

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**METROBÜS SİSTEMLERİNİN PLANLAMA, TASARIM
VE İŞLETİM ÖZELLİKLERİ**

Şehir ve Bölge Plancısı Gözde GÜVEN

**FBE İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Ulaştırma Programında
Hazırlanan**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı: Yard. Doç. Dr. İsmail ŞAHİN

İSTANBUL, 2008

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ	v
KISALTMA LİSTESİ.....	vii
ŞEKİL LİSTESİ.....	ix
ÇİZELGE LİSTESİ	xi
ÖNSÖZ	xiv
ÖZET	xv
ABSTRACT	xvi
1 GİRİŞ	1
2 BRT (METROBÜS) SİSTEMLERİNİN ÖZELLİKLERİ	3
2.1 Giriş	3
2.1.1 BRT Nedir?	3
2.1.2 Ulaştırma Planlaması Sürecinde BRT	3
2.2 BRT Sisteminin Bileşenleri.....	5
2.2.1 Seyir Yolları	5
2.2.2 İstasyonlar (Duraklar)	12
2.2.3 Taşıtlar	22
2.2.4 Ücret Toplama.....	32
2.2.5 Akıllı Ulaştırma Sistemleri (ITS)	42
2.2.6 Hizmet ve İşletim Planları.....	58
2.2.7 BRT Sistemini Oluşturmak Üzere BRT Bileşenlerinin Entegrasyonu.....	65
2.3 BRT Bileşenleri ve Sistem Performansı	70
2.3.1 Yolculuk Süresi	72
2.3.2 Güvenilirlik	95
2.3.3 Kapasite.....	111
3 OTOBÜS KAPASİTESİ VE HİZMET KALİTESİ ANALİZİ	124
3.1 Giriş	124
3.2 Otobüs Kapasite Esasları	125
3.2.1 Kapasite Hesaplama Yöntemi	125
3.2.2 Biniş Alanlarının Otobüs Kapasitesi	127
3.2.3 Otobüs Durağının Taşıt Kapasitesi.....	140
3.2.4 Otobüs Tesisi Kavramları	147
3.2.5 Yolcu Kapasitesi.....	148
3.3 Otobüs Öncelikli İyileştirmeler	152
3.3.1 Giriş	152
3.3.2 Otobüs Yolu ve Çevre Yolu HOV Şeritleri	153

3.3.3	Trafik Sinyal Önceliği	155
3.3.4	Mevki-Özelinde Öncelik İyileştirmeleri.....	160
3.3.5	Toplu Taşıma İşletim Ölçütleri	164
3.3.6	Özet.....	168
3.4	Planlama Uygulamaları.....	170
3.4.1	Giriş	170
3.4.2	Otobüs Hacmi ve Kapasite İlişkileri.....	170
3.4.3	Otobüs Yolları	173
3.4.4	Anayol Otobüs Şeritleri	174
3.4.5	Karma Trafik İşletimleri	174
3.4.6	Otobüs Durakları ve Biniş Alanları	174
3.4.7	Otobüs ve Yolcu Kapasitesini Etkileyen Faktörler	175
3.5	Kesişme Bulunmayan Katlı Özel Toplu Taşıma Yollarında İşletilen Otobüs Sistemleri	176
3.5.1	Giriş	176
3.5.2	Otobüs Kapasitesi	176
3.5.3	Otobüs Hızları	180
3.6	Anayol Otobüs Şeritlerinde İşletilen Otobüs Sistemleri.....	182
3.6.1	Giriş	182
3.6.2	Otobüs Şerit Tipleri	182
3.6.3	Otobüs Kapasitesi	183
3.6.4	Otobüs Hızları	190
3.7	Karma Trafik Koşullarında İşletilen Otobüs Sistemleri	196
3.7.1	Giriş	196
3.7.2	Otobüs İşletim Çeşitleri	196
3.7.3	Otobüs Kapasitesi	196
3.7.4	Otobüs Hızları	198
3.8	Örnek Problemler	199
3.8.1	Örnek Problem 1 – Otobüs Duruş Süresi.....	199
3.8.2	Örnek Problem 2 – Bir Duraktaki Gerekli Biniş Alanı Sayısı	202
3.8.3	Örnek Problem 3 –Durak Atlamalı İşletim’de Otobüs Taşıt Kapasitesi ve Hızı	204
3.8.4	Örnek Problem 4 – Yakın–Kenar Duraklar ile Karma Trafikte İşletilen Sistemin Otobüs Taşıt Kapasitesi	210
3.8.5	Örnek Problem 5 – Uzak–Kenar Duraklar ile Karma Trafikte İşletilen Sistemin Otobüs Taşıt Kapasitesi	215
3.8.6	Örnek Problem 6– Karma Trafikte Durak Atlamalı İşletimin Otobüs Taşıt Kapasitesi	218
3.8.7	Örnek Problem 7 – Yolcu Kapasitesi	221
3.8.8	Örnek Problem 8- MİA’ya Hizmet Eden Bir Yolda Özel Otobüs Şeridi Açılması ..	223
3.8.9	Örnek Problem 9- Bir Sinyalize Kavşağa Otobüsler İçin “Kuyruk Atlama” Uygulanması.....	230
4	İSTANBUL METROPOLİTEN ALANI AVCILAR-TOPKAPI METROBÜS (BRT) PROJESİ DEĞERLENDİRMESİ	233
4.1	Giriş	233
4.2	Projenin Açıklaması.....	235
4.2.1	Seyir Yolları	236
4.2.2	İstasyonlar	240
4.2.3	Taşıtlar	241
4.2.4	Ücret Toplama.....	244

4.2.5	Hizmet ve İşletim Planı.....	245
4.3	Sistemdeki Yolcu Talebi.....	247
4.3.1	Metrobüs Hattındaki Günlük Toplu Taşıma Yolculukları.....	248
4.4	Avcılar-Topkapı Metrobüs Hattının Kapasitesi	250
4.5	Otobüs Hızları	252
5	SONUÇLAR VE ÖNERİLER	253
5.1	Avcılar-Topkapı Metrobüs Hattı	254
5.1.1	Projenin Olumlu Yönleri.....	254
5.1.2	Projenin Olumsuz Yönleri.....	255
5.1.3	Öneriler	257
5.1.4	Önerilen Çalışmalar (Analizler) ve Gerekli Veriler	260
KAYNAKLAR.....		262
ÖZGEÇMİŞ.....		263

SİMGE LİSTESİ

B	Otobüs şerit kapasitesi (otobüs/saat)
B_l	Kritik duraktaki tek bir biniş alanının otobüs kapasitesi (otobüs/saat)
B_s	Durağın otobüs kapasitesi (otobüs/saat)
$B_{s,min}$	Otobüs yolundaki minimum durak kapasitesi (otobüs/saat)
$B_{l...} B_n$	Aynı durak atlama dokusunu kullanan her bir hattın kendi kritik durağındaki otobüs kapasitesi
B_p	Dokudaki kritik durağın maksimum otobüs kapasitesi (otobüs/saat)
C	Trafik sinyali devir süresi
c	Bitişik şeritteki kapasite (taşıt/saat)
c_v	Duruş sürelerinin değişim katsayısı
c_r	İlgili kavşaktaki sağa dönüş/şerit kapasitesi (taşıt/saat)
d_l	Her durakta duran doku için duraklar arası mesafe (m)
d_2	Durak atlamalı doku için duraklar arası mesafe (m)
f	Planlanan otobüs sıklığı (otobüs/saat)
f_a	Variş tipi faktörü
f_A	MİA için doymuş akım ayarlama faktörü
f_b	Otobüs-otobüs etkilenmesi ayarlama faktörü
f_{HV}	Ağır taşıt doymuş akım ayarlama faktörü
f_i	Bitişik şerit direnç faktörü
f_k	Kritik durakta durak atlamalı işletmeler için kapasite ayarlama faktörü
f_l	Otobüs durak yeri faktörü
f_m	Kritik durakta karma trafik etkileşimi için kapasite ayarlama faktörü
f_r	Kritik durakta sağa dönüşler için kapasite ayarlama faktörü
f_s	Duruş dokusu ayarlama faktörü
g/C	Yeşil süre oranı
N_{el}	Kritik duraktaki efektif biniş alanı sayısı
N_{ss}	Bir serideki alternatif durak atlama sayısı
P	Yolcu kapasitesi (yolcu/saat)
P_a	Otobüs başına, en yoğun kapıdan iniş yapan yolcu sayısı (yolcu)
P_b	Otobüs başına, en yoğun kapıdan biniş yapan yolcu sayısı (yolcu)

$P_{\max}$	Otobüs başına planlanan maksimum yolcu yükü (yolcu/otobüs)
s	Duruş sürelerinin standart sapması
S_A	Otomobiller için ortalama seyahat hızı (km/saat)
S_t	Otobüsler için ortalama seyahat hızı (km/saat)
t_a	İniş yapan yolcuların hizmet görme süresi (sn/yolcu)
t_b	Biniş yapan yolcuların hizmet görme süresi (sn/yolcu)
t_c	Boşaltma süresi (sn)
t_d	Ortalama duruş süresi (sn)
t_i	İstenilen hata oranından daha sık aşılmayacak duruş süresi değeri (saniye)
t_l	Otobüs seyir süresi kayıpları (dakika/km)
t_{oc}	Kapıların açılma ve kapanma süresi (sn)
t_{om}	İşletim payı (saniye)
t_r	Temel otobüs seyir süresi (dakika/km)
v	Bitişik şeritteki trafik hacimleri (taşıt/saat)
v_o	Doygun akım oranı
v_p	Dokudaki otobüs hacmi (otobüs/saat)
v_r	İlgili kavşaktaki sağa dönüş hacmi (taşıt/saat)
Z	İstenilen hata oranı ile ilgili olan standart normal değişken

KISALTMA LİSTESİ

ADA	Amerika Engelliler Yasası (Americans with Disabilities Act)
AVL	Otomatik Taşıt Konumlandırma (Automatic Vehicle Location)
ASD	Otomatik Taşıt Sevk Çizelgeleme (Automated Scheduling and Dispatch)
APC	Otomatik Yolcu Sayımı (Automated Passenger Counter)
ACS	Gelişmiş Haberleşme Sistemi (Advanced Communication System)
AOS	Gelişmiş İşletme Sistemi (Advanced Operating System)
ASDS	Gelişmiş Yazılım Geliştirme Sistemi (Advanced Software Development System)
BRT	Metrobüs (Bus Rapid Transit)
BDS	Otobüs Sevkıyat Sistemi (Bus Dispatch System)
CAD	Bilgisayar Destekli Sevkıyat (Computer-Aided Dispatch)
CCTV	Kapalı Devre Televizyon (Closed Circuit Television)
CNG	Sıkıştırılmış Doğal Gaz (Compressed Natural Gas)
EPA	Çevre Koruma Ajansı (Environmental Protection Agency)
EFC	Elektronik Ücret Toplama (Electronic Fare Collection)
FTA	Federal Toplu Taşıma İdaresi (Federal Transit Administration)
NHTSA	Ulusal Karayolu ve Trafik Güvenliği Yönetimi (National Highway and Traffic Safety Administration)
FTE	Tam Zamanlı Personel (Full Time Employees)
GPS	Küresel Konumlandırma Sistemi (Global Positioning System)
HCM	Karayolu Kapasitesi Elkitabı (Highway Capacity Manual)
HOV	Yüksek Doluluklu Taşıt (High Occupancy Vehicle)
ITS	Akıllı Ulaştırma Sistemleri (Intelligent Transportation Systems)
LADOT	Los Angeles Ulaştırma Departmanı (The City of Los Angeles Department of Transportation)
LOS	Hizmet Düzeyi (Level of Service)
MBTA	Massachusetts Ulaştırma Kuruluşu (Massachusetts Bay Transportation Authority)
MDT	Mobil Veri Terminalleri (Mobile Data Terminal)
MİA	Merkezi İş Alanı
PHF	Zirve Saat Faktörü (Peak Hour Factor)
POP	Serbest Giriş veya İspat Gerektiren Ödeme Sistemi (Proof-of-Payment System)
PDA	Kişisel Sayısal Yardımcı (Personal Digital Assistant)
PSTA	Pinellas Suncoast Toplu Taşıma Kuruluşu (Pinellas Suncoast Transit Authority)
RTD	Bölgesel Toplu Taşıma Bölümü (Regional Transit District)

TMC	Ulaştırma Yönetim Merkezi (Transportation Management Center)
TVM	Otomatik Bilet Makineleri (Ticket Vending Machine)
TSP	Toplu Taşıma Sinyal Önceliği (Transit Signal Priority)
ULSD	Ultra Düşük Seviyeli Kükürt Dizel (Ultra Low Sulfur Diesel)

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1 BRT sistemine hiyerarşik bakış	1
Şekil 2.1 Toplu taşıma yatırım planlaması ve proje geliştirme işlemi.....	4
Şekil 2.2 BRT haberleşme şeması	54
Şekil 2.3 Kapasite kavramlarının birbirleri ile olan ilişkisi	115
Şekil 3.1 Biniş alanı, durak ve hat arasındaki ilişki.....	125
Şekil 3.2 Yol üstü durağı ve cepli durak	132
Şekil 3.3 Standart normal dağılım	134
Şekil 3.4 Otobüs durağı hatasının olasılığı.....	135
Şekil 3.5 Hata oranı, işletim payı ve biniş alanı kapasitesi arasındaki ilişki	137
Şekil 3.6 Duruş süresi ile biniş alanı kapasitesi arasındaki ilişki	138
Şekil 3.7 Yol üstü otobüs durağı yer seçimi.....	141
Şekil 3.8 Otobüs durağı tasarım çeşitleri	144
Şekil 3.9 Duruş süresi, yeşil süre oranı (g/C) ve biniş alanı sayısının durak kapasitesine göreceli etkileri	146
Şekil 3.10 Özel otobüs şeritleri için kapasite faktörleri.....	148
Şekil 3.11 Yolcu kapasite faktörleri	148
Şekil 3.12 Otobüs sinyal önceliği konseptleri- kırmızı kesme ve yeşil uzatma.....	159
Şekil 3.13 Otobüs kuyruk atlama sinyali	161
Şekil 3.14 Biniş adaları	162
Şekil 3.15 Kaldırım genişletmeleri	163
Şekil 3.16 Portland, Oregon'daki durak atlama düzeni ve işaretlemesi	166
Şekil 3.17 Kesişme bulunmayan katlı özel toplu taşıma yollarının tipik tasarım bileşenleri .	177
Şekil 3.18 Özel otobüs yolu bölümünden sonraki açıklayıcı kapasite kısıtları.....	179
Şekil 3.19 Durak cepli çevre yolu HOV şeridi (Seattle).....	180
Şekil 3.20 Özel otobüs şerit tipleri	182
Şekil 3.21 Sağa dönüşlerin otobüsler ile çatışma örnekleri	183
Şekil 3.22 Durak atlama işletimi dışındaki işletimler için otobüs şeridi taşıt kapasitesi.....	189
Şekil 3.23 Durak atlama işletim için otobüs şeridi taşıt kapasitesi	190
Şekil 3.24 Durak atlamalı düzen ayarlama faktörünün etkileri.....	194
Şekil 3.25 Otobüs-otobüs etkileşimi faktörünün etkileri	195
Şekil 3.26 Karma trafik otobüs işletmelerinin çeşitleri	196
Şekil 3.27 Karma trafik maksimum otobüs kapasitesi.....	198
Şekil 4.1 Metrobüs hattı	236

Şekil 4.2 Avcılar-Topkapı Metrobüs proje güzergâhı	237
Şekil 4.3 Metrobüs hattının D-100 karayolu üzerindeki konumu (İncirli).....	238
Şekil 4.4 Yol enkesiti.....	238
Şekil 4.5 Avcılar terminalinden D-100 orta aksına erişim köprüsü.....	239
Şekil 4.6 Topkapı istasyonundan U-Dönüş tamburu.....	239
Şekil 4.7 Duraklara Yaya Erişimi	240
Şekil 4.8 Phileas marka otobüsün oturma planı	243
Şekil 4.9 Phileas marka otobüsün manevra kabiliyeti ve yengeç yanaşma	243
Şekil 4.10 CapaCity modeli otobüs	244
Şekil 4.11 Turnikeler	244
Şekil 4.12 Avcılar-Topkapı Metrobüs hattı otobüs frekansları	246
Şekil 4.13 Uygulama öncesi hatlar	247
Şekil 4.14 Uygulama sonrası hatlar	248
Şekil 4.15 Tüm gün boyunca istasyonlardaki binen ve inen yolcu dağılımı	249
Şekil 4.16 Zirve saatlerde binen ve inen yolcu sayıları	249
Şekil 5.1 İlk duraktaki 1 dakikalık gecikmenin sonraki duraklarda oluşturacağı olası gecikme... ..	255
Şekil 5.2 Zirve saat yolcu talebi	256
Şekil 5.3 Öneri üstgeçit ve Turnikeler	257
Şekil 5.4 Yaya üstgeçit tipleri	258

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 2.1 Seyir yolu bileşenlerinin sistem performansı ve sistem faydaları üzerindeki etkileri.....	10
Çizelge 2.2 İstasyon bileşenlerinin sistem performansı ve sistem faydaları üzerindeki etkileri	18
Çizelge 2.3 Taşıt bileşenlerinin sistem performansı ve sistem faydaları üzerindeki etkileri...	29
Çizelge 2.4 Elektronik ücret toplama sistemlerinin tahmini maliyetleri (2002 Amerikan Doları)	36
Çizelge 2.5 Ücret toplama bileşenlerinin sistem performansı ve sistem faydaları üzerindeki etkileri.....	38
Çizelge 2.6 Akıllı ulaştırma sistem bileşenlerinin sistem performansı ve sistem faydaları üzerindeki etkileri	53
Çizelge 2.7 BRT hizmet çeşitleri ve tipik hizmet süreleri	59
Çizelge 2.8 Hizmet ve işletim planları bileşenlerinin sistem performansı ve sistem faydaları üzerindeki etkileri	63
Çizelge 2.9 BRT bileşenleri ve seyir süresi	73
Çizelge 2.10 Otobüs şeritleri veya özel otoyol HOV şeritlerinde tahmini ortalama otobüs hızları: otobüsün şeritteki en yüksek seyir hızı 80 km/sa olarak kabul edilmiştir.....	75
Çizelge 2.11 Tercihli ana yol otobüs şeritlerinde tahmini ortalama otobüs hızları, (km/sa) ...	75
Çizelge 2.12 Genel trafik şeritlerinde tahmini ortalama otobüs hızları, (km/sa)	76
Çizelge 2.13 İstasyon aralığının bir fonksiyonu olarak otobüs yolu ve otoyol otobüs şeridi hızları.....	76
Çizelge 2.14 Sistem bazında BRT bileşenleri ve yolculuk süresi	80
Çizelge 2.15 BRT bileşenleri ve duruş süresi	85
Çizelge 2.16 Döşeme yüksekliğine göre yolcu hizmet süreleri	87
Çizelge 2.17 Yüksek döşemeli otobüsle çok kapılı binişte toplam yolcu başına yolcu hizmet süresi (saniye/yolcu).....	87
Çizelge 2.18 Otobüs yolcu hizmet süreleri (saniye/yolcu)	88
Çizelge 2.19 Sistem bazında BRT bileşenleri ve duruş süresi	90
Çizelge 2.20 BRT bileşenleri, bekleme süresi ve aktarma süresi.....	92
Çizelge 2.21 BRT bileşenleri ve seyir süresi güvenilirliği	96
Çizelge 2.22 Sistem bazında BRT bileşenleri ve seyir süresi güvenilirliği	100
Çizelge 2.23 BRT bileşenleri ve istasyonda duruş süresi güvenilirliği	103

Çizelge 2.24 Sistem bazında BRT bileşenleri ve duruş süresi güvenilirliği	106
Çizelge 2.25 BRT bileşenleri ve hizmet güvenilirliği	107
Çizelge 2.26 Kapasitenin farklı boyutları	112
Çizelge 2.27 BRT bileşenleri ile yolcu kapasite türleri arasındaki ilişki.....	115
Çizelge 2.28 BRT bileşenleri ve yolcu kapasitesi	116
Çizelge 2.29 ABD ve Kanada'nın tipik BRT taşıt boyutları ve kapasiteleri	117
Çizelge 2.30 Zirve saatte gözlenen maksimum otobüs akımı, toplu taşıma yollarında zirve biniş noktalarındaki yolcu akımı ve kapasite	118
Çizelge 2.31 Sistem bazında BRT bileşenleri ve yolcu kapasitesi.....	120
Çizelge 3.1 Tek kapılı binişlerde yolcu hizmet süreleri (sn/yolcu).....	130
Çizelge 3.2 Çok kapılı iniş/binişte yolcu başına hizmet süreleri (sn/yolcu).....	131
Çizelge 3.3 Ortalama katılım gecikmesi (rastgele taşıt varışları).....	133
Çizelge 3.4 Çeşitli hata oranlarındaki Z değerleri.....	136
Çizelge 3.5 Hata oranı, işletim payı ve biniş alanı kapasitesi arasındaki ilişki.....	137
Çizelge 3.6 Duruş süresi ile biniş alanı kapasitesi arasındaki ilişki	137
Çizelge 3.7 Biniş alanlarının tahmini maksimum kapasitesi (otobüs/saat).....	139
Çizelge 3.8 Yol üstü otobüs durak yerlerinin karşılaştırılması	143
Çizelge 3.9 Otobüs duraklarındaki çoklu doğrusal biniş alanlarının etkinliği.....	145
Çizelge 3.10 Yol üstü doğrusal otobüs duraklarının tahmini maksimum kapasitesi (otobüs/saat).....	147
Çizelge 3.11 ABD ve Kanada'da kullanılan toplu taşıma otobüslerinin özellikleri	151
Çizelge 3.12 Kuzey Amerika'daki bazı otobüs yolu ve çevre yolu HOV sistemlerinin işletimsel özellikleri	154
Çizelge 3.13 Otobüs sinyal önceliği sistemleri	157
Çizelge 3.14 Toplu taşıma sinyal önceliği ile ilgili belirtilen faydalar.....	159
Çizelge 3.15 Otobüs öncelik düzenlemelerinin karşılaştırması	168
Çizelge 3.16 Otobüs öncelik iyileştirmelerinin etkileri üzerindeki genel planlama prensipleri: kavşaklar.....	171
Çizelge 3.17 Planlama aşaması otobüs şeridi hizmet hacimleri.....	172
Çizelge 3.18 Planlama amaçları için maksimum otobüs yolcu hizmet hacimleri.....	173
Çizelge 3.19 Açıklayıcı kent merkezi otobüs yolu kapasiteleri	174
Çizelge 3.20 Otobüs kapasitesi ve hızını etkileyen faktörler	175
Çizelge 3.21 Otobüs yolu ve özel çevre yolu HOV şeritlerinde işletilen otobüslerin tahmini ortalama hızları	181
Çizelge 3.22 Planlama uygulamaları için sağa dönüş taşıt kapasiteleri (taşıt/saat).....	184

Çizelge 3.23 Otobüs durak yeri faktörü, fl.....	185
Çizelge 3.24 Bitişik şeridin kullanılabilme durumuna göre ayarlama faktörünün tipik değerleri (fk).....	187
Çizelge 3.25 Temel otobüs seyir süresi tahmini, tr (dakika/km).....	192
Çizelge 3.26 Temel otobüs seyir süresi kayıpları tahmini, tl (dakika/km)	193
Çizelge 3.27 Otobüs-otobüs etkileşimi faktörü, fb	195
Çizelge 4.1 Proje uygulanmadan önce ve sonraki şerit düzeni	237
Çizelge 4.2 Seyir yolunun ana bileşenleri.....	239
Çizelge 4.3 İstasyonların ana bileşenleri.....	241
Çizelge 4.4 Metrobüs hattında kullanılan taşıtların karşılaştırılması	242
Çizelge 4.5 Ücret toplama bileşenleri.....	245
Çizelge 4.6 Avcılar-Topkapı Metrobüs hattı kapasitesi (zirve saat)	246
Çizelge 4.7 Hizmet ve işletim planı.....	246

ÖNSÖZ

Çalışmam sırasında yardımlarını esirgemeyen danışman hocam, Sayın Yrd. Doç. Dr. İsmail ŞAHİN'e; katkılarından dolayı İstanbul Büyükşehir Belediyesi Ulaşım Koordinasyon Müdürlüğü'ne ve yardımlarından dolayı arkadaşım Önder ÖNDEMİR ve Boğaçhan AKALIN'a, dostluklarıyla ve verdikleri destekle yanımda olan çalışma arkadaşlarıma ve patronlarım Mehmet SAÇMACI ile Burhan KALE'ye teşekkürlerimi sunarım.

ÖZET

Metrobüs (Bus Rapid Transit) sistemlerinin yurtdışındaki uygulamaları gün geçtikçe yaygınlaşmakta, ülkemizde de uygulanmakta ve yaygınlaştırılması planlanmaktadır. Metrobüs, bir toplu taşıma sisteminin sahip olması gereken bileşenleri, literatürdeki tanımı gereğince, esnek ve yüksek performanslı bir yapıda bünyesinde toplamaktadır. Bu nedenle, sistem ve bileşen özelliklerinin doğru seçilmesi ve bunlar arasındaki ilişkilerin doğru kurulması gerekmektedir. Metrobüs sistemlerinin temel bileşenleri arasında seyir yolları, istasyonlar (duraklar), taşıtlar, ücret toplama, Akıllı Ulaştırma Sistemleri (ITS) ile ilişkiler, hizmet ve işletim planları bulunmaktadır. Bu bileşenlerin Metrobüs sisteminin performansına olan etkileri seyahat süresi, güvenilirlik, sistem kimliği, güvenlik ve sistem kapasitesi bağlamında ele alınmaktadır. Sistem kapasitesi, metrobüs sisteminin bileşenleri ve amaçlanan hizmet düzeyine göre farklılık göstermektedir. Sistem kapasitesini arttıracak alternatif işletim planları oluşturmak mümkündür. Sistem, toplu taşıma sisteminin geneline yolcu sayısı ile maliyet verimliliği artışı ve etkin yönetim biçimiyle katkı yaparken; sistemin sosyal faydaları arasında toplu taşımanın desteklenmesi, çevreyle olumlu ilişkiler, arazi kullanımı üzerindeki olumlu etkiler, yatırım maliyeti verimliliği ve işletme verimliliği artışı bulunmaktadır. Çalışmada, İstanbul Metropoliten Alanı Avcılar-Topkapı Metrobüs Hattı'na da değinilmekte, sisteminin işletilmesine yönelik bazı öneriler sunulmaktadır.

Anahtar kelimeler: Metrobüs, toplu taşıma, planlama, işletim, kapasite.

ABSTRACT

Bus Rapid Transit (BRT for short or Metrobus) system applications are becoming more and more widespread world-wide. Similar applications are now in progress and planned to be prevalent in Turkey. According to its definition in the literature, BRT consists of the elements of a public transportation system in a flexible and high performance manner. Therefore, the characteristics of the system and its elements should be determined carefully and the inter-relationships amongs various elements should be defined correctly. Some of the main BRT system elements can be listed as running ways, stations, vehicles, fare collection systems, relationships with intelligent transportation systems (ITS), service and operation plans. Effects of each element to the BRT system performance is considered in terms of travel time, reliability, image and identity, safety and security and capacity. System capacity may differ depending on the elements of the BRT system and the desired level of service. It is possible to compose alternative operation plans to increase the system capacity. BRT contributes to the overall transportation system by helping increace transit ridership and providing cost-effective services, together with its effective management orientation. Positive relations with the environment, positive effects on land use, increase in the capital cost efficiency and operational efficiency are among the social benefits provided by BRT systems. In this study, Istanbul Metropolitan Area Avcılar - Topkapı BRT line is also investigated and some operational improvements are proposed for this line.

Key words: BRT, transit, planning, operation, capacity.

1. GİRİŞ

Dünya genelinde, toplu taşıma kuruluşları, hareketliliği arttırmak amacıyla gelişmiş toplu taşıma çözümleri üzerine çalışılmaktadır. Kentsel yerleşimin yayılması ve çevreyollarının kapasitesinin üzerinde bir taleple karşılaşmasının çevresel etkileri de göz önüne alındığında, ulaştırmada yeni alternatiflerin aranması gündeme gelmiştir. Bu düşünce, mevcut toplu taşıma teknolojilerinin gözden geçirilmesine ve toplu taşıma sistemlerinin verimliliğini (performansını) artırıcı yeni ve yaratıcı yöntemler bulmak için araştırmalar yapılmasına öncülük etmektedir. Bu kapsamda yaygınlaşmaya başlayan BRT (Metrobüs) sistemleri, yüksek kalitede ve performansta hizmet sunarken yüksek maliyet-etkinliğine sahiptir. BRT sistemleri dünya çapında birçok ülkede kullanılmaktadır. İşletim esnekliği ile kısa vadede, kısmi ve ekonomik olarak gerçekleştirilebilmesi yaygınlaşma nedenleridir. Bu sistemler tasarım, işletim ve etkinlik açısından çeşitlilik göstermektedir.

İstanbul'da da özel otomobil kullanımının azaltılması ve toplu taşıma sisteminin kapasitesinin ve kalitesinin artırılması amacıyla, kent düzeyinde uygun arterlerde yaygınlaştırılmak üzere, ayrı bir şeritte hizmet veren, araçları ve işletme sistemi tramvaya benzeyen, lastik tekerlekli, yüksek kapasiteli toplu taşıma hatlarının (BRT) yapımı gündeme gelmiştir.

Metrobüs (ya da İngilizce'deki yaygın adı ile BRT, Bus Rapid Transit) sistemleri ulaştırma plancıları ve karar vericiler için çeşitli ulaştırma seçenekleri sunarlar. Seçeneklerin (alternatiflerin) değerlendirilmesi ve devamındaki planlama süreçlerinde ele alınan temel bileşenlerin, bunlarla ilgili çeşitli özelliklerin ve bunlar arasındaki ilişkilerin sistem bütünlüğü içinde ele alınması gerekmektedir.

BRT sistemi; hiyerarşik olarak sistem bileşenleri, sistem performansı ve sistem faydaları bakış açılarıyla ele alınabilir (Şekil 1.1). Hiyerarşik yapıdaki bu bakış açıları arasındaki ilişkiler kurulurken, BRT sistem bileşenleri sistem performansını belirlemekte, sistemin performans özellikleri ise sistemin faydalarını etkilemektedir.



Şekil 1.1 BRT sistemine hiyerarşik bakış

Bu çalışmanın amacı, BRT hatlarının istenilen performans düzeyinde işletilmesi ve beklenen faydaların elde edilebilmesi için, yurtdışındaki mevcut sistemlerin özelliklerinin incelenmesidir. Böylece, İstanbul’da uygulanan sistemin (Avcılar-Topkapı Metrobüs Hattı) geliştirilmesi ve planlanan yeni hatlar için bir rehber oluşturulması hedeflenmektedir.

Çalışma dört ana bölümden oluşmaktadır. Giriş bölümünü takiben ikinci bölümde “Characteristics of Bus Rapid Transit for Decision-Making” kaynağından faydalanılarak (Diaz,2004), (1) BRT sisteminin ana bileşenleri (seyir yolu, istasyonlar, taşıtlar, ücret toplama, akıllı ulaşırma sistemleri, hizmet ve işletim planı) ve ana bileşenlerle ilgili ABD deneyimleri, (2) bu bileşenlerin performans (yolculuk süresi, güvenilirlik ve kapasite) üzerindeki etkileri ayrıntılı olarak anlatılmaktadır.

3. Bölüm’de “Transit Quality and Capacity Manuel, 2nd Edition” kaynağından faydalanılarak, (Ryus, 2003) belirlenen bir hizmet düzeyine göre otobüs hat kapasitesinin hesaplama yöntemleri ayrıntılı olarak ele alınmıştır. Devamında örnek problemler sunulmuştur.

4. Bölüm’de İstanbul özelinde uygulanan Metrobüs sisteminin özellikleri ve kapasite analizi sunulmaktadır.

Sonuç bölümünde ise incelenen tüm özelliklere ilişkin genel bir değerlendirme yapılarak Avcılar- Topkapı Hattı’nın işletim verimliliğinin arttırmak için çeşitli öneriler sunulmuştur.

2. BRT (METROBÜS) SİSTEMLERİNİN ÖZELLİKLERİ

2.1 Giriş

2.1.1 BRT Nedir?

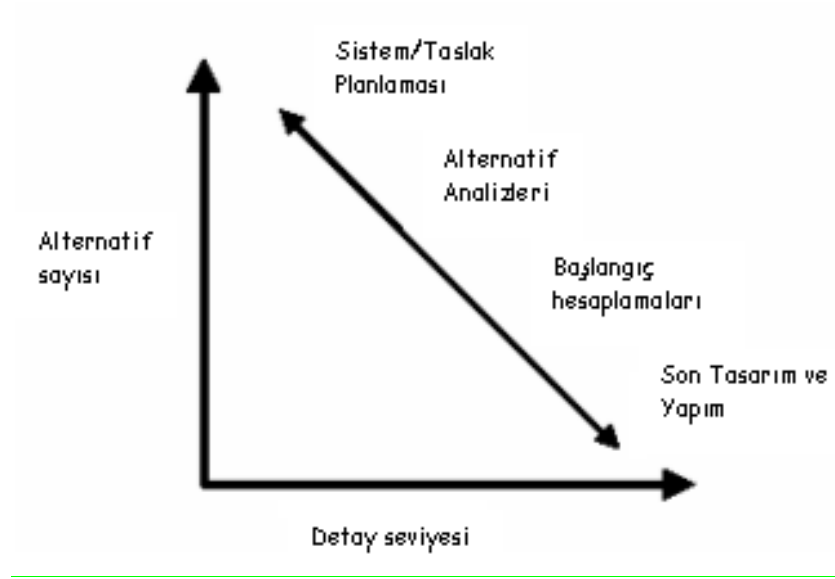
Kaliteli bir imaja ve benzersiz bir kimliğe sahip olan, bir sistem bütünlüğü içinde, çeşitli fiziksel ve işletimsel bileşenleri içinde barındıran esnek ve yüksek performanslı bir toplu taşıma türüdür. Ulaştırma sektörüne uyarlanan çeşitli teknik ve teknolojik uygulamaları içeren esnek bir sistemdir.

2.1.2 Ulaştırma Planlaması Sürecinde BRT

BRT'nin performansını ve potansiyel getirilerini belirlemek için öncelikle “Alternatifler Analizi” yapılması gerekmektedir. Federal Toplu Taşıma Kanunu (Federal Toplu taşıma Act) Yeni Başlama fonlarına (New Start funds) ait sermaye destekleri için; toplu taşıma ile ilgili tüm bilgilerin bulunduğu alternatifler analizine ihtiyaç duyulmaktadır.

BRT hakkında yeterli bilgi sahibi olabilmek için, Alternatifler Analizlerine ek olarak “ilk kesim” taslak planlamalarına ihtiyaç duyulur. Bu planlamalarda da tutarlı, potansiyel olarak tercih edilen alternatifler geliştirilir. Şekil 2.1’de sistem ve taslak planlamaları, alternatifler analizi, başlangıç mühendislikleri hesaplamaları (preliminary engineering) ve diğer planlama ve tasarım aşamasına götüren proje geliştirmelerine ait alternatiflerin sayıları arasında ilişki gösterilmektedir.

Planlamanın ilk evrelerinde, özel bir ulaşırma problemini çözebilmek için bir çok alternatif bulunur. Kaynak kısıtları nedeniyle, planlama aşamalarında, tüm alternatifler en ince ayrıntısına kadar incelenmez. Taslak planlaması işleminde, potansiyel olarak olanaklı tüm seçenekler küçük bir sayıya indirildikten sonra, daha detaylı bir analize başlanabilir. Aslında, taslak planlama teknikleri, kriterlere uyan tüm alternatifler arasından, can alıcı eksiklikleri sebebiyle, diğer alternatiflerden daha az performans sunan seçenekleri elemek için yapılır. Temelde, taslak planlamaları, daha detaylı Alternatifler Analizleri için bir “yapılacak işler listesi” sunar.



Şekil 2.1 Toplu taşıma yatırım planlaması ve proje geliştirme işlemi

2.2 BRT Sisteminin Bileşenleri

2.2.1 Seyir Yolları

Tanımı

Seyir Yollarının BRT'deki Rolü

Raylı sistemler nasıl bir iz üzerinde gidiyorsa, BRT taşıtları da kılavuzlanmış bir yolda veya seyir yollarında gitmektedirler.

Seyir yolu;

- Hız ve güvenilirliği belirleyen en etkili faktördür.
- En belirgin maliyet kalemidir.
- Kimlik ve imaj açısından mevcut ve potansiyel yolcuyu çekmesi açısından önemlidir (hız+güvenilirlik nedeni ile).

Seyir Yollarının Özellikleri

a) Ayrım Derecesi

Seyir yolu planlama parametrelerinin başında “diğer trafikten ayrılma derecesi” gelmektedir. En temel formu, ana yollardaki karma akım şeritleridir (diğer trafikten ayrılmamış). Özel anayol şeritleri, katlı şeritler veya ayrı bir seyir yolundaki özel toplu taşıma yolları aracılığı ile artan ayrım derecesi, BRT hizmetlerinin sunulmasıyla ilgili olan yolculuk süresi tasarrufu ve güvenilirlik artışı sağlar. Katlı ayrımlı yollar; en yüksek hız, en yüksek maliyet, en yüksek güvenlik ve en yüksek güvenilirliğe sahiptir.

b) Seyir Yolu İşaretlemesi

- kaplama işaretlemesi
- şerit ayraç
- kaplama dokusu/renginin değiştirilmesi
- ayrık seyir yolu

c) Yanal Kılavuzlama

Şerit değiştirmeyi ve trafik akışını düzenler. Bir çok BRT sisteminde yanal kılavuzlama yoktur (operatörün yönlendirme yeteneğine bırakılmıştır). Bazılarında, çeşitli durumlarda taşıtın durmasını sağlayan sistemler mevcuttur. Yanal kılavuzlama daha düzgün sürüş sağlamakta, istasyonlara girişi düzenlemektedir. Hemzemin binişe izin verir. Mekanik, elektro

manyetik ve optik olabilmektedir.

Seyir Yolu Seçenekleri

Seyir Yolu Ayrımı

Çok az düzenleme ile veya hiç düzenleme yapmadan mevcut yollar, BRT taşıtları için uygun hale getirilebilmektedir. BRT taşıtlarını genel trafikten ayırmak ek yatırım gerektirirken, aynı zamanda hız ve güvenilirlikte de fazladan fayda sağlamaktadır. Ayrımın derecesine göre şekillenen 4 ana seçenek vardır.

Seyir yolu ayırım biçimleri

a) Karma Akım Şeritleri

İyileştirilmemiş Karma Akım Şeritleri: BRT seyir yollarının en temel halidir. Kentsel toplu taşımanın çoğu bu yollar üzerinde yapılmaktadır. Bu nedenle diğer taşıtlarla kesişmeler söz konusudur.

Kuyruk Atlamalı Karma Akım Şeritleri: Sadece BRT taşıtlarının kullanabileceği ve manevra yapabileceği alanlardır. BRT taşıtının; sıranın önüne geçmesini, trafikten sıyrılmasını ve kavşaklardaki gecikmeden kurtulmasını sağlamaktadır. Sistemlerin çoğunda, BRT taşıtlarının kuyruk atlamalarını düzenlemek amacı ile sinyaller kullanılarak yola giriş ve yoldan çıkışlar sağlanmaktadır.

Maliyet: Eğer mevcut yollar kullanılıyorsa, minimum maliyet söz konusudur. Her kavşak için kuyruk atlama şeridi başına 0,1-0,29 milyon dolardır (seyir yolu kamulaştırması hariç). Mevcut karayolu şeridi, kuyruk atlama şeridi olarak kullanılıyorsa maliyet oldukça düşmektedir.

b) Tercihli Anayol Şeritleri

Mevcut yollarda BRT taşıtları için koridor yaratmak, BRT'nin hızlı olmasını sağlamaktadır. Çünkü BRT taşıtları diğer şeritlerdeki trafikten etkilenmeyecektir. Diğer taşıtların bu yolu kullanmaması, fiziksel bariyer ya da polis uygulamasıyla sağlanabilir. Böylece BRT taşıtları;

- Minimum tıkanıklık ve kesinti yaşamaktadır.
- İstasyon giriş-çıkışlarında engelle karşılaşmazlar.
- Yolculuk süresi azalır, güvenilirlik artar.

Bazı durumlarda ambulans, dönüş yapan taşıtlar, HOV (High Occupancy Vehicle) gibi taşıtlar bu yolu kullanabilmektedir. Bu durumlarda, otomobillerin yola kolayca girip çıkabilmesi

nedeniyle, performansta küçük azalmalar yaşanmaktadır.

Maliyet: Km başına 1,5 - 1,8 milyon dolardır.

c) Hemzemin Toplu Taşıma Yolları

Standart Şerit: Mevcutta toplu taşıma sisteminin kullandığı özel yollar varsa BRT bu yolları kullanabilmektedir. Sağlanacak özel olanaklar; hız, güvenilirlik ve güvenlikte önemli gelişme sağlamaktadır. Diğer trafikten tamamen ayrıldığı için, bu tip ayrımlı yollarda BRT taşıtları, trafikte yaşanacak olası kesilmelerden etkilenmez.

Çift yönlü şeritler (tek şerit, çift yönlü kullanım): Genellikle mevcut yollar yalnızca 1 adet çift yönlü şerit için uygundur. Düşük hizmet sıklığında iki ayrı seyir yolu ile aynı faydayı sağlamaktadır. Fakat yüksek hizmet sıklığında, karmaşık sinyal sistemleri ve koordine edilmiş zaman çizelgeleri gerekebilmektedir.

Maliyet: Km başına 4 - 6 milyon dolardır.

d) Kesişme Bulunmayan Katlı Özel Toplu Taşıma Yolları

Raylı sistemlerdeki gibi yalnızca BRT'ye ayrılmış yolda ya da ana otoyolda (zeminin altında ya da üstünde) olabilmektedir. Seviyesi ayrılmış (katlı) BRT yolları, taşıtların kesintisiz ve maksimum hızda seyahat etmesini sağlamaktadır. Kentiçi yollardaki kesişmelerden ve otoyoldan ayrılmış bu yollar;

- En kısa yolculuk süresine,
- En güvenilir yolculuk sürelerine,
- En yüksek derecede güvenliğe ve
- En iyi fayda ile en fazla maliyete sahiptir.

Otobüs hacminin (sayısının) fazla olması durumunda ve standart (her durakta duran) hatlar ile ekspres hatların karışık kullanıldığı yerlerde, kapasiteyi arttırmak ve sollamaya izin vermek amacı ile çoklu şeritlere gereksinim duyulabilmektedir.

Maliyet: Yükseltilmiş: 12-30 milyon dolar

Yer altından giden: 60-105 milyon dolar

Eklenen şeritler: Km başına 1,5-1,9 milyon dolar (mevcut yollar kullanılıyorsa)

4-6 milyon dolar (yeni yollar açılıyorsa)

Seyir yolu işaretlemesi

a) Tabela ve Şerit Ayrım Çizgisi

- Tabela en temel formudur.
- Kristal (diamond) şerit sembolü de kullanılabilir.
- Ana yol üzerinde inşa edilen BRT şeritlerinde iki yönde de bu yönlendirme bulunmalıdır.

b) Yükseltilmiş Şerit Ayracı

Yükseltilmiş şerit ayraç;

- yükseltilmiş kaplama işareti
- yükseltilmiş kaplama taşı (şerit refüjü: boydan boya yükseltilmiş şerit çizgisi)
- demirler veya
- kaplama tümsekleri

genel şeritler ile BRT seyir yolu ayrımını vurgulamaktadır.

c) Değişik Kaldırım Rengi/Dokusu

Seyir yolu için tamamen farklı bir renk ve doku kullanmak çatışma ve kargaşayı önlemektedir.

Yanal Kılavuzlama

Üç ana kılavuzlama sistemi mevcuttur. Her biri hem taşıt hem de seyir yoluna yatırım yapmayı gerektirir. Kılavuzlama sistemleri, tüm yolda ya da karayolunun özel kesimlerinde (seyir yolunun dar kesimleri, dar kurplar ya da istasyonlara yanaşma ve istasyonlardan ayrılma kesimlerinde) kolaylıkla kullanılabilir.

a) Optik Kılavuzlama

Taşıtlara takılan özel optik sensörler vasıtasıyla zemindeki işaretleri okuyup, yolun şeklini tanımlayan sistemlerdir. Her bir şeridin ortasında geniş ve çift işaretleme yapılmalıdır. Her taşıt için karmaşık elektronik ve mekanik sistemler gereklidir.

Maliyet: Taşıt başına 11.000-134.000 dolardır.

b) Elektro-Manyetik Kılavuzlama

Yol üzerinde elektronik veya manyetik işaretlemeleri gerektirmektedir. İşaretlemede; indükleyen (etkileyen) elektromanyetik kablo veya kalıcı mıknatıslar mevcuttur. Taşıttaki sensörler bu işaretlemeler sayesinde yolun yapısını algırlar. Yolun altına gömülmüş

sistemler olduğu için, dikkatli bir planlamayı gerektirmektedirler.

Maliyet: Manyetik sensörler: Km başına 12.000 dolar

Donanım ve entegrasyonu: Araç başına 50.000-95.000 dolar

c) Mekanik Kılavuzlama

Yolda büyük inşaat işlerini gerektirmektedir. Taşıt sisteminin karmaşık olmasına gerek yoktur (sensör vb. ihtiyaç yok). Taşıtlar yolda bulunan fiziksel bir bağlantı ile kılavuzlanmaktadırlar. Kılavuzlama şekli:

- Çelik tekerlek ile
- Lastik tekerlek ile (yükseltilmiş zemini takip eder)
- Taşıtın kendi tekerleği ile (yoldaki hendeği takip eder).

Seyir Yolu Bileşenlerinin Sistem Performansı ve Sistem Faydaları Üzerindeki Etkileri

Çizelge 2.1’de seyir yolu bileşenlerinin sistem performansı ve sistem faydaları üzerindeki etkileri görülmektedir.

Çizelge 2.1 Seyir yolu bileşenlerinin sistem performansı ve sistem faydaları üzerindeki etkileri

	SİSTEM PERFORMANSI					SİSTEM FAYDALARI
	Yolculuk Süresi	Güvenilirlik	Kimlik-İmaj	Güvenlik	Kapasite	
<u>Ayrım Derecesi</u>	Ayrım derecesi	Kazalar ve	Kalıcı bir	Diğer taşıtlardan	Çoklu şerit	Kalıcı gelişmeyi
• Kuyruk Atlamalı Karma	arttıkça	tekrarlanan	gelişmeyi	ayrılması, trafik	kapasiteyi artırır.	gösterir. İlerlemeyi
• Akım Şeritleri	tıkanıklık	tıkanıklıktan	gösterir,	akımındaki	Yolu ayırmak	çekici hale getirir.
• Tercihli Arter Şeritleri	gecikmesi	kaynaklanan	çünkü BRT	tehlikelerden	tıkanıklığı azaltır,	Seyir yolu ile ilgili
• Hem Zemin Özel Şeritler	azalır.	bekleme riskini	için ayrı bir	BRT’nin ayrı	kapasite	hız kazanımları;
(Toplu Taşıma Yolu)		ortadan kaldırır.	alan vardır.	tutulmasını	kullanımını	yolcu sayısını
• Katlı Özel Şeritler				sağlar.	arttırır.	arttırır, çevre için
(Toplu Taşıma Yolu)						faydalıdır.
<u>Seyir Yolu İşaretleme</u>			Özel bir			
• Tabela ve Şerit Ayrım			iyileştirmedir.			
• Çizgisi						
• Şerit Ayracı						
• Değişik Kaldırım						
Rengi/Dokusu						
<u>Yanal Kılavuzlama</u>	Maks. hızda		İmajı	Yüksek hızda		
• Optik Kılavuzlama	güvenliği		geliştirir,	güvenli sürüş		
• Elektro-Manyetik	sağlamak		daha düzgün	sağlar.		
Kılavuzlama	konusunda		sürüş sağlar.			
• Mekanik Kılavuzlama	sürücüye					
	yardımcı olur.					

Planlama ve Uygulama Konuları

Seyir Yolu için Koridor Mevcudiyeti

BRT planlamasındaki en önemli sorun seyir yolunun uygunluğudur. Anayol üzerinde veya otoyola bitişik ya da ayrılmış yollar olabilmektedir. BRT yolunda tercihli geçişi sağlamak ve kuyruk atlamak için, mevcut seyahat şeritleri veya park yerleri yeniden tahsis edilebilir.

BRT Seyir Yolu İhlalini Önlemeye Yönelik Düzenleme

BRT yolunun devamlılığını sağlayabilmek için diğer trafik tipleri ile kesişmeleri çözmek şarttır. BRT yolunu kesen veya tıkanıklığa neden olan taşıtlar gecikmelere veya güvenlikte sorunlara yol açabilirler. BRT seyir yolu ihlalini önlemeye yönelik düzenleme, pasif olarak tasarımıyla (örneğin fiziksel bariyerlerle vb.) ya da aktif olarak trafik polisi vasıtasıyla sağlanabilmektedir. İki tip uygulamada da Emniyet Birimlerine ve otoyol tasarım standartlarına başvurulması gereklidir. Uygulama stratejileri, bu yolu kullanan diğer toplu taşıma sistemleri ve acil servislerle (ambulans vb.) uyumlu olmalıdır.

Optimum Performansın Güvenilirliği

Seyir yolu sisteminin fiziksel biçimi (konfigürasyonu) ve kullanılan malzemeler, işletim yeteneğini, bakımını ve onarımını etkilerler. Kılavuzlama sistemi seçiminde iklim koşulları göz önüne alınmalıdır.

BRT Seyir Yolları İle İlgili Deneyimler

ABD'deki birçok BRT uygulamasında basit seyir yolu kullanılmaktadır. Sinyal öncelikli karma akım işletimlerinin kombinasyonları ve tercihli ana yol şeritleri kullanılmaktadır. İstasyondaki optik kılavuzlama sistemli Las Vegas MAX dışındaki uygulamalarda kılavuzlama nadiren kullanılmaktadır. Alışıldık yol işaretleri BRT yolunu ayırmak için neredeyse hiç kullanılmaz. Ayrılmış yolu göstermek için, farklı bir işaretleme tekniği kullanılmalıdır.

2.2.2 İstasyonlar (Duraklar)

Tanımı

BRT' de İstasyonların Rolü

İstasyonlar (duraklar), BRT sistemi, kullanıcıları ve bölgedeki diğer toplu taşıma sistemleri arasındaki önemli bir bağıdır. Ayrıca istasyonlar, iyi bir düzeyde hizmetin sunulduğu ve BRT sistemlerini diğer toplu taşıma sistemlerinden ayıran kimliğe sahip yerler olup, BRT'yi yerel çevre ile bütünleştirir ve yerel çevreyi geliştirirler. Çünkü BRT sistemleri yüksek talepteki koridorlara hizmet etmektedirler ayrıca az sayıda durağa sahiptir. Her bir BRT istasyonunu kullanan kullanıcı sayısı, tipik bir otobüs hattını kullananlardan önemli ölçüde fazla olacaktır. Dolayısıyla, BRT istasyonları, geleneksel yerel toplu taşıma otobüslerine göre çok daha önemlidir.

İyi aydınlatılmış barınaklı basit duraklardan, kompleks karma (intermodal) terminallere kadar bir çok seçeneği barındırır. Bu duraklarda sunulan çeşitli hizmetler arasında şunlar sıralanabilir:

- Gerçek zamanlı yolcu bilgisi
- Gazete satan büfeler
- Kahve tezgahları
- Park etme
- Geçiş/bilet satışları
- Hemzemin biniş

İstasyonların Özellikleri

a) Temel İstasyon Tipi

Artan boyut ve karmaşıklık sırasına göre dört çeşit BRT istasyon tipi vardır:

- Basit durak
- İyileştirilmiş durak
- Özel istasyon
- Karma (intermodal) toplu taşıma merkezi

BRT istasyonları, yerel çevre ile bütünleşirken iyi bir düzeyde hizmet sunma rolünü üstlenerek, diğer toplu taşıma sistemlerinden ayrılan bir kimlik ile tasarlanabilmektedirler.

b) Platform Yüksekliği

Taşıta binişlerde sakatlanma ya da yaralanma olasılığını etkilemektedir. Yolcular -geleneksel olarak- taşıtlara alçak kaldırımdan taşıttaki ilk basamağa daha sonra da diğer basamaklara çıkarak biniş yapmaktadırlar. Yaygın eğilim; alçak zeminli taşıtların tercih edilmesidir. Bu sayede tüm yolcular için biniş, çok daha basit olarak gerçekleştirilmiş olacaktır. Aynı seviyedeki taşıt ve platformlar; yolcu iniş-binişlerini kolaylaştırır ve eğer boşluksuz yanaşma ve basamaksız biniş sağlanırsa, bekleme (duruş) süresi azalır.

c) Platform Planı

İstasyon tasarımının ana bileşenidir. Yanaşma yeri ataması (hangi otobüs, hangi yanaşma yerine -açılı, dik vb.- girecek) uzunluk ve uzantısını tanımlamaktadır. İstasyonda kaç adet taşıtın eş zamanlı hizmet verebileceği ve yolcuların biniş yapmak için platform boyunca nasıl konumlanacaklarını belirlemektedir.

d) Sollama Kabiliyeti

Eğer seyir yolu, taşıtların ardı ardına gelmelerine neden olacak kadar yoğunsa, taşıtların birbirlerini geçebilmeleri, hızı artırırken gecikmeleri de azaltacaktır. Sollama çeşitli şekillerde yapılabilir. Bunlar arasında;

- çoklu şeritler
- istasyon ve kavşaklardaki sollama şeritleri
- karma akım trafiğiyle birlikte yan şeritler bulunmaktadır.

e) İstasyon Erişimi

BRT sisteminin çevredeki alanlarda yaşayan topluluklara nasıl bağlanacağını tanımlamaktadır. İstasyon girişi, bitişik arazi kullanımlarına olan yaya erişimine ya da geniş park alanlarından gelen bölgesel erişime izin verebilir. Park etme kolaylığı ve gerekli alan miktarı, istasyonun hizmet ettiği ulaşım talebinin doğasına ve bitişindeki fiziksel çevreye bağlıdır. Uygun BRT istasyonlarında park etme koşulları; istasyon alanı dışından otomobille istasyona gelen yolcular için toplam yolculuk süresini korur ve sisteme ulaşımı iyileştirir.

İstasyon Seçenekleri

Temel İstasyon Tipleri

a) Basit Durak

4 çeşit istasyon tipinden en basit forma sahip olanıdır. Bekleyen yolcuları hava koşullarından korumak için “asgari” toplu taşıma durağını (basit bir korunakla) içerir. Bu tip istasyonlar, en düşük yatırım maliyeti ve en düşük seviyede yolcu konforuna sahiptir.

Maliyet: Barınak başına 15.000-20.000 dolardır.

b) İyileştirilmiş Durak

BRT istasyonlarını diğer toplu taşıma istasyonlarından farklı kılan ve kötü hava koşullarında daha iyi bir koruma ve ışıklandırma sağlayan ek özellikleri içerecek biçimde tasarlanan istasyonlar, iyileştirilmiş korunakları içerirler.

Bu istasyonların özellikleri arasında:

1. Ek tasarım işlemleri; cam veya diğer transparan malzemelerden yapılan duvarlar/ yüksek kaliteli boya vb.
2. Yolcu konfor bileşenleri; oturma bankları/ çöp tenekeleri/ ankesörlü telefon bulunmaktadır.

Maliyet: Korunak başına 25.000-35.000 dolardır.

c) Özel İstasyon

Aynı seviyeli yolcu biniş-inişi, bir platformdan diğer platforma uygun bağlantıyı ve yüksek oranda yolcu konfor bileşenlerini içermektedirler.

Maliyet: İstasyon başına 150.000-2.500.000 dolardır.

Düşük maliyetli istasyonlar → saçak, platform, istasyon çiti ve yaya girişini içerirler.

Yüksek maliyetli istasyonlar → daha yüksek yolcu miktarına göre tasarlanırlar;

- Daha uzun platformlar ve saçaklar
 - Daha büyük istasyon binası/yapısı
 - Yolcu konfor bileşenleri ve karayoluna erişim bağlantısı
- (Park etme tesis maliyetlerini içermez)

d) Karma (İntermodal) Terminal veya Toplu Taşıma Merkezi

En karmaşık ve en yüksek maliyetli istasyon tipidir. Genellikle “hemzemin biniş” ve yolcu konfor bileşenlerini içerirler. BRT’den yerel otobüslere ve diğer toplu taşıma modlarına (raylı toplu taşıma ve şehirlerarası otobüs ile demiryolu) aktarma yapmaya uyumludur.

Maliyet: Tesis başına 5 milyon-20 milyon dolar ya da daha yüksek

- Platform, saçak, büyük istasyon yapıları, yolcu konfor bileşenleri, yaya girişi (erişimi), taşıt erişimi, tüm toplu taşıma modları için toplu taşıma hizmetlerine erişim
- Zorunlu olmayan-ekstra harcamaları içermez.

Platform Yüksekliği

a) Standart Kaldırım

Standart yükseklikler, taşıt girişi ve kaldırım arasında kot farkı problemlerine neden olmaktadır. Bu durum, taşıta binerken ve inerken basamak çıkıp inmeye neden olur. Genellikle bu tip platformlar, özel bir istasyon yolu yapılamadığında kullanılır.

Maliyet: Ekstra bir maliyeti yoktur.

b) Yükseltilmiş Kaldırım

Platform ve taşıt arasındaki düşey çatışmayı azaltmaktadır. Yol seviyesinden yüksekliği 25 cm’den fazla olmamalıdır. Bazı durumlarda hemzemin binişe izin verecek bir yükseklikte olabilir. Standart kaldırıma oranla daha fazla tercih edilir.

Maliyet: Özel bir ek masrafı yoktur. Standart kaldırıma 8-10 cm eklenmesi gerekir.

c) Hemzemin Platform

En güvenli -en kolay- en verimli kullanıcı biniş ve inişlerini sağlamaktadır. BRT taşıt döşemesi ile hemzemin olan platformlar (en düşük döşeme yüksekliğine sahip taşıtlarda yol kaplamasından 35 cm yüksekliğinde) en tercih edilen istasyon formudur. İstasyon ile taşıt arasında hissedilmeyen bir geçiş sağladığı için biniş ve iniş kolaylığı sağlar.

Maliyet: Önemli bir ek maliyeti yoktur. Standart kaldırıma 20 cm eklenmesi gerekir.

Platform Planı

Tek taşıt uzunluğu (taşıt 12 m ise) ve tek yanaşma yeri için 18 m uzunluğundadır. Birden fazla körüklü taşıta hizmet verilecekse, bu uzunluk 91 m ve daha fazla olmalıdır.

a) Tek Taşıtlık Platform Uzunluğu

BRT taşıtlarının istasyona girip çıkabilmeleri için gerekli olan en kısa platform uzunluğudur.

b) Yanaşma Yeri Sayısı Belirlenmemiş Uzatılmış Platform

İki taşıttan daha fazlasına hizmet etmektedirler. Çoklu taşıt gruplarının düzenli yolcu indirip bindirmelerini sağlarlar. Tek seferde birden çok taşıta hizmet verebilirler. Bu platform tipi sayesinde taşıtlar, seyir yolu ve BRT istasyonlarını daha kolay kullanmaktadır.

Maliyet: Kullanılacak taşıt sayısına göre tek taşıt platform maliyetinin katları kadardır.

c) Ayrılmış Yanaşma Yerleri Bulunan Uzatılmış Platform

Bir önceki uzatılmış platform özelliklerinin tümünü içermekte ve de taşıtların güzergahlarına göre konumlandırılmalarını sağlamaktadırlar. Bir önceki seçeneğe göre daha uzun bir platformdur.

Maliyet: Kullanılacak taşıt sayısına göre tek taşıt platform maliyetinin katları kadardır.

Sollama Kabiliyeti

BRT taşıtlarının istasyonda duran diğer bir taşıtı geçebilmesi iki temel durumda önemlidir:

- 1.Karma akım işletimlerinde (sıklık yüksek ve yolculuk süresi çok çeşitlidir)
- 2.Aynı yol üzerinde çeşitli hizmet türleri işletildiğinde (yerel ve ekspres) ve düzenli olmayan talep seviyelerinde.

Her iki durumda da, istasyonda sollama yapma şansı yoksa aynı seyir yolu üzerinde hizmet veren BRT taşıtları diğer BRT taşıtlarının işletimini engelleyebilir.

a) Otobüs Cepleri

Ana yolda ve özel şeritlerde işletilen BRT türleri için kullanılmaktadır. BRT taşıtlarının istasyona rahatça girip çıkmalarını ve istasyonda durmuş taşıtları geçmelerini sağlar.

Maliyet: Cep (istasyon platformu) başına 0,05 milyon- 0,06 milyon dolardır.

b) İstasyonlardaki Sollama Şeritleri

Ekspres hizmet veren taşıtların, istasyondan tam hızla (durmadan) geçmelerini veya durmuş bir otobüs varsa bu taşıtı durmadan geçmelerini sağlar.

Maliyet: Şerit kilometresi başına (toplu taşıma yolu kamulaştırmasını içermez) 1,5-1,8 milyon dolardır.

İstasyon Erişimi

Toplu taşıma sistemleri, çevresindeki toplulukları çekmek için;

- Yayalar için yaya bağlantıları ve
- Otomobil ya da motorsuz taşıt bağlantılarını içermelidir.

a) Yaya Bağlantıları

Kaldırım, üst geçit ve yaya yolları, BRT istasyonunu çevresindeki alanlara, yapılara ve etkinlik merkezlerine bağlayan önemli fiziksel bağlantılardır.

Maliyet: Özel istasyonlar ve karma (intermodal) terminaller veya toplu taşıma merkezleri için özel olarak yapılırlar, bu nedenle maliyet değişkenlik gösterir.

b) Park Et ve Bin Tesisleri:

Park et ve bin tesisleri; özellikle çevresinde dikkate değer bir yerleşme bulunmayan istasyonlarda, yolcuları geniş bir alandan BRT istasyonlarına çekmektedir. BRT hizmetleri kendi ana seyir yolunun dışına çıkabilmektedir. Bu nedenle bölgesel park et ve bin tesisleri ayrıca ana seyir yolunun uzağında da olabilir. Bu düzenleme, BRT hizmetlerini mevcut park yerleri ile ilişkilendirerek -potansiyel olarak- yatırım maliyetlerini azaltabilir.

Maliyet: Yapılaşmamış alan için 3.500-5.000 dolardır.

Yapılaşmış alan için alan başına 10.000-25.000 dolardır.

İstasyon Bileşenlerinin Sistem Performansı ve Sistem Faydaları Üzerindeki Etkileri

İstasyon bileşenlerinin “sistem performansı” ve “sistem faydaları”na etkileri Çizelge 2.2’de listelenmiştir.

Çizelge 2.2 İstasyon bileşenlerinin sistem performansı ve sistem faydaları üzerindeki etkileri

	Yolculuk Süresi	Güvenilirlik	SİSTEM PERFORMANSI		Kapasite	SİSTEM FAYDALARI
			Kimlik-İmaj	Güvenlik		
<u>İstasyon Tipleri</u> • Basit Durak • İyileştirilmiş Durak • Özel İstasyon • Karma Toplu Taşıma Merkezi	Çeşitli hatlara hizmet eden entegre edilmiş istasyonlar; aktarma zamanı kayıplarını minimize eder.		BRT için ayrı istasyon tipleri, imaj için kimliğin (markanın) gelişmesini sağlar. Kullanıcılar için ek konfor, imajı arttıracaktır.	Daha kapsamlı istasyonlar, güvenliği artırıcı önlemlerin alındığı tasarımlara sahiptir.	Büyük istasyonlar, istasyondaki yüklemeye kapasitesini artırır.	Tanımlı duraklar potansiyel gelişmeye açıktır.
<u>Platform Yüksekliği</u> • Standart Kaldırım • Yükseltilmiş Kaldırım • Hemzemin Platform	Platform yüksekliğini düşük tutmak duruş süresini azaltır.	Düşük platform yüksekliği, duruş süresi değişkenliğini azaltır.	Bazı raylı sistemlere benzer şekilde, hemzemin platformlar, gelişmiş teknolojinin imajını yansıtır.	Düşük platform yüksekliği, biniş ve iniş sırasındaki muhtemel kazaları azaltabilir.	Düşük platform yüksekliği duruş süresini azalttığı için istasyondaki kapasite artar.	
<u>Platform Planı:</u> • Tek Taşıtlık Platform Uzunluğu • Yanaşma Yeri Sayısı Belirlenmemiş Uzatılmış Platform • Ayrılmış Yanaşma Yerleri Bulunan Uzatılmış Platform	Yükleme-boşaltma işlemleri için çoklu taşıt yanaşmalarına izin vermek, istasyon geçiş zamanını düşürür.	Yükleme-boşaltma işlemleri için çoklu taşıtlara izin vermek, gecikmeleri azaltır.			Daha uzun platformlar, yüklemeye için bekleyen taşıtların kuyruk oluşturmalarını engeller.	
<u>Sollama Kabiliyeti:</u> • Otobüs Cepleri • İstasyonlardaki Sollama Şeritleri	İstasyonda sollama imkanı, ekspres güzergahlar için istasyondaki gecikmeyi minimize eder.	İstasyonda sollama imkanı, tarifelerin iyileştirilmesini sağlar.			İstasyonda sollama imkanı, istasyondaki kuyruk gecikmelerini önler.	
<u>İstasyon Girişi (Erişimi)</u> • Yaya Bağlantıları • Park Et ve Bin Tesisleri			İstasyon girişinin vurgulanması yolcuları çeker.	Çevre yerleşimlere daha iyi yaya bağlantıları, toplum ile bütünleşmeyi kolaylaştırır.		Daha iyi erişim, yolcuları kendine çeker.

Uygulama Konuları

BRT'nin esnek ve farklı yapısı, istasyon uygulamaları ile ilgili özel sorunlar ve zorluklar ortaya çıkarmaktadır.

Arazi Olanakları

Seyir yolu için koridor mevcudiyetinin, seyir yolu uygulamasındaki en önemli faktör olması gibi, istasyonlar için de arazi mevcudiyeti, istasyon planlamasındaki anahtar faktördür. Sağ şeritleri kullanan veya anayol boyunca karma trafikte işletilen BRT hatları, mevcut yaya kaldırımı üzerindeki istasyonlarda hizmet vermektedir. Yaya kaldırımlarındaki istasyonların tasarımında, yayalar ve tekerlekli sandalye trafiği için gereken alan göz önüne alınmalıdır. Bazı durumlarda, caddede ek seyir yollarına gereksinim duyulur, bu da ya kısmi şerit düzenlemesini ya da yaya kaldırımının genişletilmesini gerektirir.

Plancılar;

- Park etme
- Genel trafik şeritleri ve
- BRT istasyonları

ihtiyaçlarını dengelemelidir.

Sonuç olarak, özel seyir yolu kesimlerinde, komple istasyon inşası için ek araziye gereksinim vardır. Bazı durumlarda, seyir yolu kısıtlamaları sebebiyle istasyon platformları yolun karşı tarafında yer almaktadır.

Yaya Yolu/ Kullanıcı Erişim ve Güvenliği

İstasyon içinde ve çevresinde, yaya yolu ile BRT taşıtları arasındaki çatışmayı minimize etmeye önem verilmelidir. Çevre yerleşmelerdeki yaya ve tekerlekli sandalye kullananlar için güçlü bir bağlantı geliştirme ihtiyacı, BRT istasyonlarının inşaat alanı planını etkileyecektir. Çünkü istasyon platformları, seyir yolundan çok yüksek değildir. Burada, bir platformdan diğer platforma geçmek için, gelmekte olan BRT taşıtının yolunda yürüyen yayalara ilişkin risk söz konusudur. Yayalar ve BRT taşıtları arasındaki benzer çatışmalar, BRT seyir yolu ile ana caddeyi kesen yol/ara yol arasındaki geçişlerde de meydana gelebilir. Bazı BRT tasarımları, bu çatışmaları minimize eden bileşenleri kapsar. Örneğin, Avustralya Brisbane'deki Southeast Busway, kullanıcı güvenliğini arttırmak için erişim ve çıkışta üstgeçit yollarını kullanmıştır. Aynı zamanda, fiziksel olarak istasyon alanına erişim olanaklı değilse üstgeçitler kullanılarak alan tasarrufu sağlanmış olur.

Güvenlik

İstasyon yerleşimlerinde suç unsurları veya diğer güvenlik tehditleri göz önüne alınmalıdır. Suçu caydırmanın yaygın yöntemleri:

- Yüksek seviyede genel ısklandırma
- Güvenlik kameraları ve ekipmanları
- Acil arama (telefon) kulübeleri
- Kapalı devre televizyon monitörleri
- Kapsamlı bölgesel aydınlatma ve
- Transparan malzeme kullanımı (cam vb.) ve görüşün açık olması

Güvenliğı sağılamanın pasif yolları ise;

- Tasarımda açıklığa odaklanma
- Yüksek görüş şartları
- Kuvvetli/yoğun ısklandırmadır.

Engelsiz görüş olanakları, BRT kullanıcılarının kendi çevrelerini görmelerine ve tesis içinden ve dışından görölmelerine olanak sağılar.

Toplum Entegrasyonu

Toplu taşıma yolculuğunun birincil (temel) başlangıç noktası olarak istasyonlar, toplu taşıma sistemi hakkında ilk izlenimi verir. Sistem ile çevresindeki halkın arasındaki birincil bağlantılardır. BRT sistemi için bir kimlik ortaya koyma konusunda istasyon tasarımı ve yaya bağlantıları önemli rol oynarlar. İstasyonları halk ile bütünleştirmek için, istasyon tasarımında önemle göz önüne alınması gereken iki anahtar fikir vardır:

- Peyzaj ve Kamusal sanat - BRT sisteminin bir kentsel yerleşime entegrasyonu, seyir yollarının ve istasyonların etrafındaki alanların peyzaj ve aydınlatma, yaya yolu, cadde mobilyaları ile heykeller aracılığı ve diğer sanatsal nesnelerden oluşan kamusal sanat unsurları ile güzelleştirilmesiyle gerçekleştirilir.
- Planlama ve bölgeleme - Planlama kılavuzları ve bölgeleme düzenlemeleri (yasaları), bir istasyon çevresindeki, hali hazırda olan ve olası gelişmenin karakterini ve şiddetini (yoğunluğunu) ortaya koyar. Bu, istasyon tasarımının şu anki ve gelecekteki gelişmelerle iyi bir şekilde bütünleşeceğinden emin olunması anlamında, planlama ve bölgelemenin gerekçelendirilmesi açısından önem taşır.

