nde ortalama bir araca ait sahip olma ve işletme maliyetlerini oluşturan bileşenler, toplam maliyete olan katkıları ile birlikte verilmiştir [12].

Çizelge 2.1 : Amerika Birleşik Devletleri’nde standart bir araç için sahip olma ve işletme maliyetleri (2000) [12].

Maliyet Bileşeni	Toplam Maliyet İçindeki Yüzdesi
Amortisman	%35
Sigorta	%27
Satın Alma Kredisi	%15
Akaryakıt Maliyeti (Vergi Hariç)	%9
Bakım	%5
Akaryakıt Vergisi	%4
Diğer Vergiler	%3
Onarım	%2
Toplam	%100

Çizelge 2.1’den görülebileceği gibi akaryakıt vergisi toplam maliyetin yalnızca %4’üne (Akaryakıt kullanım maliyeti ile beraber, akaryakıt ile ilgili oran %13’e çıkmaktadır) denk gelmektedir. Diğer vergiler ile ifade edilen yıllık vergiler veya satın alma vergilerinin toplam maliyetteki oranı ise yalnızca %3’dür. Bu oranlar göstermektedir ki; vergiler, bireylerin günlük yolculukları ile ilgili kararlar alırken tercihlerini etkileyecek kadar önemli bir etkiye sahip değildir. İşte bu sebepten, örneğin akaryakıt vergisinin arttırılmasının etkisi ancak, özel otomobil ile daha uzun yolculuk yapıp yapmamak konusundaki tercih açısından, belli bir düzeyde etkili olabilmektedir. Ülkemizde ise, dünyanın en pahalı benzini satılmakta, bunun yanında toplam benzin fiyatı içerisinde verginin payı açısından da ülkemizin dünyada ilk sıralarda yer almaktadır [13].

2.1.2. Yeni fiyatlandırma uygulamaları

2.1.2.1. Otopark ücretlerinin arttırılması

Büyük kentlerde motorlu araçlar için yeterli otopark alanları bulunmaması sebebiyle, kısıtlı olan otopark yerlerinin kullanımının düzenlenmesi ve gelir elde edilmesi amacıyla, motorlu araçlardan park ettikleri süreye bağlı olarak ücret tahsil edilmesi sıkça görülen bir uygulamadır. Otopark ücretinin ulaştırma talebini sınırlamaya yönelik bir strateji olarak kullanılması durumunda, bu ücretlerin ayarlanması (arttırılması) suretiyle motorlu araçlar ile kent merkezine yolculuk yapma talebinin belli bir oranda sınırlanması mümkün olabilmektedir. Otopark ücretinin talep yönetimi enstrümanı olarak kullanılmasında ücretler, yalnızca kısıtlı otopark alanlarının optimum kullanımını sağlamak için değil, ilgili bölgenin trafiğini de belirli bir düzeyin altına indirmek amacıyla ayarlanmaktadır. Önemli bir ilk yatırım maliyeti olmayan bu uygulamanın en büyük eksiği, trafik tıkanıklığı yaşanan bölgeyi motorlu araçları ile transit olarak geçen araçlara herhangi bir etkisinin olmaması, hatta transit geçişleri teşvik edici bir özellik arz etmesidir. Bunun yanında özel otoparkların varlığı da bu uygulama bağlamında değerlendirilmesi gereken bir konudur. Özelliği ve etkileri itibarıyla, otopark ücretinin düzenlenmesinin, yol fiyatlandırması ve benzeri bir uygulama ile beraber hayata geçirilmesi durumunda çok daha büyük bir etkinlik sağlayacağı görülmektedir [9,10].

2.1.2.2. Tıkanıklık fiyatlandırması (Yol fiyatlandırması)

Tıkanıklık fiyatlandırması kavramı, özel otomobilleri ile yolculuk yapan bireylerden sebep oldukları marjinal dışsal maliyetler tutarında ücret tahsil edilmesi olarak tarif edilmektedir. Bir başka deyişle, bu uygulama, motorlu araç kullanıcılarının belirli bir yolu kullanmaları veya araçları ile belirli bir bölgeye girmeleri karşılığında; sabit veya kat ettikleri mesafe, yolun tıkanıklık durumu gibi faktörlere bağlı olarak değişen bir fiyatı ödemeleri uygulamasıdır. Tıkanıklık fiyatlandırmasının esas itibarıyla, pek çok sektörde kullanılan ve malların fiyatının kaynakların kısıtlı oluşunu yansıttığı ve bu kaynakların etkin bir şekilde kullanımını sağlamak amacıyla çeşitli fiyat ayarlamalarının gerçekleştirildiği uygulamaların bir benzeri olduğunu da söylemek mümkündür [14]. Tıkanıklık fiyatlandırmasının başlıca amaçları aşağıda sıralanmıştır [7,11]:

Finansman: Motorlu araçları ile yolları kullanan bireylerin, kullandıkları altyapının maliyetine katkıda bulunmaları; yeni altyapı yatırımları ve mevcut altyapının bakım hizmetlerinin gerçekleştirilebilmesi açısından önemlidir.

Mevcut Altyapının Etkin Bir Şekilde Kullanılması: Fiyatlandırma sisteminin, bireyleri, hareketlilik ihtiyaçlarını eksiksiz olarak karşılarken, mevcut altyapı ve diğer kaynakları olabildiğince az kullanmaya teşvik etmesi gerekmektedir.

Yol Güvenliğinin Sağlanması: Fiyatlandırma uygulamasının, motorlu araç sürücülerini trafik kurallarına uygun araç kullanmaya yöneltmesi şarttır. Öte yandan, sürücülerini daha tehlikeli ve süratli araç kullanmaya iten ve örneğin zaman kısıtı olan uygulamalar, yol güvenliği açısından ciddi bir tehdit oluşturmaktadır.

Çevresel Etkilerin En Aza İndirilmesi: Fiyatlandırma uygulamasının temel amacı bireylerin motorlu araçlarını daha az kullanmalarının veya hiç kullanmamalarının sağlanmasıdır. Bu sayede zararlı madde emisyonları veya motorlu araç gürültüsü gibi olumsuz çevresel etkilerin de azaltılması söz konusu olabilecektir.

2.1.3. Sübvansiyonlar

2.1.3.1. Toplu taşıma sisteminin sübvansiyon edilmesi

Bireyleri, yolculuklarını özel otomobilleri dışındaki ulaşım türleri ile yapmaya teşvik etmenin yollarından biri de onlara alternatif yolculuk imkânları sunmaktır. Ulaştırma sistemlerinde özel otomobilin en ciddi alternatifi toplu taşımadır. Özel otomobil kullanıcılarının toplu taşımayı kullanmaya başlamaları ancak belli şartların sağlanması ile mümkündür. Aralarında konfor, hız, güvenlik, dakiklik gibi unsurların yer aldığı bu şartların en önemlilerinden biri hiç şüphesiz bilet fiyatıdır. Toplu taşıma sisteminin sübvansiyon edilmesi ile bilet fiyatının aşağıya çekilmesi ve böylece toplu taşımanın özel otomobil kullanıcıları için cazip bir alternatif haline gelmesi söz konusu olabilmektedir. Diğer taraftan, toplu taşıma ile özel otomobilin çapraz elastikliğinin¹ geleneksel olarak düşük olması, yalnızca bilet fiyatının aşağıya çekilmesinin tam anlamıyla yeterli olmayacağının bir göstergesidir. Sübvansiyon miktarının gerçekçi seviyelerde kalabilmesi ise ancak bu çapraz elastikliğin yüksek değerlerde olması ile mümkün olabilmekte; aksi takdirde büyük oranda sübvansiyon gerekmektedir. Toplu taşıma sistemine yapılan sübvansiyonların bahsi geçen özellikleri dikkate alındığında, bu uygulamanın yeni teknolojilerle uygulanabilir hale gelen çeşitli talep yönetimi stratejileri yanında yetersiz bir durumda olduğu görülmektedir [9,10].

2.1.3.2. Çevre dostu akaryakıt kullanan araçlara uygulanan sübvansiyonlar

Çevre dostu akaryakıt kullanan araçların en önemli artısı, motorlu araçlardan kaynaklanan hava kirliliğinin önemli oranda azaltılmasına imkân tanınmasıdır. Bu araçlara uygulanan sübvansiyonlar; gerek aracın satın alınması aşamasında ve gerekse yıllık olarak tahsil edilen vergilerde indirimle gidilmesi yoluyla gerçekleştirilmektedir. Bu uygulama son derece kolay olarak hayata geçirilebiliyor olmasına rağmen trafik talebine olan etkisi son derece düşüktür. Bunun yanında, bu tip bir sübvansiyonun; bu tip araçların fiyatlarında sağlayacağı indirimle bağlı olarak, otomobil edinme talebini daha da körüklemesi olasılığı da bulunmaktadır [9].

¹ Bir malın çapraz elastikliği, bir başka malın fiyatındaki değişme oranı ile bu mala olan talepteki değişme oranı arasındaki ilişki olarak tanımlanmaktadır.

2.2. Parasal Olmayan Talep Yönetimi Stratejileri

Parasal olmayan stratejiler ilave kapasite yaratılmasından, emisyon sınırlamaları getirilmesine kadar çok geniş bir yelpazede değişik uygulamaların söz konusu olduğu yöntemlerden oluşmaktadır. Parasal olmayan stratejilerin ulaştırmanın dışsal etkileri üzerindeki etkinliği, dolaylı bir yöntem olması itibariyle, parasal yöntemlere göre düşüktür.

2.2.1. Kapasitenin arttırılması

Kapasitenin arttırılması konusunda ilk akla gelen yeni yollar inşa edilmesidir. Gerçekten de, trafik tıkanıklığının esas sebebinin kapasite yetersizliği olduğu çeşitli platformlarda sıkça dile getirilmektedir. Özellikle İstanbul gibi yol ağında belli açılardan yetersizlik bulunan kentlerde, yeni yollar inşa edilmesinin yollardaki trafik akımına doğrudan, olumlu bir etkisi olması söz konusudur. Gerçekte, kapasitenin arttırılması ile sağlanan olumlu durum yerini, hem kısa hem de uzun vadede mevcut sorunların daha da derinleştiği bir ortama bırakmaktadır. Gerek yeni bir yol inşa edildiğinde ve gerekse halen hizmet vermekte olan bir yolun standartları iyileştirildiğinde, söz konusu yolun diğer yollara veya eski durumuna göre sağlayacağı mesafe ve/veya zaman kazancı, yolculuk maliyeti kazancı, konfor ve güvenlikteki artış gibi sebeplerle, kısa dönemde, bir grup birey yolu kullanmaya başlayacaktır. Uzun dönemli etkiler ise, mevcut yol ağındaki yetersizliklerden kaynaklanan sebeplerle bastırılmış olan trafik talebinin ortaya çıkmasının yanında daha önce mevcut değilken, yol çevresindeki arazi kullanımında ortaya çıkan değişiklikler neticesinde yeni bir trafik talebi oluşmasıdır [3,9,10]. Özetle, her yeni yolun veya iyileştirme çalışmasının kendi talebini oluşturduğu ve sonuçta sistemin yine kilitlendiği açıktır. İstanbul'da Avrupa ve Asya kıtalarını birbirine bağlayan Boğaziçi ve Fatih Sultan Mehmet köprülerinin çevre yolları boyunca ortaya çıkan yerleşim birimleri ve bu bölgelerdeki hızlı gelişme, yeni yollar inşa edilerek sağlanan kapasite artışının gerçek bir çözüm sağlamayışına güzel bir örnektir.

Kapasite artışı açısından bir başka yaklaşım toplu taşıma sisteminin sunduğu arzın arttırılması ve sistemin altyapısının iyileştirilmesi şeklinde gerçekleştirilebilmektedir [10]. Toplu taşıma sisteminin kapasitesine yapılan yatırım, bireyleri özel otomobillerini kullanmama konusunda teşvik edici bir uygulama için tamamlayıcı bir

özellik arz etmektedir. Örneğin; bir yol fiyatlandırması uygulaması sebebiyle özel otomobillerini kullanmaktan vazgeçmeyi düşünen bireylerin, kapasitesinin artırılması suretiyle iyileştirilmiş bir toplu taşıma hizmeti sunulması durumunda özel otomobillerinden daha kolay vazgeçmeleri söz konusu olabilmektedir.

2.2.2. Trafik miktarının doğrudan yöntemlerle sınırlandırılması

Trafik miktarının doğrudan yöntemlerle sınırlandırılmasında kent içinde seçilen bölge veya bölgelere giriş yapan motorlu araçların sayısı, doğrudan müdahaleler vasıtasıyla belli bir miktarda tutulmaktadır. Bu konuda çok bilinen bir uygulama tek/çift plaka uygulamasıdır. Plakalarının rakam kısmı tek sayı olan araçların yalnızca takvimin tek rakam olan günlerinde, çift sayı olan araçların ise çift günlerinde trafiğe çıkması ile her gün trafiğe çıkan araç sayısı sınırlandırılmaktadır. Trafik miktarının sınırlandırılması için kullanılabilecek diğer yöntemler arasında; “motorlu araçsız” gün uygulamaları yapılması, otopark yerlerinin miktarının sınırlandırılması, içerisinde belirli bir sayıdan az yolcu olan araçların ilgili bölgeye girişine izin verilmemesi gibi uygulamalar yer almaktadır [9,10].

Trafik miktarını doğrudan yöntemlerle sınırlamayı amaçlayan uygulamalar, yer, zaman ve hedef kitle seçimi gibi özellikler açısından esnekliğe sahip olsa da gerçek bir etkinlikten yoksundur. Doğrudan yöntemlerin büyük çoğunluğu, başka olumsuz etkilere yol açması muhtemel olan, bireylerin alternatif çözümler üretebildiği uygulamalardır [10]. Örneğin; kent merkezinde otopark yerlerinin sınırlandırılması daha önce park yeri sıkıntısı yaşanmayan merkez çevresindeki bölgelerde ciddi sıkıntılara yol açabilmektedir. Bir başka örnek ise, tek/çift plaka uygulamasında ihlal yapan sürücülerin tespit edilebilmesi için önemli miktarda personele ihtiyaç duyulması ve yürütmede ortaya çıkabilecek sayısız sorun (İhlal yaptığı tespit edilen araçlara uygulanacak cezai işlem vb.) olarak gösterilebilmektedir.

2.2.3. Trafik miktarının trafik yönetimi uygulamalarıyla sınırlandırılması

Trafik miktarının trafik yönetimi uygulamaları ile sınırlandırılması dolaylı bir yöntemdir. Bu yöntemde doğrudan fiziksel sınırlamalar yerine, bireyleri motorlu araçlarını kullanmamaya teşvik, hatta mecbur eden çeşitli uygulamalar söz konusudur. Başlıca trafik yönetimi uygulamaları arasında; toplu taşıma ve çok yolcusu olan motorlu

araçlar için tahsisli şeritler, özel otomobillere alternatif oluşturan ulaşım türlerinin hizmet kalitesinin artırılması, mesai saatlerinin düzenlenmesi, uygun aktarma ve otopark alanı uygulamasının (Park and ride) özendirilmesi, sürücülerin trafik koşullarını daha iyi değerlendirmelerini sağlamak için gelişmiş teknolojik sistemlerinin kullanılması (Akıllı ulaşım sistemleri vb.) gibi uygulamalar yer almaktadır. Dolaylı yöntemler zirve saatlerde mevcut olan zirve talebi diğer zaman dilimlerine yaymayı ve toplam trafik talebini azaltmayı hedefleyen yöntemlerdir. Bu uygulamaların hedeflenen sonuçları verebilmesi için doğrudan yöntemler ile beraber hayata geçirilmesinin daha uygun olacağı açıktır [9,10].

2.2.4. Bireylerin daha az yolculuk yapmaya yönlendirilmesi

Ulaştırma sosyal ve ekonomik etkinliklerin türevidir. Bireyler sosyal ve ekonomik etkinliklerini gerçekleştirebilmek için, ara hizmet özelliği taşıyan ulaştırmaya ihtiyaç duyarlar. Buradan hareketle, bireylerin daha az yolculuk yapmaya yönlendirilmesi ile mevcut alışkanlıklarının ve davranış düzenlerinin değiştirilmesinin de hedeflendiğini söylemek mümkündür. Son yıllarda gelişmiş ülkelerde yavaş yavaş gündeme gelmeye başlayan evden çalışma, evden alışveriş gibi uygulamalar bu amaca hizmet etmektedir. Gerçekten de bireylerin daha az yolculuk yapmasını sağlayacak benzeri uygulamaların yaygınlaşması durumunda, özellikle zirve saatlerdeki trafik talebinde önemli bir azalma sağlanması söz konusu olabilecektir. Diğer taraftan, pek çok kesimin (İşverenler, toptancılar, çalışanlar, satıcılar vb.) iş ve hayat tarzlarına etki eden bu tip büyük çapta bir değişiklik, yalnızca uzun dönemli çalışmalar gerektirmekle kalmamakta, pek çok birey tarafından da kolaylıkla benimsenmemektedir. Bireylerin bu tip stratejilere zaman içinde uyum sağlaması ve yeni alışkanlıklar geliştirmesi ile amaçlanan hedeflerden uzaklaşılması da söz konusudur [9].

2.3. Ulaştırmada Talep Yönetimi Stratejileri İçin Genel Bir Değerlendirme

Talep yönetimi stratejileri, tek başlarına değerlendirildiklerinde, gerekli etkinliği sağlamaktan uzaktırlar. Örneğin, özel otomobil kullanıcılarının motorlu araçlarını kullanmadan yolculuklarını gerçekleştirmelerini teşvik etmeyi amaçlayan bir uygulama, alternatif tür seçeneklerinin yetersiz olması halinde asla olumlu bir sonuç

vermeyecektir. Buradan hareketle, trafik talebini etkin bir yöntem ile sınırlandırabilmenin yolunun; bütüncül bir politika paketi içerisinde, birbirini tamamlayıcı özelliğe sahip stratejilerin bir arada hayata geçirilmesinden geçtiği görülmektedir.

3. TIKANIKLIK FİYATLANDIRMASI

3.1. Tıkanıklık Fiyatlandırması Teorisinin Tarihsel Gelişimi

Tıkanıklık fiyatlandırması ile ilgili teorik çalışmalar ilk olarak 19. yüzyılın ortalarında Fransa’da gerçekleştirilmiştir. 1844 yılında Dupuit tarafından gerçekleştirilen ve bir köprüden geçiş için fiyatt tahsil edilmesini öngören çalışma, tıkanıklık fiyatlandırması konusunda yapılan ilk teorik çalışmalardan biridir [14]. Bu çalışmada ana hatlarıyla, köprünün kullanımını optimum düzeyde tutan ve bunun yanında ilk yapım ve işletme maliyetlerinin de karşılanmasına olanak tanıyan bir fiyatlandırma uygulaması tasarlanmıştır. Daha sonra 1850 yılında Minard, benzeri bir çalışmayı yalnızca bakım ve onarım maliyetleri açısından gerçekleştirmiştir. Bu çalışmada ise yolculuk süresinin bir ekonomik değeri olduğu öngörülmüş ve bunun ölçümü için basit bir yöntem ortaya atılmıştır [14]. Fransız araştırmacıların bu çalışmaları gerek ülkelerinin dünyanın önde gelen ekonomilerinden biri olmaması ve gerekse de 20. yüzyılın başlarında demiryolunun araştırmacılar arasında en büyük ilgiyi çekmesi sebebiyle gündeme gelememiştir. 1920 yılına gelindiğinde Arthur Pigou tarafından yazılan “The Economics of Welfare” isimli kitap ortaya koyduğu teoriler ile fiyatlandırma konusundaki literatüre temel teşkil eden bir çalışma olmuştur [14]. Pigou çalışmasında, her bir kullanıcının diğer kullanıcılara yüklediği tıkanıklık maliyetlerini karşılamaması sebebiyle yolların etkinlikten uzak olarak işletildiğini ortaya koymuş ve kullanıcıların bu maliyeti karşılamak durumunda bırakılmaları halinde pek çoğunun yolları kullanmaktan vazgeçeceğini öne sürmüştür. Pigou tarafından gerçekleştirilen ünlü analiz ise birbirinin alternatifi olan ve biri geniş ancak kötü bir altyapıya sahip olması sebebiyle yavaş seyir hızlarına izin veren, diğeri ise dar ancak iyi bir altyapıya sahip iki yol arasındaki analizdir. Bu analizde trafiğin herhangi bir müdahale olmaksızın yollara dağılımının, her iki yolda da yolculuk süresi eşit olacak şekilde olacağı öne sürülmüştür. Pigou, dar olan yola tatbik edilecek değişken bir fiyatlandırma uygulamasının trafik dağılımını yeniden düzenleyeceği ve sonuçta toplam yolculuk süresinin azalması ile toplumun

tamamının kazanç sağlayacağını ortaya atmıştır. Pigou'nun kamu malı olarak kabul ettiği yollar için yaptığı bu analiz 1924 yılında Knight tarafından, yollardan birinin özelleştirilmiş olması durumu için yeniden ele alınmıştır [14]. 1960'lı yıllara kadar fazla gündeme gelmeyen tıkanıklık fiyatlandırması konusu, 1961 yılında Walters ve 1963 yılında Nobel ödüllü ekonomist Vickrey tarafından gerçekleştirilen çalışmalar sayesinde tekrar ilgi çekmeye başlamıştır [14]. Tıkanıklık fiyatlandırması teorisinin temelini oluşturan ve bugün hala geçerliliğini koruyan marjinal maliyet fiyatlandırması kavramı da bu çalışmalar ile ortaya çıkmıştır. Öte yandan, yine Vickrey tarafından 1969 yılında yayınlanan ve trafik tıkanıklığına neden olan kapasite kısıtlarını, şişe boynu yaklaşımı ile birleştiren çalışma da takip eden çalışmalara ışık tutan bir öneme sahiptir [14]. Bugün dinamik fiyatlandırma uygulamalarından, trafik tıkanıklığı ve fiyatlandırmanın stokastik analizine kadar pek çok konu, çok sayıda araştırmacı tarafından incelenmektedir.

3.2. Fiyatlandırma Uygulamalarının Dünü ve Bugünü

Fiyatlandırma veya tarihteki ilk uygulamalarda aldığı ismiyle paralı yol kavramı insanlık için yeni bir kavram değildir. İngiltere'de 17. yüzyılın, Amerika Birleşik Devletleri'nde ise 18. yüzyılın sonlarında hükümetlerin ve yerel yönetimlerin devlete ait çeşitli yollarda paralı yol uygulamaları gerçekleştirdiği görülmektedir. 19. yüzyılın sonlarında, özelleştirme kavramının ortaya çıkması ile beraber geçerliliğini yitiren bu uygulamalarda başlıca amaç, çeşitli ulaştırma yatırımları için ilave maddi kaynak yaratılmasıydı. Bunun yanında, özellikle Amerika Birleşik Devletleri'nde, kentler arasındaki ticari rekabet de önemli bir faktördü. İlk paralı yol uygulamaları günümüzdeki uygulamalara benzer özellikler de taşımaktaydı. Örneğin; İngiltere'deki uygulamalarda, fiyattan tamamen veya kısmen muaf tutulan bireyler bulunmaktaydı. 1820'li yıllarda gelindiğinde demiryollarının ortaya çıkışı ile beraber karayolları kentler arası yolculuklarda tek alternatif olmaktan çıkmış ve sonuçta paralı yolların ortadan kalktığı süreç de başlamıştır. 19. yüzyılın ikinci yarısından itibaren toplu taşıma kavramının da ortaya çıkması ile beraber, paralı yollardan elde edilen gelirin vergiler ile elde edilmesi, daha geçerli bir uygulama halini almıştır [15].

20. yüzyılda karayolları ve fiyatlandırma uygulamaları Amerika Birleşik Devletleri'nde ve dünyanın geri kalanında farklı yollar izlemiştir. 20. yüzyılın hemen başında Amerika Birleşik Devletleri'nde tamamen devlete ait yolları içeren bir karayolu hamlesi başlamıştır. Bu hamle sonucunda, önce Birleşik Devletler Karayolları olarak adlandırılan ve tamamı kaplamalı olan ulusal yol ağı ve daha sonra eyaletler arası hizmet veren, bölünmüş yollardan oluşan karayolu ağı oluşturulmuştur. Bu sürecin ilk yıllarında bazı girişimciler tarafından denenen özel ücretli yol işletmeleri ise varlığını sürdürememiştir. Özellikle 1940'lı yıllardan başlayarak, eyaletler arası yol ağındaki çok sayıdaki tünel ve köprüden ücret tahsilâtı yapılmaya başlanmıştır. Daha sonraki yıllarda ise aynı yol ağındaki çeşitli yollar da ücretli hale getirilmiştir [15]. 2005 yılı itibariyle Amerika Birleşik Devletleri'nde ücret tahsil edilen yol, köprü ve tüneller; 4.939 kilometresi kırsal ve 3.675 kilometresi kentsel olmak üzere toplam 8.614 kilometreye ulaşmıştır [16].

20. yüzyıla gelindiğinde Amerika Birleşik Devletleri'ndeki ücretli yolların neredeyse tamamı devlet tarafından işletilirken, diğer ülkeler için durum farklı olmuştur. Bu ülkelerde ücretli yollar, devletin onayıyla özel sektör tarafından inşa edilmiş ve işletilmiştir. Bu ülkelerden biri olan Fransa'da devlet, özel sektöre ve kamu-özel sektör ortaklıklarına kentler arası ücretli yollar inşa ve işletme imtiyazını, belirli bir zaman sonra satın alma hakkını saklı tutarak tanımıştır. 1990'lı yıllara gelindiğinde ülkede kentler arasında hizmet veren ücretli yollar toplam 6.000 kilometreye yaklaşmıştır. İspanya'da da Fransa'dakine benzer uygulamalar gerçekleştirilmiştir. Bu ülkede de özel sektöre tanınan imtiyazlar sayesinde, 1990'lı yılların başında, toplam 13 firma tarafından işletilen ücretli yol ağı yaklaşık 2.000 kilometreye ulaşmıştır. Fiyatlandırma uygulamaları gerçekleştirilen diğer bir ülke olan Meksika'da ise 1950'li yıllardan başlayarak, devlet tarafından işletilen bir ücretli yol ağı oluşturulmaya başlanmıştır. Ülkede 1980'li yılların başlarında ilk kez, özel sektöre sınırlı imtiyazlar tanınmıştır. Meksika'da özel sektöre ait ücretli yollar ile ilgili en büyük hamle 1989 ile 1991 yılları arasında, 4.000 kilometreye varan 29 yeni proje ile gerçekleştirilmiştir. Bu ülkeler dışında, Malezya, Endonezya ve Tayland gibi ülkelerde de 1990'lı yıllardan başlayarak kamu-özel sektör ortaklığında yürütülen çeşitli ücretli yol uygulamaları hayata geçirilmiştir [15].

Örnekleri verilen fiyatlandırma uygulamaları ağırlıklı olarak tek yol veya yollar grubu için planlanmış uygulamalardır. Amerika Birleşik Devletleri'nde, özel otomobillerin daha yüksek doluluk ile kullanılmasını sağlamayı amaçlayan yüksek doluluk oranı fiyatlandırması uygulamaları, dinamik fiyatlandırma yapıları ve kullandıkları teknolojik altyapı ile bu tip uygulamalar içinde en gelişmiş olanlarıdır. Öte yandan, dünyadaki fiyatlandırma uygulamalarına bakıldığında, tek yol veya yollar grubu için gerçekleştirilenlerin yanında sınırları belli bir alanı kapsayan uygulamalara da rastlanmaktadır. Özellikleri değişiklik gösteren bu uygulamaların dünyadaki ilk örneği 1975 yılında Singapur'da hayata geçirilen alan fiyatlandırması uygulamasıdır. Kapsadığı alan ve ücret yapısı yıllar içinde değişikliğe uğrayan bu uygulama başlangıçta yalnızca sabah zirve saatlerde geçerli olmuştur. Daha sonraki yıllarda akşam zirve saatlerini de içine alan uygulamada bugün, ücret tahsilâtı gelişmiş bir teknolojik altyapı kullanılması suretiyle yapılmaktadır [15,17]. Dünyada, Singapur uygulaması ile başlayan ve bir yol yerine bir alana yönelik olan uygulamalar içinde en önemlileri Norveç'te yedi kentte, İngiltere'de Londra ve İsveç'te Stockholm'da gerçekleştirilen uygulamalardır.

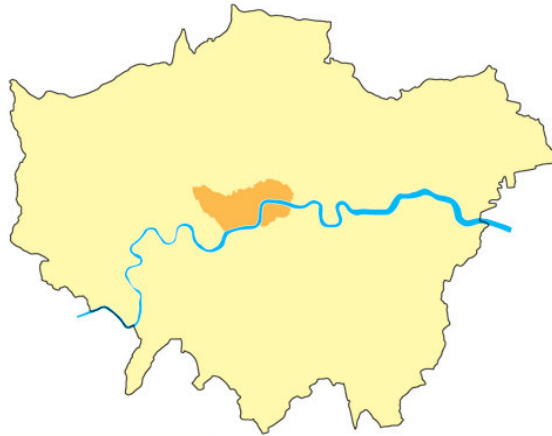
3.2.1. Norveç'teki fiyatlandırma uygulamaları

Fiyatlandırmanın belli bir alanda yürütüldüğü uygulamalardan yedisi Norveç'te gerçekleştirilmektedir. Norveç'in başkent Oslo, Bergen, Trondheim, Stavanger, Kristiansand, Tonsberg ve Namos kentlerindeki bu fiyatlandırma uygulamalarının başlıca amacı, artan trafik talebi ve trafiği karşılayacak altyapının tesis edilebilmesi için, sınırlı olan devlet bütçesine katkı sağlamaktır. Bunun sonucu olarak Norveç'teki tıkanıklık fiyatlandırması uygulamalarının hiçbirinde trafik talebi veya trafik tıkanıklığı üzerinde kayda değer etkiler olmadığı görülmektedir. Diğer taraftan genel itibariyle uygulamanın, esas amacı olan ilave kaynak yaratma amacına ulaştığı; ülkede ulaştırma altyapısına yapılan yatırımlardan görülmektedir. Norveç'teki uygulamaların yegâne ilginç özelliği, dünyada net bir şekilde ilave kaynak yaratımı amaçlı tek uygulama olması değildir. Bir başka ilgi çekici nokta, halkın bu uygulamalar hakkındaki genel yaklaşımı ile ilgilidir. Özellikle 1986 yılında başlayan Bergen, 1990 yılında başlayan Oslo ve 1991 yılında başlayan Trondheim fiyatlandırma uygulamaları için bireylerdeki genel eğilim olumsuz yönde olmuştur. Örneğin Trondheim'da uygulama hayata geçirilmeden hemen önce yapılan anketler,

kent halkının yalnızca %7 oranında bir kısmının uygulamayı desteklediğini ortaya koymuştur. Bu destek, uygulama hayata geçirildikten ve sağladığı faydalar ortaya çıktıktan sonra dahi kent halkının %20 oranındaki kısmından fazlasını aşamamıştır. Norveç'teki uygulamalar için bir sonraki adım, hiç şüphesiz, bu fiyatlandırma uygulamalarının talep yönetimi amaçlı olarak da kullanılıp kullanılamayacağını araştırılmasıdır. Bu konuda yasal düzenlemeler geçtiğimiz yıllarda yapılmış ve yerel yönetimlere, uygun görmeleri halinde, bir tıkanıklık fiyatlandırması uygulaması hayata geçirebilmeleri konusunda yetki verilmiştir. Bu yetkilendirmeye paralel olarak Bergen ve Oslo kentlerinde tıkanıklık fiyatlandırmasına geçilmesi söz konusudur [15,17-19].

3.2.2. Londra tıkanıklık fiyatlandırması

Son yıllarda tıkanıklık fiyatlandırması konusuna ilginin artmasındaki en önemli etkenlerden biri İngiltere'nin başkenti Londra'da uygulanan ve bir alan fiyatlandırması olan tıkanıklık fiyatlandırması uygulamasıdır. Gerçekte bu uygulamanın temelleri 1960'lı yıllarda atılmış ve fiyatlandırma uygulamaları ile ilgili ilk çalışmalar o tarihlerde yapılmıştır [20]. Gerekli yasal düzenlemelerin yapılması ve uygun teknolojik altyapının seçilmesi ile beraber, Londra tıkanıklık fiyatlandırması uygulaması 17 Şubat 2003 tarihinde hayata geçirilmiştir. Başlangıçta 5 £ olan fiyat, uygulamanın kapsama alanı genişletilerek 21 km²'den 38 km²'ye çıkarılması ile beraber 8 £ tutarına yükseltilmiştir [21,22]. Yaklaşık 1579 km²'ye ulaşan kent merkezinin toplam alanına kıyasla, fiyatlandırılan bölge kentin yalnızca %2,4'lük bir kısmını oluşturmaktadır (Şekil 3.1).



Şekil 3.1 : Londra kent merkezinde tıkanıklık fiyatlandırması uygulanan bölge [22].

Londra tıkanıklık fiyatlandırması uygulaması pek çok özelliği ile dünyanın başka büyük kentleri için örnek olacak bir uygulamadır. Uygulamada, fiyatlandırma bölgesine 174 noktanın herhangi birini kullanarak, hafta içi günler (Pazartesi-Cuma) saat 07:00 ile 18:00 saatleri arasında giriş yapan araç sürücüleri ilgili fiyatı ödemek durumundadır. Fiyatlandırmaya tabi olan kullanıcılar arasında indirim veya muafiyet hakkı olanlar bulunmaktadır. Buna göre; engelli bireylerin kullandığı araçlar, dokuz veya daha fazla koltuğa sahip toplu taşıma araçları, acil durum araçları, lisanslı taksi ve minibüsler ile motosikletler ve bisikletler doğrudan muafiyet hakkına sahiptir. Askeri araçlar ile çeşitli belediye hizmetlerinde kullanılan araçlara ise ücretsiz kayıt olma karşılığında %100 indirim olanağı tanınmıştır. Alternatif yakıtlar ile çalışan araçlar ile Euro IV² standartlarından %40 oranında daha düşük emisyon yapan araçlar ise yıllık 10 £ tutarında bir kayıt ücreti karşılığında bir yıl boyunca ücretsiz kullanım hakkı kazanmaktadır. Fiyatlandırılan bölge içerisinde oturan bireylere ait motorlu araçlar ise %90 oranında indirimden faydalanmaktadır [21,22].

Fiyatlandırılmış bölgeyi kullanan bireylere, ilgili fiyatı ödeyebilmeleri için çeşitli seçenekler sunulmuştur. En yaygın kullanılan seçenek alışveriş merkezleri, benzin istasyonları gibi yerlere kurulmuş olan ödeme noktalarıdır. Bunun yanında çağrı merkezi, internet ve cep telefonu mesajı yoluyla ödeme yapmak da mümkündür [21].

Londra tıkanıklık fiyatlandırması uygulamasının yürütüldüğü alana giriş yapılabilen noktaların hiç birinde bariyer ve benzeri fiziksel engeller veya gişeler bulunmamaktadır. Kullanıcılar, fiyatlandırma bölgesinin giriş ve çıkış noktalarında, çeşitli tabelalar ve kaplama üstü işaretleri ile uyarılmaktadır. Bu tabelalara ait örnekler Şekil 3.2a, b ve c’de verilmiştir [21,22].



Şekil 3.2a : Uygulama saatleri, fiyat ve ilgili alana kalan mesafeyi gösteren bir tabela örneği [22].

² Euro IV, Avrupa Birliği ülkelerinde 2005 ve daha sonraki yıllarda satılan motorlu araçlara getirilen emisyon sınırlamalarına ait standarttır. 1992 yılında Euro I standardı ile başlayan bu sınırlamalar belirli aralıklar ile değiştirilmektedir. Yeni standardın Euro V adı ile 2009 yılında çıkarılması öngörülmektedir.



Şekil 3.2b : Fiyatlandırma alanına yaklaşmakta sürücüler için konulan bir bilgilendirme tabelası örneği [22].



Şekil 3.2c : Sürücüleri, fiyatlandırma alanını terk etmekte oldukları konusunda bilgilendiren bir tabela örneği [22].

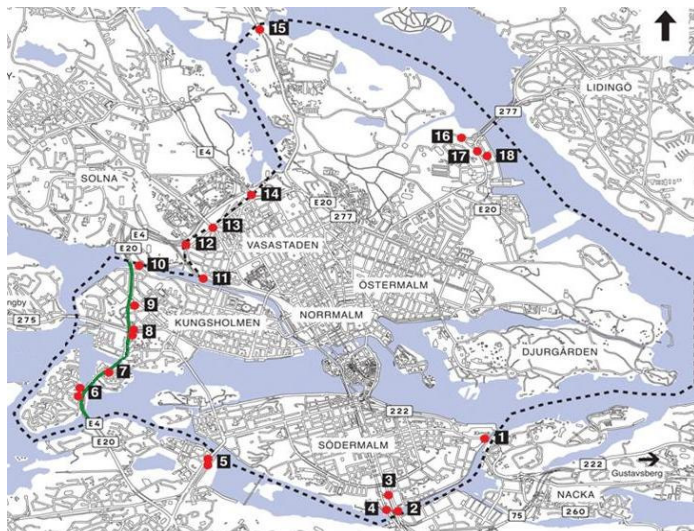
İhlal takibi 203 farklı noktaya yerleştirilmiş kameralar sayesinde gerçekleştirilmektedir. Her noktada en az bir renkli ve bir siyah-beyaz kamera bulunmakta ve bu kameralar araçların plakalarına ait görüntüleri %90 oranında doğrulukla sayısal veriye dönüştüren “Otomatik Plaka Tanımlama” yazılımına veri sağlamaktadır. Bir sonraki aşamada bu veri, o gün için ödeme yapmış araçlara ait veri tabanı ile karşılaştırılmakta ve ödeme yapmayanlar tespit edilmektedir. Ödeme yapmayan sürücülere aynı gün gece yarısına kadar süre tanınmaktadır. Gece yarısından sonra (Bir sonraki gün) ödeme yapan sürücüler 8 £ yerine 10 £ ödemekle yükümlü olmaktadır. Daha sonrası için ise ceza hızla katlanmakta ve 50 £ değerine kadar çıkmaktadır [21,22].

Tıkanıklık fiyatlandırması uygulamasının, 2003 yılından bu yana, Londra kent merkezindeki trafik tıkanıklıklarına etkisinin olumlu olduğunu söylemek mümkündür. Kent merkezinde ortalama gecikmeler azalmış, ortalama seyir hızları artış göstermiş, zararlı madde emisyonları gerilemiştir. Trafik kazalarındaki azalmaya bağlı olarak yol güvenliğinin de arttığını söylemek mümkündür. Buna karşılık, sürekli olarak artış gösteren trafik talebi ve bireylerin trafik yönetimi uygulamalarına uyum sağlamaları ile beraber gerek fiyatlandırılan alan içinde ve gerekse dışındaki trafik tıkanıklığı düzeyinde, uygulamanın hayata geçirildiği 2003 yılında tespit edilen değerlere göre belli bir artış olduğu gözlenmiştir. Örneğin; kent

merkezinde 2002 yılında 2,3 dakika/km olarak tespit edilen ortalama gecikme süresi, 2004 yılına 1,6 dakika/km değerine gerilemişse de, 2005 yılında tekrar artış göstererek 1,8 dakika/km değerine çıkmıştır [23]. Doğal kabul edilen bu gelişmeye karşılık, kentte uygulanmakta olan ve yalnızca tıkanıklık fiyatlandırması ile sınırlı olmayan genel ulaşım politikası motorlu araçların değil, bireylerin hareketliliği odaklı çözümler üretmekte ve trafik tıkanıklığı sorununun çözümüne yönelik köklü adımlar atıldığı görülmektedir.

3.2.3. Stockholm tıkanıklık fiyatlandırması

İsveç'in Stockholm kentindeki tıkanıklık fiyatlandırması uygulaması, Londra'dan sonraki en kapsamlı uygulama olarak dikkati çekmektedir (Şekil 3.3). Bir kordon fiyatlandırması olan bu uygulama için 3 Ocak 2006 ile 31 Temmuz 2006 tarihleri arasında bir deneme uygulaması gerçekleştirilmiştir. Deneme uygulamasını takiben, kentte fiyatlandırmanın hayata geçirilip geçirilmemesi ile ilgili bir referandum yapılmıştır. Referandum sonucunda Stockholm kentinde; toplam oylar içerisinde %45,5 oranında Hayır oyuna karşılık, %51,3 oranında Evet oyu ile tıkanıklık fiyatlandırmasının desteklendiği görülmüştür. Diğer taraftan Stockholm idari bölgesi içinde yer alan 25 belediyeden 14'ünde yapılan referandumda ise Evet oylarının oranı %45,9'u aşamamış, Lidingö belediyesinde bu oran %29,6 gibi düşük bir düzeyde kalmıştır. Fiyatlandırma uygulaması ile ilgili son kararı İsveç Parlamentosu'nun vermesi öngörülmüştür [24].



Şekil 3.3 : Stockholm tıkanıklık fiyatlandırmasının uygulama alanı [24].

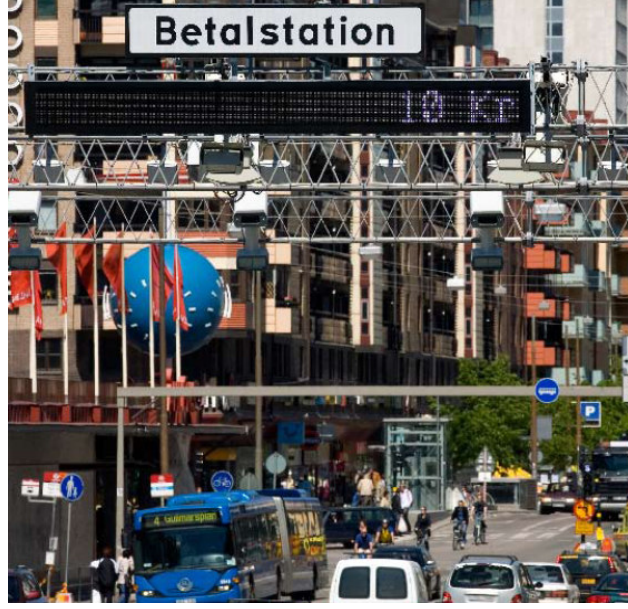
Stockholm tıkanıklık fiyatlandırmasının yürütülmesinde, Londra'da kullanılan ve araç plakalarını sayısal veriye dönüştürmeye yarayan teknoloji ile anında ve otomatik ödemeye olanak tanıyan bir başka teknoloji birlikte kullanılmaktadır. Özellikle ikinci teknolojinin varlığı, fiyatın gün içinde farklı değerler alması durumunda dahi tahsilât işleminin sorunsuz bir şekilde yürütülmesine olanak tanımaktadır. Böylece, hafta içi günlerde (Pazartesi-Cuma) 06:30 ile 18:29 saatleri arasında geçerli olan uygulamada, günün saatlerine göre üç farklı fiyat tahsil edilmesi mümkün olmuştur. Buna göre, en yüksek fiyat olan 20 SEK³ sabah 07:30 ile 08:29 ve akşam 16:00 ile 17:29 arasındaki zirve saatlerde geçerlidir. 15 SEK tutarındaki fiyat 07:00-07:29, 08:30-08:59, 15:30-15:59 ve 17:30-17:59 saatlerinde, 10 SEK tutarındaki fiyat ise 06:30-06:59, 09:00-15:29 ve 18:00-18:29 saatleri arasında tahsil edilmektedir. Gün içinde, fiyatlandırılan bölgeye birden fazla giriş çıkış yapan ve birden fazla defa fiyat ödemek durumunda kalan bireylerden tahsil edilecek fiyat için 60 SEK tutarında bir maksimum değer belirlenmiştir. Fiyatlandırılan bölgeye giriş yapan sürücüler, gerek sabit (Şekil 3.4a) ve gerekse de değişken elektronik tabelalar (Şekil 3.4b) ile ödemek durumunda oldukları fiyat konusunda anında bilgilendirilmektedir [24,25].



Kl	Kr
06:30 - 06:59	10,-
07:00 - 07:29	15,-
07:30 - 08:29	20,-
08:30 - 08:59	15,-
09:00 - 15:29	10,-
15:30 - 15:59	15,-
16:00 - 17:29	20,-
17:30 - 17:59	15,-
18:00 - 18:29	10,-

Şekil 3.4a : Stockholm fiyatlandırma uygulamasının saatleri ve fiyatları konusunda bilgi veren sabit tabelalara bir örnek [24].

³ İsveç'in resmi para birimi olan İsveç Kronu (SEK) için değer eşitliği 1 Euro = 9,16 SEK (02/06/2008) şeklindedir.



Şekil 3.4b : Stockholm fiyatlandırma uygulamasında fiyatları konusunda bilgi veren değişken elektronik tabelalara bir örnek [24].

Stockholm uygulaması, Londra uygulaması kadar çok çeşitli olmasa da kullanıcılara, fiyat ödemesi için farklı seçenekler sunmaktadır. Bu seçeneklerin başta geleni hiç şüphesiz anında ve otomatik ödemeye olanak tanıyan doğrudan tahsilât sistemidir. Kullanıcıların %63'ü tarafından tercih edilen bu sistem dışında; internet üzerinden ödeme ile ödeme noktaları ve bankalardan ödeme yapma seçenekleri de mevcuttur. Anında ödeme sistemine kayıtlı olmayan kullanıcılara fiyatı, fiyatlandırma bölgesine giriş yaptıkları tarihten itibaren 14 gün içinde ödeme zorunluluğu getirilmiştir. Fiyatın bu sürede ödenmemesi durumunda, 14 günlük bir ek süre ile beraber 70 SEK tutarında bir ceza söz konusu olmaktadır. Fiyat bu süre içinde de hala ödenmediyse ceza 500 SEK tutarına yükselmektedir [25].

Stockholm tıkanıklık fiyatlandırmasında, Londra uygulamasına benzer olarak, belirli kullanıcılara muafiyet hakkı tanınmıştır. Bu kullanıcılar acil durum araçları, toplam ağırlığı 14 ton ve üstünde olan otobüsler, konsolosluk araçları, taksiler, motosikletler, yabancı ülkelere kayıtlı araçlar, askeri araçlar, yakıt olarak LPG dışında her türlü gaz veya elektrik kullanan araçlar olarak belirlenmiştir. 14 tondan daha düşük ağırlıktaki servis araçlarının sahipleri ile engelli bireylere ise ilgili vergi dairelerine başvurarak onay alma karşılığında muafiyet tanınmaktadır [25].

Uygulamanın trafik ve trafik kaynaklı dışsal etkiler üzerinde kayda değer bir etkisi olmuştur. Özellikle fiyatlandırılan kordon içinde kalan bölgede, 24 saat için ortalama trafik azalışı %22 oranında olmuştur ve bu değer kordondan yaklaşık 100.000 geçişe denk düşmektedir. Fiyatın yapısına bağlı olarak, trafik miktarındaki en büyük azalmalar sabah ve akşam zirve saatlerinde görülmüştür. Kordon içinde kalan bölgede trafik miktarındaki bu azalma ile beraber yolculuk süreleri kısalmış ve güvenilirlik artmıştır. Bu durum toplu taşıma sistemine de olumlu yansımış ve sistemin erişebilirliğinin artması ile beraber yolcu sayılarında artış olduğu görülmüştür. Tıkanıklık fiyatlandırması uygulaması sayesinde kent merkezindeki genel trafik de olumlu olarak etkilenmiştir. Örneğin; kordona yaklaşım yollarında kuyrukta bekleme süreleri sabah zirve saatlerde üçte iki oranında, akşam zirve saatlerde ise yarı yarıya azalmıştır. Yapılan ölçümler gerek zararlı madde emisyonları ve gerekse gürültü açısından da olumlu neticeler alındığını ortaya koymaktadır. Fiyatlandırılan kordon içerisinde kalan bölgede CO₂ ve parçacık maddelerin emisyonları %14 oranında azalmış, aynı bölgede gürültü seviyesinde de 24 saat için 1-2 dB(A) değerinde azalmalar olduğu görülmüştür [26].

3.2.4. İstanbul için tıkanıklık fiyatlandırması çalışmaları

Tıkanıklık fiyatlandırması, İstanbul'da da uygulanması gündemde olan bir konudur. Bu konuda yapılan araştırmalar arasından iki tanesi değinilmeye değer özelliktedir. Yıldız Teknik Üniversitesi'nde gerçekleştirilen bir doktora çalışmasında [27], İstanbul için, başlıca amacı toplu taşıma sisteminin geliştirilmesi olan bir tıkanıklık fiyatlandırması modeli geliştirilmiştir. Boğaziçi Köprüsü'nde gerçekleştirilmesi öngörülen bir tıkanıklık fiyatlandırması uygulamasından elde edilecek gelirlerle oluşturulabilecek ilave toplu taşıma kapasitesi ile ilgili analizlerin de yer aldığı bu çalışmada, tıkanıklık fiyatlandırması ile gerek uygulamayı finanse edebilecek ve gerekse toplu taşıma sisteminin geliştirilmesi amaçlı yatırımlarda kullanılabilecek önemli bir finansal kaynak elde edilebileceği tespit edilmiştir. Çalışmada, tıkanıklık fiyatlandırmasının, trafikte %40'a varan oranlarda azalmalar ile akım hızlarında ise 25 km/sa değerine varan artışlar sağlayabileceği de belirlenmiştir.

İstanbul Büyükşehir Belediyesi (İBB) desteğiyle gerçekleştirilen bir araştırma projesinde ise [28] bu çalışmaya da konu olan Eminönü bölgesi için bir tıkanıklık fiyatlandırması modeli geliştirilmiştir. Bu model optimum tıkanıklık fiyatını

hesaplama, uygulama sonucunda trafiğin durumunu ve elde edilen gelirlerin kullanılması suretiyle yaratılabilecek ilave toplu taşıma kapasitesini ortaya koyma özelliğine sahiptir. Çalışmada, kordon etütleri vasıtasıyla Eminönü bölgesi için kalibre edilen farklı hız-akım bağıntıları ve çeşitli fiyatlandırma senaryoları çerçevesinde optimum fiyat, trafik durumu ve toplu taşıma ile ilgili hesaplamalar gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonuçları, tıkanıklık fiyatlandırması ile bölge trafiğinde kayda değer oranda azalma sağlanabileceğini göstermiştir.

3.3. Tıkanıklık Fiyatlandırmasında Tahsilât Yöntemleri

Tıkanıklık fiyatlandırması uygulamalarında tahsilât yöntemi, gerek maliyet ve gerekse trafik üzerindeki etkileri açısından işletmenin en hassas noktalarından biridir. İnşa edilmesi gereken sabit tesisler, istihdam edilmesi gereken personel ve -eğer mevcutsa- kullanılacak yazılımlar gibi konular, seçilen tahsilât yöntemine bağlı olarak değişiklik gösteren başlıca unsurlardır. Tahsilât yöntemlerini çeşitli şekillerde sınıflandırmak mümkündür. Bu yöntemler, tahsilât işleminin yürütülmesinde insan kullanılıp kullanılmamasına göre operatörlü ve otomatik olarak sınıflandırılabilir. Elektronik sistemler kullanılıp kullanılmamasına göre elektronik ve elektronik olmayan sistemler olarak da sınıflandırılabilir. Kullanılan yöntemler genel olarak değerlendirildiğinde; farklı tipleri içeren ve karma olarak adlandırılabilir yöntemlere de rastlanmaktadır. Çeşitli sınıflandırmalara göre tahsilât yöntemleri Çizelge 3.1’de verilmiştir. Elektronik sistemler, yapısı gereği, tahsilât işleminin gerçekleştirilmesi aşamasında insan bulunmasına ihtiyaç olmayan sistemlerdir. Buna bağlı olarak, hem elektronik hem de operatörlü özellikte bir tahsilât yöntemi olması mümkün değildir.

Çizelge 3.1 : Tahsilât yöntemlerinin sınıflandırılması.

	OPERATÖRLÜ	OTOMATİK
ELEKTRONİK	-	Elektronik otomatik tahsilât sistemleri
ELEKTRONİK OLMAYAN	Operatörlerin görev yaptığı dur ve öde gişeleri	Bozuk para ve/veya elektronik kart makinelerinin bulunduğu dur ve öde gişeleri
	Operatörlerin kontrol yaptığı ve ödemenin önceden yapılması suretiyle elde edilen kart ile giriş yapılan gişeler	

3.3.1. Elektronik olmayan operatörlü tahsilât sistemleri

Amacı ne olursa olsun, karayollarında ücret tahsilâtı için kullanılan en yaygın yöntem tahsilâtın elektronik olmayan operatörlü sistemlerle yapılmasıdır (Şekil 3.5). Bu sistemlerde genellikle, geniş bir giş (tahsilât) alanı bulunmaktadır. Bu alanda ise her birinin ayrı bir gişeye ulaştığı, belirli sayıda şerit yer almaktadır. Genellikle trafik akımını taşıyan her bir şerit için en az üç adet tahsilât şeridi ve gişesi tesis edilmesi uygun olmaktadır [29]. Gişelerde tahsilât işlemini gerçekleştiren bir eleman bulunmakta ve uygulamanın düzeni görevli elemanın onayı olmadan açılmayan bariyerler ile sağlanmaktadır. Bariyerler, sürücülerin ücret ödemek amacıyla gişelerde durmalarına yol açtığı için, özellikle zirve saatlerde ciddi kuyruklanmalar oluşması söz konusu olmaktadır. Bu durum trafik tıkanıklıklarının yanı sıra zararlı maddelerin emisyonunda ve yakıt tüketiminde artışa sebep olan bir faktördür. Pek çok elektronik olmayan operatörlü tahsilât uygulamasında sistem, araç sınıfını ve dolayısıyla da ücret tutarını belirlemeye yarayan algılayıcılar ile desteklenmektedir. Bu algılayıcılar araçların aks sayısını veya ağırlığını belirleyerek, sınıfının tespit edilmesini sağlamaktadır. Bariyerler dışında, ihlal yapan araçları belirlemek için video kameralar ile ışıklı ve sesli ikaz cihazlarının kullanıldığı uygulamalara da rastlamak mümkündür. Bu sistemlerin gerekleri düşünüldüğünde, alan ihtiyacının kentiçi fiyatlandırma uygulamalarında ciddi güçlükler yaratacağı açıktır [29].



Şekil 3.5 : Elektronik olmayan operatörlü tahsilât gişesi örneği (Türkiye) [30].

3.3.2. Elektronik olmayan otomatik tahsilât sistemleri

Bu sistemler elektronik olmayan operatörlü sistemler ile önemli benzerlikler göstermektedir. Bariyerler, trafik akımını taşıyan her bir şerit için en az üç adet tahsilât şeridi ve gişesi tesis edilmesi gibi özellikler bu sistemlerde de geçerlidir. Bu sistemlerde görevli eleman bulunmamakta, yalnızca sürücülerin ücretlerini atacakları veya elektronik kart okutacakları bir cihaz yer almaktadır. Sürücülerin ücretlerini atacakları bir sepetin bulunduğu tahsilât uygulamalarına Amerika Birleşik Devletleri’nde sıkça rastlanmaktadır. Bu tip uygulamalarda, elektronik olmayan operatörlü tahsilât yapan gişelerin yanında birkaç adet yalnızca tam ücret tutarında yapılan ödemeleri kabul eden (Exact Change Only) gişeleri de yer alabilmektedir. Sürücülerin elektronik kart okutarak geçiş yaptıkları uygulamalar için bir örnek ülkemizde kullanılmakta olan “Kartlı Geçiş Sistemi (KGS)”dir.

3.3.3. Elektronik otomatik tahsilât sistemleri

Elektronik otomatik tahsilât sistemleri, ücret tahsilâtının otomatik olarak gerçekleştirildiği, insansız olarak hizmet veren sistemlerdir. Bu sistemler, özellikle elektronik olmayan tahsilât sistemlerinin trafik akımı üzerinde yarattığı çeşitli sıkıntıları aşmak amacı ile araçların ödemelerini otomatik olarak, daha az bekleyerek veya mümkünse durmaksızın yapmalarını sağlamak amacıyla geliştirilmiştir. Elektronik otomatik tahsilât sistemleri ile tahsilât işleminin, araçların belli hızla seyri sırasında herhangi bir ihlale imkân tanımaksızın, etkin ve yüksek performanslı bir şekilde gerçekleştirilebilmesi amaçlanmaktadır. Tahsilât işleminin bu sistemler kullanılarak gerçekleştirilmesinin, elektronik olmayan tahsilât yöntemlerine göre başlıca üstünlükleri şunlardır [29]:

- Tahsilât gişelerinin hizmet verme hızını arttırarak, buralardaki kuyruklanmaları azaltmak ve kapasiteyi arttırmak.
- Sistemde nakit para kullanımını kaldırarak, suistimal risklerini azaltmak.
- Tahsilâtının tam otomatik hale getirilmesiyle personel gereksinimini azaltmak.
- Araçların yavaşlamasını ve bekleme süresini azaltarak veya ortadan kaldırarak yakıt tasarrufu sağlamak ve zararlı madde emisyonlarını azaltmak.

Elektronik otomatik tahsilât sistemlerinin sınıflandırılması; sistemde kullanılan araç içi biriminin (elektronik etiket) ve merkez ile araç arasında kurulan haberleşmenin

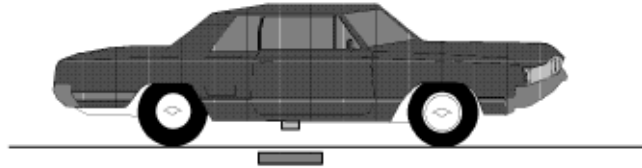
karakterine göre yapılmaktadır. Burada üç farklı sistem söz konusudur: Kısa mesafeli haberleşme teknolojisi kullanılan sistemler, geniş alanda haberleşme teknolojisi kullanılan sistemler ve video kamera tabanlı sistemler [31].

3.3.3.1. Kısa mesafeli haberleşme teknolojisi kullanılan sistemler

Kısa mesafeli haberleşme teknolojisi, elektronik otomatik sistemlerde en yaygın kullanılan teknolojidir. Araç içi birim ile merkez arasındaki haberleşmenin 5 ile 30 metrelik mesafelerde gerçekleştirildiği uygulamalar bu gruba girmektedir. Kısa mesafeli haberleşmenin, kullanılan elektromanyetik dalganın frekansına göre iki türü vardır:

- Çok düşük frekanslar (200 KHz değerinden düşük)
- Mikrodalga frekansları (1,6 ile 30 GHz aralığında)

Çok düşük frekansların kullanıldığı uygulamalara, elektronik otomatik tahsilât sistemlerinin ilk örneklerinde rastlanmaktadır. Bu uygulamalarda, kaplamanın altına yerleştirilen manyetik algılayıcılar ile araçların alt kısmına takılan elektronik etiketler arasında düşük frekanslarda haberleşme sağlanmaktadır (Şekil 3.6) [31].



Şekil 3.6 : Çok düşük frekansların kullanıldığı uygulamalara ait bir gösterim [32].

Kısa mesafeli haberleşme teknolojisinde kullanılan mikrodalga frekansları daha yüksek hızda veri akışına olanak tanınması itibarıyla sıkça tercih edilen frekanslardır. Mikrodalga frekanslarının kullanıldığı sistemlerde haberleşme, yol kenarında veya üstünde yer alan haberleşme elemanı ile araca takılı elektronik etiket veya alıcı arasında sağlanmaktadır. Mikrodalga frekansları kullanılan bir sistemin başlıca bileşenleri şunlardır:

- Aracın ilgili alana geldiğini tespit etmeye yarayan araç tanımlama sistemi.
- Aracın, farklı ücretler tahsil edilen araç sınıflarından hangisinde olduğunu belirlemeye yarayan araç sınıflandırma sistemi.

- Araç içi birimi adı verilen ve araca takılan cihaz.
- Araç içi birimi ile haberleşmeyi sağlayan, yol kenarına ve/veya yol üstüne kurulan, bir veya daha fazla antenden oluşan haberleşme sistemi.
- Uygulamanın yapısına göre tahsilât noktasında veya daha uzakta bir ana merkezde bulunan ve verilerin doğrulanması, saklanması ile işlenmesi amacıyla kullanılan bir bilgisayar ağı.
- İhlallerin takip edilebilmesi amacıyla, çoğunlukla, araç plakalarının kaydedilmesi için kullanılan fotoğraf veya video kamera sistemi.

Bu birimler dışında, araç ile yol kenarı tesisleri ve yol kenarı tesisleri ile merkezi bilgisayar ağı arasında iletişimi sağlayan bir yapıya da ihtiyaç vardır. Ayrıca, tahsilâtın yapıldığı banka hesapları ile ilişkilendirilmesi gereken bir ödeme takip sisteminin bulunması da gerekmektedir [31].

Dünyadaki elektronik otomatik fiyatlandırma uygulamalarının pek çoğunda mikrodalga frekansları kullanılmaktadır. Bunun başlıca sebebi ilgili frekans aralığının çok sayıda farklı yürütme tercihinin hayata geçirilebilmesine olanak tanınmasıdır. Farklı yürütme tercihleri, mekânsal güçlüklerden kaynaklanabileceği gibi, bir trafik yönetimi unsuru olarak da ortaya çıkabilmektedir. Burada, büyük bir geniş alanı içerisinde sürücülerin, durmadan ancak seyir hızlarını azaltarak geçiş yaptıkları bir uygulamadan, tahsilâtın bir otoyolda serbest akım hızında seyrederken otomatik olarak yapıldığı uygulamalara kadar pek çok farklı seçenek söz konusudur. Ülkemizde, tasarımı Aselsan tarafından yapılan, Karayolları Genel Müdürlüğü'nün (KGM) sorumluluğunda işletilmekte olan ve boğaz köprüleri ile otoyollarda geçiş ücreti tahsilâtı için kullanılan “Otomatik Geçiş Sistemi (OGS)”, bu özellikte bir uygulamadır (Şekil 3.7).

Mikrodalga frekanslarının farklı yürütme tercihlerinde kullanıldığı uygulamalara bir başka örnek Singapur'daki elektronik fiyatlandırma uygulamasıdır (Şekil 3.8). Bu uygulamada araçlar serbest akım koşullarındaki hızlarda seyrederken dahi, ücret tahsilâtı yapmak mümkün olmaktadır. Dünyada yaygın olan 5,8 GHz'lik mikrodalga frekanslarının kullanıldığı sistemlerde, araç içi birimi ile anten sistemi arasındaki haberleşme teknolojisi, yüksek hızlarda seyreden araçlar için, tek anten ile tahsilât işleminin tüm adımlarının tamamlanmasına olanak tanımamaktadır. Bu sebeple, benzerlerine dünyadaki başka uygulamalarda da rastlanabilen bu teknolojinin

mimarisinde çoğunlukla aralarında 30-50 m mesafe bulunan iki adet yol üstü anteni kullanılmaktadır. Burada birinci anten araç içi birimini tanımak ve işlemi başlatmak, ikinci anten ise güvenlik ve tanıma aşamalarının geçilmesinin ardından yürütme işlemini tamamlamak görevlerini gerçekleştirmektedir. Ayrıca, ikinci anten üzerinde ihlalleri takip etmek amacıyla bir kamera sistemi de yer almaktadır [29].



Şekil 3.7 : Boğaziçi Köprüsü'nde OGS gişeleri [33].



Şekil 3.8 : Singapur'daki elektronik tahsilât uygulamasında yol üstü antenleri [34].

3.3.3.2. Geniş alanda haberleşme teknolojisi kullanılan sistemler

Elektronik otomatik tahsilât yöntemlerinde kullanılan bir başka teknoloji ise geniş alanda haberleşme kullanılan sistemlerdir. Bu sistemlerde kullanılan başlıca teknoloji Küresel Konumlama Sistemi (Global Positioning System, GPS) adı verilen teknolojidir. İlk olarak Amerika Birleşik Devletleri Savunma Bakanlığı tarafından, askeri amaçlarla geliştirilen [35] bu teknoloji zamanla sivil amaçlarla da kullanılmaya başlanmıştır. Diğer taraftan, bu teknolojiye sahip olan ve kullanımını kontrol etme hakkı bulunan Amerika Birleşik Devletleri, gerektiğinde GPS sinyallerini sivil kullanıcılar için kısıtlama veya bu kullanıcılara tamamen kapatma hakkını saklı tutmaktadır [36]. Avrupa Birliği'nde, bu haktan kaynaklanması muhtemel sorunların aşılabilmesi amacıyla, temelleri 1994 yılında atılan Galileo isimli proje ile birlik tarafından kontrol edilen bir GPS sistemi oluşturulmaya çalışılmaktadır [36,37].

GPS teknolojisi kullanılarak gerçekleştirilen geniş alanda haberleşmede, dünya yörüngesindeki uydular vasıtasıyla, uygun teknolojik donanımına sahip araçların, nerede olursa olsun, konumlarını belirlemek mümkün olmaktadır. Bu aşamadan sonra mikrodalga frekansları veya Mobil İletişim İçin Küresel Sistem (Global System for Mobile Communications, GSM) teknolojisi aracılığıyla, mikrodalga frekanslarının kullanıldığı uygulamalara benzer bir anten sistemi vasıtasıyla araç içindeki donanım ile haberleşme sağlanarak tahsilât işlemi tamamlanmaktadır. Geniş alanda haberleşme, ağırlıklı olarak, fiyatın kat edilen mesafeye bağlı olarak belirlendiği ve tahsil edildiği uygulamalarda kullanılmaktadır [35-37].

GPS teknolojisi, önemli avantajları bulunmasına rağmen, son derece pahalı bir teknolojidir. Kısa mesafeli haberleşme ile mikrodalga frekansları kullanılan uygulamalarda araç içi biriminin maliyeti yaklaşık 20 Euro iken, GPS tabanlı bir araç içi biriminin maliyeti 150 Euro ile 800 Euro arasında değişmektedir. GPS teknolojisi açısından sıkıntı yaratan bir başka nokta ise araç içi birimi ile uydu arasındaki haberleşmenin, dağlık araziler, tüneller, çok katlı binaların bulunduğu kentler gibi yerlerde kesintiye uğrayabilmesi tehlikesidir [36].

3.3.3.3. Video kamera tabanlı sistemler

Elektronik otomatik tahsilât sistemlerinde kullanılan teknolojilerden bir başkası video kamera tabanlı sistemlerdir. Özellikle Londra tıkanıklık fiyatlandırmasındaki kullanım şekliyle ön plana çıkan bu sistemlerde, diğer teknolojilerde ihlal takibi işlevini gören video kameralar kullanılmaktadır. Video kamera tabanlı sistemlerin kullanıldığı uygulamalarda, araçların plakaları okunarak dijital veriye dönüştürülmekte ve daha sonra bu veri ödeme yapmış araçlara ait veri tabanı ile karşılaştırılmaktadır. Buradan hareketle, bu sistemlerin ön ödemeli özellikte olduğunu söylemek mümkündür. Bu sistemlerin en büyük avantajı herhangi bir araç içi birimine ihtiyaç duyulmamasıdır. Ayrıca, normal şartlarda, plakaların yalnızca 2 saniyelik bir süre okunabilmesi ile saatte 1800 araca varan bir trafik akımı için dahi okuma yapmak mümkün olabilmektedir. Öte yandan, kötü hava koşulları veya kirlilik sebebiyle plakaların okunmasında yaşanan zorluklar, elde edilen görüntülerin başka amaçlarla kullanılması riskine bağlı olarak ortaya çıkan özel hayata müdahaleye yönelik kaygılar bu sistemlerin başlıca dezavantajları olarak görülmektedir [36,37].

3.4. Tıkanıklık Fiyatlandırması Tipleri

Bir tıkanıklık fiyatlandırması uygulamasının; uygulamanın hedefleri, mevcut teknolojik altyapı, çevresel koşullar, ulaşım altyapısının durumu vb. gibi unsurlara bağlı olarak farklı tipleri bulunmaktadır. Hiç şüphesiz teknolojik gelişmeler ve özellikle elektronik otomatik tahsilât sistemlerinin varlığı uygulama tipleri açısından yeni açılımlar yaratmaktadır. Bu teknoloji sayesinde örneğin; fiyatın tüm uygulama süresi boyunca sabit tutulması yerine, saatler göre değişken olarak tahsil edilmesi gibi uygulamalar mümkün olabilmektedir.

3.4.1. Tek bir ulaşım tesisinin fiyatlandırılması

Tek bir ulaşım tesisinin fiyatlandırılması, dünyada yaygın olarak kullanılan klasik fiyatlandırma yöntemidir. Çoğunlukla, bir ulaşım ağında önem arz eden bir yol veya köprü, tünel gibi sanat yapıları bu şekilde fiyatlandırılmaktadır [7]. Bu tip bir fiyatlandırma uygulamasının trafik yönetimi fonksiyonu yoktur. Burada öncelikli amaç, pahalı ulaştırma altyapısının maliyetinin karşılanması ve kullanıcıların bu

pahalı yatırımın getirdiği avantajlardan bir bedel karşılığında faydalanabilmelerinin sağlanmasıdır. Ülkemizde, İstanbul'daki Boğaziçi ve Fatih Sultan Mehmet köprülerinin yanı sıra, otoyollarda uygulanan fiyatlandırma bu tiptedir.

3.4.2. Kordon fiyatlandırması

Kordon fiyatlandırması Singapur ve Stockholm'deki fiyatlandırma uygulamalarında kullanılan bir yöntemdir. Bu uygulamada, belirlenen bir kordon her türlü geçiş karşılığında ücret tahsil edilmektedir [7]. Kordon hattı belirlenirken genellikle, kentin merkezi iş alanını çevreleyen bir konum seçilmesi uygun olmaktadır. Kordon fiyatlandırmasında, kordon hattının içerisinde kalan alanın kullanımı değil, yalnızca hattan geçiş yapılması durumu değerlendirilmektedir. Dolayısıyla kordon hattı içerisinde seyahat eden araçlar, kordon hattından geçiş yapmadıkları sürece fiyatlandırmaya tabi değildir. Fiyat yapısı Stockholm uygulamasındakine benzer olarak değişken olabileceği gibi, tüm saatler için sabit de olabilmektedir [38].

3.4.3. Alan fiyatlandırması

Kordon fiyatlandırması ile benzerlik gösteren alan fiyatlandırmasında, sınırları kordon hattı benzeri bir hat ile belirlenmiş olan bir alan içerisindeki kullanım fiyatlandırılmaktadır [7]. Bu yöntem trafiğin, merkezi iş alanı veya kent merkezi gibi bölgelerde kontrol altında tutulması açısından kordon fiyatlandırmasından daha etkin bir yöntemdir. Alan fiyatlandırmasında, araçlar ilgili alanı çevreleyen kordon hattı içerisine giriş yaptıkları andan itibaren fiyatlandırmaya tabi olmaktadır. Londra tıkanıklık fiyatlandırması, alan fiyatlandırması uygulamasının tipik bir örneğidir.

3.4.4. Yaratılan dışsal etkiye bağlı fiyatlandırma

Yaratılan dışsal etkiye bağlı fiyatlandırma yönteminde, motorlu araç sürücülerinden, belirli bir alan içerisinde seçilen dışsal etkileri yarattıkları ölçüde ücret tahsil edilmektedir [7]. Bu yöntemde öne çıkan dışsal etkiler hava kirliliği ve gürültüdür. Teknik açıdan değerlendirme yapıldığında belirli bir alan içerisinde motorlu araçların zararlı madde emisyon miktarlarının veya oluşturdukları gürültünün dB(A) değerinin anında ölçülmesi ve bu ölçüme bağlı bir tahsilât sistemi kurulması son derece güçtür. Bir kentin merkezinde gerçekleştirilen kordon veya alan fiyatlandırması benzeri

uygulamaların, trafikte sağlayacağı azalmaya bağlı olarak gürültü ve hava kirliliği gibi dışsal etkilerde de azalma sağlayacağı açıktır. Gerçekten de Stockholm ve Londra tıkanıklık fiyatlandırması uygulamalarının, trafik tıkanıklığı yanında dışsal etkiler açısından da olumlu etkileri olduğu görülmüştür [22,24]. Buradan hareketle, teknik olarak bu derece güç bir fiyatlandırma uygulamasını gerçekleştirmenin çok gerçekçi olmadığını söylemek mümkündür. Bu tip bir uygulamanın dünyada hiçbir örneği olmaması da bu savı desteklemektedir.

3.4.5. Şerit yönetimi uygulamaları (Managed lanes)

Şerit yönetimi kavramı Amerika Birleşik Devletleri'nde çeşitli örneklerine rastlanan bir kavramdır. Şerit yönetimi, çeşitli idari ve tasarımsal uygulamaların birlikte gerçekleştirilmesi ile bir karayolunun daha etkin kullanılmasının sağlanmasıdır. Şerit yönetimi uygulamaları kapsamında yüksek doluluk şeritleri (HOV lanes), otobüsler veya ağır taşıtlar için tahsisli şeritler, otoyollara erişim denetimi (Ramp metering), kısıtlı kullanımlı şeritler gibi uygulamalar yer almaktadır. Amerika Birleşik Devletleri'nde en yaygın uygulama yüksek doluluk şeritleri uygulamasıdır (Şekil 3.9). Bu uygulamada karayolundaki belirli sayıda şerit, yolcu sayısı belli bir adedin üstünde olan araçlara tahsis edilmektedir. Genellikle en az iki yolcu şartı aranırken, zirve saatlerde bu şartın en az üç yolcuya çıkarılması söz konusudur. Bu uygulama trafik miktarı ve diğer gereklere bağlı olarak, değişik şekillerde tasarlanmaktadır. Normal şeritlerden fiziksel engeller ile tamamen ayrılmış şeritler, zirve saatlerdeki talebe bağlı olarak sabah ve akşam farklı yönlerde hizmet veren şeritler, yalnızca kaplama üzerine çizilmiş işaretler ile ayrılmış şeritler bu farklı tasarımlardan birkaçıdır.

Yüksek doluluk şeritleri, yalnızca yolcu sayısı şartını sağlayan araçlara tahsis edilebileceği gibi, daha az sayıda yolcusu olan araçlara bir fiyat karşılığı kullanılacak şekilde de tasarlanabilmektedir. Bu durumda “Yüksek Doluluk Fiyatlandırması” adını alan bu uygulama elektronik otomatik sistemler kullanılarak yürütülmektedir. Yüksek doluluk fiyatlandırmasının ardında yatan gerekçe, kapasitesinin çok altında kullanılan yüksek doluluk şeritlerinin kullanım miktarının artırılmasıdır. Burada ilgili şeritlere olan talebin gereğinden fazla artması ile bu şeritlerde de trafik tıkanıklığı yaşanmaya başlanması tehlikesi söz konusudur. Bu tehlikenin ortadan

kaldırılması için yüksek doluluk şeritlerindeki trafik miktarına bağlı olarak değişiklik gösteren, dinamik bir fiyatlandırma uygulaması yürütülmesi tercih edilmektedir [39].



Şekil 3.9 : Ortadaki iki şeridi, yüksek doluluk şeritleri olan bir uygulama (Dallas) [39].

Amerika Birleşik Devletleri'nde son yıllarda yaygınlaşmaya başlayan bir başka şerit yönetimi uygulaması ise tahsisli şerit uygulamasıdır (Şekil 3.10). Şeritlerin tahsis edildiği başlıca iki motorlu araç türü otobüsler ve ağır taşıtlardır. Otobüsler için tahsisli şerit uygulaması yapılarak, gecikmelerin azaltılması suretiyle otobüs işletmesinin performansının artırılması amaçlanmaktadır. Ağır taşıtların genel trafik akımı üzerindeki olumsuz etkilerinin ve ağır taşıtlardan kaynaklanan yol güvenliğini azaltıcı unsurların ortadan kaldırılması ise bu araçlar için şerit tahsisi yapılmasının başlıca gerekçesidir [39].

Amerika Birleşik Devletleri'nde yaygın olan ve Avrupa'da da çeşitli ülkelerde ilgi çeken bir uygulama ise otoyollara erişim denetimi uygulamasıdır. Amerika Birleşik Devletleri'nde ilk olarak 1960'lı yıllarda gündeme gelen otoyollarda erişim denetimi uygulamalarının sayısı, 2005 yılı itibariyle 2.200'e ulaşmıştır. Uygulama, Fransa, Almanya, Belçika gibi çeşitli Avrupa ülkelerinde ise 1980'li yıllarda ilk kez uygulanmaya başlanmıştır [40]. Bu uygulamada otoyol ve benzeri önem arz eden ve trafik tıkanıklığı yaşanan ana yollara bağlantı yollarından, katılım trafik ışıkları ve elektronik sistemler vasıtasıyla sınırlandırılmaktadır. Böylece ana yolun kapasitesinde kullanımının sağlanması ve bu yolda aşırı trafik tıkanıklığı yaşanmasının önlenmesi

amaçlanmaktadır [40,41]. Katılım yollarındaki trafik ışıkları gerek ana yoldaki, gerekse katılım yolundaki trafik durumunu dikkate alan bir algoritmaya sahip bir sistem ile idare edilebilmektedir [41].



Şekil 3.10 : Ağır taşıtlar için bir tahsisli şerit uygulaması (Los Angeles) [39].

Otoyollara erişim denetimi başlıca üç yöntem ile uygulanmaktadır. Bunlardan birincisi, belirlenen talep durumuna bağlı olarak, sabit bir şekilde her gün aynı saatlerde gerçekleştirilen uygulamadır. Bunun yanında, trafik durumuna bağlı olarak anında ve otomatik olarak müdahale gerçekleştirilen uygulamalar ile trafik akımını etkileyen herhangi bir olaya bağlı olarak, gerektiğinde müdahale gerçekleştirilen uygulamalar da söz konusudur [40].

3.4.6. Kat edilen mesafeye bağlı fiyatlandırma

Kat edilen mesafeye bağlı fiyatlandırma, Amerika Birleşik Devletleri'nde ve çeşitli Avrupa ülkelerinde, genellikle ağır taşıtlar için geçerli olacak şekilde düzenlenmiş bir fiyatlandırma yöntemidir. Bu uygulamada fiyat bir yol veya belirli bir alan içerisinde kat edilen mesafeye bağlı olarak tahsil edilmektedir. Kat edilen mesafeye bağlı fiyatlandırmanın iki şekilde gerçekleştirilmesi mümkündür. Birinci yöntemde, fiyatlandırma yalnızca ağır taşıtlara yöneliktir. Bu yöntemde yalnızca kat edilen mesafe değil, taşıtın ağırlığı da dingil yükleri, toplam ağırlık veya tekerlek cinsi gibi faktörler dikkate alınmakta ve fiyat bu iki unsurun bir bileşeni olarak belirlenmektedir. Ağır taşıtların özel bir fiyatlandırmaya tabi tutulmasının gerekçeleri

açıktır. Bu taşıtlar, diğer taşıtlara oranla hem yol kaplamasına daha fazla zarar vermekte ve hem de daha fazla zararlı madde emisyonları yapmaktadır [42,43]. Yalnızca ağır taşıtlara yönelik fiyatlandırma uygulamalarının dünyadaki örnekleri arasında Avusturya, İsviçre ve Almanya'daki uygulamalar ön plana çıkmaktadır. 2001 yılında hayata geçirilen İsviçre uygulamasında, ülke sınırları içerisindeki tüm yollarda 3,5 tondan ağır taşıtlardan, yüklü ağırlığı ve emisyon miktarına göre, kilometre başına 0,57 ile 0,74 € arasında değişen tutarlarda fiyat tahsil edilmektedir. Uygulamanın yürütülmesinde, hem mikrodalga frekansları, hem de GPS teknolojilerinden faydalanılmaktadır. 2004 yılında başlanan Avusturya uygulamasında ise ülke sınırları içindeki otoyolların tamamında ve bazı başka önemli yollarda, 3,5 tondan ağır taşıtlardan, dingil sayısına göre değişiklik göstermek üzere, kilometre başına ortalama 0,22 € tutarında fiyat tahsil edilmektedir. Bu uygulamadaki teknoloji ise mikrodalga frekanslarıdır. Avrupa'da yalnızca ağır taşıtlara yönelik en yeni uygulama 2005 yılından itibaren geçerli olan Almanya uygulamasıdır. Bu uygulamada yalnızca GPS teknolojilerinden faydalanılmaktadır. Fiyat, ülke sınırları içindeki tüm otoyollarda seyreden 12 tondan daha ağır taşıtlar için geçerlidir. Fiyat ise dingil sayısı ve zararlı madde emisyonlarının miktarına göre değişiklik göstermek üzere kilometre başına ortalama 0,124 € tutarındadır [42,44].

