

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KENTİÇİ ULAŞIMDA OTOBÜSLE TOPLUTAŞIMA İÇİN
İŞLETMECİLİK ŞEKLİNİN BELİRLENMESİNE YÖNELİK
BİR MATEMATİK MODEL**

İnş. Yük. Müh. Mustafa Sinan YARDIM

FBE İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Ulaştırma Programında
Hazırlanan

DOKTORA TEZİ

Tez Savunma Tarihi : 1 Şubat 2002
Tez Danışmanı : Prof. Dr. Aydın EREL (YTÜ)
Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Güngör EVREN (İTÜ)
: Prof. Dr. Haluk GERÇEK (İTÜ)

**TC YÖNSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ**

İSTANBUL, 2002

128795

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ	iv
ŞEKİL LİSTESİ	vii
ÇİZELGE LİSTESİ	viii
ÖNSÖZ	ix
ÖZET	x
ABSTRACT	xi
1. GİRİŞ	1
1.1 Kentiçi Ulaştırma Sistemi	3
1.2 Kentiçi Toplutaşıma Sistemi	5
1.2.1 Kentiçi Toplutaşıma Sisteminin Girdileri ve Çıktıları	6
1.2.1.1 Sistemin Girdileri	7
1.2.1.2 Sistemin Çıktıları	10
1.2.1.2.1 Sunu	10
1.2.1.2.2 Etkiler	12
1.2.2 Kentiçi Toplutaşıma Sisteminde Karar Verme Süreci	13
1.2.3 Toplutaşımada Kullanılan İşletme Şekilleri	18
1.2.4 Toplutaşıma Sistemindeki Fiziksel Şebeke Türleri	19
2. OTOBÜSLE TOPLUTAŞIMACILIK	21
2.1 Giriş	21
2.2 Otobüsle Toplutaşıma Sisteminin Girdileri ve Çıktıları	24
2.2.1 Otobüsle Toplutaşıma Sisteminin Girdileri	24
2.2.2 Otobüsle Toplutaşıma Sisteminin Çıktıları	26
2.2.2.1 Otobüsle Toplutaşıma Sisteminde Sunu	26
2.2.2.2 Otobüsle Toplutaşıma Sisteminde Etkiler	28
2.3 Otobüsle Toplutaşımada Kullanılan İşletmecilik Şekilleri	28
2.3.1 Klasik (Basit) İşletmecilik	29
2.3.2 Durak Atlayarak İşletmecilik	30
2.3.3 Ekspres İşletmecilik	31
2.3.4 Bölgesel İşletmecilik	32
2.4 Otobüsle Toplutaşıma ile İlgili Kaynak Araştırması	40
2.5 Kaynakların Değerlendirilmesi	48
3. OTOBÜSLE TOPLUTAŞIMA İÇİN İŞLETMECİLİK ŞEKLİNİN BELİRLENMESİNE YÖNELİK MATEMATİK MODEL	52
3.1 Modelin Düşünce Yapısı	52
3.1.1 Modelin Girdileri	54

3.1.1.1	Temel Girdiler	54
3.1.1.2	Sabitler ve Parametreler.....	54
3.1.2	Modelin Çıktıları	55
3.1.3	Etkinlik Ölçütleri	55
3.2.	Matematik Modelde Kullanılan Formülasyon.....	56
3.2.1	İşletmeci Maliyetinin Hesabı.....	56
3.2.2	İşletmeci Gelirinin Hesabı	60
3.2.3	İşletmeci Açısından Kâr ve Zarar	60
3.2.4	Kullanıcı Maliyetinin Hesabı.....	61
3.2.4.1	Kullanıcıların Süreleri	61
3.2.4.2	Ekspres Hat Kullanıcılarının Yolculuk Süresi.....	62
3.2.4.3	Klasik Hat Kullanıcılarının Yolculuk Süresi.....	62
3.2.4.4	Bir Hat İçin Toplam Kullanıcı Süresinin Hesabı.....	63
3.2.4.5	Bir Hat İçin Kullanıcı Maliyetinin Değerinin Hesaplanması	64
3.2.5	Toplam Sistem Maliyetleri	65
3.2.6	Hesaplarda Esas Alınan Talep Değerlerinin Belirlenmesi	66
3.2.6.1	A_{maks} ve Q_r 'nin Seçimi.....	66
3.2.6.1.1	Klasik İşletmecilik İçin A_{maks} ve Q_r 'nin Seçimi	66
3.2.6.1.2	Ekspres İşletmecilik İçin A_{maks} ve Q_r 'nin Seçimi	66
3.2.6.2	A_{maks} ve Q_r 'nin Hesabı.....	67
3.3	Amaç Fonksiyonu.....	70
3.4	Problemin Çözümü	71
3.4.1	Sezgisel Yöntem	73
3.4.1.1	Giriş	73
3.4.1.2	Sezgisel Yöntemde Yapılan Kabuller.....	74
3.4.1.3	Başlangıç Durumunun Belirlenmesi.....	76
3.4.1.3.1	Olası Ekspres Terminalleri Arasındaki Talebin Olası Ekspres Hatlara Atanması	77
3.4.1.3.2	Kalan Talebin Olası Klasik Hatlara Atanması.....	77
3.4.1.4	Problem Zorluğunun Azaltılması	78
3.4.1.5	Sezgisel Yöntemin Çözüm Algoritması	79
3.4.2	Sezgisel Yöntemin Hipotetik Şebekede Uygulanması	81
3.4.2.1	Sayısal Uygulama-1	82
3.4.2.2	Sayısal Uygulama-2.....	92
3.4.2.3	Sayısal Uygulamalarda Yapılan Bazı Saptamalar	99
4.	SONUÇLAR ve DEĞERLENDİRME.....	101
	KAYNAKLAR.....	105
	EKLER	110
Ek 1	İETT'nin 2000 Yılı Bilanço Özeti	110
Ek 2	İETT'nin Topladığı Ücretlerin Türlerine Göre Dağılımı (2000 yılı).....	111
Ek 3	İstanbul İli İçin Zamanın Değeri Hesabı (2000 yılı)	111
Ek 4	İETT'nin Saatlik ve Km Başına Taşıt Maliyetleri Hesabı (2000 yılı).....	111
	ÖZGEÇMİŞ.....	112

SİMGE LİSTESİ

σ	Durakta bekleme süresinin, taşıt takip aralığına oranı
τ	Terminal noktaları kümesi
τ_0	Olası terminal noktaları kümesi
A_{ij}	Gidiş yönünde ardışık i, j durakları arasındaki toplam saatlik yolcu sayısı (yolcu/sa.)
$A_{ij, maks}$	Gidiş yönünde ardışık ara duraklar arasındaki yolcu sayılarının en büyüğü (yolcu/sa.)
A_{ijk}	k durağında binenlerin, takip eden ardışık i, j durak çiftleri arasında yolculuk yapanlarının sayısı (yolcu/sa)
A_{ji}	Dönüş yönünde ardışık j, i durakları arasındaki toplam saatlik yolcu sayısı (yolcu/sa.)
$A_{ji, maks}$	Dönüş yönünde ardışık ara duraklar arasındaki yolcu sayılarının en büyüğü (yolcu/sa.)
A_{jil}	Dönüş yönünde l durağında binenlerin, takip eden ardışık j, i durak çiftleri arasında yolculuk yapanlarının sayısı (yolcu/sa)
A_{maks}	Gidiş ve dönüş yönünde ardışık i, j ve j, i durakları arasında taşınacak yolcu sayılarının en büyüğü (yolcu/sa). Otobüs hattı, duraklar dizisi şeklinde ifade edildiğinde, talebin maksimum olduğu kesit ve yöndeki değeridir.
b	Ortalama yolculuk ücreti (TL/yolcu)
b^e	Ortalama ekspres yolculuk ücreti (TL/yolcu)
b^k	Ortalama klasik yolculuk ücreti (TL/yolcu)
B_{rt}	Saatlik birim taşıt işletme maliyeti (TL/tş-sa)
b_{ik}	Zamanın parasal değeri (TL/sa-yolcu)
c	Kullanılan taşıt tipine göre taşıt kapasitesi (yolcu/tş)
C_{bk}	Herhangi bir hatta 1 saat içinde, kullanıcıların duraklardaki toplam bekleme maliyeti (TL/sa)
C_r	Bir hat konfigürasyonunun toplam sistem maliyeti (TL/sa)
C_r^e	r ekspres hattının 1 saat içindeki toplam sistem maliyeti (TL/sa)
C_r^k	r klasik hattının 1 saat içindeki toplam sistem maliyeti (TL/sa)
C_{ri}	r hattındaki tüm seferlerin saatlik maliyeti (TL/sa)
C_{ri}^e	r ekspres hattında 1 saat içindeki toplam işletmecisi maliyeti (TL/sa)
C_{ri}^k	r klasik hattında 1 saat içindeki toplam işletmecisi maliyeti (TL/sa)
C_{rk}	Herhangi bir r hattında 1 saat içindeki, toplam kullanıcı maliyeti (TL/sa)
C_{rk}^e	r ekspres hattında 1 saat içindeki toplam kullanıcı maliyeti (TL/sa)
C_{rk}^k	r klasik hattında 1 saat içindeki toplam kullanıcı maliyeti (TL/sa)
C_{ik}	Herhangi bir hatta 1 saat içinde, kullanıcıların taşıtlarda harcadıkları sürenin maliyeti (TL/sa)
${}_w C_x$	W 'nin x 'li kombinasyon sayısı
e	Bir şebekedeki dal sayısı
f_r	r hattındaki gerekli saatlik sefer sayısı (sefer/sa)
F_r	r hattındaki gerekli saatlik taşıt sayısı (tş)
G	Şebekenin toplam saatlik yolcu geliri (TL/sa)
G_r	r hattındaki tüm seferlerden elde edilen saatlik gelir (TL/sa)
H_M	M duraklı bir taşıma şebekesindeki olası hat konfigürasyonu sayısı
h_r	r hattındaki taşıt takip aralığı (dak)
$h_{r, maks}$	r hattında yolcuların hizmet düzeyi için izin verilebilir en büyük taşıt takip aralığı (dak)
h_r^e	r ekspres hattındaki taşıt takip aralığı (dak)

h_r^k	r klasik hattındaki taşıt takip aralığı (dak)
I_i	Dönüş yönünde farklı l durağından binip aynı i duraklarında inen toplam saatlik yolcu sayısı (yolcu/sa)
I_j	Gidiş yönünde farklı k durağından binip aynı j duraklarında inen toplam saatlik yolcu sayısı (yolcu/sa)
I_r	r hattında gidiş ve dönüş yönünde iniş yapan toplam saatlik yolcu sayısı (yolcu/sa)
I_{rD}	r hattında dönüş yönünde iniş yapan toplam saatlik yolcu sayısı (yolcu/sa)
I_{rG}	r hattında gidiş yönünde iniş yapan toplam saatlik yolcu sayısı (yolcu/sa)
i	Durak numarasını belirten indeks
ij	Gidiş yönünde O-D çiftlerini gösteren indeks (Dönüş yönü için ji olarak yazılır)
j	Durak numarasını belirten indeks
k	Gidiş yönünde biniş durağını gösteren indeks
l	Dönüş yönünde biniş durağını gösteren indeks
l_d	Ardışık iki durak arasındaki mesafe (km)
L_r	r hattının uzunluğu (km)
m	r hattındaki durak sayısı
M	Taşıma şebekesindeki duraklar kümesi
n	r hattındaki durak aralığı sayısı
p	Hatlar kümesindeki ekspres işletmecilik yapılan hat sayısı
P_r	r hattındaki tüm seferlerin toplam net kârı (TL/sa)
q_{ij}	i durağından binip j durağında inen saatlik yolcu sayısı (yolcu/sa)
q_{ji}	j durağından binip i durağında inen saatlik yolcu sayısı (yolcu/sa)
Q_k	Aynı k durağından binip farklı j duraklarında inen toplam saatlik yolcu sayısı (yolcu/sa)
q_{kj}	k durağından binip j durağında inen saatlik yolcu sayısı (yolcu/sa)
Q_l	Aynı l durağından binip farklı i duraklarında inen toplam saatlik yolcu sayısı (yolcu/sa)
q_{li}	l durağından binip i durağında inen saatlik yolcu sayısı (yolcu/sa)
Q_r	r hattında gidiş ve dönüş yönünde biniş yapan toplam saatlik yolcu sayısı (yolcu/sa)
Q_{rD}	r hattında dönüş yönünde biniş yapan toplam saatlik yolcu sayısı (yolcu/sa)
Q_{rG}	r hattında gidiş yönünde biniş yapan toplam saatlik yolcu sayısı (yolcu/sa)
r	Hat sayısı veya hat numarası
R	Toplutaşıma şebekesindeki toplam hatlar kümesi
$R-p$	Hatlar kümesindeki klasik işletmecilik yapılan hat sayısı
t_{bk}	1 yolcunun durakta bekleme süresi (dak/yolcu)
t_{bk}^e	1 yolcunun ekspres terminalinde otobüsü beklemek için harcadığı süre (dak)
t_{bk}^k	1 yolcunun ara durakta otobüsü beklemek için harcadığı süre (dak)
t_d	Taşıtların ara duraklarda duraklamaları boyunca geçen süre (dak)
t_k	1 yolcunun sistemde harcadığı süre (dak/yolcu)
t_{rt}	r hattının sefer süresi (dak)
t_{rt}^e	r ekspres hattının sefer süresi (dak)
t_{rt}^k	r klasik hattının sefer süresi (dak)
t_s	Sürücüye ardışık iki seyahati arasında verilen dinlenme ve manevra amaçlı ek süre (dak)
t_{tk}	1 yolcunun taşıtta harcadığı süre (dak/yolcu)
t_{tk}^e	1 yolcunun ekspres hatta bindiğinde taşıtta harcadığı süre (dak)
t_{tk}^k	1 yolcunun klasik hatta bindiğinde taşıtta harcadığı süre (dak)
$t_{tk,ij}^k$	i 'den j 'ye giden bir yolcunun klasik hatta bindiğinde taşıtta harcadığı süre (dak)

$t_{ik,ji}^k$	j 'den i 'ye giden bir yolcunun klasik hatta bindiğinde taşıtta harcadığı süre (dak)
T_{bk}	Herhangi bir r hattında 1 saat içinde, kullanıcıların duraklardaki toplam bekleme süresi (yolcu-dak/sa)
T_{bk}^e	r ekspres hattında 1 saat içindeki toplam duraklardaki bekleme süresi (yolcu-dak/sa)
T_{bk}^k	r klasik hattında 1 saat içindeki toplam duraklardaki bekleme süresi (yolcu-dak/sa)
T_{rk}	Herhangi bir r hattında 1 saat içindeki, toplam kullanıcı süresi (yolcu-dak/sa)
T_{rk}^e	r ekspres hattında 1 saat içindeki toplam kullanıcı süresi (yolcu-dak/sa)
T_{rk}^k	r klasik hattında 1 saat içindeki toplam kullanıcı süresi (yolcu-dak/sa)
T_{ik}	Herhangi bir r hattında 1 saat içinde, kullanıcıların taşıtta harcadıkları toplam süresi (yolcu-dak/sa)
T_{ik}^e	r ekspres hattında 1 saat içindeki toplam taşıtta harcanan süre (yolcu-dak/sa)
T_{ik}^k	r klasik hattında 1 saat içindeki toplam taşıtta harcanan süre (yolcu-dak/sa)
V_{or}	r hattı için ortalama taşıt hızı (km/sa)
V_{or}^e	r hattı için ortalama ekspres taşıt hızı (km/sa)
V_{or}^k	r hattı için ortalama klasik taşıt hızı (km/sa)
w	Dallanmış bir taşıma şebekesinde, olası ekspres terminalleri matrisinin boyutu
W	Taşıma şebekesindeki olası hat sayısı
x	Bir konfigürasyondaki olası hat sayısı
X	Bir konfigürasyondaki olası maksimum hat kümesi
z	Mümkün ardışık bölge konfigürasyonu numarası
Z	Amaç fonksiyonunun değeri
Z_r	r hattındaki tüm seferlerin net zararı (TL/sa)
$Z_{r,maks}$	$r \in R$ hatlarından zararı maksimum olanının zararının değeri

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1	Sistem ve çevre arasındaki etkileşim	1
Şekil 1.2	Ulaştırma sistemi için çevre-sistem döngüsü (Erel, 1995).....	2
Şekil 1.3	Toplutaşıma sisteminin girdi ve çıktıları.....	6
Şekil 1.4	Toplutaşıma planlamasının aşamaları ve etkili faktörler	16
Şekil 1.5	Bir kentsel toplutaşıma işletmesi için işletme planı	17
Şekil 1.6	Toplutaşımada fiziksel şebeke türleri.....	20
Şekil 2.1	Otobüsle toplutaşımacılığın ulaşırma sistemindeki yeri	21
Şekil 2.2	Kentiçi otobüs işletmeciliği şekilleri (Öncü, 1979a).....	28
Şekil 2.3	Klasik (basit) otobüs işletmeciliği.....	29
Şekil 2.4	Durak atlayarak işletmecilik.....	30
Şekil 2.5	Ekspres otobüs işletmeciliği.....	32
Şekil 2.6	Ağaç gövdesi bir şebekede bölgesel işletmecilik.....	34
Şekil 2.7	Bir besleyici rotalı bölgesel işletmecilik	35
Şekil 2.8	Izgara şebekede bölgesel işletmecilik (Chang ve Schonfeld, 1993)	35
Şekil 2.9	Radyal şebekede bölgesel işletmecilik.....	36
Şekil 3.1	Ağaç gövdesi şeklinde (dallanmış) bir taşıma şebekesi	53
Şekil 3.2	5 duraklı doğrusal bir şebeke örneği	68
Şekil 3.3	Hipotetik şebeke	81
Şekil 3.4	Bölgeleri adlandırılmış şebeke	82
Şekil 3.5	(Sayısal uygulama-1)'de adım adım maliyetlerin değişimi	91
Şekil 3.6	(Sayısal uygulama-1)'de adım adım kullanıcı maliyeti bileşenlerinin değişimi .	91
Şekil 3.7	(Sayısal uygulama-2)'de adım adım maliyetlerin değişimi	97
Şekil 3.8	(Sayısal uygulama-2)'de adım adım kullanıcı maliyeti bileşenlerinin değişimi .	98

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 1.1	Kentiçi toplu taşıma sistemleri (işletme ve türlere göre).....	6
Çizelge 2.1	Otobüsle toplu taşımacılıkta hedef ve amaçlar	25
Çizelge 2.2	Otobüsle kentiçi toplu taşımacılık için bir yapısal çerçeve	38
Çizelge 2.3	Chang (1990)'ın özeti	44
Çizelge 2.4	Analitik modellerde, optimize edilmiş amaç fonksiyonları ve karar değişkenleri	45
Çizelge 3.1	5 duraklı bir şebekede (3.28a)-(3.33) formüllerinin uygulanışı.....	68
Çizelge 3.2	5 duraklı bir şebekede (3.34a)-(3.37) formüllerinin uygulanışı.....	69
Çizelge 3.3	Problem zorluğunun büyümesi	72
Çizelge 3.4	Problem zorluğunun değişimi.....	78
Çizelge 3.5	Sayısal uygulamada kullanılan sabit ve parametrelerin değerleri.....	82
Çizelge 3.6	(Sayısal uygulama-1)'de kullanılan başlangıç talep matrisi.....	82
Çizelge 3.7	Hipotetik taşıma şebekesine ait mesafeler matrisi	83
Çizelge 3.8	Hipotetik taşıma şebekesine ait durak aralığı matrisi	83
Çizelge 3.9	Başlangıç çözümü için hatlardaki ara duraklarda duraklama sayıları (Sayısal uygulama-1)	84
Çizelge 3.10	(Sayısal uygulama-1)'de uygun çözüm için hatlardaki ara duraklarda duraklama sayıları (17. adım)	85
Çizelge 3.11	Başlangıç olası ekspres hatlara ait talep matrisi (Sayısal uygulama-1)	85
Çizelge 3.12	(Sayısal uygulama-1)'de başlangıç çözümü sonuçları	86
Çizelge 3.13	(Sayısal uygulama-1)'de uygun çözüm sonuçları (17. adım).....	87
Çizelge 3.14	(Sayısal uygulama-1)'de adım adım maliyet değişimi	88
Çizelge 3.15	(Sayısal uygulama-1)'de adım adım kullanıcı sürelerini değişimi.....	88
Çizelge 3.16	(Sayısal uygulama-1)'de adım adım kullanıcı maliyeti bileşenlerinin değişimi	89
Çizelge 3.17	(Sayısal uygulama-1)'de adım adım hatların elenmesi	90
Çizelge 3.18	(Sayısal uygulama-2)'de kullanılan başlangıç talep matrisi.....	92
Çizelge 3.19	(Sayısal uygulama-2)'de uygun çözüm için hatlardaki ara duraklarda duraklama sayıları (11. adım)	93
Çizelge 3.20	Başlangıç olası ekspres hatlara ait talep matrisi (Sayısal uygulama-2).....	93
Çizelge 3.21	(Sayısal uygulama-2)'de başlangıç çözümü sonuçları	94
Çizelge 3.22	(Sayısal uygulama-2)'de uygun çözüm sonuçları (11. adım).....	95
Çizelge 3.23	(Sayısal uygulama-2)'de adım adım maliyet değişimi	96
Çizelge 3.24	(Sayısal uygulama-2)'de adım adım kullanıcı sürelerinin değişimi.....	96
Çizelge 3.25	(Sayısal uygulama-2)'de adım adım kullanıcı maliyeti bileşenlerinin değişimi	96
Çizelge 3.26	(Sayısal uygulama-2)'de adım adım hat elemesi.....	97
Çizelge 3.27	Başlangıç ve son durumda maliyetler	100
Çizelge 3.28	Başlangıç ve son durumda maliyetlerin değişimi	100

ÖNSÖZ

Günümüzde kentiçi ulaşım sisteminde otobüsle taşımacılık önemini korumaktadır. Raylı sistemlere göre esnek bir taşımacılık yapan otobüsler daha uzun süre gündemimizde olacaktır. Özellikle raylı toplu taşıma sistemlerinin kentiçinde yeteri kadar değerlendirilemediği ülkemiz koşullarında, otobüsle taşımacılığın daha gelişmiş ve çağdaş ölçülerde yapılması kaçınılmaz bir zarurettir.

Bu çalışmada otobüsle toplu taşıma üzerine eğildik. Otobüs taşımacılığında her durakta duruş imkanı olan ve klasik olarak adlandırılan işletmecilik şeklinin yanı sıra, durak atlayarak, ekspres ve bölgesel işletmecilik şekilleri de kullanılır. Tezimizde, belirli bir taşıma şebekesi için, uygun işletmecilik şeklinin belirlenmesine yönelik bir matematik model üzerinde durulacaktır.

Bu çalışmada baştan beri desteğini gördüğüm Hocam, Prof. Dr. Aydın EREL Beyefendi'ye teşekkürlerimi sunarım.

Fedakâr eşim E. Seval YARDIM'a, sevgili oğlum Aligül'e, Yardımlara, Sağlamlara, mesai arkadaşlarıma, yardımı dokunanlara ve özel olarak da sıkıştığım her zaman bilgisinden istifade ettiğim İsmail ŞAHİN'e, matematik ve optimizasyon konularında sıkça bilgisine danıştığım Prof. Dr. Mehmet AHLATÇIOĞLU'na, aylarca odasını ve bilgisayarını bu çalışma için bana tahsis eden Nilgün CAMKESEN'e, benimle beraber çile dolduran kadim dostum, oda arkadaşım Mustafa GÜRSOY'a, Gazi'ye ve Yunus Emre'ye şükranlarımı sunuyorum.

Yük. Müh. Mustafa Sinan YARDIM

ÖZET

Kentlerimizdeki ulaşım problemleri günden güne artmakta ve kentiçi ulaştırma sistemlerinden yararlanan kişilerin seyahat koşulları ağırlaşmaktadır. Özel araç sahipliğinin artması yetersiz kentsel altyapı nedeniyle büyük boyutta ulaşım problemleri doğurmaktadır. Ulaşım şebekesi, insanlara hizmet etmekten çok özel araçlara hizmet verir duruma gelmiştir. Özellikle zirve saatlerdeki tıkanıklık etkileri toplu taşıma sistemlerinin önemini onaylar mahiyettedir. Gelenen noktada, toplu taşımacılığı çekici hale getirecek önlemler kaçınılmaz olmuştur.

Kentiçi toplu taşıma sistemleri karayolu, raylı ve deniz yolu olmak üzere üç ana türü bünyesinde barındırmaktadır. Büyük insan kütlelerinin hızlı bir şekilde taşınmasında raylı sistemler önde gelir. Ancak erişim fonksiyonunun düşük olduğu raylı sistemlerin, yatırım maliyetleri ve süreleri de yüksektir. Deniz yolu taşımacılığı ise yolcu kapasitesi yüksek olmasına karşılık kıyı kentleri dışında kullanılmaz. Bunların yanında karayolunu kullanan toplu taşıma sistemlerinde, bir taraftan yatırım için uzun süreye ihtiyaç duyulmazken, diğer taraftan yüksek erişim fonksiyonuyla işletme imkanı vardır. Taşıtların yuvarlanma yüzeyi karayolu olduğu için esnek bir taşımacılık hizmeti verirler. Bu yüzden vazgeçilemezdirler. Otobüsler, bu tür taşımacılıkta en çok kullanılan taşıtlardır. Kentiçinde diğer türlerle koordineli olarak işletilmeleri, etkin bir toplu taşıma şebekesinin oluşumuna katkı sağlar.

Bu çalışmada, kentiçi ulaşımında otobüsle toplu taşımacılık incelenmiştir. Otobüsle toplu taşımacılıkta çeşitli işletmecilik şekilleri kullanılmaktadır. Tezde, ağaç gövdesi şeklinde (dallanmış) bir toplu taşıma şebekesinde, otobüs işletmeciliği şeklinin (Ekspres ve/veya klasik işletmecilik) belirlenmesi amacıyla bir matematik model oluşturulmuştur.

Giriş bölümünde kentiçi ulaşım sistemlerine değinildikten sonra toplu taşıma sistemi ayrıntılı bir şekilde analiz edilmiştir. Sistemin girdileri ve çıktıları tanımlanmış, karar verme süreci anlatılmış, karşılaşılan toplu taşıma şebekesi yapıları verilmiştir.

İkinci bölümde otobüsle toplu taşıma, bir sistem yaklaşımıyla değerlendirilerek, girdileri, çıktıları, kullanılan işletmecilik şekilleri detaylı olarak sunulduktan sonra bir yapısal çerçeve ile özetlenmiştir. Konu ile ilgili kaynak taraması verildikten sonra, bu bölümün sonunda kaynaklar hakkında kısa bir değerlendirme yapılmıştır.

Üçüncü bölümde teze konu olan matematik model için bir düşünce yapısı sunulmuştur. Modelle ilgili formülasyon verildikten sonra "toplam sistem maliyetini" minimum yapan bir amaç fonksiyonu yazılmıştır. Problem zorluğu gösterilmiş ve sezgisel bir çözüm algoritması önerilmiştir. Bu bölümün sonunda modele ait bazı sayısal uygulamalara yer verilmiştir. Örneklerle toplam sistem maliyetinin, başlangıç çözümüne göre düştüğü gösterilmiştir. Özellikle, talep yapısının, çok duraktan-çok durağa bir dağılımdan, tek duraktan-tek durağa bir dağılıma doğru yaklaştıkça, elde edilen sonuçların daha da olumlu olduğu belirlenmiştir.

Dördüncü bölümde ise elde edilen diğer sonuçlarla birlikte öneriler, araştırmacıların dikkatlerine sunulmuştur.

Anahtar kelimeler: Kentiçi ulaşım şebekesi, otobüsle toplu taşıma, matematik model, ulaştırma maliyeti, sezgisel algoritma.

ABSTRACT

Daily transportation problems in the cities are increasing and passenger conditions are getting worse. Rising car ownership and insufficient urban infrastructure cause huge transportation problems. Currently, the urban transportation network mostly serves private cars more than people. Especially at peak hours, congestion effects show the importance of mass transit services. At this point, some incentives for mass transit services are needed.

Urban transit services have three main modes as highway, rail and water. Rail services take the first place for fast transportation of large number of people. However, rail services have low accessibility, high investment costs and need long periods of construction. Water transportation can only be used at seaside and/or riverside cities. On the other hand, highway transit systems need short periods of construction and have a high degree of accessibility. Since the rolling surface of the vehicles is formed by streets and highways, a flexible transportation service can be provided and thus, they are irreplaceable. Buses are the most widely used vehicles. In urban areas, they have been operated in coordination with other modes in order to make an efficient mass transit network.

Bus transit services in urban areas are investigated in this study. Various kinds of operating strategies have been widely used in bus transit services. In this dissertation, a mathematical model for planning bus operating (express and/or all stop operation) strategies at a branched transit network with known characteristics has been developed.

After summarizing urban transportation systems in the introduction, transit systems are discussed in depth. Inputs and outputs of the systems are defined, the decision process is described and well-known transit network structures are listed.

In the second chapter, city bus transit services are evaluated using systems approach. Its inputs and outputs, and operating strategies are given in detail and a literature review is presented by a structural framework. By the end of this chapter, the reviewed literature is summarized and criticised.

In the third chapter, assumptions and structure of the new mathematical model are presented. After introducing the derivation of the mathematical model, an objective function for the minimization of the total system cost is generated. The combinatorial structure of the problem is shown and a heuristic solution algorithm is proposed. By the end of this chapter, the model is tested using some numerical examples and thus total system cost is significantly reduced compared with the initial solution. Especially, when the demand structure converges from many-to-many stations to one-to-one, a better improvement in cost is determined.

Discussions on the research results, conclusions and recommendations for future work are presented in the fourth chapter.

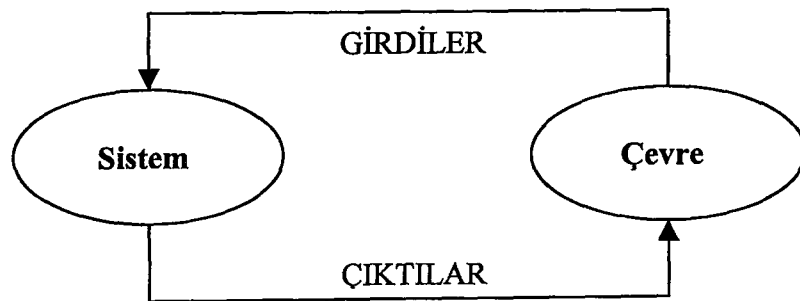
Keywords: Urban transportation network, bus transit, mathematical model, transportation cost, heuristic algorithm.

1. GİRİŞ

Kentlerimizdeki ulaşım problemleri günden güne artmakta ve kentiçi ulaşırma sistemlerinden yararlanan fertlerin seyahat koşulları ağırlaşmaktadır. Özel araç sahipliği artarken yetersiz altyapı ve yönetim faaliyetlerinden dolayı yollar özel araç trafiğini kaldıramaz hale gelmektedir. Özel araç sahipleri trafikte saatlerini harcayıp, gittikleri yerlerde park problemleriyle karşılaşırken, özel aracı bulunmayan yolcular ile araçlarını kullanmayanlar da aynı kaotik ortamda toplutaşıma sistemine yönelmektedirler. Özel araçların yarattığı bu olumsuzluklara beraberce maruz kalmaktadırlar. Hal böyle olunca kentiçi toplutaşımacılığın gerekli önem ve dikkatle ele alınması zorunluluğu doğmaktadır. Nitekim, toplutaşımacılığı çekici hale getirmekle problemlerin çözümü için bir kapı aralanmış olacaktır.

Ulaşırma ile ilgili problemler yapıları gereği, bir sistem yaklaşımı içinde ele alınır (Alpöge, 1974). Çünkü ulaşırma, çok-türlü (multi-modal), çok-sektörlü (multi-sectoral), çok-sorunlu (multi-problem) ve çok-dallı (multi-disciplinary) bir yapı arz eder (Yardım, 1994).

Sistem, “eylemleri, özel hedef ve amaçlara yönelik girdiler altında yönlendirilebilecek şekilde organize edilen bileşenler kümesi”dir (Hutchinson, 1974). Sistemler kendi dışlarındaki çevreyle etkileşim içindedirler. Buradaki eylemler, ve bu eylemlerin çevreye etkileri sistemin çıktılarıdır. Çıktılar, girdilerin fonksiyonudurlar. Girdilerin kaynağı da çevredir. Çevre de sistem dışında olan, sistemin davranışını etkileyen ve sistemin davranışlarından etkilenen bileşenlerden meydana gelir. Sistem ve çevresi arasında Şekil 1.1’de görülen bir etkileşim ve çevrim (devir) vardır.



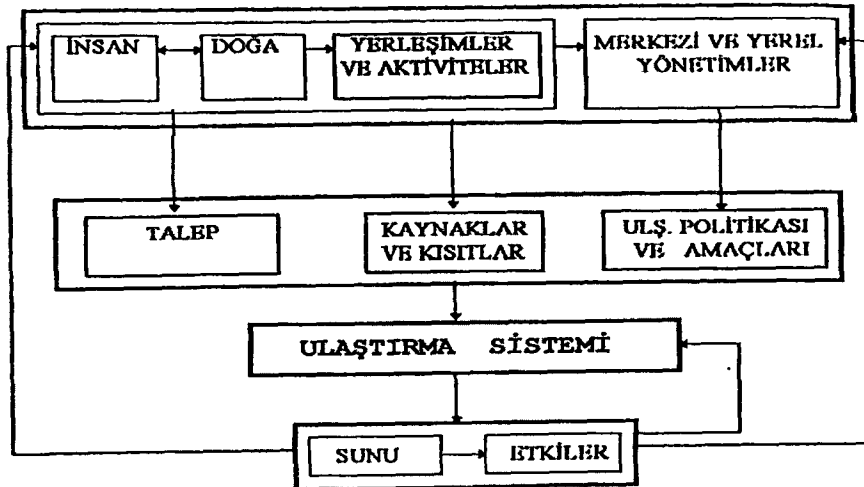
Şekil 1.1 Sistem ve çevre arasındaki etkileşim

Çevre sisteme girdilerle katkıda bulunmakta, sistem bu girdileri kullanarak veya girdilerden etkilenerek, çıktılarını meydana getirmekte, çıktıları etkisi altında değişen çevre de yeni kimliğiyle sistemi etkilemekte, ve bu böylece sürüp gitmektedir. Bu döngü sürekli ve düzenli olarak işlerse sistem ve çevre bir denge içindedir denilebilir. Süreklilik ve düzenin bozulduğu durumlarda ise yeni denge koşullarının oluşabilmesi için bir değişim süreci ortaya çıkmaktadır.

Bir sistemin hedef ve amaçlara uygun olarak kurulabilmesi, sistem içindeki problemlerin çözülebilmesi, değişik koşullarda sistemdeki muhtemel değişimlerin tahmin edilebilmesi ve sistemde değişiklikler yapılabilmesi için, o sistem ve çevresini oluşturan bileşenlerin (değişkenlerin) birbirleriyle olan ilişki ve etkileşimlerinin yanısıra, sistem çıktılarına olan etkilerinin araştırılması ve belirlenmesi gerekir (Erel, 1995).

Mannheim (1979), ulaştırma sistemini, “insan ve eşyaların belirli ve iyi tanımlanmış bir şekilde ulaşım ile ilgili tüm fiziksel, sosyal, ekonomik ve kurumsal bileşenlerin bir araya getirilmesiyle oluşan bir küme” olarak tanımlamaktadır. Bu sistemin, yol ağı, taşıt filosu, işletme, terminaller, gibi alt sistemleri vardır. Ulaştırma sistemi ile en çok etkileşimi bulunan çevre bileşenleri: arazi kullanımı, nüfus yoğunluğu ve karakteri, sosyo-ekonomik yapı, topoğrafik ve jeolojik yapı, iklim koşulları, ekolojik yapı, ülke ve bölgelerin idari yapıları vb. dir. Ulaştırma sistemi, çevresini önemli ölçüde etkileyen ve denge sorunları yaratan sistemlerden biridir (Erel, 1995) .

Şekildeki sistem çevre etkileşimi ulaştırma sistemi için uyarlandığında, sistemin üç ana girdi grubu ortaya çıkmaktadır: Talep, kaynaklar ve kısıtlar, ulaştırma politikaları ve amaçları (Şekil 1.2).



Şekil 1.2. Ulaştırma sistemi için çevre-sistem döngüsü (Erel, 1995)

Talep grubu içine, arazi kullanımı, ekonomik ve sosyal etkinlikler ile bunların yarattığı kalitatif ve kantitatif ulaşım talebi girmektedir. Kaynaklar ve kısıtlar grubunun içine, sistemin kurulması ve işletilmesi aşamaları için gerekli sermaye, emek, teknoloji ve enerji kaynakları ile doğal, yasal, idari, kurumsal, ekonomik, sosyal ve güvenliğe yönelik kısıtlar girmektedir. Üçüncü grup ise, genellikle ulaştırma sunusunda en etkili olan girdi bileşenidir. Zira burada bir çok sistemde olduğu gibi, merkezi ve yerel yönetimler karar sürecinde etkindirler.

Ulaştırma sistemi çıktıları ise, “sunu” ve “etkiler” olarak iki gruba ayrılabilir. Sunu grubu, ulaştırma şebekesi boyunca ulaşım imkanları ve maliyetlerini, işletme tarafından sunulan hizmet düzeylerini, taşımacılık ücretlerini ve tüketilen kaynakları içine almaktadır. Erişilebilirlikteki zamansal ve mekansal değişimler, aktivitelerdeki mekan ve boyut değişimleri, hareketliliğin değişimi, taşınır ve taşınmazların değerlerindeki değişimler, bölgesel, sosyal ve ekonomik değişimler, arazi kullanımındaki değişimler, gürültü düzeyinin değişmesi, hava, toprak ve su kirliliği, ekolojik dengenin değişimi, kent görünümünün değişmesi, yaşam koşullarındaki değişimler, etkiler olarak adlandırılan ikinci grubun içine girmektedir (Erel, 1995).

Ulaştırma sisteminin girdi ve çıktılarının iyi analiz edildiği bir planlama çalışması, sistemin verimli ve etkin bir şekilde kurulup işletilebilmesi için gereklidir. Bundan sonraki bölümlerde kentiçi ulaşım sistemine değinildikten sonra bu sistemin önemli parçalarından biri olan toplu taşıma sisteminin analizi yapılacaktır.

1.1. Kentiçi Ulaşım Sistemi

Kentiçi ulaşım sistemi, insanların kentiçinde sosyal ve ekonomik aktivite sistemleri arasında yer değiştirme gereksinimlerini karşılamak için kullandıkları bir hareket ortamıdır. Bu sistem en genel anlamda, ulaşım şebekesi, taşıtlar ve işletmeden oluşur.

Kentiçi ulaşım sisteminde yük ve yolcu olarak iki tür taşımacılık yapılır. Bu tezde kentsel yük taşımacılığı (Öncü, 1979b) dikkate alınmayıp yolcu taşımacılığı üzerinde durulacaktır.

Kentiçi ulaşım sisteminin üç temel fonksiyonu vardır:

- 1- Hareketlilik fonksiyonu
- 2- Erişim fonksiyonu
- 3- Yaşam fonksiyonu

Hareket fonksiyonuyla, aktivite merkezleri arasında büyük yolcu kütlelerinin hızlı, güvenli ve ekonomik ulaşımı sağlanmaya çalışılır. En önemli ölçütü seyahat hızıdır.

Erişim fonksiyonu, bir ulaşım sisteminin aktivite merkezlerine erişilebilirliği kolay kılmasıdır. Bir yolun çevresindeki yapılaşma ne kadar yoğunsa, yani bu yol sayesinde erişilebilen yaşam mekanlarının, işletmelerin ya da hizmet veren merkezlerin sayısı ne kadar büyükse, erişim fonksiyonunun göstergeleri o ölçüde ön plana çıkar.

Erişim fonksiyonunun diğer önemli belirtisi yol alanlarının motorize olmayan trafik tarafından kullanım yoğunluğudur.

Yolların iki kenarında sıralanmış olan kullanım alanlarının ilişkili düzeyleri, motorsuz trafik için bunlar arasında iyi ve güvenli bir karşıya geçiş talebini belirler. Akan trafik ile karşıya geçen trafik arasında önemli çatışmalar oluşur, bu nedenle erişim fonksiyonu motorize trafiğin çevreyi göz önünde tutan hızları uygulamasını gerektirir.

Yaşam fonksiyonu, salt erişimi aşan aktivitelerden oluşur. Bu aktiviteler yol mekanlarının yanlarındaki kullanım alanları ve yapılaşma ile ilişkilidir (Çocukların sokakta oynamaları, ön bahçelerden ve yol kenarındaki yeşil alanlardan yararlanmalar, alışveriş ve boş vakit gezintileri, yol kenarı kafelerinde oturma vb.).

Ulaşım sistemleri planlanırken bu fonksiyonlardan biri öne çıkar. Mesela, normal zamanlarda araç trafiğine açık bir caddenin yayalaştırma çalışmalarında yaşam fonksiyonu bağlantı ve erişim fonksiyonunun önüne geçer. Yayalaştırılan alanın gece belli bir saatten sonra araç trafiğe açılması ise bu fonksiyonların birbiriyle çatışmasına yol açar. Kentiçi toplu taşıma sisteminden örnek verilecek olursa, mesela otobüsle toplu taşımacılık öncelikle erişim fonksiyonunun öne çıkarıldığı ikincil olarak bağlantı fonksiyonunun sağlandığı bir sistemdir.

İnsanlar, kentiçi ulaşımında seyahat taleplerini karşılamak üzere, özel ulaşım ve toplu taşıma sistemlerini kullanırlar. Kentiçi ulaşım sistemlerinin parçaları olan bu alt sistemler, genellikle aynı fiziksel şebekeyi kullanmalarına rağmen, farklı amaçlara hizmet ettiklerinden planlanmaları da farklıdır (Çalışkan, 1994).

Genellikle özel ulaşımla anlatılmak istenen özel araç sahiplerinin yaptıkları ulaşım aktiviteleridir. Bu sınıfta otomobil, motosiklet, bisiklet ve yaya ulaşımı alt türleri bulunur. Kendi kendine (self-service) bir hizmet anlayışı hakimdir. Hatları ve zaman çizelgeleri esnekler. Yani kullanıcı istediği yere istediği zaman gidebilme imkanına sahiptir. Her an kullanıma hazır bulunmalarının yanında kapıdan kapıya seyahat için idealdirler. Bireyselliği özendirilen bir taşımacılık türüdür. Bunun yanında diğer sistem ve türlerle karşılaştırıldığında maliyetleri tamamen araç sahipleri ve kullanıcılar üstlendiğinden pahalıdır. Çevreye verdiği zararlar ve ürettiği atıklar diğer sistemlere oranla yüksektir.