Reklam

Toplu taşıma kuruluşları ek gelir elde etmek için reklamcılık olanaklarından yararlanırlar. Böylelikle, istasyon tasarımı, kurumun gelir üretme hedefleri ile BRT sisteminin ve çevresindeki halkın estetik gereksinimlerini dengeleyecek şekilde, basılı ya da elektronik reklamcılık şartları ile bütünleşebilmelidir (uyumlu olmalıdır).

BRT İstasyonları ile İlgili Denevimler

ABD'deki çoğu BRT uygulaması, basit korunaklı istasyon ve durak tasarımının kombinasyonunu içermektedir. Özel istasyonlar ve karma (intermodal) istasyonlar, özel yollarda kullanılırlar. İstasyondaki en genel yolcu konfor bileşenleri, güzergah haritaları ve tarife bilgileri, bank ve çöp kutularıdır. Daha karmaşık BRT istasyonları (Pittsburgh gibi), ısıtma sistemi, anons sistemi ve acil arama telefonlarını da içerir. Pittsburgh Busways ve Las Vegas MAX, yükseltilmiş kaldırım veya hem zemin biniş platformuna sahiptir. Çoğu BRT sistemi, istasyonda sollama imkanına sahiptir (hem bitişik karma akım şeritlerinin kullanımı hem de istasyondaki sollama şeritlerinin kullanımı).

2.2.3 Taşıtlar

Tanımı

BRT'de Taşıtların Rolü

Taşıtlar; hız, kapasite, çevre ile uyumluluk ve konfor üzerinde doğrudan etkilidirler. BRT kimliğinin kullanıcılar ve kullanıcı olmayanlar tarafından da algılanmasını sağlayan BRT bileşenleridir. Taşıtlar, sistemdeki kullanıcıların en çok zaman geçirdiği, yolcuların BRT sistemindeki izlenimlerinin en çok olduğu bileşendir. Yolcu olmayanlar için taşıtlar, sistemin en çok görünen bileşenidir.

Taşıtların Özellikleri

a) Taşıt Konfigürasyonları

BRT taşıtlarının temel fiziksel konfigürasyonu; taşıt boyutu, döşeme yüksekliği ve taşıt gövde biçiminin kombinasyonlarının bir fonksiyonudur. ABD'deki toplu taşıma taşıtları, -geleneksel olarak- basamaklı ve yüksek döşemelidir. Geleneksel toplu taşıma işletmelerinde, engelliler için düşük döşemeli taşıtlar bir koşul haline gelmiştir. ABD'deki BRT uygulamalarında taşıtlar, düşük döşemeli, 2 dingilli, 12-14 metre uzunluğundaki birimlerden, 3 dingilli, 18 metre uzunluğundaki körüklü otobüslere kadar bir çok şekilde düzenlenmektedir.

b) Estetik Görünümün Arttırılması

Taşıt gövdesinin görünümü ve konfigürasyonunu etkileyen boyama biçimleri ve biçimsel seçenekleri içeren estetik iyileştirmeler, BRT sisteminin kimliğine katkıda bulunurken; bunları kaliteli bir seçenek olarak ortaya koyar ve potansiyel kullanıcıları kendisine çeker. Taşıt içerisindeki, kaliteli iç malzemeler, daha iyi aydınlatma ve sıcaklık kontrolü gibi iyileştirmeler, kullanıcıların konforu algılamalarına ve hizmet kalitesine katkı sağlar.

c) Yolcu Sirkülasyonunun İyileştirilmesi

Taşıtın içine doğru olan, taşıttan dışarı doğru olan ve taşıtın içindeki sirkülasyonu kolaylaştırmak için taşıtta birkaç iyileştirme yapılabilir.

Bu iyileştirmeler şunları içerir:

- Ek veya daha geniş kapı kanallarının kullanılması veya
- Kapıların, taşıtın karşı tarafında (sol tarafında) da bulundurulması.

Taşıt içindeki dolaşımın kolaylaştırılması için,

- alternatif oturma planları,
- alternatif tekerlekli sandalye güvenlik yerleri düşünülebilir.

d) Çekim Gücü

Çekim gücü, BRT taşıtlarının; ivme, maks. hız, yakıt sarfiyatı ve salınım özelliklerini belirlemektedir. Aynı zamanda, sürüş sırasındaki gürültüyü, akıcılığı ve hizmet güvenilirliğini etkiler. Çekim gücü sistemleri, BRT sisteminin işletim ve bakım maliyetleri üzerinde büyük bir etkiye sahiptir.

Taşıt Seçenekleri

Taşıt Konfigürasyonu

Taşıt konfigürasyonu, BRT sistemleri için birincil taşıt planlama/tasarım parametresidir.

Bu konfigürasyon;

- uzunluk (kapasite),
- taşıt gövde tipi ve
- döşeme yüksekliğinin kombinasyonlarını içerir.

BRT sistemleri pratikte, tek bir seyir yolu üzerinde, farklı çeşitlerde taşıt konfigürasyonlarını kullanabilmektedir. Her bir konfigürasyon, belirli bir hizmet profiline ve hedef kitleye göre uyarlanabilir. Taşıt uygulamalarının esnekliği nedeni ile bazı bölgelerde, 12-14 m uzunluğundaki taşıtlarla başlayan hizmet, talebin artması ile birlikte 18 m uzunluğundaki körüklü otobüslerle verilmeye başlanmıştır. Yerel toplu taşıma hizmetleri ve birçok BRT sistemi yüksek döşemeli taşıtları kullanırken, düşük döşemeli taşıtlar, ABD'deki toplu taşıma kuruluşları arasında baskın seçenek haline gelmektedir.

a) Geleneksel Standart Taşıtlar

12-14 m uzunluğunda olan ve geleneksel taşıt gövde biçimine sahip taşıtlardır. Şimdilerde kentsel toplu taşıma uygulamalarında zorunlu olan “kısmi düşük-döşeme” seçenekleri; yüksek döşemeli otobüslerden (kaplamadan 35cm yukarıda olan) önemli ölçüde düşük, iç döşemeleri içerirler (kapının bulunduğu döşeme seviyesi düşük, platform ile taşıta eş düzeyde biniş yapılıyor, daha sonra taşıt içinde basamak çıkılıyor). Genellikle en az iki kapısı vardır. Tekerlekli sandalyeli yolcular ve diğer hareket engelli kullanıcılar için, hızla yerleştirilen bir rampaya sahiptir.

Kapasite: Tipik 12 m uzunluğundaki taşıtların, 35-44 oturma yeri ve 50 ile 60 arasında oturan ve ayakta yolcu kapasitesi vardır. Tipik 14 m uzunluğundaki taşıtlarda, 35-52 oturan yolcu ve 60 ile 70 arasında oturan ve ayakta yolcu taşınabilmektedir.

Maliyet: 300.000-350.000 dolardır.

b) Özel Görünümlü Standart Taşıtlar

Geleneksel basamaklı düşük-döşeme taşıtların tüm özelliklerini taşımaktadırlar. Temel farklılığı, taşıt gövdesindeki hafif değişiklik veya taşıt gövdesinin daha modern, aerodinamik ve çekici görünmesi için yapılan ilavelerdir.

Kapasite: Geleneksel standart taşıtlar ile aynıdır.

Maliyet: 300.000-370.000 dolardır.

c) Geleneksel Körüklü Taşıtlar

Diğerler taşıt seçeneklerine oranla daha uzun olan körüklü taşıtlar, standart taşıtlara oranla daha yüksek (%50 daha fazla) yolcu taşıma kapasitesine sahiptir. Tipik döşemeler, 2 veya 3 kapılı, basamaklı, kısmi düşük döşemelerdir. Körüklü taşıt oturma kapasitesi, kapı düzenlemelerindeki kapı sayısı ve kapı yerleştirilmesine bağlıdır. 31'den (4 geniş kapı olursa) 65'e (2 kapı olursa) kadar ve ayaktaki yolcuları da içerek şekilde toplam 80 ile 90 yolcu arasında bir kapasiteye sahiptir.

Maliyet: 500.000-645. 000 dolardır.

d) Özel Görünümlü Körüklü Taşıtlar

Bu taşıtlar ABD'de, BRT kullanıcılarının, daha modern, gösterişli ve konforlu taşıt isteklerine yanıt vermek için ortaya çıkmıştır.

Biniş ve inişte;

- Basamaklı düşük-döşemeler,
- En az 3 kapı ve
- 2 çift, hızlı yerleştirilebilen rampa

durma sırasındaki bekleme süresini kısaltmaya yardım eder.

Maliyet: 630.000-950. 000 dolardır.

e) Özel Donanımlı BRT Taşıtları

Modern, aerodinamik ve raylı sistem taşıtlarına benzer görünüşte bir taşıt gövdesi içerirler.

Aynı zamanda, gelişmiş çekim sistemleri ve gelişmiş ITS ve kılavuzlama sistemlerini de içermektedirler.

Maliyet: 950.000-1.600. 000 dolardır.

Estetik Görünümün Arttırılması

Temel taşıt tipinin ötesinde, yolcular açısından taşıtların çekiciliğinin arttırılması amacı ile taşıt görünümü için birçok estetik özellik kullanılabilmektedir. Bu özelliklerin seçimi; sistemin, toplum tarafından kabul görmesi ve yolculuk yapma istekleri üzerinde önemli etkiye sahiptir.

a) Özel Logolar ve Cephe Giydirmesi

Özel logo kullanımı ve cephe giydirmesi, marka meydana getirmek için, özel bir kimlik oluşturmak ve kullanıcıların BRT sisteminin olumlu özellikleri ile birlikte ilişki kurduğu ve hatırladıkları bir tema yaratmak için sık sık kullanılmaktadır. Diğer hizmetlerden BRT sistemini farklılaştırmak için böyle özelliklerin kullanılması, BRT sistemine tahsis edilmiş bir filoyu gerektirir. Hatlar arası çalışma ve yerel toplu taşıma hizmetleri ile dönüşümlü çalışma gibi işletme stratejilerine engel olabilir.

Maliyet: Maliyeti arttırmaz.

b) Daha Büyük Pencerele ve Işıklandırmanın Arttırılması

Gece gündüz açıklık hissi veren, bol ışık yayan büyük pencerelerin ve iç aydınlatma donanımlarının kullanımı, güvenlik hissini ve yolcu güvenliğini arttırmaktadır. Taşıt içinden dışarının, dışarıdan da taşıt içinin görünmesini sağlayan geniş pencereler kullanıcı güvenliği için önemlidir.

c) İç Konforun Arttırılması

Daha konforlu oturma yerleri, daha yüksek kalitede malzemeler ve boya, daha iyi aydınlatma ve sıcaklık kontrolü gibi özellikler; temizlik, yapım kalitesi ve güvenliğin algılanmasını kolaylaştırmaktadır.

Yolcu Sirkülasyonunun İyileştirilmesi

BRT taşıtlarına erişilebilirlik ve taşıt içerisindeki sirkülasyonu düzenlemek için bazı ek özellikler kullanılabilmektedir. Bu özellikler; duruş zamanında, kapasitede, yolcu konforunda ve toplumun sistemi kabulü ve yolculuk isteği üzerinde önemli etkilere sahiptir.

a) Alternatif Oturma Planları

Taşıtın iki tarafında da yan duran oturma yerleri, yolcu sirkülasyonu için ek bir alan oluşmasını sağladığı gibi, taşıt içerisindeki koridor genişliğini, dolayısıyla da taşıtın ayakta yolcu kapasitesini arttırmaktadır. Bu tip oturma planı, aynı zamanda, açıklık ve erişilebilirlik gibi faydalar da sağlamaktadır (konfor vb).

b) Ek Kapı Kanalları

Sağ taraf ek kapı kanalları ve daha geniş kapılar, bir seferde çoklu kuyruklarla yolcunun BRT taşıtına girişine izin vererek, taşıta binışı kolaylaştırır (tek kapıda oluşan uzun bir kuyruk yerine, birkaç kısa kuyruk).

Sol taraf- taşıtın karşı tarafına (sol taraf) da kapı eklemek, bir ana yolun ortasındaki istasyon platformundan erişime izin verir. Bu ek özellik, BRT sisteminin işletildiği seyir yollarının esnekliğini artırır ve raylı sistemin binış-iniş esnekliğini taklit eder.

Maliyet: Orijinal taşıt siparişleri için önemli bir maliyeti yoktur. Karşı taraf kapıları; ek yapısal tadilatlar gerektirebilmektedir.

c) Tekerlekli Sandalye Güvenliğinin Sağlanması

Geleneksel tekerlekli sandalye güvenliği; bağlantı parçaları, tekerlek kilitleri ve kemerlerin kullanımını gerektirir. Binış zamanı dahil, işlem 60 ile 200 saniye arasında değişmektedir. Otobüs işletmesinde tekerlekli sandalye kullanıcılarının güvenliği için gereken sürenin azaltılmasını sağlamak için, alternatif tekerlekli sandalye güvenlik araçları araştırılmaktadır. BRT uygulamalarında, özellikle Avrupa’da, ters yöne bakan tekerlekli sandalye pozisyonu ile birlikte, aralıksız ve basamaksız binış ve iniş sağlanması sonucu asansörlere, rampalara ve tekerlekli sandalye bağlantısına olan ihtiyaç ortadan kalkmıştır.

Alternatif bağlama sistemlerinin diğer çeşitleri; ”4-noktadan kemer bağlantı sistemi”ni ve tekerlekli sandalyenin arka tarafının güvenliğini sağlayan özel bir güvenlik sistemini (otomatik docking sistemi) içermektedir.

Cekim Sistemi

Temiz havayı desteklemek adına yapılan düzenlemelerin teşvikiyle birlikte, taşıt çekim sistemlerindeki çeşitlilik artmaktadır. Teknolojinin gelişmesiyle; daha temiz, alternatif yakıtları kullanan ve emisyonu kontrol altında tutan, böylece daha az kirliliğe ve gürültüye neden olan yeni çekim sistemleri sunulabilmektedir. Bunun nedeni, birçok yeni teknolojinin ortaya çıkması ve piyasa koşullarının (otobüslere olan talep ve üretim maliyeti) değişmesidir.

a) İçten Yanmalı Motorlar

Günümüzün en yaygın çekim sistemleri, "ultra düşük kükürt seviyeli dizel" ya da "sıkıştırılmış doğal gaz" ile beslenen, otomatik vitesli ve kıvılcım ateşlemeli (bujili) içten yanmalı motorlardır. Kimi araştırmacılar "biodizel", "dizel emülsiyon karışımları" ve hatta "sıvı doğal gaz" gibi diğer yakıtlar ile denemeler yapmaktadırlar ancak bunlar toplu taşıma uygulamalarının çok küçük bir kesimini oluşturmaktadır. 2007 ve 2010'da NO_x ve PM (Azot oksit ve partiküller) emisyonlarındaki kısıtlamalar, salınımlarla ilgili özel teknolojilerin motorlarda kullanılmasını gerektirecektir.

Maliyet: CNG'nin (sıkıştırılmış doğal gaz) ULSD (Ultra Düşük Seviyeli Kükürt Dizel) üzerindeki fiyat farkı taşıt başına 40.000 dolardır.

Temel taşıt maliyeti: 700.000 - 1.000.000 dolar arasındadır.

b) Trolleybüs, Çift Enerjili Tür ve Dizel-Elektrikli Çekim

Tepeden katener sistemiyle güç sağlayan elektrikli trolleybüsler halen üretilmektedir ve tünel BRT sistemleri uygulamalarında sınırlı sayıda planlanmaktadır. Taşıt üzerinde ısı motoru (genellikle dizel) olan çift enerjili sistemler, hem bir trolleybüs gibi, hem de içten yanmalı motor taşıtları gibi katenersiz olarak çalışma özelliğine sahiptirler. Ayrıca, içten yanmalı motoru jeneratöre bağlayan dizel-elektrik çekim sistemi, Las Vegas BRT'sinde yaygınlaşan Irisbus'ın Cavis'i gibi taşıtlarda kullanılmaktadır.

Maliyet: Dizel içten yanmalı motor üzerinde maliyet artışı: 200.000- 400.000 dolar arasındadır.

c) Hibrid-Elektrikli Çekim

Hibrid-elektrikli çekim, düşük emisyon (örneğin, nitrojen oksit (NO_x) ve partiküller) ile birlikte yüksek performans ve yakıt tasarrufu sağlar. Bir takım taşıt içi enerji depolama cihazlarıyla (örneğin, piller ya da ultra kondansatörler) çalışmalarından ötürü, Çift Enerjili sistemlerinden ayrılırlar. Hibrid çekim sistemlerinde kullanılan termal (ısı) ya da içten yanmalı motorlar toplu taşıma uygulamalarının çoğunda dizel olmasına rağmen, bir dizi örnekte de (örneğin, Denver 16. Cadde Alışveriş Merkezi Araçları) CNG (Sıkıştırılmış Doğal Gaz) veya benzin ile beslemeli motorlar kullanılmaktadır. Kentiçi hizmetlerde %60'lara varan yakıt tasarrufu yapıldığı iddia edilmektedir. İşletim testleri içten yanmalı otobüslerde artan çeşitliliği ve güvenilirliği ortaya koymuştur. Hibrid otobüsler New York ve Seattle gibi bazı yerlerde hizmete girmiştir. Hibrid çekim sistemi, geleneksel dizel otobüslere göre, daha sarsıntısız ve daha hızlı kalkış (ivme), daha etkin frenleme, geliştirilmiş yakıt tasarrufu ve

azaltılmış emisyon gibi bir çok işletim avantajına sahiptir.

Maliyet: Dizel içten yanmalı motor üzerinde fiyat fazlası 100.000 - 250.000 dolar arasındadır.

d) Yakıt Hücreleri

Yakıt Hücresi otobüsleri ile ilgili bir dizi test yakın gelecekte Avrupa'da ve Amerika'da uygulamaya konulacaktır. Fiyatı çok yüksek olmasına rağmen, dahili olarak elde edilen hidrojeni kullanarak sıfır emisyon sağlama konusundaki gelişmelere olan ilgi çok büyüktür. Halihazırda, Amerika'da ve Avrupa'da, yakıt hücrelerinin BRT sistem uygulamalarında kullanılmasına ilişkin planlar yapılmamıştır.

Maliyet: Şu anda ticari uygulaması yoktur.

Taşıt Bileşenlerinin Sistem Performansı ve Sistem Faydaları Üzerindeki Etkileri

Taşıt bileşenlerinin “sistem performansı” ve “sistem faydaları”na etkileri Çizelge 2.3’de listelenmiştir.

Çizelge 2.3 Taşıt bileşenlerinin sistem performansı ve sistem faydaları üzerindeki etkileri

			SİSTEM PERFORMANSI			SİSTEM FAYDALARI
	Yolculuk Süresi	Güvenilirlik	Kimlik-İmaj	Güvenlik	Kapasite	
<u>Taşıt Konfigürasyonu</u> • Geleneksel Stand. Taşıtlar • Özel Görünümlü Stand. Taşıtlar • Geleneksel Körüklü Taşıtlar • Özel Görünümlü Körüklü Taşıtlar • Özel Donanımlı BRT Taşıtları	Düşük döşeme taşıtlar, duruş süresi gecikmelerini azaltır.	Düşük döşeme taşıtlar, duruş süresindeki değişkenliği azaltır.	Gelişmiş taşıtlar, BRT'nin farklılığını vurgular ve şehir dışındaki bölgeler ile bağlantıyı artırır.	Düşük döşeme taşıtlar, takılıp düşme tehlikelerini azaltır.	Taşıt büyüklüğü arttıkça, kapasitesi de artar.	Gelişmiş taşıtlar, yolcular üzerinde iyi etki bırakır.
<u>Estetik Görünümün Arttırılması</u> • Uzmanlaşmış Logo ve Cephe Giydirmesi • Daha Büyük Pencereler ve Işıklandırmanın Arttırılması • İç Konforun Arttırılması			Görünüşü geliştirici iyileştirmeler ve taşıt gövde biçimi, marka kimliğinin oluşmasına fayda sağlar.	Diğer iyileştirmeler ile birlikte daha geniş pencerelerin kullanılması (geniş görüş) güvenliği artırır.		Çekici taşıtlar, yolcular üzerinde iyi etki bırakır.
<u>Yolcu Sirkülasyonunun İyileştirilmesi</u> • Alternatif Oturma Planları • Ek Kapı Kanalları • Tek. Sand. Güvenliğinin Sağlanması • Dahili Bisiklet Güvenliğinin Sağlanması	Geliştirilmiş yolcu sirkülasyonu ve engelli erişimi, duruş süresindeki gecikmeleri azaltır.	Geliştirilmiş yolcu sirkülasyonu ve engelli erişimi, duruş süresindeki değişimi azaltır.	Hareket engelliler için geliştirilmiş erişim, hizmetin imajını artırır. Kapıların sol tarafta da kullanılması, sistemin raylı sisteme benzetilmesini sağlar.	Daha kolay bir engelli güvenlik sisteminin kullanılması, güvenliğe yardımcı olur.	Geliştirilmiş yolcu sirkülasyonu ile BRT tesislerinin taşıt kapasitesi (istasyondan geçen taşıt miktarı) artar.	
<u>Çekim Sistemi</u> • İçten Yanmalı Motorlar • Trolleybüs, Çift Enerjili Tür ve Dizel-Elektrikli Çekim • Hibrid-Elektrikli Çekim • Yakıt Hücreleri	Elektrik ile çalışan taşıtlar (trolleybüs, çift enerjili ve hibrid elektrikli çekim), kalkışlarda daha hızlı ivmelenmeye sahiptir.		Düşük emisyonlu sistemler, BRT'nin çevresel imajını artırır.			Düşük emisyonlu sistemler, çevresel kaliteyi maksimize eder.

Uygulama Konuları

Bakım İhtiyaçları: BRT uygulamasına bağlı olarak, bakım ve depolama tesisleri, BRT taşıtlarına uyum sağlamaları amacıyla tadil edilmeli veya genişletilmelidir. Maliyet (var olan bir tesisin tadilatı söz konusu ise) bir kaç milyon dolar ile (yeni bir tesisin inşası söz konusu ise) 25 milyon dolar -veya daha fazla- arasındadır.

- Bakım Personelinin Eğitimi: Özellikle BRT taşıt filosu, diğer taşıtlardan farklıysa, BRT taşıtları için yeni bakım becerileri ve prosedürleri gerekebilecektir.
- Tesis Tadilatı ve Depo Alanının Yeniden Tasarımı: Toplu taşıma kuruluşları, 12 m uzunluğundaki taşıtları kullanırken, bunların yerine 18 m uzunluğundaki körüklü taşıtları satın almayı planlıyorsa, -yapıların ve depolama tesislerinin bakımı için- tesis tadilatları gerekecektir. Tipik tadilatlar; bakım oyuklarının uzatılmasını, üç dingil için krik montajını, otobüs bakım ekipmanlarının tadilatı veya yeniden yerleştirilmesini, bakım yerlerine doğrudan geçişin sağlanmasını ve bakım tesislerindeki park ve sirkülasyon alanlarının yeniden düzenlenmesini içermektedir.
- Yeni Tesis Yeri: Eğer, büyük bir miktarda yeni taşıt kullanımı gerekiyor ise, BRT filosuna uyum sağlaması için yeni bir tesis yeri belirlenmelidir.
- Yakıt: Yakıt tesislerinin, aynı zamanda yeni ve belki de daha uzun taşıtlara uyum sağlayabilmesi için tadilat görmesi gerekebilmektedir.

Uygunluk Denetimi: Taşıtların işletilebilmesi (kullanıma alınabilmesi) için, yeni taşıt modelleri bir takım kurallara uygunluk göstermelidir:

- “yerli malı kullanımı” (the federal Buy America) şartı; belirli bir yüzde orana sahip, ABD’de üretilmiş taşıtı gerekli kılar.
- Güvenlik: Otobüsler, FTA Otobüs Deneme Programı ve Ulusal Karayolu ve Trafik Güvenliği Yönetimi (NHTSA) gibi taşıtların işletimi ile ilgili düzenlemelere uygun olmak zorundadır. Bazı eyaletler taşıt tasarımında, yolcu taşıtları için maks. uzunluk gibi güvenlik ve tasarım standartları ile ilgili, kendi taşıt tasarım standartlarını kullanmaktadır. Bazı eyaletlerin motorlu taşıtlar ile ilgili düzenlemeleri (yönetmelik vb.); taşıt uzunluğunu 18 m ve genişliğini ise ~8 ton dingil yükü ile birlikte 2,6 m olarak kısıtlamaktadır.
- Kirlilik Kontrolü: EPA ve yerel hava kalitesi yönetim kurumu, kirletici emisyonlarla ilgili yapılması gerekenleri belirlemektedir. Örneğin, çoğu körüklü ve çift-körüklü büyük taşıtlar yalnızca dizel veya elektrik çekim sistemi ile çalışırlar. Bazı yerel hava kalite yönetim kurumları, öyle emisyon teknolojilerini zorunlu kılar ki, taşıt üreticileri,

ürettikleri taşıt modellerine bu özellikleri uyarlamakta zorlanırlar.

- Engelli Erişimi: Biniş ara yüzü, iç plan, ücret sistemlerinin yerleştirilmesi, akıllı toplu taşıma sistemlerinin kullanılması ve tekerlekli sandalye güvenliğinin sağlanması gibi bir çok bileşen, Amerika Engelliler Yasası (ADA)’nın gerektirdiği şartları sağlamak zorundadır.

BRT Taşıtları İle İlgili Deneyimler

En az 30 yerel yönetim, bir veya daha fazla BRT koridoru planlamaktadır. Taşıt konfigürasyonları; 8 m uzunluğundaki “Geleneksel Standart” taşıtlardan 19 m uzunluğundaki “Özel Donanımlı” BRT körüklü taşıtlarına kadar birçok çeşidi içinde barındırmaktadır.

8 ile 9 m uzunluğundaki otobüsler, tek kapılı taşıtlardır. 12 ile 18 m uzunluğa sahip taşıtlar, giriş ve çıkış kanalları olarak kullanılan 2 veya 3 kapıya sahip olan ve 8 ile 9 m uzunluğundaki taşıtlara oranla daha yüksek kapasiteye sahip taşıtlardır.

Las Vegas ve Oakland’ın ikisinde de, yolcuların taşıta biniş ve inişinin daha hızlı olmasını sağlayan, taşıtın verilen uzunluğuna oranla daha fazla kapıya ve daha az oturma yerine sahip olan taşıtlar kullanılmaktadır. Diğer sistemler, standart oturma yeri konfigürasyonlarını ve kapı sayısını kullanmaktadır.

Çekim sistemlerinin seçenekleri, taşıt alımı sırasındaki mevcut teknolojiyi ve toplu taşıma ayniyat politikasını yansıtır. Ultra düşük kükürt dizel veya sıkıştırılmış doğal gaz ile çalışan içten yanmalı motorlar, emisyonları azaltmak açısından baskın seçeneklerdir. Bazı toplu taşıma kuruluşları, yakıt tasarrufu ile birlikte emisyon kontrolünü de sağlamak için hibrid-elektrikli çekim taşıtlarını araştırıp bulmuş ve alımını gerçekleştirmiştir. (Honolulu böyle bir hibrid çekimli taşıt alımını gerçekleştirmiştir.)

2.2.4 Ücret Toplama

Tanımı

BRT’de Ücret Toplama Sistemlerinin Rolü

BRT’de ücret toplama sistemleri, elektronik, mekanik veya manuel olabilmektedir. Ama asıl önemli olan verimliliği destekleyecek sistemin seçilmesidir (örneğin, çok yoğun hizmetler için çok kanallı biniş). Etkili faktörler, ücret politikalarını (örneğin bölge veya mesafeden bağımsız sabit tarife), ücret toplama faaliyetlerini ve ödeme araçlarını içerir. Bu bölüm, ücret toplama ile ilgili ayrıntılı bir literatür incelemesi yerine, BRT ücret toplama sisteminin belirgin yöntemleri, yapıları ve teknolojileri üzerine yoğunlaşmıştır. Bu bölüm, BRT sistemleri için çeşitli ücret toplama seçeneklerini tanımlamakta ve çeşitli elektronik ücret toplama (EFC) yaklaşımları için maliyet tahminlerini içermektedir.

Ücret Toplama Sistemlerinin Özellikleri

a) Ücret Toplama Yöntemi

Ücret toplama yöntemi, ücretin fiziksel olarak nasıl ödeneceğini, işleneceğini ve doğrulanacağını tanımlamaktadır. Ücret toplama yöntemi, hizmet sürelerini (bekleme süresi ve güvenilirlik), ücret kaybı ve cezalandırma usullerini, işletme maliyetlerini (işgücü ve bakım maliyetleri) ve yatırım maliyetlerini (ekipman ve ödeme aracı seçenekleri) içeren sistem özelliklerinin büyüklüklerini etkileyebilmektedir.

b) Ücret Ödeme Araçları

Ücret ödeme araçları, verilen bir ücret toplama yöntemi ile ortak işlemin gerçekleşmesine yardımcı olur. Ücret toplama araçlarının seçimi, seçilen ekipman, teknolojiler ve ücret toplama yöntemleri ile ortak araçları içerir. Ücret ödeme araçlarının seçimi ve tasarımı, aynı zamanda, hizmet sürelerini, ücret toplama sistemlerinin yatırım ve işletme maliyetleri gibi yan özellikleri etkileyebilir.

c) Ücret Tarifesi

BRT ücret tarifeleri, ücret toplama yöntemi ve teknolojilerinin seçimini büyük ölçüde etkiler. Bununla beraber ücret tarifeleri de, bir kuruluş veya bölgenin var olan veya yerleştirilecek olan ücret toplama sistemlerinden etkilenirler. Toplu taşıma kuruluşları, kendi boyutu, ağı, organizasyon yapısı, müşteri özellikleri ile mali, politik ve yönetim ile ilgili değişkenleri içeren çok sayıda tasarım ölçütünü dikkate almalıdır. İki temel ücret tarifi bulunmaktadır: sabit tarife ve değişken tarife.

Ücret Toplama Seçenekleri

Temel ücret ödeme sistemleri ve doğrulama seçenekleri, avantaj ve dezavantajları ile birlikte aşağıda sıralanmıştır.

Ücret Toplama Yöntemleri

a) Binişte Ödeme Sistemi (örneğin; taşıtın içinde veya taşıta binerken ödeme yapılması)

Tipik olarak, şoförün yanında bulunan bir ücret kutusunu veya bilet ya da kartlar için bir ücret işleme birimini içermektedir. Bu sistemin en önemli avantajı, taşıt dışında ücret toplama altyapısına ihtiyaç duyulmamasıdır. Yolcular taşıtın ön tarafındaki tek bir kapıdan biniş yaparlar ve geçiş yaptıklarında ücreti öderler. Özellikle yolcu hacmi büyük olan yoğun BRT güzergahlarında önemli ölçüde bekleme süresine neden olurlar. Eğer ücret ödemeleri şoför denetiminde olmazsa, ücret kayıp riski artış gösterir.

Maliyet: Mevcut ücret toplama yönteminin bu olduğu kabul edildiğinde, ek bir masrafı yoktur. Düşükten orta seviyeye ekipman maliyeti gerektirir. Düşükten orta seviyeye iş gücü maliyeti gerektirir (örneğin, bakım, ücret toplama, güvenlik ve büro/veri destek hizmetleri için Tam Zamanlı (FTE) personel).

b) Kondüktör- onaylı Sistem

Yolcunun ön ödeme yapmasını veya biniş sırasında biletçiden bileti almasını gerektirir. Bu sistem tüm biletlerin görsel olarak onaylamasını gerektirdiği için yüksek iş gücü maliyetine sahiptir, bu nedenle ABD'deki BRT sistemleri için uygulanabilir değildir.

Maliyet: “Binişte ödeme” ve “önceden ödeme” sistemleri ile karşılaştırıldığında, görsel bilet kontrolü ek iş gücü maliyetine neden olur. Örnek olarak, bir ücret kontrolörünün (1FTE) günde 3.300 yolcuyu kontrol etmesi gerekmektedir.

c) Gişeden Geçiş Sistemi (örneğin, girişte ve/veya istasyon alanından çıkışta ödeme)

Turnikeleri, ücret kapılarını ve bilet bayilerini ya da etrafı çevrilmiş otobüs platformu veya istasyon alanında bu üç işlemin kombinasyonlarını içerir. Yalnızca giriş veya giriş ve çıkış kontrolünü (özellikle uzaklığa dayalı ücretlendirmeler için) içerebilir.

Maliyet: Otomatik bilet satış makinesi başına 30.000-60.000 dolar (TMV- biletleri ve diğer ücret ödeme araçlarını gereksiz kılan, nakit, doldurulmuş elektronik biletleri ve kredi kartlarının tümünü kabul eden sabit bir makinedir), ücret ödeme kapısı başına 20.000-35.000 dolar arasındadır. Ek istasyon donanım/yazılım maliyetlerini de içerebilir. Küçük bir uygulaması için tahmini ek iş gücü gereksinimleri (örneğin 25 TMV ve ilgili sistemler):

Bakım personeli (1FTE), ücret toplama personeli (1FTE), güvenlik personeli (1FTE), veri işlemci/büro personeli (1FTE) ve ücret ödeme araçları satış personeli (2,5 FTE) içerebilir.

d) Serbest Giriş veya İspat Gerektiren Ödeme (POP) sistemi

Bu sistemde taşıta binmeden önce ödeme yapılır ve yolcu taşıtta bulunduğu süre boyunca, gezici kontrolöre ödeme yaptığını ispat etmek durumundadır. Yolcunun, taşıttayken, geçerli bir bilet (genellikle saat ve gün ile sınırlandırılmış) veya serbest geçiş kartı taşımaması gerektirir. Bununla beraber yolcu, dolaşan kontrolör tarafından rastgele olarak kontrole tabidir.

Bu sistem tipik olarak, bilet satış ve/veya onaylama makinelerini gerektirir. Daha az kısıtlayıcı olan bu sistemin avantajı; çok sayıda kapıdan binişleri desteklemesi ve bu nedenle daha düşük bekleme süresine sahip olmasıdır. Dezavantajı; yüksek ücret kaybı riskine sahip olmasıdır. İspat gerektiren ödeme sistemi uygulanırken, toplu taşıma kuruluşları, yolcuların nasıl biniş yapacağını, nasıl aktarma yapacağını ve taşıt içindeki kontrollerin kolay bir şekilde yapılabileceği taşıt içi tasarımının nasıl olması gerektiğini dikkate almalıdır. Taşıtlardaki kontrolün potansiyel olarak bazı zorlukları vardır.

Maliyet: Otomatik bilet satış makinesi başına 30.000\$-60.000\$; dolaşan personel için iş gücü maliyeti. Doğrulama ekipmanları ve/veya ek istasyon donanım ve yazılım maliyetlerini içerebilir. Küçük bir uygulama için tahmini ek iş gücü gereksinimleri (örneğin, 150 doğrulayıcı ve ilgili sistemler); bakım personeli (1FTE), ücret toplama personeli (1FTE), güvenlik personeli (1FTE), veri işlemci/büro personeli (1FTE) ve ödeme araçları satış personeli (2,5 FTE) içerebilir.

Ücret Ödeme Araçları

Ücret toplama politikaları ve yöntemleri, ücret ödeme aracının ve ekipman teknolojisinin seçimini etkilemektedir. Ücret toplama ekipmanları, seçilen ödeme araçlarının işleme tarzı ile uyumlu olmalıdır. Aynı şekilde, seçilen ücret ödeme aracı, belirli bir donanım (ekipman) veya teknolojiyi gerektirebilir. Bu da, toplu taşıma kuruluşları tarafından kullanılan ücret toplama ekipmanı ve ödeme aracına, yolculara tanınan ücret ödeme seçeneklerine bağlıdır. 3 temel ücret ödeme aracı seçeneği bulunmaktadır:

a) Nakit (madeni para, kağıt para, jeton) ve Kağıt Araçlar (biletler, aktarma biletleri, serbest geçiş kartları)

En basit fakat özellikle küsürlü ücret söz konusu ise, gereken ödeme zamanından dolayı, en yavaş ücret toplama seçeneğidir. Depolanmış değer içeren biletler (her bir seyahatin maliyeti

depolanmış değerden çıkarılır) veya depolanmış seyahat biletleri (tek veya belirli biniş sayısında damgalı biletler ve koparılan sayfalar içeren bilet koçanlarını içerir) ücret toplama yöntemine bağlı hizmet süresinde etkilidir ve görsel doğrulama/kontrolü veya manüel onaylamayı gerektirebilirler (görsel kontrol, yolcu turnikeden ödeme yaparak mı geçti vb.).

Süreli serbest geçiş kartları (belirli bir takvimsel periyot için, ay veya hafta gibi veya özel bir aralıkta) veya esnek süreli serbest geçiş kartları (gün veya çoklu gün turist geçişleri gibi, ilk kullanımından sonra belirli bir süre geçerli olan) genellikle görsel kontrolü gerektirirler ama nakit ödeme veya bilet uygulamasından daha hızlı olabilmektedirler.

Maliyet: Mevcut ücret toplama yönteminin bu olduğu kabul edildiğinde, ek bir masrafı yoktur. 2.000 \$ (düşük maliyetli mekanik ücret kutuları) -5.000\$ (karmaşık elektronik kayıtlı ücret kutuları)

b) Manyetik Şeritli Kartlar

Bu kartlar, gramajlı kağıt veya plastikten yapılmaktadır ve kartın değeri veya kullanımı hakkında bilgi saklayan bir damgalı manyetik şeride sahiptir. Bu tür ücret ödeme araçları, ödeme zamanını tanımlayan elektronik okuyucuları gerektirmektedir. Bunlar ücret toplama yöntemine ve makinesine bağlı olarak bekleme süreleri üzerinde etkilidirler.

Bir-defalık Maliyet: Manyetik kart işleme birimi ile onaylama ücret kutusu başına 10.000\$-12.000\$ (standart bir ücret kutusundan 5.000\$- 10.000\$ daha fazla); manyetik şeritli kart başına 0,01\$-0,30\$; donanım/yazılım için istasyon başına 10.000\$-20.000\$ arasındadır. Ek merkezi donanım/yazılım maliyetlerini içerebilir.

c) Akıllı Kartlar

Akıllı kartlar, genellikle daha hızlı ve daha esnek ücret toplama sistemlerini desteklemektedirler. Temassız veya yaklaştırmalı akıllı kartlar, manyetik şeritli kartlar veya temaslı kartlardan daha hızlı bir işlem süresine izin vermektedirler. Aynı zamanda akıllı kartlar, saat-tabanlı ve mesafe-tabanlı değişken ücret tarifelerinin işlemini ve farklı toplu taşıma türleri ve işletmecileri arasındaki ücret entegrasyonunu kolaylaştırmaktadır. Hibrid ya da “çift- ara yüzü” akıllı kartlar; toplu taşımanın dışında da kullanılabilirler.

Bir-defalık Maliyet: Akıllı kart okuyucusu ile onaylama ücret kutusu başına \$12.000-\$14.000 (standart bir ücret kutusundan \$7.000- \$12.000 daha fazla); akıllı kart başına \$1,50-\$5,00; donanım/yazılım için istasyon başına \$10.000-\$20.000 arasındadır. Ek merkezi donanım/yazılım maliyetlerini gerektirebilir.

Çizelge 2.4’de birim kaynak başına veya yatırım ekipman harcamalarının yüzdesi olarak,

çeşitli elektronik ücret toplama sistem bileşenleri için yatırım ve işletme maliyet tahminlerinin üst ve alt sınırları verilmiştir.

Bu maliyet aralıkları, bir otobüs elektronik ücret toplama sisteminin, toplam maliyetinin yaklaşık olarak tahmin edilmesi açısından kullanışlıdır. Şunu da belirtmek gerekmektedir ki, gerçek maliyetler, ayrıntılar ve işlevselliğe, ekipman alımının kalitesine ve ürünün üreticisine bağlı olacaktır.

Ayrıca birçok durumda görülmektedir ki, bir elektronik ücret toplama sisteminin toplam maliyeti hesaplanırken, önceki ücret toplama maliyetleri (yenisi ile değiştirmek veya çıkarmak yerine) eklenmektedir.

Cizelge 2.4 Elektronik ücret toplama sistemlerinin tahmini maliyetleri (2002 Amerikan Doları)

<i>Yatırım Maliyet Bileşenleri</i> <i>(Birim Başına Otobüsle İlgili Sabit Maliyetler)</i>	<i>En Düşük</i>	<i>En Yüksek</i>
Mekanik ücret kutusu	\$ 2.000	\$ 3.000
Elektronik kaydedici ücret kutusu	4.000	5.000
Elektronik kaydedici ücret kutusu (akıllı kart okuyuculu)	5.000	8.000
Onaylayıcı ücret kutusu (manyetik kart işleme birimli)	10.000	12.000
Onaylayıcı ücret kutusu (akıllı kart okuyuculu)	12.000	14.000
Onaylayıcı ücret kutusu (manyetik ve akıllı kart okuyuculu)	13.000	17.500
Yalnızca akıllı kart işleme birimi	1.000	7.000
Manyetik ücret kartı işleme birimi (güncelleme)	4.000	6.000
Taşıt içi prob ekipmanı	500	1.500
Garaj prob ekipmanı	2.500	3.500
Uygulama yazılımı (akıllı kart birimleri)	0	100.000
Garaj donanım/yazılım	10.000	20.000
Merkezi donanım/yazılım	25.000	75.000
<i>İşletim ve Bakım Maliyet Bileşenleri (Değişken Maliyetler)</i>	<i>En Düşük</i>	<i>En Yüksek</i>
Yedek parçalar (ekipman maliyetinin %si olarak)	%10	%15
Destek hizmetleri (ekipman maliyetinin %si olarak) (örneğin; eğitim, belgeleme, gelir kontrolü)	%10	%15
Kurulum (ekipman maliyetinin %si olarak)	%3	%10
Mühendislik hizmetleri ve yazılım maliyetleri (ekipman maliyetinin %si olarak)	%0	%30
Beklenmeyen maliyetler (ekipman/işletme maliyetinin %si olarak)	%10	%15
Ekipman bakım maliyetleri (ekipman maliyetinin %si olarak)	%5	%7
Yazılım lisansı/ sistem desteği (sistemler/yazılım maliyetinin %si olarak)	%15	%20
Gelir işleme maliyetleri (yıllık nakit gelir %si olarak)	%5	%10
Özel muhasebe işleri (yıllık AFC gelir %si olarak) (örneğin; kartların dağılımı, gelir paylaşırma)	%3	%6
<i>Birim Başına Ücret Toplama Aracı Maliyeti</i>	<i>En Düşük</i>	<i>En Yüksek</i>
Manyetik şeritli (yüklenabilir) kartlar	\$ 0,01	\$ 0,30
Temassız akıllı kartlar (plastik)	2,00	5,00
Temassız akıllı kartlar (kağıt)	0,30	1,00

Ücret Tarifesi

Toplu taşıma kuruluşları genellikle ücret toplama politikaları ve kendi boyutu, ağı, organizasyon yapısı, kullanıcı özellikleri ile mali, politik ve yönetim ile ilgili hedefleri de içeren faktörlerin miktarına bağlı olan ortak ücret sistemi üzerinde karar vermektedirler. İki temel ücret tarifesi mevcuttur:

a) Sabit Tarife

Sabit tarife, mesafe veya hizmet kalitesi ne olursa olsun aynı ücret uygulanmaktadır. Bu politika ile potansiyel karışıklık ve tartışmalar azaltılmış, bu sayede de sürücülerin üzerindeki sorumluluk azaltılmış ve biniş hızı artırılmıştır.

b) Değişken Tarife

- Değişken ücretlendirme, yolculuk uzunluğuna, günün saatine, kullanıcı çeşidine, hizmetin hızına veya kalitesine bağlı olarak belirlenmektedir. Değişken tarife stratejilerinin çeşitli tipleri vardır:
- Uzaklık-tabanlı veya bölgesel ücret, seyahat edilen mesafenin doğrudan ya da dolaylı fonksiyonu olarak belirlenmektedir. Otobüs şoförleri, ücretleri yolcular binerken veya nadir olarak yolcular taşıttan inerlerken toplayabilmektedir.
- Saat-tabanlı ücretler, günün saatine veya yolculuğun uzunluğuna bağlı olarak belirlenmektedirler.
- Hizmet-tabanlı ücretler, diğer hizmetler ile aynı altyapı veya istasyonları kullanabilen toplu taşıma hizmetinin kalite veya türüne bağlıdır. Ekspres otobüs veya BRT hizmetleri bu sisteme birer örnektir. Genellikle, bu yaklaşım, çok-türlü toplu taşıma sistemleri için kullanılmakta ve aktarma olanaklarını içermektedir.

Diğer değişken ücret tarifeleri, hedef kitle tabanlı veya kullanıcı tabanlı ücretler, indirimli ücretler ve ücretsiz hat bölgelerini içermektedir.

Ücret Toplama Bileşenlerinin Sistem Performansı ve Sistem Faydaları Üzerindeki Etkileri

Çizelge 2.5’de; ücret toplama politikaları, faaliyetleri ve teknolojileri ile BRT sisteminin performans ve faydaları arasındaki ilişki gösterilmektedir.

Çizelge 2.5 Ücret toplama bileşenlerinin sistem performansı ve sistem faydaları üzerindeki etkileri

	SİSTEM PERFORMANSI					SİSTEM FAYDALARI
	Yolculuk Süresi	Güvenilirlik	Kimlik-İmaj	Güvenlik	Kapasite	
<u>Ücret Toplama Yöntemi</u> • Binişte Ödeme Sistemi • Gişeden Geçiş Sistemi • İspat Gerektiren Ödeme (POP) Sistemi	Ön-ödeme, taşıtın duruş süresi ve tüm yolculuk süresini azaltır, güvenilirliği artırır.	Ön-ödeme, duruş süresinin güvenilirliğini artırabilir ve istasyonlardaki normal olmayan gecikmeleri önleyebilir.	Çeşitli ücret ödeme seçeneklerinin bulunmasının yarattığı kolaylık ile sistem imajı artar.		Yolculuk süresi tasarrufları ve ön-ödemenin güvenilirliği sistem kapasitesini artırır.	
<u>Ücret Toplama Araçları</u> • Yalnızca Nakit ve Kağıt • Manyetik Şeritli Kartlar • Akıllı Kartlar	Temassız akıllı kartlar veya serbest geçiş kartları, istasyondaki işlem sürelerini azaltır.	Temassız akıllı kartlar veya serbest geçiş kartları, istasyondaki yolcu sayısına bağlı olan gecikmeleri azaltır.	Elektronik ücret toplama sistemi, konforu artırır, yolcuların toplu taşıma sistemindeki çoklu kullanımlarında kolaylık sunar ve bir toplu taşıma hizmeti imajı yayabilir.	Elektronik ücret toplama sistemi, nakit ödemeye göre daha güvenlidir.	Yolculuk süresi tasarrufları ve elektronik ücret ödemesinin güvenilirliği sistem kapasitesini artırır.	Elektronik ücret toplama sistemi, kayıp ücret riskini azaltır ve geliri maksimize eder.
<u>Ücret Tarifesi</u> • Sabit Tarife • Değişken Tarife	Kolay aktarma olanakları, tüm yolculuk süresini azaltır ve konforu maksimize eder.		Değişken ücretler, daha yüksek bir hizmet düzeyi imajını ifade eder.		Değişken tarife, zirve süreler dışındaki kullanımı teşvik eder.	Yolcuların özelliklerine göre veya yolculuk türüne göre çeşitli indirim seçeneklerinin bulunması, yolcuları sistemi kullanmaya teşvik eder.

Uygulama Konuları

Toplu Taşıma Kuruluşu Çapındaki Ücret Politikası ve Teknolojinin Entegrasyonu - Ücret politikaları ve teknoloji genel olarak hali hazırda bulunan ya da klasikleşmiş sistemlere bağlılık gösterebilmektedir. BRT'ler için ücret toplama sistemlerinin tasarımı, olası faydaları en üst düzeye çıkarmak için, bölgesel toplu taşıma sisteminin diğer elemanları ile bütünleşme olanaklarını dikkate almalıdır. Bu faydalar, özellikle yolculukların aktarma kolaylıkları olmak üzere, daha önce bahsedilen amaçlarla ilişkilendirilebilir.

Gelir İşleme - Hızla evrimleşen teknoloji, kazancın işlenmesi ve kontrolü, veri toplanması ve depolanması ve operasyonların izlenmesi ve planlanması konularında gelişmelere neden olmuştur. Ücret toplamayı kendi kendine işler hale getirmek için (otomatize etmek için) elektronik haberleşme, veri işleme ve veri depolama tekniklerinden faydalanan elektronik ücret toplama sistemleri, bu evrimleşen teknolojiler arasındadır. Bu sistemler hem toplu taşıma kuruluşları hem de yolcular için fayda sağlamaktadır.

Toplu taşıma kuruluşları için, EFC (Elektronik Ücret Toplama) sistemleri emek-yoğun nakit işlemlerini ve dahili hırsızlık olaylarını azaltma anlamına gelebilmektedir. EFC sistemleri ücret kutularının güvenilirliğini arttırır ve bakımını kolaylaştırır, ayrıca diğer işletmecilerle etkileşimi kolaylaştıran mali işlemlerin otomasyonuna ve detaylı ücretlendirme tarifelerinin oluşturulmasına izin verir. Yolcular açısından EFC sistemlerinde, sistemi kullanmak için hizmet ücretine eşit miktarda bozuk paraya gerek olmadığından ve sadece tek bir ücret ödeme aracı yeterli olduğundan, kolaylaştırılmış bir yolculuk yöntemidir. Entegre EFC sistemleri, yolcular için çok-türlü, çok-işletmecili, "kesintisiz" bir ulaştırma ağı sunmak için kullanılabilirler. Manyetik şeritli kartlar, temaslı akıllı kartlar ve yaklaşırmalı (proximity) akıllı kartlar EFC sistemlerine örnek olarak verilebilir.

Planlamayı Destekleyici Veri Toplama - Ücret toplama sistemlerinden doğrudan veya dolaylı olarak elde edilen veriler, genellikle planlama faaliyetlerinin desteklenmesi için kullanılmaktadır. Ayrıca, ücret sistem seçeneklerinin seçimi ve uygulanmasında, yararlı veriye ulaşım ve bu verinin yönetimi göz önünde tutulmalıdır. Örneğin, binişte ödeme EFC sistemleri, yolcu binişlerinin yeri ve zamanı ile ilgili bilgiyi depolayabilir.

Ödeme Seçenekleri ve Ağı - Yukarıda tartışılan ücret ödeme araçlarına ek olarak, toplu taşıma yolculukları için çeşitli seçenekler ve diğer satın alma veya ödeme araçları bulunmaktadır:

- Kredi kartları: Ücret ödeme aracı alımı için TVM'de (otomatik bilet makineleri) kullanılırlar. Bunlar, ücret ödemek için sınırlı olarak kullanılmaktadırlar.

- Borçlanma veya ATM kartları: Ücret ödeme aracını satın alabilmek için yaygın olarak TVM'lerde kullanılırlar.
- Ücret ödeme aracını satın almak için kullanılan toplu taşıma fişleri: İşverenler tarafından çalışanlara dağıtılmaktadır.
- Ücret ödeme aracının önceden açılmış bir hesaptan otomatik olarak doldurulması.

Ücret Ceza Sistemi- Ücret toplama sistemlerinin tasarım özellikleri, potansiyel ücret kaybı ve gerekli yaptırım seviyesi üzerinde etkilidir. Bazı ücret sistemleri, rastgele kontrol veya onaylamayı gerektirebilir. Bu tip bir ücret ceza sistemi, kontrolün yapılabilmesi için personel alımını gerektirir. Bu ek iş gücü maliyeti, işletme maliyetini fazlasıyla arttırır. Ücret kontrolörleri, aynı zamanda, sistemin güvenliğini desteklemek için de hizmet verebilir.

Pazarlama - Pazarlama konuları, ücret ödeme aracının dağıtımının ve reklamının nasıl yapıldığını, ön-ödeme aracı için teşvikler ve ücret toplama sisteminin diğer özelliklerini içermektedir. Bu diğer özellikler, kullanıcılar için “negatif” bakiye korumasını, “en düşük ücret” garantisini ve ücret indirim politikalarını içerebilmektedir. Elektronik ücret toplama sistemleri, aynı zamanda, ücret promosyonlarının uygulanmasını kolaylaştırmaktadır.

Ücret Ödeme Aracı Sinerjisi - Birden çok ücret ödeme aracının kullanılabileceği vurgulanmalıdır. Ücret ödeme aracı, yan veya tamamlayıcı hizmetler için çoklu uygulamalara sahip olabilir;

- Otomobil ile geçişlerdeki elektronik ücret ödemelerinde ve park ödemelerinde
- Mali hizmetler/elektronik cüzdan (e-purse) ile yapılan ödemelerde
- Ankesörlü telefonlar ve internet alışverişinde (cep telefonu kullanarak)
- Diğer ödemeler ve bonus programlarında
- Satış makinelerinde
- Güvenlik ve yapılara giriş için kimlik kartı olarak

BRT Ücret Toplama Sistemleri ile İlgili Denevimler

2004 itibari ile ABD'deki BRT sistemleri, ücret toplamadaki değişiklik önerileri için sadece bir başlangıçtır. Çoğu BRT sisteminde, ücret toplamak için, esas itibari ile taşıt içerisindeki ücret toplama kutuları kullanılmaktadır.

Kuzey Las Vegas MAX, ispat gerektiren ödeme sistemi (POP) ile çalışmaktadır. Pittsburgh Busways için, şehir merkezi dışına seyahat eden yolcular, merkezdeki bekleme süresini azaltmak ve binişi hızlandırmak amacı ile, seyahatin merkez dışındaki bölümünde ödeme yapmaktadırlar. Orlando Lymmo ücretsizdir, bu nedenle ücret toplama sistemi ile ilgili biniş

ve inişlerde herhangi bir gecikme olmamaktadır.

Elektronik ücret toplama uygulamaları görülmeye başlanmıştır. Boston'daki MBTA (Massachusetts Bay Transportation Authority), tüm otobüslerde manyetik şeritli kartları uygulamaktadır. Chicago toplu taşıma kuruluşunun AC toplu taşıma sistemi ve Los Angeles Metro, otobüslerdeki ücret toplama sistemi için akıllı kart uygulamasının çeşitli aşamalarını kullanmaktadır. Yalnızca Kuzey Las Vegas MAX, 2004 itibari ile BRT için bilet satış makinelerini (TVM) kullanmaya başlamıştır.

Kullanılan bilet satış makineleri; ödenmiştir belgesi almak için, nakit ve manyetik şeritli biletleri kabul edebilmektedir. Bu makinelerin ileride kredi kartı işlemlerini de yapması için donatılması planlanmaktadır.

Çoğu BRT sistemi, diğer toplu taşıma sistemleri ile aynı sabit tarifeyi kullanmaktadır. Pittsburgh Busways sistemi, mesafe-tabanlı ekspres ücretlendirmelerdeki değişken ücret tarifesini uygulayan tek sistemdir.

2.2.5 Akıllı Ulaştırma Sistemleri (ITS)

Tanımı

BRT’de Akıllı Ulaştırma Sistemlerinin Rolü

ITS (Intelligent Transportation Systems), toplu taşıma kuruluşlarına, güvenliği, işletim verimliliği ve hizmet kalitesini yükseltmek konusunda yardımcı olmakta ve BRT sistemlerinin en üst düzeyde ve en verimli şekilde hizmet vermesini sağlamaktadır. ITS, taşıt ve yol sensörlerinden alınan gerçek zamanlı verileri toplamak, işlemek ve dağıtmak için çeşitli gelişmiş teknolojileri içermektedir. Bu veriler tahsis edilmiş (özel) bir haberleşme ağı ile iletilmektedir. İşletmeciler kuruluş, sürücü ve sonuçta da kullanıcılar için verileri faydalı bilgilere dönüştürmek amacıyla, özel (akıllı) bir hesaplama yöntemi kullanılmaktadır. Çeşitli teknolojilerin bir araya getirilmesi ile farklı türde ITS sistemleri oluşturulmaktadır. Örneğin, “Otomatik Taşıt Konumlandırma”nın (AVL), “Otomatik Taşıt Sevk Çizelgeleme” (ASD) ve “Toplu Taşıma Sinyal Önceliği” (TSP) ile kombinasyonu, çizelgeye uyumluluğu ve böylece güvenilirliği, aynı zamanda da gelir akışını iyileştirmektedir.

ITS teknolojileri, performansta iyileşmeler ve diğer bazı faydalar sağlamaktadır. Toplu taşıma taşıtının konumu ve durumunun ve de yolcu hareketlerinin “uzaktan izlenmesi”, yolcu ve tesis güvenliğini iyileştirmektedir. ITS, ayrıca, işletmeciler kuruluşu filodaki taşıtların bakımı konusunda yardımcı olurken, teknisyenleri de muhtemel mekanik problemler ve rutin bakım gereksinimleri konusunda uyarmaktadır.

ITS uygulamaları, BRT sisteminin faydalarını ortaya çıkarmak için temel bir işleve sahiptir. Ancak, tekil ITS uygulamalarının BRT sisteminin geneline entegrasyonu gerekmektedir. BRT’yi tanımlayan yüksek kaliteli hizmeti sunmak için; ITS uygulamalarının kombinasyonlarının, uyumlu (sinerjik) şekilde birlikte çalışmaları gerekmektedir.

Akıllı Ulaştırma Sistemlerinin Özellikleri

BRT sistemleri için kullanılan birçok teknoloji ve işletim özelliği bulunmaktadır. Bunlardan bazıları, geleneksel otobüs sistemlerinde uygulanmıştır. Bu bölümde, BRT sistemlerinde entegrasyonun sağlanması için uygulanması gereken, entegre BRT sistemlerinin bir parçası olan ve önemli faydaları şimdiden elde edilen, bir çok tekil ITS teknolojisi tartışılmaktadır. BRT sistemleri içine entegre edilen bu ITS uygulamaları 7 grupta toplanabilir:

- Taşıt Önceliklendirme
- Sürücü Destek ve Otomasyon Teknolojisi

- Elektronik Ücret Toplama
- İşletim Yönetimi
- Yolcu Bilgilendirme
- Güvenlik
- Destek Teknolojileri

Akıllı Ulaştırma Sistemlerinin Seçenekleri

Her bir ITS grubu, aşağıdaki altı bölümde tartışılmaktadır. Her bir bölümün içerisinde, bu teknolojilerin nasıl kurulacağı ve her bir teknolojinin tanımının yapıldığı ITS teknolojilerinin genel açıklaması bulunmaktadır. Kuzey Amerika'daki çeşitli toplu taşıma sistemlerinden alınan birim ve gerçek maliyet verileri sunulmaktadır.

Taşıt Önceliklendirme

Bu teknoloji grubu trafik akımı içinde BRT'ye öncelik veren hizmetleri içerir. Amaç yalnızca genel trafik sinyal gecikmelerini azaltmak değil (böylece daha yüksek işletme hızı ve kısaltılmış yolculuk süreleri elde edilmektedir); aynı zamanda daha iyi çizelgeleme/izleme süresi uyumu ve tutarlılığı sağlamaktır (böylece, güvenilirlik artar, bekleme süreleri azalır). “Sinyal Zamanlama Devre Süreleri” ve “Sinyal Önceliği”, kavşakta beklemek zorunda kalan BRT taşıtlarının gecikmelerini minimize etmeye yardımcı olur. “Erişim Kontrolü”, BRT taşıtlarının tahsis edilmiş yollara ve/veya istasyona girişini ve istasyondan çıkışını kolaylaştırır.

a) Sinyal Zamanlaması/Devre Süreleri

BRT akımları gibi, yüksek talebe sahip yöne öncelik vererek mevcut yeşil süre kapasitesini daha iyi kullanmak için, bir koridor boyunca trafik sinyallerinin optimize edilmesidir. Trafikteki taşıt ve insan akışını gösteren verilerin analizine ve simülasyon modellemelerine ihtiyaç vardır. Fakat altyapı sistemi ve taşıtlar için ilave bileşenlere gerek duyulmaz.

MALİYET KALEMİ

YATIRIM

Kavşak başına sinyalizasyonun yeniden zamanlaması

\$3500

b) İstasyon ve Şerit Erişim Kontrolü

Değişken mesaj işaretleri ve geçiş kontrol sistemleri aracılığı ile tercihli BRT seyir yolları ve istasyonlarına erişmeye izin vermektedir. Sürücü ve taşıtı tanıyan bariyer kontrol sistemlerinin ve/veya benzer kamera ve görüntü sistemlerinin yerleştirilmesini (montajını) gerektirir. Genellikle bir elektronik alıcıdan faydalanılarak (elektronik geçiş ücret sistemlerinde olduğu

gibi) BRT'nin -yüksek hızda seyir halinde giderken- istasyona girişine izin vermektedir.

MALİYET KALEMİ	YATIRIM	İŞLETME ve BAKIM
Tüm sistem için kontrol yazılımı	\$25 000 - \$50 000	\$2500 - \$5000
Giriş başına geçiş donanımı	\$100 000 - \$150 000	\$2500 - \$4000

c) Toplu Taşıma Sinyal Önceliği

Toplu Taşıma Sinyal Önceliği (TSP) teknolojileri, çizelgesinin gerisinde kalan otobüs hareketlerinin çizelgeye uyumluluğunu, güvenilirliğini ve hızını arttırmak amacı ile yeşil sürelerin uzatılması veya ötelenmesi ya da sola dönüşlerin düzenlenmesi için kullanılmaktadır. Toplu taşıma taşıtını tanımak ve gerektiğinde düşük öncelikli talep yaratmak için, taşıt üzerinde ve kavşaklarda TSP uyumlu donanım ve trafik sinyal denetleyicileri ve yazılımı gerekmektedir. Şu da bilinmelidir ki, her ne kadar taşıt önceliklendirme ve öncelikli kullanım hakkı kulağa eş anlamlıymış gibi gelse de aslında farklı işlemlerdir. Benzer donanımdan yararlanmakla beraber toplu taşıma sinyal önceliği, normal sinyalizasyon sistemini değiştirerek (modifiye ederek) taşıtlarla uyumlu hale getirir. Öncelikli kullanım hakkı ise, özel, uç durumlarda veya acil yardım taşıtlarının geçişlerinde normal sistemi bloke eder. Öncelikli kullanım hakkının amaçları; sistemin acil durumlara cevap verme süresini kısaltmak, acil yardım taşıtları personelinin güvenliğini arttırıp daha rahat etmelerini sağlamak ve kavşaklarda bu gibi acil yardım taşıtlarının neden olduğu kazaları önlemek olarak sıralanabilir. Ayrıca toplu taşıma sinyal önceliğinin amaçları; azalan seyahat sürelerini, geliştirilmiş taşıt kalkış-varış çizelge uyumluluğunu, toplu taşıma sistemi verimliliğinin arttırılmasını, toplu taşıma sistemi hakkında bilgilendirmenin iyileştirilmesini ve yol ağı verimliliğinin arttırılmasını içerir.

MALİYET KALEMİ	YATIRIM
Sinyal önceliği yazılımı	\$300 - \$600
Sinyal kontrol donanımı	\$4 000 - \$10 000
Taşıt donanımı	\$500 - \$2000

Chattanooga Alanı Bölgesel Ulaştırma Kuruluşu; "Toplu Taşıma Sinyal Önceliği" sistemini barındıran 27 taşıta sahiptir, ayrıca 10 kavşak da sistemin alıcılarıyla donatılmıştır. Toplam maliyet \$250.000'dır.

Los Angeles DOT; Metro Rapid Bus tarafından kullanılan ve 331 loop detektörü, kontrol

kabinlerinde otomatik taşıt tanıma sensörleriyle donatılmış 210 kavşak, 150 verici yerleştirilmiş taşıt ve merkezi kontrol yazılımından oluşup, 10 milyon dolara mal olan bir taşıt önceliklendirme sistemi kurmuştur. Loop detektörü teknolojisi ile kavşağa yaklaşan bir BRT taşıtı algılanabilmektedir. BRT'lerin tanımlanması AVI sensörleri ile olmakta ve LADOT ulaştırma yönetim merkezindeki toplu taşıma yönetim bilgisayarına gönderilmektedir.

Ortalama maliyet: Sinyalize kavşak başına \$13 500'dır.

Güney Nevada Eyalet Ulaştırma Kuruluşu; ulaştırmadaki verimliliği ve acil durumlara cevap verebilme yeteneğini arttırmak için bir "filo yönetim sistemi" kurmuştur. Bu tamamen entegre ve gerçek zamanlı bilgi sistemi, MAX taşıtları da dahil olmak üzere bütün taşıt filosunda uygulanmak üzere tasarlanmıştır. Bu sistem; GPS tabanlı Otomatik Taşıt Konumlandırma (AVL), Bilgisayar Destekli Sevkiyat (CAD), iki kanaldan mesaj, Otomatik Yolcu Sayımı (APC) ve bir kamera sistemi fonksiyonu gibi özelliklerden oluşmaktadır.

Sürücü Destek ve Otomasyon Teknolojisi

Bu teknoloji grubu BRT'ler için otomatik kontrolleri (yanal ve boyuna; yani harekete geçme, hız kontrolü ve durmayı) içermektedir. "Çarpışma Uyarı" fonksiyonu, sürücüye BRT'yi güvenli bir biçimde kullanması için yardım etmektedir. "Çarpışma Önleme", "Şerit Desteği", "Tam Yanaşma" fonksiyonları da, BRT taşıtının çarpışma önleme kontrolü, seyir yolu kılavuzlaması veya istasyonlara tam yanaşma manevraları için kullanılmaktadır. Bütün destek ve otomasyon teknolojileri, kaza ve çarpışmaların sıklığını ve şiddetini azaltmaya ve toplam kalkış-varış süreleri ile istasyondaki bekleme sürelerinin azaltılmasına yardımcı olmaktadır.

a) Çarpışma Önleme

BRT taşıtının kontrolünün sağlanmasıdır. Böylelikle taşıtın kendi yolu boyunca önüne çıkacak engellere karşı korunma sağlanmış olmaktadır. Önden, yandan ve arkadan çarpışmaları önleme ve entegre 360 derece sistemini içermektedir. Sensörlerin (kızılötesi, video vd.), sürücüye haber verme aygıtlarının ve otomatik kontrol mekanizmalarının taşıtın içine yerleştirilmesini gerektirmektedir. Bu sistemler şu anda araştırma evresinde olup BRT taşıtlarında kullanılmaya uygun değildir. Fakat bu sistemlerin önümüzdeki beş sene içerisinde BRT taşıtlarında test amaçlı kullanılmaya başlanması beklenmektedir.

b) Çarpışma Uyarı

BRT taşıtını kullanan sürücüyü, yolu dahilinde mevcut olan engel veya potansiyel yaya ya da potansiyel engeller hakkında uyarmaktadır. Önden, yandan ve arkadan çarpışmaları önleme ve entegre 360 derece sistemini içermektedir. Yine sensörlerin (kızılötesi, video vd.),

sürücüye haber verme aygıtlarının ve otomatik kontrol mekanizmalarının taşıtın içine yerleştirilmesini gerektirmektedir. Bu sistemler kısıtlı olarak kullanılmaktadırlar.

MALİYET KALEMİ

YATIRIM

Taşıt başına sensör entegrasyonu \$3500

Pittsburgh Liman Müdürlüğü ve Carnegie Mellon Üniversitesi Robotics Enstitüsü, 100 taşıt üzerinde, sürücüleri kör noktalardaki engellere karşı uyarmak amacıyla, bir çarpışma uyarı sistemi deneyi gerçekleştirmiştir. Sistem, her taşıtın kenarlarına yerleştirilmiş iki ultrasonik sensör ve bir taşıt bilgisayarından oluşmaktadır. Sürücünün çevresindeki aynaların yanına yerleştirilmiş dahili uyarı ışıkları ve bir sesli uyarıcı herhangi bir engel oluştuğunda sürücünün harekete geçmesi için devreye girmektedir. Maliyeti, taşıt başına \$2600'dır.

c) Tam Yanaşma

Sürücünün BRT'yi herhangi bir istasyona veya bir durma noktasına yanal ve boyuna konumlandırmasına olanak sağlayan bir sistemdir. Bu sistemin uygulanmasında ITS tabanlı temel iki yaklaşım vardır: manyetik ve optik. Bu, asfalta çeşitli işaretlerin yerleştirilmesini (boya, mıknatıslar), işaretleri okuyacak taşıt tabanlı sensörlerin monte edilmesini ve taşıt direksiyon sistemiyle bağlantıları gerektirmektedir. Yeni taşıt alımlarında ek bir özellik olarak tam yanaşma sistemi, yalnızca yurtdışı alımlarında söz konusudur (sistem yurtdışından geliyor). Amerika kökenli bu tür sistemlerin ticari kullanımı, gelecek 2 ila 5 yıl arasında gerçekleşecektir. (2-5 yıl arasında bir sürede Amerika bu sistemi kendi üretir duruma gelecek. Mevcut taşıta bu yeni sistem eklenecek (eklenebilir-modüler))

MALİYET KALEMİ

YATIRIM

İstasyon başına manyetik sensör \$4 000

İstasyon başına optik işaretlemeler \$4 000

Taşıt başına düşen donanım ve entegrasyon \$50 000

d) Kılavuzlama

Seyir yolları üzerinde hareket eden BRT taşıtlarının hızları korunurken, çeşitli teknolojiler kullanılarak kılavuzlama yapılmaktadır. Bu teknolojiler aynı zamanda “şerit destek teknolojileri” olarak da bilinmektedirler. BRT'nin yüksek hızda güvenli bir biçimde çalışmasını sağlamaktadır. Üç tane temel kılavuzlama teknolojisi mevcuttur: manyetik, optik ve GPS tabanlı. Bunlar, asfalt kaplamasının üzerine veya içine işaretler yerleştirilmesini veya

GPS tabanlı güzergah haritasını gerektirir. Bunlar ayrıca, işaretleri okuyacak taşıt tabanlı sensörlerin ve taşıt direksiyon sistemiyle bağlantıların kurulmasını gerektirmektedir. Bu sistemlerin kullanılabilirliği şu anda sınırlıdır fakat ticari kullanımı 2 - 5 sene içinde gerçekleşecektir.

MALİYET KALEMİ	YATIRIM
Km başına manyetik sensör	\$12 000
Km başına optikler	\$12 000
GPS	\$125 000
Taşıt başına donanım ve entegrasyon	\$50 000 - \$95 000

Las Vegas Eyalet Ulaştırma Kuruluşu, CIVIS taşıtlarına bir kılavuzlama sistemi uygulamıştır. 10 taşıtın her biri için \$95 000'lık teknoloji seçenekleri bulunmaktadır.