Kat edilen mesafeye bağlı fiyatlandırma için ikinci yöntem, tüm araçları kapsayan bir uygulamadır. Kapsamı dikkate alındığında böyle bir fiyatlandırma uygulamasının akaryakıt vergilerine alternatif oluşturabilecek bir özelliği bulunmaktadır. Fiyatın çeşitli ölçütlere göre değişiklik göstermesi durumunda ise uygulamanın, çeşitli vergilere (Araç alım vergisi, yıllık ödenen motorlu taşıt vergisi vb.) alternatif oluşturabilmesi söz konusu olmaktadır [42].

3.5. Tıkanıklık Fiyatlandırmasının Kabul Edilebilirliği

Bireyler, çoğunlukla politikacılar veya yerel yöneticiler gibi merciler tarafından gerçekleştirilen uygulamalar veya alınan kararlar neticesinde normal yaşantılarının herhangi bir kesitinin etkilenmesi durumunda, bu uygulamaya veya karara tepki gösterme eğilimindedirler. Bu tip durumlara modern kent yaşantısının herhangi bir düzeyinde rastlanabilmektedir. Günümüzde, modern kent yaşantısının belki de en

önemli unsuru haline gelen ulaştırma, böyle karar veya uygulamalara sıkça konu olmaktadır.

Bireylerin tepki vermesinin söz konusu olduğu bir uygulamanın amacına ulaşması ve başarı sağlamasının en önemli gerekliliklerden biri uygulamanın bireyler arasında kabul görmesidir. Kabul edilebilirlik olarak adlandırılabilen bu kavramın tanımı, yalnızca doğrudan doğruya uygulamayı kabul etmeyi içermemektedir. Kabul etmenin yanında, uygulamanın hedeflerini algılama ve bu hedeflere ulaşılmasının sağlanması için aktif katılım gösterme de bu kavramın bir parçasıdır [45].

Tıkanıklık fiyatlandırmasının kabul edilebilirliğinde, uygulamanın toplum ve politikacılar (Karar vericiler) tarafından kabul görmesi önemlidir. Toplumsal kabul edilebilirlik ve politik kabul edilebilirlik birbiriyle ilişkili olmakla birlikte her iki grubun farklı yaklaşımları vardır. Politikacılar, ulaşım planlaması hedeflerine ulaşan ve maksimum gelir elde edilen bir uygulama isterken, bireyler herhangi bir uygulamanın, her şeyden önce, ilave bir maddi yük olmaksızın gerçekleştirilmesini tercih etmektedirler. Bu noktada politikacılar açısından ciddi bir ikilem bulunmaktadır. Tekrar seçilebilmek için, bireylerden oy alması gereken politikacıların, kolaylıkla, popülist bir yaklaşıma yönelmesi mümkündür [46]. Diğer taraftan Londra tıkanıklık fiyatlandırması uygulamasında olduğu gibi, politikacılar toplumdan belli düzeyde kabul gören bir tıkanıklık fiyatlandırması uygulamasını, tüm karşı çıkışlara rağmen, hayata geçirebilmekte ve ulaşılan olumlu sonuçların da katkısıyla yeniden seçilebilmektedirler. 2000 yılında yapılan seçimlerde Londra kentinin belediye başkanı seçilen Ken Livingstone, 2003 yılında tıkanıklık fiyatlandırması uygulamasını hayata geçirmiş, özellikle uygulama odaklı bir karşı kampanyaya rağmen, 2004 yılında yapılan seçimlerde, neredeyse 2000 yılındaki oy oranını yakalayarak yeniden belediye başkanı seçilmiştir [47]. Buradan da görüldüğü gibi politik kabul edilebilirliği düşünmeksizin, bireylerin faydasına olan bir uygulama, yalnızca kararlı ve sağlam bir politik duruş ile dahi, tüm tepkilere rağmen yürütülebilmektedir.

Fiyatlandırmanın kabul edilebilirliği açısından politik kabul edilebilirlikten daha önemli olan unsur toplumsal kabul edilebilirliktir. Trafik tıkanıklığının olumsuz etkileri tüm bireyler tarafından genel olarak kabul gören bir konu olmasına rağmen, tıkanıklık fiyatlandırması, toplumsal kabul edilebilirliği son derece düşük olan bir

uygulamadır [48]. Bu durumun çok çeşitli sebepleri vardır. Bu sebepler arasında, tıkanıklık fiyatlandırmasının bir tür vergi olarak algılanması ve yeni vergilere karşı oluşan yaygın önyargı, uygulamanın amacına ulaşabileceğine inanmama, özellikle elektronik otomatik sistemlerin kullanıldığı uygulamalarda gerek yöntemin karmaşık gelmesi ve gerekse özel hayata müdahale edildiğinin düşünülmesi, fiyatlandırma uygulamasının tüm bireyler için eşit uygulanmadığına ve adil olmadığına inanılması gibi unsurlar yer almaktadır [7,45]. Bir tıkanıklık fiyatlandırması uygulaması için toplumsal kabul edilebilirlik düzeyini belirleyen çeşitli faktörler bulunmaktadır:

3.5.1. Trafik tıkanıklığının önemli bir problem olduğunun kabul edilmesi

Bir probleme çözüm üretilmesinin ilk adımı, problemin varlığının kabul edilmesidir. Bu önerme tıkanıklık fiyatlandırması için de geçerlidir. Tıkanıklık fiyatlandırması uygulamasının kabul edilebilirliği ve başarısı ancak ve ancak trafik tıkanıklığı sorunun bireyler tarafından önemli bir sorun olarak görülebilmesine bağlıdır. Günümüz koşullarında, özellikle büyük kentlerde oturan bireyler arasında trafik tıkanıklığı sorunu yaşamayan ve bunu bir problem olarak görmeyenlerin sayısı yok gibidir. Öte yandan, çözüme yönelik bir adım olsa da, problem olduğunun kabul edilmesi ile kabul edilebilirlik arasında doğrudan bir ilişki kurmak da güçtür [45,49].

3.5.2. Sorumluluk bilinci

Bireylerin trafik tıkanıklığının önemli bir problem olduğunu kabul etmesi kadar önemli olan ve bununla ilişkili olan bir unsur bireylerin trafik tıkanıklığı problemi için ne kadar ve ne açıdan sorumluluk duyduklarıdır. Trafik tıkanıklığı problemi için duyulan sorumluluk iki boyutludur. Birinci boyut problemin artmasından sorumlu olma durumudur. Bu boyut, tek başına, problem olduğunu kabul etme ile ilişkilidir ve benzeri bir özellik arz etmektedir. Sorumluluğun ikinci boyutu, trafik tıkanıklığı problemleri için üretilen çözümlerde rol alma, sorunun bir parçası olduğu kadar çözümün de bir parçası olma sorumluluğudur [45,49]. Modern toplumlarda, pek çok birey küresel ısınma, hava kirliliği vb. gibi çevresel etkiler açısından gittikçe artan bir duyarlılık sergilemekte ve bu konuda çözümler üretilebilmesi için her şeyi karar vericilerden beklemeden gerek bireysel gerekse toplu halde olarak çeşitli faaliyetler gerçekleştirmektedir. Trafik tıkanıklığı problemi açısından ise, durum biraz farklıdır. Bireyler sorunun bir parçası olduklarını kabul etseler de çözümü, çoğunlukla karar

vericilerden beklemektedirler. Dünyada her yıl 22 Eylül’de düzenlenen ve katılımın yalnızca gelişmiş ülkelerle sınırlı kaldığı “Araçsız Gün” organizasyonu bireylerin çözümde de sorumluluk alması açısından güzel bir örnektir [50]. Bu tip uygulamaların yaygınlaşması ve bireyler arasında çevresel etkilere benzer bir duyarlılığın oluşması ile tıkanıklık fiyatlandırması gibi uygulamaların kabul edilebilirliği artacaktır.

3.5.3. Karar vericiler ile bireylerin amaçlarının çatışması

Tıkanıklık fiyatlandırması uygulaması, bireylerin motorlu araçları ile yaptıkları yolculukları sınırlamayı amaçlayan bir uygulamadır. Bu sınırlama ile ilave maddi kaynak yaratılması veya çevresel etkilerin en aza indirilmesi gibi çeşitli başka faydaların da sağlanması mümkündür. Uygulamanın faydaları ortada olmasına rağmen, tıkanıklık fiyatlandırması, bireylerin motorlu araçları ile yolculuk yaparak gerçekleştirdikleri çeşitli faaliyetleri de dolaylı yünden sınırlamaktadır. Bu noktada karar vericilerin amaçları ile bireylerin arzuları arasında bir çatışma ortaya çıkması söz konusudur. Bu çatışmanın boyutu da tıkanıklık fiyatlandırması uygulamasının kabul edilebilirliğine etki eden faktörlerden biridir [45,49].

3.5.4. Uygulama hakkında yeterli bilgiye sahip olma

Tıkanıklık fiyatlandırmasının kabul edilebilirliğini şekillendiren faktörlerden biri bireylerin uygulama ile ilgili yeterli düzeyde bilgi sahibi olmalarının sağlanmasıdır. Çok açıktır ki; bireylerin, yöntemini, amaçlarını, sınırlarını ve olası faydalarını bildikleri uygulamaları kabullenmeleri, hiçbir bilgi sahibi olmadıkları uygulamaları kabullenmelerine göre çok daha kolaydır. Bu noktada, tıkanıklık fiyatlandırması uygulanmasının beklenen olumlu etkilerinin tüm yönleriyle (Çevresel etkiler vb.) vurgulanmasının kabul edilebilirliği önemli düzeyde arttırması söz konusudur [45,48,49].

3.5.5. Gelirlerin doğru kullanılması

Tıkanıklık fiyatlandırması uygulaması ile bireylerin ödediği tutarlar sayesinde belli bir gelir elde edilecektir. Bu gelirin hangi harcama kalemlerinde kullanılacağı uygulamanın kabul edilebilirliği açısından son derece kritik bir noktadır. En akılcı

yaklaşım, trafik tıkanıklığının azaltılması için gerçekleştirilen bir uygulama sonucunda elde edilen gelirlerin, yine bu konuda bir yatırım için kullanılması olsa da; özellikle büyük kentlerde, sürekli yatırım gerektiren sayısız ihtiyaç bulunmaktadır ve bu gelirlerin o ihtiyaçlar için de harcanması söz konusu olabilmektedir. Öte yandan, elde edilen gelirlerin ulaştırma yatırımlarına harcanması pek çok birey tarafından verdiği paranın bir geri dönüşümü olarak algılanmakta ve böylece tıkanıklık fiyatlandırmasının kabul edilebilirliği önemli ölçüde artmaktadır. Bu noktada önemli bir başka konu ise şeffaflıktır. Tıkanıklık fiyatlandırması ile elde edilen gelirin ve bu gelirin harcandığı alanların düzenli olarak ilan edilmesi ile bu tip uygulamalara karşı mevcut olan genel şüpheciliğin aşılması ve kabul edilebilirliğin arttırılması mümkün olmaktadır [45,48].

3.5.6. Eşitlik (Equity)

Tıkanıklık fiyatlandırmasında eşitlik fayda ve zararların eşit ve adil olarak paylaşımı açısından önemlidir. Eşitlik ile ilgili değerlendirmelerin temelinde John Rawls tarafından geliştirilen adalet teorisi yer almaktadır. Rawls'ın adalet teorisinin üç temel prensibi bulunmaktadır. Bunlardan birincisi özgürlük prensibidir. Buna göre her birey, diğer bireylerin sahip olduğu kadar özgürlüğü olması hakkına sahiptir. Farklılık prensibi olarak adlandırılan ikinci prensipte bireyler arasındaki eşitsizliklerin ancak, farklı sınıflardan insanlara özel bir ayrıcalık olarak sunulmaması durumunda rastgele bir durum olarak kabul edilebileceği ifade edilmiştir. Fırsat eşitliği prensibi adı verilen üçüncü prensipte ise bireylere avantaj yaratması söz konusu olan eşitsizliklerden faydalanma imkanının tüm bireyler için aynı olması gerektiği belirtilmektedir [51,52].

Rawls'ın adalet teorisi eşitlik kavramının ulaştırma disiplinine doğrudan doğruya uyarlanabilen üç türünü ortaya koymaktadır: Mekansal Eşitlik, Yatay Eşitlik, Düşey Eşitlik.

Mekansal eşitlik Rawls'ın özgürlük prensibinin ulaştırma disiplini için eşdeğeridir. Bu prensibin ulaştırma discipline uyarlanması durumunda, her bireyin her türlü iş, mal ve hizmete herhangi bir konumdan ulaşabilmesi hakkı olduğu söylenebilmektedir [52]. Mekansal eşitliğin, birbirine komşu veya yakın, kentler veya bölgeler arası eşitlik olarak da tanımlanması mümkündür. Örneğin; yalnızca birinde tıkanıklık

fiyatlandırması uygulanan birbirine komşu iki kentteki bireyler ulaşım arzularını gerçekleştirirken farklı koşullar ile karşı karşıya olacaklardır [48]. Böyle bir durumda mekansal eşitlik bulunmamaktadır.

Yatay eşitlik Rawls'ın fırsat eşitliği prensibinin ulaşırma disiplini için eşdeğeridir. Yatay eşitlikte kıyaslanan bireyler gelir durumu vb. gibi özellikleri ile aynı sosyal tabakada olan bireylerdir. Burada, aynı sosyal tabakada olan bireylerin her türlü fırsatı değerlendirmede ve avantajdan faydalanmada veya maliyeti yüklenmede eşit şartlarda olması koşulu mevcuttur. Yatay eşitlik prensibinin tam karşılığı, bir hizmet kullanan bireyin bunun bedelini ödemesidir. Tıkanıklık fiyatlandırması uygulaması, hedef bölgedeki trafik koşullarında iyileşmelere yol açacak ve bu iyileşmelerden yalnızca bedel ödeyen bireyler değil bedel ödemeyen bireyler de faydalanacaktır. Bu durumda aynı sosyal tabakadan olan bireyler arasında, bir grup birey maddi bir yükümlülük karşılığında fayda sağlarken, aynı faydayı başka bir grup birey hiçbir maddi yük olmasızın sağlayacaktır. Bu durum, tanımı gereği, yatay eşitliğin sağlanmadığı bir durumdur [53].

Düşey eşitlik ise Rawls'ın farklılık prensibinin ulaşırma disiplini için eşdeğeridir. Burada kıyaslanan bireyler farklı sosyal tabakalardaki bireylerdir. Ulaştırmada düşey eşitlik, farklı sosyal tabakalardaki bireyler arasındaki farklılıkların, herhangi bir ulaşırma politikasına yansıtılması ile sağlanmaktadır. Fiyatın sabit tutulduğu bir fiyatlandırma uygulamasında; fiyatın gelir düzeyi yüksek bireyler ile gelir düzeyi düşük bir bireylerin bütçelerine etkileri farklı olmaktadır. Bu durumda düşey eşitlik sağlanamamaktadır [53].

Yalnızca tıkanıklık fiyatlandırması değil, herhangi bir ulaşırma politikası ile ilgili planlama yapılırken, eşitlik konusunda, yukarıda verilen farklı durumlar dikkate alınmalıdır. Her farklı ulaşırma politikası için, yukarıdaki eşitlik prensiplerinden birinin veya birkaçının sağlanabilmesi farklı şekillerde olmaktadır. Tıkanıklık fiyatlandırmasında her üç eşitlik prensibinin de sağlanmasında etkisi olan unsur, uygulamadan elde edilen gelirlerin kullanımıdır. Gelirlerin kullanımı kabul edilebilirliği de etkileyen önemli bir faktördür. Bir tıkanıklık fiyatlandırması uygulamasında gelirlerin iki parçalı olarak kullanımı olumlu sonuçlar verecektir. Gelirlerin bir kısmının karayolu ağında yapılacak iyileştirmeler için kullanılması suretiyle, daha önce de değinildiği gibi, fiyatlandırmanın herhangi bir vergiden farklı

olduğunu göstermek ve özel araçları ile seyahat etmeyi tercih eden bireylerin koşullarını daha da iyileştirmek mümkündür [54]. Gelirlerin diğer kısmının toplu taşıma sistemine aktarılması ise, fiyatlandırma uygulaması neticesinde özel araçlarını kullanmayı bırakacak olan gelir düzeyi görece düşük bireylerin lehine bir yaklaşımdır [48]. Böylece hem bu bireylerin tür değişimi nedeniyle yaşadıkları fayda kaybı bir miktar telafi edilmiş olacak, hem de toplu taşıma sisteminin iyileştirilmesi sağlanmış olacaktır [54].

3.5.7. Bireysel tercihler

Yapılan araştırmalar bireylerin özel araçları ile aralarında özel bir bağ olduğunu ortaya koymuştur [48]. Özel araçlar, bireylerin ulaşım ihtiyaçlarını gidermenin yanında statü, saygınlık unsuru ve bir eğlence aracı olarak da algılanmaktadır. Ayrıca, özel araç sahibi olan bireylerin, yolculuk etme özgürlüklerini doğrudan özel araçları ile ilişkilendirmeleri ve özel araçlarını kullanmaları ile ilgili herhangi bir müdahale durumunda, bu müdahaleyi doğrudan doğruya yolculuk etme özgürlüklerine bir müdahale olarak değerlendirdikleri de görülmüştür.

Bireyler arasında kaygı uyandıran bir başka unsur ise özel hayata müdahaledir. Elektronik sistemlerin kullanıldığı fiyatlandırma uygulamalarında, çeşitli gerekçelerle video kameralar kullanılmaktadır. Video kameralar araçların görüntüleri kaydetmekte ve bu görüntüleri belirli bir süre saklamaktadır. Görüntülerin kayıt edilmesi ve saklanması ise bazı bireyler tarafından özel hayatın gizliliğinin ihlali olarak algılanmaktadır [48].

3.5.8. Tıkanıklık fiyatlandırmasının kabul edilebilirliğini arttırmak için gerçekleştirilebilecek diğer uygulamalar

Tıkanıklık fiyatlandırmasının kabul edilebilirliğini arttırmak için yukarıda belirtilen unsurların gözetilmesi şarttır. Öte yandan, yapılabilecek şeyler bu unsurların gözetilmesi ile sınırlı değildir. Uygulamanın hayata geçirilmesi sürecinde, fiyatlandırmayı aşamalı olarak yapmak, bireylerin uygulamaya alışması ve kabullenmesi için faydalı bir yöntemdir. Buna benzer olarak, Stockholm tıkanık fiyatlandırmasında olduğu gibi bir pilot uygulamaya başvurmak da kabul edilebilirlik açısından avantajlar yaratabilmektedir. Yazılı ve görsel basının da desteğini alarak;

bireylere uygulamanın faydalarının ve yönteminin anlatıldığı, bireylerin yükümlülüklerinin açıklandığı büyük bilgilendirme kampanyaları, toplumsal kabul edilebilirliğe olumlu katkı sağlaması yanında bireylerin çeşitli şüphelerini de giderecek bir fonksiyona sahiptir. Londra tıkanıklık fiyatlandırması uygulamasına benzer olarak, uygulamanın her süreci ve gelecekte yapılması söz konusu olan her değişiklik için bir danışma mekanizması kurulması; sivil toplum kuruluşları, üniversiteler gibi birimlerden görüş alınması da fiyatlandırma uygulaması ile ilgili bir uzlaşya ulaşılmasını sağlayacaktır [46].

3.5.9. Tıkanıklık fiyatlandırmasının kabul edilebilirliğinin İstanbul açısından değerlendirilmesi

Ülkemizde ve İstanbul’da, ulaşım talebi yönetimi politikalarının bireyler açısından kabul edilebilirliği genel olarak düşüktür. Bunun başlıca sebepleri arasında, toplanan gelirlerin kullanımı ile ilgili kaygılar, vergi ve benzeri uygulamalara karşı gösterilen geleneksel tepki, ulaştırmaya yönelik projelerin toplumun değişik katmanlarında tartışılmadan uygulamaya konması gibi unsurlar yer almaktadır. İstanbul’da hayata geçirilecek bir fiyatlandırma uygulamasının sosyal düzeydeki kabul edilebilirliğinin arttırılabilmesi için çeşitli yöntemler mevcuttur. Bu yöntemlerin başında, hiç şüphesiz, şeffaflık gelmektedir. Uygulamanın amacı, elde edilen gelirlerin harcama alanları gibi bireyler için önemli olan konuların açık ve net şekilde açıklanması ve verilen sözlere sadık kalınması şarttır. Bunun yanında fiyatlandırmanın hedef kitlesi, yöntemi, tahsilât sistemi gibi teknik konular kolay ve anlaşılabilir olmalıdır. Tahsil edilecek fiyatın tutarı, kullanıcıların cezalandırılacağı durumlar, indirimler ve muafiyetler eşitlik ilkesi gözetilerek belirlenmelidir. Tüm bunların dışında; İsveç’in Stockholm kentindeki uygulamaya benzer olarak, bireyleri sisteme alıştırmak ve (eğer istenirse) bireylerin görüşlerini almak amacıyla bir deneme uygulaması yürütmenin de son derece faydalı olacağı açıktır.

İstanbul kentinin toplu taşıma sisteminin durumu, fiyatlandırma uygulamasının kabul edilebilirliği ve uygulanabilirliği açısından kritik önem arz eden bir konudur. Kentte bir fiyatlandırma uygulaması hayata geçirilmesi durumunda, günlük yolculuklarını özel otomobilleri ile yapmaktan vazgeçen sürücülerin önemli bir kısmının yolculuklarını toplu taşımayı kullanarak yapmaya başlamaları beklenen bir durumdur. Bu durumda bu kullanıcılara, tatmin edici düzeyde rahat, dakik ve

konforlu bir toplu taşıma hizmeti sunulması şarttır. Kentin mevcut toplu taşıma sisteminin sunduğu hizmetin düzeyi bu konuda soru işaretleri yaratmaktadır. İstanbul kentinin ulaşım sorununa çözüm getirilmesi amacıyla yürütülen başta Marmaray olmak üzere çok sayıda çalışma mevcuttur. Bu çalışmaların mevcut eksiklikleri giderme ve tıkanıklık fiyatlandırmasının kabul edilebilirliğini arttırma yönünde önemli katkısı olacağı düşünülmektedir.

4. TRAFİK TIKANIKLIĞININ EKONOMİK ANALİZİ

4.1. Ulaştırmada Denge Kavramı

Ulaştırma da denge kavramı pek çok ulaştırma planlaması çalışmasının temelini oluşturan önemli bir kavramdır. Dengenin fizikteki tarifi ile ulaştırmadaki tarifi arasında, kavramsal olarak önemli bir fark bulunmamaktadır. Fizikte, bir cismin dengede kalabilme şartı, cisme etkiyen tüm dış kuvvetlerin bileşkesinin sıfır olmasıdır. Diğer bir deyişle, cisme mevcut durumunu değiştirecek herhangi bir kuvvet etkimemektedir. Öte yandan, dengede olmayan bir cisim, üzerine etkiyen kuvvetler vasıtasıyla denge durumuna yönelecektir. Benzeri şekilde, denge durumunda olmayan bir ulaştırma sisteminde trafik akımlarının, güzergâh değiştirme mekanizması ile denge koşuluna yöneleceğini söylemek mümkündür. Denge durumuna erişmiş bir ulaştırma sisteminde ise trafik akımlarının değişmesi söz konusu olmayacaktır [55].

Herhangi bir yol için denge şu şekilde tanımlanabilmektedir: Bir yolda herhangi bir anda, yolu kullanma yönünde bir talep söz konusu olacaktır. Bu talebin, yolun geçirebileceği trafik akımından fazla olması durumunda; trafik koşulları kötüleşecek ve bu yolu kullanmanın ortalama maliyeti artacaktır. Bu durumda, bahsedilen yolu kullanma yönündeki talepte, yolun geçirebileceği trafik akımından daha da düşük değerlere kadar inebilecek, bir azalma görülecektir. Böylece yoldaki trafik koşulları iyileşecek ve talepte yeniden bir artış yaşanacaktır. Bu değişim sürecinde öyle bir talep değeri vardır ki; talep, yolun geçirebileceği trafik akımına eşittir. İşte bu durumda yoldan geçen akıma, denge akımı denilir [56].

Bir ulaştırma sisteminin verdiği hizmetin düzeyi ulaştırma sisteminin kullanım durumuna, diğer bir deyişle ulaştırma sistemindeki trafik akımlarına bağlı olarak değişmektedir. Ulaştırma sisteminin fazla miktarda kullanılması, bu kullanımın sistemin kapasitesini aşması yani bir tıkanıklık durumu olması; diğer bir deyişle

trafik akımlarının yüksek olması halinde, sistemin verdiği hizmetin düzeyi önemli oranda düşecektir. Pahalı ve geri dönüşümü olmayan ulaştırma yatırımlarında hizmet düzeyi ile trafik akımı yani talep arasındaki ilişki son derece önemlidir. Ulaştırma sisteminin talebi karşılayacak kapasitede olmaması, tıkanıklıklara ve son derece düşük bir hizmet düzeyine, talepten fazla kapasite sunulması ise gereksiz bir maliyet artışına sebep olacaktır. Dolayısıyla, bir ulaştırma sisteminin analizinde en önemli noktalardan birinin talep ile arz arasındaki ilişkinin incelenmesi olduğunu söylemek mümkündür. Ulaştırmada dengenin araştırılması, ulaştırma talebi ile ulaştırma arzı arasındaki dengenin araştırılmasıdır.

4.2. Wardrop Prensipleri: Kullanıcı Optimumu ve Sosyal Optimumu

Bir ulaştırma ağında, herhangi bir başlangıç-son çifti arasında yolculuk yapan sürücülerin, güzergâh seçimi yaparken, rasyonel bir yaklaşım ile yolculuk maliyetlerini minimum yapmaya çalışacaklarını kabul etmek mümkündür. Öte yandan, ulaştırma ağındaki herhangi bir güzergâhı kullanmanın maliyeti ve bu güzergâhı oluşturan bağlantılardaki yolculuk süreleri, bağlantıların tercih durumu ile ortaya çıkan trafik akımlarına bağlı olarak değişecektir. Dengeli bir duruma ulaşılması ancak, hiç bir sürücünün güzergâh tercihini değiştirmek suretiyle yolculuk süresini azaltamayacağı trafik düzeninde sağlanacaktır. İşte bu durum, kullanıcı optimumu olarak adlandırılmaktadır. Kullanıcı optimumu ilk olarak 1952 yılında J. G. Wardrop tarafından tarif edilmiş ve Wardrop'un birinci prensibi olarak adlandırılmıştır. Wardrop'un tanımına göre, denge koşulları altında bir ulaştırma ağındaki her bir başlangıç-son çiftini birleştiren tüm güzergâhlar arasında, sürücüler tarafından tercih edilenlerde yolculuk süreleri birbirine eşit ve tercih edilmeyenlerden düşük olmaktadır. Wardrop'un tanımladığı diğer denge durumu ise, Wardrop'un ikinci prensibi olarak adlandırılan sosyal optimumudur. Buna göre, sosyal optimumunu sağlayan denge koşulları altında trafik düzeni, ortalama (ya da toplam) yolculuk maliyetinin minimum olacağı şekilde ortaya çıkmaktadır [55,57-63].

Kullanıcı optimumunu karakterize eden önemli bir özellik herhangi bir başlangıç-son çifti arasında, sürücüler tarafından kullanılan tüm güzergâhların ortalama yolculuk sürelerinin birbirine eşit olmasıdır [57,58]. Aynı başlangıç-son çiftini birbirine bağlayan iki farklı güzergâh için; yolculuk süreleri arasında farklılık olması

durumunda, yolculuk süresinin daha uzun olduğu güzergâhı kullanan sürücüler yolculuk süresinin daha kısa olduğu güzergâha geçmek isteyeceklerdir. Bu durumda kullanıcı optimumunun sağlanamadığı görülmektedir [57].

Ulaştırma ağının bütünü göz önüne alındığında, sosyal optimumu açısından, sürücülerin yolculuklarında kullanacakları güzergâhlar ile ilgili tercihlerini etkilemek suretiyle, tüm ağ için optimum olan bir trafik düzenine (Örneğin; toplam yolculuk süresinin minimum yapılması) ulaşmak olasıdır [57]. Bu yaklaşım, ulaşım planlamacıları ve trafik mühendisleri tarafından; trafiği toplam maliyetleri minimum yapacak şekilde düzenlemek ve böylece de sosyal dengeye ulaşmak amacıyla kullanılmaktadır [58]. Sosyal optimumunu karakterize eden önemli bir özellik; herhangi bir başlangıç-son çiftini birleştiren güzergâhlar arasında, kullanıcılar tarafından tercih edilenler için, marjinal yolculuk sürelerinin birbirine eşit olmasıdır. Gerçekten de, aynı başlangıç-son çiftini birbirine bağlayan iki bağlantının marjinal yolculuk sürelerinde farklılık olması durumunda, bağlantılardan birindeki trafik akımının bir kısmının marjinal yolculuk süresinin daha uzun olduğu güzergâhtan daha kısa olduğu güzergâha geçmesi suretiyle yolculuk süresini (maliyetini) azaltmak mümkün olabilecektir [57].

Bir ulaştırma ağındaki bağlantılarda, sosyal optimumunu sağlayan trafik akımlarını elde etmenin istemsiz ve gönüllü olarak adlandırılabilen iki yöntemi bulunmaktadır. İstemsiz sosyal optimumu, bir ulaştırma ağının bütünü için optimumu sağlayacak güzergâh kullanımı düzeninin, sürücülerin ulaşmak istenen trafik düzenine uygun bir davranış sergilemeye mecbur tutulması suretiyle elde edildiği durumdur. Bu tip bir uygulama, ulaştırma ile ilgili kararların merkezi olarak alındığı sistemler için geçerli olmaktadır. Örneğin, endüstriyel lojistik sistemlerinde malların fabrikalardan depolara, oradan da dağıtım merkezlerine ulaştırılması süreci, toplam nakliye maliyetini minimum yapacak şekilde düzenlenebilmektedir. Benzeri yaklaşımlara demiryolu ve bilgisayar ağlarında da rastlamak mümkündür. Gönüllü sosyal optimumu yaklaşımında ise, sürücülerden toplam maliyette neden oldukları artış miktarında fiyat alınması suretiyle, güzergâh seçiminin istenilen bir şekilde gerçekleştirilmesi sağlanmaya çalışılmaktadır. Literatürde bu strateji, tıkanıklık fiyatlandırması olarak da adlandırılmaktadır [57].

4.2.1. Matematik optimizasyon problemi olarak kullanıcı ve sosyal optimumu

Kullanıcı ve sosyal optimumunu ifade edebilmek için, genellikle matematik optimizasyon problemi tarifi yapılmaktadır [55,59,61,64,65]. Bu problemde, ulaştırma ağını oluşturan bağlantılardaki, optimumu sağlayacak q trafik akımlarının ne olacağı araştırılır. Herhangi bir a bağlantısının trafik akımı q_a , bu bağlantıdaki yolculuk maliyeti m_a ve yolculuk süresi t_a ; herhangi bir b - s başlangıç-son çiftini birbirine bağlayan k güzergâhında, trafik akımı q_k^{bs} , yolculuk maliyeti m_k^{bs} , yolculuk süresi t_k^{bs} olmak üzere, k güzergâhındaki yolculuk süresi ve yolculuk maliyeti, (4.1a) ve (4.1b)'de verildiği şekliyle güzergâhı oluşturan tüm bağlantılardaki yolculuk sürelerinin ve yolculuk maliyetlerinin toplamına eşit olacaktır:

$$t_k^{bs} = \sum_a t_a \cdot \delta_k^{bs} \quad (4.1a)$$

$$m_k^{bs} = \sum_a m_a \cdot \delta_k^{bs} \quad (4.1b)$$

Burada δ_k^{bs} , a bağlantısının k güzergâhı üzerinde olması durumunda 1, diğer durumda 0 alınacak bir değişkendir. Bu değişkenin bağıntıya katılması suretiyle, k güzergâhına ilişkin hesapta yalnızca güzergâh üzerinde bulunan bağlantıların alınması sağlanmış olmaktadır. Öte yandan, Wardrop'un birinci prensibine bağlı olarak, güzergâh akımları ile güzergâh yolculuk maliyetleri arasındaki ilişki için (4.2a) ve (4.2b)'de verilen koşullar söz konusu olmaktadır:

$$m_k^{bs} = m_{\min}^{bs} \Rightarrow q_k^{bs} > 0 \quad (4.2a)$$

$$m_k^{bs} > m_{\min}^{bs} \Rightarrow q_k^{bs} = 0 \quad (4.2b)$$

Bir bağlantının trafik akımı ise, o bağlantıyı kullanan tüm güzergâhlardaki akımların toplamı olarak hesaplanabilmektedir. (4.3).

$$q_a = \sum_b \sum_s \sum_k q_k^{bs} \cdot \delta_k^{bs} \quad (4.3)$$

Kullanıcı optimumunun matematik optimizasyon problemi olarak tanımlanmasında kullanılan amaç fonksiyonu, ω optimum şartını sağlayan akım değerini vermek üzere

(4.4a)'da verilmiştir. Kısıtlar ise, d^{bs} başlangıç ve son noktaları arasındaki trafik talebi olmak üzere (4.4b) ve (4.4c)'de gösterilmiştir.

$$\min \quad z(x) = \sum_a \int_0^{q_a} m_a \cdot (\omega) \cdot d\omega \quad (4.4a)$$

$$\sum_k q_k^{bs} = d^{bs} \quad (4.4b)$$

$$q_k^{bs} \geq 0 \quad (4.4c)$$

Bu optimizasyon probleminin çözümü ise k güzergâhındaki ortalama maliyet m_k^{bs} ve optimum ortalama maliyet m^* olmak üzere (4.5) kullanılarak gerçekleştirilmektedir.

$$q_k^{bs} \cdot (m_k^{bs} - m^*) = 0, \quad m_k^{bs} - m^* \geq 0 \quad (4.5)$$

Bu bağıntı incelendiğinde, trafik akımının pozitif değerli olduğu tüm güzergâhlarda yolculuk maliyetinin minimum olduğu görülmektedir. Yolculuk maliyetinin minimum maliyetten büyük olduğu güzergâhlarda ise trafik akımı sıfır olmaktadır.

Sosyal optimumunun matematik optimizasyon problemi olarak tanımlanmasında kullanılan amaç fonksiyonu (4.6a)'da; kısıtlar ise (4.6b) ve (4.6c)'de gösterilmiştir.

$$\min \quad z(x) = \sum_a q_a \cdot m_a \quad (4.6a)$$

$$\sum_k q_k^{bs} = d^{bs} \quad (4.6b)$$

$$q_k^{bs} \geq 0 \quad (4.6c)$$

Bu optimizasyon probleminin çözümü ise; k güzergâhındaki marjinal maliyet $\tilde{m}_k^{bs}$ ve optimum marjinal maliyet $\tilde{m}^*$ olmak üzere (4.7) kullanılarak gerçekleştirilmektedir.

$$q_k^{bs} \cdot (\tilde{m}_k^{bs} - \tilde{m}^*) = 0, \quad \tilde{m}_k^{bs} - \tilde{m}^* \geq 0 \quad (4.7)$$

Bu bağıntı incelendiğinde, trafik akımının pozitif değerli olduğu tüm güzergâhlarda marjinal yolculuk maliyeti sosyal optimumunu veren marjinal maliyete eşittir.

4.3. Stokastik ve Deterministik Yaklaşım

Bireyler yolculukları ile ilgili, güzergâh, yolculuğa başlangıç zamanı gibi konularda tercih yaparken çeşitli faktörlere bağlı olarak karar verirler. Herhangi bir bireyin aldığı kararların, kendisine umduğu veya tahmin ettiği faydayı sağlamasının başlıca şartı, bu bireyin karşı karşıya olduğu koşullar hakkında yeterli bilgiye sahip olmasıdır. Pratikte, gerek ulaştırma ağlarının sürekli güncel ve tam bilgi akışı sağlanamayacak kadar büyük olması ve gerekse koşulların çok sayıda ve sürekli değişen parametreye bağlı olması sebebiyle, bireylerin karşı karşıya bulunduğu koşulları değerlendirmek için sahip oldukları bilgi son derece sınırlıdır.

Ulaştırma planlaması çalışmalarında, bireylerin ulaştırma ağındaki koşullar ile ilgili sahip olduğu bilginin miktarına göre iki durum söz konusudur. Buna göre; bir ulaştırma ağında, herhangi bir başlangıç-son çifti arasında yolculuk yapmak isteyen bireylerin, ulaştırma ağındaki yolculuk maliyetleri ve yolculuk süreleri konusunda tam, mükemmel ve doğru bilgiye sahip olmaları “Deterministik” durum adını almaktadır. Deterministik durumda, bireylerin yolculuklarına dair kararlarının her zaman doğru ve rasyonel olduğu ayrıca, tüm bireylerin tercihlerinde özdeş bir karakter sergilediği ve trafik akımındaki değişikliklerin (Zirve saat aralıklarının tüm günler için aynı olması vb.) sürekli aynı düzeni takip ettiği kabul edilmektedir [57,65].

Deterministik durumun karşıt hali stokastik durumdur. Stokastik durumda bireyler, yolculuk süreleri ve maliyetleri ile ilgili tam ve yeterli bilgiye sahip olmadıkları gibi çeşitli ölçüm yanlışları (Örneğin; yolculuk süresini tahmin etme açısından) yapmaktadırlar. Böylece bireyler, tam olarak bildikleri değil ancak, algıladıkları maliyetleri minimum yapmaya çalışacaklardır [57,65].

Kullanıcı ve sosyal optimumu açısından, bireylerin yolculuk maliyetlerini değerlendirmeleri noktasında yapılan kabuller farklı durumlar ortaya koymaktadır. Dört farklı optimum halinden söz etmek mümkündür: Deterministik Kullanıcı Optimumu, Deterministik Sosyal Optimumu, Stokastik Kullanıcı Optimumu ve Stokastik Sosyal Optimumu. Stokastik optimum durumlarında; kullanıcı optimumu açısından bireylerin algıladıkları yolculuk maliyetini minimum yapma çabasından,

sosyal optimumu açısından ise algılanan maliyetlerin toplamının (ya da ortalamasının) minimum olmasından söz edilebilmektedir.

Gerçekte stokastik ve deterministik durumlar sosyal optimumu açısından yapılan analizlerde çok önemli değildir. Çünkü sosyal optimumunu sağlamak için fiyat tahsil edilmesi gerekliliği ortadadır ve yoğunlukla fiyatların kullanıcılara önceden ilan edildiği kabul edilmektedir. Öte yandan kullanıcı optimumunda sürücülerin tam ve mükemmel bilgiye sahip olması ve olmaması arasında önemli farklar bulunmaktadır.

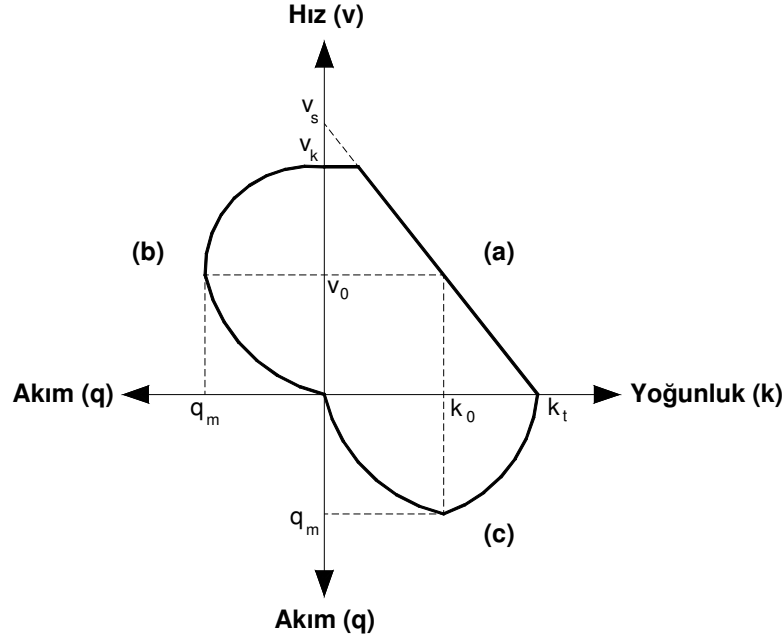
4.4. Marjinal Maliyet Fiyatlandırması: Birinci En İyi Optimumu

Ulaştırma altyapısı sınırlı bir kapasiteye sahiptir. Trafik tıkanıklığı, bir yolun kullanıcılarının artması ile beraber, yolun sınırlı kapasitesi sebebiyle; kullanıcıların yoldaki hareketlerinin engellenmeye başladığında ortaya çıkar. Kapasitesi sınırlı olmasına rağmen, pahalı ulaştırma altyapısı yatırımlarının etkin bir şekilde kullanılabilmesi ancak yeterli kullanıcı sayısı sağlanması durumunda gerçekleşebilecektir. Buradan hareketle, bir yolda belirli oranda trafik tıkanıklığı yaşanmasının istenen bir durum olduğunu söylemek mümkündür. Ancak, burada ne düzeyde tıkanıklığın uygun olduğu sorusu karşımıza çıkmaktadır ve bu soruya cevap verebilmek için trafik tıkanıklığının modellenmesi gerekmektedir.

Bir yoldaki trafik akımı ile ilgili olarak, gözlem suretiyle elde edilebilecek büyüklükler; birim zamanda yoldan geçen araç sayısı N (araç/saat), yol uzunluğu X (km) ve süre T (saat) değişkenleridir. Trafiğin temel değişkenleri olarak adlandırılabilen bu büyüklüklerin matematik modellerde doğrudan doğruya kullanılamaması sebebiyle, trafik akımı ile ilgili analizlerde, temel değişkenlerden her birinin sonsuz küçük yapılması suretiyle elde edilen türetilmiş değişkenler kullanılır. Trafik akımının türetilen değişkenleri; yoğunluk k (araç/km), hız v (km/saat) ve akım q (araç/saat) büyüklükleridir. Bu değişkenler arasında (4.8)'de verilen ilişki mevcuttur:

$$q = v \cdot k \quad (4.8)$$

Zamandan bağımsız ve statik koşullarda, (4.8)'de verilen ilişkinin kullanılması suretiyle, trafik akımının türetilen değişkenleri arasındaki ilişkinin toplu bir grafik olarak gösterimi Şekil 4.1'de verilmiştir.



Şekil 4.1 : (a) Hız-yoğunluk, (b) Hız-akım ve (c) Akım-yoğunluk grafikleri [60].

Türetilmiş değişkenler arasındaki ilişkinin açıklanmasına, “Trafik akımının temel grafiği” olarak da adlandırılan [60,66-70] hız-yoğunluk ($v-k$) grafiği kullanılarak başlanır (Şekil 4.1a). Bu grafik; hızın, trafik yoğunluğunun artmasına bağlı olarak monoton bir şekilde azaldığını göstermektedir. Trafik yoğunluğunun teorik olarak sıfır veya çok düşük olduğu durumlarda, araçların yapabileceği maksimum hız serbest hız v_s değeri olabileceken, yasal hız kısıtlamaları ve araçların teknik özellikleri ile ortaya çıkan v_k değerini alabilmektedir. Yoğunluktaki artış ile birlikte, hızda düşüş yaşanmakta ve yoğunluğun maksimum değerine ulaştığı noktada (k_t) hız teorik olarak sıfır olmaktadır. Hız-yoğunluk grafiğine bağlı olarak elde edilen hız-akım ($v-q$) ve akım-yoğunluk ($q-k$) grafikleri de Şekil 4.1b ve c’de gösterilmiştir.

Trafik akımı, yola giriş yapan araçların sayısına ve trafik akımının hızına bağlı olarak değişmektedir ve bu değer düşük olduğu durumlarda, yüksek hızlara ulaşmak mümkün olabilmektedir. Yola giriş yapan araçların sayısında artış olmasıyla birlikte, araçlar birbirlerinin seyir hızlarını etkilemekte ve birbirlerini yavaşlatmaya başlamaktadır. Yola giren araçların sayısındaki artışın devam etmesi ile birlikte, seyir

hızlarındaki azalma devam etse de, akımda bir süre daha artış olacaktır. Bunun sebebi, ilave araçların katılımının seyir hızlarındaki düşüşü belirli bir düzeye kadar karşılayabilmesidir. Hız-akım grafiğindeki q_m noktası yolun geçirebileceği maksimum akım değerini göstermektedir. Trafik akımının, q_m ve civarındaki değerlerinde; trafikte kararsız bir yapı ile tipik trafik tıkanıklığı koşulları ve durkalklar gözlenmektedir. Araçların yola giriş yapmaya devam etmesi durumunda ise hız ve akım değerlerinde ilave düşüşler görülecektir. Akımın daha da düşmesi ile birlikte ise seyir hızları artmaya başlayacak ve trafik akımı, hız-akım grafiğinin üst kolunda değerler alacaktır [14,66]. Böylece, hız-akım grafiğinin, sık kullanılan ismiyle, “geriye doğru bükülen” kısmı elde edilmiş olmaktadır [60,63,67,68,70].

Trafik tıkanıklığı ile ilgili ekonomik analizlerde hız-akım eğrisinden faydalanılmaktadır. Hız-akım ilişkisi; şerit genişliği, eğim, yol geometrisi, yasal hız limiti, hava koşulları, trafikte seyreden araç kompozisyonu vb. gibi faktörlere bağlı olarak değişmektedir [14]. Ekonomik analiz yapmak amacıyla, hız-akım eğrisi kullanılarak maliyet-akım eğrisinin elde edilmesi işlemi ilk olarak Walters tarafından gerçekleştirilmiştir [71]. Günümüzde, bu yaklaşım halen kullanılmaktadır ve pek çok araştırmaya konu olmuştur [14,60,63,66-68,70,72-77].

Hız-akım eğrisi kullanılarak bir maliyet fonksiyonuna ulaşabilmek için, öncelikle bu eğri, zaman-akım eğrisine dönüştürülmelidir. Hız değişkeni (4.9)’da verilen ifade ile hesaplanmaktadır:

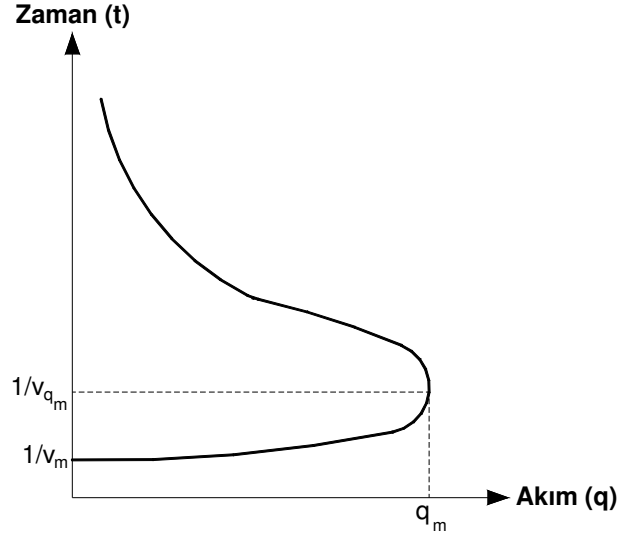
$$v = \frac{x}{t} \quad (4.9)$$

Burada, x (m) yol uzunluğunu ve t (sn) zamanı göstermektedir. Birim yol uzunluğu için ($x = 1$ m) hız ile zaman değerleri birbirinin tersidir (4.10):

$$v = \frac{1}{t} \quad (4.10)$$

Buna göre, hız-akım eğrisi kullanılarak zaman-akım eğrisinin elde edilebilmesi için, v - q grafiği yerine $1/v$ - q grafiğini çizmek yeterli olmaktadır (Şekil 4.2). Zaman-akım grafiğinden maliyet-akım grafiğine geçmek için ise, eğrinin zaman eksenindeki değerlerinin, yolculuk süresinin ekonomik karşılığı olarak adlandırılan zaman değeri ile çarpılması ve elde edilen maliyete sabit maliyetlerin (Birim mesafe başına parasal

değer cinsinden) eklenmesi gerekmektedir. Böylece, yatay ekseninde yer alan akım değişkenine karşılık, dikey ekseninde maliyet değerleri yer almış olacaktır. Eğri oluşturulurken; zaman değeri ve sabit maliyetlerin, tüm kullanıcıları temsil etmek üzere ortalama değerler ile ifade edilmesi suretiyle “Ortalama Maliyet (OM) Eğrisi” elde edilebilmektedir.

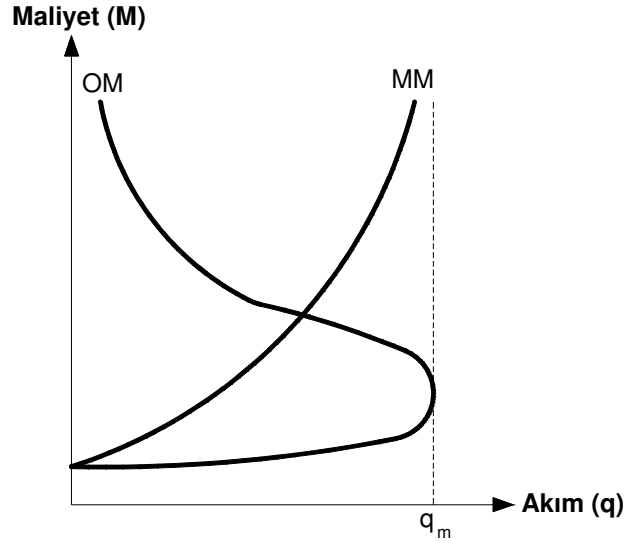


Şekil 4.2 : Zaman-akım grafiği [66].

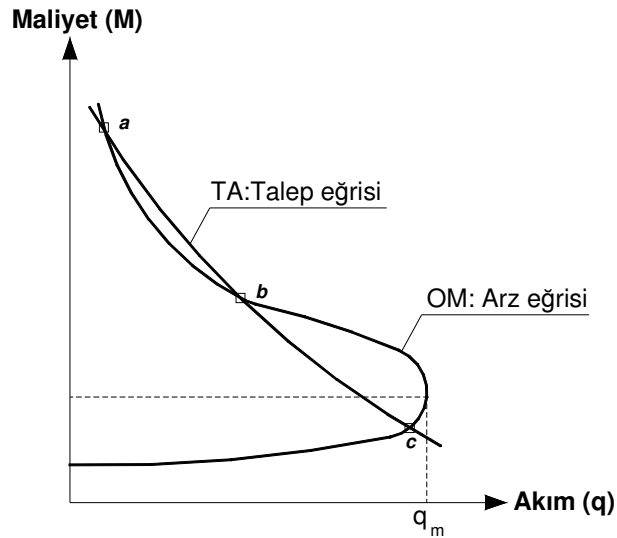
Marjinal maliyet (MM) trafiğe katılan her yeni araç için hesaplanan bir maliyet büyüklüğüdür. Trafik akımının düşük değerlerinde ortalama maliyete yakın değerler alan marjinal maliyet, akımın artmasına bağlı olarak trafik tıkanıklığının da artması ile birlikte her yeni araç için bir önceki araçtan daha büyük değerler alacaktır. Böylece marjinal maliyet eğrisi, trafik hacminin yüksek değerlerinde ortalama maliyet eğrisine göre daha dik bir şekilde olacaktır. Trafik akımı maksimum değerine (kapasiteye) ulaştığında veya yaklaştığında; daha yüksek bir akım değerine erişebilmek, diğer bir deyişle, ilave bir aracın trafik akımına katılması mümkün olamayacağı için, marjinal maliyet eğrisi de sonsuza yakınsar [66]. Marjinal maliyet eğrisi ve ortalama maliyet eğrisinin genel hali Şekil 4.3’de gösterilmiştir.

Trafik tıkanıklığı ve tıkanıklık fiyatlandırmasının ekonomik analizinin başlangıç noktası, trafik akımının, yolun birim zamanda arz ettiği yolculuk sayısı olarak tariflenmesidir. Böylece, maliyet-akım grafiğinin elde edilmesi ile beraber, herhangi bir yolun kullanımı için ekonomi kuramındaki “arz eğrisi” ortaya konulmuş olmaktadır. Bu ekonomik analizin altyapısını tamamlayabilmek için, arz eğrisine

ilave olarak talep (TA) eğrisini de belirlemek şarttır. Maliyet-akım ilişkisinin ulaştırma talebi açısından yorumlanması durumunda; yolculuk maliyetinin artması ile birlikte trafik talebinin ve dolayısıyla da trafik akımının azalma göstereceğini söylemek mümkündür. Yolculuk maliyeti ile trafik talebi arasındaki bu ilişkinin maliyet-akım grafiğindeki gösterimi ise “ters talep eğrisi” olarak nitelendirilen bir forma sahip olacaktır. Maliyet-akım grafiğinde, talep eğrisinin, ortalama maliyet eğrisi (arz eğrisi) ile birlikte gösterimi Şekil 4.4’de sunulmuştur.



Şekil 4.3 : Maliyet-akım grafiği üzerinde marjinal ve ortalama maliyet eğrileri [66].



Şekil 4.4 : Maliyet-akım grafiğinde talep ve arz eğrileri [66].

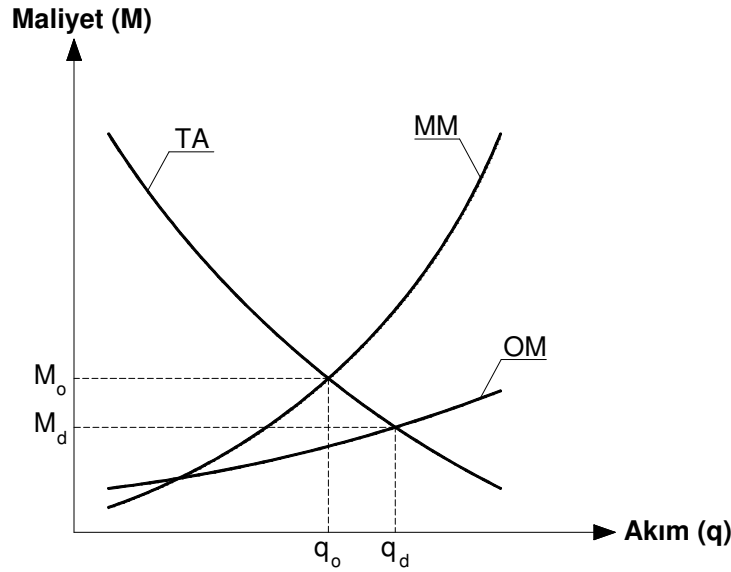
Ortalama maliyeti trafik akımına bağlı olarak, (4.11)’de gösterildiği şekilde ifade etmek mümkündür:

$$OM = M(q) = M_0 + \alpha \cdot \frac{L}{v(q)} \quad (4.11)$$

Burada; α kullanıcılar için ortalama zaman değerini, $v(q)$ hızın akım cinsinden değerini (Hız-akım ilişkisinden elde edilen şekliyle) ve M_0 sabit maliyetleri ifade etmektedir. Öte yandan, trafik talebini ise, yine trafik akımına bağlı olarak, Şekil 4.4’de verilen eğrisel formda olmak üzere $T(q)$ olarak ifade etmek mümkündür.

Ekonomi kuramında, talep ve arz eğrilerinin kesiştiği noktalar “denge noktaları” olarak adlandırılır. Denge noktalarının ekonomideki karşılığı, talep ve arzın birine eşit olmasıdır. Şekil 4.4’de verilen talep ve arz eğrileri ise a , b ve c noktalarında kesişmektedir. Talep ve arz eğrilerinin kesiştiği a ve b noktaları, trafik akımının, daha sonra değinilecek olan hipertıkanık olduğu koşullara aittir. Optimum akımın araştırıldığı, klasik ekonomik analizlerde, ortalama maliyet eğrisinin hipertıkanık akıma karşı gelen kısmı ve dolayısıyla talep ve arz eğrilerinin bu bölümdeki kesişim noktaları ihmal edilmektedir.

Ortalama maliyet eğrisinin hipertıkanık akıma karşı gelen kolunun ihmal edilmesi ve Şekil 4.4’de verilen ulaşırmada talep ve arz eğrilerine ilave olarak marjinal maliyet eğrisinin de çizilmesi ile beraber; trafik tıkanıklığının ekonomik analizine ait temel grafiğe ulaşılmış olur (Şekil 4.5).



Şekil 4.5 : Talep ve ortalama maliyet ile marjinal maliyet eğrileri [14].

Ekonomide marjinal maliyet, üretimin bir birim arttırılması durumunda toplam maliyette olan artışı ifade etmektedir. Diğer bir deyişle marjinal maliyet (4.12)'de verildiği şekilde ifade edilebilmektedir:

$$\text{Marjinal Maliyet} = \frac{\text{Toplam Maliyetteki Değişim}}{\text{Toplam Çıktıdaki Değişim}} = \frac{\Delta M}{\Delta Q} \quad (4.12)$$

Ulaştırma talebi ve arzı söz konusu olduğunda marjinal maliyeti; trafik akımına en son katılan aracın (kullanıcısının), trafik akımına daha önce katılmış olan diğer araçların (kullanıcılarının) tamamı üzerinde yarattığı ilave maliyet olarak tanımlamak olasıdır.

Marjinal maliyetin matematik bağıntısına ulaşmak için (4.11)'de genel hali verilen ortalama maliyet yeniden tanımlanacaktır. Buna göre; temsili bir araç için, yolculuk edilen km başına düşen ortalama yolculuk maliyeti (4.13)'de verilmiştir:

$$m = a + \frac{b}{v} \quad (4.13)$$

Burada; a yolculuk edilen km başına düşen ve çeşitli bileşenlerden oluşan sabit yolculuk maliyetini, b temsili aracın temsili kullanıcısının zaman değerini ve v temsili aracın hızını ifade etmektedir.

Birim zamanda; trafik akımı, diğer bir deyişle trafikteki toplam araç miktarı q ise, toplam maliyet M , (4.14)'den hesaplanabilir:

$$M = m \cdot q \quad (4.14)$$

Trafik akımına ilave bir araç katılması durumunda toplam maliyette ortaya çıkacak değişim, bir başka deyişle marjinal maliyet, (4.15)'de gösterilmiştir:

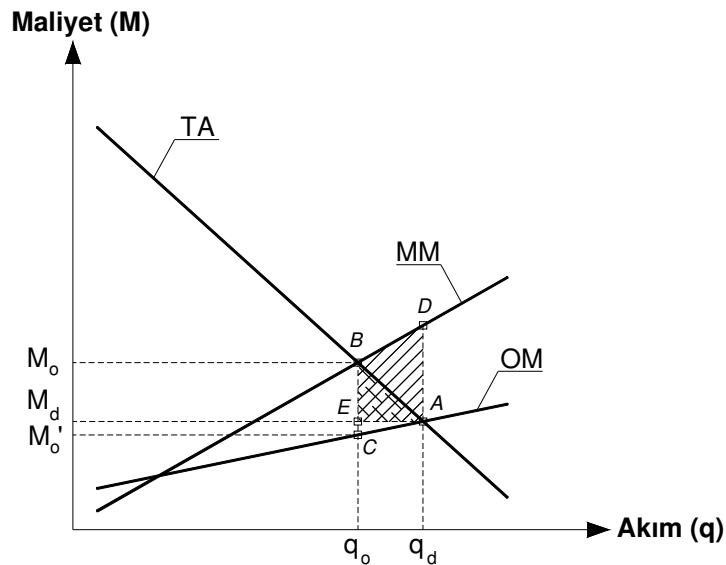
$$MM = \frac{dM}{dq} = m \cdot \frac{dq}{dq} + q \cdot \frac{dm}{dq} = m + q \cdot \frac{dm}{dq} \quad (4.15)$$

(4.15)'den yola çıkarak; marjinal maliyetin, $q \cdot (dm/dq)$ terimi ile ifade edildiği görülmektedir. Trafik tıkanıklığı ve tıkanıklık fiyatlandırması ile ilgili analizlerde; incelenen yoldaki trafik koşullarına uygun bir hız-akım ilişkisi belirlenip; (4.13),

(4.14) ve (4.15) kullanılarak yapılacak hesaplamalar ile, optimum fiyat değerinin sayısal olarak elde edilmesi mümkündür [14,60].

Bir yolu kullanan sürücüler için ortalama değerler alınması suretiyle elde edilen ortalama maliyet eğrisi; her yeni kullanıcının yola giriş yaptığında karşı karşıya kalacağı maliyeti de temsil etmektedir. Bu özelliği ile ortalama maliyet eğrisinin, marjinal özel maliyet eğrisi de olduğunu söylemek olasıdır. Öte yandan, talep eğrisi; tüm özellikleri ile özdeş olan yol kullanıcılarının, tek farklı özelliği olan yolu kullanmak için ödemeye razı oldukları fiyatı göstermektedir. Talep eğrisinin, bu özelliği ile marjinal özel faydaları temsil ettiği söylenebilir [14,78].

Şekil 4.6'da ortalama maliyet, marjinal maliyet ve talep eğrileri için basitleştirilmiş bir gösterim sunulmuştur. Literatürde, bu gösterimin kullanılması suretiyle, trafik tıkanıklığı için optimum durumların neler olduğu ve bir tıkanıklık fiyatlandırması uygulaması için optimum fiyat değerinin ne alınması gerektiği ile ilgili çok sayıda çalışma mevcuttur [14,60,66,72-77,79]. Şekil 4.6 incelendiğinde, doğal dengenin, ortalama maliyet ile talep eğrilerinin kesiştiği, A noktasında ortaya çıkacağı görülmektedir. Bu noktada trafik akımına katılan marjinal (son) kullanıcı, yolu kullanması ile elde edeceği faydaya eşit bir maliyet miktarı ile karşı karşıyadır. Bu noktadan sonra trafik akımına katılan sürücüler ise, faydalarına oranla daha yüksek bir maliyet yüklenmek zorunda kalacaklardır. Buradan hareketle, A noktası için kullanıcı optimumu noktası denilebilir.



Şekil 4.6 : Talep eğrisi ve arz eğrilerinin basitleştirilmiş gösterimi [14].

Kullanıcı optimumu noktası ile sosyal optimumu noktası birbirinden farklıdır. Bu durumu açıklayabilmek için öncelikle marjinal maliyet eğrisinin ne anlama geldiği yorumlanmalıdır. Ekonomi literatüründe, marjinal maliyet eğrisi, marjinal sosyal maliyet eğrisi olarak kabul edilmektedir. Bu kabulün sebebi, marjinal maliyetin tanımından ileri gelmektedir. Daha önce değinilen bu tanımdan yola çıkarak; trafik akımına son katılan aracın, o anda trafikte seyir halinde bulunan diğer araçların kullanıcılarına, akıma yeni katılan ilave bir aracın varlığı sebebiyle getirdiği ilave maliyetin (Yolda geçirilecek ilave süre sebebiyle) bu eğri ile ifade edildiği söylenebilmektedir. Trafik akımına son katılan araç hariç, trafik akımının tamamını ilgilendirmesi, marjinal maliyet eğrisini, marjinal sosyal maliyet eğrisine eşit kılmaktadır. Şekil 4.6'daki B noktası marjinal sosyal maliyet eğrisi ile talep eğrisinin kesiştiği noktadır. Yukarıdaki açıklamalar ışığında, bu noktanın sosyal optimumu noktası olduğunu söylemek mümkündür. Bu nokta ile temsil edilen trafik akımına ulaşılmasından sonra trafik akımına katılan her ilave araç için yaratılan sosyal maliyet, elde edilen sosyal faydadan daha büyük değerler alacaktır. Kullanıcı optimumu olan A noktası sosyal optimum açısından incelendiğinde ise; bu noktada sosyal maliyetlerin sosyal faydalardan DA uzunluğu kadar fazla olduğu, diğer bir deyişle, DA farkından kaynaklanan aşırı tıkanıklık olduğu görülmektedir.

Kullanıcıların, yolculuk tercihlerini belirleme ve kararlarını alma sürecinde yalnızca, karşı karşıya kaldıkları maliyetleri dikkate alacakları açıktır. Halbuki, toplumun tamamını ilgilendiren ve ekonomik faaliyetlerin temel birimlerinden biri olan ulaştırmanın, ekonomik yönden toplumun tamamı için optimum olan bir durumda olması lazımdır. Tekrar Şekil 4.6'ya dönersek; bu durumun, yani sosyal optimumunu sağlayan trafik akımının B noktasına karşı gelen q_o değerinde olması gerektiği görülmektedir. Trafik akımının q_o değerini almasını sağlamak için, kullanıcılardan, BC farkına denk düşen bir fiyat tahsil edilmesi söz konusu olmaktadır. Şekil 4.6 incelendiğinde BC farkının, trafik akımının q_o değerini aldığı durumda marjinal maliyet ile ortalama maliyet arasındaki fark olduğu görülür. Yolu kullanma karşılığında BC farkına denk düşen bir fiyat tahsil edilmesi ile trafik akımına katılan kullanıcılardan, trafik akımında seyretmekte olan diğer kullanıcılar üzerine getirdikleri ilave maliyet karşılığı bir fiyat alındığı görülmektedir. Marjinal maliyet fiyatlandırması olarak adlandırılan bu uygulama ile trafik tıkanıklığına sebep olan

her bir kullanıcının, diğer kullanıcılar üzerinde oluşturduğu dışsal etkinin içselleştirilmesi amaçlanmaktadır.

Bir yolu kullanma karşılığında kullanıcılardan, marjinal maliyet ile ortalama maliyet arasındaki fark kadar fiyat tahsil edilmesi ile, trafik akımının q_d değerinden q_o değerine gerileyeceği yani, kullanıcı sayısında $q_d - q_o$ kadar azalma olacağı görülmektedir. Bu kullanıcıların fiyatlandırma sayesinde veya sebebiyle yolu kullanmaktan vazgeçtikleri anlaşılmaktadır. Trafik akımındaki bu düşüş ile beraber ortaya çıkan kazanç ise; azalan trafik akımı sonucunda azalan maliyetler ile azalan faydalar arasındaki farktır. Şekil 4.6’da taralı olarak verilen DBA üçgeni, fiyatlandırma ile elde edilen kazancı göstermektedir. Bu kazancın nasıl değerlendirildiği, fiyatlandırmanın toplumda kabul görmesi konusunda başlıca unsurlardan biridir.

Marjinal maliyet fiyatlandırmasına kullanıcı bazında değerlendirme yapıldığında, bazı kullanıcıların ekonomik anlamda daha kötü bir duruma geldiği görülmektedir. Fiyatlandırma sonucunda, yolu kullanmaya devam eden, birim zamanda q_o adet kullanıcının yolculuk maliyeti Şekil 4.6’da verilen BE farkı kadar artış gösterecektir. Öte yandan yolu kullanmaktan vazgeçen, birim zamanda $q_d - q_o$ adet kullanıcı için toplam ekonomik kayıp, Şekil 4.6’da taralı olarak gösterilen BEA üçgenidir [60,73].

Kullanıcıların ödeyeceği fiyatın marjinal maliyete göre belirlenmesinin temelleri 1920 yılında Prof. Arthur C. Pigou tarafından atılmıştır. Bu yöntem pek çok kaynakta “Pigou Vergisi” (Pigouvian Tax) olarak adlandırılmaktadır [1,14,60,69,72-74,77,79,80].

4.5. İkinci En İyi Optimumu

Ekonomide optimum arayışı çok sayıda araştırmaya konu olmuştur. Bireyleri ve bireylerden oluşan toplumu ilgilendiren ekonomik analizlerde “refah teorisi” denilen bir yaklaşım kullanılmaktadır. Burada, incelenen ekonomik olay veya olayların hem bireylerin, hem de toplumun faydasına olan etkileri incelenmekte ve değerlendirilmektedir. Refah teorisi yaklaşımının öncülerinden biri, kendi adı ile anılan ve çeşitli şartlara bağlı olan bir optimum durumunu tanımlamış olan Vilfred Pareto’dur. Pareto optimumuna göre refah, hiç kimsenin durumunu kötüleştirmeden

bazı kişilerin durumunun iyileştirilebilmesi halinde artar. Kimsenin durumunu kötüleştirmeden bir kişinin dahi durumunu iyileştirme imkanı kalmadığı halde ise refah maksimuma ulaşmış sayılır. Pareto yaklaşımının önemli bir eksikliği, bireylerden bazılarının durumunu iyileştirip, bazılarınınkini kötüleştiren değişikliklerin refah düzeyine olan etkisini değerlendirememesidir. Ekonomide birinci en iyi optimumu denilen denge koşulunu, Pareto optimumunun sağlandığı koşullar olarak tanımlamak mümkündür.

İkinci en iyi optimumu, birinci en iyiden sapmalar sonucunda ortaya çıkan bir kavramdır. Optimumdan sapmayı; bozukluk, mükemmel olmayan durum, optimumdan ayrılma, optimumdan uzaklaşma veya sık olarak kullanılan ek kısıtlar kavramlarından biri ile açıklamak mümkündür. Birinci en iyi optimumu belli bir refah fonksiyonunun alışılmış kısıtlar altında maksimum yapılması ile elde edilmektedir. Pareto optimumu açısından alışılmış kısıtlar iki tanedir:

- Hiç kimsenin refah düzeyi, başkasının refah düzeyi azaltılarak arttırılamayacaktır.
- Eşyanın tabiatı gereği olarak; kaynaklar sınırlıdır ve üretim açısından bazı teknolojik sınırlamalar bulunmaktadır.

Birinci en iyiye ancak bu kısıtlamalar altında ulaşmak mümkündür. Bunlar dışında kalan ve maksimum yapma probleminde değişkenlerin hareket serbestisini etkileyen tüm kısıtlar ek kısıt sayılacaktır. Gerçekte de, ek kısıt bulunması marjinal koşullardan en az birinin gerçekleştirilememesi anlamına gelmektedir ve diğer bir deyişle optimumdan sapma olmaktadır. Buradan hareketle, matematiksel olarak ikinci en iyi sorunu bir Pareto optimumu modeline, marjinal koşullardan birinin sağlanamayacağını gösteren bir ek sınırlama konulmasıyla elde edilir.

Optimumdan sapmalar veya marjinal koşulların gerçekleştirilememesinin nedenlerini, davranışsal ve çevresel olmak üzere iki grupta toplamak mümkündür. Davranışsal nedenler; faydanın maksimum yapılması dışındaki davranışları işaret etmektedir. Çevresel nedenleri ise devlet tarafından empoze edilenler ve devlet tarafından empoze edilmeyenler olarak iki sınıfta değerlendirmek olasıdır. Devlet tarafından empoze edilen nedenler arasında vergi, sübvansiyon ve fiyat tespiti gibi durumlar yer alırken; serbest piyasadan sapmalar, teknolojik koşullar, karşılıklı bağımlılıklar gibi nedenler de devlet tarafından empoze edilmeyenler grubuna

girmektedir. Optimumdan sapmalar açısından yapılan bu sınıflamada dikkat edilecek en önemli nokta, davranışsal nedenleri bireysel, çevresel nedenlerin ise toplumsal boyutta olduğudur.

Bir ulaştırma ağı için, birinci en iyi optimumuna ulaşılmasında karşılaşılan ve yukarıda çerçevesi sunulan zorluklara somut birkaç örnek vermek istenirse; bireyler ve sistem koşulları ile ilgili kabullerin ön plana çıktığı görülecektir. Örneğin; birinci en iyi veya Pareto optimumuna ulaşılırken bireylerin tam ve mükemmel bilgiye sahip olması ve bu bilgiyi kullanmak suretiyle rasyonel tercihler yapması şartı, gerçek hayatta sağlanması mümkün olmayan bir şarttır. Genel olarak, bireylerin ulaşım tercihleri incelendiğinde; rasyonel tercih olarak ifade edilen, kararların bağımsız olarak ve faydayı maksimum yapma amaçlı alınması koşulunun pek çok birey tarafından, pek çok durumda gerçekleştirmediği görülmektedir. Dahası rasyonellikten uzak karar alma yaklaşımının bir istisna olmaktan çıkıp bir kural haline gelmesi de söz konusudur. Bireyler tercih yaparken başka bireylerin tercihlerinden etkilenmenin yanı sıra, özellikle gelir düzeyi ile doğrudan ilişkili olarak tutarsız davranışlar sergileyebilmektedirler (Örneğin, yalnızca hava almak için özel otomobili ile zirve saatlerde gezmeye gitmek vb.).

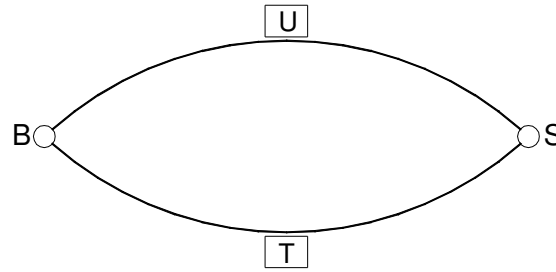
Birinci en iyi optimumu elde edilmesinde, ulaştırma sisteminin koşulları ve özellikleri açısından da önemli güçlükler söz konusudur. Bunlardan en çarpıcı olanı ulaştırmanın, daha doğru bir deyişle, ulaştırma altyapısının bir toplumsal mal olmasıdır. İnşa edilen, yaratılan ulaştırma altyapısı; toplumu oluşturan bireylerin herhangi birisi veya bir grubu için değil, toplumun tamamı içindir. Buna karşılık, ulaştırma altyapısını kullanan bireylerin sağladığı fayda veya tatmin, bireyden bireye farklılık gösterecektir. Bireylerin tamamı tarafından kullanılabilen fakat, her bireyin fayda fonksiyonlarında farklı değer bulan bu sistemin birinci en iyi optimumuna marjinal maliyet yaklaşımı ile ulaşmak olası değildir.

Bir ulaştırma ağının fiyatlandırılmasının birinci en iyi yaklaşımına göre gerçekleştirilmesi durumunda; ulaştırma ağını oluşturan tüm yollardaki maliyetin, marjinal maliyete eşit olmasının sağlanması gerekmektedir. Buradan hareketle, birinci en iyi optimumuna ulaşmak için ulaştırma ağını oluşturan tüm yolların, en azından tıkanık akım koşullarında hizmet verenlerin tamamının, kullanımı karşılığında fiyat tahsil edilmesi gerekli olduğunu söylemek mümkündür. Öte

yandan, ulaştırma ağındaki tüm yolların fiyatlandırılabilmesi için gerekli olan yönetim ve denetim altyapısının tesis edilmesinin maliyeti ve alan kullanımı yüksektir. Özetle, bir ulaştırma ağıının fiyatlandırılması ile ilgili modellemelerde daha gerçekçi bir yaklaşım kullanabilmek için ikinci en iyi optimumu ve bu optimuma ulaşmanın yollarının aranması uygun olmaktadır [73,77,78,81,82].

4.5.1. İkinci en iyi optimumu fiyatlandırması

Birinci en iyi ve ikinci en iyi optimumunun araştırılması ve yorumlanması için sıkça kullanılan bir yaklaşım, Wardrop prensiplerinin tarifinde de kullanılan, aynı başlangıç ve son noktaları arasında bağlantı sağlayan ve birbirinin alternatifi olan iki yol için optimum durumların araştırması suretiyle yapılmaktadır. Bu yollar için bir örnek Şekil 4.7’de gösterilmiştir.



Şekil 4.7 : B ve S noktalarını birbirine bağlayan U ve T yolları [83].

Şekil 4.7’de verilen ve fiziksel özellikleri itibariyle tam ikame edilebilir olduğu kabul edilen iki yol için; $q = q_U + q_T$ olarak toplam talebi, $D(q)$ trafik akımına bağlı olarak değişen talep fonksiyonunu, $m_U(q)$ ve $m_T(q)$ ise her iki yolun trafik akımına bağlı olarak değişen ortalama yolculuk maliyetini göstermek üzere, birinci en iyi optimumuna ulaşmak için her iki yoldan tahsil edilmesi gereken ve (4.15)’deki marjinal maliyet ifadesi kullanılarak elde edilebilen fiyat τ , (4.16)’da gösterilmiştir. Gösterim kolaylığı açısından $df(q)/dq$ türev ifadesi $f'(q)$ olarak belirtilmiştir [14,73,83-85].

$$\tau_i = q_i \cdot m'_i(q_i) \quad , \quad i = T, U \quad (4.16)$$

(4.16) kullanılarak her yol, yolun kullanım durumuna bağlı olarak ortaya çıkan marjinal maliyet tutarında fiyatlandırılmaktadır. Daha önce birinci en iyi

optimumundan ayrılma olarak tarif edilen ikinci en iyi optimumunda ise tüm yolları fiyatlandırmak mümkün olmamaktadır. Bu durumu temsil etmek üzere; T yolunun, kullanımı karşılığında fiyat tahsil edilen, U yolunun ise ücretsiz olarak kullanılabilen bir yol olduğunun kabul edilmesi durumunda, ikinci en iyi optimumu için tahsil edilmesi gereken fiyat (4.17)'de gösterilmiştir [82-84].

$$\tau = q_T \cdot m'_T(q_T) - q_U \cdot m'_U(q_U) \cdot \left(\frac{D'(q)}{m'_U(q_U) - D'(q)} \right) \quad (4.17)$$

(4.17) incelendiğinde; T yolu için, ikinci en iyi optimumuna ulaşmak amacıyla tahsil edilecek fiyatın, aynı yol için marjinal maliyet fiyatlandırması ile tahsil edilmesi gereken tutardan denklemdeki ikinci terim kadar az olduğu görülmektedir. Trafik akımına bağlı olarak değişen trafik talebi ve fiyat tahsil edilmeyen U yoluna ait değişkenler içeren, negatif işaretli bu terimin; T yolunun fiyatlandırılması ile beraber U yolunu kullanmaya başlayacak kullanıcılardan kaynaklanan, saçılma etkisini temsil ettiğini söylemek olasıdır [83].