Kentiçi ulaşım sisteminin diğer parçası olan toplu taşıma sistemine özel aracı olmayan kişilerle özel aracı olup da toplu taşıma sistemini tercih edenler yönelirler. Bu konuya aşağıdaki bölümlerde daha detaylı bir biçimde değinilecektir.

1.2. Kentiçi Toplu Taşıma Sistemi

Toplu taşıma sistemi, insanların ulaşım taleplerini karşılamak üzere zaman ve mekan içinde toplu olarak yer değiştirmelerini sağlayan öğeleri, bunların özelliklerini ve aralarındaki ilişkileri içeren bir bütün olarak tanımlanabilir. Burada kentiçi toplu taşıma sistemi konu edilecektir. Tez boyunca da “toplu taşıma” terimiyle “kentiçi toplu taşıma” kastedilecektir.

Günümüzde kentiçi ulaşımın önemli bir kısmı toplu taşımacılıkla yapılmaktadır. Çeşitli alt sistemleri ve öğeleri bünyesinde barındıran toplu taşıma sisteminin kullanılması bir çok yönden yararlar sağlamaktadır. Bunlardan bazıları sıralanacak olursa:

- Kent içinde ekonomik bir kullanım alanı yaratmaktadır.
- Yolların sadece otomobil taşımacılığı yapmasının önüne geçerek, esas olarak insanların taşınması amacına hizmet etmektedir.
- Yol ve şebeke açısından kapasite kullanımı özel araçlara göre düşüktür.
- Her kesimden insanlara hizmet vermektedir. Bu yönüyle bir kamu hizmeti sunmaktadır.
- Enerji tasarrufu açısından çok etkili bir sistemdir.
- Çevreye olumsuz etkileri özel otolara göre bir hayli azdır. Sistemin ürettiği atıklar düşük düzeyde olduğu için dengeli bir çevre oluşumuna katkı sağlar.
- Toplu taşıma sisteminde kullanılan araç sayısı, özel araçlara göre az olduğu için yedek parça ve yan sanayi açısından ülke ekonomisine katkıları büyüktür.

Toplu taşıma sistemi çeşitli türleri bünyesinde barındırır. Bunlar genelde karayolu, raylı sistemler ve denizyolu olarak üç gruptur (Çizelge 1.1). Ayrıca askılı sistemler (Mesela,

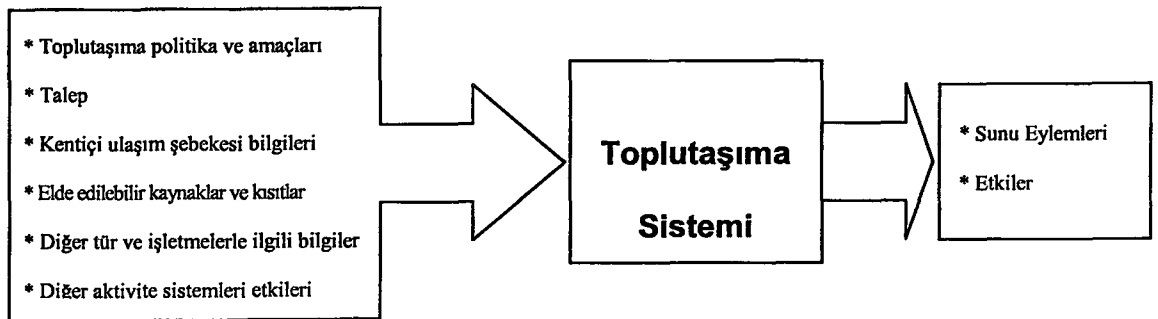
teleferik) de ilave edilebilir. Sağlıklı bir ulaşım sistemi için bu türlerin kent içinde birbiriyle koordineli ve dengeli bir Şekilde hizmet vermesi istenir.

Çizelge 1.1 Kentiçi toplulaşıma sistemleri (işletme ve türlere göre)

TAŞIMA TÜRÜ	ARAÇ TÜRÜ
KARAYOLU SİSTEMLERİ	<u>OTOBÜS:</u> Belediye Otobüsü �zelleştirilmiş Otobüs Servis Otobüsleri
	<u>MINİB�S:</u> Hatlı Minib�sler Servis Minib�sleri
	TAKSİ
	DOLMUŐ TAKSİ
RAYLI SİSTEMLER	DEMİRYOLU
	METRO
	LRT (Hafif Metro)
	TRAMVAY
DENİZYOLU SİSTEMLERİ	VAPUR
	DENİZ OTOBÜSÜ
	DOLMUŐ MOTORU
ASKILI SİSTEMLER	TELEFERİK
	DİŐER KABİNLİLER

1.2.1. Kentiçi Toplulaşıma Sisteminin Girdileri ve ıktıları

Kentiçi toplulaşıma sisteminin planlanıp işler hale getirilmesi için bir çok girdiye ihtiyaı vardır. Sistem bu girdiler sayesinde hayatiyet kazanır. Girdiler, kullanılıp birtakım işlemlerden geçirildikten sonra sistem çeşitli çıktılar üretilir. ıktılar, sunu eylemleri ve bunların çeşitli etkileri olarak görülür (Şekil 1.3).



Şekil 1.3 Toplulaşıma sisteminin girdi ve ıktıları

1.2.1.1 Sistemin Girdileri

1. Toplutaşıma politika ve amaçları
2. Talep
3. Kentiçi ulaşım şebekesi bilgileri
4. Elde edilebilir kaynaklar ve kısıtlar
5. Diğer tür ve işletmelerle ilgili bilgiler
6. Diğer aktivite sistemleri etkileri

Toplutaşıma politika ve amaçları:

Toplutaşıma politikası kentiçi toplutaşıma sistemlerinin geliştirilmesi için belirlenmiş eylemler demetidir (Akyılmaz, 1979; Alpöge, 1978). Kentiçi toplutaşıma politikaları yardımıyla, toplutaşıma programlarının uygulanması, toplutaşıma yatırımları için gerekçelerin hazırlanması, toplutaşıma için gerekli yasal önerilerin ve gerekçelerin belirlenmesi gibi faaliyetler sürdürülür. Bu politikalar çeşitli ilkelere göre üretilir. Örnek olarak, büyük kentlerde, tek türlü bir toplutaşıma sistemi kentsel ulaşım ihtiyaçlarını karşılayamayacağı için tüm toplutaşıma sistemleri arasında eşgüdüm sağlanması ilkesi verilebilir.

Toplutaşımacılıkta hizmet belli bir amaca yönelik olarak yapılır. Bu amaçlar, sistem maliyetinin minimizasyonu, kâr maksimizasyonu, yolcu memnuniyetinin maksimizasyonu gibi genel olabileceği gibi, taşıtların toplam seyahat sürelerinin minimizasyonu, duraklarda veya aktarmalardaki bekleme sürelerinin minimizasyonu, taşınan yolcu miktarının maksimizasyonu, hizmet frekansının maksimizasyonu, gibi daha özel ve alt alanlarda da olabilir.

Talep:

Kentiçi ulaşım talebinin belirlenmesi, planlama ve işletme faaliyetlerinin başında, bunlara gerekli veriyi sağlayan temel bir ön çalışmadır. Talebin O-D (Başlangıç-son) matrisi şeklinde belirlenmesi kullanım açısından oldukça yaygındır. O-D matrisi, ihtiyaç gereği seyahat amaçlarına göre veya talebin zaman içindeki değişimi dikkate alınarak hazırlanabilir. Planlama çalışmalarında talep esas alınarak, durak yerleri ve durakları birleştiren hatların belirli kriterlere göre optimum seçimi, yani, ulaşım şebekesinin ve bu şebeke üzerindeki hatların belirlenmesi işi yapılır. Hangi noktalar arasına ne kadar sefer atanması gerektiği, bu seferlerle kaç kişi taşınacağı, taşıma eyleminin ne zaman yapılacağı sorularına cevap verebilmek için talep gereklidir (Çalışkan, 1994). Bunun gibi işletme faaliyetleri içindeki

görevlerin çizelgelenmesi, araçların zaman çizelgelerinin hazırlanması, sefer aralıklarının belirlenmesi, personel çizelgelerinin yapılması gibi işler için de talep bilgilerine ihtiyaç vardır.

Talep, aktivitelerin mekan içindeki dağılımları ve boyutları, toplumun sosyo-ekonomik özellikleri ve sistemin performansının bir fonksiyonudur. En önemli performans ölçütlerinin hizmet düzeyi, sistemi kullananların ödedikleri ücret ve sistemin pratik kapasitesi olduğu düşünülürse bunların da talebi etkiledikleri görülür.

Kentiçi ulaşım şebekesi bilgileri:

Kentiçi ulaşım şebekesi bilgileri sistemin fiziksel olarak tanımlanmasına yardımcı olur. Burada iki türlü şebeke ile söz konusudur. Birincisi şimdiki (hali hazır) şebeke, diğeri planlanması düşünülen şebeke. Şimdiki şebeke, üzerinde değişiklikler veya bazı ilaveler yapılmak üzere ele alınır. Bunu için girdi olarak değerlendirilen unsurlar şu şekilde sıralanabilir:

- Şebekenin coğrafik konumu ve yapısı
- Şebeke biçimi (radyal, ızgara, ağaç gövdesi, kompozit)
- Şebekedeki düğümler ve bağlar (Duraklar, terminaller, aktarma imkanları, bağ tipleri, bağ uzunlukları)
- Hizmet verilecek bölgenin boyutu
- Bağlardaki hacimler, bağ maliyetleri
- Şebekedeki ulaştırma alt sistemlerinin özellikleri

Elde edilebilir kaynaklar ve kısıtlar:

Bir sistemin kurulması ve işletilmesi kaynak girdisiyle mümkündür (Manheim, 1979). Kaynaklar, değişik şekillerde sınıflandırılabilir. Toplulaşıma sisteminde tüketilmeye müsait bir çok şey kaynak olarak değerlendirilebilir. Bazı kaynaklar, arazinin başka kullanıcılardan alınması veya yakıt ve iş gücü tüketimi olarak kullanılır. Diğer tüketim şekillerinden biri de var olan kalitenin düşürülmesiyle ortaya çıkar. Hava kirliliği ve gürültü de bir taraftan sistemin çıktısı iken diğer taraftan bir kaynak tüketim şeklidir. Bunun gibi, çevresel zararlar, ekolojik, sosyal ve estetik etkiler de hem kaynak tüketimi hem sistemin çıktısı konumundadırlar. Toplulaşıma sisteminin kurulması ve işletilmesinde kullanılan tipik kaynaklar şu şekilde sıralanabilir:

- Sermaye (nakit, menkul ve gayri menkuller, gelirler, kredi ve borçlanma imkanları)
- İşgücü (taşıtların ve sabit tesislerin üretimi, işletilmesi ve bakımında, yönetim sisteminde)
- Teknoloji
- Malzemeler (taşıtların üretimi ve sabit tesislerin yapımında kullanılanlar, işletme sırasında enerji dışında kullanılanlar)
- Arazi (fiziksel şebeke oluşumu için, sabit tesisler için)
- Enerji (Sistemin işletilmesi için, taşıtların ve sabit tesislerin üretimi için)
- Çevresel zararlar (hava ve su kalitesi, gürültü düzeyi, kokular)
- Ekolojik, sosyal ve estetik etkiler.

Toplulaşıma sistemi ideal bir çerçevede kurulup işletilemez. Günlük hayatın karmaşıklığı ile iç içedir. Bu yüzden bir takım kısıtlara maruzdur. Bu kısıtlar:

- Yolcuya yönelik kısıtlar
- İşletmeciye yönelik kısıtlar
- Kaynak kısıtları
- Yönetim kısıtları
- Çevre kısıtları
- Şebekeye yönelik kısıtlar olarak sıralanabilir.

Diğer tür ve işletmelerle ilgili bilgiler:

Diğer işletme ve türlerle ilgili bilgiler rekabet ortamında özellikle önemlidir. Diğer taraftan tek bir otorite altında hizmet verilen toplulaşıma sistemlerinde koordineli ve bütünleşik bir sistem yapısı için yine bu ilgilere gereklidir. Kısaca şu bileşenlerden oluşur:

- Pazardaki işletme sayısı ve işletmelerin payları
- Bu işletme ve türlerin hat bilgileri (hat uzunlukları, hat yapıları)
- Filo kompozisyonları ve pratik kapasiteleri
- Zaman çizelgesi bilgileri (sefer sıklıkları, takip aralıkları, sefer süreleri)
- Doluluk oranları
- Durak yerleri
- Hizmet verilen yolcuların profilleri

Diğer aktivite sistemleri etkileri:

Diğer aktivite sistemlerinin etkileri toplulaşıma sistemin fonksiyonlarıyla ilgilidir. Bağlantı ve erişim fonksiyonlarını yüklenen sistem, faaliyetlerini, sosyo-ekonomik ve politik bir ortamda gerçekleştirmektedir. Bunu gereği olarak mesela, nüfus hareketleri, ticari faaliyetler, kültür ve eğitim faaliyetleri, endüstriyel faaliyetler, turistik faaliyetler, alış-veriş faaliyetlerinin çıktıları, toplulaşıma sistemine girdi üretmektedirler. Çünkü tüm bu sistemler, kişilerin seyahat kararlarına, nereye, ne zaman, nasıl, hangi ulaşım türüyle, hangi hatdan seyahat edeceklerine yani bir bakıma toplulaşıma sistemine ne şekilde gireceklerine etki ederler.

1.2.1.2 Sistemin Çıktıları**1.2.1.2.1 Sunu**

- Toplulaşıma şebekesi boyunca ulaşım imkanları(hatlar, duraklar, çizelgeler vb.)
- İşletme tarafından sunulacak hizmet düzeyi
- Tüketilen kaynaklar
- Maliyetler

Toplulaşıma şebekesi boyunca ulaşım imkanları(hatlar, duraklar, çizelgeler vb.):

Toplulaşıma şebekesi, çeşitli girdiler ve işletme faaliyetleri altında yeni bir yüzle hizmet verir. Şebeke boyunca yeni ulaşım imkanları doğar. Bunlar aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Hatlar
- Hat uzunlukları
- Durak sayısı, tipler, yerleri ve aktarma imkanları
- Zaman çizelgeleri (sefer sıklığı, takip aralığı, sefer süresi)
- Taşıt çizelgeleri
- Taşıt filosu (taşıt özellikleri ve sayıları)
- Personel çizelgeleri
- Diğer sabit tesisler, depolar ve bakım istasyonlarının yerleri

İşletme tarafından sunulacak hizmet düzeyi:

Ulaşım imkanlarını sunanlar tarafından verilen kararlarla belirlenen ulaşım şebekesi, zaman çizelgeleri, taşıt hatları ve çizelgeleri, taşıt filosu, ücretler, hizmet kalitesi ve denetim gibi

konuların kullanıcılar tarafından algılanma ve değerlendirilme şekliyle, hizmet düzeyleri tanımlanır. Bilinen hizmet düzeyi bileşenleri, şunlardır:

- Erişebilirlik (duraklar, hatlar ve bunların çalışma biçimine bağlıdır)
- Sıklık (talep, taşıt kapasitesi, filo boyutu, işletme sistemi ve zaman çizelgesine bağlıdır)
- Ulaşım süresi (talep, seyir koşulları, hat uzunluğu, zaman çizelgesi ve araç tipine bağlıdır)
- Konfor (taşıt özellikleri, seyahat koşulları, işletme biçimine ve denetime bağlıdır)
- Dakiklik (talep ve talebin değişimi, işletmenin kapasitesi ve kullanım oranı, sunulan hizmet kalitesi ile topografik ve iklim koşulları gibi dış etkenlere bağlıdır)
- Güvenlik (seyir koşulları, denetim, işletme kalitesi)
- Taşıma kapasitesi (filo boyutu, taşıt kapasitesi, maliyetler, bütçe ve zaman çizelgesine bağlıdır)

Tüketilen kaynaklar:

Kaynak tüketimi konusuyla toplutaşıma döngüsü içinde her aşamada karşılaşılır. Sistemin girdisi olan kaynaklar, tüketim biçimleri, tüketim biçimlerinin neden olduğu değişimlerle ve bu değişimlerin etkileriyle de sistemim çıktısıdır. Aynı zamanda sunu eylemlerini icra edebilmek, yani sistemin var olan hizmetine devam edebilmesi için kaynaklara ve bunların tüketimine ihtiyaç duyulur.

Maliyetler:

Bir sistem çıktısı elemanı olarak maliyetler, kullanıcı, işletmeci ve diğer aktörler için ele alınabilir. Maliyet konusu toplutaşımacılıkta geniş bir yer kaplar. Bilinen belli başlı maliyetler şu şekilde sıralanabilir:

Kullanıcı maliyetleri:

- Taşımacılık ücretleri
- Kullanıcıların toplutaşıma sisteminde harcadıkları zamanın parasal değeri (erişim, bekleme, araç içi seyahat, aktarma sürelerinin değeri, işgücü kaybı)

İşletmeci maliyetleri:

- Taşıt giderleri (bakım, onarım, amortisman, yedek parça,)
- Enerji giderleri

- Tüketilen diğer kaynak maliyetleri
- Personel giderleri
- Tanıtım ve pazarlama giderleri
- Sigortalar vd.

Diğer aktörlerin maliyetleri:

- Çevrede ve diğer kişilerde olumsuz değişim yaratan bilumum etkiler

Ücretler kullanıcı tarafından algılanan bir hizmet düzeyi bileşenidir. İşletmenin amaçları, talep, gelir-gider durumu ve kaynak tüketiminden etkilenirler. Taşımacılık ücretleri ile ilgili çıktı bilgileri şu şekilde sıralanabilir:

- Ücret kategorileri ve miktarları
- Toplanma şekilleri

1.2.1.2.2 Etkiler

Sunu etkilerinin temelinde diğer aktivite sistemlerindeki değişimler yatmaktadır. Bunların bir kısmı olumlu, bir kısmı önlem almayı gerektiren olumsuz değişimlerdir. Olumsuzluklar bir bakıma toplu taşıma sistemini kullanmanın bedelidir. Bazı etkiler şu şekilde sıralanabilir:

- Erişilebilirlikteki zamansal ve mekansal değişimler
- Aktiviteleredeki mekan ve boyut değişimleri
- Hareketliliğin değişimi
- Taşınır ve taşınmazların değerlerindeki değişimler
- Bölgesel, sosyal ve ekonomik değişimler
- Arazi kullanımındaki değişimler
- Gürültü düzeyinin değişmesi
- Hava, toprak ve su kirliliği
- Ekolojik dengenin değişimi
- Kent görünümünün değişmesi
- Yaşam koşullarındaki değişimler

1.2.2 Kentiçi Toplutaşıma Sisteminde Karar Verme Süreci

Toplutaşıma sistemini etkin, çekici ve kullanılabilir hale getirmek için planlama faaliyetlerini de en üst düzeyde ele alıp değerlendirmek gerekir. Bu konuda günümüze kadar bir çok araştırma ve bilimsel çalışma yapılmıştır.

Bu çalışmaların hemen hepsi sistemin temel karar problemlerine çözüm getirmek amacıyla yapılmaktadır. Toplutaşıma sisteminde karar verme süreci yukarıda bahsedilen konulara karar verilmesini içerir. Bu konulardaki problemleri çözmeye yönelik planlama faaliyetleri iki aşamadan oluşur:

- 1- Kuruluş (tesis) planlaması
- 2- İşletme planlaması

Bu sistemde belirli hedef ve amaçlara yönelik olarak karar verme karmaşık bir yapıdadır. Çünkü;

- Olası kararların çokluğu ve değişik şekiller alabilmesi,
- Birbirlerinden farklı ve bazan birbirlerine ters düşen amaçları ve farklı planlama-yönetim süreçleri ile, değişik düzeylerdeki karar verme ve değişik aktörlerin varlığı,
- Tüm düzeyler, tüm aktörler ve bunların tüm kararları arasında, yüksek düzeydeki bağımlılık ve etkileşim,
- Karmaşık ve değişken bir çevre ile bağımlılık mecburiyeti, söz konusudur (Lardinois, 1989).

Ulaştırma planlamasındaki problemlerin her biri , gerek ulaşım sistemi gerek çevre ile ilgili çok sayıda değişken içermektedir. Her problemde çok sayıda değişkenin birarada ele alınması, problemin yapısını karmaşık kılarak çözümünü zorlaştırdığı gibi, aynı zamanda gereksiz bir işlemdir. Mesela, bir işletmecinin, gelecekteki stratejilerini belirlerken, demografik değişimi dikkate alması doğaldır, ancak kısa vadeli aktivitelerini organize ederken, bu değişimi hesaba katması beklenilmez. Duruma, içeriğe ve bakış açısına bağlı olarak, planlamada farklı düzeyler oluşturması, problemlerin daha anlaşılır duruma getirilmesine, etkili faktörlerden nelerin belirli, nelerin değişken olarak kabul edileceği konusunda karar verilmesine ve bir problemin planlamadaki konumunun belirlenmesine yardımcı olacaktır (Erel, 1995).

Lardinois (1989) ulaşım sistemlerinde planlama için karar verme aşamalarını birbiriyle etkileşim içinde olan üç ayrı düzey olarak tanımlamaktadır:

- Stratejik düzey
- Taktik düzey
- İşletme düzeyi.

Stratejik düzeyde karar verme, genellikle sunu politikasının belirlenmesi, kaynak temini, büyük (temel) yatırım tahsisleri konularında uygulanır. Bu en yüksek düzeydeki kararların, sistem boyutunda ve uzun vadeli etkileri vardır. Bu karar problemleri genellikle,

- Pazar seçimi,
- Şebeke konfigürasyonu,
- Filo ve insan kaynağının planlanması,
- Pazarlama stratejileri,
- Sabit tesislerin (durak, işletme tesisleri, depolar gibi) planlanması,
- Sabit tesis yerlerinin saptanması,
- Bütçe planlaması vb.

ile ilgilidirler.

Taktik kararlar orta vadeli planlamaları içerirler. Bunlar, yeni büyük kaynaklar elde etmekten çok, organizasyonun verimliliğini ve rekabet gücünü artırmak için, varolan insan ve malzeme kaynaklarının tahsisi ile ilgilidir. Bu düzeydeki bazı konular şunlardır :

- Taşıt frekansı ve taşıma ücretlerinin belirlenmesi,
- Taşıt ve personel çizelgelerinin planlaması,
- Bakım politikaları vb.

Bunlar, servis düzeyleri ile maliyetler arasında bazı değişimlere neden olan kararlardır.

Son olarak, en ayrık ve en dar bakış açısına sahip olan işletme düzeyi gelmektedir. Burada, problemler kısa vadeli ve pratik olarak çözümlenip günlük-haftalık etkinlikleri ayrıntılı bir şekilde değerlendirilir. Bu düzeydeki işlere örnek olarak,

- Taşıtların ve personelin ayrıntılı rotalaması ve çizelgelenmesi,
 - Güncel trafik kontrolü vb.
- verilebilir.

Bu düzeylerden anlaşılacağı üzere ulaştırma sistemlerinin planlanması hiyerarşik bir karar verme sürecidir. Bu süreçte problemler ihtiyaca göre tanımlanmalı ve çözüm yaklaşımları buna göre özgün olmalıdır.

Toplutaşıma, bir sistem olarak ele alındığında öncelikle planlanmak, üzerinde bir takım tasarım eylemleri gerçekleştirmek ve kurulan çatıyı ihtiyaçlara göre geliştirmek zorunluluğu vardır. Bütün bu faaliyetler, sistemin karar değişkenlerine çözüm getirmek düşüncesiyle yapılmak durumundadır.

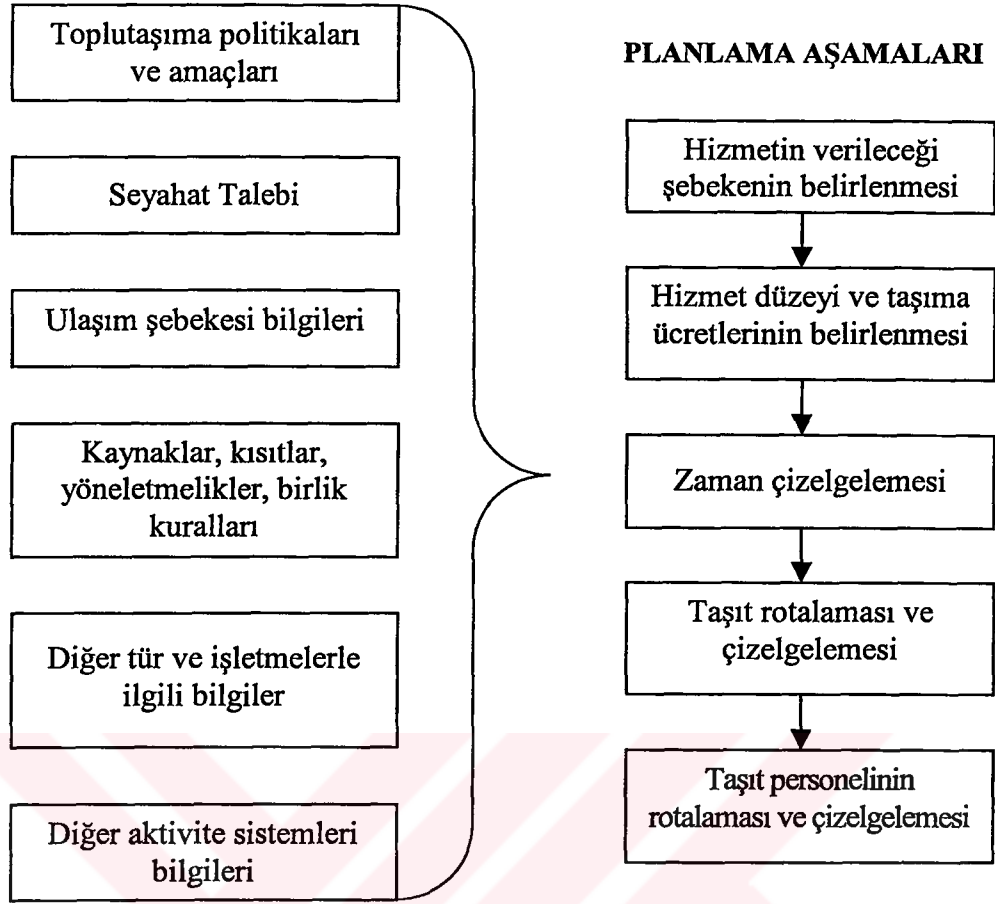
Kuruluş planlamasında karşılaşılan problemler, genel hatlarıyla, toplutaşıma sisteminin hangi amaç ve hedeflere yönelik olarak kurulması gerektiği, bu amaç ve hedefler çerçevesinde ne tür eylemlere gereksinim duyulduğu, seçenek eylemler arasında hangilerinin öne çıkarılacağı, seçeneklerin kullanıcılar ve sistem üzerinde meydana getireceği etkilerin tahmini ve değerlendirme sonucunda hangi seçeneğin en uygun (optimum) olduğunun belirlenmesine yönelik bir sorgulama sürecinin adımlarında ortaya çıkar. Özellikleri itibariyle stratejik ve bir miktar da taktik düzeyde tanımlanabilirler.

Genel taşıma planlamasının aşamaları ve etkili karar değişkenleri toplutaşımacılıkta da pek farklı değildir. Burada karar verilmesi gereken konular şu şekilde ana başlıklar altında ifade edilebilir (Erel, 1995):

- Taşımacılık yapılacak şebekenin belirlenmesi,
- Hizmet düzeyi (yolculuk süresi, konfor vb. yolculuk özellikleri) ve taşıma ücretlerinin belirlenmesi
- Zaman çizelgelemesi (ulaştırma hizmetinin verileceği bölgede taşıtların kalkış ve dolayısıyla varış zamanlarının belirlenmesi),
- Taşıtların rotalaması ve çizelgelemesi (taşıtların hareketlerinin zaman ve mekan içinde sınırlandırılması),
- Taşıtların personelinin rotalaması ve çizelgelemesi (hangi taşıtlara hangi personelin atanacağını belirlemek),

Yukarıda sıralanan aşamalar ve etkilendikleri faktörler Şekil 1.4'de gösterilmiştir.

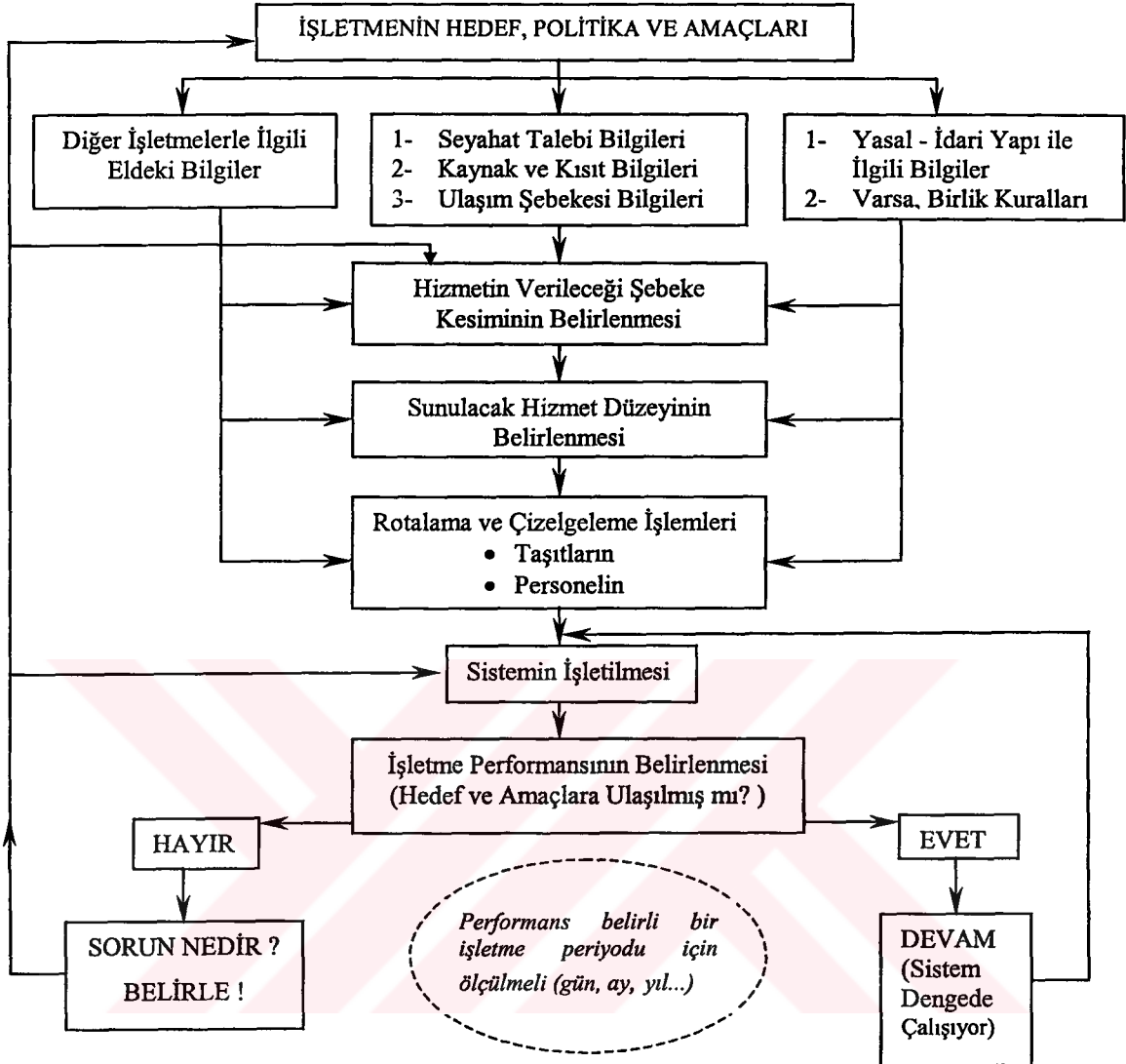
Toplutaşıma sisteminin kurulması ile beraber işletilmesine yönelik problemlerle karşılaşılması doğaldır. Bu problemler nitelikleri bakımından kısa vadelidir, ve çözümlerin değiştirilmesi



Şekil 1.4 Toplutaşıma planlamasının aşamaları ve etkili faktörler

halinde en azından altyapının değişmesinden büyük ölçüde bağımsızdır (Saatçioğlu, 1978). İşletme planlaması problemleri daha çok önceden öngörülemez kaza, taşıt arızası gibi sistemin işleyişini aksatan olaylara karşı önlem alınması ve hizmetin sürdürülmesini sağlayacak yeni düzenlemeler getirilmesi ile ilgilidir. İşletmeci öncelikle, hizmetin gerçekleştirilmesini dikkate almaktadır (Erel, 1995). Bununla beraber bu alanda da taşıt ve personelin çizelgelemesi, rotalama, hizmet düzeyinin yeniden değerlendirilmesi, yeni ücret ayarlamaları, durak yeri düzenlemesi ile ilgili kararlar belirli bir düzeye kadar verilebilmektedir. İşletmecilik alanındaki problemler kuruluş aşamasından sonra ortaya çıkmaktadır. Şekil 1.5’de görüldüğü gibi bir kentiçi toplutaşıma sistemi için verilen işletme planında, sistemin işletilmesi yukarıda değindiğimiz aşamalardan sonra gelmektedir. Sistem işletilmeye başladıktan sonra, değerlendirmeye alınan performans ölçütlerine göre, geri dönüşler yapılabilmekte ve problemler tekrar ele alınabilmektedir.

Diğer yandan işletme alanının konusuna toplutaşıma sisteminde kullanılan işletme yöntemlerinin girdiği de unutulmamalıdır. Toplutaşımadaki işletme yöntemleri; amaçlar,



Şekil 1.5 Bir kentsel toplu taşıma işletmesi için işletme planı^(*).

şebeke yapısı, talep yapısı, hizmet düzeyi, diğer işletmelerin durumu, yasal ve idari yapı, birlik kuralları, eldeki kaynaklar, işletmeciliğin yapıldığı zaman periyotları gibi kuruluş planlaması elemanlarından etkilenir. Bu açıdan bu problemler birbirinden kesin sınırlarla ayrılmazlar. Hatta kuruluş planının birtakım çıktıları işletme planının girdileridir. İşletme problemleri toplu taşıma sisteminin teknolojisine, altyapısına ve niteliklerine göre farklı yapılarda olabilir. Mesela, otobüs çizelgelemesi ile hızlı tren çizelgelemesi arasında yapısal farklar vardır. Raylı sistemlerin istasyon yerlerinin düzenlenmesi ile otobüs duraklarının düzenlenmesi de farklı farklıdır.

* (Gürsoy, 1997)'nin geliştirilmesiyle elde edilmiştir.

Ayrıca, sistemi oluşturan öğeler, teknolojileri ve nitelikleri bakımından farklılıklar arz ettiklerinden dolayı problemlerin çözümü için belirlenebilecek çok sayıda seçenek eylem bulunmaktadır. Bu seçenekleri değerlendirmek için kullanılan ölçütleri belirlemek de bir başka problem yaratmaktadır. Bütün bunlara ek olarak sistem çeşitli kısıtlar altında faaliyetlerini sürdürmek durumundadır.

1.2.3 Toplutaşımada Kullanılan İşletme Şekilleri

Toplutaşımadaki işletmecilik şekilleri aşağıdaki gibi özetlenebilir (Lehmann, 1978; Öncü, 1979a; Keskin, 1992):

1- Duruş türlerine göre^(*)

- a- Her durakta duruş
- b- Yolculu durakta duruş
- c- Yolcu isteğiyle duruş

2- Servis sıklığına göre

- a- Talebe bağlı kalkış
 - 1. Minimum yolcu ile kalkış
 - 2. Sınırlı bekleme süresi ile kalkış
- b- Düzenli kalkış
 - 1. Periyodik kalkış (araç takip aralıkları sabit)
 - 2. Periyodik olmayan planlı kalkış

3- Hat boyunca durak^(**) dağılımına göre

- a- Çoktan – Çoka (Many to Many)
- b- Çoktan - Aza (Azdan - Çoka) (Many to Few)
- c- Çoktan - Teke (Tekten - Çoka) (Many to One)
- d- Azdan – Aza (Few to Few)
- e- Azdan - Teke (Tekten - Aza) (Few to One)
- f- Tekten - Teke (One to One; 1-1)

4- Rota (Güzergâh) seçimine göre

- a- Sabit rotalı işletme
- b- Esnek rotalı işletme
- c- Dinamik rotalı işletme

* Duruş: Hat boyunca yolcu indirmek ve/veya bindirmek için taşıtların duraklarda belirli bir süre durması.

** Durak: Bir hatta yolcu indirme-bindirme amacıyla duruş yapılacak yerler.

5- Zaman çizelgesine göre

- a- Sabit çizelgeli işletme
- b- Esnek çizelgeli işletme
- c- Zaman çizelgesiz işletme

6- Ücret uygulamasına göre

- a- Ücretsiz işletme
- b- Tek tip ücret (nakit, bilet veya kart)
- c- Entegre ücret (bilet, kart ve elektronik bilet birlikte)
- d- Aşamalı ücret

Günümüz toplu taşıma işletmecilik sorunlarının karmaşıklığı ve zorluğu iki noktada düğümlenmektedir (Keskin, 1992):

- 1- Kentlerin günlük yaşamında seyahat taleplerinin zaman içindeki değişkenliği
- 2- Seyahat taleplerinin yerleşim bölgelerinde farklılıklar göstermesi.

Yani sorunun kaynağını, talebin zaman ve mekan içindeki değişiminin uygun bir biçimde belirlenebilme zorluğu oluşturmaktadır. Esasen, talep tahmini sorunu, pazarlamadan tanıdığımız tüketici davranışının tahmininden farklı bir şey değildir (Orer, 1990). Mesela, sabah ve akşam zirve saatleri dışında azalan yolculuk talepleri yanında bu taleplerin olduğu bölgelerde yerleşme yoğunlukları açısından farklı yolculuk talepleri işletmecilikte yeni uygun çözümler aranmasını gerektirmektedir.

1.2.4 Toplu Taşıma Sistemindeki Fiziksel Şebeke Türleri

Toplu taşıma sisteminde 3 ana şebeke türü ile karşılaşılır (TRB, 1980; Gray ve Hoel, 1992):

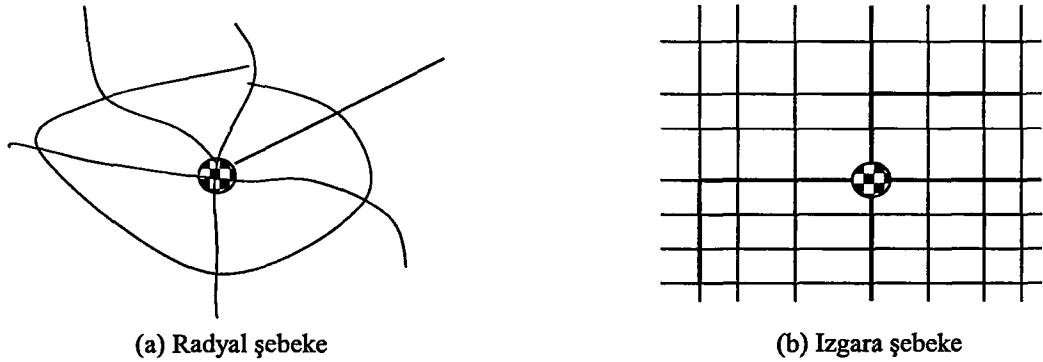
- a- Radyal şebeke
- b- Izgara (grid) şebeke
- c- Ağaç gövdesi; dallanmış (trunk; branched) şebeke

Bunlar yalnız başlarına bulunabilecekleri gibi sistem içinde beraber veya birleşik olarak bulunabilir. Fiziksel şebeke genel anlamda düğümler ve bağlardan oluşur. Düğümler, kavşak, durak (istasyon), aktarma yeri ve terminal gibi elemanları; bağlar da yolları temsil eder. Şebeke türü kentin yerleşim yapısıyla da ilgilidir. Şebekeyi kullanan hatların şekillenmesinde etkilidirler.

Radyal şebekenin göbeğinde bir aktivite merkezi bulunur. Burası hem trafik üretir, hem de trafik çeker. Yollar merkeze ışın şeklinde yönelmiştir ve ışın şeklinde merkezden ayrılır (Şekil 1.6a). Bazen bu şebekenin merkeze uzak olmayan bölgelerinde tıpkı genel yapı gibi fakat daha küçük radyal şebececikler bulunabilir. Alt-radyal parçalar denilebilecek bu kısımlar merkezi iş alanı veya büyük aktivite bölgesi olmamakla beraber ikincil önemi olan merkezlerdir.

Izgara şebekede de göbekte bir aktivite merkezi vardır. Bu merkez etrafında yollar, bir ızgara gibi birbirini dik olarak keser (Şekil 1.6b). Şebekedeki hatların şekillerini de bu ızgaranın parçaları belirler (I, U ve L şeklindeki hatlar). Daha çok düzenli ve planlı yerleşimlerde kullanılan bir şebeke türüdür.

Ağaç gövdesi şebekeler ise genelde topografik zorunluluklardan meydana gelmiştir. Şebekenin başı veya sonu bir aktivite merkezidir. Şebeke ortalarında da daha küçük merkezler bulunabilir. Ağaç gövdesi gibi doğrusala yakın bir gövde hatta, belirli talep noktalarında ikincil önemi olan yollar bağlanır ya da gövdeden bu yollar ayrılır (Şekil 1.6c). Topografik engelin yapısına göre ağaçın dal yapısı değişim gösterir (Tek taraftan veya iki taraftan dallanma). Bu tip şebekelerde, besleyici hatların öne çıktığı sistemler başarıyla uygulanmaktadır.