İşletim Yönetim Teknolojisi

Bu teknoloji grubu BRT filolarının yönetimini geliştirici otomasyon yöntemlerini içermektedir. Şu anda, çoğu toplu taşıma kuruluşu ve BRT işletmecileri, Mobil Veri Terminalleri (MDT) ve AVL sistemlerinin temel veri gereksinimlerini karşılamak için hali hazırda olan kendi haberleşme sistemlerini tadil etmektedirler.

Otomatik Taşıt Sevk Çizelgeleme Sistemi'nin ve Taşıt İzleme yönteminin kullanımı, BRT taşıtlarının en iyi şekilde kullanılması için BRT yönetimine yardımcı olmaktadır. Taşıt Mekanik Denetimi ve Bakımı sistemi; BRT taşıtlarının arıza süresini minimize eder. İşletim Yönetim fonksiyonlarının tümü, işletim verimliliğini artırırken, hizmet güvenilirliğini destekler ve yolculuk süresini kısaltır. BRT sisteminin verimliliğini artıran çözümler bu bölümde tanımlanmıştır:

a) Otomatik Taşıt Sevk Çizelgeleme Sistemi

Sistemdeki bütün BRT taşıtlarını yönetmek ve yolcular için kusursuz bir hizmet verebilmek için gerçek zamanlı taşıt verilerinin (konum, çizelge uyumluluğu, yolcu miktarı) kullanılmasıdır. Bir haberleşme sistemini ve ASDS yazılımıyla birlikte entegre edilmiş Taşıt İzleme bileşenlerini gerektirmektedir.

MALİYET KALEMİ	YATIRIM	İŞLETME ve BAKIM
Donanım ve yazılım temini	\$20 000 - \$40 000	-
Sistem entegrasyonu	\$225 000 - \$500 000	-
Sensörler ve filo entegrasyonu	\$1 100 000 - \$2 200 000	

b) Taşıt Mekanik Aksamının Denetim ve Bakımı

Motor sensörleri yolu ile toplu taşıma taşıtının motor aksamlarının durumunu otomatik olarak denetlemekte ve muhtemel ya da mevcut motor arızalarını (tolerans sınırının üstünde uyarılar ile) haber vermektedir. Bir haberleşme sistemini ve taşıtta bulunan, gerekli taşıt verilerini toplayıp iletebilecek bir mekanik gözleme (monitoring) sistemini gerektirmektedir.

MALİYET KALEMİ	YATIRIM	İŞLETME ve BAKIM
Sensörler ve filo entegrasyon	\$1 100 000 - \$2 200 000	\$4000 - \$8000

c) Taşıt İzleme

Taşıt izleme, toplu taşıma işletmeleri personeline, ağdaki BRT taşıtlarının o andaki konumlarını vermektedir. Toplu taşıma konum bilgisi, yolcu danışma hizmetlerini ve çizelgeye uyumluluğu geliştirmek için kullanılmakta, ayrıca geleceğe dönük planlama çabalarını desteklemek için arşivlenmektedir. Taşıt izleme bileşenleri ile entegre edilmiş haberleşme sistemini gerektirmektedir. En yaygın kurulum, taşıtın konumunu tanımlamak için kullanılan “küresel konumlandırma sistemi” (GPS) tabanlıdır. Burada hızlıca değiştirilebilen başka seçenekler de mevcuttur.

MALİYET KALEMİ	YATIRIM	İŞLETME ve BAKIM
İşletim merkezinin donanımı	\$15 000-\$30 000	-
Yazılım entegrasyonu ve geliştirmesi	\$815 000-\$1 720 000	\$6 000-\$7 000
Taşıt donanımı	\$600 - \$1 000	-

Denver Bölgesel Ulaştırma Yöresi, yaklaşık 1000 otobüs için, GPS tabanlı bir taşıt konumlandırma sistemi kurmuştur. Bu kurulum; İşletim (Sevk) Merkezinin Donanımı (\$1.250.000); Telsiz ve Veri Bilgisayarı (\$435.000); Saha Haberleşme Donanımı (\$1.451.940) ve otobüs başına \$5.000’lık taşıt içi donanımdan oluşan haberleşme sisteminin

bir parçasıdır.

Ann Arbor Ulaştırma Kuruluşu; 75 otobüs için, taşıt izleme ve gelişmiş haberleşme sistemlerini içeren bir “Gelişmiş İşletme Sistemi” kurmuştur. Yatırım maliyetleri 2,64 milyon dolar ya da otobüs başına yaklaşık olarak 32.500\$’dır. İşletme ve bakım maliyeti yıl başına 1,25 milyon dolar olarak tahmin edilmiştir (1995 dolar kuru).

Yolcu Bilgilendirme

Yolcu bilgilendirme teknolojileri; yolcu tatminini yükseltebilmekte, bekleme zamanlarını azaltabilmekte ve böylece hizmet verilen yolcu sayısını artırabilmektedir. Yolcu bilgilendirme sistemleri, aynı zamanda, bilgilendirme ekranlarındaki reklam süresi ve alanının satışından dolayı bir kazanç kaynağı da olabilmektedir. Bu hizmetler, her bir taşıtı izleyebilen, taşıt konum verisini bilgi işlem merkezine gönderebilen ve işlenmiş taşıt verisini toplu taşıma yolcusuna sunabilen bir haberleşme sistemine dayanmaktadır.

BRT sistemleri için, taşıt çizelgeleri hakkındaki bilgiler, toplu taşıma yolcularına istasyonda/durakta ve/veya taşıtta sunulabilir. Toplu taşıma ağının genelinde uygulanmak üzere, mobil cihazlar (PDA, cep telefonu vb.) aracılığı ile çizelge bilgisi yolculara sunulur ve hat güzergah planlaması desteklenir.

Not: Yolcu bilgilendirme sistemlerinin kurulumu ve işletimiyle ilgili pek çok farklı maliyet bileşenleri vardır. En yeni ve doğru bilgiler için <http://www.benefitcost.its.dot.gov> adresini ziyaret edebilirsiniz. Mümkün olduğunda uygun sistem-düzeyinde bilgiler bu sitede yer almaktadır.

a) İstasyonlardaki Yolcu Bilgilendirmesi

İstasyondaki değişken mesaj panosu aracılığı ile taşıt çizelgesi; bir sonraki otobüs bilgisi ya da sistemdeki gecikmeler hakkında bilgiler sunmaktadır. Taşıt varış zamanını tahmin eden ve bu bilgiyi istasyonda/durakta gösterme yeteneğine sahip teknikleri gerektirir.

MALİYET KALEMİ

YATIRIM

Toplu taşıma bilgisi durum panosu

\$4 000-\$8 000

King İlçesi Toplu Taşıma İzleme (Watch) sistemi; Washington Eyaleti King İlçesi Bellevue ve Northgate toplu taşıma merkezlerindeki toplu taşıma yolcularına, aktarma merkezini kullanan otobüs hatları için, tahmini hareket zamanlarını, peron numarasını ve otobüs varış/kalkış zamanlarını bildirmektedir. Toplu Taşıma İzleme (Watch) sistemi gerçek kalkış zamanlarını otomatik taşıt konumlandırma sisteminden (AVL) almakta ve bu bilgiyi her bir

merkezdeki video monitörlerinden göstermektedir. Bu sistemin yaklaşık maliyeti \$723 000 ve yıllık işletme ve bakım maliyeti yaklaşık \$180 000 'dır.

b) Taşıtta Yolcu Bilgilendirmesi

Gelecek durak, taşıt çizelgesi, aktarma/diğer otobüs bilgileri ya da gecikmeler hakkındaki bilgilerin taşıttaki değişken mesaj panosu ile sağlanmasıdır. Taşıtın istasyon/durağa varış zamanını tahmin etmek, güzergah boyunca diğer taşıtlardan bilgi almak ve bilgileri toplu taşıma kullanıcılarına yolculuk esnasında gösterebilmek için bazı teknikleri gerektirir.

New York'taki Rockland Ulaştırma Sistemi'nin, 27 otobüsünün 3 tanesinde kurduğu sistem; otomatik olarak "gelecek durağı" anons eder ve güzergah bilgilerini taşıtta göstererek yolculara yardımcı olur. Otobüs başına ekipmanın maliyeti \$7000'dır. Sistem her otobüs durağında, gelecek durağı otomatik olarak iki dilde anons eder ve sonra her bir otobüsün ön tarafına yerleştirilmiş (5 cm puntolu) bir elektronik mesaj panosu aracılığı ile seyredilecek güzergah bilgilerini gösterir. Taşıt içi küresel konumlandırma sistemleri (GPS), her bir otobüsün konumunu izlemeye kullanılır.

c) Kişisel Yolcu Bilgilendirmesi

Taşıt çizelgesi, bir sonraki otobüs bilgisi ya da gecikmelerin PDA, cep telefonu ya da yolcu tarafından kullanılan benzer bir cihazla sunulmasıdır. Kişisel yolcu bilgilerini sağlayacak bir yazılımı ve bilgilerin internet ya da mobil iletişim araçları ile (ya direk olarak ya da bir servis sağlayıcısı aracılığı ile) sunulmasını gerektirir.

d) Hat Güzergahı Planlaması

Hat bilgilendirmesi isteyen bir yolcu için; bir seyahatin başlangıç ve bitişinin, süre ve tarihinin belirtilerek sağlanmasıdır. Teknik anlamda yolcu gereksinimlerine yanıt verme esnekliğine sahiptir.

Güvenlik Teknolojisi

Sessiz alarmlar ve taşıt içi ve istasyon içi kamera sistemlerinin kullanımı BRT işletmesinin güvenliğini arttırabilir. Teknolojilerin belirli tipleri şunlardır:

a) Sessiz Alarmlar

BRT taşıt sürücüsü tarafından aktif hale getirilen, BRT taşıtına yerleştirilmiş alarmlardır. Taşıt dışındakilerin görmesi için "911'i ara" gibi bir mesaj dışarıda bulunan mesaj panosundan gösterilebilmekte ya da mesajlar acil bir durumu ya da bir sorunu belirtmek için işletim merkezine yollanabilmektedir.

MALİYET KALEMİ	YATIRIM	İŞLETME ve BAKIM
Güvenlik paketi (filo)	\$420 000-\$700 000	\$21 000-\$26 000

b) Ses ve Video Görüntüleme

Mikrofon ya da CCTV (kapalı devre) kamera sistemi kullanılarak taşıtın gözetlenmesidir. Veriler, izleme için işletim merkezine gönderilir.

MALİYET KALEMİ	YATIRIM	İŞLETME ve BAKIM
Güvenlik paketi (filo)	\$420 000-\$700 000	\$21 000-\$26 000

Florida eyaletindeki Clearwater ve St. Petersburg'daki "Pinellas Suncoast Toplu Taşıma Kuruluşu (PSTA)", otobüslerde suçu caydırmak ve yolcuların gerçek olmayan yaralanma iddialarını engellemek için taşıt içi kamera sistemlerini kurmuştur. Daha sonra, program 16 otobüsü kapsayacak şekilde genişletilerek halkın hizmetine sunulmuştur. Her bir otobüs \$9700'a mal olan, beş kamera, bir mikrofon ve taşıt bilgisayarı ile donatılmıştır.

Destek Teknolojileri

Bu ITS grubu, ITS'in doğru çalışması için gerekli olan destek teknolojilerinin bir kısmını içermektedir. Destek teknolojilerin anahtarı, uygulamaların ötesinde de görevini yapacak bir omurga yaratan, Gelişmiş Haberleşme Sistemi'dir. Bu teknolojilerin tümü, performans üzerinde doğrudan etkiye sahip değildir. Fakat ITS için hayati önem taşırlar. Bu teknolojilerin her biri BRT'ye özel sistemler değildir, fakat BRT performansını desteklerler.

a) Gelişmiş Haberleşme Sistemi (ACS)

Diğer ITS teknolojilerinin işletimine izin vermek için, son model ses ve veri haberleşmesinin kullanımıdır. ACS, çoğu ITS teknolojisi için temel oluşturmaktadır. ACS ile ilgili belirli ihtiyaçlar, uygulama konuları bölümünde tartışılmaktadır.

Denver Bölgesel Ulaştırma Yöresi ayrıntılı haberleşme sistemi; Sevkiyat Merkezi Donanımı (\$1.250.000); Telsiz ve Veri Bilgisayarı (\$435.000); Saha Haberleşme Donanımı (\$1.451.940) ve otobüs başına \$5.000'a mal olan taşıt içi donanımdan oluşur.

Ann Arbor Ulaştırma Kuruluşu; 75 otobüs için gelişmiş haberleşme sistemlerini içeren Gelişmiş İşletme Sistemi'ni kurmuştur. Yatırım maliyeti 2,64 milyon dolar veya otobüs başına yaklaşık 32.500\$'dır. İşletme ve bakım maliyeti yıl başına 1,25 milyon dolar olarak tahmin edilmektedir. (1995 dolar kuru)

b) Arşivlenmiş Veri

Gelecekteki planlama çalışmaları veya analizleri için, taşıt sensörlerinden (yolcu sayıcıları, taşıt bakım sistemleri vb.) toplanan verilerin saklanmasıdır.

c) Yolcu Sayıcıları

BRT taşıtına binış ve iniş yaptıklarında yolcuların otomatik olarak sayılmasıdır. Bu veriler, taşıtların işletilmeleri için gerçek zamanlı olarak kullanılabilmekte veya geleceğe dönük planlamada kullanılmak üzere arşivlenebilmektedirler. Taşıttaki veya istasyondaki yolcuların sayılması için ek sensörler ve bilgileri aktaracak ya da depolayacak özellik gerekmektedir.

MALİYET KALEMİ

YATIRIM

Otomatik Yolcu Sayma Sistemi (taşıt başına)

\$1,000 - \$10,000

Ann Arbor Ulaştırma Kuruluşu'nun Gelişmiş İşletme Sistemi (AOS)'nin değerlendirmesi; otobüs başına yolcu sayım sisteminin maliyetinin yaklaşık \$287 veya 75 taşıtlık filo için bu maliyetin \$21.510 olduğunu göstermektedir. Bu değer, toplam proje maliyetinin % 0,80'ini ifade etmektedir.

Akıllı Ulaştırma Sistem Bileşenlerinin Sistem Performansı ve Sistem Faydaları Üzerindeki Etkileri

Çizelge 2.6'da; Akıllı Ulaştırma Sistemleri ile BRT sistem performans ve faydaları arasındaki ilişki gösterilmektedir.

Çizelge 2.6 Akıllı ulaştırma sistem bileşenlerinin sistem performansı ve sistem faydaları üzerindeki etkileri

SİSTEM PERFORMANSI					SİSTEM FAYDALARI	
	Yolculuk Süresi	Güvenilirlik	Kimlik-İmaj	Güvenlik	Kapasite	FAYDALARI
<u>Taşıt Önceliklendirme</u> - Sinyal Zamanlama Devre Süreleri - İstasyon ve Şerit Erişim Kontrolü - TSP	Taşıt önceliklendirme, tıkanıklık gecikmelerini minimize eder.	Toplu taşıma sinyal önceliği, çizelgeden sapmaların geri kazanılmasını kolaylaştırır.	Sinyal önceliği sayesinde otobüslerin daha yüksek hızlarda seyretmesi, sistem imajını geliştirir.		Taşıt önceliklendirme, seyir yollarının kapasitesi ve hızını artırır.	Daha yüksek hız, yolcular üzerinde çekici etkiye sahiptir.
<u>Sürücü Destek ve Otomasyon teknolojisi</u> - Çarpışma Önleme - Çarpışma Uyarı - Tam Yanaşma - Kılavuzlama	Tam yanaşma, istasyonlara daha yüksek bir hızda yanaşmaya izin verir ve duruş süresini azaltır.	Tam yanaşma, biniş faaliyetini kolaylaştırır ve duruş süresindeki değişkenliği azaltır.	Tam yanaşma ve kılavuzlama ile BRT, gelişmiş bir sistem imajı yaratır.	Çarpışma uyarı ve önleme sistemleri emniyeti artırır. Tam yanaşma, biniş/inişteki güvenliği artırır.	Tam yanaşma, istasyonlardaki gecikmeleri sınırlar, kapasiteyi artırır.	Sistem imajını arttıran gelişmiş özellikler, yolcular üzerinde çekicidir.
<u>İşletim Yönetim Teknolojisi</u> - Otomatik Taşıt Sevk Çizelgeleme Sistemi - Mekanik Aksam Denetimi ve Bakımı - Taşıt İzleme	Aktif (sürekli) işletim yönetimi, çizelge uyumluluğuna yardımcı olur ve bekleme süresini minimize eder.	Aktif (sürekli) işletim yönetimi, güvenilirlik üzerine odaklanır.		Taşıt izleme sistemleri, taşıtların gözlenmesine olanak sağlar. Taşıt durum denetlemesi, sürücüler ve taşıt arızası ile ilgili olan merkezi kontrol birimini uyarır.	İşletim yönetimi, talep ile kapasitenin uyuşmasını garanti eder.	Kısıtlı kaynakların daha iyi bir şekilde yönetilmesi verimliliğini artırır.
<u>Yolcu Bilgilendirme</u> - İstasyonlarda - Taşıtta - Kişisel - Hat Planlaması	Yolcu bilgilendirme sistemleri, duruş sürelerine ilişkin (olumsuz) algılamaları minimize eder.	Yolcu bilgilendirmesi, hizmetteki aksamaları yolculara bildirmeye olanak sağladığından, hizmet güvenilirliğini artırır.	Marka kimliğini iyileştirir ve kullanıcılar ile haberleşme kanalı sağlanmış olur.	Yolcu bilgilendirme sistemleri, güvenlik tehditlerinin haber verilmesine olanak sağlar.		
<u>Güvenlik Teknolojisi</u> - Sessiz Alarmlar - Ses ve Video Görüntüleme				BRT sisteminin aktif yönetimine, suçu caydırmaya ve olaylara karşılık verilebilmesine olanak sağlar.		
<u>Destek Teknolojileri</u> - ACS - Arşivlenmiş Veri - Yolcu Sayıcısı					Gerektiğinde artan talebi karşılamaya yönelik kapasite artışına olanak sağlar.	BRT hizmetleri için, değerli planlama bilgileri sunar.

Uygulama Konuları

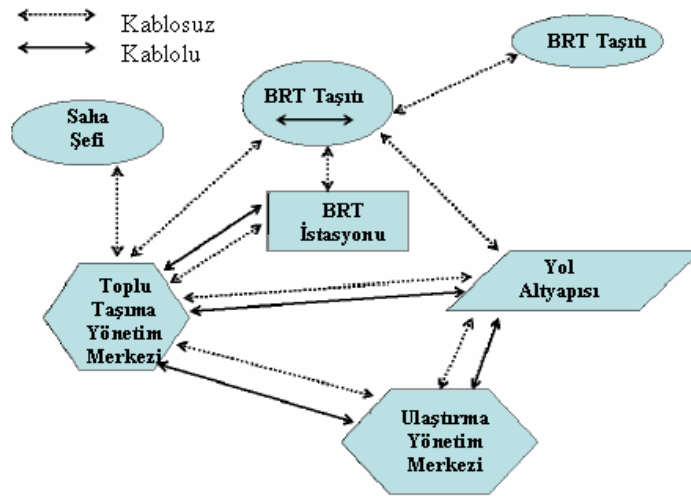
Herbir ITS teknolojisi, BRT sisteminin faydalarını arttırmak için kilit bazı özellikler sunmaktadır. ITS teknolojilerinin birbirleriyle entegrasyonu ise BRT sistem faydalarını maksimize ederek, sistemin optimum çalışmasını garanti eder. İlerleyen bölümlerde bazı uygulama konuları üç ITS teknolojisi ile ilişkilendirilerek daha detaylı olarak tartışılmaktadır.

Gelişmiş Haberleşme Sistemi (ACS)

Kablolu ya da kablosuz olarak, ses ve veriyi iletme ve entegre bir sistem yaratmak için ITS teknolojileri, güçlü bir haberleşme sistemini gerektirir. Bu yüzden, BRT işletmecilerinin, ITS'in teknolojik gereksinimlerine yanıt verebilen ve gelişmiş teknolojiler kullanan entegre BRT sistemlerine sahip olmak için "Gelişmiş Haberleşme Sistemi (ACS)"ne sahip olmaları zorunludur.

Sinyal önceliği, sürücü şerit desteği, taşıtlar arasındaki kısaltılmış izleme süresi ve gerçek zaman bilgisi ile işletilen BRT sistemleri, normal işletimlere göre, çeşitli daha fazla veriye ve daha sık güncellemelere ihtiyaç duyarlar. ITS ile donatılmış BRT sistemi kapsamlı veriye ihtiyaç duyar, ancak mevcut haberleşme sistemleri, ITS teknolojilerinin gerektirdiği bant genişliği ve hız gereksinimini karşılayamayabilir.

Bir ACS, yalnızca BRT taşıtları ve Ulaştırma Yönetim Merkezi (TMC) arasındaki iletişime odaklanmamıştır. Bu sistem, hayati öneme sahip veri akışı sağlayan haberleşme bağlantılarından sadece biridir. Şekil 2.2, tipik bir haberleşme sistemini ve çeşitli BRT sistem bileşenleri arasındaki etkileşimi bir şema ile sunmaktadır.



Şekil 2.2 BRT haberleşme şeması

Bir gelişmiş haberleşme sistemi (ACS), ITS'in başarılı bir şekilde BRT sistemine uyumu için temel bileşenlerdendir. Tüm ITS teknolojileri, BRT taşıtları, yol altyapısı ve toplu taşıma yönetim merkezi arasında çeşitli haberleşme biçimlerini gerektirir. Bu yüzden, başarılı konumlandırılmış bir BRT sistemine sahip olmak için, mutlaka çeşitli ITS teknolojilerinin entegrasyonuna imkan tanıyan bir ACS'nin bulunması gerekmektedir. ACS aslında, ITS teknolojileri ve BRT konseptini biraraya getiren sinerji için bazı araçlar sunmaktadır.

Bazı durumlarda, yeni bir BRT sistemi, yeni bir haberleşme sistemi kurmak için itici- teşvik edici bir güç olabilir. Örneğin, Los Angeles'taki Metro Rapid sistemi, TSP (Toplu Taşıma Sinyal Önceliği) sistemini uygulamak için, BRT taşıtları ile Trafik Sinyal ve Toplu Taşıma Yönetim Merkezi arasındaki veri iletimini sağlamak için bazı araçlara ihtiyaç duymuştur. Metro Rapid sayesinde, trafik sinyalleri ve TMC'yi (Toplu Taşıma Yönetim Merkezi) bağlayan fiber optik kablolar döşenmiştir. BRT işletmeleri, planlanan ITS teknolojilerinin haberleşme ihtiyaçlarını belirlemek ve bunları mevcut haberleşme sisteminin kabiliyetleriyle karşılaştırmak zorundadır.

Toplu Taşıma Sinyal Önceliği (TSP)

Trafik sinyal önceliğinin toplu taşıma sisteminde uygulanabilen, en basit pasif öncelikten en karmaşık gerçek zaman uyarlamalı kontrole kadar çeşitli (olası) tipleri bulunmaktadır. TSP stratejileri, fayda ve maliyetleri, uygulanabilirlikleri ve kısıtlamaları bakımından çeşitlilik göstermektedir.

Amerika 2000 Yılı Güncellemesi'ndeki "Gelişmiş Kamusal Toplu Taşıma Sistemleri Stratejik Düzenlemesi"ne göre; 1998'den (16 kuruluş) 2000 yılına (30 kuruluş) kadar TSP sistemlerine sahip toplu taşıma kuruluşlarının sayısı %87 oranında artmıştır. Trafik/otobüs algılama ve haberleşme teknolojilerindeki yeni ve hızlı ilerlemeler ile iyi tasarlanmış önceliklendirme algoritmaları, TSP'yi daha çekici hale getirmiş, tüm modlardaki yol kullanıcılarının çoğu tarafından kabul edilmesini sağlamıştır. Gerçekte TSP, BRT ortamında konumlandırılmış en popüler ITS teknolojilerinden biri olarak karşımıza çıkmaktadır. 21 BRT kuruluşunun 17'si (yani %81'i), kendi BRT sistemlerinde TSP uygulaması yaptığını ya da uygulamayı planladığını duyurmuştur.

Trafik yönetim kuruluşları ile diğer paydaş kuruluşlar veya projeden etkilenecek bireylerin tam bir işbirliği ve koordinasyonu olmadan TSP uygulaması başarılı olamaz. Toplu taşıma kuruluşlarının çoğu; sinyaller, tabelalar ve kaplama işaretlerini içeren trafik kontrol aygıtları üzerinde ne yetkiye ne de uygun saha işletme bilgisine sahiptir. TSP, -toplu taşıma taşıtı dışındakilerin gecikmelerindeki muhtemel artış gibi- bir bütün olarak trafik sistem işletmeleri

ve diğ er yol kullanıcıları üzerinde bazı etkilere sahiptir. Tüm paydaşlar, sistem performans sonuçlarının, proje hedef ve amaçlarıyla tutarlı olması için projenin tüm aşamalarında yer almalıdırlar.

Yolcu Bilgilendirmesi

Sayısal veriler, toplu taşıma yolculuk miktarı ile yolcuların toplu taşıma bilgisine erişmesi arasında pozitif ilişki bulunduğunu göstermiştir. Diğ er bir deyiş le, toplu taşıma yolculuğ u yapanlara güzergah çizelgeleri ve varış lar hakkında ne kadar çok bilgi sunulursa, toplu taşıma güvenilir bir ulaşırtma türü olarak o kadar kabul görmektedir.

Geleneksel olarak, toplu taşıma kuruluşları “*yolculuk bilgileri*”ni; yazılı bilgilendirme araçları (örneğin, hat haritaları, ücret bilgileri içeren yolcu rehberi ve otobüs çizelgeleri gibi) ve “kullanıcı telefon hatları” vasıtasıyla sunmaktadır. Haberleşme ve taşıt izleme ile ilgili ITS teknolojilerindeki son gelişmeler, toplu taşıma işletmecilerine, kendi (potansiyel) kullanıcılarına yolculuk bilgilerini daha verimli ve etkin bir yöntemle sunmalarında olanak sağlar.

Gelişmiş yolcu bilgilendirme sistemi BRT'ye uygulanırken, çeşitli durumlar dikkate alınmalıdır. Gelişmiş toplu taşıma yolcu bilgilendirmesi, kullanıcılara internet, elektronik büfeler, dinamik işaret tabelaları, ekranlar, taşıt-içi anons cihazları, etkileşimli sesli cevap telefon sistemleri, kişisel dijital yardımcılar ve faks gibi, ancak bu kadarla da sınırlı olmayan bir çok kanalla hizmet vermektedir. Ayrıca, bu kanallar bilginin biçimini, gerçek zamanlı otobüs varış/kalkış durumları ve kaza-arıza raporları sunarak gittikçe daha da dinamik hale getirmektedirler. Son yıllarda, yolculara talep tabanlı olarak gerçek zamanlı bilgi desteğ i sağlayan kesintisiz, kapıdan kapıya hat güzergah planlaması (itenerer) yapabilen intermodal güzergah/seyahat planlama bilgi sistemlerinin gelişimine büyük önem verilmektedir.

BRT ve Akıllı Ulaşırma Sistemleri ile İlgili Deneyimler

Genel olarak, ITS teknolojileri kullanılarak, fiziksel altyapıya yapılan kaldırırç yatırımlarla, BRT sistem performansını artırma potansiyeli vardır. Gerçek zamanlı seyahat bilgilendirme uygulaması ITS'nin en yaygın uygulamalarından biri olarak görünmektedir. Gelişmiş Haberleşme Sistemleri gibi İşletim Yönetim teknolojileri uygulamaları, çoğ unlukla sistem genelindeki uygulamalar kapsamına bağılıdır.

Las Vegas MAX, Los Angeles Metro Rapid ve Oakland (AC Toplu taşıma) Rapid Bus trafik sinyal önceliğ ini yerleştirmişlerdir.

Mevcut BRT sistemleri arasında, Yardım ve Otomasyon teknolojilerinin uygulanmasına az

rastlanmaktadır. Yalnızca Las Vegas MAX sistemi bu teknolojilerden biriyle –tam yavaşma ile- çalışır. Toplu taşıma taşıtları için Yardım ve Otomasyon teknolojileri konusunda oldukça fazla sayıda araştırma ve geliştirme çalışmaları vardır. Bu teknolojiler, faydalı oldukları ispat edildiğinde ve temini daha kolay olduğunda, BRT taşıtlarına uygulanabileceklerdir.

2.2.6 Hizmet ve İşletim Planları

Tanımı

BRT’de Hizmet ve İşletim Planı’nın Rolü

BRT hizmeti için hizmet ve işletim planının tasarımı, bir yolcunun hizmeti algılamasını ve değerlendirmesini etkiler. BRT hizmeti, sık, doğrudan, kolay anlaşılır, konforlu, güvenilir, işletim olarak etkin ve hepsinden önemlisi hızlı olmalıdır. BRT bileşenlerinin ve sistemlerinin esnekliği, hizmet vereceği kullanıcılar ve işletileceği fiziksel ve çevresel ortamın gereksinimlerine yanıt verecek olan hizmet planının tasarımında önemli ölçüde esnekliğe izin verir.

Bu bölümde, BRT hizmetinin sunulması ile ilişkili bazı temel hizmet ve işletim planlama konuları detaylı olarak ele alınmaktadır. Şuna dikkat edilmelidir ki; incelenen işletim unsurlarının her biri farklı koridorlara, farklı şehirlere ve farklı bölgelere uygulandığında, mevcut yatırım ve işletim bütçesi, kullanıcı talebi, mevcut seyir yolları, potansiyel güzergah yapılandırmaları ve politik çevre gibi bir çok etkene bağlı olarak değişkenlik gösterirler.

Hizmet ve İşletim Planı’nın Özellikleri

Hat (Güzergah) Uzunluğu - Hatta hizmet vermek için gerekli kaynakların belirlenmesinin yanında bir kullanıcının aktarma yapmaksızın/doğrudan nerelere gidebileceğini de belirler. Uzun hatlar, aktarma ihtiyacını azaltırken, daha fazla yatırım ve insan kaynağını gerektirir ve işletimde çok daha fazla değişkenliğe neden olur. Kısa hatlar, yolcuların hat tarafından hizmet götürülmeyen yerlere ulaşmak için aktarma yapmalarını gerektirse de, seyahat süresinde daha yüksek bir güvenilirlik sağlar. BRT hizmetinin, kendi uzunluğunun tümünde, tercihli bir seyir yolunda sunulması gerekli değildir.

Hat (Güzergah) Yapısı - BRT seyir yolları ve istasyonlarının önemli bir avantajı, farklı hatlarda hizmet veren farklı taşıtları barındırabilmeleridir. Bu esneklik aynı fiziksel yatırımla değişik hat türlerinin ve hat yapılarının birlikte çalışmasına olanak verir. BRT sistem yöneticileri, kullanıcılara noktadan noktaya hizmet veya "tek-koltukta yolculuk" sağlayabilirler; böylece, aktarma sayısı kısıtlanarak toplam yolculuk süresi azaltılmış olur. “Azaltılmış aktarmalı noktadan noktaya” hizmet sunumu, tür seçimi yapacakların ilgisini BRT sistemine çekmeye yardımcı olacaktır.

Değişik hat yapıları değerlendirilirken, bir ödünleşmenin var olduğu göz ardı edilmemelidir. Bir ya da iki güzergah düzeni olan basit hat yapıları, sistemi kullanan yeni yolcular için

anlaşılması kolay ve böylelikle de seyahat etmesi basit bir hat biçimidir. Sistemin kullanıcılara cazip gelmesi için sunulan hizmeti kolaylıkla anlayabiliyor olmaları gerekmektedir. Hizmetin hat tespitinde doğrudanlığı ve doğrusallığı, kullanıcıların BRT sistemini açıkça anlayabilmelerini sağlayan anahtar değişkenlerdir. Diğer yandan, dallanmış hatlarıyla kapsamlı bir hat ağı gibi ek tercihler sağlamak, kullanıcılara -özellikle de aksi halde aktarma yapacak olan kullanıcılara- daha fazla seçenek sunar. Netlik ve seçenek, hat yapısına karar verilirken dengelenmesi gereken iki temel prensiptir.

Farklı hat yapıları diğer toplu taşıma hizmetlerinin yeniden yapılandırılması için de değişik fırsatlar ortaya koymaktadır. Basit hat yapıları, ilişkilendirilmiş toplu taşıma hizmetlerinin bir kaç istasyona odaklanmasına izin verebilmektedir. Dallanmış ağların geliştirilmesi, mevcut hizmetlerin yeniden yapılanmasına ve kaynakların, BRT hizmeti tarafından şu anda hizmet verilen hatlardan alınarak diğer hatlara tahsis edilmesine olanak sağlamaktadır.

Hizmet Süresi - Bir hizmetin kullanılabilir olduğu zaman periyodunu tanımlar. Hızlı toplu taşıma hizmetleri, genellikle, gün boyu hizmet verir. Zirve saatlerdeki yüksek sıklık sayesinde durağa rast gele gelen yolcuların uzun süre beklemezsizin hizmetten faydalanmalarını sağlar. Hizmet sıklığı gün ortası ve akşam gibi zirve olmayan saatlerde azaltılır. Hizmet süreleri toplu taşıma hizmetinin -ilgisini çekmek istediği- hedef kitleyi etkileyen bir faktördür. Uzun hizmet süreleri, yolculuk zamanları farklı ve yolculuk düzenleri çeşitli olan yolcuların belirli bir hizmete bağlı kalmasına yol açar. Kısa hizmet süreleri potansiyel yolcu miktarını kısıtlar. Örneğin, sadece zirve saatlerde sunulan hizmetler gün içinde yolculuk yapan potansiyel kullanıcıların sistemi kullanmasını kısıtlar. Geleneksel hizmetler ile BRT hizmetlerinin aynı koridoru kullandığı yerlerde, yolcular iki sistem arasında seçim yapabileceklerinden dolayı, her iki sistemin hizmet süreleri birlikte değerlendirilmelidir.

Çizelge 2.7, seyir yolu çeşitleri açısından farklı BRT hizmet çeşitleri ve tipik hizmet sürelerini göstermektedir.

Çizelge 2.7 BRT hizmet çeşitleri ve tipik hizmet süreleri

<i>Ana Seyir Yolu</i>	<i>Hizmet Düzeni</i>	<i>Hizmet</i>		
		Hafta içi	Cumartesi	Pazar
Ana Arter	Her Durakta Duran	Tüm Gün	Tüm Gün	Tüm Gün
Karma Trafik				
Otobüs Şeritleri	Otobüs	Tüm Gün	Tüm Gün	Tüm Gün
Orta Refüj Otobüs	Güzergahlarının			
Yolları (Sollama Yok)	İlişkilendirilmesi			

Çevre Yolları				
Karma Trafik	Yerel Dağıtıcı	Tüm Gün	Tüm Gün	----
Otobüs/HOV Şeritleri	Duruşsuz (non-stop) Banliyö Ekspres	Zirve Saatleri	----	----
Otobüs Yolları	Her Durakta Duran Ekspres	Tüm Gün Gün içi veya Zirve Saatleri	Tüm Gün ----	Tüm Gün ----
	Besleyici Hizmet	Gün içi, Tüm Gün veya Zirve Saatleri	Gün içi veya Tüm Gün	Gün içi
	Otobüs Güzergahlarının İlişkilendirilmesi	Tüm Gün	Tüm Gün	Tüm Gün
Tüm Gün: Yaygın olarak, 18 ila 24 saat hizmet Gün İçi: Yaygın olarak, 07:00'den 19:00'a kadar Zirve Saatleri: Yaygın olarak, 06:30'dan 09:00 ve 16:00'dan 18:00'e kadar Zirve saati dışında tek bir Besleyici Otobüs, Zirve saatte ise Ekspres Otobüs hizmet sunmaktadır.				

Hizmet Sıklığı - Hizmet sıklığı, yolcuların BRT hizmeti için ne kadar beklemeleri gerekeceğini belirler. Hizmet sıklığının hizmet verilen pazara uydurulması, BRT sisteminin planlanması ve işletilmesindeki en önemli bileşenlerden biridir.

İstasyon Aralığı - BRT hizmetinin işletme hızı, duraklar arasındaki uzaklık ya da aralığı da içeren bir dizi işletim planlaması konularından büyük oranda etkilenir. Durak aralıkları, kullanıcıların toplam seyahat süresi ve BRT sisteminin işletme hızı üzerinde kayda değer bir etkiye sahiptir. Uzun istasyon aralıkları işletme hızını arttırır.

Hizmet ve İşletim Planlarındaki Seçenekler

Hat (Güzergah) Uzunluk Seçenekleri

Hat uzunlukları, hizmetin belirli ihtiyaçlarına ve bir koridorun gelişme özelliklerine bağlı olarak değişir. Toplam gidiş-dönüş seyahat süresi iki saatten az olan hat uzunlukları, çizelgeye uyumluluğu ve genel sistem güvenilirliğini arttırabilir. Yani, hat uzunluğu en fazla 32 km olmalıdır. Yolcuların yazılı çizelgeye bakmadan BRT hizmetlerini kullanabilmeleri amacıyla toplam gidiş-dönüş seyahat süresinin minimumda tutulması istenmektedir.

Hat (Güzergah) Yapısının Seçenekleri

Dikkate alınan 3 tip BRT hat yapısı seçeneği vardır. Her bir hat yapısında BRT sisteminin mevcut toplu taşıma ağıyla yüksek düzeyde örtüşmesi, hizmetin yeniden planlanması (dağıtılması) ve kaynak tasarrufları sağlanması için fırsatlar yaratabilir.

a) Tek Hat (Güzergah)

Herhangi bir BRT istasyonunda sadece bir tip hizmet söz konusu olduğu için tek hat

uygulaması, en basit BRT hizmet modeli olup, anlaşılması en kolay sistemdir. Bu hat yapısı, güzergah boyunca bulunan istasyonlar için yolcu üreten ve çeken etkinlik (cazibe) merkezlerinin bulunduğu koridorlarda en iyi sonucu verir.

b) Durak Atlamalı (skip-stop) veya Ekspres Seçenekleri ile Çakışan Hatlar (Güzergahlar)

Durak atlamalı (skip-stop) veya ekspres seçenekleri ile çakışan hat; BRT hizmetini içeren farklı toplu taşıma hizmetlerini sunar. Bu tip bir rotalamada, belirli başlangıç-son çiftleri arasında seyahat eden yolcular, durak atlamalı veya ekspres hizmet arasında seçim yapabilme avantajına sahiptirler. Bu hat yapısı, istasyonlardaki sollama şeritleri ile en iyi sonucu verir. Çok sayıda hattın bulunması, sistemi az kullanan yolcular için platformlarda karışıklığa sebep olabilmekte ve istasyonlarda tıkanıklığa yol açabilmektedir.

c) Entegre veya Ağ Sistemi (Yerel, Ekspres ve Kombine Hat/Besleyici Hatlar ile)

Ağ biçimindeki hat yapısı, her durakta duran yerel BRT hizmetine ek olarak, en kapsamlı toplu taşıma hizmetini sunar. Bu hat yapısı; "tek-koltukta yolculuk" için yolculara en çok alternatif sunan hat seçeneğidir. Ancak yolcularda kafa karışıklığına ve taşıtların istasyonlara giriş ve istasyon çıkışlarında tıkanıklığa sebep olabilir.

Hizmet Süresi Seçenekleri

a) Tüm Gün Hizmet

Tüm gün BRT hizmeti, genellikle hizmetin sabah başlayıp gecenin geç saatlerine kadar sürmesi anlamına gelmektedir. Tüm gün hizmet, genellikle, hizmet süresinin tümünde hatta zirve dışı zamanlarda da düzenli bir izleme aralığı (sıklık) sağlar. Hizmetin hafta sonu periyotlarına da yayılması, BRT hizmetinin, toplu taşıma ağının tamamlayıcı bir parçası olduğu fikrini destekleyecektir.

b) Yalnızca Zirve Saatte Hizmet

Yalnızca zirve saate hizmet verilmesini tanımlamaktadır. Yalnızca zirve saatte hizmet, BRT hizmetinin zirve saatlerde ihtiyacı olan yüksek kalite ve yüksek kapasiteyi sunar. Diğer zamanlarda temel hizmet düzeyi, yerel otobüs hatları tarafından sağlanabilir.

Hizmet Sıklığı Seçenekleri

Sıklık, hizmetin düzenliliği ve yolcuların BRT hizmetine güvenmeleri üzerinde etkilidir. Yüksek sıklık (örneğin, 10 dakika ya da daha az izleme süresi), yolcuların en kısa süreli beklemelerini ve herhangi bir çizelgeye bağlı kalmadan rastgele olarak durağa gelmelerini destekleyen güvenilir bir hizmet etkisi yaratır.

İstasyon Aralığı Seçenekleri

BRT istasyonları arasındaki mesafe, yerel hizmet durakları arasındaki mesafeden, genellikle daha büyüktür. İstasyon aralıklarını uzun tutmak, istasyonda yolcu birikmesine ve taşıtların güzergah boyunca daha az durmaları ve gecikmelerine sebep olur. Daha uzun istasyon aralıkları ile taşıtlar, istasyonlar arasında daha yüksek bir hızda seyredebilirler. Bu etkenler sayesinde daha yüksek yolculuk hızları elde edilir. Bu yüksek hızlar, yolcuların, istasyona yürüme, toplu taşıma aracına binme veya özel taşıt ile istasyona gelme gibi faaliyetlerinin gerektireceği fazladan süreyi dengelemiş olur.

Çizelge Kontrol Yöntemleri

Taşıtların zamanında işletilmesi, ya çizelgeye uyumun gözlenmesi ya da izleme sürelerinin düzenlenmesi şeklinde gerçekleştirilir. Bu iki yöntem aşağıda açıklanmaktadır.

a) Çizelge Tabanlı Kontrol

Çizelge tabanlı kontrolde, önceden hazırlanmış çizelgeler taşıt hareketlerini “uyumluluk” bakış açısıyla düzenler. İşletme politikaları, sürücülerin güzergah boyunca belirli yerlere çizelgede belirtilen zamanlarda varmalarını zorunlu kılar. Dispeçerler, çizelgeye uyumluluğun kontrolü için taşıt konumlarını izlerler. Çizelgeler birbirleri ile uyumlu hale getirildiğinde, çizelge tabanlı kontrol, diğer hizmetlerle bağlantı kurmayı kolaylaştırır. Çizelge tabanlı kontrol, yolcular ile etkileşimli olarak kullanılır.

b) İzleme Süresi Tabanlı Kontrol

Genellikle, çok yüksek sıklıktaki sistemlerde kullanılırlar, çizelge tabanlı kontrolden ziyade izleme sürelerinin ayarlanması üzerine odaklanmıştır. Sürücüler, yolculuk sırasında çok yüksek hızlarda seyahat edebilirler ve hattın son noktasına varış zamanı önceden belirlenmemiş olabilir. Dispeçerler, izleme sürelerini ve kapasiteyi düzenlemek, bekleme süresi ve taşıt gruplaşmasını minimum yapmak için taşıtların konumlarını izleyerek, hızlanma veya yavaşlama komutlarını sürücülere gönderirler.

Hizmet ve İşletim Planları Bileşenlerinin Sistem Performansı ve Sistem Faydaları Üzerindeki Etkileri

Çizelge 2.8’de, Hizmet ve İşletim Planları ile daha önceden tanımlanmış BRT sistem performans ve faydaları için politikalar, uygulamalar ve teknolojiler arasındaki ilişki gösterilmektedir.

Çizelge 2.8 Hizmet ve işletim planları bileşenlerinin sistem performansı ve sistem faydaları üzerindeki etkileri

	Yolculuk Süresi	SİSTEM PERFORMANSI			Kapasite	SİSTEM FAYDALARI
		Güvenilirlik	Kimlik-İmaj	Güvenlik		
<u>Hat (Güzergah) Uzunluğu</u>		Daha kısa hat uzunlukları, daha yüksek bir güvenilirlik denetlemesi sunar.				
<u>Hat (Güzergah) Yapısı</u> • Tek Güzergah • Durak Atlama veya Ekspres Seçenekleri ile Çakışan Güzergah • Entegre veya Ağ Sistemi	Entegre hat yapıları, aktarma ihtiyaçlarını azaltır.		BRT ile diğer hizmetler arasındaki farklar marka kimliğini daha iyi tanımlayabilir. Entegre hat yapıları, BRT’nin imajına katkı sağlar.			
<u>Hizmet Süreleri</u> • Yalnızca Zirve Saatte Hizmet • Tüm Gün Hizmet		Hizmetin süresinin geniş olması, hizmet alınabilirliği konusunda güvenilir olduğunu gösterir.				Hizmet planları, duyarlı kullanıcıyı sisteme çeker ve sistem faydasını maksimum yapar.
<u>Hizmet Sıklığı</u>	Daha sık hizmetler, bekleme süresini azaltır.	Yüksek sıklık, hizmet aksaklıklarının etkilerini sınırlar.		Yüksek sıklık, diğer taşıtlar ve yayalar ile olan potansiyel çatışmaları ve istasyonlardaki güvenlik zafiyetini arttırır.	Sıklıkla birlikte işletme kapasitesi artar.	
<u>İstasyon Aralığı</u> • Kısa İstasyon Aralığı • Uzun İstasyon Aralığı	İstasyonlar arası mesafenin uzun olması, yolculuk süresini azaltır.	İstasyonlar arası mesafenin uzun olması, bekleme süresindeki değişkenliği sınırlar.				
<u>Çizelge Kontrol Yöntemleri</u> • Çizelge Tabanlı Kontrol • İzleme Süresi Tabanlı Kontrol	Yüksek sıklıktaki işletim düzeni için kullanılan izleme süresi tabanlı kontrol, hızları maksimize eder.					

BRT Hizmet Planları ile İlgili Deneyimler

Genelde, hat (güzergah) yapıları, seyir yolu altyapısına yapılan yatırım seviyesi ile ilişkilidir. Hemzemin ana yol şeritlerindeki proje uygulamaları, ya karma akım ya da tercihli şeritlerde ya mevcut yerel hat yerine basit bir BRT hattı kullanan ya da yerel hat gibi aynı hattı takip eden basit bir BRT hattı olarak uygulanmaktadır. Boston'daki Silver Line projesi, yerel hattın yerine tamamen BRT hizmetinin konulduğu tek projedir. İstasyon aralığı, bir yönde her bir 350 m'de bir istasyon olacak şekildedir. Ana yolda seyreden diğer BRT sistemlerinin çoğu (AC Hızlı Otobüs, Las Vegas MAX, Los Angeles Metro Rapid gibi), yerel hatla aynı güzergahta çalışmaktadır. BRT hatları için istasyon aralığı genellikle, en fazla 800 m ile 1600 m arasındadır. Özel şeritleri içeren projeler (Miami-Dade'nin hemzemin South Busway'ı ve Pittsburgh'un katlı-ayrımli toplu taşıma yolları gibi), entegre edilmiş hat ağları ile işletilirler. Bu durumlarda, bir hat "ana hizmet hattı" işlevini görürken, diğer hatlar toplu taşıma yolunun dışındaki, yerel besleyici otobüs hizmeti ile kombine edilmişlerdir.

Sıklıklar, aynı zamanda, seyir yolu yatırımları ile ilişkilendirilmiştir. Ana yollardaki BRT sistemleri, 9 ile 15 dakika arasındaki izleme süreleri ile işletilmektedir. Aynı koridorda ve daha düşük izleme süreleri ile işletilen Boston ve Los Angeles BRT sistemleri de vardır. Pittsburgh'un özel seyir yollarında, toplu taşıma yolunun ana hattı boyunca yaklaşık 1 dakikalık izleme süreleri geçerlidir.

Sadece zirve saatte hizmet veren Phoenix'in Rapid sistemi dışındaki tüm BRT sistemleri, diğer toplu taşıma sistemleri gibi aynı hizmet süresinde ve haftanın her gününde işletilmektedirler.

2.2.7 BRT Sistemini Oluşturmak Üzere BRT Bileşenlerinin Entegrasyonu

BRT sistemi, bileşenlerinin tekil olarak sunabilecekleri faydaların toplamından daha yüksek bir faydaya sahip olan esnek bir sistemdir. Bu bileşenler, her bir koridorun kendine özgü fiziksel kısıtları altında, kendi pazarına optimum hizmet veren bir sistem oluşturmak için bir araya getirilmelidir.

BRT'nin esnekliğinin temel avantajları şöyle sıralanabilir:

- **BRT bileşenleri, neredeyse her türlü fiziksel koşullara ve pazar koşullarına uygun olarak bir araya getirilebilirler.** Belirli bir bölge veya koridorda en anlamlı olabilecek bileşenlerin ve bu bileşenlerle ilgili seçeneklerin uygulanması mümkündür. Sadece bileşenleri ve -kısmi bir yerleşim bölgesi veya koridorda daha anlamlı olan- ilişkili seçenekleri uygulamak mümkündür. Bu durum, daha uygun ve daha özelleştirilmiş çözümler sunmaktadır. Örneğin, BRT taşıtları için, nüfusun yoğun olduğu kentsel bölgelerde özel otobüs şeritlerinin inşa edilmesi ya da tahsis edilmesi yerine, “ITS trafik sinyal önceliği” yatırımları yapılması çok daha yüksek bir maliyet verimliliği sağlayabilmektedir.
- **BRT sistemleri aşamalı olarak geliştirilebilmektedir.** BRT'nin her bir bileşeni, ayrı ayrı geliştirilebilmektedir; ayrıca yolcu sayısı arttıkça, kamu desteği güçlendikçe ve daha fazla kaynak bulundukça sistemin geliştirilmesi için yatırımları arttırmak olanaklıdır. Daha gelişmiş teknolojilere erişmek için mevcut sistem bileşenleri iyileştirilebilir (örneğin, normal otobüs filoları yerine özel donanımlı BRT taşıtlarının kullanılması) ya da yeni bileşenler (örneğin, taşıt dışı ücret toplama veya ITS) eklenebilir.
- **Bazı bileşenler diğer sistemler (modlar) ile ortak kullanılabilir.** BRT, bazı bileşenleri diğer modlar ile uyumlu olarak ya da bu modlardan ödünç alınmış olan ara bir sistem olarak değerlendirmektedir. Bu durum, raylı sistem ve otobüs projeleri ile birlikte gelişme ve azaltılmış tedarik maliyetleri için önemli imkanlar sunmaktadır.

Bu bölüm, BRT bileşenlerinin entegrasyonundaki iki temel düşüncüyü; (1) BRT kimliğinin geliştirilmesini ve (2) bileşenler arasındaki ara yüzün geliştirilmesini incelemektedir.

BRT Kimliği

Toplu taşıma bileşenlerinin belirli bir BRT sistemi özelinde bir araya getirilmesi ile ilgili önemli bir esneklik söz konusudur. Her bir bileşen, koridor özelliklerine ya da finansal kaynak olanaklarına bağlı olarak bağımsız şekilde uygulanabilmektedir. Ya da çok sayıda bileşen, geleneksel otobüs hizmetlerine oranla BRT hizmetinin yüksek kalite düzeyini sunmak

amacı ile entegre edilmiş bir biçimde uygulanabilmektedir. Hangi bileşenler kullanılırsa kullanılsın BRT için bir kimlik oluşturma stratejisi geliştirmek önemlidir. Bu bölüm BRT uygulamaları için özgün bir kimlik geliştirmedeki uygun stratejilerin tanıtımını özet olarak sunmaktadır.

BRT planlaması yaparken, toplu taşıma kuruluşlarının sundukları hizmetlerin tümü, bilinçli olarak geliştirilmiş olsun ya da olmasın bir kimliğe sahiptir. Bu kimlik, mevcut olan sistemin özellikleri, mevcut toplu taşıma hizmetleri ve toplu taşıma kuruluşundaki mevcut işletme yöntemlerine bağlıdır. Kimlik yalnızca görsel değildir, kullanıcının istek ve ihtiyaçlarını karşılayan hizmet ile de ilişkilidir. Kimlik; isimler, logolar, renk düzenlemeleri, grafikler, fiziksel bileşenlerin tasarımı ve pazarlama araçları vasıtası ile görsel olarak aktarılmaktadır. Kimlik, aynı zamanda, BRT hedef kitlesindeki yolculara, potansiyel kullanıcılar ve diğerleri ile etkileşim yolu ile de aktarılmaktadır. Gelişmiş bir BRT sistemi, özgün ve farklı bir sistem kimliğini ifade etmektedir. Çünkü pazarlar belirli bir bölgeye özel olup, zaman içinde değişikliklerinden, BRT bu özel koşullara uyarlanmalıdır.

Kimliğe ilişkin seçenekler, toplu taşıma ile ilgili belirli bir pazara özel olduğundan, genel bir kimlik stratejisi uygun olmamaktadır. Bu bölüm bir kimlik oluşturma stratejisi geliştirmek için tipik bir yöntem tanımlamaktadır. BRT için kimlik oluşturma yaklaşımı 3 farklı adım içermektedir.

Araştırma

Araştırma safhasında uygulayıcı kuruluş, hedef kitleyi anlamak için yapılan etkinlikleri yürütmektedir. Bunlar genellikle, anketler, özek hedef kitleler (yaşlılar, engelliler vb.) ve toplu taşıma hizmetinin kullanıcıları ve kullanıcısı olmayanlar ile yapılan görüşmeleri içeren araştırma etkinlikleridir. Kullanıcı araştırması; hedef kitle ile ilgili demografik bilgiyi, potansiyel kullanıcıların mevcut toplu taşıma hizmeti ile ilgili ne hissettiğini ve yeni bir toplu taşıma hizmetinde hangi değerlerin olmasını istediklerini ortaya koymaktadır. Araştırma, ayrıca, sunulacak hizmet hakkında kuruluş içi eğilimleri ve yönetim yaklaşımlarının sunulan hizmeti nasıl etkilediğini belirlemeyi içermektedir.

BRT İçin Kimlik Farklılaşmasının Önemli Noktaları

Kimlik geliştirmenin ikinci basamağı BRT için farklılaşma noktasının ne olduğunun tanımlamasını içermektedir. Bu basamak, hedef kitle için hangi özelliklerin uygun olduğunun araştırmasını içermektedir. Bu özellikler, hem hizmetin ne olduğu (sistem performansı-yolculuk süresi tasarrufları, güvenilirlik, güvenlik ve etkin tasarım), hem de yarattığı etki ile ilişkilidir. Farklılaşmanın bu noktaları, sistem için yapılan planlamaya, bileşenlerin seçimine

ve sonucunda da hizmetin pazarlanmasına yardımcı olacaktır.

Kimliğin Uygulanması

BRT için kimlik uygulaması en az üç etkinliği içermektedir:

- BRT Sistem Bileşenlerinin Uygulanması- kimliği en iyi şekilde destekleyen bileşenler, potansiyel kullanıcıları çekmek için önemli bir araçtır.
- İç Yönetim Süreçlerinin Değiştirilmesi- başarılı bir hizmet için kritik nokta, kuruluşun, kullanıcıya sunulan hizmete güvenmesi ve bu hizmeti etkin ve verimli olarak sunmasıdır. Bu durum genellikle iç yönetim yapılarının, süreçlerinin, ilişkilerinin ve hizmet sunum yaklaşımlarının yeniden düzenlenmesini içermektedir.
- Pazarlama- iyi bir hizmet sunum mekanizması ile sunulan iyi bir hizmet, etkin bir pazarlama kampanyası tarafından güçlendirilir. Bu kampanya, ayırt edilen hizmet isimleri, logolar, sloganlar, renk düzenlemeleri ve cephe tasarımlarına ek olarak görsel ve diğer araçlar vasıtasıyla tanıtım yapılması gibi kimlik tanımlayıcı özellikleri içermektedir.

BRT Bileşenleri için Ara Yüz Gereksinimleri

BRT bileşenlerinin başarılı bir şekilde uygulanması, bu bileşenlerin birbirleriyle bütünsellik içinde bulunmasını gerektirir. Bu bölüm, BRT sistem performansını desteklemek ve BRT'nin faydalarını maksimum yapmak için, bileşenlerin çeşitli kombinasyonlarını ve her bir bileşen çiftinin başarılı entegrasyonu ile ilgili planlama ve tasarım konularını sunmaktadır.

Seyir Yolları ve İstasyonlar

Bir istasyon içi seyir yolunun tasarımı, BRT hizmetinin performansı ve işletimi üzerinde belirgin etkilere sahiptir. İstasyonlar, taşıtların durduğu ve gecikmeye uğradığı yerlerin başında geldiğinden, sistemdeki darboğazlar gibi davranmaktadırlar. İstasyon platformunun uzunluğu ve seyir yolunun genişliği, gecikmenin büyüklüğünü etkileyen birincil faktörlerdir.

Seyir Yolları ve Taşıtlar

Seyir yollarının tasarımı bu yolu kullanacak taşıtlara (taşıt tiplerine) uygun olmalıdır. Taşıtlarla ilgili anahtar tasarım ara yüzleri şunları içermektedir:

- Taşıt yolunun gabarisi- İşlevsel olması için, seyir yollarının, bu yollar üzerinde güvenli ve etkin şekilde çalışacak olan taşıtların izine (genellikle taşıtların “dinamik zarf”ı diye isimlendirilir) uyumlu olacak şekilde tasarlanması gerekmektedir. Kılavuzlama seviyesi, gerekli taşıt izi ve platform genişliğini etkilemektedir.

- Kaplama tasarımı - BRT taşıtları genelde boyutlarını ve ağırlıklarını arttıran özelliklere sahiptirler. Seyir yolu kaplamalarının tasarımı, bu kaplamaların, öngörülen BRT taşıtlarının yüklerini taşıyabilme kabiliyetini (taşıma gücünü) belirlemektedir.
- Kılavuzlama - Kılavuzlama sistemleri, işaretler ya da seyir yollarının alt yapısı ile entegre olan taşıt manevra mekanizmalarını gerekli kılmaktadır.

Seyir Yolları ve ITS

Trafik sinyal sistemleri seyir yollarının yol koşullarında işlev gören vazgeçilmez bir parçasıdır. Bu sistemler; BRT sistemindeki, BRT sistemine paralel akımdaki ve BRT seyir yolu ile kesişen tüm taşıtların akışını kontrol etmektedir. Daha açık bir ifadeyle, bu sistemler, BRT taşıtlarının ne sıklıkla ve hangi noktalarda diğer taşıt trafiği ile çatışabileceğini izlemekte ve böylelikle de yolculuk süresini ve güvenlik gereksinimlerini kontrol etmektedir. Trafik sinyal sistemlerini trafik sinyal önceliği sistemleri ile desteklemek de potansiyel seyir yolu gecikmelerini azaltmanın etkili bir yoludur.

İstasyonlar ve Taşıtlar

Taşıt ile istasyon platformu arasındaki ara yüzün yolcu biniş-inişi ve biniş-iniş hızı üzerinde önemli bir etkisi vardır. Taşıt ve istasyon ara yüzü ile ilgili birincil konu, BRT taşıt döşemesinin yüksekliği ile istasyon platformunun yükseklik ve uzunluğudur.

İstasyonlar ve ITS

BRT istasyonlarında ITS bileşenlerinin kullanılması, tüm yolcular üzerinde güçlü ve pozitif bir etkiye sahiptir. BRT istasyonlarında yaygın olarak kullanılan ITS bileşenleri, gerçek zamanlı değişken mesaj panoları ve gelişmiş elektronik taşıt-dışı ücret toplama yöntemleri ve tam yanaşma teknolojisinin daha düşük bir seviyedeki bazı çeşitlerini içermektedir.

Taşıtlar ve Ücret Toplama

Taşıt tabanlı ücret toplama sistemi, taşıt üstünde ücret toplama ekipmanının kurulumunu gerektirmektedir. Ekipman kullanımı kolay ve güvenli olacak şekilde kurulmalıdır. BRT taşıt sürücüsünün ücret işlemlerini hızlıca ve kolaylıkla kontrol edebilmesi için taşıt içerisinde ücret onaylama ekipmanı bulundurulmalıdır. Bu ücret ekipmanı aynı zamanda taşıttaki ve taşıt dışındaki yolcu akımlarını minimize etmek için de yerleştirilmelidir.

Taşıt dışı ücret toplama; aynı zamanda, kapı sayısı, kapı kanalları ve taşıt uzunluğu boyunca kapı dağılımının nasıl olduğu ile de sıkı sıkıya ilişkilidir. Taşıt-dışı ücret toplama kullanılmayan sistemlerdeki çoklu kapı kanalları, yolcu hizmeti ve bekleme süreleri üzerinde daha az bir pozitif etkiye sahip olacaktır.

İstasyonlar ve Ücret Toplama

Eğer ücret ödeme işlemi taşıt içinde yapılmıyorsa, ön-ödeme ekipmanı ve diğer ücret hizmetlerini içeren ücret toplama konuları istasyon alanlarının tasarımında önemli olabilmektedir. Bu durum ücret toplama ekipmanlarının yeri, istasyon ve ücret sistemi tasarımında dikkate alınmalıdır. İstasyonda sağlanan bu kolaylıklar, aynı ücret ödeme araçları ve ödeme ağını kullanan işletmeler tarafından ücret sistemine de entegre edilebilmektedir. Platformların tasarımı, ön-ödeme seçenekleri ile birlikte çalışan çok-kapılı biniş olanaklarını da etkileyebilmektedir. Son olarak; yolcu güvenliği de ücret toplama ve istasyon tasarımı bağlamında bütünsellik göstermelidir.

Ücret Toplama ve ITS

ITS teknolojileri, verilerin toplanması ve yönetimindeki ücret sistemleri ile entegre olabilmektedir. Örneğin, bir BRT hattı boyunca biniş profili verilerinin sağlanması amacıyla bir Elektronik Ücret Toplama (EFC) sistemi, Otomatik Taşıt Konumlandırma (AVL)/GPS sistemi ile ilişkilendirilebilmektedir. Bu bilgi, işletim ve planlamayı destekleyecektir. Güvenlik ve suçu caydırıcı amaçlar için kamera teknolojilerinin entegrasyon imkanları bulunmaktadır.

Taşıtlar ve ITS

Gittikçe artan bir şekilde, ITS'in çok sayıda bileşeni taşıt tasarımlarına dahil edilmektedir. Bunlar; trafik sinyal önceliği cihazlarını, çarpışma uyarı cihazlarını ve diğer yardımcı ve otomasyon (akıllı taşıt) teknolojilerini, gelişmiş haberleşme sistemlerini, otomatik taşıt konumlandırmasını, gerçek zamanlı hizmet bilgisi için taşıt üstü değişken mesaj panolarını ve yolcu sayıcılarını içermektedir. Bu bileşenlerin tümü taşıt üstüne ve titreşimlerden etkilenmeyecek şekilde, sağlam bir yere monte edilmelidir. Bileşenlerin çoğunun bir diğeri ile bağlantılı olması gerektiğinden, kurulum (montaj), bu bileşenler arasındaki fiziksel (kablolu) bağlantılara izin vermelidir.

2.3 BRT Bileşenleri ve Sistem Performansı

Bu bölüm BRT sistem performans özelliklerinin içerdği 5 anahtar ögeyi tanımlamaktadır. Bu ögeler; (1) Yolculuk Süresi, (2) Güvenilirlik, (3) Kimlik ve İmaj, (4) Yolcu Güvenliği ve (5) Sistem Kapasitesidir. Her bir ögeyi takiben, performans özelliğinin bir tanımlaması ve mevcut sistemlerin performansının kısa bir tartışması yapılmaktadır. Bu tartışma, bir Araştırma Özetini (toplu taşıma sistemindeki uygulanabilirliğin performansı etkilediği durumlardaki), Sistem Performans Profillerini (BRT ve BRT olmayan uygulamalardaki), sistemlere göre (sistem bazında) BRT Bileşenlerinin bir özetini ve belirli (spesifik) performans özelliğini içermektedir.

Yolculuk Süresi: BRT sistemlerinin yolculuk süresi tasarrufu üzerindeki etkisi; her bir BRT bileşeninin belirli bir uygulanma biçimine ve bu bileşenlerin birbirleri ve BRT sisteminin kalanı ile ilişkisine bağlıdır. BRT sisteminin etkilediği bir takım farklı yolculuk süresi bileşenleri vardır;

- Seyir Süresi- BRT taşıtlarının ve yolcuların hareket halindeyken harcadığı süredir. Seyir süreleri; trafik sıkışıklığına, kavşaklarda yaşanan gecikmelere ve istasyonlara yanaşırken hız kesme, istasyondan ayrılırken hızlanma ihtiyacına bağlıdır.
- Duruş Süresi- Taşıt istasyonda durduğunda, yolcuların biniş ve inişi süresince taşıtların ve yolcuların istasyonda harcadığı süredir. Bekleme sürelerindeki tipik etkiler; platform boyutu ve planını, taşıt özelliklerini (örneğin; döşeme yüksekliği, kapı sayısı ve genişlikleri), ücret toplama yöntemleri ve araçları ve engelli kullanıcılar için binişi hızlandıracak teknolojilerin kullanılmasını (örneğin, tam yanaşma veya kolaylaştırılmış tekerlekli sandalye güvenliği) içermektedir.
- Bekleme ve Aktarma Süreleri- Bu süreler ağırlıklı olarak; hizmet sıklığına, hat yapısına ve toplu taşıma terminallerindeki istasyonların tasarımına bağlıdır.

Güvenilirlik: Yolculuk süresinin değişkenliği ile tanımlanmaktadır ve bir çok BRT özelliğinden etkilenir. Güvenilirliğin üç temel çeşidi;

- Seyir Süresi Güvenilirliği- Tutarlı yolculuk sürelerinin sağlanabilmesidir.
- Duruş Süresi Güvenilirliği- Belirli bir süre zarfında, kullanıcıların biniş ve inişinin sağlanabilmesidir. (Duruş Süresinin tutarlılığını sağlayan bileşenler; istasyon platform yüksekliği, taşıt tipleri, ücret toplama yöntemi ve araçlarıdır.)
- Hizmet Güvenilirliği- Tutarlı hizmet sunulmasıdır. (Kullanıcılar için hizmetin

mevcudiyeti, kesilmelerden-aksaklıklardan arındırma becerisi, planlanmış hizmet düzeyini kesintisiz olarak sunmak için gereken kaynakların mevcudiyeti.)

Kimlik ve İmaj: Kimlik ve imaj, BRT sisteminin ulaştırma sektöründe konumlandırılmasında ve kentsel çevrenin genel durumuna uydurulmasındaki BRT sistem tasarımının etkinliğini yansıtır. Toplu taşıma kullanıcıları için promosyon ve pazarlama araçlarının kullanılması ve sistemi sık kullanmayan yolcular için de BRT sistemine erişim noktaları (örneğin duraklar, istasyonlar) ve rotalama hakkında bilgiler sunulması önemlidir. Kimlik ve İmaj'ın iki ana bileşeni, bir ürün ve kentsel biçimin bileşenleri olarak sistemin kimliğini oluşturmaktadır:

- **Marka Kimliği-** Toplu taşıma sisteminin diğer bölümü ve diğer yolculuk seçenekleri ile ilişkisinin nasıl olacağını yansıtır. BRT bileşenlerinin etkin tasarım ve entegrasyonu; potansiyel kullanıcıları motive etmekte ve sistemi kullanmalarını basitleştirecek olumlu ve çekici marka kimliğini güçlendirmektedir.
- **Çevresel Tasarım-** BRT sisteminin etkin olarak tasarlanması çevredeki kentsel bölge ile entegrasyon biçiminin bir göstergesidir.

Güvenlik: BRT sistemlerin uygulanması ile birlikte toplu taşıma kullanıcıları ve kamu için güvenlik iyileştirilebilir.

- **Seyir Güvenliği (Safety)-** Kazaların azaltılması, yaralanmalar ve güvenliğe ilişkin kamu algılamasının iyileştirilmesidir.
- **Yolcu Güvenliği (Security)-** Suç faaliyetleri ile kullanıcılar ve tesislere karşı potansiyel tehlikelerdeki gerçek ve hissedilen azalmadır.

Kapasite: Belirli işletim koşulları altında, belirli bir sürede, belirli bir BRT hattının kritik bir kesimi boyunca, belirli bir yönde, bir kesitten geçirilebilen (taşınabilen) maksimum yolcu sayısıdır. Neredeyse BRT bileşenlerinin tümü kapasiteyi etkilemektedir.

Her bir performans bileşeninin tartışmasını takiben, BRT bileşenleri ve performans istatistiklerinin bir özeti sunulacaktır. Bu özet, verimli bir işletmecilik yürütmek anlayışıyla, toplu taşıma kuruluşları tarafından uygulanan çeşitli yaklaşımları ve sistemler arasındaki çeşitli performans sonuçlarını karşılaştırmak için hazırlanmıştır.

2.3.1 Yolculuk Süresi

Yolcuların, özellikle iş amacıyla yaptıkları yinelenen seyahatler gibi isteğe bağlı olmayan seyahatlerinde yolculuk süresi, bir toplu taşıma sisteminin en temel özelliği sayılabilir. Görece yüksek seyir hızları ve istasyonda azaltılmış bekleme süreleri, BRT hizmetlerini -tüm kullanıcı tipleri, özellikle de diğer ulaştırma seçeneklerini tercih eden yolcular için- daha çekici yapmaktadır. Bekleme ve aktarma sürelerinin önemli bir etkisi vardır ve BRT hizmet planları bu süreleri minimize etmek için genellikle sık, tüm gün süren ve doğrudan hizmet sunumuna önem vermektedir.

“Anayollardaki Otobüs Şeritlerinin İşletim Analizi” çalışması; banliyö (kent merkezi dışındaki) otobüs işletmelerinde otobüsün hareket halinde olduğu sürenin tüm yolculuk süresinin yaklaşık %70’i olduğunu göstermektedir. Şehir otobüsleri işletmeleri için ise, özellikle Merkezi İş Alanlarında, otobüsün hareket halinde olduğu sürenin tüm yolculuk süresinde daha düşük bir yüzdeye (%40-%60) sahip olduğunu göstermektedir. Bunun nedenleri; durak başına yolcu binış ve iniş hacimlerinin daha fazla olması, durak sayısının daha fazla olması, sinyalize kavşakların daha sık olması, daha fazla yaya kesişimi ve daha kötü trafik koşullarıdır.

Yolculuk Süresinin 4 bileşeni şunlardır:

- Seyir Süresi- istasyondan istasyona, hareket eden taşıt içinde harcanan süredir.
- Duruş Süresi- istasyonda duran taşıtta harcanan süredir.
- Bekleme Süresi- bir toplu taşıma hizmetine binmek için yolcunun (başlangıçta) beklediği süredir.
- Aktarma Süresi- BRT hizmeti ile başka bir toplu taşıma hizmeti arasında aktarma yapmak için yolcunun harcadığı süredir.