4.6. Sayısal Örnek Üzerinde Değerlendirme

Trafik talebinin sabit kabul edildiği koşullarda bireylerin, fiyatlandırılmamış durum ile birinci en iyi optimumu fiyatlandırılması durumunda ne tip tercihler yapacaklarının değerlendirilmesi ve bu durumlar arasında bir kıyaslama yapılabilmesi için Şekil 4.7'de verilen basit ulaştırma ağı kullanılarak bir sayısal örnek oluşturulacaktır. Şekildeki U ve T yollarının ikame edilebilir özellikte olduklarının kabul edilmesine bağlı olarak $q = q_U + q_T$ olmaktadır. Toplam q değeri, bu örnekte, 2000 olarak seçilmiştir. U ve T yollarının seçilen ortalama maliyet bağıntıları ise (4.18a) ve (4.18b)'de gösterilmiştir.

$$m_U = 15 + 0,01 \cdot q \quad (4.18a)$$

$$m_T = 10 + 0,02 \cdot q \quad (4.18b)$$

Şekil 4.7'de gösterilen birbirinin alternatifi iki yol için, kullanıcı optimumu durumunda, ortalama maliyetlerin birbirine eşit olacağı prensibinden hareketle elde

edilen, trafik akımı değerleri ile ortalama ve marjinal maliyet değerleri Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1 : U ve T yollarının kullanıcı optimumundaki durumu.

	Yol	
	T	U
q	833	1167
Ortalama Maliyet	26,67	26,67
Marjinal Maliyet	43,33	38,33

Çizelge 4.1’den görülebileceği gibi U yolunu, T yolunun iki katı kadar fazla sayıda kullanıcı tercih etmektedir. Bu sonucun başlıca sebebi, U yolunun daha düşük maliyetli bir yol olmasıdır.

U ve T yollarında, sosyal optimumu durumunda, marjinal maliyet fiyatlandırması uygulanması halinde, bu yolların marjinal maliyetlerinin eşit olacağı prensibine bağlı olarak hesaplanan trafik akımları ve maliyet değerleri ile tahsil edilen fiyatlar Çizelge 4.2’de verilmiştir. Marjinal maliyet fiyatlandırmasının esaslarına bağlı olarak, bu uygulamada her iki yolun da fiyatlandırılması söz konusudur. Bu durumda fiyat, ilgili yolu kullanmanın marjinal maliyeti ile ortalama maliyeti arasındaki farka eşit olmaktadır. Çizelgeden görülebileceği gibi, U yolunu tercih eden kullanıcı sayısı, T yolunu tercih edenlerden yine daha fazla olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 4.2 : U ve T yollarının sosyal optimumundaki durumu.

	Yol	
	T	U
Fiyat	15,00	12,50
q	750	1250
Ortalama Maliyet	25,00	27,50
Marjinal Maliyet	40,00	40,00

İkinci en iyi optimumunu sağlayabilmek amacıyla fiyatlandırma uygulaması gerçekleştirilmesi durumunda iki yoldan yalnızca U yolu fiyatlandırılmalıdır. Bunun sebebi bu yolun hem kullanıcı, hem de sosyal optimumunu sağlayan trafik düzeninde daha fazla tercih edilmesidir.

5. TRAFİK TIKANIKLIĞININ VE TIKANIKLIK FİYATLANDIRMASININ MODELLENMESİ

Trafik tıkanıklığı karmaşık ve dinamik süreçtir. Bu sürecin modellenmesi için yapılan çalışmalarda; gerçek koşulları olabildiğince yansıtan, çözümü göreceli olarak zor bir modelleme yaklaşımının yanı sıra, gerçek koşulların basitleştirilerek temsil edilmesi suretiyle, incelenen problemin özü ve ardında yatan ekonomik prensipler hakkında belirli düzeyde bilgi sağlayan daha basit bir modelleme yaklaşımının kullanılması mümkündür [67]. Geleneksel modelleme anlayışında; yolculuk zamanı ve dolayısıyla trafik tıkanıklığı, trafik akımının monoton değişen bir fonksiyonu olarak ifade edilmektedir. Gerçekte, trafik tıkanıklığı mekânda ve zamanda değişmekte, araç kuyrukları her iki boyutta da uzayıp gitmektedir. Trafik tıkanıklığını zamana ve mekâna bağlı olmayan bir fonksiyon ile ifade etmenin, analizi son derece basitleştireceği açıktır. Buna karşılık, bu yaklaşımın trafikte yaşanan değişimlerin değerlendirilmesinde yetersiz kalması söz konusudur [63].

Trafik tıkanıklığı modellerini iki açıdan ele almak mümkündür: Zirve Talep ve Sürekli Talep. Sürekli talep, yolu kullanma talebinin zamanda değişmediği bir durumu işaret etmektedir. Talep fonksiyonu zamanda sabit ve zamandan bağımsız olarak tanımlanmaktadır. Sürücüler yolculuk zamanlarında değişiklik yapmamakta; yalnızca yolculuk maliyetlerini dikkate almak suretiyle yolculuğu yapıp yapmama konusunda tercih yapmaktadırlar. Zirve talep ise; belirli sayıda kullanıcının, bir yolu aynı zaman diliminde kullanmaları talebi durumuna karşı gelmektedir. Bu durumda sürücüler yolculuğa başlangıç zamanı tercihlerine bağlı olarak oluşan maliyetleri dikkate alarak, yolculuğa başlangıç zamanlarını tercih etmektedirler [67,69].

Trafiğin ve dolayısıyla trafik tıkanıklığının modelleme yöntemleri, zamandaki değişimlerinin göz önüne alınması veya alınmaması durumuna göre; Zamandan Bağımsız Statik Modeller ve Zamana Bağlı Dinamik Modeller olarak iki gruba ayrılmaktadır.

Zamandan bağımsız statik modellerde, bir yol ağının bağlantı ve güzergâhlarındaki trafik akımları, trafiğe ait büyüklüklerin sabit kaldığı koşullarda tespit edilmektedir. Aynı analizler, zamana bağlı modellerde, bu büyüklüklerin sürekli değişiklik gösterdiği koşullarda yapılmaktadır. Zamana bağlı modellerde, denge durumuna ulaşıldığı durumda, trafik akımı incelenen her bir zaman diliminde farklılık gösterecek; buna karşılık, bağlantı ve güzergâhlardaki akımların zaman içindeki değişimi, Wardrop'un birinci prensibi olan kullanıcı optimumunun dinamik yapıya uyarlanmış haline uygun olacaktır [86].

5.1. Zamandan Bağımsız Statik Modeller

Zamandan bağımsız statik modellerin temel kabulü; hız, akım, yoğunluk, genelleştirilmiş maliyet ile tıkanıklık fiyatlandırması uygulamaları için fiyatın analize esas olan süre ve yol boyunca, ayrıca herhangi bir sürücünün yolculuğu süresince ve farklı sürücüler arasında değişmediğidir. Bu modellerde genellikle Şekil 4.2a'da verilen hız-yoğunluk ilişkisinden faydalanılmaktadır [67,69]. Buna rağmen, zamanın statik analizlerde hiç rolü olmadığını söylemek mümkün değildir. Genelleştirilmiş maliyet hesabında bireylerin zaman değerine bağlı olarak ifade edilen yolculuk süresi değişkeni, bir yolu kullanan sürücülerin sayısında zaman içinde artış olması ile beraber artacak ve bu artış ortalama genelleştirilmiş maliyete de yansıtacaktır [67].

5.1.1. Zamandan bağımsız modellere bir örnek: Dört aşamalı geleneksel ulaşım modeli

Bir ulaştırma ağında kullanıcı taleplerinin ve trafik akımının modellenmesi, geleneksel olarak, dört aşamalı modelleme süreci ile gerçekleştirilmektedir. Dört aşamalı modelleme sürecinde ulaştırma ağı makro düzeyde ele alınmaktadır. Bu modelin aşamalarını; yolculukların yaratımı, yolculukların dağıtımı, türel dağılım ve yolculuk ataması olarak sıralamak mümkündür.

Dört aşamalı modelleme yaklaşımında trafik akımında seyreden araçlar tek bir birim olarak değil, çeşitli özelliklerine göre gruplanmış şekilde analiz edilmektedir. Öte yandan, modellemenin yapıldığı alan; alt alanlara (zonlara) bölünmekte, her alanın ağırlık merkezinde düğüm noktaları yer almaktadır. Düğüm noktaları birbirlerine

bağlantı adı verilen ve yolları temsil eden elemanlarla bağlanmaktadır. Yapılan gruptama sayesinde alt alanlar, yolculukların başladığı ve/veya bittiği bölgeleri temsil etmektedir. Alt alanların konum ve büyüklükleri belirlenirken; gelir durumu, otomobil sahipliği gibi özellikler açısından benzerlik arz eden bireyler mümkün olduğunca gruplanmaya çalışılmaktadır.

Dört aşamalı modelin birinci aşamasında analiz edilen alanın her bir alt alanında üretilen (alt alandan başlayan) yolculukların sayısı, birey veya hane bazında tahmin edilmektedir.

Modelin ikinci aşaması, bir önceki aşamada tahmin edilen yolculukların, alt alanlara dağılımının modellenmesidir. Yolculuk dağıtımı adı verilen bu aşamada, her bir alt alandan üretilen yolculuklar, diğer alt alanlara yönlendirilmektedir. Burada, her bir alt alanın çekim durumuna göre tahmin yapılmakta ve yolculukların başlangıç-son noktalarını oluşturan her bir alt alan çiftine; üretilen yolculukların ne orandaki kısmının atanacağı, yolculuk süresi ve yolculuk maliyetine bağlı olarak belirlenmektedir. Yolculuk süresi, yolculuk maliyeti ve yolculukla ilgili diğer maliyetlerden oluşan tüm sabit ve değişken maliyetler bir genelleştirilmiş maliyet tanımı altında toplanmaktadır.

Modelleme sürecinin üçüncü aşaması tür tercihidir. Türel dağılım adı verilen bu aşamada, bireylerin yolculuklarında kullanabileceği her farklı ulaşım türü, kullanılabilirlik ve çekicilik gibi özellikleri açısından diğerleri ile kıyaslanarak; hangi türün ne oranda kullanıldığı tahmin edilmektedir.

Dört aşamalı modelin son aşaması güzergâh seçimi (veya yolculuk ataması) aşamasıdır. Bir ulaşım ağına güzergâh, yolculuğun başlangıç ve son noktaları arasında kullanılan bağlantıların tümünden oluşmaktadır. Güzergâh seçimi aşamasında, tahmin edilen trafik değerleri, ulaşım ağındaki tüm bağlantılara atanmaktadır. Böylece yolculuk yapan bireylerin ulaşım ağına hangi güzergâhları takip edecekleri tahmin edilmektedir [46,58].

5.1.2. Dört aşamalı model ve tıkanıklık fiyatlandırması

Tıkanıklık fiyatlandırmasının modellenmesini dört aşamalı geleneksel ulaşım modeli kullanılarak gerçekleştirmek mümkündür. Yolu kullanma karşılığında sürücülerden

tahsil edilen fiyatın, modelin bahsedilen dört aşamasının her birinde farklı bir şekilde tanımlanması suretiyle ulaştırma aşında fiyatlandırma sonucunda ortaya çıkacak etkiler incelenebilmektedir. Fiyatlandırmanın dört aşamalı model kullanılarak analiz edilmesi için kullanılacak hesaplama adımları aşağıda sıralanmıştır [87]:

- Dört aşamalı modelin tüm adımları, fiyatlandırma olmaksızın yürütülür.
- Uygun olacağı tahmin edilen fiyat belirlenir (Başlangıçta gereğinden yüksek olması olasıdır).
- Dört aşamalı modelin tüm adımları, bu defa fiyatlandırma uygulanmış hal için tekrar yürütülür. Fiyatın gereğinden yüksek olarak alınması durumunda trafik ile ilgili büyüklükler olması gerekenden düşük çıkacaktır.
- Elde edilen sonuçlara göre fiyat yeniden belirlenir.
- Sonuçlar değerlendirilip, gerekiyorsa, aynı işlemler ilk adımdan itibaren tekrar edilir.

5.1.3. Yolculuk üretimi aşamasında fiyatın tanımlanması

Yolculuk üretimi aşamasında haneler birey sayısı, sahip olunan araç sayısı, aylık gelir vb. özelliklerine göre sınıflandırılır. Hane başına düşen ortalama yolculuk sayısı ile seçilen özellikler arasında karşılıklı bir ilişki tespit edilir. Bu ilişki için örnek bir bağıntı (5.1)'de verilmiştir (N adeti ifade etmektedir).

$$N_{yolculuk} = z_1 \cdot N_{insan} + z_2 \cdot Gelir + z_3 \cdot N_{otomobil} \quad (5.1)$$

Bu bağıntıda yer alan z_1 , z_2 ve z_3 parametreleri, yapılan anketlerin sonuçlarına uygulanan istatistik yöntemler (Regresyon analizi vb.) vasıtasıyla tahmin edilebilmektedir. (5.1)'de verilen yapıdaki bağıntının elde edilmesinin ardından her alt alandaki hanelerin yolculuklarının toplanması suretiyle, alt alan tarafından üretilen yolculuklar belirlenmiş olmaktadır.

Dört aşamalı modelin birinci aşaması olan yolculuk üretimi aşamasında; kullanıcılardan tahsil edilecek fiyatın, alt alanlardan üretilen yolculuklara olan etkisi araştırılmaktadır. Bu amaçla, m ortalama yolculuk maliyetini ifade eden bir terim, istatistiksel yöntemlerle tahmin edilmesi gereken z_M katsayısı ile çarpılarak (5.1)'e, (5.2)'de gösterildiği şekilde ilave edilmelidir.

$$N_{yolculuk} = z_1 \cdot N_{insan} + z_2 \cdot Gelir + z_3 \cdot N_{otomobil} + z_M \cdot m \quad (5.2)$$

Burada m ortalama yolculuk maliyetinin içinde tıkanıklık fiyatının da bulunması sebebiyle, fiyatlandırmanın etkilerini oldukça kaba bir yaklaşımla analiz etmek söz konusu olmaktadır. Bu yaklaşımın başlıca dezavantajları, yaklaşık bir yöntem olması ve yalnızca ortalama yolculuk maliyetinin kullanılmasına olanak vermesidir [87].

5.1.4. Yolculuk dağıtımı aşamasında fiyatın tanımlanması

Herhangi bir i alt alanından, j alt alanına yapılacak yolculukların tahmin edilmesi için, en genel halde, (5.3)'de verilen ifade kullanılmaktadır:

$$N_{ij} = O_i \cdot D_j \cdot f(m_{ij}) \quad (5.3)$$

Burada, N_{ij} i alt alanından j alt alanına yapılan yolculukların sayısını, O_i i alt alanından başlayan (çıkan) yolculukların sayısını, D_j alt alanın çekim düzeyine göre belirlenen ve j alt alanında sonlanan yolculukların sayısını, m_{ij} bir i alt alanından bir j alt alanına yapılan yolculuğun maliyetini göstermektedir. Bu terim için genellikle genelleştirilmiş maliyet (Yolculuk süresinin para olarak ifadesi ve para olarak ile ifade edilen diğer maliyetler) kullanılır. $f(m_{ij})$ ise bireylerin hangi maliyet değerini nasıl karşıladıklarını açıklayan bir fonksiyondur (Direnç fonksiyonu). $f(m_{ij})$ için, π normalleştirme (standart hale getirme) katsayısı olmak üzere, (5.4)'de verilen bağıntı kullanılır:

$$f(m_{ij}) = \pi \frac{1}{m_{ij}^2} \quad (5.4)$$

Dört aşamalı modelin bu aşamasında fiyatın tanımlanması, genelleştirilmiş maliyet direnç fonksiyonunda yer alan maliyet bileşenine fiyatın eklenmesi şeklinde olmaktadır. Bu durumda (5.4), (5.5)'de verilen hale dönüşmektedir [58,87]:

$$N_{ij} = O_i D_j f(m_{ij} + ücret_{ij}) \quad (5.5)$$

5.1.5. Türel dağılım aşamasında fiyatın tanımlanması

Türel dağılım aşamasında fiyatın tanımlanması için; otomobile ait genelleştirilmiş maliyet/fayda fonksiyonuna fiyatın eklenmesi yeterlidir. Bu durumda türlere ait U fayda fonksiyonlarının aldığı hal (5.6a) ve (5.6b)'de verilmiştir.

$$U_{oto} = \alpha \cdot t_{oto} + z_{oto} \cdot (m_{oto} + \dot{U}cret) \quad (5.6a)$$

$$U_{otobüs} = \alpha \cdot t_{otobüs} + z_{otobüs} \cdot m_{otobüs} \quad (5.6b)$$

Bu bağıntılarda t türlere göre yolculuk sürelerini, m ise türlere ait ortalama yolculuk maliyetlerini ifade etmektedir. α zaman değerini, z katsayıları ile maliyet teriminin parametresini göstermektedir. Bu durumda, ikili lojit model kullanılarak, kullanıcıların her iki türü seçme olasılıkları p , (5.7a) ve (5.7b)'de verilen bağıntılar kullanılarak hesaplanabilir [58,87]:

$$p_{oto} = \frac{e^{U_{oto}}}{e^{U_{oto}} + e^{U_{otobüs}}} \quad (5.7a)$$

$$p_{otobüs} = \frac{e^{U_{otobüs}}}{e^{U_{oto}} + e^{U_{otobüs}}} \quad (5.7b)$$

5.1.6. Güzergâh ataması aşamasında fiyatın tanımlanması

Güzergâh ataması aşamasında Wardrop prensipleri esas alınır. Bu amaçla kullanılan yöntemlerden biri Ardışık Ortalamalar Yöntemi'dir (Method of Successive Averages). Buna göre her y . iterasyonda, yol kullanıcılarının $1/y$ kadar miktarı bir önceki adımda tespit edilen en kısa güzergâha atanmaktadır. En kısa güzergâhın bulunması için en sık kullanılan yöntem ise Dijkstra Algoritması'dır [58].

Güzergâh ataması aşamasında fiyatlandırma tanımlanırken, ulaştırma ağındaki herhangi bir i - j nokta çifti arasında, k güzergâhı kullanılarak gerçekleştirilecek bir yolculuk için maliyet denklemi, zaman değeri de göz önüne alınarak (5.8)'deki gibi tanımlanabilmektedir:

$$m_k^{bs} = \sum_a t_a \quad (5.8)$$

Burada, t_a yolculuk süresini (Zaman değeri kullanılarak para cinsinden ifade edilmelidir), a ise k güzergâhı boyunca yer alan her bir bağlantıyı temsil etmektedir.

Güzergâh atamasında fiyatlandırma tanımı yapılabilmesi için, (5.8)'e, k güzergâhı boyunca yer alan her bağlantıda tahsil edilen fiyatı temsil eden bir τ_a terimi eklenmelidir. İlgili bağıntı (5.9)'da gösterilmiştir. [87].

$$m_k^{bs} = \sum_a (t_a + \tau_a) \quad (5.9)$$

5.1.7. Fiyatlandırmanın dört aşamalı model ile incelenmesinde yaşanan problemler ve çözüm önerileri

Fiyatlandırmanın dört aşamalı model ile incelenmesinde yaşanan problemler, dört aşamalı modelin genel eksiklikleri ile doğrudan ilişkilidir. Dört aşamalı model kullanılarak, tahsil edilen fiyatın, tek tahsilâtla çoklu geçişe olanak tanıyan, Londra tıkanıklık fiyatlandırması benzeri bir yapıda tanımlanması mümkün değildir. Dört aşamalı modelde tıkanıklık fiyatının hesaplamalara katılması, bağlantılardan her geçiş için tanımlanan tutarın maliyet fonksiyonlarına ilave edilmesi suretiyle gerçekleştirilmektedir. Öte yandan, bir fiyatlandırma uygulamasında fiyat, günün saatlerinde farklılıklar gösterebilmekte ve kullanıcılar fiyata göre yolculuğa başlangıç saatlerinde değişikliğe gidebilmektedir. Dört aşamalı model ile kullanıcıların yolculuğa başlangıç saatlerini modellemek de mümkün olmamaktadır.

Dört aşamalı model ile fiyatlandırmanın değerlendirilmesi konusunda yaşanan sıkıntılardan biri de talebin değerlendirilmesi yönünden yaşanmaktadır. Bu modelleme yaklaşımında; yolculuk üretimi, yolculuğun son noktasının seçimi ve türel dağıtım birbirinden bağımsız süreçlerden oluşmaktayken, gerçekte bireylerin tercihleri bundan farklıdır. Örneğin, herhangi bir yolculuğun son noktasının toplu taşıma ile kolaylıkla erişebilir olması durumunda; özel otomobil kullanıcıları bile toplu taşıma ile yolculuk etmeyi tercih edebilmektedir. Bu tip karmaşık talep durumlarını dört aşamalı model ile analiz etmek mümkün değildir.

Yukarıda verilen bilgiler ışığında, dört aşamalı model ile herhangi bir fiyatlandırma uygulamasının analiz edilebilmesi için aşağıdaki şartların sağlanması gerektiği açıktır:

- Fiyat günün saatlerinden bağımsız olmalıdır.
- Fiyatın, bağlantı ve/veya yolculuk başına alınması lazımdır.
- Talep sabit kabul edilmelidir.

Bu şartları sağlayan uygulamalar arasında yer alan otoyollarda sabit fiyat ile yapılan fiyatlandırma veya kordon fiyatlandırması gibi uygulamaların makro düzeyde, dört aşamalı model kullanılarak modellenmesi mümkündür. Öte yandan, yukarıdaki şartları sağlamayan uygulamaların da çeşitli yaklaşımlar kullanılarak, dört aşamalı model ile incelenebilmektedir. Günün saatlerine göre değişiklik gösteren, buna karşılık yalnızca sabah ve akşamdan oluşan iki farklı fiyat yapısı olan bir uygulama için, dört aşamalı modelin sabah ve akşam için ayrı ayrı yürütülmesi ve böylece sabah ve akşam zirve saatlerinin ayrı ayrı modellenmesi bu yaklaşımlara bir örnektir [46,87].

5.2. Zamana Bağlı Dinamik Modeller

Trafik tıkanıklığının zamana bağlı dinamik modelleri, trafikle ilgili çeşitli büyüklüklerin yolculuk zamanına göre değişiklik göstermesi esasına dayanmaktadır. Bu modeller ile hız, yoğunluk ve yolculuk süresi gibi değişkenlerin, dinamik olarak değişen bir ortamda, denge koşullarının ortaya konulması amaçlanmaktadır. Dinamik modeller, trafik koşullarının daha gerçekçi olarak analiz edilebilmesi için geliştirilmiştir.

Dinamik modeller, en genel halde, trafik talebinin değerlendirilme yaklaşımlarına bağlı olarak iki değişik yapıdadır: Talebin Yalnızca Yolculuğa Başlangıç Zamanına Göre Modellenmesi ve Talebin Yolculuğa Başlangıç Zamanı ve Güzergâh Tercihlerine Göre Modellenmesi.

5.3. Talebin Yalnızca Yolculuğa Başlangıç Zamanına Göre Modellenmesi

Ulaşım talebini yalnızca yolculuğa başlangıç zamanına göre inceleyen modellerde, sürücülerin yolculuklarının son noktasına varmak için arzu ettikleri bir zaman olması ve bu zaman haricinde son noktaya ulaşmaları durumunda tarife maliyeti olarak adlandırılabilir bir ilave maliyet yüklenme durumunda kalmaları esassından hareket edilmektedir. Tarife maliyeti ve trafik koşulları sürücülerini, yolculuklarına

başlangıç zamanını belirleme açısından farklı tercihler yapmaya itmektedir. Yolculuğa başlangıç zamanı tercihi göre şekillenen dinamik bir analizde denge durumu, kullanıcıların tüm farklı yolculuğa başlangıç zamanlarından oluşan zarfta; yolculuk süresi maliyeti, tarife maliyeti ve fiyat bileşenlerinden oluşan toplam yolculuk maliyetinin, Wardrop'un birinci prensibine bağlı olarak, tüm kullanıcılar için aynı ve minimum olduğu şartına dayanmaktadır [69].

Yolculuğa başlangıç zamanını inceleyen modellerde genellikle, bir başlangıç-son çiftini birbirine bağlayan ve üzerinde kapasiteyi sınırlayan bir şişe boynu kesiti bulunan, tek bir yol analiz edilmektedir. Şişe boynunu, bir yolda kapasitesi sabit ve sınırlı olan bir kesit olarak tanımlamak mümkündür. Bu kesite giren araçların miktarının, kesitin geçirebileceği kapasitenin altında kalması durumunda; giriş ve çıkış akımları birbirine eşit olacak ve tıkanıklık yaşanmayacaktır. Araç miktarının, şişe boynu kapasitesini aşması ile beraber tıkanıklık ve kuyruklanma ortaya çıkmaktadır. Herhangi bir anda kuyruk boyu ise, o anda kesite giriş yapan, diğer bir deyişle yolculuğa başlayan araç miktarı ile şişe boynu kapasitesi arasındaki fark kadar olacaktır. Şişe boynu analizinde; şişe boynu kesitinin genellikle boyutsuz olduğu, araçların ilk giren ilk çıkar disiplini uygun seyrettiği (sollama yapılmadığı), araçların şişe boynunu sabit bir değer olan şişe boynu kapasitesine eşit bir akım değeri ile terk ettiği kabulleri yapılmaktadır [69]. Bu yaklaşım ile ulaştırma ağını kullanan sürücülerin yolculuklarının zamanlaması açısından tercihleri modellenmektedir. Burada, güzergâhları üzerinde şişe boynu ve dolayısıyla tıkanık bir trafik akımı ile karşı karşıya olan sürücüler, erken veya geç yola çıkarak trafik tıkanıklığı ile karşılaşmamak ancak, erken veya geç son noktaya varmak ile tam vaktinde son noktaya varmak için tıkanık trafik koşullarında seyahat etmek seçenekleri arasında seçim yapacaklardır. Bu seçimi şekillendiren en önemli faktör ise tarife maliyeti olacaktır.

Şişe boynu analizinin kullanıldığı modellerde analiz yapılırken önce Wardrop'un birinci prensibine uygun olarak, fiyat tahsil edilmeyen durumda kullanıcı optimumunun nasıl sağlandığı ortaya konulmaktadır. Dinamik koşullarda kullanıcı optimumuna ulaşıldığı durumda, sürücüler tarafından tercih edilen her bir farklı yolculuğa başlangıç zamanında toplam yolculuk maliyetleri birbirine eşit ve diğer zaman aralıklarından daha düşük olacaktır. Böylece hiçbir bireyin yolculuk

maliyetini, yolculuğa başlangıç zamanını değiştirerek azaltamaması sağlanmış olacaktır. Daha sonraki aşamada ise, Wardrop'un ikinci prensibine bağlı olarak, sosyal optimumunu sağlayacak, zamana bağlı olarak değişen fiyat araştırılmaktadır. Pratikte uygulanması oldukça güç olan bu fiyatlandırmaya alternatif olabilecek çeşitli yöntemler ise bu modelleme yaklaşımlarının son safhasını oluşturmaktadır.

Trafik talebinin yalnızca yolculuğa başlangıç zamanına bağlı olarak inceleyen modellerde kullanıcı tercihleri modellenirken, deterministik ve stokastik yaklaşımlara göre farklı modelleme yöntemleri söz konusudur.

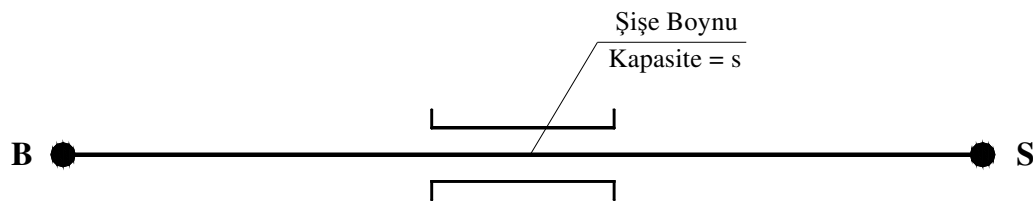
5.3.1. Deterministik yaklaşım modelleri

Deterministik yaklaşım kullanılarak yapılan zamana bağlı dinamik analizde sürücülerin trafik koşulları ve yolculuk süreleri konusunda tam ve mükemmel bilgiye sahip oldukları kabul edilmektedir.

Deterministik yaklaşım modellerinin temelinde Vickrey'in klasik şişe boynu analizi yer almaktadır. Bu analizin geliştirilmesi suretiyle çok sayıda değişik yaklaşım ortaya konulmuştur.

5.3.1.1. Vickrey'in klasik şişe boynu modeli

Şişe boynu yaklaşımı, ilk olarak Vickrey [88] tarafından ortaya atılmıştır. Takip eden yıllarda pek çok çalışmaya konu olan bu model sürekli geliştirilmiştir [89-92].



Şekil 5.1 : B ve S noktaları arasındaki şişe boynu kesiti [88].

Klasik şişe boynu analizini açıklamak için Şekil 5.1'de verilen, yalnızca bir başlangıç ve son çiftini birleştiren ve üzerinde s kapasitesinde bir şişe boynu kesiti bulunan bir yol kullanılmaktadır. Bu yolu kullanmak isteyen özdeş sürücülerin, toplam sayısı N olmak üzere, şişe boynu kesitinden geçiş süresi (5.10)'da verildiği gibidir:

$$t = \frac{N}{s} \quad (5.10)$$

Özdeş sürücülerin yolculuklarının son noktasına varmayı arzu ettikleri zamanın aynı kabul edilmesi suretiyle, yolculuk maliyeti $m(t)$ (5.11)'deki şekliyle tanımlanabilmektedir:

$$m(t) = \underbrace{\alpha \cdot t_o}_I + \underbrace{\max\{0, \beta \cdot [t^* - (t_\zeta + t_o)]\}}_{II} + \underbrace{\max\{0, \gamma \cdot [(t_\zeta + t_o) - t^*]\}}_{III} + \underbrace{\tau}_{IV} \quad (5.11)$$

(5.11)'de yer alan I numaralı terim toplam yolculuk süresi maliyetini, II numaralı terim son noktaya erken ulaşmanın maliyetini, III numaralı terim son noktaya geç ulaşmanın maliyetini ve IV numaralı terim fiyatı göstermektedir. Burada α özdeş sürücüler için zaman değerini, t_o toplam yolculuk süresini, β birim zaman için son noktaya erken varmanın maliyetini, γ birim zaman için son noktaya geç varmanın maliyetini, t^* özdeş sürücüler için arzu edilen varış zamanını, t_ζ ise yolculuğa başlangıç zamanını göstermektedir. Analiz kolaylığı açısından başlangıç noktasından şişe boynu kesitinin girişine ve şişe boynu kesitinin çıkışından yolculuğun son noktasına kadar olan yolculuk sürelerinin ihmal edilmesi ile $t_o = t$ olmaktadır. Bu durumda yolculuk süresi (5.12)'de verilen bağıntı kullanılarak hesaplanmaktadır:

$$t = \max\{[t^* - (t_\zeta + t_o)], [(t_\zeta + t_o) - t^*]\} \quad (5.12)$$

(5.12)'de verilen bağıntıya bağlı olarak, arzu ettiği zamandan önce son noktaya ulaşan kullanıcıların ortalama yolculuk maliyeti $m_e(t)$ (5.13a), arzu ettiği zamandan sonra son noktaya ulaşan kullanıcıların ortalama yolculuk maliyeti $m_g(t)$ (5.13b) ve arzu ettiği zamanda son noktaya ulaşan kullanıcıların ortalama yolculuk maliyeti $m_o(t)$ (5.13c) kullanılarak hesaplanabilmektedir.

$$m_e(t) = \alpha \cdot t_e + \beta \cdot [t^* - (t_\zeta + t_e)] + \tau \quad (5.13a)$$

$$m_g(t) = \alpha \cdot t_g + \gamma \cdot [(t_\zeta + t_g) - t^*] + \tau \quad (5.13b)$$

$$m_o(t) = \alpha \cdot t_o + \tau \quad (5.13c)$$

Kullanıcı optimumu durumunda denge

Şişe boynunun kapasitesinde hizmet verdiği kabul edilerek, analize esas olan zaman diliminin başlangıç anı t_b ve bitiş anı t_s olmak üzere, daha önce belirtilen şişe boynu dışındaki seyahat sürelerinin ihmal edilmesi ile (5.10)'dan (5.14)'de verilen bağıntıya ulaşılması mümkündür [88-91]:

$$t_s - t_b = \frac{N}{s} \quad (5.14)$$

(5.11), (5.12), (5.13a), (5.13b) ve (5.13c)'den hareketle; t_b , t_s , ortalama yolculuk maliyeti m ve tam vaktinde son noktaya varan kullanıcı için yolculuğa başlangıç anı t_n büyüklüklerinin hesaplanabilmesi için sırasıyla (5.15), (5.16), (5.17) ve (5.18)'de verilen bağıntıların kullanılması mümkündür [89-91]:

$$t_b = t^* - \frac{\gamma}{\beta + \gamma} \cdot \left(\frac{N}{s} \right) \quad (5.15)$$

$$t_s = t^* + \frac{\beta}{\beta + \gamma} \cdot \left(\frac{N}{s} \right) \quad (5.16)$$

$$m = \frac{\beta \cdot \gamma}{\beta + \gamma} \cdot \frac{N}{s} \quad (5.17)$$

$$t_n = t^* - \frac{\beta \cdot \gamma}{\alpha \cdot (\beta + \gamma)} \cdot \left(\frac{N}{s} \right) \quad (5.18)$$

Denge durumunda tüm kullanıcıların yolculuk maliyetleri birbirine eşit olduğuna göre, N adet kullanıcı için toplam yolculuk maliyeti M ise (5.19) kullanılarak hesaplanabilmektedir.

$$M = m \cdot N = \frac{\beta \cdot \gamma}{\beta + \gamma} \cdot \frac{N^2}{s} \quad (5.19)$$

Yolculuk süresi $t_o(t)$ ve her anda yolculuğa başlama miktarı $r(t)$, son noktaya arzu edilen zamanda varmak için gereken yola çıkış zamanı t_n anından önce ve sonra iki farklı yapıda olacaktır. Yolculuk süresi ile ilgili bağıntılar (5.20a) ve (5.20b)'de, her anda yolculuğa başlama miktarı ile ilgili bağıntılar ise (5.21a) ve (5.21b)'de verilmiştir [89,91]:

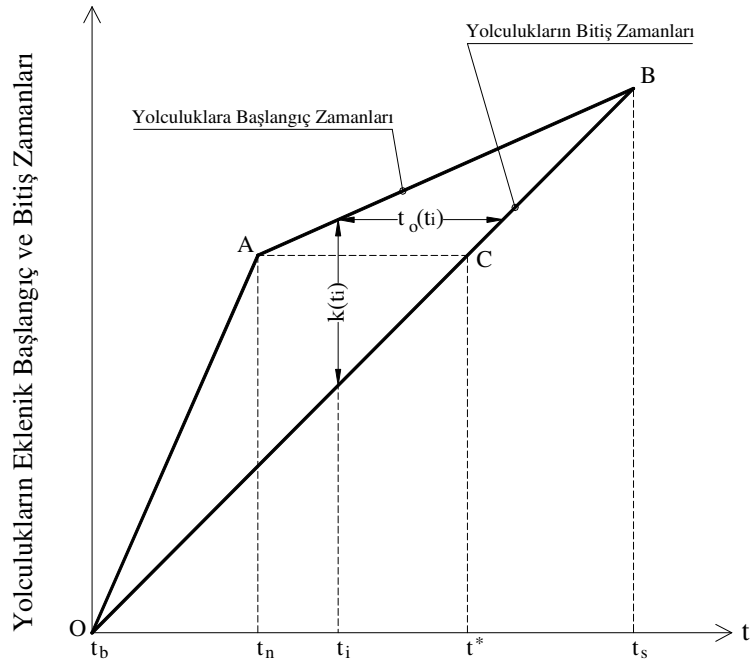
$$t \in [t_b, t_n] \rightarrow t_o(t) = \frac{\beta}{\alpha - \beta} \cdot (t - t_b) \quad (5.20a)$$

$$t \in [t_n, t_s] \rightarrow t_o(t) = \frac{\gamma}{\alpha + \gamma} \cdot (t_s - t) \quad (5.20b)$$

$$t \in [t_b, t_n] \rightarrow r_e(t) = \frac{\alpha}{\alpha - \beta} \cdot s \quad (5.21a)$$

$$t \in [t_n, t_s] \rightarrow r_g(t) = \frac{\alpha}{\alpha + \gamma} \cdot s \quad (5.21b)$$

(5.21a) ve (5.21b)'den anlaşılabileceği gibi, t_n anından önce kullanıcıların şişe boynuna katılma miktarı yüksektir ve kuyruk boyu artmaktadır. Bu andan sonra şişe boynu kesitine katılma miktarı gittikçe azalmakta ve t_s anına gelindiğinde kuyruk ortadan kalkmaktadır. Bu mekanizma Şekil 5.2'de grafik olarak gösterilmiştir [60,89-92].



Şekil 5.2 : Şişe boynu analizinin grafik gösterimi [89].

Şekil 5.2'de verilen OA eğrisinin eğimi t_n anından önce ($t_b \leq t < t_n$), AB eğrisinin eğimi ise t_n anından sonra ($t_n < t \leq t_s$) her anda yolculuğa başlama miktarına eşittir. Yolculukların bitiş zamanını gösteren OB eğrisinin eğimi ise şişe boynunun kapasitesi s değerine eşit olmaktadır. Diğer taraftan, herhangi bir t_i anında kuyruk boyu $k(t_i)$ yolculukların başlangıç ve bitiş eğrileri arasındaki düşey mesafe; yolculuk

süresi $t_o(t_i)$ olmak üzere aynı eğriler arasındaki yatay mesafe olmaktadır. Şekil 5.2'den hareketle; toplam yolculuk süresi, yolculukların başlangıç ve bitiş eğrileri arasında kalan alan, tüm kullanıcıların toplam erken varış süresi, t_b ile t^* arasında yolculukların bitiş zamanı eğrisinin altında kalan alan ve tüm kullanıcıların toplam geç varış süresi ise t^* ile t_s arasında yolculukların bitiş zamanı eğrisinin altında kalan alan olduğuna göre, toplam yolculuk maliyetinin iki bileşeni, toplam yolculuk süresi maliyeti (M_o) ve toplam tarife maliyetini (M_{tm}) (5.22)'deki gibi hesaplamak mümkündür [60, 89-91]:

$$M_o = \int_{t_b}^{t_s} k(t) \cdot dt$$

$$M_{tm} = M_e + M_g = \int_{t_b}^{t^*} s \cdot (t^* - t) \cdot dt + \int_{t^*}^{t_s} s \cdot (t - t^*) \cdot dt \quad (5.22)$$

$$\Rightarrow M_o = M_{tm} = \frac{\beta \cdot \gamma}{2 \cdot (\beta + \gamma)} \cdot \frac{N^2}{s}$$

(5.19) ve (5.22) incelendiğinde toplam yolculuk maliyeti, toplam yolculuk süresi maliyeti ve toplam tarife maliyeti değerlerinin bireylerin zaman değerinden bağımsız olduğu görülmektedir. Bu sonucun başlıca gerekçesi; kuyruklanmanın oluştuğu zaman diliminin toplam süresi ile bu zaman diliminin başlangıç ve son anlarının, bireylerin zaman değerinden bağımsız olmasıdır [89,91].

Sosyal optimumu fiyatlandırması

Sosyal optimumu durumu, Wardrop'un ikinci prensibine bağlı olarak toplam yolculuk maliyetinin minimum yapıldığı durumdur. Klasik şişe boynu analizinde, sosyal optimumuna ulaşabilmek için bazı şartların oluşması lazımdır:

- Toplam tarife maliyetinin artmaması için şişe boynunun zirve saatler süresince kapasitesinde kullanılması gereklidir. Diğer taraftan, toplam yolculuk süresi maliyetinin minimum olabilmesi için, kuyruk oluşmaması şarttır. Böylece sosyal optimumunda yolculukların başlangıç ve son noktaya varış miktarlarının şişe boynu kapasitesine eşit olması gerektiği görülmektedir [89].
- Toplam tarife maliyetinin minimum olabilmesi için yolculuğa ilk ve son başlayan kullanıcıların tarife maliyetleri birbirine eşit olmalıdır. Aksi takdirde belli bir grup

kullanıcının yolculuk zamanında değişiklik yaparak toplam tarife maliyetini azaltabilmesi mümkün olabilecektir [89,91].

Bu şartların ışığında, şişe boynu analizinde, zirve saatin başlangıç ve bitiş zamanları ve dolayısıyla bu zaman diliminin süresinin hem kullanıcı hem de sosyal optimumunda aynı olduğunu söylemek mümkündür.

Sosyal optimumu durumunda toplam yolculuk maliyeti hesaplanırken, tarife maliyeti kuyruk oluşmaması sebebiyle sıfır değerini alacaktır. Bu durumda, toplam yolculuk maliyetinin doğrudan doğruya toplam yolculuk süresi maliyetine eşit olacağı açıktır. Kullanıcı optimumu durumunda toplam yolculuk maliyeti, birbirine eşit olan toplam yolculuk süresi maliyeti ile toplam tarife maliyetinin toplamı olarak bulunmaktadır (5.22). Sosyal optimumunda bu iki bileşenden toplam tarife maliyetinin sıfır olması ile beraber, toplam yolculuk maliyetinin kullanıcı optimumundaki değerinin yarısı kadar olacağı görülmektedir (5.23⁴) [89,91].

$$\begin{aligned} M^{KO} &= M_o^{KO} + M_{igm}^{KO} = \frac{\beta \cdot \gamma}{\beta + \gamma} \cdot \frac{N^2}{s} \\ M^{SO} &= \frac{M^{KO}}{2} = \frac{\beta \cdot \gamma}{2 \cdot (\beta + \gamma)} \cdot \frac{N^2}{s} \end{aligned} \quad (5.23)$$

Sosyal optimumuna fiyatlandırma yoluyla ulaşmak için fiyatlandırılmamış durumda ortaya çıkan kullanıcı optimumu denge koşullarından hareket edilmelidir. Buna göre; kullanıcılardan her anda kullanıcı optimumu durumuna ait tarife maliyeti tutarında, diğer bir deyişle, her anda yolculuğun son noktasına ulaşıldığı andaki toplam yolculuk süresi maliyeti tutarında fiyat tahsil edilmesi durumunda dengeye ulaşılması söz konusudur. Yolculuğun son noktasına ulaşılması açısından iki farklı durum (erken veya geç) mevcut olduğuna göre, bahsi geçen fiyat da iki farklı zaman diliminde iki farklı değerde olacaktır. Açık olarak görüldüğü üzere, zamana bağlı bu fiyat kuyruklanmadan kaynaklanan tarife maliyetinin yerini almaktadır. Sosyal optimumu için fiyat (5.24a) ve (5.24b)'de verilmiştir [89,91,92].

$$\tau_e(t) = \frac{\beta \cdot \gamma}{\beta + \gamma} \cdot \frac{N}{s} - \beta \cdot (t^* - t) \rightarrow t \in [t_b, t^*] \quad (5.24a)$$

⁴ Denklemden KO üst indisi kullanıcı optimumunu, SO üst indisi sosyal optimumunu göstermektedir.

$$\tau_s(t) = \frac{\beta \cdot \gamma}{\beta + \gamma} \cdot \frac{N}{s} - \gamma \cdot (t - t^*) \rightarrow t \in [t^*, t_s] \quad (5.24b)$$

Alternatif fiyatlandırma uygulamaları

Pratikte, sosyal optimumuna erişmek amacıyla uygulanması gerektiği tespit edilen ve zamana bağlı değişen fiyatlandırma uygulamasının hayata geçirilmesi hemen hemen imkânsızdır. Sosyal optimumu fiyatlandırmasına alternatif olarak kullanılabilecek yöntemler, analize esas olan zaman diliminin tamamı için sabit bir fiyat belirlemek veya ilgili zaman dilimini eşit aralıklara bölmek suretiyle m aşamalı bir fiyatlandırma uygulaması gerçekleştirmektir. Gerçekte bu yöntemler birbirlerinden çok da farklı değildir. Tüm zaman dilimi için tek bir sabit fiyat alınması uygulaması; aşamalı uygulamanın sıfır aşamalı bir özel halidir [89,91,92].

Aşamalı fiyatlandırma uygulanması durumunda toplam yolculuk maliyeti (5.25)'de gösterilmiştir. Bu maliyet m , α ve γ değerlerinden bağımsız olarak hesaplanmaktadır.

$$M^{m_i} = \Gamma^{m_i} \cdot \frac{\beta}{\beta + \gamma} \cdot \frac{N^2}{s} \quad (5.25)$$

(5.25)'de m_i fiyatlandırma aşamasını temsil ederken, Γ^{m_i} N veya s değerine bağlı olmayan bir katsayıdır. Bu katsayı kullanıcı optimumu için $\Gamma = 1$, sosyal optimumu için $\Gamma = 1/2$ değerlerini almaktadır.

Optimal aşamalı fiyatlandırma bağıntısı, $\Gamma \in \{1/2, 1\}$ olmak üzere her adımda tedricen değişen bir fonksiyon olacaktır [91]. Aşamalı fiyatlandırmada, şişe boynu modelinin yapısına uygun olarak farklı zaman dilimlerinde farklı fiyatlar tahsil edilecektir. Uygulama simetrik bir yapıda gerçekleşmektedir. Örneğin iki aşamalı bir fiyatlandırma uygulaması için ρ ve μ gibi iki farklı fiyat söz konusu ise ($\rho < \mu$) ve $t_b < t_1 < t_2 < t_3 < t_4 < t_s$ olmak üzere; $t_1 - t_2$ aralığında ρ , $t_2 - t_3$ aralığında μ ve $t_3 - t_4$ aralığında tekrar ρ tutarında fiyat tahsil edilecektir. İki aşamalı fiyatlandırma uygulaması için ρ ve μ fiyatları (5.26) ve (5.27)'de verilmiştir [92]:

$$\rho = \frac{\beta \cdot \gamma \cdot \left(\frac{N}{s} \right) - \Delta \cdot (\beta + \gamma)}{2 \cdot (\beta + \gamma)} \pm \zeta \quad (5.26)$$

$$\mu = \frac{\beta \cdot \gamma \cdot \left(\frac{N}{s}\right) + \Delta \cdot (\beta + \gamma)}{2 \cdot (\beta + \gamma)} \pm \zeta \quad (5.27)$$

Burada Δ terimi ρ ve μ fiyatlar arasındaki farktır (5.28):

$$\Delta = \mu - \rho, \quad \Delta > 0 \quad (5.28)$$

(5.26) ve (5.27)'de yer alan ζ terimi ise (5.29) kullanılarak hesaplanabilmektedir:

$$\zeta = \frac{\beta \cdot \gamma}{2 \cdot (\beta + \gamma)} \cdot \left(\frac{2 \cdot \Delta \cdot \beta \cdot \gamma \cdot \left(\frac{N}{s}\right) - 3 \cdot \Delta^2 \cdot (\beta + \gamma)^2}{\beta^2 \cdot \gamma^2} - \frac{(2 - \varepsilon) \cdot \left(\frac{N}{s}\right)^2}{\varepsilon} \right)^{1/2} \quad (5.29)$$

(5.29)'da yer alan ε terimi 1 ile 2 arasında değişen bir katsayıdır. (5.26) ve (5.27) kullanılarak hesaplanan fiyatların tatbik edileceği zaman dilimlerinin başlangıç ve son anları ise (5.30a), (5.30b), (5.30c) ve (5.30d)'de verilmiştir.

$$t_1 = t^* + \frac{\rho}{\beta} - \frac{\gamma}{\beta + \gamma} \cdot \frac{N}{s} \quad (5.30a)$$

$$t_2 = t^* + \frac{\mu}{\beta} - \frac{\gamma}{\beta + \gamma} \cdot \frac{N}{s} \quad (5.30b)$$

$$t_3 = t^* - \frac{\rho}{\beta} + \frac{\beta}{\beta + \gamma} \cdot \frac{N}{s} \quad (5.30c)$$

$$t_4 = t^* - \frac{\mu}{\beta} + \frac{\beta}{\beta + \gamma} \cdot \frac{N}{s} \quad (5.30d)$$

İki aşamalı fiyatlandırmaya benzer bir yaklaşım kullanılması suretiyle, üç ve daha fazla aşamalı fiyatlandırma uygulamalarını da düzenlemek mümkündür [92].

Klasik şişe boynu analizinin genel değerlendirmesi

a) Şişe boynu analizinin, trafik tıkanıklığının klasik analizinden en büyük farklılığı, klasik analizde dikkate alınmayan tarife maliyetidir.

b) Şişe boynu analizinde trafik tıkanıklığı geçmiş zaman dilimlerindeki trafik koşullarına bağlıdır. Geçmiş kuyruk boyu ile temsil edilir.

c) Yolculuk maliyetleri, incelenen zaman diliminin tamamında yoldaki trafik tıkanıklığının durumuna göre belirlenmektedir. Klasik analizde bu maliyetler, tüm zaman diliminin belirli bir oranında yolu kullanan kullanıcı adedine göre belirlenmektedir.

d) Şişe boynu analizinde klasik analizden farklı olarak, fiyat yapısının değişmesi yolculuk maliyetlerine ait bağıntıların da değişmesine yol açmaktadır. Ayrıca, klasik analizde yolculuk maliyetlerine ait bağıntılar tam olarak belirli ve değişmez kabul edilmektedir [60,90,91].

5.3.1.2. Henderson'un şişe boynu modeli

Henderson'un şişe boynu modeli [93], Vickrey'in klasik şişe boynu modeline alternatif olarak ortaya konulmuştur. Bu modelde, L km uzaktaki son noktaya yolculuk yapan N adet kullanıcının, yolculuklarının son noktasına, arzu edilen varış zamanı t^* değerinden daha geç varamayacağı öngörülmüştür. Her kullanıcı ilgili zamanda yolculuklarını tamamlayabilmek için bir yolculuğa başlangıç zamanı t_c seçecektir. Bu seçimi yaparken toplam yolculuk maliyeti $m(t)$ 'yi minimum yapmaya çalışacaktır. Toplam yolculuk maliyeti $m(t)$ üç parçadan oluşmaktadır (5.31):

$$m(t) = \alpha \cdot \frac{L}{v(t)} + \beta \cdot \left[t^* - \left(t_c + \frac{L}{v(t)} \right) \right] + \tau(t) \quad (5.31)$$

Burada $v(t)$ t anındaki hız değerini, $L/v(t)$ terimi toplam yolculuk süresini, α kullanıcıların ortalama zaman değerini, β yolculuğun son noktasına erken varmanın tarife maliyetini ve $\tau(t)$ ise fiyatı göstermektedir. (5.31) ile şişe boynu analizinde toplam yolculuk maliyetini veren (5.11) arasında önemli farklar bulunmaktadır. Bunların başında hiç şüphesiz toplam yolculuk süresinin belirlenmesi gelmektedir. Klasik şişe boynu analizinde, yolu kullanmak isteyen kullanıcı miktarı ve şişe boynu kapasitesine bağlı olarak belirlenen bu süre, Henderson modelinde yol boyu ve yolculuğa başlangıç anındaki hız değerine, diğer bir deyişle hız-akım ilişkisine bağlı olarak belirlenmektedir. (5.31)'den görülebileceği gibi herhangi bir t anında yola çıkan kullanıcılar için hız sabit kabul edilmektedir. Henderson modeli ile klasik şişe boynu analizi arasında, toplam maliyetin hesaplanması açısından bir başka önemli fark ise, (5.11)'de γ ile ifade edilen ve son noktaya arzu edilen varış zamanından

daha geç varma durumu ile ilişkilendirilen maliyet bileşeninin (5.31)'de yer almasıdır. Böylece, bir anlamda, kullanıcıların geç kalması yasaklanmış olmaktadır.

Henderson'un yolculuğa başlangıç anındaki hız değerinin tespiti için kullandığı hız-akım ilişkisi (5.32)'de gösterilmiştir:

$$\frac{1}{v(t)} = \frac{1}{v_s} + \left[\frac{q(t)}{s} \right]^\Theta \quad (5.32)$$

Burada v_s serbest akım hızı değerini, $q(t)$ t anındaki trafik akımını, s yol kapasitesini ve Θ ise bir sabiti göstermektedir. Bu denklemin kullanılması suretiyle herhangi bir t anında yolculuğa başlayan bir kullanıcının toplam yolculuk süresinin yalnızca o andaki trafik akımına bağlı olarak belirlenmesi sağlanmış olmaktadır.

Kullanıcı optimumu durumunda denge

Öncelikle, verilen denklemlerin daha sade olarak ifade edilebilmesi için Φ çarpanının tarifi yapılacaktır (5.33):

$$\Phi = \left(\frac{N}{s} \cdot \frac{1+\Theta}{\Theta} \cdot \frac{\beta}{\alpha-\beta} \cdot m(t)^{\frac{1}{\Theta}} \right)^{\frac{\Theta}{1+\Theta}} \quad (5.33)$$

Kullanıcı optimumu esaslarına göre bulunan t_b yolculuğa ilk başlama zamanı ve t_s yolculuğa son başlama zamanı (5.34a) ve (5.34b)'de gösterilmiştir:

$$t_b = t^* - \frac{L}{v_s} - \Phi \quad (5.34a)$$

$$t_s = t^* - \frac{L}{v_s} - \frac{\alpha}{\beta} \cdot \Phi \quad (5.34b)$$

Bu modelleme yaklaşımında toplam yolculuk maliyeti M_T , sabit bileşen M_s ve değişken bileşen M_d olmak üzere iki parçadan oluşmaktadır. Değişken yolculuk maliyeti ise yolculuk maliyeti M_{yd} ve tarife maliyeti M_{td} olmak üzere iki parçadan oluşmaktadır (5.35a). Buna göre, Henderson modelinde kullanıcı optimumu için yolculuk maliyetleri (5.35b), (5.35c) ve (5.35d)'de verilmiştir:

$$M_d = M_{yd} + M_{td} \quad (5.35a)$$

$$M_{yd} = \alpha \cdot N \cdot \Phi \cdot \frac{1 + \Theta}{1 + 2 \cdot \Theta} \quad (5.35b)$$

$$M_{td} = \alpha \cdot N \cdot \Phi \cdot \frac{\Theta}{1 + 2 \cdot \Theta} \quad (5.35c)$$

$$M_s = \alpha \cdot \frac{L}{v_s} + \alpha \cdot \Phi \quad (5.35d)$$

Henderson modeli için, bu denklemler kullanılarak hesaplanan toplam yolculuk maliyeti (5.35e)'de gösterilmiştir.

$$M_T = M_s + M_d = \alpha \cdot \left[\frac{L}{v_s} + \Phi \cdot (N + 1) \right] \quad (5.35e)$$

Sosyal optimumu fiyatlandırması

Henderson modeline göre, sosyal optimumuna ulaşmak için kullanıcılardan tahsil edilecek fiyat $\tau(t)$ (5.36)'da verilmiştir:

$$\tau(t) = (\alpha - \beta) \cdot \Theta \cdot \left[\frac{L}{v(t)} - \frac{L}{v_s} \right] \quad (5.36)$$

Kullanıcılardan, (5.36)'da verilen tutarda fiyat tahsil edilmesi durumunda, t_b yolculuğa ilk başlama zamanı ve t_s yolculuğa son başlama zamanı (5.37a) ve (5.37b) kullanılarak hesaplanabilmektedir:

$$t_b = t^* - \frac{L}{v_s} - \Phi \cdot \frac{\alpha}{\beta} \cdot \left[1 + \Theta \cdot \left(1 - \frac{\beta}{\alpha} \right) \right] \cdot \left(\frac{1}{1 + \Theta} \right)^{\frac{\Theta}{1 + \Theta}} \quad (5.37a)$$

$$t_s = t^* - \frac{L}{v_s} - \Phi \cdot \left(\frac{1}{1 + \Theta} \right)^{\frac{\Theta}{1 + \Theta}} \quad (5.37b)$$

Sosyal optimumu fiyatlandırması için, kullanıcı optimumu haline benzer olarak tariflenen yolculuk maliyeti bileşenleri ise (5.38a), (5.38b) ve (5.38c)'de verilmiştir:

$$M_{yd} = \alpha \cdot N \cdot \Phi \cdot \frac{1 + \Theta}{1 + 2 \cdot \Theta} \cdot \left(\frac{1}{1 + \Theta} \right)^{\frac{\Theta}{1 + \Theta}} \quad (5.38a)$$

$$M_{td} = \alpha \cdot N \cdot \Phi \cdot \frac{\Theta}{1+2 \cdot \Theta} \cdot \left[1 + \Theta \cdot \left(1 - \frac{\beta}{\alpha} \right) \right] \cdot \left(\frac{1}{1+\Theta} \right)^{\frac{\Theta}{1+\Theta}} \quad (5.38b)$$

$$M_s = \alpha \cdot N \cdot \Phi \cdot \left[1 + \frac{\Theta^2}{1+2 \cdot \Theta} \cdot \left(1 - \frac{\beta}{\alpha} \right) \right] \cdot \left(\frac{1}{1+\Theta} \right)^{\frac{\Theta}{1+\Theta}} \quad (5.38c)$$

Henderson modeli için, yukarıdaki bağıntılar kullanılarak hesaplanan toplam yolculuk M_T maliyeti (5.38d)'de gösterilmiştir.

$$M_T = \alpha \cdot N \cdot \Phi \cdot 2 \cdot \left(\frac{1}{1+\Theta} \right)^{\frac{\Theta}{1+\Theta}} \cdot \left[1 + \frac{\Theta^2}{1+2 \cdot \Theta} \cdot \left(1 - \frac{\beta}{\alpha} \right) \right] \quad (5.38d)$$

Henderson'un şişe boynu modelinin genel değerlendirmesi

a) Henderson modelinde araçların yolculuğa başlangıç anlarındaki hız değerleri ile analize başlanarak, tüm zaman dilimi için tek bir hız-akım ilişkisi kullanılmaktadır. Farklı başlangıç zamanlarında aynı ilişkiden türetilen farklı hız değerleri söz konusu olmaktadır [60].

b) Henderson modelinde, düşük bir trafik akımında yüksek bir hız ile yolculuğuna başlayan bir kullanıcının; daha önceki bir anda yüksek bir trafik akımında düşük bir hız ile yolculuğuna başlayan bir başka kullanıcıya yetişmesi söz konusudur. Yetişme ve sollama davranışı bu modelde ihmal edilmektedir [60,93].

c) Henderson modelinde herhangi bir andaki trafik akımının, daha önceki anlardaki trafik akımından bağımsız olduğu da kabul edilmektedir [60,93].

d) Henderson modeli ile gerçekleştirilen bir analizde toplam yolculuk süresinin mevcut trafik akımı ile (Hız-akım ilişkisi ile) ilişkilendirilerek bulunmasının, aynı büyüklüğün şişe boynu analizindeki hesaplanma yöntemine göre daha gerçekçi bir yaklaşım olduğunu söylemek mümkündür.

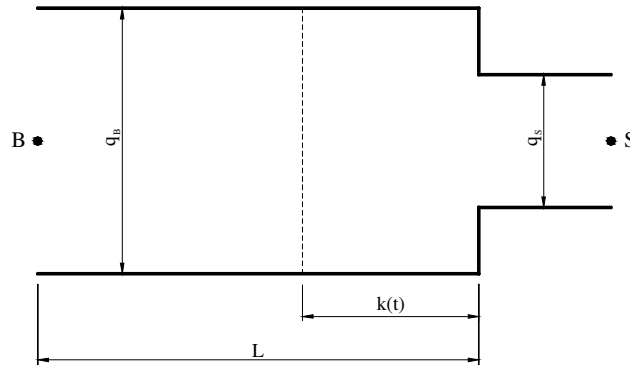
5.3.1.3. Mun'un karma şişe boynu modeli

Vickrey'in klasik şişe boynu modeline farklı açıdan bir başka yaklaşım Mun tarafından ileri sürülmüştür [94,95]. Modelde hız v , trafik yoğunluğunun k bir fonksiyonu olarak kabul edilmiştir (5.39):

$$v = f(k) \quad (5.39)$$

(5.39)'da verilen ilişkinin tayini için Şekil 4.2b'de verilen karakteristik hız-akım eğrisi kullanılmıştır. Hızın bu eğrideki v_0 değerinden daha düşük olduğu durumlar için tıkanık trafik koşullarını temsil eden v_j , daha büyük olduğu durumlar için ise normal (tıkanık olmayan akım) koşullarını gösteren v_n hız ifadeleri kullanılmıştır.

Şekil 5.3'de verilen B ve S noktaları arasındaki bir yol kesiminde, B noktasına L km uzakta bir şişe boynu kesiti bulunmaktadır. Şişe boynu kesitinin kapasitesi q_s , yolun geri kalan kısmının kapasitesi ise q_b ile temsil edilmektedir.



Şekil 5.3 : B-S noktaları arasındaki yol [94].

Herhangi bir t anında, B noktasından yola giriş yapan trafik akımı $q(t)$, q_s değerinden düşük kaldığı sürece; yola giriş ve çıkış yapan araçların miktarı aynı olacaktır. Dolayısıyla, bu sürecin normal akım koşullarını temsil ettiği söylenebilmektedir. Öte yandan, trafik akımının q_s değerini aşması ile beraber, şişe boynu kesitinin girişinde kuyruk oluşacaktır. Bu süreç ise tıkanık akım koşullarını göstermektedir.

Şekil 5.3'deki yol kesiminde herhangi bir t anında kuyruk boyu $k(t)$ olmak üzere, yolculuk süresi t_o aşağıdaki şekilde tanımlanmıştır (5.40):

$$t_o = \frac{k(t)}{v_j(q_b)} + \frac{L - k(t)}{v_n[q(t)]} \quad (5.40)$$

(5.40)'da birinci terim şişe boynu kesitini, ikinci terim ise yolun geri kalanını geçmek için harcanan zamandır. Diğer taraftan, herhangi bir t anında yola giriş yapan trafik akımının, şişe boynunun kapasitesinden büyük olması ile kuyruk boyunun sürekli uzaması söz konusudur. Trafik mühendisliğinde kuyruğun son noktasının

hareketi şok dalgası olarak adlandırılmaktadır. Şok dalgasının yayılım hızı, $w(t)$ ise (5.41)'de verilen ifade ile belirlenebilir:

$$w(t) = \frac{q_s - q(t)}{k_j(q_s) - k_n[q(t)]} \quad (5.41)$$

Burada şok dalgasının hızı, $q(t) > q_s$ olması durumunda negatif, tersi durumda pozitif çıkacaktır. Negatif hızın kuyruk boyunun artışı, pozitif hızın ise kuyruk boyunun azalışını temsil ettiği görülmektedir.

Kullanıcı optimumu durumunda denge

Şekil 5.3'de verilen B ve S noktaları arasında yolculuk yapan N adet kullanıcının, yolculuklarının son noktasına, arzu edilen varış zamanı t^* değerinden daha geç varması durumunda $m_g(t)$, daha erken varması durumunda ise $m_e(t)$ tutarında tarife maliyetleri söz konusu olmaktadır (5.42a) ve (5.42b):

$$m_e(t) = \alpha \cdot t_o + \beta \cdot [t^* - (t_\zeta + t_o)] \rightarrow t_\zeta + t_o \leq t^* \quad (5.42a)$$

$$m_g(t) = \alpha \cdot t_o + \gamma \cdot [(t_\zeta + t_o) - t^*] \rightarrow t_\zeta + t_o > t^* \quad (5.42b)$$

Burada α özdeş sürücüler için zaman değerini, t_o toplam yolculuk süresini, β birim zaman için son noktaya erken varmanın maliyetini, t_ζ yolculuğa başlangıç zamanını, γ ise birim zaman için son noktaya geç varmanın maliyetini göstermektedir. Gerekli eşitliklerin kurulması suretiyle (5.43) elde edilmektedir:

$$\dot{t}_o(t) = -\frac{L - k(t)}{[v_n[q(t)]]^2} \cdot \frac{dv_n}{dq} \cdot \dot{q}(t) - \left(\frac{1}{v_j(q_s)} - \frac{1}{v_n[q(t)]} \right) \cdot w(t) \quad (5.43)$$

Yola giriş trafik akımı $q(t)$ denge durumunda, (5.43)'de verilen diferansiyel bağıntının çözülmesi ile elde edilmektedir.

Sosyal optimumu fiyatlandırması

Karma şişe boynu modelinde, her anda yolculuğa başlama miktarlarının trafik koşullarına bağlı olarak farklılık gösterdiği üç zaman dilimi tanımlanmıştır:

- A Fazı: $k(t) = 0$ ve $q(t) < q_s$

- B Fazı: $k(t) = 0$ ve $q(t) = q_s$
- C Fazı: $k(t) > 0$

Yukarıda trafik koşulları verilen üç zaman diliminden B fazı, yola giriş yapan trafik akımının şişe boynunun kapasitesine tam eşit olduğu süreci göstermektedir. C fazında kuyruklanma söz konusudur ve trafik tıkanıklığı mevcuttur. A fazı ise, yola giriş yapan trafik akımının şişe boynu kapasitesinden düşük olduğu, tıkanıklık yaşanmayan trafik koşullarını göstermektedir. Şişe boynu analizine esas olan Şekil 5.2 ve bu analizin mekanizması düşünüldüğünde; yolculukların son noktasına erken varılan süreç için A fazının B fazından önce oluştuğu, yolculukların son noktasına geç varılan süreç için ise B fazının A fazından önce ortaya çıktığını söylemek mümkündür.

Sosyal optimumunu sağlayacak denge koşullarına ulaşılması için kullanıcılardan tahsil edilmesi gereken fiyat $\tau(t)$, farklı zaman dilimleri için (5.44a), (5.44b), (5.44c), (5.44d), (5.44e) ve (5.44f)'de gösterilmiştir.

$$\tau(t) = 0 \rightarrow t \leq t_1 \quad (5.44a)$$

$$\tau(t) = (\alpha - \beta) \cdot E[q(t)] \rightarrow t_1 < t \leq t_1 \quad (5.44b)$$

$$\tau(t) = (\alpha - \beta) \cdot E(q_s) + \beta \cdot (t - t_1) \rightarrow t_1 \leq t \leq t_n \quad (5.44c)$$

$$\tau(t) = (\alpha + \gamma) \cdot E(q_s) + \gamma \cdot (t_2 - t) \rightarrow t_n \leq t \leq t_2 \quad (5.44d)$$

$$\tau(t) = (\alpha + \gamma) \cdot E[q(t)] \rightarrow t_2 \leq t \leq t_2 \quad (5.44e)$$

$$\tau(t) = 0 \rightarrow t_2 \leq t \quad (5.44f)$$

Yukarıdaki bağıntılarda, yolculuğun arzu edilen varış zamanı t^* anında tamamlanabilmesi için gereken yolculuğa başlangıç zamanı t_n , erken varış sürecinde A fazından B fazına geçiş yapılan an t_1 , geç varış sürecinde B fazından A fazına geçiş yapılan anı ise t_2 ile temsil edilmektedir. Trafikteki araçlar üzerindeki dışsal maliyetleri temsil eden $E[q(t)]$ terimi ise (5.45)'de gösterilmiştir.

$$E[q(t)] = q(t) \cdot \left(\frac{\partial t_0(t)}{\partial v_n} \right) \cdot \left(\frac{dv_n}{dq(t)} \right) \quad (5.45)$$

Karma şişe boynu modelinde sosyal optimumu fiyatlandırmasının yapısı, hem Henderson modelini, hem de Vickrey'in klasik şişe boynu modelini kapsamaktadır.

A fazının söz konusu olduğu süreçte ($t_1 < t \leq t_1$ veya $t_2 \leq t < t_2$) tahsil edilen fiyat Henderson modelinde tarif edilen fiyata denk düşmektedir. Öte yandan, B fazına ait trafik koşullarının söz konusu olduğu süreçte ($t_1 \leq t \leq t_2$) fiyat lineer bir değişim göstermekte ve bu özelliği ile klasik şişe boynu modeline benzer bir yapı arz etmektedir.

Mun'un karma şişe boynu modelinin genel değerlendirmesi

- a) Karma şişe boynu modelinde toplam yolculuk süresi hesaplanırken, Henderson modelinden farklı olarak, önceden kabul edilen bir hız-akım ilişkisi kullanmak yerine; yolun tıkanık ve tıkanık olmayan kesimlerinden geçiş için gerekli süreler ayrı ayrı kuyruk boyuna ve trafik akımına bağlı olarak hesaplanmaktadır.
- b) Karma şişe boynu modeli, incelenen diğer iki modelin aksine, toplam yolculuk maliyeti, zirve saatin başlangıcı ve bitişi gibi büyüklüklerin hesabı için kolay çözülebilir ve açık denklemler sunmamaktadır.

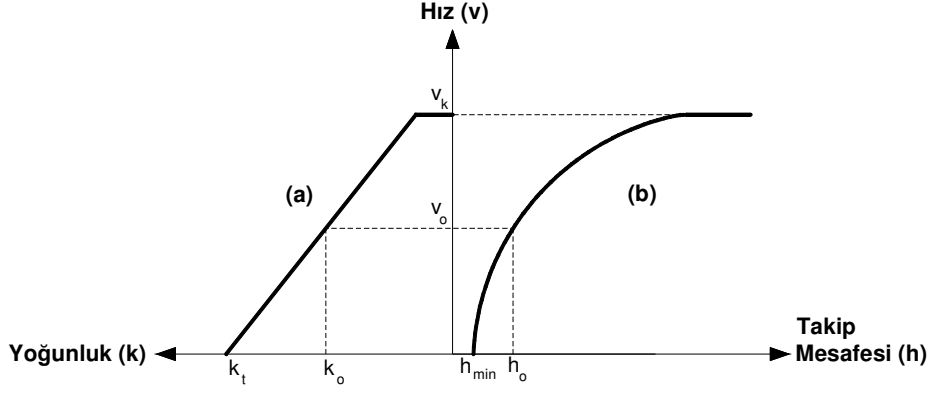
5.3.1.4. Verhoef'in araç takibi esasına dayalı şişe boynu modeli

Verhoef tarafından öne sürülen ve geliştirilen şişe boynu modeli hız-akım ilişkisinin belirlenmesinde, bir trafik akımı içerisindeki araçların takip mesafesi ile ilgili prensiplere dayanmaktadır [68-70]. Verhoef modelinde, sürücüler seyir hızlarını belirlerken, trafikte arkasında seyrettikleri araç ile aralarındaki mesafeye göre hareket etmektedirler.

Herhangi bir anda trafik yoğunluğu, araçların takip mesafesinin uzunluk cinsinden değerinin tersi olarak hesaplanmaktadır. (5.46)'da, h uzunluk (metre) cinsinden araçların ortalama takip mesafesi olmak üzere, bu ilişki sunulmuştur:

$$k = \frac{1}{h} \quad (5.46)$$

Bu ilişki ve Şekil 5.4a'da verilen hız-yoğunluk eğrisi kullanılarak, Şekil 5.4b'de verilen hız-ortalama takip mesafesi eğrisine ulaşmak mümkündür.



Şekil 5.4 : (a) Hız-yoğunluk ve (b) Hız-takip mesafesi grafikleri [68].

Şekil 5.4b incelendiğinde, takip mesafesi için hızın teorik olarak sıfır değerini aldığı durumlara karşılık gelen bir h_{min} değeri olduğu görülmektedir. Ayrıca, Şekil 5.4a ve b'den görülebileceği gibi araç takip mesafesinin bir h_o değerine karşılık gelen bir k_o optimum trafik yoğunluğu değeri bulunduğu görülmektedir. Şekil 4.2c'ye göre ise, bir k_o optimum trafik yoğunluğu değeri için trafik akımı, q_m en büyük değerini almaktadır. Ayrıca, araçların seyir hızlarının v_k değerini aldığı serbest akım koşullarında araç takip mesafesinin sonsuz değerine yakınsadığı da görülmektedir.

Araç takibi modellerinde, herhangi bir i sürücüsünün hızlanma veya yavaşlama ivmesi, kendi aracı ile takip ettiği aracın hızları arasındaki farka bağlı olarak hesaplanmaktadır. Buna göre; $0 \leq x \leq L$ olarak x yoldaki konum ve ($x = 0$ yola giriş, $x = L$ yoldan çıkış noktalarını temsil etmektedir), a ivme olmak üzere (5.47)'de verilen ikinci dereceden diferansiyel bağıntı söz konusudur:

$$\ddot{x}_i = a \cdot (\dot{x}_{i-1} - \dot{x}_i) \quad (5.47)$$

Verhoef modelinde araç takibi ilişkisi için birinci dereceden bir diferansiyel bağıntı kullanılmıştır (5.48). Bu bağıntı vasıtasıyla, herhangi bir i sürücüsünün hızı, kendi aracı ile takip ettiği aracın arasındaki mesafeye bağlı olarak hesaplanmaktadır.

$$\dot{x}_i = v \cdot (x_{i-1} - x_i) \quad (5.48)$$

(5.47) ve (5.48) arasında, hesaba esas olan büyüklükler açısından farklılık bulunmakla birlikte, sürücülerin önlerinde seyreden araçları takip davranışının açıklanması açısından bir farklılık yoktur. Örneğin, bir araç takip ettiği araçtan daha

yavaş seyrediyorsa, bu iki araç arasındaki mesafe açılacaktır. Bu durumda, takip eden aracın sürücüsünün hızlanarak aradaki farkı kapatması gerekecektir. Benzeri bir durum, öndeki aracın takip eden araçtan daha yavaş seyretmesi durumunda da geçerlidir. Araçların hızlanma veya yavaşlaması ile ilgili olan bu mekanizma (5.47) kullanılarak, hızlar arasında farktan hareketle doğrudan doğruya yavaşlama veya hızlanma ivmesi elde edilmesi suretiyle belirlenebileceği gibi, (5.48) kullanılarak araçlar arasındaki mesafe farkından hareketle bir hız değerine ulaşılması suretiyle de belirlenebilmektedir.

Verhoef modelinin sınır durumları da içerebilmesi için çeşitli kabuller yapılmıştır. Sınır durumlardan biri yola giriş yapan araçlar ile ilgilidir. Buna göre, bir sürücü yolun girişine vardığında önündeki sürücü yolda henüz h_{min} kadar mesafe kat etmemişse (en küçük takip mesafesi şartının sağlanmadığı durumlarda) bu sürücünün durması ve takip ettiği araç ile arasında h_{min} kadar mesafe sağlanıncaya kadar beklemesi gerekmektedir. Buna bağlı olarak, yolun girişinde bir kuyruklanmadan söz etmek mümkündür. Ancak, oluşan bu kuyruk analize esas olan yolun dışında kaldığı için, fiziksel olarak yer kaplamayan bir düşey kuyruk özelliğinde kabul edilmektedir.

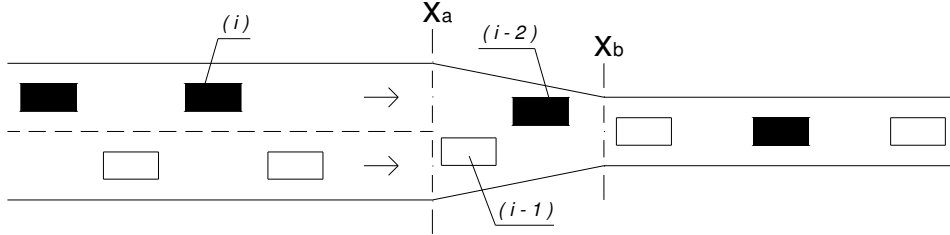
Model ile ilgili diğer bir sınır durum yolun çıkışında ortaya çıkmaktadır. Buna göre; bir sürücünün takip ettiği araç, çıkış noktasını geçerek yolu terk ettiğinde, bu sürücü için (5.48) kullanılarak, araç takip mesafesine bağlı olan bir hız değeri seçme imkanı ortadan kalkmaktadır. Bu durumda yolun son kısmında, takip ettiği aracın yolculuğunu tamamladığı sürücülerin seyir hızları için yeni bir ilişki tanımlamak zorunlu olmaktadır. Bu amaçla, toplam yol boyu L ; L_{ϕ} çıkış kesiminin uzunluğu olmak üzere (5.49)'daki gibi tanımlanır.

$$L = x + L_{\phi} \quad (5.49)$$

Bu bağıntının kullanılması suretiyle x uzunluğunun “yeterince büyük”, L_{ϕ} uzunluğunun ise “yeterince küçük” ve ayrıca L_{ϕ} kesiminin yol ile aynı karakteristiklerde alınması suretiyle bahsedilen sınır durumun modellenmesi mümkün olmaktadır. Çıkış kesimi yolun çıkış noktasından hemen önce yer alabileceği gibi, hemen sonra da yer alabilmektedir.

Modelin yapısı

Verhoef tarafından oluşturulan modelde Şekil 5.5’de gösterilen basit yol ağı kullanılmıştır. Burada x_a ve x_b noktaları arasındaki kesimde, yoldaki şeritlerin sayısı ikiden bire düşmektedir.



Şekil 5.5 : Verhoef modelinde kullanılan yol ağı [68].

Şekil 5.5’de verilen yol ağında trafik akımının yüksek değerlerde olması durumunda, x_a ile x_b arasında kalan yol kesimi bir şişe boynu halini alacak ve iki şeritten gelen akım birleşirken kuyruklanma ortaya çıkacaktır. Dinamik denge durumunda, yolculuk süresinin ve dolayısıyla maliyetlerinin minimum olduğu trafik dağılımında, sürücüler yolculuklarına başlarken karşılarındaki iki şeritten birini kullanmayı tercih edecekler ve Şekil 5.5’den de anlaşılabileceği gibi; yolun tek şeride düştüğü kesimde, iki şeritli haldekinden farklı bir aracı takip etmeye başlayacaklardır.

Modelde trafik akımının tek şeride indirgenmesi sürecinde herhangi bir i sürücüsü, $i-2$ sürücüsünü takip ederken, x_a ile x_b arasındaki kesimde $i-1$ sürücüsünün tek şeride giriş yapabilmek için yavaş yavaş i ile $i-2$ sürücüsü arasına girmesi sebebiyle, tek şeride indirgenmiş yolda $i-1$ sürücüsünü takip etmeye başlayacaktır. Bu mekanizmayı tanımlayabilmek için, herhangi bir t anında i sürücüsünün önündeki aracı takip mesafesi h_i^t olmak üzere (5.50a), (5.50b) ve (5.50c)’de verilen eşitlikler ortaya konulmuştur.

$$x_{i-1}^t < x_a \rightarrow h_i^t = x_{i-2}^t - x_i^t \quad (5.50a)$$

$$x_a \leq x_{i-1}^t \leq x_b \rightarrow h_i^t = \varepsilon(t) \cdot (x_{i-2}^t - x_i^t) + [1 - \varepsilon(t)] \cdot (x_{i-1}^t - x_i^t) \quad (5.50b)$$

$$x_{i-1}^t > x_b \rightarrow h_i^t = x_{i-1}^t - x_i^t \quad (5.50c)$$

(5.50b)’de yer alan $\varepsilon(t)$ terimine ait bağıntı ise (5.51)’de verilmiştir.

$$\varepsilon(t) = 1 + 2 \cdot \left(\frac{t - t_{i-1,1}}{t_{i-1,2} - t_{i-1,1}} \right)^3 - 3 \cdot \left(\frac{t - t_{i-1,1}}{t_{i-1,2} - t_{i-1,1}} \right)^2 \quad (5.51)$$

Denklemlerde t zamanı göstermektedir. $t_{i-1,1}$ ve $t_{i-1,2}$ terimleri $i-1$ sürücüsünün sırasıyla x_a ve x_b noktalarından geçtiği anı ifade etmektedir. $\varepsilon(t)$ ise x_a ile x_b arasındaki yol kesiminde, i sürücüsünün $i-1$ ve $i-2$ sürücülerinden hangisini takip etmekte olduğunu belirlemeye yarayan bir ağırlık katsayısıdır. Fonksiyonun ifadesi, $i-2$ sürücüsüne ait ağırlığın x_a noktasında bir, x_b noktasında ise sıfır değerini almasını sağlayacak şekilde belirlenmiştir.