Topografik engel (deniz, akarsu gibi)

(c) Ağaç gövdesi şebeke

Şekil 1.6 Topludaşımada fiziksek şebeke türleri

2. OTOBÜSLE TOPLUTAŞIMACILIK

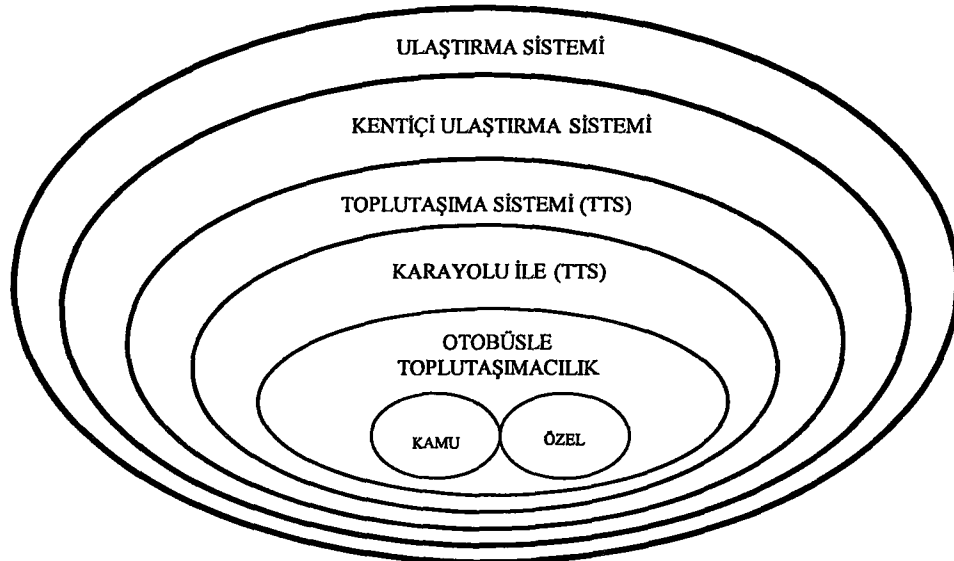
2.1 Giriş

Bu bölümde kentiçi otobüsle toplutaşımıcılık ayrıntılı olarak anlatılacaktır. Konunun anlaşılabilmesi için sistemin özellikleri üzerinde durulduktan sonra daha önce yapılan çalışmalar tanıtılacaktır.

Kentiçi toplutaşıma sisteminin en önemli parçalarından biri de otobüs taşımacılığıdır. Otobüsle toplutaşıma sisteminin ilk anda göze çarpan özellikleri şu şekilde sıralanabilir:

- Kentiçi karayolu şebekesini kullanan bir sistemdir.
- Erişim fonksiyonunun öne çıktığı bir sistemdir. Bağlantı fonksiyonu daha çok ekspres otobüsü işletmeciliğinde ön plana çıkar. Çünkü ekspres uygulamasının amacı da büyük yolcu kütlelerini yüksek hızlarla son noktalarına ulaştırmaktır.
- Yol hakkı açısından, genellikle yolları diğer taşıtlarla ortak kullanır. Bir özel durum olarak, tercihli otobüs yolu uygulamasında fiziksel engellerle diğer trafikten ayrılabilir. Bu durumda sadece kavşak gibi kesişme noktalarını diğer trafikle beraber kullanır.
- Yüksek kapasiteli taşıtlardan oluşan bir filo yapısına sahiptir (Tek katlı, çift katlı ve körüklü otobüslerin kapasiteleri 50-200 yolcu/taşıtlık aralığındadır).
- Kapıdan kapıya taşıma özelliği olmayan bir sistemdir. Bunun tek istisnası özürürlü yolculara hizmet veren otobüslerdir.

Kentiçi otobüs taşımacılığının ulaştırma sistemindeki yeri Şekil 2.1’de gösterilmiştir.



Şekil 2.1 Otobüsle toplutaşımıcılığın ulaştırma sistemindeki yeri

Otobüsle taşımacılık sisteminin yapısı genel ulaştırma sisteminden farklı değildir. Sistem daha önce değinildiği gibi bir çevre ile kuşatılmıştır. Bu çevrenin tabakalı yapı arz ettiği yukarıdaki şekilde görülmektedir. Otobüs sistemi çevreyle bir girdi-çıkı alışverişi içinde etkileşmektedir. Toplutaşıma sistemlerinin çalışma düzeni ve seyahat şartlarında yapılan herhangi bir iyileştirme, sistemin daha çok yolcu taşımalarını sağlayabilmektedir. Bu mânâda en esnek toplutaşıma sistemlerinden biri olarak görülen otobüs sistemi, bütün dünyada gerek tek başına gerek yardımcı ve besleyici bir sistem olarak çok yaygın bir şekilde kullanılmaktadır.

Toplutaşımada otobüs kullanımı kamu ve özel sektör olarak ikiye ayrılmaktadır. Mesela, İstanbul'da, kamu taşımacılığı İETT tarafından, özel otobüs taşımacılığı ise ÖHO, ÖZ tarafından yapılmaktadır. Bu işletmeler belli kurullarla ve yasal çerçevede, belirli bir rota ve zaman çizelgesine göre taşımacılık yapmaktadırlar. Özel taşımacılık şirketleri tarafından yapılan ve konut-iş, konut-okul türü yolculuklarda ve daha çok günün zirve saatlerindeki servis taşımacılığı, bu özellikleriyle yukarıdaki gruptan farklı bir yapı arz etmektedir. Günümüzde otobüs kullanımı hâlâ toplutaşıma sistemlerindeki ağırlığını ve önemini korumaktadır. Nitekim, son yıllarda raylı sistemlerde görülen gelişmelere karşılık, otobüslerin sabit bir iz üzerinde hareket etme mecburiyeti bulunmayıp daha esnek bir yapıya sahip olmaları, yatırım ve inşaa maliyetinin daha az olması ve bu nedenle de talebin en yoğun olduğu caddelerin dışında da hizmet verme avantajları, bunların toplutaşımanın vazgeçilmez bir unsuru haline gelmesini sağlamıştır. Otobüsler raylı sistemlerin ana duraklarına toplayıcı ve dağıtıcı olarak hizmet edebildikleri gibi, kent merkezinin yoğun trafiğinin etkisinden kurtarılıp özel (tercihli) otobüs yolunda çalıştırıldıklarında, raylı sistemin görevini de kısmen yüklenmektedirler.

Otobüs sisteminin kullanıcı, işletmeci ve diğerleri açısından optimum bir şekilde çalışmasını sağlayabilmek amacıyla çeşitli çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmalar, genel toplutaşımacılıktaki planlama faaliyetlerinin otobüs sistemi ile ilgili olanlarıdır. Otobüsle toplutaşımacılık için optimum çözüm gerektiren konular şu şekilde sıralanabilir:

1. Otobüsle taşımacılık yapılacak şebekenin belirlenmesi,
2. Sistemin hizmet düzeyi (yolculuk süresi, konfor vb. yolculuk özellikleri) ve otobüsle taşıma ücretlerinin belirlenmesi,
3. Otobüs seferlerinin zaman çizelgelerinin belirlenmesi (ulaştırma hizmetinin verileceği bölgede otobüslerin kalkış ve varış zamanlarının belirlenmesi),

4. Otobüslerin rotalaması ve çizelgelemesi (taşıt hareketlerinin zaman ve mekan içinde sınırlandırılması),
5. Otobüs personelinin rotalaması ve çizelgelemesi (hangi taşıtlara hangi personelin atanacağını belirlenmesi),

Otobüs sistemi ile ilgili karar verilirken hem kullanıcı perspektifi, hem işletmeci perspektifi hem de diğer toplumsal aktörler perspektifini göz önünde bulundurma gerekliliği vardır. Mesela, kullanıcılar, daha güvenilir, daha konforlu, daha düzenli ve daha hızlı bir sistem isterken, işletmeciler de masraflarını minimize etmeye çalışmaktadırlar. Bunlara ilave olarak otobüsle aynı yolu kullanan diğer araç sahipleri ise rahat bir yolculuğa imkan verecek otobüs sistemini istemektedirler.

Ulaştırma sisteminin daha çok sunu tarafıyla ilgili olan aktörlerin eylemleri, algılama, etkileme ve etkilenme düzeyleriyle farklılık gösterirler. Sunu özellikleri, ulaşım olanaklarını sunanların kararlarına göre belirlenen, otobüs şebekesi, otobüs seferlerinin zaman çizelgeleri, otobüs rotaları ve çizelgeleri, otobüs filosu, kaynakların tüketimi, maliyetler, taşıma ücretleri, hizmet kalitesi ve işletme denetimi konularının, yolcuların gözüyle algılanan ve değerlendirilen şekli olarak tanımlanabilir (Erel, 1995).

Günümüzde otobüsle toplu taşımacılık, seyahat talebinin zaman ve mekanla değişim gösterdiği bir ortamda yapılmaktadır. Kentlerin büyüyen ve gelişen yapısına uyum gösteren bir otobüs taşımacılığı ve işletmecilik sağlıklıdır, denebilir.

Diğer toplu taşıma türlerine göre daha geniş bir taşıma kapasitesi aralığına (500-12.000 kişi/iz-saat) sahip olan otobüs bazen kent çevresindeki yerleşim alanları için verimsiz, kentte ise yetersiz kalabilmektedir (Öncü, 1979a). Yani, çevrede bulunan küçük araçlı işletmeler, merkeze gelince yetersiz kalabilmekte veya merkezde verimli çalışan yüksek kapasiteli türler çevrede ekonomik bir şekilde işletilememektedir.

Seyahat talebinin mekan içindeki değişimine uyabilecek bir toplu taşıma türü yerine, farklı türlerin birleştirilmesi ile daha verimli bir ulaşım sistemine gidilebilir. Farklı türlerin arasında oluşturulacak koordinasyonla, her türün uygun özelliğinden doğal olarak yararlanma söz konusudur. İşletmecilere büyük yararlar sağlayan aktarmalar, yolculara zorluklar getirebilmekte ve seyahat sürekliliğini kesintiye uğratabilmektedir.

Farklı özellikteki türlerin bütünleştirildiği bir toplulaşıma sisteminde aktarmalar tasarlanırken (az yürüme, yürüyen merdiven, yürüyen platform gibi) fiziksel kolaylıkların sağlanması; aktarma mekanının olumsuz çevre koşullarından korunması; aktarma yapılacak aracın çizelgeye uyumu sağlanması ve seyahatin ikinci kısmı için ücret ödeme biçimi olabildiğince kolaylaştırılması ve hattâ ortadan kaldırılması önemlidir. Burada, seyahat talebi düzeyindeki mekansal farklılıklar sonucu, ortaya çıkan aktarma olayının, işleticiye sağladığı maddi yararların bir bölümü, aktarma sırasında enerji ve zaman kayıpları oluşan yolculara geri verilmesi de önem arz etmektedir.

Diğer taraftan bir otobüs işletmesinin, talebin zaman içindeki değişimine de kolayca uyum sağlayacak bir yapıda olması istenir. Yani sistem, talebin arttığı zirve saatlerin yanısıra zirve dışı saatlerde de verimli bir taşımacılık hizmeti sunmalıdır.

2.2 Otobüsle Toplulaşıma Sisteminin Girdileri ve Çıktıları

Otobüsle toplulaşıma sistemi Şekil 1.3'de görüldüğü gibi bir takım girdiler ve çıktılar altında planlanıp işletilir. Bunlar sistemin karar değişkenlerini oluşturur. Karar verme sürecinde karar değişkenlerinin birbirlerine etkileri analiz edilir. Temel düşünce, bu etkilerin önceden tahmin edilmesiyle, doğru bir planlama sürecine katkıda bulunmaktır.

2.2.1 Otobüsle Toplulaşıma Sisteminin Girdileri

Sistemin girdileri şu ana başlıklar altında sıralanabilir:

1. Hedef ve amaçlar
2. Otobüsle toplulaşıma yapılacak şebeke kesimindeki talep
3. Otobüsle toplulaşıma yapılacak şebeke kesimine ait bilgiler
4. Kaynaklar ve kısıtlar
5. Diğer tür ve işletmelerle ilgili bilgiler
6. Şebeke boyunca diğer aktivite sistemlerinin özellikleri

Hedef ve amaçlar:

Çizelge 2.1 Otobüsle toplu taşımacılıkta hedef ve amaçlar

HEDEF	AMAÇ
Kent içi ulaşım talebinin karşılanması	<ul style="list-style-type: none"> • Erişim fonksiyonunun maks. • Taşıma ücretlerinin min. • Taşıt içi sürelerin min. (Bağlantı fonksiyonunun maks.) • Dakiklik, güvenlik ve konforun maks. • Taşıt takip aralıklarının min.
Sistem Maliyetinin Minimizasyonu	<ul style="list-style-type: none"> • Minimum maliyetli rotalama • Taşıt sayısının min. • Ortalama yolcu-km maliyetinin min. • Enerji giderlerinin min. • Ölü kilometrelerin min. • Bakım onarım maliyetlerinin min. • Personel giderlerinin min.
Gelirlerin Maksimizasyonu	<ul style="list-style-type: none"> • Taşıma ücretlerinin maks. • Taşıyan yolcu sayısının maks. • Diğer gelirlerin maks.

maks: maksimizasyon
min : minimizasyon

Otobüsle toplu taşıma yapılacak şebeke kesimindeki talep:

- Talebin miktarı
- Talebin dağılımı (zaman ve mekan boyunca)
- Talebin nitelikleri (seyahat amaçları, demografik yapı vd.)

Otobüsle toplu taşıma yapılacak şebeke kesimine ait bilgiler:

- Şebekenin coğrafik konumu ve yapısı
- Şebekenin şekli (radyal, ızgara, ağaç gövdesi, kompozit)
- Şebekedeki düğümler ve bağlar
- Hizmet verilecek bölgenin boyutu
- Şebekedeki ulaşım alt yapısı

Kaynaklar :

- Sermaye (nakit, menkul ve gayri menkuller, gelirler, kredi ve borçlanma imkanları)
- İşgücü (taşıt, işletme, bakım, onarım ve denetim personelinin niceliği ve niteliği)

- Taşıma hizmeti veren taşıtlar ve işletmenin hizmetindeki taşıtlar
- Enerji (sıvı yakıtlar, gaz yakıtlar, elektrik)
- Enerji dışındaki işletme için gerekli tüketim malzemeleri

Kısıtlar:

- Kaynak ve şebeke kullanımına yönelik sınırlamalar
- Yönetim kısıtları
- Çevre kısıtları

Diğer tür ve işletmelerle ilgili bilgiler:

- Diğer toplutaşıma işletmeleri
- Hizmet verdiği şebeke kesimi ve rotaları
- Sunulan hizmet düzeyi
- Taşınan yolcu miktarı ve özellikleri
- Taşımacılık ücreti
- Birlik kuralları

Şebeke boyunca diğer aktivite sistemlerinin özellikleri:

- Barınma (konut) aktiviteleri
- Alış-veriş aktiviteleri
- Kültür ve eğitim aktiviteleri
- Ticari aktiviteler
- Endüstriyel aktiviteler
- Turistik aktiviteler

2.2.2 Otobüsle Toplutaşıma Sisteminin Çıktıları

2.2.2.1 Otobüsle Toplutaşıma Sisteminde Sunu

Otobüs şebekesi boyunca ulaşım imkanları(hatlar, duraklar, çizelgeler vb.):

- Hatlar (uzunlukları, güzergâhları ve diğer özellikleri)
- Durak sayısı, tipleri, yerleri ve aktarma imkanları
- Zaman çizelgeleri (sefer sıklığı, takip aralığı, sefer süresi)
- Taşıt çizelgeleri

- Taşıt filosu (taşıt özellikleri ve sayıları)
- Personel çizelgeleri
- Diğer sabit tesisler, depolar ve bakım istasyonlarının yerleri
- Denetim
- Ayakta taşınacak yolcu sınırlaması

İşletme tarafından sunulacak hizmet düzeyi:

- Erişebilirlik
- Otobüslerin sefer sıklık
- Otobüsle ulaşım süresi
- Konfor
- Dakiklik
- Güvenlik
- Taşıma kapasitesi

Tüketilen kaynaklar:

Yukarıda sözü edilen kaynakların tüketimi

Maliyetler:

Kullanıcı maliyetleri:

- Otobüs Taşımacılık ücretleri
- Kullanıcıların sistemde harcadıkları zamanın parasal değeri (erişim, bekleme, araç içi seyahat, aktarma sürelerinin değeri, işgücü kaybı)

İşletmeci maliyetleri:

- Taşıt giderleri (bakım, onarım, amortisman, yedek parça)
- Enerji giderleri
- Tüketilen diğer kaynak maliyetleri
- Personel giderleri
- Tanıtım ve pazarlama giderleri
- Sigortalar vd.

Diğer aktörlerin maliyetleri:

- Çevrede ve diğer kişilerde olumsuz değişim yaratan bilumum etkiler

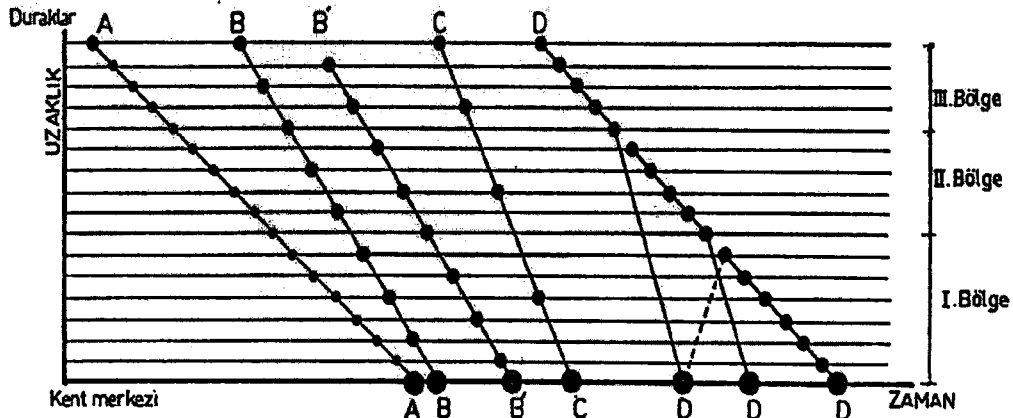
2.2.2.2 Otobüsle Toplutaşıma Sisteminde Etkiler

- Erişilebilirlikteki zamansal ve mekansal değişimler
- Aktivitelerdeki mekan ve boyut değişimleri
- Hareketliliğin değişimi
- Bölgesel, sosyal ve ekonomik değişimler
- Arazi kullanımındaki değişimler
- Gürültü düzeyinin değişmesi
- Hava, toprak ve su kirliliği
- Ekolojik dengenin değişimi
- Kent görünülerinin değişmesi
- Yaşam koşullarındaki değişimler

2.3 Otobüsle Toplutaşımada Kullanılan İşletmecilik Şekilleri

Kentiçindeki seyahat talebinin, zaman ve mekandaki değişimlerini karşılayabilmek için otobüs taşımacılığında çeşitli işletme şekilleri kullanılmaktadır. Bunlarda talebin mekansal farklılaşmasıyla ortaya çıkan dezavantajların yok edilmesi amaçlanmaktadır. Başlıca işletmecilik şekli 4 tanedir (Şekil 2.2):

- Klasik (Basit) işletmecilik
- Durak atlayarak işletmecilik
- Ekspres işletmecilik
- Bölgesel işletmecilik



A: Klasik işletme; B, B' : Durak atlayarak işletme;
C: Ekspres işletme; D: Bölgesel işletme

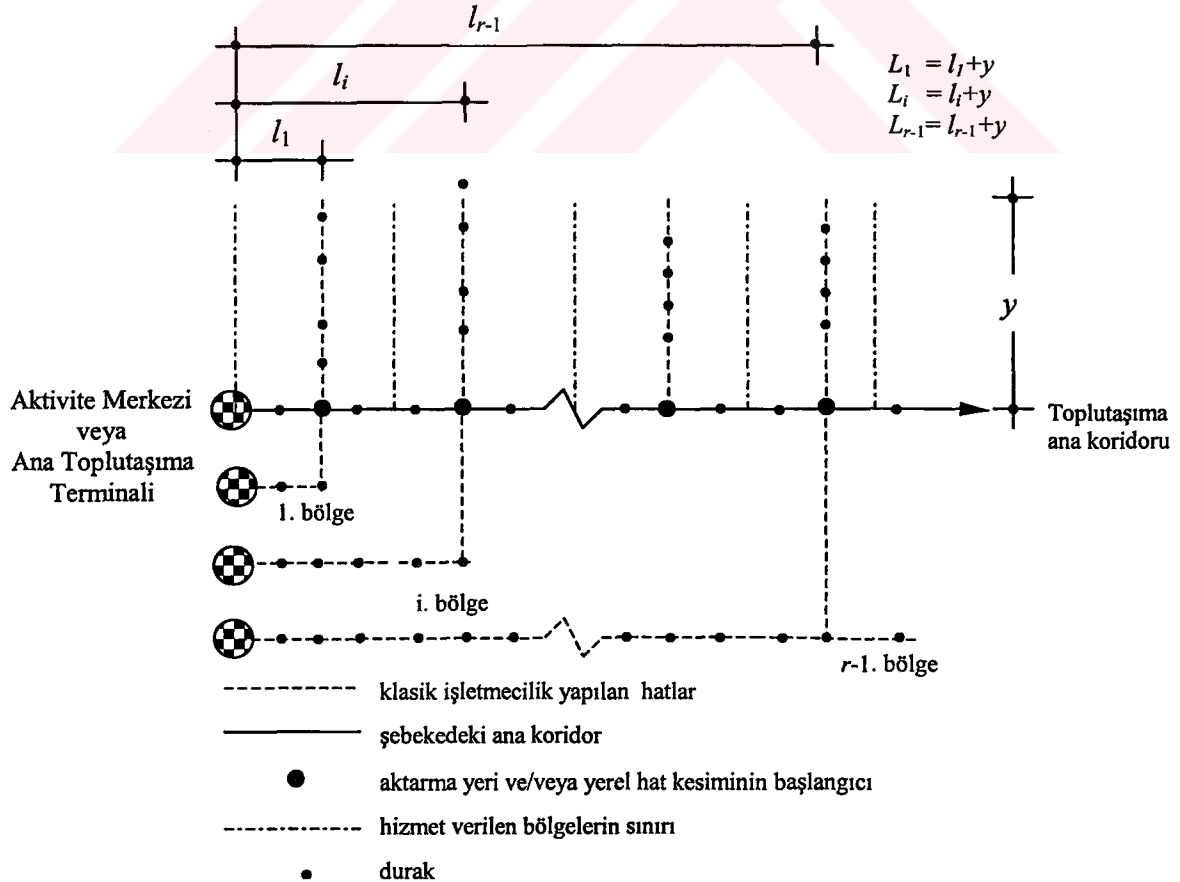
Şekil 2.2 Kentiçi otobüs işletmeciliği şekilleri (Öncü, 1979a)

Düşük talep yoğunluğunun bulunduğu çevresel alanlardan başlayan seyahatler ve otobüs hatları bir ağacın dalları gibi giderek toplanmakta ve güçlenerek merkeze (gövdeye) ulaşmaktadır. Ancak çok sayıda otobüsün ana arterlere ulaşmasıyla belirli bir düzeyden sonra önemli sıkışıklık ve gecikmeler ortaya çıkmakta, araçlar aşırı biçimde yığılmaktadır. Özellikle klasik işletmecilik dışındakiler, bu gibi durumların neden olduğu problemleri gidermeye yöneliktir.

Bölüm 1.2.3'de verilen toplu taşımadaki işletme şekillerinden bazıları kentiçi otobüs taşımacılığında kullanılır. Otobüs taşımacılığının gereksinim duyduğu şekiller bu kategoriler içinden seçilip uygulanmaktadır. Aşağıda bu işletme şekillerinin uygulamada karşılaşılan konfigürasyonları açıklanmıştır:

2.3.1 Klasik (Basit) İşletmecilik

Bilinen en basit işletmecilik şeklidir. Günümüzdeki yaygın uygulama biçimiyle, klasik işletmecilik denilebilecek ve en belirgin özelliği her durakta duruşa (all-stop operation) izin verilen işletmeciliktir. Şekil 2.3'de ağaç gövdesi şebekede, klasik işletmecilik gösterilmiştir.



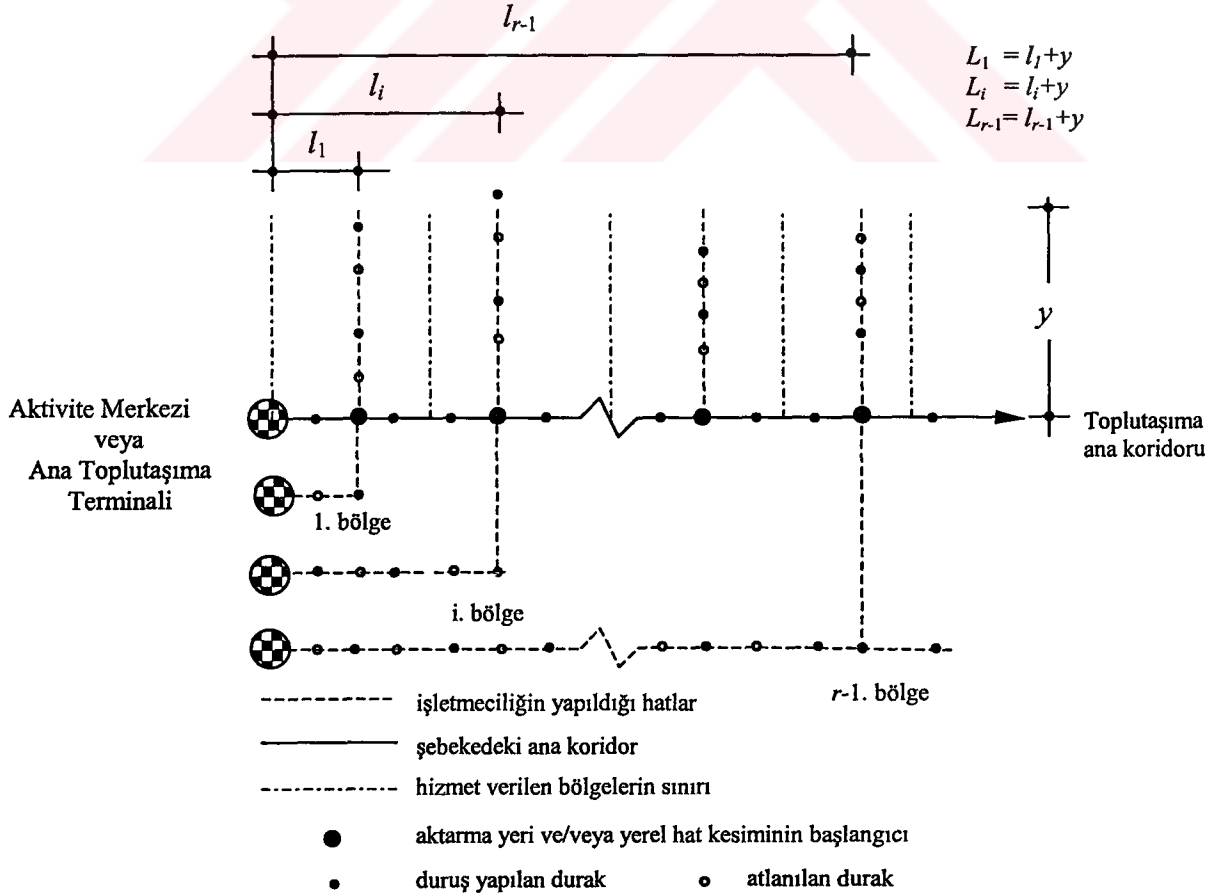
Şekil 2.3 Klasik (basit) otobüs işletmeciliği

Her durakta durma sistem için temel bir stratejidir. Bu sistem servis sıklığı açısından, talebe bağlı bir taşımacılık yapmayı düzenli kalkışlarla işletilmektedir. Kalkış periyotları ise takip aralıkları sabit olmamakla beraber planlıdır. Yani belirli bir çizelgeye göre taşımacılık yapılmaktadır. Hat boyunca durak dağılımı dikkate alındığında çoktan-çoka (Many to Many) bir işletmecilik rejimi vardır. Hizmet sabit hatlar boyunca sunulmakta, sabit bir zaman çizelgesine uyulmaktadır. İşletmeler genelde belli bir ücret karşılığı taşımacılık yapmaktadır. Klasik işletme şeklinin genel özellikleri şu şekilde yazılabilir:

- her durakta duruş
- periyodik olmayan planlı kalkış
- hat boyunca durak dağılımı çoktan - çoka
- sabit rotalı işletme
- sabit çizelgeli işletme

2.3.2 Durak Atlayarak İşletmecilik (Şekil 2.4)

Talebin zirve saatteki artışına cevap verebilmek için işletmecilerin ilk önerdikleri önlem, araç sayısının artırılmasıdır. Aslında bununla gidilmek istenen nokta servis sıklığının artırılmasıdır.



Şekil 2.4 Durak atlayarak işletmecilik

Yeni araç alımının yanısıra başka önlemlerle de bu amaca ulaşılabilir. Hatta yeni araç alınması pahalı bir yaklaşımdır, denilebilir. İşletme hızının artırılması, toplam duruş süresinin ve durak sayısının azaltılmasını sağlayacak işletme önlemleri, aynı araçlardan daha çok yararlanılacağı için servis sıklığını arttıracaktır. Ayrıca otobüslerin duraklardaki duruş rejimi ile ilgili uygulama ve önlemler ortalama işletme hızını arttırmakta, duruş sürelerini azaltmaktadır.

Bu amaçla, uygulanan işletme biçimlerinden durak atlama yöntemi (skip-stop operation) özellikle raylı sistemlerde yaygın olarak kullanılmaktadır (Vuchic, 1972, Eisele, 1978). Otobüs işletmeciliğinde de denenen bu uygulamada araçlar ve duraklar iki gruba ayrılmakta (mesela, tek-çift sayılı ya da kırmızı-yeşil duraklar ve otobüsler gibi), bir araç yalnızca kendi grubundaki duraklarda durabilmektedir. Böylece durak aralıkları bir kat daha uzun olmakta, duruş süresi yarıya inmekte ve hız artmakta, araçlar daha fazla sefer yapmaktadırlar. Şekil 2.4'de ağaç gövdesi bir şebekede sistem gösterilmiştir. Bu işletmecilik şeklini, klasik işletmecilikte olduğu gibi ızgara ve radyal şebekelerde de uygulamak mümkündür. İşletmeciliğin özellikleri aşağıda sıralanmıştır:

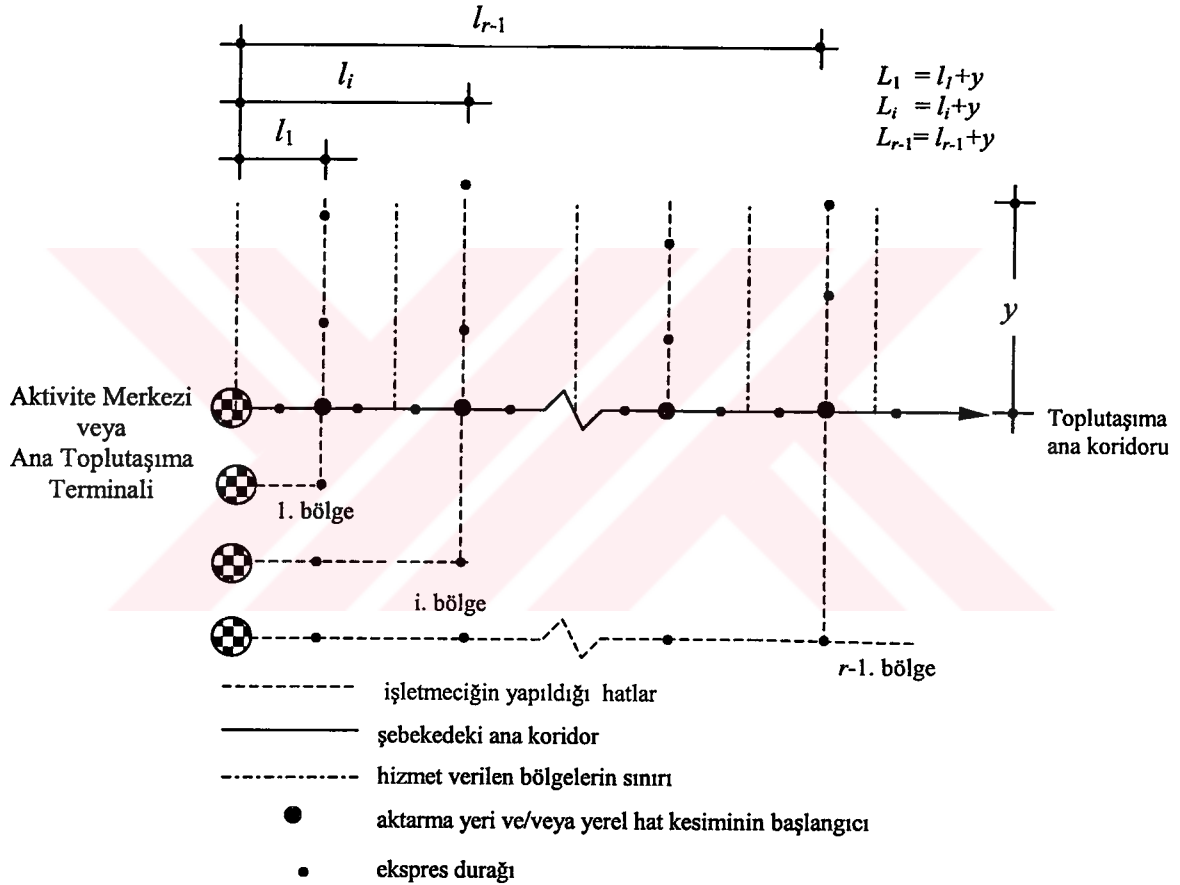
- her durakta duruş (taşıtlar hat boyunca tüm duraklarda durmamakla beraber işletme stratejisiyle belirlenen her durakta dururlar.)
- periyodik olmayan planlı kalkış
- hat boyunca durak dağılımı azdan - aza
- sabit rotalı işletme
- sabit çizelgeli işletme

2.3.3 Ekspres İşletmecilik

Durak-atlama yönteminin bir sonraki aşaması ise ekspres (hızlı) otobüsler işletilmesidir. Bu uygulamada araçlar sınırlı sayıdaki ana duraklarda durmakta, bunun dışındaki durakları atlayarak daha hızlı bir işletmecilik hizmeti vermektedir. Bu tür uygulama, seyahat talebinin azdan-aza, azdan-teke, tekten-teke ve bir ölçüde çoktan-teke durak dağılımlarını ortaya çıkardığı şartlarda en verimli işletme biçimi olmaktadır. Ekspres servisler ızgara ve radyal şebekelerde kullanıldığı gibi ağaç gövdesi şebekelerde de yaygın uygulamaları vardır. Şebekenin gövdesinde seyrek duraklı ve hızlı bir işletme ile bu işletmeye belirli noktalarda bağlanan sık duraklı, sık seferli bir işletmenin (besleyici otobüs işletmesi) bütünleştirilmesiyle

elde edilen sistemlerin bir parçası olarak başarıyla kullanılmışlardır (Şekil 2.5). Ekspres işletmeciliğinin özellikleri şu şekilde sıralanabilir:

- işletmecilik şeklinin gerektirdiği her durakta duruş
- periyodik olmayan planlı kalkış
- hat boyunca durak dağılımı azdan-aza, azdan-teke, tekten-teke ve çoktan-teke
- sabit rotalı işletme
- sabit çizelgeli işletme



Şekil 2.5 Ekspres otobüs işletmeciliği

2.3.4 Bölgesel İşletmecilik

Durak atlayarak işletmecilik ve ekspres işletmeciliğinin geliştirilmesiyle ortaya çıkan ve önceleri raylı sistemler için önerilen, daha sonra otobüs sistemlerine uygulanan işletme şekli ise bölgesel işletmeciliktir (Zone scheduling). Bu tarz işletmecilik, çeşitli durumlarda kamu toplutaşma sistemlerinin verimlilik ve hizmet kalitesini iyileştiren bir işletme şeklidir. Klasik

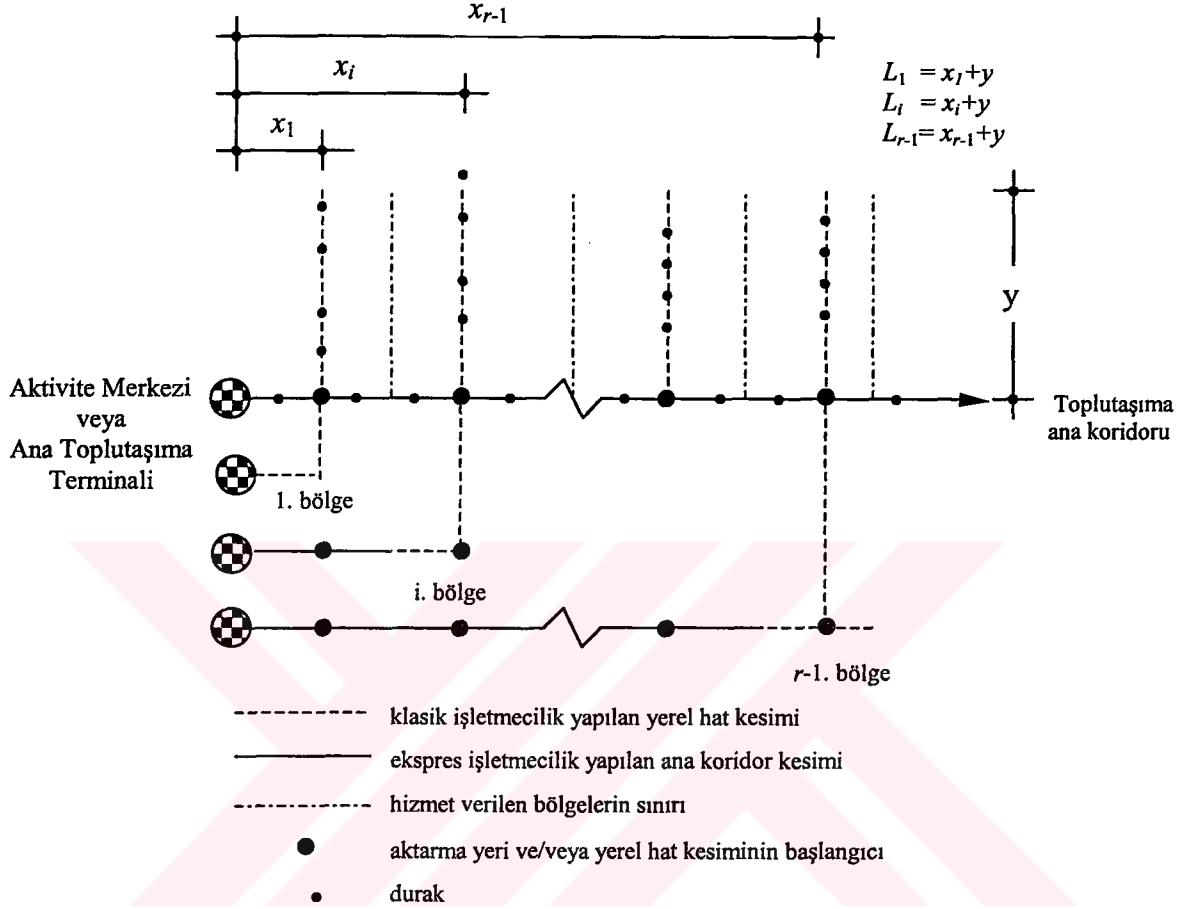
toplutaşıma işletmeciliğindeki hatlarda, taşıtlar hat boyunca bütün duraklarda duruş yapabilirken, bölgesel işletmede, bölge sınırlarında her durak kullanılabilir. Bir bölge içinde servis yereldir ve bölgeden çıkıldıktan sonra hattın kalan kısmının ortak bir son durakta (bir aktivite merkezi gibi) bittiği kabul edilir. Böylece, hatlar yerel bir besleyici ve genel bir ekspres hatlı taşıma sisteminin bileşimidir.

Bu bir tip işletmeciliğin en yaygın kullanımı, dikey sirkülasyon elemanı olarak asansörlerin bölgesel hizmet sağlamak üzere düzenlendiği yüksek yapılarda görülmektedir (Powell, 1975; Tsao ve Schonfeld, 1983). Çok sayıda asansör bulunan yüksek yapılarda asansörler her katta durmazlar. Mesela, 4 asansörü olan 40 katlı bir yapıda 1. asansör ilk 10 kata hizmet verir. 2. asansör ilk 10 katı durmadan geçerek 11. ve 20. katlar arasına hizmet verir. 3. asansör 20. kattan 30. kata kadar hizmet verirken, 4 numaralı asansör son 10 kata hizmet verirler. Müşteriler çıkmak istedikleri kata göre asansör tercihinde bulunurlar. 15. kata çıkmak isteyen bir müşteri, ilk 10 katı durmadan geçeceği için hizmetten hızlı bir şekilde yararlanır, zaman kaybını en alt düzeye indirme imkanına sahip olur.

Bölgesel toplutaşıma işletmeciliği çeşitli şekillerde yapılır. En basit halini ağaç gövdesi bir şebekede görmek mümkündür. Şebeke, X apsis ekseni boyunca gövde toplutaşıma koridoru ile Y ordinat ekseni boyunca yerel toplutaşıma hizmeti verilen alt bölgelerden oluşmaktadır (Şekil 2.6). Aktivite merkezinden hareket eden taşıtlar, toplutaşıma koridoru boyunca sıralanan bölgelere yolcu taşımaktadırlar. Her bölgeye en az bir taşıt çalıştığı kabul edilmektedir. Taşıtlar iki parçadan oluşmaktadır. Birinci kısım toplutaşıma koridorunda kat edilen kesimdir. Burada daha çok ekspres veya durak atlayarak işletmecilik şekli benimsenmiştir. Diğer de ilgili bölgenin koridor hizasından başlayan yerel şebeke kesimidir. Yerel şebekede her durakta duruşlu yani klasik işletmecilik uygulanır. Bu tür sistemlerde, yerel şebekedeki hattın, yaklaşık olarak bölgenin ortasından geçtiği kabulü yapılabilir. Özellikle zirve saatlerde çok etkin bir işletmecilik şeklidir. Büyük sayıda yolcu, yüksek hızla bölgeye ulaştırdığı için bağlantı fonksiyonu en üst düzeydedir.