Bu yolculuk süresi bileşenlerinin her biri aşağıda detaylı olarak tanımlanmış ve BRT bileşenlerinin bu sürelerin azaltılmasına nasıl katkıda bulunabileceği tartışılmıştır (Ulaştırma planlamasında, “erişim süresi” olarak adlandırılan bir yolculuk süresi bileşeni daha vardır. Bu süre yolcular tarafından, özel bir toplu taşıma hizmetine ulaşmak için, toplu taşıma sistemi dışındaki bir ulaşım türü ile veya yürüyerek harcanan süredir. Erişim süresi, arazi kullanımının dağılımı ve yoğunluğundan etkilendiği için bu çalışmada ele alınmamıştır).

Seyir Süresi

Tanımı

Seyir süresi, yolculuk süresinin, BRT taşıtının istasyondan istasyona hareketi sırasında harcanan süre olarak tasvir edilen bir bileşenidir. Çoğu durumda, taşıtın maksimum hızı, seyir süresini belirleyen bir etken olarak tanımlanmamaktadır. Yoğun koridorlarda hizmet veren taşıtlar - bir sonraki istasyona yanaşmak için hız kesmeden önce- nadir olarak maksimum hıza erişirler. Belirleyici temel etkenler; diğer taşıt trafiğine bağlı olan tıkanık yollarda taşıtların etkileşimi sonucu yaşanan gecikmeler, kavşaklardaki dönüşler, trafik sinyalleri ve yayalar nedeniyle olan gecikmeler, bir taşıtın hizmet vermesi istenen istasyon sayısı ve BRT hat yapısının tasarımıdır.

BRT Bileşenlerinin Seyir Süresi Üzerindeki Etkileri

Geleneksel otobüs hizmetindeki yolculuk sürelerini iyileştiren başlıca BRT bileşenleri Çizelge 2.9’da tanımlanmaktadır.

Çizelge 2.9 BRT bileşenleri ve seyir süresi

Seyir Yolu- Seyir Yolu Ayrımı	Seyir yolu ayrımı, yolculuk sürelerini etkileyen BRT bileşenlerinden biridir. Kuyruk Atlamalı Karma Akım Şeritleri- Kuyruk atlamalar, taşıtların sinyalize yerlerdeki veya darboğazlardaki trafik kuyruklarını (örneğin trafik birikimleri) geçmelerine izin vermektedir. Tercihli Anayol Şeritleri- Kent caddelerindeki tıkanıklığın sebep olduğu gecikmeleri azaltır. Tercihli şeritler genellikle kavşaklardaki beklenmeyen gecikmeleri minimize etmek için Trafik Sinyal Önceliği ile birlikte kullanılmaktadır. Hem Zemin Toplu Taşıma Yolları- Karşıdan karşıya geçen yaya ve bisikletler kazaları ile katılım veya dönüş trafiğine bağlı olan kazaları ortadan kaldırır, BRT taşıtının yüksek hızlarda, güvenli yolculuk yapmasına izin verir. Kesişme Bulunmayan Katlı Özel Toplu Taşıma Yolları- Kavşaklardaki gecikmeler de dahil potansiyel tüm gecikmeleri ortadan kaldırır. BRT taşıtları, istasyonlar arasında göreceli olarak yüksek hızlarda güvenli yolculuk yapabilmektedir.
İstasyonlar- Geçiş (Sollama) Kabiliyeti	Özellikle yüksek sıklıkta veya çoklu hat hizmeti söz konusu ise, sollamaya izin veren istasyonlar, istasyonlardaki gecikmeleri minimize etmektedir. Sollama kabiliyeti, aynı zamanda, tüm istasyonlara hizmet veren hatlardan daha kısa yolculuk süreleri sunan durak atlamalı veya ekspres gibi hat seçeneklerini servis planına dahil etmeye olanak sağlamaktadır.
ITS- Taşıt Önceliklendirme	Taşıt Önceliklendirme, özellikle TSP (Transit Signal Priority-Toplu Taşıma Sinyal Önceliği), BRT taşıtının yol boyunca arttırılmış kesintisiz yeşil süre vasıtasıyla daha hızlı yolculuk etmesine izin verecektir. TSP özellikle, en fazla gecikmeye neden olan anahtar kavşaklara uygulandığında kullanışlı olacaktır. Daha küçük ölçekteki Sinyal Zamanlaması/Devre Süreleri de

	benzer faydaları içerebilir. Bir koridor boyunca olan yeniden zamanlama veya sinyal koordinasyonu, genellikle, yalnızca toplu taşımada değil, tüm trafik akımlarının iyileştirilmesinde tavsiye edilmektedir. İstasyon ve Şerit Erişim Kontrolü , BRT taşıtının, tercihli BRT yoluna, HOV (High Occupancy Vehicle-Yüksek Doluluklu Taşıt) şeridine veya istasyona girişi için kuyrukta beklediği süreyi azaltmaktadır.
ITS- Sürücü Destek ve Otomasyon Teknolojisi	Dar seyir yolları üzerinde işletilen (örneğin banketler) BRT sistemleri için Şerit Desteği (kılavuzlama), BRT taşıt sürücüsüne -seyir yolunun fiziksel kısıtlarına bağlı olan hızlardan- daha yüksek hızda yolculuk etmesine izin verir. Tam Yanaşma , bir BRT istasyonuna BRT taşıtının hızlıca yanaşmasına olanak sağlamakta ve Seyir Süresi ile Duruş Süresinin ikisi de azaltılabilmektedir. Yanaşma teknolojisi, BRT sürücüsünün taşıtı istasyon platformuna belirli bir yanal mesafede yaklaştırma sorumluluğunu ortadan kaldırır, istasyonlara daha hızlı yanaşmaya izin verir.
Hizmet ve İşletim Planı- İstasyon Aralığı	İstasyonların sayısının azaltılması, istasyona yaklaşırken hız kesme, uzaklaşırken hızlanma ve istasyondaki biniş/iniş nedeniyle yaşanan gecikmeleri de azaltır. Kümülatif olarak, uzun istasyon aralıkları ile sağlanan yolculuk süresi tasarrufları dikkate değerdir. Kuzey Amerika'daki BRT sistemleri, durak aralıkları açısından çeşitlilik göstermektedir. Cleveland'ın merkezinde planlanan sistemde durak aralıkları 365 metre iken, özellikle banliyö alanlarını kapsayan Ottawa'daki toplu taşıma yolu sisteminde durak aralıkları 2.135 metre'dir.
Hizmet ve İşletim Planı- Çizelge Kontrol Yöntemleri	Sıklığın yeteri kadar fazla olduğu durumlarda, taşıt sürücüleri yapabildikleri kadar yüksek hızda seyretmeleri için cesaretlendirilmekte ve İzleme-Tabanlı Çizelge Kontrolü aracılığı ile zamanlama performansının yönetimi, taşıtların istasyonlar arasında mümkün olan maksimum hızda seyretmesine izin vermektedir.

Mevcut Sistemlerin Performansı

Toplu taşıma kuruluşları, yolculuk süresi tasarrufları sağlama ve hizmet hızını artırma konusunda kayda değer deneyimlere sahiptir. Bu bölümde bu deneyimler 3 başlıkta anlatılmaktadır; (1) konuyla ilgili araştırmanın özeti, (2) dikkate değer deneyim örnekleri (hem BRT hem de BRT olmayan uygulamalar) ve (3) BRT sistemine göre (sistem bazında) duruş süresini etkileyen özelliklerin özeti.

Araştırma Özeti

Toplu taşıma işletimiyle ilgili araştırmalar; BRT sistemi içerisine dahil edilmiş bir çok bileşen vasıtasıyla seyir sürelerinin nasıl azaltılabileceği konusunda önerilerde bulunmaktadır.

“Toplu Taşıma Kapasitesi ve Hizmet Kalitesi” çalışmasında; otobüslerin tahmini ortalama hızlarının aşağıdaki 3 değişkenin bir fonksiyonu olduğu bulunmuştur.

- Seyir Yolu Tipi (Örneğin, Otobüs yolu veya Otoyol HOV Şeridi, Anayol Otobüs Şeridi veya Karma Trafik)
- Ortalama Durak Aralığı
- Durak Başına Ortalama Duruş Süresi

Çizelge 2.10, özel seyir yolu kullanımının (trafik sinyalleri kullanılmadığı için), otobüs yolculuk hızını arttırmanın en etkin yolu olduğunu açıkça göstermektedir. Tüm etkenler (örneğin, istasyon aralığı, ücret toplama yöntemi vb.) aynı kaldığında, ağır raylı sistem ve özel seyir yolunu kullanan hafif raylı sistemler ile özel seyir yollarındaki BRT sistemlerinin ticari hızları karşılaştırıldığında, BRT taşıtlarının hızları daha yüksektir.

Çizelge 2.10 Otobüs şeritleri veya özel otoyol HOV şeritlerinde tahmini ortalama otobüs hızları: otobüsün şeritteki en yüksek seyir hızı 80 km/sa olarak kabul edilmiştir.

Ortalama Durak Aralığı (km)	Durak Başına Ortalama Duruş Süresi (saniye)				
	0	15	30	45	60
0.8	58 km/sa	42 km/sa	34 km/sa	29 km/sa	26 km/sa
1.6	68 km/sa	55 km/sa	48 km/sa	44 km/sa	39 km/sa
2.4	71 km/sa	61 km/sa	56 km/sa	52 km/sa	47 km/sa
3.2	74 km/sa	66 km/sa	60 km/sa	56 km/sa	52 km/sa
4.0	74 km/sa	68 km/sa	63 km/sa	60 km/sa	56 km/sa

Çizelge 2.11’ de gösterildiği gibi, anayollarda tercihli otobüs şeritlerinin bulunması, caddede seyreden hafif raylı sistemler ile benzer hızları sağlar.

Çizelge 2.11 Tercihli ana yol otobüs şeritlerinde tahmini ortalama otobüs hızları, (km/sa)

Ortalama Durak Aralığı (km)	Durak Başına Ortalama Duruş Süresi (saniye)					
	10	20	30	40	50	60
0.16	15 km/sa	11 km/sa	10 km/sa	8 km/sa	7 km/sa	7 km/sa
0.32	26 km/sa	21 km/sa	18 km/sa	16 km/sa	15 km/sa	13 km/sa
0.40	29 km/sa	24 km/sa	21 km/sa	18 km/sa	16 km/sa	15 km/sa
0.80	40 km/sa	35 km/sa	32 km/sa	29 km/sa	26 km/sa	24 km/sa

Çizelge 2.12; tipik karma trafik koşullarında otobüs hızlarının – özel seyir yolu üzerinde giden BRT, hafif ve ağır raylı sistem işletmelerine oranla - önemli ölçüde düşük olduğunu göstermektedir. Bu durum, otobüsün duraklardan trafik akımına çıkışı ve duraklara yeniden girişi için gereken süreye yani trafiğin kendisine bağlıdır.

Çizelge 2.12 Genel trafik şeritlerinde tahmini ortalama otobüs hızları, (km/sa)

<i>Ortalama Durak Aralığı (km)</i>	<i>Durak Başına Ortalama Duruş Süresi (saniye)</i>					
	10	20	30	40	50	60
0.16	10 km/sa	8 km/sa	8 km/sa	6 km/sa	6 km/sa	5 km/sa
0.32	15 km/sa	13 km/sa	11 km/sa	10 km/sa	10 km/sa	8 km/sa
0.40	16 km/sa	15 km/sa	13 km/sa	11 km/sa	11 km/sa	10 km/sa
0.80	18 km/sa	16 km/sa	16 km/sa	15 km/sa	15 km/sa	13 km/sa

Ayrıca Çizelge 2.10, Çizelge 2.11 ve Çizelge 2.12 durak aralığının, durak başına ortalama duruş süresinden sonra, ortalama otobüs yolculuk hızlarını etkileyen en önemli değişken olduğunu göstermektedir.

Tercihli seyir yolları, daha uzun istasyon aralıkları, duraklardaki azaltılmış duruş süreleri ve/veya ITS uygulamalarının (örneğin, trafik sinyal önceliği) bir kombinasyonu olarak BRT sistemleri, geleneksel otobüs hizmetlerinden daha iyi bir yolculuk süresine sahiptir. ABD'deki BRT deneyimleri, son zamanlarda uygulanan BRT sistemlerinin %25–50 arasında yolculuk süresi tasarrufu sağladığını göstermiştir. Kanada, Brezilya, Ekvador Cumhuriyeti ve Japonya'daki 11 uluslararası sistemden elde edilen bulgular, hız iyileştirmelerinin BRT uygulaması ile %22 ile %120 arasında olduğunu göstermiştir. Çizelge 2.13 BRT hızlarının istasyon aralıkları ile ilişkisini göstermektedir.

Çizelge 2.13 İstasyon aralığının bir fonksiyonu olarak otobüs yolu ve otoyol otobüs şeridi hızları

<i>İstasyon Aralığı (km)</i>	<i>Km Başına Durak</i>	<i>Hızlar (km/sa)</i>	
		20- Saniye Duruş	30- Saniye Duruş
0.40	2.50	29	26
0.80	1.25	40	35
1.60	0.60	55	50
2.40	0.44	68	61
3.20	0.31	71	64

İstasyon aralığına karar verilirken, kullanıcının erişebilirliği ile hizmet hızı arasında bir ödünleşme söz konusudur.

Sistem Performans Örnekleri

Bazı sistemler, bir araya getirilen uygun BRT bileşenlerinin yolculuk süresi tasarrufu sağlamada bir potansiyele sahip olduğunu göstermektedir.

Metro Rapid, Los Angeles, Kaliforniya

Arttırılmış istasyon aralığı ve trafik sinyal önceliğinin kombinasyonu, yolculuk süresi tasarruflarını açıkça etkilemektedir. Wilshire/Whittier Bulvarlarındaki BRT hattında; zirve sürelerdeki BRT hizmetine bağlı olan ortalama tüm yolculuk süresi tasarrufu önceki otobüs hizmeti ile karşılaştırıldığında %28'dir. TSP sistemi tüm yolculuk süresi tasarrufunun %27'sini sağlamaktadır. Geriye kalan %73, istasyon aralığı ve yer seçimi gibi diğer BRT bileşenlerine bağlıdır. Ventura Bulvarı BRT hattında da benzer sonuçlar görülmektedir; tüm yolculuk süresinde %23 azalma olmuştur ve yolculuk süresi tasarrufunun %33'ünü TSP sağlamıştır.

Martin Luther King Jr. East Busway, Pittsburgh, Pensilvanya

Martin Luther King Jr. East Busway, Pittsburgh şehir merkezi ile doğudaki banliyö alanları arasında seyahat eden taşıtlar için "kesişme bulunmayan katlı özel toplu taşıma yolu"nu kullanmaktadır. Daha önceden aynı koridorda hizmet vermekte olan bazı otobüs hatları East Busway otobüs yolunun hizmete girmesiyle, bu yola kaydırılmış böylece bu hatların otobüs yolunun sunduğu daha yüksek hız ve güvenilirlik avantajlarından yararlanması sağlanmıştır. Bu hatların kaydırılmasıyla beraber; hatların şehir merkezi sirkülasyon bölümleri de yeniden düzenlenmiştir. Hizmete erişmek için gereken yürüme süresi, şehir merkezi sirkülasyonu ve uzun mesafeli yolculuk, hem sabah hem de akşam zirve saatlerdeki 6 kilit şehir merkezi varış noktası için hesaplanmıştır. Tüm sabah zirve saatlerde; uzun mesafe yolculuk süresi ortalama 5 veya 6 dakika azalırken, şehir merkezi sirkülasyon süresi, 6 varış noktasının 4'ünde azaltılmıştır. Genel olarak, 31 ile 34 dakika olan toplam yolculuk süresi ortalama 8 dakika azaltılmıştır. Sabah zirve saatlerdeki yolculuk süresi tasarrufları %13 ile %42 arasında değişmektedir. Akşam zirve saatlerindeki yolculuk süresi tasarrufları dikkate değer değildir (ortalama 3,5 dakika).

Çeşitli ITS Uygulamaları (BRT olmayan uygulama örneği)

BRT uygulamaları dışında TSP'nin yolculuk süresine etkileri için başka örnekler de bulunmaktadır. Atlanta Georgia'daki MARTA otobüsleri, yolculuk süresini 42 dakikadan 28 dakikaya düşürerek %33'lük bir azalma sağlamışlardır. Phoenix Arizona'da yolculuk süresinde %16'lık azalma görülmektedir. Son olarak, Portland'da Oregon'da Tualatin Valley Otoyolu boyunca TSP sisteminin kurulmasından sonra ortalama otobüs yolculuk süreleri kavşak başına 31 saniye yani %6,4 oranında azalmıştır.

Sistem Bazında BRT Bileşenleri ve Yolculuk Süresi

Çizelge 2.14’de, yeni bir BRT sisteminin hizmete girmesiyle sağlanan seyir süresi tasarrufu performans faydalarını özetlemektedir. Yolculuk süresi performansını ölçmek için bazı performans göstergeleri geliştirilmiştir:

- **Zirve Saatte Uçtan-Uca Yolculuk Süresi** – Bu ölçüt, zirve saatlerde hattın başlangıcından sonuna kadar olan tek yöndeki bir seyahatin tamamlanması için gereken hafta içi ortalama yolculuk süresidir.
- **Zirve Dışı (Serbest Koşullarda) Saatte Uçtan-Uca Yolculuk Süresi** – Bu ölçüt, zirve dışı saatlerde hattın başlangıcından sonuna kadar olan tek yöndeki bir seyahatin tamamlanması için gereken hafta içi ortalama yolculuk süresidir.
- **Kilometre Başına Süre** – Uçtan-Uca ortalama sürenin (dakika cinsinden) Uçtan-Uca hat uzunluğuna bölünmesiyle hesaplanan bu ölçüt, bir taşıtın bir km gitmek için harcadığı süreyi vermektedir.
- **Yerel Hatta (Zirve Saatteki) Maksimum Süre** – BRT hattı ile aynı güzergah boyunca seyreden yerel otobüs hattının Uçtan-Uca yolculuk süresinin ölçüsüdür.
- **Yolculuk Süresi Azalması** – Bu ölçüt, bir BRT hattı ile aynı güzergahta işletilen ve aynı varış noktalarına sahip bir yerel hat arasında hesaplanmış, yüzde olarak yolculuk süresi (zirve saatte) değişiminden türetilmiştir. (Yerel bir alternatifi bulunmayan BRT hatları için, bu yolculuk süresi sistem geneli -tüm otobüs şebekesi- ortalaması ile karşılaştırılmıştır.)

Çizelge 2.14’de gösterilen veriler, BRT bileşenlerinin toplu taşıma sistem performansı ve özellikle de seyir süreleri üzerindeki etkilerini tayin etmek için bazı sayısal bilgiler sunmaktadır. Bu çizelge, çok çeşitli özelliklere sahip 26 BRT sistemini içermektedir. Çizelgede sunulan sistemlerin çoğu karma akım koşullarında işletilmekte, sistemlerin bazıları da kuyruk atlama ve TSP gibi bileşenleri içermektedir. BRT taşıtlarının ayrılmış (tercihli) bir seyir yolunda işletildiği sistemler, özellikle günün zirve saatinde, karma trafik koşullarında işletilen sistemlere oranla daha fazla yolculuk süresi tasarrufu sağlarlar.

Seyir sürelerini etkileyen diğer bir önemli etken istasyon aralığıdır. Maksimum hızlar, geçerli trafik koşullarına ek olarak, istasyonlar arasındaki mesafeye göre de sınırlanmıştır. Bu sonuç, belirli bir mesafe boyunca her durağa uğrayan geleneksel yerel hizmete göre daha az sayıda durağa uğranan sınırlı veya “durak-atlamalı” hizmetlerin arkasındaki mantığın bir parçasıdır. BRT sistemleri genellikle karma akım şeritlerindeki şerit alanını yerel otobüsler ile paylaşmak

zorunda olsa da, sınırlı durak veya “durak-atlamalı” hizmet uygulaması, özellikle de TSP kullanıldığında, uçtan-uca yolculuk süresini azaltır. Buna en iyi örnek Los Angeles’ın Metrorapid hizmeti gösterilebilir. Burada işletilmekte olan 9 Metro Rapid hattı bulunmaktadır ve bu hatlar, aynı güzergahta işletilen yerel hatlara göre %17 ile %29 arasında bir yolculuk süresi avantajı sunmaktadır.

Çizelge 2.14’de, özel hem zemin ve ayrılmış otobüs şeritlerinde işletilen birçok BRT sistemi görülmektedir: Kuzey Las Vegas MAX, Miami (Yerel Otobüs Yolu ve MAX) ve Pittsburg’daki Doğu Otobüs Yolu, Güney Otobüs Yolu ve Batı Otobüs Yolu. Karma şeritlerde işletilen sistemlerle karşılaştırıldığında, bu sistemler, daha yüksek bir işletme performans düzeyi gösterirler ve bunun bir sonucu olarak da daha yüksek bir yolculuk süresi tasarruf düzeyi sunarlar. Performansı ölçmenin bir yolu; belirli bir mesafeyi kat etmek için gereken sürenin yani km başına dakikanın (km/sa) hesaplanmasıdır. İncelenenler arasında en düşük hıza sahip olan Doğu ve Güney Otobüs Yolu’daki ortalama süre km başına 1,24 ve 1,31 dakikadır. Bu değer, karma akım trafik koşullarında işletilen BRT sistemlerinden önemli ölçüde daha azdır. Bu sistemlerin en iyi süre tasarruf faydalarını sunması sürpriz değildir. Örneğin; Güney Otobüs Yolu, Port Kuruluşu’nun işlettiği sabit otobüs hatlarındaki km başına sürenin (dakika) sistem genelindeki ortalamasına göre %55 oranında yolculuk süresi tasarrufu sağlamaktadır.

Çizelge 2.14 Sistem bazında BRT bileşenleri ve yolculuk süresi

	<i>Boston</i>	<i>Chicago</i>	<i>Chicago</i>	<i>Chicago</i>	<i>Honolulu</i>	<i>Honolulu</i>
	Silver Line	Western Avenue Express (X49)	Irving Park Express (X80)	Garfield Express (X55)	City Express A	City Express B
Seyir Yolu						
Karma Akım Şeritleri	0,3km	29,5 km	14,5 km	15,1 km	31,5 km	11,3 km
Tercihli Anayol Şeritleri	3,5 km					
Hemzemin Özel Şeritler						
Katlı Ayrımlı Özel Şeritler						
Kılavuzlama	-	-	-	-	-	-
Sollama Kabiliyeti	Bitişik Karma Akım Şeridi	Bitişik Karma Akım Şeridi	Bitişik Karma Akım Şeridi	Bitişik Karma Akım Şeridi	Bitişik Karma Akım Şeridi	Bitişik Karma Akım Şeridi
ITS						
Taşıt Önceliklendirme	Trafik Sinyal Önceliği (TSP) (2004)					
Sürücü Destek ve Otomasyonu						
Hizmet Planı						
Ortalama İstasyon Aralığı	0,4 km	0,8 km	0,8 km	0,9 km	0,9 km	0,3 km
Çizelge Kontrol Yöntemi	Çizelge	Çizelge	Çizelge	Çizelge	Çizelge	Çizelge
Performans						
Zirve Saatte Uçtan-uca Maksimum Yolculuk Süresi	9,6 dakika	78 dakika	44 dakika	44 dakika	84 dakika	44 dakika
Zirve Dışı Saatte Uçtan-uca Yolculuk Süresi	9,3 dakika	60 dakika	31 dakika	37 dakika	67 dakika	42 dakika
Km Başına Süre (Zirve Saatte)	2,52	2,65	3,04	2,90	2,67	3,91
Km Başına Süre (Zirve Dışı Saatte)	2,44	2,04	2,14	2,44	2,13	3,73
Yolculuk Süresi Azalması (BRT çizelgesi ile yerelin karşılaştırılması)	%26	%15	%25	%20		%20
Yolculuk Süresi Azalması (sistem genelindeki yolculuk süresine göre karşılaştırma)					%1	
Yolculuk Süresi Azalması (Kuruluş tarafından ölçülen)	%29					
Yolcunun Yolculuk Süresini Algılaması	Yolcuların %73,2'si Yolculuk Süresi/ Doğrudan Erişim özelliğini "ortalamanın üstünde" ya da "mükemmel" olarak puanlamıştır.					

Çizelge 2.14 Sistem bazında BRT bileşenleri ve yolculuk süresi (devam)

	<i>Honolulu</i>	<i>Las Vegas</i>	<i>Los Angeles</i>	<i>Los Angeles</i>	<i>Los Angeles</i>	<i>Los Angeles</i>
	City Express C	North Las Vegas MAX	Metro Rapid Wilshire	Metro Rapid Ventura	Metro Rapid Vermont	Metro Rapid Crenshaw
Seyir Yolu						
Karma Akım Şeritleri	48,3 km	4,7 km	41,4 km	26,9 km	19,2 km	30,3 km
Tercihli Anayol Şeritleri	3,5 km	7,6 km			-	
Hemzemin Özel Şeritler					-	
Katlı Ayrımlı Özel Şeritler					-	
Kılavuzlama	-	Tam Yanaşma	-	-	-	-
Sollama Kabiliyeti	Bitişik Karma Akım Şeridi	Bitişik Karma Akım	Bitişik Karma Akım Şeridi	Bitişik Karma Akım Şeridi	-	
ITS						
Taşıt Önceliklendirme		TSP (7)	TSP	TSP		
Sürücü Destek ve Otomasyonu		Tam Yanaşma	-	-		
Hizmet Planı						
Ortalama İstasyon Aralığı	1,2 km	1,3 km	1,3 km	1,9 km	1,3 km	1,3 km
Çizelge Kontrol Yöntemi	Çizelge	İzleme Aralığı	İzleme Aralığı	İzleme Aralığı	İzleme Aralığı	İzleme Aralığı
Performans						
Zirve Saatte Uçtan-uca Mak. Yolculuk Süresi	93 dakika	32 dakika	86 dakika	57 dakika	56 dakika	76 dakika
Zirve Dışı Saatte Uçtan-uca Yolculuk Süresi	83 dakika	28 dakika	67 dakika	37 dakika	48 dakika	55 dakika
Km Başına Süre (Zirve Saatte)	1,93	2,62	2,37	2,12	2,74	2,60
Km Başına Süre (Zirve Dışı Saatte)	1,72	2,29	1,85	1,38	2,35	1,88
Yolculuk Süresi Azalması (BRT çizelgesi ile yerelin karşılaştırılması)	% 7	% 35		% 23	% 25	% 18
Yolculuk Süresi Azalması (sistem genelindeki yolculuk süresine göre karşılaştırma)						
Yolculuk Süresi Azalması (Kuruluş tarafından ölçülen)				%29	%27	%23
Yolcunun Yolculuk Süresini Algılaması			Yolcular Metro Rapid'in yolculuk süresine 5 üzerinden 3,82, önceki Sınırlı Otobüs hizmetine 3,42 puan vermişlerdir.			

Çizelge 2.14 Sistem bazında BRT bileşenleri ve yolculuk süresi (devam)

	<i>Los Angeles</i>	<i>Los Angeles</i>	<i>Los Angeles</i>	<i>Orlando</i>	<i>Miami</i>	<i>Miami</i>	<i>Oakland</i>
	Metro Rapid Van Nuys	Metro Rapid Broadway	Metro Rapid Floransa	LYMMO	Yerel Otobüs Yolu	MAX	San Pablo Rapid Koridoru
Seyir Yolu							
Karma Akım Şeritleri	34,4 km	16,9 km	16,6 km				22,5 km
Tercihli Anayol Şeritleri	-	-	-	-			
Hem Zemin Özel Şeritler	-	-	-	4,8 km	12,9 km	12,9 km	
Katlı Ayrımlı Özel Şeritler	-	-	-	-			
Kılavuzlama	-	-	-	-	-	-	
Sollama Kabiliyeti	-	-	-	-	Otobüs Cepleri	Otobüs Cepleri	-
ITS							
Taşıt Önceliklendirme							
Sürücü Destek ve Otomasyonu							
Hizmet Planı							
Ortalama İstasyon Aralığı	1,7 km	1,1 km	1,4 km	0,3 km	0,9 km	1,8 km	0,9 km
Çizelge Kontrol Yöntemi	İzleme Ar.	İzleme Ar.	İzleme Ar.	İzleme Ar.	Çizelge	Çizelge	Çizelge
Performans							
Zirve Saatte Uçtan-uca Maksimum Yolculuk Süresi	98 dakika	37 dakika	53 dakika	20 dakika	27 dakika	25 dakika	63 dakika
Zirve Dışı Saatte Uçtan-uca Yolculuk Süresi	76 dakika	32 dakika	38 dakika	20 dakika	27 dakika	25 dakika	52 dakika
Km Başına Süre (Zirve Saatte)	2,77	2,09	2,68	4,14	2,10	1,94	2,79
Km Başına Süre (Zirve Dışı Saatte)	2,14	1,81	1,92	4,14	2,10	1,94	2,30
Yolculuk Süresi Azalması (BRT çizelgesi ile yerelin karşılaştırılması)	%17	%29	%20	%0			%21 (Kuruluş ölçümüne göre sınırlandırılmış hatta göre %17'lik azalma)
Yolculuk Süresi Azalması (sistem genelindeki yolculuk süresine göre karşılaştırma)					%29	%35	
Yolculuk Süresi Azalması (Kuruluş tarafından ölçülen)		%24	%23				
Yolcunun Yolculuk Süresini Algılaması					Yolcuların %59'u yolculuk süresini "iyi" veya "çok iyi" olarak puanlamıştır (ortalama 5 üzerinden 3,63'tür).		

Çizelge 2.14 Sistem bazında BRT bileşenleri ve yolculuk süresi (devam)

	<i>Pittsburgh</i>	<i>Pittsburgh</i>	<i>Pittsburgh</i>	<i>Phonex</i>	<i>Phonex</i>	<i>Phonex</i>	<i>Phonex</i>
	East Busway	South Busway	West Busway	Rapid I-10 East	Rapid I-10 West	Rapid SR-51	Rapid I-17
Seyir Yolu							
Karma Akım Şeritleri	0,6 km	-	0,6 km	10,5 km	7,7 km	19,8 km	12,9 km
Tercihli Anayol Şeritleri	-	-	-	22,5 km	12,9 km	16,6 km	18,5 km
Hem Zemin Özel Şeritler	-	-	-	-	-	-	-
Katlı Ayrımlı Özel Şeritler	14,0 km	6,9 km	7,4 km	-	-	-	-
Kılavuzlama	14,0 km						
Sollama Kabiliyeti	Sollama Şeridi	Sollama Şeridi	Sollama Şeridi	Otobüs Cepleri	Otobüs Cepleri	Otobüs Cepleri	Otobüs Cepleri
ITS							
Taşıt Önceliklendirme	TSP (1 Sinyal)	TSP (1 Sinyal)	TSP (1 Sinyal)	TSP (1 Sinyal)	TSP (1 Sinyal)	TSP (1 Sinyal)	TSP (1 Sinyal)
Sürücü Destek ve Otomasyonu	Çarpışma Uyarı	Çarpışma Uyarı	Çarpışma Uyarı	Çarpışma Uyarı	Çarpışma Uyarı	Çarpışma Uyarı	Çarpışma Uyarı
Hizmet Planı							
Ortalama İstasyon Aralığı	1,8 km	0,9 km	1,3 km	3,0 km	2,6 km	3,3 km	2,6 km
Çizelge Kontrol Yöntemi	Çizelge	Çizelge	Çizelge	Çizelge	Çizelge	Çizelge	Çizelge
Performans							
Zirve Saatte Uçtan-uca Maksimum Yolculuk Süresi	20 dakika	9 dakika	17 dakika	37 dakika	34 dakika	48 dakika	52 dakika
Zirve Dışı Saatte Uçtan-uca Yolculuk Süresi	18 dakika	9 dakika	14 dakika				
Km Başına Süre (Zirve Saatte)	1,37	1,30	2,11	1,12	1,63	1,55	1,66
Km Başına Süre (Zirve Dışı Saatte)	1,23	1,30	1,74	-	-	-	-
Yolculuk Süresi Azalması (BRT çizelgesi ile yerelin karşılaştırılması)							
Yolculuk Süresi Azalması (sistem genelindeki yolculuk süresine göre karşılaştırma)	%52	%55	%26	-	-	-	-
Yolculuk Süresi Azalması (Kuruluş tarafından ölçülen)							
Yolcunun Yolculuk Süresini Algılaması			Yolcuların %85'i yolculuk süresinin ortalama 14 dakika kısaldığını bildirmektedir.				

İstasyonda Duruş Süresi

Tanımı

İstasyon duruş süresi, taşıt istasyonda dururken, yolcunun harcadığı süredir. Duruş süresi, istasyonlarda yolcuların taşıta biniş ve inişi için gereken süreyi gösterir. “Anayol Otobüs Şeritlerinin İşletimsel Analizi” raporunda; duruş süresinin, toplam yolculuk süresinin %30’u kadar olabildiği belirtilmektedir. Bu rapor, ayrıca, tıkanıklık seviyesine bağlı olarak, duruş süresinin toplam gecikme süresinin %40’ı kadar olabildiğini belirtmektedir. Duruş süresi şunlara bağlıdır:

- Kapı (kanalı) başına binen veya inen yolcu sayısı - çok kanaldan biniş, yolcuların yığılmasını engeller.
- Ücret toplama sistemi - ön-ödeme sistemleri ve/veya taşıt içinde ödeme sisteminde işlem süresini azaltacak teknolojilerin kullanılmasıyla biniş süreleri azaltılabilir.
- Taşıt doluluk oranı - taşıtın doluluk oranı fazlaysa, yolcuların biniş ve inişi için fazladan süreye ihtiyaç duyulacaktır.

Belirli bir duraktaki duruş süresi, en yüksek hacimli kapıdan biniş ve/veya iniş yapan yolcu sayısının yolcu başına ortalama hizmet süresiyle çarpılması şeklinde tahmin edilebilmektedir. Standart yerel otobüs işletmeciliğinde tipik duruş süreleri şöyledir:

- Şehir merkezi durağı, toplu taşıma merkezi, ana aktarma noktası veya ana park et ve bin durağında yaklaşık 60 saniye.
- Şehir merkezi dışındaki ana durakta yaklaşık 30 saniye.
- Şehir merkezi dışındaki ara durakta yaklaşık 15 saniye.

Bazı BRT bileşenleri, istasyondaki duruş sürelerini azaltma konusunda önemli etkilere sahiptir.

BRT Bileşenlerinin Duruş Süresi Üzerindeki Etkileri

Duruş süresini etkileyen BRT bileşenleri daha ayrıntılı olarak Çizelge 2.15’de tartışılmıştır.

Çizelge 2.15 BRT bileşenleri ve duruş süresi

İstasyonlar- Platform Yüksekliği	Hemzemin Platformlar, BRT taşıt döşemesi ile platform kenarı arasındaki boşluğu minimize eder, binış ve iniş işlemini oldukça hızlandırır. Las Vegas’taki MAX sistemi ve Fransa Rouen’deki TEOR sistemi tam yanaşmayı sağlayan bir optik kılavuz sistem (optik kılavuz tam yanaşma sistemi) kullanılmaktadır. Bu kılavuz sistem ve hemzemin platformlar, hemzemin ve boşluksuz binış ve iniş böylece de istasyondaki duruş süresinin oldukça azaltılmasını sağlar. Taşıt döşemesi ile platform arasında boşluksuz ve hemzemin binış ve inişler; tekerlekli sandalye kullananların BRT taşıtına, asansöre, rampaya veya taşıt sürücüsünün yardımına ihtiyaç duymadan binışı ve inişine izin vermesi gibi ek faydalara sahiptir. Yükseltilmiş kaldırımlar; tam yanaşma ihtiyacı dışında hem zemin platformların bazı faydalarını sağlarlar fakat hareket engelli kullanıcılar için rampa yerleştirme gereğinden dolayı fazladan süreye ihtiyaç duyulur.
İstasyonlar- Platform Planı	İstasyonda yolcu indirip bindiren taşıt sayısını kısıtlamayan platform planları, taşıtların istasyonlardaki kuyruklarda beklerken harcadıkları süreyi azaltır.
Taşıtlar- Taşıt Konfigürasyonu	Düşük döşemeli taşıt konfigürasyonları -özellikle hareket engelli kullanıcılar (engelli, yaşlı, çocuk, yük taşıyan yolcular) için- binış ve iniş kolaylaştırır. Düşük döşemeli taşıtlar ile yolcu hizmet süreleri; binışlerde %20, taşıtın ön kapısından inişlerde %15, arka kapısından inişlerde %15 oranında azaltılabilir. Tamamı düşük döşemeli Özel Donanımlı BRT Taşıtları, daha kısa binış ve iniş sürelerine, ayrıca arka dingilin gerisine ek bir kapı yerleştirilme olanağına sahiptir.
Taşıtlar- Yolcu Sirkülasyonunun İyileştirilmesi	Yolcu sirkülasyonunu kolaylaştırma olanaklarının tünü duruş sürelerini azaltır. Ek Kapı Kanalları (daha geniş ve daha fazla sayıda kapı); yolcuların binış ve inişte harcadığı süreyi azaltmada çarpıcı bir etkiye sahiptir. Sürücünün ücret ödemede devrede olmadığı BRT sistemleri çok kapılı binışlere ilişkin olumlu özelliklere sahiptir. Aynı zamanda; koltukları arasında geniş koridoru olan Alternatif Oturma Planı’na sahip taşıtlar -özellikle ayakta yolcunun çok olduğu durumlarda- azaltılmış duruş sürelerini desteklemektedir. Tekerlekli sandalye kullanıcılarının oranı düşük olsa da, bu kullanıcılar nedeniyle duruş süresi önemli ölçüde artmaktadır. Yüksek döşemeli otobüslere binış başına tipik bir tekerlekli sandalye asansör döngü süresi 60 saniyeden 200 saniyeye kadar değişmektedir (tekerlekli sandalye güvenlik ekipmanları için gereken süre dahil). Düşük döşeme otobüslerle –tekerlekli sandalye güvenlik ekipmanları için gereken süre dahil binış başına tipik bir tekerlekli sandalye rampa döngü süresi 30 saniye ile 60 saniye arasındadır. Çeşitli Tekerlekli Sandalye Güvenliği araçları geliştirilmektedir ve böylece duruş süreleri daha da azaltılabilmektedir. Duruş süresindeki etkilerin büyüklüğü halen ölçülmektedir/araştırılmaktadır.

Ücret Toplama- Ücret Toplama Yöntemi	Çok kapılı binişe izin veren Ücret Toplama Yöntemi – İspat Gerektiren Ödeme Sistemi ve Gışeden Geçişte Ödeme Sistemi – biniş sürelerini önemli ölçüde azaltmaktadır. “Toplu Taşıma Hizmet Kalitesi” elkitabına göre, ispat gerektiren ödeme sistemleri biniş sürelerinde %38’e kadar bir azalma, bundan dolayı da duruş süresinde de bu miktarda bir azalma sağlamaktadır. Çok kapılı biniş ve inişler, diğer ücret toplama sistemlerine oranla, yolcu hizmet süresini daha da azaltabilmektedir. Örneğin; önceden ödeme sistemlerinde yolcuların binişi için gereken toplam süre 2,5 saniye iken, iki, üç, dört ve altı kapı kanalı ile bu süre sırasıyla 1,5, 1,1, 0,9 ve 0,6 saniyeye düşürülmektedir.
Ücret Toplama- Ücret Ödeme Aracı	Ücret ödeme işlemlerinin taşıtta yapıldığı seçeneklerde, ücret ödeme araçları duruş süreleri üzerinde ek etkilere sahiptir. Bozuk paranın sürücü tarafından alındığı ücret toplama sistemleri ile karşılaştırıldığında, temassız geçiş kart (flash pass) sistemleri, bilet ya da serbest geçiş kartları ile çalışan elektronik sistemler; yolcu başına ortalama 3,5, 4 saniye olan biniş süresini %13 oranında azaltmaktadır. Bu konuda, Akıllı Kart teknolojileri en etkin olundırı; Manyetik Şeritli Kart teknolojileri daha az etkindir. Bunlara ek olarak; elektronik sistemler ile daha iyi bir çizelgeleme ve daha iyi bir planlama için gereken yolcu verilerinin büyük bir kısmı toplanabilir. Böylelikle yolcu seyahat süreleri de azaltılmış olur.
ITS- Sürücü Destek ve Otomasyon Sistemi	Tam Yanaşma , iki nedenden ötürü, duruş sürelerini azaltma konusunda bir potansiyele sahiptir. Birincisi; tüm yolcuların, özellikle de hareket engelli yolcuların, basamak çıkmadan veya inmeden biniş ve inişine izin vermektedir. İkincisi; bazı BRT sistemleri (örneğin, Bogota Transmilenio), taşıtın aynı yerde duracağını garanti eden sistemler kullanır, böylece binişlerde düzenli bir sıralanma sağlar.
Hizmet ve İşletim Planı- Hizmet Sıklığı	Hizmet sıklığını arttırmak, istasyonda yığılan yolcu sayısını azaltacağından, yolcu biniş süreleri de azalır.
Hizmet ve İşletim Planı- Çizelge Kontrol Yöntemi	İzleme aralığı tabanlı çizelge kontrolü, izleme aralıklarının daha düzenli olmasını sağlar. Bu aynı zamanda dengeli yolcu sayısı ve biniş sürelerine neden olur.

Mevcut Sistemlerin Performansı

BRT bileşenleri, geleneksel toplu taşıma sistemlerine göre duruş sürelerinde azalma sağlamıştır. Bu bölümde bu deneyimler 3 başlıkta anlatılmaktadır; (1) konuyla ilgili araştırmanın özeti, (2) dikkate değer deneyim örnekleri ve (3) BRT sistemine göre (sistem bazında) duruş süresini etkileyen özelliklerin özeti.

Araştırma Özeti

Geleneksel toplu taşıma hizmeti için yapılan çalışmalardan bazıları, duruş süresi tasarrufu sağlamak için hangi BRT bileşenlerinin uygulanması gerektiğine işaret etmektedir.

Çizelge 2.16, standart döşemeli bir otobüs için tipik yolcu hizmet sürelerini göstermektedir.

Çizelge 2.17, mevcut kapı kanallarının bir fonksiyonu olarak biniş sürelerini göstermektedir.

Biniş yapılan kapı sayısının artması, biniş için gereken süreyi azaltmaktadır. Bu durum, istasyondaki yolcu sayısı fazla olan yerlerde kritik önem taşımaktadır.

Çizelge 2.16 Döşeme yüksekliğine göre yolcu hizmet süreleri

Toplu Taşıma Kuruluşu	Biniş Süreleri (Saniye)		İniş Süreleri (Saniye)	
	Düşük Döşeme	Yüksek Döşeme	Düşük Döşeme	Yüksek Döşeme
Ann Arbor Ulaştırma Kuruluşu				
Ücretli Otobüs:				2,55
Nakit				2,67
Nakit Olmayan	3,09	3,57	1,32	
Servis Otobüsü:	1,92	2,76	2,17	Bildirilmemiş
Ücretsiz	1,91	2,26	Bildirilmemiş	
Victoria Bölgesel Toplu Taşıma Sistemi	3,02	3,78	1,87	3,61
Vancouver Bölgesel Toplu Taşıma Sistemi	Uygulanamaz	3,78	2,13	1,84
St. Albert Toplu Taşıma Sistemi			Uygulanamaz	2,62
Tekli Biniş	3,61	4,27		1,43
İkili Biniş	6,15	7,27	Bildirilmemiş	Bildirilmemiş
Yaşlı Biniş Kapısı	3,88	6,10		
Kitchener Toplu Taşıma Sistemi	2,23	2,42	1,16	1,49

Çizelge 2.17 Yüksek döşemeli otobüsle çok kapılı binişte toplam yolcu başına yolcu hizmet süresi (saniye/yolcu)

Kapı Kanalı	Biniş	Ön Taraftan İniş	Arka Taraftan İniş
1	2,5	3,3	2,1
2	1,5	1,8	1,2
3	1,1	1,5	0,9
4	0,9	1,1	0,7
6	0,6	0,7	0,5

“Toplu Taşıma Hizmet Kapasitesi ve Kalitesi” el kitabında, sürücülerin ücret toplamada devrede olduğu, geleneksel tek kapılı biniş sistemi için ortalama biniş süreleri kabulü yapılmaktadır. Bu tahminler Çizelge 2.18’de gösterilmektedir.

Çizelge 2.18 Otobüs yolcu hizmet süreleri (saniye/yolcu)

<i>Ücret Ödeme Yöntemi</i>	<i>Gözlenen Değer</i>	<i>Varsayılan (Tek Kapılı Biniş)</i>
BİNİŞ		
Ön-Ödeme (örneğin; serbest geçiş, ücretsiz, ücretsiz aktarma ve çıkışta ödeme sistemleri)	2,25–2,75	2,5
Akıllı Kart	3,0–3,7	3,5
Bilet veya Jeton	3,4–3,6	3,5
Tam Bozuk Para	3,6–4,3	4,0
Cihazdan Geçirmeli veya Tak-Çıkar Kartlar (Swipe or dip kart)	4,2	4,2
İNİŞ		
Arka Kapıdan	1,4–2,7	2,1
Ön Kapıdan	2,6–3,7	3,3
Notlar:		
* Eğer taşıtta ayakta yolcu varsa, biniş süresine 0,5 saniye eklenmelidir.		
** Düşük döşemeli otobüslerde biniş sürelerinden yolcu başına 0,5 saniye ve ön kapıdan iniş sürelerinden yolcu başına 1 saniye çıkarılmalıdır.		

*Sistem Performans Örnekleri**Ottawa Toplu Taşıma Yolu, Kanada, Ontario*

Ontario Uygulama (Demo) Projesinin 3. Evresi, Nisan 1982 ile Mart 1984 arasında yürütülmüş, standart 12 metre otobüsler, 18 metre körüklü otobüsler ile değiştirilmiş ve ispat gerektiren ücret ödeme yöntemi kullanılmıştır. İspat gerektiren ücret ödeme yöntemi altında, geçerli geçiş kartlarına sahip yolcular (hattaki yolcuların yaklaşık %68'i), körüklü otobüsün üç kapısından herhangi birinden biniş yapabilirler. İspat gerektiren ücret ödeme yönteminden önce, otobüs şoförü, yolcuları yalnızca ön kapıdan alıp, ücret kontrolü yapmak durumundaydılar.

Körüklü otobüsün arttırılmış kapasitesine bağlı olarak, sürücüler açısından sürüş saatlerinin azalmasından sağlanan faydalar ve işletim maliyetinin azalması nedeni ile OC Transpo, hatta çalışan 3 standart otobüsü, 2 körüklü otobüs ile değiştirmiştir. Bu uygulama projesi, ispat gerektiren ücret ödeme yönteminin -çizelgeye bağlılıkta gelişmelere ve “tam zamanında varış” performansına sahip olduğu için- daha iyi bir performans sunduğunu göstermektedir. Körüklü otobüsler için ortalama duruş süreleri, gözlem verilerine bağlı olarak, tahmini %13-21 oranında azaltılmıştır. Ortalama seyir süreleri, yaklaşık %2 oranında azaltılmıştır. POP uygulamasının, ücret kaybı (kaçak geçişler) oranında artışa neden olduğuna dair bir ifade bulunmamaktadır.

Sistem Bazında BRT Bileşenleri ve Duruş Süresi

Çizelge 2.19, istasyon duruş süresini etkileyen BRT sistem özelliklerinin bir özetidir. BRT sistemleri arasında henüz duruş sürelerinin azaltılmasına odaklanan bir standart yoktur. BRT sistemlerinin birçoğu, özellikle geleneksel otobüs hizmeti gibi anayol üzerinde yolcu alan ve bırakan sistemler, duruş süresinde minimum azalmalara neden olurlar. Chicago Toplu Taşıma Kuruluşu'nun AC toplu taşıma sistemi, Honolulu Bus ve Los Angeles Metro'da işletilen BRT sistemleri, sistem geneli uygulamalarının bir parçası olarak, akıllı kartları kullanacaktır.

Ücret toplama yöntemindeki değişiklikler, duruş süresinin azalmasını sağlamaktadır. Orlando'nun Lymmo'su, ücretsiz olarak işletilmektedir ve bu nedenle tüm kapılardan binişe izin vermektedir. Pittsburgh otobüs yolu, şehir merkezinden dışarı olan yolculuklarda, ücretleri varış yerinde toplama gibi bir politika izlemektedir. Yolcuların şehir merkezinde tüm kapılardan biniş yapması, şehir merkezi boyunca hizmeti hızlandırır. Las Vegas MAX sistemi; duruş sürelerini azaltmak için, önceden ödeme sistemi, çok kanallı biniş ve kapsamlı sistem tasarımının bir parçası olan hemzemin platform kullanımına sahip, ABD'de işletilen tek sistemdir.

Çizelge 2.19 Sistem bazında BRT bileşenleri ve duruş süresi

	<i>Boston</i>	<i>Chicago</i>	<i>Honolulu</i>	<i>Las Vegas</i>	<i>Los Angeles</i>
	Silver Line	Neighborhood Express	City Express!	North Las Vegas MAX	Metro Rapid
İstasyonlar					
Platform Yüksekliği	Standart Kaldırım	Standart Kaldırım	Standart Kaldırım	Hemzemin Platform	Standart Kaldırım
Platform Uzunluğu (Taşıt Sayısı) Sollama Kabiliyeti	1 Bitişik Karma Akım Şeridi	1 Bitişik Karma Akım Şeridi	1 Bitişik Karma Akım Şeridi	1 Bitişik Karma Akım Şeridi	1 Bitişik Karma Akım Şeridi
Taşıtlar					
Taşıt Konfigürasyonu	Özel Görünümlü BRT Taşıtları	Geleneksel Standart Taşıtlar (12 m)	Geleneksel Körüklü (18 m) Taşıtlar	Geleneksel Körüklü (18 m) Taşıtlar	Geleneksel Standart Taşıtlar (12 m)
Yolcu Sirkülasyonunun İyileştirilmesi				Alternatif Oturma Planı	
Ücret Toplama					
Ücret Toplama Yöntemi	Binişte Ödeme	Binişte Ödeme	Binişte Ödeme	İspat Gerektiren Ödeme (POP)	Binişte Ödeme
Ücret Ödeme Aracı	Nakit ve Kağıt	Nakit, Kağıt ve Manyetik Şeritli Kartlar	Nakit ve Kağıt	Nakit ve Manyetik Şeritli Kartlar	Nakit ve Kağıt
ITS					
Sürücü Destek ve Otomasyonu				Tam Yanaşma	-
Taşıt Önceliklendirme	TSP (2004)			TSP (7)	TSP
Hizmet ve İşletim Planı					
Hizmet Sıklığı (Zirve)	4	9-12	11	12	2-30
Çizelge Kontrol Yöntemi	Çizelge-Tabanlı Kontrol	Çizelge-Tabanlı Kontrol	Çizelge-Tabanlı Kontrol	İzleme Süresi-Tabanlı Kontrol	İzleme Süresi-Tabanlı Kontrol
Performans					
Ortalama Duruş Süresi				15-20 saniye	
Maksimum Duruş Süresi					

Çizelge 2.19 Sistem bazında BRT bileşenleri ve duruş süresi (devam)

	<i>Orlando</i> LYMMO	<i>Miami</i> Busway	<i>Oakland</i> Rapid Bus	<i>Phoenix</i> Rapid	<i>Pittsburgh</i> Busway
İstasyonlar					
Platform Yüksekliği	Standart Kaldırım	Standart Kaldırım	Standart Kaldırım	Standart Kaldırım	Standart Kaldırım
Platform Uzunluğu (Taşıt Sayısı) Sollama Kabiliyeti	2 Bitişik Karma Akım Şeridi	3 Bitişik Karma Akım Şeridi	1 Bitişik Karma Akım Şeridi	1 Bitişik Karma Akım Şeridi	2-3 Bitişik Karma Akım Şeridi
Taşıtlar					
Taşıt Konfigürasyonu	Standart (Mini)	Geleneksel Standart (Mini ve 12 m) ve Körüklü	Özel Görünümlü Standart	Özel Donanımlı Standart	Geleneksel Standart ve Körüklü
Yolcu Sirkülasyonunun İyileştirilmesi					
Ücret Toplama					
Ücret Toplama Yöntemi	- (Ücretsiz)	Binişte Ödeme Nakit, Kağıt ve Manyetik Şeritli Kartlar (swipe card)	Binişte Ödeme Nakit ve Kağıt	Binişte Ödeme Nakit ve Manyetik Şeritli Kartlar	Binişte Ödeme Nakit ve Kağıt
Ücret Ödeme Aracı	-				
ITS					
Sürücü Destek ve Otomasyonu					
Taşıt Önceliklendirme		TSP		Çarpışma Uyarı TSP (1 Sinyal)	Çarpışma Uyarı TSP (1 Sinyal)
Hizmet ve İşletim Planı					
Hizmet Sıklığı (Zirve)	10	12	5	10	1
Çizelge Kontrol Yöntemi	İzleme Süresi- Tabanlı Kontrol	Çizelge-Tabanlı Kontrol	İzleme Süresi- Tabanlı Kontrol	Çizelge-Tabanlı Kontrol	Çizelge-Tabanlı Kontrol
Performans					
Ortalama Duruş Süresi		45-60 saniye			East Busway'in iç istasyonlarında 35-36 saniye, dış istasyonlarında 47-60 saniye
Maksimum Duruş Süresi		120 saniye			

Bekleme Süresi ve Aktarma Süresi

Tanımı

Bekleme süresi, toplu taşıma taşıtı gelmeden önce yolcunun durakta harcadığı süredir. Yolcular, bekleme süresini, hareket halindeki bir toplu taşıma aracında harcadıkları sürenin 3 katı kadar algıladıkları için BRT hizmeti tasarımında, bekleme süresini azaltmak önemli bir iş kalemi olacaktır. BRT sistemleri yoğunlukla bu biçimde planlanmaktadır; zirve saatlerde tüm duraklardaki sefer sıklığı, yolcuların ellerinde herhangi bir tarife olmadan durağa rastgele gelmeleri halinde bile, kısa süreli bir bekleme sonunda hizmet alabilecekleri kadar sıktır.

Aktarma süresi, yolcuların bir BRT hizmetinden diğer toplu taşıma hizmetlerine geçerken (örneğin, yerel otobüs güzergâhları ve demiryolları) harcadığı süreyi ifade eder. Durak içerisinde bir taşıttan diğerine geçmek için gereken süreyi ve ikinci aracı beklerken harcanan süreyi azaltmak, yolculuk süresini azaltmak anlamına gelmektedir.

BRT Bileşenlerinin Bekleme Süresi ve Aktarma Süresi Üzerindeki Etkileri

ITS (yolcu bilgi sistemleri) gibi diğer bileşenler, bekleme süresi ile ilgili algılamayı etkilemekle birlikte, bekleme süresinin birincil belirleyicileri hizmet sıklığı ve güvenilirliğidir. Bekleme süresini etkileyen bu faktörlerin yanı sıra, durağın fiziksel tasarımı ve toplu taşıma güzergah ağının tasarımı da BRT’de aktarma süresini etkileyen temel faktörlerdir.

Çizelge 2.20 BRT bileşenleri, bekleme süresi ve aktarma süresi

İstasyonlar-İstasyon Tipi	Aktarma istasyonlarının (interchange stations) tasarımı, aktarma süreleri ile yürüme mesafelerinin kısılmasında ve kat iniş/çıkışlarını azaltmada kolaylıklar sağlayabilir.
ITS- İşletim Yönetimi	Toplu Taşıma Taşıt İzleme ile birlikte Otomatik Taşıt Sevk Çizelgeleme Sistemi (ASDS) , sistemler ya da taşıtlar arasında aktarma yapan yolcular için bağlantının kaçırılmamasını ve eşit uzunlukta taşıt/izleme aralığı (daha az bekleme süresi için) sağlamaktadır. Ayrıca Toplu Taşıma Taşıt İzleme , yolcu bilgilerinin toplanmasını ve paylaşılmasını sağlamaktadır.
ITS- Yolcu Bilgilendirmesi	Gerçek-zamanlı yolcu bilgi sistemleri, bekleme sürelerini doğrudan etkilemez. Yaklaşan taşıtların durumu hakkında güncel bilgi sağlayarak, yolcuların beklerken algıladıkları sürenin “kısılmasına”, bekleme süresi konusundaki beklentilerini değiştirmesine yardımcı olur. Hat Güzergahı Planlaması ve Yolcu bazlı Yolcu Bilgilendirmesi (PDA’lar ve cep telefonları aracılığıyla) yolculara en yakın durak, yaklaşmakta olan taşıt ve yapılabilecek aktarmalar hakkında ön bilgi verir. Taşıtlardaki yolcu bilgisi ve duraklardaki yolcu bilgisi yolcuları yaklaşan taşıt hakkında bilgilendirebilir ve aktarmalar için doğru yere yönlendirebilir (yanaşma yeri veya platform konumu).
Hizmet ve İşletim Planı - Hizmet Sıklığı	Hizmet Sıklığı, bekleme süresi ve aktarma süresi için anahtar belirleyicidir. BRT sistemlerinde standart boyuttaki taşıtlar kullanıldığı için, yüksek sıklıkta hizmet verebilirler.

Hizmet ve İşletim Planı – Hat Yapısı	Ortak bir ana güzergah üzerinde birleşen çeşitli hatları kapsayan BRT güzergah yapısı, yüksek hacimli duraklarda yolculara sunulan toplu taşıma hizmetlerinin miktar ve türünü arttırabilir. Aynı koridorda yol alan otobüs hatları, koridor boyunca sıklığı arttırır ve BRT hizmetini bekleme süresini kısaltır. BRT güzergah ağları, ayrıca, aktarma süresini ortadan kaldırmak için yapılandırılmıştır. Güzergahlar yerel besleyici ve BRT ana hat hizmetlerini birleştirebilmektedir. Böylece, ana BRT güzergahından uzak yerlerde toplu taşıma ağına erişen yolcular için istasyonda inip aktarma yapma zorunluluğunu ortadan kaldırmaktadır.
Hizmet ve İşletim Planı – Çizelge Kontrol Yöntemi	Yüksek sıklıktaki hizmetler için, izleme süresi tabanlı çizelgeleme taşıtlar arasındaki izleme sürelerini düzenler ve taşıt demetlenmesi (taşıtların durağa aynı zamanda gelmesi) sebebiyle bekleme süresindeki sıçramaları azaltır.

Mevcut Sistemlerin Performansı

Sistem Performans Örnekleri

Uygulanan sistemler, BRT bileşenlerinin bekleme ve aktarma sürelerini nasıl azalttıklarını göstermektedir.

South Busway, Miami, Florida

South Busway'in mevcut 14 km uzunluğundaki kısmı, çift şeritli, hemzemin, US 1'e bitişik, önceden demiryolu olan bir seyir yolu üzerine inşa edilmiş, yalnızca otobüs kullanımına açık bir yoldur. Özel şeritlerde hareket eden ekspres otobüslerin de bulunduğu South Busway'in tamamı veya bir kısmı üzerinde işletilen, yolcuları Dadeland Güney Intermodal Metro İstasyonu'na yaklaşık 25 dakikada taşıyan 6 otobüs hattı vardır. Altı hattın hepsi, aynı otobüs yolu üzerinde birleştiğinden, zirve boyunca kombine bir sıklık sağlar ve bekleme süresini önemsiz kılarlar. Dadeland Güney Intermodal Metro (Metrorail) İstasyonu, demiryolu ile otobüs yolcuları arasında muntazam bir bağlantı sunmaktadır. Dadeland Güney Intermodal Metro İstasyonu (Metrorail), kapalı bir ücret ödeme alanına sahiptir. Ancak, yolcular, biniş ve iniş amacıyla South Busway'in bulunduğu yere erişmek için, Metrorail'in ücret alanından çıkış yapmak zorundadır.

Portland, OR (BRT-harici Uygulama)

Bekleme süresini etkileyen iki teknoloji, taşıt konumu ve yolcu bilgisini içermektedir. Bu teknolojilerin bekleme süresi üzerindeki etkilerini belirlemek için veri toplamak ve ölçüm yapmak zordur. Portland, OR'daki Tri-Met taşıt konumlandırma sisteminin çok yönlü değerlendirmesi, bekleme süresinde, sistem genelinde yıllık tahmini 1,6 milyon dolarlık

tasarruf sağlamıştır. Bu, sekiz hatta dayanmaktadır ve saatte 14,1 dolarlık bir ortalama kazanç ve yıllık hafta içi 62,2 milyon biniş anlamına gelmektedir. Sistem, taşıttaki veya duraktaki yolcu bilgilendirmesini içermemekte, bu kazanç taşıt konumlandırmasının daha iyi denetlenmesinin bir sonucu olarak ortaya çıkmaktadır.

London Bus, Londra, İngiltere (BRT- harici Uygulama)

Londra’da Londra Ulaştırma Geri Sayım Sistemi’nin (otobüslerin gerçek-zamanlı varış bilgilendirme sistemi) bir değerlendirmesi, deneklerin %83’ünün, duraklarda gerçek-zamanlı bilgilendirme sisteminin olması durumunda, sürenin daha çabuk geçtiğine inandıklarını ortaya koymuştur. Ayrıca, deneklerin %65’i, ortalama bekleme süresini 12 dakika yerine 8,5 dakika algılayarak, %28 bir azalmayla, daha az beklediklerini hissetmişlerdir.

Sistem Bazında BRT Bileşenleri, Bekleme Süresi ve Aktarma Süresi

Tahmin edildiği gibi, sıklığın artırıldığı ve taşıtlar arası mesafenin ayarlandığı sistemlerde, yolcular bekleme süresini pozitif puanla değerlendirmişlerdir. Pittsburgh’deki Busways gibi entegre ağlar, ana hat bölümleri boyunca, bekleme süresinin azalmasını sağlamış ve aktarma ile ilişkilendirilen süreyi azaltmıştır. Birçok yolcu aktarma yapmazken, aktarma yapan yolcular aktarma rahatlığı konusundaki iyileşmelerden bahsetmiştir.

2.3.2 Güvenilirlik

Yolcular için çekici olan kısa süreli yolculuklardır, ancak, zorunluluk hallerinde mevcut hizmeti kullanmayı sürdürürler. Tutarlı bir hizmet seviyesi sunmayan sistemler, farklı ulaşım seçeneklerine sahip olan potansiyel yolcuları elinde tutabilmek konusunda zorlanacaklardır. Seyahat süresinin güvenilirliği birçok belirsizlik kaynağından etkilenir; bunlar arasında trafik koşulları, önceden tahmin edilemeyen mekanik ya da mekanik olmayan taşıt arızaları, hat uzunluğu, güzergâh çizelgelerinde bulunan telafi süreleri, durak sayısı, yolcu taleplerinin eşit dağılımı ve tekerlekli sandalye rampalarının öngörülemeyen kullanım düzeyi.

Bu faktörlerden bazıları, toplu taşıma operatörlerinin doğrudan kontrolü altında değildir. Buna rağmen, BRT'nin güvenilirliğini arttıran birçok özellik bulunmaktadır. Bu tartışmada, güvenilirliğin üç temel yönü üzerinde durulmaktadır – seyir süresinin güvenilirliği, istasyonda geçirilen sürenin güvenilirliği ve hizmet güvenilirliği. Hizmet güvenilirliği, hizmet mevcudiyeti ve hizmete bağımlılığın yolcular tarafından algılanışına katkıda bulunan sistem özelliklerini ele alırken, ilk iki yönü (seyir süresinin güvenilirliği ve istasyonda geçirilen sürenin güvenilirliği), sistemin zaman çizelgesi veya belirlenmiş tutarlı bir yolculuk süresiyle uyum sağlayabilme kabiliyetiyle ilişkilidir.

Seyir Süresinin Güvenilirliği

Tanımı

Seyir süresinin güvenilirliği, yolculara uygun bir yolculuk süresi sunmak amacıyla BRT hizmetinin yüksek hızı sürekli sağlayabilme yetisine bağlıdır. Seyir süresinin güvenilirliğini sağlamak, yolcunun sürekli olarak bir BRT sistemine ihtiyacı olduğu fikrini kuvvetlendirdiği için önemlidir.

BRT Bileşenlerinin Seyir Süresinin Güvenilirliği Üzerindeki Etkileri

Yolculuk süresinin azalmasına katkıda bulunacak tüm seyir yolu özellikleri, ayrıca, güvenilirliği de arttırabilmektedir.

Çizelge 2.21 BRT bileşenleri ve seyir süresi güvenilirliği

Seyir Yolu – Seyir Yolu Ayrımı	Seyir yolu ayrımı kavşaklarda ve seyir yolu boyunca oluşabilecek öngörülemez gecikmelerin sayısını ve yolculuk sürelerinin değişkenliğini azaltır. En yüksek güvenilirlik, gecikmeye neden olan durumları (trafikteki sıkışıklık, kazaya maruz kalma) etkili bir biçimde ortadan kaldırdığı için, “Kesişme Bulunmayan Katlı Özel Toplu Taşıma Yolları”ndadır.
İstasyonlar- Sollama Kabiliyeti	İstasyon tasarımları ile taşıtlar diğer taşıtları istasyonda geçebilir, böylece istasyondaki hizmeti çoktan tamamlamış taşıtların veya durak atlamalı sistemlerin gecikme olmaksızın çizelgeye bağlı kalması sağlanmış olur.
ITS –Taşıt Önceliği	Toplu Taşıma Sinyal Önceliği sistemleri, programın gerisinde kalmış BRT taşıtlarına ekstra yeşil süre vererek programın korunmasını sağlar. Sinyal Zamanlaması, zirve zamanda, zirve yönde işletilen BRT taşıtlarına, daha fazla toplam yeşil süre sağlayabilir. İstasyon ve Şerit Erişim Kontrolü, tesis (sistem) ve duraklara girişi, yetkili BRT taşıtlarıyla kısıtlayarak, sistemi kullanan kaçak taşıt sayısını azaltır.
ITS— Sürücü Destek ve Otomasyonu	Çarpışma Uyarı, Şerit Desteği ve Tam Yanaşma, BRT taşıt sürücüsüne, trafik durumundan bağımsız, uygun hızlarda kullanmak üzere ve böylece çizelgeye bağlı kalıp, tüm sistemin güvenilirliğini sağlayarak garanti verir.
ITS— İşletim Yönetimi	Taşıt izleme, Otomatik Taşıt Sevk Çizelgeleme Sistemi ve Taşıt Mekanik Aksam Denetimi ve Bakımı, bir olaya ihtiyaç duyulduğu şekilde yönelmesi için merkezi bir dispeçerin konu hakkında tam olarak ne olduğunu bilmesine imkan verir. Eğer mekanik arıza, kaza veya tıkanıklık gibi bir durum varsa, merkezi dispeçerin, sistemin güvenilirliğini temin etmek için probleme hızlı ve etkili bir şekilde müdahale etmesini sağlar.
Hizmet ve İşletim Planı – Durak Aralığı	Durakların uzak aralıklarla yerleştirilmesi, seyir süresindeki aynı nedenlerden dolayı, güvenilirliği arttırmaktadır: •İstasyonlar arasındaki uzaklığın fazla olması, taşıtların daha uzun periyotlarda tahmin edilebilir, yüksek bir hızda seyahat etmelerini sağlar. •Daha az sayıda durakta hizmet sunmak talebi belirli istasyonlarda yoğunlaştırır, kalkış, duruş, yolcu bindirme ve indirmeye bağlı değişkenliği azaltır.
Hizmet ve İşletim Planı – Hat Uzunluğu	Seyir süresi güvenilirliği, özellikle minimum düzeyde seyir yolu ayrımına sahip BRT sistemleri için, kısa güzergah uzunluklarında çok daha mümkündür.

Mevcut sistemlerin Performansı

Sadece güvenilirliğin geliştirilmesi ile ilgili sistem uygulamaları sınırlıdır. Toplu taşıma plancıları daha çok performansın diğer ölçütleri üzerinde odaklanmışlardır. Diğer taraftan, araştırmacılar, yolcuları çeken belirgin bir etken olarak güvenilirlik üzerindeki ilgilerini

gittikçe arttırmaktadırlar. Bu bölüm, güvenilirlik konusunda iyi sistem örneklerini ve sistem bazında güvenilirliği etkileyen BRT bileşenlerinin özetini sunmaktadır.

Sistem Performans Örnekleri

BRT bileşenlerinin uygulamaları ile ortaya konmuş performansları, güvenilirlik konusunda planlamaya iyi örnekler oluşturmaktadır.

Wilshire Bulvarı, Tercihli Şerit Uygulama Projesi, Los Angeles, CA

Wilshire Bulvarı Tercihli Şerit Uygulama Projesi, 2004 ilkbaharının talebin en yoğun olduğu saatlerinde (hafta içi sabah 7:00–9:00 ve akşam 16:00–19:00 arası), Batı Los Angeles’da Federal ve Centinela Meydanları arasında, Wilshire Bulvarının 1,5 kilometrelik bölümü üzerinde (trafiğin her iki yönünde sağ şerit otobüs yolu olarak ayrılmış) uygulamaya konulmuştur. Otobüs şeridi uygulaması öncesinde, Los Angeles Metro otobüsleri, zirve saatlerde karma trafik koşullarında işletiliyor ve araçların yol kenarına (sağ şeride) park etmelerine izin veriliyordu.

Sistemli olarak ölçülen dört günlük gözlem verisi (iki gün proje uygulama öncesi, iki gün uygulama sonrası) ve loop detektöründen alınan iki aylık veri (bir ay öncesinde, 1 ay sonrasında), uygulama projesinin gözlem yapılan bu kısımdaki otobüs seyir süreleri üzerindeki etkilerini değerlendirmek üzere incelenmiştir. Seyir süreleri, trafiğin her iki yönünde, sabah ve akşam zirve saatlerinin ikisinde de yaklaşık %7 civarında azalmıştır. Ayrıca, seyir süresi güvenilirliği (örneğin, yolculuk süresi gözlemlerinin 5. ve 95. yüzdeleri arasında aldığı değerler), neredeyse günün her saatinde %17 civarında iyileşmiştir.

98B Hattı, Vancouver, British Columbia, Kanada

98B Hattı Vancouver, British Columbia, Kanada’da ana yol üzerinde işletilen üç BRT hattından biridir. Bu üç hat, toplamda günde 49,000’nin üzerinde yolcuya hizmet vermektedir. Her güzergâh için yüksek hizmet sıklığı sağlanmış, sınırlı-durak uygulaması yapılmış ve tercihli düşük-döşeme körüklü otobüsler temin edilmiştir. Ağustos 2001’de açılan 98B Hattı ayrıca, yüksek kalitede korunak ve duraklara, toplu taşıma önceliği ölçütlerine (orta şerit otobüs yolu, Otomatik Taşıt Konumlandırma (AVL), Bilgisayar Destekli Sevkıyat (CAD) ve toplu taşıma sinyal önceliği) ve her durakta bir sonraki otobüsün gerçek-zamanlı varış bilgisine sahiptir.