Verhoef modelinde denge durumunun araştırılmasına esas oluşturan yolculuk maliyetlerinin tanımı şişe boynu analizinde kullanılan yapının aynısıdır. Bu modelde (5.13a), (5.13b) ve (5.13c)'de verilen bağıntılar aynen kullanılmıştır.

Kullanıcı optimumu durumunda denge

Wardrop'un birinci prensibi olan kullanıcı optimumunda dinamik denge durumuna; yolculuk maliyetinin, bir t_b ile t_s anı arasındaki N adet yolculuğa başlangıç zamanı aralığında tüm sürücüler için aynı, t_b 'den önce ve t_s 'den sonra ise ilgili aralıktaki değerlerden daha yüksek olduğu durumda ulaşılmaktadır.

Herhangi bir i sürücüsü için, t^* arzu edilen varış zamanını, t_ζ^i yolculuğa başlangıç zamanını, α zaman değerini, β birim zaman için son noktaya erken varmanın maliyetini, γ birim zaman için son noktaya geç varmanın maliyetini, $t_o(t)$ ise toplam yolculuk süresini göstermektedir. Dinamik dengenin sağlanabilmesi için; fiyatlandırılmamış halde arzu ettiği zamandan önce son noktaya ulaşan kullanıcıların ortalama yolculuk maliyeti $m_e(t)$ ve arzu ettiği zamandan sonra son noktaya ulaşan kullanıcıların ortalama yolculuk maliyeti $m_g(t)$, yolculuğa başlangıç zamanına bağlı olarak, sırasıyla (5.52a) ve (5.52b)'de gösterilmiştir.

$$t_\zeta^i + t_o(t_\zeta^i) \leq t^* = 0 \rightarrow m_e(t_\zeta^i) = \alpha \cdot t_o(t_\zeta^i) - \beta \cdot [t_\zeta^i + t_o(t_\zeta^i)] \quad (5.52a)$$

$$t_\zeta^i + t_o(t_\zeta^i) > t^* = 0 \rightarrow m_g(t_\zeta^i) = \alpha \cdot t_o(t_\zeta^i) + \gamma \cdot [t_\zeta^i + t_o(t_\zeta^i)] \quad (5.52b)$$

Sosyal optimumu fiyatlandırması

Verhoef modelinde sosyal optimumu koşullarını sağlayacak şekilde bir fiyat belirleyebilmek için yaklaşık optimum fiyatlandırma kuralı adı verilen bir yaklaşım kullanılmıştır. Bu yaklaşımda, yolun her noktasında her anda sosyal optimumu araştırmasının o andaki trafik akımı ve hız değerlerinin sabit alınması suretiyle; adeta yerel bir statik analiz yapılarak, gerçekleştirilmesi uygun görülmüştür. Buna göre, Verhoef modelinin sosyal optimumunu veren fiyatlandırma kuralı (5.53)'deki hali almıştır.

$$\tau(t_A) = \int_0^x q_{t_A^x}^x \cdot \frac{dm_x^{t_o}}{dq_{t_A^x}^x} \cdot dx \rightarrow q_A(t_A) > 0 \quad (5.53)$$

Burada, $\tau(t_A)$ sosyal optimumunu veren fiyatı, t_A^x yolculuğunu t_A anında tamamlayan bir sürücünün x noktasını geçtiği anı, $m_x^{t_o}$ yolun x noktasında, birim yol boyu için yolcu başına düşen yolculuk maliyetini ve $q_{t_A^x}^x$ ise t_A^x anında x noktasındaki anlık trafik akımını göstermektedir. $m_x^{t_o}$ değeri doğrudan doğruya trafik akımının bir fonksiyonudur ve hız-akım eğrisinden elde edilebilmektedir.

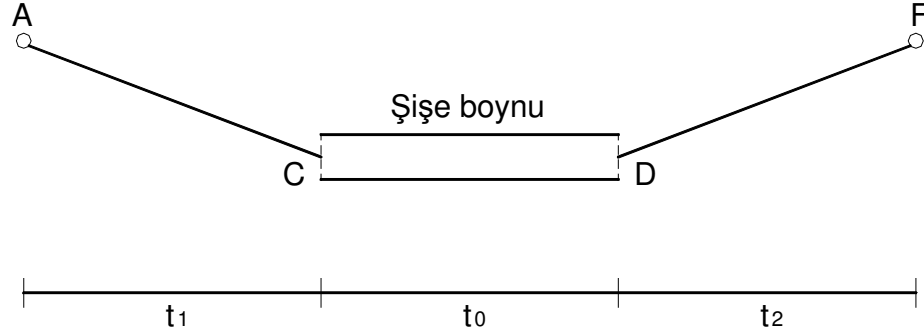
(5.53) ile tarif edilen fiyatlandırma kuralının marjinal maliyet fiyatlandırması yaklaşımının, dinamik analizler için özelleştirilmiş bir hali olduğunu söylemek mümkündür. Denklemden dikkat çekici bir nokta tarife maliyetlerinin devre dışı bırakılmış olmasıdır. Bu tip bir hesaplama yaklaşımının özellikle hesaplamalarda önemli kolaylıklar sağlayacağı düşünülmektedir.

5.3.2. Stokastik yaklaşım modelleri

Dinamik analizlerde stokastik yaklaşım kullanılması ile sürücülerin yolculuk zamanı, gecikmeler ve dolayısıyla yolculuk maliyetleri konusunda sahip oldukları bilgilerdeki eksiklik ve tutarsızlıkların hesaplamalara yansıtılması amaçlanmaktadır. Buradan hareketle, kullanıcı optimumu tarif edilirken denge durumunda hiçbir kullanıcının yolculuğa başlangıç zamanını değiştirerek, algıladığı toplam yolculuk maliyetini azaltamayacağı durumdan söz edilebilir [96].

5.3.2.1. Klasik stokastik şişe boynu modeli

Klasik stokastik şişe boynu modelinde [97] Şekil 5.6'da verilen yol esas alınmaktadır. Buna göre, her gün N adet kullanıcı A ve F noktaları arasında yolculuk yapmaktadır. Yolun, AC ve DF kesimlerinde yolculuk süresi sabittir. CD kesiminde ise kapasitesi s olan bir şişe boynu kesiti bulunmaktadır.



Şekil 5.6 : Klasik stokastik şişe boynu modelinde kullanılan ulaşım ağı [97].

C ve D noktaları arasındaki yolculuk süresi t_0 olarak sabit bir değer alırken, şişe boynunun sabit kapasitesi sebebiyle C noktasında kuyruklanma olmaktadır. Herhangi bir t anında C noktasına varan bir sürücünün bekleme süresi $t_b(t)$ olmak üzere, bu sürücünün A'dan F'ye ulaşması için toplam yolculuk süresi $t(t)$ (5.54)'de verilmiştir.

$$t(t) = t_1 + t_b(t) + t_0 + t_2 \quad (5.54)$$

Herhangi bir t anında kuyruktaki araçların sayısı $k(t)$ olmak üzere, deterministik yaklaşım kullanılarak hesaplanabilen $t_b(t)$ bekleme süresi (5.55)'de verilmiştir.

$$t_b(t) = \frac{k(t)}{s} \quad (5.55)$$

Trafik tıkanıklığının mevcut olmadığı durumda $k(t)$ ve $t_b(t)$ değerlerinin sıfıra eşit olacağı açıktır.

Herhangi bir $t-t_1$ anında, bir sürücünün A noktasından yolculuğa başlama ile ilgili tercihi aynı sürücünün C noktasına t anında varma ile ilgili tercihi ile aynıdır. C noktasına t anında varmanın fayda fonksiyonu $u(t)$ ve Ξ bir parametre olmak üzere, t anının seçilme olasılığı $p(t)$ aşağıdaki lojit model fonksiyonu ile elde edilir (5.56).

$$p(t) = \frac{e^{\left[\frac{u(t)}{\Xi}\right]}}{\int_{t_1}^{t_1+T} e^{\left[\frac{1}{\Xi}u(u)\right]} \cdot du} = \frac{1}{E} \cdot e^{\left[\frac{u(t)}{\Xi}\right]} \quad (5.56)$$

Burada E lojistik bölen terimidir. İlgili zaman diliminde yolculuklarını gerçekleştirmek isteyen N adet araç C noktasına t_1 ile $t_1 + T$ anları arasında varacaktır. Herhangi bir t anında C noktasına varış miktarı $g(t)$ ise (5.57)'de verilmiştir.

$$g(t) = N \cdot p(t) = \frac{N}{E} \cdot e^{\left[\frac{1}{\Xi}u(t)\right]} \quad (5.57)$$

Tüm yolculuğa başlangıç zamanları arasında farklılık gösteren en önemli iki değişken yolculuk zamanı ve tarife maliyetidir. Sürücülerin arzu ettikleri varış zamanı t^* ve işe başlama saati ile ilgili bir tolerans katsayısı Δ ($\Delta \geq 0$) olmak üzere, F noktasına arzu edilen varış zamanı için $[t^* - \Delta, t^* + \Delta]$ şeklinde bir aralık tanımlamak mümkündür. Öte yandan, t' F noktasına $t^* - \Delta$ anında varmak için C noktasına varış zamanını ve t'' F noktasına $t^* + \Delta$ anında varmak için C noktasına varış zamanını göstermek üzere, şişe boynu kesimine $[t_1, t']$ zaman diliminde varanlar erken, $[t'', t_1 + T]$ zaman diliminde varanlar geç varışın tarife maliyetleri ile karşılaşacaklardır. α bir ilave kullanıcı için marjinal negatif faydayı (zaman değerini), η bir sabiti ve σ da geç ve erken varmanın marjinal negatif faydaları arasındaki oranı göstermek üzere; yolculuk zamanı ve tarife maliyetlerinden oluşan fayda fonksiyonu (5.58)'deki gibi tanımlanabilir.

$$u(t) = \eta \cdot \theta \cdot t + (\eta \cdot \theta - \alpha) \cdot t_b(t) + \sigma \cdot \Delta \cdot |\theta| - \eta \cdot \theta \cdot (t^* - t_0 - t_2) \quad (5.58)$$

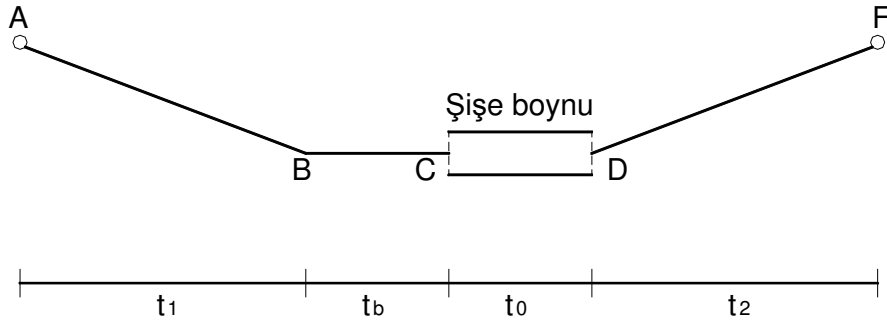
Burada $\theta(t)$ fonksiyonu, $t_1 \leq t \leq t'$ aralığında 1, $t' < t < t''$ aralığında 0 ve $t'' \leq t \leq t_1 + T$ aralığında $-\sigma$ değerlerini alan bir değişkendir. Ayrıca t' ve t'' zamanları da (5.59a) ve (5.59b)'de verilen ifadeler ile hesaplanabilmektedir.

$$t' = t^* - t_0 - t_2 - \Delta - t_b(t') \quad (5.59a)$$

$$t'' = t^* - t_0 - t_2 + \Delta - t_b(t'') \quad (5.59b)$$

5.3.2.2. Geliştirilmiş klasik stokastik şişe boynu modeli

Klasik stokastik şişe boynu modelinde araçların C noktasında, yani şişe boynunun girişinde kuyruğa girdiği kabul edilmektedir. Aynı modelin daha geliştirilmiş bir halinde ise [97] şişe boynu kesitinden önceki trafik yoğunluğunun da dikkate alınması suretiyle hesaplamalar yapılabilmektedir (Şekil 5.7).



Şekil 5.7 : Geliştirilmiş klasik stokastik şişe boynu modelinde kullanılan ulaşım ağı [97].

Geliştirilmiş modelde de, klasik modeldekine benzer olarak AB, CD ve DF kesimlerinde hızlar sabittir ve sabit yolculuk süreleri sırasıyla t_1 , t_0 ve t_2 değerlerini almaktadır. Buna karşılık BC arasındaki kesimde hızlar, B ve C arasındaki araç miktarına, diğer bir deyişle trafik yoğunluğuna bağlıdır. Böylece geliştirilmiş modelde kuyruk, B ve C noktaları arasında yayılıyor kabul edilmektedir.

B noktasına ulaşma zamanı olan herhangi bir t anında, B-C arasındaki (kuyrukta bekleyen) araç miktarı $k(t)$ ile gösterilirse, trafik tıkanıklığı olmaması durumunda BC kesiminin yolculuk süresi sabit bir t_u değerini alacaktır (Klasik modelde t_u değeri sıfıra eşittir). Buradan hareketle, geliştirilmiş modelde BC kesimindeki $t_b(t)$ bekleme süresini (5.60) ile hesaplamak mümkündür.

$$t_b(t) = \text{Max}\left(t_u, \frac{k(t)}{s}\right) \quad (5.60)$$

Herhangi bir t anında; kuyruk uzunluğu k (5.61a)'da ve şişe boynu kesitinde bekleme süresi $t_k(t)$ (5.61b)'de verilmiştir.

$$k = \text{Max}[k(t) - s \cdot t_u, 0] \quad (5.61a)$$

$$t_k(t) = t_b(t) - t_u \quad (5.61b)$$

Model kullanılarak günden güne yaşanan farklıklar da temsil edilebilmektedir. Herhangi bir ω gününde ve t zamanında şişe boynu kesitine varış miktarı $g(t, \omega)$ olmak üzere, bir ω gününde ve $[t, t + \Delta]$ anında şişe boynu kesitine ulaşan kullanıcıların sayısı $N(t, \omega)$, (5.62) ile hesaplanabilir:

$$N(t, \omega) = \int_t^{t+\Delta} g(u, \omega) \cdot du \quad (5.62)$$

Öte yandan $R(t, t', \omega) \cdot \Delta\omega$ terimi yolculuğa başlangıç zamanlarını $[t, t + \Delta]$ zaman diliminden $[t', t' + \Delta]$ zaman dilimine, $[\omega, \omega + \Delta\omega]$ süresi içinde kaydıran kullanıcıların oranını göstermek üzere (5.63)'de verilen eşitliği oluşturmak mümkündür.

$$\frac{\partial N(t, \omega)}{\partial \omega} = \sum_{t' \neq t} N(t', \omega) \cdot R(t', t, \omega) - N(t', \omega) \cdot \sum_{t' \neq t} R(t, t', \omega) \quad (5.63)$$

Farklı yolculuğa başlangıç zamanları arasında geçiş yapma oranının (5.64)'de verilen basit dinamik lojit model ile yapıldığı kabul edilebilir.

$$R(t', t, \omega) = R \cdot \frac{e^{\frac{U(t, \omega)}{\Xi}}}{\sum_{t''} e^{\frac{U(t'', \omega)}{\Xi}}} \quad (5.64)$$

Burada R sabit bir değer olan mevcut durumu değiştirme oranı, $U(t, \omega)$ ise ω gününde $[t, t + \Delta]$ zaman aralığında son noktaya varış zamanının fayda fonksiyonudur. (5.63) ve (5.64) kullanılarak, (5.65)'e ulaşmak mümkündür.

$$\frac{\partial N(t, \omega)}{\partial \omega} = R \cdot \left[N \cdot \frac{e^{\frac{U(t, \omega)}{\Xi}}}{\sum_{t''} e^{\frac{U(t'', \omega)}{\Xi}}} - N(t, \omega) \right] \quad (5.65)$$

$\Delta \rightarrow 0$ alınması suretiyle ise (5.66) elde edilir.

$$\frac{\partial g(t, \omega)}{\partial \omega} = R \cdot \left[N \cdot \frac{e^{\frac{U(t, \omega)}{\Xi}}}{\int e^{\frac{U(u, \omega)}{\Xi}} du} - g(t, \omega) \right] \quad (5.66)$$

(5.66) şişe boynu kesitine varışların günden güne gelişimini ortaya koymaktadır.

5.3.2.3. Bir ulaştırma ağında stokastik şişe boynu modeli

Stokastik şişe boynu modelinin bir ulaştırma ağını kapsadığı bu modelde [98], tıkanıklık fiyatlandırması lojit bir stokastik yaklaşım modeli kullanılarak analiz edilmiştir. D düğüm noktaları setini ve A bağlantıları ifade etmek üzere, $G = (D, A)$ terimi bir ulaştırma ağını temsil etmektedir. Bu ulaştırma ağında, BS tüm başlangıç-son çiftlerini ve R_{BS} de bs başlangıç-son çiftini birbirine bağlayan tüm güzergâhları göstermektedir ($bs \in BS$). Modelde trafik tıkanıklığı yaşanan bir ulaştırma ağında özdeş kullanıcıların güzergâh tercihleri incelenmiştir. Tüm kullanıcıların faydalarını maksimum yapmaya çalıştıkları kabul edilirken; herhangi bir r güzergâhı ile ilişkilendirilen fayda fonksiyonu U_r^{bs} ile ifade edilmektedir. Bir güzergâhın faydasının öncelikle güzergâhın yolculuk süresi ile ilişkilendirildiğinin kabul edilmesi suretiyle, bir $bs \in BS$ başlangıç-son çifti arasında yapılacak yolculuktan elde edilen faydayı (5.67) ile ifade etmek mümkündür:

$$U_r^{bs} = -t_r^{bs} + \xi_r^{bs} \quad (5.67)$$

Burada $bs \in BS$ ve $r \in R_{bs}$ olmak üzere, ξ_r^{bs} ilgili güzergâh ile ilişkili olarak gözlemlenemeyen ve ölçülemeyen unsurları temsil eden bir terimdir. Bir r güzergâhındaki yolculuk süresi olan t_r^{bs} ise (5.68) ile hesaplanabilir:

$$t_r^{bs} = \sum_{a \in A} t_a(q_a) \cdot \delta_{ar}^{bs} \quad (5.68)$$

(5.68)'de yer alan $t_a(q_a)$ terimi, $a \in A$ olmak üzere bağlantılardaki yolculuk süresini ifade etmektedir. Bu sürenin, bağlantıdaki trafik akımı q_a değerinin bir fonksiyonu olduğu kabul edilmiştir. Bir r güzergâhındaki trafik akımı Q_r ile temsil edilmek üzere, q_a değerini (5.69) ile hesaplamak mümkündür:

$$q_a = \sum_{bs \in BS} \sum_{r \in R_{bsw}} Q_r^{bs} \cdot \delta_{ar}^{bs} \quad (5.69)$$

δ_{ar}^{bs} terimi ise a bağlantısının bs başlangıç-son çifti arasındaki r güzergâhı üzerinde olması durumuna bir, aksi durumda sıfır değerini almaktadır.

Bireylerin bir r güzergâhını seçme olasılığı p_r^{bs} olmak üzere, fayda doruklaştırması prensibine göre (5.70)'de verilen ifade söz konusudur.

$$p_r^{bs} = \mathbf{Pr} \left(U_r^{bs} \geq U_k^{bs}, \forall k \in R_{bs} \right) \quad (5.70)$$

(5.70)'de yer alan stokastik değişkenlerin Gumbel dağılımına uyduğu kabul edilerek seçimlere ait olasılıkların (5.71) ile hesaplanabilmesi mümkün olmaktadır.

$$p_r^{bs} = \frac{e^{(-\theta t_r^{bs})}}{\sum_{k \in R_{bs}} e^{(-\theta t_k^{bs})}} \quad (5.71)$$

Burada sıfırdan büyük değerler alan θ terimi, güzergâh tercihlerinin yolculuk maliyetine olan duyarlılığını temsil etmektedir.

Ulaştırma ağındaki tüm kullanıcılar için toplam sosyal maliyet ise (5.72)'de verilmiştir.

$$M = \sum_a t_a(q_a) \cdot q_a \quad (5.72)$$

Net ekonomik karları, yolculuk yapanların karları ile toplam yolculuk maliyeti arasındaki fark olarak hesaplamak mümkündür. Ayrıca sosyal optimumunu sağlayan bir fiyatlandırma uygulamasında net ekonomik karların maksimize edilmesi gerektiği açıktır. Böylece modelin bir optimizasyon problemi şeklinde tarif edilmesi mümkün olmaktadır. Bu tanımlama ve uygun denklemlerin kurulması suretiyle, genelleştirilmiş bağlantı yolculuk süresi için (5.73) elde edilir.

$$\bar{t}_a(q_a) = t_a(q_a) + \hat{t}_a(q_a) \quad (5.73)$$

(5.73)'teki ikinci terimin matematiksel bağıntısı ise (5.74)'de verilmiştir.

$$\hat{t}_a(q_a) = q_a \frac{\partial t_a(q_a)}{\partial q_a} \quad (5.74)$$

(5.73)'deki birinci terim bireyin bağlantıdaki yolculuk süresini vermektedir. Aynı denklemin, (5.74) ile hesaplanabilen ikinci terimi ise trafiğe son katılan sürücünün, diğer tüm sürücülerin yolculuk süresine eklediği ilave zamanı ifade etmektedir. Genelleştirilmiş güzergâh yolculuk süresi ise (5.75) kullanılarak hesaplanabilir.

$$\bar{t}_r^{bs} = t_r^{bs} + \hat{t}_r^{bs} = \sum_{a \in A} \bar{t}_a(q_a) \cdot \delta_{ar}^{bs} \quad (5.75)$$

Bağlantı yolculuk süresine benzer olarak güzergâh yolculuk süresi için de, trafiğe son katılan sürücünün dışsal etkisini ise (5.76) ile hesaplamak mümkündür:

$$\hat{t}_r^{bs} = \sum_{a \in A} \hat{t}_a(q_a) \cdot \delta_{ar}^{bs} \quad (5.76)$$

Marjinal maliyet fiyatlandırmasına benzer olarak uygulanabilecek, bağlantı ve güzergâh başına tahsil edilen fiyatın (5.74) ve (5.76) kullanılarak hesaplanabileceği görülmektedir.

5.3.2.4. Aktivite tabanlı stokastik yolculuğa başlangıç zamanı modeli

Bu modelde [99], yolculuğa başlangıç zamanı tercihleri yolculuktan önce ve sonra gerçekleştirilen aktivitelerin süre ve zamanlamasına bağlı olarak analiz edilmektedir. Buradan hareketle, bir birey faydasını maksimize edecek yolculuğa başlangıç zamanı tercihini yaparken hem yolculuk, hem de yolculuk öncesi ve sonrası aktivitelerini dikkate almaktadır. Bu durumda, toplam fayda (5.77) ile hesaplanabilir:

$$U_i = U^y_i + U^a_i \quad (5.77)$$

Burada U_i toplam faydayı, U^y_i yapılan yolculuğun faydasını ve U^a_i ise Çizelge 5.1'de verilen bir i aktivitesinin tercih edilmesi durumunda sağlanacak faydayı ifade etmektedir.

Çizelge 5.1 : Fayda fonksiyonu için aktivite alternatifleri [99].

AKTİVİTE ALTERNATİFİ	
1	Trafik tıkanıklığı yaşanan zaman diliminde otoyolda seyahat etmek
2	Trafik tıkanıklığı yaşanan zaman diliminden önce otoyolda seyahat etmek
3	Trafik tıkanıklığı yaşanan zaman diliminden sonra otoyolda seyahat etmek
4	Trafik tıkanıklığı yaşanan zaman diliminde şehir caddesinde seyahat etmek
5	Trafik tıkanıklığı yaşanan zaman diliminden önce şehir caddesinde seyahat etmek
6	Trafik tıkanıklığı yaşanan zaman diliminden sonra şehir caddesinde seyahat etmek

Yolculuğa ait fayda fonksiyonu (5.78)'de verilmiştir.

$$U^y_i = v_i \cdot v_j + a_i \quad (5.78)$$

Burada v_i katsayılar vektörünü, v_j açıklanabilir değişkenlerin vektörünü ve a_i Çizelge 5.1'den seçilen alternatifin fayda fonksiyonu için stokastik hata terimini temsil etmektedir. Tercih edilen alternatiflere ait fayda fonksiyonu ise tüm aktivitelerin faydalarının toplamı olarak hesaplanmaktadır (5.79).

$$U^a_i = \sum_k U^a_{ki} \quad (5.79)$$

U^a_{ki} günün k. aktivitesini gerçekleştirmenin faydasıdır. Aktiviteleri zorunlu ve keyfi olmak üzere iki grupta değerlendirmek mümkündür. Zorunlu aktiviteler, bireyler tarafından mutlak suretle yerine getirilmesi gereken; zamanlamaları, süreleri ve konumları değişmez olan aktivitelerdir. Zorunlu aktivelerin faydaları güzergâh tercihi veya yolculuğa başlangıç zamanı tercihinine göre değişmemektedir.

Keyfi bir aktivite gerçekleştirmeye karar veren herhangi bir birey, bu aktivite için harcanacak zamanı ve aktivitenin konumunu belirleyecektir. Keyfi aktiviteler, zorunlu aktiviteler dışında kalan zaman dilimlerinde gerçekleştirilmektedir. Bu durumda modelde, bir zorunlu aktivitenin sona erdiği t_b anı ile bir sonraki zorunlu aktivitenin başladığı t_s anı arasında kalan zaman diliminde, keyfi aktiviteler incelenecektir. Burada her bir keyfi aktivite için, ona harcanan zamanın logaritmik bir fonksiyonu olan bir fayda fonksiyonu tanımlanmıştır (5.80).

$$U^a_{ki} = \alpha_{ki} \cdot \ln t_k = e^{(v_i \cdot v_{kj} + a_{ki})} \cdot \ln t_{ki} \quad (5.80)$$

Burada v_i katsayılar vektörünü, v_{ki} açıklanabilir değişkenlerin vektörünü, a_{ki} stokastik değişkeni ve t_{ki} ise k. aktiviteyi gerçekleştirmek için harcanan zamanı ifade etmektedir. (5.80) keyfi aktivitelere ayrılan zamanın arttırılması ile beraber faydanın artacağını, buna karşılık marjinal faydanın azalacağını ortaya koymaktadır.

Aktivitelerin optimum süreleri ise, (5.81)'de verilen matematik optimizasyon problemi çözülerek bulunur:

$$\max \sum_{k=1}^K \alpha_{ki} \ln t_{ki} \quad (5.81)$$

Burada K ilgilenilen zaman dilimi içerisinde gerçekleştirilen keyfi aktivitelerin toplam sayısıdır. (5.81)'de verilen matematik optimizasyon probleminin kısıtı ise (5.82)'de verilmiştir.

$$\sum_k t_{ki} = t_e - t_s - t_i^y \quad (5.82)$$

Bu bağıntıda t_i^y aktiviteye ait yolculuk süresini ifade etmektedir. Yolculuğa başlangıç zamanları ile ilgili bir kısıt bulunmaması durumunda ise, bir aktivitenin optimum süresi t_{ki}^* (5.83) ile hesaplanabilir:

$$t_{ki}^* = \frac{\alpha_{ki}}{\sum_{k=1}^K \alpha_{ki}} \cdot (t_b - t_s - t_i^y) \quad (5.83)$$

Gerçekte her bir alternatifin, tıkanıklık fiyatlandırması uygulamasına bağlı olarak yolculuğa başlangıç zamanı için kısıtlar söz konusudur. Örneğin, birey fiyatlandırma uygulamasından önce yolculuğuna başlamayı tercih ederse, bireyin aktiviteleri tamamlamak için fiyatlandırma uygulamasının başlangıç anına kadar süresi olacaktır. Diğer taraftan, bireyin fiyatlandırılan zaman dilimi içerisinde yola çıkmak gibi bir tercihi varsa, bu durumda aktivitelerini fiyatlandırma uygulaması sonlanmadan tamamlamalıdır. (5.83) ile verilen kısıt denklemi bireyin yolculuğa başlangıç tercihi göre değişiklik göstermektedir. Buradan hareketle, (5.83)'ün Çizelge 5.1'deki 1 ve 4 numaralı alternatifler için aldığı hal (5.84)'de, 2 ve 5 numaralı alternatifler için aldığı hal (5.85)'de, 3 ve 6 numaralı alternatifler için aldığı hal (5.86)'da verilmiştir.

$$t'_b - t_b \leq \sum_k t_{ki} \leq p_s - t_b \quad (5.84)$$

$$\sum_k t_{ki} < t'_b - t_b \quad (5.85)$$

$$t'_s - t_s < \sum_k t_{ki} \quad (5.86)$$

Bu bağıntılarda t'_b yolculuğu istenen zaman diliminde gerçekleştirmek için en erken, t'_s ise en geç yolculuğa başlangıç anıdır. Örnek olmak üzere 1 ve 4 alternatifleri için, yani yolculuklarını fiyatlandırılan zaman dilimi içerisinde gerçekleştirmek isteyen bireyler için her aktivitenin optimum süresi, zamanda farklılıklar göstermek üzere (5.87a), (5.87b) ve (5.87c)'de verilmiştir.

$$t'_b - t_b \leq \sum_{k=1}^{K'} t_{ki}^* \leq t'_s - t_b \Rightarrow t_{ki}^* = \frac{\alpha_{ki}}{\sum_{k=1}^K \alpha_{ki}} \cdot (t_b - t_s - t_i^y) \quad (5.87a)$$

$$\sum_{k=1}^{K'} t_{ki}^* = t'_b - t_b \Rightarrow t_{ki}^* = \left\{ \begin{array}{l} \frac{\alpha_{ki}}{\sum_{k=1}^{K'} \alpha_{ki}} \cdot (t'_s - t_s) \rightarrow k \leq K' \\ \frac{\alpha_{ki}}{\sum_{k=K'+1}^K \alpha_{ki}} \cdot (t_b - t'_s - t_i^y) \rightarrow k > K' \end{array} \right\} \quad (5.87b)$$

$$\sum_{k=1}^{K'} t_{ki}^* = t'_s - t_b \Rightarrow t_{ki}^* = \left\{ \begin{array}{l} \frac{\alpha_{ki}}{\sum_{k=1}^{K'} \alpha_{ki}} \cdot (t'_b - t_s) \rightarrow k \leq K' \\ \frac{\alpha_{ki}}{\sum_{k=K'+1}^K \alpha_{ki}} \cdot (t_b - t'_b - t_i^y) \rightarrow k > K' \end{array} \right\} \quad (5.87c)$$

Benzeri bağıntıların diğer alternatifler için de elde edilmesi mümkündür. Bu modelde kullanılan yaklaşım ile, aktivitelerin optimum sürelerinin ve yolculuğa başlangıç zamanı tercihlerinin fayda maksimizasyonu prensibine bağlı olarak, zamanda değişen bir şekilde elde edilmesi mümkün olmaktadır.

5.4. Talebin Yolculuğa Başlangıç Zamanı ve Güzergâh Tercihlerine Göre Modellenmesi

Bireylerin yolculuk zamanı tercihlerinin modellenmesinde çoğunlukla bir başlangıç-son çiftini birbirine bağlayan ve üzerinde kapasitesi sabit bir şişe boynu kesiti bulunan tek bir yol için analizler yapılmaktadır. Öte yandan, bireylerin güzergâh tercihlerinin modellenmesinde ise genellikle, aynı başlangıç-son çiftini birbirine bağlayan ve tam ikame edilebilir özellikte olan veya olmayan iki yol için analizler gerçekleştirilmektedir. Bireylerin tercihlerinin birden fazla boyutta değerlendirilmesi, talebin hem yolculuğa başlangıç zamanı, hem de güzergâh tercihlerine göre modellenmesi ile mümkün olmaktadır.

5.4.1. Klasik yolculuğa başlangıç zamanı ve güzergâh tercihi modeli

Klasik yolculuğa başlangıç zamanı ve güzergâh tercihi modeline göre [100], her sabah N adet özdeş birey araçları ile evlerinden iş yerlerine, ev-iş arasını birbirine bağlayan iki güzergâhtan birini kullanarak yolculuk yapıyor kabul edilmektedir. Her birey, güzergâhlardan hangisini kullanacağı ve yolculuğa hangi saatte başlayacağı konusunda tercih yapmaktadır. Tüm bireylerin tercihleri ortaya çıktığında kullanıcı optimumunu sağlayan denge durumu, hiçbir bireyin yolculuk yapmayı tercih ettiği güzergâhı veya yolculuğa başlangıç zamanını değiştirerek toplam yolculuk maliyetini azaltamadığı durumda ortaya çıkacaktır.

Ev-iş (E-I) bağlantısını sağlayan iki güzergâhtan birinin otoyol (Yol 1), diğerinin ise bir şehir caddesi (Yol 2) olduğu kabul edilmiştir. Otoyol ve şehir caddesinin minimum yolculuk süreleri (trafik tıkanıklığı olmayan durumda) sırasıyla t_1^s ve t_2^s değerleridir. Herhangi bir i güzergâhında, trafik akımı q_i güzergâh kapasitesinden küçük kaldığı sürece tıkanıklık yaşanmaktadır. Her iki yolda da kapasiteyi kısıtlayan ve şişe boynu etkisi olan bir kesim olduğu ve iki yolun minimum yolculuk süreleri arasında $t_1^s < t_2^s$ ilişkisi olduğu kabul edilmiştir.

E noktasından, herhangi bir i güzergâhını kullanarak, t anında yolculuğuna başlayan bir birey için toplam yolculuk süresi $t_i(t)$, t_i^s sabit yolculuk süresi ile $t_i^d(t)$ bekleme süresinin toplamıdır (5.88).

$$t_i(t) = t_i^s + t_i^d(t) \quad (5.88)$$

Herhangi bir i güzergâhında, E noktasından güzergâh üzerinde yer alan şişe boynu kesitine ulaşma süresi t_i^0 olmak üzere, şişe boynu kesitinde oluşan kuyruğun uzunluğunun sıfır olduğu kabul edilmektedir. Böylece kuyruk boyunun yolun girişine kadar uzaması durumunda ortaya çıkacak etkiler ihmal edilmektedir. Bu kabule bağlı olarak bulunan, şişe boynu kesitinin girişinde bekleme süresi (5.89)'da verilmiştir.

$$t_i^d(t) = \frac{k_i(t + t_i^0)}{q_i}, \quad i = 1, 2 \quad (5.89)$$

Burada $k_i(t + t_i^0)$, $t + t_i^0$ anında kuyruktaki araçların sayısıdır. (5.89)'dan görülebileceği gibi kuyruktaki araçların sayısı pozitif bir değer aldığı sürece trafik tıkanıklığı söz konusu olacaktır. Bir aracın şişe boynu kesitindeki kuyruğu terk etmesinin ardından I noktasına varması için geçecek süre ise $t_i^s - t_i^0$ olmaktadır.

Her birey güzergâh ve yolculuk zamanı tercihini belirlerken yolculuk süresi ve tarife maliyetini dikkate alacaktır. α zaman değerini, β birim zaman için son noktaya erken varmanın maliyetini, γ birim zaman için son noktaya geç varmanın maliyetini göstermek üzere; E noktasından, herhangi bir i güzergâhını kullanarak, t anında yolculuğuna başlayan bir birey için E-I arasındaki yolculuğun toplam maliyeti $m_i(t)$ (5.90)'da verilmiştir.

$$m_i(t) = \alpha \cdot (\text{yolculuk süresi}) + \beta \cdot (\text{erken varış}) + \gamma \cdot (\text{geç varış}) + \text{fiyat}(t) \quad (5.90)$$

(5.90) ile verilen maliyet ifadesinin, Vickrey'in klasik şişe boynu yaklaşımı için geliştirilmiş olan maliyet ifadesi ile aynı olduğu görülmektedir. Tarife maliyeti değerlendirilirken, arzu edilen varış zamanı t^* olmak üzere, yolculuğunu $t^* - \Delta$ ile $t^* + \Delta$ zaman aralığında tamamlayan bireyler için bu maliyetin söz konusu olmaktadır. (5.88) ve (5.89) kullanılarak hesaplanan, toplam yolculuk süresi (5.91)'de gösterilmiştir.

$$t_i(t) = t_i^s + \frac{k_i(t + t_i^0)}{q_i}, \quad i = 1, 2 \quad (5.91)$$

Herhangi bir bireyin, i güzergâhını kullandığında, yolculuğunun son noktasına tam zamanında varması için yolculuğuna başlaması gereken en erken an $t_{n,i}$ ve en geç an $t_{n',i}$ değerlerine ait bağıntılar (5.92a) ve (5.92b)'de verilmiştir.

$$t_{n,i} + t_i(t_{n,i}) = t^* - \Delta \quad (5.92a)$$

$$t_{n',i} + t_i(t_{n',i}) = t^* + \Delta \quad (5.92b)$$

Kullanıcı optimumu durumunda denge

Kullanıcı optimumunu sağlayan denge durumu e indisi ile temsil edilmek üzere, N_i^e denge durumunda i yolunu tercih eden kullanıcı sayısını göstermektedir. Denklemlerde, gösterim kolaylığı açısından kullanılan δ terimi (5.93)'de tarif edilmiştir.

$$\delta = \frac{\beta \cdot \gamma}{(\beta + \gamma)} \quad (5.93)$$

E-I arasında hizmet veren iki yolun kullanımı, kullanıcı optimumu durumunda trafik talebine göre şekillenmektedir. Buna göre, zirve saatin başlangıcından itibaren sürekli artış gösteren talep bir N^* değerine ulaşıncaya kadar yalnızca, minimum yolculuk süresi daha düşük olan Yol 1 kullanılacak ve bu yolda herhangi bir trafik tıkanıklığı yaşanmayacaktır. Talebin $N \leq N^*$ olması haline ait bağıntı (5.94)'de verilmiştir.

$$N^* = 2 \cdot \Delta \cdot q_1 \quad (5.94)$$

Talebin N^* değerini aşmasının ardından, bir N^{**} değerine kadar yine yalnızca Yol 1 kullanılacak ancak bu defa trafik tıkanacaktır. Talebin $N^* \leq N \leq N^{**}$ olması haline ait bağıntı (5.95)'de verilmiştir.

$$N^{**} = 2 \cdot \Delta \cdot q_1 + q_1 \frac{\alpha}{\delta} (t_2^s - t_1^s) \quad (5.95)$$

Talebin N^{**} değerini aşması ile beraber, kullanıcı optimumu koşullarına uygun olarak Yol 2 de kullanılmaya başlayacaktır. Bu durumda Yol 1'de tıkanıklık yaşamaya devam ederken bu yola yeni kullanıcılar katılmayacak, tüm yeni kullanıcıların

katıldığı Yol 2 tıkanık olmayan trafik koşullarında hizmet verecektir. Talebin $N^{**} \leq N \leq N^{***}$ olması haline ait bağıntı (5.96)'da verilmiştir.

$$N^{***} = 2 \cdot \Delta \cdot (q_1 + q_2) + q_1 \cdot \frac{\alpha}{\delta} \cdot (t_2^s - t_1^s) \quad (5.96)$$

Talebin $N > N^{***}$ olması halinde ise hem Yol 1, hem de Yol 2 tıkanık trafik koşullarında hizmet verecektir. Bu durum için, kullanıcı optimumunu sağlayan kullanım miktarlarına ait bağıntılar (5.97a) ve (5.97b)'de verilmiştir.

$$N_1^e = \frac{q_1 \cdot q_2}{q_1 + q_2} \cdot \left[\frac{N}{q_2} + \frac{\alpha}{\delta} (t_2^s - t_1^s) \right] \quad (5.97a)$$

$$N_2^e = \frac{q_1 \cdot q_2}{q_1 + q_2} \cdot \left[\frac{N}{s_1} - \frac{\alpha}{\delta} (t_2^s - t_1^s) \right] \quad (5.97b)$$

Talebin $N > N^{***}$ olması halinde, bir bireyin toplam yolculuk maliyeti m ise (5.98)'de verilmiştir.

$$m = \alpha \cdot \Gamma + \delta \cdot \left[\frac{N}{q_1 + q_2} - 2 \cdot \Delta \right] \quad (5.98)$$

(5.98)'de yer alan Γ terimi gösterim sadeliği açısından kullanılmıştır (5.99).

$$\Gamma = \frac{q_1 \cdot t_1^s + q_2 \cdot t_2^s}{q_1 + q_2} \quad (5.99)$$

Kullanıcı optimumu durumunda, talepte yaşanan artışa bağlı olarak farklı değerler alan M toplam yolculuk maliyeti, dört farklı talep miktarı aralığı için (5.100a), (5.100b), (5.100c) ve (5.100d)'de verilmiştir.

$$0 < N \leq N^* \Rightarrow M = \alpha \cdot t_1^s \cdot N \quad (5.100a)$$

$$N^* < N \leq N^{**} \Rightarrow M = \alpha \cdot t_1^s \cdot N + \delta \cdot N \cdot \left[\frac{N}{q_1} - 2 \cdot \Delta \right] \quad (5.100b)$$

$$N^{**} < N \leq N^{***} \Rightarrow M = \alpha \cdot t_2^s \cdot N \quad (5.100c)$$

$$N > N^{***} \Rightarrow M = \alpha \cdot \Gamma \cdot N + \delta \cdot N \cdot \left[\frac{N}{q_1 + q_2} - 2 \cdot \Delta \right] \quad (5.100d)$$

Trafik talebinin, her iki güzergâhın da tıkanık trafik koşullarında hizmet vermesine sebep olduğu $N > N^{***}$ durumunda, herhangi bir i güzergâhında trafik tıkanıklığının başladığı $t_{q,i}$ ve bittiği $t_{q',i}$ anları ile daha önce tariflenen $t_{n,i}$ ve $t_{n',i}$ anlarının kullanıcı optimumunu sağlayan koşullar altındaki duruma ait bağıntıları sırasıyla **(5.101a)**, **(5.101b)**, **(5.101c)** ve **(5.101d)**'de verilmiştir.

$$t_{q,i}^e = t^* - \Delta - \frac{\delta}{\beta} \cdot \left(\frac{N_i^e}{q_i} - 2 \cdot \Delta \right) - t_i^s \quad (5.101a)$$

$$t_{q',i}^e = t_{q,i}^e + \frac{N_i^e}{q_i} \quad (5.101b)$$

$$t_{n,i}^e = t_{q,i}^e = t^* - \Delta - \frac{\delta}{\alpha} \cdot \left(\frac{N_i^e}{q_i} - 2 \cdot \Delta \right) - t_i^s \quad (5.101c)$$

$$t_{n',i}^e = t_{q',i}^e = t^* + \Delta - \frac{\delta}{\alpha} \cdot \left(\frac{N_i^e}{q_i} - 2 \cdot \Delta \right) - t_i^s \quad (5.101d)$$

Sosyal optimumu fiyatlandırması

Sosyal optimumunu sağlayabilmek için gerçekleştirilen fiyatlandırma uygulamasının oluşturduğu koşullar altında, denge durumu o indisi ile temsil edilmek üzere, kullanıcı optimumu hali için tarif edilen N^* , N^{**} , N^{***} talep değerleri için farklı değerler alan yol kullanım miktarları hem kullanıcı optimumu, hem de sosyal optimumu durumunda aynı değerleri almaktadır. Sosyal optimumu durumunda toplam maliyet M ise kullanıcı optimumuna benzer olarak, dört farklı talep miktarı aralığı için **(5.102a)**, **(5.102b)**, **(5.102c)** ve **(5.102d)**'de tanımlanmıştır. δ terimi **(5.93)**'de tarif edildiği şekliyle aynen kullanılmaktadır.

$$0 < N \leq N^* \Rightarrow M = \alpha \cdot t_1^s \cdot N \quad (5.102a)$$

$$N^* < N \leq N^{**} \Rightarrow M = \alpha \cdot t_1^s \cdot N + \delta \cdot \frac{q_1}{2} \cdot \left[\frac{N}{q_1} - 2 \cdot \Delta \right]^2 \quad (5.102b)$$

$$N^{**} < N \leq N^{***} \Rightarrow M = \alpha \cdot t_2^s \cdot N^{***} + \alpha \cdot t_2^s \cdot (N - N^{***}) + \delta \cdot \frac{q_1}{2} \cdot \left[\frac{N^{**}}{q_1} - 2 \cdot \Delta \right]^2 \quad (5.102c)$$

$$N > N^{***} \Rightarrow M = \alpha \cdot \Gamma \cdot N - \frac{q_1 \cdot q_2}{2 \cdot (s_1 + s_2)} \cdot \frac{\alpha^2}{\delta} \cdot (t_2^s - t_1^s)^2 + \frac{q_1 + q_2}{2} \cdot \delta \cdot \left[\frac{N}{q_1 + q_2} - 2 \cdot \Delta \right]^2 \quad (5.102d)$$

Sosyal optimumunu sağlayan denge koşullarına ulaşılması için tahsil edilmesi gereken fiyat farklı zaman dilimlerinde farklı değerler almaktadır. Yolculuğa başlama anı t ve kullanılan güzergâh i olmak üzere, sosyal optimumunu sağlayan $\tau_i^o(t)$ fiyata ait bağıntılar (5.103a), (5.103b), (5.103c), (5.103d) ve (5.103e)'de verilmiştir.

$$t < t_{q,i} \Rightarrow \tau_i^o(t) = 0 \quad (5.103a)$$

$$t \in [t_{q,i}, t^* - \Delta - t_i^s] \Rightarrow \tau_i^o(t) = a_i - (t^* - \Delta - t - t_i^s) \cdot \beta \quad (5.103b)$$

$$t \in [t^* - \Delta - t_i^s, t^* + \Delta - t_i^s] \Rightarrow \tau_i^o(t) = a_i \quad (5.103c)$$

$$t \in [t^* + \Delta - t_i^s, t_{q',i}] \Rightarrow \tau_i^o(t) = a_i - (t + t_i^s - t^* - \Delta) \cdot \gamma \quad (5.103d)$$

$$t > t_{q',i} \Rightarrow \tau_i^o(t) = 0 \quad (5.103e)$$

Burada a_i terimi ($i = 1, 2$) için (5.104)'de verilen ilişki söz konusudur.

$$a_1 = a_2 \leq \delta \cdot \left[\frac{N_i^e}{q_i} - 2 \cdot \Delta \right] \quad (5.104)$$

Alternatif fiyatlandırma uygulamaları

Pratikte sosyal optimumunu sağlayan fiyatlandırma uygulamasının gerçekleştirilmesi oldukça güçtür. Bu sebepten, modelde, pratik anlamı olan alternatif fiyatlandırma uygulamaları da araştırılmıştır.

Sabit Fiyat Hali: Pratik anlamı olan en basit uygulama, her iki güzergâhta da zamana bağlı olarak değişiklik göstermeyen sabit bir fiyat tahsil edilmesidir. Talebin sabit olması itibarıyla, sabit fiyat tahsil edilmesi durumunda kullanıcı tercihleri yalnızca güzergâhların değiştirilmesi yönünde olacaktır. Buradan hareketle, hesap kolaylığı açısından, daha uzun olan Yol 2'den tahsil edilecek fiyat sıfır olarak seçilmiştir. Burada, u sabit fiyat tahsil edilmesi hali için kullanılan indisi ve M_u toplam yolculuk maliyetini göstermek üzere, denge durumu ancak her iki yoldaki toplam yolculuk maliyetlerinin birbirine eşit olması durumunda sağlanacaktır (5.105).

$$M_u = \alpha \cdot t_1^s + \delta \cdot \left[\frac{N_1^u}{q_1} - 2 \cdot \Delta \right] + \tau_u = \alpha \cdot t_2^s + \delta \cdot \left[\frac{N_2^u}{q_2} - 2 \cdot \Delta \right] \quad (5.105)$$

Yol 1'den tahsil edilen τ_u fiyat ise (5.106)'da verilmiştir.

$$\tau_u = \frac{\alpha \cdot (t_2^s - t_1^s)}{2} > 0 \quad (5.106)$$

(5.106)'da bağıntısı verilen τ_u tutarındaki fiyatın tahsil edilmesi ile beraber, daha fazla sayıda kullanıcının, daha uzun olan Yol 2'yi kullanmasının sağlanması amaçlanmaktadır. Yolların kullanılma miktarları ise, $i = 1, 2$ ve $j \neq i$ olmak üzere (5.107)'de gösterilmiştir.

$$N_i^u = \frac{q_1 \cdot q_2}{q_1 + q_2} \left[\frac{N}{q_j} + \frac{\alpha}{2 \cdot \delta} \cdot (t_j^s - t_i^s) \right] \quad (5.107)$$

Aşamalı Fiyat Hali: Herhangi bir i güzergâhından tahsil edilecek olan aşamalı fiyat τ_i + τ_i^a bir $[t_i^+, t_i^-]$ zaman aralığında tahsil edilmekte, kalan zamanlarda ise τ_i^a tutarında fiyat geçerli olmaktadır. Hesap kolaylığı açısından $\tau_2^a = 0$ seçilmiştir. Burada, a sabit fiyat tahsil edilmesi hali için kullanılan indisini göstermektedir. Aşamalı fiyat hali için, toplam yolculuk maliyeti M_a (5.108)'de, Yol 1'den tahsil edilecek fiyat τ_1^a (5.109)'da ve $j \neq i$ olmak üzere yolların kullanılma miktarı N_i^a (5.110)'da verilmiştir.

$$M_a = N \cdot [\alpha \cdot \Gamma - 2 \cdot \Delta \cdot \delta] + \frac{N^2 \cdot \delta \cdot A}{2 \cdot (q_1 + q_2)} \quad (5.108)$$

$$\tau_1^a = \alpha \cdot \frac{(t_2^s - t_1^s)}{2} > 0 \quad (5.109)$$

$$N_i^a = \frac{q_1 \cdot q_2}{q_1 + q_2} \left[\frac{N}{q_j} + \frac{\alpha}{A \cdot \delta} \cdot (t_j^s - t_i^s) \right] \quad (5.110)$$

Denklemlerde kullanılan A teriminin bağıntısı ise (5.111)'de verilmiştir.

$$A = \frac{3 \cdot (\beta + \gamma) \cdot (\alpha + \gamma) - \beta \cdot (\gamma - \alpha)}{2 \cdot (\beta + \gamma) \cdot (\alpha + \gamma)} \quad (5.111)$$

5.4.2. Bir ulaştırma ağında yolculuğa başlangıç zamanı ve güzergâh tercihi modeli

Bu modelde [101] trafik tıkanıklığı yaşanan bir ulaştırma ağında yolculuğa başlangıç ve güzergâh tercihi modeli kullanılarak dinamik denge durumu analiz edilmiştir.

Modelde özdeş kullanıcılar için, yolculuk maliyetlerinin üç bileşeni olduğu kabul edilmiştir. Birinci bileşen, yolculuğa başlangıç zamanına bağlı olarak belirlenen ve değişen bir maliyet değeridir. İkinci bileşen yolculuk ile ilişkilendirilebilecek olan yolculuk yapma maliyetidir. Üçüncü bileşen ise, yolculuğu sonlandırma anına göre belirlenen ve zamana bağlı olarak değişen bir maliyettir.

Toplam yolculuk maliyetinin, yolculuğa başlangıç zamanına bağlı olan bileşeni; bir t anında $m_b(t)$ değerini almak üzere, monoton değişen bir fonksiyondur. Bu maliyet, yolculuğun ev-iş arasında olması durumunda evde kalma arzusu ile işe gitme zorunluluğunu temsil eden bileşenlerden oluşacaktır. Öte yandan, iş-ev yolculukları için ise, maliyet bağıntısında yolculuğa erken başlama (işten erken ayrılma) için bir ceza ve yolculuğa geç başlama (işten geç ayrılma) için bir ödül terimi yer alacaktır. Yolculuk ile ilişkili olan yolculuk yapma maliyetini, belirli bir zamanda belirli bir güzergâhta yolculuk yapmanın maliyeti olarak tanımlamak mümkündür. Herhangi bir t anında yolculuğa başlayıp k güzergâhını kullanarak yolculuğun son noktasına varış anı $t_k(t)$ olmak üzere, yolculuk yapma maliyeti $M'_k(t)$ (5.112)'de verilmiştir:

$$M'_k(t) = \alpha \cdot [\tau_k(t) - t] + M_0^k \quad (5.112)$$

Burada α zaman değerini, M_0^k herhangi bir güzergâha özel ve trafik miktarına bağlı olarak değişmeyen sabit maliyetleri göstermektedir.

Akım disiplininin sağlanması açısından, trafik akımının ilk giren ilk çıkar düzeninde olduğu kabul edilmiştir. Ayrıca akımın korunumu prensibine bağlı olarak, herhangi bir t anında ulaştırma ağına giren toplam akım $Q(t)$ ve $t(t)$ anında çıkan akım $Q[t(t)]$ olmak üzere (5.113)'deki ilişki söz konusudur:

$$Q(t) = Q[t(t)] \quad (5.113)$$

Ulaştırma ağındaki herhangi bir bağlantı için ise, giren akım $q(t)$ ve çıkan akım çıkan akım $q[t(t)]$ arasında (5.114)'deki ilişki bulunmaktadır:

$$q(t) = q[t(t)] \cdot i(t) \quad (5.114)$$

Toplam yolculuk maliyetinin üçüncü bileşeni ise yolculuğun bitiş zamanına bağlı olan bileşendir. Herhangi bir t anında yolculuğun son noktasına ulaşan bir birey için

bu maliyet bileşeni $m_s(t)$ ile temsil edilmek üzere, t anında k güzergâhını kullanarak yolculuğuna başlayan bir birey için yolcuğun bitiş zamanına bağlı olan maliyet bileşeni $m_s[t(t)]$ ile temsil edilmektedir. Zamana bağlı değişen değerler alan bu maliyet bileşenin genel hali (5.115a), (5.115b) ve (5.115c)'de verilmiştir.

$$t \leq t^* - \Delta \Rightarrow m_s(t) = M_0 \cdot (t^* - \Delta - t) \quad (5.115a)$$

$$t^* - \Delta \leq t \leq t^* + \Delta \Rightarrow m_s(t) = 0 \quad (5.115b)$$

$$t \geq t^* + \Delta \Rightarrow f(t) = M_1 \cdot (t - t^* - \Delta) + M_g \quad (5.115c)$$

Bu maliyet bileşenin hesaplanması, klasik şişe boynu analizinde yapılan hesaplarla büyük ölçüde aynıdır. Bağıntılarda yer alan terimlerden t^* arzu edilen varış zamanını, Δ bir tolerans faktörünü, $M_0 > 0$ ve $M_1 > 0$ terimleri ise erken ve geç varış tarife maliyetlerini ifade etmektedir. M_g terimi, geç varış ile ilgili ilave bir maliyet değeridir.

Bahsedilen üç bileşenin bir araya getirilmesi suretiyle toplam yolculuk maliyeti $M(t)$ (5.116)'da verilmiştir:

$$M(t) = m_b(t) + t_k(t) - t + M_o^k + m_s[t(t)] \quad (5.116)$$

Kullanıcı optimumu durumunda denge

Kullanıcı optimumu durumunda bireyler yolculuğa başlangıç zamanları ile ilgili tercih yaptıklarında, tüm yolculuğa başlangıç zamanı ve güzergâh tercihleri kombinasyonları için yolculuk maliyeti eşit ve tercih yapılmayanlardan daha düşük olacaktır. Buradan hareketle herhangi bir k güzergâhına giriş yapan akım için (5.117a) ve (5.117b)'de verilen toplam yolculuk maliyeti bağıntıları söz konusudur.

$$M(t) = M_{bs}^* \Rightarrow q_k(t) > 0 \quad (5.117a)$$

$$M(t) \geq M_{bs}^* \Rightarrow q_k(t) = 0 \quad (5.117b)$$

Burada M_{bs}^* başlangıç-son noktaları arasında yapılan yolculuğun toplam maliyetidir. Tüm güzergâhlara giriş yapan akımlara ait atamaların M_{bs}^* değerlerinin hesaplanması ile yapılması mümkündür. Son noktaya varış zamanı t_s değerini belirleyen $q(t)$ güzergâha giriş akımları için (5.118) elde edilebilmektedir.

$$\tau_k(t) + m_s[t_k(t)] = t + M_{bs}^* - m_b(t) - M_0^k \quad (5.118)$$

Yolculuğa başlangıç zamanı tercihleri ile ilişkili olmak üzere, denge durumuna ait trafik değerlerinin hesaplanabilmesi, güzergâhlara giren akım değerlerinin toplam yolculuk maliyetini sabit bir değer yapacak şekilde olduğu durumun bulunmasıdır. Modelde, dinamik denge durumuna erişilebilmesi için ilave bir şart daha bulunmaktadır. Herhangi bir anda, ulaştırma ağındaki trafik akımının daha önceki anlardaki trafik akımından etkilenmesi ancak daha sonraki anlarla bir ilişkisinin bulunmaması, bir başka deyişle bireylerin trafik koşulları ile ilgili bilgisinin artış hızının, trafik akımının ulaşım ağındaki yayılma hızından daha düşük olması (5.119) ile sağlanabilmektedir.

$$q_k(t) = \frac{1 - m_b'(t)}{1 + m_s'[t_k(t)]} \cdot \chi_p[t_k(t)] \quad (5.119)$$

Burada $\chi_p[t_k(t)]$ terimi herhangi bir t anında güzergâhtan çıkan akımın miktarını ifade etmektedir.

(5.118)'de verilen denge koşuluna bağlı olarak her bir sürücünün toplam yolculuk maliyeti M_{bs}^* , herhangi bir k güzergâhının ilk kullanılma anı t_k^i ve incelenen zaman dilimi içerisinde her bir güzergâhtaki toplam yolculukların sayısı Q_k büyüklükleri birbirleriyle ilişkili olarak belirlenebilmektedir. Buradan hareketle, herhangi bir k güzergâhının ilk kullanılma anı t_k^i belirlenirse, M_{bs}^* değeri doğrudan doğruya $M_k(t_k^i)$ değerine eşit alınarak bulunabilmektedir. Bu durumun tersi olarak, herhangi bir başlangıç-son çifti arasında M_{bs}^* değerinin biliniyor olması durumunda t_k^i değeri (5.120) ile hesaplanabilmektedir.

$$t_k^i = \inf \left\{ t : m_b(t) + v_s^k + M_0^k + m_s(t + v_s^k) \leq M_{bs}^* \right\} \quad (5.120)$$

Bu bağıntıda v_s^k k güzergâhındaki serbest akım hızıdır. (5.120)'deki bağıntının bir benzeri kullanılarak güzergâhın son kullanılma anı t_k^s değerinin hesaplanması da mümkündür. Bahsedilen büyüklüklerin hesaplanması ile beraber, her bir güzergâhtaki $q_k(t)$ değerlerinin ilgili zaman dilimi için entegralinin alınması suretiyle bu zaman dilimindeki toplam trafik akımı Q_k değerini hesaplamak mümkündür (5.121).

$$Q_k = \int_{t=t_k^i}^{t_k^s} q_k(t) \quad (5.121)$$

Belirli bir yolculuğa başlangıç anı ile şekillenen bir yolculuk için güzergâh tercihlerinin modellenmesinde farklı yolculuk maliyetleri olan p ve q gibi iki güzergâh arasındaki tercih değerlendirilecektir. Bu güzergâhlardan p üzerinde yolculuk yapmanın maliyetinin q üzerinde yolculuk yapmanın maliyetinden yüksek olması durumunda (5.122)'deki bağıntı söz konusu olacaktır.

$$t_p(t) + M_0^p > t_q(t) + M_0^q \quad (5.122)$$

Genel olarak, iki güzergâh arasında tercih yapılırken, trafik koşullarına göre ortaya çıkan çeşitli faktörlerin, kullanıcı optimumu yaklaşımına göre yapılacak atamada bazı değişiklikler yaratması söz konusudur. Örneğin denge durumunda, bazı kullanıcılar toplam yolculuk maliyeti minimum olmayan, buna karşılık trafik miktarı ve geometrik özellikleri itibarıyla arzu edilen varış zamanına yakın bir zamanda son noktaya ulaşma imkânı tanıyan bir güzergâhı kullanabileceklerdir. Bu tercihte önemli bir unsurun arzu edilen zamana yakın bir zamanda son noktaya varma imkanının, maliyetteki ilave artışı karşılmasıdır. Bu durumda daha önce değinilen p ve q güzergâhları arasında tercih (5.123) ile ortaya konulabilir.

$$M_0^p - M_0^q \leq [t_q(t) - t_p(t)] + (m_s[t_q(t)] - m_s[t_p(t)]) \quad (5.123)$$

(5.123)'den anlaşılabileceği üzere, sürücüler kendilerine daha çabuk bir ulaşım imkânı veren bir güzergâhı, maliyeti daha yüksek olsa da seçebilmektedirler. Bu duruma bir örnek, ücretsiz bir alternatifi olan fiyatlandırılmış bir yolun kullanılması açısından ortaya çıkabilmektedir.

Herhangi bir t anında yolculuğa başlangıç zamanı ve güzergâh seçimi için ortak bir değerlendirme yapılması durumunda, $t_p^b(t)$ p güzergâhını kullanarak yapılacak yolculuğa başlangıç zamanını temsil etmek üzere (5.124) kullanılabilir.

$$M_0^p \leq M_0^q - [t_q^b(t) - t_p^b(t)] - (m_b[t_p^b(t)] - m_b[t_q^b(t)]) \quad (5.124)$$

Burada p güzergâhının q güzergâhından daha yavaş hizmet vermesi, buna karşılık daha düşük maliyetli olması durumunda, bazı kullanıcıların yolculuklarına daha erken çıkarak, daha yavaş hizmet veren yolun dezavantajını ortadan kaldırmaya çalışmaları söz konusu olacaktır.

Dinamik fiyatlandırma uygulamaları

Dinamik yapıda olan fiyatın, güzergâha özel ve zamana bağlı olarak değişen tutarlarda tahsil edildiği bir fiyatlandırma uygulaması söz konusu olduğunda, maliyetin giriş zamanına bağlı iki bileşeni olduğunu kabul etmek mümkündür. Bunlardan $\bar{m}_b(t)$ ile temsil edilen birincisi bireylerin tercihleri ile ilgili bir bileşendir. İkinci bileşen $\tilde{m}_b(t)$ ise fiyatı ifade eden bir terimdir. Bu durumda toplam yolculuk maliyetinin yolculuğa başlangıç zamanına bağlı olan bileşeni $m_b(t) = \bar{m}_b(t) + \tilde{m}_b(t)$ olacaktır. Herhangi bir t anında p güzergâhını kullanarak yapılan bir yolculuk için ise (5.125) kullanılabilir.

$$\tilde{m}_b'(t) = 1 - \frac{q_p(t)}{Q_p[t_p(t)]} \cdot (1 + m_s'[t_p(t)]) - \bar{m}_b'(t) \quad (5.125)$$

(5.125)'de eşitliğin sağ tarafında kalan terimlerin tamamı yolculuğa başlangıç zamanına bağlı olarak hesaplanmaktadır.

Yolculuğun son noktasına varış zamanına bağlı olarak hesaplanan maliyet fonksiyonunun bağıntısı (5.125)'den daha sade bir yapıdadır. Herhangi bir zaman aralığında, trafik atamalarının $m_s'[t_p(t)] = \psi$ olarak sabit bir değer verecek şekilde yapılması durumunda; yolculuğun son noktasına varışın analizi için (5.126) kullanılabilir.

$$\tilde{m}_b'(t) = 1 - i_p(t) \cdot (1 + \psi) - \bar{m}_b'(t) \quad (5.126)$$

Sosyal optimumunu sağlamak için yapılacak fiyatlandırma uygulaması, şişe boynu analizine benzer olarak zamana bağlı bir yapıda olmalıdır. Sosyal optimumunun tanımı gereği, bu şartın sağlandığı durumda ulaştırma ağındaki hiçbir güzergâhta kuyruklanma ortaya çıkmayacak ve kullanılan güzergâhlar tam kapasitelerinde hizmet verecektir. Bu tanıma paralel olarak, bireyler tarafından kullanılan

güzergâhlarda, güzergâha giriş yapan akım ile çıkış yapan akım birbirine eşit olacaktır (5.127).

$$q_p(t) = \chi_p[t_p(t)] \quad (5.127)$$

(5.127)'de verilen şarta bağlı olarak hesaplanan fiyat (5.128)'de verilmiştir.

$$\tau(t) = -m'_s[t_p(t)] \quad (5.128)$$

(5.128)'de verilen fiyat bağıntısı, yolculuğa başlangıç zamanına bağlı olarak hesaplanan bir fiyatı temsil etmektedir.

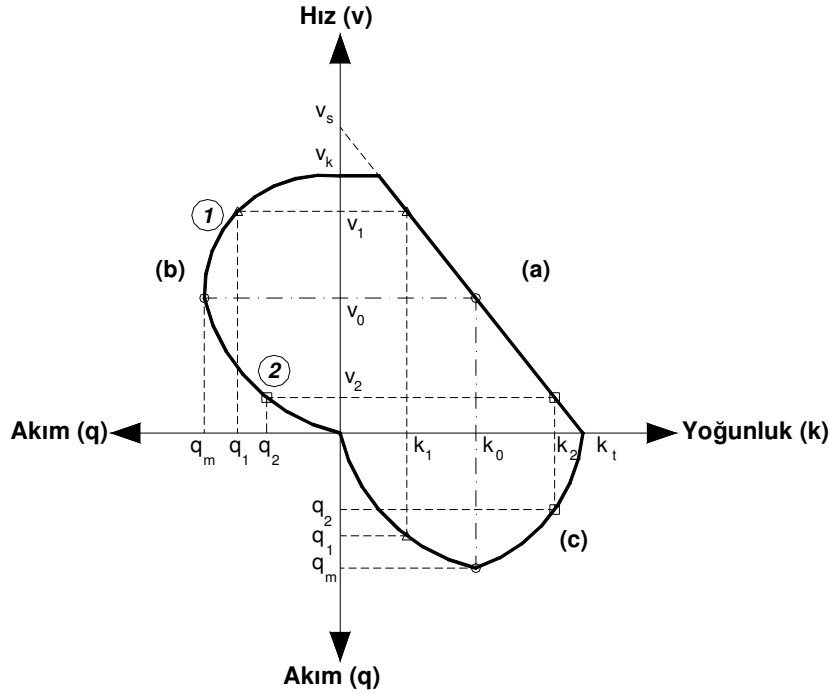
5.5. Hipertıkanıklık

Hipertıkanık akım, ağırlıklı olarak ulaştırma ekonomisi literatüründe kullanılan bir terimdir. Hipertıkanık akım koşulları, yolu kullanma talebinin artması ile birlikte ortaya çıkmaktadır. Şekil 5.8'de verilen ve Şekil 4.2'de verilen eğrinin daha ayrıntılı bir gösterimi olan eğri dikkate alınarak hipertıkanıklığın mekanizmasını tarif etmek mümkündür.

Şekil 5.8b'deki hız-akım eğrisine ait bölümlerin isimlendirilmesi mühendislik ve ekonomi literatüründe farklılıklar göstermektedir. Eğride, (1) ile belirtilen ve v_o değerinin yukarısında kalan bölüm, ekonomi literatüründe “tıkanık akım”, mühendislik literatüründe “serbest veya tıkanık olmayan akım” olarak nitelendirilirken; (2) ile belirtilen ve v_o değerinin aşağısında kalan bölüm ekonomi literatüründe “hipertıkanık”, mühendislik literatüründe ise “zorlanmış veya tıkanık akım” olarak adlandırılmaktadır [14,60].

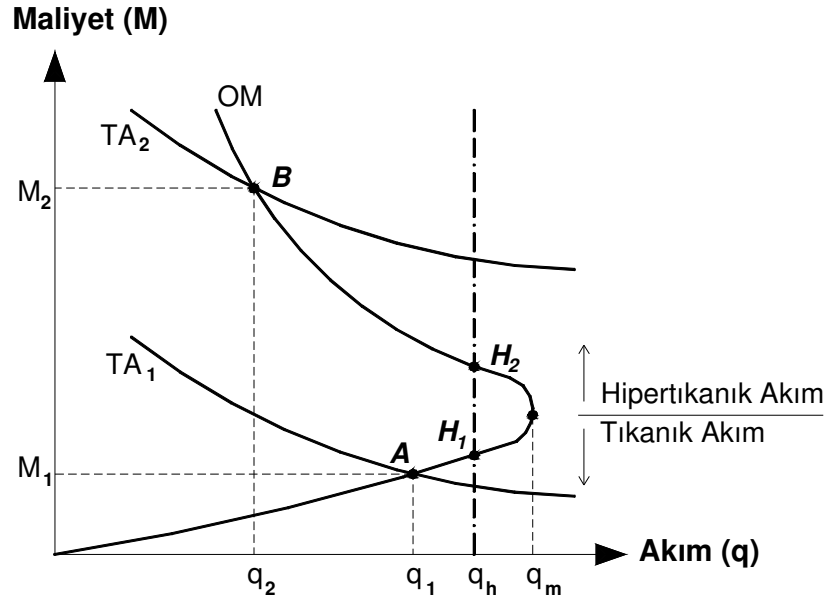
Şekil 5.8'den de görülebileceği gibi yolu kullanma talebinde artış oldukça yola giriş yapan araç sayısı ve dolayısıyla yoldaki trafik yoğunluğu artacaktır. Trafik yoğunluğunun artması, k_o değerinden düşük yoğunluk değerleri için trafik akımının da artmasına, buna karşılık seyir hızlarının azalmasına sebep olacaktır. Hız değerinde düşüş yaşanmasına rağmen bu değer v_o değerinden yüksek olmaktadır. Trafik yoğunluğunun k_o değerine ulaşması ile akım q_m maksimum değerini alacaktır. Trafik yoğunluğunun daha da artması ile beraber, hipertıkanık akım koşulları geçerli olmaya başlayacaktır. Yoğunluktaki artışa rağmen trafik akımı düşüş gösterecek,

seyir hızları ise v_o değerinin altında, tıkanık akım koşullarına göre çok daha düşük değerler olacaktır. Görüldüğü gibi bir yolda hipertıkanık akım koşullarına erişilmesi, hem trafik akımını, hem de seyir hızlarını azaltmaktadır [102].



Şekil 5.8 : (a) Hız-yoğunluk, (b) Hız-akım ve (c) Akım-yoğunluk eğrileri üzerinde tıkanık ve hipertıkanık akım [102].

Yüksek trafik talebinin oluşturduğu hipertıkanık akım koşullarının olumsuz etkisini talep ve arz eğrileri ile de değerlendirmek mümkündür. Şekil 5.9’da verilen maliyet-akım eğrisinde trafik talebinin, TA_1 olarak ifade edilen ve düşük değeri gösteren durumda olması halinde kullanıcı optimumu dengesi, talep ve arz eğrilerinin kesiştiği A noktasında sağlanacaktır. Öte yandan trafik talebinin, TA_2 olarak ifade edilen ve yüksek değeri gösteren durumda olması halinde aynı denge, bu sefer B noktasında sağlanacaktır. Bu iki denge durumu incelendiğinde, hipertıkanık akım koşullarında B noktasında sağlanan denge durumundaki trafik akımı q_2 değerinin, tıkanık akım koşullarında A noktasında sağlanan denge durumundaki trafik akımı q_1 değerinden küçük olduğu görülmektedir. Ortalama yolculuk maliyetleri için ise M_2 değeri M_1 değerinden büyüktür. Buradan görüldüğü üzere, hipertıkanık akım koşullarında sağlanan dengede, tıkanık akım koşullarında sağlanan dengeye göre daha düşük bir trafik akımı değeri, daha yüksek bir maliyet ile sağlanabilmektedir [102,103].



Şekil 5.9 : Maliyet-akım eğrisi üzerinde, farklı talep durumlarına göre tıkanık ve hipertıkanık akım [103].

Şekil 5.9'dan görülebileceği gibi, bir yoldan geçirilmesi hedeflenen ve çeşitli trafik planlaması stratejilerine bağlı olarak belirlenebilecek olan bir q_h akımının, H_1 ve H_2 noktaları ile temsil edilen iki farklı durumda sağlanabilmesi söz konusudur. Bu akımın, hipertıkanık akım koşullarına karşı gelen ve daha yüksek bir ortalama yolculuk maliyeti verdiği gözükürken H_2 noktasında gerçekleşmemesi için önlem alınması gerektiği, diğer bir deyişle trafik talebinin sınırlandırılmasının gerektiği açıktır. Talebin sınırlandırılmasının yolu ise fiyatlandırmadan geçmektedir [75,102].

Şekil 5.9 ve arz-talep dengesi şartları dikkate alındığında, hipertıkanık akım koşulları altında, arz ve talep eğrilerinin kesiştiği nokta veya noktalarda denge durumu sağlanamamaktadır. Dinamik modellerin esası olan şişe boynu analizinde, yol genel olarak biri serbest akım koşullarında hizmet veren diğeri ise şişe boynu kesimi sebebiyle sabit bir kapasite ile hizmet veren iki parçadan oluşmaktadır. Hipertıkanık akım koşulları, yolun kapasitesinin aşıldığı durumlarda ortaya çıktığına göre; şişe boynu kesiminde kapasitenin aşılması ve hipertıkanık akım koşullarının oluşması söz konusu olmamaktadır. Buna karşılık yolun diğer kesiminde; yola giriş yapan araç miktarının şişe boynu kapasitesini aşması ile beraber tıkanıklık yaşanmaya başlayacak ve sonunda hipertıkanık akım koşulları ortaya çıkacaktır. Hipertıkanık akım koşullarında ise gittikçe uzayan bir kuyruk oluşması söz konusudur. Buradan görüldüğü üzere, dinamik analizde şişe boynu kesiminin girişinde oluşan

kuyruklanmanın düşey bir özelliği olduğu ve fiziksel büyüklüğü olmadığı kabulü hipertıkanık akım koşullarını gerçekçi olarak yansıtan bir kabul değildir [63].

Hipertıkanık akım koşullarının yansıtan bir modelleme yaklaşımında [63], $q_p^{bs}(t)$ yolculuğa başlangıç zamanı t olmak üzere b ve s noktaları arasındaki p güzergâhındaki trafik akımı, δ_a^p bağlantısı p güzergâhı üzerinde ise bir, değilse sıfır değerini alan bir katsayı, $d^{bs}(t)$ t anında b ve s noktaları arasındaki talep, $\Phi_{p,t}^{bs}(\cdot)$ güzergâhlardaki trafik akımı değerlerine göre güzergâh yolculuk sürelerini veren bir fonksiyon ve τ_a bağlantıdan tahsil edilen fiyat olmak üzere (5.129a), (5.129b) ve (5.129c)'deki bağıntılar yazılabilmektedir.

$$(q - q^*)^T F(q^*) \geq 0, \quad \forall q \in \Omega \quad (5.129a)$$

$$F(q) = \left[\Phi_{p,t}^{bs}(q) + \sum_a \tau_a \cdot \delta_a^p, \forall bs, p, t \right] \quad (5.129b)$$

$$\Omega = \left\{ q : \sum_p q_p^{bs}(t) = d^{bs}(t), \forall bs, t, q \in R_+^n \right\} \quad (5.129c)$$

Burada q , $(q_p^{bs}(t), bs, p, t)$ değişkenlerinin n boyutlu bir vektörüdür. (5.129b) ile güzergâhlardaki yolculuk maliyeti, yolculuk süresinden kaynaklanan maliyet ile fiyatın toplamı olarak hesaplanmaktadır. Bu denklemler kullanılarak toplam yolculuk süresi t_T değerinin (5.130) ile hesaplanması mümkündür.

$$t_T = \sum_{bs} \sum_p \sum_t q_p^{bs*}(t) \cdot \Phi_{p,t}^{bs}(q^*) \quad (5.130)$$

5.6. Trafik Tıkanıklığı ve Tür Tercihi İlişkisi

Trafik tıkanıklığı ile tür tercihi arasındaki ilişkinin incelenmesinde genellikle, güzergâh tercihi modellerine benzer olarak, iki yoldan oluşan basit bir ulaşım ağı kullanılmaktadır. Bu yollardan biri özel otomobil alternatifini temsil ederken, diğeri toplu taşıma sistemi alternatifini ifade etmektedir. Bu esasa dayalı olarak oluşturulan çeşitli örnek ulaştırma ağları kullanılması suretiyle birçok modelleme çalışması yapılmıştır.

5.6.1. Karayolu-demiryolu arasında tür tercihi modeli örneği: Tabuchi tarafından geliştirilen model

Trafik tıkanıklığı ile tür tercihi arasındaki ilişkiyi inceleyen önemli modellerden birisi Tabuchi tarafından geliştirilmiştir [104,105]. Bu modelde, üzerinde bir şişe boynu kesiti bulunan ve yerleşim bölgesi ile merkezi iş alanını birbirine bağlayan bir karayolu ile karayoluna alternatif oluşturmak üzere, aynı bölgeleri birbirine bağlayan ve karayolundan fiziksel olarak ayrılmış durumda olan bir demiryolu hattı mevcuttur. Karayolunun kullanıcı sayısı N_a , demiryolunun kullanıcı sayısı N_b olmak üzere; toplam kullanıcı sayısının sabit bir N değerine eşit olduğu kabul edilmiştir (5.131).

$$N = N_a + N_b \quad (5.131)$$

Tüm kullanıcılar için merkezi iş alanına arzu edilen varış zamanı t^* olmak üzere; otomobil kullanıcıları için Vickrey'in şişe boynu modeli benzeri tarife maliyetleri söz konusu olmaktadır. Diğer taraftan, karayolunun benzeri bir tıkanıklığın yaşanmadığı demiryolunun kullanıcıları tam t^* anında merkezi iş alanına ulaşmakta ve herhangi bir tarife maliyeti ile karşılaşmamaktadırlar.