Basit bölgesel toplutaşıma işletmeciliğinde taşıtların kalkış yaptıkları aktivite merkezine dönüşleri iki türdür. Dönüş rejimini, seyahat talebinin gün içindeki değişimi belirler. Taşıtlar ya yolcu almadan hızlı bir şekilde geri dönecektir. Ya da gidişteki seyir hareketinin tersi bir hareketle önce yerel hatta yolcu alacak ve daha sonra ana koridora çıkarak yüksek hızla

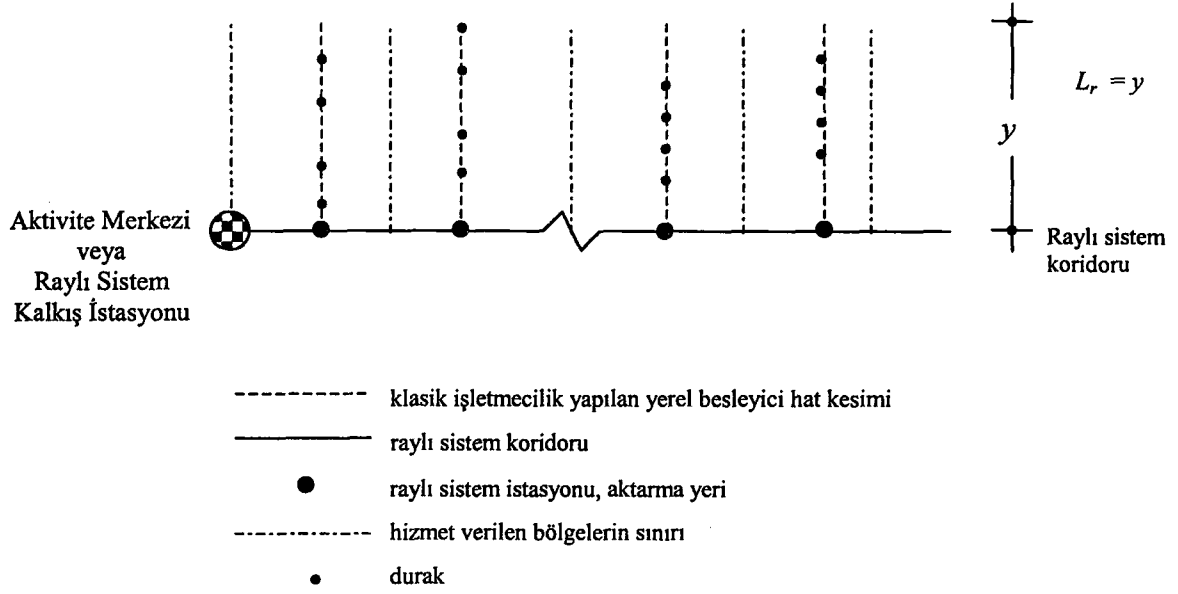
ekspres servis olarak aktivite merkezine dönecektir. Şekil 2.6'da görülen bölgelerin boyları, sabit olarak kabul edileceği gibi değişken olarak da alınabilir.



Şekil 2.6 Ağaç gövdesi bir şebekede bölgesel işletmecilik

Bu tarz işletmeye bir diğer örnek de raylı sistemlerle ana hat oluşturulup, otobüslerle bunların beslendiği, kombine besleyicili sistemlerdir. Ana hatta, banliyö, metro veya LRT gibi bir raylı sistem ve sistemin istasyonlarında, bölgelerden gelen besleyici hatlar günümüzde yaygın olarak kullanılmaktadır (Şekil 2.7). Bağlantı fonksiyonunun ön plana çıktığı raylı sistemlerin, istasyon aralıkları büyük olduğu için her istasyon zaten bir alt bölge bağlantısına karşılık gelmektedir. İstasyonlar aynı zamanda aktarma terminali şeklinde de çalışabilmektedirler. Buradaki kombine sistemde besleyici otobüsler klasik işletmecilik hizmetini görürler. Yani bölge içindeki her durakta duruş sağlanmaktadır. Ancak bu iki türün işletilmesinde zaman çizelgelerinin uyumu büyük önem taşır. Raylı sistemden inen yolcu makul bir sürede otobüs bulabilmelidir. Aynı şekilde bölgeden yolcu taşıyan otobüsler, istasyona makul bir sürede

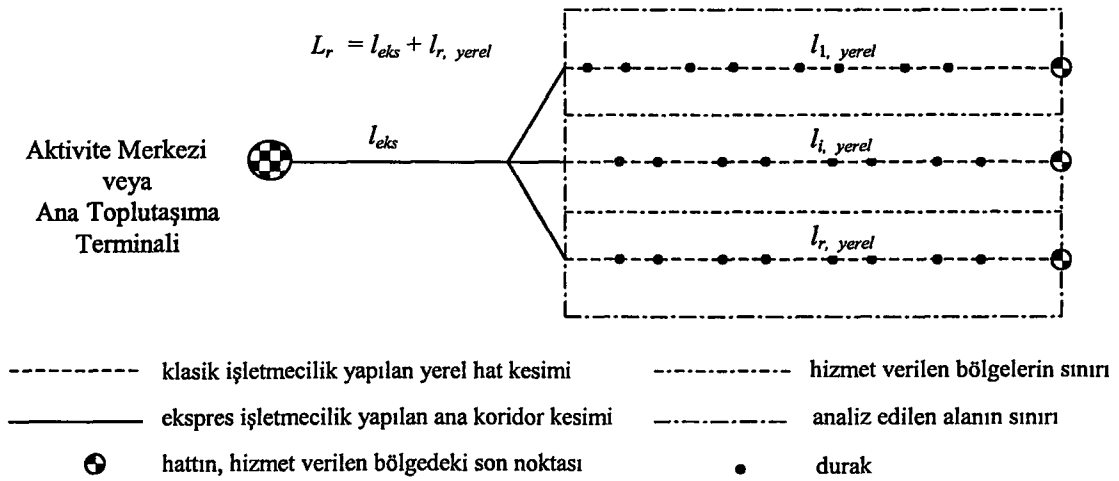
ulaşmalıdırlar. Beklemeden kaynaklanan kayıp sürelerin minimize edileceği çözümlere ihtiyaç vardır.



Şekil 2.7 Bir besleyici rotalı bölgesel işletmecilik

Bölgesel toplu taşıma sistemlerinin kullanıldığı bir diğer şebeke de ızgara şeklindeki şebekelerdir (Şekil 2.8). Izgara şebekelerde işletme şekli ağaç gövdesiyle aynı olmakla birlikte bazı farklılıklar vardır.

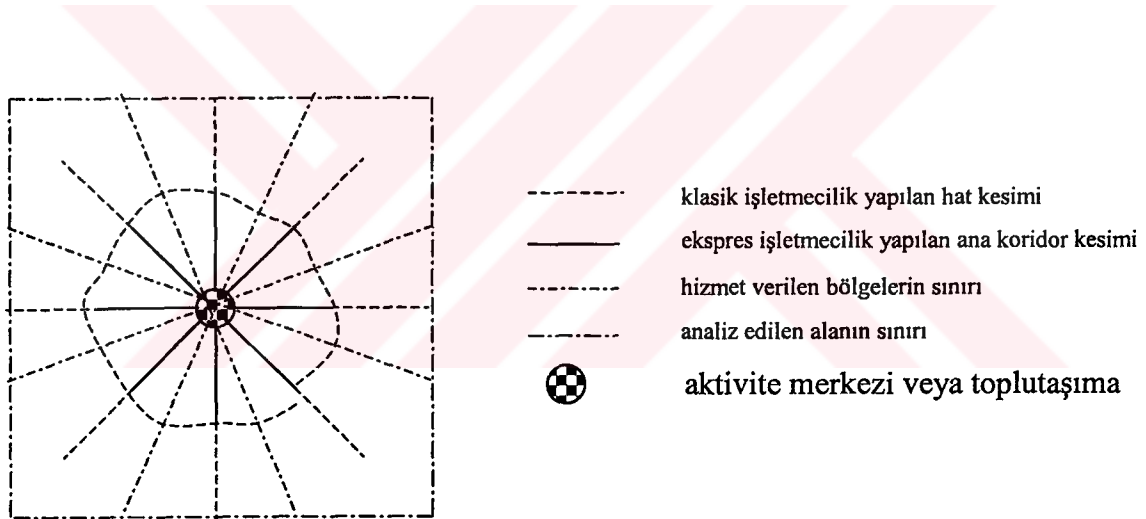
Ağaç gövdesi şebekede alt bölgeler genelde ana koridorun ya sağındadır ya solundadır. Daha çok coğrafik ve topoğrafik zorunluluklardan kaynaklanan bu durum ızgara şebekelerde fazlaca yoktur.



Şekil 2.8 Izgara şebekede bölgesel işletmecilik (Chang ve Schonfeld, 1993)

Izgara şebekelerde, kentin çeşitli ulaşım aksları boyunca uzanan büyük toplulaşma koridorlarının etrafındaki bölgelere, bu tarz bir hizmet verilir. Izgara şebekelerde dikkat edilmesi gereken bir diğer husus da birbirine paralel koridorlar boyunca uzanan paralel hatların birbirine mesafelerinin uygun olmasıdır. Bilindiği gibi toplulaşma sistemlerinin işleticileri, maliyetlerini minimize etmek için elde geldikince paralel hat oluşturmaktan kaçınırlar. Aynı yönde çalışan fakat aynı hattı paylaşmayan taşıtlar, birbirlerinin yolcularını çekerek kapasite kullanım oranını düşürürler. Aynı sayıda taşıtla daha az yolcu taşımak zorunda kalan işletmelerde gelirin düşüp maliyetin artmasıyla olumsuz durumlar hat safhaya gelmektedir.

Radyal toplulaşma şebekelerinde de bölgesel toplulaşmacılık, ızgara şebekelere benzer. Ancak bu durumda hatlar arası mesafe hat boyunca üniform değildir (Şekil 2.9). Merkezden uzaklaştıkça hatlar arası mesafe kentsel yapıya uygun bir şekilde artar.



Şekil 2.9 Radyal şebekede bölgesel işletmecilik

Basit toplulaşma hizmetiyle karşılaştırıldığında bölgesel toplulaşma sistemleri aşağıdaki avantajlara sahiptir (Tsao ve Schonfeld, 1983):

1. Talebi karşılamak için gerekli olan $t\text{-km}$ 'yi düşürür. Çünkü, birçok taşıt (son bölgeye hizmet edenler dışında) gövde hattın bitiminden çok daha önce geri döner. Ortalama taşıt doluluğu da taşıtların alt hatlarının yerel bölümünde görece olarak daha hızlı dolmalarından dolayı artar.
2. Çoğunlukla ortalama $t\text{-km}$ 'nin hemen hemen hiç durmaksızın ve daha az sayıda tıkanık ve sınırlı taşımalar üzerinden daha yüksek hızlarla alınmasına bağlı olarak

ortalama taşıt hızları da artmaktadır. Artan ortalama taşıt doluluğu ile birlikte bu, taşıt filosunun boyutlarını ve işletme maliyetlerini azaltan bir verim artışını sağlar.

3. Seyahatlerinin bir kısmında yüksek hızlarla gitmelerinden dolayı, bir çok yolcunun yolculuk süresi de azalmaktadır. Hatta eğer hattın ekspres kesiminden kazanılan ek süre, aktarma için gereken ek süreyi telafiye yetiyorsa yolcunun asıl son durağa değil de bölgeden bölgeye seyahat -yani bölgeler arası seyahat- için harcanan yolculuk süresi de azalabilir.
4. Gecikme ve arızalar gibi işletme problemlerinin yerlerini saptayarak hizmetin güvenilirliğini attırır.
5. Uzun yolculuklardan daha yüksek ücretler alınmasını sağlayarak gelir artışına katkıda bulunur.

Bunun yanında bölgesel toplulaşıma işletmesinin aşağıdaki dezavantajları vardır:

1. Takip aralığı, böylece yolcu bekleme süreleri, her bölgeye filodaki taşıtların sadece bir kısmını hizmet verdiği için artabilir.
2. Eğer ekspres taşımada kazanılan ek süre aktarma için gerekli ek süreden daha az ise bölgeler arası seyahat için bazen uygun olmayabilir.

Zirve saatlerdeki sıkışıklıkları gidermek ve daha çok yolcu taşımayı amaçlayan yukarıdaki işletme şekilleri, gerekmiyorsa günün diğer saatlerinde uygulanmamakta ve klasik (çok duraklı) işletme stratejisiyle hizmete devam edilmektedir.

Bunların dışında kullanılan diğer bir işletme şekli ise, daha çok trafik ağırlıklı olup, otobüs grupları (bus trains, bus platoons) oluşturulmasıdır. Burada çevredeki hatlardan ana artere ulaşan otobüsler belirli bir düzenleme noktasında 3-10 otobüslük diziler haline getirilmektedir. Diğer trafiğin olumsuz etkilerini azaltmak amacıyla aralarına başka tür araçları sokmadan ilerleyen dizinin ilk otobüsü, trafik sinyallerine kumanda eden bir uyarıcı taşıdığından, katar ışıklarda durmadan ana arterde hızla ilerlemekte ve fiili bir otobüs izi parçası yaratılmaktadır. Bu uygulamayla yüksek kapasitelere ulaşılmasının yanında bazı sorunlar da çıkmaktadır. Uygulama için önüne araç park edilmemiş uzun otobüs durakları gerekmekte, dizi durduğunda farklı hatların yolcularının durakta yer değiştirmesi gerekmekte, herhangi bir trafik sıkışıklığında ise çok sayıda otobüs bu noktada kilitlenmektedir.

Buraya kadar anlatılan konular bir yapısal çerçeve bütünü haline getirilmiştir. Çizelge 2.2’de görülen yapısal çerçeve sistemin problemlerinin belirlenmesi ve model kurma aşamasında kolaylık sağlamıştır.

Çizelge 2.2 Otobüsle kentiçi toplu taşımacılık için bir yapısal çerçeve

ALANLAR	ALTALANLAR	BİLEŞENLER	SEÇENEKLER
1. TALEP VE DAĞILIMI	1.1. Mekansal (Talebin gerektirdiği durulan durak sayısına göre)		* Çoktan-teke (Many-1) * Çoktan-çoka (Many-Many) * Tekten-teke (1-1) * Çoktan-aza (Many-Few) * Tekten-aza (1-Few) * Azdan-aza (Few-Few)
	1.2. Zamansal		* Sabit * Değişken
	1.3. Türel		* Sabit * Değişken
2. SUNU			* Doğrusal (düz) * Radyal * Izgara * Ağaç gövdesi (dallanmış) * Kompozit
2.1. TAŞIMA ŞEBEKESİNİN YAPISI			
2.2. TAŞIT FİLOSU		2.2.1. Taşıt sayısı	* Belirli * Belirsiz
		2.2.2. Taşıt kapasitesi	* Körüklü otobüs (Büyük) * Normal otobüs (Orta) * Midibüs (Küçük) * Minibüs (Çok küçük)
2.3. İŞLETME	2.3.1. Rota		* Sabit rotalı * Esnek rotalı * Dinamik rotalı
	2.3.2. Duruş türü	2.3.2.1. Her durakta duruş	* Klasik
		2.3.2.2. Belirli duraklarda duruş	* Yolcu isteğiyle duruş * Ekspres (veya durak atlayarak) * Bölgesel
	2.3.3. Zaman çizelgesi	2.3.3.1. Çizelgeli	* Sabit tek periyotta(periyodik kalkış, periyodik olmayan kal.) * Sabit çok periyotta(periyodik kalkış, periyodik olmayan kal.) * Esnek
		2.3.3.2. Çizelgesiz	* Minimum yolcu ile kalkış * Sınırlı bekleme süresi ile kalkış
2.3.4. Ücret		* Ücretsiz * Tek tip ücret * Entegre ücret * Servis tipine göre * Aşamalı ücret	

Çizelge 2.2-Devam

ALANLAR	ALTALANLAR	BİLEŞENLER	SEÇENEKLER
	2.3.5. İşletme hedef ve amaçları	2.3.5.1.Yeterli hizmet düzeyinin sağlanması	* Taşıma ücretlerinin min. * Taşıt içi sürelerin min. * Durakta bekleme sürelerinin min. * Dakiklik, güvenlik ve konforun maks. * Taşıt takip aralıklarının min.
		2.3.5.2.Maliyetlerin min.	* Taşıt sayısının min. * Yolcu-km maliyetinin min. * Genel işletme maliyetinin min. v.b.
		2.3.5.3. Gelirlerin maks.	* Yolcu gelirinin maks. * Diğer gelirlerin maks. v.b.
	2.3.7. İşletme kısıtları		* Taşıt kapasitesi kısıtı * Filo kısıtı * Taşıt doluluk kısıtı * Bütçe kısıtı * Yönetim kısıtları

2.4 Otobüsle Toplutaşıma İle İlgili Kaynak Araştırması

Ülkemizde otobüsle toplutaşımacılık konusundaki bilimsel çalışmalar 70'li senelerde yoğunluğunu arttırmıştır. Özellikle 1978 ve 1979'da Ankara'da yapılan Toplutaşıma Kongreleri'nde kentiçi otobüs taşımacılığı ile ilgili birçok çalışma sunulmuştur. Bu dönemde, ulaşım olayının bir sistem yaklaşımı ile değerlendirilmeye başlandığı ve otobüs taşımacılığının da bundan nasibini aldığı söylenebilir. Büyük şehirlerin artan nüfus ve araç sahipliği ile maruz kaldığı problemlerin çözümü için, bu dönemde toplutaşıma ağırlıklı politikaların üretilmeye çalışıldığı ve otobüs taşımacılığına da öncelikle eğilme ihtiyacı duyulduğu görülmektedir. Ankara ve İstanbul'da uygulanan tercihli otobüs yolu çalışmaları da hep aynı dönemlere rastlamaktadır. Daha sonra İstanbul'da İETT için yapılan Hat Rasyonalizasyon Etüdü (VTS/İETT, 1989; İETT, 1990) de konu ile ilgili olarak dikkat çekmektedir.

Son yıllarda ülkemizde otobüsle ilgili akademik çalışmalar artmaya başlamakla birlikte, yeterli değildir. Otobüsle toplutaşıma konusunda dikkat çeken iki doktora tezine de burada kısaca değinilecektir. İlkinde (Kıbrıslı, 1989) Taksim-Zincirlikuyu arasındaki otobüs yolu tekrar incelenmiştir. 1979 yılında açılan bu yolun üzerinde zamanla hat ve araç sayısının arttırılmasıyla kapasitenin aşıldığı, kurulan matematiksel modelle belirlenmiştir. Tezde yolun daha ekonomik ve daha etkin işletiminin tekrar sağlanması ve hizmet düzeyinin yükseltilmesi için bir dizi işletme değişikliği ve fiziksel düzenlemeler önerilmiştir.

İkinci çalışmada ise Çalışkan (1994), aktarma duraklarındaki bekleme ve zaman kaybını en aza indirmek için bir model kurmuştur. Modelin çıktısı, beklemeleri minimum yapan zaman çizelgesidir. Model Kayseri'de uygulanmış ve olumlu sonuçlar elde edilmiştir.

Yabancı literatürde, kamu otobüs sistemlerinin optimizasyonu için kullanılan analitik yaklaşımlar üzerine önemli miktarda çalışma mevcuttur. Talebin sabit olduğu varsayılarak (hizmet kalitesi veya fiyat dikkate alınmaksızın) birçok analitik optimizasyon modeli, taşıt takip aralığı ve hatlar arası mesafe olarak iki karar değişkeni öngörmektedirler (Salzborn 1972; Hurdle 1973; Byrne 1976; Clarens ve Hurdle 1975; Newell 1979; Kocur ve Hendrickson 1982; Chang ve Schonfeld 1991a).

Bazı çalışmalarda da, hat uzunluğu veya hizmet bölgesi boyutuna, özellikle dikkat çekilmiştir (Ling, Taylor 1989; Chang, Schonfeld 1993). Byrne ve Vuchic (1971) optimum hat aralıklarını ve hat boyunca hareket eden taşıtların frekanslarını, paralel besleyici hatlara dik olan hatlardan oluşan bir sistem üzerinde analiz etmişlerdir. Byrne ve Vuchic, hizmet talep eden müşteri sayısının bölgelere göre değiştiği fakat zamana göre değişmediği durumlar için, bir iteratif algoritma geliştirmişlerdir. Bu çalışmada optimum taşıt takip aralığının, bekleme maliyeti ile işletme maliyetinin eşit olduğu noktada ortaya çıktığı görülmüştür. Taşıtların hatlara dağılımı ise, filo boyutu sabit kalmak şartıyla, her hattaki yolcu sayısının kare kökü ile orantılı olmaktadır.

Byrne (1976) daha sonra Byrne ve Vuchic (1971)'in çalışmasını, belli bir noktayı besleyen radyal hatlardan oluşan bir şebeke şeklinde geliştirmiştir. Bunlara ek olarak, Byrne, nüfus yoğunluğunun radyal olarak değişmesi durumunda, optimum hat sayısının, erişim maliyetlerinin, bekleme ve işletme maliyetlerinin toplamına oranına bağlı olduğunu göstermiştir. Hurdle (1973) Byrne ve Vuchic'inkine benzer bir kavramı, bölgelere göre hizmet talep eden yolcu değişimini göz önüne alarak analiz etmiştir. Hurdle (1973) bölge ve süreyi de dikkate almıştır. Benzer bir basitleştirilmiş analiz ile, Clarens ve Hurdle (1975), servis bölgesindeki otobüs seyahat süresinin, hizmet bölgesi boyutu ile doğrudan orantılı olduğu varsayımıyla, bir bilgisayarlı otobüs sisteminin, bölge boyutu ve taşıt takip aralığını optimize etmişlerdir. Clarens ve Hurdle, problem değişkenlerinin gün içerisinde değişmediği varsayımıyla, kenar mahalleler için, taşıtlar tam kapasite çalışırlarsa, optimum bölge boyutunun yolcu varış yoğunluklarının karekökü, eğer tam kapasite çalışmazlarsa, küp kökü ile ters orantılı olduğunu bulmuşlardır.

Newell (1971) belli bir filo boyutu için, bir toplu taşıma hattında yolcu bekleme süresini minimize eden ve talebi zamanın düzgün bir fonksiyonu olarak alan bir çizelgeyi optimize etmiştir. Bu çalışmayı geliştirmek için Salzborn (1972), içine öncelikli amaç olarak filo büyüklüğünü minimize eden, ikincil bir amaç olarak da yolcu bekleme süresini minimize eden iki aşamalı bir süreci, optimal takip aralığını zamanın bir fonksiyonu olarak belirlemek için kullanmıştır.

Newell (1979), optimum hat tasarımının seyahat dağılımı ve maliyet parametrelerinin özelliklerine fazlasıyla duyarlı olduklarını göstermiştir. Newell, düz rotalı otobüs hatlarının kare şeklindeki ızgaralarının, fazlası ile ideal koşullarda dahi optimum bir şekil olmadığını bulmuştur.

Ling ve Taylor (1989), maksimum kâr amacıyla bir otobüs hattının uzunluğunu analiz etmişlerdir. Hat uzunluğu dikkate alınan tek karar değişkeni olmuş, fakat herhangi bir kapalı formdaki çözüme ulaşamamıştır.

Chang ve Schonfeld (1993), otobüs hizmet bölgelerini, bölge boyutu, hat uzunluğu, hatlar arası mesafe ve taşıt takip aralıkları gibi sunu ve talep özelliklerinin zamanla değişim gösterdiği, maksimum sayıda karar değişkeni dikkate alarak analiz etmişlerdir. Chang ve Schonfeld, optimum hat uzunluğunun talep yoğunluğu ile, düşen bir oranda azaldığını ve maliyet fonksiyonlarının, bölge boyu ve genişliğinin oranı olarak tanımlanan bölge uzama parametresine (zone elongation parameter) göre U şeklinde olduğunu bulmuşlardır.

Yukarıda bahsedilen tüm çalışmalar, talebi sabit alarak ve sağlanan toplu taşıma hizmet düzeyini dikkate almaksızın yapılmıştır.

Bunlara bir istisna Kocur ve Hendrickson (1982) tarafından yapılan çalışmadır. Yerel otobüs hizmetlerini, denge durumundaki talep ile, sonsuz derecede düzgün dikdörtgen ızgara şebekede yapıldığı varsayımıyla analiz etmişlerdir. Bu çalışma, otobüs hizmetlerini, biniş duyarlılığı ile hizmet düzeyleri ve ücretlerin bağlantıları dikkate alarak analiz etmiş ve değişik amaç fonksiyonları ışığında optimum hat aralığı, taşıt takip aralığı ve ücretler için kapalı form çözümler geliştirmiştir. Çalışmada, bir logit tür paylaşım modelinin doğrusallaştırılmış varsayımı kullanılarak, talep esnekliği ile toplu taşıma sistemi tasarımına optimizasyon yaklaşımı gösterilmiştir. Kapalı form çözümler ise, logit tür paylaşım modelinin doğrusal yaklaşımı olmaksızın, daha sonra optimal bölge boyutundaki işletme politikaları için oluşturulmuştur.

Clarens ve Hurdle (1975)'in yaptıkları çalışmada, kent merkezinden uzaktaki yerleşim bölgelerine yolcu taşımak için zaman çizelgesi ve hat modeli geliştirmişlerdir. Toplam işletme ve kullanıcı maliyetlerinin minimizasyonu amaçlanmıştır. Bu iş için önce, kent merkezindeki alt bölgelerin boyutları belirlendikten sonra işletmecilerin sezgi ve tecrübeleriyle bölge sınırları ve hatlara karar verilmiştir. Modelde, otobüslerin bir sefer süresinin alt bölge alanlarıyla orantılı olduğu varsayılmıştır. Model, San Francisco'da uygulanmış, elde edilen sonuçların gerçeğe uyduğu görülmüştür.

Elastik talep, finansal kısıtlar ve tıkanıklık etkilerini dikkate alan analitik bir model, Oldfield ve Bly (1988) tarafından ve kentiçi otobüs sistemleri için optimal araç boyutunu belirlemede kullanılmıştır.

Toplutaşımacılık sistemleri için yapılan analitik optimizasyon çalışmalarından çok azı çoktan-çoka talep modellerini, özellikle de gerçekçi mekansal talep dağılımları için, dikkate almıştır. Newell (1979), çoktan-çoka sistemlerde, optimal otobüs hatlarının belirlenmesinde dışbükeylik problemlerini ve zorluklarını belirlemiştir.

Duraklar arası günlük talep fonksiyonlarının yavaş bir biçimde değiştiğini varsayan Wirasinghe ve Ghoneim (1981), bir çoktan-çoka talep dağılımı için durak aralıklarını, verilen bir filo boyutunda işletmeci ve yolcu maliyetlerini minimize ederek optimize etmişlerdir. Düzgün olmayan bir şekilde dağılmış seyahat talebi, bir otobüs hattı boyunca toplam merkezden çıkış ve hedefe varış özelliği gösteren seyahat fonksiyonları kullanılarak ele alınmıştır. Otobüslerin düzensiz duruşlarından kaynaklanan stokastik etkiler de bu çalışmada analiz edilmiştir.

Bölgesel toplutaşıma kavramı ilk olarak 80'lerden önceki 15 yıllık dönemde incelenmiştir (Tsao ve Schonfeld, 1983). Tsao ve Schonfeld'e göre, Black (1962) ve Eisele (1968)'ın çalışmalarında daha çok tanım içerikli yaklaşımlar kullanılırken, daha yakın dönemlerde Morlok ve Vandersypen (1973), Pollan (1976), Turnquist(1979), Jordan ve Turnquist (1979) tarafından yapılan çalışmalarla, bölgesel toplutaşıma hizmetlerinin birçok özelliği üzerinde optimal sonuçlar elde etmek için dinamik programlama teknikleriyle tatmin edici sonuçlara ulaşılmıştır.

Turnquist (1979), çalışmasında çoktan-teke ve tekten-çoka bir durak dağılımını incelemiştir. Beklemeleri ve seyahat süresinin toplamını minimize etmek için kısıtlı bir model kurmuştur. Modeli ekspres işletmeciliği için uygulamıştır. Modelde filo boyutunun bekleme süresi ve seyahat süresine etkileri grafik olarak da değerlendirilmiştir.

Tsao ve Schonfeld (1983), çalışmalarında cebirsel formda optimal ilişkilerin elde edilmesinin yanı sıra, optimal nümerik sonuçlara ulaşmada kullanılmak amacıyla bir yöntem geliştirilmişlerdir. Bu nedenle yaklaşımlarını kombinatorik matematik yerine, bilinen matematiksel hesaplama tekniklerine dayandırmışlardır. Buradaki, temel yaklaşım, çeşitli işletmeci ve kullanıcı maliyeti bileşenlerinden oluşan bir toplam maliyetli amaç fonksiyonu oluşturmaktır. Optimize edilen karar değişkenleri, bölge sınırları ve bölgesel taşıt takip aralıklarıdır (araç boyutları, hızları, ve durak aralıkları da bu yaklaşımla başka uygulamalarda

optimize edilebilir.). Makalede doğrusal bölge kavramından hareketle, seyahat talebi bir boyutu sabit tutularak tek boyutlu bir alanda varsayılmıştır.

Tsao ve Schonfeld (1984)'in diğer çalışmasında, öncekine ilave olarak ızgara şeklinde bir taşıma şebekesi varsayılmıştır. Burada optimize edilen karar değişkenleri; bölge sınırları, takip aralıkları ve yerel toplu taşıma hatlarının uzunluğudur.

Chang (1990), hazırladığı doktora tezinde bölgesel toplu taşımacılık için analitik modeller geliştirmiştir. Besleyici ve paralel hatlarda uyguladığı çalışmada, iki tür talep özelliğini (çoktan-teke, çoktan-çoka) dikkate almıştır. Ayrıca talebin sabit ve elastik olması durumlarına göre sistemini geliştirmiştir. Yukarıdaki yapıları üç türlü amaç fonksiyonu için incelemiştir. Karar değişkeni olarak taşıt takip aralığı, taşıt boyutu, hat boyu, paralel hatlar arasındaki mesafe, ücret, hizmet verilen bölge boyutları, durak aralığını kullanmıştır. Aşağıdaki çizelgede Chang (1990)'ın çalışmasının özeti verilmiştir.

Çizelge 2.3 Chang (1990)'ın özeti

Sistem Tipi	Besleyici Otobüs Sistemleri			Paralel Otobüs Sistemleri	
Hat Tipi	Sabit Hat		Esnek Hat	Sabit Hat	
Talep Özelliği	Çoktan-Teke		Çoktan-Teke	Çoktan-Çoka	
Talebin Elastikliği	Elastik Talep	İnelastik Talep	İnelastik Talep	Elastik Talep	İnelastik Talep
Amaç Fonksiyonu ve Kısıtlar	Maks. Kâr Maks. Net Sosyal. Fay. sübvansiyon kısıtı	Min. Toplam Maliyet Taşıt Kapasitesi Kısıtı	Min. Toplam Maliyet	Maks. Kâr Maks. Net Sosyal. Fay	Min. Toplam Maliyet
Karar Değişkenleri	hatlar arası mesafe, takip aralığı, ücret	hatlar arası mesafe, takip aralığı veya taşıt boyutu hat boyu	Bölgenin alanı takip aralığı veya taşıt boyutu	hatlar arası mesafe, takip aralığı, ücret	hatlar arası mesafe, takip aralığı, durak aralığı
Heterojenlik	Zamanla değişen parametreler: otobüs hızı, işletme maliyeti, ve talep yoğunluğu			Zamanla değişen parametreler: otobüs hızı, işletme maliyeti, ve talep yoğunluğu Mekan boyunca değişen parametreler: talep yoğunluğu	

Chang ve Schonfeld (1991a)'in çalışmalarında bölgesel toplulaşıma değişik yönleriyle incelenmiştir. Çalışmada yine analitik modeller kullanılmıştır. Farklı amaç fonksiyonları için talebin zaman içindeki değişiminin etkileri üzerinde durulmuştur. Bunun için 3 amaç fonksiyonu, tek ve çok periyotlu durumlarda analiz edilmiştir. Amaç fonksiyonu ve zaman periyodu açısından çalışmanın özeti aşağıdaki çizelgede verilmiştir.

Çizelge 2.4 Analitik modellerde, optimize edilmiş amaç foksijonları ve karar değişkenleri

Zaman Talep →		Tek Periyotta	Çok Periyotta
Sabit Talep ↓	Toplam Maliyet Minimizasyonu	r, hatlar arası mesafe h, taşıt takip aralığı F, filo boyutu	r, hatlar arası mesafe h_t , t periyodundaki taşıt takip aralığı F_t , t periyodundaki filo boyutu
	Kâr Maksimizasyonu	r, hatlar arası mesafe h, taşıt takip aralığı f, ücret F, filo boyutu	r, hatlar arası mesafe h_t , t periyodundaki taşıt takip aralığı f, ücret F_t , t periyodundaki filo boyutu
Denge Durumunda Talep	Net Sosyal Fayda Maksimizasyonu	r, hatlar arası mesafe h, taşıt takip aralığı $f=0$ F, filo boyutu	r, hatlar arası mesafe h_t , t periyodundaki taşıt takip aralığı $f=0$ F_t , t periyodundaki filo boyutu

Bu çalışmada hizmet bölgelerinin şekli yaklaşık olarak dikdörtgendir. Ana hatta ekspres işletmecilik yapılmaktadır. Taşıtlar ana hat boyunca hiç durmadan hareket etmekte, bölge sınırlarına girildikten sonra klasik işletmeciliğe geçilmektedir. Dört farklı durum için talep fonksiyonu verilmiştir.

Chang ve Schonfeld (1991b) çalışmalarında, paratransit ve klasik toplulaşıma işletmeciliğinin koordinasyonu yoluyla, kamu toplulaşıma hizmetlerini geliştirme potansiyeline dikkat çekmiştir. Bu çalışmada, entegre sistemlerin uygulamasıyla ilgili konular ve kontrol stratejileri tartışılmış ve değerlendirilmiştir. Daha önce kavramsal düzeyde ve kalitatif analizlerle sınırlı çalışmalara, Chang ve Schonfeld daha gerçekçi ve uygulanabilir bir

yaklaşım getirmişlerdir. Optimize edilmiş sonuçlar, taşıt büyüklüğü, hat aralığı, taşıt takip aralığı ve hizmet bölgesi alanları için sunulmuştur. Hangi hizmetin diğerinden daha iyi olduğunu belirlemede, hizmet alanı, işletme maliyeti, hız ve zamanın parasal değeri gibi, talep yoğunluğu dışındaki sistem parametrelerinin de analiz edilebileceği belirtilmiştir. Yüksek talep periyotlarında sabit-hatlı servislerin ve düşük talep periyotlarında esnek-hatlı servislerin sağlandığı geçici entegre sistemler analitik ve sayısal olarak değerlendirilmiştir.

Chang ve Schonfeld (1993), otobüsle hizmet verilen bölgenin optimal boyutlarını bulmak için analitik bir model önermişlerdir. Amaç fonksiyonu olarak ortalama sistem maliyetinin minimizasyonu düşünülmüş ve paralel hatlar arası mesafe, taşıt takip aralığı, yerel hat uzunluğu, hizmet verilecek bölgenin boyutları optimum olarak bulunmuştur. Talebin periyodik olarak değişim gösterdiği varsayılmıştır.

Ling ve Taylor (1989), optimum otobüs hattı uzunluğunu belirlemek için, sürekli etkileşim modelleri geliştirmişlerdir. Çoğu taşımacılık çalışmalarında olduğu gibi, burada formüle edilen model de idealizedir. Şehir merkezinden yayılan bir otobüs hattı düşünülerek, nüfus ve istihdamın toplutaşıma koridoru boyunca bir negatif üstel fonksiyonla dağıldığı varsayılmıştır. Hesap kolaylığı için, sadece kent merkezinden dışarıya doğru olan seyahatler dikkate alınmıştır. Kentsel yoğunluklar ve şehir merkezinden uzaklık arasındaki ilişkilerin çeşitli matematiksel formülasyonları ileri sürülmüş ve test edilmiştir.

Ceder ve Wilson (1986), daha önce önerilen yöntemlere göre uygulaması daha kolay ve hat değişiklik risklerine daha duyarlı bir otobüs şebeke tasarım problemine yaklaşım önermek amacıyla bir çalışma yapmışlardır. Otobüsle toplutaşımın diğer toplutaşım türlerine göre en büyük avantajının, yolcuların isteklerine daha iyi cevap verebilmek için gerektiğinde hattı değiştirmek imkanına sahip olduğu düşüncesiyle tanımlanan problem metodolojik bir yaklaşımla sunulmuştur. Bu çalışmada, verilen bir akış şemasıyla otobüs taşımacılığı metodolojisi için iyi bir kavramsal yapı sunulmuştur. Bu yapı kentlerarası ve kentiçi taşımacılık için uygulanabiliridir.

Ceder ve Stern (1981), verilen bir çizelge için gereken filo boyutunu hesaplamak için bütçe açığı (deficit) fonksiyonu kullanmışlardır. Bu yaklaşım sadece kalkışların toplamının ve zaman içinde sistemdeki her terminale varışların hesabını gerektirir. Bu yaklaşıma dayanarak, istenen filo boyutunu en aza indirmek için verilen bir çizelgenin içine boş dönüş seferlerini koymak için iteratif sezgiseller geliştirmişlerdir.

Furth (1985), otobüslerin bir hat boyunca boş dönüşlerini incelemiştir. Boş dönüş stratejisinin analizi için, çalışmada, öncelikle verilen bir değişmeli boş dönüş çizelgesinin oluşturulması için ihtiyaç duyulan filo boyutunun bulunabilmesi problemini göz önüne almıştır. Verilen bir filo boyutu için bekleme süresini en aza indirgeyen bir değişmeli boş dönüş çizelgesinin bulunması, üzerinde çalışılan ikinci problemdir. Bir sürekli yaklaşım kullanılarak, yolcuların toplam ve işletmeci maliyetini en aza indirme problemi üzerinde de durulmuştur. Makalede, optimal değişmeli boş dönüş çizelgeleri tasarlamak için taşıt takip aralıklarının kontrol değişkeni olduğu algoritmalar geliştirilmiştir.

Adebisi (1980), esnek otobüs hatlarında seyahat süresini bulmak için teorik bir model geliştirmiştir. Bu çalışmada, otobüslerin hareket sürelerindeki beklenti ve değişimlerin belirlenmesi için, olasılık kavramına dayanan bir model sunulmaktadır. Analizi kolaylaştırmak için, hizmet verilen bölgenin homojen olduğu ve iyi tanımlanmış sınırları olduğu öngörülmektedir.

Kuah ve Perl (1988), var olan demiryolu hattına erişim sağlayacak optimal bir otobüs hattı için analitik bir model sunmuşlardır. Bu önerilen model, üç temel şebeke tasarım değişkenini bir araya getirir: hatlar arası mesafe, taşıt takip aralığı ve durak aralığı. Çalışmada talebin sabit olduğu kabul edilmiştir. Yolcular dikdörtgen şeklindeki hizmet bölgesindeki başlangıç noktalarından, besleyici otobüs hatları aracılığıyla, bir raylı toplu taşıma hattına dik olarak erişirler. Bu makalede besleyici otobüs şebekesi tasarımı, zirve periyot için ele alınmıştır. Otobüslerin tüm duraklarda durduğu varsayılmaktadır.

Son dönemde yapılan bir çalışmada, Ng ve Brah (1998), Singapur'da belli bir hattaki otobüs sefer sürelerinin ampirik olarak modellenmesiyle elde edilen sonuçları sunmuşlardır. Bir hizmet düzeyi bileşeni olan servis güvenilirliğini (dakiklik) maksimum kılmak için otobüs sefer süreleri üzerinde durulmuştur. Kurulan model basit ve maliyeti düşürücüdür. Çalışmada, servis güvenilirliği otobüs işletmecilerinin perspektifinden incelenmiştir. Analiz iki periyot için yapılmıştır.

Singapur'da yapılan başka bir çalışmada Lee ve Khoo (1997), bir hat boyunca otobüsle seyahat süresi ile durakta bekleme süresini optimize etmek üzere bir model kurmuşlardır. Seyahat sırasında sürücülerin otobüs çizelgelerine uyumsuzluk problemiyle karşılaştıklarında,

doğru karar vermelerine yardımcı olmak için seyahat süresine etki eden faktörler belirlenmiş, bu faktörler simüle edilmiştir.

Son dönemde yapılan diğer bir çalışmada ise Imam (1998), değişken taleple karşılaşılması durumunda, geçici servis tasarımı için optimizasyon yaklaşımının kullanılabilirliğini araştırmıştır. Yazar, kâr maksimizasyonu amacını gerçekleştirmek için, önce taşıt kapasitesi kısıtı olmadan bir model önermekte, daha sonra da aynı amaç fonksiyonunu kapasite kısıtı ile çözmektedir. Karar değişkenleri, paralel hatlar arasındaki mesafe, hat boyunca taşıt takip aralığı ve taşıma ücretidir. Değişkenlerin sürekli olduğu kabulüyle, amaç fonksiyonunun birinci türevini alıp sıfıra eşitleyerek elde edilen çözümle, kapasite kısıtı bulunmayan durum optimize edilmiştir. Kapasitesi kısıtlı ikinci durumda, optimum çözüm için Lagrange Çarpanları yöntemi kullanılmıştır.

2.5 Kaynakların Değerlendirilmesi

Yapılan kaynak taraması sonucunda otobüsle toplu taşımacılıkla ilgili olarak aşağıdaki saptamalar yapılmıştır. Bunlar, otobüs taşımacılığının yapısı hakkında, 2. Bölümde değinilen birçok konuyu içine almaktadır.

Otobüsle toplu taşıma sistemi kurulurken çeşitli hedeflere göre planlama yapılır. İncelenen çalışmalarda bir taraftan yolcuların ulaşım talebi en uygun şekilde karşılanırken, diğer taraftan da sistem maliyetinin minimizasyonu hedeflenmiştir. Bu hedeflere erişmek için aşağıdaki gibi bir takım amaçların güdüldüğu görülmektedir:

- Erişim fonksiyonunun maksimizasyonu (Özellikle bölge sınırlarına girdikten sonraki yerel hat kesimlerinde)
- Taşıt içi sürelerin minimizasyonu. (Özellikle bağlantı fonksiyonunun maksimize edilmeye çalışıldığı, ekspres hat kesimlerinde.)
- Taşıt takip aralıklarının minimizasyonu
- Minimum maliyetli rotalama (Özellikle ekspres ve yerel hat uzunluklarının belirlenmesi, paralel hatlar arasındaki mesafelerin belirlenmesi konularında)
- Taşıt sayısının minimizasyonu
- Minimum maliyetli hizmet bölgesi boyutlarının bulunması
- Minimum maliyetli durak aralığı
- Kârın maksimizasyonu

Otobüsle bölgesel toplu taşıma sistemleri incelenirken kullanılan karar değişkenleri, sistemin hem girdileri hem de çıktıları arasından seçilebilmektedir. Problem türü ve yapısına göre belirlenen bazı karar değişkenleri şu şekilde sıralanabilir:

- Talebin yapısı (sabit, elastik, sabit veya değişken yoğunlukta vb.)
- Maliyet bileşenleri (kullanıcı ve işletmeci açısından)
- Zamanın parasal değeri
- Taşıt takip aralıkları (veya sefer sıklığı)
- Hat uzunluğu (ekspres ve yerel hat kesimleri için)
- Hatlar arası mesafe
- Taşıma ücretleri
- Taşıt sayısı ve özellikleri (filo boyutu)
- Hatlar boyunca durak sayısı ve aralıkları
- Hizmet verilecek bölgenin boyutları (üniform kabul edilirse eni-boyu)
- Taşıtların hat boyunca ticari hızları (ekspres ve yerel kesimlerde)

Toplu taşıma sistemlerini optimize eden analitik yaklaşımlar konusunda hatırı sayılır bir literatür mevcuttur. Şimdiye kadar, bu analitik modellerin gelişimi, yoğunlukla, optimize edilmiş değişkenler (takip aralığı, hat ve durak aralığı, araç boyutu, ücret gibi) ve dış etkilere bağlı sistem parametreleri (talep yoğunluğu, zamanın parasal değeri, araç işletme maliyetleri gibi) aralarındaki ilişkiyi tanımlayan fonksiyonel ilişkiler ve kapalı form çözümleri üretmek üzerinde yoğunlaşmıştır. Analitik çözümler yoğunlukla arazi kullanımı, talep ve maliyet dağılımlarının zaman ve mekandaki değişimleri ile ilgili detayların gözden çıkarılmasıyla bulunmuştur. Bu tipik olarak, alan ve zaman boyunca bütün değişimlerin ortalamalarını alarak ya da bu değişimlere dağılımlar uydurarak sağlanmıştır. Önceki pek çok analitik model, zaman içinde düzensiz değişim gösteren talebi dikkate almayıp, zirve periyodundaki talebi temsil eden sabit bir talep varsaymışlardır. Sonuç olarak, bu modeller, değişik periyotlar için, hat yapısı ve çizelgeleme stratejilerini tam anlamıyla optimize edemezler.