98B Hattı, koridor boyunca veya koridor içinde diğer seyahat türleri için hemen hemen hiç engel teşkil etmezken, toplu taşıma yolcuları için güvenilirliği arttırmaktadır. BRT

uygulaması öncesi ve B-Hattı uygulaması sonrası koşulları karşılaştırırken, güncel yolculuk sürelerinde küçük bir değişiklik olmasına rağmen, yolculuk süresi değişkenliği günün her saatinde ve yolculuğun her iki yönünde de %40 - %50 arasında düşmüştür. Ek olarak, bir otomobil yolculuğunun aynı koridor içinde daha kısa sürmesine rağmen (otomobil için 28,9 dakika, toplu taşıma aracı için 42,1 dakika), toplu taşıma yolculuğu otomobile göre daha güvenilirdir. Örneğin, toplu taşıma taşıtının standart sapması kuzeye doğru giden yönde, sabah zirve saatlerde 2,8 dakika olmasına rağmen otomobilin standart sapması 5,3 dakikadır.

Çeşitli İşletim Yönetimi Uygulamaları (BRT –harici Uygulamalar)

Sistem güvenilirliği üzerinde en büyük etkiye sahip olan iki teknoloji; taşıt konumlandırma sistemi (AVL) ve toplu taşıma sinyal önceliğini (TSP) içermektedir. Bir taşıt konumlandırma (mevki) sistemi otobüslerin ardı ardına yığılmasını azaltabilir, otobüs aralığını ve sistem güvenilirliğinin artması ile sonuçlanan çizelgeye bağlılığı artırabilir. Portland’da otobüs aralığı, izleme süresi ve seyir sürelerini düzenlemek için taşıt konumlandırma (mevki) verisini kullanan Tri-Met’ten sonra %36 iyileşmiştir. Ayrıca, taşıt konumlandırma sistemi kullanıldıktan sonra bu hat için tam zamanında varış performansı (on-time performance) %70’den %83’e yükselmiştir. Baltimore, Maryland’de taşıt konumlandırma teknolojisiyle donanmış bu otobüslerin tam zamanında varış performanslarında %23 artış gözlenmiştir. Kansas City’ de tam zamanında varış performansı, taşıt konumlandırma sistemi uygulamaya koyulduktan sonra geciken otobüslerde %21, erken gelen otobüsler de ise %12 azalma ile %80’den %90’a çıkmıştır.

Toplu Taşıma Sinyal Önceliği (TSP) toplam yolculuk süresini azalttığı gibi, taşıt gecikmelerini ve taşıt duraklamalarını azaltarak sistem güvenilirliğini geliştirmektedir. Phoenix, Arizona’da TSP, kırmızı ışık gecikmesini %16 azaltmıştır. Ancak, işletim çizelgelerini korumak amacıyla otobüslerin yavaşlatılmasından dolayı toplam yolculuk süreleri azaltılamamıştır. Bu, karar politikalarının teknolojinin etkililiğine tesir ettiği ve bir BRT sisteminin işletiminde dikkate alınması gereken bir durumdur. Toronto TSP sisteminin bir değerlendirmesi, çeşitli otobüs hatlarında sinyal gecikmesinde %32’den %50’ye kadar azalma olduğunu göstermiştir.

Sistem Bazında BRT Bileşenleri ve Seyir Süresi Güvenilirliği

Çizelge 2.22, son dönemde konuşlandırılmış 26 BRT sisteminin seyir süresi güvenilirliği performansının özetini göstermektedir. Seyir süresi güvenilirliğini ölçmek için geliştirilmiş performans göstergeleri şunları içermektedir:

- Uçtan-Uca Maksimum Yolculuk Süresi: Bu ölçüt, zirve saatlerde tek bir yönde, hattın başından sonuna kadar, bir yolculuğu tamamlamak için gereken “ortalama hafta içi yolculuk süresi”dir.
- Uçtan-Uca Serbest Yolculuk Süresi: Bu ölçüt, zirve dışı saatlerde tek bir yönde, hattın başından sonuna kadar, bir yolculuğu tamamlamak için gereken “ortalama hafta içi yolculuk süresi”dir.
- Uçtan-Uca Maksimum Yolculuk Süresinin Uçtan-Uca Serbest Yolculuk Süresine Oranı: Zirve ve zirve dışı saatlerdeki yolculuk süreleri arasındaki farkı gösterir. Oran ne kadar yüksek olursa, özellikle karma trafik koridorlarında işletilen sistemler için, uçtan-uca yolculuk süresi üzerinde zirve saatlerdeki trafik durumunun etkisi o kadar büyük olur.

Seyir süresi güvenilirliği, BRT sisteminin, yolcularına tutarlı yolculuk süreleri sağlamak amacıyla yüksek hızı sürekli olarak koruyabilme kabiliyetini anlatmaktadır. Seyir yolu ayrımı, ITS ve durak aralığı gibi seyir yolu yolculuk süresine etki eden sistem özellikleri ayrıca seyir süresi güvenilirliğini de etkilemektedir.

Çizelge 2.22, çalışma grubundaki 26 yeni BRT sistemi için, seyir süresi güvenilirliğinin performansını özetlemektedir. Bu tablodaki anahtar performans göstergesi “maksimum sürenin serbest süreye oranı”dır. Tipik olarak bu oran, tercihli ya da özel şeritlerde işletilen BRT sistemlerinde, karma akım koşullarında işletilen sistemlere göre daha düşüktür.

Çizelge 2.22, BRT hizmetini –zirve saatlerde hizmet seviyesinin (LOS) kötüleşmesine neden olan- karma akım trafiğinden ayırmanın, tüm hizmet sürelerinde daha yüksek ve tutarlı performans seviyesi tutturmaya imkân verdiğini göstermektedir. Tercihli veya özel şeritlerde işletilen 7 sistem için bu oran, 1,26 (kuzey Las Vegas MAX) ile 1,00 (LYMMO, Miami Bölgesi, Miami Busway MAX ve Pittsburg’daki South Busway) arasındadır. 1,00 oranındaki sistemler, yolculuk sürelerinin hakim olan trafik koşullarından etkilenmediğini ve hizmet süresi boyunca yüksek ve tutarlı bir hizmet seviyesi sağladığını göstermektedir. Karma akım şeritlerinde işletilen sistemler için bu oran, özellikle ağır yerel trafik sorunu yaşayan bölgelerde, doğal olarak daha yüksektir. Örneğin, Los Angeles Metro Rapid sisteminde bu oran, Metro Rapid Vermont hattında 1,17, Metro Rapid Ventura hattında 1,54’dür. Metro Rapid hizmeti, yüksek tıkanıklığa sahip ana yollarda işletilen hizmetlerle ilgili olan yolculuk süresi değişkenliğini kısmi olarak dengeleyen TSP ile donatılmıştır. Bu oranın en yüksek olduğu üç sistem; Metro Rapid Ventura (1,54), Chicago, IL’da Irving Parkı Ekspresi (1,42) ve Chicago, IL’da Batı Caddesi Ekspresi’dir (1,30). Üçü de zirve saatlerde trafik tıkanıklığına maruz kalınan anayollarda işletilen sistemlerdir.

Çizelge 2.22 Sistem bazında BRT bileşenleri ve seyir süresi güvenilirliği

	Boston	Chicago	Chicago	Chicago	Honolulu	Honolulu	Honolulu	Las Vegas	Los Angeles
	Silver Line	Western Avenue Express (X49)	Irving Park Express (X80)	Garfield Express (X55)	City Express A	City Express B	City Express C	North Las Vegas MAX	Metro Rapid Wilshire
Seyir Yolu									
Karma Akım Şeritleri (km)	0,3	29,5	14,9	15,1	31,5	11,3	48,3	4,7	41,4
Tercihli Anayol Şeritleri (km)	3,5							7,6	
Hemzemin Özel Şeritler (km)									
Katlı Ayrımlı Özel Şeritler (km)									
ITS									
Taşıt Önceliklendirme Sürücü Destek ve Otomasyonu İşletim Yönetimi	TSP (2004)							TSP (7) Tam Yanaşma	TSP - Gelişmiş Haberleşme, AVL
Hizmet ve İşletim Planı									
Hat Uzunluğu (km)	3,8	29,5	14,5	15,1	31,5	11,3	48,3	12,2	41,4
Ortalama İstasyon Aralığı (km)	0,4	0,8	0,8	0,9	0,9	0,3	1,2	1,4	1,3
Performans									
Maksimum seyir süresinin minimuma oranı	1,03	1,30	1,42	1,19	1,25	1,05	1,12	1,14	1,28
Seyahat Süresi Güvenilirliği (Değişkenlik Katsayısı)									
Yolcunun Güvenilirliği Algılaması		Deneklerin %65'i güvenilirliği "ortalamanın üzerinde" veya "çok iyi" olarak değerlendirmiş tir.							

Çizelge 2.22 Sistem bazında BRT bileşenleri ve seyir süresi güvenilirliği (devam)

	Los Angeles	Los Angeles	Los Angeles	Los Angeles	Los Angeles	Los Angeles	Orlando	Miami	Miami
	Metro Rapid Ventura	Metro Rapid Vermont	Metro Rapid Crenshaw	Metro Rapid Van Nuys	Metro Rapid Broadway	Metro Rapid Florence	LYMMO	Yerel Busway	Busway MAX
Seyir Yolu									
Karma Akım Şeritleri (km)	26,9	19,2	30,3	34,4	16,9	16,6			
Tercihli Anayol Şeritleri (km)	-	-		-	-	-	-		
Hemzemin Özel Şeritler (km)	-	-		-	-	-	4,8	12,9	12,9
Katlı Ayrımlı Özel Şeritler (km)	-	-		-	-	-	-		
ITS	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Taşıt Önceliklendirme	-	-		-	-	-			
Sürücü Destek ve Otomasyonu	-	-		-	-	-			
İşletim Yönetimi	Gelişmiş Haberleşme, AVL	Gelişmiş Haberleşme, AVL	Loop Detektörleri/ Infrared Sensörler	Gelişmiş Haberleşme, AVL	Gelişmiş Haberleşme, AVL	Gelişmiş Haberleşme, AVL	AVL/ Wi-Fi	x	x
Hizmet ve İşletim Planı									
Hat Uzunluğu (km)	26,9	19,2	30,3	34,4	16,9	16,6	4,8	12,9	12,9
Ortalama İstasyon Aralığı (km)	1,9	1,1	1,3	1,7	1,1	1,4	Yaklaşık 0,3	0,9	1,8
Performans									
Maksimum seyir süresinin minimuma oranı	1,54	1,17	1,38	1,29	1,16	1,39	1,00	1,00	1,00
Seyahat Süresi Güvenilirliği (Değişkenlik Katsayısı)									
Yolcunun Güvenilirliği Algılaması									
						Yolcuların %92'si, güvenilirliği ve tam zamanında varış performansını "çok iyi" veya "iyi" olarak değerlendirmiştir. (tüm Lynx hizmetleri ile karşılaştırıldığında %62)			

Çizelge 2.22 Sistem bazında BRT bileşenleri ve seyir süresi güvenilirliği (devam)

	Oakland	Pittsburgh	Pittsburgh	Pittsburgh	Phoenix	Phoenix	Phoenix	Phoenix
	Rapid San Pablo Corridor	East Busway	South Busway	West Busway	Rapid I-10 East	RAPID I-10 West	RAPID SR-51	RAPID I-17
Seyir Yolu								
Karma Akım Şeritleri (km)	22,5	0,6	-	0,6	10,5	7,7	19,8	12,9
Tercihli Anayol Şeritleri (km)		-	-	-	22,5	12,9	16,6	18,5
Hemzemin Özel Şeritler (km)		-	-	-	-	-	-	-
Katlı Ayrımlı Özel Şeritler (km)		14,0	6,9	7,4	-	-	-	-
ITS								
Taşıt Önceliklendirme		TSP (1 Sinyal)	TSP (1 Sinyal)	TSP (1 Sinyal)	TSP (1 Sinyal)	TSP (1 Sinyal)	TSP (1 Sinyal)	TSP (1 Sinyal)
Sürücü Destek ve Otomasyonu		Çarpışma Uyarı	Çarpışma Uyarı	Çarpışma Uyarı	Çarpışma Uyarı	Çarpışma Uyarı	Çarpışma Uyarı	Çarpışma Uyarı
İşletim Yönetimi					Gelişmiş Haberleşme, Orbital	Gelişmiş Haberleşme, Orbital	Gelişmiş Haberleşme, Orbital	Gelişmiş Haberleşme, Orbital
Hizmet ve İşletim Planı								
Hat Uzunluğu (km)	22,5	14,7	6,9	8,1	33,0	20,9	31,0	31,4
Ortalama İstasyon Aralığı (km)	0,9	1,8	0,9	1,3	3,0	2,6	3,3	2,6
Performans								
Maksimum seyir süresinin minimuma oranı	1,21	1,11	1,00	1,21				
Seyahat Süresi Güvenilirliği (Değişkenlik Katsayısı)		Seyahat süresi değişkenlik katsayısı %18,8'den %10,2'ye düşmüştür.			%90	%100	%100	%100
Yolcunun Güvenilirliği Algılaması				Yolcuların %68'i, West Busway'in çizelgeye bağlılığının geliştiğini algılıyor.				

İstasyonda Duruş Süresinin Güvenilirliği

Tanımı

İstasyonda Duruş Süresi Güvenilirliği BRT taşıtlarının, yolcuların sürekli olarak belirli bir duruş süresi içinde binmelerini sağlama ve istasyonda geçirilen süreyi kısaltma yeteneğini temsil eder. Yolcu yükü (loading) belirgin olarak, gün boyunca ve her zirve saatte değişiklik gösterir. Yolculuk sürelerini etkilemeden BRT bileşenlerinin bu belirgin değişkenliğe uyum sağlaması için bir araya getirilmesi, güvenilirliği arttırabilir. Bu özellikle, yüksek toplu taşıma talebi olan koridor ve kesimlerde hizmet vermesinden dolayı BRT sistemleri için önemlidir. Uzun duruş süreleri, harcanan gerçek sürenin ötesinde güvenilirliğin genel algılanışını etkileyebilir.

BRT Bileşenlerinin İstasyonda Duruş Süreleri Üzerindeki Etkisi

İstasyonda duruş sürelerini daha güvenilir yapmaya yardımcı olan her bir BRT bileşen seçeneği Çizelge 2.23’de tanımlanmıştır.

Çizelge 2.23 BRT bileşenleri ve istasyonda duruş süresi güvenilirliği

İstasyonlar– Platform Yüksekliği	Hemzemin platformlar veya yükseltilmiş kaldırım, taşıta basamakla çıkma ihtiyacını azaltarak istasyonda duruş sürelerini düşürmektedir.
İstasyonlar– Platform Planı	Uzatılmış platformlar, bir seferde bir taşıttan fazlasının yolcu almasını ve taşıtların yolcuları almak için sırada bekledikleri sürenin azalmasını sağlar.
Taşıtlar – Taşıt Konfigürasyonu	Amerikalıların Sakatlık Yasasına (ADA) uyum sağlamak amacıyla, Amerika’da üretilen taşıtların çoğu iniş ve binişi kolaylaştırmak için kapılarında düşük döşemeye sahiptir. Düşük döşemeli taşıtlar sadece genel yolcuların binişini hızlandırmakla kalmamakta, durak veya istasyon tasarımı ile iyi bütünleştiği zaman istasyonda duruş süresinin güvenilirliğine de katkıda bulunmaktadır.
Taşıtlar – Yolcu Sirkülasyonunun İyileştirilmesi	Yolcu sirkülasyonunun iyileştirilmesi istasyonda duruş süresini azalttığı gibi, istasyonda duruş süresi çeşitliliğini azaltıp, güvenilirliği artırır. Güvenilirliği arttıran yolcu sirkülasyonunun iyileştirilmesinin en çarpıcı tarafı tekerlekli sandalye güvenliğinin sağlanmasıdır.
Ücret Toplama – Ücret Toplama Yöntemi	Gişeden Geçişle önceden ödeme sistemleri veya İspat Gerektiren Ödeme (POP) Sistemi, taşıta binişte ücret ödeme ya da serbest geçiş kartı gösterme zorunluluğunu ortadan kaldırarak, çok kapıdan binişe izin verir ve duruş süresindeki -gerekli paranın verilmesi veya geçiş kartının gösterilmesinin neden olduğu- değişkenliğini azaltır.
Ücret Toplama – Ücret Ödeme Araçları	Elektronik ücret toplama sistemleri ve önceden ödeme araçları, öncelikle binen yolcuların tam para vermek için harcadıkları süreyi veya işlem süresini azaltarak, istasyonda duruş sürelerini daha güvenilir yapabilir.

ITS— Sürücü Destek ve Otomasyonu	Tam yaşama sistemleri, bir BRT taşıt sürücüsünün, tekerlekli sandalye rampalarına olan ihtiyacı azaltmak için, BRT taşıtını istasyon platformuna hassas olarak yaşatmasına olanak verir.
ITS—İşletim Yönetimi	Taşıt izleme, merkezdeki dispeçerin BRT taşıtının tam olarak nerede olduğunu bilmesine ve BRT taşıtı istasyondayken oluşabilecek bir probleme müdahale etmesine imkan verir.
Hizmet ve İşletim Planı- Hizmet Sıklığı	Hizmet sıklığını arttırmak, yolcuların istasyonda yığılmasını engelleyerek yolcuların toplam binış süresinin azalmasını sağlar.
Hizmet ve İşletim Planı- Çizelge Kontrol Yöntemi	İzleme Süresi-Tabanlı Kontrol, binışleri (loads) ve binış sürelerini (loading times) dikkate alarak, izleme sürelerini daha düzenli hale getirir.

Mevcut Sistemlerin Performansı

Araştırma özeti

Ayaktaki yolcuların binış süreleriyle ilgili yapılan bir çalışma, bu sürelerin düşük döşeme otobüslerde 0,2’den 0,7 saniyeye kadar daha hızlı olduğunu göstermiştir. Tekerlekli sandalye kullanıcılarının ortalama binış süresi, asansör yerine rampa kullanıldığında, 46,4 yerine 27,4 saniye daha hızlıdır. Toplu taşıma kuruluşlarının hiçbirisi, bu kısalan iniş/binış sürelerinin çizelge hızında artış sağladığını belirtmese de, bazı kuruluşlar işletim esnasında, özellikle çok yönlü ve öngörülemeyen tekerlekli sandalye binışleri yaşandığında, çizelgeyi korumak için (duruş süresi güvenilirliği) hızlandırıcı rampa uygulamalarının kolaylık sağladığını fark etmişlerdir.

Taşıtın içine yerleşmesiyle geçen süre de dahil olmak üzere tekerlekli sandalye asansörünün devir süresi 60 ila 200 saniye arasındadır, buna karşın düşük döşemeli otobüslerde kullanılan rampalar devir süresini 30 ila 60 saniye aralığına kadar azaltır.

Araştırma, istasyonda duruş süresini azaltmak için çıkan bir uygulamanın toplu taşıma otobüslerinde tekerlekli sandalye güvenliği için “arkaya bakan tekerlekli sandalye pozisyonu” kullandığını göstermektedir. Toplu taşıma araçlarında tekerlekli sandalye güvenliği geleneksel güvenlik araçlarını kullanarak sağlandığında, operatörün de yardımıyla 3 dakikadan fazla sürmektedir. “arkaya bakan tekerlekli sandalye pozisyonu”, Avrupa ve Kanada’da çeşitli toplu taşıma taşıtlarına ve Kaliforniya AC’deki toplu taşıma taşıtlarında kullanılmaya başlanmıştır. Bazen, daha geleneksel olan “öne bakan pozisyon” kombinasyonu ile birlikte kullanılmaktadır. Kanada’daki altı toplu taşıma kuruluşunun incelenmesi, “arkaya bakan tekerlekli sandalye pozisyonu” kullanarak tekerlekli sandalye binışinin olduğu

durumlardaki duruş sürelerinin 1 dakikadan daha az olabileceğini göstermektedir.

Sistem Bazında BRT Bileşenleri ve İstasyon Duruş Süresi Güvenilirliği

Çizelge 2.24, duruş süresi güvenilirliğini sistem bazında destekleyen BRT bileşenlerinin özetini sunmaktadır. Düşük döşemeli taşıt konfigürasyonlarından başka, duruş süresi güvenilirliğini arttıracak bileşenlerin uygulaması azdır. Düşük döşemeli taşıtlar, taşıt konfigürasyonunun çoğunluğuna eklenmiştir. Sadece iki sistem, standart kaldırım kullanmamaktadır. Miami-Dade eyaletindeki South Busway, yüksek kaldırım kullanırken, kuzey Las Vegas MAX hemzemin platform kullanmaktadır. Çok kanaldan biniş sisteminin kullanımı hala nadirdir ve sadece Orlando Lymmo (ücretsiz geçiş) ile kuzey Las Vegas MAX'de (serbest giriş veya ispat gerektiren ödeme (POP) sistemi ile) geçerlidir.

Çizelge 2.24 Sistem bazında BRT bileşenleri ve duruş süresi güvenilirliği

	Boston	Chicago	Honolulu	Las Vegas	Los Angeles	Miami	Oakland	Orlando	Pittsburgh	Phoenix
	Silver Line	Neighborhood Express	City Express!	North Las Vegas MAX	Metro Rapid	Busway	Rapid Bus	LYMMO	Busway	Rapid
İstasyonlar										
Platform Yüksekliği	Standart Kaldırım	Standart Kaldırım	Standart Kaldırım	Hemzemin Platform	Standart Kaldırım	Yükseltilmiş Kaldırım	Standart Kaldırım	Standart Kaldırım	Standart Kaldırım	Standart Kaldırım
Platform Uzunluğu (Taşıt Sayısı)	1	1	1	1	1	3	1	2	2-3	1
Sollama Kabiliyeti	Bitişik Karma Akım Şeridi	Bitişik Karma Akım Şeridi	Bitişik Karma Akım Şeridi	Bitişik Karma Akım Şeridi	Bitişik Karma Akım Şeridi	İstasyonlardaki Sollama Şeritleri			İstasyonlardaki Sollama Şeritleri	Otobüs Cepleri
Taşıtlar										
Taşıt Tipi	Düşük Döşemeli-Özel Görünümlü Körüklü (60') Taşıtlar	Geleneksel Standart Taşıtlar (40')	Düşük Döşemeli-Geleneksel Körüklü (60') Taşıtlar	Düşük Döşemeli-Özel Donanımlı BRT Taşıtları	Düşük Döşemeli-Geleneksel Standart Taşıtlar (40')	Geleneksel Standart Taşıtlar (40')	Düşük Döşemeli-Özel Görünümlü Standart Taşıtlar	Düşük Döşemeli-Geleneksel Standart Taşıtlar (35')	Geleneksel Standart ve Körüklü Taşıtlar	Özel Görünümlü Standart Taşıtlar
Yolcu Sirkülasyonunun İyileştirilmesi				Tamamen Düşük Döşeme						
Ücret Toplama										
Ücret Toplama Yöntemi	Binişte Ödeme	Binişte Ödeme	Binişte Ödeme	İspat Gerektiren Ödeme (POP)	Binişte Ödeme	Binişte Ödeme	Binişte Ödeme	Bilgi Yok (ücretsiz)	Binişte Ödeme	Binişte Ödeme
Ücret Ödeme Aracı	Nakit, Kağıt ve Manyetik Şeritli Kartlar (swipe card)	Nakit, Kağıt ve Manyetik Şeritli Kartlar	Nakit ve Kağıt	Nakit ve Manyetik Şeritli Kartlar	Nakit ve Kağıt	Nakit ve Kağıt	Nakit ve Kağıt	Bilgi Yok	Nakit ve Kağıt	Nakit ve Manyetik Şeritli
ITS										
Sürücü Destek ve Otomasyonu İşletim Yönetimi	Gelişmiş Haberleşme, Otomatik Sevk, AVL	AVL	AVL	Tam Yanaşma Gelişmiş Haberleşme, Otomatik Sevk, AVL	-	Gelişmiş Haberleşme, Otomatik Sevk, AVL	Otomatik Sevk, AVL, Taşıt Denetimi	AVL	Çarpışma Uyarı AVL	Çarpışma Uyarı Otomatik Sevk, AVL

Hizmet Güvenilirliği

Tanımı

Hizmet güvenilirliği, bir toplu taşıma işletmesinin planları, politikaları ve kullanıcılarının beklentileriyle uyumlu bir hizmet sunabilme kabiliyetine bağlı olan niteliksel bir özelliktir.

Toplu taşıma işletiminin hizmet güvenilirliğini geliştiren üç gösterge şunlardır:

- Hizmet seçeneklerinin mevcudiyeti- Hizmet öyle yoğun ve sık olabilir ki kaçırılmış ya da gecikmiş bir sefer, hizmette yalnızca küçük bir bozulmaya yol açar. Yolcular, kendi öngörülemez program ve ihtiyaçlarını (örneğin, daha geç saatte işe başlama veya günün ortasında eve gitme ihtiyacı) karşılayan çoklu seçeneklere sahiptir.
- Hizmet kesintilerini telafi etme yeteneği- Öngörülemez gecikme ya da kesintilere hızla karşılık verecek stratejilerdir.
- “Beklenmedik durum” kaynaklarının mevcudiyeti- Yeterli “destek hizmeti”ne sahip olmak, hizmet planını etkileyebilecek tüm belirsizlikler karşısında (örneğin, şoförün rahatsızlanması, trafik ve diğer tahmin edilemez olaylar), operatörün hizmet planına uymasını sağlamaktadır.

BRT Bileşenlerinin Hizmet Güvenilirliği Üzerindeki Etkisi

Hizmet kalitesini etkileyen BRT bileşenlerinin özellikleri Çizelge 2.25’de tartışılmıştır.

Çizelge 2.25 BRT bileşenleri ve hizmet güvenilirliği

İstasyonlar– Sollama Kabiliyeti	Otobüs Cepleri veya istasyonlardaki sollama şeritleri, hattaki bir BRT taşıtının gecikme ya da vukuatlarının diğer taşıtların gecikmesi ile sonuçlanma riskini en aza indirir. Diğer taşıtlar sorunlu taşıtı geçip, hizmete devam ederken, sorunlu taşıtlar seyir yolunun kenarına veya istasyon platformunun bir bölümüne çekilebilirler.
İstasyonlar– Platform Planı	Uzatılmış Platformlar, seyir yolunun istasyon boyunca sollamaya izin verecek şekilde olması şartıyla, istasyonda yolcu alan bir taşıtın arızalanması veya uzun süreli bir gecikme yaşaması durumunda, işletim esnekliğine izin verir.
ITS—Taşıt Önceliklendirme Sistemleri	Taşıt önceliklendirme sistemleri, hizmette yaşanan kısa süreli bir kesinti veya gecikme sonrasında, taşıtın çizelgeye uygun duruma gelmesine yardımcı olur.
ITS—İşletim Yönetimi	İşletim yönetimi sistemleri, sistem yöneticilerinin oluşabilecek herhangi bir olaya en hızlı şekilde yönelmelerini ve kullanıcılarına bu bilgiyi iletmelerini sağlar.
ITS—Yolcu Bilgilendirme Sistemleri	Yolcu bilgilendirme sistemleri çok yüksek bir hizmet güvenilirliği sağlamamasına rağmen, toplu taşıma kuruluşlarının ve işletme yöneticilerinin beklemekte olan yolcular ile değişikliğe veya aksaklığa uğramış hizmeti o anda kullanmakta olan yolcularla iletişim kurmalarını

	sağlar, bu nedenle aksaklıkların etkilerini azaltır.
Hizmet ve İşletim Planı- Hizmet Sıklığı	Yüksek sıklıktaki BRT sistemleri (5 dakikadan az süreli), izleme aralığı ve çizelgeye bağlılığın değişkenlik gösterdiği zamanlarda bile -taşıtların düzensiz olarak yığılmasından (taşıtlar arasındaki düzensiz aralık) kaçınıldığı süreç- yolculara, herhangi bir durakta, hizmetin gecikme olmaksızın sunulacağı hissini vermektedir.
Hizmet ve İşletim Planı- Hizmet Süresi	Zirve dışı saatlerde (gün ortası ve gece) ve hafta sonlarında da hizmet veren sistemler, potansiyel kullanıcılara gidiş-dönüş yolculukları için genişletilmiş seçenekler sunarlar. Genişletilmiş hizmet süresi, BRT sistemlerini -yolcular açısından kendisine- bağlayıcı yapar.

Bir toplu taşıma kuruluşu, bu BRT bileşenlerine ek olarak, hizmet güvenilirliğini, programlar ve iş süreçleri yoluyla şu şekilde geliştirebilir:

- Taşıtlar ve diğer bileşenler için geliştirilmiş bakım programları
- Yüksek yedekleme oranlarını sağlamak amacıyla filo yönetimi

Mevcut Sistemlerin Performansı

Sistem Performans Örnekleri

O-Bahn Busway, Adelaide, Avustralya

Adelaide, Avustralya'daki O-Bahn Busway, Almanya'da geliştirilen mekanik bir kılavuz sistem kullanan, kuzeybatı banliyölerine hizmet eden (1986 da açılmıştır) 12 km'lik metrobüs sistemidir. Otobüsler, iz üzerindeki yükseltilmiş beton kenarlarla bağlantılı olan yatay kılavuz tekerlekler kullanılarak otomatik olarak yönetilmektedirler. Taşıtlar, hattaki (güzergahtaki) üç durağa hizmet vererek, 100 km/saat'lik bir hıza kadar erişmektedir. Yolculuk süreleri koridor boyunca 40 dakikadan 25 dakikaya düşmüştür.

Sistemin birçok bakımdan hizmet güvenilirliğini maksimum oranda desteklemektedir. İstasyonlar öyle tasarlanmışlardır ki, taşıtlar kılavuz yolu izler ve birden fazla taşıtı barındırabilen istasyonlara hizmet verirler. Bu nedenle taşıtlar, iz üzerinde hiçbir zaman durağan değildir. Bu konfigürasyon, bu hatlara hizmet veren 18 otobüs hattının, her bir hatta gecikme olsa bile aralarında çatışma olmadan işletilmesini garanti etmektedir. Zirve saatlerde, ortalama izleme süresi 1 dakikadan azdır (saatte 67 taşıt). Aynı zamanda lastik tekerlekli taşıtlardaki frenleme kabiliyeti, kılavuz boyunca, taşıtlar arasında 20 saniye gibi kısa bir güvenli işletim mesafesine olanak sağlar. Kılavuz yol üzerinde nadir de olsa gerçekleşen taşıt bozulmaları durumunda, sürücüler, Trafik Kontrol Merkezini bilgilendirir ve yaklaşan taşıtları tehlike belirten bir ışıkla uyarırlar. Kılavuz tekerleklerle donatılmış ve her iki yönde de hareket edebilen özel bir bakım ve onarım aracı, yolda kalan taşıtları onarmak ve kılavuz yola

bakım yapmak için kullanılır. Kılavuz yol tıkandığı zaman, taşıtlar, gecikmeleri en aza indirmek için, paralel anayol boyunca tıkanık bölümden bir sonraki durağa saparlar.

Tri-Met Otomatik Otobüs Sevkıyatı, Portland, Oregon (BRT Harici)

Portland'ın Tri-Met'i, toplu taşıma ITS sistemleri arasında gelişim, uygulama ve yaygınlık açısından bir öncüdür. Otobüs sevkıyat sistemi (BDS) uygulamaya 1997'de başlamış ve tam olarak kullanılmaya hazır hale 1998'de gelmiştir. BDS'nin temel özellikleri şunları içermektedir: GPS tabanlı Otomatik Taşıt Konumlandırma, ses ve veri iletişimleri, taşıt bilgisayar ve hareketli veri deposu, Otomatik Yolcu Sayım Cihazları (kısmi) ve bir Bilgisayar Destekli Sevkıyat Kontrol Merkezi.

BDS'in uygulamasından sonra, hem tam zamanında varış performansında hem de yoğun otobüslerin demetlenmesi durumlarında fark edilir bir gelişme olmuştur. Dahası, tam zamanında varış performansı tüm yolculuklarda %61,4'den %67,2'ye çıkmıştır. Yani, %5,8 kazanç sağlamıştır. En büyük gelişme, %129 kazançla sabah zirve saatinde gerçekleşmiştir. Ayrıca izleme aralığı değişkenliği ve otobüslerin yığılmasında da fark edilir bir azalma olmuştur. Planlanan değerlerinden %70 kısa olan izleme aralıkları ile temsil edilen otobüs yığılmaları %15 azalmıştır. Akşam zirve saatinde şehir merkezinden dışarıya doğru olan seyahatlerde, binişlerde yığılma ve gecikmelere neden olan yüksek orandaki yolcu talepleri hizmette düzensizliğe yol açsa da, otobüslerin yığılması %37 oranında düşmüştür (Strathman, James, et al., Automated Bus Dispatching, Operations Control and Service Reliability: The Initial Tri-Met Experience, 2000 yılında TRB Yıllık Konferansı'nda Washington DC'de sunulmuştur, Ocak 2000).

Bölgesel Toplu Taşıma Bölümü AVL ve CAD sistemi, Denver, Colorado (BRT Harici)

Denver Colorado Bölgesel Toplu Taşıma Bölümü (RTD), tüm işletmede GPS tabanlı bir Otomatik Taşıt Konumlama (AVL) ve Bilgisayar Destekli Sevkıyat (CAD) sistemi kurmak için ABD'de oluşturulan ilk sistemlerden biridir. RTD toplu taşıma sistemi, 6200 km²'yi kapsar ve yaklaşık 1335 taşıttan oluşur. Bu 1335 taşıtın, 936'sı sabit hat hizmetindeki taşıtlar, 27'si 16. Street Mall otobüsleri, 175'i paratransit, 17'si hafif raylı sistem taşıtları ve 180'i denetleme ve bakım taşıtlarıdır. RTD kendi filosuna, "Westinghouse Kablosuz Sistemleri" tarafından geliştirilen bir AVL sistemi kurmaya 1993'de başlamıştır.

AVL sistemi uygulandığından beri toplu taşıma sistemi, kullanıcılarına daha yüksek kalitede hizmet sunmuştur. Birleşik Devletler DOT değerlendirmesinde belirtildiği gibi, "RTD, 1992 ile 1997 arasında, duraklara erken varan taşıtların sayısını 125'e düşürmüştür. Duraklara geç

varan taşıtların sayısını ise %21 oranında azaltmıştır. Bu gelişmeler, zaten iyi işleyen bir sistem üzerinde sağlanmıştır ve kötü hava şartlarının kış boyunca “tam zamanında varış performansı” üzerindeki etkisini göz önünde bulundurmıştır.” Her 100.000 biniş başına gerçekleşen kullanıcı şikâyetleri, 1992’den 1997’e kadar, büyük oranda çizelgeye bağlılığın iyileştirilmesi sebebiyle %26 oranında azalmıştır.

Londra Ulaştırma Geri Sayım (Countdown) Sistemi, Londra, İngiltere (BRT Harici)

Londra, otobüs duraklarında, gelecek otobüsün varış bilgisini sunan sisteme sahip, dünyadaki ilk şehirlerden biridir. “Geri sayım” olarak adlandırılan bu sistem, 1992’de Londra sisteminin 18 güzergâhında denenmiş ve yolcular tarafından oldukça beğenilmiştir. Sistemin yerleştirilmesi aşamalar halinde devam etmiştir. 2002 Mart’ında, 1473 Geri Sayım cihazı kurulmuş ve uygulamaya başlanmıştır. Mart 2003’te 2400, 2005’de ise 4000 cihazın kurulması hedeflenmiştir. Bu 4000 cihaz, tüm durakların %25’ini kapsayacak ve tüm yolculukların %60’ı bundan fayda sağlayacaktır. Geri sayım sistemi doğrudan doğruya hizmet güvenilirliğini etkilemese de, yolcuların algılaması üzerinde fark edilir bir etkiye sahiptir. Sistem kullanıcıları ile yapılan araştırmada, görüşülenlerin %64’ünün, Geri Sayım Sistemi kurulduktan sonra, hizmet güvenilirliğinin arttığına inandıklarını ortaya koymuştur.

Sistem Bazında BRT Bileşenleri ve Hizmet Güvenilirliği

Sorunlarla karşılaşma sıklığı ve buna karşı alınan tedbirler nadiren kayıt altına alındığı ve bunların kolaylıkla karşılaştırılabilecek bir formatına ulaşamadığı için, sistemler arası hizmet güvenilirliğini karşılaştırmak üzere tutarlı bir ölçüt sunmak zordur. Bu nedenle, bu bölümde, hizmet güvenilirliği üzerinde etkisi olan BRT bileşenleri listelenerek, performans üzerindeki etkileri kısaca açıklanmıştır.

2.3.3 Kapasite

Kapasite, bir BRT hattı veya sisteminde bir noktadan geçirilebilen maksimum toplu taşıma taşıtı veya maksimum yolcu sayısını ifade etmektedir. Uygulamada, büyük metropoliten alanların dışında, kapasitenin sorun olduğu az sayıda koridor vardır. Belirli bir BRT hattındaki yolcu talebi, hattın kritik noktasındaki kapasiteye yaklaşır ya da geçerse, bu durumun hizmet kalitesini etkilemesi kaçınılmazdır: Güvenilirlik zarar görmeye başlar, toplu taşıma hızı düşer ve yolcu yükleri (otobüslerdeki yolcu sayıları) artar. Bu nedenle, BRT sistemleri için yeterli kapasite sağlamak önemlidir.

BRT sistem kapasitesinin değerlendirmesi için üç anahtar konu vardır:

- BRT sistem kapasitesi, BRT sistemi içindeki kritik bağlantı (link) veya en düşük kapasite bileşeni ile (örneğin, şişe boynu-darboğaz) sınırlandırılmıştır- BRT sistem kapasitesini belirleyen üç anahtar bileşen bulunmaktadır: 1) BRT Taşıt (yolcu) kapasitesi; 2) BRT İstasyon (Taşıt ve Yolcu) kapasitesi; 3) BRT Seyir Yolu (taşıt) kapasitesi. Bu kapasitelerin hangisi hacimde (throughput) en zorlayıcı olursa, tüm BRT koridoru için denetleyici etken olur.
- Bir BRT sisteminin kapasitesi ile bu BRT sistemi üzerindeki talep arasında bir farklılık vardır- Kapasite, belirli bir BRT hattında hizmet edilebilecek tahmini maksimum yolcu sayısıdır. Talep, hattan faydalanan yolcuların gerçek sayısıdır. Hacim (talep)- kapasite oranı, kapasite kullanımını belirleyen standart bir ölçüdür.
- Kapasite, bir BRT sisteminin arzu edilen Hizmet Seviyesinin (LOS) bir fonksiyonu olup, bu durumun tersi de geçerlidir- Kapasiteyi etkileyen LOS parametreleri şunları içermektedir: 1) Hizmet mevcudiyeti (sıklık, süre ve kapsama alanı ile ölçülür) 2) Konfor seviyesi (örneğin, ayakta duran yolcu yoğunluğu ile ölçülür) 3) Yolculuk süresi ve 4) Güvenilirlik.

TCRP'nin "Toplu Taşıma Kapasitesi ve Hizmet Kalitesi Rehberi", toplu taşıma sistem kapasitesini yolcu bazında ölçmektedir. Bu ölçüt, bu raporda da benimsenmiştir. Kapasite şu şekilde tanımlanmaktadır:

"Belirli bir süre içerisinde, belirlenmiş işletme koşulları altında, beklenmedik bir gecikme, tehlike veya kısıtlama olmaksızın, makul bir kesinlik içerisinde, BRT güzergâhının kritik bölümünde taşınabilecek maksimum yolcu sayısıdır."

Çeşitli BRT sistemlerinin kapasiteleri sunulurken, yolcu kapasitesi; bir BRT hattı boyunca maksimum biniş (load) noktasında bir saatte taşınabilecek teorik maksimum yolcu sayısına

dayanarak tanımlanacaktır. Aslında, gerçek kapasite, BRT sistemlerinde genellikle teorik maksimum kapasiteden daha az sıklıkta otobüs işletilmesi nedeniyle, maksimum yolcu kapasitesinden daha az olabilmektedir. Aşağıdaki paragraflarda şu konular ele alınmaktadır:

- BRT sistem kapasitesi hesabının detaylı bir açıklaması. (Bilgilerin çoğu Toplu Taşıma Kapasitesi ve Hizmet Kalitesi Rehberi–2. Basım’ından alınmıştır.)
- Her bir BRT bileşeninin, BRT sistem kapasitesini nasıl etkilediği.
- Mevcut BRT sistemlerinin kapasite örnekleri.

Yolcu Kapasitesi

Tanımı

BRT sistemleri için, kapasitenin temel ölçütü “Yolcu Kapasitesi” olarak bilinen kavramdır. Yolcu Kapasitesi şöyle tanımlanır:

Belirli bir süre içerisinde, belirlenmiş işletme koşulları altında, beklenmedik bir gecikme, tehlike veya kısıtlama olmaksızın, makul bir kesinlik içerisinde, BRT güzergâhının kritik bölümünde taşınabilecek maksimum yolcu sayısıdır.

Kapasiteyi tartışırken, vurgulanması gereken iki anahtar nokta vardır:

- *Kapasitenin birçok boyutu vardır.* Bir sistemin barındırabileceği kapasite miktarına göre tasarlanması veya işletim kapasitesi, maksimum kapasiteye veya birbirlerine eşit olmak zorunda değildir. Kapasitenin üç boyutunu da -maksimum kapasite, tasarım kapasitesi ve işletme kapasitesi- ele almak faydalıdır. Bu boyutlar arasındaki farklılıklar Çizelge 2.26’da açıklanmıştır.

Çizelge 2.26 Kapasitenin farklı boyutları

Kapasitenin Boyutu	Açıklama	Belirleyicileri
Maksimum Kapasite	Sistemin fiziksel özellikleri tarafından belirlenen kısıtlanmamış teorik maksimum kapasite	Taşıt Boyutu (maksimum) BRT Sistemi (Tesis)
Tasarım Kapasitesi	Yolcu konforu, güvenliği ve kullanışlılığı ile ilgili olan standartlar ve politikalara (kısıtlar) bağlı olarak, aşağı çekilmiş maksimum kapasite	İşletim Politikaları
İşletme Kapasitesi	Taşıt boyutuna ve işletim sıklığına bağlı olan kapasite. İşletim, gerçek yolcu talebine göre boyutlandırıldığı için, işletim kapasitesi maksimum kapasiteden genellikle düşüktür.	Hizmet Sıklığı Taşıt Boyutu (Gerçek boyut, sistemin işletebileceğinden daha küçük olabilir)

- *Talep ile kapasite birbirinden farklı kavramlardır.* Kapasite, belirli bir BRT sisteminde hizmet *edilebilen* tahmini maksimum yolcu sayısının ölçüsüdür. Talep ise, bu BRT sistemini kullanmak isteyen gerçek yolcu sayısıdır. Sistemin erişilebilirliği ile ilişkili olarak -yüksek yoğunluklu yerleşmelere yakınlık, istasyonlara erişim için yaya bağlantılarının bulunması, bisiklet yolları ve otomobil park olanakları gibi- bazı nitelikler, BRT sistemi için talebi arttırabilir, ancak kapasitesinde değişiklik sağlayamaz.

BRT Bileşenlerinin Yolcu Kapasitesi Üzerindeki Etkileri

Farklı BRT bileşenleri, kapasitenin aşağıda belirtilen üç farklı boyutunu belirlemektedir.

1. Maksimum Yolcu Kapasitesi

Maksimum yolcu kapasitesini belirleyen üç temel faktör- BRT Taşıtlarının Yolcu Kapasitesi (bir taşıtın ne kadar yolcu taşıyabileceği), BRT Sistemlerinin (tesislerinin) Taşıt Kapasitesi ve Yolcu Talep Özellikleri'dir. Her bir etmenin, sistem bütünündeki yolcu kapasitesi üzerindeki etkisi aşağıda daha detaylı bir şekilde açıklanmıştır.

BRT Taşıtlarının Yolcu Kapasitesi, bir taşıtın güvenli ve konforlu bir şekilde taşıyabileceği, oturan ve ayaktaki yolcuların maksimum sayısını ifade etmektedir. Ayrıca, uzunluğu, kapı sayısı ve genişliği gibi diğer taşıt özellikleri de bekleme süresi ve BRT sistem (tesis, facility) kapasitesini etkiler.

BRT Sistemlerinin Taşıt Kapasitesi, belirli bir BRT sistemini kullanan, saatteki taşıt sayısını tanımlamaktadır. Bu çoğunlukla, BRT sisteminin seyir yolları ile duraklarının bileşke kapasiteleri ve özellikleri tarafından belirlenmektedir. Seyir yolları ve istasyonların ikisi için de, hem sistemin boyutunu arttıran (örneğin, çoklu seyir yolu şeritleri, daha geniş istasyonlar) hem de gecikmeleri azaltan ve de sistemin hizmet oranını arttıran (örneğin, trafik önceliklendirme sistemleri, erişim kontrolü, bekleme süresini azaltmak için stratejiler) strateji ve tasarlama bileşenleri vasıtasıyla kapasite iyileştirilmektedir.

Performansın belirlenmesinde tekil bileşenlerin hepsi rol oynarken, kapasitenin belirlenmesinde en kısıtlayıcı bileşen önem taşımaktadır. BRT sistemlerinin tekil elementleri tekil kapasitelere sahipken (taşıtlar, istasyon biniş alanları, taşıtlara giriş yerleri -kapılar-, seyir yolu şeritleri); BRT sistem kapasitesi, sistemdeki darboğazlar ya da en düşük yolcu kapasitesine sahip olan bileşenler tarafından belirlenmektedir. Örneğin, seyir yolunda kapasite yüksek olabilir ancak, kendisinden önceki taşıtlar durakta indirme ya da bindirme yaptığı için, durağa varan BRT taşıtının beklemesi gerekiyorsa, BRT Taşıtı Biniş Alanı Kapasitesi, sistemin taşıyabileceği maksimum yolcu miktarını belirler.

Yolcu Talep Özellikleri, sistemdeki maksimum yüklenme noktalarının (potansiyel darboğazlar) konumunu (yerini) ve yolcu indirme/bindirme sürelerini etkilemektedir. Anahtar yolcu talep özellikleri şunları içermektedir:

- Yolcu Talebinin Zamana Göre Dağılımı- Yolcuların dağılımı arttıkça, sistem kapasitesi de yükselir.
- Yolcu Seyahat Uzunluğu- Uzun mesafe yolculuklar belirli tek bir çizelge (program) ile hizmet sunumunu kısıtlar.
- Yolcu Binişlerinin İstasyonlar Arasındaki Dağılımı- Yüksek yolcu miktarına sahip istasyonlar, sistemin taşıyabileceği araç miktarını azaltan maksimum duruş sürelerine neden olmaktadır.

2. Tasarım Kapasitesi

İşletmeciler, teorik maksimum kapasitenin altında olan taşıtlar ve/veya çeşitli hizmet tipleri için biniş (yükleme) ve hizmet sıklığı standartlarını tanımlamaktadır. Bu tür standartların örnekleri şunlarla ilişkilidir:

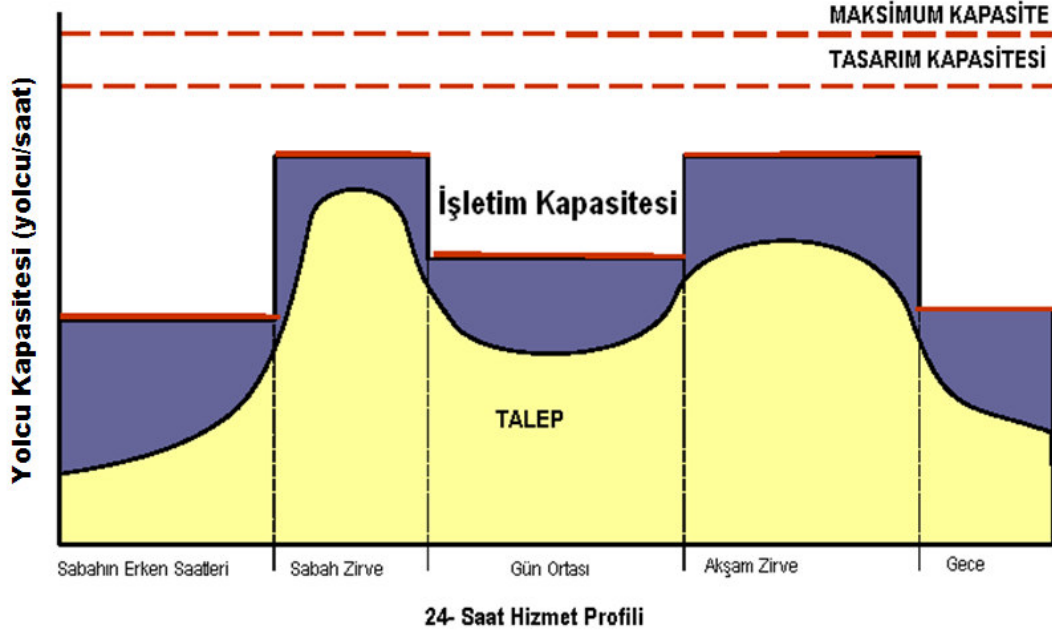
- Konfor (yükleme standartları, ayakta duran yolcu ile ilgili politikalar)- Bazı üst düzey park et ve bin veya ekspres hizmetler, ayakta yolcu almama standartlarına dayalı politikalara sahiptir.
- Güvenlik (minimum aralık, sollama limitleri, hız limitleri) – Sistemler (tesisler), güvenli görüş ve duruş mesafeleri ile diğer trafik mühendisliği kaygılarına dayalı daha yüksek bir hizmet sıklığı kullanabilecekleri halde, hizmetin sıklığı, her 5 veya 10 dakikada bir taşıt şeklinde ayarlanabilmektedir.
- Yönetilebilirlik (minimum izleme süresi, çizelge iyileştirme politikaları)- İşletmeci politikaları, kararlı/durağan izleme sürelerinin, belirli minimum izleme süresini koruyarak ya da çizelgede daha uzun telafi süresi tanımlayarak sağlanabildiğini göstermektedir.

Bu politika kısıtları, sistem için daha düşük bir “tasarım” yolcu kapasitesine neden olmaktadır.

3. İşletme Kapasitesi

Gerçek kapasitenin son belirleyicisi, hizmetin sıklığı ve işletilen taşıtların büyüklüğüdür. Yolcu talebi, sistemin maksimum kapasitesine her zaman erişemediği için, BRT sistemleri, sistemin çalıştırabileceğinden daha düşük sıklıkta veya daha küçük taşıtlarla işletilirler. Talep arttıkça, talebi karşılamak veya kullanılmayan kapasitenin avantajından faydalanmak için

sıklık ve taşıt büyüklüğü arttırılabilir. Bu çeşitli kapasite kavramlarının birbiriyle ilişkisi Şekil 2.3’de gösterilmektedir:



Şekil 2.3 Kapasite kavramlarının birbirleri ile olan ilişkisi

Her bir BRT bileşeninin bu üç kapasite türüne katkısı Çizelge 2.27’de özetlenmekte ve bu bölümün devamında tartışılmaktadır.

Çizelge 2.27 BRT bileşenleri ile yolcu kapasite türleri arasındaki ilişki

Kapasite Etken (BRT Bileşeni)	Bir Taşıtta Kaç Yolcunun Taşınabileceğini Etkileyen Bileşenler	Maksimum Kapasite		İşletme Kapasitesi- Gerçekte İşletilen Kapasiteyi Etkileyen Bileşenler
		BRT Sisteminde İşlem Görebilecek Taşıt Miktarını Etkileyen Bileşenler	Taşıtların Sistem İçinden Geçme Hızını Etkiler	
Seyir Yolları		✓	✓	
İstasyonlar		✓	✓	
Taşıtlar	✓		✓	✓
Ücret Toplama			✓	
ITS			✓	
Hizmet ve İşletim Planları				✓

Çizelge 2.28 BRT bileşenleri ve yolcu kapasitesi

Seyir Yolları – Seyir Yolu Ayrımı	Tercihli Şeritler, Hemzemin Özel Şeritler ve Katlı Özel Şeritlerin kullanımı yoluyla seyir yolunun ayırım derecesini arttırmak, BRT taşıtı dışında bu sistemi kullanan taşıtların sayısını ve aynı zamanda paralel ve karşı trafikle olan kesişimleri azaltmaktadır. Bu, her bir şeridin taşıyabileceği toplu taşıma taşıtlarının sayısını ve sıklığını artırır. Çoğu durumda, BRT sistemleri, seyir yollarının çeşitli (çoklu) tiplerini bir arada barındırmaktadır. Bu durumlarda, seyir yolu kapasitesi, en düşük taşıt hacmine sahip seyir yolu bölümlerince kısıtlanmıştır. Etkin olarak, bir seyir yolunun yolcu kapasitesi, seyir yolunun en kısıtlayıcı kesimi tarafından sınırlandırılmaktadır.
İstasyonlar- İstasyon Tipi	Bir istasyonun hizmet süresini etkileyen faktörler (bir BRT taşıtının durağa girmesi ile duraktan çıkması arasında geçen süre) şunları içermektedir: • Otobüs yanaşma girintileri (bays) / yanaşma yerleri (berths)/ biniş alanları için yeterli kapasite • Yolcu/ sürücü etkileşim süresini azaltmak için gerçek-zamanlı yolcu bilgilendirmesi (ITS) • Taşıt Dışında Ücret Ödeme • Çok kanaldan binişe izin veren istasyon kapasitesi ve planı/tasarımı
İstasyonlar- Platform Yüksekliği	Yükseltilmiş Kaldırımlar ve Hemzemin Platformlar, tüm yolcular için inme ve binme işlemini kolaylaştırarak kapasiteyi artırırlar ve özellikle yaşlı, küçük-geç ve engelli yolcular için faydalıdır.
İstasyonlar- Platform Planı	Uzatılmış Platformlar, daha fazla taşıtı barındırırlar, böylece aynı anda biniş yapacak yolcu sayısını artırırlar.
İstasyonlar- Sollama Kabiliyeti	Duran, gecikmiş veya bozulmuş taşıtları geçmeye izin veren daha geniş seyir yollarına sahip istasyonlar, BRT sistemindeki darboğazları ortadan kaldırırlar.
Taşıtlar- Taşıt Konfigürasyonu	Körüklü taşıtlar gibi daha uzun otobüsler, 12 m uzunluğundaki otobüslere oranla, oturan ve ayakta yolcuların kombinasyonunda, yaklaşık %50 daha yüksek bir yolcu kapasitesine sahiptir. Tipik uzunluktaki otobüslerin kapıları, döşemeleri ve kapasiteleri Çizelge 2.29’da gösterilmiştir.
ITS- Taşıt Önceliklendirme	Taşıt önceliklendirme teknolojileri – Sinyal Zamanlaması/Devre Süreleri, Toplu Taşıma Sinyal Önceliği, İstasyon ve Şerit Erişim Kontrolü’nü içeren - seyir yolu ve durak giriş çıkışları boyunca BRT taşıtlarının diğer trafikle kesişme ve potansiyel gecikme sorunlarını azaltır.
ITS- Sürücü Destek ve Otomasyonu	Sürücü desteği ve otomasyonu, toplu taşıma hizmetinin sıklığını potansiyel olarak artırır ve duruş başına toplam süreyi azaltır. Çarpışma Önleme ve Şerit Desteği, taşıtların güvenli bir şekilde, birbirine yakın işletilmesine olanak verir ve ayrıca BRT taşıtlarının akan trafiğe hızlı ve güvenli bir şekilde yeniden giriş yapmasına izin verir. Tam Yanaşma, bir BRT taşıtının, her defasında kesin ve tutarlı bir şekilde aynı yerde durmasına izin verir, durağa yaklaşma ve duraktan ayrılmasını hızlandırır ve yolcuların tam olarak binmek için nerede sıraya geçeceklerini bilmelerine yardımcı olur, dolayısıyla, genel duruş süresini azaltır.
ITS- İşletim Yönetimi Sistemleri	Otomatik Taşıt Sevk Çizelgeleme Sistem’leri daha yüksek bir taşıt sıklığına izin verir ve tıkanıklık yaratan olaylara müdahaleyi kolaylaştırır. Taşıt İzleme, BRT durağına varan BRT taşıtlarının hata oranını azaltır.

Hizmet ve İşletim Planı- Hizmet Sıklığı	Hizmet sıklığı, işletim kapasitesinin anahtar belirleyicilerinden biridir. Sıklığı arttırmak, aynı sürede, yolculara daha fazla alan (daha fazla yolcu alanı) sağlar. Buna rağmen, sistemin maksimum yolcu kapasitesini değiştirmedigini belirtmek gerekir.
Hizmet ve İşletim Planı- İşletme Prosedürleri	Hizmet ve İşletim Planları'nın diğer bileşenleri, yolcu talebini karşılamak üzere kapasitenin kullanılma şeklini etkileyebilir. Kapasiteyi etkileyen bazı bileşenler: • Yasal minimum ve maksimum işletme hızları – örneğin, otobüs yolları üzerinde kavşaklarda yavaşlama, durağa yaklaşma hızları • Ayakta duran yolcu politikaları • İstasyondan ayrılan otobüslere yol verilmesi • Engelli yolcular ve bisikletleri yükleme ile ilişkili politikalar • BRT dışı taşıtların seyir yolunu kullanmasını yasaklayan caydırma politikalarının uygulanması

Çizelge 2.29 ABD ve Kanada'nın tipik BRT taşıt boyutları ve kapasiteleri

Uzunluk (m)	Genişlik (m)	Kapı Kanalı Sayısı	Koltuk sayısı*	Maksimum Kapasite**
12,2	2,45-2,6	2-5	35-44	50-60
13,8	2,45-2,6	2-5	35-52	60-70
18	2,5-2,6	4-7	31-65	80-90
24	2,5-2,6	7-9	40-70	110-130

* Tekerlekli sandalye bağlama alanlarındaki koltuklar dahil

**Kapasite, metrekafe başına 3 yolcu yoğunluğunda hesaplanan oturan ve ayakta yolcuları içerir.

Mevcut Sistemlerin PerformansıAraştırma özeti

Anayollarda BRT seyir yolu kapasitesi, büyük ölçüde tasarıma ve seyir yolu işletmesine dayalı olarak değişir. Dünyadaki toplu taşıma yollarının Çizelge 2.30'da sunulan seyir yolları araştırması, taşıt sıklığının saatte 200 ila 300 taşıta ulaştığını göstermektedir. Bu, BRT sistemleri için kapasitenin, birçok gelişmiş şehir koridorlarının kapasite ihtiyacının ötesine ulaştığını göstermektedir.

Çizelge 2.30 Zirve saatte gözlenen maksimum otobüs akımı, toplu taşıma yollarında zirve biniş noktalarındaki yolcu akımı ve kapasite

Seyir Yolu Tipi	Uygulanan Şehirler	Ölçülen Zirve Saat Taşıt Akımı (Taşıt/saat)	Ölçülen Zirve Saat Yolcu Akımı (Yolcu/saat)	Tahmini Pratik Kapasite (Yolcu/saat)
Tercihli Şerit	Ankara İstanbul Fildişi Sahilleri	91-197	7.300-19.500	5.800-18.100
Besleyici Hatla Birlikte Tercihli Şeritler	Curitiba, Brezilya	94	9.900	13.900-24.100
Otobüs Düzeniyle Birlikte Tercihli Şeritler (Dizi Halinde Seyahat)	Porto Alegre, Brezilya (2 adet ayrımli sistem)	260-304	17.500-18.300	8.200-14.700
Örtüşen Güzergahlar, İstasyonda Sollama Ve Ekspres Hatlarla Birlikte Tercihli Şeritler	Belo Horizonte, Brezilya Sao Paulo, Brezilya	216-221	15.800-20.300	14.900-27.900

Sistem Performans Örnekleri

Martin Luther King Jr. East Busway, Pittsburgh, PA

Liman Kurumu'ndaki planlamacılar, Martin Luther King Jr. East Busway'de her 24 saniyede bir otobüs veya saatte toplam 150 taşıt işletilebileceğini tahmin etmişlerdir. Maksimum boyuttaki taşıtların çalıştırılabileceği varsayılarak, 63 koltuklu körüklü taşıtlar ile, sistemin maksimum yolcu kapasitesi saatte 9450 yolcu olmaktadır.

RAPID, Phoenix Kamu Toplu Taşıma Departmanı

Phoenix RAPID sistemi deneyimi, işletme sıklığının bir BRT sisteminin İşletme Kapasitesini nasıl belirlediğini gösterir. RAPID sistemi ilk işletilmeye başladığında, toplu taşıma pazarına yönelik sınırlı sayıda seferi hizmete koymuştur. Bunun ötesinde, Phoenix Kamu Toplu Taşıma Departmanı, toplu taşıma pazarı için özel üretilmiş, yüksek arkalıklı ve yatar koltuklara sahip yolcuların rahat edeceği otobüsler kullanmıştır. Böylece, Phoenix Kamu Toplu Taşıma Departmanı, kısıtlı ayakta yolcu alma politikası ile her otobüsün genel kapasitesini, belirlenmiş Tasarım Kapasitesine indirmişlerdir.

RAPID hizmeti devam ettikçe ve dışsal sebepler potansiyel kullanıcıları (örneğin, benzin fiyatlarının yükselmesi, kirlilik ve kentiçi trafik tıkanıklığı) etkiledikçe, talep, zirve saatteki pek çok seyahatte yolcuyu ayakta bırakan önceden belirlenmiş İşletme Kapasitesini geçmeye

başlar. RAPID sistemi ayakta yolcularla birlikte işletilmeye devam ettikçe, yolcu konforu (örneğin, koltuk mevcudiyeti) sistemin tasarımında kritik bir bileşen haline gelecektir. Koltuk mevcudiyetine katkıda bulunabilmek için zirve saatlere dört ek sefer konulmuştur, böylece sistemin İşletme Kapasitesi de artmıştır.

Sistem Bazında BRT Bileşenleri ve Yolcu Kapasitesi

Çizelge 2.31, kapasiteyi etkileyen BRT bileşenlerinin özelliklerinin özetini ve birçok BRT sistemi için sistem bazında sonuç kapasitelerini sunmaktadır. Birçok durumda, gelir getiren mevcut BRT sistemleri (Çizelge 2.31’de gösterilen), tasarım veya maksimum kapasitelerinde veya bu kapasitelere yakın işletilmemektedirler. Miami ve Pittsburgh’deki West ve South Busway’de, entegre ağlarda işletilen bu sistemler için bile, kombine izleme süreleri seyir yolu kapasitesinin yakınlarında değildir. Sadece East Busway, sistemin maksimum kapasitesine yakın olan bir sıklığa (zirve saatte 104 taşıtla) sahiptir. Bu nedenle, kapasite üzerindeki kısıtlama, sistem veya altyapı değil, mevcutta işletilmekte olan taşıtların sıklığıdır. Henüz hiçbir sistem, seyir yolundaki maksimum taşıt kapasitesine ulaşmamıştır.

Çizelge 2.31 Sistem bazında BRT bileşenleri ve yolcu kapasitesi

	Boston	Chicago	Chicago	Chicago	Honolulu	Honolulu
	Silver Line	Western Avenue Express (X49)	Irving Park Express (X80)	Garfield Express (X55)	City Express A	City Express B
Seyir Yolu						
Karma Akım Şeritleri (km)	0,3	29,5	14,5	15,1	31,5	11,3
Tercihli Anayol Şeritleri (km)	3,5					
Hemzemin Özel Şeritler (km)						
Katlı Ayrımlı Özel Şeritler (km)						
Kılavuzlama	-	-	-	-	-	-
İstasyonlar						
İstasyon Tipi	İyileştirilmiş Korunak	İyileştirilmiş Korunak	İyileştirilmiş Korunak	İyileştirilmiş Korunak	İyileştirilmiş Korunak	İyileştirilmiş Korunak
Platform Yüksekliği	Standart Kaldırım	Standart Kaldırım	Standart Kaldırım	Standart Kaldırım	Standart Kaldırım	Standart Kaldırım
Platform Uzunluğu (Taşıt Sayısı)	1	1	1	1	1	1
Sollama Kapasitesi	Bitişik Karma Akım Şeridi					
Taşıtlar						
Taşıt Tipi	Özel Görünümlü BRT Taşıtı	Geleneksel Standart (12m)	Geleneksel Standart (12m)	Geleneksel Standart (12m)	Geleneksel Körüklü (18 m)	Geleneksel Körüklü (18 m)
Ücret Toplama						
Ücret Toplama Yöntemi	Binişte Ödeme	Binişte Ödeme	Binişte Ödeme	Binişte Ödeme	Binişte Ödeme	Binişte Ödeme
ITS						
Taşıt Önceliklendirme	TSP					
İşletim Yönetimi	Gelişmiş Haberleşme, AVL				Gelişmiş Haberleşme, AVL	Gelişmiş Haberleşme, AVL
Hizmet ve İşletim Planı						
Hizmet Sıklığı (dakika cinsinden zirve izleme aralıkları)	4	9	12	11	11	30
Performans						
Zirve saatte işletilen maksimum taşıt sayısı (BRT taşıtları)	15	6,5	5	5,5	5,5	2
Zirve saatte işletilen taşıt sayısı (BRT-harici taşıtlar)	-	5,5	7			

Çizelge 2.31 Sistem bazında BRT bileşenleri ve yolcu kapasitesi (devam)

	Honolulu	Las Vegas	Los Angeles	Los Angeles	Los Angeles	Los Angeles
	City Express C	North Las Vegas MAX	Metro Rapid Wilshire	Metro Rapid Ventura	Metro Rapid Vermont	Metro Rapid Crenshaw
Seyir Yolu						
Karma Akım Şeritleri (km)	48,3	4,7	41,4	26,9	19,2	30,3
Tercihli Anayol Şeritleri (km)		7,6				
Hemzemin Özel Şeritler (km)						
Katlı Ayrımlı Özel Şeritler (km)						
Kılavuz	-	İstasyonlarda Tam Yanaşma	-	-	-	-
İstasyonlar						
İstasyon Tipi	İyileştirilmiş Korunak	Özel İstasyon	İyileştirilmiş Korunak	İyileştirilmiş Korunak	İyileştirilmiş Korunak	İyileştirilmiş Korunak
Platform Yüksekliği	Standart Kaldırım	Hem Zemin Platform	Standart Kaldırım	Standart Kaldırım	Standart Kaldırım	Standart Kaldırım
Platform Uzunluğu (Taşıt Sayısı)	1	1	1	1	1	1
Sollama Kapasitesi		Bitişik Karma Akım Şeridi	Bitişik Karma Akım Şeridi	Bitişik Karma Akım Şeridi		
Taşıtlar						
Taşıt Tipi	Geleneksel Körüklü (60')	Özel Donanımlı BRT Taşıtı	Geleneksel Standart (40')	Standart	Standart	Standart
Ücret Toplama						
Ücret Toplama Yöntemi	Binişte Ödeme	İspat Gerektiren Ödeme	Binişte Ödeme	Binişte Ödeme	Binişte Ödeme	Binişte Ödeme
ITS						
Taşıt Önceliklendirme İşletim Yönetimi	Gelişmiş Haberleşme, AVL	TSP Gelişmiş Haberleşme, AVL	TSP Gelişmiş Haberleşme, AVL	Gelişmiş Haberleşme, AVL	Gelişmiş Haberleşme, AVL	Loop Detektörleri/ İnfrared Sensörler
Hizmet ve İşletim Planı						
Hizmet Sıklığı (dakika cinsinden zirve izleme aralıkları)	30	17	9		4	13
Performans						
Zirve saatte işletilen maksimum taşıt sayısı (BRT taşıtları)	2	4	7	15	17	4,5
Zirve saatte işletilen taşıt sayısı (BRT-dışı taşıtlar)		2	3-9	6,5	7	4

Çizelge 2.31 Sistem bazında BRT bileşenleri ve yolcu kapasitesi (devam)

	<i>Los Angeles</i>	<i>Los Angeles</i>	<i>Los Angeles</i>	<i>Orlando</i>	<i>Miami</i>	<i>Miami</i>	<i>Oakland</i>
	Metro Rapid Van Nuys	Metro Rapid Broadway	Metro Rapid Florence	LYMMO	Yerel Busway	Busway MAX	Rapid San Pablo Corridor
Seyir Yolu							
Karma Akım Şeritleri (km)	34,4	16,9	16,6	-	24,1	12,9	22,5
Tercihli Anayol Şeritleri (km)	-	-	-	-	-	-	-
Hemzemin Özel Şeritler (km)	-	-	-	4,8	-	-	-
Katlı Ayrımlı Özel Şeritler (km)	-	-	-	-	-	-	-
Kılavuz	-	-	-	-	-	-	-
İstasyonlar							
İstasyon Tipi	İyileştirilmiş Korunak	İyileştirilmiş Korunak	İyileştirilmiş Korunak	İyileştirilmiş Korunak	Özel İstasyon	Özel İstasyon	İyileştirilmiş Korunak
Platform Yüksekliği	Standart Kaldırım	Standart Kaldırım	Standart Kaldırım	Standart Kaldırım	Yükseltilmiş Kaldırım	Yükseltilmiş Kaldırım	Standart Kaldırım
Platform Uzunluğu (Taşıt Sayısı)	1	1	1	2	3	3	1
Sollama Kapasitesi					İstasyonlarda Solama Şeritleri	Otobüs Cepleri	
Taşıtlar							
Taşıt Tipi	Standart	Standart	Standart	Standart, Körüklü, Mini	Standart, Körüklü, Mini	Standart, Körüklü, Mini	Özel Görünümlü Standart
Ücret Toplama							
Ücret Toplama Yöntemi	Binişte Ödeme	Binişte Ödeme	Binişte Ödeme	N/A (Ücretsiz)	Binişte Ödeme	Binişte Ödeme	Binişte Ödeme
ITS							
Taşıt Önceliklendirme İşletim Yönetimi	Gelişmiş Haberleşme, AVL	Gelişmiş Haberleşme, AVL	Gelişmiş Haberleşme, AVL	AVL/ Wi-Fi	x	x	
Hizmet ve İşletim Planı							
Hizmet Sıklığı (dakika cinsinden zirve izleme aralıkları)	15	30	11	5	10	10	12
Performans							
Zirve saatte işletilen maksimum taşıt sayısı (BRT taşıtları)	4	2	5,5	8	4,5	12	5
Zirve saatte işletilen taşıt sayısı (BRT-dışı taşıtlar)	5,5	9,5	4	-			2

Çizelge 2.31 Sistem bazında BRT bileşenleri ve yolcu kapasitesi (devam)

	<i>Pittsburgh</i>	<i>Pittsburgh</i>	<i>Pittsburgh</i>	<i>Phoenix</i>	<i>Phoenix</i>	<i>Phoenix</i>	<i>Phoenix</i>
	East Busway	South Busway	West Busway	Rapid I-10 East	RAPID I-10 West	RAPID SR-51	RAPID I-17
Seyir Yolu							
Karma Akım Şeritleri (km)	0,6	-	0,6	10,5	7,7	19,8	12,9
Tercihli Anayol Şeritleri (km)	-	-	-	22,5	12,9	16,6	18,5
Hemzemin Özel Şeritler (km)	-	-	-	-	-	-	-
Katlı Ayrımlı Özel Şeritler (km)	14,0	6,9	7,4	-	-	-	-
Kılavuz	14,0						
İstasyonlar							
İstasyon Tipi	Özel İstasyon	Özel İstasyon	Özel İstasyon	İyileştirilmiş Korunak	İyileştirilmiş Korunak	İyileştirilmiş Korunak	İyileştirilmiş Korunak
Platform Yüksekliği	Standart Kaldırım	Standart Kaldırım	Standart Kaldırım	Standart Kaldırım	Standart Kaldırım	Standart Kaldırım	Standart Kaldırım
Platform Uzunluğu (Taşıt Sayısı)	2-3	2-3	2-3	1	1	1	1
Sollama Kapasitesi	İstasyonlarda Solama Şeritleri	Bitişik Karma Akım Şeridi	Bitişik Karma Akım Şeridi	Otobüs Cepleri	Otobüs Cepleri	Otobüs Cepleri	Otobüs Cepleri
Taşıtlar							
Taşıt Tipi	Geleneksel Standart ve Körüklü	Geleneksel Standart ve Körüklü	Geleneksel Standart ve Körüklü	Özel Donanımlı Standart	Özel Donanımlı	Özel Donanımlı	Özel Donanımlı
Ücret Toplama							
Ücret Toplama Yöntemi	Binişte Ödeme	Binişte Ödeme	Binişte Ödeme	Binişte Ödeme	Binişte Ödeme	Binişte Ödeme	Binişte Ödeme
ITS							
Taşıt Önceliklendirme İşletim Yönetimi	TSP (1 Sinyal) ,AVL	TSP (1 Sinyal) AVL	TSP (1 Sinyal) AVL	TSP (1 Sinyal) Otomatik Sevk, AVL	TSP (1 Sinyal) Otomatik Sevk, AVL	TSP (1 Sinyal) Otomatik Sevk, AVL	TSP (1 Sinyal) Otomatik Sevk, AVL
Hizmet ve İşletim Planı							
Hizmet Sıklığı (dakika cinsinden zirve izleme aralıkları)	12 (sabit temel hizmet); < 1 dakika (zirve saatteki tüm hizmetler)	12 (temel hizmet?)	12 (temel hizmet?)	10	10	10	10
Performans							
Zirve saatte işletilen maksimum taşıt sayısı (BRT taşıtları)	104		45	6	6	6	6
Zirve saatte işletilen taşıt sayısı (BRT-dışı taşıtlar)							

3. OTOBÜS KAPASİTESİ VE HİZMET KALİTESİ ANALİZİ

3.1 Giriş

Bir sistemin otobüs kapasitesi; yaya ve taşıt hareketliliği ile ilgili olup, kullanılan otobüslerin boyutları ve otobüslerin işletim sıklığına bağlıdır, ayrıca yolcu yoğunlukları ve taşıt akımı arasındaki etkileşimi yansıtır. Aynı zamanda hizmet sağlayıcının –hizmet sıklığı ve otobüste izin verilen yolcu sayısı olarak belirtilen– işletim politikasına da bağlıdır. Sonuç olarak, taşınan yolcu sayısı cinsinden otobüs hatlarının, şeritlerinin ve duraklarının kapasiteleri aşağıdakilerle sınırlıdır:

1. Durak ve biniş alanlarının yolcuları taşıta alma ve taşıttan indirme kabiliyetleri,
2. İşletilen taşıt sayısı,
3. Hat boyunca biniş ve inişlerin dağılımı

Çeşitli tesis ve işletim tiplerine göre sistemin otobüs kapasitesi ve hızının hesaplanması için aşağıdaki yöntemler kullanılır:

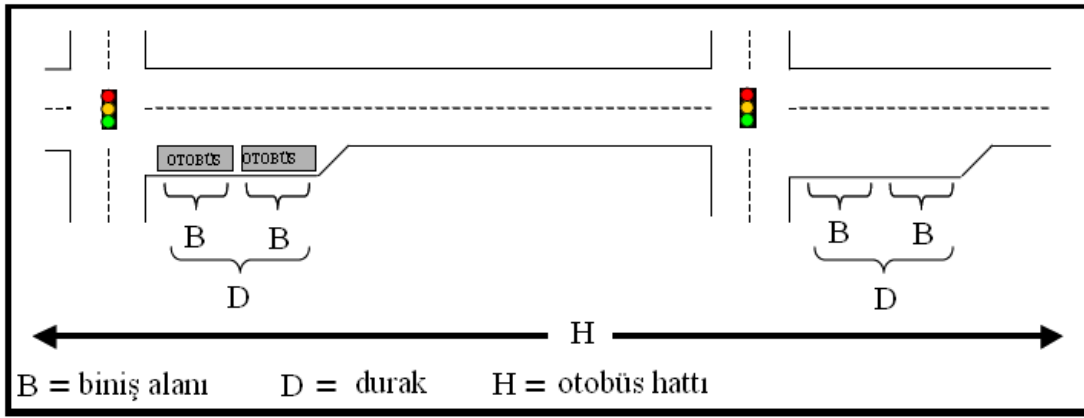
1. Sistemin otobüs kapasitesini saptamak için kullanılan temel etkenlerin belirlenmesi/tanımı.
2. Otobüs performansını etkileyen toplu taşıma tercihi iyileştirmeler ve işletim ölçütlerinin belirlenmesi.
3. Toplu taşıma önceliğinin etkilerini saptamakta kullanılan planlama yaklaşımları.
4. Özel seyir yolunda hizmet veren sistemler.