Tabuchi tarafından geliştirilen modelde karayolu kullanıcılarının yolculuk maliyetleri, Vickrey'in klasik şişe boynu modelindeki gibi hesaplanmaktadır. Buna göre karayolu kullanıcılarının ortalama yolculuk maliyeti OM_a , (5.132) kullanılarak hesaplanabilmektedir.

$$OM_a = \delta \cdot \frac{N_a}{s} \quad (5.132)$$

Bu denklemde, s şişe boynu kesitinin kapasitesini göstermektedir. Yolculuğun son noktasına erken varmanın birim maliyeti β ve yolculuğun son noktasına geç varmanın birim maliyeti γ olmak üzere, (5.132)'de yer alan δ katsayısının bağıntısı (5.133)'de verilmiştir.

$$\delta = \frac{\beta \cdot \gamma}{\beta + \gamma} \quad (5.133)$$

Karayoluna alternatif olan demiryolu ile yapılan yolculuklarda, kullanıcıların son noktaya tam vaktinde ulaşmalarına bağlı olarak, gecikmelerden kaynaklanan tarife

maliyetleri mevcut değildir. Bu durumda demiryolu kullanıcıları için ortalama maliyet OM_b^y , bilet fiyatı f değerine eşit olacaktır **(5.134)**.

$$OM_b^y = f \quad (5.134)$$

İki ulaşım türünün mevcut olduğu bu modelde toplam maliyet, her iki türün ayrı ayrı hesaplanan maliyetlerinin toplamıdır. Diğer taraftan türlerden yalnızca birinin kullanılması durumunda, toplam maliyet kullanılan türün toplam maliyetine eşit olacaktır **(5.135a)**, **(5.135b)** ve **(5.135c)**.

$$N_a > 0 \quad , \quad N_b > 0 \Rightarrow TM = OM_a \cdot N_a + OM_b^y \cdot N_b \quad (5.135a)$$

$$N_a > 0 \quad , \quad N_b = 0 \Rightarrow TM = OM_a \cdot N \quad (5.135b)$$

$$N_a = 0 \quad , \quad N_b > 0 \Rightarrow TM = OM_b^y \cdot N \quad (5.135c)$$

5.6.1.1. Fiyatlandırılmayan durum: Kullanıcı optimumu

Tür tercihinin Wardrop'un birinci prensibi kullanıcı optimumuna uygun olarak gerçekleştiği doğal denge durumunda, hiçbir kullanıcı ulaşım türünü değiştirerek yolculuk maliyetini azaltamayacaktır. Buradan hareketle, kullanıcı optimumu ancak demiryolu bilet fiyatının, karayolu ortalama yolculuk maliyetine eşit olduğu durumda sağlanmaktadır **(5.136a)**. Bilet fiyatının daha yüksek bir değer alması durumunda yalnızca karayolu, tersi durumda ise yalnızca demiryolu kullanılacaktır **(5.136b)** ve **(5.136c)**.

$$OM_a = f \Rightarrow N_a > 0 \quad , \quad N_b > 0 \quad (5.136a)$$

$$OM_a < f \Rightarrow N_a > 0 \quad , \quad N_b = 0 \quad (5.136b)$$

$$OM_a > f \Rightarrow N_a = 0 \quad , \quad N_b > 0 \quad (5.136c)$$

Her iki türün de kullanıldığı durum için **(5.131)** ve **(5.136a)**'nın birlikte çözülmesi ile demiryolunun kullanıcı sayısının hesabında kullanılan ve **(5.137)**'de verilen bağıntı elde edilir.

$$N_b = N - \frac{f \cdot s}{\delta} \quad (5.137)$$

(5.137)'den görülebileceği gibi, demiryolunun kullanıcı sayısı fiyat ile lineer bir ilişki göstermektedir. Bu ilişkiye göre fiyat arttıkça demiryolunun kullanıcı sayısı azalmaktadır.

5.6.1.2. Yalnızca demiryolu bilet fiyatının ayarlanması

Bireylerin toplu taşıma ve özel otomobil alternatifleri arasındaki seçimleri incelendiğinde, trafik talebinin yönetilmesi veya yönlendirilmesi için karayolu fiyatlandırmasının yanı sıra toplu taşıma bilet fiyatı ile ilgili ayarlamaların da kullanılabilmesinin söz konusu olduğu görülmektedir. Özellikle karayolundan çeşitli gerekçelerle fiyat tahsil edilememesi durumunda toplu taşıma fiyatı ile ilgili düzenlemeler daha da önem kazanmaktadır. Toplu taşıma sisteminin bilet fiyatları ile ilgili ayarlama yapılırken, işletme maliyeti en belirleyici unsurdur.

Tabuchi modelinde demiryolunun yolcu başına işletme maliyeti (ortalama işletme maliyeti) OM_b^i (5.138) kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$OM_b^i = m + \frac{M_0^b}{N_b} \quad (5.138)$$

Bu denklemde m kullanıcı başına maliyet (marjinal maliyet), M_0^b ise sabit maliyet değeridir. Bu maliyet teriminin içerisinde sabit tesislerin maliyetlerinin yanı sıra işletme maliyetleri de yer almaktadır. (5.138)'de sabit maliyete ait terimin ve dolayısıyla ortalama maliyetin kullanıcı sayısı arttıkça azalması, raylı sistemlerin artan verim ile çalışmasını açıklamaktadır. Diğer taraftan, nüfusun düşük olduğu, küçük yerleşim birimlerinde toplu taşıma hizmeti verilmesi durumunda bu hizmetin işletme maliyetlerinin yüksek olacağı da görülmektedir. Ayrıca, yerleşim biriminin küçük olması durumunda, yapılan yolculukların çoğunlukla kısa mesafeli olması ile beraber toplu taşıma sistemine olan ihtiyaç da ihmal edilebilir düzeyde olmaktadır. Dolayısıyla, bu tip yerleşim birimlerinde, motorlu araçlarla yapılan ulaşımında özel otomobilin tek alternatif olduğunu söylemek mümkündür.

Tabuchi modelinde yalnızca demiryolu bilet fiyatında yapılan ayarlamalarda üç farklı durum söz konusudur. Her üç durumda için de, N^* ile ifade edilen ve kritik toplam talep miktarı olarak adlandırılacak bir değer tanımlanmıştır. Buna göre toplam talebin, kritik miktardan düşük olması durumunda ($N < N^*$), demiryolu alternatifi devre dışı

bırakılmakta; diğ er bir deyişle demiryolu inşa edilmemektedir. Böylece, tüm kullanıcıların özel otomobillerini kullanacakları sonucu ortaya çıkmaktadır (5.139).

$$N < N^* \Rightarrow N_a = N, \quad N_b = 0 \quad (5.139)$$

Tüm kullanıcıların özel otomobillerini tercih etmesi durumunda toplam maliyet M (5.135b)'de verilen ortalama maliyet bağıntısı yardımıyla (5.140) kullanılarak hesaplanabilmektedir.

$$N < N^* \Rightarrow M = \frac{\delta \cdot N^2}{s} \quad (5.140)$$

Bilet fiyatının demiryolunun ortalama işletme maliyetine eşit olması

Bilet fiyatının demiryolunun ortalama işletme maliyetine eşit olması durumunda (5.141)'in yazılması mümkündür.

$$f_1 = OM_b^i \quad (5.141)$$

Bu durumda, kritik toplam talep miktarı (5.142)'de verilen bağıntı ile hesaplanmaktadır.

$$N_1^* = 2 \cdot \sqrt{\frac{m \cdot M_o^b}{\delta}} + \frac{m \cdot M_o^b}{\delta} \quad (5.142)$$

Toplam kullanıcı sayısının N_1^* değerinden büyük olduğu durum ($N > N_1^*$) için demiryolu ve karayolunun kullanıcı optimumu durumundaki dengeli kullanıcı sayıları (5.143a) ve (5.143b) kullanılarak hesaplanabilmektedir.

$$N_a^1 = \frac{N}{2} + \frac{m \cdot s}{2 \cdot \delta} - \sqrt{\left(\frac{N}{2} - \frac{m \cdot s}{2 \cdot \delta}\right)^2 - \frac{m \cdot M_o^b}{\delta}} \quad (5.143a)$$

$$N_b^1 = \frac{N}{2} - \frac{m \cdot s}{2 \cdot \delta} + \sqrt{\left(\frac{N}{2} - \frac{m \cdot s}{2 \cdot \delta}\right)^2 - \frac{m \cdot M_o^b}{\delta}} \quad (5.143b)$$

Bu durumda toplam maliyet M_l ise (5.144) kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$N > N_1^* \Rightarrow M_l = m \cdot N + \frac{N}{N_b^1} \cdot M_o^b \quad (5.144)$$

Bilet fiyatının demiryolunun kullanıcı başına maliyetine eşit olması

Bilet fiyatının demiryolunun kullanıcı başına maliyetine eşit olması durumunda (5.145)'in yazılması mümkündür.

$$f_2 = m \quad (5.145)$$

Bu durumda demiryolu işletme maliyetlerinin tamamı bilet gelirleriyle karşılanamamaktadır. Bu sebepten demiryolu zarar ederek çalışmaktadır. Kritik kullanıcı miktarı (5.146)'da verilen bağıntı ile hesaplanmaktadır.

$$N_2^* = \frac{m \cdot s}{2 \cdot \delta} + \sqrt{\left(\frac{m \cdot s}{2 \cdot \delta}\right)^2 + \frac{m \cdot M_o^b}{\delta}}, \quad N_2^* \in \left(\frac{N_1^*}{2}, N_1^*\right) \quad (5.146)$$

Toplam kullanıcı sayısının N_2^* değerinden büyük olduğu durum ($N > N_2^*$) için demiryolu ve karayolunun kullanıcı optimumu durumundaki dengeli kullanıcı sayıları (5.147a) ve (5.147b) kullanılarak hesaplanabilmektedir.

$$N_a^2 = \frac{m \cdot s}{\delta} \quad (5.147a)$$

$$N_b^2 = N - \frac{m \cdot s}{\delta} \quad (5.147b)$$

Bu durumda toplam maliyet M_2 ise (5.148) yardımıyla hesaplanabilmektedir.

$$N > N_2^* \Rightarrow M_2 = m \cdot N + M_o^b \quad (5.148)$$

Optimum demiryolu bilet fiyatı

Güzergâh ve yolculuğa başlangıç zamanı modellerinde de rastladığımız optimum fiyat, toplam maliyeti minimum yapan, diğer bir deyişle sosyal optimumunu sağlayan bir fiyat değeridir. Karayolundan fiyat tahsil edilmiyorken tür tercihinin söz konusu olduğu durumda, demiryolu bilet fiyatı toplam maliyeti minimum yapacak şekilde ayarlanmaktadır. Uygulama bu haliyle karayolunda sosyal optimumunu sağlayacak bir fiyat tahsil edilmesinden farksızdır. Demiryolu bilet fiyatlarında ayarlama yapılmasının uygulanabilirlik açısından karayolu fiyatlandırmasına göre daha pratik olduğunu söylemek mümkündür.

Optimum demiryolu bilet fiyatının hesaplanmasında, demiryolunun kullanıldığı, yani kritik kullanıcı miktarının aşıldığı yerleşim birimleri için bilet fiyatının (5.149)'da verilen bağıntı ile hesaplanması mümkündür.

$$f_3 = \frac{m}{2} \quad (5.149)$$

Demiryolu bilet fiyatının kullanıcı başına maliyetin yarısına eşit olmasının diğer bir anlamı kullanıcıların sübvans edilmesidir. Öte yandan, talep miktarının kritik değerden düşük olması durumunda demiryolu bilet fiyatının karayolunun ortalama maliyetinden daha yüksek bir değer alması ile hiçbir kullanıcı demiryolunu tercih etmeyecektir.

Optimum demiryolu bilet fiyatının uygulandığı durumda kritik kullanıcı miktarı $N_1^*/2$ değeridir. Buna göre, kullanıcı miktarının bu değerden büyük olması durumunda her iki tür de kullanılmaktadır. Bu şarta göre, türlerin kullanılma miktarları (5.150a) ve (5.150b)'de verilmiştir.

$$N_a^3 = \frac{m \cdot s}{2 \cdot \delta} \quad (5.150a)$$

$$N_b^3 = N - \frac{m \cdot s}{2 \cdot \delta} \quad (5.150b)$$

Her iki türün de kullanımda olduğu durumda toplam maliyet M_3 ise (5.151) kullanılarak hesaplanabilmektedir.

$$N > \frac{N_1^*}{2} \Rightarrow M_3 = m \cdot N + M_o^b - \frac{m^2 \cdot s}{4 \cdot \delta} \quad (5.151)$$

5.6.1.3. Demiryolu bilet fiyatının ayarlanması ve yol fiyatlandırmasının birlikte uygulanması

Tabuchi modelinde yol fiyatlandırması uygulamasında üç farklı yöntem tanımlanmıştır: Optimum, Hassas ve Kaba Fiyatlandırma. Optimum fiyatlandırma uygulaması kritik talep miktarı ve toplam maliyet açısından optimum demiryolu bilet fiyatı uygulamasından farklı değildir. Demiryolu bilet fiyatının ortalama işletme

maliyetine eşit olduğu durumda optimum yol fiyatı, τ_{opt} ise (5.152) ile hesaplanmaktadır.

$$\tau_{opt} = \frac{m}{2} + \frac{M_o^b}{\left(N - \frac{m \cdot s}{2 \cdot \delta}\right)} \quad (5.152)$$

Hassas yol fiyatlandırmasında ileri teknoloji desteği ile zamana bağlı olmak kaydıyla sık sık değişiklik gösteren ve herhangi bir anda yoldaki şişe boynu kesiminde kuyruklanma olmamasını sağlayan bir fiyat belirlenmektedir. Fiyatın bu esasa göre belirlenmesi ile sosyal optimumunun sağlanması söz konusudur. Klasik şişe boynu analizinde sosyal optimumunun sağlanması durumu ile aynı olan bu durumda, her iki türün kullanılıp kullanılmaması için bir kritik kullanıcı miktarı, N_h^* değeri mevcuttur (5.153).

$$N_h^* = \sqrt{\frac{2 \cdot s \cdot M_o^b}{\delta}} + \frac{m \cdot s}{\delta} \quad (5.153)$$

Toplam talebin kritik değeri aştığı durumlarda her iki türün kullanılma miktarları ise (5.154a) ve (5.154b)'de verilmiştir.

$$N_a^h = \frac{m \cdot s}{\delta} \quad (5.154a)$$

$$N_b^h = N - \frac{m \cdot s}{\delta} \quad (5.154b)$$

Toplam maliyet M ise, diğer durumlara benzer olarak kritik kullanıcı miktarının aşılmadığı ve aşıldığı durumlarda farklı değerler almaktadır (5.155a) ve (5.155b).

$$N < N_h^* \Rightarrow M = \frac{\delta \cdot N^2}{2 \cdot s} \quad (5.155a)$$

$$N > N_h^* \Rightarrow M = m \cdot N + M_o^b - \frac{m^2 \cdot s}{2 \cdot \delta} \quad (5.155b)$$

Hassas fiyatlandırma uygulamasına ait τ_h fiyatlar ise (5.156a), (5.156b), (5.156c) ve (5.156d)'de verilmiştir. Fiyat, herhangi bir anda demiryolu bilet fiyatı ile tarife maliyetleri arasındaki fark olarak hesaplanmaktadır. Bağlıntılar incelendiğinde her

anda farklı fiyatlar hesaplandığı görülmektedir. Pratikte bu tip bir fiyatlandırma, ileri teknoloji desteği ile de olsa uygulanması oldukça güç bir yöntemdir.

$$t \leq t_b \Rightarrow \tau_h = \omega \quad (5.156a)$$

$$t \in (t_b, t_n) \Rightarrow \tau_h = m + \frac{M_o^b}{N - \frac{m \cdot s}{\delta}} - \beta \cdot (t^* - t) \quad (5.156b)$$

$$t \in (t_n, t_s) \Rightarrow \tau_h = m + \frac{M_o^b}{N - \frac{m \cdot s}{\delta}} - \gamma \cdot (t - t^*) \quad (5.156c)$$

$$t \geq t_s \Rightarrow \tau_h = \omega \quad (5.156d)$$

(5.156a) ve (5.156d)'de yer alan ω terimine ait eşitsizlik (5.157)'de verilmiştir. Bu terimin verilen eşitsizliğe uygun olarak alınması ile Vickrey'in klasik şişe boynu analizine paralel olarak, otomobil yolculuklarının yalnızca $[t_b, t_s]$ zaman aralığında gerçekleşmesi sağlanmış olmaktadır.

$$\omega \geq \frac{M_o^b}{\left(N - \frac{m \cdot s}{\delta}\right)} \quad (5.157)$$

Bağıntıları (5.158a), (5.158b) ve (5.158c)'de verilen t_b , t_s ve t_n anları ise Vickrey şişe boynu analizinde yer alan ve özel otomobil ile gerçekleştirilen yolculuklar için, sırasıyla, yolculuğa ilk başlangıç anı, yolculuğa son başlangıç anı ve arzu edilen varış zamanında son noktaya ulaşmak için yolculuğa başlangıç anlarıdır.

$$t_b = t^* - \frac{\delta \cdot N_a}{\beta \cdot s} \quad (5.158a)$$

$$t_s = t^* + \frac{\delta \cdot N_a}{\gamma \cdot s} \quad (5.158b)$$

$$t_n = t^* - \frac{\delta \cdot N_a}{\alpha \cdot s} \quad (5.158c)$$

Modelde kaba yol fiyatlandırması yöntemi, her anda değişmeyen, belirli bir zaman dilimi boyunca sabit olarak tahsil edilen bir fiyatlandırma yapısına sahiptir. (5.152) ile hesaplanan optimum yol fiyatı, tüm gün boyunca tahsil edilirken kaba yol fiyatı τ_k

yalnızca zirve saatlerde tahsil edilmektedir. Hem fiyatın, hem de fiyat tahsil edilecek zaman diliminin karar verici tarafından belirlenmesi sebebiyle kaba yol fiyatlandırmasının bir ikinci en iyi optimumu uygulaması olduğunu söylemek mümkündür.

Kaba yol fiyatlandırmasında her iki türün kullanıcı miktarları, kritik kullanıcı miktarı ve fiyata ait bağıntılarda yer alan ψ terimine ait bağıntı (5.159)'da verilmiştir.

$$\psi = \frac{3}{2} - \frac{(\gamma - \alpha) \cdot \beta}{[2 \cdot (\beta + \gamma) \cdot (\alpha + \gamma)]} \quad (5.159)$$

Her iki türün de kullanıldığı durum için sınır değer olan kritik kullanıcı miktarı N_k^* değerine ait bağıntı (5.160)'da verilmiştir.

$$N_k^* = \sqrt{\frac{2 \cdot s \cdot M_o^b}{\psi \cdot \delta}} + \frac{m \cdot s}{\psi \cdot \delta} \quad (5.160)$$

Kritik kullanıcı miktarının büyüklüğü için ise (5.161)'de verilen eşitsizlik söz konusudur.

$$N_h^* > N_k^* > \frac{N_1^*}{2} \quad (5.161)$$

Karayoluna alternatif olarak demiryolunun da mevcut olduğu tüm farklı fiyatlandırma uygulamalarında olduğu gibi bu uygulamada da toplam talebin kritik kullanıcı miktarından düşük kaldığı durumlarda yalnızca karayolu kullanılmaktadır. Toplam talebin kritik kullanıcı miktarını aştığı ve her iki türün de kullanıldığı durumda, her iki türün kullanılma miktarları (5.162a) ve (5.162b)'de verilmiştir.

$$N_a^k = \frac{m \cdot s}{\psi \cdot \delta} \quad (5.162a)$$

$$N_b^k = N - \frac{m \cdot s}{\psi \cdot \delta} \quad (5.162b)$$

Kritik kullanıcı miktarının aşılmadığı ve aşıldığı durumlara ait toplam maliyet M ise (5.163a) ve (5.163b)'de verilen bağıntılar kullanılarak hesaplanabilmektedir.

$$N < N_k^* \Rightarrow M = \frac{\psi \cdot \delta \cdot N^2}{2 \cdot s} \quad (5.163a)$$

$$N > N_k^* \Rightarrow M = m \cdot N + M_o^b - \frac{m^2 \cdot s}{2 \cdot \psi \cdot \delta} \quad (5.163b)$$

Daha önce de belirtildiği gibi fiyat tahsilâtı yalnızca zirve saatlerde, diğer bir deyişle kritik kullanıcı miktarının aşıldığı zamanlarda gerçekleştirilecektir. Buradan hareketle, kaba yol fiyatlandırması için toplam talebin kritik kullanıcı miktarının altında kaldığı zamanlarda fiyat sıfırdır. Toplam talebin kritik kullanıcı miktarını aştığı durumlarda tahsil edilecek fiyat ise (5.164)'de verilen bağıntı kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$\tau_k = \frac{m}{2} + \frac{M_o^b}{N - \frac{m \cdot s}{\psi \cdot \delta}} \quad (5.164)$$

5.6.2. Karayolu-demiryolu arasında tür tercihi modeli örneği: Huang tarafından geliştirilen model

Huang tarafından geliştirilen ve karayolu ile demiryolu arasında tür tercihinin analiz edildiği modelde, trafik tıkanıklığı ile tür tercihi arasındaki ilişki bir lojit model kullanılarak incelenmiştir [106]. Bu modelde, Tabuchi modeline benzer olarak, üzerinde bir şişe boynu kesiti bulunan ve yerleşim bölgesi ile merkezi iş alanını birbirine bağlayan bir karayolu ile karayoluna alternatif oluşturmak üzere, aynı iki bölgeyi birbirine bağlayan ve karayolundan fiziksel olarak ayrılmış durumda olan bir demiryolu hattı mevcuttur. Tabuchi modelinde olduğu gibi bu modelde de karayolunun kullanıcı sayısı N_a , demiryolunun kullanıcı sayısı N_b olmak üzere; toplam kullanıcı sayısının sabit bir N değerine eşit olduğu kabul edilmiştir (5.131).

Tüm kullanıcılar için trafik tıkanıklığı yaşanmadan gerçekleştirilen yolculuğun süresi t_o^a ve t^* , t_b , t_s , t_n ise gerek Vickrey'in klasik şişe boynu modelinde ve gerekse Tabuchi modelinde tarifleri yapılan ve bağıntıları verilen büyüklükler olmak üzere; $[t_b, t_s]$ zaman aralığında karayolu kullanıcılarının ortalama yolculuk maliyeti OM_a , (5.165) kullanılarak hesaplanabilmektedir.

$$OM_a = \delta \cdot \frac{N_a}{s} + \alpha \cdot t_o^a + \tau_a \quad (5.165)$$

Bu bağıntıda yer alan τ_a terimi modelde zamana bağlı olarak değişmediği kabul edilen yol fiyatıdır.

Huang tarafından geliştirilen modelde demiryolu ile yolculuk etmenin ortalama maliyeti (5.166)'da verilen bağıntı ile hesaplanabilmektedir:

$$OM_b = \alpha \cdot t_o^b + \pi \cdot c(N_b) + f \quad (5.166)$$

Burada t_o^b demiryolu ile yolculuk süresini ifade etmektedir. Modelde demiryolunun kapasitesinin sonsuz olarak kabul edilmesi ile yolculuk süresi tüm yolcular için sabit bir değer almaktadır. Öte yandan, demiryolunun hizmet sıklığına bağlı olarak değişen, durakta bekleme süresi ve durağa erişim süresinden oluşan zaman kayıpları da sabit kabul edilmiş ve demiryolu ile yolculuk süresi terimine ilave edilmiştir.

(5.166)'da yer alan π katsayısı ise rahatsızlığın birim maliyetini ifade etmektedir. Bu katsayının rahatsızlık fonksiyonundan $c(N_b)$ elde edilen değer ile çarpılması ile bireyin demiryolunu kullanırken yaşadığı rahatsızlığın parasal karşılığı belirlenebilmektedir. Rahatsızlık fonksiyonu demiryolunu kullanan bireylerin, sistemi kullanan insan sayısına bağlı olarak yaşadıkları rahatsızlığı temsil eden bir fonksiyondur. Bu fonksiyon N_b kullanıcı sayısı arttıkça rahatsızlığın da artışı temsil eden bir yapıdadır. Rahatsızlık fonksiyonunun genel formu (5.167)'de verilmiştir. Bağıntıda yer alan A ve B katsayılarıdır.

$$c(N) = A \cdot N^2 + B \cdot N \quad (5.167)$$

5.6.2.1. Tür tercihi lojit yaklaşımı

Huang modelinde tür tercihi için kullanılan lojit bağıntı (5.168)'da verilmiştir.

$$U_i = U - OM_i + \xi_i \quad (5.168)$$

U_i her tür için oluşturulan fayda fonksiyonudur. Bu fonksiyonu oluşturan terimlerden U kullanıcıların ev-iş yolculuklarından elde ettikleri faydayı temsil eden sabit bir değerdir. Bu değer genellikle bireyin geliri ile ilişkilendirilmektedir. Fonksiyonda her

türe ait ortalama maliyetlere ilave olarak, herhangi bir i türünün seçilmesi durumunda elde edilecek faydanın tam olarak kestirilememesinden kaynaklanan belirsizliği ifade eden ζ_i terimi de yer almaktadır.

Herhangi bir türe ait kullanıcı sayısını bu lojit model ile belirleyebilmek için (5.169)'da verilen bağıntı kullanılmaktadır.

$$N_i = \frac{N \cdot e^{(-\theta \cdot OM_i)}}{e^{(-\theta \cdot OM_a)} + e^{(-\theta \cdot OM_b)}} \quad (5.169)$$

Bu bağıntıda yer alan θ terimi pozitif değerler alan bir katsayıdır. Bu katsayının değeri büyüdükçe, maliyetleri ve/veya faydaları algılamadan kaynaklanan hataların azalmakta olduğu ve bireylerin tercihlerini yaparken ölçtükleri maliyetleri ve/veya faydaları değerlendirerek hareket ettikleri görülmektedir.

Tür tercihinde etken olan önemli bir faktörün karayolu ve demiryolundan tahsil edilen fiyat olduğu açıktır. Huang modelinde klasik ekonomik teoriye paralel olmak üzere, fiyat tahsilâtı için üç farklı durum tanımlanmıştır: Doğal Denge, Birinci En İyi Fiyatlandırması, İkinci En İyi Fiyatlandırması.

5.6.2.2. Doğal denge durumu

Doğal denge durumunun değerlendirilmesinde gerek yoldan tahsil edilen fiyat ve gerekse demiryolu bilet fiyatının keyfi olarak seçildiği kabul edilmektedir. Modelde, toplam talebin elastikliğini değerlendirmek için marjinal yolculuk karı veya talep fonksiyonunun tersi olarak adlandırılabilen bir $B(N)$ terimi tanımlanmıştır. Tanımı gereği bu terim (5.170)'de verilen özelliğe sahiptir.

$$\frac{dB(N)}{dN} < 0 \quad (5.170)$$

Herhangi bir bireyin yolculuk maliyeti ile yolculuktan elde ettiği karlar arasında doğal denge modelini oluşturan ve (5.171)'de verilen eşitliğin yazılabilmesi mümkün olmaktadır.

$$\frac{(\ln N_a + 1)}{\theta} + OM_a = \frac{(\ln N_b + 1)}{\theta} + OM_b = B(N) + \frac{(\ln N + 1)}{\theta} \quad (5.171)$$

(5.171) ile verilen bağıntının çözülebilmesi için $B(N)$ teriminin elde edilmesi gerektiği görülmektedir. Bu aşamadan sonra lojit modelden denge durumuna ait kullanıcı miktarlarının hesaplanması mümkün olmaktadır.

5.6.2.3. Birinci en iyi fiyatlandırması

Tür tercihinde birinci en iyi optimumuna ulaşmak amacıyla fiyatlandırma yapılması durumunda, optimum durumunun tanımı gereği her iki türün de marjinal maliyetleri oranında fiyatlandırılması söz konusudur. Bu fiyatlandırma uygulaması sonunda ulaşılan optimum durumda karayolu için (5.172a), demiryolu bileti fiyatı için ise (5.172b) kullanılarak kullanıcı miktarlarının belirlenebilmesi mümkündür.

$$\frac{(\ln N_a + 1)}{\theta} + \left(\delta \cdot \frac{N_a}{s} + \alpha \cdot t_o^a \right) + \left(\delta \cdot \frac{N_a}{s} \right) = B(N) + \frac{(\ln N + 1)}{\theta} \quad (5.172a)$$

$$\frac{(\ln N_b + 1)}{\theta} + [\alpha \cdot t_o^b + \pi \cdot c(N_b)] + [m + \pi \cdot N_b \cdot c'(N_b)] = B(N) + \frac{(\ln N + 1)}{\theta} \quad (5.172b)$$

(5.172b)'de verilen rahatsızlık fonksiyonun türevini ifade eden terim, aynı fonksiyonun N_b kullanıcı sayısına göre türevi alınarak elde edilmektedir. (5.172a) ve (5.172b) ile ifade edilen birinci en iyi optimumu fiyatlandırması ile ulaşılan sosyal optimumu durumu stokastik bir denge durumudur. Bu denklemler kullanılarak elde edilen ve her bir karayolu kullanıcılarından tahsil edilecek fiyat τ ile demiryolu bileti fiyatı olarak belirlenecek tutar olan f değerlerine ait bağıntılar (5.173a) ve (5.173b)'de verilmiştir.

$$\tau = \frac{\delta \cdot N}{s} \quad (5.173a)$$

$$f = m + \pi \cdot N_b \cdot c'(N_b) \quad (5.173b)$$

Bu bağıntılar ile verilen fiyatlar, her iki tür için de marjinal maliyete karşı gelmektedir. Buradan hareketle, birinci en iyi optimumu fiyatlandırması ile her bir türe ait dışsal etkilerin içselleştirilmesi ve sosyal optimumuna ulaşılması mümkün olabilmektedir.

5.6.2.4. İkinci en iyi fiyatlandırması

İkinci en iyi fiyatlandırılmasının incelenebilmesi için karar vericinin demiryolu bilet fiyatını sosyal optimumu sağlayacak şekilde ayarlayabildiği; buna karşılık çeşitli teknik ve politik gerekçelerle karayolunda fiyat tahsil edilemediği durum göz önüne alınacaktır. Bu durumda demiryolu bilet fiyatı, kullanıcıların iki ulaşım türü arasındaki dağılımını düzenleyen yegâne unsur halini almaktadır.

İkinci en iyi optimumunu sağlayan kullanıcı miktarlarının hesaplanmasında, karayolu için (5.174a), demiryolu için (5.174b)'de verilen bağıntılar kullanılmaktadır.

$$\frac{(\ln N_a + 1)}{\theta} + \left(\delta \cdot \frac{N_a}{s} + \alpha \cdot t_o^a \right) = B(N) + \frac{(\ln N + 1)}{\theta} \quad (5.174a)$$

$$\frac{(\ln N_b + 1)}{\theta} + [\alpha \cdot t_o^b + \pi \cdot c(N_b)] + p = B(N) + \frac{(\ln N + 1)}{\theta} \quad (5.174b)$$

Demiryolu bilet fiyatının hesaplanması için ise (5.175)'de verilen bağıntı kullanılmaktadır.

$$f = [m + \pi \cdot N_b \cdot c'(N_b)] + \frac{B'(N) + \left(\frac{1}{\theta \cdot N} \right)}{\left(\frac{\delta}{s} \right) + \left(\frac{1}{\theta \cdot N_a} \right) - B'(N) - \left(\frac{1}{\theta \cdot N} \right)} \cdot \left[\frac{\delta \cdot N_a}{s} \right] \quad (5.175)$$

(5.175) ile verilen fiyat bağıntısı incelendiğinde, bağıntıyı oluşturan iki terimin karayolu ve demiryolunun dışsal maliyetleri olduğu görülmektedir. Bunlardan demiryolunun dışsal maliyetini ifade eden birinci terimin, herhangi bir katsayısı olmaması itibariyle değeri bir olan bir ağırlık katsayısı ile çarpılarak hesaba katıldığı söylenebilmektedir. Diğer taraftan, karayolunun dışsal maliyetine karşı gelen ikinci terimin bir katsayısı mevcuttur ve $B'(N) < 0$ olması sebebiyle de bu terime ait ağırlık katsayısı pozitif veya negatif olabilmektedir. Burada özel bir durum talebin tam elastik olması durumudur [$B'(N) = -\infty$]. Talebin tam elastik olduğu durumda karayolu dışsal maliyetlere ait ağırlık katsayısı -1 değerini almaktadır ve böylece demiryolu bilet fiyatı, birinci en iyi fiyatlandırmasında her iki tür için belirlenen fiyatların farkı olarak hesaplanabilmektedir. Diğer bir deyişle, talebin sabit olduğu durumda, karayolundan dışsal maliyetlerin karşılığı bir fiyat tahsilatı yapılmıyorsa, demiryolu

bilet fiyatları azaltılarak kullanıcı miktarlarının optimum dağılımı sağlanmaya çalışılmalıdır.

5.6.3. Özel otomobil-otobüs arasında tür tercihi modeli örneği: Huang, Tian, Yang ve Gao tarafından geliştirilen model

Tür tercihi modellerinde karayolu veya özel otomobile alternatif olan türün demiryolu ile otobüs olması arasında önemli farklar vardır. Demiryolunun kullanıcıları, sistemin trafik tıkanıklığı yaşanan karayolu hattından ayrı ve tıkanıklık etkilerinin yaşanmadığı bir hatta hizmet veriyor olması sebebiyle gecikmelerden kaynaklanan maliyetler yüklenmemektedirler. Öte yandan, toplu taşıma hizmeti veren otobüsler, tahsisli yol uygulaması da mevcut değilse, özel otomobiller ile aynı trafik koşulları altında seyretmektedirler. Bu durumda, özel otomobiller için mevcut olan gecikmeler, otobüsler için de söz konusu olmaktadır.

Özel otomobil ile otobüs arasındaki tür tercihinin incelendiği modelde [107], bireylerin aralarında yolculuk ettiği yerleşim merkezi ile merkezi iş alanı arasında ulaşımı sağlayan ve üzerinde kapasitesi s olan bir şişe boynu kesitinin bulunduğu tek bir yol mevcuttur. Bu yolu kullanarak yolculuk yapan toplam N adet kullanıcının N_a kadarı özel otomobillerini, N_b kadarı ise otobüsü tercih edecektir. Toplam kullanıcı sayısı için $N = N_a + N_b$ şartı her türlü tercih dağılımında sağlanmaktadır.

Modelde özel otomobil kullanıcılarının ortalama maliyetlerinin yolculuk süresinin, trafik tıkanıklığından kaynaklanan gecikmeler ve sabit maliyetlerden oluşan üç bileşeni olduğu kabul edilmiştir. Özel otomobil kullanıcılarının ortalama maliyeti OM_a değerinin hesaplanması için (5.176)'da verilen bağıntı kullanılabilir.

$$OM_a(t) = \alpha \cdot [t_o^a + t_g(t)] + m_{igm}(t) + M_0 \quad (5.176)$$

Burada, şişe boynu kesitinin girişine herhangi bir t anında varan özel otomobil kullanıcıları için ortalama maliyet $OM_a(t)$ olmak üzere, t_o^a şişe boynu kesitinin girişine kadar olan ve trafik tıkanıklığı yaşanmayan akım koşullarında hizmet verdiği kabul edilen yol kesimindeki sabit yolculuk süresidir. Şişe boynu kesitinin girişindeki kuyrukta beklenen zaman $t_g(t)$ ve zaman değeri ise α ile ifade edilmektedir. (5.176)'da yer alan diğer iki maliyet bileşeninden $m_{igm}(t)$, Vickrey'in klasik şişe boynu modeline benzer şekilde hesaplanan tarife maliyetini temsil

ederken, M_0 yakıt tüketimi ve amortisman gibi sabit maliyetlerin tamamını ifade etmektedir.

Şişe boynu kesitinin girişinde yaşanan trafik tıkanıklığı ve buna bağlı olarak ortaya çıkan gecikmeler için yapılan hesaplamalarda Vickrey'in klasik şişe boynu analizinin esaslarına bağlı olarak hareket edilmekle birlikte, yolculuğa başlangıç zamanı ve güzergâh seçimi modellerinden farklı olarak, araç kompozisyonunun otomobilden başka bir tür içeriyor olması itibarıyla çeşitli farklılıklar söz konusudur.

Modelde hesaplamaların genel bir çerçeveye oturtulması amacıyla birim otomobil eşdeğeri⁵ kavramı kullanılmıştır. Buna göre özel otomobilin birim otomobil eşdeğeri bir alınırken, otobüslerin birim otomobil eşdeğeri bo ($bo > 1$) olarak kabul edilmiştir. Diğer taraftan, yerleşim biriminden merkezi iş alanına doğru yola çıkan otobüslerin hareket sıklığı fr ve yolculuğa başlangıç zaman aralıkları $1/fr$ olmak üzere, hiçbir anda şişe boynu kesitinin tamamının otobüslerce kullanılmaması için her anda $bo \cdot fr < s$ şartı sağlanmaktadır.

Vickrey'in şişe boynu analizinde de kullanılan yolculuğa ilk başlama anı t_b , yolculuğa son başlama anı t_s , arzu edilen varış zamanı t^* anında son noktaya ulaşmak için yolculuğa başlama anı t_n değerlerinin hesaplanması için sırasıyla (5.177a), (5.177b) ve (5.177c)'de verilen bağıntılar kullanılmaktadır.

$$t_b = t^* - \frac{\psi}{\beta} \quad (5.177a)$$

$$t_s = t^* + \frac{\psi}{\gamma} \quad (5.177b)$$

$$t_n = t^* + \frac{\psi}{\alpha} \quad (5.177c)$$

Bu bağıntılarda yer alan ψ terimi ise (5.178)'de verilen bağıntı ile hesaplanmaktadır.

$$\psi = \frac{\beta \cdot \gamma}{\beta + \gamma} \cdot \left(\frac{N_a}{s - bo \cdot fr} \right) \quad (5.178)$$

⁵ Bir taşıtın birim otomobil eşdeğeri, o taşıtın boyutları, manevra yeteneği, hızı vb. yönlerden otomobile göre trafik akımı içindeki etkisini yansıtan bir sayıdır [3].

Otobüslerin yerleşim merkezinden yola çıkış sıklıkları ve seyir hızları sabit kabul edilerek, otobüslerin yola çıkış sıklıkları ile şişe boynu kesitinin girişine varış sıklıklarını eşit olduğunu sonucuna ulaşmak mümkündür. Buradan hareketle, özel otomobiller ile otobüslerden oluşan tüm araçların şişe boynu kesitinin girişine her anda varış miktarları $r(t)$, t_n anından önce ve sonra farklı olarak hesaplanmaktadır **(5.179a)** ve **(5.179b)**.

$$t \in [t_b, t_n] \Rightarrow r(t) = \frac{\alpha}{\alpha - \beta} \cdot s - bo \cdot fr \quad (5.179a)$$

$$t \in [t_n, t_s] \Rightarrow r(t) = \frac{\alpha}{\alpha + \beta} \cdot s - bo \cdot fr \quad (5.179b)$$

Bu bağıntılar, otobüslerin birim otomobil eşdeğeri ile hesaplanan ilave terim dışında Vickrey'in klasik şişe boynu analizi ile aynıdır.

Bu modelde otobüs kullanıcılarının ortalama maliyetinin; yolculuk süresi, kuyrukta bekleme süresi, tarife maliyeti, otobüs bilet fiyatı ve yolculuk yapılan araç içerisindeki insan kalabalığından kaynaklanan rahatsızlığın parasal değeri bileşenlerinden oluştuğu kabul edilmiştir. Başlangıç noktasından hareket eden ve şişe boynu kesitinin girişine t_j anında ulaşan, herhangi bir j . otobüsün kullanıcılarının ortalama maliyeti $OM_b(j)$ değerinin hesaplanması için **(5.180)**'de verilen bağıntı kullanılabilir.

$$OM_b(j) = \alpha \cdot [t_o^b + t_g(t_j)] + m_t(t_j) + [t_o^b + t_g(t_j)] \cdot c(n_j) + f_b \quad (5.180)$$

Bu bağıntıda, t_o^b şişe boynu kesitinin girişine kadar olan ve trafik tıkanıklığı yaşanmayan akım koşullarında hizmet verdiği kabul edilen yol kesimindeki sabit yolculuk süresidir. Bu otobüsün kullanıcı sayısı n_j olmak üzere, $c(n_j)$ rahatsızlık fonksiyonu, Tabuchi modeline benzer olarak otobüs ile yolculuk eden bireylerin, araç içindeki insan sayısına bağlı olarak yaşadıkları rahatsızlığı temsil eden bir fonksiyondur. Bu fonksiyon n_j kullanıcı sayısı arttıkça rahatsızlığın da artışı temsil eden bir yapıdadır ve araç içinde hiç yolcu bulunmuyorken sıfır değerini almaktadır. Otobüsün bilet fiyatı ise f_b terimi ile ifade edilmektedir.

Şişe boynu kesitinin varlığı, merkezi iş alanına her anda varış miktarını sınırlanmaktadır. Burada özel otomobiller ve otobüsler için iki farklı durumdan söz

etmek mümkündür. Şişe boynu analizine ait genel kabul gereği özel otomobil kullanıcıları yolculuklarını yalnızca $[t_b, t_s]$ zaman aralığında gerçekleştirmektedir. Otobüslerin seferleri ise tüm zaman dilimlerinde gerçekleştirilmektedir. Tüm araçların toplamı için merkezi iş alanına her anda varış miktarları $r(t)$, **(5.181a)** ve **(5.181b)**'de verilen bağıntılar ile hesaplanabilmektedir.

$$t \in [t_b, t_s] \Rightarrow r(t) = s \quad (5.181a)$$

$$t \notin [t_b, t_s] \Rightarrow r(t) = bo \cdot fr \quad (5.181b)$$

Özel otomobilleri ile yolculuk eden kullanıcıların merkezi iş alanına her anda varış miktarları $r_a(t)$ değerinin hesaplanabilmesi için **(5.182a)**, **(5.182b)** ve **(5.182c)**'de verilen bağıntılar kullanılabilmektedir.

$$t \in [t_b, t^*] \Rightarrow r_a(t) = s - \frac{(\alpha - \beta)}{\alpha} \cdot bo \cdot fr \quad (5.182a)$$

$$t \in [t^*, t_s] \Rightarrow r_a(t) = s - \frac{(\alpha + \gamma)}{\alpha} \cdot bo \cdot fr \quad (5.182b)$$

$$t \notin [t_b, t_s] \Rightarrow r_a(t) = 0 \quad (5.182c)$$

Otobüslerin merkezi iş alanına her anda varış miktarları için $r_b(t)$ değerinin hesaplanabilmesi için ise **(5.183a)**, **(5.183b)** ve **(5.183c)**'de verilen bağıntılar kullanılabilmektedir.

$$t \in [t_b, t^*] \Rightarrow r_b(t) = \frac{(\alpha - \beta)}{\alpha} \cdot fr \quad (5.183a)$$

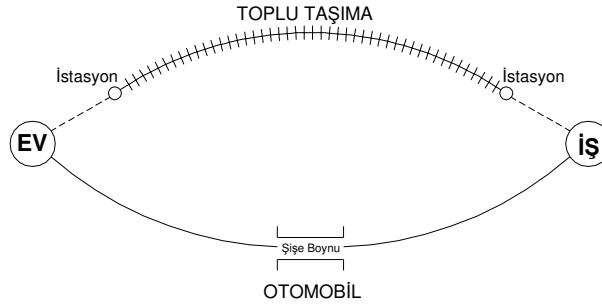
$$t \in [t^*, t_s] \Rightarrow r_b(t) = \frac{(\alpha + \gamma)}{\alpha} \cdot fr \quad (5.183b)$$

$$t \notin [t_b, t_s] \Rightarrow r_b(t) = fr \quad (5.183c)$$

Modelde tür tercihi, **(5.168)** ve **(5.169)**'da bağıntıları verilen lojit model kullanılarak gerçekleştirilmektedir.

5.6.4. Özel otomobil-toplu taşıma arasında tür tercihi modeli örneği: Huang ve Yang tarafından geliştirilen model

Özel otomobil ile toplu taşımanın fiziksel olarak ayrıldığı bir ulaştırma sistemini inceleyen bu modelde [108] Şekil 5.10'da verilen basit ulaştırma ağı incelenmektedir. Toplu taşıma türü trafik tıkanıklığından etkilenmeden hizmet verirken, otomobil türü üzerinde köprü veya tünel gibi bir şişe boynu kesiti bulunan bir karayolunu kullanmaktadır.



Şekil 5.10 : Özel otomobil-toplu taşıma tercih modelinde kullanılan ulaştırma ağı [108].

Modelde, ev ile iş arasında yolculuk yapan bireylerin, karayolunda özel otomobilleri ile yolculuk yapmak ile istasyon noktalarına kadar belirli bir mesafe yürüyerek ulaştıkları toplu taşıma sistemini kullanmak arasında tercih yaptıkları kabul edilmiştir. Her iki türün sundukları kapasite sınırlıdır. Toplu taşıma sisteminin kapasitesi, sistemin işletmecisi tarafından belirlenen hizmet sıklığına bağlı olarak şekillenirken, karayolunun kapasitesi doğrudan doğruya şişe boynu kesitinin fiziksel özelliklerine bağlıdır. Buradan hareketle, talebin kapasiteyi aşması durumunda, toplu taşıma sistemi için istasyonlarda, karayolu için ise şişe boynu kesitinin girişinde kuyruklanmalar oluşması söz konusu olmaktadır. Gerek toplu taşıma sisteminde ve gerekse karayolunda kuyrukta bekleme süresi, kuyruğun fiziksel uzunluğu yerine bireyin kuyruğa katıldığı anda kuyrukta beklemekte olan birey veya araç sayısına bağlıdır.

Bireylerin iş yerine arzu edilen varış zamanı $[t^* - \Delta, t^* + \Delta]$ zaman aralığındadır ve iş yerine bu zaman aralığında ulaşan bireyler herhangi bir tarife maliyeti ile karşılaşmamaktadırlar. Öte yandan, karayolunun, evden şişe boynu kesitinin girişine kadar olan yolculuk süresi t_a^s ile toplu taşıma sisteminin iki istasyonu arasındaki yolculuk süresi t_b^s sabit kabul edilmektedir. Bu durumda karayolunda şişe boynu

kesitinde yaşanan kuyruklanmalara bağlı bir zaman kaybı olacağı görülmektedir. Toplu taşıma sisteminde ise iki istasyon arasındaki seyir boyunca herhangi bir zaman kaybı yaşanmadığı görülmektedir. Toplu taşıma sisteminin kullanıcıları, duraklarda ortaya çıkması söz konusu olan bekleme süresi dışında, ev ve iş ile istasyonlar arasında belirli bir süre yürümelerine bağlı olarak ilave zaman harcamak durumundadırlar. Modelde duraklara ulaşmak için harcanan bu yürüme zamanı sabit bir değer olarak kabul edilmiştir.

Gerek toplu taşıma sisteminin ve gerekse karayolunun kullanılması karşılığında bir fiyat tahsil edilmektedir. Burada, toplu taşıma sistemi için bilet fiyatı, karayolu için ise şise boynu kesitinden geçişin fiyatlandırılması söz konusu olmaktadır.

5.6.4.1. Ulaştırma arzının durumu

Herhangi bir t anında, şise boynu kesitinin girişinde kuyrukta beklemekte olan araç sayısı $k_a(t)$, toplu taşıma sisteminin istasyonunda kuyrukta beklemekte olan kullanıcı sayısı ise $k_b(t)$ ile ifade edilmektedir.

Herhangi bir t anında yolculuğa başlayıp, $t + t_a^s$ anında şise boynu kesitinin girişine ulaşan karayolu kullanıcıları için, her anda şise boynu kesitini terk etme miktarı $r_a(t)$ iki farklı durum arz etmektedir. İlk durumda, her anda evlerinden yolculuğa başlayan özel otomobil kullanıcılarının miktarı $N_a(t)$ şise boynunun kapasitesi s_a değerinden küçüktür. Bu durumda şise boynunu terk etme miktarı şise boynuna giriş miktarı ile eşittir ve kuyruklanma olmamaktadır (5.184a). İkinci durumda yolculuğa başlayanların miktarı şise boynunu kapasitesini aşmaktadır. Bu durumda şise boynu kesitinin girişinde kuyruklanma olacaktır. Modelde bu durum için, şise boynu kesitini terk etme miktarını temsil eden kuyruk boyuna bağlı bir $s_a[k_a(t+t_a^s)]$ fonksiyonu kullanılmıştır (5.184b).

$$k_a(t) = 0 \quad , \quad N_a(t) < s_a \Rightarrow r_a(t) = N_a(t) \quad (5.184a)$$

$$k_a(t) > 0 \quad , \quad N_a(t) \geq s_a \Rightarrow r_a(t) = s_a [k_a(t+t_a^s)] \quad (5.184b)$$

Her anda toplu taşıma sistemi kullanıcılarının iş yerindeki istasyonu terk etme miktarı $r_b(t)$ için de tıpkı karayolu kullanıcıları için olduğu gibi iki farklı durum söz konusudur. İlk durumda, toplu taşıma sistemi kullanıcılarının her anda yolculuğa

başlama miktarı $N_b(t)$, toplu taşıma sisteminin yolcu kapasitesi s_b değerinden daha düşüktür. Bu durumda istasyonu terk etme miktarı, yolculuğa başlayan kullanıcı miktarı ile aynı olacaktır **(5.185a)**. İkinci durumda yolculuğa başlayan kullanıcıların miktarı sistemin yolcu kapasitesinden fazladır. Modelde bu durumda, toplu taşıma sistemi işletmecisinin talebe bağlı olarak yolcu kapasitesini arttırabileceği kabul edilmiş ve yolculuğa başlama miktarı için durakta kuyrukta bekleyen kullanıcı miktarına bağlı bir toplu taşıma kapasite fonksiyonu $s_b[k_b(t)]$ tanımlanmıştır **(5.185b)**.

$$k_b(t) = 0 \quad , \quad N_b(t) < s_b \Rightarrow r_b(t) = N_b(t) \quad (5.185a)$$

$$k_b(t) > 0 \quad , \quad N_b(t) \geq s_b \Rightarrow r_b(t) = s_b[k_b(t)] \quad (5.185b)$$

5.6.4.2. Ulaştırma talebinin durumu

Herhangi bir t anında evinden yola çıkıp, özel otomobili ile şişe boynu kesitinin yer aldığı karayolunu kullanarak iş yerine yolculuk yapan kullanıcıların ortalama maliyeti **(5.186)**'da verilen bağıntı ile hesaplanmaktadır.

$$OM_a = M_0^a + \alpha \cdot \left\{ \frac{k_a(t + t_a^s)}{s_a[k_a(t + t_a^s)]} + t_a^s \right\} \quad (5.186)$$

Bu denklemde yer alan M_0^a terimi, özel otomobil türüne özel, yakıt tüketimi maliyeti benzeri sabit maliyetlerin toplamını temsil etmektedir. Bağıntıda yer alan ve α zaman değeri ile çarpılan terim ise şişe boynu kesitinin girişindeki kuyruklanmaya bağlı olarak ortaya çıkan bekleme süresidir.

Özel otomobil kullanıcılarından son noktaya erken varanların tarife maliyeti $m_e^a(t)$ **(5.187a)**'da, son noktaya geç varanların tarife maliyeti $m_g^a(t)$ **(5.187b)**'de verilen bağıntılar ile hesaplanmaktadır. Tarife maliyetinin tanımı gereği, modelde arzu edilen varış zamanı aralığı olarak belirlenen $[t^* - \Delta, t^* + \Delta]$ zaman aralığında tarife maliyeti sıfır değerini almaktadır.

$$t_a(t) < (t^* - \Delta) \Rightarrow m_e^a(t) = \beta \cdot \left\{ t + \frac{k_a[t + t_a^s]}{s_a(\cdot)} + t_a^s - (t^* - \Delta) \right\} \quad (5.187a)$$

$$t_a(t) > (t^* + \Delta) \Rightarrow m_g^a(t) = \gamma \cdot \left\{ t + \frac{k_a[(t + t_a^s)]}{s_a(\cdot)} + t_a^s - (t^* + \Delta) \right\} \quad (5.187b)$$

Bağıntılarda yer alan $t_a(t)$ terimi t anında yolculuğuna başlayan bir özel otomobil kullanıcısının toplam yolculuk süresidir ve (5.188)'de verilen bağıntı ile hesaplanabilmektedir.

$$t_a(t) = t + \frac{k_a(t + t_a^s)}{s_a[k_a(t + t_a^s)]} + t_a^s \quad (5.188)$$

Herhangi bir t anında evinden yola çıkıp toplu taşımayı kullanarak iş yerine giden kullanıcıların ortalama maliyeti (5.189)'da verilen bağıntı ile hesaplanmaktadır.

$$OM_b = M_0^b + \alpha \cdot \left\{ \frac{k_b(t)}{s_b[k_b(t)]} + t_b^s + t_b^w \right\} \quad (5.189)$$

Bu bağıntıda yer alan M_0^b terimi toplu taşıma sisteminin kullanımı karşılığında, zamandan bağımsız olarak tahsil edilen bilet fiyatı benzeri bileşenleri olan sabit maliyetlerin toplamını temsil etmektedir. Bağıntıda, α zaman değeri ile çarpılan terim ise herhangi bir t anında istasyona ulaşan bir kullanıcının, bu anda kuyrukta beklemekte olan kullanıcı sayısına bağlı olarak, toplu taşıma aracına bininceye kadar bekleyeceği süreyi ifade etmektedir. Kullanıcılar istasyonda, kuyruklanmanın yanı sıra toplu taşıma araçlarının servis sıklığına bağlı olarak da bekleyebilmektedirler. Bu sebepten kaynaklanan bekleme süreleri temsil etmek üzere t_b^w terimi kullanılmıştır. Bu terim ile ifade edilen bekleme süresi ise sabit bir değer olarak kabul edilmiştir.

Toplu taşımanın kullanıcılarından son noktaya erken varanların tarife maliyeti $m_e^b(t)$ (5.190a)'da, son noktaya geç varanların tarife maliyeti $m_g^b(t)$ (5.190b)'de verilen bağıntılar ile hesaplanmaktadır. Özel otomobil kullanıcıları için olduğu gibi toplu taşıma kullanıcıları için de tam vaktinde iş yerine varanların tarife maliyeti sıfır değerini almaktadır.

$$t_b(t) < (t^* - \Delta) \Rightarrow m_e^b(t) = \beta \cdot \left\{ t + \frac{x_b(t)}{s_b(\cdot)} + t_b^w + t_a^s - (\tau - \Delta) \right\} \quad (5.190a)$$

$$t_b(t) > (t^* + \Delta) \Rightarrow m_g^b(t) = \gamma \cdot \left\{ t + \frac{x_b(t)}{s_b(\cdot)} + t_b^w + t_a^s - (\tau + \Delta) \right\} \quad (5.190b)$$

Bağıntılarda yer alan $t_b(t)$ terimi ise t anında yolculuğuna başlayan bir toplu taşıma sistemi kullanıcısının toplam yolculuk süresidir ve (5.191)'de verilen bağıntı ile hesaplanabilmektedir.

$$t_b(t) = t + \frac{k_b(t)}{s_b[k_b(t)]} + t_b^s + t_b^w \quad (5.191)$$

5.6.4.3. Tür tercihinin modellenmesi

Bu modelde tür tercihi için kullanılan lojit bağıntı (5.192)'de verilmiştir.

$$U_i = U - m_i + \varepsilon_i \quad (5.192)$$

Herhangi bir i türünün kullanıcılarının genelleştirilmiş maliyeti m_i ile ifade edilmektedir. Genelleştirilmiş maliyetin içerisinde, (5.186) ve (5.189) kullanılarak hesaplanan ortalama maliyetlerin yanı sıra, (5.187a) ve (5.187b) ile (5.190a) ve (5.190b) kullanılarak hesaplanan tarife maliyetleri ayrıca, toplu taşımanın bilet fiyatı veya karayolundan tahsil edilen fiyat yer almaktadır. U kullanıcıların ev-iş yolculuklarından elde ettikleri faydayı temsil eden sabit bir değerdir ve diğer modellere benzer olarak bireyin geliri ile ilişkilendirilmektedir. Herhangi bir i türünün seçilmesi durumunda elde edilecek faydanın tam olarak kestirilememesinden kaynaklanan belirsizlik ise ε_i terimi ile temsil edilmektedir.

Tür tercihi için ise (5.193)'de verilen bağıntı kullanılmaktadır.

$$N_i(t) = \frac{N}{1 + e^{\theta(m_a - m_b)}} \quad (5.193)$$

(5.193)'de yer alan θ ileriki aşamalarda kalibre edilen bir katsayıdır. Öte yandan, $N_a(t)$ ve $N_b(t)$ sırasıyla özel otomobil ve toplu taşıma türlerinin toplam kullanıcı sayısı olmak üzere, $N = N_a(t) + N_b(t)$ şartı söz konusudur. (5.193)'de verilen bağıntı tür tercihi modellerinde sıkça kullanılan lojit bağıntıdan başkası değildir.

6. İSTANBUL KENTİ İÇİN BİR TIKANIKLIK FİYATLANDIRMASI ÇALIŞMASI: EMİNÖNÜ ÖRNEĞİ

Bu bölümde İstanbul kentinin Eminönü bölgesi için modellenen bir tıkanıklık fiyatlandırması uygulamasına ait hesaplamalar ve elde edilen sonuçlar sunulacaktır. Eminönü bölgesi için yapılan çalışmanın, tıkanıklık fiyatlandırmasının İstanbul kentinde uygulanabilirliği konusunda önemli bir referans teşkil edeceği düşünülmektedir. Bu çalışmada, bölgede bir kordon fiyatlandırması uygulaması gerçekleştirilmesi durumunda; optimum fiyatın ne olması gerektiği, fiyatın farklı tutarları için kullanıcı sayısındaki değişimlerin ne olacağı, elde edilecek gelirin düzeyi ve diğer ekonomik değerlendirmeler başlıca araştırma konularıdır. Eminönü bölgesi için modellenen fiyatlandırma uygulamasında, çalışmanın dördüncü bölümünde ayrıntılı olarak açıklanan trafik tıkanıklığının ekonomik analizine ait yöntemlerden faydalanılmıştır. Çalışmada İMP 2006 tarafından gerçekleştirilen “Hane Halkı Ulaşım Anketi”ne ait veriler kullanılmıştır. Bu ankette, 90.000 hanenin (yaklaşık 500.000 bireyin) ulaşım tercihleri; gelir durumu, otomobil sahipliği gibi pek çok önemli bilgi ile beraber belirlenmiştir. İlgili anketten elde edilen verilerden başlıca, özel otomobiller ile İstanbul kentinin, çalışmanın yapıldığı tarihte geçerli olan idari yapısına göre, 32 ilçesi ve Kocaeli kentine bağlı Gebze ilçesi arasında bir günde yapılan yolculuk miktarlarının yanı sıra otomobil sahiplerine, fiyatlandırma uygulaması konusundaki eğilimlerini tespit etmek amacıyla sorulan sorulara verilen cevapların oluşturduğu veri kullanılmıştır. Hane Halkı Ulaşım Anketi verilerine ilave olarak yine İMP tarafından yaptırılan ve İstanbul kenti için ana arterlere ve otoyollara ait bağlantı-kapasite (link-kapasite) fonksiyonlarının geliştirildiği rapordan [109] da faydalanılmıştır.

6.1. Eminönü Bölgesinin Özellikleri

Sınırları içerisinde barındırdığı pek çok tarihi eser ile kentin gözbebeği olan Eminönü, ulaşım ağının ve bölge coğrafyasının sağladığı imkanlar sayesinde

fiyatlandırma uygulamaları için uygun özelliklere sahiptir (Şekil 6.1). Üç tarafı denizlerle çevrili olan Eminönü bölgesinin kara ile olan tek sınırı, Haliç üzerinden geçen Atatürk Köprüsü'nün devamında yer alan Atatürk Bulvarı'dır. Bölgenin yol ağını da sınırlayan aynı bulvar, bir yarımada olan Eminönü bölgesini sahil boyunca dolaşan Kennedy Caddesi ile birleşerek sonlanmaktadır. Bölgeye motorlu taşıtlar ile giriş yapılmasını sağlayan ana arter özelliğindeki yolların sayısı da son derece sınırlıdır. Eminönü bölgesine Karaköy tarafından ulaşım yalnızca Atatürk Köprüsü ve Galata Köprüsü ile sağlanırken, Bakırköy tarafından sahil yolu ile gelinmesi durumunda Kennedy Caddesi'nden giriş yapılabilir. Bunlar dışında anayol özelliğinde olan diğer girişler ise, Vatan ve Millet Caddeleri'nin birleştiği nokta ile Ordu Caddesi'nden ve bu caddeden daha kuzeyde yer alan, Macar Kardeşler Caddesi'nin devamında yer Şehzadebaşı Caddesi'nden yapılmaktadır. Bu caddeler dışında mevcut olan sokaklar bir kenara bırakılırsa toplam beş adet ana giriş ile Eminönü bir fiyatlandırma uygulaması için ideal özelliklere sahiptir.



Şekil 6.1 : Eminönü bölgesinin haritası [110].

Eminönü, bölge yol ağının yanı sıra başka özellikleri ile de fiyatlandırmaya uygundur. 2000 yılı genel nüfus sayımı sonuçlarına göre [111], nüfusu yalnızca 83.444 olan bölge gerek çok sayıda ticari işletmenin ve gerekse turistik tesis ve tarihi

yapıların ayrıca önemli kamu hizmet birimlerinin varlığı ile çok sayıda insan tarafından ziyaret edilen bir bölgedir. Bu özellikleri ile nüfusu gün içinde önemli oranda artan bölgede ciddi trafik tıkanıklıkları yaşanmaktadır. Bölgede özel otomobil kullanıcılarının ciddi düzeyde yaşadığı önemli sorunlardan biri de otopark sıkıntısıdır. Buna karşılık, yapılaşma özelliği ve tarihi dokusu sebebi ile bölgede yeni yüzeysel, hatta yer altı ulaşım altyapılarının oluşturulması pek mümkün görülmemektedir.

Eminönü bölgesinde bir fiyatlandırma uygulaması hayata geçirilmesi durumunda, belli sayıda bireyin bölgeye özel otomobillerini kullanmaksızın gelmeye başlayacağı düşünülmektedir. Eminönü’nde trafik açısından yaşanan sorunlar bu sayede önemli oranda azalabilecek ve kentin önemli merkezlerinden biri olan bölgenin özellikle kültürel zenginlikleri daha erişilebilir bir özellik kazanacaktır. Bu sayede bölge kaynaklı turizm gelirlerinde de önemli bir artış olacağını beklemek yanlış olmayacaktır.

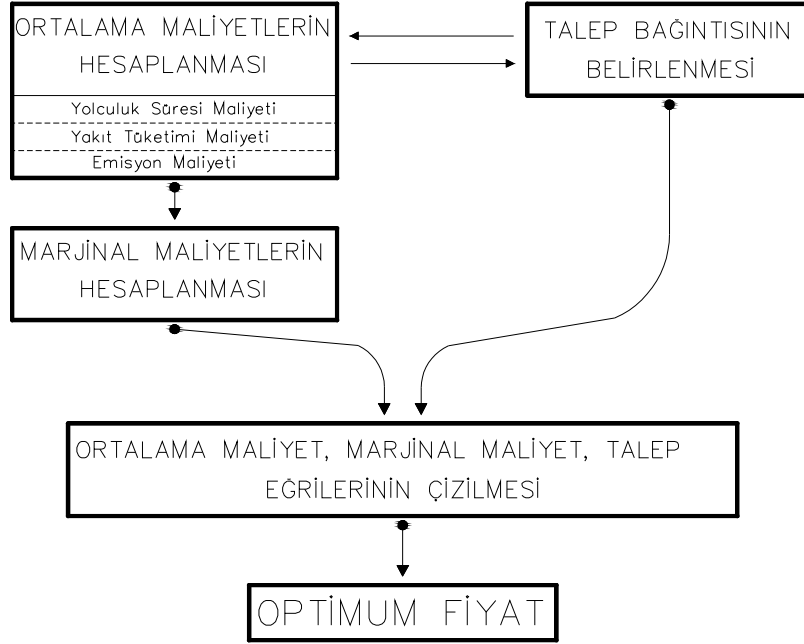
6.2. Hesaplama Modeli

Doktora tez çalışması kapsamında oluşturulan hesaplama modelinde, Eminönü bölgesinde kordon fiyatlandırması uygulanması durumunda, bölge sınırları ile oluşturulan kordon hattından özel araçları ile geçiş yapan bireylerden tahsil edilmesi gereken optimum fiyat belirlenmiş ve farklı fiyatlar için çeşitli araştırmalar yapılmıştır.

Eminönü bölgesi için oluşturulan modelde tüm büyüklüklerin kilometre başına hesaplanması yöntemi tercih edilmiştir. Bu yöntem kullanılarak tüm maliyet bileşenleri, optimum fiyat ve farklı fiyatlara ait durumlar kilometre başına hesaplanmış ve değerlendirilmiştir. Hesaplama modeli, talep eğrisinin elde edilmesi ve özel otomobilleri ile yolculuk yapan bireylerin ortalama zaman değerinin belirlenmesinde kullanılan bir tür tercihi modeli de içermektedir.

Optimum fiyat hesabının akış şeması Şekil 6.2’de verilmiştir. Ortalama maliyet bağıntısı, yolculuk süresi maliyeti, yakıt tüketimi maliyeti ve emisyon maliyetlerinin ayrı ayrı hesaplanması suretiyle belirlenmiştir. Marjinal maliyet bağıntısı ise, ortalama maliyet bağıntısına bağlı olarak (4.15)’in kullanılması suretiyle elde

edilmiştir. Gerek ortalama maliyet hesaplamalarında ve gerekse optimum fiyatın elde edilmesinde rol oynayan ulaşım talebi bağıntısının da üretilmesi ile, ilgili eğrilerin çizilmesi ve optimum fiyatın hesaplanması mümkün olmuştur.



Şekil 6.2 : Optimum fiyat hesabının akış şeması.

6.2.1. Hesaplama modelinin kabulleri

Hesaplama modelinde başlıca iki önemli kabul bulunmaktadır. Bunlardan birincisi, bu çalışmada kullanılan trafiğin zamandan bağımsız olarak modellenmesi yaklaşımının bir uzantısı olarak ortaya çıkmaktadır. Buna göre, bireylerin mevcut tercihleri ile oluşan ve herhangi bir fiyatlandırma uygulamasının bulunmadığı durumda sistemin kullanıcı optimumunda olduğu kabul edilmiştir. Hesaplama modelinin ikinci kabulü ise ulaşım ağını oluşturan güzergâhlara ait kapasite (C) bilgilerinin mevcut olmaması sebebiyle, ulaşım ağını kullanımın akım (Q) yerine hacim/kapasite (Q/C) oranı ile ifade edilmesidir.

Yukarıda verilen iki kabule ve kullanılan modelleme yönteminin esaslarına bağlı olarak uygulanan hesaplama yönteminde, sistemin bütünü temsil eden maliyet ve Q/C oranı çiftlerinden faydalanılmıştır. Buradan hareketle örneğin kullanıcı optimumu durumunda, mevcut durumda sistemdeki kullanıcıların bütünü için tek bir ortalama maliyet ile kullanıcı miktarını temsil eden tek bir Q/C oranı belirlenmiştir.

Aynı büyüklükler, benzeri yaklaşımla, sosyal optimumu durumunun yanı sıra farklı fiyatlar için yapılan değerlendirmelerde de hesaplanmıştır.

6.2.2. Bağlantı-kapasite fonksiyonları

Ulaştırma sistemlerinin analizinde, bir bağlantı (link) üzerindeki trafik hacmi ile bağlantıdaki ortalama yolculuk süresi arasındaki ilişkiyi gösteren fonksiyonlara bağlantı-kapasite veya bağlantı-performans fonksiyonları adı verilmektedir. Bağlantı-kapasite fonksiyonları, yolculuk süresinin (ve seyir hızının) yoldaki trafik akımı ve yolun kapasitesinin bir fonksiyonu olarak hesaplanmasına olanak veren fonksiyonlardır. Ulaştırmanın genelleştirilmiş maliyeti ile ilgili hesaplamalarının köşe taşlarından biri olan yolculuk süresinin hesaplanması bu fonksiyonlar ile mümkün olmaktadır. Hız-akım fonksiyonları olarak da bilinen bu bağıntıların en çok kullanılanlarından biri 1964 yılında Amerika Birleşik Devletleri Bureau of Public Roads tarafından önerilen BPR fonksiyonudur **(6.1)** [112].

$$T = T_0 \cdot \left[1 + \alpha \cdot \left(\frac{Q}{C} \right)^\beta \right] \quad (6.1)$$

Bu bağıntıda T sn/km cinsinden seyahat süresini, T_0 yine sn/km cinsinden serbest akım koşullarındaki seyahat süresini, Q/C ifadesi hacim/kapasite oranını göstermektedir. Bağıntıda yer alan α ve β katsayıları ise model parametreleridir.

Bu çalışmada, İMP tarafından hazırlanan bağlantı-kapasite fonksiyonları raporundan [109] alınan, İstanbul kentinin yol ağında yer alan otoyollar ve ana arterler için önerilen bağlantı-kapasite fonksiyonları kullanılmıştır. Bu raporda otoyollar için önerilen bağlantı-kapasite fonksiyonları, **(6.1)**'de genel hali verilen bağıntıya ait model parametrelerinin İstanbul için tahmin edilmesi ile elde edilmiştir. Rapor, otoyollar için iki farklı bağlantı-kapasite fonksiyonu içermektedir. Grup A olarak isimlendirilen ve serbest akım hızının 80 km/sa, kapasitenin ise 2011 bo/saat/şerit olduğu fonksiyon, TEM otoyolunun Anadolu yakasında Kavacık kavşağı ile Ümraniye kavşağı arasında kalan kesimi ve Avrupa yakasında Arıcılar mevki kesimi için geçerlidir. Grup B olarak isimlendirilen ve serbest akım hızının 100 km/sa, kapasitenin 2174 bo/saat/şerit olduğu fonksiyon ise TEM otoyolunun Grup A özelliğini taşıyan kısımları dışında kalan kesimleri, D-100 karayolu ve Fatih Sultan

Mehmet köprüsü ile Boğaziçi köprüsünü de kapsayan kesimler için geçerlidir. Grup A için tanımlanmış bağlantı-kapasite fonksiyonu (6.2)'de, Grup B için tanımlanmış bağlantı-kapasite fonksiyonu ise (6.3)'de verilmiştir. Eminönü bölgesi yol ağını kullanan yolculukların güzergâhları incelendiğinde, otoyol özelliği taşıyan kesimlerin hiçbirinin Grup A tipine girmediği tespit edilmiştir. Buradan hareketle, bu çalışmada, otoyol kesimlerinde yolculuk süresinin hesaplanması için yalnızca (6.3)'ün kullanılmasının yeterli olduğu görülmektedir.

$$T = 45,90 \cdot \left[1 + 0,158 \cdot \left(\frac{Q}{C} \right)^{3,843} \right] \quad (6.2)$$

$$T = 36,32 \cdot \left[1 + 0,397 \cdot \left(\frac{Q}{C} \right)^{3,333} \right] \quad (6.3)$$

İMP raporunda ana arterler için toplamda dört adet bağlantı-kapasite fonksiyonu tanımlanmıştır. Raporda, bu fonksiyonlar için yapılan istatistik analiz neticesinde; yapı olarak BPR fonksiyonu ile benzerlik gösteren (Q/C oranına bağlı) ayrıca, yol kenarında araçların park etmesi durumu ile yine yol kenarında ticaret yoğunluğunu da dikkate alan bağıntının en uygun olduğu belirtilmiştir (6.4).

$$T = 61,146 + 83,404 \cdot (Q/C)^2 + 34,214 \cdot PA + 31,336 \cdot TC \quad (6.4)$$

Bu bağıntıda T sn/km cinsinden seyahat süresini, Q/C ifadesi ise hacim/kapasite oranını göstermektedir. PA isimli parametre yol kenarında park eden araçların bulunması durumunda 1, aksi durumda 0 değerini almaktadır. Benzeri şekilde, TC isimli parametre yol kenarı arazi kullanımı yoğun veya az yoğun ticaret olması durumunda 1, diğer arazi kullanımı durumlarında 0 değerini almaktadır. Ana arter özelliğindeki güzergâh kesimleri için PA ve TC parametrelerinin aldığı değerlere göre dört farklı durum söz konusu olmaktadır (Çizelge 6.1). Ana arter özelliğindeki güzergâh kesimleri için PA ve TC parametrelerinin aldığı değerlere göre, (6.4)'de verilen bağıntı için de dört farklı durum söz konusu olmaktadır. Bu bağıntılar, (6.5a), (6.5b), (6.5c) ve (6.5d)'de verilmiştir.

$$0-0: T_{0-0} = 61,146 + 83,404 \cdot (Q/C)^2 \quad (6.5a)$$

$$0-1: T_{0-1} = 92,482 + 83,404 \cdot (Q/C)^2 \quad (6.5b)$$

$$1-0: T_{1-0} = 95,360 + 83,404 \cdot (Q/C)^2 \quad (6.5c)$$

$$1-1: T_{1-1} = 126,696 + 83,404 \cdot (Q/C)^2 \quad (6.5d)$$

Çizelge 6.1 : Ana arter özelliğindeki yolların tipleri.

Tip [İndis (PA-TC)]	Açıklama
0-0	Yol kenarında park eden araçlar bulunmuyor .
	Yol kenarında ticaret işletmeleri bulunmuyor .
0-1	Yol kenarında park eden araçlar bulunmuyor .
	Yol kenarında ticaret işletmeleri bulunuyor .
1-0	Yol kenarında park eden araçlar bulunuyor .
	Yol kenarında ticaret işletmeleri bulunmuyor .
1-1	Yol kenarında park eden araçlar bulunuyor .
	Yol kenarında ticaret işletmeleri bulunuyor .

6.2.3. Maliyet bileşenlerinin tanıtılması

Özel otomobil kullanıcılarının, yolculukları ile ilgili tercihlerini yaparken dikkate aldıkları başlıca unsurun, yüklendikleri maliyetler (özel maliyetler) olduğu bilinen bir olgudur. Gerçekte, herhangi bir yolu kullanmayı tercih eden bir sürücü, yolu kullanmakta olan diğer sürücülere, tercih sürecinde dikkate almadığı ilave maliyetler yüklemektedir. Marjinal maliyetler olarak adlandırılan bu maliyetler, yola yeni katılan bir aracın etkisiyle yolculuk süresinin artması sonucunda ortaya çıkan ilave zaman, yakıt tüketimi, zararlı madde emisyonu, amortisman maliyetleri gibi bileşenlerden oluşmaktadır. Fiyatlandırma uygulaması, önemli maddi kayıplara sebep olan marjinal dışsal maliyetlerin içselleştirilmesi ve bireylerin yarattıkları dışsal maliyetleri maddi olarak karşılamasının sağlanması amacıyla gerçekleştirilen bir uygulamadır. Bu çalışmada yolculuk maliyetinin, yolculuk süresi maliyeti, emisyon maliyeti ve yakıt tüketimi maliyetinden oluşan üç bileşeni için hesaplama yapılmıştır.

Bireylerin ortalama yolculuk maliyetinin hesaplanmasında kullanılan bağıntının genel hali (6.6)'da verilmiştir. Bu bağıntıda OM_s yolculuk süresi maliyetini, OM_y yakıt tüketimi maliyetini ve OM_e ise zararlı madde emisyonlarının maliyetini ifade etmektedir.

$$OM = OM_s + OM_y + OM_e \quad (6.6)$$

OM_s , sürücülerin yolculuklarını gerçekleştirmek için harcadıkları sürenin, zaman değeri ile çarpılması (6.7), OM_y , kilometre başına tüketilen benzin miktarı ile benzin fiyatının çarpılması (6.8) ve OM_e ise kilometre başına tüketilen benzin miktarı ile tüketilen benzinin litresi başına birim emisyon fiyatının çarpılması suretiyle hesaplanmıştır (6.9).

$$OM_s = T \cdot \alpha \quad (6.7)$$

$$OM_y = f \cdot P_y \quad (6.8)$$

$$OM_e = f \cdot P_e \quad (6.9)$$

(6.7), (6.8) ve (6.9)'da T yolculuk süresini (saat/km), α zaman değerini (TL/saat), f yakıt tüketimi oranını (litre/km), P_y yakıt fiyatını (TL/litre) ve P_e birim emisyon fiyatını (TL/litre yakıt) ifade etmektedir. α tür tercihi modelinin kalibre edilmesi sonucunda belirlenmiştir. P_y , 3 TL/litre olarak alınmış; f ve P_e büyüklüklerinin elde edilmesi ile ilgili bilgiler ise sırasıyla 6.2.3.1 ve 6.2.3.2'de sunulmuştur.

Özellikleri ve bağıntıları verilen maliyet bileşenleri incelendiğinde hesaplamaların araç başına yapıldığı görülmektedir. Öte yandan, zaman değeri gibi bireylere ait özelliklerin kullanılmasının yanında fiyatlandırma uygulamasının birey maliyetlerinden hareketle hesaplanıyor olması sebebiyle, araç başına hesaplanan maliyetler ile ilişkili tüm büyüklüklerin, İstanbul için hesaplanmış olan 1,57 yolcu/oto otomobil doluluk oranı değerine bölünmesi uygun görülmüştür [113].

6.2.3.1. Yakıt tüketimi oranı

6.2.3'de tanıtilan ve yakıt tüketimi maliyetinin hesaplanmasında kullanılan f , araçların kat ettikleri kilometre başına litre cinsinden yakıt tüketimi miktarlarının belirlenebilmesi amacıyla kullanılmaktadır. Bu büyüklük (6.10)'da verilen bağıntı ile hesaplanmıştır [114].

$$f = \left(26,67 + \frac{1433,8}{V} + 0,000508 \cdot V^2 \right) \cdot \frac{(1 + Q/C)}{1000} \quad (6.10)$$

Bu bağıntıda V seyir hızını, Q/C ise hacim/kapasite oranını göstermektedir. Seyir hızı V aynı zamanda yolculuk süresinin tersi $1/T$ olan bir büyüklüktür ve hesaplamalar V yerine $1/T$ alınarak yapılmıştır.

6.2.3.2. Zararlı madde emisyonlarının maliyetlerinin hesaplanması

İçten yanmalı motorlar, motorlu araçları harekete geçirecek gücü elde edebilmek için enerji üretmekte ve bu işlem sırasında ortaya çıkan atık gazlar çevre kirliliğine sebep olmaktadır [115]. Motorlu taşıtların emisyonları sonucunda havaya salınan başlıca zararlı gazları azotoksitler (NO_x), sülfürdioksit (SO_2), uçucu organik bileşenler (VOC), karbonmonoksit (CO), kurşun (Pb) ve çapı 10 μm değerinden küçük olan parçacık maddeler (PM_{10}) olarak sıralamak mümkündür [116,117]. Uçucu organik bileşenlerin temel maddesi, petrolün yakılamayan bir bileşeni olarak havaya salınan hidrokarbonlardır (HC). Ayrıca, özellikle dizel yakıt ile çalışan motorlu araçlar bir miktar parçacık maddenin yanı sıra, başta kükürtdioksit olmak üzere kükürtoksitler (SO_x) de salarlar. Kükürtoksitler son derece zararlı maddelerdir ve parçacık madde oluşumu ile asit yağmurlarında önemli rol oynarlar. Azotoksitler de benzeri bir özellik arz etmektedir ve kirli hava kütlelerinin kahverengi renkte olmasının sebebi bu maddelerin varlığından ileri gelmektedir. Motorlu taşıtların emisyonları açısından dikkate alınması gereken bir başka nokta, havaya salınan başta karbondioksit (CO_2) olmak üzere sera gazlarıdır. Atmosferde doğal olarak bulunan ve temel işlevi yeryüzünün güneşten aldığı enerjinin hemen yansımaya engel olarak, dünyamızın sıcaklığının yaşanabilir düzeyde olmasını sağlamak olan sera gazlarının atmosferdeki miktarının, insan faaliyetleri nedeniyle artması sebebiyle dünya ısısı artış göstermekte ve küresel ısınma ortaya çıkmaktadır. Sera gazlarının küresel ısınmayı tetikleyici etkisi asla göz ardı edilmemesi gereken bir konudur [118].