Zaman içerisindeki talep değişimlerini ihmal eden modeller sınırlı bir şekilde uygulanabilmektedirler. Öncelikle, talebin anlamlı bir biçimde düzensiz değişim gösterdiği durumlarda, böyle modeller toplu taşıma sistemlerinin güvenli olarak değerlendirilmesi ve karşılaştırılmasına imkan vermezler. İşletme plânlarındaki farklılıklar nedeniyle değişik sistemlerin değişik servis nitelikleri olduğundan, hangi şartlarda hangi sistem tipinin seçileceği konusunu tayin etmek istenebilir. Kentsel bölgelerdeki çeşitli sistemlerin arasından

seçim yapma yöntemleri, mekansal tekdüzelik ve durağan talep kabulleri yüzünden, karşılaştırmalı sonuçların uygulanabilirliğini sınırlamıştır.

Elastik olmayan talepli otobüs şebekesi tasarımında amaç, toplam otobüs kullanıcıları ve işletmeci maliyetlerini minimize etmek olarak ifade edilir. Kâr maksimizasyonu, net kullanıcı faydası maksimizasyonu, ağırlıklı toplam işletmeci kârı ve net kullanıcı faydasının maksimizasyonu gibi diğer amaçlar, elastik talebi içeren çalışmalarda ortaya konulmuştur (Kocur ve Hendrickson 1982).

Hatlar boyunca durak dağılımı, ekspres kesimlerde genelde,

- azdan-aza
- azdan-teke
- tekten-teke
- çoktan-teke

şeklinde. Ana koridordan ayrılan taşıtlar, yerel hat kesimlerinde çoktan-çoka bir dağılıma göre hizmet verirler (Bölüm 1.2.3).

Taşımacılık yapılan şebekeler yapılarına göre:

- radyal
- ızgara
- ağaç gövdesi
- ve bunların değişik kombinasyonlardaki birleşmesiyle oluşan kompozit şebeke

şeklinde belirlenmiştir.

Hatlar iki türde ele alınmıştır:

- Sabit rotalı hatlar
- Esnek rotalı hatlar

Genelde sabit rotalar kullanılmakla beraber bazen hizmet verilen bölgelerin özelliklerine göre yerel hat kesimlerinde esnek rotalı bir işletmecilik yapılabilmektedir. Esnek rotalı toplutaşımacılık, daha çok paratransit veya çağrılı (ara-bin servisleri) sitemlerde kullanılmaktadır. Daha çok talebin günün belli periyotlarındaki değişimiyle ilgili olan bu uygulamada, sabah ve akşam zirve saatlerde, gün içinde, taşıtlar bölge içinde farklı güzergâhları kullanmaktadırlar.

Otobüsle bölgesel toplu taşıma şebekelerinin analizinde bugüne kadar genellikle “kapalı formdaki analitik modeller” kullanılmıştır. Zaman zaman da sistemin davranışlarını inceleyebilmek için “simülasyon modellerine” başvurulmuştur. Kurulan modellerin çözümünde, bilinen “cebirsal yöntemlerin” yanı sıra “nümerik” ve “sezgisel yöntemler” de kullanıldığı görülmektedir. Çözüm yöntemleri geliştirilirken kombinatorik yapılardan kaçınılmıştır.

Kaynakların incelenmesi aynı zamanda, toplu taşımacılık için geliştirilen analitik optimizasyon modellerinin hâlâ son derece basitleştirilmiş ve idealize edilmiş coğrafi şartlarla sınırlı olduğunu ortaya koymaktadır. Bu sınırlama gevşetilebilirse, analitik modellerin uygulanabilirliği ciddi şekilde artacaktır.



3. OTOBÜSLE TOPLUTAŞIMA İÇİN İŞLETMECİLİK ŞEKLİNİN BELİRLENMESİNE YÖNELİK MATEMATİK MODEL

Buraya kadar genelde kentiçi toplutaşıma sistemi, özelde ise otobüsle taşıma sistemi hakkında bilgi verilmiş, sistemin problemleri kısaca tanıtılarak yapısal bir çerçeve sunulmuştur. Bu bölümde kentiçi otobüs taşımacılığında uygulanabilecek işletmecilik şeklinin belirlenmesine yönelik bir matematik model sunulacaktır. Modelin düşünce yapısı aşağıda kısaca açıklandıktan sonra, ilerleyen bölümlerde model detaylı bir şekilde analiz edilecektir.

3.1 Modelin Düşünce Yapısı

Bilindiği gibi, büyük kentlerimizde uygulanan kentiçi otobüs işletmeciliğinin önemli problemlerinden biri de, gereğinden uzun mesafelere, uzun sefer süresiyle hizmet veren hatlardır. Uzun hat ilk bakışta bir şebekeyi veya ulaşım koridorunu boydan boya katettiği için, olumlu bir uygulama olarak görünmektedir. Gerçekten ilgili koridor boyunca bir çok yolcuya hizmet verilebilmesi ve yolcuya aktarmasız bir seyahat sağlaması da, bu düşünceyi destekler mahiyettedir. Ancak problemin, sefer süresi, işletme maliyeti, yolcu seyahat süresi gibi gözden kaçırılmaması gereken başka cephelerinin de varolduğu düşüncesiyle, detaylı bir analiz yapılması öngörülmektedir. Kent içinde uzun sefer süreleriyle seyahat etmek, yolcuya düşük hizmet düzeyi olarak yansırken, işletmeciye de taşıt maliyetlerindeki artış olarak yansımaktadır. Bunu iyileştirmek için çeşitli önlemler devreye sokulabilir. Tezde belirli amacı sağlayan farklı uzunluktaki hatların bulunduğu bir hat kümesi elde etmeye yönelik bir matematik model oluşturulacaktır.

Model oluşturulurken, önceki bölümdeki yapısal çerçeveden yararlanılacaktır. Bir taşıma şebekesinde uygulanacak otobüs işletmeciliğinde, kullanıcıların toplam sürelerini ve işletmecinin toplam işletme maliyetini minimum yapmak üzere, ekspres ve klasik işletmecilik şekillerinin uygulandığı hat konfigürasyonları araştırılacaktır. Aynı anda işletmeci maliyeti ve kullanıcı maliyetini minimum yapmak güçtür. Birbiriyle çelişen bu iki durumu belirli bir düzeyde bağdaştırabilmek için “toplam sistem maliyeti” kavramı kullanılarak bir çözüm yöntemi önerilecektir.

Buna göre, ağaç gövdesi şeklinde (dallanmış) bir taşıma şebekesi boyunca (Şekil 3.1) dağılmış bir toplutaşıma talebini, istenilen amaçlara uygun olarak karşılayacak bir hatlar kümesi elde edilmesi hedeflenmektedir.

Yolculuk türleri:

- 1- Klasik hat boyunca aktarmasız yolculuk.
- 2- Ekspres hat boyunca aktarmasız yolculuk.
- 3- Aktarmalı yolculuk :
 - Klasik + Klasik
 - Klasik + Ekspres

Zaman çizelgesi bu tezin konusu içine girmemekle beraber, sabit çizelgeli bir işletmecilik yapılması önerilmektedir.

Yolcu taşıma ücretleri başlangıçta tek tip olarak kabul edilmiştir. Hat kümesi elde edildikten sonra, servis tipine göre yeni yolcu taşıma ücreti uygulanabileceği öngörülmüştür.

3.1.1 Modelin Girdileri

Modelin girdileri iki ana başlık altında toplanabilir. Bunlar temel girdiler ile sabitler ve parametrelerdir.

3.1.1.1 Temel Girdiler

- Bir şebeke yapısı (Ağaç gövdesi şeklinde)
- O-D şeklinde ifade edilmiş şebeke mesafe (durak aralıkları) matrisi
- O-D şeklinde ifade edilmiş şebeke talep (q_{ij}) matrisi

3.1.1.2 Sabitler ve Parametreler

- Taşıtın ortalama hızı (Yol ve trafik koşullarına bağlı)
- Gidiş ve dönüş yolculuklarından sonra, sürücünün manevra yapması ve dinlenmesi için gerekli ek süre
- Otobüsün 1 durakta yolcuların inip-binmesi, trafik akımından ayrılıp kapılarını açması, kapılarını kapatıp trafik akımına dönmesi için harcadığı toplam süre.
- Taşıt kapasitesi
- Maksimum taşıt takip aralığı (1 yolcu için maksimum durakta bekleme süresi)
- Saatlik birim taşıt işletme maliyeti (Genelleştirilmiş maliyet)
- Yolculuk ücreti

- Kullanıcının sistemde harcadığı sürenin parasal değeri

3.1.2 Modelin Çıktıları

- Toplam talebi karşılamak için O-D çiftleriyle ifade edilen hatlar kümesi
- Hatlara atanan saatlik yolcu sayıları
- Hatların uzunluğu
- Hatların sefer süreleri
- Hatlarda gerekli sefer sayıları
- Hatların taşıt takip aralıkları
- Hatlarda gerekli taşıt sayıları
- Hatlardaki toplam taşıtla yolculuk süreleri (yolcu-dak)
- Hatlardaki toplam durakta bekleme süreleri (yolcu-dak)
- Hatlardaki toplam yolcu süreleri (yolcu-dak)
- Saatlik kullanıcı maliyeti
- Saatlik hat işletme maliyetleri
- Saatlik hat gelirleri
- Saatlik hat kârı (ve/veya zararı)
- Saatlik toplam sistem maliyeti
- Ekspres hatlarda ortalama taşıtla yolculuk süresi (dak)

3.1.3 Etkinlik Ölçütleri

Çıktıları değerlendirebilmek için bazı etkinlik ölçütleri tanımlanmasında yarar vardır. Etkinlik ölçütleri karar vericinin rahat değerlendirme yapmasına imkan vermeli ve amaçlarla uyum içinde olmalıdır. Aşağıdaki etkinlik ölçütlerinden bazıları kullanılabilir:

- Hatlardaki toplam taşıtla yolculuk süresi(yolcu-dak.)
- Hatlardaki toplam durakta bekleme süresi (yolcu-dak.)
- Hatlardaki toplam yolcu süreleri (yolcu-dak)
- Çeşitli ortalama maliyet değerleri
- Çıktıların, yolcu başına, sefer başına veya taşıt başına hesaplanan değerleri.

3.2. Matematik Modelde Kullanılan Formülasyon

Bu bölümde matematik modelde kullanılan temel formülasyon ve formülasyona ait basitleştirmeler ve kabuller sunulacaktır. İlerleyen aşamalarda, model bu temele dayandırılarak geliştirilecektir.

Bir sistem çıktısı elemanı olarak maliyetlerin, kullanıcı, işletmeci ve diğer aktörler için ele alınabileceğine önceki bölümlerde değinilmişti. Burada genelde kullanılan işletmeci ve kullanıcı maliyetleri dikkate alınacaktır. Modelde otobüs hatlarının maliyeti işletmeci ve kullanıcı açısından ayrı ayrı hesaplanıp, bunların toplamı kullanılacaktır.

İşletmeci maliyetinin alt bileşenleri de çok değişik ve türlüdür. Tezde detaya girilmeyip genelleştirilmiş bir maliyetin kullanımı öngörülmektedir. Bu maliyet değeri ise belirli bir periyot içinde (1 saatte) bir taşıtın işletme maliyetidir (Ek 1, Ek 4). İşletmeci açısından toplam maliyet ise birim genelleştirilmiş maliyetin şebeke boyunca bir saatte gerekli taşıt sayısı ile çarpılması sonucunda elde edilir.

Kullanıcı maliyeti, yolcuların seyahatleriyle ilgili maliyetlerini içerir. Genelde kullanıcının sistemde harcadığı süre ve yolculuk için ödediği ücret olarak algılanır. Ücret ödenmesi, basit olarak kullanıcılarla otobüs sistemi arasındaki finansal bir transferi yansıtır. Bu yüzden ayrı bir ekonomik maliyet kalemi olarak değerlendirilmeyebilir (Kocur ve Hendrickson, 1982). Nitekim bu çalışmada da kullanıcı maliyetlerine, ödenen yolculuk ücreti dahil edilmeyecektir. Çünkü, zaten yüksek olan toplam kullanıcı sürelerinin parasal değeri, eğer yolculuk ücretleri de ilave edilirse daha çok yükselecektir. Bu da pratikte, toplam sistem maliyetinin gereksiz olarak yüksek algılanmasına sebep olur. Kullanıcı maliyeti ve bileşenleri ileriki bölümlerde daha detaylı olarak incelenecektir.

Tezde, bir toplu taşıma şebekesinin toplam sistem maliyetini minimum yapmak amacıyla bir matematik model kurulmasına çalışılacak ve araştırma bu yönde sürdürülecektir.

3.2.1 İşletmeci Maliyetinin Hesabı

Sunulan bir toplu taşımacılık hizmetinin işletmeciye maliyetinin belirlenmesi, taşıma şebekesi planlamasında önemli bir konudur. Çünkü genelde işletmeciler problemlere maliyet

perspektifinden bakma eğilimindedirler ve de hatların maliyetlerini göz önüne alarak karar verirler.

Bir hattın işletmeci için maliyeti, en basit şekilde, hatta gerekli taşıt sayısı ve saatlik birim taşıt işletme maliyetinin fonksiyonudur.

$$C_{ri} = F_r \cdot B_{ri} \quad (3.1)$$

C_{ri} : r hattındaki tüm seferlerin saatlik maliyeti (TL/sa)

F_r : r hattındaki gerekli saatlik taşıt sayısı (tş)

B_{ri} : Saatlik birim taşıt işletme maliyeti (TL/tş-sa)

İlerleyen bölümlerde ekspres ve klasik hatların işletmeci maliyetlerini ifade etmek için C_{ri}^e , C_{ri}^k simgeleri kullanılacaktır.

Bir hatta kullanılacak olan gerekli saatlik taşıt sayısı, taşıtların hat boyunca yaptıkları sefer (rotasyon) süresi ve takip aralıklarının bir fonksiyonudur.

$$F_r = \frac{t_{ri}}{h_r} \quad (3.2)$$

t_{ri} : r hattının sefer süresi (dak)

h_r : r hattındaki taşıt takip aralığı (dak)

Literatürde sefer (rotasyon) süresi genellikle, bir taşıtla belirli bir hızda, belli bir mesafeye sahip güzergâh boyunca, gidiş ve geliş sürelerinin toplamı olarak sunulmuştur (Chang, 1990; Chang ve Schonfeld 1993; Kocur ve Hendrickson, 1982; Tsao. ve Schonfeld, 1983, 1984). Sefer süresinin hız ve mesafenin bir fonksiyonu olarak sunulduğu bu modellerin yanısıra, sürücülerin dinlenmeleri ve manevra yapmaları için ek süre kullanılan modeller de vardır (Turnquist, 1979). Ayrıca diğer yolcu iniş-binişlerinden kaynaklanan kayıp sürelerin de dahil edildiği modellere az da olsa rastlanmıştır (Hendrickson, 1981). Bu çalışmada taşıt sefer süresi, ikinci grupta yani hız, mesafe ve dinlenme süresinin bir fonksiyonu olarak kullanılacaktır. Ortalama hız terimine, bir taşıtın hızlanma (demeraj), yavaşlama (frenaj) süresinden kaynaklanan etkilerin de dahil edildiği varsayılmıştır.

$$t_{rt} = 2 \cdot \left[\frac{L_r}{V_{or}} \cdot 60 + t_s \right] \quad (3.3)$$

L_r : r hattının uzunluğu (km)

V_{or} : r hattı için ortalama taşıt hızı (km/sa)

t_s : Sürücüye ardışık iki seyahati arasında verilen dinlenme ve manevra amaçlı ek süre (dak)

Ekspres ve klasik işletmecilik şekillerinde, yukarıdaki genel formül (3.3) bazı noktalarda farklılaşır. Bir hat boyunca durak sayısı belli ise, toplam hat uzunluğu, duruş yapılma ihtimali olan duraklar sayısı cinsinden ifade edilebilir. Önerilen modeldeki şebekede duraklar arası mesafenin sabit olduğu kabulü yapılmıştır. Böylelikle hat uzunluğu birim durak mesafesi cinsinden yazılabilir. Ayrıca bir sefer gidiş ve dönüş yolculuklarından meydana geldiği için ifadenin sağ tarafı 2 ile çarpılmıştır. Buna göre ara duraksız ekspres işletmecilikte sefer süresi şu şekildedir:

$$t_{rt}^e = 2 \cdot \left[\frac{n \cdot l_d}{V_{or}^e} \cdot 60 + t_s \right] \quad (3.4a)$$

t_{rt}^e : r ekspres hattının sefer süresi (dak)

n : r hattındaki durak aralığı sayısı

l_d : Ardışık iki durak arasındaki mesafe (km)

V_{or}^e : r hattı için ortalama ekspres taşıt hızı (km/sa)

Klasik işletmecilikteki sefer süresine, ara duraklarda duruş olduğu için taşıt duraklama süresi terimi eklenir. n durak aralığı sayısı olduğuna göre bir klasik hatta tek yöndeki duraklama sayısı $(n-1)$ adettir. Ara duraksız ekspres işletmecilikte $n=1$ olduğundan bu terim yoktur. Modelde, taşıtların strateji gereği kullanılan tüm duraklara uğradıkları kabulüyle bir basitleştirme yapılmıştır. Gerçekte taşıt, iniş-biniş olmayan bazı durakları atlar. Bu durumda, duruş yapılma olasılığı olan durak sayısının belirlenmesi problemiyle karşılaşılır (Hendrickson, 1981). Tezde bu konuya girilmemiştir. Şu halde klasik işletmecilik için sefer süresi ifadesi aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$t_{rt}^k = 2 \cdot \left[\frac{n \cdot l_d}{V_{or}^k} \cdot 60 + (n-1) \cdot t_d + t_s \right] \quad (3.4b)$$

t_{rt}^k : r klasik hattının sefer süresi (dak)

V_{or}^k : r hattı için ortalama klasik taşıt hızı (km/sa)

t_d : Taşıtların ara duraklarda duraklamaları boyunca geçen süre (dak)

t_d , süresine trafik akımından ayrılma, trafik akımına katılma ve yolcu iniş-binişleri için harcanan süreler de dahildir. Bu değerler gerçekte yol ve işletme koşullarına, hatta sürücünün taşıtı kullanma tarzına göre değişim gösterirler (Özkan, 1998). Hesap kolaylığı açısından sabit bir değer kullanılmıştır.

Bir hat için gerekli taşıt sayısını belirlemek üzere kullanılan önemli bir terim de, taşıt takip aralığıdır. Yolculuk talebinin ve taşıt tipinin (dolayısıyla taşıt kapasitesinin) gerekli taşıt sayısına etkisini yansıttığı için önemlidir. Talep ve taşıt kapasitesinin fonksiyonudur. Şu şekilde ifade edilir:

$$h_r = \frac{c}{A_{maks}} \cdot 60 \quad (3.5)$$

A_{maks} : Bir r hattında gidiş ve dönüş yönünde ardışık i,j ve j,i durakları arasında taşınacak yolcu sayılarının en büyüğü (yolcu/sa). Otobüs hattı, duraklar dizisi şeklinde ifade edildiğinde, talebin maksimum olduğu kesit ve yöndeki değeridir.

c : Kullanılan taşıt tipine göre taşıt kapasitesi (yolcu/tş)

Buradaki A_{maks} 'ın belirlenmesi ve modeldeki kullanılış şekli, ekspres ve klasik hatlarda farklıdır. Konuyla ilgili daha detaylı bilgi, Bölüm 3.2.6'da verilecektir. Ekspres ve klasik hatlar için taşıt takip aralığı ifadesi (3.5) tekrar yazılacak olursa,

$$h_r^e = \frac{c}{A_{maks}^e} \cdot 60 \quad (3.6a)$$

$$h_r^k = \frac{c}{A_{maks}^k} \cdot 60 \quad (3.6b)$$

(3.6a) ve (3.6b) eşitliklerinden yararlanarak, bir hat için 1 saatteki gerekli sefer sayısı f_r de ekspres ve klasik hatlar için aşağıdaki şekilde hesaplanır:

$$f_r^e = \frac{1}{h_r^e} \cdot 60 \quad (3.7a)$$

$$f_r^k = \frac{1}{h_r^k} \cdot 60 \quad (3.7b)$$

3.2.2 İşletmeci Gelirinin Hesabı

Sunulan hizmet sonucunda sağlanan kâr veya zararın belirlenebilmesi için hattın elde edilen gelirin hesaplanması gerekir. r hattındaki tüm seferlerin saatlik geliri, gidiş ve dönüş yönünde taşıtlara binen saatlik toplam yolcu sayısının, ortalama yolculuk ücreti (bilet ücreti) b (hesabı Ek 2’de verilmiştir) ile çarpımı sonucunda bulunur.

$$G_r = Q_r \cdot b \quad (3.8)$$

G_r : r hattındaki tüm seferlerden elde edilen saatlik gelir (TL/sa)

b : Ortalama yolculuk ücreti (TL/yolcu)

Q_r : r hattında gidiş ve dönüş yönünde biniş yapan toplam saatlik yolcu sayısı (yolcu/sa).

Buradaki Q_r ’nin hesaplanması ile ilgili detaylı bilgi ilerleyen bölümlerde verilecektir. (3.8) eşitliği, ekspres ve klasik hatlar için ayrı ayrı şu şekilde yazılabilir:

$$G_r^e = Q_r \cdot b^e \quad (3.9a)$$

$$G_r^k = Q_r \cdot b^k \quad (3.9b)$$

3.2.3 İşletmeci Açısından Kâr ve Zarar

İşletmeci açısından bir r hattının çalıştırılmasıyla gelir-gider dengesi kâr veya zarar yönünde sonuçlanır. Kâr, gelirin giderden büyük olmasıyla sağlanır. Zarar ise giderin, bir başka deyişle maliyetlerin gelirlere daha yüksek olmasıyla ortaya çıkar. Genel kâr ve zarar ifadeleri şu şekilde yazılır:

$$P_r = G_r - C_{ri} \quad (3.10)$$

$$Z_r = C_{ri} - G_r \quad (3.11)$$

P_r : r hattındaki tüm seferlerin toplam net kârı (TL/sa)

Z_r : r hattındaki tüm seferlerin net zararı (TL/sa)

(3.10) ve (3.11)'deki kâr ve zarar ifadelerinin sonucu pozitiftir. Tek bir formülde ifade edilirlerse kâr pozitif iken zarar negatif, zarar pozitif iken kâr negatif değer alır. Bu şekilde kâr ve zararın büyüklüğünü anlamak için mutlak değerlerine bakılır. (3.10) ve (3.11), Ekspres ve klasik hatlar için net kâr ve zarara indis eklenerek, P_r^e , Z_r^e , P_r^k , Z_r^k simgeleriyle gösterileceklerdir.

3.2.4. Kullanıcı Maliyetinin Hesabı

Kullanıcıların maliyetleri, daha önce değinildiği gibi toplutaşıma sisteminde harcadıkları sürelerin toplamıdır. En genel halde, bir yolcunun taşıtta geçen süresi ile durakta taşıt beklemek için harcadığı sürenin toplamıdır. Yolcunun taşıtta geçen süresinin de iki bileşeni vardır. Bunlar, hareketli süre ve taşıtın bir ara durakta duraklaması sırasında içindeki yolcuların maruz kaldığı süredir. Yolcunun durağa erişim ve duraktan son noktasına erişim süreleri basitleştirme amacıyla bu hesaba dahil edilmemiştir.

Kullanıcı maliyetlerini belirlemek için önce yolcu başına harcanan süreler hesaplanacak, daha sonra bunlar hat bazında bulunacaktır. En sonunda da, bulunan sürelerin parasal değeri hesaplanacaktır.

3.2.4.1 Kullanıcıların Süreleri

Bir yolcu (kullanıcı) için sistemde harcadığı süre aşağıdaki genel ifadede gösterilebilir:

$$t_k = t_{tk} + t_{bk} \quad (3.12)$$

t_k : 1 yolcunun sistemde harcadığı süre (dak/yolcu)

t_{tk} : 1 yolcunun taşıtta harcadığı süre (dak/yolcu)

t_{bk} : 1 yolcunun durakta bekleme süresi (dak/yolcu)

Yukarıdaki (3.12) eşitliğinde, t_{ik} teriminin hesabı ekspres ve klasik hatlarda değişim gösterir. Bunun için t_k ifadesi, ekspres ve klasik hatlarla seyahat eden yolcular için ayrı ayrı yazılacaktır.

3.2.4.2 Ekspres Hat Kullanıcılarının Yolculuk Süresi

Kullanıcı sürelerini bulmak için rotasyon süresi ifadesinden yararlanılır. Burada sürücü için verilen ek süre kaldırılır. Ayrıca, bir yolcu için genelde tek yönde seyahat söz konusu olduğu için 2 çarpanı da terk edilir.

$$t_k^e = t_{ik}^e + t_{bk}^e \quad (3.13)$$

$$t_{ik}^e = \frac{n \cdot l_d}{V_{or}^e} \cdot 60 \quad (3.14)$$

$$t_{bk}^e = h_r^e \cdot \sigma \quad (3.15)$$

t_{ik}^e : 1 yolcunun ekspres hatta bindiğinde taşıtta harcadığı süre (dak)

t_{bk}^e : 1 yolcunun ekspres terminalinde otobüsü beklemek için harcadığı süre (dak)

h_r^e : r ekspres hattındaki taşıt takip aralığı (dak)

σ : Durakta bekleme süresinin, taşıt takip aralığına oranı

3.2.4.3 Klasik Hat Kullanıcılarının Yolculuk Süresi

Burada, ekspres hat için yazılan genel formül (3.13) kullanılmakla beraber, taşıtta geçen süreden kaynaklanan bir farklılık vardır. Nitekim taşıtta geçen süreler, seyir süresi yanında, otobüsün ara duraklardaki duraklama sürelerinin toplamını da eklemek gerekir.

$$t_k^k = t_{ik}^k + t_{bk}^k \quad (3.16)$$

$$t_{ik}^k = \frac{n \cdot l_d}{V_{or}^k} \cdot 60 + (n - 1) \cdot t_d \quad (3.17)$$

$$t_{bk}^k = h_r^k \cdot \sigma \quad (3.18)$$

t_{ik}^k : 1 yolcunun klasik hatta bindiğinde taşıtta harcadığı süre (dak)

t_{bk}^k : 1 yolcunun ara durakta otobüsü beklemek için harcadığı süre (dak)

- h_r^k : r klasik hattındaki taşıt takip aralığı (dak)
 σ : Durakta bekleme süresinin, taşıt takip aralığına oranı

Bir yolcunun durakta bekleme süresi, hatta işletilen taşıtların takip aralığına bağlıdır. Diğer bir deyişle sefer sıklığının fonksiyonudur. Durakta bekleme süresinin ne olacağı konusunda çeşitli yaklaşımlar vardır (Byrne, 1976; Turnquist, 1979; Wirasinghe, 1980, Kocur ve Hendrickson, 1982; Tsao ve Schonfeld, 1982, 1984; Furth, 1986; Chang ve Schonfeld, 1991, 1993; Imam, 1998). En genel yaklaşım, taşıt takip aralığının belirli bir yüzde oranı olarak hesaplanmasıdır. Yani, σ , yolcunun durağa geliş tipi (rastgele ya da düzenli vs) ve çizelgeye duyarlılığı ile işletmenin sunduğu hizmetin güvenilirliğine göre belirlenir. 0 ile 1 arasında değişen σ , yolcuların gelişleri rastgele ve taşıt takip aralığı düzenliyse genelde 0,5 kabul edilir (Wirasinghe, 1980). Sunulan hizmet, güvenilir değilse, σ artış eğilimindedir. Yolcular, taşıt çizelgesini biliyorlar ve durağa gelişleriyle taşıtın durağa gelişi aynı zamanda veya birbirine çok yakınsa, σ küçülme eğilimindedir. Özellikle, sabah zirve saatlerdeki konut-iş ve konut-okul amaçlı yolculuklarda, σ 'nın küçük değerler aldığı gözlenmektedir (Beygo vd., 2000).

3.2.4.4 Bir Hat İçin Toplam Kullanıcı Süresinin Hesabı

Bir hattı belirli bir zaman diliminde kullanan yolcuların seyahat süresi, o hattı kullanan tüm yolcuların, yolculuk sürelerinin toplamı olarak bulunur. Böylelikle ilgili hat için toplam kullanıcı maliyetine ulaşılabilir. Ekspres hatlarda bunu bulmak kolaydır. Çünkü kullanıcıların taşıta bindikleri ve taşıttan indikleri duraklar kısıtlı ve bellidir. Yani, ekspres hatta sadece bir binış terminali ve bir iniş terminali vardır. Bir yolcu için bulunan yolculuk süresi ile her iki yöndeki talebin toplamı çarpılarak hesaplanır. Hesap zorluğu klasik hatlarda ortaya çıkar. Çünkü bir klasik hatta, başlangıç ve son duraklar dışında ara duraklar vardır. Yolcuların O-D'lerinin farklı olmasının yanında, her O-D yolcusunun ara duraklarda kaybettikleri süreler de farklıdır. Diğer bir deyişle, farklı O-D çiftleri arasındaki kullanıcıların kat ettikleri mesafeler farklıdır. Bunların belirlenmesi ve hesabı ekspres hatlara göre daha zaman alıcıdır. Her O-D çifti için duraklama sayısı bulunması gereklidir.

Ekspres ve klasik hatlar için toplam kullanıcı süresi ifadeleri aşağıda verilmiştir:

$$T_{rk}^e = T_{rk}^e + T_{bk}^e \quad (3.19)$$

$$T_{tk}^e = t_{tk}^e \cdot Q_r \quad (3.20)$$

$$T_{bk}^e = t_{bk}^e \cdot Q_r \quad (3.21)$$

T_{rk}^e : r ekspres hattında 1 saat içindeki toplam kullanıcı süresi (yolcu-dak/sa)

T_{tk}^e : r ekspres hattında 1 saat içindeki toplam taşıtta harcanan süre (yolcu-dak/sa)

T_{bk}^e : r ekspres hattında 1 saat içindeki toplam duraklardaki bekleme süresi (yolcu-dak/sa)

Bir hattaki farklı O-D çiftleri arasındaki talep, farklı olduğundan klasik işletmecilikteki taşıtta harcanan süre ifadesi, her iki yönün toplamı şeklinde yazılacaktır.

$$T_{rk}^k = T_{tk}^k + T_{bk}^k \quad (3.22)$$

$$T_{tk}^k = \sum_{\substack{i=1, \dots, m-1 \\ j=2, \dots, m}} t_{tk,ij}^k \cdot q_{ij} + \sum_{\substack{j=2, \dots, m \\ i=1, \dots, m-1}} t_{tk,ji}^k \cdot q_{ji} \quad ; \forall i, j \in M \text{ ve pozitif tamsayı} \quad (3.23)$$

$$T_{bk}^k = t_{bk}^k \cdot Q_r \quad (3.24)$$

T_{rk}^k : r klasik hattında 1 saat içindeki toplam kullanıcı süresi (yolcu-dak/sa)

T_{tk}^k : r klasik hattında 1 saat içindeki toplam taşıtta harcanan süre (yolcu-dak/sa)

T_{bk}^k : r klasik hattında 1 saat içindeki toplam duraklardaki bekleme süresi (yolcu-dak/sa)

$t_{tk,ij}^k$: i 'den j 'ye giden bir yolcunun klasik hatta bindiğinde taşıtta harcadığı süre (dak)

$t_{tk,ji}^k$: j 'den i 'ye giden bir yolcunun klasik hatta bindiğinde taşıtta harcadığı süre (dak)

q_{ij} : i durağından binip j durağında inen saatlik yolcu sayısı (yolcu/sa)

q_{ji} : j durağından binip i durağında inen saatlik yolcu sayısı (yolcu/sa)

Q_r : r hattında gidiş ve dönüş yönünde biniş yapan toplam saatlik yolcu sayısı (yolcu/sa)

3.2.4.5 Bir Hat İçin Kullanıcı Maliyetinin Değerinin Hesaplanması

Bir hatta kullanıcı maliyetinin parasal değerini hesaplamak için birim zamandaki (1 saatteki) toplam kullanıcı süresi, zamanın değeri ile çarpılır. Böylece ileride yapılacak işlemler ve karşılaştırmalarda tüm büyüklükler aynı cinsten ifade edilmiş olur. Ekspres ve klasik hatlar için genel ifadeler aşağıdaki gibi yazılır:

$$C_{rk}^e = \frac{T_{rk}^e}{60} \cdot b_{tk} \quad (3.25a)$$

$$C_{rk}^k = \frac{T_{rk}^k}{60} \cdot b_{tk} \quad (3.25b)$$

C_{rk}^e : r ekspres hattında 1 saat içindeki toplam kullanıcı maliyeti (TL/sa)

C_{rk}^k : r klasik hattında 1 saat içindeki toplam kullanıcı maliyeti (TL/sa)

b_{tk} : Zamanın parasal değeri (TL/sa-yolcu) (Ek 3'de hesaplanmıştır).

3.2.5 Toplam Sistem Maliyetleri

Bir hat için toplam maliyet, işletmeci ve kullanıcı maliyetlerinin toplanmasıyla elde edilir. Ekspres ve klasik hatlar için şu şekilde ifade edilir:

$$C_r^e = C_{ri}^e + C_{rk}^e \quad (3.26a)$$

$$C_r^k = C_{ri}^k + C_{rk}^k \quad (3.26b)$$

Bir toplutaşıma şebekesinde hizmet vermek için işletme, ekspres ve klasik hatlardan oluşan bir konfigürasyonu beraberce sunabilir. Buna göre, ekspres ve klasik hatların beraberce kullanıldığı bir şebeke için toplam sistem maliyeti genel olarak aşağıdaki şekilde yazılır:

$$C_r = \sum_{r=1}^p C_r^e + \sum_{r=R-p}^R C_r^k \quad ; \forall r \in R \text{ ve pozitif tamsayı} \quad (3.27)$$

C_r : Bir hat konfigürasyonunun toplam sistem maliyeti (TL/sa)

C_r^e : r ekspres hattının 1 saat içindeki toplam sistem maliyeti (TL/sa)

C_r^k : r klasik hattının 1 saat içindeki toplam sistem maliyeti (TL/sa)

p : Hatlar kümesindeki ekspres işletmecilik yapılan hat sayısı

R : Toplutaşıma şebekesindeki toplam hatlar kümesi

$R-p$: Hatlar kümesindeki klasik işletmecilik yapılan hat sayısı

3.2.6 Hesaplarda Esas Alınan Talep Değerlerinin Belirlenmesi

Bir r hattı boyunca uygulanacak işletme stratejisine esas olan talebin belirlenmesi önemlidir. Çünkü kullanılacak talep değerleri, işletmenin maliyeti ve gelirin gerçek ve doğru bir şekilde bulunmasını sağlar.

Bir r hattında, gidiş ve dönüş yönünde ardışık i, j ve j, i durakları arasında taşınacak yolcu sayılarının en büyüğü A_{maks} , ve r hattında gidiş ve dönüş yönünde taşıtlara binen yolcuların toplamı Q_r 'nin hesabı aşağıdaki bölümde gösterilmiştir (Simon ve Furth, 1985).

3.2.6.1 A_{maks} ve Q_r 'nin Seçimi

Bu seçim, klasik ve ekspres işletmecilik stratejileri için olmak üzere iki şekildedir. Seçim ilgili duruma ait O-D matrisinden yapılacaktır.

3.2.6.1.1 Klasik İşletmecilik İçin A_{maks} ve Q_r 'nin Seçimi

Ardışık iki durak arasında yolculuklar matrisi oluşturulur. Matriste en büyük değeri veren hücre A_{maks} olarak seçilir.

Q_r değeri de talep matrisinde her iki yön için binenlerin toplamını veren değer olarak seçilir. Akımın korunumu prensibine göre, $Q_r = I_r$ olduğundan eşitliğin iki tarafındaki değerden biri kullanılabilir.

3.2.6.1.2 Ekspres İşletmecilik İçin A_{maks} ve Q_r 'nin Seçimi

Talep matrisinde ekspres işletmeciliğe uygun olan hücrelerden büyük olan yöndeki değer A_{maks} olarak seçilir.

Gidiş ve dönüş yönünün toplamı da Q_r olarak seçilir. Akımın korunumu prensibine göre, aynı zamanda $Q_r = I_r$ olduğu görülmektedir.

Kural: A_{maks} , işletmeci maliyeti, C_{ri} hesabında kullanılır.

Q_r , herhangi bir r hattının yolcu geliri G_r ve kullanıcı maliyeti, C_{rk} hesabında kullanılır.

3.2.6.2 A_{maks} ve Q_r 'nin Hesabı

$$Q_k = \sum_{j=k+1}^m q_{kj} \quad m \geq j > k; \quad \forall j, k \in m \text{ ve pozitif tamsayı} \quad (3.28a)$$

$$Q_l = \sum_{i=l-1}^1 q_{li} \quad l > i \geq 1; \quad \forall l, i \in m \text{ ve pozitif tamsayı} \quad (3.28b)$$

$$I_j = \sum_{k=1}^{j-1} q_{kj} \quad j > k \geq 1; \quad \forall j, k \in m \text{ ve pozitif tamsayı} \quad (3.29a)$$

$$I_i = \sum_{l=m}^{i+1} q_{li} \quad i < l \leq m; \quad \forall i, l \in m \text{ ve pozitif tamsayı} \quad (3.29b)$$

$$Q_{rG} = \sum_{k=1}^{m-1} Q_k \quad (3.30a)$$

$$Q_{rD} = \sum_{l=1}^m Q_l \quad (3.30b)$$

$$I_{rG} = \sum_{j=1}^m I_j \quad (3.31a)$$

$$I_{rD} = \sum_{i=1}^{m-1} I_i \quad (3.31b)$$

$$Q_r = Q_{rG} + Q_{rD} \quad (3.32a)$$

$$I_r = I_{rG} + I_{rD} \quad (3.32b)$$

$$\left. \begin{array}{l} Q_{rG} = I_{rG} \\ Q_{rD} = I_{rD} \\ Q_r = I_r \end{array} \right\} \text{ Akımın korunumu prensibi} \quad (3.33)$$

Q_k : Aynı k durağından binip farklı j duraklarında inen toplam saatlik yolcu sayısı (yolcu/sa)

q_{kj} : k durağından binip j durağında inen saatlik yolcu sayısı (yolcu/sa)

Q_l : Aynı l durağından binip farklı i duraklarında inen toplam saatlik yolcu sayısı (yolcu/sa)

q_{li} : l durağından binip i durağında inen saatlik yolcu sayısı (yolcu/sa)

Q_r : r hattında gidiş ve dönüş yönünde biniş yapan toplam saatlik yolcu sayısı (yolcu/sa)

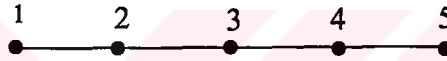
Q_{rG} : r hattında gidiş yönünde biniş yapan toplam saatlik yolcu sayısı (yolcu/sa)

Q_{rD} : r hattında dönüş yönünde biniş yapan toplam saatlik yolcu sayısı (yolcu/sa)

I_i : Dönüş yönünde farklı l durağından binip aynı i duraklarında inen toplam saatlik yolcu sayısı (yolcu/sa)

- I_j : Gidiş yönünde farklı k durağından binip aynı j duraklarında inen toplam saatlik yolcu sayısı (yolcu/sa)
- I_r : r hattında gidiş ve dönüş yönünde iniş yapan toplam saatlik yolcu sayısı (yolcu/sa)
- I_{rD} : r hattında dönüş yönünde iniş yapan toplam saatlik yolcu sayısı (yolcu/sa)
- I_{rG} : r hattında gidiş yönünde iniş yapan toplam saatlik yolcu sayısı (yolcu/sa)
- ij : Gidiş yönünde O-D çiftlerini gösteren indeks (Dönüş yönü için ji olarak yazılır)
- k : Gidiş yönünde biniş durağını gösteren indeks
- l : Dönüş yönünde biniş durağını gösteren indeks

(3.28a)-(3.33) eşitliklerinin kullanılmasını basit olarak göstermek üzere Şekil 3.2'de $M=5$ olan doğrusal bir örnek şebeke oluşturulmuştur. Şebekeye ait O-D talep matrisinin Çizelge 3.1'deki gibi olduğu varsayılarak formüller uygulanmıştır.



Şekil 3.2 5 duraklı doğrusal bir şebeke örneği

Çizelge 3.1 5 duraklı bir şebekede (3.28a)-(3.33) formüllerinin uygulanması

k,l \ i,j	1	2	3	4	5	Q_k	Q_l
1	0	$q_{12}=70$	$q_{13}=90$	$q_{14}=114$	$q_{15}=192$	$Q_1=466$	$Q_1=0$
2	$q_{21}=82$	0	$q_{23}=0$	$q_{24}=20$	$q_{25}=90$	$Q_2=110$	$Q_2=82$
3	$q_{31}=70$	$q_{32}=0$	0	$q_{34}=0$	$q_{35}=10$	$Q_3=10$	$Q_3=70$
4	$q_{41}=80$	$q_{42}=4$	$q_{43}=0$	0	$q_{45}=6$	$Q_4=6$	$Q_4=84$
5	$q_{51}=88$	$q_{52}=40$	$q_{53}=8$	$q_{54}=0$	0	$Q_5=0$	$Q_5=136$
						$Q_{rG}=592$	$Q_{rD}=372$

I_j	$I_1=0$	$I_2=70$	$I_3=90$	$I_4=134$	$I_5=298$	$I_{rG}=592$
I_l	$I_1=320$	$I_2=44$	$I_3=8$	$I_4=0$	$I_5=0$	$I_{rD}=372$

$$Q_r = Q_{rG} + Q_{rD} = 592 + 372 = 964$$

$$I_r = I_{rG} + I_{rD} = 592 + 372 = 964$$

$$A_{jk} = Q_k - \sum_{j=k}^i q_{kj} \quad j = i+1; \quad \forall i, j, k \in m \text{ ve pozitif tamsayı} \quad (3.34a)$$

$$A_{jl} = Q_l - \sum_{i=l}^j q_{li} \quad j = i+1; \quad \forall i, j, l \in m \text{ ve pozitif tamsayı} \quad (3.34b)$$

$$A_{ij} = \sum_{k=1}^i A_{ijk} \quad \forall i, j, k \in m \text{ ve pozitif tamsayı} \quad (3.35a)$$

$$A_{ji} = \sum_{l=j}^m A_{jil} \quad \forall j, i, l \in m \text{ ve pozitif tamsayı} \quad (3.35b)$$

$$A_{ij, maks} = maks (A_{ij}) \quad (3.36a)$$

$$A_{ji, maks} = maks (A_{ji}) \quad (3.36b)$$

$$A_{maks} = maks (maks (A_{ij}) , maks (A_{ji})) \quad (3.37)$$

A_{ij} : Gidiş yönünde ardışık i, j durakları arasındaki toplam saatlik yolcu sayıları (yolcu/sa.)