3.2 Otobüs Kapasite Esasları

3.2.1 Kapasite Hesaplama Yöntemi

Otobüs kapasitesi üç anahtar alan için hesaplanır (Şekil 3.1)

1. *Otobüse biniş alanları (otobüs yanaşma alanları)*; tek bir otobüsün yanaştığı, yolcuların otobüse bindiği ve otobüsten indiği yerlerdir.
2. *Otobüs Durakları*; bir veya birkaç biniş alanının birleşmesiyle oluşur. Kaç otobüsün, aynı anda bu durağı kullanacağını belirler.
3. *Otobüs hattı*; otobüslerin kullandığı seyir yolları ve duraklarından oluşan sistemdir.



Şekil 3.1 Biniş alanı, durak ve hat arasındaki ilişki

Otobüs hattının kapasitesi, otobüs durağını biçimlendiren biniş alanlarının tekil kapasitelerine bağlıdır. Benzer şekilde, bir hattın kapasitesi, sistemdeki kritik otobüs durağının (en yüksek yolcu hacmine ve en uzun bekleme süresine sahip olan durağın) kapasitesi tarafından sınırlandırılmaktadır.

Otobüs hattının kapasitesi, en çok, hattın seyir yolu ayırım biçimine göre değişmektedir– diğer trafiklerle kesişme olmaması durumunda hat, çok daha yüksek bir kapasiteye sahip olacaktır.

Biniş Alanlarının Otobüs Kapasitesi

Biniş alanlarının otobüs kapasitesi aşağıdaki etkenlere bağlıdır:

- Duruş süresi (dwell time)– otobüsün, yolcu indirme ve bindirmesi sırasında, durakta geçirdiği ortalama süreyi temsil etmektedir. Kapının açılma ve kapanması için gereken süreyi de içermektedir.
- Boşaltma süresi (clearance time)– bir otobüsün biniş alanından tamamen çıkıp, bu alanı gelecek diğer otobüs için boşalttığı minimum süredir– akan trafiğe katılmak için boşluk

(gap) bekleme için harcanan süreyi de içermektedir.

- Duruş süresinin değişkenliği (dwell time variability)– biniş alanını kullanan otobüslerin duruş sürelerindeki uyumluluğu (veya uyum bulunmamasını) ifade etmektedir.
- Hata oranı– Bir otobüs biniş alanına geldiğinde, bu alanın başka bir otobüs tarafından işgal edilmiş (kullanılıyor) olma olasılığıdır.

Duruş süresi ve boşaltma süresi birlikte tek bir otobüsün biniş alanını işgal ettiği ortalama süreyi vermektedir. Duruş süresinin varyasyonu ile tasarımda kullanılan hata oranının kombinasyonu, otobüslerin çoğunun biniş alanına varır varmaz hizmet görebilmesini garanti etmek için ek bir tolerans süresinin (margin of time) kullanılmasını gerektirir. Bu iki kombinasyonun birlikte kullanılmasıyla, otobüsler arasındaki etkileşimi (çatışmayı) önlemek için gerekli olan minimum izleme süresi elde edilebilir. Bir saatin saniye değerinin izleme süresine bölünmesiyle, bir saatte tek bir biniş alanını kullanabilecek otobüs sayısı (loading area capacity) elde edilir.

Durakların Otobüs Kapasitesi

Otobüs duraklarının otobüs kapasitesi aşağıdakilere bağlıdır:

- Biniş alanı sayısı– iki biniş alanına sahip olan duraklar, tek biniş alanına sahip olan duraklara oranla daha fazla otobüs barındırabilecektir, ancak bu değer iki kat olmayabilir.
- Biniş alanı tasarımı– biniş alanlarının tasarım biçimi, ileride eklenecek olan her bir biniş alanının getireceği ekstra kapasiteyi belirler.
- Trafik kontrol biçimi– trafik sinyalleri belirli bir periyotta, durağa varan veya duraktan ayrılan otobüs miktarını kısıtlayabilmektedir. Eğer bir otobüs duraktan ayrılmaya hazırlanırken kırmızı ışığa yakalanırsa, bu otobüs durakta daha uzun süre kalır ve sonuçta durak kapasitesi azalır.

Hattın Otobüs Kapasitesi

Hattın otobüs kapasitesi aşağıdakilere bağlıdır:

- Kritik durak kapasitesi- hat boyunca en düşük kapasiteye sahip durak, buradan geçebilen otobüs sayısını kısıtlar. Bu otobüs durağı genellikle en uzun duruş süresine sahip duraktır, ancak durak yakınında sağa dönen yüksek trafik hacimleri veya otobüs hattına çok kısa süre yeşil gösteren trafik ışığı da kısıtlar arasında sayılabilir.
- İşletim düzeni- tüm otobüslerin bütün duraklarda durması yerine, otobüs duruşlarını belirli bir grup durağa dağıtan (durak atlamalı; skip-stop) hat tasarımı, hattın kapasitesini büyük ölçüde arttırabilir.

Otobüslerin yol boyunca durmadığı yüksek doluluklu taşıt (High Occupancy Vehicle, HOV) şeritlerinin kapasitesi genellikle yeterlidir. HOV şeridini kullanabilen otobüslerin sayısı, şeritten önce veya sonraki otobüs terminalinin veya durağının kapasitesi ile sınırlıdır. HOV şeridini kullanan çok sayıda taşıt varsa, tıkanmadan önce şeridi kullanabilecek toplam taşıt veya eşdeğer otomobil miktarını belirlemek için Karayolu Kapasitesi El Kitabı'ndan (Highway Capacity Manual) yararlanılabilir.

Yolcu Kapasitesi

Belirli bir periyot içerisinde sistemin taşıyabileceği maksimum yolcu miktarı aşağıdakilerden faydalanılarak belirlenir:

- Sistemin otobüs kapasitesi– belirli bir periyot içerisinde hattı kullanabilecek otobüs sayısıdır.
- Sistemi kullanan otobüslerin planlanmış maksimum yolcu miktarı– sistemi kullanan her bir otobüsteki maksimum yolcu sayısıdır.
- Yolcu talebinin özellikleri– yolcuların gelişleri düzensiz olacağı ve hizmet hiçbir yolcunun durakta bırakılmaması prensibiyle tasarlandığı için, sunulan kapasitenin tamamı kullanılamayacaktır. Teorik kapasiteyi (yani, saatteki otobüs sayısı çarpı otobüs başına yolcu sayısı) günden güne çok fazla değişkenlik göstermeyen yolcu kapasitesine dönüştürmek amacıyla zirve saat faktörü kullanılmaktadır.

3.2.2 Biniş Alanlarının Otobüs Kapasitesi

Duruş Süresi

Otobüs duraklarının ve hattının kapasitesini saptamak için “biniş alanlarının kapasitesi”, biniş alanlarının kapasitesini saptamak için de “ortalama duruş süreleri” birincil öneme sahiptir. Duruş sürelerini etkileyen faktörler arasında; biniş talebi (örneğin, akşam zirvesi boyunca, görece boş otobüsler yoğun kullanılan bir durağa varması halinde), iniş talebi (örneğin, sabah zirvesi boyunca, aynı durakta inilmesi durumunda) veya hatlar arasında aktarma yapan toplam yolcu talebi (örneğin, ana aktarma noktalarında) sayılabilir. Tüm durumlarda, duruş süresi biniş ve/veya iniş hacimleri ve her bir yolcu için gereken süreyle orantılıdır.

Duruş süresini etkileyen beş adet ana etken vardır. Bunlardan iki tanesi yolcu talebiyle, diğer üçü yolcu hizmet süresi ile ilişkilidir:

- *Yolcu Talebi ve Otobüsteki Yolcu Miktarı.* Tüm yolcuların hizmet alma süresini belirleyen anahtar etken, en yüksek hacimli (en kalabalık) kapıdan geçen yolcu sayısıdır. Aynı zamanda, en yoğun kapıdan inen yolcuların binenlere oranı, tüm yolcu hareketlerinin ne

kadar süreceğini etkilemektedir.

- *Durak Aralığı.* Durak sayısı ne kadar az olursa, belirli bir duraktan binenlerin sayısı o kadar çok olur. Çok az sayıda durak sunulması ile (her birindeki duruş süresi görece yüksek ve yolcuların yürüme mesafesinin görece uzun) çok sayıda durak sunulması (hızlanma ve yavaşlamalardaki kayıp süreler ve her duruşta muhtemelen bir trafik sinyalini bekleme gerekliliği nedeniyle, ortalama seyir hızının azalması) arasında bir denge kurulmalıdır.
- *Ücret Ödeme Yöntemleri.* Ücret ödemek için geçen sürenin ortalaması, binen her yolcuya verilen hizmetin süresi üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Bazı ücret ödeme yöntemleri yolcuların yoğun duraklarda birden fazla kapıdan biniş yapabilmesine olanak sağladığından, yolcuların hizmet alması çabuklaşır.
- *Taşıt Tipleri.* Taşıta binerken veya inerken basamak çıkmak veya inmek, her bir yolcunun hizmet alma süresini artırır.
- *Taşıt İçi Sirkülasyon.* Ayakta yolcuların bulunduğu otobüslerde, binen yolcuların ücret kutusunun önünü boşaltmaları daha uzun zaman alır. Ayaktaki yolcuların otobüsün arkasına ilerlemesi gereklidir.

Tekerlekli sandalye kullanıcılarının binişleri ve güvenliği ile bisikletlilerin bisikletlerini otobüse asmaları için gereken süre de duruş süresini etkileyebilir. Bununla birlikte, bu etkinlikler belirli bir durak için sürekli olarak gerçekleşmiyorsa, bu gibi durumlar duruş süresi değişkenliğini yansıtan rastgele olaylar şeklinde ele alınır (yani, tekerlekli sandalye kullanıcısının binişi gerçekleşecekse bu, ortalama duruş süresinden daha fazla bir sürenin gerekli olacağını gösterir, fakat bu gibi durumlar sıklıkla gerçekleşmemektedir).

Bu etkenlerin kombinasyonu duruş sürelerini oldukça azaltabilmektedir. 1990'ların sonlarında, Denver'ın 16. Cadde Alışveriş Merkezi servis otobüsü işletmesi, 70 yolcu kapasiteli otobüslerine yüksek zirve yolcu binişlerine rağmen, planlanan 12,5 saniyelik duruş süreleri ile 75 saniyelik zirve izleme aralıklarını uygulayabilmiştir. Bu işletim, ücretsiz otobüs sistemi ve az sayıda oturma yeri bulunan (yolcu seyahat uzunlukları kısadır) düşük döşemeli ve üç adet çift kanallı kapıya sahip otobüsler ile sağlanmıştır. Çift kanallı kapılar, aynı anda iki yolcunun geçmesine izin verecek kadar geniştir.

Duruş Süresinin Tahmin Edilmesi

Duruş süresinin tahmin edilmesinde kullanılan 3 yöntem mevcuttur:

- a. Saha ölçümleri (gözlem değerleri) – Mevcut bir otobüs hattının değerlendirilmesi için en iyi yöntemdir.

- b. Varsayılan değerler (default values) – Gelecekteki yolcu biniş ve iniş hacimlerine ilişkin güvenilir tahminlerin elde bulunmaması halinde, geleceğe yönelik planlama için kullanılır.
- c. Hesaplama – Yolcu biniş ve iniş sayımları veya tahminlerine ulaşılabildiği durumlarda, duruş sürelerinin tahmini için kullanılır.

a. Saha Ölçümleri (gözlem değerleri)

Duruş sürelerini belirlemek için izlenebilecek en sağlıklı yol, bu süreleri doğrudan ölçmektir. Ortalama duruş süresi ve bu sürenin standart sapması bir dizi gözlem yapılarak saptanabilir.

b. Varsayılan Değerler

Bir otobüs durağına ait saha verileri ve yolcu sayımlarına ulaşamıyorsa, kritik (en kalabalık) duraktaki duruş süresi aşağıdaki -temsili- değerler kullanılarak tahmin edilebilir:

- Kent merkezi, toplu taşıma merkezi, ana aktarma noktası veya ana park et ve bin durağında 60 saniye;
- Merkez dışındaki ana durakta 30 saniye;
- Merkez dışındaki ara durakta 15 saniye

c. Hesaplama

Bu yöntem; binen ve inen yolcu sayılarına göre gruplandırılmış yolcu sayımları veya tahminlerinin yapılmasını gerektirir. Yolcu sayımları veya tahminlerinin elde olduğu durumlar için uygundur.

1. Adım: Saatlik yolcu hacmi tahmin edilmelidir.

Bu tahminler sadece en büyük hacme sahip duraklar için gereklidir. Durak atlamalı işletim uygulandığında, tahminler uğrama sırasına göre en yüksek hacimli duraklar için gereklidir.

2. Adım: Saatlik yolcu hacimlerinin zirve yolcu hacimlerine göre ayarlanması.

Denklem (3.1)'de zirve saat faktörünü (PHF) hesaplama yöntemi görülmektedir. Toplu taşıma hatları için kabul edilen zirve saat faktörleri 0,60 ile 0,95 arasında değişmektedir. Başka bir bilgi bulunmaması halinde, zirvelerdeki talebe göre düzenlenmemiş çizelgenin (orerin) kullanıldığı işletmelerde (örneğin, sabit izleme süreleri kullanıldığında), otobüs seferleri için varsayılan PHF olarak 0,75 kullanılabilir. Seyir sıklığının (izleme sürelerinin) zirve saatteki talebe göre düzenlendiği durumlarda, PHF 0,85 kabul edilebilir. Zirve saat faktörünün 1,0'e yaklaşması sistemin aşırı yüklü çalıştığı (düşük kaliteli hizmet verdiği) anlamına gelir ve daha fazla hizmet sunulmasına ilişkin potansiyelin varlığını gösterir. Eğer otobüsler 15'er dakikalık izleme aralığından daha seyrek çalıştırılırsa, Denklemdaki payda izleme aralığına göre yeniden düzenlenmelidir (Örneğin; 20 dakikalık izleme aralığı için

$PHF = \frac{\text{saatlik hacim}}{3 (\text{maks. 20 dak. hacim})}$). Denklem (3.2) zirve içinde zirve bulunması halinde saatlik yolcu hacimlerini düzeltir.

$$PHF = \frac{\text{saatlik hacim}}{4 (\text{maks. 15 dak. hacim})} \quad (3.1)$$

$$\text{maks. 15 dak. hacim} = \frac{\text{saatlik hacim}}{4 (PHF)} \quad (3.2)$$

Zirve saat faktörü 0,25 ile 1,0 arasında değer alabilmektedir. Tüm yolcu talebi bir saat içinde tek bir 15 dakikalık periyotta gerçekleştiyse, zirve saat faktörü 0,25; talep bir saat boyunca sabit ise 1,0 olur.

3. Adım: Yolcu hizmet süresinin tahmini.

Yolcuların yalnızca tek yönde bir kapıyı aynı anda kullandıkları ve tüm yolcuların tek kapıdan biniş yaptıkları tipik durumlarda, hizmet süresini tahmin etmek için Çizelge 3.1'den faydalanılabilir. Yolcuların birden çok kapıdan biniş yaptıkları durumlarda (örneğin; ücretsiz servislerde, ispat gerektiren önceden ödeme veya çıkışta ödeme sistemlerinde ya da ücret ödedikten sonra beklenen yerden binişlerde), bu süreleri tahmin etmek için Çizelge 3.2'den faydalanılabilir. İki kapılı binişlerin mümkün olduğu durumlarda ortalama yolcu biniş süresi yarıya düşmemekte, fakat önemli bir iyileşme sağlanmaktadır.

Çizelge 3.1 Tek kapılı binişlerde yolcu hizmet süreleri (sn/yolcu)

<i>Ücret Ödeme Yöntemi</i>	<i>Gözlenen Aralıklar</i>	<i>Önerilen Süre</i>
BİNİŞ		
Ön Ödeme (örneğin; serbest geçiş, abonman, ücretsiz aktarma ve çıkışta ödeme sistemleri)	2,25–2,75	2,5
Akıllı Kart	3,0–3,7	3,5
Bilet veya Jeton	3,4–3,6	3,5
Tam Bozuk Para	3,6–4,3	4,0
Cihazdan Geçirmeli veya Tak–Çıkar Kartlar (Swipe or dip kart)	4,2	4,2
İNİŞ		
Arka Kapıdan	1,4–2,7	2,1
Ön Kapıdan	2,6–3,7	3,3
Notlar:		
— Eğer taşıtta ayakta yolcu varsa, biniş süresine 0,5 saniye/yolcu eklenmelidir.		
— Düşük döşemeli otobüslerde iniş ve biniş sürelerinden 0,5 saniye/yolcu çıkartılmalıdır. Ön kapıdan iniş sürelerinden yolcu başına 1 saniye çıkarılmalıdır.		

Farklı ücret toplama yöntemlerine göre hizmet sürelerinin karşılaştırılması, ödeme yönteminin duruş süresindeki etkisini tahmin etmekte kullanılabilir.

Çizelge 3.2 Çok kapılı iniş/binişte yolcu başına hizmet süreleri (sn/yolcu)

<i>Kapı Kanalı Sayısı</i>	<i>Biniş</i>	<i>Ön Kapıdan İniş</i>	<i>Arka Kapıdan İniş</i>
1	2,5	3,3	2,1
2	1,5	1,8	1,2
3	1,1	1,5	0,9
4	0,9	1,1	0,7
6	0,6	0,7	0,5

4. Adım: Tek kapıdan biniş ve inişin gerçekleştiği durumlardaki yolcu hizmet sürelerinin ayarlanması.

Yolcu akımının %25 ilâ 50'si, ana yolcu akımının ters yönünden ve tek bir kapı kanalından geçiş yapıyorsa, kapıdaki yoğunlaşma nedeniyle biniş ve iniş süresinin ikisi de %20 oranında (her bir kapı kanalı için 0,5 saniye) arttırılır. İki yönlü yolcu akımının tek bir kapı kanalını kullandığı sistemlerde, yolcu hizmet süreleri artış gösterecektir.

5. Adım: Duruş süresinin hesaplanması.

Duruş süresi, yolcuların en yoğun kapıdan biniş ve inişlerini gerçekleştirebilmeleri için gerekli süreye kapıların açılıp kapanması için gereken sürenin eklenmesiyle elde edilir. Normal işletim düzeninde kapıların açılıp kapanması için 2–5 saniye uygun bir süredir.

$$t_d = P_a \cdot t_a + P_b \cdot t_b + t_{oc} \quad (3.3)$$

Burada,

t_d = ortalama duruş süresi (sn)

P_a = otobüs başına, en yoğun kapıdan iniş yapan yolcu sayısı (yolcu)

t_a = iniş yapan yolcuların hizmet görme süresi (sn/yolcu)

P_b = otobüs başına, en yoğun kapıdan biniş yapan yolcu sayısı (yolcu)

t_b = biniş yapan yolcuların hizmet görme süresi (sn/yolcu)

t_{oc} = kapıların açılma ve kapanma süresi (sn)

Diğer yandan, tekerlekli sandalyeli yolcuların iniş ve binişleri ile bisikletli yolcular için ek duruş sürelerine gereksinim vardır (Ryus,2003).

Boşaltma Süresi (sn)

Bir otobüs, kapılarını kapatarak duraktan ayrılmaya hazırlandığında, bir sonraki otobüsün biniş alanını kullanabilmesi için, boşaltma süresi olarak bilinen ek bir süreye gereksinim vardır. Bu sürenin bir kısmı sabit olup, otobüsün harekete başlayıp kendi uzunluğu boyunca

yol alma ve durağı temizleme sürelerinden oluşur. Otobüsler yol üstü duraklarında duruyorsa, bu bileşen boşaltma süresinin tek bileşenidir.

Otobüslerin trafik akımının dışındaki cepli (off-line) duraklarda durması halinde, boşaltma süresinin başka bir bileşeni daha vardır: otobüsün trafiğe yeniden katılması için trafikte uygun bir boşluk (gap) oluşması gereken için gereken süre. Bu, trafiğe tekrar dâhil olma gecikmesi, sağ şeritteki trafik hacmine bağlıdır ve trafik hacminin artmasıyla bu süre de artar. Bu gecikme süresi aynı zamanda, trafikte uzun boşluklar meydana getiren, ardından durağı geçen sürekli taşıt akımlarının gözlemlendiği zaman periyotları oluşturan akım yukarıdaki trafik sinyallerinin etkisine de bağlıdır. Bazı ABD eyaletleri, otobüslerin yola yeniden girebilmesi için diğer taşıt sürücülerinin otobüslere yol vermesini gerektiren yasalara sahiptir. Sürücülerin bu yasaya uyması oranında trafiğe katılım gecikmeleri azaltılabilmekte hatta ortadan kaldırılabilir.

Toplu taşıma kuruluşları çoğunlukla yoğun caddelerde trafiğe katılım gecikmelerinin önüne geçmek için durak ceplerini (off-line stops) kullanmaktan kaçınırlar. Ancak, bazı karayolu kuruluşları ise diğer trafiğin aksamaması ve duran otobüsler ile diğer taşıtların arkadan çarpışma olasılığını azaltmak için durak ceplerini tercih etmektedir.

Şekil 3.2, yol üstü ve cepli duraklar ile cepli duraklardaki trafiğe katılım gecikmesi sorununu göstermektedir.



Yol Üstü Durağı (Portland, Oregon)



Cepli Durak (Albuquerque)

Şekil 3.2 Yol üstü durağı ve cepli durak

Boşaltma Süresinin Tahmin Edilmesi

Boşaltma süresi bileşenlerinin incelendiği çeşitli çalışmalarda toplam boşaltma süresinin 9 ila 20 saniye arasında değiştiği görülmektedir. Bir otobüsün durağı boşaltmak üzere harekete geçmesi ve kendi uzunluğu boyunca yol alması için gereken süre yaklaşık 10 saniyedir. Cepli duraklarda, trafiğe katılım gecikmesi, saha gözlemi ile ölçülebilir ya da Çizelge 3.3'ten

faydalanılarak tahmin edilebilir. Bu çizelge, yalnızca taşıt gelişlerinin rastgele olduğu durumlarda geçerlidir. Eğer otobüs durağını geçen trafik akımı, akım yukarıdaki trafik sinyalinden etkileniyorsa veya otobüsler yola yeniden girmeden akım aşağıdaki sinyalden uzanan kuyruğu beklemek zorunda kalıyorsa, kabul edilebilir boşluklar (gaps) arasındaki ortalama süreyi tahmin etmek için (diğer verilerin bulunmaması durumunda 7 saniye kabul edilir) Highway Capacity Manual (HCM, Karayolu Kapasitesi Elkitabı) veya simülasyon yöntemi kullanılabilir.

Çizelge 3.3 Ortalama katılım gecikmesi (rastgele taşıt varışları)

<i>Bitişik Şeritteki Karma Trafik Hacmi (taşıt/saat)</i>	<i>Ortalama Katılım Gecikmesi (sn)</i>
100	1
200	2
300	3
400	4
500	5
600	6
700	8
800	10
900	12
1000	15

Çizelge 3.3, cepli duraktan trafiğe katılırken otobüslerin diğer taşıtlara yol vermek zorunda olduğu ve durağın sinyalizasyon kavşağından etkilenmeyecek uzaklıkta konumlanmış olması durumlarında kullanılmaktadır. Hesaplar HCM 2000 sinyalizasyon olmayan kavşak yöntemine göre yapılmıştır (yan yoldaki trafik duruş işaretinde sağa döner). Varsayılan kritik boşluk 7 saniye olup taşıt gelişleri rastgeledir. Gecikme hesabında saatte 12 otobüsün durduğu kabul edilmiştir.

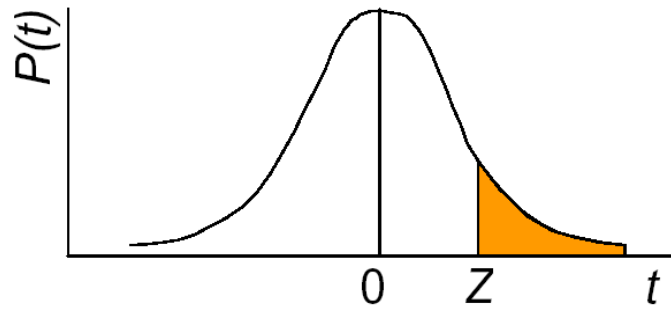
Duruş Süresinin Değişkenliği

Hem otobüsler hem de hatlar arasındaki yolcu talebinin değişkenliğine bağlı olarak her otobüsün durakta durduğu süre birbirinden farklıdır. Duruş sürelerindeki değişkenliğin otobüs kapasitesine etkisi, duruş sürelerinin standart sapmasının ortalama duruş süresine bölünmesiyle elde edilen değişkenlik katsayısı (c_v) ile ifade edilmektedir. Varyasyon katsayısı sıfırsa, tüm duruş süreleri aynıdır. Varyasyon katsayısı 1,0 ise, standart sapma ortalama duruş süresi kadardır; bunun anlamı, üç otobüsten bir tanesinin ortalama duruş süresinin iki katı

kadar duruş süresine sahip olacaktır.

Çeşitli ABD kentlerinde ölçülen duruş sürelerine göre, varyasyon katsayısı 0,4 ila 0,8 arasında değerler almaktadır. Elde saha verileri bulunmadığı durumlarda $c_v = 0,6$ değeri önerilmektedir. Duruş süresi ile duruş süresi değişkenliğini etkileyen faktörler aynıdır.

Gözlenen bir dizi duruş süresinin grafiği çizildiğinde, Şekil 3.3'te görülen normal dağılıma benzer bir biçim elde edilecektir. Düşük bir tepe noktası (zirve) ile geniş dağılım değişkenliğin büyük olduğunu gösterirken, daha yüksek zirve ile daha dar bir dağılım değişkenliğin daha küçük olduğuna işaret eder.

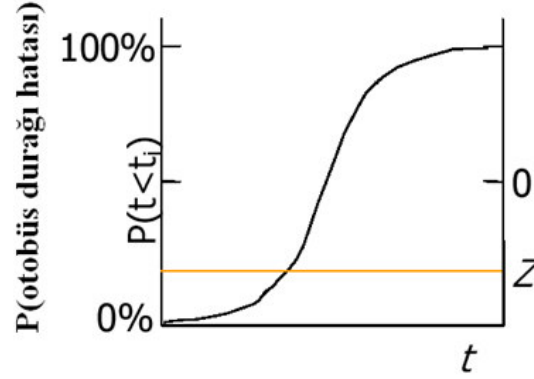


Şekil 3.3 Standart normal dağılım

Bir önceki otobüs biniş alanını terk eder terk etmez, diğer bir otobüsün biniş alanının içine hareket etmek üzere hazır olması biniş alanı kapasitesini (bus loading area capacity) maksimize edecektir. Ancak, bu durum çeşitli nedenlerden ötürü istenmemektedir: (1) biniş alanının boşalmasını beklerken harcanan süreye bağlı olarak otobüs seyir hızları düşer, (2) ek gecikmeler nedeni ile çizelgenin güvenilirliği olumsuz etkilenir ve (3) otobüsler daha uzun bir süre boyunca trafiği tıkarlar. Sonuç olarak; otobüs kapasite analizleri, bir otobüsün durağa vardığında tüm biniş alanlarını dolu bulmasının ne kadar sıklıkta gerçekleştiğini gösteren bir “hata oranı”nı içerir.

Bu “hata oranı”, duruş süresi değişkenliği ve ortalama duruş süresi ile birlikte kullanılarak “işletim payı” (operating margin) adı verilen bir süre elde edilir. Böylece, söz konusu beklemlerin (hataların) istenen orandan daha sık meydana gelmesini önlemek için, bu işletim payı, duruş süresi ve boşaltma süresine eklenir. İşletim payı, aslında, tek bir otobüsün duruş süresinin, durağı kullanacak planlanmış otobüs sayısı durak kapasitesine yaklaştığında otobüs durağında dolu olma “hatası” oluşmaması için, ortalamayı aşabileceği maksimum süredir. Hata oranının küçük olması, işletim payı ve çizelge güvenilirliğinin büyük olduğu anlamına gelir, bu da yükleme alanı kapasitesini azaltır. Diğer taraftan, daha yüksek bir hata oranına izin vermek, işletim payını ve çizelge güvenilirliğini azaltır, biniş alanı kapasitesini artırır.

İstatistik bilgisine göre, normal dağılım eğrisi üzerinde belirtilen bir Z noktasının sağında ve eğrinin altında kalan alan (Şekil 3.3'te taralı alan), verilen herhangi bir duruş süresinin bu süreden (Z) uzun olma olasılığını göstermektedir. Z ile ilgili olan bu duruş süresi değeri " t_i ", Denklem (3.4)'de gösterilmiştir:



Şekil 3.4 Otobüs durağı hatasının olasılığı

Otobüs Durağı Hatasının Olasılığı;

$$Z = \frac{t_{om}}{S} = \frac{t_i - t_d}{S} \quad (3.4)$$

Burada,

Z = istenilen hata oranı ile ilgili olan standart normal değişken

s = duruş sürelerinin standart sapması

t_{om} = işletim payı (saniye)

t_d = ortalama duruş süresi (saniye)

t_i = istenilen hata oranından daha sık aşılmayacak duruş süresi değeri (saniye)

Denklem (3.4) yeniden düzenlenirse, biniş alanının kapasiteye yakın işletildiği durumlarda, belirli bir tasarım hata oranı (proje hata oranı) için gerekli işletim payı (t_{om}) bulunur.

$$t_{om} = s Z = c_v t_d Z \quad (3.5)$$

Burada,

t_{om} = işletim payı (saniye)

s = duruş sürelerinin standart sapması

Z = istenilen hata oranı ile ilgili olan standart normal değişken

c_v = duruş sürelerinin değişim katsayısı

t_d = ortalama duruş süresi (saniye)

Çizelge 3.4 Çeşitli hata oranlarındaki Z değerleri

<i>Hata Oranı</i>	<i>Z</i>
%1.0	2,330
%2.5	1,960
%5.0	1,645
%7.5	1,440
%10.0	1,280
%15.0	1,040
%20.0	0,840
%25.0	0,675
%30.0	0,525
%50.0	0,000

Şehir merkezlerinde, kapasite tahmini yapılırken tasarım hata oranlarının %7,5 ila %15 alınması tavsiye edilmektedir. Bu oran, otobüs seyir hızlarını belirli bir seviyede tutmak ile şehir merkezlerinin gerektirdiği yüksek kapasiteyi sağlamak arasındaki ödünleşmeyi temsil etmektedir. %15 olan üst limit, saatte yaklaşık 10 dakika için durak hatasını (durağın gerisinde oluşan kuyruklar) göstermektedir. Bu aynı zamanda, otobüs seyir hızlarının aniden düşmeye başladığı noktayı temsil eder. Simülasyon sonuçlarına göre, %15 hata oranındaki otobüs hızları, planlanan otobüs hacimlerinin kapasitenin oldukça altında olduğu durumdaki hızlardan yaklaşık %20 daha düşüktür.

Şehir merkezi dışındaki alanlarda mümkün olduğunca %2,5 hata oranı kullanılması önerilmektedir; bu oran, özellikle, durak cepleri kullanıldığında ve meydana gelen durak hatasının kuyruklanma sebebiyle seyir şeridini tıkamasına göz yumulduğu durumlar için geçerlidir. Bununla birlikte, %7,5'e kadar olan hata oranları kabul edilebilir değerlerdir.

Kapasiteye, etkin olarak, %25 hata oranında ulaşılmaktadır. Matematiksel olarak kapasite, %50 hata oranında maksimum olur; ancak bunun için otobüs izleme sürelerinin hassas bir şekilde kontrol edilmesi gerekmektedir; bu da uygulamada pek de olanaklı olmayan belirli bir otobüse binen yolcu hacmi değişkenini kontrol ederek sağlanabilir. Uygulamada otobüsler arasındaki etkileşim öylesine belirgindir ki, bir saat boyunca otobüslerin sadece bir kısmı belirli bir durağa hizmet verebilecektir. Dahası, otobüs hızları %50 hata oranında oldukça düşecek, bu da yolcular için düşük bir hizmet kalitesiyle sonuçlanacaktır.

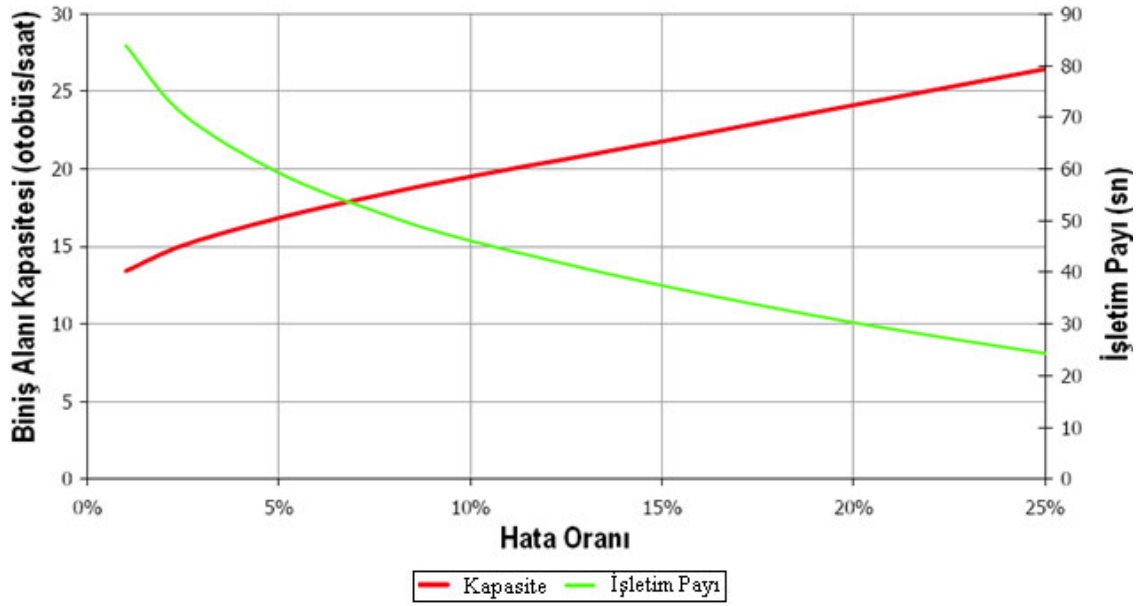
Kapasite %25 hata oranında maksimize olmaktadır. Kapasite ile çizelge güvenilirliğini dengelemek için daha düşük hata oranlarının kullanılması önerilmektedir.

Çizelge 3.5 ve Şekil 3.5, hata oranı, işletim payı ve biniş alanı kapasitesi arasındaki ilişkiyi,

Çizelge 3.6 ve Şekil 3.6 ise duruş süresi ile biniş alanı kapasitesi arasındaki ilişkiyi göstermektedir.

Çizelge 3.5 Hata oranı, işletim payı ve biniş alanı kapasitesi arasındaki ilişki

<i>Hata Oranı</i>	<i>Z</i>	<i>t_d</i>	<i>c_v</i>	<i>s</i>	<i>t_c</i>	<i>g/c</i>	<i>t_{om}</i>	<i>B_l</i>
%1,0	2,330	60	0,6	36	10	0,5	83,880	14,530
%5,0	1,645	60	0,6	36	10	0,5	59,220	18,142
%10,0	1,28	60	0,6	36	10	0,5	46,080	20,911
%15,0	1,040	60	0,6	36	10	0,5	37,440	23,244
%20,0	0,840	60	0,6	36	10	0,5	30,240	25,626
%25,0	0,675	60	0,6	36	10	0,5	24,300	27,994
%30,0	0,525	60	0,6	36	10	0,5	18,900	30,560

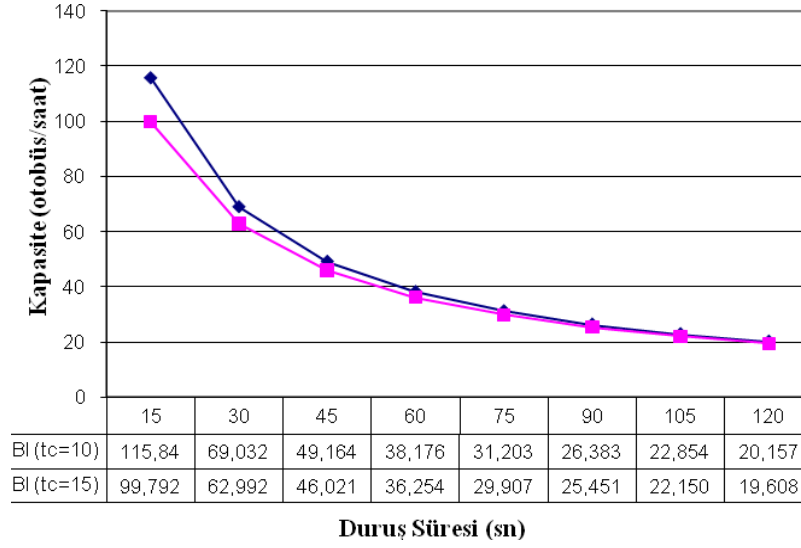


Not: 60 saniye duruş süresi ve 60% duruş süresi varyasyon katsayısı kabulü yapılmıştır.

Şekil 3.5 Hata oranı, işletim payı ve biniş alanı kapasitesi arasındaki ilişki

Çizelge 3.6 Duruş süresi ile biniş alanı kapasitesi arasındaki ilişki

<i>Hata Oranı</i>	<i>Z</i>	<i>t_d</i>	<i>c_v</i>	<i>s</i>	<i>t_c</i>	<i>t_c</i>	<i>g/c</i>	<i>t_{om}</i>	<i>B_l (t_c=10)</i>	<i>B_l (t_c=15)</i>
%25	0,675	15	0,6	9	10	15	1,0	6,075	115,849	99,792
%25	0,675	30	0,6	18	10	15	1,0	12,150	69,032	62,992
%25	0,675	45	0,6	27	10	15	1,0	18,225	49,164	46,021
%25	0,675	60	0,6	36	10	15	1,0	24,300	38,176	36,254
%25	0,675	75	0,6	45	10	15	1,0	30,375	31,203	29,907
%25	0,675	90	0,6	54	10	15	1,0	36,450	26,383	25,451
%25	0,675	105	0,6	63	10	15	1,0	42,525	22,854	22,150
%25	0,675	120	0,6	72	10	15	1,0	48,600	20,157	19,608



Şekil 3.6 Duruş süresi ile biniş alanı kapasitesi arasındaki ilişki

Trafik Sinyal Süresi

Otobüs durağı ve durağın yükleme alanları yakınındaki bir trafik sinyali, durağa girebilen ve duraktan çıkabilen otobüs sayısını kontrol edecektir. Örneğin, trafik sinyalinden sonra yer alan bir durakta (ya da bir trafik sinyalinin akım aşağısında blok/ada ortasındaki durakta), otobüsler yalnızca durağın bulunduğu yola yeşil sinyal yandığı süre boyunca durağa giriş yapabilir. Yol için ayrılan yeşil süre ne kadar düşükse, kapasite de düşük olacaktır. Benzer şekilde, trafik sinyalinden hemen önce yer alan bir durakta, otobüs yolcu almayı bitirdiği halde, sinyalin yeşile dönmesi için beklemek zorunda kalabilir. Sonuç olarak, otobüs durağı gerektiğinden fazla süre işgal ettiğinde, kapasite düşecektir. Otobüs işletiminin doğası sebebiyle, daha kısa devre (cycle) süreleri otobüslerin sinyalden geçme olanağını arttıracaktır. Akım yukarıdaki trafik sinyallerinin etkisinden uzaktaki sinyalizasyon olmayan kavşaklardaki duraklarda, otobüsler, trafik koşullarına bağlı olarak (boşaltma süresinin belirlediği) durağa hemen giriş ve çıkış yapabilirler; bu durumun kapasite üzerinde bir etkisi yoktur.

Trafik sinyallerinin kapasite üzerindeki etkisi, yeşil süre oranıyla (g/C oranı) belirlenir; bu oran, trafik akımı için ayrılan ve otobüsler tarafından da kullanılan ortalama yeşil süre miktarının, trafik sinyalinin devre süresine bölümüdür (devre süresi, tüm akımların hareketi için sunulan süredir). Örneğin, toplam devre süresi 120 saniye ve otobüs durağına paralel trafik akımları için yeşil süre 54 saniye olursa, bu duraktaki g/C oranı, 54/120 yani 0,45 olur. Akım yukarıdaki trafik sinyallerinin etkisinden uzakta sinyalizasyon olmayan bir kavşaktaki durak için g/C oranı 1,00'dir, çünkü otobüslerin durağa erişimi ya da durağın yükleme alanları bir sinyal tarafından kontrol edilmemektedir.

Aşağıda görüldüğü gibi, g/C oranı kapasite eşitliğini iki biçimde etkilemektedir. Birincisi, eşitliğin pay kısmı düzeltilir -pay 3600(g/C) olur; bu düzeltme, otobüslerin trafik sinyalinden sonra veya iki sinyal arasında bulunan duraklara giriş yapabildikleri veya trafik sinyalinden önce yerleştirilen duraklardan çıkış yapabildikleri, bir saatteki toplam yeşil süreyi göstermektedir. İkincisi, payda kısmındaki duruş süresi düzeltilir -payda t_d (g/C) olur; bu düzeltme, yolun yeşil fazı süresince gerçekleşen duruş bölümüdür. Kırmızı faza denk gelen duruş süresi kapasiteyi ekilemez, çünkü otobüs, kırmızı faz boyunca durağa giriş veya duraktan çıkış yapamaz. Yani, yeşil sürenin artmasıyla kapasite de artar.

Hesaplama Yöntemi

Biniş alanı kapasitesinin otobüs sayısı cinsinden saatteki değeri, B_l

$$B_l = \frac{3600 (g/C)}{t_c + (g/C) t_d + t_{om}} = \frac{3600 (g/C)}{t_c + (g/C) t_d + Z c_v t_d} \quad (3.6)$$

Burada,

B_l = biniş alanı otobüs kapasitesi (otobüs/saat)

3600 = bir saatteki saniye sayısı

g/C = yeşil süre oranı (Etketif yeşil sürenin toplam trafik sinyal devre süresine oranı, sinyalize olmayan cadde ve hatlarda 1,0'e eşittir.)

t_c = boşaltma süresi (saniye)

t_d = ortalama duruş süresi (saniye)

t_{om} = işletim payı (saniye)

Z = istenilen hata oranı ile ilgili standart normal değişken

c_v = duruş süreleri değişim katsayısı

Çizelge 3.7 Biniş alanlarının tahmini maksimum kapasitesi (otobüs/saat)

<i>Duruş Süresi(sn)</i>	<i>Boşatma Süresi</i>	
	10 sn	15 sn
15	116	100
30	69	63
45	49	46
60	38	36
75	31	30
90	26	25
105	23	22
120	20	20

Not: hata oranı %25, değişim katsayısı %60 ve $g/C = 1,0$ kabul edilmiştir.

Çizelge 3.7, durak yakınında trafik sinyalinin bulunmadığı, hata oranının %25, duruş süreleri değişim katsayısının %60 olduğu durumlardaki farklı duruş ve boşaltma sürelerine göre tek bir biniş alanını kullanabilecek maksimum otobüs sayısı tahminini göstermektedir.

3.2.3 Otobüs Durağının Taşıt Kapasitesi

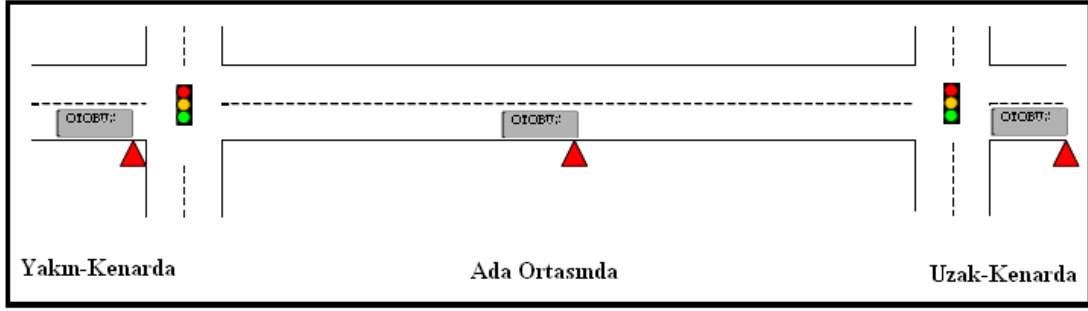
Tasarım ve Yer Seçiminde Dikkate Alınanlar

Otobüs durağı, otobüslerin yolcu almak ve indirmek için durdukları yerler olup, bir veya daha fazla biniş alanına sahiptirler. Otobüs durağının taşıt kapasitesi, duraktaki biniş alanı sayısına, bir biniş alanının taşıt kapasitesine ve biniş alanının tasarımına bağlıdır. Aynı zamanda, yakında bulunan trafik sinyalleri, durağa giriş ve çıkış yapan otobüs sayısını sınırlandırabilir.

Biniş alanı sayısı, bu durakta durması planlanan otobüs sayısı için yeterli olmalıdır. Ancak, ada (blok) uzunlukları, anayola giriş-çıkış yolları ve/veya caddedeki parklanma durumu otobüs durağının boyutunu sınırlandırabilir. Buna ek olarak, bir durakta üçten fazla biniş alanının bulunması, yolcuların otobüsü nerede bekleyeceklerini kestirememeleri nedeniyle karmaşıklığa ve yolcuların otobüse binmek için otobüs kuyruğunun en arkasına kadar yürümek zorunda kaldığı durumlarda da daha yüksek duruş sürelerine neden olacaktır.

Otobüs durak cepleri (off-line bus stops) (yani, trafik akımının dışında bulunan duraklar), 4 veya daha fazla biniş alanı bulunması durumunda, yol üstü duraklara (on-line bus stops) oranla daha yüksek bir otobüs kapasitesi sağlamaktadır. Bir veya 2 biniş alanı bulunması durumunda, yol üstü duraklar daha yüksek bir otobüs kapasitesi sağlamaktadır. Üç biniş alanı bulunması durumunda bu iki durak tipi de benzer kapasiteler sunmaktadır. Trafiğe katılım gecikmeleri ve bu gecikmelerin seyir hızı ve yolculuk süresi üzerindeki kümülâtif etkisi nedeni ile çoğu işletme, otobüs durak cepleri kullanmaktan kaçınmakta, ancak hız limitinin görece yüksek (örneğin, 60–70 km/saat) olduğu caddelerde kullanmaktadır.

Yol üstü duraklar (on-street bus stops) tipik olarak, sağ şeritte üç biçimde yerleştirilir: (1) kavşaktan hemen önce yerleştirilen otobüs durakları (yakın kenarda), (2) kavşaktan hemen sonra yerleştirilen otobüs durakları (uzak kenarda), (3) iki kavşağın ortasında yerleştirilen otobüs durakları (ada ortasında). Belirli durumlarda, örneğin otobüslerin durağı caddenin ortasında seyir eden tramvay ile paylaştığı veya cadde ortasında özel bir otobüs yolu bulunduğu durumlarda, otobüs durağı sağ şeritten ziyade cadde içinde bir biniş adasına yerleştirilebilir. Biniş adaları izleyen bölümde daha ayrıntılı olarak tartışılmıştır. Şekil 3.7 tipik yol üstü (on-street) otobüs durağı yerlerini göstermektedir.



Şekil 3.7 Yol üstü otobüs durağı yer seçimi

Özel otobüs durakları bazen çevreyolu boyunca, genellikle katlı kavşaklarda veya paralel yan yollarda (parallel frontage roads) yerleştirilirler. Kaliforniya eyaletine bağlı olan Marin ilçesinde ve Seattle’da, “flyer duraklar” olarak bilinen bu durakların örnekleri bulunmaktadır. Bu duraklar, çevre yoluna giriş ve çıkıştaki gecikmeleri elemine ederek otobüs yolculuk sürelerini azaltmak için kullanılırlar. Çevreyolu durakları, ana trafik şeritlerinden uzağa yerleştirilmeli, uygun hızlanma ve yavaşlama şeritleri bulunmalıdır. Başarılı bir durak uygulaması için, çekici ve iyi tasarlanmış bir yaya erişimi gereklidir.

Toplu taşıma merkezleri ve karma (intermodal) terminaller gibi ana trafik akımının dışında bulunan duraklar (off-street bus stops), genellikle kapasite dışındaki etkenler baz alınarak tasarlanırlar; etkili faktörler arasında, örneğin, sürücülerin terminalde beklerken otobüslerini park edebileceği yerlerin sağlanması ve yolcuların kendi otobüs hatlarını çok sayıda hat arasından kolaylıkla bulabilmesi için peronların ayrılması.

Otobüs duraklarının yeri, özellikle diğer taşıtlar sağa dönüş yapabiliyorsa, taşıt kapasitesini etkilemektedir (belirli tip özel otobüs şeritleri ve tek yön ızgara yolların kullanıldığı durumlar hariç). Uzak kenarda yer alan duraklar (otobüsler kavşak yaklaşımında sağa dönüş kuyruklarından kaçınabiliyorsa), kapasite üzerinde en az etkiye sahip olanlardır. Uzak kenarda yer alan durakları, ada ortasında (kavşaklar arası) ve yakın kenarda yer alan duraklar izlemektedir.

Bununla birlikte, otobüs durağı yer seçimi yaparken dikkate alınması gereken tek faktör taşıt kapasitesi değildir. Aynı caddede işletilen diğer taşıtlarla potansiyel çatışmalar, aktarma olanakları, yolcuların yürüme mesafeleri, yolcu üretim merkezlerinin yerleri, sinyal süreleri, anayola giriş-çıkış yerleri (duraktan caddeye bağlantı yolunun konumu), fiziksel engeller ve toplu taşıma öncelikli sistemlerin uygulanma potansiyeli dikkate alınması gereken diğer öğelerdir.

Örneğin, sağ şeritte parklanma olan caddelerde, otobüsler tekrar trafik şeridine girmek için (taşıtların hiçbir koşulda park yapamayacağı) kavşak alanını kullanabilmelerinden dolayı, genellikle yakın kenarda yer alan duraklar tercih edilir. Otobüslerin sola dönüş yapacağı yerlerde uzak-kenarda yer alan duraklar tercih edilirken, otobüslerin sağa dönüş yapacağı yerlerde yakın kenarda yer alan duraklar tercih edilmektedir. Tek yönlü caddelerdeki kavşaklarda, trafik koşulları ve aktarma olanaklarının ikisi de dikkate alınmalıdır. Örneğin, eğer tek yönlü bir caddede trafik soldan sağa akıyorsa, bu cadde ile kesişen yollardaki hatlara uygun aktarmaların sağlanması “yakın kenarda” yer alan durak uygulaması, sağa dönüş trafik hacimleri ise “uzak kenarda” yer alan durak uygulaması hakkında fikir verirler.

Ada ortasında yer alan duraklar, tipik olarak, yalnızca ana yolcu üretim yerlerinde ya da komşu kavşaklar arasında yeterli mesafe bulunmadığı durumlarda kullanılırlar. Yolcuların kavşak arasındaki duraklara erişmek için veya bu duraklardan sonra karşıya geçme koşulları dikkatlice ele alınmalıdır.

Çizelge 3.8, her bir otobüs durağı tipinin avantaj ve dezavantajlarını karşılaştırmaktadır. Otobüs duraklarının durak aralığı, yer seçimi ve geometrik düzenlemesi için ek düzenlemeler 19. TCRP Raporu’nda bulunmaktadır. Bu düzenlemeler, başarılı bir trafik ve toplu taşıma işletimi için dikkatlice uygulanmalıdır.

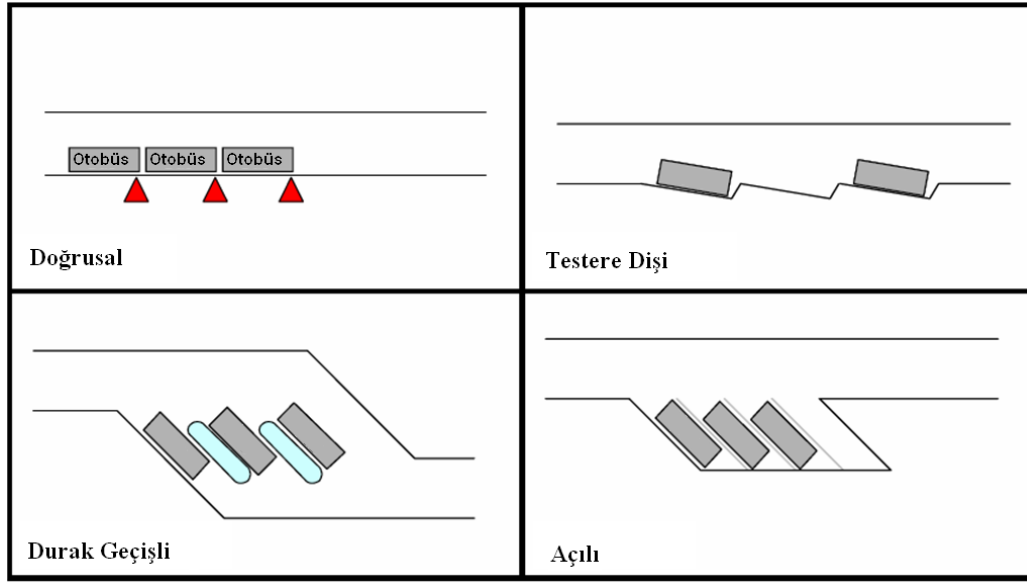
Otobüs Durağı Etkinliği

Bir otobüs durağında ne kadar çok sayıda biniş alanı olursa, otobüs durağı kapasitesinin daha büyük olacağı mantıksal görünmektedir, çünkü aynı anda daha çok otobüs yolcu indirme ve bindirme yapabilecektir. Ancak, bazı özel tasarımlar ile kapasiteyi arttırmak diğerlerinden daha etkin sonuçlar vermektedir.

Yol üstü dışındaki (off-street) biniş alanları, Şekil 3.8’de gösterilen 4 temel sınıfa ayrılmaktadır: doğrusal (linear), testere dişi (sawtooth), durak geçişli (drive-through) ve açılı (angle). Son 3 sınıf doğrusal olmayan biniş alanlarıdır ve tasarımları, otobüslerin diğer otobüslere bağlı olmadan biniş alanına giriş ve çıkış yapmalarına izin verir. Doğrusal olmayan tasarımlar oldukça etkindir: biniş alanlarının sayısını iki katına çıkartmak durağın otobüs kapasitesini iki katına çıkarır. Bu tam etkinlik, otobüslerin birbirlerinden bağımsız hareket edebilmelerinin bir sonucudur. Buna ek olarak, doğrusal olmayan tasarımlar kullanıldığında, otobüsler belirli bir biniş alanına atanabilmekte ve böylece yolcuların, birçok otobüsün arkasında kalan kendi otobüslerine yürümeleri ile gerçekleşen gecikmeler ortadan kalkmaktadır. Doğrusal olmayan tasarımlar, yol üstü (on-street) toplu taşıma merkezleri hariç, nadir olarak yol üstü duraklarda uygulanırlar.

Çizelge 3.8 Yol üstü otobüs durak yerlerinin karşılaştırılması

Konum	Avantajlar	Dezavantajlar
Uzak-Kenar	• Otobüsler ile sağa dönüş yapan taşıtlar arasındaki kesişmeleri minimize eder. • Dönüşten önce durak olmadığı için, sağa dönüş yapacak taşıtlar sağ şeridi kullanılabilir, bu nedenle sağa dönüşlerde ek bir kapasite sağlar. • Kavşak yaklaşımlarında görüş mesafesi problemlerini minimize eder. • Kavşağa olan uzaklığa bağlı olarak, yayalar otobüsün arkasından karşıya geçebilirler. • Kavşağa yaklaşırken yavaşlama söz konusu olacağı için, otobüslere daha kısa bir yavaşlama mesafesi yeterli olacaktır. • Otobüsler, sinyalize kavşaklardaki trafik akımında ortaya çıkan boşluk avantajlarından yararlanabilirler. • Otobüslerin kavşaktan durmadan geçebilmesini sağlayan Otobüs Sinyal Önceliği işletimlerini kolaylaştırır.	• Otobüs seyir şeridinde durduğunda taşıt kuyruğu kavşak içine doğru sarkabilir. • Diğer yaklaşım şeridinden karşıya geçen taşıtların görüş mesafesini azaltabilir. • Karşıya geçen yayaların görüş mesafesi problemlerini arttırabilir. • Otobüsün kırmızı ışıktaki bekledikten sonra tekrar durakta durması, hem otobüs işletiminin hem de diğer taşıt trafiğinin aksamasına neden olabilir. • Sürücüler kırmızı ışıktaki durduktan sonra, otobüslerin tekrar durmasını beklemedikleri için arkadan çarpma kazaları artabilir.
Yakın-Kenar	• Kavşaktan sonra trafik hacmini fazla olduğu durumlarda çatışmaları minimize eder. • Yolcuların, yaya geçitlerinden otobüslere erişmesine olanak sağlar. • Otobüslerin sağ şeritten yola çıkması için kavşak genişliği kullanılabilir. • İki kez durma ihtimalini ortadan kaldırır. • Yolcuların, otobüs kırmızı ışıktaki durduğu sürece, otobüsten inmeleri ve otobüse binmelerine olanak sağlar. • Sürücülerin, önünde kavşağa yaklaşan trafiği ve potansiyel yolcu bulunan diğer otobüsleri görmesine olanak sağlar.	• Sağa dönüş yapan taşıtlarla olan kesişme artar. • Duran otobüsler, sağ şeride yakın trafik işaretlerinin ve geçen yayaların görülmesini engelleyebilirler. • Otobüsün sağına yan yolda duran taşıtların görüş mesafesini kısıtlayabilir. • Karşıya geçen yayalar için görüş mesafesi problemlerini arttırır. • Durak park etme veya sağa dönüş şeridinde konumlanmışsa, otobüs sinyal önceliği işletimini zorlaştırır, verimliliği azaltabilir ya da özel bir kuyruk atlama sinyalini gerektirir.
Ada Ortası	• Taşıtlar ve yayalar için görüş mesafesi problemlerini minimize eder. • Yolcuların bekleme alanlarında daha az yaya karışıklığına neden olur.	• Park etme kısıtlamaları nedeniyle ek mesafeler gerektirir. (daha geniş bir alanda park kısıtlaması gerektirir.) • Yayaların yaya geçidi dışında karşıdan karşıya geçmelerini özendirir. • Kavşakta karşıdan karşıya geçen yayaların yürüme mesafesini arttırır.



Şekil 3.8 Otobüs durağı tasarım çeşitleri

Yol üstü durakların (on-street) büyük bir bölümü doğrusal duraklardır, bu tür duraklarda gelen ilk otobüs birinci biniş alanını ve daha sonra gelen otobüsler de sonraki biniş alanlarını işgal ederler. Duraktaki her bir ek doğrusal biniş alanı, üç nedenden ötürü, kendinden bir öncekinden daha az etkin olacaktır:

1. Arkadaki biniş alanları, ilk biniş alanından daha seyrek kullanılacaktır.
2. Otobüslerinin hangi biniş alanına yanaşacağını bilmediklerinden, yolcular, arkadaki biniş alanlarından birine yanaşmış olan otobüslerine yürümek zorunda kalabilirler. Bu yürüme süresi, otobüsün yolcuların beklediği yerde durmasından daha fazla süre alacaktır. Bunun bir sonucu olarak, aynı yolcu biniş hacimleri için, arkadaki biniş alanlarını kullanan otobüslerin duruş süreleri ön taraftaki biniş alanlarını kullanan otobüslerin duruş sürelerinden daha uzun olacaktır.
3. Otobüslerin birbirleri arasındaki mesafelere ve birbirlerini sollama kabiliyetlerine bağlı olarak, bir otobüs duraktan hareket etmek için önündeki otobüsün ayrılmasını beklemek zorunda kalabilir.

Duraktaki her bir ek biniş alanının sağladığı kademeli kapasite artışı, durağı kullanan otobüslerin geliş özelliklerinde bağlı olduğu gibi, biniş alanlarının yol üstünde (on-line) veya trafik akımının dışında (off-line) olmasına da bağlıdır. Saha gözlemleri, otobüslerin duraklara dizi halinde girip çıkmaları durumunda, doğrusal biniş alanlarının daha etkin olarak kullanıldığını göstermektedir. Bunlar, benzer duruş sürelerine (ya da en azından, trafik sinyali yeşile dönene kadar tamamlanan kısa duruş sürelerine) sahip, yol boyunca birlikte seyir eden 2 ila 3'lü otobüs gruplarıdır. Diziler (konvoylar), akım yukarıdaki trafik ışıkları tarafından

veya kasıtlı olarak bir güzergâhın başlangıcından yola birlikte çıkması planlanan otobüs grupları tarafından oluşturulurlar. (En çok yolcunun biniş yapacağı yerlerin yakınında, otobüsler için bir toplanma/boşta bekleme alanına ihtiyaç vardır.)

Çizelge 3.9, trafik akımı dışındaki (durak cepleri/off-line) biniş alanları, otobüs dizilerinin kullandığı yol üstü (on-line) biniş alanları ve rastgele gelen otobüslerin kullandığı yol üstü (on-line) otobüs durakları için verimlilik faktörlerini sunmaktadır. Çizelgede verilen akım dışı biniş alanları verimlilik faktörleri, New York ve New Jersey Midtown Otobüs Terminal Otoritesi’ndeki deneyimlere dayanmaktadır. Çizelgedeki yol üstü biniş alanları verimlilik faktörleri ise simülasyon ve Avrupa deneyimlerine dayanmaktadır. Çizelge, dört veya beş yol üstü doğrusal biniş alanının, üç adet biniş alanı ile eş değer bir etkinliğe sahip olduğunu göstermektedir. Kısmi biniş alanları inşa edilemeyeceğinden, “verimli” iki adet biniş alanı sağlayabilmek için üç fiziksel biniş alanına ihtiyaç olduğuna dikkat edilmelidir. Bu çizelgedeki verilerin yalnızca doğrusal biniş alanları için olduğuna dikkat edilmelidir. Diğer tüm çoklu biniş alan çeşitleri %100 verimli olup, verimli biniş alanı sayısı, fiziksel biniş alanı sayısına eşittir.

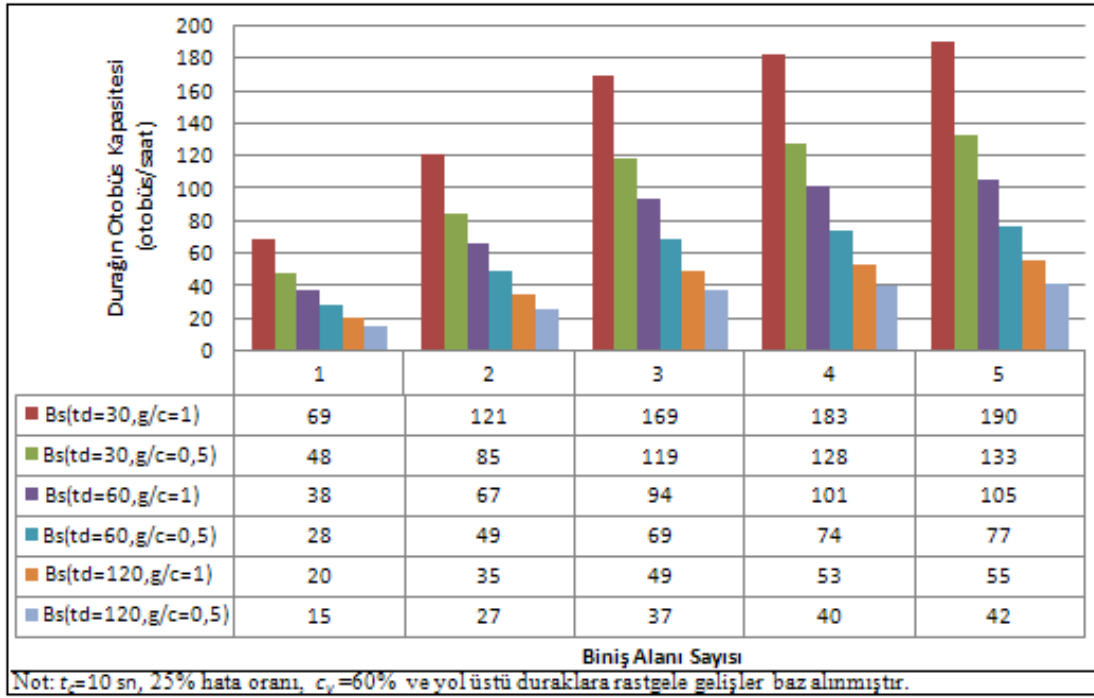
Dört veya beş biniş alanının gerektiği durumlarda, testere dişi ve diğer doğrusal olmayan tasarımlar, doğrusal biniş alanlarına oranla daha etkindir.