Hava kirliliği yaratan kirleticiler değerlendirilirken, emisyon ile beraber havaya karışan ve doğrudan etki yapan kirleticiler birincil, emisyon ile havaya karışmamasına rağmen havaya karışan kirleticilerin kimyasal reaksiyona girmesi neticesinde ortaya çıkan kirleticiler ise ikincil kirletici olarak adlandırılmaktadır. Örneğin, motordaki çeşitli yanma işlemleri sonucunda ortaya çıkan kükürtdioksit bu özelliği ile birincil kirletici iken azotoksitler ve uçucu organik bileşenlerin reaksiyonu sonucunda ortaya çıkan ozon (O_3) ikincil kirletici olarak değerlendirilmektedir [119].

Eminönü bölgesi yol ağının kullanıldığı yolculuklarda mevcut veriler de göz önüne alınarak karbonmonoksit, azotoksitler, uçucu organik bileşenler ve karbondioksit kirleticileri için hesaplama yapılmıştır. Seçilen kirleticiler için birim emisyon fiyatlarının hesabında Victoria Transport Policy Institute (VTPI) tarafından üretilen değerler kullanılmıştır (Çizelge 6.2) [120].

Çizelge 6.2 : 2002 ABD Doları cinsinden birim emisyon maliyetleri [120].

Kirletici	Maliyet (\$/ton)	Maliyet (\$/gram)
CO	435	0,000435
NO _x	15.419	0,015419
VOC	14.419	0,014419
CO ₂	18,13	0,00001813

2002 yılı için ABD Doları (\$) cinsinden verilen maliyet değerlerinin ülkemiz için uygun olan değerlere dönüştürülmesi amacıyla, Amerika Birleşik Devletleri ile Türkiye'nin Satın Alma Gücü Paritesi (SGP) değerine bağlı olarak hesaplanan, kişi başına düşen Gayri Safi Yurt İçi Hasıla (GSYİH) değerleri kullanılmıştır. Bu hesaplamada kullanılan değerler, IMF tarafından yayınlanan ilgili veri tabanından alınmıştır [121]. Mevcut maliyet değerlerinin 2002 yılına ait olmasından hareketle bahsi geçen veri tabanından aynı yıla ait verilerin alınmasına dikkat edilmiştir. Buna göre, 2002 yılında kişi başına düşen SGP-GSYİH değeri, Amerika Birleşik Devletleri için 35.651 \$, Türkiye için 6.677 \$ olarak tespit edilmiştir. Türkiye için hesaplanan değer Amerika Birleşik Devletleri için hesaplanan değere bölünmesi ile dönüştürme işleminde kullanılacak katsayı $6.677 / 35.651 = 0,187$ olarak hesaplanmıştır. Bu katsayı kullanılarak, ülkemiz için hesaplanan ve 2002 yılı ABD Doları cinsinden ifade edilen birim emisyon maliyetleri Çizelge 6.3'de gösterilmiştir.

Çizelge 6.3 : Birim emisyon maliyetlerinin Türkiye'ye uyarlanmış değerleri (2002).

Kirletici	Maliyet (\$/gram)
CO	0,000081345
NO _x	0,0028834
VOC	0,0026964
CO ₂	0,00000339

Seçilen kirleticilerin birim maliyetleri, 2002 yılı için ortalama döviz kuru olan 1,51 ile çarpılarak 2002 yılı TL'ye dönüştürülmüş; daha sonra da Türkiye Cumhuriyet Merkez Bankası (TCMB) internet sitesindeki "Enflasyon Hesaplayıcısı" [122]

kullanılarak 2006 yılı TL birimine dönüştürülmüştür. Bu hesaplamalar sonucunda bulunan 2006 TL cinsinden birim emisyon maliyetleri Çizelge 6.4’de verilmiştir.

Çizelge 6.4 : 2006 TL cinsinden birim emisyon maliyetleri.

Kirletici	Maliyet-Türkiye (TL/gram)
CO	0,000179
NO _x	0,006352
VOC	0,005940
CO ₂	0,000007

Motorlu araçların emisyon miktarları benzinli araçlarda emisyon teknolojisine ayrıca, aracın dizel veya LPG türü yakıt kullanıyor olmasına göre değişiklik göstermektedir. Ülkemizdeki benzinli araçlarda mevcut olan başlıca emisyon teknolojilerini, Avrupa Birliği standartlarına bağlı olarak Euro 3, Euro 1, ECE 15.04 numaralı standartlar ve daha eski araçlar (Eski) olarak sıralamak mümkündür. Ülkemiz karayollarında benzinli binek otomobillerinde bu teknolojilerin dağılımı ise %20 Euro 3, %19 Euro 1, %33 ECE 15.04, %28 Eski şeklindedir [123].

Emisyon faktörleri olarak adlandırılan, tüketilen bir kilogram yakıt başına salınan gram cinsinden emisyon miktarları için Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) tarafından yayınlanan veriler kullanılmıştır (Çizelge 6.5) [124].

Çizelge 6.5 : Gram/kilogram yakıt cinsinden emisyon faktörleri [124].

	Teknoloji	CO ₂	NO _x	VOC	CO
BENZİN	Euro 3	3.180	27	63,8	550
	Euro 1	3.180	37	73,1	300
	15.04	3.180	8,2	7,4	45,9
	UC	3.180	8,2	7,4	45,9
DİZEL		3.140	11	3,08	12
LPG		3.030	37	25,1	120

Yakıtın tüketilen kilogramı başına verilen Çizelge 6.5’deki verileri, yakıtın litresi başına tüketim cinsine dönüştürebilmek için benzin, dizel ve LPG’nin sırasıyla 0,74 kg/lt; 0,85 kg/lt ve 0,56 kg/lt olan yoğunluk değerleri kullanılmıştır. Bu değerlerin kullanılması suretiyle, emisyon faktörleri, tüketilen bir litre yakıt başına gram emisyon olarak hesaplanmıştır (Çizelge 6.6). Çizelge 6.6’da verilen değerler 1 litre benzin ve emisyon teknolojisine göre alt tipler ile 1 litre motorin ve 1 litre LPG tüketilmesi durumunda, dikkate alınan kirleticilerin gram cinsinden salınma miktarını vermektedir.

Çizelge 6.6 : Gram/litre yakıt cinsinden emisyon faktörleri.

	Teknoloji	CO₂	NO_x	VOC	CO
BENZİN	Euro 3	2.353,20	19,98	47,21	407,00
	Euro 1	2.353,20	27,38	54,09	222,00
	15.04	2.353,20	6,07	5,48	33,97
	UC	2.353,20	6,07	5,48	33,97
DİZEL		2.669,00	9,35	2,62	10,20
LPG		1.696,80	20,72	14,06	67,20

Çizelge 6.7’de, Çizelge 6.6’da verilen değerlerin Çizelge 6.4’de verilen emisyon maliyetleri ile çarpılması suretiyle hesaplanan, her bir kirletici için yakıt türü ve emisyon teknolojisine bağlı olarak, tüketilen 1 litre yakıt başına TL cinsinden emisyon maliyetleri verilmiştir. Çizelge 6.7’nin son kolonunda ilgili emisyon teknolojisi veya yakıt türüne göre, dikkate alınan tüm kirleticilerin salınması sonucunda ortaya çıkan toplam kilometre başın emisyon maliyeti yer almaktadır.

Çizelge 6.7 : TL/litre yakıt cinsinden emisyon maliyetleri.

	Teknoloji	CO₂	NO_x	VOC	CO	Toplam
BENZİN	Euro 3	0,016	0,127	0,280	0,073	0,497
	Euro 1	0,016	0,174	0,321	0,040	0,551
	15.04	0,016	0,039	0,033	0,006	0,094
	UC	0,016	0,039	0,033	0,006	0,094
DİZEL		0,019	0,059	0,016	0,002	0,095
LPG		0,012	0,132	0,083	0,012	0,239

İncelenen herhangi bir güzergâh kesiminde, yapılan yolculuk sayısı ne olursa olsun, her yakıt türünü kullanan belirli sayıda araç trafikte seyredecektir. TL/litre yakıt cinsinden verilen ve hesaplamalarda TL/km cinsinden analiz edilen yakıt tüketim miktarı ile ilişkilendirilen emisyon maliyetleri, araçların emisyon teknolojisine göre dağılımından bağımsız olarak kat edilen kilometre başına ortaya çıkan maliyetlerdir. Diğer bir deyişle, kilometre başına değerlendirme yapıldığında Çizelge 6.7’deki maliyet tutarlarının tamamı, her zaman hesaba girecektir. Buradan hareketle, hangi ilçe ile hangi ilçe arasındaki yolculuklar değerlendirilse değerlendirilsin; üzerinde seyredilen her bir güzergâh kesiminde Çizelge 6.7’nin son kolonunda, her bir kirletici için hesaplanmış olan toplam değerlerin toplamı olan $0,497 + 0,551 + 0,094 + 0,094 + 0,095 + 0,239 = 1,57$ TL/litre yakıt tutarındaki maliyet her zaman sabit kalacaktır. Emisyon maliyeti ile ilgili hesaplamalarda, (6.8)’de yer alan P_y büyüklüğü bu değere eşit olarak alınmıştır.

6.2.4. Yolculuk ve güzergâh özelliklerinin belirlenmesi

6.2.4.1. İlçe kod numaraları

Bu çalışmanın tamamında kullanılan sunum düzeninde ilçeler, İMP tarafından belirlenen kod numaralarına bağlı olarak ifade edilmiştir. İstanbul kentinin, çalışmanın yapıldığı tarihte geçerli olan idari yapısına göre ilçeleri ve Gebze için İMP tarafından belirlenen kod numaraları, bulundukları yakaya göre Çizelge 6.8’de verilmiştir [109].

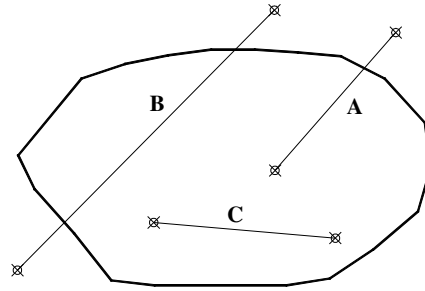
Çizelge 6.8 : Bulundukları yakaya göre ilçelerin kod numaraları.

ANADOLU YAKASI		AVRUPA YAKASI	
İLÇE	KOD NUMARASI	İLÇE	KOD NUMARASI
Adalar	1	Avcılar	12
Beykoz	2	Bağcılar	13
Kadıköy	3	Bahçelievler	14
Kartal	4	Bakırköy	15
Maltepe	5	Bayrampaşa	16
Pendik	6	Beşiktaş	17
Sultanbeyli	7	Beyoğlu	18
Şile	8	Büyüçekmece	19
Tuzla	9	Çatalca	20
Ümraniye	10	Eminönü	21
Üsküdar	11	Esenler	22
Gebze	33	Eyüp	23
		Fatih	24
		Gaziosmanpaşa	25
		Güngören	26
		Kağıthane	27
		Küçükçekmece	28
		Sarıyer	29
		Silivri	30
		Şişli	31
		Zeytinburnu	32

6.2.4.2. Yolculuk türleri

Eminönü bölgesi için planlanan fiyatlandırma uygulamasında, toplamda üç tür yolculuk değerlendirilmiştir. Bu türler, başlangıç veya son noktası Eminönü bölgesi olan yolculuklar (A), başlangıç veya son noktası Eminönü olmamasına rağmen güzergâhı Eminönü bölgesinden geçen transit yolculuklar (B) ile başlangıç ve son noktası Eminönü bölgesi içinde kalan yolculuklar (C) şeklinde gruplanmıştır (Şekil 6.3). Şekil 6.3’de yer alan yolculuk türlerinden A ve B her durumda fiyatlandırmaya tabi olması öngörülen yolculuk türleridir. C türü yolculukların ise Londra veya Stockholm uygulamalarında olduğu gibi fiyatlandırmadan muaf tutulması

mümkündür. Bu çalışmada, C türündeki yolculuklar da dâhil olmak üzere tüm yolculukların fiyatlandırılması durumu incelenmiştir.



Şekil 6.3 : Eminönü bölgesine ulaşım yolculuk türleri.

6.2.4.3. Yolculuk güzergâhları

Eminönü bölgesine, diğer ilçelerden ulaşım güzergâhları ile bu güzergâhların uzunluklarının belirlenmesi ve analiz edilebilmesi için Google Earth® ve İBB tarafından internet ortamında sunulan İstanbul Şehir Rehberi'nden [110] faydalanılmıştır. Şekil 6.4'de Google Earth programından [125] alınan, ilçe merkezleri ve Eminönü'ne ulaşım güzergâhları gösterilmiştir.



Şekil 6.4 : İlçe merkezleri ve Eminönü'ne ulaşım güzergâhları [125].

Şekil 6.4 elde edilirken öncelikle, değerlendirilen tüm ilçeler için yerleşimin veya ticari faaliyetlerin yoğunlaşması gibi özelliklere bağlı olarak merkez noktalar

belirlenmiştir. Bu işlemin ardından, her ilçe merkezi ile Eminönü merkezi arasında yapılan yolculuklar için ağırlıklı olarak tercih edilecek güzergâhlar, yukarıda bahsedilen programlardan faydalanılarak araştırılmıştır. Bu araştırma, yalnızca en kısa güzergâh açısından değil, İstanbul kentinde yolculuk yapan bireylerin eğilimleri ve kent yol ağının sorunlu kesimleri açısından da gerçekleştirilmiştir. Her ilçe ile Eminönü arasındaki yolculuklar için belirlenen güzergâhların, bir hepsi-ya da-hiç ataması kabulü paralelinde, ilgili ilçeler ile Eminönü arasında yapılan yolculukların tamamında tek seçenek olarak kullanıldığı, bunun yanı sıra Eminönü bölgesi yol ağının transit olarak kullanıldığı B tipi yolculukların da belirlenen bu güzergâhlar kullanılarak gerçekleştirildiği kabul edilmiştir. Şekil 6.5 ve 6.6’da bu güzergâh araştırmasına örnek olarak Beyoğlu ile Eminönü arasında yapılan yolculuklar için yapılan çalışmaya ait şekiller sunulmuştur.



Şekil 6.5 : Beyoğlu ve Eminönü’nün, analiz için seçilen merkezleri [125].



Şekil 6.6 : Beyoğlu ile Eminönü arası için seçilen ulaşım güzergâhı [125].

Şekil 6.5’de Eminönü ve Beyoğlu için belirlenen merkez noktalar yer almaktadır. Bu çalışmada, Beyoğlu ilçesi için Taksim Atatürk Anıtı’nın önü, Eminönü bölgesi için ise Yeni Cami’nin önünde yer alan meydan merkez kabul edilmiştir. Şekil 6.6’da ise Beyoğlu ile Eminönü arasındaki yolculuklar için belirlenen güzergâh yer almaktadır. Bu güzergâh, Tarlabası Bulvarı’nı kullanarak, Refik Saydam Caddesi, Atatürk Köprüsü ve Ragıp Gümüşpala Caddesi’nin kullanılması suretiyle Eminönü-Beyoğlu ulaşımını sağlamaktadır. Şekillerde örneği verilen yöntemin, değerlendirilen tüm ilçeler için uygulanması suretiyle bu çalışmada kullanılan ulaşım ağı elde edilmiş olmaktadır.

İlçeler arasındaki ulaşım güzergâhlarının Şekil 6.5 ve 6.6’da verilen şekilde belirlenmesinin ardından, belirlenen güzergâhlar, güzergâh kesim tipleri açısından değerlendirmeye tabi tutulmuştur. Bu değerlendirmede, ilgili güzergâhlar otoyol ve dört farklı ana arter tipinden oluşan toplam beş farklı kesim açısından incelenmiştir. Ana arter özelliğindeki kesimler, yolculuk süresi hesabında kullanılan ve (6.4)’de genel hali verilen bağıntıda yer alan ve *PA* ve *TC* parametrelerinin, Çizelge 6.1’de açıklanan farklı durumlarına göre parçalara ayrılmıştır. Bu aşamada ana arterlerin *Q/C* oranları da dikkate alınmış; iki farklı ana arter kesiminin, *PA* ve *TC* parametrelerinin aldığı değerlere göre aynı özellikte olmasına rağmen *Q/C* oranındaki farklılık sebebiyle farklı özellikte olması durumu da hesaplara yansıtılmıştır. *Q/C* oranları, İMP bağlantı-kapasite fonksiyonları raporunda [109] verilen ve İstanbul’un ana arter ve otoyollarında çeşitli noktalarda yapılan sayımların verileri kullanılarak belirlenen, belli başlı yol kesimleri için yapılan tahminlerine bağlı olarak belirlenmiştir. İlgili raporda, belli başlı güzergâhlarda, sabah, öğle ve akşam doruk saatler için yapılan *Q/C* oranı tahminlerinden en büyük olanları, analize esas olacak değer kabul edilmiştir. İncelenen bir güzergâh kesimine ait *Q/C* oranı tahmini bulunmaması halinde ise, yine aynı raporda sabah, öğle ve akşam doruk saatler için verilmiş olan ortalama *Q/C* oranı değerlerinin en büyüğü olan 0,65 değeri kullanılmıştır. A, B ve C türündeki yolculukların ayrıntılı güzergâh uzunlukları ve güzergâh kesimlerine göre *Q/C* oranları Çizelge 6.9’da verilmiştir. Bu çizelge ve bundan sonraki çizelgelerde B türü yolculukların sunumu, yolculuğun gidiş ve dönüş yönündeki ayakları belirtilerek yapılmıştır. Örneğin; Avcılar-Beşiktaş ve Beşiktaş-Avcılar yolculukları 12 ↔ 17 olarak ifade edilmiştir. Çizelge incelendiğinde Anadolu yakasında kalan ilçelerden Eminönü bölgesine ulaşım güzergâhlarında

genellikle iki farklı ana arter grubu belirlendiği görülmektedir. Avrupa yakasında olmasına rağmen, örneğin Bahçelievler (14) veya Avcılar (12) gibi ilçelerde de benzeri şekilde iki farklı ana arter grubu tespit edilmiştir. Diğer taraftan, Üsküdar (11), Bağcılar (13), Esenler (22) ve Küçükçekmece (28) ilçelerinin güzergâhları ile bazı transit güzergâhların ana arter kesimlerinin tamamının 0-1 özelliğine sahip olmasına rağmen iki parçada verildiği gözden kaçırılmamalıdır. Bunun sebebi, Q/C oranındaki farklılıklardır.

Çizelge 6.9 : A, B, C türü yolculukların ayrıntılı güzergâh uzunlukları (km) ve hacim/kapasite oranları.

Tür	İlçe	Güzergâh Uzunluğu (km)							Q/C				
		Ana Arter					Otoyol	Genel Toplam	Ana Arter				Otoyol
		0-0	0-1	1-0	1-1	Toplam			0-0	0-1	1-0	1-1	
A	2	3,71	11,42	0,00	0,00	15,13	4,89	20,02	0,65	1,00	-	-	1,00
	3	0,00	6,77	0,00	5,03	11,80	9,79	21,59	-	1,00	-	0,65	1,00
	4	2,89	6,77	0,00	0,00	9,66	24,72	34,38	1,09	1,00	-	-	1,00
	5	0,00	6,77	1,79	0,00	8,56	17,68	26,24	-	1,00	0,65	-	1,00
	6	0,00	6,77	0,00	0,00	6,77	30,05	36,82	-	1,00	-	-	1,00
	7	8,25	6,77	0,00	0,00	15,02	19,36	34,38	0,65	1,00	-	-	1,00
	9	4,96	6,77	0,00	0,00	11,73	34,40	46,13	0,65	1,00	-	-	1,00
	10	0,00	6,77	5,41	0,00	12,18	4,34	16,52	-	1,00	0,65	-	1,00
	11	0,00	3,25 6,77	0,00	0,00	10,02	2,85	12,87	-	0,65 1,00	-	-	1,00
	12	0,00	6,09	0,00	0,83	6,92	19,74	26,66	-	0,92	-	0,65	1,00
	13	0,00	3,56 6,09	0,00	0,00	9,65	8,19	17,84	-	0,65 0,92	-	-	1,00
	14	0,00	6,09	0,00	2,24	8,33	8,13	16,46	-	0,92	-	0,65	1,00
	15	12,98	0,00	0,00	1,08	14,06	0,00	14,06	0,80	-	-	0,65	-
	16	4,99	0,00	0,00	3,72	8,71	0,00	8,71	1,00	-	-	0,65	-
	17	0,00	4,24	0,00	0,00	4,24	0,00	4,24	-	1,00	-	-	-
	18	0,00	3,94	0,00	0,00	3,94	0,00	3,94	-	1,00	-	-	-
	19	0,00	6,09	0,00	0,7	6,79	33,03	39,82	-	0,92	-	0,65	1,00
	20	8,87	6,09	0,00	0,00	14,96	40,39	55,35	0,65	0,92	-	-	1,00
	22	0,00	1,52 6,09	0,00	0,00	7,61	5,17	12,78	-	0,65 0,92	-	-	1,00
	23	4,99	0,00	0,00	0,00	4,99	0,00	4,99	1,00	-	-	-	-
	24	0,00	3,96	0,00	0,00	3,96	0,00	3,96	-	0,92	-	-	-
	25	27,11	0,00	0,00	3,72	30,83	0,00	30,83	0,65	-	-	1,00	-
	26	0,00	6,09	0,00	1,72	7,81	3,33	11,14	-	0,92	-	0,65	1,00
	27	9,47	0,00	0,00	0,00	9,47	2,37	11,84	1,00	-	-	-	1,00
	28	0,00	4,25 6,09	0,00	0,00	10,34	12,02	22,36	-	0,65 0,92	-	-	1,00
	29	0,00	20,98	0,00	0,00	20,98	0,00	20,98	-	1,00	-	-	-
	30	9,86	6,09	0,00	0,00	15,95	52,78	68,73	0,65	0,92	-	-	1,00
	31	0,00	7,36	0,00	0,00	7,36	0,00	7,36	-	1,00	-	-	-
	32	11,29	0,00	0,00	0,00	11,29	0,00	11,29	0,80	-	-	-	-
	33	0,00	6,77	0,00	0,58	7,35	49,61	56,96	-	1,00	-	0,65	1,00
B	12 ↔ 17	0,00	6,09 4,24	0,00	0,83	11,16	19,74	30,90	-	0,92 1,00	-	0,65	1,00
	13 ↔ 17	0,00	3,56 6,09 4,24	0,00	0,00	13,89	8,19	22,08	-	0,65 0,92 1,00	-	-	1,00
	14 ↔ 17	0,00	6,09 4,24	0,00	2,24	12,57	8,13	20,70	-	0,92 1,00	-	0,65	1,00
	15 ↔ 17	12,98	4,24	0,00	1,08	18,30	0,00	18,30	0,80	1,00	-	0,65	-
	15 ↔ 18	12,98	3,94	0,00	1,08	18,00	0,00	18,00	0,80	1,00	-	0,65	-
	16 ↔ 17	4,99	4,24	0,00	3,72	12,95	0,00	12,95	1,00	1,00	-	0,65	-
	24 ↔ 17	0,00	4,24 3,96	0,00	0,00	8,20	0,00	8,20	-	1,00 0,92	-	-	-
	32 ↔ 17	11,29	4,24	0,00	0,00	15,53	0,00	15,53	0,80	1,00	-	-	-
	32 ↔ 18	11,29	3,94	0,00	0,00	15,23	0,00	15,23	0,80	1,00	-	-	-
C	21	5,32	0,00	0,00	0,00	5,32	0,00	5,32	0,80	-	-	-	-

6.2.4.4. Yolculuk süreleri

Çizelge 6.9’da verilen Q/C oranları ve 6.2.2’de tanıtılan bağlantı-kapasite fonksiyonlarının kullanılması suretiyle hesaplanan yolculuk süreleri Çizelge 6.10’da verilmiştir.

Çizelge 6.10 : A, B, C türü yolculukların yolculuk süreleri (sn/km).

Tür	İlçe	Yolculuk Süresi (sn/km)							
		Ana Arter					Otoyol	Genel Toplam	
		0-0	0-1	1-0	1-1	Toplam			
A	2	96,38	175,89	0,00	0,00	272,27	50,74	323,01	
	3	0,00	175,89	0,00	161,93	337,82	50,74	388,56	
	4	160,24	175,89	0,00	0,00	336,12	50,74	386,86	
	5	0,00	175,89	130,60	0,00	306,48	50,74	357,22	
	6	0,00	175,89	0,00	0,00	175,89	50,74	226,63	
	7	96,38	175,89	0,00	0,00	272,27	50,74	323,01	
	9	96,38	175,89	0,00	0,00	272,27	50,74	323,01	
	10	0,00	175,89	130,60	0,00	306,48	50,74	357,22	
	11	0,00	127,72 175,89	0,00	0,00	303,61	50,74	354,35	
	12	0,00	163,08	0,00	161,93	325,01	50,74	375,75	
	13	0,00	127,72 163,08	0,00	0,00	290,80	50,74	341,53	
	14	0,00	163,08	0,00	161,93	325,01	50,74	375,75	
	15	114,52	0,00	0,00	161,93	276,46	0,00	276,46	
	16	144,55	0,00	0,00	161,93	306,48	0,00	306,48	
	17	0,00	175,89	0,00	0,00	175,89	0,00	175,89	
	18	0,00	175,89	0,00	0,00	175,89	0,00	175,89	
	19	0,00	163,08	0,00	161,93	325,01	50,74	375,75	
	20	96,38	163,08	0,00	0,00	259,46	50,74	310,20	
	22	0,00	127,72 163,08	0,00	0,00	290,80	50,74	341,53	
	23	144,55	0,00	0,00	0,00	144,55	0,00	144,55	
	24	0,00	163,08	0,00	0,00	163,08	0,00	163,08	
	25	96,38	0,00	0,00	210,10	306,48	0,00	306,48	
	26	0,00	163,08	0,00	161,93	325,01	50,74	375,75	
	27	144,55	0,00	0,00	0,00	144,55	50,74	195,29	
	28	0,00	127,72 163,08	0,00	0,00	290,80	50,74	341,53	
	29	0,00	175,89	0,00	0,00	175,89	0,00	175,89	
	30	96,38	163,08	0,00	0,00	259,46	50,74	310,20	
	31	0,00	175,89	0,00	0,00	175,89	0,00	175,89	
	32	114,52	0,00	0,00	0,00	114,52	0,00	114,52	
	33	0,00	175,89	0,00	161,93	337,82	50,74	388,56	
	B	12 ↔ 17	0,00	163,08 175,89	0,00	161,93	500,90	50,74	551,63
		13 ↔ 17	0,00	127,72 163,08 175,89	0,00	0,00	466,68	50,74	517,42
		14 ↔ 17	0,00	163,08 175,89	0,00	161,93	500,90	50,74	551,63
15 ↔ 17		114,52	175,89	0,00	161,93	452,34	0,00	452,34	
15 ↔ 18		114,52	175,89	0,00	161,93	452,34	0,00	452,34	
16 ↔ 17		144,55	175,89	0,00	161,93	482,37	0,00	482,37	
24 ↔ 17		0,00	175,89 163,08	0,00	0,00	338,96	0,00	338,96	
32 ↔ 17		114,52	175,89	0,00	0,00	290,41	0,00	290,41	
32 ↔ 18	114,52	175,89	0,00	0,00	290,41	0,00	290,41		
C	21	114,52	0,00	0,00	0,00	114,52	0,00	114,52	

6.2.4.5. Eminönü bölgesi yol ağının kullanıldığı yolculukların adetleri

Eminönü bölgesi yol ağının kullanıldığı yolculuk miktarlarının belirlenmesinde İMP Hane Halkı Ulaşım Anketi verileri kullanılarak A, B ve C yolculuk türleri için ayrı ayrı hesaplama yapılmıştır. Bu yolculuk türlerinden, başlangıç ve son noktası Eminönü bölgesi yol ağı içerisinde kalan C türü yolculuklar, günde 1.265 adet olarak anket verilerinden doğrudan elde edilmiştir. Bu türdeki yolculukların sahil yolundan (Kennedy Caddesi) yapıldığı kabul edilmiştir. Eminönü bölgesi yol ağını transit geçişlerde kullanan B türü yolculukların miktarının belirlenmesi için öncelikle ilçe bazında analiz yapılarak, herhangi iki ilçe arasında yapılan yolculuklar içerisinde Eminönü bölgesine ait yol ağının kullanılmasının söz konusu olduğu yolculuklar araştırılmıştır. Bu araştırma neticesinde toplamda 18 farklı yolculuğun Eminönü bölgesine ait yol ağını transit geçişte kullandığı belirlenmiştir. Çizelge 6.11’de bu yolculukların başlangıç ve son noktaları ile günlük miktarları verilmiştir.

Çizelge 6.11 : Eminönü bölgesi yol ağının transit geçişte kullanıldığı yolculuklar.

Başlangıç	Son	Kod Numarası	Günlük Yolculuk Sayısı
Avcılar	Beşiktaş	12 → 17	1.025
Beşiktaş	Avcılar	17 → 12	1.012
Bağcılar	Beşiktaş	13 → 17	1.014
Beşiktaş	Bağcılar	17 → 13	981
Bahçelievler	Beşiktaş	14 → 17	1.627
Beşiktaş	Bahçelievler	17 → 14	1.676
Bakırköy	Beşiktaş	15 → 17	2.586
Beşiktaş	Bakırköy	17 → 15	2.711
Bakırköy	Beyoğlu	15 → 18	2.787
Beyoğlu	Bakırköy	18 → 15	2.656
Bayrampaşa	Beşiktaş	16 → 17	1.097
Beşiktaş	Bayrampaşa	17 → 16	1.000
Fatih	Beşiktaş	24 → 17	1.599
Beşiktaş	Fatih	17 → 24	1.965
Beyoğlu	Zeytinburnu	32 → 18	799
Zeytinburnu	Beyoğlu	18 → 32	946
Zeytinburnu	Beşiktaş	32 → 17	603
Beşiktaş	Zeytinburnu	17 → 32	546
Toplam			26.630

Çizelge 6.11 incelendiğinde, Eminönü bölgesi yol ağını transit olarak kullanan yolculukların Beşiktaş (17) ve Beyoğlu (18) uçlu yolculuklar olduğu görülmektedir. A türünde olan, başlangıç veya son noktası Eminönü olan yolculuklar incelendiğinde ise, anket verilerine göre Şile (8) ve Adalar (1) ilçelerinden Eminönü bölgesine özel otomobil ile yolculuk yapılmadığı belirlenmiş ve bu ilçeler değerlendirme dışı bırakılmıştır. Çizelge 6.12’de, A türünde özel otomobil yolculuklarının günlük

adetleri verilmiştir. Çizelgede ilçe başlıklı kolonda yer alan kod numaraları Eminönü'ne yapılan yolculuklar için başlangıç veya son noktası olan ilçeleri ifade etmektedir.

Çizelge 6.12 : İlçelere göre, başlangıç veya son noktası Eminönü olan yolcular.

İlçe	Günlük Yolculuk Sayısı		
	Eminönü-Son	Eminönü-Başlangıç	Toplam
2	258	258	516
3	1.348	1.549	2.897
4	51	211	262
5	566	480	1.046
6	311	418	729
7	116	76	192
9	126	126	252
10	736	787	1.523
11	1.544	2.116	3.660
12	1.115	1.028	2.143
13	1.728	1.955	3.683
14	3.026	2.918	5.944
15	3.680	3.736	7.416
16	1.823	1.624	3.447
17	1.389	1.434	2.823
18	1.019	1.137	2.156
19	2.148	2.434	4.582
20	36	78	114
22	1.481	1.518	2.999
23	1.208	1.029	2.237
24	4.399	5.063	9.462
25	4.389	4.632	9.021
26	1.873	2.035	3.908
27	877	1.143	2.020
28	3.804	2.997	6.801
29	808	849	1.657
30	0	41	41
31	1.001	1.383	2.384
32	2.242	1.941	4.183
33	212	127	339
Toplam	43.314	45.123	88.437

6.2.5. Maliyet hesaplamaları ve dağılım katsayıları

Bu çalışma kapsamında yapılan maliyet hesaplamalarında, farklı özellikteki güzergâh kesimlerinde yapılan yolculukların birleştirilmesi işlemine ihtiyaç duyulmuştur. Bu işlemin gerçekleştirilebilmesi için, dağılım katsayıları olarak adlandırılabilen iki farklı katsayı grubu kullanılmıştır. Birinci katsayı grubu yolculukların A, B ve C türüne göre dağılımını veren gruptur. Bu grubu oluşturan katsayıların hesabında, analiz edilen tüm yolculuklar içerisinde A, B ve C türünde olan yolculukların ayrı ayrı yüzde cinsinden oranları kullanılmıştır. İkinci katsayı grubu ise güzergâh kesimi tiplerine göre dağılımı veren katsayı grubudur. Bu katsayı grubunda da, diğer gruba

benzer olarak, değerlendirmeye alınan tüm yolculuklar içerisinde; ana arterler için 0-0, 0-1, 1-0 ve 1-1 ile otoyoldan oluşan toplam beş farklı güzergâh kesiminin her biri kullanılarak yapılan yolculukların yüzde cinsinden oranları kullanılmıştır. Çizelge 6.13’de verilen birinci katsayı grubu doğrudan doğruya **6.2.4.5**’de verilen günlük yolculuk adetlerinin türlere göre dağılımlarına eşittir. Çizelge 6.14’de verilen ikinci katsayı grubu ise, ilgili güzergâh kesimi tipinden geçen tüm yolculukların toplanması suretiyle hesaplanmıştır. Bu hesaplama sonucunda, herhangi iki nokta arasındaki toplam yolculukların, ilgili güzergâhın parçalara bölünmüş olması durumunda her parçadan geçecek olması durumundan hareketle Çizelge 6.13’de verilen toplam yolculuk adedinden daha büyük bir toplam yolculuk değeri elde edilmesi söz konusu olmaktadır. Bu durumu bir örnek ile açıklamak gerekirse, Beykoz (2) ile Eminönü arasında günlük olarak gerçekleştirilen toplam 562 adet yolculuk, ilgili güzergâhın kesimlerini oluşturan 0-0, 0-1 ve otoyol türlerinin her birine ait yolculuk toplamına eklenmektedir. Böylece, Çizelge 6.13 elde edilirken bir kere hesaba katılan bu yolculuk adedi, Çizelge 6.14 elde edilirken üç kere hesaba girmektedir. Bu yaklaşım, yolculuk türüne göre dağılım ile güzergâh kesimi tipine göre dağılım arasında toplam günlük yolculuk sayısı açısından ortaya çıkan farkın sebebidir.

Çizelge 6.13 : Yolculuk türlerine göre dağılım katsayıları (δ).

Yolculuk Türü	Adet	Katsayı
A	88.437	0,760
B	26.630	0,229
C	1.265	0,011
Toplam	116.332	1,000

Çizelge 6.14 : Güzergâh kesimi tiplerine göre dağılım katsayıları (λ).

	Güzergâh Kesimi Tipi					
	Ana Arter				Otoyol	Toplam
	0-0	0-1	1-0	1-1		
Adet	46.697	116.780	2.569	57.874	50.986	274.906
Katsayı	0,170	0,425	0,009	0,211	0,185	1,000

Klasik ekonomik analizde mal veya hizmetlerin arz-talep dengesi ve optimum halleri gibi özelliklerinin araştırılması için maliyet eğrileri kullanılmaktadır. Bu eğrilerin elde edilmesi ve ekonomik analizi, bu çalışmanın dördüncü bölümünde ayrıntılı olarak açıklanmıştır. Ulaştırma ekonomisi analizlerinde genellikle akım-fiyat eksenlerinde çizilen ortalama ve marjinal maliyet eğrileri, bu çalışmada trafik akımı yerine benzeri bir büyüklük olan Q/C oranı ile fiyat eksenlerinde çizilmiştir.

Eminönü bölgesi tıkanıklık fiyatlandırması modeline ait maliyet eğrilerinin elde edilmesi için, her yolculuk türünün ve her güzergâh kesimi tipinin, Çizelge 6.13 ve 6.14’de verilen dağılım katsayıları kullanılarak katkısının belirlendiği bağıntılar kullanılmıştır. Bağıntıların belirlenmesi işlemi için iki aşamalı bir toplama yönteminden söz etmek mümkündür. Buna göre maliyetler, birinci aşamada (6.11)’de verildiği şekliyle yolculuk türlerine göre δ katsayıları kullanılarak birleştirilmekte, ikinci aşamada ise (6.12)’de gösterildiği şekilde güzergâh kesimi tiplerine ait λ katsayılarından faydalanılmaktadır.

$$OM_j = \sum_i \delta_i \cdot (OM_j^i) \quad (6.11)$$

$$OM = \sum_j \lambda_j \cdot OM_j \quad (6.12)$$

Bu bağıntılarda i , A, B ve C yolculuk türlerini, j ise ana arterler için 0-0, 0-1, 1-0 ve 1-1 ile otoyol güzergâh kesimlerini ifade etmektedir. Daha önce de ifade edildiği üzere, bağıntılarda tek değişken Q/C oranıdır. Marjinal maliyet bağıntısı ise, (6.11) ve (6.12) kullanılarak elde edilen ortalama maliyet bağıntısına bağlı olarak (4.15)’de verilen bağıntı ile elde edilebilmektedir.

Çizelge 6.13 ve 6.14’de verilen dağılım katsayıları, fiyatlandırma modeline ait ortalama maliyet denkleminin elde edilmesinin yanı sıra, tüm yolculukları temsil eden tek ortalama maliyet değerlerinin hesaplanması için de kullanılmaktadır. Bu hesaplamada yine (6.11) ve (6.12)’den faydalanılmakta; (6.11) ile yolculuk türü başına ortalama maliyet değerleri hesaplanırken, güzergâh kesimi başına yolculuk miktarına göre ağırlıklı ortalama alınmaktadır. (6.13a), (6.13b), (6.13c), (6.13d) ve (6.13e)’de bu işlemlerin birinci aşamasında, (6.14)’de ise sonuç maliyet değerinin hesaplanmasında faydalanılan bağıntılar verilmiştir.

$$OM_{0-0}^{AO} = \delta_A \cdot [OM_{0-0}^A]_{AO} + \delta_B \cdot [OM_{0-0}^B]_{AO} + \delta_C \cdot [OM_{0-0}^C]_{AO} \quad (6.13a)$$

$$OM_{0-1}^{AO} = \delta_A \cdot [OM_{0-1}^A]_{AO} + \delta_B \cdot [OM_{0-1}^B]_{AO} + \delta_C \cdot [OM_{0-1}^C]_{AO} \quad (6.13b)$$

$$OM_{1-0}^{AO} = \delta_A \cdot [OM_{1-0}^A]_{AO} + \delta_B \cdot [OM_{1-0}^B]_{AO} + \delta_C \cdot [OM_{1-0}^C]_{AO} \quad (6.13c)$$

$$OM_{1-1}^{AO} = \delta_A \cdot [OM_{1-1}^A]_{AO} + \delta_B \cdot [OM_{1-1}^B]_{AO} + \delta_C \cdot [OM_{1-1}^C]_{AO} \quad (6.13d)$$

$$OM_{otoyol}^{AO} = \delta_A \cdot [OM_{otoyol}^A]_{AO} + \delta_B \cdot [OM_{otoyol}^B]_{AO} + \delta_C \cdot [OM_{otoyol}^C]_{AO} \quad (6.13e)$$

$$OM = \lambda_{0-0} \cdot OM_{0-0}^{AO} + \lambda_{0-1} \cdot OM_{0-1}^{AO} + \lambda_{1-0} \cdot OM_{1-0}^{AO} + \lambda_{1-1} \cdot OM_{1-1}^{AO} + \lambda_{otoyol} \cdot OM_{otoyol}^{AO} \quad (6.14)$$

Yukarıdaki bağıntılarda AO indisi aritmetik ortalamanın kısaltması olarak kullanılmıştır. δ_A , δ_B ve δ_C terimleri Çizelge 6.13’de, λ_{0-0} , λ_{0-1} , λ_{1-0} , λ_{1-1} ve λ_{otoyol} terimleri ise Çizelge 6.14’de verilen katsayıları ifade etmektedir.

6.3. Eminönü Bölgesi Tür Tercihi Modeli

Eminönü bölgesine ait tür tercihi modeli, bölgede tıkanıklık fiyatlandırması uygulanması durumunda bireylerin tür tercihlerinde ortaya çıkacak değişiklikleri ortaya koyma özelliğine sahiptir. Bu modelin kalibre edilmesi suretiyle, modelin bahsedilen özelliğinde hareketle, özel otomobil kullanıcıları için bir talep eğrisi elde edebilmek mümkündür. Talep eğrisinin tür tercihi araştırmasına dayandırılarak belirlenmesinin başlıca sebebi, yolculuklarını özel otomobilleri ile yapıp yapmama konusunda karar verme durumunda kalan bireylerin kararlarını, yalnızca özel otomobil ile yolculuğun süresi ve maliyetine göre değil, toplu taşımanın süresi ve maliyetine de bakarak vermeleridir. Eminönü tür tercihi modelinin verileri ve bireylerin tercihlerindeki olası değişimler ile ilgili bilgiler İMP Hane Halkı Anketi verilerine bağlı olarak elde edilmiştir. Tür tercihi modeli olarak ise kesikli tercih analizi (discrete choice analysis) modellerinde yaygın kullanım alanı bulan ikili lojit (binary logit) model tercih edilmiştir.

6.3.1. Kesikli tercih analizi modelleri

Kesikli tercih analizi bireylerin, birbirini dışlayan ve tüm olasılıkları kapsayan birden fazla seçenek arasından tercih yapılmaları durumunun incelenmesinde kullanılan bir yaklaşımdır [126]. Bu yaklaşım ulaştırma disiplinde genellikle, tür ve güzergâh tercihi modellerinde karşımıza çıkmaktadır. Kesikli tercih analizinin temelinde, bireylerin tercihlerini fayda doruklaştırması prensibine göre gerçekleştirileceğinin kabul edilmesi yatmaktadır. Bu prensip, birden çok seçenek ile karşı karşıya olan bir bireyin, bu seçenekler arasından faydasını doruklaştıran (veya zararını en küçükleyen) seçeneği tercih edeceği esasına dayanmaktadır. Değerlendirme ise, mevcut seçenekler ve bireylere ait çeşitli özelliklerin birleşimi ile elde edilen, seçeneklere ait fayda fonksiyonları vasıtasıyla gerçekleştirilmektedir. Bir i

seçeneğinin faydası U_i , (6.15)'de gösterildiği gibi iki bileşenden oluşmaktadır [55,126,127].

$$U_i = V_i + \varepsilon_i \quad (6.15)$$

Bu bağıntıda V_i fayda fonksiyonunun belirli (deterministik) bileşenini, ε_i ise rastgele (stokastik) bileşenini ifade etmektedir. Fayda fonksiyonunun belirli bileşeni sabit ve değişken terimlerden oluşmaktadır (6.16) [126-128].

$$V_i = \tau + \beta \cdot x_i \quad (6.16)$$

Değişken terim, bir parametreler matrisi x ve bu parametrelere ait katsayılar matrisi β ile ifade edilmektedir. Katsayılar matrisi verinin yapısına göre, tüm seçenekler için aynı olabileceği gibi, her seçenek için seçeneğe özel olacak şekilde de tanımlanabilmektedir. Sabit terim τ ise parametreler arasında yer almayan ve tercih sürecinde etkisi olan diğer tüm faktörleri temsil eden bir terimdir. Sabit terime, referans olarak belirlenen seçenekte yer verilmemesi suretiyle, bahsi geçen faktörlerin izafi olarak tanımlanması yoluna gitmek sıkça başvurulan bir uygulamadır. Dolayısıyla bu terimi, fayda fonksiyonunda yer almayan, buna karşılık ilgili tür ile referans türün faydaları arasındaki farklılığa katkısı olan tüm faktörlerin miktarlarının bir ortalaması olarak da tanımlamak mümkündür. Aralarında konfor, güvenlik vb. unsurların yer aldığı bu faktörlerin ölçülmesi veya tahmin edilmesi ve değişken olarak ifade edilmesi güçtür. Hesaplamaların tutarlılığı açısından, hangi seçeneğin referans seçenek olarak seçildiğinin bir önemi bulunmamakta, hangisi seçilirse seçilsin tercih olasılıkları aynı hesaplanmaktadır [126-128].

Fayda fonksiyonlarının belirli bileşeninin katsayılarının belirlenmesinde kullanılan başlıca yöntem en büyük olabilirlik (maximum likelihood) yöntemidir. Katsayıların bu yöntem ile tahmin edilmesi iki aşamadan oluşmaktadır [127-129]:

- 1) Gözlemlenen örneklem için, olabilirlik fonksiyonu adı verilen ortak olasılık yoğunluk fonksiyonunu elde edilir.
- 2) Olabilirlik fonksiyonunu doruklaştıran katsayı değerleri belirlenir.

Toplam S adet bireyden oluşan bir örnekleme ait toplam J adet seçeneğin olabilirlik fonksiyonu $L(\beta)$ (6.17)'de verilmiştir:

$$L(\beta) = \prod_{\forall s \in S} \prod_{\forall j \in J} (P_{js}(\beta))^{\delta_{js}} \quad (6.17)$$

Bu bağıntıda δ_{js} herhangi bir j seçeneğinin bir s bireyi tarafından seçilmesi durumunda 1, aksi durumda 0 alınan bir değişkendir. P_{js} ise bir s bireyinin herhangi bir j seçeneğini tercih etme olasılığıdır. Genellikle, olabilirlik fonksiyonunun kendisi yerine doğal logaritmasının kullanılması tercih edilmektedir [128,129]. Log-olabilirlik fonksiyonu $[LL(\beta)]$ olarak adlandırılan bu fonksiyona ait bağıntı (6.18)'de verilmiştir:

$$LL(\beta) = \text{Log}(L(\beta)) = \sum_{\forall s \in S} \sum_{\forall j \in J} \delta_{js} \cdot \ln(P_{js}(\beta)) \quad (6.18)$$

Fayda fonksiyonlarında yer alacak değişkenler ve bu değişkenlerin katsayıları önceden bilinmemektedir. Gerçekte, fayda fonksiyonunda yer alması söz konusu olan, aralarında yolculuk maliyeti, yolculuk süresi, otomobil sahipliği, gelir gibi büyüklüklerin yer aldığı çok sayıda değişken bulunmaktadır. Lojit model çalışmalarında öncelikle, dikkate alınacak değişkenler ve/veya fayda fonksiyonunun yapısı gibi özellikler birden fazla model için belirlenir. Daha sonra bu modeller test edilip, birbirleri ile karşılaştırılarak, mevcut veriyi en iyi şekilde temsil eden model tespit edilir. En uygun modelin tahmin ve test edilerek belirlenmesi işlemi kalibrasyon olarak adlandırılmaktadır [127].

Kesikli tercih analizinde bir C seçenekler grubu içerisinde herhangi bir i seçeneğinin tercih edilmesi olasılığı (P_i), fayda doruklaştırması yaklaşımı paralelinde (6.19) ile tariflenebilmektedir [126,130,131].

$$P_i = \Pr(V_i + \varepsilon_i \geq V_j + \varepsilon_j, i \in C, j \in C, i \neq j) \quad (6.19)$$

Bu bağıntıda yer alan rastgele terimlerin (ε_i ve ε_j) değişik istatistik dağılımlarına uyuyor kabul edilmesine bağlı olarak değişik kesikli tercih analizi modellerinin elde edilmesi mümkündür. Bu çalışmada kullanılan ikili lojit model, bahsi geçen dağılımın Weibull dağılımına uyması durumunda elde edilmektedir [126-128]. İkili lojit modelin genel hali olan ve seçeneklerin ikiden fazla olduğu durumda ortaya çıkan çok terimli lojit modelde (multinomial logit) (6.19) ile tariflenen tercih etme olasılığı (6.20) kullanılarak hesaplanabilmektedir [55,126-130].

$$P_i = \frac{e^{V_i}}{\sum_{j=1}^n e^{V_j}} \quad (6.20)$$

Çok terimli lojit modelde, herhangi iki seçeneğin tercih edilme olasılıklarının oranı diğer seçeneklerin özelliklerine bağlı olarak değişmemektedir. İlgisiz seçeneklerin bağımsızlığı (Independence of Irrelevant Alternatives, IIA) olarak adlandırılan bu özellik sayesinde, lojit model ile tahmin yapma süreci özellikle mevcut seçeneklere yeni bir seçenek ilave edilmesi durumu için kolaylaşmaktadır. Bu özelliğin en büyük dezavantajı seçeneklerin yapısına getirdiği sınırlamadır. Seçeneklerin tercih edilme olasılıklarının, diğer seçeneklerin çeşitli özelliklerine bağlı olarak değişiklik gösterdiği durumlarda çok terimli lojit modelinin kullanılması uygun olmamaktadır [126,127,129,131].

Bu çalışmada kullanılan, ikili lojit modelin (6.20)'den türetilen tercih etme olasılığı bağıntısı (6.21)'de verilmiştir [55,126-128].

$$P_1 = \frac{e^{V_1}}{e^{V_1} + e^{V_2}} = \frac{1}{1 + e^{V_2 - V_1}} = 1 - P_2 \quad (6.21)$$

6.3.2. İMP Hane Halkı Anketi verilerinin analizi

Gerek doktora tezi kapsamında Eminönü bölgesi için tasarlanan fiyatlandırma çalışmasının ve gerekse İstanbul'da gelecekte hayata geçirilmesi söz konusu olabilecek bir fiyatlandırma uygulamasının modelleme çalışmalarında kullanmak üzere İMP Hane Halkı Anketi'ne, motorlu taşıt kullanıcılarına sorulmak üzere, toplam dört soru ilave edilmiştir. Bu sorular, ankette yer aldıkları halleriyle, Şekil 6.7'de gösterilmiştir.

Şekil 6.7'de verilen sorularda, tıkanıklık fiyatlandırması ile ilgili araştırma yapabilmek amacıyla; bir fiyatlandırma uygulaması hayata geçirilmesi durumunda bireylerin özel otomobillerini kullanmaktan vazgeçecekleri fiyatı, verilen sınırlara bağlı olarak belirtmeleri istenmiştir. Bunun yanında, aynı uygulamanın toplu taşıma sisteminde yapılan çeşitli iyileştirmeler ile beraber gerçekleştirilmesi durumunda

bireylerin eğilimlerinin değişip değişmediğini gözlemlemek amacıyla da bir soru eklenmiştir.

D.3. Trafikğin çok yoğun olduğu merkez bölgelere (Eminönü, Kadıköy, Bakırköy, vb.) otomobilinizle haftada kaç kez gidiyorsunuz?

0	1 - 2	2 - 3	3 - 4	4 - 5	5 - 6	6 - 7	7 - 8	8 - 9	9 - 10	10 +
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K

D. 4. Bazı Avrupa şehirlerinde, merkez bölgelere otomobil ile girişlerde, trafikğin yoğun olduğu saatlerde ücret alınmakta ve bunun sonucunda bu bölgelerdeki trafikte rahatlatma sağlanmaktadır. Benzer ücretlendirmenin, Mevcut Toplu Taşıma Sistemiyle İstanbul için uygulanması durumunda nasıl davranırsınız?

Ücret ne olursa olsun, otomobilini kullanmaktan vazgeçerim	Alınacak ücretin miktarına bağlı olarak vazgeçerim (uygun miktarı aşağıda işaretleyiniz)				Ücret ne olursa olsun, otomobilini kullanmaktan vazgeçmem
	1 - 3	4 - 6	7 - 10	11 - 15	
A	B	C	D	E	F

D. 5. Peki, benzer ücretlendirmenin, İyileştirilmiş bir Toplu Taşıma Sistemiyle İstanbul için uygulanması durumunda nasıl davranırsınız?

Ücret ne olursa olsun, otomobilini kullanmaktan vazgeçerim	Alınacak ücretin miktarına bağlı olarak vazgeçerim (uygun miktarı aşağıda işaretleyiniz)				Ücret ne olursa olsun, otomobilini kullanmaktan vazgeçmem
	1 - 3	4 - 6	7 - 10	11 - 15	
A	B	C	D	E	F

D. 6. Otomobiliniz ile merkez bölgeye girmekten veya merkez bölgeden transit geçmekten vazgeçerseniz aşağıdakilerden hangisini yaparsınız?

Toplu taşımayı kullanmaya başlarım	A
Yolculuk güzergahımı değiştiririm	B
Otomobilimi merkeze yakın bir yere park edip, merkeze toplu taşıma ile giderim	C
Ücret alınan bölgelere zorunlu olmadıkça girmem	D

Şekil 6.7 : İMP Hane Halkı Anketi'nde fiyatlandırma ile ilgili sorular [132].

İstanbul'un hangi ilçesi söz konusu olursa olsun, bir fiyatlandırma uygulaması sonucunda elde edilen gelirlerin ne şekilde kullanılacağı, ülke şartlarından kaynaklanan gerekçelerle belirsizdir. Elde edilecek gelirlerin, uygulamanın gerçekleştirildiği ilçenin veya genel olarak tüm kentin toplu taşıma sisteminin, yol altyapısının geliştirilmesi ve iyileştirilmesi için kullanılması söz konusu olabileceği gibi başka konularda da harcanması mümkündür. Şekil 6.7'de D.5 numaralı soru iyileştirilmiş bir toplu taşıma sistemi için söz konusu olsa da, gelirlerin nasıl harcanacağını bilinememesi ve öngörülebilmesi sebebiyle bu soruya verilen cevaplar yerine, mevcut durum için sorulan D.4 numaralı soruya verilen cevaplar incelenmiştir. Tüm analizlerin, fiyatlandırma uygulamasının Eminönü bölgesi için öngörülüyor olmasından hareketle, yalnızca yolculuklarının son noktası Eminönü

olanların verdikleri cevaplardan oluşan veri için gerçekleştirilmesi uygun görülmüştür. Toplam 394 adet bireyin ilgili sorulara verdiği cevaplardan oluşan bu veri grubuna ait değerlendirilmeler Çizelge 6.15’de yer almaktadır. Çizelgede yer alan # ifadesi, kolon ve satır başlıkları ile ifade edilen cevabı veren birey sayısını, %Y₁ ilgili soruya aynı cevabı veren bireyler içerisinde satır başlığı ile ifade edilen merkeze gidiş adedinin yüzdesini, %Y₂ ise aynı sayıda merkeze giden bireyler içerisinde kolon başlığındaki cevabı verenlerin yüzdesini ifade etmektedir. Örneğin; Çizelge 6.15’de B kolon başlığı ve 2 satır başlığı altında yer alan verilere göre, yolculuğunun son noktası Eminönü olan bireyler içerisinde, haftada iki kere merkez bölgelere giden bireylerden “Ücret 1-3 YTL arası olursa özel otomobilimi kullanmaktan vazgeçerim” cevabını veren bireylerin toplam sayısı 11’dir. Bu rakam merkez bölgelere haftada iki kere giden toplam 63 bireyin %17,5 oranındaki kısmını oluşturmaktadır. Diğer taraftan, “Ücret 1-3 YTL arası olursa özel otomobilimi kullanmaktan vazgeçerim” cevabını veren toplam 73 bireyin %15,1 oranındaki kısmı haftada iki kere merkez bölgelere gitmektedir. Çizelgenin son satırında yer alan veriler ise; aynı cevabı veren bireylerin toplam sayısı ile aynı cevabı veren bireylerin toplam bireyler içerisindeki yüzdesini ifade etmektedir.

Çizelge 6.15 : D.3 ve D.4 numaralı soruya cevap veren bireylerden, yolculuklarının son noktası Eminönü olanların cevaplarının dağılımı.

Merkeze Gidiş	A			B			C			D			E			F			Toplam	
	#	%Y ₁	%Y ₂	#	%Y ₁	%Y ₂	#	%Y ₁	%Y ₂	#	%Y ₁	%Y ₂	#	%Y ₁	%Y ₂	#	%Y ₁	%Y ₂	#	%
1	42	28,6	57,5	4	5,5	5,5	3	20,0	4,1	2	20,0	2,7	0	0,0	0,0	22	15,2	30,1	73	18,5
2	30	20,4	47,6	11	15,1	17,5	0	0,0	0,0	3	30,0	4,8	0	0,0	0,0	19	13,1	30,2	63	16,0
3	14	9,5	37,8	11	15,1	29,7	0	0,0	0,0	1	10,0	2,7	1	25,0	2,7	10	6,9	27,0	37	9,4
4	3	2,0	20,0	5	6,8	33,3	1	6,7	6,7	0	0,0	0,0	0	0,0	0,0	6	4,1	40,0	15	3,8
5	10	6,8	24,4	8	11,0	19,5	5	33,3	12,2	1	10,0	2,4	2	50,0	4,9	15	10,3	36,6	41	10,4
6	16	10,9	33,3	13	17,8	27,1	1	6,7	2,1	1	10,0	2,1	0	0,0	0,0	17	11,7	35,4	48	12,2
7	17	11,6	34,7	8	11,0	16,3	0	0,0	0,0	0	0,0	0,0	0	0,0	0,0	24	16,6	49,0	49	12,4
8	0	0,0	0,0	0	0,0	0,0	1	6,7	50,0	0	0,0	0,0	0	0,0	0,0	1	0,7	50,0	2	0,5
9	0	0,0	0,0	0	0,0	0,0	0	0,0	0,0	0	0,0	0,0	0	0,0	0,0	0	0,0	0,0	0	0,0
10	15	10,2	23,1	12	16,4	18,5	4	26,7	6,2	2	20,0	3,1	1	25,0	1,5	31	21,4	47,7	65	16,5
10+	0	0,0	0,0	1	1,4	100,0	0	0,0	0,0	0	0,0	0,0	0	0,0	0,0	0	0,0	0,0	1	0,3
	147	37,3		73	18,5		15	3,8		10	2,5		4	1,0		145	36,8		394	

Çizelge 6.15 incelendiğinde tüm kullanıcılar içerisinde A, “Ücret ne olursa olsun otomobilimi kullanmaktan vazgeçerim” ve F, “Ücret ne olursa olsun otomobilimi kullanmaktan vazgeçmem” cevaplarını veren bireylerin ağırlıkta olduğu görülmektedir. Tüm kullanıcılar içerisinde toplam olarak yaklaşık %80 oranında yer alan bu iki birey grubu birbirinden çok farklı özelliktedir. F cevabını veren bireyleri, hiçbir fiyat karşılığında özel otomobillerinden vazgeçmemeleri itibarıyla, özel otomobilin bağımlı kullanıcıları (captive users) olarak değerlendirmek mümkündür.

Öte yandan, A cevabını veren bireyleri ise zaman değeri veya gelir düzeyi en düşük birey grubu olarak değerlendirmek mümkündür. Çizelge 6.15’de verilen değerler, haftalık merkeze gidiş sayısı açısından değerlendirildiğinde ise dağılımın daha dengeli olduğu, verilen cevaplar içerisinde en sık rastlanan haftalık merkez bölgelere gidiş sayısının %20’ye yakın bir oranla bire eşit olduğu görülmektedir.

6.3.3. Tür tercihi modeli verisi

Eminönü tür tercihi modeli, özel otomobil ile toplu taşıma arasındaki tercihlerin incelendiği bir ikili lojit modeldir. Gerçekte, Eminönü bölgesine yapılan yolculuklarda birden fazla toplu taşıma seçeneği mevcuttur. Buna karşılık bu çalışmada, toplu taşıma seçenekleri ortak olarak değerlendirilmiş ve her ilçe ile Eminönü arasında yalnızca bir toplu taşıma seçeneğinin mevcut olduğu kabul edilmiştir. Bu durumda, gerekli olan hallerde, birden fazla toplu taşıma seçeneği bire indirgenmiştir.

İMP Hane Halkı Anketi’nden elde edilen verinin, yalnızca yolculuğunun son noktası Eminönü olan bireylere ait veri olmasından hareketle, tür tercihi modelinde yalnızca A türü yolculuklar için değerlendirme yapılmıştır. Öte yandan toplam 30 farklı yolculuk içeren A türünü oluşturan tüm yolculuklara tür tercihi modelinde yer vermek mümkün olamamış, ilgili sorulara cevap veren bireylerden hiçbirinin başlangıç noktası olmayan Tuzla (9), Çatalca (20) ve Silivri (30) ilçeleri model dışında kalmıştır.

Model verisi elde edilirken bireylerin algıladıkları maliyetler esas alınmıştır. Bu durumda, özel otomobil yolculuklarının maliyeti olarak yakıt maliyeti ile -eğer mevcutsa- köprü veya otoyol geçiş ücretini dikkate almak yeterli olmuştur. Bu geçiş ücreti, Anadolu yakasındaki ilçelerden yapılan yolculuklar için köprü geçiş ücreti ile İstanbul’un batısından gelerek TEM Otoyolunun Mahmutbey gişelerinden giriş yapılan yolculuklarda ödenen otoyol ücretini içermektedir. Gerçekten de, üç bileşenden oluşan toplam yolculuk maliyetinin diğer iki bileşeni olan yolculuk süresi maliyeti ve emisyon maliyeti, bireyler tarafından tam ve açık bir şekilde algılanan ve tercih aşamasında gerektiği gibi dikkate alınan maliyet bileşenleri değildir. Toplu taşımanın yolculuk maliyetinin ise, bilet fiyatına eşit alınması uygun görülmüştür.

Tüm maliyet değerleri, maliyet analizlerinde kullanılan yaklaşımın aksine, kilometre başına değil, gerçek büyüklükleri ile kullanılmıştır.

6.3.3.1. Eminönü tür tercihi modelinde, toplu taşıma yolculuklarının maliyet ve sürelerinin hesaplanması

Eminönü tür tercihi modeli kapsamında, Eminönü bölgesine toplu taşıma kullanılarak yapılan yolculuklarla ilgili hesaplamalarda, İstanbul Elektrik Tramvay ve Tünel İşletmeleri (İETT) tarafından internet ortamında sunulan “Nasıl Giderim?” hizmetinden faydalanılmıştır [133]. Bu internet sayfasında, yolculuğun başlangıç ve son noktalarının girilmesi suretiyle, ilgili yolculuk için farklı toplu taşıma türlerini içeren seçenekler sunulmaktadır. Bu seçenekler incelendiğinde Eminönü bölgesine toplu taşıma kullanılarak yapılan yolculuklar için birden fazla seçeneğin söz konusu olduğu durumlar olduğu görülmüştür. Toplu taşıma yolculuklarında birden fazla seçeneğin mevcut olduğu ilçeler Anadolu yakasında yer almakta, bu ilçelerden Eminönü bölgesine otobüse alternatif olarak vapur ile yolculuk yapmak imkanı bulunmaktadır. Bu çalışmada, birden fazla toplu taşıma seçeneğinin mevcut olduğu durumlarda, bireylerin ilgili seçeneklerden daha düşük maliyetli (veya yolculuk süresi daha düşük) olanı tercih ettikleri kabul edilmiştir. Bu kabul sayesinde Eminönü tür tercihi modelinin bir ikili lojit model haline dönüştürülmesi mümkün olmuştur.

Toplu taşıma ile yapılan yolculukların maliyetlerinin hesaplanmasında yolculuk maliyetinin toplu taşıma bilet fiyatına eşit olduğu kabul edilmiştir. Toplu taşıma bilet fiyatının hesabında, İBB tarafından 22 Ekim 2007 tarihinde hayata geçirilen, aktarmalarda kademeli fiyat tarifi dikkate alınmıştır. İki saat süresince toplam altı adet biniş için geçerli olan bu fiyat sisteminde her bir aktarma ile oluşan bilet fiyatları Çizelge 6.16’da verilmiştir.

Çizelge 6.16 : Biniş sayısına göre toplu taşıma bilet maliyeti [133].

Biniş Sayısı	Aktarma Sayısı	Fiyat (TL)
1	0	1,250
2	1	1,875
3	2	2,500
4	3	3,125
5	4	3,750
6	5	4,375

Hesaplamalarda, toplu taşıma yolculuk süresinin (t_{tt}) toplam üç bileşenden oluştuğu kabul edilmiştir (6.22).

$$t_{tt} = t_{ai} + t_{er} + t_{ak} \quad (6.22)$$

Bu bağıntıda yer alan t_{ai} araçta yolculuk sırasında geçen süreyi, t_{er} toplu taşıma durağına erişim süresini ve t_{ak} ise -eğer mevcutsa- aktarmalar sırasında geçen süreyi ifade etmektedir. Toplam yolculuk süresini oluşturan bileşenlerin her biri hem otobüs, hem de -mevcut olduğu yerlerde- vapur için hesaplanmıştır.

Araçta geçen yolculuk süresinin hesabında otobüslerin, özel otomobiller için belirlenen ve uzunlukları bilinen güzergâhları kullandığı kabul edilmiştir. Böylece otobüsler için araçta geçen yolculuk süresinin belirlenebilmesi için otobüslerin seyir hızının bilinmesi yeterli olmuştur. İETT tarafından yaptırılan, İstanbul'da otobüs hatlarının iyileştirilmesine yönelik bir çalışmada, İstanbul'un üç farklı bölgesi için otobüslerin ortalama seyir hızları verilmiştir (Çizelge 6.17) [134].

Çizelge 6.17 : İstanbul'da otobüslerin bölgelere göre ortalama seyir hızları [134].

Bölge	$V_{otobüs}$ (km/saat)
Anadolu	16,7
İstanbul	15,9
Beyoğlu	13,5

Otobüslerin ortalama seyir hızlarının verildiği bölgelerden Anadolu, Anadolu yakasını ifade ederken; Beyoğlu, Avrupa yakasında kentin kuzey sınırından Haliç'e kadar olan kesimi, İstanbul ise Haliç'ten kentin batı sınırına kadar olan kesimi ifade etmektedir. Çizelge 6.17'de verilen değerler vasıtasıyla herhangi bir otobüs yolculuğunun süresini belirlemek mümkündür. Çizelge 6.17'de verilen ortalama seyir hızlarının hangilerinin hangi ilçeler için geçerli olduğu Çizelge 6.18'de verilmiştir. Bu çizelgede yalnızca toplu taşıma ile ilgili hesaplamaların yapıldığı ilçeler yer almaktadır.

Araçta geçen yolculuk süresi hesabı yapılan diğer toplu taşıma türü vapurdur. Anadolu yakasının İstanbul Boğazı kıyısında yer alan ilçelerinden Üsküdar ve Kadıköy'den, Eminönü bölgesine doğrudan vapur seferleri olması, bu ilçeler için deniz ulaşımını da ciddi bir alternatif haline dönüştürmektedir. Vapur yolculuğunda geçen sürelerin belirlenmesinde doğrudan doğruya vapur tarifelerine bakılarak hesap

yapılmıştır. Çizelge 6.19’da Üsküdar ve Kadıköy ilçelerinden Eminönü bölgesine yapılan vapur seferlerine ait sefer süreleri ve sefer aralıkları verilmiştir [133]. Çizelgede son kolonda verilen toplam yolculuk süresi hesaplanırken herhangi bir anda vapur iskelesine gelen bireylerin ortalama olarak sefer aralığının yarısı kadar bekleyecekleri kabul edilmiştir.

Çizelge 6.18 : Toplu taşıma hesabı yapılan ilçelerin bölgeleri [134].

İlçe	Kod Numarası	Bölge
Beykoz	2	Anadolu
Kadıköy	3	Anadolu
Kartal	4	Anadolu
Maltepe	5	Anadolu
Pendik	6	Anadolu
Sultanbeyli	7	Anadolu
Ümraniye	10	Anadolu
Üsküdar	11	Anadolu
Avcılar	12	İstanbul
Bağcılar	13	İstanbul
Bahçelievler	14	İstanbul
Bakırköy	15	İstanbul
Bayrampaşa	16	İstanbul
Beşiktaş	17	Beyoğlu
Beyoğlu	18	Beyoğlu
Büyüçekmece	19	İstanbul
Esenler	22	İstanbul
Eyüp	23	Beyoğlu
Fatih	24	Beyoğlu
Gaziosmanpaşa	25	İstanbul
Güngören	26	İstanbul
Kağıthane	27	Beyoğlu
Küçükçekmece	28	İstanbul
Sarıyer	29	Beyoğlu
Şişli	31	Beyoğlu
Zeytinburnu	32	İstanbul

Çizelge 6.19 : Üsküdar ve Kadıköy’den Eminönü’ne, vapur seferleri hesapları [133].

Hat No	Başlangıç-Son	Sefer Süresi (dak)	Sefer Aralığı (dak)	Toplam Yolculuk Süresi (dak)
İDO1	Kadıköy-Eminönü	30	15	37,5
İDO5	Üsküdar-Eminönü	20	15	27,5

Yolculuk süresi bileşenlerinden ikincisi toplu taşıma duraklarına erişim süresidir. Otobüsler için yapılan değerlendirmede, otobüse binen bireylerin sabit kabul edilen bir uzaklıktan otobüs duraklarına geldikleri kabul edilmiştir. Bahsi geçen sabit uzaklığın 400 metre alınması uygun görülmüştür. Bireylerin yürüme hızının 80 m/dak alınması ile otobüs duraklarına ortalama erişim süresi 5 dakika olarak hesaplanmıştır. Bu süreye ortalama 5 dakika olduğu kabul edilen [134] durakta otobüs bekleme süresinin de eklenmesi ile otobüs türü için, araca binilinceye kadar

geçen süre toplam 10 dakika olarak hesaplanmıştır. Vapurlar için ise iki farklı durum söz konusudur. Üsküdar veya Kadıköy ilçelerinden birinde ikamet etmesine rağmen sahilde yer alan ve yerleşim birimlerinden uzakta olan vapur iskelelerine erişmek isteyen bireylerin otobüs ile bu iskelelere ulaşacakları kabul edilmiştir. Bahsi geçen ilçelerin her ikisi için de konutların yoğunlaştığı birer merkez seçilerek, bu merkezlerden iskelelere erişim güzergâhlarının uzunlukları belirlenmiştir. Çizelge 6.17’de verilen Anadolu yakası için otobüslere ait ortalama seyir hızının kullanılması ve ayrıca otobüs türü için yukarıda açıklanmış olan araca binilinceye kadar geçen sürenin de eklenmesi suretiyle, vapur seyahati yapan bireyler için otobüs ile iskeleye erişim süreleri hesaplanmıştır. Üsküdar veya Kadıköy’den vapura binmesine rağmen, başka ilçelerde ikamet eden ve dolayısıyla vapura binmek üzere başka bir ilçeden otobüs ile yolculuk yapan bireyler için de, benzeri bir yaklaşımla, ilgili vapur iskelelerine yapılacak otobüs yolculuğuna ait hesaplamalar gerçekleştirilmiştir.

Yolculuk süresi hesabının üçüncü bileşeni aktarmada bekleme süresidir. İstanbul’da otobüsle yolculuk yapan bireylerin, her iki aktarma arasında ortalama bekleme süresi 10 dakikadır [134]. Vapurlar için ise, Eminönü bölgesine doğrudan seferler mevcut olması sebebiyle aktarma bekleme süresi mevcut değildir.

Eminönü bölgesine toplu taşıma ile yapılan yolculukların maliyet ve sürelerinin belirlenmesi için yukarıda verilen hesaplamaların yapılması suretiyle toplu taşıma türü için tür tercihi modelinde kullanılacak tüm veriler elde edilmiş olmaktadır. Yapılan hesaplamaların ve elde edilen sonuçların sunumu için iki adet çizelge hazırlanmıştır. Çizelge 6.20’de ayrıntıları verilen SEÇENEK 1 yalnızca otobüs ile yapılan yolculukları içermektedir. Çizelge 6.21’de ayrıntıları verilen SEÇENEK 2 ise tamamı veya bir kısmı vapur ile yapılan yolculuklar için hazırlanmıştır. SEÇENEK 1 ve SEÇENEK 2’nin kapsadığı yolculuklar dikkate alındığında bazı ilçelerden yapılan yolculukların SEÇENEK 1 veya SEÇENEK 2’den yalnızca birine dâhil olduğu görülmektedir. Her iki çizelgede de, ilgili toplu taşıma türünün kullanılmadığı ilçeler çizelge dışında bırakılmıştır.

Çizelge 6.20 ve 6.21’de hat sayısı kolonunda yer alan rakamlar yolculuğun gerçekleştirilebilmesi için kaç farklı otobüs veya vapur hattı kullanılması gerektiğini göstermektedir. Bu kolonda verilen rakamın birden büyük olması durumunda aktarma yapıldığı ve dolayısıyla aktarma bekleme süresinin devreye girdiği açıktır.

Çizelge 6.20’de yer almayan 3 ve 11 kod numaralı, sırasıyla Kadıköy ve Üsküdar ilçelerinden Eminönü bölgesine, vapur seçeneğine alternatif oluşturacak bir otobüs yolculuğu seçeneği bulunmamaktadır. Çizelge 6.21 incelendiğinde ise vapur yolculuklarının söz konusu olduğu SEÇENEK 2 için yalnızca Anadolu yakasındaki ilçelere ait hesaplamaların yer aldığı görülmektedir. Bunun en önemli sebepleri arasında Avrupa yakasındaki ilçelerden Eminönü bölgesine erişimde, vapurun fazla tercih edilmemesinin yanı sıra Avrupa yakasında sefer yapan vapurların yeterince sık sefer yapmaması yer almaktadır.

Çizelge 6.20 : SEÇENEK 1’e ait ayrıntılar.

İlçe	Hat Sayısı	Erişim (dak)	Aktarma (dak)	Toplam Süre (dak)	Bilet (TL)
2	2	10,00	10,00	91,93	1,875
4	2	10,00	10,00	143,52	1,875
5	2	10,00	10,00	114,28	1,875
6	2	10,00	10,00	152,29	1,875
7	2	10,00	10,00	143,52	1,875
10	2	10,00	10,00	79,35	1,875
12	2	10,00	10,00	120,60	1,875
13	1	10,00	0,00	77,32	1,250
14	1	10,00	0,00	72,11	1,250
15	1	10,00	0,00	63,06	1,250
16	1	10,00	0,00	42,87	1,250
17	1	10,00	0,00	28,84	1,250
18	1	10,00	0,00	27,51	1,250
19	2	10,00	10,00	170,26	1,875
22	1	10,00	0,00	58,23	1,250
23	1	10,00	0,00	32,18	1,250
24	1	10,00	0,00	27,60	1,250
25	1	10,00	0,00	126,34	1,250
26	1	10,00	0,00	52,04	1,250
27	1	10,00	0,00	62,62	1,250
28	2	10,00	10,00	104,38	1,875
29	2	10,00	10,00	113,24	1,875
31	1	10,00	0,00	42,71	1,250
32	1	10,00	0,00	52,60	1,250

Çizelge 6.21 : SEÇENEK 2’ye ait ayrıntılar.

İlçe	Otobüs				Vapur		Genel Toplam Süre (dak)	Bilet (TL)
	Hat Sayısı	L (km)	Erişim (dak)	Toplam Süre (dak)	Hat Sayısı	Toplam Süre (dak)		
3	1	6,00	10,00	31,56	1	37,50	69,06	1,875
4	1	24,52	10,00	98,10	1	37,50	135,60	1,875
5	1	17,48	10,00	72,80	1	37,50	110,30	1,875
6	1	29,85	10,00	117,25	1	37,50	154,75	1,875
7	1	21,92	10,00	88,75	1	37,50	126,25	1,875
10	1	15,44	10,00	65,47	1	37,50	102,97	1,875
11	1	4,00	10,00	24,37	1	27,50	51,87	1,875

Bireylerin toplu taşıma ile yolculuk yapmak için birden fazla seçeneği olması durumunda maliyeti daha düşük olan seçeneği tercih edecekleri kabulüne bağlı olarak belirlenen, her ilçeden Eminönü bölgesine toplu taşıma ile gerçekleştirilen

yolculuklarda tercih edilen seçenekler ve bu seçeneklere ait yolculuk bilgileri Çizelge 6.22’de verilmiştir.

Çizelge 6.22 : Eminönü bölgesine toplu taşıma ile yapılan yolculuklara ait ayrıntılar.

İlçe	Seçenek	T(sa)	T(dak)	Maliyet (TL)
2	1	1,53	91,93	1,875
3	2	1,15	69,06	1,875
4	2	2,26	135,60	1,875
5	2	1,84	110,30	1,875
6	1	2,54	152,29	1,875
7	2	2,10	126,25	1,875
10	1	1,32	79,35	1,875
11	2	0,86	51,87	1,875
12	1	2,01	120,60	1,875
13	1	1,29	77,32	1,250
14	1	1,20	72,11	1,250
15	1	1,05	63,06	1,250
16	1	0,71	42,87	1,250
17	1	0,48	28,84	1,250
18	1	0,46	27,51	1,250
19	1	2,84	170,26	1,875
22	1	0,97	58,23	1,250
23	1	0,54	32,18	1,250
24	1	0,46	27,60	1,250
25	1	2,11	126,34	1,250
26	1	0,87	52,04	1,250
27	1	1,04	62,62	1,250
28	1	1,74	104,38	1,875
29	1	1,89	113,24	1,875
31	1	0,71	42,71	1,250
32	1	0,88	52,60	1,250

Çizelge 6.22’de verilen yolculuk süreleri ve maliyetleri her bir ilçeye ait olmakla birlikte genel bir eğilim ortaya koymamaktadır. Kentin toplu taşıma ağı kaynaklı gerekçelerle, çizelgede yer alan verilere bağlı olarak, örneğin yolculuk uzunluğu ile toplu taşıma bilet fiyatının değişimi için anlamlı bir ilişki ortaya koymak mümkün değildir. Bu duruma örnek olarak, Eminönü bölgesine uzaklığı 30,83 km olan Gaziosmanpaşa (25) ilçesinden ilçeye tek otobüs ile ulaşılabilir olmasına rağmen, daha yakın olarak 20,98 km uzaklıkta olan Sarıyer (29) ilçesinden iki otobüs ile ulaşılması gösterilebilir.

6.3.3.2. Eminönü tür tercihi modelinde, özel otomobil yolculuklarının maliyet ve sürelerinin hesaplanması

6.3.3’de açıklandığı üzere, Eminönü tür tercihi modelinde özel otomobil yolculukları için yalnızca yakıt tüketimi maliyeti ve -eğer mevcutsa- köprü/otayol geçiş ücreti

esas alınmıştır. Modelde özel otomobil yolculukları için hesaplanan, kilometre başına ve gerçek maliyetler, yolculuk süreleri ile beraber Çizelge 6.23’de sunulmuştur.

Çizelge 6.23 : A, B, C türü yolculukların kilometre başına yakıt tüketimi maliyetleri.