$A_{ij, maks}$: Gidiş yönünde ardışık ara duraklar arasındaki yolcu sayılarının en büyüğü (yolcu/sa.)

A_{ijk} : Gidiş yönünde k durağında binenlerin, takip eden ardışık i, j durak çiftleri arasında yolculuk yapanlarının sayısı (yolcu/sa.)

A_{ji} : Dönüş yönünde ardışık j, i durakları arasındaki toplam saatlik yolcu sayısı (yolcu/sa.)

$A_{ji, maks}$: Dönüş yönünde ardışık ara duraklar arasındaki yolcu sayılarının en büyüğü (yolcu/sa.)

A_{jil} : Dönüş yönünde l durağında binenlerin, takip eden ardışık j, i durak çiftleri arasında yolculuk yapanlarının sayısı (yolcu/sa.)

A_{maks} : Gidiş ve dönüş yönünde ardışık i, j ve j, i durakları arasında taşınacak yolcu sayılarının en büyüğü (yolcu/sa.).

(3.34a)-(3.37) eşitliklerinin kullanılmasına yönelik aşağıdaki örnek çizelge, yine Şekil 3.2'deki şebekeden yararlanarak oluşturulmuştur.

Çizelge 3.2 5 duraklı bir şebekede (3.34a)-(3.37) formüllerinin uygulaması

$i, k \backslash j, l$	1	2	3	4	5
1	0	$A_{121}=466$	$A_{231}=396$	$A_{341}=306$	$A_{451}=192$
2	$A_{212}=82$	0	$A_{232}=110$	$A_{342}=110$	$A_{452}=90$
3	$A_{213}=70$	$A_{323}=70$	0	$A_{343}=10$	$A_{453}=10$
4	$A_{214}=80$	$A_{324}=84$	$A_{434}=84$	0	$A_{454}=6$
5	$A_{215}=88$	$A_{325}=128$	$A_{435}=136$	$A_{545}=136$	0
A_{ji}	0	$A_{12}=466$	$A_{23}=506$	$A_{34}=426$	$A_{45}=298$
A_{jl}	$A_{21}=320$	$A_{32}=282$	$A_{43}=220$	$A_{54}=136$	0

$$A_{ij, maks} = 506$$

$$A_{ji, maks} = 320$$

$$A_{maks} = 566$$

3.3 Amaç Fonksiyonu

Model, Bölüm (3.1)'de değinilen ve önceki bölümdeki yapısal çerçevede belirtilen özellikleri içermektedir. Bir otobüs işletmesinde, belirli amaçlara yönelik olarak işletmecilik şekillerini araştırmak üzere kurulmuştur. Buna göre, ağaç gövdesi şeklinde (dallanmış) bir taşıma şebekesinde (Şekil 3.1) dağılmış bir toplu taşıma talebini, istenilen amaca uygun olarak karşılayacak bir hatlar kümesi elde edilecektir. Modelin amacı, belirtilen özellikleri taşıyan otobüs şebekesinde toplam sistem maliyetini minimum yapan hatlar kümesini bulmaktır.

Amaç fonksiyonu aşağıdaki şekilde ifade edilebilir:

$$Z = \text{Min} \left(\sum_{r=1}^p C_r^e + \sum_{r=R-p}^R C_r^k \right) ; \forall r \in R \text{ ve pozitif tamsayı} \quad (3.38)$$

İşletmeci beklentileri ile kullanıcı beklentilerinin birbiriyle çeliştiğine daha önce değinilmişti. Çelişen bu iki beklenti aynı anda tatmin etme imkanı olmamakla beraber, belirli düzeylerde karşılamak mümkün olabilir. Bu da belirli bazı kısıtlamalar getirip, probleme yaklaşmakla sağlanabilir.

Kısıtlar:

Taşıtların takip aralığı (headway) kısıtları:

$$h_r \leq h_{r,maks} \quad (3.39a)$$

$$f_r, F_r \geq 1 \quad (3.39b)$$

Hatlar kümesi kısıtı:

$$R \leq \frac{M^2 - M}{2} \quad (3.39c)$$

Negatif olmama kısıtı:

$$R, M > 0 \text{ ve } \in \text{ pozitif tamsayı} \quad (3.39d)$$

Tamsayı olma kısıtı:

$$h_r, f_r, F_r, t_{rt}, t_{tk}, t_{bk} > 0 \text{ ve } \in \text{ pozitif tamsayı} \quad (3.39e)$$

h_r : r hattındaki taşıtların takip aralığı (dak)

$h_{r,maks}$: r hattında, yolcuların hizmet düzeyi için, izin verilebilir en büyük taşıtların takip aralığı (dak)

f_r : r hattındaki gerekli saatlik sefer sayısı (sefer/sa)

F_r : r hattındaki gerekli saatlik taşıtların sayısı (tş)

- R : Toplutaşıma şebekesindeki toplam hatlar kümesi
 M : Taşıma şebekesindeki duraklar kümesi
 t_{rt} : r hattının sefer süresi (dak)
 t_{tk} : 1 yolcunun taşıtta harcadığı süre (dak/yolcu)
 t_{bk} : 1 yolcunun durakta bekleme süresi (dak/yolcu)

(3.39a) kısıtı, duraklarda büyük bekleme sürelerinin ve aşırı kalabalığın önüne geçmek yani kullanıcı açısından belli bir hizmet düzeyi sağlamak için kullanılmaktadır. (3.39b) kısıtı, talebi karşılamak için gerçekleştirilmesi gereken saatlik minimum sefer ve taşıt sayısını vermektedir. (3.39c) kısıtı, oluşturulan konfigürasyondaki hat sayısının, O-D matrisindeki olası hat sayısından büyük olamayacağını belirtmektedir. (3.39d) kısıtı negatif olmama koşulunu sağlamaktadır. (3.39e) kısıtı ise $h_r, f_r, F_r, t_{rt}, t_{tk}, t_{bk}$ 'nin pratikte uygulanabilmeleri için pozitif tamsayı olması gerektiğini bildirir.

3.4 Problemin Çözümü

Problem, temelde bir eşanlı rotalama ve atama problemidir. Bir taşıma şebekesindeki tüm talebin atandığı hatlar kümesinin bulunmasıyla çözüme ulaşılır.

Bir hatlar kümesinden, istenilen amaca uygun olarak hangi hat konfigürasyonlarını seçmek gerektiğine karar vermek, zor bir problemdir. Bir duraklar kümesi olarak verilen taşıma şebekesinde her bir durak çifti göz önüne alınırsa bir çok seçenek olduğu aşikârdır. Bunun yanı sıra, klasik ve ekspres işletmecilik şeklinin birlikte uygulandığı düşünülürse, seçenekler kümesi daha da büyümektedir. M adet duraktan (düğüm noktasından) meydana gelen bir taşıma şebekesinde, ekspres ve klasik işletmecilik uygulanabilen hat konfigürasyonları oluşturma imkanı varsa, olası konfigürasyonların sayısı şu şekilde bulunur:

$$H_M = \sum_{\substack{x=1 \\ x \in X}}^X w C_x = \sum_{\substack{x=1 \\ x \in X}}^X \frac{W!}{x!(W-x)!} \quad (3.40)$$

$$W = \frac{(M^2 - M)}{2} \cdot 2 = (M^2 - M) \quad (3.41a)$$

$$X = (M^2 - M) \quad (3.41b)$$

- H_M : M duraklı bir taşıma şebekesindeki olası hat konfigürasyonu sayısı
 X : Bir konfigürasyondaki olası maksimum hat kümesi
 W : Taşıma şebekesindeki olası hat kümesi
 ${}_w C_x$: W 'nin x 'li kombinasyon sayısı
 M : Taşıma şebekesindeki duraklar kümesi

(3.41a) eşitliğindeki 2 çarpanı, bir taşıma şebekesinde, ekspres ve klasik olmak üzere iki tür işletmecilik şeklinin uygulanabileceğini belirtmektedir.

Görüldüğü gibi H_M , durak sayısına bağlı olarak büyümektedir ve problemin çözümü zorlaşmaktadır. Çözüm zorluğunun bu şekilde büyüdüğü problemlere kombinatoryal problemler adı verilir. Genelde, rotalama ve atama problemleri de kombinatoryaldirler (Pearman, 1979). Çizelge 3.3'de problem zorluğunun durak sayısına göre büyümesinde açıkça görüldüğü gibi, kombinatoryal problemler küçük ölçekteki şebekelerde çözülebilirler. Ancak, orta ve büyük ölçekteki şebekelerde klasik optimizasyon yöntemleriyle çözmek oldukça zor ve pahalıdır.

Bu nedenle problemin çözümü için bir sezgisel yöntem geliştirilmiştir. Bazı kısıt ve kabullerle, optimuma yakın olduğu görülen çözümler veren bu yöntemi uygulamak, belirli kolaylıklar sağlamıştır. Bölüm 3.4.1'de sezgisel yöntem detaylı olarak açıklanacaktır.

Çizelge 3.3 Problem zorluğunun büyümesi

M	H_M	M	H_M
1	0	13	$9,1 \times 10^{46}$
2	3	14	$6,1 \times 10^{54}$
3	63	15	$1,6 \times 10^{63}$
4	4095	16	$1,7 \times 10^{72}$
5	1.048.575	17	$7,5 \times 10^{81}$
6	1.073.741.823	18	$1,3 \times 10^{92}$
7	$4,3 \times 10^{12}$	19	$8,9 \times 10^{102}$
8	$7,2 \times 10^{16}$	20	$2,4 \times 10^{114}$
9	$4,7 \times 10^{21}$	40	$> 6,9 \times 10^{307}$
10	$1,2 \times 10^{27}$	50	$> 4,3 \times 10^{307}$
11	$1,2 \times 10^{33}$	100	$> 5,2 \times 10^{306}$
12	$5,4 \times 10^{39}$	200	$> 1,4 \times 10^{307}$

3.4.1 Sezgisel Yöntem

3.4.1.1 Giriş

Sistem maliyetinin bileşenlerinin kullanıcı ve işletmeci maliyetleri olarak verildiği durumlarda, toplu taşıma sisteminin optimizasyonunda kullanıcı maliyetlerinin önemli bir etkisi vardır. Tsao ve Schonfeld (1983, 1984), kullanıcı maliyetlerinin payının, taşıma şebekesinin yapısı, talebin yapısı ve birim maliyetlerin mertebelerine göre %80'e kadar çıkabildiğini göstermişlerdir. Zira, olaya belli bir zaman diliminde yolculuk yapan tüm kullanıcıların sistemde harcadıkları toplam süre açısından bakılırsa, bunun filodaki taşıtların aynı zaman diliminde harcadığı süreye göre çok daha fazla olduğu görülür. Yani, yolcuların harcadığı zamanın değeri, taşıtların harcadığı zamanın değerinden çok daha büyüktür.

Bu yüzden toplam sistem maliyetini minimum yaparken, öncelikle, ağırlığı daha büyük olan kullanıcı maliyetini azaltmaya çalışmak ya da en kötü ihtimalle kullanıcı maliyetindeki artışı minimum düzeyde tutmak mantıklı görünmektedir. Kullanıcı maliyetinin bir birimindeki düşüş, toplam sistem maliyetini daha fazla bir düşürücü etkiye, ya da kullanıcı maliyetindeki minimum düzeydeki artış, toplam sistem maliyetindeki minimum düzeydeki artış etkisine sahiptir.

Önerilen sezgisel çözüm yönteminde, esas olarak, işletmeci maliyetleri maksimum düzeyde azalırken, kullanıcının yolculuk sürelerindeki artış minimum düzeyde kalacak şekilde bir prosedür işletilecektir. Adım adım çalıştırılacak bir hat konfigürasyonu arama süreci sonunda işletmecinin zararını azaltma veya kârını artırma imkanının kalmadığı noktada optimum çözüme ulaşılmış olacaktır. Bu noktada işletmeci maliyetindeki düşüş artık durmuş demektir. Hattâ bir kaç adım sonra maliyetin tekrar artmaya başladığı bile gözlenebilir. Bu durumda minimumun sağlandığı nokta, maliyet artışının başladığı nokta civarındadır.

Sezgisel yöntemin başlangıç çözümünde, işletmeci maliyeti maksimum düzeyde, kullanıcı maliyeti ise minimum düzeydedir. Kullanıcı maliyetinin iki terimi vardır. Bunlar, taşıt içinde harcanan sürelerden kaynaklanan maliyetle, taşıt dışında harcanan sürelerden kaynaklanan maliyettir. Yolcuları durakta fazla bekletmemek için konulan taşıt takip aralığı kısıtına bağlı olarak, taşıt dışında geçen sürelerin (kullanıcının durakta bekleme sürelerinin) maliyeti önemli düzeyde değişebilmektedir. Taşıt içinde harcanan sürelerin maliyeti ise minimum düzeydedir. Çözüm süreci başlatıldığında, işletmeci maliyetleri düşmeye, taşıt içindeki harcanan süreler az

da olsa yükselmeye, taşıt dışındaki süreler de düşmeye başlayacaktır. Durakta bekleme maliyetinin, taşıt içinde seyahat maliyetinden daha etkili olmasından dolayı, toplam sistem maliyetinde minimuma ulaşıncaya kadar sürekli bir düşüş olacaktır.

O zaman sezgisel çözüme, minimum kullanıcı maliyetli toplam sistem maliyetini veren hat konfigürasyonu ile başlanabilir. Bu hat konfigürasyonu ise, yolculuk talebi olan her durak çiftini kapsayan terminaller arasında, yeterli yolcu bulunması durumunda, önce ekspres hat ataması yapmak, daha sonra geriye kalan talebi, ara durakları kapsayan terminaller arasındaki klasik işletmecilik hatlarına atayarak bir taşıma yapmakla elde edilir. Bu şekilde terminaller arasında, varsa, yolcular en kısa sürede ekspres otobüslerle taşınabilecek, arta kalan talep ise klasik olarak işletilen hatlara atanabilecektir. Tüm yolculara belirli bir düzeyde hizmet vermeyi garanti edebilmek içinse, bir taşıt takip aralığı kısıtı kullanılmalıdır. Kullanıcıların seyahat sürelerini en alt düzeye düşürmek için yukarıdaki hat konfigürasyonunun sadece direkt (aktarmasız) yolculukları mümkün kıldığı da âşikârdır.

Ancak kullanıcılar için olumlu olan bu yaklaşım, işletmeciler için maliyetteki yükselişi gündeme getirir. Zira, bazı O-D terminal çiftleri arasındaki yolculuk talebi yüksek, bazılarında küçük olabilir. Büyük olanlarda çok yolcu taşındığından, filo boyutu artmakla beraber, yolcu gelirlerindeki artış muhtemelen daha fazla olacağından işletme kârlı bir taşımacılık yapacaktır. Küçük olanlarda ise en iyi ihtimalle başabaş bir gelir-gider dengesi beklenmekle birlikte, muhtemelen zararına bir taşımacılık hizmeti sunulacaktır. Yani bu durumda, işletmenin toplam maliyeti artacaktır.

Ancak burada yüksek maliyetin mutlaka zarar anlamına gelmediği gözden uzak tutulmamalıdır. Yüksek maliyetle de belli bir gelir elde edilebileceği için buradaki önemli nokta kârın düzeyinin ne olacağıdır. Taşınan yolcu miktarı, sefer süresi, bilet ücretleri, vb gibi büyüklükler, gelir-gider dengesinin hangi yöne kayacağı hususunda büyük bir öneme sahiptirler.

3.4.1.2 Sezgisel Yöntemde Yapılan Kabuller

Bu yöntem, daha önce sunulan matematik modelin girdileri, çıktıları ve etkinlik ölçütlerini kullanarak uygun bir çözüm kümesi araştırır. Minimizasyon problemindeki kısıtları aynen dikkate almaktadır. Belirli kısıtlar altında, toplam sistem maliyetini minimum yapan aşamalı

bir algoritma içermektedir. Belirli bir taşıma şebekesindeki talebi göz önüne alarak çeşitli hat konfigürasyonları oluşturulmasında kullanılacaktır.

Yöntemle, bir başlangıç O-D talep matrisinde Bölüm 3.2'de verilen formülasyondan yararlanarak, aşamalı işlemler yapılmakta ve her adım sonunda talep matrisindeki q_{ij} 'ler elde edilen hatlara atanmaktadır. Bu süreç, talep matrisindeki tüm taleplerin, minimum sistem maliyetli hat konfigürasyonuna atanmasına kadar sürdürülmektedir. Her adım sonunda elde edilen hatların kümesi, sonunda bir hat konfigürasyonu meydana getirmektedir.

Şebeke talep matrisindeki tüm O-D çiftleri arasında talep vardır. Bu varsayım daha sonra sayısal uygulamalarda olduğu gibi, terk edilebilir. En genel duruma göre bir çözüm elde edebilmek amacıyla bu şekilde kabul edilmiştir.

Taşıma şebekesinde, terminal ve ara durak olmak üzere iki tür durak vardır. Terminaller, hem klasik işletmecilik yapılan hatların hem de ekspres hatlarının durağı olarak kullanılabilir. Ara duraklar ise sadece klasik işletmecilik şekliyle çalıştırılan taşıtların duruş yapabildikleri yerlerdir.

Aynı duraktan iki hat geçiyorsa, kullanıcının gideceği yere göre, taşıt takip aralığı küçük olan taşıtı kullanacağı varsayılmıştır. Bilet ücretlerinin her iki işletmecilik şekli için aynı olduğu varsayımıyla, kullanıcının ücrete duyarlılığı burada ihmal edilmiş olmaktadır.

Hatlara atanan talebin tamamı direkt yolculuklardan oluşmaktadır. Buna göre aktarmalı bir hat konfigürasyonu hedeflenmemektedir.

Klasik hatta çalıştırılan taşıtlar, ara duraklarda iniş-biniş olsa da olmasa da duraklama yaparlar. Sefer süresi ve kullanıcının yolculuk süresi hesabında, karışıklığa yer vermemek için, bu şekilde basitleştirici bir kabul yapılmıştır.

İşlem kolaylığı açısından, ekspres ve klasik işletmecilikte kullanılan taşıtların hızları eşit alınmıştır. Ekspres ve klasik hatları kullanan yolculardan alınan bilet ücretlerinin de aynı olduğu varsayılmıştır.

Sezgisel algoritmanın çalıştırılması için bir başlangıç çözümü öngörülmüştür. Bölüm 3.4.1.1'de açıklandığı gibi işleme, kullanıcı için minimum maliyetli, işletmeci için maksimum maliyetli çözümden başlanacaktır.

Kullanıcıların yolculuk sürelerinin hesabında, durakta taşıtlara iniş-binişleri ve diğer yolcuların etkileri, tek bir duraklama süresi terimi, t_d ile gösterilecektir. Bu sürenin değeri sabit kabul edilmiştir. Aynı mantık, taşıtların sefer sürelerini hesaplarırken de kullanılmıştır. Yani, doğrudan talebe duyarlı sefer süresi hesabı yapılmayacaktır.

3.4.1.3 Başlangıç Durumunun Belirlenmesi

Sezgiselin temel girdileri, tüm hücreleri dolu olan bir başlangıç şebeke talep matrisi ile mesafelerin belirlendiği bir şebeke mesafe matrisidir.

Algoritmanın başlangıcında olası hatların başlangıç ve son noktaları olabilecek bir olası terminaller kümesi tanımlanmıştır. Terminaller kümesi, gerçek hayatta otobüslerin manevra ve park imkanlarının bulunduğu, önemli yerleşim merkezleri ve/veya kavşak noktalarındaki duraklara karşılık gelebilir. Bu işlemle, seçenek sayısı azalmış ve problem zorluğu bir miktar daha giderilmiştir. Bölüm 3.4.1.4'de problem zorluğunun azaltılması konusunda daha detaylı bilgi verilmiştir. τ_0 , olası terminaller kümesinin elemanları şu şekilde yazılır:

$\tau_0 = \{\text{Taşıma şebekesinin uç noktaları, dallanma noktaları (yani olası karayollarının kavşak noktaları), şebeke talep matrisindeki üretim-çekim kısıtlarını sağlayıp fiziksel olarak da terminal inşa edilebilecek noktalar}\}$

İşleme, τ terminaller kümesi ile başlanacaktır ($\tau \in \tau_0$). Olası terminaller kümesinden üretim-çekim kısıtını sağlasa da, fiziksel olarak bir terminal yeri kurulamayacak noktalar olabileceği için böyle bir yol izlenmiştir.

Başlangıç durumunda bütün terminal noktaları arasında hem ekspres hem de klasik hatlar teşkil edilecektir. Bunun için bir başlangıç olası terminaller matrisi oluşturulur. Bu matrisle şebeke, terminaller arasında bir bakıma bölgelere ayrılmış olmaktadır. Sonuçta, bölge-bölge ekspres ve klasik hat arama sürecine uygun bir zemin hazırlanmış olmaktadır. Bundan sonra her bir terminal çifti arasındaki şebeke kesimi, bölge olarak adlandırılacaktır.

3.4.1.3.1 Olası Ekspres Terminalleri Arasındaki Talebin Olası Ekspres Hatlara Atanması

Başlangıçta yolcu lehine bir durum yaratmak istenildiğinden, taşıt takip aralığı kısıtı ile her terminal çifti arasına işletme tarafından bir ekspres hat koyulmuş olacaktır. Böylece potansiyel ekspres yolcularının tümü olası ekspres hatlara atanması sağlanmış olur.

Olası ekspres hatlarda, Bölüm 3.2'deki formülasyondan yararlanarak kullanıcı maliyeti ve geliri bulunup her bir hattın kâr ve zarar durumu hesaplanır ve listelenir. Ekspres hatlara atanan yolcular, başlangıç şebeke talep matrisinden çıkartılarak işlem tamamlanır. Şebeke talep matrisinde, artık sadece potansiyel klasik hat yolcuları kalmıştır.

3.4.1.3.2 Kalan Talebin Olası Klasik Hatlara Atanması

Yukarıdaki işlemde geri kalan talep, yine yukarıdaki olası terminaller matrisindeki hat kesimleri (bölgeler) içinde ve arasında çalışacak klasik hatlar olarak atanır. Olası klasik hatlar 1, 2,...,z bölgeyi kapsayabilir. Herhangi bir O-D çiftinin talebi aşağıdaki sıralamaya göre, o O-D çiftini içeren ilk gruptaki ilgili hatta atanır.

- 1.Grup-Tek bölge klasik hat grupları: Bunlar ardışık terminaller arasındaki tek bölge klasik hatlardır. Buraya başlangıç ve son noktaları aynı bölge içinde kalan yerel yolculuklar atanır.
- 2.Grup-Ardışık 2 bölge klasik hat grupları: Ardışık bölgeler arasındaki 2 bölge klasik hatlardır. Bunlara iki bölge arasındaki talepler atanır.
- 3.Grup-Ardışık 3 bölge klasik hat grupları: Başlangıç ve son noktalarının bulunduğu bölgeler arasında bir bölge bulunan yolcuların atandığı hatlardır. Arada kalan bölge içindeki duraklarda yolcu iniş-binişi yoktur.

Şebekenin büyüklüğüne göre işlem, bu şekilde devam ettirilir. İşlem temelde, ilgili talebin O-D'lerini içeren bir ya da ardışık 2,3,...,z bölge klasik hatları tarif etmektedir (z, mümkün ardışık bölge konfigürasyonu numarası). Bu işlemin yararlarından biri, kullanıcı sürelerini hesaplarken gerekli olan, taşıtın ara duraklarda duraklama sayısının doğru bir şekilde belirlenmesine yardımcı olmasıdır. Bir diğer yararı da, ileride (Bölüm 3.4.1.5'de) bahsedileceği gibi, elenen bir hattaki talebin, atanacağı yeni hattaki duraklama sayısını ne şekilde değiştirdiğinin doğru olarak belirlenebilmesidir.

Burada da, yukarıda olduğu gibi, olası klasik hatlarda, Bölüm 3.2'deki formülasyondan yararlanarak, kullanıcı maliyeti ve geliri bulunup her bir hattın kâr ve zarar durumu hesaplanır ve listelenir.

Artık elde, sonrakilerle kıyaslama yapılabilecek bir başlangıç çözümü vardır. Olası ekspres ve klasik hatlara ait bilgiler aynı listede toplanarak, bir sonraki seçim ve eleme aşamasına geçilebilir.

3.4.1.4 Problem Zorluğunun Azaltılması

Problemin çözümüne, başlangıç şebeke talep matrisindeki hücrelerde ekspres ve klasik hat aranmasıyla başlanır. Ancak seçeneklerin sayısı, matrisin satır-sütun çarpımından köşegen hücre sayısının çıkarılıp, sonucun 2'ye bölünmesiyle (Gidiş ve dönüşü dikkate alarak) elde edileceğinden, çoktur. Bunların her biri için arama yapmak zahmetli ve uzun süre gerektirir. Bunun için, işlemlere olası terminallerin belirlenmesiyle başlamak, problemin çözümünü kısaltır.

Şebekedeki dal sayısı (Şekil 3.1'de görüldüğü gibi) arttıkça matrisin boyutu daha da küçülmektedir. $M \times M$ boyutlu bir şebekede, başlangıçta $(M^2-M)/2$ tane O-D çifti arasından seçime başlanırken, terminal sayısı belirlenirse, τ terminaller matrisinin satır ve sütun büyüklüğü olmak üzere, $(\tau^2-\tau)/2$ tane O-D çifti arasından seçime başlanır. Üretim-çekim miktarı ile ilgili kısıtlar dikkate alınmadan olası terminal sayısı ise, e dal sayısı olmak üzere, $\tau = (2e+2)$ adettir. İfadeden de görüleceği gibi seçim için başlangıç hat aday sayısı e 'ye bağlı olarak düşecektir. Çizelge 3.4'de bir taşıma şebekesinde ekspres hatlar için durak ve dal sayısına göre problem zorluğundaki değişim görülmektedir.

Çizelge 3.4 Problem zorluğunun değişimi

Durak sayısı [M]	Dal sayısı [e]	Terminal sayısı [τ]	Aday Ekspres Hatları Kümesi		
			Tüm duraklar arasında [$M.(M-1)/2$]	Seçilen terminaller arasında [$\tau.(\tau-1)/2$]	Azalma oranı
14	2	6	91	15	% 84
17	4	10	136	45	% 67
100	10	22	4.950	231	% 95
100	25	52	4.950	1.326	% 73
200	10	22	19.900	231	% 99
200	20	42	19.900	861	% 96
200	40	82	19.900	3.321	% 83
200	50	102	19.900	5.151	% 74

3.4.1.5 Sezgisel Yöntemin Çözüm Algoritması

Sezgisel için daha önce bir başlangıç çözümü bulunduğu belirtilmişti. Çözüm algoritmasının adımları her seferinde daha iyi bir çözüm bulmak üzere ilerletilecektir. Daha bir iyi çözümün bulunamayacağı adımda da işlem son bulacaktır.

Her adımdaki sınama, toplam sistem maliyetindeki düşüşün belirlenmesi üzerine yoğunlaşacaktır. Bunun için olası ekspres ve klasik hatlar listesinde, ayırım yapmaksızın en çok zarar eden hat belirlenir. Bu hattı eleyip, onun talebini uygun başka bir hatta atamakla, sistem maliyetinde ne tür bir değişim olduğu belirlenir. Görüldüğü gibi algoritma, esasında, seçim ve eleme adımlarından oluşmaktadır. Atama yapılırken, elenen hattın talebi yeni hattaki duraklama sayısını değiştireceği için dikkat edilmelidir. Gerekliyorsa yeni hattın duraklama sayısı değiştirilmelidir.

Algoritmanın işleyişini daha açık olarak gösterebilmek için adım adım yapılması gerekenler aşağıda yazılmıştır:

1.ADIM

1.0.Adım: Başlangıç çözümündeki zararı maksimum olan r hattını ($Z_{r,maks}$ olan hattı) belirle ve kaldır.

1.1.Adım: Kaldırılan r hattının talebini kullanıcı maliyeti en az artacak olan uygun hatta atamak için yeni hat ara.

1.1.1.Adım: Kaldırılan hat ekspres ise aynı bölgedeki klasik hatta ata. 1.2.Adıma git.

1.1.2.Adım: Kaldırılan hat klasik ise hangi gruba dahil olduğunu belirle.

1.1.2.1.Adım: Kaldırılan hat 1.Grup klasik hat ise 2. Grup klasik hatlardan en küçük taşıt takip aralığına sahip olanına ata. 1.2.Adıma git.

1.1.2.2.Adım: Kaldırılan 2. Grup klasik hat ise 3. Grup klasik hatlardan en küçük taşıt takip aralığına sahip olanına ata. 1.2. Adıma git.

,

.

.

.

,

1.1.2.(z-1).Adım: Kaldırılan (z-1). Grup klasik hat ise z. Grup klasik hatlardan en küçük taşıt takip aralığına sahip olanına ata.

1.2.Adım: Atama yapılan yeni hattın maliyetlerini ve gelirini hesapla.

1.3.Adım: Yeni hat konfigürasyonunun sistem maliyetini hesapla.

2.ADIM

2.0.Adım: 1.3.Adım sonunda bulunan çözümdeki, $(R-1)$ hatlar kümesinden zararı maksimum olan r hattını belirle ve kaldır.

1.Adım'ın diğer alt adımlarını uygula ve 2.3.Adıma git.

2.3.Adım: Yeni hat konfigürasyonunun sistem maliyetini hesapla.

,
.
.
.
.
.

n.ADIM Toplam sistem maliyetinin daha fazla düşmediği durumdur. Minimum noktayı görmek için, hat kaldırma işleminde kârı en düşük hatlardan başlamak üzere süreç bir kaç adım daha işletilebilir. Ama bu adımda artık uygun çözüme ulaşılmıştır.



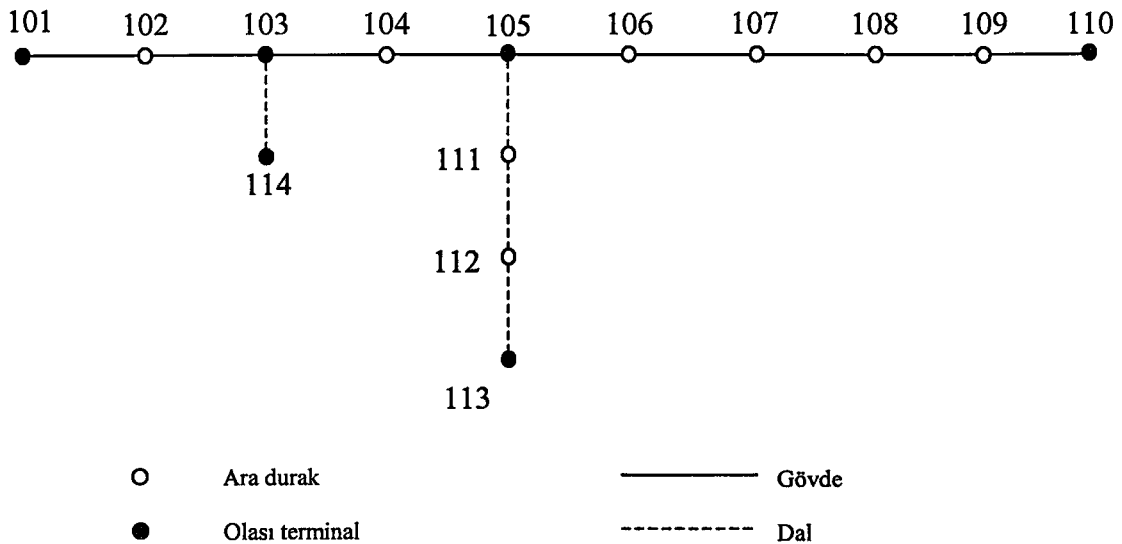
3.4.2 Sezgisel Yöntemin Hipotetik Şebekede Uygulanması

Model sonuçlarının denenmesi için başlangıçta bir hipotetik şebeke oluşturulmuştur. 14 duraklı ve 2 dallı bir ağaç gövdesi görünümündeki şebekenin durakları arasındaki mesafeler belirlidir (Şekil 3.3). Basitleştirme amacıyla, şebekenin tek taraftan gelişen bir dallanmaya sahip olduğu varsayılmıştır (Gövdedeki dallanma noktaları, 103 ve 105'dir). Şebeke, Şekil 3.4'deki gibi bölgelere ayrılmıştır. Gidiş ve geliş mesafelerinin aynı olduğu kabul edilmiştir. Gerçekte çeşitli nedenlerden dolayı farklı olabilir. Çünkü kullanılan yolun topoğrafik ve coğrafik yapısı ile yoldaki kavşak tiplerinden dolayı gidiş ve geliş yönlerindeki mesafe değişebilir.

Şebekede, sabah zirve saati temsil eden O-D taleplerinin bilindiği ve sabit olduğu varsayılmıştır. Analiz sabah 1 saatlik zirve için yapılmıştır.

Taşıt başına düşen saatlik birim işletme maliyeti sabah zirve saatler boyunca ve tüm hatlar için sabit bir değer olup, bilinmektedir. Bu maliyetler işletmeci açısından genelleştirilmiş bir maliyettir ve makul değerler kullanabilmek için İETT'nin 2000 yılındaki bütçe ve bilançolarından yararlanarak hesaplanmıştır (Ek 1, Ek 4).

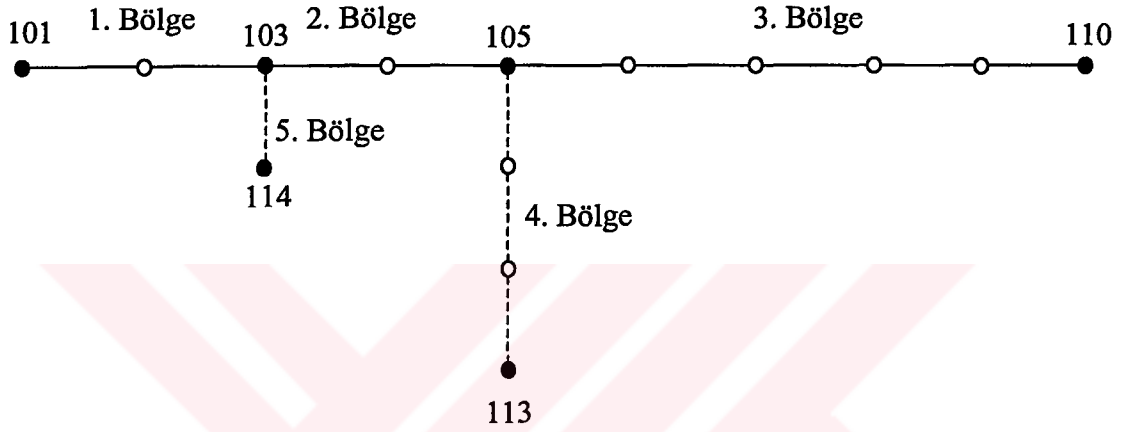
Taşıma şebekesinde kullanılmak üzere gerekli olan sabit ve parametreler Çizelge 3.5'de sıralanmıştır.



Şekil 3.3 Hipotetik Şebeke

Çizelge 3.5 Sayısal uygulamada kullanılan sabit ve parametrelerin değerleri

V_{or}^e (km/sa)	35	B_{rt} (milyonTL/tş-sa)	15,70
V_{or}^k (km/sa)	35	b^k (milyonTL/yolcu)	0,210
c (yolcu/tş)	75	b^e (milyonTL/yolcu)	0,210
l_d (km)	1,65	b_{kt} (milyonTL/sa)	1,336
t_s (dak)	5	M (adet)	14
t_b (dak)	1,5	e (adet)	2
$h_{r,maks}$ (dak)	20	R (adet)	30



Şekil 3.4 Bölge adlandırılmış şebeke

3.4.2.1 Sayısal Uygulama-1

Bu uygulamada genellikle çok duraktan-çok durağa yolculukların bulunduğu bir talep matrisi kullanılacaktır. Talebin dağılımı mekansal olarak üniforma yakındır. Aşağıdaki talep matrisi gerçek hayattan olmayıp hipotetik olarak üretilmiştir.

Çizelge 3.6 (Sayısal uygulama-1)'de kullanılan başlangıç talep matrisi

O \ D	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114
101	0	1	15	20	20	40	50	65	40	75	20	15	50	15
102	20	0	1	10	25	45	60	65	45	20	20	38	20	60
103	35	5	0	1	10	20	25	30	20	40	10	30	20	20
104	55	15	2	0	3	10	5	20	15	15	10	5	20	20
105	55	50	20	10	0	1	10	15	20	25	5	20	35	20
106	50	40	45	20	1	0	1	10	15	25	10	20	30	26
107	55	60	50	10	20	5	0	6	6	45	10	20	30	30
108	115	50	60	40	30	22	1	0	1	10	10	15	18	35
109	100	40	40	10	35	18	10	4	0	2	20	25	25	30
110	175	40	80	35	45	40	8	15	5	0	30	30	20	50
111	50	16	10	10	10	10	5	20	10	15	0	10	10	55
112	40	20	20	15	4	10	10	30	30	25	1	0	6	65
113	125	20	20	20	20	20	15	35	50	30	8	1	0	65
114	50	215	65	30	25	40	30	25	50	110	35	40	35	0

Modelde ardışık iki durak arası mesafe sabit ve tüm duraklarda aynı değer olarak kabul edilmiştir. Buna göre taşıma şebekedeki tüm duraklar arasındaki mesafeler bir matris formunda yazılabilir (Çizelge 3.7). Mesafeler matrisi, iki durak arası mesafenin daha önce oluşturulan durak aralığı matrisi ile çarpımı sonucunda elde edilmiştir (Çizelge 3.8). Durak aralığı matrisinde şebekedeki her hangi iki nokta arasında kaç tane aralık olduğu toplu olarak verilmiştir. Mesela, şebekeye bakılırsa (Şekil 3.3), 101-105 durakları arasında 4 aralık, 110-114 durakları arasında 8 aralık, 103-111 durakları arasında 3 aralık olduğu görülebilir.

Çizelge 3.7 Hipotetik taşıma şebekesine ait mesafeler matrisi

O \ D	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114
101	0,00	1,65	3,30	4,95	6,60	8,25	9,90	11,55	13,20	14,85	8,25	9,90	11,55	4,95
102	1,65	0,00	1,65	3,30	4,95	6,60	8,25	9,90	11,55	13,20	6,60	8,25	9,90	3,30
103	3,30	1,65	0,00	1,65	3,30	4,95	6,60	8,25	9,90	11,55	4,95	6,60	8,25	1,65
104	4,95	3,30	1,65	0,00	1,65	3,30	4,95	6,60	8,25	9,90	3,30	4,95	6,60	3,30
105	6,60	4,95	3,30	1,65	0,00	1,65	3,30	4,95	6,60	8,25	1,65	3,30	4,95	4,95
106	8,25	6,60	4,95	3,30	1,65	0,00	1,65	3,30	4,95	6,60	3,30	4,95	6,60	6,60
107	9,90	8,25	6,60	4,95	3,30	1,65	0,00	1,65	3,30	4,95	4,95	6,60	8,25	8,25
108	11,55	9,90	8,25	6,60	4,95	3,30	1,65	0,00	1,65	3,30	6,60	8,25	9,90	9,90
109	13,20	11,55	9,90	8,25	6,60	4,95	3,30	1,65	0,00	1,65	8,25	9,90	11,55	11,55
110	14,85	13,20	11,55	9,90	8,25	6,60	4,95	3,30	1,65	0,00	9,90	11,55	13,20	13,20
111	8,25	6,60	4,95	3,30	1,65	3,30	4,95	6,60	8,25	9,90	0,00	1,65	3,30	6,60
112	9,90	8,25	6,60	4,95	3,30	4,95	6,60	8,25	9,90	11,55	1,65	0,00	1,65	8,25
113	11,55	9,90	8,25	6,60	4,95	6,60	8,25	9,90	11,55	13,20	3,30	1,65	0,00	9,90
114	4,95	3,30	1,65	3,30	4,95	6,60	8,25	9,90	11,55	13,20	6,60	8,25	9,90	0,00

Çizelge 3.8 Hipotetik taşıma şebekesine ait durak aralığı matrisi

O \ D	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114
101	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	5	6	7	3
102	1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	4	5	6	2
103	2	1	0	1	2	3	4	5	6	7	3	4	5	1
104	3	2	1	0	1	2	3	4	5	6	2	3	4	2
105	4	3	2	1	0	1	2	3	4	5	1	2	3	3
106	5	4	3	2	1	0	1	2	3	4	2	3	4	4
107	6	5	4	3	2	1	0	1	2	3	3	4	5	5
108	7	6	5	4	3	2	1	0	1	2	4	5	6	6
109	8	7	6	5	4	3	2	1	0	1	5	6	7	7
110	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0	6	7	8	8
111	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	0	1	2	4
112	6	5	4	3	2	3	4	5	6	7	1	0	1	5
113	7	6	5	4	3	4	5	6	7	8	2	1	0	6
114	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	4	5	6	0

Bölüm 3.4.1.3.2’de belirtilen bölgeleme kuralına göre aşağıdaki başlangıç hat grupları elde edilmiştir (Şekil 3.4’den de yararlanarak). Bunlardan yararlanarak klasik hatlardaki ara duraklarda duraklama sayıları hesaplanacaktır (Çizelge 3.9, Çizelge 3.10).