Çizelge 3.9 Otobüs duraklarındaki çoklu doğrusal biniş alanlarının etkinliği

# Biniş Al.	Yol Üstü Biniş Alanları				Durak Cepli Biniş Alanları	
	Rastgele Gelişler		Dizi (Konvoy) Gelişler		Tüm Gelişler	
	Verimlilik %	Verimli Biniş Al. kümülatif sayısı	Verimlilik %	Verimli Biniş Al. kümülâtif sayısı	Verimlilik %	Verimli Biniş Al. kümülatif sayısı
1	100	1,00	100	1,00	100	1,00
2	75	1,75	85	1,85	85	1,85
3	70	2,45	80	2,65	80	2,65
4	20	2,65	25	2,90	65	3,25
5	10	2,75	10	3,00	50	3,75

Not: Yol üstü biniş alanları değerlerinde, otobüslerin birbirlerini sollamadığı varsayılmıştır.

Şekil 3.9, ek doğrusal biniş alanlarının, durağın toplam otobüs kapasitesine azalan etkisini göstermektedir. Bu şekildeki grafik, seçilen duruş süreleri ve yeşil süre oranları, 10 saniyelik boşaltma süresi ve rastgele gelişler için yol üstü durağının kapasitesini göstermektedir. Biniş alanlarının sayısının artırılması kapasitede, duruş sürelerinin azaltılmasından daha küçük bir etkiye sahiptir. 60 saniyeden fazla olan duruş süreleri için, yeşil süre oranının (g/C) 0,5 veya 1,0 olmasının kapasite üzerindeki etkisinin küçük olduğuna dikkat edilmelidir.



Şekil 3.9 Duruş süresi, yeşil süre oranı (g/C) ve biniş alanı sayısının durak kapasitesine göreceli etkileri

Hesaplama Yöntemi

Biniş alanı kapasitesinin saatteki otobüs sayısı cinsinden değeri, B_s

$$B_s = B_l N_{el} = \frac{3600 (g/C)}{t_c + (g/C) t_d + Z c_v t_d} N_{el} \quad (3.7)$$

Burada;

B_s = durağın otobüs kapasitesi (otobüs/saat)

B_l = tek bir biniş alanının otobüs kapasitesi (otobüs/saat)

N_{el} = etkin biniş alanlarının sayısı (Çizelge 3.9)

3600 = bir saatteki saniye sayısı

g/C = yeşil süre oranı (efektif yeşil sürenin toplam trafik sinyal devre uzunluğuna oranı, sinyalizasyon olmayan cadde ve hatlarda 1,0'e eşittir)

t_c = boşaltma süresi (saniye)

t_d = ortalama duruş süresi (saniye)

Z = istenilen hata oranı ile ilgili standart normal değişken

c_v = duruş süreleri değişim katsayısı

Çizelge 3.10, çeşitli biniş alanı sayısı, duruş süreleri ve yeşil süre oranları için, yol üstü otobüs duraklarının tahmini maksimum kapasitesini sunmaktadır.

Çizelge 3.10 Yol üstü doğrusal otobüs duraklarının tahmini maksimum kapasitesi
(otobüs/saat)

Yol Üstü Doğrusal Biniş Alanları Sayısı										
Duruş Süresi (s)	1		2		3		4		5	
	g/C 0,5	g/C 1,0	g/C 0,5	g/C 1,0	g/C 0,5	g/C 1,0	g/C 0,5	g/C 1,0	g/C 0,5	g/C 1,0
30	48	69	84	120	118	169	128	182	133	189
60	27	38	48	66	68	93	74	101	76	104
90	19	26	34	46	48	64	52	69	54	72
120	15	20	26	35	37	49	40	53	41	55

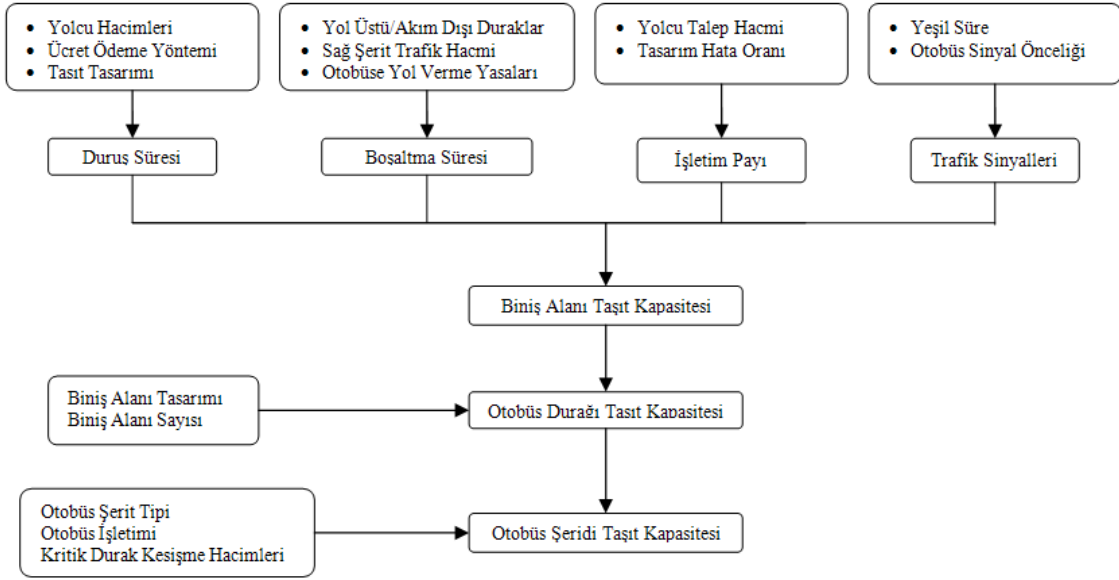
Not: 10 saniye boşaltma süresi, %25 hata oranı, %60 duruş süreleri değişim katsayısı ve yol üstü duraklara rastgele varışlar baz alınmıştır. Doğrusal olmayan yol üstü durakların taşıt kapasitesini elde etmek için, tek bir biniş alanının değeri biniş alanı sayısı ile çarpılır.

3.2.4 Otobüs Tesisi Kavramları

Otobüs tesis (hat) kapasitesi, büyük ölçüde tesisin ayırım (exclusivity) derecesine bağlıdır. Otobüslerin diğer trafikle daha az kesişmesi, daha yüksek bir kapasite sağlayacaktır. 3.5, 3.6 ve 3.7’de, sırasıyla, kesişme bulunmayan katlı özel toplu taşıma yolları ve otoyol yüksek doluluklu taşıt şeritleri, tercihli anayol şeritleri ve karma akım şeritleri için otobüs tesisleri kapasitesinin özel hesaplama yöntemleri sunulmaktadır.

Otobüslerin tesis (hat) boyunca duruş yapmadığı yerlerde, otobüs kapasitesini kısıtlayıcı unsurlar arasında; (1) durak olmayan kısımdan önce veya sonraki tesislerin kapasitesi (2) otobüslerin son durağı olan terminal veya toplu taşıma merkezinin kapasitesi sayılabilir. Diğer tüm tesis tipleri için hat kapasitesi, kritik otobüs durağının -otobüsler arasındaki en yüksek izleme aralıklarına sahip olan otobüs durağının- kapasitesine göre belirlenir. Tipik olarak, bu durak en uzun duruş süresine sahip duraktır; ancak, bu durak örneğin, sinyalizasyon bir sola dönüşün ardından “uzak kenarda” yer alan durak (sola dönüş için görece kısa yeşil süre sağlanan) veya büyük sağa dönüş hacmi olan “yakın kenarda” yer alan durak da olabilir.

Tesise özel etkenler de otobüs tesis (hat) kapasitesini etkileyecektir. Örneğin, Şekil 3.10, tercihli anayol şeritlerinin otobüs kapasitesini belirleyen faktörleri göstermektedir.



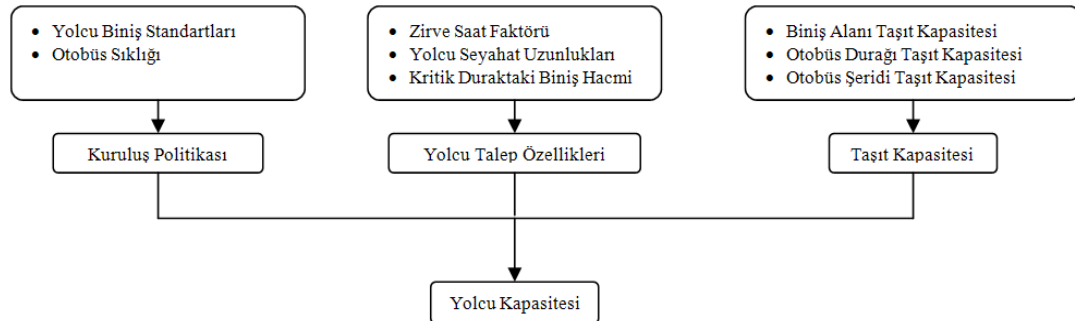
Şekil 3.10 Özel otobüs şeritleri için kapasite faktörleri

3.2.5 Yolcu Kapasitesi

Tesisin otobüs kapasitesi bilinirse, yolcu kapasitesi de kolaylıkla saptanabilir. Ancak, Şekil 3.10'da sunulan otobüs kapasitesi ile ilgili faktörlere ek olarak, Şekil 3.11'de gösterilen ve yolcu kapasitesi hesaplanırken göz önüne alınması gereken çeşitli faktörler bulunmaktadır.

Biniş Çeşitliliği

Yolcu talebinin hat boyunca ve analiz periyodu süresince nasıl dağılım gösterdiği, *taşınabilecek* yolcu miktarını etkilemektedir. Örneğin, yolcu talebinin mekânsal özelliği nedeni ile yolcu kapasitesi bir hat veya yolun tamamı için değil de maksimum (yolcu) yüklü kesim (maximum load section) için belirlenir.



Şekil 3.11 Yolcu kapasite faktörleri

Bir saat boyunca yolcu talebi değişkenlik gösterecektir. Denklem (3.1)'de gösterilen zirve saat faktörü, zirve saati boyunca (tipik olarak) 15 dakikalık periyotlardaki yolcu talep hacimleri

arasındaki ilişkiyi yansıtmaktadır. Otobüs sistemi, bu zirve yolcu talebini karşılayacak yeterli kapasiteyi sağlamak üzere tasarlanmalıdır. Ancak, tüm bir saat boyunca bu zirve talebi sürdürülemediği ve otobüslerin tümü aynı zirve yüklerini taşımayacağı için, bu zirve saat boyunca yararlanılan (achievable) yolcu kapasitesi, zirve içinde zirve talep hacimleri kullanılarak hesaplanan değerden daha küçük olacaktır.

Ortalama yolculuk (seyahat) uzunluğu, güzergâhı boyunca seyreden otobüse binen yolcu sayısını etkiler. Seyahat uzunluğu büyük ise (yolcular güzergâh başlangıcına yakın bir noktadan biniş yapıp, bitişe yakın bir noktadan iniş yapıyorlarsa), bu güzergâhtaki otobüslere, güzergâhı boyunca çok sayıda noktada iniş-biniş yapılan otobüsler kadar yolcu binmeyecektir. Ancak, her bir güzergâhın kendi maksimum (yolcu) yüklü kesimlerinde otobüslerdeki toplam yolcu sayısı benzerlik gösterebilir.

Otobüs duraklarında biniş yapan yolcuların dağılımı, her bir duraktaki duruş süresini etkiler. Yolcu binişleri tek bir durakta yoğunlaşmış ise, bu durağın duruş süresi tüm tesisin (hattın) otobüs kapasitesini (ve dolayısıyla yolcu kapasitesini) etkileyeceği için, bu tesisin (hattın) otobüs kapasitesi daha düşük olacaktır. Yolcu biniş hacimlerinin duraklar arasında dengeli olarak dağılması durumunda, maksimum biniş noktasındaki potansiyel otobüs ve yolcu kapasitesinin ikisi de daha büyük olur.

İşletme Politikası

Toplu taşıma kuruluşunun doğrudan kontrolü altında olan iki faktör vardır; otobüslerde izin verilen planlanmış maksimum yolcu yükü (kuruluş politikası ve taşıt alma kararlarının kombinasyonu ile belirlenir) ve hizmet sıklığı. Otobüste planlanan maksimum yolcu yükü, “kapasite” ile eş anlamlıdır ve uygun bir “ayaktaki yolcu sayısı” kabulünü yapar. Maksimum yolcu yükü, planlama amaçları için üst limiti temsil eder. Planlanan maksimum yük, tipik olarak, otobüsün oturma kapasitesinin %125 ile %150’si arasındadır. Örneğin, tipik bir 12 metrelik otobüsün maksimum yükü 54 ile 64 arasında yolcu vardır.

Büyük yolcu yükleri (Crush loads), yani tipik olarak otobüsün oturma kapasitesinin %150’sinin üzerinde olan yolcu hacimleri, ayaktaki ve diğer yolcular için makul olmayan bir konforsuzluğa sebep olur. Bu büyük yükler, yolcular için kabul edilebilir değildir. Büyük yükler, ara duraklarda yolcuların sirkülasyonuna engel olur, böylece gecikmelere ortaya çıkar ve taşıt kapasitesini azaltır. Teorik olarak, büyük yolcu yükleri sunulan kapasiteyi simgelese de, bu yükler belirli bir periyot için her otobüste sürekli olarak sağlanamaz ve maksimum faydalı kapasiteyi (maximum utilized capacity) aşar. Bu nedenle, büyük yükler toplu taşıma kapasite hesaplarında kullanılmamalıdır. Ancak, planlanan maksimum yükler kullanıldığında,

yolcu talebinin zirve özellikleri nedeniyle bazı otobüsler büyük yüklere maruz kalacaktır.

Tüm yolcularının oturarak seyahat etmesini gerektiren politikaya sahip bir kuruluş, ayakta yolculuğu da izin veren işletme politikasına sahip bir kuruluş veya daha uzun otobüsler kullanan kuruluşa oranla, belirli sayıdaki otobüs için daha düşük bir “potansiyel yolcu kapasitesi”ne sahip olacaktır. Bir otobüs durağı veya tesisi, fiziksel olarak, gerçekte planlanandan daha fazla otobüse hizmet etme kabiliyetine sahip olmasına rağmen, gerçekte ne kadar yolcunun taşınabileceğini otobüs sıklığı belirlemektedir.

Yolcu kapasitesi belirtilirken yukarıdaki son saptama önem kazanmaktadır: kapasite, mevcut çizelgeye göre taşınabilen maksimum yolcu sayısını mı, yoksa tesisin kaldırabileceği sayıdaki otobüsün çizelgeye dâhil edilmesi halinde taşınabilen maksimum yolcu sayısını mı göstermektedir? Denklem (3.8), hesaplamada bu ikisinin farkını göstermekte ve otobüs güzergâhı ya da tesisinde uygulanabilmektedir.

$$P = \min \begin{cases} P_{maks} f(PHF) \\ P_{maks} B(PHF) \end{cases} \quad (3.8)$$

Burada;

P = Yolcu kapasitesi (yolcu/saat)

P_{maks} = Otobüs başına planlanan maksimum yolcu yükü (yolcu/otobüs)

f = Planlanan otobüs sıklığı (otobüs/saat)

B = Tesisin otobüs kapasitesi (3.5, 3.6 ve 3.7’de gösterilen yöntemlerden elde edilen)

PHF = Zirve saat faktörü

Önerilen zirve saat faktörü değerleri için daha önce sunulan duruş sürelerinin hesabı bölümündeki anlatımlara bakabilirsiniz. Bir tesisi farklı boyutlardaki otobüslerin kullanması planlandığında, Denklem (3.8)’de kullanmak üzere, her bir otobüs tipinin sayısı ve her bir otobüs tipi için kullanılan yolcu yükü baz alınarak, otobüs başına planlanmış ağırlıklı maksimum çizelge yükü belirlenmelidir. Tipik otobüs taşıt tipleri, boyutları ve yolcu kapasiteleri Çizelge 3.11’de verilmiştir.

Çizelge 3.11 ABD ve Kanada’da kullanılan toplu taşıma otobüslerinin özellikleri

Otobüs Tipi	Uzunluk (ft)	Genişlik (ft)	Tipik Yolcu Kapasitesi		
			Oturan Yolcu Sayısı	Ayakta Yolcu Sayısı	Toplam
Küçük Otobüs/Minibüs	18–30	6,5–8,5	8–30	0–10	8–40
Toplu Taşıma Otobüsü (yüksek döşeme)	35	8,0–8,5	35–40	20–30	50–60
	40	8,5	40–45	20–35	65–75
Toplu Taşıma Otobüsü (düşük döşeme)	35	8,0–8,5	30–35	20–35	55–70
	40	8,5	35–40	25–40	55–70
Körüklü (yüksek döşeme)	60	8,5	65	35–55	100–120

Kaynak: 1985 Highway Capacity Manual

NOT: Herhangi bir toplu taşıma taşıtında, toplam yolcu kapasitesi koltukların kaldırılması ve daha fazla ayakta durma yeri açılmasıyla artırılabilir. Ancak, bu durum yolculara sunulan hizmetin kalitesini düşürür. Toplam kapasitenin üst sınırları büyük yolcu yükünü (crash capacity) temsil etmekte olup, toplu taşıma kapasite hesaplarında kullanılmamalıdır.

Düşük döşemeli otobüsler tipik olarak, eşdeğer 10,7–12,2 metrelik yüksek döşemeli otobüslere oranla, tekerleklerin kapladığı ve oturmak için kullanılamayan ölü alanlar nedeni ile daha az koltuğa (beş veya altı koltuk) sahiptir. Düşük döşeme körüklü otobüsler, bazı işletmelerde kullanılmaktadır.

3.3 Otobüs Öncelikli İyileştirmeler

3.3.1 Giriş

Bu bölüm, otobüs öncelikli iyileştirme uygulamaları ile ilişkili olan işletim konularını sunmaktadır. Otobüs toplu taşımacılığının özel otomobil kullanımı ile daha fazla rekabet edebilmesi ve yolcular için yüksek hizmet düzeyi sağlayabilmesi için kent alanlarında çok çeşitli iyileştirme yöntemleri geliştirilmiştir. Bu bölüm günümüze kadar geliştirilmiş ve öne çıkan bazı işletim ölçütlerini tanıtmaktadır.

Otobüs Öncelikli İyileştirme Kullanımı

Şehir alanlarında, toplu taşıma taşıtlarının gecikme miktarının önemli bir bölümü trafik sıkışıklığından kaynaklanmaktadır. Bu sıkışıklık, yolcular için daha uzun yolculuk sürelerine neden olur, dahası izleme sürelerinin korunması için toplu taşıma kuruluşlarının hatlara daha fazla otobüs eklemesi gerekmektedir. Bu da daha yüksek işletim maliyetlerine neden olur.

Otobüs öncelikli iyileştirmeler, karma akımda işletilen otobüslerin gecikmelerini azaltma potansiyeline sahiptir. Bu ölçütler, çizelgeye bağlı kalmayı iyileştirmekte, toplu taşıma yolcuları için yolculuk süresini ve gecikmeleri azaltmayı amaçlamaktadır. Bu ölçütler, sisteme yeni yolcular çekebilir, toplu taşıma kapasitesini arttırabilir ve/veya toplu taşıma hizmet kalitesini geliştirebilir.

Başarılı önceliklendirme ölçütlerinin özellikleri şunlardır:

- Sınırlı yol kapasitesi ve yüksek tüm-gün park ücretleri olan kent merkezinin iyileştirilmesi (yüksek yoğunluklu, sınırlı yol kapasitesi ve yüksek tüm-gün park ücretleri olan kent merkezi)
- Kamu ulaştırmasına uzun dönemli bağımlılık
- Kent merkezi yaklaşımlarında otoyol kapasite sınırlamaları
- Kent merkezine karayolu bağlantılarının büyük su yolu engelleri nedeniyle erişiminin sınırlı olması ve otobüs akımlarının geçebileceği koridorlar açılması
- Uzun mesafeler için hızlı ekspres (duraksız) otobüs
- Su bariyerlerine yaklaşımda bariyerleri geçmekte otobüs öncelikleri
- Kent merkezinde otobüs hizmetlerinin özel dağılımı (anayol dışındaki terminallere yer verilmesi) ve
- Aktif bir trafik yönetimi ile bakım, işletim ve denetleme programları

Belirgin faydaları nedeniyle toplu taşıma taşıtlarına öncelik veren ulaştırma politikaları, toplu

taşıma kuruluşlarının toplu taşıma önceliği ölçütlerini uygulamalarına izin verebilmektedir.

Otobüs öncelikli iyileştirmeleri; toplu taşıma taşıtının hızını yükseltmek ve tüm sistemin verimliliğini arttırmak için tasarlanmış teknikler olarak tanımlanabilir. Bunlar, fiziksel iyileştirmeleri, işletim ve düzenleyici değişiklikleri içerir. Otobüs öncelikli iyileştirmeler, uygulamaya bağlı olarak, yolculuk süresi değişkenliğini düşürebilir ve çizelgeye bağlılığı arttırabilir. Bu iyileştirmelerin uygulanması düşünülürken, yolcu-gecikmesindeki toplam kar (otobüsteki ve özel taşıttaki yolcuların ikisini de içeren) göz önüne alınmalıdır.

Yolcu Gecikme Kavramları

Çoğu durumda, otobüs öncelikli iyileştirmeler, yolu kullanan çeşitli kullanıcılar arasında bir ödünleşmeyi gerektirmektedir. Örneğin bir trafik sinyalinde kuyruk atlama uygulanması motorlu taşıtlar ve yolcuları, bisikletliler ve yayalar için ek bir gecikmeye neden olabilirken, otobüs yolcuları için süre tasarrufu sağlar. Bir öncelik ölçütünü uygularken dikkat edilmesi gereken, bu ölçütün sonucunda yolu kullanan herkes için yolcu gecikmesindeki net kazançtır. Tabii ki, maliyet, hizmet kalitesindeki değişim ve daha iyi bir toplu taşıma kullanımını teşvik edici yerel politikalar gibi diğer faktörler de göz önüne alınmalıdır. 3.8’de yer alan örnek problem, bir trafik sinyal önceliğinin uygulanmasından kaynaklanan yolcu gecikmesindeki net kazancın nasıl değerlendirileceğini göstermektedir.

3.3.2 Otobüs Yolu ve Çevre Yolu HOV Şeritleri

Otobüs seyir yolunun diğer trafikten ayrılması, hizmet kalitesini geliştirebilecek çeşitli alternatifler sağlamaktadır. Otobüsler yüksek hızda ve trafik tıkanıklığından etkilenmeden seyir edebildiklerinde otobüs yolculuk süreleri, çizelgeye bağlılık ve taşıt verimliliği konularında iyileşme sağlanacaktır. Böylece verimlilik yükselir, güvenilirlik artar ve yeni yolcuları sisteme çekme potansiyeli zenginleşir.

Otobüs yolu terimi, kent içi yolların orta aksındaki otobüs şeritleri, hemzemin özel otobüs yolları, otobüsler tarafından kullanılan çevre yolu HOV şeritleri, raylı sistemlere benzeyen “kesişme bulunmayan katlı” otobüs sistemlerini tanımlamak üzere kullanılmaktadır.

Çizelge 3.12, “kesişme bulunmayan katlı otobüs yolları” ve çevre yolu HOV şeritlerinin bazı önemli işletim özelliklerini sunmaktadır.

Çizelge 3.12 Kuzey Amerika'daki bazı otobüs yolu ve çevre yolu HOV sistemlerinin işletim özellikleri

<i>Bölge</i>	<i>Şerit Sayısı</i>	<i>Uzunluk (km)</i>	<i>HOV Hizmet Süresi</i>	<i>Kullanım Hakkı</i>
Kesişme Bulunmayan Katlı Ayrımlı Otobüs Yolları				
Ottawa				
Southeast Transitway	Her yönde 1 şerit	8,2	24 Saat	Yalnızca Otobüs
West Transitway	Her yönde 1 şerit	4,9	24 Saat	Yalnızca Otobüs
Southwest Transitway	Her yönde 1 şerit	3,5	24 Saat	Yalnızca Otobüs
East Transitway	Her yönde 1 şerit	6,5	24 Saat	Yalnızca Otobüs
Central Transitway	Her yönde 1 şerit	2,7	24 Saat	Yalnızca Otobüs
Pittsburgh				
East Busway	Her yönde 1 şerit	14,6	24 Saat	Yalnızca Otobüs
South Busway	Her yönde 1 şerit	6,6	24 Saat	Yalnızca Otobüs
West Busway	Her yönde 1 şerit	8,0	24 Saat	Yalnızca Otobüs
Seattle (Otobüs Tüneli)	Her yönde 1 şerit	2,1	24 Saat	Yalnızca Otobüs
Minneapolis	Her yönde 1 şerit	1,8	24 Saat	Yalnızca Otobüs
Boston (South Boston Tunnel)	Her yönde 1 şerit	1,6		
Boston (Harvard Square)	Her yönde 1 şerit	0,3	24 Saat	Yalnızca Otobüs
Dallas	Her yönde 1 şerit	1,0	24 Saat	Yalnızca Otobüs
Providence (Otobüs Tüneli)	Her yönde 1 şerit	0,6	24 Saat	Yalnızca Otobüs
Hemzemin Otobüs Yolları				
Miami (South Dade Busway)	Her yönde 1 şerit	13,2	24 Saat	Yalnızca Otobüs
Seattle (güney tünel erişimi)	Her yönde 1 şerit	2,6	24 Saat	Yalnızca Otobüs
Vancouver (3.Cadde)	Her yönde 1 şerit	2,0	24 Saat	Yalnızca Otobüs
Bariyer Ayrımlı Çift Yönlü HOV Şeritleri				
Los Angeles (I-10 El Monte)	Her yönde 1 şerit	6,4	24 Saat	3+ HOV
Seattle (I-90)	Her yönde 1 şerit	2,5	24 Saat	2+ HOV
Bariyer Ayrımlı Değişken Yönlü HOV Şeritleri				
Northern Virginia (I-95/I-395)	2	24	24 Saat	3+ HOV
Houston				
I-10 (Katy Çevreyolu)	1	21	05:00–12:00, 14:00–21:00	3+ HOV
I-45 (Gulf Çevreyolu)	1	19,4	05:00–12:00, 14:00–21:00	2+ HOV
US 290 (Northwest Çevreyolu)	1	21,6	05:00–12:00, 14:00–21:00	2+ HOV
I-45 (North Çevreyolu)	1	21,6	05:00–12:00, 14:00–21:00	2+ HOV
US 59 (Southwest Çevreyolu)	1	18,4	05:00–12:00, 14:00–21:00	2+ HOV
İki Yönde Ortak Kullanılan HOV Şeritleri				
Miami (I-95)	Her yönde 1 şerit	52	Güney yönünde 07:00–09:00, Kuzey yönünde 16:00–18:00	2+ HOV
Atlanta (I-75)	Her yönde 1 şerit	19,3	24 Saat	2+ HOV
Honolulu (H-2)	Her yönde 1 şerit	13,1	06:00–8:00, 15:30–18:00	2+ HOV
Montgomery County, MD				
I-270	Her yönde 1 şerit	25,8		2+ HOV
US 29 (shoulders)	Her yönde 1 şerit	4,8	zirve periyotlarda	Yalnızca Otobüs
Ottawa				
Hwy. 417 Kenta	Doğu yönünde 1 şerit	4,8	zirve periyotlarda	Yalnızca Otobüs
Hwy. 17 Orleans	Batı yönünde bir şerit	4,8	07:00–09:00	Yalnızca Otobüs

<i>Bölge</i>	<i>Şerit Sayısı</i>	<i>Uzunluk (km)</i>	<i>HOV hizmet süresi</i>	<i>Kullanım hakkı</i>
Ek Şerit HOV Şeritleri				
New Jersey (Lincoln Tunnel appr.)	Doğu yönünde 1 şerit	4,0	06:00–10:00	Yalnızca Otobüs
Dallas	Zirve yönde 1 şerit	8,3	06:00–09:00 16:00–19:00	2+ HOV
Boston	Zirve yönde 1 şerit	9,6	06:00–10:00 15:00–19:00	3+ HOV
Montréal	1	6,9	Kuzey Yönünde 06:30–09:30, Güney Yönünde 15:30–19:00	Yalnızca Otobüs
HOV Kuyruk Yanyolları (Baypasları)				
Oakland (Bay Bridge Toll Plaza)	3	1,4	05:00–10:00, 15:00–19:00	3+ HOV
San Diego (“A” Street ramp to I-5)	1	0,6	24 Saat	Yalnızca Otobüs
Los Angeles (250 freeway ramps)	1	0,2	Talep uygunsa	2+ HOV
Chicago (I-90 toll plaza)	Doğu yönünde 1 şerit	0,8	Zirve periyotlarda	Yalnızca Otobüs

3.3.3 Trafik Sinyal Önceliği

Başlangıçta, sinyal önceliğini sağlama denemeleri “ani sinyal değişimi ile önceliklendirme-signal pre-emption” üzerinde yoğunlaşmıştır. Bu ani sinyal değişimi, diğer koşullara aldırılmaksızın, acil durum taşıtlarında olduğu gibi, otobüslere doğrudan yeşil ışık yanması şeklinde gerçekleşmektedir. Ani sinyal değişimi, trafik sinyal kontrol sisteminin düzeni açısından arzu edilmeyen bir durumdur ve karşıdan karşıya geçen yayalar için kaza potansiyelini arttırmaktadır. Taşıt işletimi açısından, “ani sinyal değişimi” -aynı zamanda sonraki otobüslerin de etkileneceği- trafik sinyalleri arasında var olan koordinasyonu keserek önemli miktarda trafik sıkışıklığına neden olabilecektir. Bu nedenle birçok ulaştırma kuruluşu tarafından tercih edilmemektedir.

Sinyal önceliğini sağlamak için yapılan günümüz çalışmaları, diğer sistemlerin gerektirdiği koşullar ile dengelenmiş olarak, otobüsler için öncelikli iyileştirmeler sağlamaktadır. Sinyal önceliği ölçütleri “ani sinyal değişimi”ne ek olarak pasif, aktif ve gerçek-zamanlı önceliği içermektedir.

Pasif stratejiler, yapılan düzenlemenin avantajından faydalanan bir otobüsün orada olması veya olmamasına bakmaksızın, sinyal sisteminde yapılan sabit zaman ayarlamaların kullanıldığı stratejilerdir. Bu düzenlemeler, diğer taşıtlara olan etkiyi minimize ederken, en yüksek toplu taşıma faydasını sağlayacak şekilde tamamlanmaktadır. Pasif öncelik, kavşak sinyal zamanlamasının basit olarak değiştirilmesinden, sistem genelinde yeniden bir zamanlama yapılmasına kadar çeşitli düzenlemeleri içermektedir. Pasif stratejilerde sinyal

zamanlaması, koordinasyon planlarını belirlemek amacı ile toplu taşıma işletim bilgilerinden (örneğin, bir yol kesimi boyunca otobüs yolculuk süreleri) faydalanılabilmektedir. Trafik sinyal devre uzunluğunu kısaltmak, pasif öncelik ölçütüne örnek verilebilir.

Aktif stratejiler, kavşağa yaklaşan bir otobüsün algılanması sonrasında sinyal zamanlamasının ayarlanmasıdır. Sinyal kontrol cihazlarının uygulama ve kabiliyetlerine bağlı olarak aktif uygulama “koşulsuz” veya “koşullu” olarak sağlanabilmektedir. Koşulsuz stratejilerde öncelik uygulamak için, otobüsün kavşağa varması esastır. Koşullu stratejilerde ise, taşıt içi otomatik taşıt konumlandırma (AVL) cihazı (örneğin, otobüs çizelgenin gerisinde mi kalmış, ne kadar gerisinde kalmış?) ve/veya otomatik yolcu sayım (APC) cihazından (örneğin, taşıtta ne kadar yolcu var?) alınan bilgiler, sinyal kontrol aracından gelen kavşakta bir önceki otobüse ne kadar süre önce öncelik verildiği bilgisi ile birleştirilerek, şimdi yaklaşmakta olan otobüse öncelik verilip verilmemesine karar verir.

Gerçek- zamanlı Stratejiler, tek bir kavşağa veya bir kavşak ağına varan otobüs ve otomobillerin ikisini de göz önüne almaktadır. Gerçek-zamanlı kontrol uygulamaları, tarih ile sınırlıdır ve sahadaki mevcut trafik koşulları ve otobüs konumlarına yanıt veren “sinyal zamanlamasının optimizasyonu”nu yapabilen özel ekipmanları gerektirmektedir.

Çizelge 3.13 Otobüs sinyal önceliği sistemleri

<i>İyileştirme</i>	<i>Açıklama</i>
Pasif Öncelik	
Devre sürelerinin ayarlanması	Otobüs yararı için izole kavşaklardaki devre sürelerinin azaltılması
Ayrık/özel fazlar	Orijinal sinyal süresi korunurken, kavşaklarda, otobüs hareketleri için özel fazların tanımlanması
Sistem genelinde zamanlama planları	Sinyal ofsetleri boyunca otobüsler için öncelikli ilerleme
Baypas kontrol sinyalleri	Otobüsler özel ayrılmış şeritler ile özel sinyal fazları kullanırlar veya sinyalizasyon olmayan kavşaklara yönlendirilirler
Faz uzunluğunun ayarlanması	Otobüs yaklaşım kollarında yeşil sürenin artırılması
Aktif Öncelik *	
Yeşil uzatma	Mevcut otobüs fazı aktifken, faz süresinin artırılması
Erken başlangıç (kırmızı kesme)	Sinyalin, otobüsler için daha erken yeşile dönmesi amacıyla diğer faz sürelerinin kısa tutulması
Özel faz	Bir otobüs fazı eklenmesi
Faz önleme	Önceliği olmayan fazların atlanması
Gerçek-Zamanlı Öncelik *	
Gecikme-optimizasyon kontrolü	Toplam yolcu gecikmesini azaltmak amacı ile sinyal zamanlamasının değiştirilmesi
Ağ kontrolü	Toplam sistem performansını göz önüne alarak sinyal zamanlamasının değiştirilmesi
Ani Sinyal Değişimi *	
Ani sinyal değişimi	Mevcut faz aniden kesilir ve otobüs fazı devreye girer
* Listelenen iyileştirmeler, koşulsuz (bir talep geldiğinde gerçekleşir) veya koşullu (eğer diğer koşullar – çizelge durumu, yolcu miktarı vb.- uygunsa öncelik sağlanır) olabilir.	

Uygulama Notları

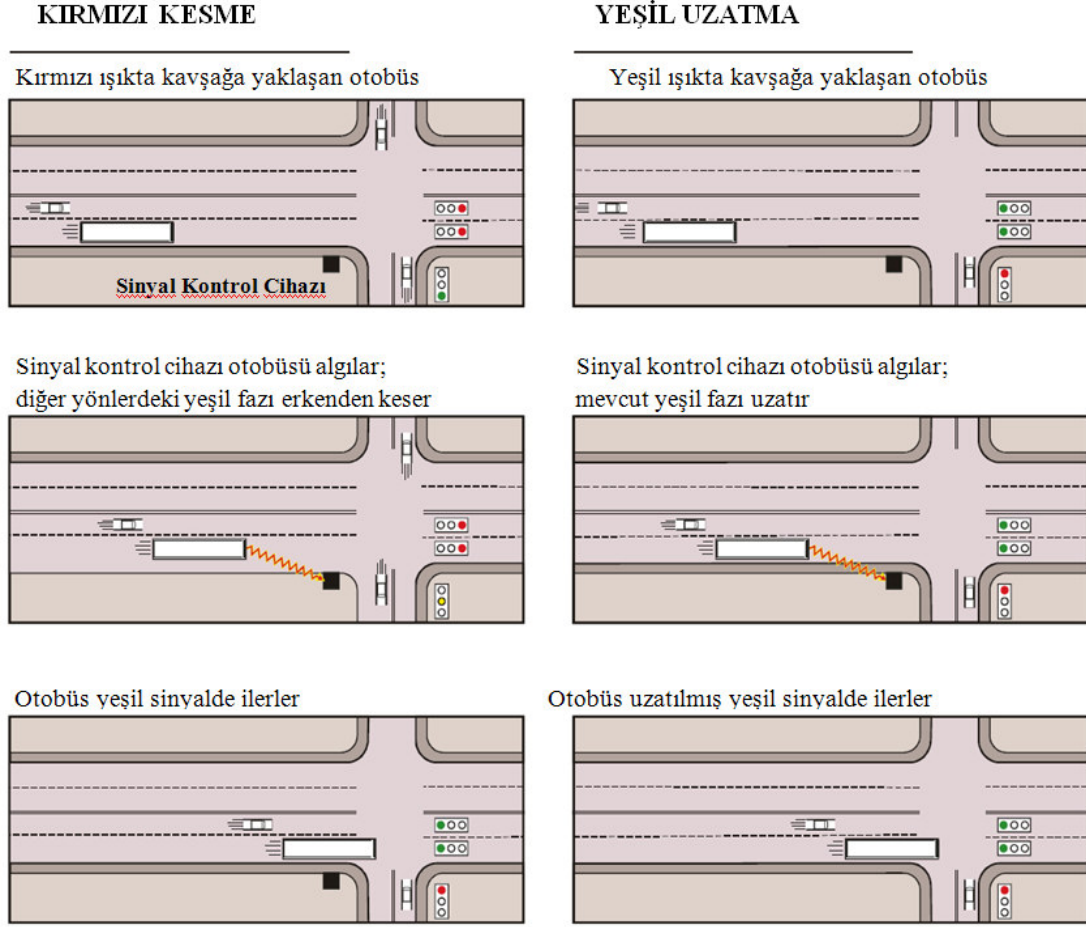
Toplu taşıma personeli ile trafik mühendisleri arasındaki ilişkinin önemi gereğinden fazla vurgulanmamalıdır. Bu gruplar arasındaki koordinasyon, toplu taşıma önceliği ölçütlerinin verimli olarak uygulanması için gereklidir.

Trafik sinyal önceliği, yalnızca trafik işletiminin iyi bir şekilde anlaşıldığı kavşaklarda uygulanmalıdır. Hem trafik hem de toplu taşıma işletim koşullarından toplanan saha verileri (gözlem verileri) toplu taşıma ve ulaştırma mühendisliği personelinin, sinyal zamanlamasında yapılması düşünülen herhangi bir değişikliğin etkileri ve faydaları konusunda, bilgiye dayalı

olarak karar vermelerinde kolaylık sağlamaktadır. Çoğu durumda, bu fayda ve etkiler için yolcu gecikmesindeki değişimin analiz edilmesinin yeterli olacağı kabul edilmektedir.

Sinyal öncelik sistemleri karmaşık bir çeşitliliğe sahiptir. Otobüs şoförünün müdahalesine bağlı olarak çalışan basit sistemler, taşıtta bulunması gereken teknoloji miktarını azaltmaktadır. Ancak, sürücülerin, sinyal önceliği araçları bulunan kavşaklarda sistemi başlatmayı unutması durumuna karşın, otobüs şoförünün müdahalesine ihtiyaç duymayan otomatik sistemler tercih edilmektedir. Bununla beraber, iki yönlü veri iletimi ve AVL cihazı ile birleştirilmiş bir otomatik sistem, öncelik için gereken belirli koşulları sağlayan bir otobüsün (örneğin, şu anda bulunduğu noktada çizelgesinin gerisinde kalmış, hareket halinde, yolcu indirme bindirme işlemini tamamlayarak kapılarını kapatmış vb.) kavşakta bulunması durumunda, sinyal önceliğini başlatmaktadır. Sinyal önceliği sistemlerinde her koşul için en iyi sonucu verecek teknolojiler bulunmaktadır. Bu nedenle ortada en iyi yöntem olarak adlandırılacak bir yöntem bulunmamaktadır.

Şekil 3.12, hem kırmızı kesme hem de yeşil uzatma sağlayan aktif sinyal uygulamasını göstermektedir. Yol kenarı cihazı (örneğin, algılayıcı cihaz kullanılması), gelen bir otobüsü algılayabilmekte veya otobüse monte edilmiş bir cihaz vasıtasıyla sinyal kontrol cihazına öncelik için talep iletebilmektedir.



Şekil 3.12 Otobüs sinyal önceliği kavramları- kırmızı kesme ve yeşil uzatma

Çizelge 3.14’de gelişmelere neden olan, günümüzdeki beş adet toplu taşıma sinyal önceliği uygulaması yer almaktadır.

Çizelge 3.14 Toplu taşıma sinyal önceliği ile ilgili belirtilen faydalar

<i>Yer</i>	<i>Öncelik Tipi</i>	<i>Belirtilen Faydalar</i>
Los Angeles	Uzatma, Kesme	Otobüs yolculuk süresinde %7 azalma
Chicago	Öncelik, Ani sinyal değişimi	Otobüs yolculuk süresinde %12–23 azalma
Bremerton, Washington	Ani sinyal değişimi	Otobüs yolculuk süresinde ortalama %10 azalma
Portland, Oregon	Uzatma, Kesme	Otobüs yolculuk süresinde %5–12 azalma
Anne Arundel, Maryland	Ani sinyal değişimi	Otobüs yolculuk süresinde %13–18 azalma, diğer trafik üzerinde %4–9 etki

3.3.4 Mevki-Özelinde Öncelik İyileştirmeleri

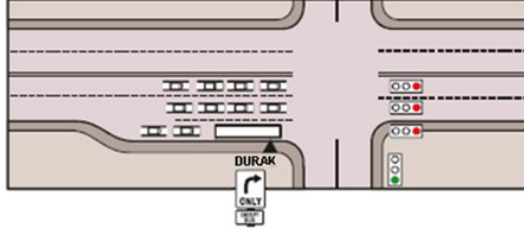
Kuyruk Atlama

Kuyruk baypas şeritleri veya kuyruk atlama düzenlemeleri, sinyalize kavşaklarda otobüslerin uzun taşıt kuyruklarından kaçınmasına izin vermektedir. Kısa bir otobüs şeridi veya diğer trafik kontrol ölçütleri, otobüslerin tıkanık bölgelerde azaltılmış bir gecikme ile seyahat etmelerine imkân sağlamaktadır. Otobüs dönüş muafiyeti (serbestliği) ile birlikte sağa dönüş şeritleri veya uzun durak cepleri, otobüslerin, normal trafik şeridindeki kuyruğun büyük bir bölümünün önüne geçmesine izin vermektedir.

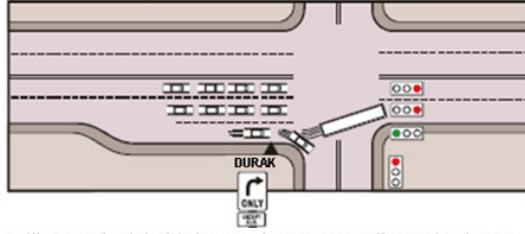
Bazı durumlarda, özel bir sağ şerit sinyali otobüsler için, bitişik şeritlerdeki trafikten önce bir yeşil sinyal sunabilmektedirler. Bu süre zarfında, otobüsler sağ şeritten çıkar ve sinyalde durmuş olan diğer trafiğin ilerisindeki sol şeride geçerler. Alternatif olarak, otobüs kırmızı ışıktaki sağ şeride yanaşır ve yeşil ışıktaki kavşaktan sonra yer alan bir durak cebine (off-line) doğru hareket eder, böylece kavşağı boşaltmak için kuyrukta bekleme gecikmesinin azaltılması sağlanmış olur.

Şekil 3.13, tipik bir kuyruk atlama tasarımını ve bir uygulama örneğini göstermektedir. Kopenhag örneğinde, normal trafik şeritlerinde otobüslere öncelik verilmesi amacıyla, kavşaktan hemen önce yer alan otobüs durağı ile sonlanan bir otobüs şeridi ve özel bir toplu taşıma sinyali (normal trafik sinyaline bitişik düşey bir çubuk işareti veren özel sinyal) kullanılmaktadır. Edmonton'da sekiz kavşakta buna benzer bir sistem kullanılmaktadır. Çoğu uygulamada, Portland örneğinde gösterildiği gibi, otobüs sinyali için, özel bir toplu taşıma sinyali yerine, normal trafik sinyalleri (uygun işaretleme ve bir koruyucu ile birlikte) kullanılması tercih edilmektedir.

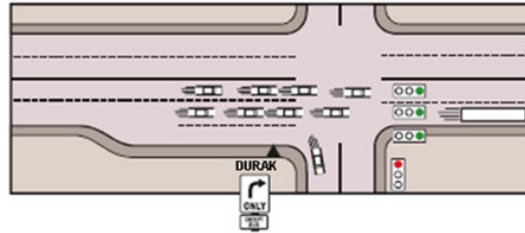
Yolcu binişleri kırmızı sürede gerçekleşiyor



Otobüs için diğer taşıtlardan önce yeşil süre başlıyor



Diğer taşıtlar için bir kaç saniye sonra yeşil süre başlıyor



(a) Kavşaktan Önceki Durak Konsepti



(b) Kavşaktan Önceki Durak Uygulaması
(Kopenhag)



(c) Kavşaktan Sonraki Durak Uygulaması
(Oregon , Portland)

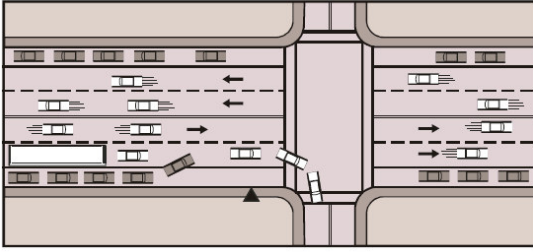
Şekil 3.13 Otobüs kuyruk atlama sinyali

Biniş Adaları

Yoğun parklanmanın olduğu, teslimat yapan taşıtların durduğu, sağa dönüş trafik hacminin yüksek olduğu ve çok şeritli bir caddenin sağ şeridindeki trafiği yavaşlatan diğer faktörlerin bulunduğu durumlarda, otobüslerin sol şeritte daha hızlı hareket etmesi mümkün olabilecektir. Şeritler arasında konumlandırılan biniş adaları sayesinde otobüsler, her duraktan önce yoğun olan sağ şeride yavaşmaksızın daha hızlı olan bitişik şeridi kullanabilirler. Biniş adalarının kullanılması düşünülüyorsa, yaya güvenlik konuları iyi tanımlanmalıdır. Şekil 3.14, bu düzenlemenin kavramsal tasarımını (konseptini) ve uygulamasını göstermektedir.

Önce

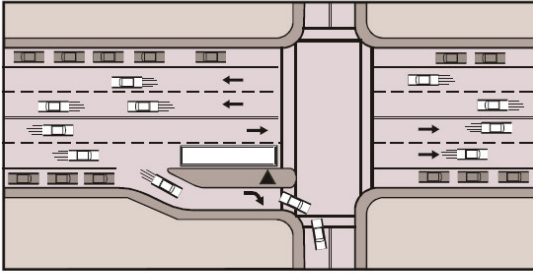
Park ve dönüş manevralarına bağlı olarak
sağ şeridin tıkanması



(b) Uygulama (Washington DC)

Sonra

Otobüsler daha hızlı bir şeritte seyreder, yolcuların
biniş ve inişi biniş adalarında gerçekleşir.



(a) Konsept



(c) Uygulama (San Francisco)

Şekil 3.14 Biniş adaları

Kaldırım Genişletme

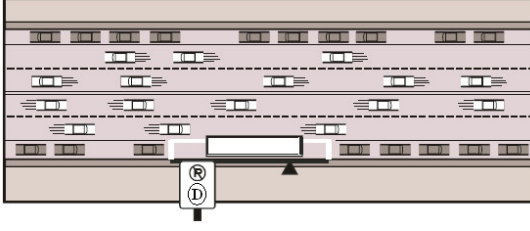
Kaldırım uzatma düzenlemesi, otobüs durağı bölümünde kaldırımın parklanma şeridini içine alacak şekilde genişletilmesidir. Böylece otobüsün seyir yolundan çıkmadan yolculara hizmet verebilmesi sağlanır.

Kaldırım genişletme düzenlemesi biniş adalarında olduğu gibi, otobüslerin parklanmanın olduğu sağ şeridin içine girmeden yolcuları almasına olanak sağlar. Bu uygulama, sağ şeritte parklanma yapılan ve yüksek trafik hacminin bulunduğu yollarda kullanılabilir. Bu durumlarda, sağ şerit durak uygulamasında olduğu gibi seyir yoluna yeniden katılmak için otobüs, yeterli büyüklükte bir boşluk beklemek zorunda kalmaz, böylece muhtemel katılım gecikmelerinin önüne geçilmiş olur. Buna ek olarak, eğer otobüs durağı bir kavşakta yer alıyorsa, yayaların karşıdan karşıya geçme mesafesi azalır.

Kaldırımın bu bölgede genişletilmesiyle birlikte, otobüsün parklanma şeridine giriş ve çıkışları için ayrılan ekstra alana olan ihtiyaç ortadan kalkacağı için, daha fazla park alanı yaratılır. Bu düzenleme, kurp yarıçaplarına bağlı olarak, bazı sağa dönüşleri kısıtlayabilir. Şekil 3.15, bu düzenlemenin kavramsal tasarımını (konseptini) ve uygulamasını göstermektedir.

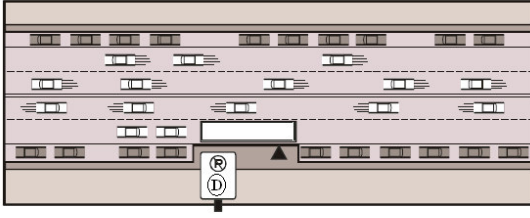
Önce

Sağ şeritteki otobüs durağına yanaşmış bir otobüs; yola devam etmek için trafikte bir boşluk oluşmasını beklemek zorundadır.



Sonra

Parklanma şeridini kapsayacak şekilde uzatılan kaldırım sayesinde otobüs, yolculuk şeridinde durur, daha çok park alanı elde edilmiş olur.



(a) Konsept



(b) Uygulama (Avusturya, Viyana)



(c) Uygulama (Oregon, Portland)

Şekil 3.15 Kaldırım genişletmeleri

Otobüse Yol Ver Yasası

ABD'nin Florida, Oregon, Washington, Kanada'nın British Columbia ve Québec eyaletlerinde, otobüs durağından trafiğe yeniden giriş yapan otobüslere diğer motorlu taşıtların yol vermesini gerektiren yasalara geçilmiştir.

Park Kısıtlamaları

Park kısıtlamaları, yukarıda tanımlanan toplu taşıma öncelik düzenlemelerinin çoğunu uygulamak için kullanılmaktadır. Tipik olarak, park kısıtlamalarına yol üstü otobüs duraklarının yakınında ihtiyaç duyulmaktadır. Caddedeki trafik akımını engelleyen yüksek park yeri giriş-çıkış (turnover) oranı olan alanlarda, park etme kısıtı ile birlikte otobüslerin, aynı zamanda kuyruk atlama şeridi olarak faydalanabilecekleri, bir sağa dönüş şeridi kullanılabilir.

Yarı-zamanlı özel otobüs şeritleri oluşturmak amacıyla, yarı-zamanlı park etme kısıtlamaları kullanılabilir. Getirilmesi düşünülen park kısıtlamalarının, genel trafiğe ve park alanı kaybindan etkilenecek yakın arazi kullanımlarına olan etkisi göz önüne alınmalıdır. Bazı örneklerde, toplam park alanı miktarının artmasına neden olan “durakların birleştirilmesi” düzenlemesi aracılığı ile parklanma kısıtları yumuşatılmıştır.

Dönüş Kısıtlamasından Muafiyet

Kavşaklardaki sola dönüş kısıtlamaları nedeni ile otobüsler için doğrudan bir güzergâh düzenlemek mümkün olmayabilir. Bu tür kısıtlamalar, genellikle sola dönüş şeridi için yeterli alan bulunmaması veya sola dönüş için sinyal devir süresini yükseltecek ve iyi bir kavşak işletimine engel olacak yüksek trafik hacimlerinin bulunması durumunda uygulanmaktadır. Sola dönüş kısıtlamalarının trafik sıkışıklığından kaynaklandığı durumlarda, kavşak işletimine aşırı etkisi bulunmayacak şekilde, özellikle otobüs gelişlerinin görece seyrek olduğu durumlarda, bu kısıtlamalardan otobüslerin muaf tutulması mantıklı olabilir.

3.3.5 Toplu Taşıma İşletim Ölçütleri

Yol ve trafik sinyalindeki iyileştirmeler, toplu taşıma akımını iyileştirmenin tek yolu değildir. Toplu taşıma hizmetinin tasarımı ve işletimi, kapasite, hız ve hizmet kalitesinin gelişmesinde önemli rol oynar.

Otobüs Duraklarının Yeniden Konumlandırılması

Ana yollarda kullanılan trafik sinyalleri, genellikle otomobil trafik hacmine göre tasarlanmaktadır. Kavşak serilerinde bulunan bu sinyaller, bir dizi taşıt sonraki kavşağa vardığında yine yeşil ışıktan yararlanmasını sağlayacak şekilde tasarlanmaktadır. Eğer otobüs durakları mütemadiyen kavşağın belirli bir tarafında (örneğin kavşaktan hemen önce) konumlandırılırsa, otobüsler genellikle kavşağa yeşil ışık yanarken varacaklardır. Yolcu iniş-binişi tamamlandığında sinyal kırmızıya dönecek ve otobüsler yeşil ışık için ek bir süre beklemek zorunda kalacaktır.

Koordine edilmiş sinyalize kavşakların olduğu bir aksta, otobüs durakları, bir kavşakta kavşaktan önce, bir sonrakinde ise kavşaktan sonra konumlandırılarak otobüslerin, mevcut sinyal programının avantajından faydalanması sağlanabilir. Örneğin, trafik sinyali yeşile döndüğünde, kavşaktan önce yer alan otobüs durağından diğer taşıt dizileri ile birlikte ayrılan otobüs, bir sonraki kavşakta diğer taşıtlarla birlikte yeşil ışıktan yararlanarak kavşaktan sonra konumlandırılan durağa varabilir. Yolcu hareketlerinin tamamlandığı sürede, otobüsün arkasındaki sinyal kırmızıya dönmüş olur ve otobüs kolaylıkla yoluna devam eder. Bir sonraki kavşakta, otobüs durağı kavşaktan önce konumlandırılır, kırmızı ışık süresince varış ve duruş süresini geçirir, yeşil ışıkla beraber yola devam eder.

Duraklar yeniden konumlandırılırken, Çizelge 3.8’de listelenen, yaya erişim konuları ve aktarma olanakları göz önüne alınmalıdır. Bu yöntem, mevcut trafik sisteminde herhangi bir düzenlemeye gerek kalmadan otobüs hızlarının arttırılmasında kullanışlı bir tekniktir.

Otobüs Duraklarının Birleştirilmesi

Otobüslerin durak sayısını azaltmak, genellikle, sistemin ortalama hızını arttıracaktır. Ancak, bir durak kaldırıldığında, yolcular zaten yoğun olarak kullanılan yakındaki durağı kullanmaya başladığında, kritik duraklardaki duruş sürelerinin (sistemdeki en yüksek duruş süresi) uzatılmamasına dikkat edilmelidir.

Otobüs duraklarını birleştirmek, belirli bir durağı kullanan yolcuların erişim kolaylığı ile duraklardaki gecikmeden etkilenen otobüs içindeki yolcuların gecikmeleri arasında bir ödünleşmeyi gerektirir. Kaldırılan bir durağın yakında yaşayan veya çalışan yolcuların başka bir durağa varmak için uzun bir mesafe yürümek zorunda kalması, toplu taşıma kullanımını azaltabilir. Buna ek olarak, yol boyunca kesintisiz bir yürüme alanı oluşturulamayan durumlar söz konusu olabilir. Bir durağın kaldırılması, o bölge yaşayanların “kendi” duraklarının kaldırılmasına karşı çıktığı zamanlarda politik olarak güç olabilmektedir. Ancak, otobüs durakları birbirlerine yakın konumlandırıldıklarında (örneğin, her adada) ve hangi durakların eleneceğine ilişkin tutarlı bir işlem süreci benimsendiğinde, otobüs duraklarının birleştirilmesi, tüm toplu taşıma yolcuları için faydalar sunmaktadır.

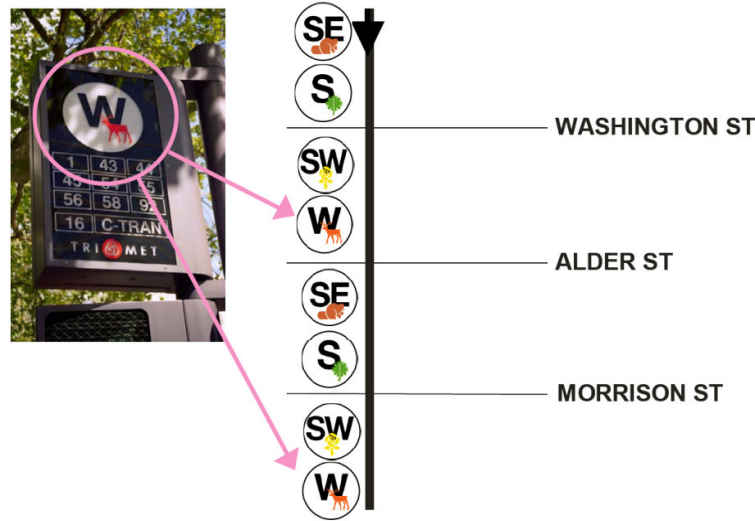
Yüksek yolcu hacmine sahip koridorlarda, her durağa hizmet veren yerel hizmetle birlikte çalışan, yalnızca zirve saatlerde veya tüm gün boyunca işletilen sınırlı-durak (ara duraklar atlanır) veya ekspres (yalnızca çok önemli birkaç durağa hizmet verir) hizmeti, durakların elimine edilmesine bir alternatiftir. Böylece, uzun mesafe yolcuları çok daha hızlı seyahat ederler. Paylaşımlı duraklarda yolcular hizmetler arasında aktarma yapabilirler. Sınırlı-durak hizmetini uygulamak, BRT hattının geliştirmesinin ilk basamağını oluşturabilir.

Los Angeles’te, Wilshire-Whittier ve Ventura Boulevard koridorlarında iki tane pilot BRT hattı geliştirilmiştir. Ortalama durak aralığı 1,4 km olan sınırlı-durak hizmeti, mevcutta çalışan yerel hattın üstüne uygulanmıştır. Kavşaklarda trafik sinyal önceliği sağlanmış ve diğer hizmet düzenlemeleri yapılmıştır. İlki ortalama seyir süresinde %23-29 azalma sağlamıştır; bu süre kısalmasının yüzde iki-üçü durakların birleştirilmesinden kaynaklanmaktadır.

Durak Atlamalı İşletim

Her otobüsün her durakta durduğu sistemlerde kullanılabilir kapasite, otobüslerin bazı durak gruplarını atladığı sistemlerden daha hızlı bir şekilde aşmaktadır. Durak-atlamalı hizmet olarak bilinen, iki- dört alternatif düzende durakları geçme tekniği, otobüs hızlarının ve sistem genelinde otobüs kapasitesinin arttırılması olanağını sunmaktadır.

Şekil 3.16, Portland, Oregon'daki durak atlama düzeni ve işaretlemesini göstermektedir. Otobüsler, benzer bölgesel varış noktalarına giden 4 gruba bölünmüştür. Her bir grup, şekilde "W"nin batıyı temsil etmesi gibi, gittiği yöne ait özel bir sembole sahiptir. Otobüsler kendilerine atanmış durak gruplarında durur, diğer durakları atlarlar. Şekilde görüldüğü gibi, her bir blokta iki durak konumlandırılmıştır ve her bir otobüs grubu diğer blokta durmaktadır.



Şekil 3.16 Portland, Oregon'daki durak atlama düzeni ve işaretlemesi

Bu blok atlama düzeni, otobüs sistem kapasitesinin tekil durak kapasitelerinin toplamına neredeyse eşit olmasına olanak sağlamaktadır. Dolayısıyla, ortalama yolculuk hızlarında önemli artışlar elde edildiği gibi, sistem kapasitesinde üç- veya dört-kat artış sağlanmıştır. Trafik kontrol gecikmeleri, düzensiz otobüs varışları ve diğer faktörlere bağlı olarak, gerçek kapasite artışı, ideal artıştan daha az olabilmektedir. Aynı zamanda, kapasite ve hız faydalarını maksimize etmek amacı ile otobüslerin diğer otobüsleri sollamak için kullanabilecekleri şeritlerin olması gerekmektedir. Bu şeritlerin kapasitede veya kapasitenin üzerinde işletilmesi durumunda, otobüslerin diğer otobüsleri geçmesi kolay olmayacaktır.

Dizi Halinde Hareket Etme

Bir yol boyunca, trenlerde olduğu gibi, otobüslerin gruplar halinde hareket etmesidir. Sollama minimum olacağı için toplam yolculuk hızları yükselecektir. Taşıt kümeleri/dizileri (platoons), iyi bir çizelgeleme ve hareket/saha denetimi ile bilinçli şekilde oluşturulabildiği gibi, trafik ışıkları aracılığı ile de biçimlendirilebilir- taşıtlar bir trafik ışığında durduktan sonra çoğunlukla küme halinde akım aşağıya doğru hareket ederler.

Ottawa kent merkezinde, otobüs yolu sistemleri anayol otobüs şeritleri ile beslenmektedir. Bu sokaklardaki trafik sinyal işlemi otobüslerin lehine tasarlandığından (mesela, duraklar arasındaki yolculuk süresi ve duraklardaki duruş süresinin ikisi de dikkate alınır) bu şeritler otobüslerin çizelge hacimlerine uymasında olanak sağlamaktadır. Özel şeritler ile sinyal işleminin kombinasyonu, otobüsler tam olarak kendi saatlerinde şehir merkezine varamasalar da, otobüs dizilerini biçimlendirir.

Tasarım Standartları

Minimum ve maksimum durak aralığı, seyahat üretim bölgelerine hizmet etmek için rotadan sapma kriterleri gibi objektif tasarım standartlarının geliştirilmesi, toplu taşıma kuruluşlarının, hizmet kalitesini geliştirmesini ya da en azından korumasını kolaylaştırır. Bu standartların düzgün bir şekilde uygulanması, tekil değişkenlere olan itirazların üstesinden gelmeye yardımcı olur ve daha geniş ölçekte değişiklikleri politik olarak kabul edilir yapar.

3.3.6 Özet

Çizelge 3.15, bu bölümde anlatılan toplu taşıma öncelik düzenlemelerinin avantaj ve dezavantajlarını özetlemektedir.

Çizelge 3.15 Otobüs öncelik düzenlemelerinin karşılaştırması

<i>İyileştirme</i>	<i>Avantajları</i>	<i>Dezavantajları</i>
Yol ve Trafik Sinyal İyileştirmeleri (Düzenlemeleri)		
Özel Otobüs Şeritleri	- Gecikme nedenlerini azaltarak otobüs hızını artırır. - Güvenilirliği iyileştirir. - Toplu taşımanın varlığını güçlendirir.	- Mevcut bir trafik veya park etme şeridini kaldırılmanın trafik/park etme etkileri dikkatlice değerlendirilmelidir. - Devamlı denetimi (cezalandırmayı) gerektirir.
Sinyal Önceliği	- Trafik sinyal gecikmesini azaltır. - Güvenilirliği geliştirir.	- Koordine trafik sinyal işletimini kesme riski taşır. - Kavşağın kapasiteye yakın olduğu durumlarda, kavşak hizmet düzeyini düşürme riski taşır. - İç yargı- yetki koordinasyonunu gerektirir. - Diğer yöndeki otobüsler, öncelikli hatların süre tasarrufundan daha fazla gecikme yaşayabilirler.
Kuyruk Geçme (baypas)	Katılım kontrolünden veya diğer yerlerde, kuyruktan kaynaklanan gecikmeleri azaltır.	Özel bir otobüs şeridi olmalı ve bu şerit kuyruktan daha uzun olmalıdır.
Kuyruk Atlama	- Sinyallerdeki kuyruklardan kaynaklanan gecikmeyi azaltır. - Otobüsler duran trafiği atlayabilirler.	- Sağ şerit kullanılabilir durumda ve kuyruktan daha uzun olmalıdır. - Toplu taşımaya özel bir sinyal gereklidir. - Diğer trafik için yeşil süre azalır. - Otobüs şoförleri, kısa periyotlu yeşil süre önceliği konusunda uyarılmalıdır.
Kaldırım Genişletme	- Trafiğe katılım gecikmesini elimine eder. - Otobüsler duraklara girip-çıkmayacaklarından sürüş konforu artar. - Otobüs ceplerinin giriş ve çıkış bölümleri için gereken alan ihtiyacını ortadan kaldırarak sokak kenarına daha fazla taşıt park edebilir. - Otobüs durağının konfor bileşenleri için daha fazla alan oluşmuş olur. - Yayaların karşıdan karşıya geçme mesafesi azalır.	- Yolcular iniş ve binış yaparken, trafiğin kilitlenmemesi için otobüs seyir yönünde en az iki şerit gereklidir. - Bisiklet şeritleri, özel bir planlama gerektirir.

<i>İyileştirme</i>	<i>Avantajları</i>	<i>Dezavantajları</i>
Yol ve Trafik Sinyal İyileştirmeleri (Düzenlemeleri) (devam)		
Biniş Adaları	Otobüslerin daha hızlı akan sol şeridi kullanmasına izin vererek otobüs hızlarını arttırır.	- Otobüs seyir yönünde en az iki şerit gereklidir ve bu iki şerit arasındaki hız farkları yüksektir. - Diğer ölçütlere oranla daha fazla yol alanı gerektirir - Yaya/Engelli erişimi, konfor ve güvenlik konularında çok daha dikkatli olmak gerekir.
Park Kısıtlamaları	- Otomobil park etme manevralarından kaynaklanan gecikmelerin ortadan kalkmasıyla otobüs hızları artar. - Yol kapasitesi artar, trafik gecikmeleri azalır.	- Yakındaki arazi kullanımları büyük ölçüde etkilenir (hem iş alanları hem de konut alanları). - Devamlı denetimi (cezalandırmayı) gerektirir.
Dönüş Kısıtlamasından Muafiyet	Dönüş kısıtlarından kaçınmak için dolanmayı (detours) ortadan kaldırarak yolculuk süresini azaltır.	- Kavşağın hizmet düzeyini düşürme potansiyeline sahiptir. - Güvenlik konuları dikkatle göz önüne alınmalıdır.
Otobüs İşletim İyileştirmeleri		
Otobüs Duraklarının Yeniden Konumlandırılması	Mevcut sinyal yöntemini otobüslerin avantajına kullanır.	Çapraz yoldaki otobüse aktarma yapacak yolcuların yürüme mesafesini arttırabilir.
Otobüs Duraklarının Birleştirilmesi	Durak sayısının azaltılması ile ortalama otobüs hızı artar.	- Bazı yolcular için yürüme mesafesi artar. - Yaya ortamı (koşulları) bir sonraki en yakın durağa yürümeyi desteklemeyebilir.
Durak Atlamalı Sistem	Otobüs hızı ve kapasiteyi önemli ölçüde arttırır.	- Sistemi iyi bilmeyen yolcular, kendi otobüslerine nereden binmeleri gerektiği konusunda tereddüt yaşayabilirler. - Bitişik şeridin kullanılabilirliğini gerektirir. - Uygulanması zor olabilir.
Dizi Halinde Hareket (platooning) Tasarım Standartları	- Otobüs sollama işlemini azaltır. - İşletimi geliştirmek için yapılan hizmet değişiklikleri daha kolay değerlendirilebilir. - Tutarlı toplu taşıma planlaması ve tasarımını destekler.	Çok katı olan uygulama standartları, standarda sahip olunmaması durumundan daha kötü bile olabilir.

3.4 Planlama Uygulamaları

3.4.1 Giriş

Bu bölüm çeşitli otobüs durakları ve sistemleri için planlama aşamasındaki kapasiteleri anlatmaktadır.

Planlama aşamasındaki analizler için geliştirilen alternatifler, seçilen bir detay düzeyinde hazırlanır. Belirli iyileştirme alternatiflerini seçmeden veya uygulamadan önce, izleyen bölümlerde sunulan prosedürleri ya da uygun olan yerlerde HCM prosedürlerini kullanarak daha detaylı analizler yapılmalıdır.

Toplu taşıma önceliği ölçütlerinin başarılmasındaki en önemli etkenlerden biri, belirli iyileştirmeler için yapılan dikkatli bir planlama ve tasarımıdır. Toplu taşıma önceliği programının verimliliğini maksimize etmenin yollarından biri, bir dizi iyileştirme önerisini hayata geçirmektir.

İleriki bölümlerde anlatılan “toplu taşıma sistemleri için kapasite analizleri”, toplu taşıma işletiminin oldukça detaylı iyileştirme düzenlemelerini içermektedir. Bu analizlerdeki hassaslık düzeyi yüksek olmakla birlikte, mevcut verilerin doğruluğu ile de ilişkilidir. Diğer yandan, planlama amaçlarına hizmet edecek olan potansiyel iyileştirmenin kavramsal biçimde ortaya konulması ve mevcut işletim düzeninin nasıl çalıştığının anlaşılması gerekmektedir.

3.4.2 Otobüs Hacmi ve Kapasite İlişkileri

Otoyollar ve kentiçi yollarda gözlenen zirve saat otobüs hareketleri ile otobüs terminallerine giren-çıkan otobüsler, benzer tesislerin kapasitesini tahmin etmek için bir rehber niteliğindedir. Bu bilgiler, aynı zamanda, detaylı kapasite hesaplarının sonuçlarını kontrol etmek için kullanılırlar. Genel planlama kuralları Çizelge 3.17’de sunulmuştur. Buradaki veriler kent merkezine erişen merkezi yollar ve arterlerdeki planlanmış otobüs hacimleri ile uyumlu olup, bu caddelerdeki otobüs akımlarının niteliksel bir tanımını da sunmaktadır. Yüksek yolcu talebi olmayan durakların bulunduğu merkez dışındaki arterler boyunca otobüs hacimleri %25 oranında arttırılabilir.

Çizelge 3.16 Otobüs öncelik iyileştirmelerinin etkileri üzerindeki genel planlama prensipleri: kavşaklar

<i>İyileştirme</i>	<i>Yolculuk Süresi İyileşmeleri</i>	<i>Yolcu Gecikme Etkileri</i>	<i>Ek Düşünceler</i>
Otobüs duyarlı sinyal fazları	%10'a kadar	Minimal	Uygulamalar, genel trafikten otobüsleri ayırabilen özel otobüs detektör teknolojilerini içerebilir.
Otobüs Sinyal Önceliği	Toplam yolculuk süresinin %3–15'i, sinyal gecikmenin %75'ine kadar	En azdan anlamlı bir düzeye kadar, strateji ve konuma çok duyarlı	Yolculuk süresi iyileşmeleri, mevcut gecikmenin bir fonksiyonudur.
Otobüs Ani Sinyal Değişimi	Yolculuk süresinin %20'si kadar; sinyal gecikmesinin %90'ı kadar	Potansiyel olarak önemli	Sinyal koordinasyonu ve ulaştırma kapasitesi için oluşabilecek potansiyel kesişmeler.
Özel Otobüs Dönüş Koşulları	Hatta göre değişir	Minimal	Güvenlik endişeleri, yalnızca otobüs hareketi için oluşturulan sinyalizasyonda değişiklikler gerektirebilir.
Kuyruk Atlama	%5–25	Eğer mevcut dönüş şeridi kullanılırsa, etki yok.	Erken yeşil, kuyruk atlama şeridinden çıkmayı kolaylaştırabilir.
Kaldırım Genişletme	Yeterli veri mevcut değil	Potansiyel olarak önemli	Genel trafiğe potansiyel etkiler.
Biniş Adaları	Yeterli veri mevcut değil		Genel trafiğe potansiyel etkiler.
Parklanma Kısıtları	Yeterli veri mevcut değil	Etki yok	Yerel arazi kullanımlarına otomobil erişimi azalır.
Durak Birleştirme (kalıcı veya geçici)	Toplam seyir süresinin %3–20'si, duruş süresinin %75'i kadar	Etki yok	Toplu taşıma hizmetinin erişilebilirliği azalır.