Tür	İlçe	Yakıt Tüketimi Maliyetleri										Geçiş Maliyeti		Toplam		Yolculuk Süresi (dak)	
		0-0		0-1		1-0		1-1		Otoyol							
		TL/km	TL	TL/km	TL	TL/km	TL	TL/km	TL	TL/km	TL	TL/km	TL	TL/km	TL		
A	2	0,51	1,90	0,91	10,43	0,00	0,00	0,00	0,00	0,47	2,28	0,19	3,75	2,08	18,36	43,57	
	3	0,00	0,00	0,91	6,18	0,00	0,00	0,71	3,57	0,47	4,56	0,17	3,75	2,26	18,06	41,70	
	4	0,89	2,58	0,91	6,18	0,00	0,00	0,00	0,00	0,47	11,51	0,11	3,75	2,38	24,02	48,47	
	5	0,00	0,00	0,91	6,18	0,61	1,10	0,00	0,00	0,47	8,23	0,14	3,75	2,13	19,26	38,69	
	6	0,00	0,00	0,91	6,18	0,00	0,00	0,00	0,00	0,47	13,99	0,10	3,75	1,48	23,92	45,26	
	7	0,51	4,22	0,91	6,18	0,00	0,00	0,00	0,00	0,47	9,02	0,11	3,75	2,00	23,17	49,47	
	9	0,51	2,54	0,91	6,18	0,00	0,00	0,00	0,00	0,47	16,02	0,08	3,75	1,97	28,49	56,90	
	10	0,00	0,00	0,91	6,18	0,61	3,32	0,00	0,00	0,47	2,02	0,23	3,75	2,22	15,27	35,29	
	11	0,00	0,00	0,61 0,91	1,97 6,18	0,00	0,00	0,00	0,00	0,47	1,33	0,29	3,75	2,28	13,23	29,17	
	12	0,00	0,00	0,83	5,06	0,00	0,00	0,71	0,59	0,47	9,19	0,00	0,00	2,01	14,84	35,49	
	13	0,00	0,00	0,61 0,83	2,16 5,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,47	3,81	0,00	0,00	1,91	11,03	31,06	
	14	0,00	0,00	0,83	5,06	0,00	0,00	0,71	1,59	0,47	3,79	0,00	0,00	2,01	10,44	29,47	
	15	0,62	8,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,71	0,77	0,00	0,00	0,00	0,00	1,33	8,78	27,69	
	16	0,80	3,97	0,00	0,00	0,00	0,00	0,71	2,64	0,00	0,00	0,00	0,00	1,51	6,61	22,06	
	17	0,00	0,00	0,91	3,87	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,91	3,87	12,43	
	18	0,00	0,00	0,91	3,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,91	3,6	11,55	
	19	0,00	0,00	0,83	5,06	0,00	0,00	0,71	0,50	0,47	15,38	0,00	0,00	2,01	20,94	46,37	
	20	0,51	4,53	0,83	5,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,47	18,81	0,03	1,75	1,84	30,15	64,96	
	22	0,00	0,00	0,61 0,83	0,92 5,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,47	2,41	0,00	0,00	1,91	8,39	24,16	
	23	0,80	3,97	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,8	3,97	12,02	
	24	0,00	0,00	0,83	3,29	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,83	3,29	10,76	
	25	0,51	13,86	0,00	0,00	0,00	0,00	1,04	3,87	0,00	0,00	0,00	0,00	1,55	17,73	56,58	
	26	0,00	0,00	0,83	5,06	0,00	0,00	0,71	1,22	0,47	1,55	0,00	0,00	2,01	7,83	24,01	
	27	0,80	7,54	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,47	1,10	0,00	0,00	1,27	8,64	24,82	
	28	0,00	0,00	0,61 0,83	2,57 5,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,47	5,60	0,00	0,00	1,91	13,23	35,76	
	29	0,00	0,00	0,91	19,16	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,91	19,16	61,50	
	30	0,51	5,04	0,83	5,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,47	24,58	0,00	0,00	1,81	34,68	77,02	
	31	0,00	0,00	0,91	6,72	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,91	6,72	21,58	
	32	0,62	6,97	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,62	6,97	21,55	
	33	0,00	0,00	0,91	6,18	0,00	0,00	0,71	0,41	0,47	23,10	0,07	3,75	2,16	33,44	63,36	
	B	12↔17	0,00	0,00	0,83 0,91	5,06 3,87	0,00	0,00	0,71	0,59	0,47	9,19	0,00	0,00	2,92	18,71	47,91
		13↔17	0,00	0,00	0,61 0,83 0,91	2,16 5,06 3,87	0,00	0,00	0,00	0,00	0,47	3,81	0,00	0,00	2,82	14,9	43,49
		14↔17	0,00	0,00	0,83 0,91	5,06 3,87	0,00	0,00	0,71	1,59	0,47	3,79	0,00	0,00	2,92	14,31	41,90
15↔17		0,62	8,01	0,91	3,87	0,00	0,00	0,71	0,77	0,00	0,00	0,00	0,00	2,24	12,65	40,12	
15↔18		0,62	8,01	0,91	3,60	0,00	0,00	0,71	0,77	0,00	0,00	0,00	0,00	2,24	12,38	39,24	
16↔17		0,80	3,97	0,91	3,87	0,00	0,00	0,71	2,64	0,00	0,00	0,00	0,00	2,42	10,48	34,49	
24↔17		0,00	0,00	0,91 0,83	3,87 3,29	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,74	7,16	23,19	
32↔17		0,62	6,97	0,91	3,87	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,53	10,84	33,98	
32↔18	0,62	6,97	0,91	3,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,53	10,57	33,10		
C	21	0,62	3,28	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,62	3,28	10,15		

Yakıt tüketimi maliyeti hesaplamaları (6.8) ve 6.2.3.1’de açıklanan yakıt tüketim oranı (f) bağıntılarının kullanılması suretiyle yapılmıştır. Köprü/otayol geçiş ücretleri, bu çalışmada kullanılan ulaşım ağı incelenerek ücrete tabi yolculukların ve ilgili ücret tutarının belirlenmesi suretiyle hesaplanmıştır. Yolculuk süresi hesabı ise, Çizelge 6.10’da kilometre başına verilen yolculuk süresi değerlerinin, Çizelge 6.9’da

sunulan güzergâh uzunlukları ile çarpılması suretiyle elde edilmiştir. Bu uzunluklardan, yakıt tüketimi maliyetlerinin gerçek büyüklüklerinin hesaplanmasında da faydalanılmıştır. Çizelge 6.23, A, B ve C türündeki tüm yolculuklar için bilgiler içermektedir. Öte yandan tür tercihi modelinde, B ve C türü yolculukların incelenmemekte ve ayrıca veri mevcut olmaması gerekçesiyle A türü yolculukların tamamı modelde yer almamaktadır. Yakıt tüketimi maliyetinin sunumunda böyle bir yöntem tercih edilmesinin başlıca sebepleri sunulan verilerin, modelin ilerideki hesaplama aşamalarında da kullanılacak olması ve veri sunumunun bütünlük içerisinde yapılmasının sağlanmasıdır. Bu bölümde sunulan maliyet değerleri, Eminönü tıkanıklık fiyatlandırması modelinin takip eden aşamalarında yer alan maliyet ile ilgili analizlerde de kullanılmıştır.

6.3.3.3. Tür tercihi modelinin verisinin oluşturulması

Eminönü tür tercihi modelinin verisinin oluşturulmasında İMP Hane Halkı Anketi'nde yer alan ve 6.3.2'de analizi yapılan fiyatlandırma ile ilgili sorulara verilen cevaplardan oluşan veri kullanılmıştır. Verinin oluşturulması işleminde gözden kaçırılmaması gereken nokta, değerlendirme yapılan verinin ait olduğu bireylerin otomobil sahibi oldukları ve mevcut durumda yolculuklarını özel araçları ile gerçekleştirdikleridir. Bu durumda, bireylerin anket sorularında ortaya konulan teorik senaryolara verdikleri cevaplar öncesinde, mevcut durumdaki yolculuk maliyetleri ve yolculuk süreleri ışığında, özel otomobil ile yolculuk yapmayı tercih ettikleri görülmektedir.

İMP Hane Halkı Anketi'nde fiyatlandırma ile ilgili sorulara cevap veren ve yolculuğunun son noktası Eminönü olan toplam 394 birey bulunmaktadır. Bu bireyler arasından 145 adedi anket sorularına “Ücret ne olursa olsun otomobilimi kullanmaktan vazgeçmem” cevabını vermiştir. Model verisinin, mevcut durumdaki tercihleri (bu durumda tüm bireyler özel otomobilleri ile yolculuk yapmayı tercih etmektedir) temsil eden toplam 249 cevaptan oluşan ilk kısmı, bu 145 bireye ait verinin dışarıda bırakılması ile elde edilmiştir. Tür tercihi modeli verisinin diğer kısmı ise, mevcut durum verisinden hareketle, anket sorularında ortaya konulan teorik senaryolara verilen cevapların kullanılması suretiyle üretilmiştir. Bu işlemde, anket sorularına verilen cevaplar arasında, bireylerin özel otomobilleri ile yolculuk yapmaktan vazgeçmelerini sağlayacağını belirttikleri tıkanıklık fiyatı tutarından

faydalanılmıştır. Şekil 6.7’de verilen anket soruları incelendiğinde, bireylerden sınır fiyat olarak tek bir değer değil, bir aralık tercihinde bulunmalarının talep edildiği görülmektedir. Veriler üretilirken, fiyatın, bir bireyin tercih ettiği aralığın alt sınırına eşit olması durumunda, bu bireyin özel otomobilini kullanmaktan vazgeçmeyeceği; fiyatın aralığın üst sınırına eşit olarak seçilmesi ile beraber özel otomobilini kullanmaktan vazgeçeceği kabul edilmiştir. Böylece, her fiyat aralığı için, sınır tıkanıklık fiyatı tutarını bu aralık olarak belirten birey sayısının iki katı kadar veri üretilmiştir. Bu aşamada, ilgili anket sorusuna, “Ücret ne olursa olsun otomobilimi kullanmaktan vazgeçerim” (A) cevabını veren bireylerin, ilgili fiyat aralığını 1-3 (B) olarak beyan eden bireylerin özel otomobillerini kullanmaktan vazgeçmeyeceklerinin kabul edildiği 1 TL’lik fiyat tahsil edilmesi durumunda özel otomobillerini kullanmaktan vazgeçeceği öngörülmüştür. Bu esasa göre, her fiyat aralığı için üretilen veri adedi Çizelge 6.24’de verilmiştir.

Çizelge 6.24 : Fiyat aralıklarına göre, üretilen veri adedi.

Fiyat Aralığı	Cevap Veren Birey Sayısı	Üretilen Veri Sayısı
A	147	147
1-3	73	146
4-6	15	30
7-10	10	20
11-15	4	8
TOPLAM	249	351

Çizelge 6.24’de son satırda yer alan, cevap ve üretilen veri adetlerinin toplanması ile tür tercihi model verisi toplam 600 adet olarak belirlenmiştir. Mevcut ve yeni üretilen veriden oluşan, tür tercihi modeli verisinin tamamı Ek A Çizelge A.1’de verilmiştir.

6.3.4. Fayda fonksiyonlarının belirlenmesi

Bu çalışmada fayda fonksiyonlarının belirlenmesi aşamasında referans seçenek olarak toplu taşıma türü seçilmiştir. Böylece toplu taşıma türüne ait fayda fonksiyonunda sabit terim bulunmamış, buna karşılık özel otomobile ait fayda fonksiyonunda, bu türe özel bir sabit terim yer almıştır. Fayda fonksiyonlarının katsayılarının, türe özel (alternative specific) yerine genel (generic) özellikte olması uygun görülmüştür.

Fayda fonksiyonlarının katsayılarının belirlenmesinde hesaplamalar, NLOGIT® programının 4.0 sürümü kullanılarak gerçekleştirilmiştir. NLOGIT® tercih modelleri ile ilgili tahmin ve analizlere olanak tanıyan ve dünyada önde gelen ekonometri yazılımlarından biridir. Bu yazılım kullanılarak yapılan hesaplamalarda, elde edilen sonuçların yorumlanmasına ve gerçeğe ne kadar yakın veya ne kadar hassas sonuçlar elde edildiğinin anlaşılmasına yarayan çeşitli büyüklüklere ait sonuçlara ulaşmak da mümkün olmaktadır.

Ek A Çizelge A.1’de verilen model verisinin NLOGIT® programına girilmesi ve programın ilgili modülünün çalıştırılması suretiyle, Eminönü tür tercihi modelinin fayda fonksiyonlarına ait Çizelge 6.25’de verilen sonuçlara ulaşılmıştır.

Çizelge 6.25 : Tür tercihi modeli tahmin sonuçları.

Değişken	Katsayı	Standart Hata	t-istatistiği
Sabit Terim	0,897	0,201	4,470
Yolculuk Maliyeti	-0,084	0,019	-4,453
Yolculuk Süresi	-0,010	0,004	-2,516
Özet İstatistikler			
LL(β)	-396,809		
LL(C)	-407,176		
LL(O)	-415,888		
-2[LL(C) - LL(β)]	20,734		
$\chi^2_c(n)$	5,991 (2)		
-2[LL(O) - LL(β)]	38,158		
$\chi^2_o(n)$	7,815 (3)		
ρ_c^2	0,025		
ρ_o^2	0,046		

Çizelge 6.25’de verilen sonuçlar açısından ilk değerlendirilecek nokta, katsayı tahminlerinin işaretleridir. Eminönü tür tercihi modelinin fayda fonksiyonlarında yer alan yolculuk maliyeti ve yolculuk süresi değişkenleri fayda fonksiyonlarında negatif işaretle yer alması gereken büyüklüklerdir. Diğer bir değişle bu terimler, maliyet veya sürede artış yaşanması durumunda yolculuktan elde edilecek faydayı azaltacak özellikte tanımlanmalıdır. Çizelgede görüldüğü üzere, bahsi geçen katsayılar doğru işaretli olarak tahmin edilmiştir.

Çizelge 6.25’de verilen tahmin sonuçlarını t-istatistiği ve standart hata büyüklükleri açısından da değerlendirmek mümkündür. Bir katsayıya ait tahminin standart hatası, katsayı için tahmin edilen değer, rastgele örneklem hatası sebebiyle, katsayının

gerçek değerinden sapma miktarını temsil eden bir büyüklüktür. Dolayısıyla standart hatanın büyümesi, yapılan tahminin hassasiyetinin azaldığının bir göstergesidir [127,128]. Standart hata önem arz eden bir büyüklük olmakla birlikte, herhangi bir katsayının anlamlılığı konusunda yapılan bir değerlendirme için yeterli değildir. Bu değerlendirmede kullanılan büyüklük t-istatistiğidir. Bu büyüklüğün mutlak değerinin, seçilen bir güven düzeyinde t-istatistiği çizelgesinden alınan bir eşik değeri aşması durumunda, katsayı tahminin anlamlı olduğunu söylemek mümkündür [128,129]. Çizelgede yer alan tahminlere ait t-istatistiklerinin mutlak değerlerinin, seçilen 0,05 güven düzeyinde t-istatistiği çizelgesinden okunan 1,96 değerini aşıyor olması, yapılan tahminlerin anlamlı olduğunu göstermektedir.

Çok terimli lojit modelde yapılan tahminlerin anlamlılığının ve veriyi temsil etmedeki uyumluluğunun test edilebilmesi amacıyla kullanılan iki ölçüt bulunmaktadır. Bunlardan LL oranı testi, log-olabilirlik (LL) değerlerinden hareketle gerçekleştirilmektedir. Bu testte, kalibre edilen modelin $LL(\beta)$ değeri ile bir referans modelin $LL_{referans}$ değeri, bir test istatistiği $(-2LL)$ kullanılarak karşılaştırılmaktadır. Bu karşılaştırma sonucunda $LL(\beta)$ değerinin referans modelin $LL_{referans}$ değerinden istatistik olarak anlamlı bir oranda farklı olması halinde, kalibre edilen modelin genel anlamlılığının yüksek olduğu yorumunu yapmak mümkün olmaktadır. Kalibre edilen model ile referans model arasında istatistik olarak anlamlı bir fark olmaması durumunda ise kalibre edilen modelde yer alan değişkenlerin, referans modelin kestirim özelliğini arttıramadığı yorumu yapılabilmektedir. Burada bahsi geçen referans model olarak, yalnızca sabit terimlerin yer aldığı fayda fonksiyonlarının kalibre edildiği bir model (market share model) ile hiçbir terimin yer almadığı fayda fonksiyonlarının kalibre edildiği bir model (null model) kullanılmaktadır. Bu modellere ait LL değerleri, Çizelge 6.25’de sırasıyla $LL(C)$ ve $LL(0)$ ile ifade edilmiştir. LL oranı testinde araştırılan, istatistik olarak anlamlı oranın hesaplanabilmesi için (6.23) ile verilen bağıntı kullanılmaktadır [135].

$$-2LL = \left[LL_{referans} - LL(\beta) \right] \quad (6.23)$$

Bu bağıntı ile hesaplanan $-2LL$ değeri, referans model ile kalibre edilen modelde yer alan değişkenlerin sayıları arasında farka bağlı olarak hesaplanan n serbestlik derecesinde ve seçilen güven düzeyinde ki-kare (χ^2) dağılımının olasılık

çizelgesinden elde edilen değer ile karşılaştırılmaktadır. -2LL değerinin ilgili çizelgeden alınan χ^2 olasılık değerinden büyük olması durumunda modelin anlamlılığının yüksek olduğu söylenebilmektedir. Ters durum ise kalibre edilen modelin referans modele bir üstünlük kuramadığı duruma işaret etmektedir [129]. Çizelge 6.25'in "Özet İstatistikler" başlığı ile verilen kısmında ilk üç satırda tahmin edilen modelin ve referans modellerin LL değerleri verilmiştir. Çizelgenin, bu üç satırı takip eden dört satırı LL oranı testine ayrılmıştır. Bu satırlar incelendiğinde her iki referans model için de, 0,05 güven düzeyinde ve parantez içinde verilen serbestlik derecelerinde elde edilen χ^2 değerlerinin (6.23) ile hesaplanan -2LL test istatistiği değerlerinden küçük kaldığı görülmektedir. Bu sonuçlardan hareketle, kalibre edilen tür tercihi modelinin genel anlamlılığının yüksek olduğunu söylemek mümkün olmaktadır.

Çok terimli lojit modelde, bir modelin veriyi temsil etmedeki uygunluğunun araştırmasında yapay R^2 (ρ^2) adı verilen büyüklük kullanılmaktadır. Kesikli tercih analizinin doğrusal olmayan bir kestirim yöntemi olması sebebiyle, ρ^2 değerlerinin doğrusal regresyon ile elde edilen R^2 değerlerine benzetilmesi ve bu değerler gibi yorumlanması mümkün değildir [129]. ρ^2 değerinin, $LL(\beta)$ ile LL oranı testine benzer olarak alınan $LL_{referans}$ büyüklüklerine bağlı olarak, (6.24) ile hesaplanabilmesi mümkündür [129]. Bu hesaplamada, LL oranı testinde olduğu gibi, iki farklı referans modelin varlığına paralel olarak iki farklı ρ^2 değeri elde edilebilmektedir.

$$\rho^2 = 1 - LL(\beta) / LL_{referans} \quad (6.24)$$

(6.24) ile hesaplanan ρ^2 değerlerinin R^2 değerlerine dönüştürülmesi için [124] numaralı kaynakta bir çizelge sunulmuştur (Bölüm 5, Sayfa 124, Şekil 5.5). Genel olarak, 0,3 ile 0,4 arasında hesaplanan bir ρ^2 değerinin, 0,6 ile 0,7 arasında bir doğrusal R^2 değerine denk düştüğü ve iyi düzeyde bir veri uyumluluğuna işaret ettiği söylenebilmektedir [135]. Çizelge 6.25'in son iki satırında verilen ρ^2 değerleri modelin veriye uyumluluk açısından iyi düzeyde olmadığını gösterse de, sonuçların kabul edilebilir düzeyde olduğu düşünülmektedir.

Yukarıda yapılan değerlendirmeler sonucunda yeterli düzeyde olduğu kabul edilen Eminönü tür tercihi modeline ait fayda fonksiyonları özel otomobil ve toplu taşıma türleri için sırasıyla (6.25) ve (6.26)'da verilmiştir.

$$U_{OTO} = 0,897 - 0,084 \cdot M_{OTO} - 0,010 \cdot T_{OTO} \quad (6.25)$$

$$U_{TT} = -0,084 \cdot M_{TT} - 0,010 \cdot T_{TT} \quad (6.26)$$

6.3.4.1. Zaman değerinin hesaplanması

6.3.4'de fayda fonksiyonları verilen tür tercihi modeli kullanılarak bireylerin zaman değerinin hesaplanabilmesi mümkündür. Çoğunlukla TL/saat birimiyle ifade edilen zaman değeri, bireylerin bir saatlerine biçtikleri parasal değer olarak tanımlanabilmektedir. Diğer bir deyişle zaman değeri, bireylerin birim zaman kazancı için ödemeye razı oldukları tutardır. Tür tercihi modelinden zaman değerinin hesaplanmasında, fayda fonksiyonlarında yer alan yolculuk maliyeti ve yolculuk süresi değişkenlerinin katsayıları arasındaki oran alınmaktadır. Bu değerlerin Çizelge 6.25'den alınması suretiyle, Eminönü bölgesine özel otomobilleri ile yolculuk yapan bireylerin zaman değeri $-0,084 / -0,010 = 8,169$ TL/saat/kişi olarak hesaplanmıştır.

6.4. Maliyet Hesaplamaları ve Sonuçlar

Bu bölümde, incelenen özel otomobil yolculuklarının ortalama maliyet hesaplamalarına ait sonuçlar sunulacaktır. Özel otomobil yolculuk maliyetinin bileşenlerinden olan yakıt tüketimi maliyeti ile otoyol/köprü geçiş ücretinin yanı sıra maliyet hesaplamalarında kullanılan yolculuk süresi ve yolculuk uzunluğu gibi büyüklükler daha önceki bölümlerde hesaplanmıştır.

6.4.1. Yolculuk süresi maliyetlerinin hesaplanması

Çizelge 6.26'da A, B ve C türü yolculuklar için ilçeler arası yolculuk süresi maliyetleri hem kilometre başına, hem de gerçek değerler olarak sunulmuştur. Yolculuk süresi maliyetlerinin kilometre başına tutarlarının belirlenmesinde Çizelge 6.10'da verilen sn/km cinsinden yolculuk süreleri 6.3.4.1'de hesaplanan zaman değeri ile çarpılmıştır. Yolculuk süresi maliyetinin gerçek değerlerinin hesabında ise

kilometre başına hesaplanan değerler, Çizelge 6.9’da verilen, ilgili güzergâh kesiminin uzunluğu ile çarpılarak sonuca ulaşılmıştır.

Çizelge 6.26 : A, B, C türü yolculukların kilometre başına ve gerçek yolculuk süresi maliyetleri.

Tür	İlçe	Yolculuk Süresi Maliyetleri											
		0-0		0-1		1-0		1-1		Otoyol		Toplam	
		TL/km	TL	TL/km	TL	TL/km	TL	TL/km	TL	TL/km	TL	TL/km	TL
A	2	0,34	1,27	0,63	7,16	0,00	0,00	0,00	0,00	0,12	0,56	1,09	8,99
	3	0,00	0,00	0,63	4,24	0,00	0,00	0,58	2,90	0,12	1,13	1,33	8,27
	4	0,57	1,65	0,63	4,24	0,00	0,00	0,00	0,00	0,12	2,85	1,32	8,74
	5	0,00	0,00	0,63	4,24	0,47	0,83	0,00	0,00	0,12	2,04	1,22	7,11
	6	0,00	0,00	0,63	4,24	0,00	0,00	0,00	0,00	0,12	3,46	0,75	7,70
	7	0,34	2,83	0,63	4,24	0,00	0,00	0,00	0,00	0,12	2,23	1,09	9,30
	9	0,34	1,70	0,63	4,24	0,00	0,00	0,00	0,00	0,12	3,96	1,09	9,90
	10	0,00	0,00	0,63	4,24	0,47	2,52	0,00	0,00	0,12	0,50	1,22	7,26
	11	0,00	0,00	0,46 0,63	1,48 4,24	0,00	0,00	0,00	0,00	0,12	0,33	1,21	6,05
	12	0,00	0,00	0,58	3,54	0,00	0,00	0,58	0,48	0,12	2,27	1,28	6,29
	13	0,00	0,00	0,46 0,58	1,62 3,54	0,00	0,00	0,00	0,00	0,12	0,94	1,16	6,10
	14	0,00	0,00	0,58	3,54	0,00	0,00	0,58	1,29	0,12	0,94	1,28	5,77
	15	0,41	5,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,58	0,62	0,00	0,00	0,99	5,92
	16	0,51	2,57	0,00	0,00	0,00	0,00	0,58	2,15	0,00	0,00	1,09	4,72
	17	0,00	0,00	0,63	2,66	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,63	2,66
	18	0,00	0,00	0,63	2,47	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,63	2,47
	19	0,00	0,00	0,58	3,54	0,00	0,00	0,58	0,40	0,12	3,80	1,28	7,74
	20	0,34	3,05	0,58	3,54	0,00	0,00	0,00	0,00	0,12	4,65	1,04	11,24
	22	0,00	0,00	0,46 0,58	0,69 3,54	0,00	0,00	0,00	0,00	0,12	0,60	1,16	4,83
	23	0,51	2,57	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,51	2,57
	24	0,00	0,00	0,58	2,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,58	2,30
	25	0,34	9,31	0,00	0,00	0,00	0,00	0,75	2,78	0,00	0,00	1,09	12,09
	26	0,00	0,00	0,58	3,54	0,00	0,00	0,58	0,99	0,12	0,38	1,28	4,91
	27	0,51	4,88	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,12	0,27	0,63	5,15
	28	0,00	0,00	0,46 0,58	1,93 3,54	0,00	0,00	0,00	0,00	0,12	1,38	1,16	6,85
	29	0,00	0,00	0,63	13,15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,63	13,15
	30	0,34	3,39	0,58	3,54	0,00	0,00	0,00	0,00	0,12	6,08	1,04	13,01
	31	0,00	0,00	0,63	4,61	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,63	4,61
	32	0,41	4,61	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,41	4,61
	33	0,00	0,00	0,63	4,24	0,00	0,00	0,58	0,33	0,12	5,71	1,33	10,28
B	12↔17	0,00	0,00	0,58 0,63	3,54 2,66	0,00	0,00	0,58	0,48	0,18	3,57	1,97	10,25
	13↔17	0,00	0,00	0,46 0,58 0,63	1,62 3,54 2,66	0,00	0,00	0,00	0,00	0,18	1,48	1,85	11,22
	14↔17	0,00	0,00	0,58 0,63	3,54 2,66	0,00	0,00	0,58	1,29	0,18	1,47	1,97	8,96
	15↔17	0,41	5,30	0,63	2,66	0,00	0,00	0,58	0,62	0,00	0,00	1,62	8,58
	15↔18	0,41	5,30	0,63	2,47	0,00	0,00	0,58	0,62	0,00	0,00	1,62	8,39
	16↔17	0,51	2,57	0,63	2,66	0,00	0,00	0,58	2,15	0,00	0,00	1,72	7,37
	24↔17	0,00	0,00	0,63 0,58	2,66 2,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,21	4,96
	32↔17	0,41	4,61	0,63	2,66	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,04	7,26
C	32↔18	0,41	4,61	0,63	2,47	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,04	7,08
	21	0,41	2,17	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,41	2,17

6.4.2. Emisyon maliyetlerinin hesaplanması

Çizelge 6.27’de A, B ve C türü yolculuklar için ilçeler arası emisyon maliyetleri hem kilometre başına, hem de gerçek değerler olarak sunulmuştur. Kilometre başına emisyon maliyetlerinin belirlenmesinde, 6.2.3’de açıklandığı üzere kilometre başına

sabit bir değer olan 1,57 TL/litre yakıt tutarı kullanılarak hesaplama yapılmıştır. Herhangi bir güzergâh kesiminde kilometre başına emisyon maliyetini hesaplamak için bu tutar kilometre başına tüketilen yakıt miktarı ile çarpılmıştır. Gerçek maliyet değerlerine ise, kilometre başına hesaplanan değerlerin, Çizelge 6.9’da verilen güzergâh kesimi uzunlukları ile çarpılması suretiyle ulaşılmıştır.

Çizelge 6.27 : A, B, C türü yolculukların kilometre başına ve gerçek emisyon maliyetleri.

Tür	İlçe	Emisyon Maliyetleri											
		0-0		0-1		1-0		1-1		Otoyol		Toplam	
		TL/km	TL	TL/km	TL	TL/km	TL	TL/km	TL	TL/km	TL	TL/km	TL
A	2	0,27	0,99	0,48	5,46	0,00	0,00	0,00	0,00	0,24	1,19	0,99	7,64
	3	0,00	0,00	0,48	3,23	0,00	0,00	0,37	1,87	0,24	2,39	1,09	7,49
	4	0,47	1,35	0,48	3,23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,24	6,02	1,19	10,6
	5	0,00	0,00	0,48	3,23	0,32	0,58	0,00	0,00	0,24	4,31	1,04	8,12
	6	0,00	0,00	0,48	3,23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,24	7,32	0,72	10,55
	7	0,27	2,21	0,48	3,23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,24	4,72	0,99	10,16
	9	0,27	1,33	0,48	3,23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,24	8,38	0,99	12,94
	10	0,00	0,00	0,48	3,23	0,32	1,74	0,00	0,00	0,24	1,06	1,04	6,03
	11	0,00	0,00	0,32 0,48	1,03 3,23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,24	0,69	1,04	4,95
	12	0,00	0,00	0,43	2,65	0,00	0,00	0,37	0,31	0,24	4,81	1,04	7,77
	13	0,00	0,00	0,32 0,43	1,13 2,65	0,00	0,00	0,00	0,00	0,24	2,00	0,99	5,78
	14	0,00	0,00	0,43	2,65	0,00	0,00	0,37	0,83	0,24	1,98	1,04	5,46
	15	0,32	4,19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,37	0,40	0,00	0,00	0,69	4,59
	16	0,42	2,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,37	1,38	0,00	0,00	0,79	3,46
	17	0,00	0,00	0,48	2,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,48	2,03
	18	0,00	0,00	0,48	1,88	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,48	1,88
	19	0,00	0,00	0,43	2,65	0,00	0,00	0,37	0,26	0,24	8,05	1,04	10,96
	20	0,27	2,37	0,43	2,65	0,00	0,00	0,00	0,00	0,24	9,84	0,94	14,86
	22	0,00	0,00	0,32 0,43	0,48 2,65	0,00	0,00	0,00	0,00	0,24	1,26	0,99	4,39
	23	0,42	2,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,42	2,08
	24	0,00	0,00	0,43	1,72	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,43	1,72
	25	0,27	7,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,54	2,03	0,00	0,00	0,81	9,28
	26	0,00	0,00	0,43	2,65	0,00	0,00	0,37	0,64	0,24	0,81	1,04	4,1
	27	0,42	3,95	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,24	0,58	0,66	4,53
	28	0,00	0,00	0,32 0,43	1,35 2,65	0,00	0,00	0,00	0,00	0,24	2,93	0,99	6,93
	29	0,00	0,00	0,48	10,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,48	10,02
	30	0,27	2,64	0,43	2,65	0,00	0,00	0,00	0,00	0,24	12,86	0,94	18,15
	31	0,00	0,00	0,48	3,52	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,48	3,52
	32	0,32	3,65	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,32	3,65
	33	0,00	0,00	0,48	3,23	0,00	0,00	0,37	0,22	0,24	12,09	1,09	15,54
B	12↔17	0,00	0,00	0,43 0,48	2,65 2,03	0,00	0,00	0,37	0,31	0,24	4,81	1,52	9,80
	13↔17	0,00	0,00	0,32 0,43 0,48	1,13 2,65 2,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,24	2,00	1,47	7,81
	14↔17	0,00	0,00	0,43 0,48	2,65 2,03	0,00	0,00	0,37	0,83	0,24	1,98	1,52	7,49
	15↔17	0,32	4,19	0,48	2,03	0,00	0,00	0,37	0,40	0,00	0,00	1,17	6,62
	15↔18	0,32	4,19	0,48	1,88	0,00	0,00	0,37	0,40	0,00	0,00	1,17	6,47
	16↔17	0,42	2,08	0,48	2,03	0,00	0,00	0,37	1,38	0,00	0,00	1,27	5,49
	24↔17	0,00	0,00	0,48 0,43	2,03 1,72	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,91	3,75
	32↔17	0,32	3,65	0,48	2,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,80	5,68
C	32↔18	0,32	3,65	0,48	1,88	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,80	5,53
	21	0,32	1,72	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,32	1,72

6.4.3. Mevcut durumdaki maliyetlerin hesaplanması

6.4.3.1. Mevcut durumdaki ortalama maliyetler

Mevcut durumdaki ortalama maliyetler; yolculuk süresi maliyeti, yakıt tüketimi maliyeti ve emisyon maliyeti bileşenlerinin, sırasıyla Çizelge 6.26, 6.23 ve 6.27’de, güzergâh kesimlerine göre ayrıntılı olarak verilen kilometre başına ve gerçek değerleri kullanılarak hesaplanmıştır. Burada, tıkanıklık fiyatlandırmasının ekonomik analizinde kullanılan ve başlangıç durumunu temsil eden, kilometre başına ortalama maliyetin yanı sıra talep eğrisinin, tür tercihi modelinden faydalanılarak üretilmesi aşamasında kullanılmak üzere gerçek değerler için bir ortalama maliyet hesabı da yapılmıştır. Ortalama maliyetlerin hesaplanmasında 6.2.5’de esasları açıklanan yöntemden faydalanılmıştır. Bu yönetime göre ilk adımda, tüm güzergâh kesimlerinde, maliyet bileşenlerinin yolculuklara göre ağırlıklı ortalamasının alınması suretiyle, her bir güzergâh kesimi için maliyet bileşenlerinin tutarı hesaplanmıştır. Bu aşamada yapılan hesaplamalar neticesinde, üç farklı yolculuk türü, üç farklı maliyet bileşeni ve beş farklı güzergâh kesimi tipi için toplam 45 adet ortalama maliyet değeri elde edilmiştir. Her yolculuk türü için, güzergâh kesimi tipi başına maliyet bileşenlerinin toplanması suretiyle bu 45 ortalama maliyet 15 adede düşürülmüştür. Hesaplanan bu 15 ortalama maliyet değerinin, yolculuk türü (δ) ve güzergâh kesimi (λ) dağılım katsayıları ile çarpılması sonucunda ise aranan tek maliyet değerine ulaşılmıştır. A, B ve C türü yolculuklar için kilometre başına ortalama maliyetler Çizelge 6.28’de, gerçek değerlere göre ortalama maliyetler ise Çizelge 6.29’da verilmiştir. Bu çizelgelerde verilen değerleri daha iyi açıklamak amacıyla bir örnek olmak üzere; Çizelge 6.28’de B türü, 0-1 tipi ana arter için “Emisyon” satır başlığında verilen 0,46 TL/km değerinin, bu tür yolculuklarda, 0-1 tipinde ana arterden geçen tüm yolculuklara göre ağırlıklı ortalama almak suretiyle hesaplanan bir ortalama emisyon maliyeti değeri olduğunu söylemek mümkündür.

Çizelge 6.30’da dağılım katsayılarının kullanılması suretiyle elde edilen sonuçlar kilometre başına ve gerçek değerler için ayrı ayrı sunulmuştur. Bu çizelgede “Yolculuk Türüne Göre Dağılım” satır başlığı ile sunulmuş değerleri elde etmek için, Çizelge 6.28 ve 6.29’da “Toplam” satır başlığında verilen değerler Çizelge 6.13’de verilen δ katsayıları ile çarpılmıştır. “Güzergâh Kesimi Tipine Göre Dağılım” satır başlığında verilen değerleri elde etmek için ise δ katsayıları ile çarpılarak hesaplanan

değerler, bu defa Çizelge 6.14’de verilen λ katsayıları ile çarpılmıştır. Sonuç ortalama maliyet değerlerini hesaplamak için, bu satırda verilen maliyetleri toplamak yeterli olmaktadır. Buna göre kilometre başına ortalama maliyet $0,23 + 0,77 + 0,01 + 0,37 + 0,18 = 1,56$ TL/km, gerçek değerlere göre ortalama maliyet ise $3,06 + 4,17 + 0,04 + 0,85 + 1,95 = 10,07$ TL olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 6.28 : Güzergâh kesimlerine göre, kilometre başına maliyet bileşenlerinin ağırlıklı ortalamaları.

Tür	Maliyet Bileşeni (TL/km)	Ana Arter				Otoyol
		0-0	0-1	1-0	1-1	
A	Yolculuk Süresi	0,42	0,57	0,47	0,62	0,26
	Emisyon	0,33	0,42	0,32	0,41	0,24
	Yakıt Tüketimi	0,63	0,80	0,61	0,79	0,47
	Toplam	1,37	1,79	1,40	1,81	0,97
B	Yolculuk Süresi	0,42	0,61	0,00	0,58	0,18
	Emisyon	0,34	0,46	0,00	0,37	0,24
	Yakıt Tüketimi	0,64	0,87	0,00	0,71	0,47
	Toplam	1,40	1,94	0,00	1,66	0,89
C	Yolculuk Süresi	0,41	0,00	0,00	0,00	0,00
	Emisyon	0,32	0,00	0,00	0,00	0,00
	Yakıt Tüketimi	0,62	0,00	0,00	0,00	0,00
	Toplam	1,35	0,00	0,00	0,00	0,00

Çizelge 6.29 : Güzergâh kesimlerine göre, gerçek maliyet bileşenlerinin ağırlıklı ortalamaları.

Tür	Maliyet Bileşeni (TL)	Ana Arter				Otoyol
		0-0	0-1	1-0	1-1	
A	Yolculuk Süresi	5,71	3,25	1,83	1,51	2,35
	Emisyon	4,50	2,43	1,27	1,03	2,89
	Yakıt Tüketimi	8,59	4,64	2,42	1,96	5,53
	Toplam	18,80	10,32	5,52	4,51	10,77
B	Yolculuk Süresi	4,81	2,70	0,00	0,90	2,06
	Emisyon	3,81	2,04	0,00	0,58	2,77
	Yakıt Tüketimi	7,28	3,90	0,00	1,11	5,30
	Toplam	15,89	8,65	0,00	2,60	10,12
C	Yolculuk Süresi	2,17	0,00	0,00	0,00	0,00
	Emisyon	1,72	0,00	0,00	0,00	0,00
	Yakıt Tüketimi	3,28	0,00	0,00	0,00	0,00
	Toplam	7,17	0,00	0,00	0,00	0,00

Çizelge 6.30 : Yolculuk türü ve güzergâh kesimi dağılım katsayılarının kullanılması.

Dağılım		Ana Arter				Otoyol
		0-0	0-1	1-0	1-1	
TL/km	Yolculuk Türüne Göre Dağılım	1,38	1,80	1,07	1,76	0,94
	Güzergâh Kesimi Tipine Göre Dağılım	0,23	0,77	0,01	0,37	0,18
TL	Yolculuk Türüne Göre Dağılım	18,01	9,82	4,19	4,02	10,50
	Güzergâh Kesimi Tipine Göre Dağılım	3,06	4,17	0,04	0,85	1,95

6.4.3.2. Mevcut durumdaki toplam maliyetler

Çizelge 6.31’de mevcut durumda toplam yolculuk maliyetleri A, B ve C türü yolculukların her biri için verilmiştir.

Çizelge 6.31 : A, B, C türü yolculukların mevcut durumda toplam yolculuk maliyetleri.

Tür	İlçe	Toplam Yolculuk Maliyeti (TL)
A	2	34,98
	3	33,83
	4	43,37
	5	34,49
	6	42,19
	7	42,63
	9	51,34
	10	28,57
	11	24,24
	12	28,90
	13	22,90
	14	21,66
	15	19,29
	16	14,80
	17	8,55
	18	7,95
	19	39,64
	20	56,25
	22	17,60
	23	8,62
	24	7,31
	25	39,10
	26	16,84
	27	18,32
	28	27,01
	29	42,33
	30	65,82
	31	14,85
	32	15,22
	33	59,27
B	12 ↔ 17	38,75
	13 ↔ 17	31,99
	14 ↔ 17	30,75
	15 ↔ 17	27,84
	15 ↔ 18	27,24
	16 ↔ 17	23,35
	24 ↔ 17	15,87
	32 ↔ 17	23,77
	32 ↔ 18	23,17
C	21	7,17

Çizelge 6.31’de verilen değerler, yolculuk süresi maliyeti, yakıt tüketimi maliyeti ve emisyon maliyeti bileşenlerinin mevcut durumdaki gerçek değerlerinin incelenen yolculuklar bazında toplanması suretiyle hesaplanmıştır.

6.4.4. Ortalama ve marjinal maliyet bağıntılarının elde edilmesi

Ortalama ve marjinal maliyet eğrilerinin çizilebilmesi için, (6.11) ve (6.12)’de verilen ilişkilerin kullanılması suretiyle ortalama maliyet ve ona bağlı olarak da marjinal maliyet bağıntıları elde edilmiştir. Bu bağıntılar sırasıyla (6.27) ve (6.28)’de verilmiştir.

$$\begin{aligned}
 OM &= 0,730 + 0,431 \cdot (Q/C) + 0,436 \cdot (Q/C)^2 + 0,194 \cdot (Q/C)^3 + \dots \\
 &\dots + 0,017 \cdot (Q/C)^{3,333} + 0,008 \cdot (Q/C)^{4,333} + \dots \\
 &\dots + \frac{8,02 \cdot [1 + (Q/C)]}{[3.738,83 + 10.199,64 \cdot (Q/C)^2 + 6.956,23 \cdot (Q/C)^4]} + \dots \\
 &\dots + \frac{20,07 \cdot [1 + (Q/C)]}{[8.552,92 + 15.426,74 \cdot (Q/C)^2 + 6.956,23 \cdot (Q/C)^4]} + \dots \\
 &\dots + \frac{0,44 \cdot [1 + (Q/C)]}{[9.093,52 + 15.906,81 \cdot (Q/C)^2 + 6.956,23 \cdot (Q/C)^4]} + \dots \\
 &\dots + \frac{9,94 \cdot [1 + (Q/C)]}{[16.051,88 + 21.133,91 \cdot (Q/C)^2 + 6.956,23 \cdot (Q/C)^4]} + \dots \\
 &\dots + \frac{8,76 \cdot [1 + (Q/C)]}{[1.319,14 + 1.047,40 \cdot (Q/C)^{3,333} + 207,91 \cdot (Q/C)^{6,666}]} \quad (6.27)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 MM &= 0,431 \cdot (Q/C) + 0,872 \cdot (Q/C)^2 + 0,582 \cdot (Q/C)^3 + \dots \\
 &\dots + 0,057 \cdot (Q/C)^{3,333} + 0,033 \cdot (Q/C)^{4,333} + \dots \\
 &\dots + \frac{29.999,21 \cdot (Q/C) - 163.677,34 \cdot (Q/C)^2 - 81.838,67 \cdot (Q/C)^3 - 223.258,19 \cdot (Q/C)^4 - 167.443,64 \cdot (Q/C)^5}{[3.738,83 + 10.199,64 \cdot (Q/C)^2 + 6.956,23 \cdot (Q/C)^4]^2} + \dots \\
 &\dots + \frac{171.619,87 \cdot (Q/C) - 619.094,89 \cdot (Q/C)^2 - 309.547,44 \cdot (Q/C)^3 - 558.324,75 \cdot (Q/C)^4 - 418.743,57 \cdot (Q/C)^5}{[8.552,92 + 15.426,74 \cdot (Q/C)^2 + 6.956,23 \cdot (Q/C)^4]^2} + \dots \\
 &\dots + \frac{4.014,04 \cdot (Q/C) - 14.043,06 \cdot (Q/C)^2 - 7.021,53 \cdot (Q/C)^3 - 12.282,38 \cdot (Q/C)^4 - 9.211,78 \cdot (Q/C)^5}{[9.093,52 + 15.906,81 \cdot (Q/C)^2 + 6.956,23 \cdot (Q/C)^4]^2} + \dots \\
 &\dots + \frac{159.622,45 \cdot (Q/C) - 420.317,95 \cdot (Q/C)^2 - 210.158,97 \cdot (Q/C)^3 - 276.695,38 \cdot (Q/C)^4 - 207.521,54 \cdot (Q/C)^5}{[16.051,88 + 21.133,91 \cdot (Q/C)^2 + 6.956,23 \cdot (Q/C)^4]^2} + \dots \\
 &\dots + \frac{11.556,53 \cdot (Q/C) - 30.583,21 \cdot (Q/C)^{3,333} - 21.407,33 \cdot (Q/C)^{4,333} - 12.141,54 \cdot (Q/C)^{6,666} - 10.320,12 \cdot (Q/C)^{7,666}}{[1.319,14 + 1.047,40 \cdot (Q/C)^{3,333} + 207,91 \cdot (Q/C)^{6,666}]^2} \quad (6.28)
 \end{aligned}$$

Mevcut durum için hesaplanan 1,56 TL/km tutarındaki kilometre başına ortalama yolculuk maliyeti (6.27)’de yerine konularak, bu denklemden Q/C değerinin çekilmesi suretiyle mevcut duruma ait Q/C değeri 0,849 olarak hesaplanmıştır. Böylece kullanıcı optimumunu temsil eden ortalama maliyet, Q/C çifti elde edilmiş olmaktadır.

6.5. Talep İlişkisinin Elde Edilmesi

Talep eğrisinin elde edilmesi için 6.3.4’de fayda fonksiyonları elde edilmiş olan Eminönü tür tercihi modelinden faydalanılmıştır. Kesikli tercih analizi modellerinde, fayda fonksiyonlarından faydalanarak, herhangi bir veri grubunu oluşturan bireylerin her biri için mevcut seçeneklerin tercih edilmesi olasılıklarını hesaplamak mümkündür. Burada, (6.20)’de genel hali verilen bağıntı kullanılarak, bireyler için hesaplanan olasılık değerlerinin toplanması suretiyle ise toplam türel seçim olasılıkları elde edilebilmektedir. Bu yaklaşıma paralel olarak, tıkanıklık fiyatlandırması uygulanması durumunda ortaya çıkacak talep eğrisinin elde edilmesi için, tıkanıklık fiyatının sıfır olduğu mevcut durumdan başlayarak farklı fiyat değerleri için birey bazında türel seçim olasılıklarının hesaplanması ve bu olasılıkların toplanarak toplu türel seçim olasılıklarının elde edilmesi yeterli olmaktadır. Bu hesaplamada kullanılan temel veri Ek A Çizelge A.1’de verilen lojit model verisinin, mevcut duruma ait, ilk 249 adedidir. Bu veriye 1 TL tıkanıklık fiyatından başlayarak, 1 TL tutarında aralıklarla, İMP Hane Halkı Anketi D.4 numaralı soruda (Bakınız: Şekil 6.7) yer alan fiyat aralıklarının en üst sınırı olan 15 TL değerine kadar tıkanık fiyatlandırması uygulanmış ve her durumda bireylerin türel seçim olasılıkları hesaplanmıştır. Çizelge 6.32’de bu hesaplamalar yer almaktadır. Çizelgede TF kolonu tıkanıklık fiyatını ifade etmektedir. #Oto ve #TT bireylerin türel seçim olasılıklarının toplamını, diğer bir deyişle 249 bireyden kaçının özel otomobili, kaçının toplu taşımayı tercih ettiğini göstermektedir. %Oto kolonunda, her farklı tıkanıklık fiyatı değeri için özel otomobilin tercih edilme yüzdesi yer almakta, F_{oto} kolonu ise bu yüzdedeki değişimi (azalmayı) göstermektedir. Q/C kolonu, 6.4.4’de hesaplanan mevcut duruma ait Q/C oranından başlayarak, her farklı tıkanıklık fiyatı tutarında, F_{oto} kolonunda verilen azalma miktarına bağlı olarak yeniden hesaplanan Q/C oranlarını vermektedir. Bu kolonda verilen değerlerin tıkanıklık fiyatının artması ile beraber azaldığı görülmektedir. Q/C kolonunda hesaplanan azalmalara karşı gelen kilometre başına maliyet tutarlarına geçebilmek için 6.4.3.1’de gerçek değerlere göre hesaplanan ortalama maliyet büyüklüğünden faydalanılmıştır. M_G kolonunda verilen ve mevcut durumdaki 10,07 TL tutarındaki ortalama maliyet değerinden başlayarak her farklı tıkanıklık fiyatı için ilgili tutarın eklenmesine bağlı olarak artarak giden ortalama maliyetler, %M kolonunda verilen ve yeni maliyetin başlangıç maliyetine göre yüzdesel artışını

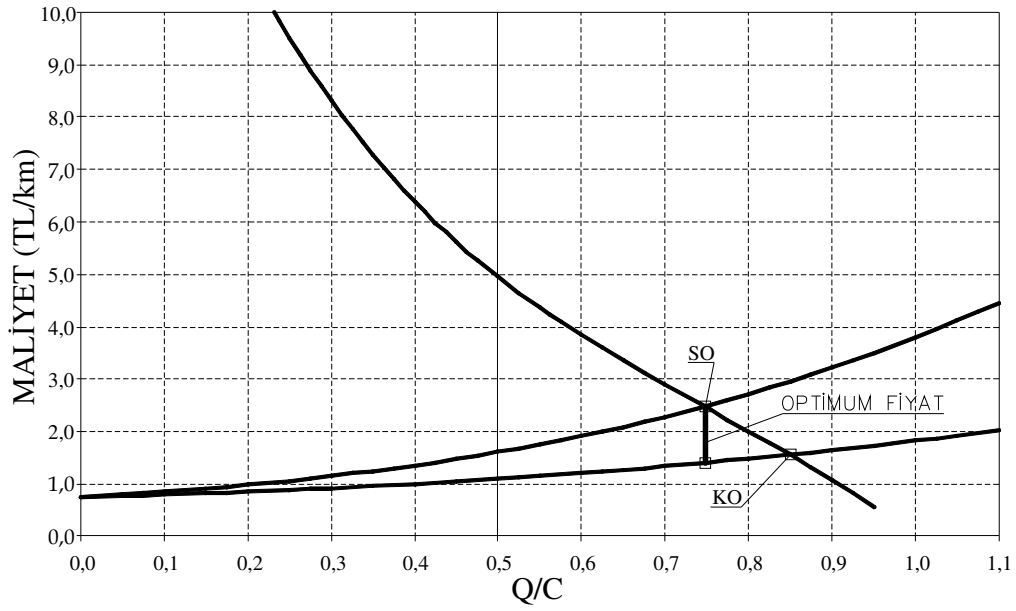
gösteren değerlerin hesaplanmasında kullanılmıştır. Buna göre örneğin; tıkanıklık fiyatı 5 TL iken, ortalama maliyette %49,68 oranında artış olmakta (%M kolonundan) ve özel otomobil kullanım miktarı (Q/C oranı) %10,08 oranında azalarak (F_{oto} kolonundan) 0,764 değerine (Q/C kolonundan) gerilemektedir. %M kolonundaki oranların bu defa M_O kolonunda verilen ortalama kilometre başına maliyetlere başlangıç değeri olan 1,56 TL/km değerinden başlayarak uygulanması suretiyle, ortalama kilometre başına maliyet ile Q/C oranı arasında aranan ilişki tespit edilmiş olmaktadır. Bu ilişki aynı zamanda talep eğrisi de veren ilişkidir.

Çizelge 6.32 : Talep ilişkisi hesaplamaları.

TF (TL)	#Oto	#TT	%Oto	F _{oto}	Q/C	M _G (TL)	%M	M _O (TL/km)
0	153,02	95,98	0,61	0,00	0,849	10,07	0,00	1,56
1	148,12	100,88	0,59	1,97	0,833	11,07	9,94	1,71
2	143,14	105,86	0,57	3,97	0,816	12,07	19,87	1,86
3	138,11	110,89	0,55	5,99	0,798	13,07	29,81	2,02
4	133,02	115,98	0,53	8,03	0,781	14,07	39,74	2,17
5	127,91	121,09	0,51	10,08	0,764	15,07	49,68	2,33
6	122,78	126,22	0,49	12,14	0,746	16,07	59,61	2,48
7	117,66	131,34	0,47	14,20	0,729	17,07	69,55	2,64
8	112,56	136,44	0,45	16,25	0,711	18,07	79,48	2,79
9	107,50	141,50	0,43	18,28	0,694	19,07	89,42	2,95
10	102,50	146,50	0,41	20,29	0,677	20,07	99,35	3,10
11	97,56	151,44	0,39	22,27	0,660	21,07	109,29	3,25
12	92,70	156,30	0,37	24,22	0,644	22,07	119,22	3,41
13	87,95	161,05	0,35	26,13	0,627	23,07	129,16	3,56
14	83,31	165,69	0,33	28,00	0,612	24,07	139,09	3,72
15	78,78	170,22	0,32	29,81	0,596	25,07	149,03	3,87

6.6. Optimum Fiyatın Değerinin Belirlenmesi

(6.27) ve (6.28)'de verilen ortalama ve marjinal maliyet bağıntıları ile 6.5'de elde edilen talep ilişkisinin kullanılması ile Şekil 6.8'de verilen ve optimum fiyatın hesaplanmasına olanak tanıyan eğriler çizilmiştir. Bu eğriler çizilirken, ortalama ve marjinal maliyet değerleri, ilgili bağıntılarda farklı Q/C değerleri yerine konularak elde edilmiş, talep eğrisi ise doğrudan doğruya Çizelge 6.32'de altıncı ve dokuzuncu kolonlarda verilen değerlerin ilgili eksen takımında işaretlenmesi suretiyle elde edilmiştir.



Şekil 6.8 : Optimum fiyat hesabında kullanılan ortalama maliyet, marjinal maliyet ve talep eğrileri.

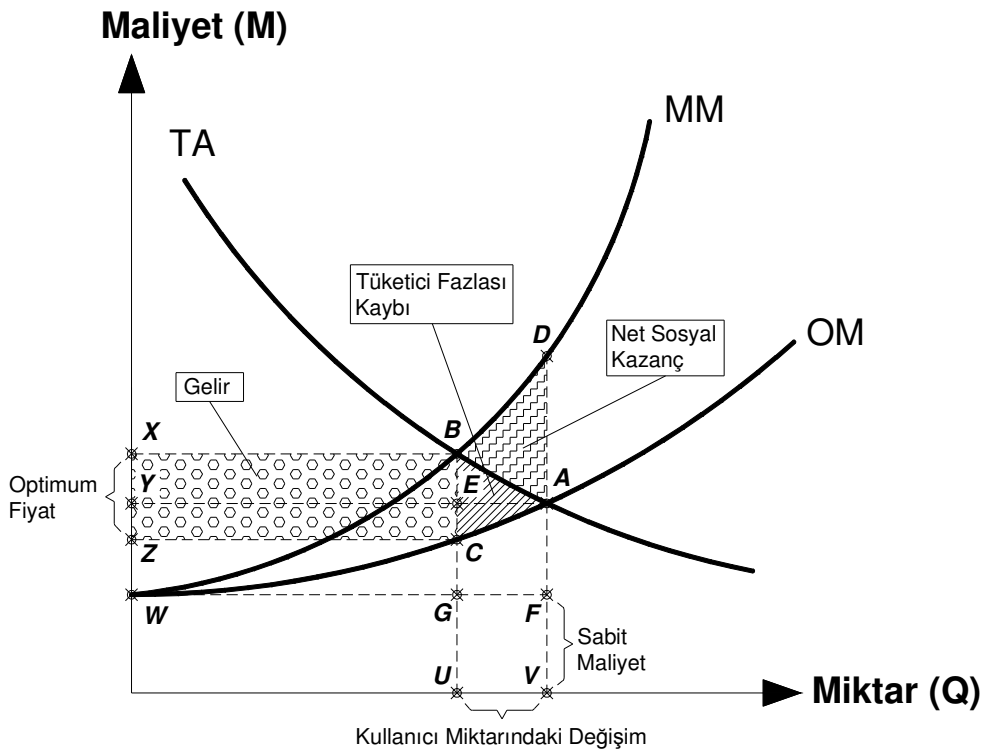
Şekil 6.8’de KO olarak ifade edilen ve koordinatları; $OM_{KO} = 1,56$ ile $Q/C_{KO} = 0,849$ olan nokta kullanıcı optimumu noktasıdır. Kullanıcı optimumu durumunda marjinal maliyet ise $MM_{KO} = 2,95$ olarak belirlenmiştir. Optimum fiyatın hesaplanacağı nokta ise, talep eğrisi ile marjinal maliyet eğrisinin kesiştiği ve şekilde SO olarak ifade edilen noktadır. Bu noktanın koordinatları ise; $OM_{SO} = 1,40$ ile $Q/C_{SO} = 0,747$ olarak belirlenmiştir. Bu noktada marjinal maliyet ise $MM_{SO} = 2,48$ olarak hesaplanmıştır. Daha önce yapılan tanımlama ve açıklamalar gereği optimum fiyat, sosyal optimumu noktasında marjinal maliyet ile ortalama maliyet arasındaki farka eşittir. Bu durumda, optimum fiyat $OF = 2,48 - 1,40 = 1,08$ TL/km olarak hesaplanmıştır. Eminönü yol ağını özel otomobilleri ile kullanan bireylerden, kat ettikleri kilometre başına 1,08 TL tahsil edilmesi durumunda ise Q/C oranı 0,849’dan 0,747 değerine gerileyecektir.

6.7. Fiyatlandırma Sonucunda Oluşan Kazanç ve Kayıplar

Bir fiyatlandırma uygulaması sonucunda belirli sayıda bireyin özel otomobillerini kullanmaktan vazgeçmeleri, bu bireylerin karşılayamayacakları ekonomik kayıplara uğrayacak olmalarının bir sonucudur. Özel otomobillerini kullanmaya devam eden bireyler ise, vazgeçen bireylerin varlığı ile trafik koşullarında yaşanan iyileşme

paralelinde bir avantaj sağlasalar da, ödemek durumunda kaldıkları fiyatın etkisi genellikle, bu avantajdan daha büyük olmaktadır.

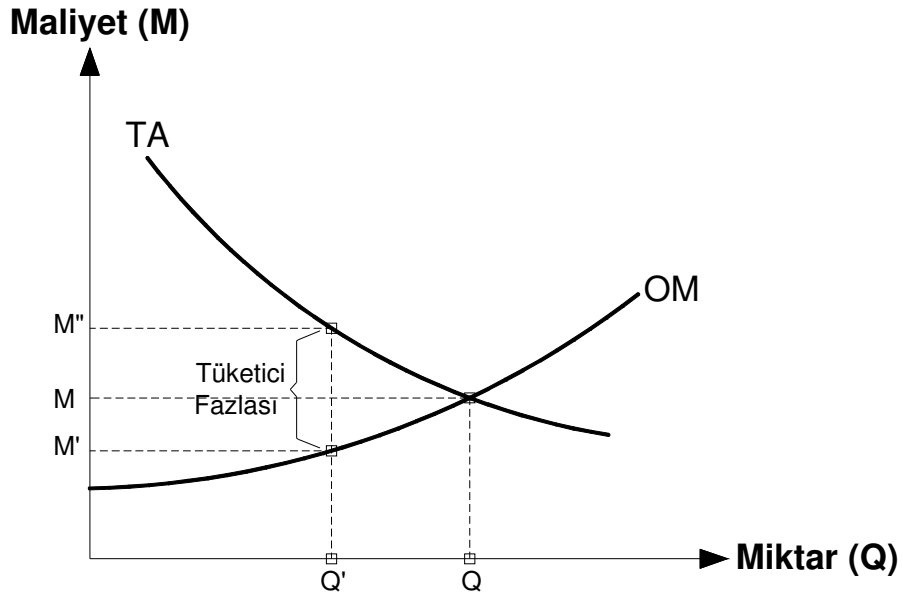
Fiyatlandırma sonucunda ortaya çıkan kayıp ve kazançların hesaplanmasında ortalama maliyet, marjinal maliyet ve talep eğrilerinin farklı tanımları kullanılmaktadır. Ekonomi teorisinde talep eğrisinin diğer bir adı marjinal özel fayda eğrisidir. Bireylerin herhangi bir malı tüketmeleri sonucunda bir fayda sağlayacaklarından hareketle talep eğrisi, bireylerin bu faydayı sağlamak için ödemeye razı oldukları tutarı göstermektedir. Bu tanıma paralel olarak, ortalama maliyet eğrisi (arz eğrisi) marjinal özel maliyet eğrisi olarak, marjinal maliyet eğrisi ise marjinal sosyal maliyet eğrisi olarak adlandırılmaktadır [14]. İlgili eğrilerin bu tanımlarından hareketle Şekil 6.9'da, ekonomik kayıp ve kazançlara ait belli başlı büyüklükler gösterilmiştir.



Şekil 6.9 : Fiyatlandırma ile ortaya çıkan ekonomik kayıp ve kazançlar [14].

Fiyatlandırma uygulamasının sonuçları toplumun bütünü için değerlendirildiğinde en önemli kayıplardan biri tüketici fazlası büyüklüğünde yaşanmaktadır. Tüketici fazlası, bir malı satın almak isteyen bir bireyin, malı razı olduğu fiyatın altında

alması durumunda oluşan kazanç olarak tarif edilebilmektedir. Tüketici fazlasının grafik gösterimi Şekil 6.10'da verilmiştir.



Şekil 6.10 : Tüketici fazlasının grafik gösterimi [7].

Şekil 6.10'da verilen ortalama maliyet (OM) ve talep (TA) eğrilerinin kesiştiği nokta denge noktası veya diğer bir deyişle mevcut arz-talep durumunu ifade eden noktadır. Herhangi bir miktarın talep eğrisi üzerindeki izdüşümü, ilgili miktar ile ifade edilen sayıda kullanıcının bu malın tüketimi için ödemeye razı olduğu fiyatı ifade etmektedir. Diğer taraftan, herhangi bir miktarın ortalama maliyet eğrisi üzerindeki izdüşümü ise, bu miktar ile ifade edilen sayıda kullanıcının tüketim için ödedikleri fiyatı ifade etmektedir. Karar vericinin belirlediği fiyatın, Şekil 6.10'da gösterilen M tutarında olması durumunda arz-talep dengesinin sağlanacağı açıktır. Malın fiyatının şekilde M' ile ifade edilen tutar olarak belirlenmesi durumunda; bireyler (talep eğrisinden anlaşılacağı üzere) M'' tutarını ödemeye hazır ve razı olmalarına rağmen, malı M' fiyatına alarak, M'' - M' tutarında bir tüketici fazlasından faydalanmaktadırlar.

Tekrar Şekil 6.9'a dönersek bu şekilde, marjinal özel fayda eğrisi (talep eğrisi) ile marjinal özel maliyet eğrisinin (ortalama maliyet eğrisi) kesişim noktası olan A noktası kullanıcı optimumuna işaret eden noktadır ve bu nokta mevcut durum veya başlangıç noktası olarak kabul edilmektedir. Başlangıç durumunda, toplam V adet kullanıcı için marjinal özel maliyet AV uzunluğuna eşittir. Marjinal maliyet

fiyatlandırması ile sosyal optimumunun sağlandığı nokta ise B noktasıdır ve bu noktadaki kullanıcı sayısı ise U kadardır. Kullanıcı sayısının, sistemin B noktasında dengeye gelmesi ile sağlanan bu değerden daha yüksek olduğu durumlarda toplam sosyal maliyetler, sosyal faydaları aşmaktadır.

Şekil 6.9'daki BC uzunluğu ile ifade edilen optimum fiyat, kullanıcı miktarının V değerinden U değerine düşmesini sağlayan fiyattır. Bu değer kullanıcı sayısının U olduğu noktada, marjinal dışsal maliyetlere; diğer bir deyişle ortalama maliyet ile marjinal maliyet arasındaki farka eşittir. Özel otomobillerini kullanmaya devam eden U kadar kullanıcının ödediği fiyat, toplam BCZX alanı kadar gelir elde edilmesini sağlayacaktır.

Özel otomobilleri ile yolculuk yapan sürücülerin yolculuk maliyetlerinin trafik tıkanıklığına bağlı olan bileşeni Şekil 6.9'daki AF uzunluğuna eşittir. Şekilden de görülebileceği gibi, bu değer AV uzunluğuna eşit olan toplam maliyetten FV uzunluğuna eşit olan sabit maliyetin çıkarılması ile elde edilebilmektedir. Özel otomobilleri ile yolculuk yapmaya devam eden kullanıcılar daha az trafik tıkanıklığı ile karşılaşacaklar ve daha yüksek hızlarda seyir imkanı bulacaklardır. Şekilden de görülebileceği gibi, kullanıcı miktarının V'den U'ya gerilemesi ile tıkanıklık maliyetinde $AF - CG = EC$ uzunluğuna eşit bir azalma sağlanmaktadır. Bu değer trafik koşullarının iyileşmesi sonucunda elde edilen bir kazançtır. Buna karşılık, bu bireyler BC tutarındaki fiyatı ödemek durumundadırlar ve fiyat tıkanık maliyetinin azalmasından elde edilen kazancı aşmaktadır. Bu bilgiler ışığında, fiyatlandırma uygulaması sonucunda özel otomobillerini kullanmaya devam eden bireylerin $BC - EC = BE$ uzunluğuna eşit tutarda bir net kayba uğradıklarını söylemek mümkündür.

Ortalama maliyet ile talep eğrisi arasındaki fark olan tüketici fazlası, fiyatlandırma sonucunda sosyal kayıp hanesine yazılan bir büyüklüktür. Marjinal maliyet fiyatlandırması ve optimum fiyat uygulaması sonucunda; Şekil 6.9'da ABC noktaları arasında kalan eğri alanına eşit büyüklükte bir tüketici fazlası kaybı olacağı açıktır.

Tekrar kullanıcı miktarının V olduğu başlangıç durumuna dönersek bu durumda, marjinal maliyet eğrisi ile ortalama maliyet eğrisi arasındaki AD uzunluğu kayıpların kazançları aşma miktarını, diğer bir deyişle karşılanmayan dışsal maliyetleri göstermektedir. Fiyatlandırma sonucunda kullanıcı sayısının U miktarına gerilemesi

ile beraber bu fark BC uzunluğuna gerilemektedir. Ancak bu durumda kullanıcılar, bu fark kadar bir fiyat ödemek durumunda kaldıkları için bir kayıp veya karşılanmayan bir maliyet mevcut değildir. Fiyatlandırma ile kullanıcı sayısında olan değişim ortalama maliyet ile marjinal maliyet eğrileri arasında kalan alan açısından değerlendirildiğinde; kullanıcı sayısının U'ya gerilemesi sonucunda ACBD alanı ile ortaya çıkan büyüklükte bir kaybın ortadan kalktığı görülmektedir. Öte yandan, aynı durumda bu alanın bir parçasını oluşturan ABC alanı kadar tüketici fazlası kaybı da mevcuttur. Ortadan kalkan kayıplar ve kazançların bir arada değerlendirilmesi sonucunda ABD ile gösterilen alan tutarında bir net sosyal kazanç olduğu görülmektedir.

Optimum fiyat sosyal optimumunu sağlayan tutardır. Fiyatlandırma gibi, bireylerin ilave maliyetler yüklenmesini gerektiren ancak diğer taraftan önemli bir gelir elde edilmesini sağlayan uygulamalarda çoğunlukla optimum fiyatı uygulamak uygun veya karlı görülmeyebilmektedir. Fiyatlandırma uygulamasının sağlayabileceği faydaları değerlendirmek amacıyla, Eminönü bölgesinde optimum fiyat haricinde, farklı fiyatlar tahsil edilmesi durumunda da ne gibi sonuçlar elde edilebileceği araştırılmıştır. Araştırılan fiyat, optimum fiyat hesabı için olduğu gibi kilometre başına belirlenmiştir. Tüm hesaplamalar, fiyatın 1 TL/km olduğu durumdan başlayarak, her 1 TL/km tutarındaki fiyat artışı için, Q/C oranını yaklaşık sıfıra eşit yapan fiyata ulaşıncaya kadar yapılmıştır. Kullanıcı sayısını sıfıra eşit yapan teorik fiyat 18,23 TL/km tutarındadır. Çizelgelerde, kıyaslama yapılmasına olanak tanımak amacıyla, ilk satırlar mevcut duruma ve optimum fiyata ait sonuçlara ayrılmıştır. Çizelge 6.33'de fiyatın değişimine göre kullanıcı sayısındaki ve elde edilen gelirlerdeki değişim verilmiştir. Bu çizelgede kullanıcı sayısı KS, kullanıcı sayısındaki azalma ise KS(-) kısaltmaları ile ifade edilmiştir. Çizelgeden görülebileceği gibi 1,08 TL/km olarak hesaplanan optimum fiyat, kullanıcı sayısında %12,03 oranında azalma yaratırken günlük 172.818 TL/km gelir elde edilmesini sağlayacaktır.

Çizelge 6.34'de tüketici fazlası kaybı (TFK), net kayıp (NK), tıkanıklık maliyeti kazancı (TMK), net sosyal kazanç (NSK) ile ilgili sonuçlar yer almaktadır. Ayrıca, NK ve TMK büyüklüklerinin, TFK içerisindeki miktarı da yüzde cinsinden sunulmuştur. Çizelge 6.34'de gün başına değerleri verilen TFK, NK, TMK ve NSK

büyükliklerinin kişi başına değerleri Çizelge 6.35’de verilmiştir. Bu çizelgede, kullanıcı sayısının yaklaşık sıfıra eşit olduğu fiyat için hesaplama yapılamamıştır.

Çizelge 6.33 : Farklı fiyatlar için kullanıcı sayısı ve gelir.

Fiyat	Q/C	KS	KS(-)	Gelir
		Kişi/gün	%	TL/gün/km
Mevcut	0,849	182.641	0	0
OF	0,747	160.675	12,03	172.818
1,00	0,754	162.251	11,16	162.251
2,00	0,658	141.542	22,50	283.085
3,00	0,568	122.066	33,17	366.198
4,00	0,489	105.198	42,40	420.793
5,00	0,423	90.993	50,18	454.967
6,00	0,366	78.743	56,89	472.457
7,00	0,317	68.240	62,64	477.679
8,00	0,274	59.014	67,69	472.110
9,00	0,236	50.799	72,19	457.193
10,00	0,202	43.344	76,27	433.441
11,00	0,170	36.646	79,94	403.103
12,00	0,141	30.415	83,35	364.980
13,00	0,115	24.682	86,49	320.870
14,00	0,090	19.347	89,41	270.855
15,00	0,067	14.324	92,16	214.864
16,00	0,045	9.618	94,73	153.890
17,00	0,024	5.161	97,17	87.739
18,00	0,004	934	99,49	16.803
18,23	0,000	0	100,00	0

Çizelge 6.34 : Farklı fiyatlar için çeşitli ekonomik büyüklükler.

Fiyat	[TFK]	[NK]		[TMK]		[NSK]
	TL/gün	TL/gün	%TFK	TL/gün	%TFK	TL/gün
OF	9.685	8.989	92,82	696	7,18	14.382
1,00	8.264	7.732	93,56	532	6,44	14.262
2,00	36.063	32.075	88,94	3.988	11,06	4.657
3,00	81.537	71.861	88,13	9.676	11,87	-27.297
4,00	138.552	122.204	88,20	16.348	11,80	-74.966
5,00	201.672	178.543	88,53	23.129	11,47	-131.669
6,00	269.168	239.396	88,94	29.772	11,06	-194.562
7,00	338.153	302.130	89,35	36.023	10,65	-260.210
8,00	408.334	366.419	89,74	41.915	10,26	-327.879
9,00	479.216	431.752	90,10	47.463	9,90	-396.824
10,00	551.059	498.323	90,43	52.736	9,57	-467.135
11,00	622.234	564.574	90,73	57.660	9,27	-537.103
12,00	694.497	632.105	91,02	62.392	8,98	-608.378
13,00	766.494	699.621	91,28	66.873	8,72	-679.574
14,00	838.540	767.391	91,52	71.150	8,48	-750.961
15,00	911.048	835.782	91,74	75.266	8,26	-822.920
16,00	983.328	904.126	91,95	79.202	8,05	-894.747
17,00	1.055.837	972.840	92,14	82.997	7,86	-966.879
18,00	1.128.422	1.041.765	92,32	86.658	7,68	-1.039.150
18,23	1.144.966	1.057.492	92,36	87.474	7,64	-1.055.629

Çizelge 6.35 : Çizelge 6.34’de verilen ekonomik büyüklüklerin kişi başına değerleri.

Fiyat	[TFK]	[NK]	[TMK]	[NSK]
	TL/kişi/gün	TL/kişi/gün	TL/kişi/gün	TL/kişi/gün
OF	0,06	0,06	0,004	0,09
1,00	0,05	0,05	0,003	0,09
2,00	0,25	0,23	0,03	0,03
3,00	0,67	0,59	0,08	-0,22
4,00	1,32	1,16	0,16	-0,71
5,00	2,22	1,96	0,25	-1,45
6,00	3,42	3,04	0,38	-2,47
7,00	4,96	4,43	0,53	-3,81
8,00	6,92	6,21	0,71	-5,56
9,00	9,43	8,50	0,93	-7,81
10,00	12,71	11,50	1,22	-10,78
11,00	16,98	15,41	1,57	-14,66
12,00	22,83	20,78	2,05	-20,00
13,00	31,05	28,35	2,71	-27,53
14,00	43,34	39,67	3,68	-38,82
15,00	63,60	58,35	5,25	-57,45
16,00	102,24	94,00	8,23	-93,03
17,00	204,57	188,49	16,08	-187,34
18,00	1.208,78	1.115,95	92,83	-1.113,15

Daha önce yapılan tanımları gereğince TMK ve NSK büyüklükleri kazanç, NK ve TFK kayıp özelliğindedir. Gerek Çizelge 6.34 ve gerekse Çizelge 6.35 göz önüne alındığında TMK değerlerinin diğer üç büyüklüğe ait değerlerden daha küçük olduğu göze çarpmaktadır. Fiyatın artması ve kullanıcı sayısının azalmasına paralel olarak artış gösteren bu büyüklükler incelendiğinde, fiyatlandırma ile özel araçlarını kullanmaya devam eden bireylerin, genel olarak, kayba uğrayacağını söylemek mümkündür. Diğer taraftan sosyal kazancı ifade eden NSK büyüklüğü de ancak belirli bir fiyata kadar anlamlı değerler almakta, fiyatın artması ile beraber negatif değerler olarak anlamını yitirmektedir (Bakınız: Çizelge 6.34 ve 6.35 son kolonlar).

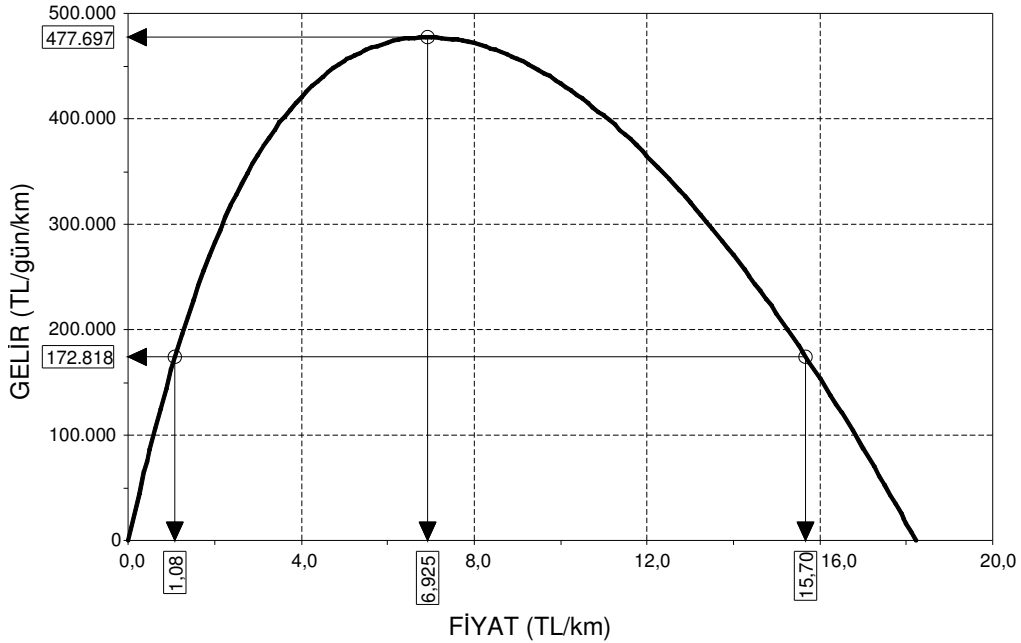
Fiyatlandırma uygulaması sonucunda ortaya çıkan kayıp ve kazançların araştırıldığı bu bölümde hesaplanan dört ekonomik büyüklük, kayıplar ile kazançlar arasındaki genel fark bakımından incelendiğinde; NSK büyüklüğünün anlamlı olduğu değerler için yapılan hesaplamalara göre genel kayıpların, genel kazançlara eşit olduğu fiyat 1,32 TL/km tutarındadır.

6.8. Çeşitli Duyarlılık Analizleri

Bu çalışmada, fiyatlandırmanın etkilerini daha iyi değerlendirmek amacıyla bir grup duyarlılık analizi gerçekleştirilmiştir. Bu analizler kapsamında yapılan değerlendirmeleri, farklı fiyatlar ile gelir ve kullanıcı sayısı arasındaki ilişkiler ve zaman değeri ile optimum fiyat arasındaki ilişki olmak üzere iki grupta toplamak mümkündür.

6.8.1. Fiyat-gelir-kullanıcı sayısı ilişkileri

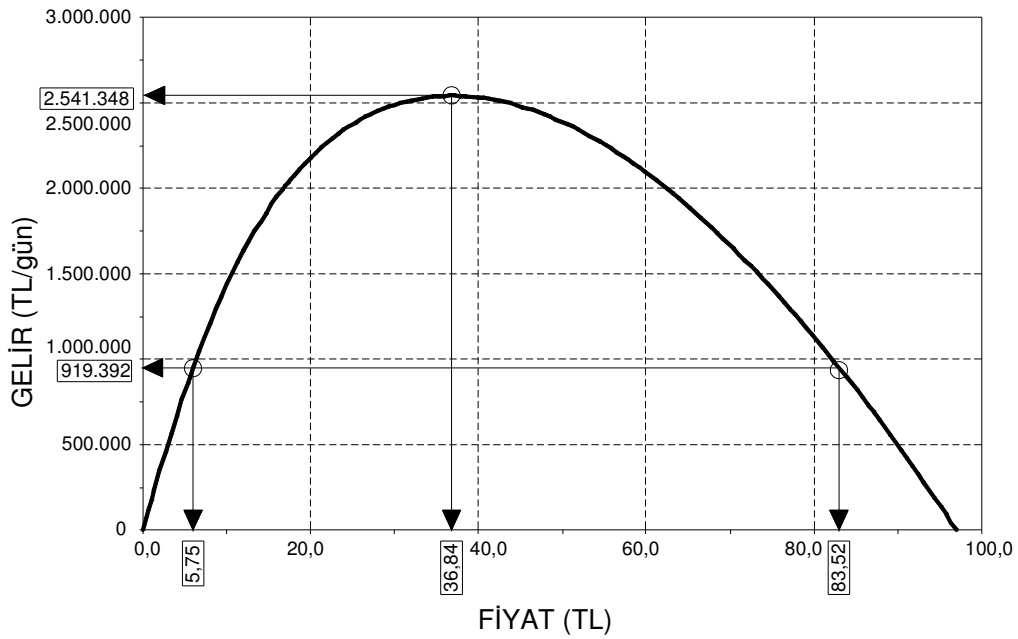
Fiyatlandırma uygulamasının, karar vericiler açısından, en kritik noktalarından biri elde edilen gelirin düzeyidir. Elde edilen günlük gelirlerin fiyata göre değişimi Şekil 6.11’de verilmiştir.