1.Grup-Tek bölgeci klasik hat grupları:

- (101-103)
- (103-105)
- (105-110)
- (103-114)
- (105-113)

2.Grup-Ardışık 2 bölgeci hat grupları:

- (101-105)
- (103-110)
- (101-114)
- (105-114)
- (103-113)
- (110-113)

3.Grup-Ardışık 3 bölgeci hat grupları:

- (101-110)
- (101-113)
- (110-114)
- (113-114)

Çizelge 3.9 Başlangıç çözümü için hatlardaki ara duraklarda duraklama sayıları (Sayısal uygulama-1)

O \ D	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114
101	0	0	0	1	0	1	2	3	4	0	1	2	0	0
102	0	0	0	0	1	0	1	2	3	4	0	1	2	0
103	0	0	0	0	0	1	2	3	4	0	1	2	0	0
104	1	0	0	0	0	0	1	2	3	4	0	1	2	0
105	0	1	0	0	0	0	1	2	3	0	0	1	0	0
106	1	0	1	0	0	0	0	1	2	3	0	1	2	0
107	2	1	2	1	1	0	0	0	1	2	1	2	3	1
108	3	2	3	2	2	1	0	0	0	1	2	3	4	2
109	4	3	4	3	3	2	1	0	0	0	3	4	5	3
110	0	4	0	4	0	3	2	1	0	0	4	5	0	0
111	1	0	1	0	0	0	1	2	3	4	0	0	1	0
112	2	1	2	1	1	1	2	3	4	5	0	0	0	1
113	0	2	0	2	0	2	3	4	5	0	1	0	0	0
114	0	0	0	0	0	0	1	2	3	0	0	1	0	0

Sezgisel algoritma adım adım ilerlerken hat konfigürasyonu da her adımda değişmektedir. Bu yüzden her adımda ara duraklarda duraklama sayıları da değişmektedir. Örnek olması açısından aşağıda optimum çözüme ulaşılan adıma ait duraklama sayıları matrisi verilmiştir.

Çizelge 3.10 (Sayısal uygulama-1)'de uygun çözüm için hatlardaki ara duraklarda duraklama sayıları (17. adım)

O \ D	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114
101	0	0	1	2	3	1	2	3	4	0	1	2	3	2
102	0	0	0	1	2	0	1	2	3	4	0	1	2	1
103	1	0	0	0	1	2	3	4	5	6	1	2	3	0
104	2	1	0	0	0	1	2	3	4	5	1	2	3	1
105	3	2	1	0	0	0	1	2	3	4	0	1	2	1
106	1	0	2	1	0	0	0	1	2	3	1	2	3	1
107	2	1	3	2	1	0	0	0	1	2	2	3	4	2
108	3	2	4	3	2	1	0	0	0	1	3	4	5	3
109	4	3	5	4	3	2	1	0	0	0	4	5	6	4
110	0	4	6	5	4	3	2	1	0	0	5	6	7	5
111	1	0	1	1	0	1	2	3	4	5	0	0	1	2
112	2	1	2	2	1	2	3	4	5	6	0	0	0	3
113	3	2	3	3	2	3	4	5	6	7	1	0	0	4
114	2	1	0	1	1	1	2	3	4	5	2	3	4	0

Yukarıda modelde kullanılacak hazırlık mahiyetindeki hesaplamalar tamamlandıktan sonra olası ekspres hatları kümesi belirlenir. Olası ekspres hatları, yukarıda verilen 3 gruptaki hatların başlangıç ve son duraklarının ekspres terminali olarak ifade edilmesiyle belirlenir. Aşağıda olası ekspres hatlarının O-D çiftleri arasındaki talep değerleri bir matris formunda görülmektedir (Çizelge 3.11).

Çizelge 3.11 Başlangıç olası ekspres hatlara ait talep matrisi (Sayısal uygulama-1)

O \ D	101	103	105	110	113	114
101	0	15	20	75	50	15
103	35	0	10	40	20	20
105	55	20	0	25	35	20
110	175	80	45	0	20	50
113	125	20	20	30	0	65
114	50	65	25	110	35	0

1.370

Sezgisel çözüm algoritması işletilmeye başlandığında her adımda yapılan hesaplar bir çıktı çizelgesi haline getirilmiştir. Bu çizelgede, hat konfigürasyonu ile ilgili bilgiler tüm detayıyla görülmektedir (Çizelge 3.12). Çizelgede birimleriyle beraber şu bilgiler bulunmaktadır: İşletmecilik şekliyle beraber hat adı, durak aralığı sayısı, hat uzunluğu, toplam yolcu sayısı, maksimum kesitteki talep değeri, sefer süresi, taşıt takip aralığı, gerekli sefer sayısı, gerekli taşıt sayısı, işletmeci ve kullanıcı maliyeti, hat geliri, hat kârı veya zararı (Tek bir sütunda, pozitif değerler zarar, negatif değerler kârı göstermektedir), kullanıcı süreleri ve sistem maliyeti. Örnek olması açısından, başlangıç çözümü (Çizelge 3.12) ve uygun çözüm adımlarına (Çizelge 3.13) ait çizelgeler sunulmuştur.

Çizelge 3.12 (Sayısal uygulama-1)'de başlangıç çözümü sonuçları

Hat Adı	n	L _r Durak aralığı uz. km	Q _r Yolcu sayısı y/c/sa	A _{maks} Maksimum kesitteki yolcu say. yolcu/sa	t _r Sef. sür. dak	h _r Taşıtlık aralığı dak	f _r Sefer sayısı sef/sa	F _r Taşıtlık sayısı ts/sa	C _r İşletmeci Maliyeti Mil.TL/sa	G _r İşletmeci Geliri Mil.TL/sa	Z _r İşletmeci Zararı Mil.TL/sa	t _{ik} Taşıtlık y/c. sür. dak	t _{bk} Dur. bekl. sür. dak	t _k Ylc. sür. dak	T _{ik} Toplam taşıtlık y/c. sür. dak	T _{bk} Toplam durakta bek. sür. y/c. dak	T _{rk} Toplam y/c. sür. dak	C _{rk} Kullanıcı Maliyeti Mil.TL/sa	C _r Sistem Maliyeti Mil.TL/sa
E-101-103	2	3,30	50	35	21	30	2	1	15,7	10,5	5,2	6	15	21	300	750	1050	23,4	39,1
E-101-105	4	6,60	75	55	33	30	2	2	31,4	15,8	15,7	11	15	26	825	1125	1950	43,4	74,8
E-101-110	9	14,85	250	175	61	25	2	3	47,1	52,5	-5,4	25	13	38	6250	3125	9375	208,8	255,9
E-101-113	7	11,55	175	125	50	30	2	2	31,4	36,8	-5,4	20	15	35	3500	2625	6125	136,4	167,8
E-101-114	3	4,95	65	50	27	30	2	1	15,7	13,7	2,1	8	15	23	520	975	1495	33,3	49,0
E-103-105	2	3,30	30	20	21	30	2	1	15,7	6,3	9,4	6	15	21	180	450	630	14,0	29,7
E-103-110	7	11,55	120	80	50	30	2	2	31,4	25,2	6,2	20	15	35	2400	1800	4200	93,5	124,9
E-103-113	5	8,25	40	20	38	30	2	2	31,4	8,4	23,0	14	15	29	560	600	1160	25,8	57,2
E-103-114	1	1,65	85	65	16	30	2	1	15,7	17,9	-2,2	3	15	18	255	1275	1530	34,1	49,8
E-105-110	5	8,25	70	45	38	30	2	2	31,4	14,7	16,7	14	15	29	980	1050	2030	45,2	76,6
E-105-113	3	4,95	55	35	27	30	2	1	15,7	11,6	4,2	8	15	23	440	825	1265	28,2	43,9
E-105-114	3	4,95	45	25	27	30	2	1	15,7	9,5	6,3	8	15	23	360	675	1035	23,0	38,7
E-110-113	8	13,20	50	30	55	30	2	2	31,4	10,5	20,9	23	15	38	1150	750	1900	42,3	73,7
E-110-114	8	13,20	160	110	55	30	2	2	31,4	33,6	-2,2	23	15	38	3680	2400	6080	135,4	166,8
E-113-114	6	9,90	100	65	44	30	2	2	31,4	21,0	10,4	17	15	32	1700	1500	3200	71,3	102,7
K-101-103	2	3,30	27	20	24	30	2	1	15,7	5,7	10,0	15	15	23	81	405	486	10,8	26,5
K-101-105	4	6,60	175	120	42	30	2	2	31,4	36,8	-5,4	15	15	23	1575	2625	4200	93,5	124,9
K-101-110	9	14,85	980	550	85	8	7	11	172,7	205,8	-33,1	4	4	20883	3920	24803	552,3	725,0	
K-101-113	7	11,55	329	176	68	25	2	3	47,1	69,1	-22,0	13	13	5170	4113	9283	206,7	253,8	
K-101-114	3	4,95	275	215	33	20	3	2	31,4	57,8	-26,4	10	10	1650	2750	4400	98,0	129,4	
K-103-105	2	3,30	16	10	24	30	2	1	15,7	3,4	12,3	15	15	48	240	288	6,4	22,1	
K-103-110	7	11,55	470	310	68	14	4	5	78,5	98,7	-20,2	7	7	7488	3290	10778	240,0	318,5	
K-103-113	5	8,25	80	45	50	30	2	2	31,4	16,8	14,6	15	15	870	1200	2070	46,1	77,5	
K-103-114	1	1,65	0	0	16	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0	0	0	0	0	0	0,0	0,0
K-105-110	5	8,25	381	170	50	26	2	2	31,4	80,0	-48,6	13	13	4155	4953	9108	202,8	234,2	
K-105-113	3	4,95	75	40	33	30	2	2	31,4	15,8	15,7	15	15	414	1125	1539	34,3	65,7	
K-105-114	3	4,95	50	30	33	30	2	2	31,4	10,5	20,9	15	15	300	750	1050	23,4	54,8	
K-110-113	8	13,20	578	293	76	15	4	6	94,2	121,4	-27,2	8	8	11402	4335	15737	350,4	444,6	
K-110-114	8	13,20	266	145	76	30	2	3	47,1	55,9	-8,8	15	15	4816	3990	8806	196,1	243,2	
K-113-114	6	9,90	195	120	59	30	2	2	31,4	41,0	-9,6	15	15	2618	2925	5543	123,4	154,8	
Ekspres			1.370				30	25	392	288	105			23.100	19.925	43.025	958	1.351	
Klasik			3.897				38	44	691	818	-128			61.468	36.621	98.088	2.184	2.875	
Toplam			5.267				68	69	1.083	1.106	-23			84.568	56.546	141.113	3.142	4.225	

Çizelge 3.13 (Sayısal uygulama-1)'de uygun çözüm sonuçları (17. adım)

Hat Adı	n	L _r	Q _r	A _{maks}		t _r	h _r	f _r	F _r	C _{ri}	G _{ri}	Z _{ri}	t _{ik}	t _{bk}	Dur. bekl. sür.	t _k	T _{ik}	T _{bk}	T _{rk}	C _{rk}	C _r	
				Maksimum kesitteki yolcu say.	yolcu/sa																	Taşıtların Sef. sür. dak
E-101-103	2	3,30	0	0	0	21	0	0	0	0,0	0,0	0,0	6	0	0	6	0	0	0	0,0	0,0	0,0
E-101-105	4	6,60	0	0	0	33	0	0	0	0,0	0,0	0,0	11	0	11	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0
E-101-110	9	14,85	250	175	0	61	25	3	3	47,1	52,5	-5,4	25	13	38	6250	3125	9375	208,8	255,9	255,9	
E-101-113	7	11,55	0	0	0	50	0	0	0	0,0	0,0	0,0	20	0	20	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0
E-101-114	3	4,95	0	0	0	27	0	0	0	0,0	0,0	0,0	8	0	8	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0
E-103-105	2	3,30	0	0	0	21	0	0	0	0,0	0,0	0,0	6	0	6	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0
E-103-110	7	11,55	0	0	0	50	0	0	0	0,0	0,0	0,0	20	0	20	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0
E-103-113	5	8,25	0	0	0	38	0	0	0	0,0	0,0	0,0	14	0	14	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0
E-103-114	1	1,65	0	0	0	16	0	0	0	0,0	0,0	0,0	3	0	3	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0
E-105-110	5	8,25	0	0	0	38	0	0	0	0,0	0,0	0,0	14	0	14	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0
E-105-113	3	4,95	0	0	0	27	0	0	0	0,0	0,0	0,0	8	0	8	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0
E-105-114	3	4,95	0	0	0	27	0	0	0	0,0	0,0	0,0	8	0	8	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0
E-110-113	8	13,20	0	0	0	55	0	0	0	0,0	0,0	0,0	23	0	23	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0
E-110-114	8	13,20	0	0	0	55	0	0	0	0,0	0,0	0,0	23	0	23	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0
E-113-114	6	9,90	0	0	0	44	0	0	0	0,0	0,0	0,0	17	0	17	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0
K-101-103	2	3,30	0	0	0	24	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0	0	0	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0
K-101-105	4	6,60	300	210	0	42	21	2	3	47,1	63,0	-15,9	0	0	0	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0
K-101-110	9	14,85	1007	555	0	85	8	7	11	172,7	211,5	-38,8	0	11	3375	3150	6525	145,3	192,4	192,4	192,4	
K-101-113	7	11,55	504	301	0	68	14	4	5	78,5	105,8	-27,3	0	4	20964	4028	24992	556,5	729,2	729,2	729,2	
K-101-114	3	4,95	425	330	0	33	13	4	3	47,1	89,3	-42,2	0	7	9458	3528	12986	289,1	367,6	367,6	367,6	
K-103-105	2	3,30	0	0	0	24	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0	0	0	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0
K-103-110	7	11,55	636	420	0	68	10	6	7	109,9	133,6	-23,7	0	5	11946	3180	15126	336,8	446,7	446,7	446,7	
K-103-113	5	8,25	0	0	0	50	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0	0	0	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0
K-103-114	1	1,65	0	0	0	16	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0	0	0	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0
K-105-110	5	8,25	451	215	0	50	20	3	3	47,1	94,7	-47,6	0	10	5555	4510	10065	224,1	271,2	271,2	271,2	
K-105-113	3	4,95	0	0	0	33	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0	0	0	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0
K-105-114	3	4,95	0	0	0	33	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0	0	0	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0
K-110-113	8	13,20	758	373	0	76	12	5	7	109,9	159,2	-49,3	0	6	14963	4548	19511	434,4	544,3	544,3	544,3	
K-110-114	8	13,20	476	285	0	76	15	4	6	94,2	100,0	-5,8	0	8	10470	3570	14040	312,6	406,8	406,8	406,8	
K-113-114	6	9,90	460	270	0	59	16	3	4	62,8	96,6	-33,8	0	8	7660	3680	11340	252,5	315,3	315,3	315,3	
Ekspres			250					2	3	47,1	52,5	-5,4			6.250	3.125	9.375	209	256	256	256	
Klasik			5.017					38	49	769,3	1053,6	-284,3			87.421	32.957	120.378	2.680	3.450	3.450	3.450	
Toplam			5.267					40	52	816	1.106	-290			93.671	36.082	129.753	2.889	3.706	3.706	3.706	

Bu örnekte, çözüm algoritması 19 adım ilerletilmiştir. Her bir adım sonundaki maliyet değişimleri belirlenmiştir. Çizelge 3.14'de işletmeci, kullanıcı ve sistem maliyeti açısından değişimler, Çizelge 3.15 ve Çizelge 3.16'da ise sırayla kullanıcı süresi ve maliyeti bileşenlerindeki değişimin etkisi görülmektedir.

Çizelge 3.14 (Sayısal uygulama-1)'de adım adım maliyet değişimi

ADIM	C_{ri}	C_{rk}	C_r	Açıklama
	Mil. TL/sa	Mil. TL/sa	Mil. TL/sa	
Başlangıç	1.083	3.142	4.225	
1	1.052	3.146	4.198	
2	1.005	3.132	4.137	
3	989	3.108	4.097	
4	926	3.099	4.025	
5	911	3.096	4.007	
6	895	3.083	3.978	
7	879	3.077	3.956	
8	879	3.082	3.961	
9	864	3.080	3.944	
10	848	3.060	3.908	
11	832	3.027	3.859	İşletmeci maliyeti sabit seyre girdi.
12	832	3.021	3.853	Ancak kullanıcı maliyetindeki düşüş devam ediyor
13	832	3.006	3.838	Zarar eden hat kalmadı.
14	832	2.985	3.817	İşletmeci maliyeti
15	816	2.969	3.785	
16	816	2.943	3.759	
17	816	2.889	3.705	Uygun çözüme ulaşıldı.
18	832	2.897	3.729	Ekspres hat kalmadı.
19	895	2.894	3.789	Maliyet, ani artış gösteriyor.

Çizelge 3.15 (Sayısal uygulama-1)'de adım adım kullanıcı sürelerinin değişimi

ADIM	T_{tk}	T_{bk}	T_{rk}
	yolcu-dak/sa	yolcu-dak/sa	yolcu-dak/sa
Başlangıç	84.568	56.546	141.113
1	84.748	56.546	141.293
2	85.597	55.067	140.663
3	86.017	53.574	139.590
4	87.184	51.997	139.181
5	87.184	51.869	139.053
6	87.484	50.984	138.468
7	87.484	50.687	138.171
8	88.234	50.189	138.423
9	88.787	49.544	138.331
10	89.867	47.570	137.437
11	90.062	45.880	135.942
12	90.512	45.155	135.667
13	90.677	44.309	134.986
14	90.775	43.304	134.078
15	91.285	42.071	133.356
16	92.884	39.291	132.175
17	93.671	36.082	129.753
18	97.391	32.700	130.091
19	101.081	28.893	129.974

Çizelge 3.16 (Sayısal uygulama-1)'de adım adım kullanıcı maliyeti bileşenlerinin değişimi

ADIM	C_{tk}	C_{bk}	C_{rk}
	Mil. TL/sa	Mil. TL/sa	Mil. TL/sa
Başlangıç	1.883	1.259	3.142
1	1.887	1.259	3.146
2	1.906	1.226	3.132
3	1.915	1.193	3.108
4	1.941	1.158	3.099
5	1.941	1.155	3.096
6	1.948	1.135	3.083
7	1.948	1.129	3.077
8	1.965	1.118	3.082
9	1.977	1.103	3.080
10	2.001	1.059	3.060
11	2.005	1.022	3.027
12	2.015	1.005	3.021
13	2.019	987	3.006
14	2.021	964	2.985
15	2.033	937	2.969
16	2.068	875	2.943
17	2.086	803	2.889
18	2.169	728	2.897
19	2.251	643	2.894

İşletmeci maliyeti azalırken kullanıcı maliyeti de azalmaktadır. Teorik olarak beklenen durum, işletmeci maliyeti azalırken kullanıcı maliyetinin az da olsa artmasıdır. Ancak kullanıcı maliyeti de azalma göstermiştir. Bunun nedenini anlayabilmek için kullanıcı maliyeti iki ana bileşenine ayrıştırılarak incelenmiştir (Çizelge 3.16). Kullanıcı maliyetindeki azalmanın, yolcuların durakta bekleme sürelerinden kaynaklandığı görülmektedir. Çünkü, elenen hattın talebi, yeni hatta atandığı zaman yeni hattın taşıt takip aralığı azalmakta ve bununla doğru orantılı olan bekleme süreleri de azalmaya başlamaktadır.

Her bir adımda elenen hatlar ve bu hatların talebinin atandığı yeni hatlar Çizelge 3.17'de gösterilmiştir. Bunların doğrultusunda uygulama ile ilgili aşağıdaki saptamalar yapılmıştır:

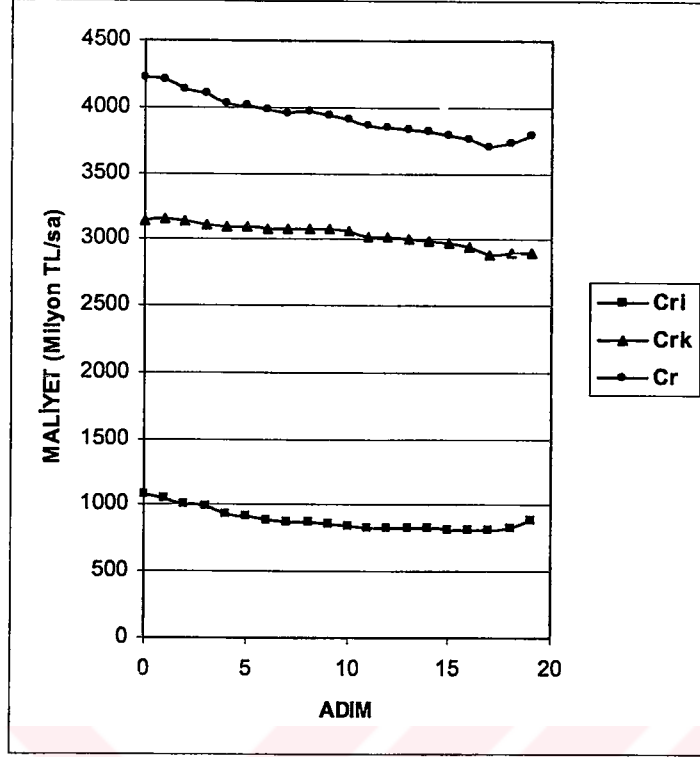
13. adım sonunda zararına çalışan tek bir hat kalmıştır (E-101-114). Bir sonraki adımda ise artık zarar eden taşıt yoktur. İşletmeci maliyeti 832 Milyon TL/sa'tir. Algoritma buradan sonra da işletilmeye devam edilirse kâr en düşük olan hatlardan elemeye başlamak gerekir. 15. adımda E-103-104 hattı elendiğinde işletmeci maliyeti 816 Milyon TL/sa'e düşer. 15. adım sonunda işletmeci maliyetinin aldığı değer 16. ve 17. adım sonunda da aynı kalmıştır. Yani, hat konfigürasyonu değişse de işletme için gerekli saatlik taşıt sayısı değişmemiştir.

18. adım sonunda artık ekspres hat kalmamıştır. Ancak bu durumda işletmeci maliyeti 832 Milyon TL/sa değerini alarak artmaya başlamıştır. 19. adımda ise artış daha fazladır (895 Milyon TL/sa olarak gerçekleşmiştir). Buna göre uygun çözüme işletmeci açısından 15. adımda, kullanıcı açısından ise 17. adımda ulaşılmıştır. Ancak modelde toplam sistem maliyetine bakıldığı için nihâi durum 17. adımda elde edilen durumdur. Yani toplam sistem maliyeti 3.706 Milyon TL/sa'tir. Bu değerden daha fazla bir düşüş sağlanamamaktadır. Takip eden adımlarda sistem maliyeti artış yönünde bir seyre girmiştir.

İşletmeci, kullanıcı ve sistem maliyetlerinin değişimini daha açık bir şekilde görebilmek için grafiklerden yararlanılmıştır. Şekil 3.5'deki eğriler her bir adımdaki hat konfigürasyonuna ait sistem maliyeti ve bileşenlerinin değişimini göstermektedir. Grafikte işletmeci maliyeti (en alttaki eğri) her bir adımda düşerken kullanıcı maliyeti daha düşük bir eğilimle azalmaktadır. Her iki eğri düşüş yönünde bir eğilim sergilediği için toplam sistem maliyeti (en üstteki eğri) daha hızlı bir düşüş göstermektedir. 17. adımdan sonra her üç eğrideki minimumdan maksimuma doğru bir harekete dikkat edilmelidir. Bu nokta uygun çözüm yani, minimum noktasıdır. Bu toplu düşüşün sebebine bakmak için çizilen grafik, Şekil 3.6'da verilmiştir. Grafikte durakta bekleme maliyeti azalırken, taşıtta harcanan sürelerin maliyeti artmaktadır.

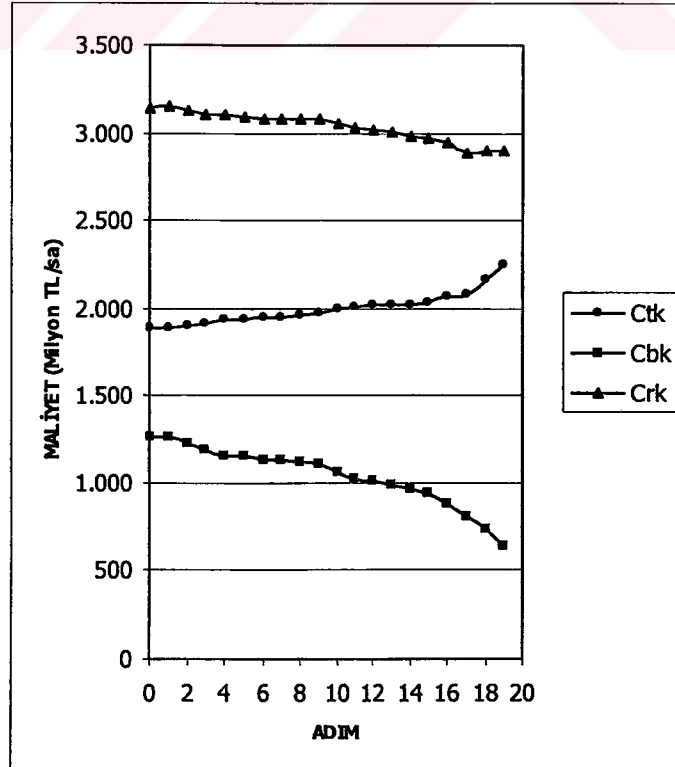
Çizelge 3.17 (Sayısal uygulama-1)'de adım adım hatların elenmesi

ADIM	Elenecek Hat	Atama Yapılacak Hat	Sistem Mal.
			Mil. TL/sa
Başlangıç	E-103-113	K-103-113	4.225
1	E-110-113;K-105-114	K-110-113;K-110-114	4.198
2	E-105-110	K-105-110	4.137
3	E-101-105;K-105-113	K-101-105;K-110-113	4.097
4	K-103-105	K-103-110	4.025
5	E-113-114	K-113-114	4.007
6	K-101-103	K-101-110	3.978
7	E-103-105	K-103-110	3.956
8	E-105-114	K-113-114	3.961
9	E-103-110	K-103-110	3.944
10	K-103-113	K-113-114	3.908
11	E-101-103	K-101-105	3.859
12	E-105-113	K-110-113	3.853
13	E-101-114	K-101-114	3.838
14	E-103-114	K-101-114	3.817
15	E-110-114	K-110-114	3.785
16	E-101-113	K-101-113	3.759
17	E-101-110	K-101-110	3.705
18	K-101-105	K-101-110	3.729
19	YOK	YOK	3.789



Şekil 3.5 (Sayısal uygulama-1)'de adım adım maliyetlerin değişimi

Durakta bekleme maliyetinin etkisi (en alttaki eğri) daha fazla olduğundan, toplam kullanıcı maliyeti (en üstteki eğri) daha düşük bir eğilimle de olsa azalmaktadır (Şekil 3.6).



Şekil 3.6 (Sayısal uygulama-1)'de adım adım kullanıcı maliyeti bileşenlerinin değişimi

3.4.2.2 Sayısal Uygulama-2

Bu uygulamada ilkinden farklı olarak tek duraktan-tek durağa yolculukların daha fazla olduğu bir talep matrisi kullanılacaktır. Talebin dağılımı mekansal olarak üniformalıktan uzaktır. Belirli O-D çiftleri arasında diğerlerinden çok daha büyük üretim ve çekim vardır. Talep, yine hipotetik olarak üretilmiştir.

Bu örnekte, ilkinin aksine bazı O-D çiftleri arasında yolculuk olmamasına izin verilmiştir. Çizelge 3.18 incelendiğinde talep matrisinin köşegeni dışında da bazı hücrelerinin sıfır olduğu görülecektir. Bu durum sezgisel yöntemin kabullerini ifade belirlerken gündeme gelmişti (Bölüm 3.4.1.2). Ancak yapılan denemeler sonunda görülmüştür ki, en genel durumu yansıtmış olmaktan öte bir katkı sağlamamaktadır. Aksine, matriste bazı hücrelerin boş olması, bazı seçenekleri, daha iterasyonun başında saf dışı bıraktığı için, çözüm adım sayısının kısaltmasına yardımcı olmakta ve sonuca daha çabuk ulaşılmasını sağlamaktadır.

Çizelge 3.18 (Sayısal uygulama-2)'de kullanılan başlangıç talep matrisi

O \ D	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114
101	0	1	72	30	142	33	50	150	27	150	10	10	45	0
102	6	0	5	28	30	21	50	45	20	14	9	5	5	0
103	67	4	0	3	101	29	39	114	38	81	5	6	9	25
104	55	20	7	0	4	11	17	38	20	24	5	7	5	10
105	394	39	242	4	0	5	17	53	30	47	2	8	10	17
106	75	25	33	19	2	0	4	20	15	17	0	0	0	15
107	95	23	45	34	23	5	0	3	5	11	0	0	0	15
108	300	22	170	48	170	25	6	0	0	13	0	0	0	18
109	75	10	45	24	22	16	10	3	0	0	0	0	0	25
110	300	8	310	18	250	23	14	10	0	0	0	0	0	235
111	45	10	10	10	6	0	0	0	0	0	0	0	5	0
112	60	15	10	15	51	0	0	0	0	0	3	0	1	0
113	250	10	19	8	75	0	0	0	0	0	10	0	0	0
114	0	0	10	5	5	2	13	21	15	71	0	0	0	0

5.979

Duraklar arası mesafeler matrisi, durak aralıkları ve başlangıç duraklama sayıları ile ilgili bilgiler ilk örnektekinin aynıdır (Çizelge 3.7, Çizelge 3.8, Çizelge 3.9). Ayrıca ilk örnekteki tek bölgeli, iki bölgeli ve üç bölgeli hat grupları da burada aynen kullanılmıştır. Örnek olması açısından, bu uygulamada da optimum çözüme ulaşılan adıma ait ara duraklarda duraklama sayılarını gösteren matris verilmiştir (Çizelge 3.19).

Çizelge 3.19 (Sayısal uygulama-2)'de uygun çözüm için hatlardaki ara duraklarda duraklama sayıları (11. adım)

O \ D	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114
101	0	0	0	1	0	2	3	4	5	0	4	5	0	0
102	0	0	0	0	1	1	2	3	4	5	3	4	5	0
103	0	0	0	0	0	1	2	3	4	0	2	3	4	0
104	1	0	0	0	0	0	1	2	3	4	0	1	2	1
105	0	1	0	0	0	0	1	2	3	0	0	1	0	2
106	2	1	1	0	0	0	0	1	2	3	0	1	2	3
107	3	2	2	1	1	0	0	0	1	2	1	2	3	4
108	4	3	3	2	2	1	0	0	0	1	2	3	4	5
109	5	4	4	3	3	2	1	0	0	0	3	4	5	6
110	0	5	0	4	0	3	2	1	0	0	4	5	0	0
111	4	3	2	0	0	0	1	2	3	4	0	0	1	0
112	5	4	3	1	1	1	2	3	4	5	0	0	0	1
113	0	5	4	2	0	2	3	4	5	0	1	0	0	0
114	0	0	0	1	2	3	4	5	6	0	0	1	0	0

Olası ekspres hatlarının O-D çiftleri arasındaki talep değerlerini belirlediği matris aşağıda verilmiştir. Çizelge 3.20'deki matrisin toplamı değeri önceki uygulamadakilere çok daha fazladır. 1. örnekte başlangıçta ekspres hat yolcuları tüm talebin %26'sı iken bu uygulamada %49 düzeyindedir. Ekspres potansiyelinin yüksek olduğu buradan da anlaşılmaktadır.

Çizelge 3.20 Başlangıç olası ekspres hatlara ait talep matrisi (Sayısal uygulama-2)

O \ D	101	103	105	110	113	114
101	0	72	142	150	45	0
103	67	0	101	81	9	25
105	394	242	0	47	10	17
110	300	310	250	0	0	235
113	250	19	75	0	0	0
114	0	10	5	71	0	0

2.927

Sezgisel çözüm algoritması çalıştırıldıktan sonra elde edilen sonuçlar Çizelge 3.21 ve Çizelge 3.22'de sunulmuştur. İlk başlangıç çözümünü veren hat konfigürasyonu, diğeri ise optimum çözümü veren durumdur. Bu örnekte, algoritma 12 adım ilerletilmiş, optimum çözüme 11. adımda ulaşılmıştır. İterasyon sayısı yukarıda değinildiği gibi ilk örneğe göre azalmıştır. Kullanıcı, işletmeci ve sitem maliyeti ile ilgili değişimler Çizelge 3.23'de, kullanıcı sürelerinin değişimi Çizelge 3.24'de, kullanıcı maliyeti bileşenlerindeki değişim Çizelge 3.25'de görüldüğü gibidir.

Çizelge 3.21 (Sayısal uygulama-2)'de başlangıç çözümü sonuçları

Hat Adı	n	L _r	Q _r	A _{maks}	t _r	h _r	f _r	F _r	C _{rl}	G _{rl}	Z _{rl}	t _{dk}		T _{dk}	T _{bk}		T _{rk}	C _{rk}	C _r
												Şif. sür. dak	Şif. sür. dak		Toplam durakta bek. sür. dak	Toplam taşıta ylc. sür. dak			
E-101-103	2	3,30	139	72	21	30	2	1	15,7	29,2	-13,5	6	15	21	834	2085	2919	65,0	80,7
E-101-105	4	6,60	536	394	33	11	5	4	62,8	112,6	-49,8	11	6	17	5896	2948	8844	196,9	259,7
E-101-110	9	14,85	450	300	61	15	4	5	78,5	94,5	-16,0	25	8	33	11250	3375	14625	325,7	404,2
E-101-113	7	11,55	295	250	50	18	3	3	47,1	62,0	-14,9	20	9	29	5900	2655	8555	190,5	237,6
E-101-114	3	4,95	0	0	27	0	0	0	0,0	0,0	0,0	8	0	8	0	0	0	0,0	0,0
E-103-105	2	3,30	343	242	21	18	3	2	31,4	72,0	-40,6	6	9	15	2058	3087	5145	114,6	146,0
E-103-110	7	11,55	391	310	50	14	4	4	62,8	82,1	-19,3	20	7	27	7820	2737	10557	235,1	297,9
E-103-113	5	8,25	28	19	38	30	2	2	31,4	5,9	25,5	14	15	29	392	420	812	18,1	49,5
E-103-114	1	1,65	35	25	16	30	2	1	15,7	7,4	8,4	3	15	18	105	525	630	14,0	29,7
E-105-110	5	8,25	297	250	38	18	3	3	47,1	62,4	-15,3	14	9	23	4158	2673	6831	152,1	199,2
E-105-113	3	4,95	85	75	27	30	2	1	15,7	17,9	-2,2	8	15	23	680	1275	1955	43,5	59,2
E-105-114	3	4,95	22	17	27	30	2	1	15,7	4,6	11,1	8	15	23	176	330	506	11,3	27,0
E-110-113	8	13,20	0	0	55	0	0	0	0,0	0,0	0,0	23	0	23	0	0	0	0,0	0,0
E-110-114	8	13,20	306	235	55	19	3	3	47,1	64,3	-17,2	23	10	33	7038	2907	9945	221,4	268,5
E-113-114	6	9,90	0	0	44	0	0	0	0,0	0,0	0,0	17	0	17	0	0	0	0,0	0,0
K-101-103	2	3,30	16	6	24	30	2	1	15,7	3,4	12,3	15	15	48	240	288	288	6,4	22,1
K-101-105	4	6,60	202	114	42	30	2	2	31,4	42,4	-11,0	15	15	1751	3030	4781	106,5	137,9	
K-101-110	9	14,85	1043	633	85	7	8	13	204,1	219,0	-14,9	4	4	22908	3651	26558	591,4	795,5	
K-101-113	7	11,55	210	160	68	28	2	3	47,1	44,1	3,0	14	14	3438	2940	6378	142,0	189,1	
K-101-114	3	4,95	0	0	33	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0	0	0	0	0	0	0,0	0,0
K-103-105	2	3,30	18	7	24	30	2	1	15,7	3,8	11,9	15	15	54	270	324	324	7,2	22,9
K-103-110	7	11,55	766	436	68	10	6	7	109,9	160,9	-51,0	5	5	12577	3830	16407	365,3	475,2	
K-103-113	5	8,25	50	33	50	30	2	2	31,4	10,5	20,9	15	15	481	750	1231	27,4	58,8	
K-103-114	1	1,65	0	0	16	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0	0	0	0	0	0	0,0	0,0
K-105-110	5	8,25	522	286	50	15	4	4	62,8	109,6	-46,8	8	8	5502	3915	9417	209,7	272,5	
K-105-113	3	4,95	86	64	33	30	2	2	31,4	18,1	13,3	15	15	591	1290	1881	41,9	73,3	
K-105-114	3	4,95	15	10	33	30	2	2	31,4	3,2	28,3	15	15	90	225	315	7,0	38,4	
K-110-113	8	13,20	0	0	76	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0	0	0	0	0	0	0,0	0,0
K-110-114	8	13,20	124	73	76	30	2	3	47,1	26,0	21,1	15	15	2381	1860	4241	94,4	141,5	
K-113-114	6	9,90	0	0	59	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0	0	0	0	0	0	0,0	0,0
Ekspres			2.927				35	30	471	614,7	-143,7				46.307	25.017	71.324	1.588	2.059
Klasik			3.052				34	40	628	640,9	-12,9				49.820	22.001	71.820	1.599	2.227
Toplam			5.979				69	70	1.099	1.256	-157				96.127	47.018	143.144	3.187	4.286

Çizelge 3.22 (Sayısal uygulama-2)'de uygun çözüm sonuçları (11. adım)

Hat Adı	n	L _r Hat uz. km	Q _r Yolcu sayısı yıl/sa	A _{maks} Maksimum kesitteki yolcu say. yolcu/sa	t _r Sef. sür. dak	h _r Taşıt takip aralığı dak	f _r Sefer sayısı sef/sa	F _r Taşıt sayısı tş/sa	C _r İşletmeci Maliyeti Mil.TL/sa	G _r İşletmeci Geliri Mil.TL/sa	Z _r İşletmeci Zararı Mil.TL/sa	t _{tk} Taşıtta y/c. sür. dak	t _{bk} Dur. bekl. sür. dak	t _k Y/c. sür. dak	T _{tk} Toplam taşıtta y/c. sür. yıl-dak	T _{bk} Toplam durakta bek. sür. yıl-dak	T _{rk} Toplam y/c. sür. yıl-dak	C _{rk} Kullanıcı Maliyeti Mil.TL/sa	C _r Sistem Maliyeti Mil.TL/sa
E-101-103	2	3,30	139	72	21	30	2	1	15,7	29,2	-13,5	6	15	21	834	2085	2919	65,0	80,7
E-101-105	4	6,60	536	394	33	11	5	4	62,8	112,6	-49,8	11	6	17	5896	2948	8844	196,9	259,7
E-101-110	9	14,85	450	300	61	15	4	5	78,5	94,5	-16,0	25	8	33	11250	3375	14625	325,7	404,2
E-101-113	7	11,55	295	250	50	18	3	3	47,1	62,0	-14,9	20	9	29	5900	2655	8555	190,5	237,6
E-101-114	3	4,95	0	0	27	0	0	0	0,0	0,0	0,0	8	0	8	0	0	0	0,0	0,0
E-103-105	2	3,30	343	242	21	18	3	2	31,4	72,0	-40,6	6	9	15	2058	3087	5145	114,6	146,0
E-103-110	7	11,55	391	310	50	14	4	4	62,8	82,1	-19,3	20	7	27	7820	2737	10557	235,1	297,9
E-103-113	5	8,25	0	0	38	0	0	0	0,0	0,0	0,0	14	0	14	0	0	0	0,0	0,0
E-103-114	1	1,65	0	0	16	0	0	0	0,0	0,0	0,0	3	0	3	0	0	0	0,0	0,0
E-105-110	5	8,25	297	250	38	18	3	3	47,1	62,4	-15,3	14	9	23	4158	2673	6831	152,1	199,2
E-105-113	3	4,95	0	0	27	0	0	0	0,0	0,0	0,0	8	0	8	0	0	0	0,0	0,0
E-105-114	3	4,95	0	0	27	0	0	0	0,0	0,0	0,0	8	0	8	0	0	0	0,0	0,0
E-110-113	8	13,20	0	0	55	0	0	0	0,0	0,0	0,0	23	0	23	0	0	0	0,0	0,0
E-110-114	8	13,20	306	235	55	19	3	3	47,1	64,3	-17,2	23	10	33	7038	2907	9945	221,4	268,5
E-113-114	6	9,90	0	0	44	0	0	0	0,0	0,0	0,0	17	0	17	0	0	0	0,0	0,0
K-101-103	2	3,30	0	0	24	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0	0	0	0	0	0	0,0	0,0
K-101-105	4	6,60	202	114	42	30	2	2	31,4	42,4	-11,0	15	15	1751	3030	4781	106,5	137,9	
K-101-110	9	14,85	1059	637	85	7	8	13	204,1	222,4	-18,3	4	4	24520	3707	28227	628,5	832,6	
K-101-113	7	11,55	454	344	68	13	4	6	94,2	95,3	-1,1	7	7	6602	2951	9553	212,7	306,9	
K-101-114	3	4,95	0	0	33	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0	0	0	0	0	0	0,0	0,0
K-103-105	2	3,30	0	0	24	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0	0	0	0	0	0	0,0	0,0
K-103-110	7	11,55	784	440	68	10	6	7	109,9	164,6	-54,7	5	5	12631	3920	16551	368,5	478,4	
K-103-113	5	8,25	0	0	50	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0	0	0	0	0	0	0,0	0,0
K-103-114	1	1,65	0	0	16	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0	0	0	0	0	0	0,0	0,0
K-105-110	5	8,25	522	286	50	15	4	4	62,8	109,6	-46,8	8	8	5502	3915	9417	209,7	272,5	
K-105-113	3	4,95	0	0	33	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0	0	0	0	0	0	0,0	0,0
K-105-114	3	4,95	0	0	33	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0	0	0	0	0	0	0,0	0,0
K-110-113	8	13,20	0	0	76	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0	0	0	0	0	0	0,0	0,0
K-110-114	8	13,20	196	125	76	30	2	3	47,1	41,2	5,9	15	15	3399	2940	6339	141,1	188,2	
K-113-114	6	9,90	0	0	59	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0	0	0	0	0	0	0,0	0,0
Ekspres			2.757				27	25	392,5	579,0	-186,5				44.954	22.467	67.421	1.501	1.894
Klasik			3.222				26	35	549,5	675,6	-126,1				54.404	20.463	74.866	1.667	2.217
Toplam			5.979				53	60	942	1.255	-313				99.358	42.930	142.287	3.168	4.110

Çizelge 3.23 (Sayısal uygulama-2)'de adım adım maliyet değişimi

ADIM	C_{rl}	C_{rk}	C_r	Açıklama
	Mil. TL/sa	Mil. TL/sa	Mil. TL/sa	
Başlangıç	1.099	3.187	4.286	
1	1.068	3.191	4.259	
2	1.036	3.194	4.230	
3	1.036	3.194	4.230	
4	1.021	3.181	4.202	
5	1.005	3.151	4.156	
6	989	3.182	4.171	
7	973	3.178	4.151	
8	958	3.183	4.141	
9	942	3.189	4.131	İşletmecii maliyeti sabit seyre girdi.
10	942	3.189	4.131	
11	942	3.168	4.110	Uygun çözüme ulaşıldı.
12	989	3.123	4.112	İşl. Maliyeti, ani artış gösteriyor.

Çizelge 3.24 (Sayısal uygulama-2)'de adım adım kullanıcı sürelerinin değişimi

ADIM	T_{tk}	T_{bk}	T_{rk}
	yolcu-dak/sa	yolcu-dak/sa	yolcu-dak/sa
Başlangıç	96.127	47.018	143.144
1	96.313	47.018	143.330
2	96.439	47.018	143.456
3	96.439	47.018	143.456
4	96.976	45.879	142.855
5	96.976	44.570	141.545
6	98.540	44.386	142.926
7	98.540	44.206	142.746
8	98.759	44.206	142.965
9	99.001	44.206	143.206
10	99.001	44.206	143.206
11	99.358	42.930	142.287
12	100.889	39.346	140.235

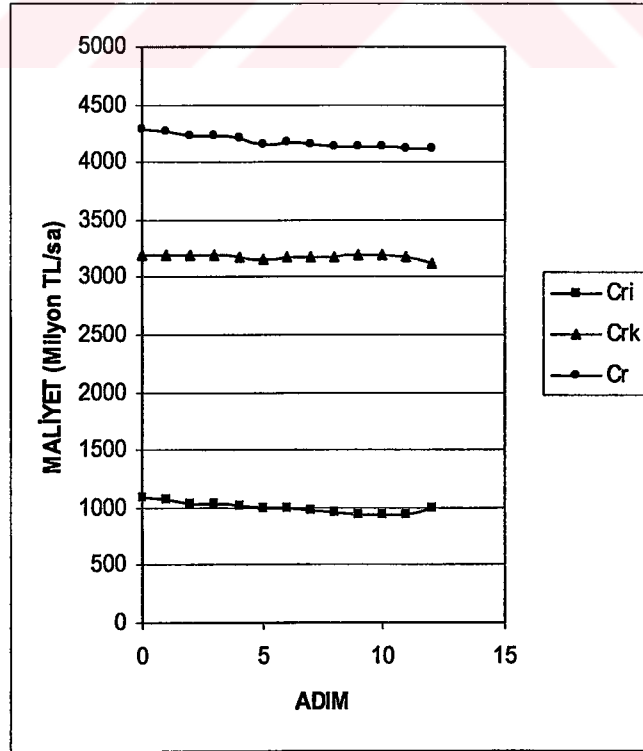
Çizelge 3.25 (Sayısal uygulama-2)'de adım adım kullanıcı maliyeti bileşenlerinin değişimi

ADIM	C_{tk}	C_{bk}	C_{rk}
	Mil. TL/sa	Mil. TL/sa	Mil. TL/sa
Başlangıç	2.140	1.047	3.187
1	2.145	1.047	3.191
2	2.147	1.047	3.194
3	2.147	1.047	3.194
4	2.159	1.022	3.181
5	2.159	992	3.152
6	2.194	988	3.182
7	2.194	984	3.178
8	2.199	984	3.183
9	2.204	984	3.189
10	2.204	984	3.189
11	2.212	956	3.168
12	2.246	876	3.123

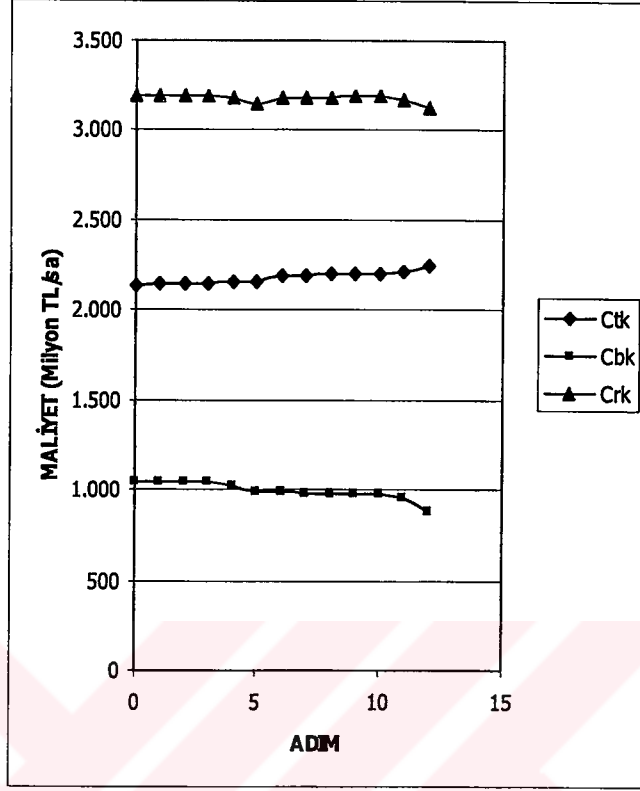
Her bir adımda elenen hatlar ve bu hatların talebinin atandığı yeni hatlar Çizelge 3.26'da gösterilmiştir. 2 adımda K-110-114 hattı ve 9. adımda K-101-113 hattı zorunlu hat oldukları için zararına da çalışmaları kaldırılmamışlardır. Nitekim bu adımlarda eleme olmadığı için sistem maliyetinde de bir değişim olmamıştır. Şekil 3.7'de de zaten ilgili eğrilerdeki durağanlık dikkatten kaçmamaktadır. Aynı durağanlık kullanıcı maliyetlerinin bileşenlerinde de gözlenmektedir (Şekil 3.8, Çizelge 3.24).

Çizelge 3.26 (Sayısal uygulama-2)'de adım adım hat elemesi

ADIM	Elenecek Hat	Atama Yapılacak Hat	Sistem Mal.
			Mil. TL/sa
Başlangıç	K-105-114	K-110-114	4.286
1	E-103-113	K-103-113	4.259
2	K-110-114	ZORUNLU	4.230
3	K-103-113	K-101-113	4.230
4	K-105-113	K-101-113	4.202
5	K-101-103	K-101-110	4.156
6	K-103-105	K-103-110	4.171
7	E-105-114	K-110-114	4.151
8	E-103-114	K-110-114	4.141
9	K-101-113	ZORUNLU	4.131
10	E-105-113	K-101-113	4.131
11	K-101-105	K-101-110	4.110
12	YOK	YOK	4.112



Şekil 3.7 (Sayısal uygulama-2)'de adım adım maliyetlerin değişimi



Şekil 3.8 (Sayısal uygulama-2)'de adım adım kullanıcı maliyeti bileşenlerinin değişimi

Yukarıdaki çizelgeler ve grafikler ışığında bu sayısal uygulama için aşağıdaki saptamalar yapılmıştır:

9. adım sonunda işletme maliyetinin aldığı değer, 10. ve 11. adım sonunda da aynen elde edilmiştir. Buradaki zorunlu hatlar, zararına da olsa kaldırılamamaktadır. Şayet kaldırılırsa, buradaki kullanıcılar ancak aktarma yaparak yolculuk yapabilirler. Çalışmada aktarmalı yolculuklar dikkate alınmadığından zararına da olsa hattın işletilmesine karar verilir.

Algoritma bir adım daha ilerletilirse (12. adım) işletmeci maliyetinde ciddi bir artış olur. Bu artış büyük olduğundan toplam sistem maliyetini de artırmaya başlar. Bu yüzden 11. adım toplam sistem maliyetinin minimum olduğu, uygun çözümdür. Taşıt takip aralığı etkisinden dolayı 11. adımdan sonra kullanıcı maliyeti bir miktar azalma göstermiştir. Ancak kullanıcı maliyeti bu adımda daha büyük artış gösterdiği için toplam sistem maliyeti de artmaya başlamıştır.

3.4.2.3 Sayısal Uygulamalarda Yapılan Bazı Saptamalar

Her iki sayısal uygulama beraberce ele alındığında talep yapısı hakkında şu saptamalarda bulunulmuştur:

Talep yapısından dolayı 1. uygulamada klasik hat işletmeciliği, 2. uygulamada (tek duraktan-tek durağa talep daha fazla olduğundan) ekspres hat işletmeciliği ön plana çıkmıştır. 1. uygulamadaki başlangıç çözümünde (Çizelge 3.12), 25 adet ekspres çalıştırılırken, uygun çözümde (Çizelge 3.13) 3 adet ekspres taşıt çalıştırılmaktadır. 2. uygulamada ise başlangıç çözümünde (Çizelge 3.21) 30 adet ekspres taşıt çalıştırılırken, uygun çözüm konfigürasyonunda (Çizelge 3.22) 25 adet ekspres taşıt kullanılması gerektiği belirlenmiştir.

Duruma bir de hat konfigürasyonundaki işletmecilik şeklini kullanım oranı açısından bakılabilir. 1 uygulamada başlangıç çözümünde ekspres hatları kullanan yolcu oranı %26, klasik hatları kullanan yolcu oranı %74 iken, uygun çözüm konfigürasyonunda bu oranlar sırayla %5 ve %95 olmuştur.

2. uygulamada başlangıç çözümünde ekspres hatları kullanan yolcu oranı %49, klasik hatları kullanan yolcu oranı %51 iken, uygun çözüm konfigürasyonunda bu oranlar sırayla %46 ve %54 olarak elde edilmiştir. Burada çok açık olarak görülmektedir ki talep yapısının hat konfigürasyonu oluşumundaki etkisi çok önemlidir. Yani çok duraktan-çok durağa yapıda daha çok klasik işletmecilik, tek duraktan-tek durağa yapıda daha çok ekspres işletmecilik kullanımı uygundur.

Bulunan sonuçlara bir de kâr-zarar penceresinden bakılacak olursa:

İlk uygulamadaki başlangıç çözümünde işletmecinin net kârı 23 Milyon TL/sa iken, uygun çözümle net kâr 290 Milyon TL/sa'e yükselmiştir. Buradan işletme için gerekli taşıt sayısında bir düşüş olduğu anlaşılıyor. Nitekim toplam taşıt sayılarına bakılırsa (Çizelge 3.12, Çizelge 3.13), 69 taşıttan 52 taşıta düştüğü görülür.

İkinci uygulamada ise, başlangıç çözümündeki işletmecinin net kârı 157 Milyon TL/sa iken, uygun çözümle net kâr 313 Milyon TL/sa'e yükselmiştir (Çizelge 3.21, Çizelge 3.22). Gerekli toplam taşıt sayısı ise, başlangıçta 70 iken, optimum noktada 60' düşürülmüştür.

Her iki uygulamadaki maliyet bileşenleri toplu olarak gözden geçirildiğinde bazı değişimler dikkati çekmektedir (Çizelge 3.27, Çizelge 3.28). İlk uygulamada uygun çözüme ulaşıldığında toplam işletmeci maliyeti %33 oranında düşmüştür, bu oran ikinci uygulamada %14 düzeyindedir. Kullanıcıların durakta bekleme maliyeti ilk örnekte %57'lik bir düşüş gösterirken, ikinci uygulamada bu düşüş %9 olarak çok daha az gerçekleşmiştir. Bununun yanı sıra taşıtta geçen sürelerin maliyeti ilk uygulamada %10 artarken, ikincisinde % 3 düzeyinde artış göstermiştir.

Kullanıcı maliyetinin bileşenlerindeki ters yöndeki ilişkide, durakta bekleme maliyeti daha ağırlıklı olduğundan toplam kullanıcı maliyetinde her iki durumda da düşüş olmuştur. Düşüş miktarının düzeyleri, farklı talep yapılarına sahip olmalarından kaynaklanmaktadır.

Toplam sistem maliyeti de bunlara paralel bir azalma göstermiştir. İlk uygulamada başlangıç ve uygun çözümler arasındaki oransal fark, diğer uygulamaya göre daha fazladır. Bu noktada talep yapısına göre (Özellikle tek duraktan-tek durağa yolculukların ağırlıkta olduğu yapılar) başlangıç durumlarda da etkili çözümler sunulabileceği düşüncesi doğmuştur.

Çizelge 3.27 Başlangıç ve son durumda maliyetler

	C_{ri}	C_{tk}	C_{bk}	C_{rk}	C_r
	Mil. TL/sa	Mil. TL/sa	Mil. TL/sa	Mil. TL/sa	Mil. TL/sa
Sayısal uygulama-1					
Başlangıç çözümü	1.083	1.883	1.259	3.142	4.225
Uygun çözüm	816	2.086	803	2.889	3.705
Sayısal uygulama-2					
Başlangıç çözümü	1.099	2.140	1.047	3.187	4.286
Uygun çözüm	942	2.212	956	3.168	4.110

Çizelge 3.28 Başlangıç ve son durumda maliyetlerin değişimi

	C_{ri}	C_{tk}	C_{bk}	C_{rk}	C_r
Sayısal uygulama-1					
Değişim miktarı (%)	-33	10	-57	-9	-14
Sayısal uygulama-2					
Değişim miktarı (%)	-14	3	-9	-1	-4

4. SONUÇLAR ve DEĞERLENDİRME

Önerilen sezgisel yöntemle toplam sistem maliyetini optimize eden uygulanabilir çözümler elde edilmiştir. Birbiriyle çatışan işletmeci ve kullanıcı amaçlarının belirli düzeyde bağdaştırılabileceği görülmüştür.

Yöntem, ekspres ve klasik hatlarda farklı ortalama hızlar kullanılarak, durak aralıkları değiştirilerek ve farklı ücret politikaları uygulanarak da çözüme ulaşmaya uygundur.

Model, ağaç gövdesi şeklindeki bir taşıma şebekesinde tek taraftan dallanma durumu için uygulanmıştır. Daha karmaşık ve çift taraftan dallanan şebekeler için de uygulanabilir. Ayrıca şebeke yapısı, ızgara (grid), radyal ve kompozit olan şebekelere uygulanma potansiyeli de vardır.

Çözümler farklı talep yapıları için denenmiştir. Talebin yapısı, yani ne şekilde dağıldığı özellikle maliyet ve toplam yolculuk sürelerini etkilemektedir. İlk olarak “çok duraktan-çok durağa” (Many to Many) taleplerin bulunduğu şebeke incelenmiştir. Daha sonra bu yapı “çok duraktan-tek durağa” (Many to One) ve “tek duraktan-tek durağa” (One to One) yapılarına dönüştürülmüştür. Özellikle ekspres hatlar yardımıyla yolculuk sürelerinde kazançlar sağlanmıştır. “Tek duraktan-tek durağa” yolculukların çoğunlukta olduğu uygulamada toplam kullanıcı maliyetlerinde önemli düşüşler gözlenmiştir.

Modelde teorik olarak işletmeci maliyetlerinde düşüş öngörülürken, buna karşılık kullanıcı maliyetlerinde daha düşük düzeyde de olsa bir artış beklenmiştir. Sezgiselin her aşamasında bunu destekler bir maliyet değişimi aranmıştır. Ancak işletmeci maliyetleri düşerken daha düşük bir eğilimle de olsa kullanıcı maliyetleri de düşme göstermiştir. İlginç olan bu sonuç analiz edildiğinde, bunun kullanıcı maliyetindeki “yolcunun durakta bekleme maliyeti” teriminden kaynaklandığı belirlenmiştir. Sezgisel çözüm yönteminde uygun olmayan bir hat iptal edilip, bu hattın talebi uygun başka bir hatta yüklendiğinde, yeni hattaki ilave talep artışından dolayı, taşıt takip aralığı düşmektedir. Bu düşme etkisi taşıtta harcanan sürelerden daha büyük olduğu için, toplam kullanıcı süresinde bir düşüşe neden olmaktadır. Yani beklendiği gibi taşıttaki yolculuk süresi az da olsa artmakta, ancak durakta bekleme süresi bu artıştan daha fazla azalmaktadır.

Sunulan modelin düşünce yapısının dışında kaldığından, ara duraklı ekspres uygulanmamıştır. Ara duraklı ekspres çözümler için daha farklı bir yaklaşımla model geliştirmek mümkündür. Bu çalışmada, 1-1 ekspres işletmecik önerilerek seyahat süresi (yolcuların ara duraklarda iniş-binişinin neden olduğu kayıp sürelerden kaynaklanan) azaltılmıştır. Ara duraklı ekspres hizmeti sunmak için farklı O-D çiftlerinden oluşan hatların tekrar birleştirilmesi gerekir. Bu durum da düşürülmüş olan işletme maliyetleri tekrar artma eğilimine girebilir. Maliyet artışının düzeyi diğer bir çalışmanın konusu olacağı için burada değinilmemiştir.

Uzun hatların bazı kesimlerinde yolculuk talebinin olmamasından kaynaklanan atıl taşıt-km miktarı fazladır. Yani bu kesimlerde ya otobüs işletilmesi gerekli değildir ya da az sayıdaki yolcuya bir hizmet sunabilmiş olmak için düşük frekanslı servisler konulabilir. Yolcu açısından ise kendisini ilgilendirmeyen bir kesimde seyahat ettiği için yolculuk süresi artar ve toplu taşıma sisteminde ihtiyacından daha fazla kalmış olur. Bir bakıma istemediği bir gecikmeye maruz hale gelir. Bu durumlarda, gereğinden fazla uzun olan hatlar, yolculuk talebinin yapısına ve sunulacak hizmet düzeyine göre rehabilite edilerek, daha olumlu ve uygun sonuçlar elde edilebilir.

Diğer yandan sistemdeki toplam yolcu-dakikanın iki ana bileşeni olduğu gözden uzak tutulmamalıdır. İlki yolcuların taşıtta harcadıkları hareketli süre ile taşıt durakta durduğunda harcadıkları sürenin toplamı, diğeri ise durakta otobüs beklerken geçen süredir. İlk bileşenin önerilen modelle azaltıldığı yukarıda belirtilmişti. İkinci bileşen ise seçilen σ katsayısına göre değişim göstermektedir. Sabah zirve saat yolculuklarının karakteristiğinden dolayı σ katsayısı daha düşük değerlerde alınarak, kullanıcı maliyetlerini daha da düşürme imkânı vardır. Bu hesaplamayla daha olumlu sonuçlar alınabilir.

Modelde kullanıcıların direkt (aktarmasız) yolculuk yapmalarının öngörüldüğü bir çözüm geliştirilmiştir. Modelin çözüm algoritmasında az bir değişiklik yapılarak aktarmalı alternatiflerin de araştırılma potansiyeli vardır. Ancak kullanıcı maliyetlerinin arasına, aktarma maliyetlerinin de ilave edilmesi gerekir. Bu durumda toplam maliyetin ne şekilde değişim göstereceği iyi analiz edilmelidir. Model, aktarmalı yolculuk seçeneğini de içerecek şekilde geliştirilirse daha sonra çok türlü (multi-modal) taşımacılık planlamasında da kullanılabilir.

Model kurulduktan sonra küçük bir şebekede yapılan uygulamaların verdiği sonuçların olumlu olduğuna başlangıçta değinilmişti. Modelin daha büyük şebekelerde uygulanabilmesi için bazı basitleştirmeler yapılabilir. Mesela, modelde kullanılan talep duraktan-durağa şeklinde idi. Büyük şebekelerde durak sayısı artacağı için talebi belli durak grupları için birleştirerek kullanmak daha akılcı olabilir. Bu durumda duraklarda bir bakıma toplulaştırma önerilmektedir. Model pratik olarak İstanbul'da Boğaziçi'ne paralel sahil koridorlarında, O-1 ve O-2 otoyollarının belirli kesimlerinde ve İstanbul'da denize paralel bir çok koridorda uygulanma potansiyeline sahiptir. Önümüzdeki dönemlerde sözü edilen kesimler için imkanlar ölçüsünde bu konu ile ilgili uygulamalar yapılması düşünülmektedir. Modelin daha büyük ve karmaşık şebekelerde uygulanabilmesi için kuvvetli bir bilgisayar yazılımı geliştirilmesi gereklidir. Bu tür bir yazılım, çözüm süresini kısaltmada ziyadesiyle etkili olacağı umulmaktadır.

Model kurulduktan sonra gerçek hayattan bir şebekede uygulanması düşünülmüş, ancak gerçekleştirilememiştir. Burada özellikle toplulaştırma sistemleri ile ilgili veri gereksinimi ön plana çıkmıştır. Yetkililerle yapılan görüşmelerde, veri sorununun tahmin edilenden daha kötü durumda olduğu gözlenmiştir. Otobüs taşımacılığı için İstanbul'da kullanılabilir ve sağlıklı veriler çok kısıtlı olduğu için kullanma imkanı da olmamıştır. Bu konudaki girişimlerimiz ve çalışmalarımız da istenilen düzeyde sonuç vermemiştir. Tezin konusuna dahil olmamakla birlikte, Ülkemiz toplulaştırma sistemlerinin planlanmasında ve işletilmesinde veri toplanması ve kullanımı konusunda acil önlemler almak gerekliliğini burada bir defa daha belirtmekte yarar vardır.

Günümüzde bir çok ülkede toplulaştırma işletmeleri yerel yönetimlerce, bazı ülkelerde ise bunu yanında merkezi hükümetlerce sübvansiyon edilmektedir. Modelde gelir-gider hesaplarında belirli bir sübvansiyon oranı kullanılmamıştır. Sübvansiyon oranlarının da dahil edildiği bir hesaplamayla sistemdeki değişiklikler incelenebilir.

Ekspres hatlarda, ara duraklarda duruşa izin verilmemesinden kaynaklanan maliyet düşüşleri bu çalışmada dikkate alınmamıştır. Özellikle çok ara duraklı hatlarda yapılan ekspres taşımacılıkla taşıtların harcadıkları yakıtta düşme söz konusudur (Özkan, 1998). İETT'nin değişik yıllardaki bilançoları incelendiğinde genelleştirilmiş maliyet içindeki ortalama yakıt maliyeti yüzdesini belirlemek mümkündür (İETT, 1997, 1998, 1999, 2000, Ek 1). Bu

durumun hesaba katılmasıyla ilave maliyet düşüşü sağlanarak model gerçek hayata daha da yaklaştırılabilir.

Sezgisel algoritmanın farklı adımlarında elde edilen çözümlerde, hatların uzunlukları ve talepleri incelendiğinde çeşitli kâr ve zarar ilişkileri belirlenmiştir. Mesela, bir işletme kısa hatlarda çok yolcu taşırsa taşıt filosu büyük de olsa kârlı bir hizmet sunar. Uzun hatlarda çok yolcu taşırsa yine kârlı bir hizmet sunabilir. Ancak kârın düzeyi bu sefer düşer. Aynı şekilde, uzun hatlarda az yolcu taşınırsa, genelde zarar edilir. Buna karşın kısa hatlarda az yolcu taşınırsa yine zarar etme ihtimali vardır. Fakat bu sefer de zararın düzeyi düşük olacaktır. Bu konu daha detaylı olarak incelenmeye değer bulunmuştur.

Son olarak da, daha çok zirve saat işletmeciliğindeki (özellikle sabah zirve saatleri) problemleri çözmeye yönelik bir yaklaşım sunan bu çalışmanın, zirve dışı periyodlara uyarlanması ve de nasıl sonuçlar vereceğinin araştırılmasında fayda görülmektedir. Böyle bir çalışmada zirve dışı yolculuk talebinin çok iyi analiz edilmesi gerektiği düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- Acar, İ. H. ve Öncü, E., (1995), "İstanbul'da Toplu Taşıma Ücret ve Bilet Sistemlerinin Yeniden Yapılanması Projesi", 3. Ulaştırma Kongresi Bildiriler Kitabı, İMO İstanbul Şubesi, 5-7 Haziran 1995, İstanbul, 41-68.
- Adebisi, O., (1980), "A Theoretical Travel-Time Model for Flexible-Route Buses", *Transportation Research-B*, 14B: 319-330.
- Akarçay, V., (1990), "Kentiçi Ulaşımında İETT Otobüs İşletmeciliği", 3. Toplu Taşıma Kongresi, EGO Genel Müdürlüğü, 13-15 Haziran 1990, Ankara, 207-215.
- Akyılmaz, Ö., (1979), "Kentsel Toplu Taşıma Politikasının Temel İlkeleri", 2. Toplu Taşıma Kongresi, EGO Genel Müdürlüğü, 3-6 Aralık 1979, Ankara, 301-309.
- Alpöge, A., (1974), "Ulaşım Olayına Sistem Yaklaşımı", İMO Türkiye Mühendislik Haberleri Dergisi, 233: 10-17, İstanbul.
- Alpöge, A., (1978), "Toplu Taşımacı Politika Açısından Ulaşım Plancılığı", 1. Toplu Taşıma Kongresi, EGO Genel Müdürlüğü, 11-14 Aralık 1978, Ankara, 17-37.
- Beygo, B., Kocaoğlu, G., Birant, İ. Ve Altınlıgil, C., (2000), Boğaziçi Sahil Hatlarında Otobüsle Toplu Taşımacılığın İncelenmesi, YTÜ İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde yapılan bitirme projesi.
- Black, A., (1962), "A Method for Determining the Optimal Division of Express and Local Rail Transit Service", *HRB Bulletin* 347, 106-120.
- Black, A., (1995), *Urban Mass Transportation Planning*, McGraw-Hill, Inc., Singapore, ISBN 0-07-113950-8.
- Byrne, B. F., (1976), "Cost Minimizing Positions, Lengths and Headways for Parallel Public Transit Lines Having Different Speeds", *Transportation Research*, 10: 209-214.
- Byrne, B. F., ve Vuchic, V. R., (1971), "Public Transportation Line Positions and Headways for Minimum Cost" *Proc., 5th Int. Symp. on the Theory of Traffic Flow and Transportation*, 347-360.
- Ceder, A. ve Stern, H. I., (1981), "Deficit Function Bus Scheduling with Deadheading Trip Intersections for Fleet Size Reduction", *Transportation Science*, 15(4): 338-363.
- Ceder, A. ve Wilson, N. H. M., (1986), "Bus Network Design", *Transportation Research-B*, 20B(4): 331-344.
- Chang, S. K. ve Schonfeld, P. M., (1991a), "Multiple Period Optimization of Bus Transit Systems", *Transportation Research-B*, 25B(6): 453-478.
- Chang, S. K. ve Schonfeld, P. M., (1991b), "Integration of Fixed-and Flexible-Route Bus Systems", *Transportation Research Record* 1308, 51-57.
- Chang, S. K. ve Schonfeld, P. M., (1993), "Optimal Dimensions of Bus Service Zones", *Journal of Transportation Engineering*, 119(4): 567-585.

- Chang, S. K., (1990), Analytic Optimization of Bus Systems in Heterogeneous Environments, Ph.D. dissertation, UMCP-TSC-DS-90-2, Dept. of Civil Engineering, University of Maryland, College Park, Md. 20742.
- Clarens, C. C. ve Hurdle, V. F., (1975), "An Operating Strategy for a Commuter Bus System", *Transportation Science*, 9: 1-20.
- Çalışkan, F., (1994), Belediye Otobüs İşletmeciliğinde Sefer Tarifesinin Belirlenmesine Yönelik Bir Matematiksel Model Önerisi-Kayseri Uygulaması, Doktora Tezi, Erciyes Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü (yayımlanmamış).
- Eisele, D. O., (1968), "Application of Zone Theory to a Suburban Rail Transit Network", *Traffic Quarterly*, January: 49-67.
- Eisele, D. O., (1978), "Zone Theory of Suburban Rail Transit Operations: Revisited", *Traffic Quarterly*, 4-22.
- Erel, A., (1995), "Ulaştırma Planlamasında Talep-Sunu İlişkileri", 3. Ulaştırma Kongresi Bildiriler Kitabı, İMO İstanbul Şubesi, 5-7 Haziran 1995, İstanbul, 81-92.
- Erel, R., (1995), Taşıt Rotalaması ve Çizelgelemesi-Otobüsle Kentlerarası Yolcu Taşımacılığı İçin Bir Model, Doktora Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, ISBN 975-461-021-5.
- Furth, P. G., (1985), "Alternating Deadheading in Bus Route Operations", *Transportation Science*, 19(1): 13-28.
- Furth, P. G., (1986), "Zonal Route Design for Transit Corridors", *Transportation Science*, 20(1): 1-12.
- Gray, G. E. ve Hoel, L. A., (1992), *Public Transportation*, Prentice-Hall, Inc., 2. ed., New Jersey, ISBN 0-13-726381-3.
- Gursoy, M., (1997), Tamamlanmamış doktora tezi notları.
- Hendrickson, C. T., (1981), "Travel Time and Volume Relationships in Scheduled, Fixed-Route Public Transportation", *Transportation Research-A*, 15A: 173-182.
- Hurdle, V., (1973), "Minimum Cost Locations for Parallel Public Transit Lines", *Transportation Science*, 7: 340-350.
- Hutchinson, B. G., (1974), *Principles of Urban Transport Systems Planning*, Scripta Book Company, Washington.
- Imam, M. O., (1998), "Optimal Design of Public Bus Services with Demand Equilibrium", *Journal of Transportation Engineering*, ASCE, 124(5): 431-436.
- İETT Genel Müdürlüğü, (1990), "İETT Hat Rasyonalizasyon Etüdü", 3. Toplutaşım Kongresi, EGO Genel Müdürlüğü, 13-15 Haziran 1990, Ankara, 373-385.
- İETT Genel Müdürlüğü, (1997), 1998 Yılı Bütçesi, İETT Matbaası, İstanbul.
- İETT Genel Müdürlüğü, (1998), 1998 Senesi Bilançosu ve İşletme Neticeleri, İETT Matbaası, İstanbul.
- İETT Genel Müdürlüğü, (1998), 1999 Yılı Bütçesi, İETT Matbaası, İstanbul.
- İETT Genel Müdürlüğü, (1999), 1999 Senesi Bilançosu ve İşletme Neticeleri, İETT Matbaası, İstanbul.

İETT Genel Müdürlüğü, (1999), 2000 Yılı Bütçesi, İETT Matbaası, İstanbul.

İETT Genel Müdürlüğü, (2000), 2001 Yılı Bütçesi, İETT Matbaası, İstanbul.

Jordan, W. C., ve Turnquist, M. A., (1979), "Zone Scheduling of Bus Routes to Improve Service Reliability", *Transportation Science*, Aug., 13(3): 242-267.

Karaman, S., (1998), "İstanbul'da Toplu Ulaşımında Özelleştirme: Sorunlar ve Öneriler", 2. Uluslararası Ulaşım Sempozyumu Bildiriler, 1-4 Ekim 1998, İstanbul, 69-86.

Keskin, A., (1992), "Toplu Taşıma Sistemleri", İTÜ Kütüphanesi, 1487.

Kıbrıslı, B., (1989), Kentiçi Ulaşımında Otobüs Öncelikli Sistemler ve İstanbul'da Taksim-Zincirlikuyu Otobüs Yoluna Model Uygulaması, Doktora Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü (yayımlanmamış).

Kocur, G. ve Hendrickson, C., (1982), "Design of Local Bus Service with Demand Equilibration", *Transportation Science*, 16(2): 149-170.

Kuah, G. K. and Perl, J., (1988), "Optimization of Feeder Bus Routes and Bus-Stop Spacing", *Journal of Transportation Engineering*, ASCE, 114(3): 341-354.

Lardinois, C., (1989), "Simulation, Gaming and Training in a Competitive, Multimodal, Multicompany Intercity Passenger-Transportation Environment", *JORS*, 40(10): 849-861.

Lee, S. G. ve Khoo, L. P., (1997), "Neurosimulation Modelling of a Scheduled Bus Route", *Journal of Transportation Engineering*, ASCE, 123(3): 229-237.

Ling, J. H. ve Taylor, M. A. P., (1989), "Optimal Bus Line Length", *Australian Road Research*, 19(1):10-16.

Mandl, C. E., (1980), "Evaluation and Optimization of Urban Public Transportation Networks", *EJOR*, 5: 396-404.

Manheim, M. L., (1979), *Fundamentals of Transportation System Analysis, Volume 1: Basic Concepts*, The MIT Press, 2. ed., Cambridge, Massachusetts and London, England, ISBN 0-262-13129-3.

Morlok, E. K., ve Vandersypen, H. L., (1973), "Scheduling Planning and Timetable Construction for Commuter Railroad Operations", *Transportation Engineering Journal of ASCE*, 99(TE3), 627-636.

Newell, G. F., (1971), "Dispatching Policies for a Transportation Route", *Transportation Science*, 5: 91-105.

Newell, G. F., (1979), "Some Issues Relating to the Optimal Design of Bus Routes", *Transportation Science*, 13(1): 20-35.

Ng, C. P. ve Brah, S. A., (1998), "A Running Time Model for Bus Operations in Singapore", *Road and Transport Research*, 7(3): 48-57.

Orer, M., (1990), "Ulaşım Yönetim Bilişim Sistemi ve Bir Öneri", 3. Toplutaşım Kongresi, EGO Genel Müdürlüğü, 13-15 Haziran 1990, Ankara, 147-195.

Öncü, E., (1979a), "Toplutaşım İşletmeciliği-Yeni Yaklaşımlar ve Uygulamalar", 2. Toplutaşım Kongresi, EGO Genel Müdürlüğü, 3-6 Aralık 1979, Ankara, 179-214.

Öncü, E., (1979b), "Kentsel Yük Taşımaları ve Toplutaşım", 2. Toplutaşım Kongresi,

EGO Genel Müdürlüğü, 3-6 Aralık 1979, Ankara, 649-662.

Özkan, M., (1998), İstanbul Trafikinde Belirlenen Güzergahta Çalıştırılan Belediye Otobüsünün Optimum Yakıt Sarfiyatı Koşullarının Nümerik Yöntemle Etüdü, Doktora Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, ISBN 975-461-069-X.

Pearman, A. D., (1979), "The Structure of the Solution Set to Network Optimisation Problems", Transportation Research-B, 13B: 81-90.

Pollan, E. B., (1976), Zone Scheduling for Urban Bus Transit, Master thesis, Northwestern University, Evanston, Illinois.

Powell, B. A., (1975), "Elevator Banking for High Rise Buildings", Transportation Science, 9(3), 200-210.

Saatçioğlu, Ö., (1978), "Toplulaşım Sistemlerinin Temel Karar Problemleri ve Çözüm Yöntemlerinden Önemli Görülenleri", 1. Toplulaşım Kongresi, EGO Genel Müdürlüğü, 11-14 Aralık 1978, Ankara, 159-178.

Salzborn, F. J. M., (1972), "Optimum Bus Scheduling", Transportation Science, 6(2), 137-148.

Simon, J., Furth, P. G., (1985), "Generating a Bus Route O-D Matrix From On-Off Data" Journal of Transportation Engineering, ASCE, 111(6): 583-593.

Transportation Research Board, (1980), Bus Route and Schedule Planning Guidelines, NCHRP Synthesis of Highway Practice 69, Washington, D. C.

Tarım, G., (1978), "Kentiçi Otobüsle Kitle Taşınımına Yöneylem Araştırması Tekniklerinin Uygulaması", 1. Toplulaşım Kongresi, EGO Genel Müdürlüğü, 11-14 Aralık 1978, Ankara, 183-191.

Transport and Road Research Laboratory Overseas Unit, (1987), Field Survey Techniques and Analysis for Urban Bus Operators, Overseas Road Note 4, Crowthorne, Berkshire.

Tsao, S. M. ve Schonfeld, P. M., (1983) "Optimization of Zonal Transit Service", Journal of Transportation Engineering, ASCE, 109(2): 257-272.

Tsao, S. M. ve Schonfeld, P. M., (1984) "Branched Transit Services: An Analysis", Journal of Transportation Engineering, ASCE, 110(1): 112-128.

Turnquist, M. A., (1979), "Zone Scheduling of Urban Bus Routes", Transportation Engineering Journal of ASCE, 105(TE1): 1-13.

Tzeng, G. H. ve Shiau, T. A., (1988), "Multiple Objective Programming for Bus Operation: A Case Study for Taipei City", Transportation Research-B, 22B(3): 195-206.

Viton, P. A., (1980), The Possibility of Profitable Bus Service", Journal of Transport Economics and Policy, 14: 295-314.

VTS/İETT, (1989), "2. Hat Ağı Rasyonalizasyon Çalışması (VIPS)-Final Raporu", İstanbul.

Vuchic, V. R., (1972), "Skip-Stop Operation as a Method for Transit Speed Increase", Traffic Quarterly, 307-327.

Wirasinghe, S. C., (1980), "Nearly Optimal Parameters for a Rail/Feeder-Bus System on a Rectangular Grid", Transportation Research, 14A: 33-40.

Wirasinghe, S. C. ve Ghoneim, N. S., (1981), "Spacing of Bus-stops for Many to Many Travel Demand", *Transportation Science*, 15(3): 210-221.

Yardıı, M. S., (1994), Ulaştırma Mühendisliğinde Yöneylem Araştırması Çözüm Teknikleri Kullanımının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü (yayımlanmamış).



EKLER

Ek 1 İETT'nin 2000 Yılı Bilanço Özeti

İETT'nin 2000 yılı gelir-gider durumu

GELİRLER	MİKTAR (TL/YIL)	(%)
BİLET SATIŞ HASILATI	101.237.274.000.000	%73,1
REKLAM GELİRİ	845.785.000.000	%0,6
KİRA GELİRİ	1.045.527.082.000	%0,8
MİNÜBÜS RUHSAT GELİRİ	0	
PASO GELİRLERİ	2.114.000.000	%0,0
BELEDİYE	25.297.437.000.000	%18,3
MUHTELİF GELİRLER		%4,1
a) Kiralık kasalar	1.319.356.000.000	
b) Çift katlı otobüs	871.553.000.000	
c)İstanbul Ulaşım A.Ş.	3.054.412.000.000	
d) Etibank kredi	416.506.000.000	
e)Diğer	0	
HURDA SATIŞI	103.811.000.000	%0,1
HAT BEDELİ	0	
İŞ GÖREMEZLİK	111.436.000.000	%0,1
İSKİ KUPON BEDELİ	681.912.000.000	%0,5
MERCEDES K.D.V. DESTEĞİ	0	
VAKIFLAR KREDİ	3.000.000.000.000	%2,2
DİĞER GELİRLER	597.651.000.000	%0,4
TOPLAM	138.584.774.082.000	%100,0
GİDERLER	MİKTAR (TL/YIL)	(%)
PERSONEL GİDERLERİ		%37,5
a) İşçilikler	29.784.078.000.000	
b)İkramiye	133.409.000.000	
c)Kıdem tazminatı	5.279.808.000.000	
d)İşçi neması	0	
e)Belbim A.Ş.	5.466.898.000.000	
f)Memur	3.554.435.000.000	
f)İstanbul Ulaşım A.Ş.	12.876.819.000.000	
AKARYAKIT	32.501.940.000.000	%21,3
MALZEME		%8,1
a) Yatırım	220.509.000.000	
b) Satın almalar	12.179.408.000.000	
DIŞARIDAN SAĞLANAN FAYDALAR		%4,4
a) Enerji, su, İGDAŞ	1.255.384.000.000	
b) PTT	132.360.000.000	
c) Gümrük	5.350.016.000.000	
DİĞER		%28,7
a) SSK	9.825.092.000.000	
b) EMEKLİ SANDIĞI	1.182.581.000.000	
c) K.D.V.	727.349.000.000	
d) Muhtasar vergisi	6.192.934.241.000	
d) Bankalar, anapara+faiz	19.471.591.000.000	
e) Tasarruf fonu	675.203.000.000	
f) Diğer	5.615.605.000.000	
TOPLAM	152.425.419.241.000	%100,0

Ek 2 İETT'nin Topladığı Ücretlerin Türlerine Göre Dağılımı (2000 yılı)

ÜCRET ÖDEME TÜRLERİ	(%)	TAŞIMA ÜCRETİ (TL/YOLCULUK)
Sivil Abonman	%15,8	400.000
Tenzilatlı Abonman	%7,5	250.000
Sivil Akbil	%17,3	350.000
Tenzilatlı Akbil	%8,2	200.000
Sivil Aylık Akbil	%22,9	175.000
Tenzilatlı Aylık Akbil	%11,7	90.000
Harcırahlı Aylık Kart	%0,4	30.000
Ücretsiz Yolculuk	%16,1	-
ORTALAMA TAŞIMA ÜCRETİ:		210.000

Ek 3 İstanbul İli İçin Zamanın Değeri Hesabı (2000 yılı)

Zamanın Parasal Değeri Hesabı (İstanbul-2000 Fiyatlarıyla)

Türkiye için 2000 yılı GSYİH (TL)	124.583.458.200.000.000
İstanbul için 2000 yılı GSYİH (TL)	26.162.526.222.000.000
İstanbul için 2000 yılı NÜFUS değeri	10.198.884
İstanbul için 2000 yılı kişi başına GSYİH (TL)	2.565.234.226
İstanbul için 2000 yılı kişi başına GSYİH (\$)	4.104
Haftalık çalışma saati (Saat/hafta)	40
Yıllık çalışılan hafta sayısı	48
Yıllık çalışma saati (Saat/yıl)	1.920
1 saatin parasal değeri (TL/Saat-kişi)	1.336.059
2000 yılı ortalama ABD \$ kuru (TL)	625.000
1 saatin parasal değeri (\$/Saat-kişi)	2,14

Ek 4 İETT'nin Saatlik ve Km Başına Taşıt Maliyetleri Hesabı (2000 yılı)

Taşıt maliyetinin hesabı

Tanım	Büyüklik
Yapılan km miktarı (Tş-km/yıl)	173.187.258
Yapılan sefer sayısı (Sefer/yıl)	5.650.294
Çalışan araç sayısı (Taşıt/yıl)	726.776
Yakıt ve malzeme giderleri (TL/yıl)	29.880.803.000.000
Diğer giderler (TL/yıl)	110.318.548.000.000
Toplam gider (TL/yıl)	140.199.351.000.000
Km başına yakıt ve malzeme mal. Gideri (TL/km)	172.535
Saat başına diğer giderler (TL/sa)	9.630.127
Ortalama hız (km/sa)	35
Saatli taşıt maliyeti (TL/tş-sa)	15.668.839
Km başına taşıt maliyeti (TL/tş-km)	809.525
Günlük ort. çalışan taşıt (h.içi+ h.sonu) (Adet)	1.986

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi	13.05.1970	
Doğum yeri	Bursa	
Lise	1984-1987	İzmir Atatürk Lisesi
Lisans	1987-1991	Yıldız Üniversitesi Mühendislik Fak. İnşaat Mühendisliği Bölümü
Yüksek Lisans	1991-1994	Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Müh. Anabilim Dalı, Ulaştırma Programı
Doktora	1994-2002	Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Müh. Anabilim Dalı, Ulaştırma Programı

Çalıştığı kurumlar

1992-1996 YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Araştırma Görevlisi
1996-Devam ediyor YTÜ İnşaat Fakültesi Araştırma Görevlisi