Şekil 6.11 : Elde edilen gelirlerin kilometre başına fiyatlara göre değişimi.

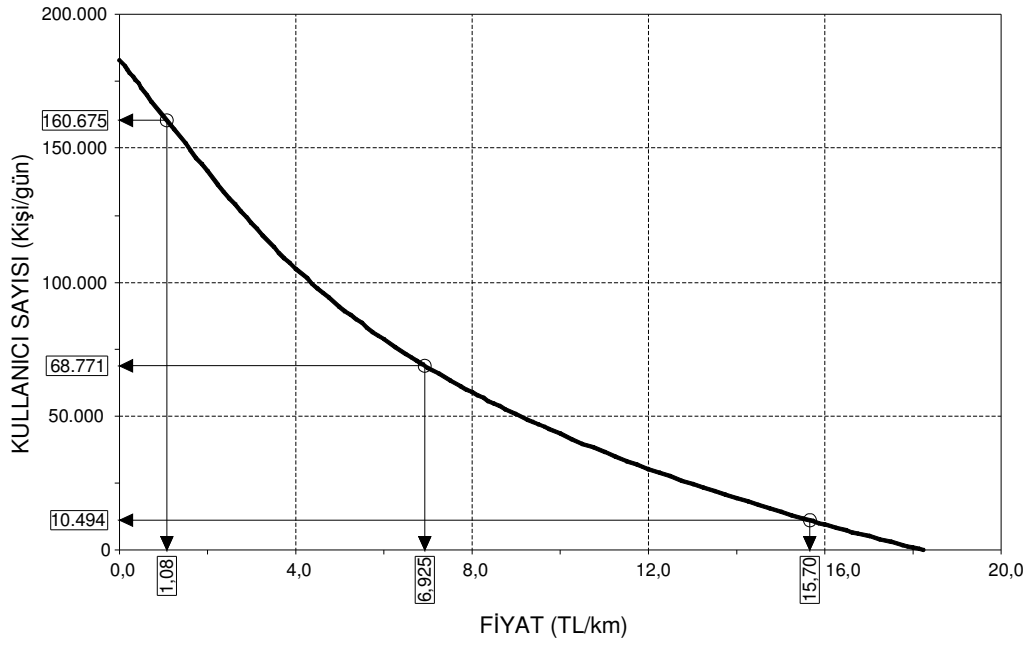
Şekil 6.11 incelendiğinde fiyat-gelir ilişkisinde, fiyatın belli bir eşik değerini aşmasından sonra fiyat artışları ile beraber gelirden azalma olduğu görülmektedir. Şekilden de görülebileceği gibi, fiyatın bahsi geçen eşik değeri, aynı zamanda 477.697 TL/gün/km ile en büyük geliri veren, 6,925 TL/km tutarındadır. Bu tutar optimum fiyatın yaklaşık 6,5 katına eşittir. 1,08 TL/km tutarındaki optimum fiyat ile 172.818 TL/gün/km gelir elde edilmekte, aynı geliri fiyatı 15,70 TL/km olarak belirleyerek de elde etmek mümkün olmaktadır. Aynı geliri veren bu iki durum

arasında Q/C oranı açısından önemli farklar bulunmaktadır. Optimum fiyat ile 0,747 değerinde olan Q/C oranı, aynı geliri veren 15,70 TL/km tutarındaki fiyat ile yalnızca 0,049 değerini almaktadır. Şekil 6.11’de kilometre başına fiyatlar için verilen fiyat-gelir ilişkisinin Eminönü bölgesinde ortalama seyir uzunluğu olarak kabul edilen 5,32 km (Bakınız: Çizelge 6.9) değeri kullanılarak, sabit fiyatlar için elde edilmiş hali Şekil 6.12’de verilmiştir. Sabit fiyatlar açısından optimum fiyatın 5,75 TL değerine, en büyük geliri veren fiyatın ise 36,84 TL değerine eşit olduğu görülmektedir. Sabit fiyatlar için en büyük gelir 2.541.348 TL/gün, optimum fiyat ile elde edilen gelir ise 919.392 TL/gün değerine ulaşmaktadır.

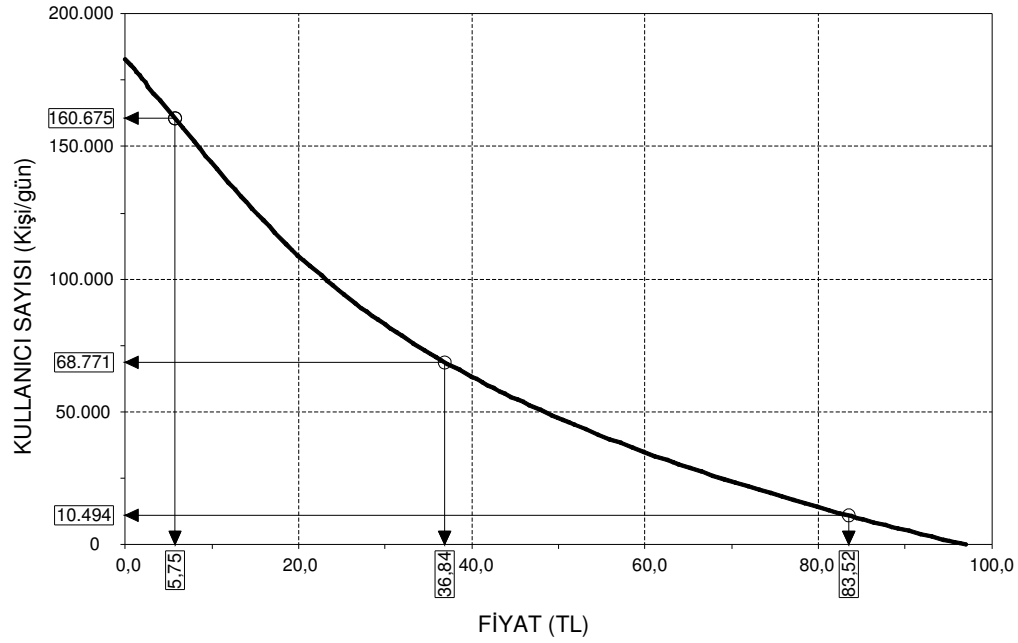


Şekil 6.12 : Elde edilen gelirlerin sabit fiyatlara göre değişimi.

Fiyat ile kullanıcı sayısı arasındaki ilişki Şekil 6.13’de verilmiştir. Bu ilişkide, beklendiği üzere, fiyatın artış göstermesi ile beraber kullanıcı sayısında azalmalar olduğu görülmektedir. Optimum fiyat uygulaması durumunda, başlangıçta 182.641 olan kullanıcı sayısının 160.675 değerine gerilemektedir. Diğer taraftan, en büyük geliri veren 6,925 TL/km tutarındaki fiyat ile özel otomobil kullanıcılarının sayısı %62,35 oranında azalarak 68.771 kişi/gün değerine kadar inmektedir. Optimum fiyat ile elde edilen gelire eşit bir gelir sağlayan 15,70 TL/km tutarı ise, kullanıcı sayısını %94,25 oranında bir azalma ile 10.494 değerine kadar çekmektedir. Şekil 6.13’de kilometre başına fiyatlar için sunulan fiyat-kullanıcı sayısı ilişkisinin, sabit fiyatlar için elde edilmiş hali Şekil 6.14’de verilmiştir.

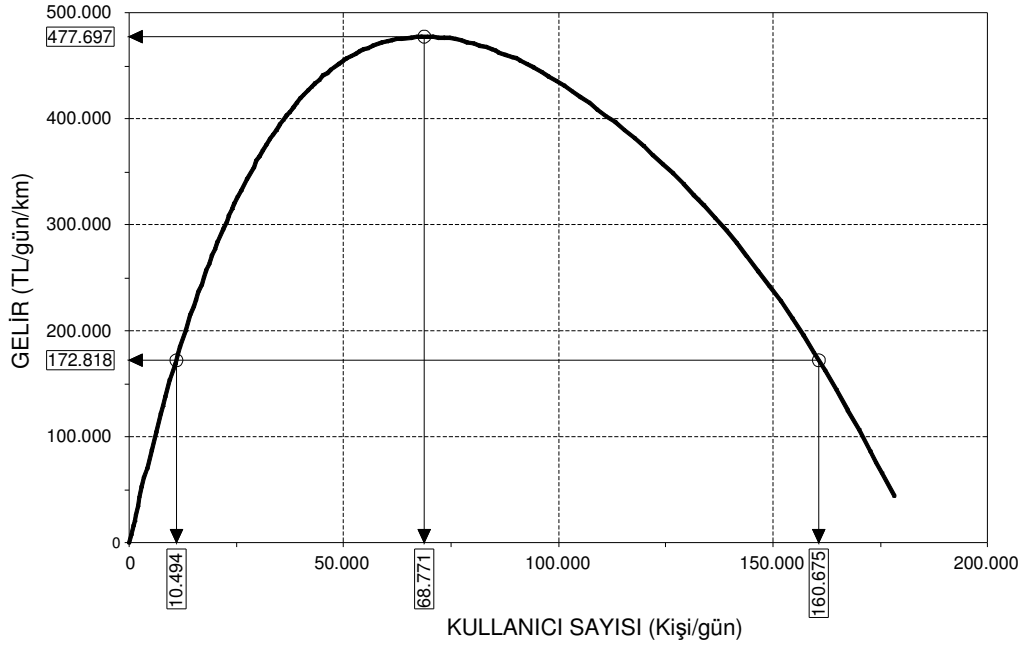


Şekil 6.13 : Kilometre başına fiyat-kullanıcı sayısı ilişkisinin grafik gösterimi.



Şekil 6.14 : Sabit fiyat-kullanıcı sayısı ilişkisinin grafik gösterimi.

Kullanıcı sayısı ile elde edilen günlük gelir arasındaki ilişki Şekil 6.15’de sunulmuştur. Bu ilişkinin fiyat ile günlük gelir arasındaki ilişki ile benzerlik gösterdiği görülmektedir.



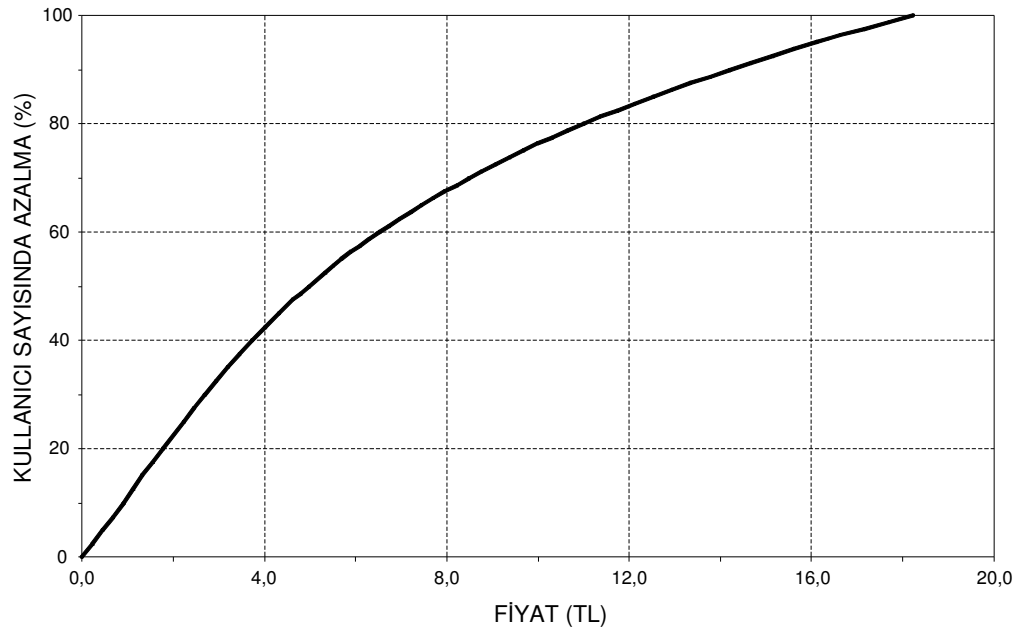
Şekil 6.15 : Kullanıcı sayısı-gelir ilişkisinin grafik gösterimi.

Fiyat-kullanıcı sayısı ilişkisinin bir başka boyutu, karar vericilerin fiyatlandırma uygulaması için önceden belirlenmiş hedefleri olması durumunda ortaya çıkmakta; fiyatlandırma sonucunda kullanıcı sayısında sağlanacak azalma için alt sınırlar veya hedef değerler bulunması söz konusu olabilmektedir. Böyle bir değerlendirmeye ışık tutmak amacıyla, Çizelge 6.36’da kullanıcı sayısının başlangıç durumundan itibaren, her %5 oranındaki azalması için tahsil edilmesi gereken fiyatlar sunulmuştur.

Çizelge 6.36 : Kullanıcı sayısındaki hedef azalmaları sağlayacak fiyatlar.

Fiyat (TL/km)	Fiyat (TL)	Kullanıcı Sayısı	Azalma (%)
0,00	0,00	182.641	0
0,46	2,45	173.509	5
0,90	4,79	164.377	10
1,33	7,08	155.245	15
1,77	9,42	146.113	20
2,22	11,81	136.981	25
2,69	14,31	127.849	30
3,19	16,97	118.717	35
3,73	19,84	109.585	40
4,32	22,98	100.453	45
4,97	26,44	91.321	50
5,70	30,32	82.189	55
6,52	34,69	73.056	60
7,45	39,63	63.924	65
8,50	45,22	54.792	70
9,68	51,50	45.660	75
11,01	58,57	36.528	80
12,52	66,61	27.396	85
14,21	75,60	18.264	90
16,11	85,71	9.132	95
18,23	96,98	0	100

Çizelge 6.36'da sunulan fiyatlar çizelgenin birinci kolonunda kilometre başına değerler olarak, ikinci kolonunda ise, sabit değerler olarak verilmiştir. Çizelgede verilen sonuçlara göre örneğin; karar vericinin fiyatlandırma uygulaması ile kullanıcı sayısında %25 oranında azalma sağlamayı hedefliyor olması durumunda, fiyatı 2,22 TL/km veya 11,81 TL olarak belirlemesi gerektiği görülmektedir. Çizelge 6.36'da verilen ilişki grafik olarak Şekil 6.16'da sunulmuştur. Bu sunumda, daha açıklayıcı olması açısından, yüzde cinsinden azalma ile sabit fiyatlar arasındaki ilişkinin verilmesi uygun görülmüştür.



Şekil 6.16 : Kullanıcı sayısında azalma (%) -sabit fiyat ilişkisinin grafik gösterimi.

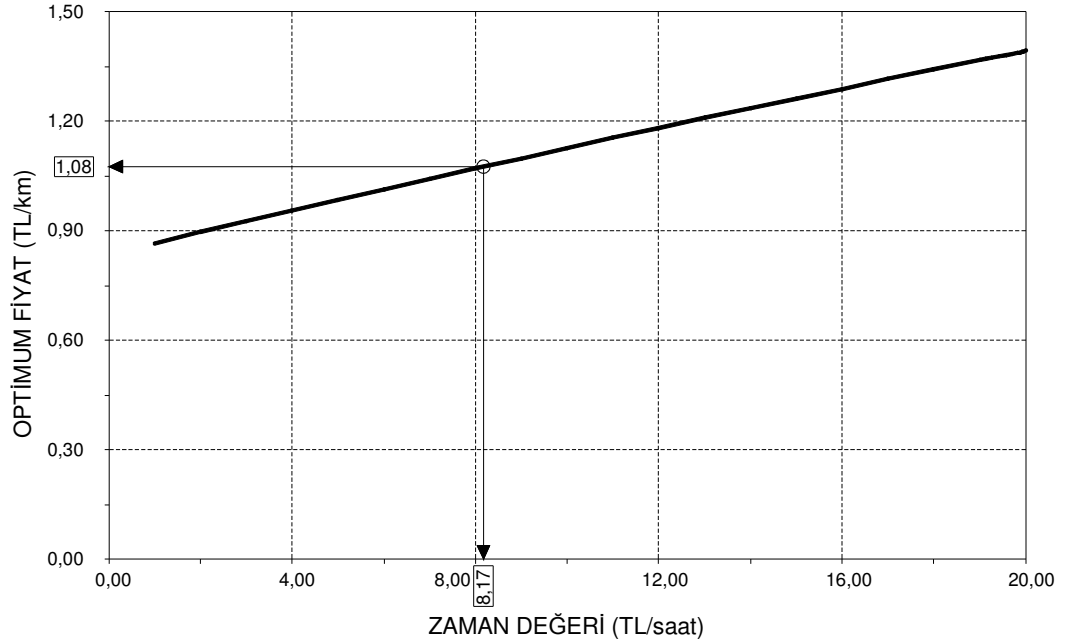
6.8.2. Zaman değeri-optimum fiyat ilişkisi

Bu çalışmada gerçekleştirilen duyarlılık analizleri kapsamında, zaman değeri ile optimum fiyat arasındaki ilişkinin araştırıldığı bir analize de yer verilmiştir. Bu analizin, farklı zaman değerlerinin temsil ettiği farklı gelir gruplarındaki bireyler açısından optimum fiyatın durumunu ortaya koyuyor olması itibariyle önemli olduğu düşünülmektedir. Çizelge 6.37'de zaman değerinin 1 TL/saat olduğu durumdan başlayarak her 1 TL'lik zaman değeri artışı için hesaplanan optimum fiyat değerleri, zaman değerinin 20 TL/saat olması durumuna kadar sunulmuştur. Çizelgede, ilgili zaman değeri tutarlarına karşılık gelen optimum fiyat değerleri, hem kilometre başına, hem de sabit tutarlar olarak verilmiştir.

Çizelge 6.37 : Farklı zaman değerleri için optimum fiyatlar.

Zaman Değeri (TL/saat)	Optimum Fiyat (TL/km)	Optimum Fiyat (TL)
1,00	0,87	4,61
2,00	0,90	4,77
3,00	0,93	4,93
4,00	0,96	5,09
5,00	0,99	5,24
6,00	1,01	5,39
7,00	1,04	5,55
8,00	1,07	5,70
9,00	1,10	5,85
10,00	1,13	5,99
11,00	1,15	6,14
12,00	1,18	6,29
13,00	1,21	6,43
14,00	1,24	6,57
15,00	1,26	6,72
16,00	1,29	6,86
17,00	1,31	7,00
18,00	1,34	7,13
19,00	1,37	7,27
20,00	1,39	7,41

Şekil 6.17’de, Çizelge 6.37’de verilen ilişkinin grafik olarak gösterimi yer almaktadır. Şekilde, Eminönü tıkanıklık fiyatlandırması modelinde hesaplanan zaman değeri ve optimum fiyatlara da yer verilmiştir.



Şekil 6.17 : Zaman değeri-optimum fiyat ilişkisinin grafik gösterimi.

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, İstanbul kentinin önemli sorunlarından biri olan trafik tıkanıklıklarına karşı üretilebilecek çözümlerden biri olan tıkanıklık fiyatlandırmasının, kentte uygulanabilirliğine yönelik bir araştırma gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla, çektiği talep, coğrafi konumu, ulaşım ağının özellikleri vb. gerekçelerle fiyatlandırma uygulamaları için uygun nitelikleri olan Eminönü bölgesi (Eski Eminönü ilçesi sınırları içinde kalan bölge) için bir tıkanıklık fiyatlandırması modeli geliştirilmiştir. Tıkanıklık fiyatlandırmasının klasik ekonomik analizine dayanan bu modelde, özel otomobilleri ile bölgeye yolculuk yapan bireylerin genelleştirilmiş yolculuk maliyetlerinde yolculuk süresi, yakıt tüketimi ve zararlı madde emisyonlarının maliyetleri yer almış, bireylerin ulaşım talebi ilişkisi ise bölge için oluşturulan bir tür tercihi modeli vasıtasıyla elde edilmiştir. Bu çalışmada geliştirilen model, gerek genelleştirilmiş maliyetin ayrıntılı olarak ele alınması ve gerekse bölgeye yönelik başka ulaşım planlaması çalışmalarında da işlev görebilecek olan bir tür tercihi modeli içermesi sebebiyle önemli bir modeldir.

Eminönü bölgesi için geliştirilen tıkanıklık fiyatlandırması modelinin kullanılması suretiyle, bireylerin yarattıkları dışsal etkinin karşılığına eşit olan ve bu yönüyle sosyal adaleti sağlama özelliğine sahip optimum fiyat değeri 1,08 TL/km olarak hesaplanmıştır. Bu değerin, Eminönü bölgesi yol ağında ortalama seyir uzunluğu olarak kabul edilen 5,32 km ile çarpılması durumunda ise optimum fiyatın sabit tutarı olarak 5,75 TL değeri elde edilmiştir. Eminönü bölgesine optimum fiyatın tahsil edildiği bir tıkanıklık ücretlendirmesi uygulaması trafiği %12'den fazla bir oranda azaltacak ve günlük 900.000 TL'yi aşan bir gelir elde edilmesine olanak verecektir. Öte yandan, fiyatın daha yüksek değerler seçilmesi ile hem trafikte daha fazla azalma hem de gelirden artış sağlanması mümkün olabilmektedir. Bu noktada eşik değer kullanıcı sayısını %62,35 oranında azaltmayı sağlarken günlük 2.500.000 TL'yi aşan bir gelir veren, sabit fiyatlarla 38,64 TL tutarıdır. En büyük geliri veren bu fiyatın aşılması ile beraber, trafikte azalmalar devam etse de, elde edilen gelirler de

azalmaya başlayacaktır. Bu değerlendirmeler ışığında her amaca hizmet edecek bir fiyat uygulaması hayata geçirebilmenin mümkün olduğu görülmektedir. Bu bağlamda görev karar vericilere düşmekte, uygulama hedeflerinin açık ve net bir şekilde belirlenmesi gerekmektedir.

Fiyatın belirlenmesinde etkili olacak faktörlerden biri de bu çalışma kapsamında değerlendirilmeye alınmayan ilk yatırım maliyetleridir. Seçilen teknolojiye bağlı olarak değişen ilk yatırım maliyetlerinin, sabit tesislerin inşa maliyetlerinin yanı sıra sistemde kullanılacak yazılımların maliyetleri de dâhil olmak üzere pek çok farklı kalemi içermesi söz konusudur. Amacı trafik tıkanıklığını sürdürülebilir ve yaşanabilir bir düzeye çekmek olan fiyatlandırma uygulamasının, ilk yatırım maliyetlerini kısa sürede karşılaması ayrıca, işletme maliyetlerini de karşılamasının ardından uygulamayı daha etkin hale getirecek çeşitli yatırımlar için de maddi kaynak kalması uygulamanın başarısı açısından kritik önemdedir. Karar vericilerin ücret tutarını tespit ederken; teknoloji, ilk yatırım ve işletme maliyetlerini ve uygulamaya ait olası açılımları bir bütün olarak değerlendirmeleri önemli bir gerekliliktir.

Bu çalışma, İstanbul'da ve Eminönü bölgesinde tıkanıklık fiyatlandırması konusunda ileriki yıllarda gerçekleştirilecek çalışmalar için bir referans teşkil etme özelliğine sahiptir. Bu bağlamda, bu konuda gelecekte yapılacak çalışmalar için çeşitli öneriler aşağıda sunulmuştur.

– Çalışmada, Eminönü bölgesine yapılan yolculuklarda kullanılacağı öngörülen ulaştırma ağının belirlenmesi amacıyla yoğun ve ayrıntılı bir analiz gerçekleştirilmiştir. Yolculuklar ise, belirlenen ulaşım ağına hepsi-ya da-hiç ataması ile yüklenmiştir. Bu atamanın güncel bir yazılımdan elde edilen bir model kullanılarak gerçekleştirilmesinin, hem işlem hacmini azaltmak, hem de daha gerçekçi sonuçlar elde etmek anlamında faydası olabileceği düşünülmektedir.

– Fiyatlandırma uygulaması ile elde edilen gelirlerin ve ortaya çıkması söz konusu olan ilave maliyetlerin gerçekçi bir şekilde değerlendirilebilmesi için, uygulamada kullanılabilecek teknolojiler tüm ayrıntılarıyla incelenmelidir. Bu çalışmada incelenen kat edilen mesafeye bağlı fiyatlandırma konusu kullanılacak teknolojiden bağımsız olarak değerlendirilmiştir.

– Çalışma kapsamında oluşturulan ve çalışmanın kritik unsurlarından biri olan Eminönü tür tercihi modeli geliştirilmeye açık bir modeldir. Son yıllardaki ulaşım yatırımları paralelinde bölgeye toplu taşıma ile ulaşım seçeneklerinde artış olmuştur. Tür tercihi modelinde bu yeni seçeneklere de yer verilebilmesi ve hesaplamaların, hiyerarşik lojit (nested logit) benzeri daha gerçekçi kesikli tercih analizi modelleri ile yapılabilmesi mümkündür.

– Eminönü tür tercihi modelinin oluşturulmasında kullanılan anket de, bu çalışmanın, gelecekte geliştirilebilmesi söz konusu olan bir parçasıdır. Bireylere teorik senaryolar karşısında tercihlerinin sorulduğu sanal tercih (stated preference) anketlerinin, gerçek tercihleri ile ilgili algılarının da sorulduğu mevcut tercih (revealed preference) anketleri ile desteklenmesi bu tip çalışmaları zenginleştirecek ve bireylerin tercihlerini daha iyi temsil edebilecek verilerin elde edilmesine yarayacak bir yaklaşımdır. Bu anketlerin hazırlanmasında olabildiğince çok senaryoya ve bireylerin sosyoekonomik özellikleri ile ilgili sorulara yer verilmesi elde edilen verinin kalitesine olumlu katkı sağlayacaktır.

Dünyadaki diğer fiyatlandırma uygulamaları ve bu uygulamaların sağladığı başarı ortadayken, ülkemizin ve İstanbul'un böyle bir uygulamadan mahrum kalması söz konusu olmamaktadır. Nitekim; çalışmada varılan sonuçlar, tıkanıklık fiyatlandırmasının İstanbul kentinde yaşanan trafik tıkanıklığı sorununun çözümünde önemli bir katkı sağlayabileceğini ortaya koymuştur.

KAYNAKLAR

- [1] **Nijkamp, P. and Shefer, D.**, 1998. Urban Transport Externalities and Pigouvian Taxes: A Network Approach, in *Road Pricing, Traffic Congestion and the Environment: Issues of Efficiency and Social Feasibility*, p. 171-189, Eds. Button, K.J. and Verhoef, E.T., Edward Elgar Publishing, Cheltenham.
- [2] **Cambridge Systematics, Inc.**, 2005. Traffic Congestion and Reliability: Trends and Advanced Strategies for Congestion Mitigation, Final Report prepared for FHWA, Massachusetts.
- [3] **Yayla, N.**, 2004: Karayolu Mühendisliği, Birsen Yayınevi, İstanbul, Türkiye.
- [4] **Schrank, D. and Lomax, T.**, 2005. The 2005 Urban Mobility Report, Texas Transportation Institute, Texas.
- [5] **APTA**, 2003. Critical Relief for Traffic Congestion: The Benefits of Public Transportation, American Public Transportation Association, Washington, D.C.
<<http://www.apta.com/research/info/online/congestion.cfm>>
- [6] **EC/DG Energy and Transport**, 2007. EU Energy and Transport in Figures: Statistical Pocketbook 2006, Office for Official Publications of the EC, Luxembourg.
- [7] **Jones, P.**, 1998. Urban Road Pricing: Public Acceptability and Barriers to Implementation, in *Road Pricing, Traffic Congestion and the Environment: Issues of Efficiency and Social Feasibility*, p. 263-284, Eds. Button, K.J. and Verhoef, E.T., Edward Elgar Publishing, Cheltenham.
- [8] **Richardson, H. W. and Bae, C. H. C.**, 1998. The Equity Impacts of Road Congestion Pricing, in *Road Pricing, Traffic Congestion and the Environment: Issues of Efficiency and Social Feasibility*, p. 247-262, Eds. Button, K.J. and Verhoef, E.T., Edward Elgar Publishing, Cheltenham.
- [9] **De Borger, B., Peirson, J. and Vickerman, R.**, 2001. An Overview of Policy Instruments, in *Reforming Transport Pricing in the European Union: A Modelling Approach*, p. 37-50, Eds. De Borger, B. and Proost, S., Edward Elgar Publishing, Cheltenham.

- [10] **Button, K. J.**, 1998. Road Pricing and the Alternatives for Controlling Road Traffic Congestion, in *Road Pricing, Traffic Congestion and the Environment: Issues of Efficiency and Social Feasibility*, p. 113-135, Eds. Button, K.J. and Verhoef, E.T., Edward Elgar Publishing, Cheltenham.
- [11] **INFRAS**, 2000. Variabilisation and Differentiation Strategies in Road Taxation: Theoretical and Empirical Analysis, ECMT Group on Transport and Environment, Zurich.
- [12] **FHWA**, 2000. Our Nation's Highways 2000, **Publication No. FHWA-01-1012**, Office of Highway Policy Information, Washington, D.C.
- [13] **IMF**, 2006. World Economic Outlook: Globalisation and Inflation, IMF World Economic Financial Surveys, Washington, D.C.
- [14] **Button, K. J.**, 2004. The Rationale For Road Pricing: Standard Theory And Latest Advances, in *Road Pricing: Theory and Evidence, Research in Transportation Economics, Volume 9*, p. 3-25, Ed. Santos, G., Elsevier Ltd., Oxford.
- [15] **Levinson, D. M.**, 1998. Road Pricing in Practice, in *Road Pricing, Traffic Congestion and the Environment: Issues of Efficiency and Social Feasibility*, p. 14-38, Eds. Button, K.J. and Verhoef, E.T., Edward Elgar Publishing, Cheltenham.
- [16] **FHWA**, 2005. Toll Facilities in the United States: Bridges-Roads-Tunnels-Ferries, **Publication No. FHWA-PL-05-018**, Office of Highway Policy Information, Washington, D.C.
<<http://www.fhwa.dot.gov/ohim/tollpage.htm>>
- [17] **Small, K. A. and Gomez-Ibanez, J. A.**, 1998. Road Pricing for Congestion Management: The Transition from Theory to Policy in *Road Pricing, Traffic Congestion and the Environment: Issues of Efficiency and Social Feasibility*, p. 213-246, Eds. Button, K.J. and Verhoef, E.T., Edward Elgar Publishing, Cheltenham.
- [18] **Ramjerdi, F., Minken, H. and Ostmo, K.**, 2004. Norwegian Urban Tolls, in *Road Pricing: Theory and Evidence, Research in Transportation Economics, Volume 9*, p. 237-249, Ed. Santos, G., Elsevier Ltd., Oxford.
- [19] **Santos, G. and Fraser, G.**, 2006: Road Pricing: Lessons from London, *Economic Policy*, **21**, 265-310.
- [20] **Ministry of Transport**, 1964: Road Pricing: The Economic and Technical Possibilities, HMSO, London.
- [21] **Santos, G.**, 2004. Urban Road Pricing in the UK, in *Road Pricing: Theory and Evidence, Research in Transportation Economics, Volume 9*, p. 251-282, Ed. Santos, G., Elsevier Ltd., Oxford.

- [22] **Url-1** <<http://www.cclondon.com>>, alındığı tarih 19.08.2007.
- [23] **Transport for London**, 2006. Impacts Monitoring: Fourth Annual Report, Mayor of London, TfL, London.
- [24] **Url-2** <<http://www.stockholmsforsoket.se>>, alındığı tarih 25.08.2007.
- [25] **SNRA**, 2006. Trial Implementation of a Congestion Tax in Stockholm, Swedish National Road Administration, Vagverket, Stockholm.
<http://publikationswebbutik.vv.se/upload/837/88878_trial_implementation_of_a_congestion_tax_in_stockholm_3_january_31_july_2006_utg_2.pdf>
- [26] **SNRA**, 2006. Facts and Results from the Stockholm Trials-Final Version-December 2006, Swedish National Road Administration, Congestion Charge Secreteriat, Stockholm.
< <http://www.stockholmsforsoket.se/templates/page.aspx?id=12555>>
- [27] **Yüksel, H.**, 2005. Toplu Taşımacılığın Geliştirilmesi İçin Bir Tıkanıklık Fiyatlandırması Modeli Önerisi, *Doktora Tezi*, YTÜ, İstanbul.
- [28] **Yüksel, H. ve Yardım, M. S.**, 2008. Tıkanıklık Ücretlendirmesi Uygulamalarının Eminönü Bölgesi'nde Bir Trafik İyileştirme Yöntemi Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması, Araştırma Projesi, İBB, İstanbul.
- [29] **Blythe, P. T.**, 1999. RFID For Road Tolling, Road-Use Pricing and Vehicle Access Control, *Proc. Coloquium on RFID Technology*, Institution of Electrical Engineers, London, UK, October.
- [30] **Url-3** <<http://www.aselsan.com.tr>>, alındığı tarih 12.05.2007.
- [31] **Pietrzyk M. and Mierzejewski, E. A.**, 1993. Electronic Toll and Traffic Management (ETTM) Systems: A Synthesis Of Highway Practice, National Cooperative Highway Research Program, Synthesis of Highway Prattice 194, Transportation Research Board, National Academy Press, Washington, D.C.
- [32] **Url-4** <<http://www.geocities.com/Heartland>>, alındığı tarih 25.11.2006.
- [33] **Url-5** <<http://www.kgm.gov.tr>>, alındığı tarih 15.05.2007.
- [34] **Url-6** <[http://en.wikipedia.org/wiki/Electronic_Road_Pricing_\(Singapore\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Electronic_Road_Pricing_(Singapore))>, alındığı tarih 18.12.2007.
- [35] **Kageson, P. and Dings, J.**, 2000. Electronic Kilometre Charging for Heavy Goods Vehicles in Europe, European Federation for Transport and Environment, Revised Edition, Brussels.
- [36] **Nielsen, J. B.**, 2005. Technology for Pricing Policy-Experiences with Current Schemes, **Publication No. 05.9002.22**, CE, Delft.

- [37] **Blythe, P. T.**, 2004: Congestion Charging: Challenges to Meet the UK Policy Objectives, *Review of Network Economics*, **3**, 56-70.
- [38] **FHWA**, 2006. Congestion Pricing: A Primer, **Publication No. FHWA-HOP-07-074**, Office of Transportation Management, Washington, D.C.
<<http://www.ops.fhwa.dot.gov/publications/congestionpricing>>
- [39] **TTI**, 2005. Managed Lanes Handbook, **Report No. 0-4160-24**, Texas Transportation Institute, Texas.
<<http://tti.tamu.edu/document/0-4160-24.pdf>>
- [40] **Highways Agency**, 2005. Ramp Metering Summary Report, An Executive Agency of the Department for Transport, London.
<<http://www.highways.gov.uk/knowledge/8872.aspx>>
- [41] **Stewart, P.**, 2000. Ramp Metering Study: Executive Summary, **TPRAMP2/55129**, SIAS Limited, Dundee.
<<http://www.scotland.gov.uk/Resource/Doc/47095/0026900.pdf>>
- [42] **Sorensen, P. A. and Taylor, P. D.**, 2005. Review and Synthesis of Road-Use Metering and Charging Systems, Transportation Research Board of the National Academies, Washington, D.C.
<<http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/news/university/SRFuelTaxRoad-MeterPaper.pdf>>
- [43] **Dodoo, N. A. and Thorpe, N.**, 2004. Towards Fair and Efficient Charging for Heavy Goods Vehicles, *12th IEE International Conference on Road Transport Information & Control*, London, UK, 20-22 April.
- [44] **Liechti, M. and Renshaw, N.**, 2006. A Price Worth Paying: A Guide to the New EU Rules for Road Tolls for Lorries, T&E-European Federation for Transport and Environment, **T&E 06/1**, T&E Publication, Brussels.
- [45] **Schade, J. and Schlag, B.**, 2000. Acceptability of Urban Transport Pricing, Government Institute for Economic Research, VATT Research Reports, **No. 72**, Helsinki.
- [46] **Bilenne, O., Börjesson, M., Fific, S. Frisoni, R., Kotsev, A., Panwai, S., Schussler, N., Tezcan, H. O., Torok, A. and Huu, M. T.**, 2005. Road Pricing: Valuation and Simulation Issues, INFRATRAN Autumn School, Supported Marie Curie Action by the European Commission, Berlin University of Technology, Berlin.
- [47] **Url-7** <http://en.wikipedia.org/wiki/Mayor_of_London>, alındığı tarih 20.05.2007.
- [48] **Schlag, B. and Teubel, U.**, 1997: Public Acceptability of Transport Pricing, *IATSS Research*, **21**, 134-142.
- [49] **Schade, J. and Schlag, B.**, 2003: Acceptability of Urban Transport Pricing Strategies, *Transportation Research Part F*, **6**, 45-61.

- [50] **Department for Transport**, 2007. What is in town, without my car?
<http://www.dft.gov.uk/pgr/sustainable/awareness/itwmc/whatisintownwithoutmycar>
- [51] **Choptiany, L.**, 1973: A Critique of John Rawls' Principles of Justice, *Ethics*, **83**, 146-150.
- [52] **Raux, C. and Souche, S.**, 2003. An Analytical framework of Pricing Acceptability: Application to Four Case Studies, in *Acceptability of Transport Pricing Strategies*, p. 153-168, Eds. Schade, J. and Schlag, B., Elsevier Ltd., Oxford.
- [53] **Levinson, D.**, 2002: Identifying Winners and Losers in Transportation, *Transportation Research Record*, **1812**, 179-185.
- [54] **Viegas, J. M.**, 2001: Making Urban Road Pricing Acceptable and Effective: Searching for Quality and Equity in Urban Mobility, *Transport Policy*, **8**, 289-294.
- [55] **Sheffi, Y.**, 1985: Urban Transportation Networks: Equilibrium Analysis with Mathematical Programming Methods, Prentice Hall, Inc., New Jersey.
- [56] **Beckman, M., McGuire, C. B. and Winsten, C. B.**, 1955: Studies in the Economics of Transportation, Yale University Press, The Cowles Commission, New Haven.
- [57] **Patriksson, M.**, 1994: The Traffic Assignment Problem – Models and Methods, VSP BV, Utrecht.
- [58] **Ortuzar, J. D. and Willumsen, L. G.**, 1996: Modelling Transport – Second Edition, John Wiley & Sons Ltd., West Sussex.
- [59] **Lin, W. H. and Lo, H. K.**, 2000: Are the Objective and Solutions of Dynamic User-Equilibrium Models Always Consistent?, *Transportation Research Part A*, **34**, 137-144.
- [60] **Lindsey, C. R. and Verhoef, E. T.**, 2000. Congestion Modelling, in *Handbook of Transport Modelling*, p. 353-373, Eds. Hensher, D.A. and Button, K.J., Elsevier Science Ltd., Oxford.
- [61] **Altman, E. and Wynter, L.**, 2004: Equilibrium, Games and Pricing in Transportation and Telecommunication Networks, *Networks and Spatial Economics*, **4**, 7-21.
- [62] **Akiyama, T., Mun, S. and Okushima, M.**, 2004: Second Best Congestion Pricing in Urban Space: Cordon Pricing and Its Alternatives, *Review of Network Economics*, **3**, 401-414.
- [63] **Lo, H. K. and Szeto, W. Y.**, 2005: Road Pricing Modelling for Hyper-Congestion, *Transportation Research Part A*, **39**, 705-722.

- [64] **Larsson, T. and Patriksson, M.**, 1999: Side Constrained Traffic Equilibrium Models – Analysis, Computation and Applications, *Transportation Research Part B*, **33**, 233-264.
- [65] **Prashker, J. N. and Bekhor, S.**, 2000: Some Observations on Stochastic User Equilibrium and System Optimum of Traffic Assignment, *Transportation Research Part B*, **34**, 277-291.
- [66] **Morrison, S. A.**, 1986: A Survey of Road Pricing, *Transportation Research Part A*, **20**, 87-97.
- [67] **Verhoef, E. T.**, 1999: Time, Speeds, Flows and Densities in Static Models of Road Traffic Congestion and Congestion Pricing, *Regional Science and Urban Economics*, **29**, 341-369.
- [68] **Verhoef, E. T.**, 2001: An Integrated Dynamic Model of Road Traffic Congestion Based on Simple Car Following Theory: Exploring Hypercongestion, *Journal of Urban Economics*, **49**, 505-542.
- [69] **Verhoef, E. T.**, 2003: Inside The Queue: Hypercongestion and Road Pricing in a Continuous Time-Continuous Place Model of Traffic Congestion, *Journal of Urban Economics*, **54**, 531-565.
- [70] **Verhoef, E. T.**, 2005: Speed-Flow Relations and Cost Functions for Congested Traffic: Theory and Empirical Analysis, *Transportation Research Part A*, **39**, 792-812.
- [71] **Walters, A. A.**, 1961: The Theory and Measurement of Private and Social Cost of Highway Congestion, *Econometrica*, **29**, 676-699.
- [72] **Hau, T. D.**, 1998. Congestion Pricing and Road Investment, in *Road Pricing, Traffic Congestion and the Environment: Issues of Efficiency and Social Feasibility*, p. 39-78, Eds. Button, K.J. and Verhoef, E.T., Edward Elgar Publishing, Cheltenham.
- [73] **Lindsey, C. R. and Verhoef, E. T.**, 2000. Traffic Congestion and Congestion Pricing, *Tinbergen Institute Discussion Paper*, **TI 2000-101/3**, Tinbergen Institute, Amsterdam-Rotterdam.
- [74] **Verhoef, E. T.**, 2000: The Implementation of Marginal External Cost Pricing in Road Transport: Long Run vs. Short Run and First Best vs. Second Best, *Papers in Regional Science*, **79**, 307-332.
- [75] **Yang, H. and Huang, H. J.**, 1998: Principle of Marginal-Cost Pricing: How Does it Work in a General Road Network, *Transportation Research Part A*, **32**, 45-54.
- [76] **Prud'homme, R. and Bocarejo, J. P.**, 2005: The London Congestion Charge: A Tentative Economic Appraisal, *Transport Policy*, **12**, 279-287.
- [77] **Rouwendaal, J. and Verhoef, E. T.**, 2006: Basic Economic Principles of Road Pricing: From Theory to Applications, *Transport Policy*, **13**, 106-114.

- [78] **Arnott, R. and Kraus, M.**, 2003. Principles of Transport Economics, in *Handbook of Transportation Science*, p. 689-726, Ed. Randolph, W.H., Kluwer Academic Publishers, New Jersey.
- [79] **Li, M. Z. F.**, 2002: The Role of Speed-Flow Relationship in Congestion Pricing Implementation with and Application to Singapore, *Transportation Research Part B*, **36**, 731-754.
- [80] **Rouwendal, J.**, 2002. Speed Choice, Car Following Theory and Congestion Tolling, *Tinbergen Institute Discussion Paper*, **TI 2002-102/3**, Tinbergen Institute, Amsterdam-Rotterdam.
- [81] **Türkkan, E.**, 1984: İktisat Politikalarına ve İktisadi Analize Yeni Bir Bakış, Hacettepe Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Yayınları No:7, Ankara.
- [82] **Rouwendal, J. and Verhoef, E. T.**, 2004. Second-Best Pricing for Imperfect Substitutes in Urban Networks, in *Road Pricing: Theory and Evidence, Research in Transportation Economics, Volume 9*, p. 27-60, Ed. Santos, G., Elsevier Ltd., Oxford.
- [83] **Verhoef, E. T., Nijkamp, P. and Rietveld, P.**, 1996: Second-Best Congestion Pricing: The Case of an Untolled Alternative, *Journal of Urban Economics*, **40**, 279-302.
- [84] **McDonald, J. F.**, 1995: Urban Highway Congestion: An Analysis of Second Best Tolls, *Transportation*, **22**, 353-369.
- [85] **Verhoef, E. T.**, 2005: Second-Best Congestion Pricing Schemes in the Monocentric City, *Journal of Urban Economics*, **58**, 367-388.
- [86] **Friesz, T. L. and Bernstein, D.**, 2000. Analytical Dynamic Traffic Assignment Models, in *Handbook of Transport Modelling*, p. 181-195, Eds. Hensher, D.A. and Button, K.J., Elsevier Science Ltd., Oxford.
- [87] **Nagel, K., Beuck, U. and Winter, M.**, 2005. Simulation and Valuation of Road Pricing Measures, INFRATRAN Autumn School, Berlin University of Technology, Berlin.
- [88] **Vickrey, W.**, 1969: Congestion Theory and Transport Investment, *The American Economic Review*, **59**, 251-261.
- [89] **Arnott, R., De Palma, A. and Lindsey, R.**, 1990: Economics of a Bottleneck, *Journal of Urban Economics*, **27**, 111-130.
- [90] **Arnott, R., De Palma, A. and Lindsey, R.**, 1993: A Structural Model of Peak-Period Congestion: A Traffic Bottleneck with Elastic Demand, *The American Economic Review*, **83**, 161-179.

- [91] **Arnott, R., De Palma, A. and Lindsey, R.**, 1998. Recent Developments in the Bottleneck Model, in *Road Pricing, Traffic Congestion and the Environment: Issues of Efficiency and Social Feasibility*, p. 79-110, Eds. Button, K.J. and Verhoef, E.T., Edward Elgar Publishing, Cheltenham.
- [92] **Laih, C. H.**, 1994: Queuing at a Bottleneck with Single and Multi-Step Tolls, *Transportation Research Part A*, **28A**, 197-208.
- [93] **Chu, X.**, 1993. Endogenous Trip Scheduling: The Henderson Approach Reformulated and Compared with the Vickrey Approach, *The University of California Transportation Center Working Paper, UCTC No. 199*, California.
- [94] **Mun, S.**, 1994: Traffic Jams and Congestion Toll, *Transportation Research Part B*, **28B**, 365-375.
- [95] **Mun, S.**, 1999: Peak-Load Pricing of a Bottleneck with Traffic Jam, *Journal of Urban Economics*, **46**, 323-349.
- [96] **Alfa, S. A.**, 1986: A Review of Models for the Temporal Distribution of Peak Demand, *Transportation Research Part B*, **20B**, 491-499.
- [97] **Ben-Akiva, M., Cyna, M. and De Palma, A.**, 1984: Dynamic Model of Peak Period Congestion, *Transportation Research Part B*, **18B**, 339-355.
- [98] **Yang, H.**, 1999: System Optimum, Stochastic User Equilibrium, and Optimal Link Tolls, *Transportation Science*, **33**, 354-360.
- [99] **Yamamoto, T., Fujii, S., Kitamura, R. and Yoshida, H.**, 2000: Analysis of Time Allocation, Departure Time, and Route Choice Behaviour Under Congestion Pricing, *Transportation Research Record*, **1725**, 95-101.
- [100] **Arnott, R., De Palma, A. and Lindsey, R.**, 1990: Departure Time and Route Choice for the Morning Commute, *Transportation Research Part B*, **24**, 209-228.
- [101] **Heydecker, B. G. and Addison, J. D.**, 2005: Analysis of Dynamic Traffic Equilibrium with Departure Time Choice, *Transportation Science*, **39**, 39-57.
- [102] **Shoup, D.**, 2005: *The High Cost of Free Parking*, Planners Press, Chicago.
- [103] **Small, K. A. and Chu, X.**, 2003: Hypercongestion, *Journal of Transport Economics and Policy*, **37**, 319-352.
- [104] **Tabuchi, T.**, 1993: Bottleneck Congestion and Modal Split, *Journal of Urban Economics*, **34**, 414-431.
- [105] **Danielis, R. and Marcucci, E.**, 1999. Bottleneck Congestion and Modal Split Revisited, *Fondazione Eni Enrico Mattei Working Paper, No. 1999.5*, Milan.

- [106] **Huang, H. J.**, 2002: Pricing and Logit-Based Mode Choice Models of a Transit and Highway System with Elastic Demand, *European Journal of Operational Research*, **140**, 562-570.
- [107] **Huang, H. J., Tian, Q., Yang, H. and Gao, Z. Y.**, 2007: Modal Split and Commuting Pattern on a Bottleneck-Constrained Highway, *Transportation Research Part E*, **43**, 578-590.
- [108] **Huang, H. J. and Yang, H.**, 1999: Optimal Utilization of a Transport System with Auto/Transit Parallel Modes, *Optimal Control Applications and Methods*, **20**, 297-313.
- [109] **Ergun, G., Gün, F. ve Çalışkan, B.**, 2007. Link-Kapasite Fonksiyonlarının Geliştirilmesi, İstanbul Metropolitan Planlama ve Kentsel Tasarım Merkezi (İMP), İstanbul.
- [110] **İBB**, 2007. İstanbul Şehir Rehberi, İstanbul Büyükşehir Belediyesi. <<http://sehirrehberi.ibb.gov.tr>>
- [111] **TÜİK**, 2007. 2000 Genel Nüfus Sayımı Kesin Sonuçları. <http://www.die.gov.tr/nufus_sayimi/2000Nufus_Kesin.htm>
- [112] **Bureau of Public Roads**, 1964. Traffic Assignment Manual. U. S. Department of Commerce, Urban Planning Division, Washington, D.C.
- [113] **JICA**, 2008. The Study on Integrated Urban Transportation Master Plan for Istanbul Metropolitan Area in the Republic of Turkey, Draft Final Report, IMP, Istanbul.
- [114] **BTCE**, 1995. Urban Congestion: Modelling Traffic Patterns, Delays and Optimal Tolls, Bureau of Transport and Communications Economics, **Working Paper 15**, Department of Transport, Canberra.
- [115] **Rothengatter, W.**, 1993. Externalities of Transport, in *European Transport Economics*, p. 81-129, Eds. Polak, J. and Heertje, A., ECMT, Blackwell Publishing, Oxford.
- [116] **Mayeres, I., Ochelen, S. and Proost, S.**, 1996: The Marginal External Costs of Urban Transport, *Transportation Research Part D*, **1**, 111-130.
- [117] **Yin, Y. and Lawphongpanich, S.**, 2006: Internalizing Emission Externality on Road Networks, *Transportation Research Part D*, **11**, 292-301.
- [118] **Small, K. A. and Kazimi, C.**, 1995: On the Costs of Air Pollution from Motor Vehicles, *Journal of Transport Economics and Policy*, **29**, 7-32.
- [119] **Holland, M. and Watkiss, P.**, 2002. Estimates of Marginal External Costs of Air Pollution in Europe, EC/DG Environment, Brussels. <<http://www.environmental-expert.com/articles/article1181/article1181.htm>>

- [120] **VTPI**, 2007. Air pollution costs, Victoria Transport Policy Institute, Victoria.
<<http://www.vtpi.org/tca/tca0510.pdf>>
- [121] **IMF**, 2007. IMF World Economic Outlook Database for 2007.
<<http://www.imf.org/external/ns/cs.aspx?id=28>>
- [122] **TCMB**, 2007. Enflasyon Hesaplayıcısı. <<http://www.tcmb.gov.tr>>
- [123] **Soylu, Ş.**, 2007: Estimation of Turkish Road Transport Emissions, *Energy Policy*, **35**, 4088-4094.
- [124] **IPCC**, 2007. IPCC Emission Factors Database (EFDB).
<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/EFDB/find_ef_main.php>
- [125] **Google, Inc.**, 2007. Google Earth ®
- [126] **Ben-Akiva, M. and Lerman, S. R.**, 1985: Discrete Choice Analysis: Theory and Applications to Travel Demand, The MIT Press, Massachusetts.
- [127] **Horowitz, J. L., Koppelman, F. S. and Lerman, S. R.**, 1986. A Self-Instructing Course in Disaggregate Mode Choice Modeling, **IA-11-0006**, U.S. Department of Transportation, Washington, D.C.
- [128] **Koppelman, F. S. and Bhat, C.**, 2006. A Self-Instructing Course in Mode Choice Modeling: Multinomial and Nested Logit Models, U.S. Department of Transportation, Washington, D.C.
- [129] **Domenchic, T. A. and McFadden, D.**, 1975: Urban Travel Demand: A Behavioral Analysis, North Holland Publishing Company, Amsterdam.
- [130] **Manski, C. F.**, 1981: Structural Models for Discrete Data: The Analysis of Discrete Choice, *Sociological Methodology*, **12**, 58-109.
- [131] **McFadden, D.**, 1974: Conditional Logit Analysis of Qualitative Choice Behavior, in *Frontiers in Economics*, p. 105-142, Ed. Zarembka, P., Academic Press, New York.
- [132] **İMP**, 2007. İMP Hane Halkı Anketi, İstanbul Metropolitan Planlama ve Kentsel Tasarım Merkezi (İMP), İstanbul.
- [133] **İETT**, 2007. Nasıl Giderim?, İETT Güzergah-Hat Planlama Sistemi.
<<http://www.iett.gov.tr/saat/orer.php?hid=guzergah>>
- [134] **İETT**, 2007. İstanbul'da Otobüs Taşımacılığının İyileştirilmesi Final Raporu, Sertem/Palye/ZIV Ortak Çalışması, İstanbul.
- [135] **Hensher, D. A., Rose, J. M., Greene, W. H.**, 2005: Applied Choice Analysis: A Primer, Cambridge University Press, Cambridge.

EKLER

EK A : Tür Tercihi Analizinde Kullanılan Lojit Model Verisi

EK A. Tür Tercihi Analizinde Kullanılan Lojit Model Verisi

Tür seçimi lojistik modelinde kullanılan veriler Çizelge A.1’de sunulmuştur. Çizelge A.1’e ait kolon başlıklarının açıklamaları ise Çizelge A.2’de verilmiştir. Çizelge A.1’de yer alan her satır İMP Hane Halkı Anketi’nde tıkanıklık fiyatlandırması ile ilgili sorulara cevap veren bir bireye ait verileri içermektedir. Çizelgede TF kolon başlığı ile ifade edilen tıkanıklık fiyatının sıfıra eşit olduğu veriler, mevcut durumu ifade eden verilerdir. Tıkanıklık fiyatının değiştirilmesi ile elde edilen veriler, takip eden satırlarda tıkanıklık fiyatının artmasına bağlı olarak sunulmuştur. Veriler, yolculuğa başlangıç noktasını ifade eden ilçe kodları, küçükten büyüğe doğru sıralanacak şekilde düzenlenmiştir.

Çizelge A.1 : Lojit model verisi.

[illegible]

Çizelge A.1 (devam) : Lojit model verisi.

O	C	TF	ÖZEL OTOMOBİL (OTO)		TOPLU TAŞIMA (TT)		Seçim
			YM	YS _{oto}	BF	YS _{tt}	
14	A	0	10,44	29,47	1,25	72,11	OTO
14	A	0	10,44	29,47	1,25	72,11	OTO
14	A	0	10,44	29,47	1,25	72,11	OTO
14	A	0	10,44	29,47	1,25	72,11	OTO
14	A	0	10,44	29,47	1,25	72,11	OTO
14	A	0	10,44	29,47	1,25	72,11	OTO
14	A	0	10,44	29,47	1,25	72,11	OTO
14	A	0	10,44	29,47	1,25	72,11	OTO
14	A	0	10,44	29,47	1,25	72,11	OTO
15	A	0	8,78	27,69	1,25	63,06	OTO
15	A	0	8,78	27,69	1,25	63,06	OTO
15	A	0	8,78	27,69	1,25	63,06	OTO
15	A	0	8,78	27,69	1,25	63,06	OTO
15	A	0	8,78	27,69	1,25	63,06	OTO
15	A	0	8,78	27,69	1,25	63,06	OTO
15	A	0	8,78	27,69	1,25	63,06	OTO
15	A	0	8,78	27,69	1,25	63,06	OTO
16	A	0	6,62	22,06	1,25	42,87	OTO
16	A	0	6,62	22,06	1,25	42,87	OTO
16	A	0	6,62	22,06	1,25	42,87	OTO
16	A	0	6,62	22,06	1,25	42,87	OTO
16	A	0	6,62	22,06	1,25	42,87	OTO
16	A	0	6,62	22,06	1,25	42,87	OTO
17	A	0	3,87	12,43	1,25	28,84	OTO
17	A	0	3,87	12,43	1,25	28,84	OTO
17	A	0	3,87	12,43	1,25	28,84	OTO
17	A	0	3,87	12,43	1,25	28,84	OTO
17	A	0	3,87	12,43	1,25	28,84	OTO
18	A	0	3,60	11,55	1,25	27,51	OTO
19	A	0	20,94	46,37	1,88	170,26	OTO
19	A	0	20,94	46,37	1,88	170,26	OTO
19	A	0	20,94	46,37	1,88	170,26	OTO
19	A	0	20,94	46,37	1,88	170,26	OTO
19	A	0	20,94	46,37	1,88	170,26	OTO
19	A	0	20,94	46,37	1,88	170,26	OTO
19	A	0	20,94	46,37	1,88	170,26	OTO
19	A	0	20,94	46,37	1,88	170,26	OTO
19	A	0	20,94	46,37	1,88	170,26	OTO
19	A	0	20,94	46,37	1,88	170,26	OTO
19	A	0	20,94	46,37	1,88	170,26	OTO
22	A	0	8,39	24,16	1,25	58,23	OTO
22	A	0	8,39	24,16	1,25	58,23	OTO
22	A	0	8,39	24,16	1,25	58,23	OTO
23	A	0	3,97	12,02	1,25	32,18	OTO
23	A	0	3,97	12,02	1,25	32,18	OTO
23	A	0	3,97	12,02	1,25	32,18	OTO
23	A	0	3,97	12,02	1,25	32,18	OTO
23	A	0	3,97	12,02	1,25	32,18	OTO
23	A	0	3,97	12,02	1,25	32,18	OTO
24	A	0	3,29	10,76	1,25	27,60	OTO
24	A	0	3,29	10,76	1,25	27,60	OTO
24	A	0	3,29	10,76	1,25	27,60	OTO
24	A	0	3,29	10,76	1,25	27,60	OTO
24	A	0	3,29	10,76	1,25	27,60	OTO
24	A	0	3,29	10,76	1,25	27,60	OTO
24	A	0	3,29	10,76	1,25	27,60	OTO
24	A	0	3,29	10,76	1,25	27,60	OTO
24	A	0	3,29	10,76	1,25	27,60	OTO
24	A	0	3,29	10,76	1,25	27,60	OTO
24	A	0	3,29	10,76	1,25	27,60	OTO
25	A	0	17,73	56,58	1,25	126,34	OTO
25	A	0	17,73	56,58	1,25	126,34	OTO
25	A	0	17,73	56,58	1,25	126,34	OTO
25	A	0	17,73	56,58	1,25	126,34	OTO
25	A	0	17,73	56,58	1,25	126,34	OTO
25	A	0	17,73	56,58	1,25	126,34	OTO
25	A	0	17,73	56,58	1,25	126,34	OTO

Çizelge A.1 (devam) : Lojit model verisi.

O	C	TF	ÖZEL OTOMOBİL (OTO)		TOPLU TAŞIMA (TT)		Seçim
			YM	YS _{oto}	BF	YS _{tt}	
25	A	0	17,73	56,58	1,25	126,34	OTO
25	A	0	17,73	56,58	1,25	126,34	OTO
25	A	0	17,73	56,58	1,25	126,34	OTO
25	A	0	17,73	56,58	1,25	126,34	OTO
25	A	0	17,73	56,58	1,25	126,34	OTO
25	A	0	17,73	56,58	1,25	126,34	OTO
26	A	0	7,83	24,01	1,25	52,04	OTO
26	A	0	7,83	24,01	1,25	52,04	OTO
26	A	0	7,83	24,01	1,25	52,04	OTO
26	A	0	7,83	24,01	1,25	52,04	OTO
26	A	0	7,83	24,01	1,25	52,04	OTO
26	A	0	7,83	24,01	1,25	52,04	OTO
26	A	0	7,83	24,01	1,25	52,04	OTO
26	A	0	7,83	24,01	1,25	52,04	OTO
26	A	0	7,83	24,01	1,25	52,04	OTO
26	A	0	7,83	24,01	1,25	52,04	OTO
26	A	0	7,83	24,01	1,25	52,04	OTO
26	A	0	7,83	24,01	1,25	52,04	OTO
27	A	0	8,65	24,82	1,25	62,62	OTO
27	A	0	8,65	24,82	1,25	62,62	OTO
28	A	0	13,23	35,76	1,88	104,38	OTO
28	A	0	13,23	35,76	1,88	104,38	OTO
28	A	0	13,23	35,76	1,88	104,38	OTO
29	A	0	19,16	61,50	1,88	113,24	OTO
29	A	0	19,16	61,50	1,88	113,24	OTO
29	A	0	19,16	61,50	1,88	113,24	OTO
29	A	0	19,16	61,50	1,88	113,24	OTO
31	A	0	6,72	21,58	1,25	42,71	OTO
32	A	0	6,97	21,55	1,25	52,60	OTO
32	A	0	6,97	21,55	1,25	52,60	OTO
32	A	0	6,97	21,55	1,25	52,60	OTO
32	A	0	6,97	21,55	1,25	52,60	OTO
32	A	0	6,97	21,55	1,25	52,60	OTO
32	A	0	6,97	21,55	1,25	52,60	OTO
32	A	0	6,97	21,55	1,25	52,60	OTO
32	A	0	6,97	21,55	1,25	52,60	OTO
32	A	0	6,97	21,55	1,25	52,60	OTO
32	A	0	6,97	21,55	1,25	52,60	OTO
32	A	0	6,97	21,55	1,25	52,60	OTO
3	B	0	18,06	41,70	1,88	69,06	OTO
3	B	0	18,06	41,70	1,88	69,06	OTO
3	B	0	18,06	41,70	1,88	69,06	OTO
3	B	0	18,06	41,70	1,88	69,06	OTO
3	B	0	18,06	41,70	1,88	69,06	OTO
3	B	0	18,06	41,70	1,88	69,06	OTO
3	B	0	18,06	41,70	1,88	69,06	OTO
3	B	0	18,06	41,70	1,88	69,06	OTO
4	B	0	24,03	48,47	1,88	135,60	OTO
4	B	0	24,03	48,47	1,88	135,60	OTO
5	B	0	19,27	38,69	1,88	110,30	OTO
5	B	0	19,27	38,69	1,88	110,30	OTO
10	B	0	15,28	35,29	1,88	79,35	OTO
10	B	0	15,28	35,29	1,88	79,35	OTO
13	B	0	11,03	31,06	1,25	77,32	OTO
13	B	0	11,03	31,06	1,25	77,32	OTO
13	B	0	11,03	31,06	1,25	77,32	OTO
14	B	0	10,44	29,47	1,25	72,11	OTO
14	B	0	10,44	29,47	1,25	72,11	OTO
14	B	0	10,44	29,47	1,25	72,11	OTO
14	B	0	10,44	29,47	1,25	72,11	OTO
15	B	0	8,78	27,69	1,25	63,06	OTO
15	B	0	8,78	27,69	1,25	63,06	OTO
15	B	0	8,78	27,69	1,25	63,06	OTO
15	B	0	8,78	27,69	1,25	63,06	OTO
15	B	0	8,78	27,69	1,25	63,06	OTO
15	B	0	8,78	27,69	1,25	63,06	OTO
15	B	0	8,78	27,69	1,25	63,06	OTO
15	B	0	8,78	27,69	1,25	63,06	OTO
15	B	0	8,78	27,69	1,25	63,06	OTO
15	B	0	8,78	27,69	1,25	63,06	OTO
15	B	0	8,78	27,69	1,25	63,06	OTO
15	B	0	8,78	27,69	1,25	63,06	OTO
15	B	0	8,78	27,69	1,25	63,06	OTO
15	B	0	8,78	27,69	1,25	63,06	OTO
15	B	0	8,78	27,69	1,25	63,06	OTO
15	B	0	8,78	27,69	1,25	63,06	OTO
15	B	0	8,78	27,69	1,25	63,06	OTO
15	B	0	8,78	27,69	1,25	63,06	OTO
15	B	0	8,78	27,69	1,25	63,06	OTO
15	B	0	8,78	27,69	1,25	63,06	OTO
15	B	0	8,78	27,69	1,25	63,06	OTO
15	B	0	8,78	27,69	1,25	63,06	OTO
15	B	0	8,78	27,69	1,25	63,06	OTO
15	B	0	8,78	27,69	1,25	63,06	OTO
15	B	0	8,78	27,69	1,25	63,06	OTO
15	B	0	8,78	27,69	1,25	63,06	OTO
15	B	0	8,78	27,69	1,25	63,06	OTO
15	B	0	8,78	27,69	1,25	63,06	OTO
15	B	0	8,78	27,69	1,25	63,06	OTO
15	B	0	8,78	27,69	1,25	63,06	OTO
15	B	0	8,78	27,69	1,25	63,06	OTO
15	B	0	8,78	27,69	1,25	63,06	OTO
15	B	0	8,78	27,69	1,25	63,06	OTO
15	B	0	8,78	27,69	1,25	63,06	OTO
15	B	0	8,78	27,69	1,25	63,06	OTO
15	B	0	8,78	27,69	1,25	63,06	OTO
15	B	0	8,78	27,69	1,25	63,06	OTO
15	B	0	8,78	27,69	1,25	63,06	OTO
15	B	0	8,78	27,69	1,25	63,06	OTO
15	B	0	8,78	27,69	1,25	63,06	OTO
15	B	0	8,78	27,69	1,25	63,06	OTO
15	B	0	8,78	27,69	1,25	63,06	OTO
15	B	0	8,78	27,69	1,25	63,06	OTO
15	B	0	8,78	27,69	1,25	63,06	OTO
15	B	0	8,78	27,69	1,25	63,06	OTO
15	B	0	8,78	27,69	1,25	63,06	OTO
15	B	0	8,78	27,69	1,25	63,06	OTO
15	B	0	8,78	27,69	1,25	63,06	OTO
15	B	0	8,78	27,69	1,25	63,06	OTO
15	B	0	8,78	27,69	1,25	63,06	OTO
15	B	0	8,78	27,69	1,25	63,06	OTO
15	B	0	8,78	27,69	1,25	63,06	OTO
15	B	0	8,78	27,69	1,25	63,06	OTO
15							

Çizelge A.1 (devam) : Lojit model verisi.

O	C	TF	ÖZELEKOTOMOBİL (OTO)		TOPLU TAŞIMA (TT)		Seçim
			YM	YS _{oto}	BF	YS _{tt}	
15	B	0	8,78	27,69	1,25	63,06	OTO
15	B	0	8,78	27,69	1,25	63,06	OTO
15	B	0	8,78	27,69	1,25	63,06	OTO
15	B	0	8,78	27,69	1,25	63,06	OTO
15	B	0	8,78	27,69	1,25	63,06	OTO
15	B	0	8,78	27,69	1,25	63,06	OTO
15	B	0	8,78	27,69	1,25	63,06	OTO
15	B	0	8,78	27,69	1,25	63,06	OTO
15	B	0	8,78	27,69	1,25	63,06	OTO
15	B	0	8,78	27,69	1,25	63,06	OTO
15	B	0	8,78	27,69	1,25	63,06	OTO
15	B	0	8,78	27,69	1,25	63,06	OTO
15	B	0	8,78	27,69	1,25	63,06	OTO
15	B	0	8,78	27,69	1,25	63,06	OTO
15	B	0	8,78	27,69	1,25	63,06	OTO
16	B	0	6,62	22,06	1,25	42,87	OTO
17	B	0	3,87	12,43	1,25	28,84	OTO
19	B	0	20,94	46,37	1,88	170,26	OTO
19	B	0	20,94	46,37	1,88	170,26	OTO
22	B	0	8,39	24,16	1,25	58,23	OTO
22	B	0	8,39	24,16	1,25	58,23	OTO
24	B	0	3,29	10,76	1,25	27,60	OTO
24	B	0	3,29	10,76	1,25	27,60	OTO
24	B	0	3,29	10,76	1,25	27,60	OTO
24	B	0	3,29	10,76	1,25	27,60	OTO
24	B	0	3,29	10,76	1,25	27,60	OTO
24	B	0	3,29	10,76	1,25	27,60	OTO
25	B	0	17,73	56,58	1,25	126,34	OTO
25	B	0	17,73	56,58	1,25	126,34	OTO
25	B	0	17,73	56,58	1,25	126,34	OTO
25	B	0	17,73	56,58	1,25	126,34	OTO
25	B	0	17,73	56,58	1,25	126,34	OTO
26	B	0	7,83	24,01	1,25	52,04	OTO
26	B	0	7,83	24,01	1,25	52,04	OTO
26	B	0	7,83	24,01	1,25	52,04	OTO
28	B	0	13,23	35,76	1,88	104,38	OTO
28	B	0	13,23	35,76	1,88	104,38	OTO
28	B	0	13,23	35,76	1,88	104,38	OTO
29	B	0	19,16	61,50	1,88	113,24	OTO
31	B	0	6,72	21,58	1,25	42,71	OTO
32	B	0	6,97	21,55	1,25	52,60	OTO
3	C	0	18,06	41,70	1,88	69,06	OTO
3	C	0	18,06	41,70	1,88	69,06	OTO
3	C	0	18,06	41,70	1,88	69,06	OTO
11	C	0	13,23	29,17	1,88	51,87	OTO
11	C	0	13,23	29,17	1,88	51,87	OTO
13	C	0	11,03	31,06	1,25	77,32	OTO
14	C	0	10,44	29,47	1,25	72,11	OTO
15	C	0	8,78	27,69	1,25	63,06	OTO
15	C	0	8,78	27,69	1,25	63,06	OTO
15	C	0	8,78	27,69	1,25	63,06	OTO
28	C	0	13,23	35,76	1,88	104,38	OTO
28	C	0	13,23	35,76	1,88	104,38	OTO
28	C	0	13,23	35,76	1,88	104,38	OTO
31	C	0	6,72	21,58	1,25	42,71	OTO
32	C	0	6,97	21,55	1,25	52,60	OTO
3	D	0	18,06	41,70	1,88	69,06	OTO
11	D	0	13,23	29,17	1,88	51,87	OTO
11	D	0	13,23	29,17	1,88	51,87	OTO
11	D	0	13,23	29,17	1,88	51,87	OTO
14	D	0	10,44	29,47	1,25	72,11	OTO
15	D	0	8,78	27,69	1,25	63,06	OTO
17	D	0	3,87	12,43	1,25	28,84	OTO
25	D	0	17,73	56,58	1,25	126,34	OTO
25	D	0	17,73	56,58	1,25	126,34	OTO
28	D	0	13,23	35,76	1,88	104,38	OTO
15	E	0	8,78	27,69	1,25	63,06	OTO

Çizelge A.1 (devam) : Lojit model verisi.

[illegible]

Çizelge A.1 (devam) : Lojit model verisi.

[illegible]

Çizelge A.1 (devam) : Lojit model verisi.

[illegible]

Çizelge A.1 (devam) : Lojit model verisi.

[illegible]

Çizelge A.1 (devam) : Lojit model verisi.

O	C	TF	ÖZEL OTOMOBİL (OTO)		TOPLU TAŞIMA (TT)		Seçim
			YM	YS _{oto}	BF	YS _{tt}	
19	B	3	23,94	46,37	1,88	170,26	TT
19	B	3	23,94	46,37	1,88	170,26	TT
22	B	3	11,39	24,16	1,25	58,23	TT
22	B	3	11,39	24,16	1,25	58,23	TT
24	B	3	6,29	10,76	1,25	27,60	TT
24	B	3	6,29	10,76	1,25	27,60	TT
24	B	3	6,29	10,76	1,25	27,60	TT
24	B	3	6,29	10,76	1,25	27,60	TT
24	B	3	6,29	10,76	1,25	27,60	TT
24	B	3	6,29	10,76	1,25	27,60	TT
25	B	3	20,73	56,58	1,25	126,34	TT
25	B	3	20,73	56,58	1,25	126,34	TT
25	B	3	20,73	56,58	1,25	126,34	TT
25	B	3	20,73	56,58	1,25	126,34	TT
25	B	3	20,73	56,58	1,25	126,34	TT
26	B	3	10,83	24,01	1,25	52,04	TT
26	B	3	10,83	24,01	1,25	52,04	TT
26	B	3	10,83	24,01	1,25	52,04	TT
28	B	3	16,23	35,76	1,88	104,38	TT
28	B	3	16,23	35,76	1,88	104,38	TT
28	B	3	16,23	35,76	1,88	104,38	TT
29	B	3	22,16	61,50	1,88	113,24	TT
31	B	3	9,72	21,58	1,25	42,71	TT
32	B	3	9,97	21,55	1,25	52,60	TT
3	C	4	22,06	41,70	1,88	69,06	OTO
3	C	4	22,06	41,70	1,88	69,06	OTO
3	C	4	22,06	41,70	1,88	69,06	OTO
11	C	4	17,23	29,17	1,88	51,87	OTO
11	C	4	17,23	29,17	1,88	51,87	OTO
13	C	4	15,03	31,06	1,25	77,32	OTO
14	C	4	14,44	29,47	1,25	72,11	OTO
15	C	4	12,78	27,69	1,25	63,06	OTO
15	C	4	12,78	27,69	1,25	63,06	OTO
15	C	4	12,78	27,69	1,25	63,06	OTO
28	C	4	17,23	35,76	1,88	104,38	OTO
28	C	4	17,23	35,76	1,88	104,38	OTO
28	C	4	17,23	35,76	1,88	104,38	OTO
31	C	4	10,72	21,58	1,25	42,71	OTO
32	C	4	10,97	21,55	1,25	52,60	OTO
3	C	6	24,06	41,70	1,88	69,06	TT
3	C	6	24,06	41,70	1,88	69,06	TT
3	C	6	24,06	41,70	1,88	69,06	TT
11	C	6	19,23	29,17	1,88	51,87	TT
11	C	6	19,23	29,17	1,88	51,87	TT
13	C	6	17,03	31,06	1,25	77,32	TT
14	C	6	16,44	29,47	1,25	72,11	TT
15	C	6	14,78	27,69	1,25	63,06	TT
15	C	6	14,78	27,69	1,25	63,06	TT
15	C	6	14,78	27,69	1,25	63,06	TT
28	C	6	19,23	35,76	1,88	104,38	TT
28	C	6	19,23	35,76	1,88	104,38	TT
28	C	6	19,23	35,76	1,88	104,38	TT
31	C	6	12,72	21,58	1,25	42,71	TT
32	C	6	12,97	21,55	1,25	52,60	TT
3	D	7	25,06	41,70	1,88	69,06	OTO
11	D	7	20,23	29,17	1,88	51,87	OTO
11	D	7	20,23	29,17	1,88	51,87	OTO
11	D	7	20,23	29,17	1,88	51,87	OTO
14	D	7	17,44	29,47	1,25	72,11	OTO
15	D	7	15,78	27,69	1,25	63,06	OTO
17	D	7	10,87	12,43	1,25	28,84	OTO
25	D	7	24,73	56,58	1,25	126,34	OTO
25	D	7	24,73	56,58	1,25	126,34	OTO
28	D	7	20,23	35,76	1,88	104,38	OTO
3	D	10	28,06	41,70	1,88	69,06	TT
11	D	10	23,23	29,17	1,88	51,87	TT
11	D	10	23,23	29,17	1,88	51,87	TT
11	D	10	23,23	29,17	1,88	51,87	TT

Çizelge A.1 (devam) : Lojit model verisi.

O	C	TF	ÖZEL OTOMOBİL (OTO)		TOPLU TAŞIMA (TT)		Seçim
			YM	YS _{oto}	BF	YS _{tt}	
14	D	10	20,44	29,47	1,25	72,11	TT
15	D	10	18,78	27,69	1,25	63,06	TT
17	D	10	13,87	12,43	1,25	28,84	TT
25	D	10	27,73	56,58	1,25	126,34	TT
25	D	10	27,73	56,58	1,25	126,34	TT
28	D	10	23,23	35,76	1,88	104,38	TT
15	E	11	19,78	27,69	1,25	63,06	OTO
15	E	11	19,78	27,69	1,25	63,06	OTO
17	E	11	14,87	12,43	1,25	28,84	OTO
29	E	11	30,16	61,50	1,88	113,24	OTO
15	E	15	23,78	27,69	1,25	63,06	TT
15	E	15	23,78	27,69	1,25	63,06	TT
17	E	15	18,87	12,43	1,25	28,84	TT
29	E	15	34,16	61,50	1,88	113,24	TT

Çizelge A.2 : Çizelge A.1’de yer alan kolon başlıklarının açıklamaları.

Kolon Başlığı	Açıklama
O	Yolculuğun başladığı ilçeye ait kod numarası (Bakınız: Çizelge 6.8)
C	Bireyin Şekil 6.7’de yer alan D.4 numaralı soruya verdiği cevap
TF	Tıkanıklık fiyatı (TL)
YM	İlgili yolculuğun özel otomobil ile toplam algılanan maliyeti (TL)
YS _{oto}	İlgili yolculuğun özel otomobil ile yolculuk süresi (dak)
BF	İlgili yolculuğun toplu taşıma ile toplam bilet fiyatı (TL)
YS _{tt}	İlgili yolculuğun toplu taşıma ile yolculuk süresi (dak)
Seçim	Bireyin yolculuğunu gerçekleştirmek için tercih ettiği tür

ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad: Hüseyin Onur TEZCAN

Doğum Yeri ve Tarihi: Ankara / 1977

Lisans: İTÜ İnşaat Fakültesi

Yüksek Lisans: İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Ulaştırma Mühendisliği Programı

Yayın Listesi:

- **Tezcan, H. O.**, 1998. Yol Güvenliğinde Mühendislik Denetimi, *Yüksek Lisans Tezi*, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- **Tezcan, H. O.** ve Yayla, N., 2000. Yol Güvenliğinde Mühendislik Denetimi, *Beşinci Ulaşım Kongresi*, İstanbul, 1-3 Mayıs.
- Yayla, N. ve **Tezcan, H. O.**, 2004. Trafik Kazalarında Yol Kusuru ve Mühendislik Denetimi, *II. Trafik Şurası*, Ankara, 21-22 Ekim.
- **Tezcan, H. O.**, 2006. General Review of Road Pricing and Its Applicability to Istanbul, *7th International Congress of Advances in Civil Engineering (ACE)*, İstanbul, October 11 – 13.
- **Tezcan, H. O.**, 2006. A Review of the Economic Valuation Procedure for Changed Levels of Transportation Noise, *7th International Congress of Advances in Civil Engineering (ACE)*, İstanbul, October 11-13.
- Kesten, A. S. and **Tezcan, H. O.**, 2006. Bus and Subway Stations' Ubiquity : A Case Study for Stations Along Istanbul Metro Line, *First International Congress of Citizens and Mobility Management*, Madrid, Spain, September 25-27.
- **Tezcan, H. O.**, Kesten, A. S. and Topuz, S., 2006. Suburban Rail System of Istanbul : Current Situation and Probable Impacts After Temporary Termination, *International Railway Symposium*, İstanbul, December 13-15.
- Öztürk, Z. ve **Tezcan, H. O.**, 2006. Demiryolunda Balastın Özellikleri ve Standardizasyon Çalışmaları, *Uluslararası Demiryolu Sempozyumu*, İstanbul, 13-15 Aralık.

- Öztürk, Z. ve **Tezcan, H. O.**, 2006. Yüksek Hızlı Trenlerde Kullanılan Bojiler ve Teknolojik Gelişmeler, *Demiryolu Çeken Araçları Üretim Sempozyumu*, TÜLOMSAŞ, Eskişehir, 23-24 Haziran.
- **Tezcan, H. O.**, 2009: Evaluating road pricing with an engineering perspective: aggregate and disaggregate analysis, *Canadian Journal of Civil Engineering*, **36(6)**, 1028-1036.