Çizelge 3.17 Planlama aşaması otobüs şeridi hizmet hacimleri

<i>Açıklama</i>	<i>Hizmet Hacmi otobüs/şerit-saat</i>	<i>Ortalama otobüs/şerit-saat</i>
Ana Yollar		
Serbest Akım	25 veya daha az	15
Sabit akım, Zorlanmamış (serbest)	26–45	35
Sabit akım, Etkileşimli	46–75	60
Sabit akım, Bazı Dizi Halinde Hareketler	76–105	90
Sabit olmayan akım, Kuyruklanma	106–135	120
Zorlamalı akım, Zayıf işletme	135 üstü*	150*
Kent Merkezi Caddeleri		
Serbest Akım	20 veya daha az	15
Sabit akım, zorlanmamış (serbest)	21–40	30
Sabit akım, Etkileşimli	41–60	50
Sabit akım, Bazı Dizi Halinde Hareketler	61–80	70
Sabit olmayan akım, Kuyruklanma	81–100	90
Zorlamalı akım, Zayıf işletme	100 üstü*	110*
* İşletimde bir şeritten fazla şerit kullanılmasının sonucu olarak.		

Bu hizmet hacimleri planlama amaçları için kullanılabilir. İşletim ve tasarım amaçları için gereken daha hassas değerler, bu çalışmada sunulan kapasite ilişkileri ve prosedürlerinden hesaplanabilir.

Zorlamalı akım koşullarının değerleri planlama veya tasarım aşamasında kullanılmamalıdır. Bunlar yalnızca karşılaştırma amacıyla kullanılırlar.

Çizelge 3.18’de, özel otobüs şeritlerindeki çeşitli otobüs akım oranları ve yolcu biniş faktörlerinde hizmet sunulabilen saatlik yolcu sayıları verilmiştir. Bu çizelge, anahtar biniş noktalarının koridor boyunca bu binişleri sağlayacak yeterli bir dağınıklığa sahip olduğunu kabul eden, geniş aralıklı bir “yolcu-kapasitesi planlama kılavuzu” sunmaktadır. Çizelge, maksimum yolcu-akım oranlarını, anayollarda bir şeritte bir saatte yaklaşık 8700 yolcu, kent merkezi caddelerinde ise 6450 yolcu olarak önermektedir. Oturan maksimum yolcu akım değerleri sırasıyla 4300 ile 5800’dür. Körüklü otobüslerin kullanılması bu değerleri %15 ile %20 arasında arttıracaktır.

Çizelge 3.18 Planlama amaçları için maksimum otobüs yolcu hizmet hacimleri

Saatteki Otobüs Sayısı	<i>Biniş Faktörü (yolcu/koltuk)</i>				
	0,00–0,50	0,51–0,75	0,76–1,00	1,01–1,25	1,26–1,50
Ana Yollar					
25 veya daha az	535	805	1075	1340	1610
26–45	965	1450	1935	2415	2900
46–75	1610	2415	3225	4030	4835
76–105	2255	3385	4515	5640	6770
106–135	2900	4350	5805	7255	8705
Kent Merkezi Caddeleri					
20 veya daha az	430	645	860	1075	1290
21–40	860	1290	1720	2150	2580
41–60	1290	1935	2580	3225	3870
61–80	1720	2580	3440	4300	5160
81–100	2150	3225	4300	5375	6450

Not: Zirve saat faktörü 1,00 ve otobüsteki koltuk sayısı 43 kabul edilmiştir.

Çizelge 3.8’de yer alan yolcu hacimleri, zirve saatte düzenli akımda taşınabilecek yolcu sayısıdır. Düzenli akım nadiren gerçekleştiği ve gerçekleştiğinde de talebin altında hizmet verdiğinden dolayı, 15 dakikalık zirve periyotlardaki yolcu akım varyasyonlarını yansıtmak için tasarım aşamasında kullanılan bu değerler uygun zirve saat faktörleri kullanılarak azaltılmalıdır.

3.4.3 Otobüs Yolları

Çizelge 3.19’da, farklı otobüs tipleri ve hizmet koşulları için kent merkezi otobüs yollarındaki otobüs ve yolcu kapasiteleri verilmiştir. Yapılan anahtar kabuller şunlardır:

- Kent merkezi otobüs yolu istasyonlarında ücretler ön-ödeme yöntemi ile toplanmaktadır. Ön-ödeme yöntemi, otobüs içinde ödeme yapmak için gereken süreyi ortadan kaldırır ve tüm kapılardan binişe olanak sağlar. Aynı anda birçok yolcunun binişi gerçekleştiği ve her bir yolcunun biniş süresi minimize edildiği için yolcu başına gereken hizmet süresini ciddi ölçüde azaltır.
- Maksimum yolcu yükü noktasındaki yolcuların yüzde ellisi en kalabalık duraktan biniş yaparlar (yani, kapasiteyi kısıtlayan, otobüs yolunun kendisinden çok, kritik kent merkezi durağında biniş yapan yolcu hacimleridir). Zirve saat faktörü 0,67 olarak kullanılır.
- Sinyallere bağlı bir gecikmenin olmadığı kabul edilmiştir (hemzemin ayrımlı seyir yolu).

- Duraklarda otobüslerin boşaltma süresi 10 saniyedir. Tasarım hata oranı %7,5 ve değişim katsayısı %60 kabul edilmiştir.
- Her bir istasyonda üç adet doğrusal biniş alanı vardır.
- Otobüs başına maksimum yolcu biniş hacmi, standart otobüslerde 40, körüklü otobüslerde 60 ile sınırlandırılmıştır; biniş faktörü 1,00'e eşit, yani ayakta yolcu yoktur.

3.4.4 Anayol Otobüs Şeritleri

Tanımlanan her bir koşul için Bölüm 3.6'da anlatılan detaylı kapasite hesaplama yöntemleri kullanılmalıdır.

Çizelge 3.19 Açıklayıcı kent merkezi otobüs yolu kapasiteleri

İstasyonlar: Yol kenarı (Y)/Durak Cebi (C)	Biniş Koşulu/Durumu							
	A		B		C		D	
	Y	C	Y	C	Y	C	Y	C
En Yoğun İstasyondaki Yolcu Binişi								
Otobüs başına binen yolcu sayısı	20	20	20	20	20	20	30	30
Yolcu başına biniş süresi (saniye)	2,0	2,0	1,2	1,2	0,7	0,7	0,5	0,5
Duruş süresi (saniye)	40,0	40,0	24,0	24,0	14,0	14,0	15,0	15,0
Taşıt Kapasitesi								
Biniş alanı kapasitesi (otb/saat)	42	42	65	65	100	100	95	95
Etkin biniş alanı (biniş alanı etkinliği)	2,45	2,65	2,45	2,65	2,45	2,65	2,45	2,65
İstasyon kapasitesi (otb/saat)	103	111	159	172	245	265	233	251
Maksimum Biniş Noktasındaki Saatlik Yolcu Sayısı								
Zirve-akım oranı (15 dakika x 4)	4,12	4,44	6,36	6,88	9,80	10,60	13,98	15,06
Ortalama-zirve saat (PHF ile)	2,76	2,97	4,26	4,60	6,57	7,10	9,37	10,09
Biniş Durumu A: Tek-kapılı geleneksel otobüs, biniş ve iniş eş zamanlı								
Biniş Durumu B: İki-kapılı geleneksel otobüs, tüm kapılardan biniş veya çift-kanallı kapılarla eş zamanlı iniş ve biniş								
Biniş Durumu C: Dört-kapılı geleneksel otobüs, tüm kapılardan çift-kanallı biniş								
Biniş Durumu D: Altı-kapılı körüklü otobüs, tüm kapılardan biniş								
Kabuller: Boşaltma süresi 10 saniye, hata oranı %7,5, değişim katsayısı %60, 3 adet doğrusal biniş alanı, g/C = 1,0, rastgele otobüs varışları, PHF= 0,67, yolcu binişlerinin %50'si kent merkezlerindeki en yoğun istasyonda gerçekleşmektedir, geleneksel otobüsün koltuk sayısı 40, körüklü otobüsün koltuk sayısı 60, ayakta yolcuya izin verilmiyor.								

3.4.5 Karma Trafik İşletimleri

Tanımlanan her bir koşul için Bölüm 3.7'de anlatılan detaylı kapasite hesaplama yöntemleri kullanılmalıdır.

3.4.6 Otobüs Durakları ve Biniş Alanları

Tanımlanan her bir koşul için Bölüm 3.2'de anlatılan detaylı kapasite hesaplama yöntemleri kullanılmalıdır.

3.4.7 Otobüs ve Yolcu Kapasitesini Etkileyen Faktörler

Çizelge 3.20, otobüs kapasitesini, hızını ve yolcu kapasitesini etkileyen faktörleri özetlemekte ve ek kapasite sağlamak için geliştirilebilecek yolları göstermektedir. Yalnız, bazı durumlarda kapasite veya hızı arttırmanın, hizmet kalitesini düşüren bir ödünleşmeye sahip olduğunu belirtmek gerekir.

Çizelge 3.20 Otobüs kapasitesi ve hızını etkileyen faktörler

<i>Öğ</i>	<i>Her Bir Öğeyi İyileştirme Yolları</i>
Kapasite Girdileri	
Duruş Süresi	Ön-ödeme yönteminin daha yaygın olarak kullanılması Düşük-döşeme taşıtların kullanımı (oturma alanı azaltılmasına neden olabilir) İki kapılı otobüslerde kapıların tek yönde kullanılmasının teşvik edilmesi Biniş ve inişler için çok kanallı kapıların sağlanması Ayaktaki yolcu sayısını azaltmak için otobüs sıklığının artırılması İspat gerektiren ücret toplama yönteminin uygulanması
Boşaltma Süresi	Durakta yalnızca 1–2 biniş alanının olduğu durumlarda yol üstü duraklarının kullanılması Otobüse yol verme yasalarının uygulanması Trafik sinyallerinde kuyruk atlama düzenlemelerinin uygulanması
Varyasyon Katsayısı	Belirli alanlar için genellikle sabittir
Hata Oranı	Duraklardaki biniş alanlarının sayısının artırılması Bir saatte bu durağı kullanan otobüs sayısını azaltmak (kullanılabilirlik düşer)
Kapasite Çıktıları	
Biniş Alanı Kapasitesi	Duruş süresinin azaltılması Toplu taşıma öncelik düzenlemelerinin uygulanması Kabul edilebilir hata oranını arttırmak (güvenilirliği azaltır)
Durak Kapasitesi	Biniş alanı kapasitesinin artırılması Durakta 3 veya daha fazla biniş alanı olması durumunda yol-dışı (offline) durakların kullanılması Doğrusal olmayan biniş alanı tasarımının kullanılması Biniş alanı sayısının artırılması
Otobüs Şerit Kapasitesi	Kritik durağın kapasitesinin artırılması Otobüsler için özel şeritler ayrılması Durak-atlama işletiminin uygulanması Otomobillere sağa dönüş yasağı uygulanması
Otobüs Hızları	Duruş süresinin azaltılması Toplu taşıma öncelik düzenlemelerinin uygulanması Otobüs şeridinin diğer taşıtlar tarafından kullanılmasını kısıtlayıcı cezaların uygulanması Durak sayısı ile yolcu konforu ve talebi arasında denge kurulması Yerel hizmetle birlikte Sınırlı-durak hizmetinin uygulanması Durak-atlama işletiminin uygulanması

3.5 Kesişme Bulunmayan Katlı Özel Toplu Taşıma Yollarında İşletilen Otobüs Sistemleri

3.5.1 Giriş

Bu bölüm, kesişme bulunmayan katlı özel toplu taşıma yolları ile çevre yolu HOV şeritlerindeki otobüs işletimlerinin analizi için kullanılan yöntemleri sunmaktadır. Kesişme bulunmayan katlı özel toplu taşıma yolları, kesintisiz akım (örneğin trafik sinyallerinin olmadığı yollar) olarak tanımlanmaktadır. Bu tür yollar yalnızca otobüsler tarafından kullanılmakta olup, şeritleri diğer trafikten fiziksel olarak ayrılmıştır. Miami'deki South Dade Busway gibi hemzemin otobüs yolları trafik sinyalleri nedeni ile kesintili akıma sahiptir. Bu tür tesisler Bölüm 3.6'da anlatılan "anayol otobüs şeridi" prosedürlerini kullanarak analiz edilmelidir. Çevre yolu HOV (yüksek doluluklu taşıt) şeritleri de kesintisiz akıma sahiptir, fakat yol belirli bir doluluğa (2 veya 3 yolcu) sahip taşıtlar ile paylaşılabilen ve yolun diğer trafikten fiziksel olarak ayrılma şartı bulunmamaktadır.

Kesişme bulunmayan katlı özel toplu taşıma yolları, otobüsler için ayrılmış en az bir adet özel şeridi olan, kesintisiz akıma sahip yollardır.

Otobüslerin işletildiği şeridin otobüs kapasitesi ve hızları; "Kesişme Bulunmayan Katlı Özel Toplu Taşıma Yolları" ve "Çevre Yolu HOV Şeritleri" başlıkları altında aşağıda ayrı ayrı işlenmektedir.

3.5.2 Otobüs Kapasitesi

Kesişme Bulunmayan Katlı Özel Toplu Taşıma Yolları

Avustralya'da Brisbane'deki South East Busway'in hizmet kalitesi ve kapasitesini etkileyen tipik tasarım düzenlemeleri Şekil 3.17'de örnek olarak verilmiştir.



(a) Özel, Kesişme Bulunmayan Yol



(b) İstasyonlarda Sollama Şeritleri



(c) Birden Fazla Biniş Alanı



(d) Kesişme Bulunmayan Yaya Geçişleri



(e) Çevresindeki Arazi Kullanımı ile Entegrasyon



(f) Park Et ve Bin Tesisleri, Besleyici Otobüs Erişimi

Şekil 3.17 Kesişme bulunmayan katlı özel toplu taşıma yollarının tipik tasarım bileşenleri

Özel, katlı ayrılmı, kesintisiz akım tesisleri; sinyallere ve özel taşıtlara bağlı olan gecikmeleri ortadan kaldırır. Böylece daha yüksek kapasite, daha yüksek işletim hızı (70–80 km/saat) ve istasyondaki duruşlar veya yavaşlamalar da hesaba katıldığında daha yüksek ortalama hız sağlanmış olur. Otobüslerin gecikmesine neden olacak çoğu etken ortadan kalktığı için güvenilirlik artar.

İstasyonlardaki sollama şeritleri; ekspres ve yerel hizmetlerin birlikte işletilmesine olanak sağlar. Ekspres otobüsler güvenlik nedeniyle hızlarını 25–50 km/saate düşürerek istasyonlardan durmadan geçebilirler. Ayrıca, bu yolu kullanabilecek toplam otobüs sayısı,

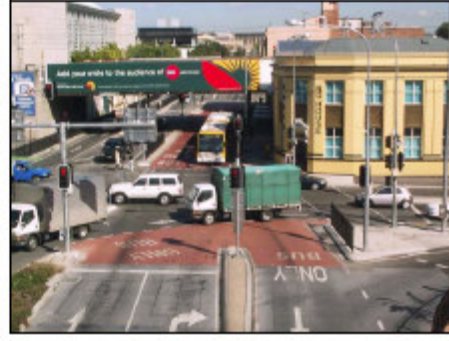
tekil otobüs duraklarının kapasitesinden oldukça fazladır.

- Çoklu biniş alanı; aynı anda birden fazla otobüsün yanaşmasına olanak sağlar, yerel otobüs hizmetinin kapasitesini artırır ve tüm istasyonlarda sollama şeridi bulunması halinde, ekspres otobüsler duraklarda durmuş olan yerel otobüslerden kaynaklanan bir gecikme yaşamayacaklardır. Hata olasılığını (bir otobüsün durağa geldiğinde tüm biniş alanlarını dolu bulma olasılığını) minimize eder.
- Ön-ödeme veya çıkışta ödeme yöntemi; yüksek biniş hacimlerine sahip olan duraklarda yolcuların tüm kapılardan biniş yapmasına olanak sağlar. Böylece duruş süresi minimize edilmiş, hem hız hem de kapasite artırılmış olur.
- Kesişme bulunmayan katlı ayrımlı yaya geçişleri sayesinde yaya trafiği ile otobüs trafiğinin birbirinden ayrılması sonucunda güvenlik artar. Yaya geçişlerine izin verilmeyen durumlarda, ekspres otobüsler istasyonlardan daha yüksek hızda geçebilirler. Ancak, işletme deneyimleri diğer otobüslerle olası kesişme durumları ve kaçak yaya geçişlerinden dolayı istasyonlardaki hızın azaltılması gerektiğini göstermiştir.
- Otobüs yolunun yerel yola bağlantısı; yerel komşu otobüslerin yolcuları aldıktan sonra otobüs yoluna girmesine olanak sağlar. Bu işletim, kent merkezi yolcuları için tek koltukta seyahat imkanı sunulmaktadır ve böylece yolcuların otobüsler arasında yapacağı aktarma gecikmeleri ortadan kaldırmaktadır.
- Park et ve bin tesisleri; her bir durağın görece yüksek yolcu talebine hizmet vermesi için, belirli (sınırlı) sayıda duraktaki yolcu talebine odaklanmaktadır.
- Otobüs yolunun temel arazi kullanımları ile entegre edilmesi; yolcuların ana varış noktalarına yürüme mesafelerini minimize eder ve yolcuların geniş veya yoğun trafiğe sahip caddelerden geçmek zorunda kalmasını engelleyebilir.

Genel olarak, bir otobüs yolunu kullanabilecek maksimum otobüs sayısı, otobüs yolunun kendisi tarafından kısıtlanmamaktadır. Otobüs yolunun öncesi veya sonrasındaki koşullar (sıklıkla otobüslerin kent merkezi duraklarına varmak için kullandığı yol yüzeyi) tarafından kısıtlanmaktadır. Örneğin, Brisbane'deki South East Busway, kent merkezine bir köprü üzerinden bağlanan bir anayol otobüs şeridi üzerinde seyahat etmektedir; bu sokak aynı zamanda ana yol otobüs şeridini kullanmayan bazı yerel hatlar tarafından da kullanılmaktadır. Kapasite, bu yolda (yeterli alan bulunmadığı için) sollama şeridi bulunmayan bir durak tarafından kısıtlanmaktadır. Bu kısıt giderilirse, yol boyunca yer alan trafik sinyalleri kapasite kısıtı haline gelecektir.



(a) Sollama Şeridi Mevcut Değil



(b) Trafik Sinyalleri

Şekil 3.18 Özel otobüs yolu bölümünden sonraki açıklayıcı kapasite kısıtları

Tüm durakların benzer sayıda biniş alanına sahip olduğu kabul edildiğinde, yolu kullanan yerel otobüs hizmetlerinin (her durakta duran sistemler) kapasitesi, otobüs yolunda bulunan en yüksek duruş süresine sahip durak tarafından kısıtlanacaktır. İşletmenin konumu ve tipine bağlı olarak otobüs yolu için zirve saat faktörü 0,67 ile 0,75 arasındadır.

Eğer otobüs yolu kent merkezinin içine kadar devam ediyorsa (örneğin, Seattle'daki otobüs tüneli) ve kent merkezinde sınırlı sayıda durağa sahip ise, otobüs yolunun yolcu dağılım özellikleri raylı sisteminkiyle benzer olacaktır. Maksimum yolcu yükü noktasındaki hacmin %50'sinin kent merkezindeki en kalabalık otobüs istasyonunda hizmet alacağı, makul bir tasarım kabulüdür-kent merkezinde en az üç durak bulunduğu kabul edilmektedir (Örneğin, Chicago'daki Washington-State Street metro istasyonu, State Street metro hattında bulunan 3 kent merkezi durağındaki tüm biniş hacimlerinin yarısına hizmet vermektedir.).

Otobüs yolunu kullanan yerel (tüm duraklarda duran) hizmetlerin kapasitesi Denklem (3.9)'da gösterilmektedir. Bölüm 3.2'de yer alan Denklem (3.8)'de otobüs kapasitesi ile ilişkili olarak yolcu kapasitesi sunulmuştur. Planlama aşamasında kullanılan "otobüs yolunun tahmini yolcu kapasiteleri" Bölüm 3.4'deki Çizelge 3.19'da bulunmaktadır.

Otobüs yolunu kullanabilecek yerel ve ekspres otobüslerin toplam sayısını ve buna ilişkin yolcu kapasitesini belirlemek için Bölüm 3.6 ve 3.7'de (sırasıyla, anayol otobüs şeritleri ve karma trafik için) yer alan yöntemler kullanılır.

$$B = B_{s, \min} \quad (3.9)$$

Burada;

B = yerel hizmetin otobüs kapasitesi (otobüs/saat)

$B_{s, \min}$ = otobüs yolundaki minimum durak kapasitesi (otobüs/saat)

Çevre Yolu HOV Şeritleri

Çevre Yolu HOV şeritleri, bir veya iki şeridin yarı zamanlı veya tam zamanlı olarak belirli doluluğa sahip taşıtların kullanımına ayrılarak, potansiyel yolcu kapasitesini arttırmak amacıyla tasarlanmıştır. Çevre yolunda tıkanıklık yaşandığı durumlarda bile HOV şeridindeki taşıtlar akıcı bir şekilde yol alabilirler. Böylece HOV şeridi, kullanıcılarını bu şeride çekecek süre tasarrufları sayesinde çevre yolu şeritlerinin daha verimli kullanılmasını sağlamaktadır.

Teşvik edici bu süre tasarruflarını korumak için, HOV şeritleri kapasitesinin yakınlarında ya da tam kapasitesinde işletilmemelidir. Zirve saatte HOV şeridinde seyahat eden yolcular için sunulan hizmet düzeyi (LOS), çevre yolu şeridinde (HOV şeridi dışındaki şeritlerde) seyahat eden taşıtlara sunulan hizmet düzeyinden daha iyi olmalıdır. Bu hizmet düzeyi HCM’de sunulan yöntemler kullanılarak hesaplanabilir.

Otobüsler tarafından özel olarak kullanılan çevre yolu HOV şeritleri için teorik otobüs kapasitesi veya hizmet hacminin hesaplanması iki nedenden ötürü pratik değildir. Birincisi, toplu taşıma kuruluşları, genellikle, şerit kapasitesinin çok altında bir sayıda otobüs işletmektedir.

İkincisi, çevre yolu HOV şeridinde işletilebilecek otobüs miktarı, HOV şeridindeki (bkz. Şekil 3.19) ana trafik akımının dışında bulunan durakların (freeway flyer) kapasitesi, yol üstü bölümlerin veya otobüs şeridini takip eden otobüs terminalinin kapasitesi tarafından kısıtlanacaktır. HOV şeridinde tüm otobüslerin durak cebinde durduğu durumlarda şeridin otobüs kapasitesi Denklem (3.9) kullanılarak hesaplanabilir, Denklem (3.8) kullanılarak da bu şerit kapasitesine ilişkin olan yolcu kapasitesi bulunabilir.



(a) Sağ Şerit HOV Şeridi



(b) Durak Cegli HOV Otobüs Durağı

Şekil 3.19 Durak cepli çevre yolu HOV şeridi (Seattle)

3.5.3 Otobüs Hızları

Kesişme bulunmayan otobüs yolları veya çevre yolu HOV şeritlerinde işletilen otobüslerin ortalama hızları şu üç faktöre bağlıdır:

- Otobüsün şeritteki seyir hızı,
- Otobüs durak aralığı,
- Duraklardaki duruş süresi.

Kesişme bulunmayan otobüs yolları veya çevre yolu HOV şeritlerinde (diğer taşıtlar ile paylaşılmadığı durumlarda) işletilen otobüslerin seyir hızlarının, bu yol için ilan edilen hız limitleriyle eş olacağı kabul edilebilir. Diğer taşıtlar ile paylaşılan çevre yolu HOV şeritlerindeki taşıtların seyir hızlarının tahmininde -belirli bir şerit serbest akım hızı, trafik hacmi ve bu şeridi kullanan otobüs ve otomobillerin kompozisyonuna göre- HCM kullanılabilir. Şuna dikkat etmek gerekir ki; HCM prosedürleri yalnızca kapasitesinin altında işletilen şeritlere uygulanabilmektedir. Durma olmadan, HOV şeridi boyunca yol almak için gereken süre bu seyir hızı kullanılarak hesaplanabilir.

Otobüs durak aralığı otobüslerin ne kadar sıklıkta duracağını veya yavaşlayacağını belirler. Her bir duraktaki duruş süresi ve hızlanma/yavaşlama gecikmeleri toplam otobüs hızlarını azaltmaktadır. Verinin bulunmaması durumunda hızlanma ve yavaşlama için $1,2 \text{ m/s}^2$ kabulü yapılabilmektedir. Çizelge 3.21, seyir hızları, duruş süreleri ve durak aralığı seçeneklerine göre ortalama seyahat sürelerini göstermektedir. Durak aralığı arttığında durak başına ortalama duruş süreleri de artacak ve ortalama otobüs hızı düşecektir.

Çizelge 3.21 Otobüs yolu ve özel çevre yolu HOV şeritlerinde işletilen otobüslerin tahmini ortalama hızları

<i>Ortalama Durak Aralığı (km)</i>	<i>Ortalama Duruş Süresi (sn)</i>				
	0	15	30	45	60
80 km/saat Seyir Hızı					
1,0	61	46	38	33	29
1,5	66	53	47	41	37
2,0	69	58	52	47	43
3,0	73	64	59	54	51
4,0	74	67	63	59	56
90 km/saat Seyir Hızı					
1,0	64	47	40	34	30
1,5	71	56	49	43	38
2,0	75	62	55	49	45
3,0	79	69	63	58	54
4,0	82	74	68	64	60
100 km/saat Seyir Hızı					
1,0	65	49	40	35	30
1,5	74	59	50	44	39
2,0	79	65	58	51	46
3,0	85	74	67	61	57
4,0	88	79	73	68	63

Not: Hızlanma yavaşlama oranı $1,2 \text{ m/s}^2$ kabul edilmiştir. Duraklarda yavaşlayan fakat durmayan ekspres otobüsler için (duraktaki hız limiti 40 km/saat ve hız bölgesinin 100 metre uzunluğunda olduğu kabul edilmiştir) duruş süresi sıfır girilmiştir.

3.6 Anayol Otobüs Şeritlerinde İşletilen Otobüs Sistemleri

3.6.1 Giriş

Bu bölümde, anayol otobüs şeritleri ve hemzemin otobüs yollarını kullanan otobüs işletmelerini analiz etmek için kullanılan yöntemler sunulmaktadır. Bu sistemlerin anahtar özellikleri otobüslerin kullanımına ayrılmış en az bir özel şeridin (kavşaklar dışında) bulunması ve kesintili akıma sahip olmasıdır. Trafik sinyalleri bulunan otobüs yolları bu bölümde anlatılan yöntemler kullanılarak analiz edilmelidir.

3.6.2 Otobüs Şerit Tipleri

Kapasite hesaplamalarındaki etkenlerden biri otobüs şerit tipidir. Özel otobüs şeritlerinin birçok çeşidi mevcuttur. Bu bölümde kullanılan kapasite prosedürleri, otobüslerin birbirlerini sollamak için bitişik şeridi kullanabilme olanaklarına göre üç tip otobüs şeridi tanımlamaktadır.

Şekil 3.20, her bir şerit tipini açıklamaktadır.



Şekil 3.20 Özel otobüs şerit tipleri

3.6.3 Otobüs Kapasitesi

Anayol otobüs şeridinin otobüs kapasitesi aşağıdaki etkenlere bağlıdır:

- Şeritteki kritik durağın (durakların) otobüs kapasitesi,
- Otobüs şerit tipi,
- Durak atlamalı (skip-stop) sistemlerin kullanılıp kullanılmadığı,
- Otobüslerin bu şeritte dizi halinde hareket edip etmemesi
- Bitişik şeridin hacim-kapasite oranı (Tip 2 otobüs şeridi için) ve
- Otobüs durak yerleri ve otobüs şeridi kullanılarak yapılan sağa dönüş hacimleri.

Eğer durak atlama sistemleri gibi özel işletim prosedürleri kullanılmamışsa ve toplu taşıma taşıtları dışındaki taşıtlar için sağa dönüşler yasaklanmışsa otobüs şeridinin kapasitesi, şeritteki kritik durağın otobüs kapasitesine eşit olacaktır. Ancak, durak atlamalı sistem kullanıldığı veya sağa dönüşler yasaklanmadığı durumlarda, bu temel kapasiteye (kritik durağın otobüs kapasitesine) takip eden bölümlerde anlatılan ayarlamaları (düzenlemeleri) yapmak gerekecektir.

Sağa Dönüş Trafiğinden Kaynaklanan Gecikmeler

Sağa dönen taşıtlar kavşağa girmek için otobüslerin önüne geçmeye çalışırlar. Sağa dönüşler genellikle otobüs şeridinden yapılır, ancak bazı örneklerde (Houston'da olduğu gibi) bitişik şeritten (orta şeritten) yapılmaktadır. Kavşaktan önce yer alan (yakın-kenar) duraklarda, sağa dönen taşıtlar otobüslerin arkasında kuyruk oluşturabilirler. Diğer yandan, sağa dönen trafik otobüsün geçişini ya da özel yeşil sinyali kullanmasını engelleyebilir. Sağa dönüş trafiğinin otobüs sistemi üzerindeki etkisi (engeli), sağa dönüş hareketlerini engelleyen önemli yaya geçiş hacimleri nedeni ile artabilir. Aynı zamanda, otobüs durağının yeri –yakın kenar, uzak kenar, ada ortasında- de sağa dönüş trafiği nedeniyle meydana gelen gecikme miktarını etkileyebilir.



(a) Los Angeles (sağa dönüş)



(b) Portland, Oregon (sola dönüş)

Şekil 3.21 Sağa dönüşlerin otobüsler ile çatışma örnekleri

Yakın kenar durakların bulunduğu yerlerde otobüsler ile sağa dönen taşıtlar arasındaki çatışma maksimum olur ve otobüsler otobüs şeridini serbest bir şekilde kullanamazlar. Sağa dönüş yapan otomobiller otobüsün durağa erişimine engel olabildiği gibi otobüsün yeşil sürede yolcu biniş ve inişini gerçekleştirmesi de sağa dönüşleri engelleyebilmektedir. Bu etkileşimin miktarı, duruş çizgisi ile otobüs durağı arasındaki mesafenin arttırılması ile azaltılabilir. Bu nedenle, otobüslerin bitişik şeridi kullanabildikleri durumlarda, uzak kenar veya ada ortası duraklar, sağa dönüşlerin otobüs hızları üzerindeki etkilerini minimize eder. Sağa dönüşün olmadığı yerlere durakların yerleştirilmesi de etkileri minimize edecektir. Çift veya ek (zıt yönlü) otobüs şeritlerinin kullanıldığı durumlarda genel trafik için sağa dönüşler genellikle yasaklanmaktadır.

Otobüs şeridini geçerek sağa dönen taşıtlar otobüsleri geciktirdiği gibi otobüs şeridine paralel yaya geçişlerini kullanan yayalar da sağa dönüş yapan taşıtlar için gecikmelere neden olabilirler. Bu da otobüs şeridindeki otobüslerin gecikmelerinde artışa neden olur. Yayalardan kaynaklanan gecikmeler, arterdeki otobüse yanan yeşil sürenin başlangıcında yoğunlaşır, çünkü birikmiş yaya grubu otobüs şeridine paralel olarak geçişlerine bu anda başlarlar.

Dönüş yapmak için otobüs şeridinin kullanılması, otobüsler için yanan yeşil sürenin bir kısmının sağa dönen taşıtlar tarafından kullanılmasına ve otobüs şerit kapasitesinin düşmesine neden olur. Bu sebeple, sağa dönüşler olduğunda, otobüs şeridinin taşıt kapasitesi daha hızlı bir şekilde tüketilir. Otobüs hacimleri otobüs şerit kapasitesinin yarısından az olduğunda, yaya hacimleri çok fazla değilse, otobüs şerit kapasitesi veya hızı orta seviyede bir sağa dönüş hacminden küçük bir oranda etkilenir. Sağa dönüş taşıt kapasite tahminleri için detaylı prosedürler HCM'de bulunmaktadır. Planlama aşamasında kullanılacak sağa dönüş taşıt kapasite tahminleri Çizelge 3.22'de sunulmaktadır.

Çizelge 3.22 Planlama uygulamaları için sağa dönüş taşıt kapasiteleri (taşıt/saat)

<i>Yaya Hacmi (yaya/saat)</i>	<i>Otobüs Şeridi için g/C Oranı</i>					
	0,35	0,40	0,45	0,50	0,55	0,60
0	510	580	650	730	800	870
100	440	510	580	650	730	800
200	360	440	510	580	650	730
400	220	290	360	440	510	580
600	70	150	220	290	360	440
800	0	0	70	150	220	290
1000	0	0	0	0	70	150

$1450 * (g/C) * (1 - ((yaya \text{ hacmi}) / (g/C) / 2000))$

Değerler MİA (merkezi iş alanı) içindir, diğer yerler için bu değerler 1,1 ile çarpılmalıdır. Hesaplamalarda otobüs şeridinin otobüs dışındaki tüm taşıtlar için özel bir sağa dönüş şeridi gibi davrandığı kabul edilmiştir.

Sağa dönüşlerin otobüs şerit kapasitesi üzerindeki etkileri, sağa dönüş olmadığı durumdaki otobüs şeridi taşıt kapasitesinin bir ayarlama faktörü ile çarpılması sonucunda tahmin edilebilir. Bu ayarlama faktörü değerleri (f_r), Denklem (3.10) kullanılarak bulunabilir.

$$f_r = 1 - f_l \left(\frac{v_r}{c_r} \right) \quad (3.10)$$

Burada;

f_r = sağa dönüş için ayarlama faktörü

f_l = otobüs durak yeri faktörü (Çizelge 3.23'ten)

v_r = ilgili kavşaktaki sağa dönüş hacmi (taşıt/saat)

c_r = ilgili kavşaktaki sağa dönüş kapasitesi (taşıt/saat)

Otobüs durak yeri faktörünün (f_l) değerleri Çizelge 3.23'te gösterilmiştir. Sağa dönüşlere izin verilen durumlarda faktör değerleri, 0,5 (otobüslerin bitişik şeridi kullanabildikleri uzak kenar duraklar için) ile 1,0 (tüm otobüslerin tek bir şeride sıkıştırıldığı yakın kenar duraklar için) arasında değişmektedir. Tip 3 şeritlerinde toplu taşıma taşıtları dışındaki taşıtların sağa dönüşü yasaklandığı için bu faktör "0"dır. Bu faktörler, otobüslerin sağa dönüşler sırasındaki olası hareket kabiliyetini (etkilenme düzeyini) yansıtmaktadır. Otobüs şeritlerindeki bazı kritik kavşaklarda, otobüs kapasitesini arttırmak için tüm dönüşler yasaklanmalı ve yaya sinyalleri geciktirilmelidir.

Çizelge 3.23 Otobüs durak yeri faktörü, f_l

<i>Otobüs Durak Yeri</i>	<i>Otobüs Şerit Tipi</i>		
	TİP 1	TİP 2	TİP 3
Yakın kenar	1,0	0,9	0,0
Ada ortası	0,9	0,7	0,0
Uzak Kenar	0,8	0,5	0,0

Not: Ek şerit ve orta akstaki otobüs şeritleri için, sağa dönüşlerin ya yasaklanmış olması ya da bu dönüşlerin otobüsleri etkilemiyor olması nedeniyle durağın yerine veya şerit tipine bağlı olmaksızın $f_l=0,0$ 'dır.

Durak Atlamalı İşletimler

Durak atlama serilerinde bir saatte çalıştırılacak toplam otobüs sayısı, her bir durağı kullanan otobüs hatlarının kapasiteleri toplamının, yetersiz varış düzenlerini ve bitişik şeritteki yüksek taşıt hacminin etkilerini yansıtan bir direnç faktörü (f_k) ile çarpılması yoluyla

elde edilir. Denklem (3.11), otobüslerin durak atlamalı sistem sayesinde sağladıkları “tam faydalanılmış ek kapasite”nin azaltılması için kullanılan faktörleri göstermektedir.

$$f_k = \frac{1 + f_a f_i (N_{ss} - 1)}{N_{ss}} \quad (3.11)$$

Burada;

f_a = varış tipi faktörü, durak atlamalı işletimde otobüs duraklarının tamamıyla kullanılabilme kabiliyetini yansıtmaktadır.

Rastgele varışlar için; $f_a = 0,50$ (zayıf çizelgeleme/zayıf çizelge bağılılığı)

Tipik varışlar için; $f_a = 0,75$ (mükemmel olmayan çizelge bağılılığı)

Dizi halinde varışlar için; $f_a = 1,00$ (tren vagonları gibi, grup halinde seyreden otobüsler)

f_i = bitişik şerit direnç faktörü, Denklem (3.12)’den

N_{ss} = bir serideki alternatif durak atlama sayısı

$\min f_k = 0,6$ (kapasite her halükarda artmaktadır)

Varış tipi faktörü, f_a , otobüslerin duraklara ne kadar etkin olarak varacağını yansıtmaktadır: otobüsler durağa, sollama gerektiren ve bu nedenle de diğer otobüsler yüzünden gecikmeler yaşayan kümeler halinde mi, yoksa sollamaları minimize eden, zamana yayılmış durumda mı varıyor? Bu faktör, otobüslerin ne kadar iyi düzeyde çizelgelendiği ve bu çizelgeye ne düzeyde bağlı kalabildiklerine bağlıdır.

$$f_i = 1 - 0,8 \left(\frac{v}{c} \right)^3 \quad (3.12)$$

Burada;

v = bitişik şeritteki trafik hacimleri (taşıt/saat)

c = bitişik şeritteki trafik kapasitesi (taşıt/saat)

Planlama aşamasında bitişik şeridin taşıt kapasitesi, kent merkezi için tipik bir taşıt doygun akım oranı olan 1700 taşıt/şerit-saat ile otobüs şeridinin g/C oranı çarpılarak tahmin edilebilir. Kent merkezi dışında doygun akım oranı 1800 taşıt/şerit-saat olarak kullanılabilir. Bitişik şeridin taşıt kapasitesinin daha ayrıntılı bir şekilde tahmin edilmesi gerekiyorsa HCM’ye başvurulabilir.

Durak atlamalı işletimlerde Denklem (3.11) ve Denklem (3.12)’den bulunan değerler (f_k ve f_i), bitişik şerit tamamen dolu olsa bile ($v/c=1$, $f_i = 0,2$) otobüslerin durmadıkları duraklardaki duruş süreleri sıfır olacağı için, kapasite artışına neden olacaktır. Durak atlama işletiminin

olmadığı durumlarda, tüm otobüsler her durakta duracağı için bitişik şeridin negatif etkilediği bir kapasite artışı olmayacaktır.

Çizelge 3.24’de çeşitli otobüs şerit tipleri ve durak düzeni için kapasite ayarlama faktörünün (f_k) değerleri gösterilmiştir. Önceden de belirtildiği gibi, ardışık otobüs duraklarının kapasiteleri toplamı ile bu değerler çarpılarak her bir durak için gerçek duruş süreleri elde edilmektedir. Genellikle yalnızca şerit kendi kapasitesinin %75’i üzerinde işletildiğinde bitişik şeridin trafiğe etkisi önemli hale gelmektedir.

Çizelge 3.24 Bitişik şeridin kullanılabilme durumuna göre ayarlama faktörünün tipik değerleri (f_k)

<i>Koşul</i>	<i>Bitişik Şerit v/c</i>	f_i	$N_{ss} - 1$	f_a	f_k
Tip 1 Otobüs Şeridi					
Her durakta duran	0-1	0-1	0	0,00	1,00
Tip 2 Otobüs Şeridi					
Her durakta duran	0-1	0-1	0	0,00	1,00
2 durakta bir duran, rastgele varışlar	0	1	1	0,50	0,75
	1	0,2*	1	0,50	0,55
2 durakta bir duran, tipik varışlar	0	1	1	0,75	0,88
	1	0,2*	1	0,75	0,58
2 durakta bir duran, dizi varışlar	0	1	1	1,00	1,00
	1	0,2*	1	1,00	0,60
Tip 3 Otobüs Şeridi					
2 durakta bir duran, rastgele varışlar	0	1	1	0,50	0,75
2 durakta bir duran, tipik varışlar	0	1	1	0,75	0,88
2 durakta bir duran, dizi varışlar	0	1	1	1,00	1,00
3 durakta bir duran, rastgele varışlar	0	1	2	0,50	0,67
3 durakta bir duran, tipik varışlar	0	1	2	0,75	0,83
3 durakta bir duran, dizi varışlar	0	1	2	1,00	1,00

*yaklaşık (tahmini)

Kapasite Hesaplama Yöntemi

Bir anayol otobüs şeridinin otobüs kapasitesini tahmin etmek için, durak atlamalı işletimler ve sağa dönüş etkilerinin ayarlama faktörleri aşağıdaki denklemlerde kullanılmaktadır. Otobüs kapasitesi bilindiğinde Bölüm 3.2’deki Denklem (3.8) kullanılarak yolcu kapasitesi tahmin edilebilmektedir.

Durak Atlama Dışındaki İşletimler İçin;

$$B = B_l N_{el} f_r \quad (3.13)$$

Burada;

B = otobüs şerit kapasitesi (otobüs/saat)

B_l = kritik duraktaki tek bir biniş alanının otobüs kapasitesi (otobüs/saat)

N_{el} = kritik duraktaki efektif biniş alanı sayısı

f_r = kritik durakta sağa dönüşler için kapasite ayarlama faktörü

Durak Atlamalı İşletimler İçin;

$$B = f_k (B_1 + B_2 + \dots + B_n) \quad (3.14)$$

Burada;

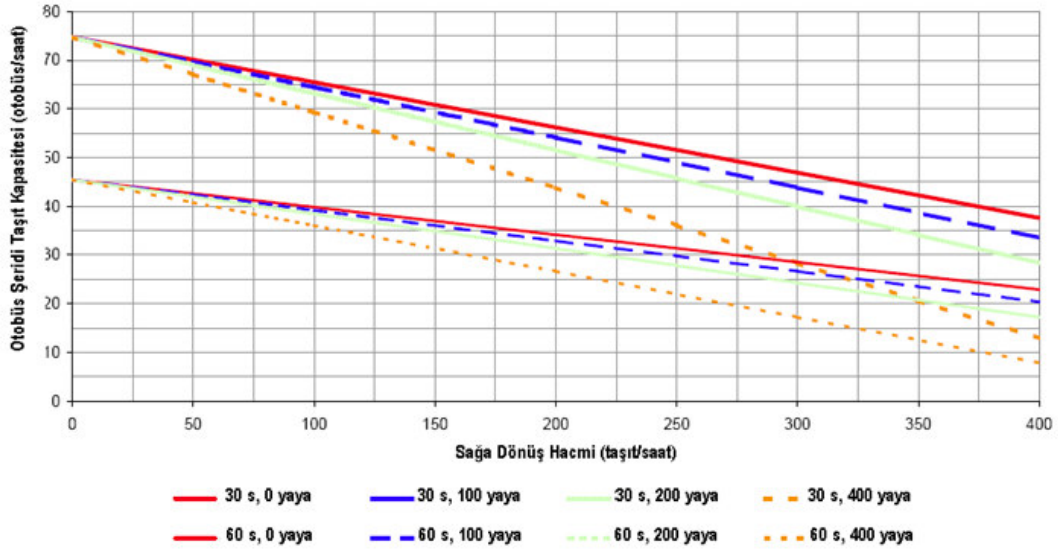
B = otobüs şerit kapasitesi (otobüs/saat)

f_k = kritik durakta durak atlamalı işletmeler için kapasite ayarlama faktörü

$B_1, \dots, B_n$ = aynı durak atlama düzenini kullanan her bir hattın kendi kritik durağındaki otobüs kapasitesi
($B_s = B_l N_{el}$)

Denklem (3.14)'de kullanılan $B_1, \dots, B_n$ kapasiteleri, durak atlamalı sistemi kullanan her bir hat için birbirinden ayrı olarak hesaplanır. Kritik durak (veya durakları) belirlerken, hangi durağın şeritlerin otobüs kapasitesini kontrol ettiğini anlamak için birçok durak test edilmelidir. Örneğin bir durak yüksek duruş süresine sahipken, bir diğeri sağa dönüş trafiğinden ciddi biçimde etkileniyor olabilir.

Şekil 3.22, çeşitli duruş süreleri, sağa dönüş hacimleri, yaya hacimleri ve şeklin altında belirtilen kabullere göre, duruş süresi, sağa dönüş hacmi ve yaya hacimlerinin otobüs şerit kapasitesi üzerindeki etkilerini göstermektedir.

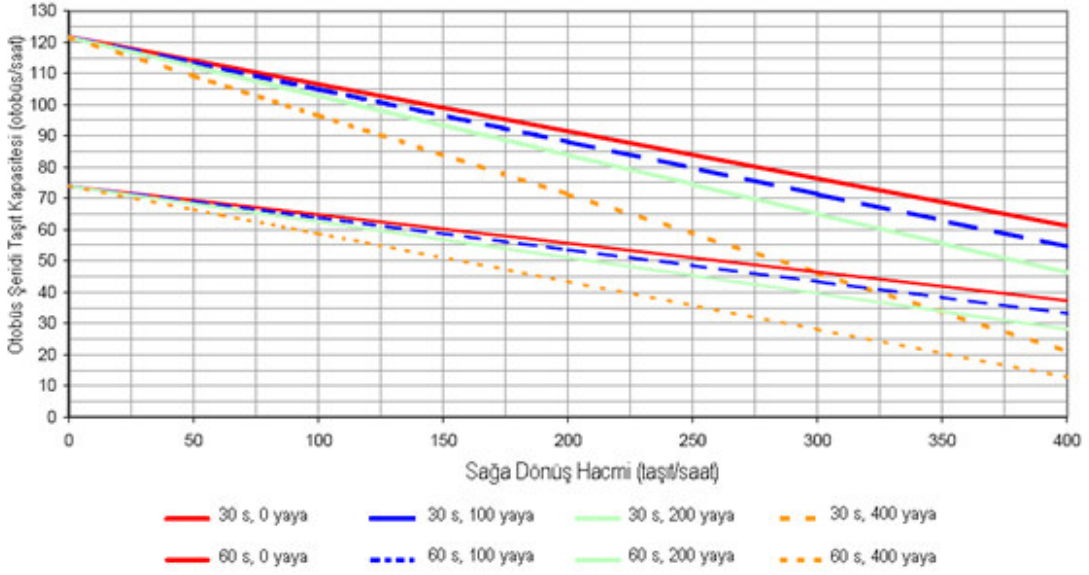


Kabuller: $g/C = 0,5$, yakın kenar duraklar, Tip 2 otobüs şeridi, durak başına 2 adet biniş alanı, duruş sürelerinin varyasyon katsayısı 60%, 25% hata oranı, 15 sn boşaltma süresi, tipik varışlar, müsaadeli sağa dönüş sinyal zamanlaması, paylaşımlı sağa dönüş şeridi ve otobüsler sağa dönen taşıtlar ile minimum ölçüde ilişkili ($P_{RT} = 1,0$)

Şekil 3.22 Durak atlama işletimi dışındaki işletimler için otobüs şeridi taşıt kapasitesi

Düşük bir sağa dönüş ve yaya hacminde kapasiteyi duruş süresinin belirlediği şekilden okunmaktadır. 200 yaya/saat'ten düşük yaya hacimleri, kapasite üzerinde küçük bir etkiye sahiptir. Fakat daha yüksek yaya kesişim hacimlerinde, özellikle sağa dönüşün de arttığı durumda, kapasite üzerindeki etki ciddi biçimde artmaktadır. Ancak, sağa dönüş olmadığı durumlarda, yaya kesişim hacimlerinin kapasite üzerinde hiçbir etkisi yoktur ve kapasite doğruları belirlenen duruş süresi için tek bir noktada birleşirler. Aynı zamanda belirli bir yaya hacmi için çizilen doğrularda sağa dönüş hacmi arttıkça otobüs şeridi taşıt kapasitesinin sıfıra yaklaştığı görülmektedir. Bu iki uç durum arasında, otobüs taşıt kapasitesi sağa dönüş hacimleri arttıkça düzenli olarak azalır, ta ki otobüs talep hacmi şeridin otobüs kapasitesini aşmıncaya kadar.

Şekil 3.23, otobüslerin bir durak atlayarak işletilmesi ($N_{ss} = 2$) ve bitişik şeridin taşıt hacminin 500 taşıt/saat (g/C oranı 0,5 olduğunda, v/c oranı yaklaşık olarak 0,6 olacaktır) olduğunun kabulü dışında, benzer koşullardaki kapasiteyi göstermektedir. Durak atlamalı işletim uygulandığında belirli bir sağa dönüş hacmi için otobüs şeridi taşıt kapasitesi yaklaşık %63 oranında artmaktadır.



Şekil 3.23 Durak atlama işletim için otobüs şeridi taşıt kapasitesi

Şekil 3.22 ile Şekil 3.23'teki doğruların eğimi karşılaştırıldığında, durak atlamalı sistem kullanılsın ya da kullanılsın otobüs şeridinin kapasitesi aynı sağa dönüş hacminde sifıra yaklaşmaktadır. Bu durumdan anlaşılmaktadır ki, özellikle yaya hacimlerinin yoğun olduğu yerlerde kapasiteyi arttırmak için ilk yapılması gereken sağa dönüşlerin kontrol altına alınmasıdır (dönüş kısıtlamaları veya durak yerlerinin ayarlanması gibi). Kapasiteyi arttıran bu düzenlemeler, otobüs hızları üzerinde de fayda sağlayacaktır. Sağa dönüşler kapasite üzerindeki etkin faktör değilse, kapasite ve hızı arttırmak için durak atlamalı sistem kullanılabilir.

3.6.4 Otobüs Hızları

Otobüs hızlarını belirlemenin en iyi yolu doğrudan ölçüm yapmaktır. Ama bunun mümkün olmadığı durumlarda (örneğin, planlanmakta olan bir sistem için) hızlar, (1) zirve ve zirve saatte, iki veya üç kez, hat boyunca ortalama durak sayısı ve duruş süresi kadar durarak (2) benzer hatlar baz alınarak çizelgeleme yapılması ve işletim deneyimine dayanarak gerekli seyir süresi ayarlamalarının yapılması ile tahmin edilebilir veya (3) hız tahmini için aşağıda gösterilen analitik yöntem kullanılabilir.

Anayollar

Anayol otobüs şeritleri üzerindeki otobüslerin hızları; durak aralığı, duruş süreleri, trafik sinyalleri ve sağa dönüşlerden kaynaklanan gecikmeler, durak atlamalı işletimler ve diğer otobüsler ile olan etkileşimlerden etkilenmektedir. Anayollardaki otobüslerin seyahat hızlarının tahmininde kullanılan bu faktörler Denklem (3.15)'te gösterilmiştir. Bir otobüsün seyir süresi, Çizelge 3.25 ve Çizelge 3.26'dan (durak aralığı, duruş süreleri ile trafik ve sinyal gecikmelerinin etkisini hesaba katmak için) faydalanılarak belirlenebilmektedir. Bu seyir süresi hıza dönüştürülür ve durak atlamalı işletim ile bu şeritte işletilen otobüsler ile olan etkileşimi hesaba katmak için düzenlenir.

$$S_t = \left(\frac{60}{t_r + t_l} \right) f_s f_b \quad (3.15)$$

Burada;

S_t = seyahat hızı (km/saat)

t_r = temel otobüs seyir süresi (dakika/km)

t_l = otobüs seyir süresi kayıpları (dakika/km)

f_s = Denklem (3.16)'dan elde edilecek durak düzeni ayarlama faktörü

f_b = Çizelge 3.27'den elde edilecek otobüs-otobüs etkileşimi ayarlama faktörü

Otobüs Seyahat Süresi Oranları

Çizelge 3.25 ile Çizelge 3.26, durak aralığı, durak başına ortalama duruş süresi (yalnızca kritik duraktaki değil, tüm durakların ortalama duruş süresi) ve işletme koşullarının bir fonksiyonu olarak otobüs seyir süresinin tahmini değerlerini sunmaktadır. Bu değerler, saha gözlemlerinden elde edilmiştir. İlk olarak Çizelge 3.25'ten temel seyir süresi belirlenir. Bu süre, otobüslerin herhangi bir sinyal veya trafik gecikmesi yaşamadan seyahat ettikleri durumdaki hızlarını yansıtmaktadır. Daha sonra Çizelge 3.26'dan bu süreye eklenecek olan, sinyaller ve otobüs şeridindeki diğer trafiğin etkilerinden kaynaklanan "seyir süresi kayıpları" belirlenir. Gözlemlenmiş gerçek gecikme sürelerine ulaşılabiliriyorsa Çizelge 3.26'daki değerler yerine bu gözlem değerleri kullanılmalıdır. Denklem (3.15)'te kullanılmak üzere temel otobüs hızını belirlemek için temel seyir süresi ile kayıp süre toplanarak saat'e dönüştürülür.

Ortalama hızlar, herhangi bir mesafe ve bir duruş düzeni serisi için hesaplanabilmektedir. Bir koridor analiz edilirken, çalışma alanının uzunluğu, durak sayısı ve her bir duraktaki duruş süreleri hız sonuçlarını etkileyecektir. Kapasite hesabı, duruş süresi kombinasyonu ve

değişkenliği nedeni ile en düşük kapasiteyi vereceği için, kritik durakta yapılmalıdır. Hız hesaplamalarında ise maksimum kapasite (yani, %25 hata oranı) kullanılmalıdır. Analiz için seçilen yol kesimleri, geometri, şerit düzenlemeleri, durak sıklığı ve duruş süreleri açısından homojen özelliklere sahip olmalıdır. Hız hesaplarında, ortalama duruş süresi ve her bir yol kesimindeki en yüksek v/c oranı kullanılmadadır. İncelenen yol kesimlerinin 800 metre uzunlukta olması tercih edilmekle beraber en az 400 m olması gerekmektedir.

Kapasite analizinde kritik durağın ortalama duruş süresi göz önüne alınırken, hız analizlerinde, çalışma alanındaki tüm durakların ortalama duruş süresi kullanılmaktadır. Hız analizi için kullanılacak kritik duraktaki otobüs kapasitesi ise %25 hata oranına göre (maksimum kapasite için) yeniden hesaplanmalıdır.

Çizelge 3.26 kullanılırken, sinyal zamanlaması ve şerit ayırım cinsine göre kayıp süre bulunmaktadır.

Çizelge 3.25 Temel otobüs seyir süresi tahmini, t_r (dakika/km)

<i>Tüm Duraklardaki Ortalama Duruş Süresi (sn)</i>	<i>Km Başına Durak Sayısı</i>							
	1	2	3	4	5	6	7	8
10	1,39	1,82	2,29	2,83	3,46	4,18	5,04	5,91
20	1,55	2,15	2,79	3,49	4,29	5,19	6,20	7,24
30	1,72	2,49	3,29	4,16	5,12	6,18	7,37	8,58
40	1,89	2,82	3,78	4,82	5,96	7,18	8,54	9,91
50	2,06	3,15	4,28	5,49	6,80	8,18	9,70	11,24
60	2,22	3,48	4,77	6,15	7,63	9,18	10,87	12,58

Not: Veriler saha gözlemlerine dayanmaktadır. Çizelgede bulunmayan duruş süresi veya durak sayısı için seyir süresi tahmini interpolasyon yapılarak bulunabilir.

Çizelge 3.26 Temel otobüs seyir süresi kayıpları tahmini, t_l (dakika/km)

<i>Koşul</i>	<i>Otobüs Şeridi</i>	<i>Otobüs Şeridi, Sağa Dönüş Yok</i>	<i>Otobüs Şeridi, Sağa Dönüş Gecikmeleri</i>	<i>Trafik Tarafından Kesilen Otobüs Şeritleri</i>	<i>Karma Trafik Akımı</i>
Merkezi İş Alanı (MİA)					
“Tipik”		0,7	1,2	1,5–1,8	1,8
“Otobüsler İçin Düzenlenmiş Sinyaller”		0,4	0,8		
“Otobüs Duraklarından Daha Sık Trafik Sinyalleri”		0,9–1,2	1,5–1,8	1,8–2,1	2,1–2,4
MİA Dışındaki Anayollar					
Tipik Aralık	0,4				0,6
	0,3–0,6				0,4–0,9
Not: Veriler saha gözlemlerine dayanmaktadır. Trafik gecikmeleri zirve saat koşullarını yansıtmaktadır.					

Durak Atlamalı İşletimler İçin Düzeltme Faktörü

Durak atlamalı işletmelerde otobüsler yalnızca belirli durak grubuna atandığı için hızlarda artış olmaktadır. Durak atlamalı işletim için yapılan analitik hesaplarda yalnızca otobüslerin duracağı durak sayısı göz önüne alınmaktadır. Örneğin, otobüs durak aralığı 400 m ise, bir durak atlayarak hizmet veren bir sistemde durak aralığı 800 metre olacaktır. İki durakta bir duran bir otobüs her durakta duran bir otobüsten daha hızlı ilerleyecektir. Ancak, her bir durakta bu otobüsü bekleyen yolcu sayısı artacağı için (otobüsün durmadığı duraktaki yolcu talebi yakındaki durağa öteleneceğinden) duruş süreleri de artacaktır. Bu nedenle hızdaki artış belirli bir oranda azalacaktır.

Otobüslerin duran taşıtları sollamak için sağ şeritten ayrılabilme olanakları, hızda artış sağlamadaki bir diğer faktördür. Bu olanak, bitişik şeridin mevcudiyetine (kullanılabilirliğine) veya durak cebinin olup olmamasına bağlıdır. İkili otobüs şeritleri veya durak cepleri olduğu durumlarda hizmet verilen duraklar arasındaki mesafe kullanılarak “beklenen otobüs hızı” hesaplanabilmektedir. Bitişik şeritte tıkanma olduğunda, sollama imkânı ortadan kalacaktır. Böyle durumlarda otobüsler, ara duraklarda sıfır duruş süresi ile her bir durakta duruyormuş gibi düşünülmelidir. Bitişik şeridin kısmi kullanımı söz konusu olduğunda otobüs hızı bu iki değer arasında bir yerde olacaktır. Denklem 3.16, durak atlamalı işletimler için -bitişik şeritteki trafik durumu ile sağ şeritteki otobüslerin bir fonksiyonu olarak- hız ayarlama

faktörünü (f_s) göstermektedir. Bu faktör durak atlamalı sistemin daha uzun durak aralığı nedeniyle yüksek hızda çıkan temel seyir süresini azaltmak için kullanılır. Eğer durak atlamalı sistem uygulanmazsa $f_s = 0$ 'dır ve temel seyir hızı gerçek durak aralığına bağlıdır.

$$f_s = 1 - \left(\frac{d_1}{d_2} \right) \left(\frac{v}{c} \right)^2 \left(\frac{v_p}{B_p} \right) \quad (3.16)$$

Burada;

f_s = duruş (durma) düzeni ayarlama faktörü ($0,5 < f_s < 1,0$)

d_1 = her durakta (one-block stop pattern) durma düzeni için duraklar arası mesafe (m)

d_2 = durak atlamalı (multiple-block stop pattern) durma düzeni için duraklar arası mesafe (m)

v = bitişik şeritteki hacim (taşıt/saat)

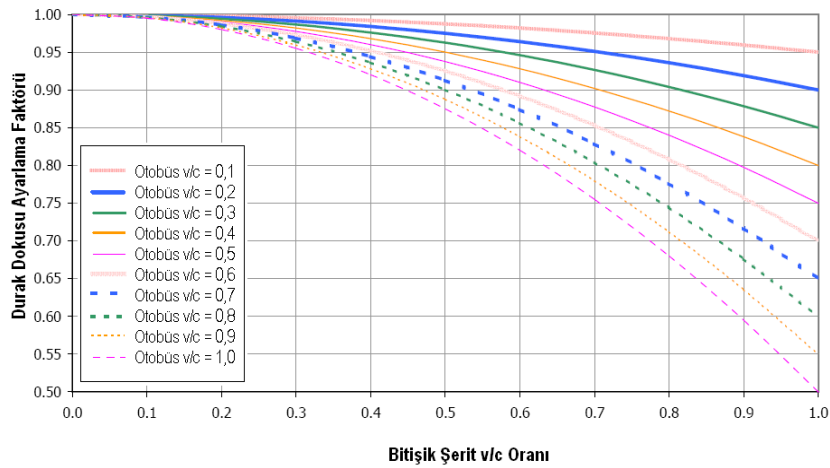
c = bitişik şeritteki kapasite (taşıt/saat)

v_p = durak düzenindeki otobüs hacmi (otobüs/saat)

B_p = duruş düzenindeki kritik durağın maksimum otobüs kapasitesi (otobüs/saat)

Hız, her bir düzen için ayrı ayrı hesaplanmalıdır. Otobüs kapasitesi %25 hata oranına dayanmalıdır.

Şekil 3.24, otobüslerin ve genel trafiğin hacim-kapasite oranlarındaki artışın duruş düzeni ayarlama faktörü üzerindeki etkilerini göstermektedir. Bu şekil, iki adada/durakta bir duran – durak atlamalı sistem için çizilmiştir. Şekilden de görüleceği gibi, bitişik şerit hacmi şerit kapasitesinin %50'sine gelene kadar, iki katına çıkan hızdaki azalma önemli ölçüde olmamaktadır (f_s 0,90'larda olduğu için). Daha yüksek v/c oranlarında, hem otobüs şerit kapasitesi hem de bitişik şerit hacimleri otobüs hızları üzerinde önemli rol oynamaktadır.



Şekil 3.24 Durak atlamalı düzen ayarlama faktörünün etkileri

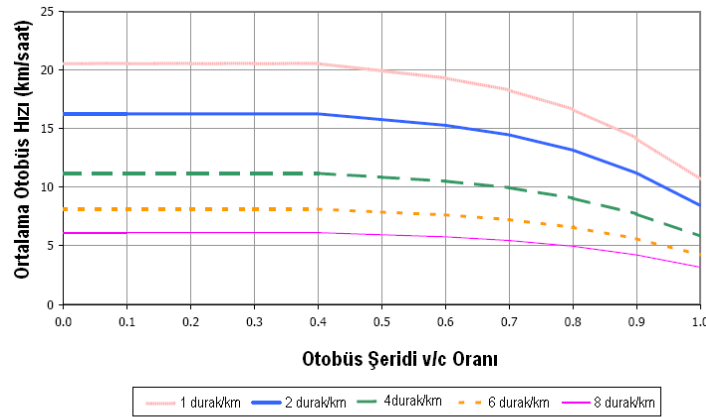
Otobüs-Otobüs Etkileşimi

Şeridin otobüsler ile doymun hale geldiği durumlarda otobüs hızları düşecektir. Şeritteki otobüs sayısının artması, bir otobüsün bir diğeri nedeniyle gecikme yaşama olasılığını arttıracaktır. TCRP Report 26’da anlatılan simülasyon sonuçlarına ve gözlemlere göre, otobüs hacimleri kapasiteye yaklaştığında otobüs hızları keskin bir düşüş yaşamaktadır. Çizelge 3.27, otobüs hızlarındaki bu düşüşü yansıtmak amacıyla kullanılan düzeltme faktörünü sunmaktadır. Bu faktörler 80 saniye devir süresi, 0,5 yeşil süre oranı, 125 metrelik durak aralıkları, 20–50 saniye duruş süreleri ve %33 duruş süresi değişkenliği kullanılarak Tip 1 ve Tip 2 otobüs şeritlerinin simülasyonu ile geliştirilmiştir.

Çizelge 3.27 Otobüs-otobüs etkileşimi faktörü, f_b

Otobüs Şeridi v/c Oranı	Otobüs-Otobüs Etkileşimi Faktörü
<0,5	1,00
0,5	0,97
0,6	0,94
0,7	0,89
0,8	0,81
0,9	0,69
1,0	0,52
1,1	0,35

Şekil 3.15, artan otobüs şerit hacminin hız üzerindeki etkisini göstermektedir. Otobüs şerit kapasitesinin yaklaşık %70’inin kullanılmasına kadar otobüs hızları üzerindeki etkinin az olduğu görülmektedir.



Not: 30 saniye duruş süresi, MIA'nda sağa dönüş gecikmelerinin yaşandığı ve tipik sinyal zamanlamasının olduğu kabul edilmiştir.

Şekil 3.25 Otobüs-otobüs etkileşimi faktörünün etkileri

3.7 Karma Trafik Koşullarında İşletilen Otobüs Sistemleri

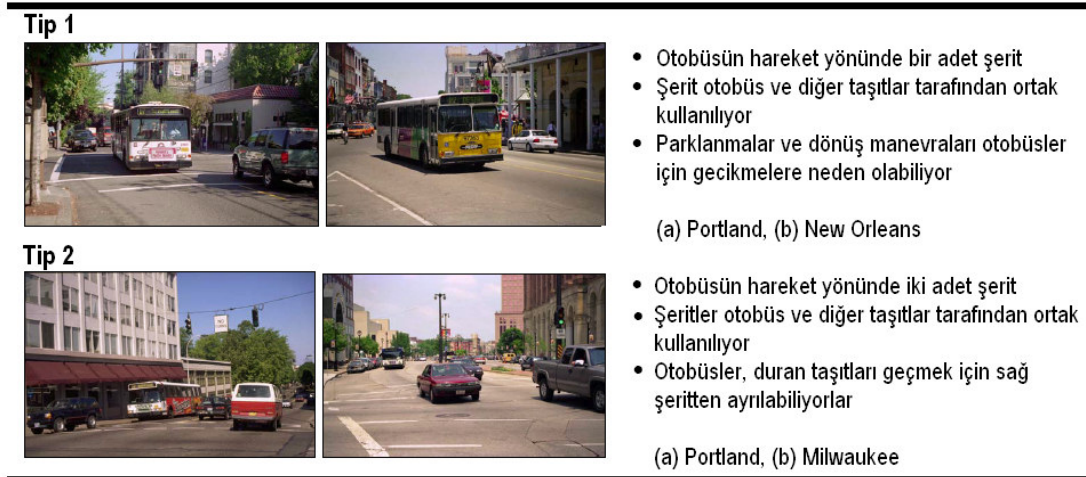
3.7.1 Giriş

Otobüsler, şeritte işletilen diğer taşıtlar gibi seyir ettikleri için, otobüslerin şerit kapasitesine etkisi, -otobüslerin otomobil eşdeğerlik katsayısı 2,0 alınmak üzere- HCM’de anlatılan yöntemler kullanılarak hesaplanabilmektedir. Şerit otobüs kapasitesi, otobüslerin diğer trafikten etkilenmesini de dâhil etmek suretiyle anayol otobüs şeritleri için kullanılan yöntemle hesaplanabilmektedir. Durak ceplerinin kullanıldığı ve otobüslerin trafiğe yeniden katılım gecikmesi yaşadığı durumlarda trafikten etkilenme en yüksek düzeyde olmaktadır.

3.7.2 Otobüs İşletim Çeşitleri

Anayol otobüs şeridi prosedürlerine paralel olarak, karma trafik prosedürleri de otobüs şerit tiplerini tanımlamaktadır.

Şekil 3.26’da gösterildiği gibi karma akımdaki otobüs işletiminde yalnızca iki çeşit şerit tipi bulunmaktadır. Bu iki şerit tipini, sağ şeritten ayrılabilme olanakları belirlemektedir.



Şekil 3.26 Karma trafik otobüs işletmelerinin çeşitleri

3.7.3 Otobüs Kapasitesi

Sağ şeridi otobüsler ile paylaşan karma trafik hacmi otobüs kapasitesini iki yolla etkilemektedir. Birincisi, şeritte özellikle de kavşaklarda diğer trafikten kaynaklanan etkileşim nedeni ile otobüsler durağa erişemeyebilmekte veya otobüs araba kuyruğu arkasında kalabilmekte ve bundan dolayı gecikme yaşayabilmektedir. İkincisi, durak ceplerinde, duraktan ayrılırken ve trafiğe katılırken kapasitenin azalmasına neden olan ek bir gecikme

olmaktadır. Bu trafiğe katılma gecikmesi otobüs durak kapasitesi hesaplanırken kullanılan boşaltma süresi içerisinde bulunmaktadır. Trafik etkileşimi, aşağıda anlatılan kapasite düzeltme faktörü ile hesaplanabilmektedir.

$$f_m = 1 - f_l \left(\frac{v}{c} \right) \quad (3.17)$$

Burada;

f_m = karma trafik düzeltme faktörü

f_l = otobüs durak yeri faktörü (Çizelge 3.23'ten)

v_r = ilgili kavşaktaki sağ şerit hacmi (taşıt/saat)

c_r = ilgili kavşaktaki sağ şerit kapasitesi (taşıt/saat)

Karma trafik ayarlama faktörü, anayol otobüs şeritlerinde Denklem (3.10) kullanılarak bulunan sağa dönüş ayarlama faktörü ile oldukça benzerdir. Karma trafik koşullarındaki fark, toplu taşıma dışındaki trafiğin daha yoğun olabilmesi ve etkileşimin yalnızca sağa dönen taşıtlardan oluşmamasıdır. Düz giden veya sola dönen taşıtlar da otobüslerde gecikmelere neden olabilecektir. Bu nedenle, karma trafik koşullarında otobüs kapasitesi daha düşük olabilmektedir. Sağ şeridin taşıt kapasitesi HCM'nin son versiyonu kullanılarak bulunabilir.

Otobüslerin işletildiği karma akım şeridinin otobüs kapasitesi Denklem (3.18) kullanılarak hesaplanabilir. 3.2'deki yöntemler sonucunda bulunan durak kapasitesi yolcu kapasitesini hesaplamak için kullanılabilir.

$$B = B_l N_{el} f_m \quad (3.18)$$

Burada;

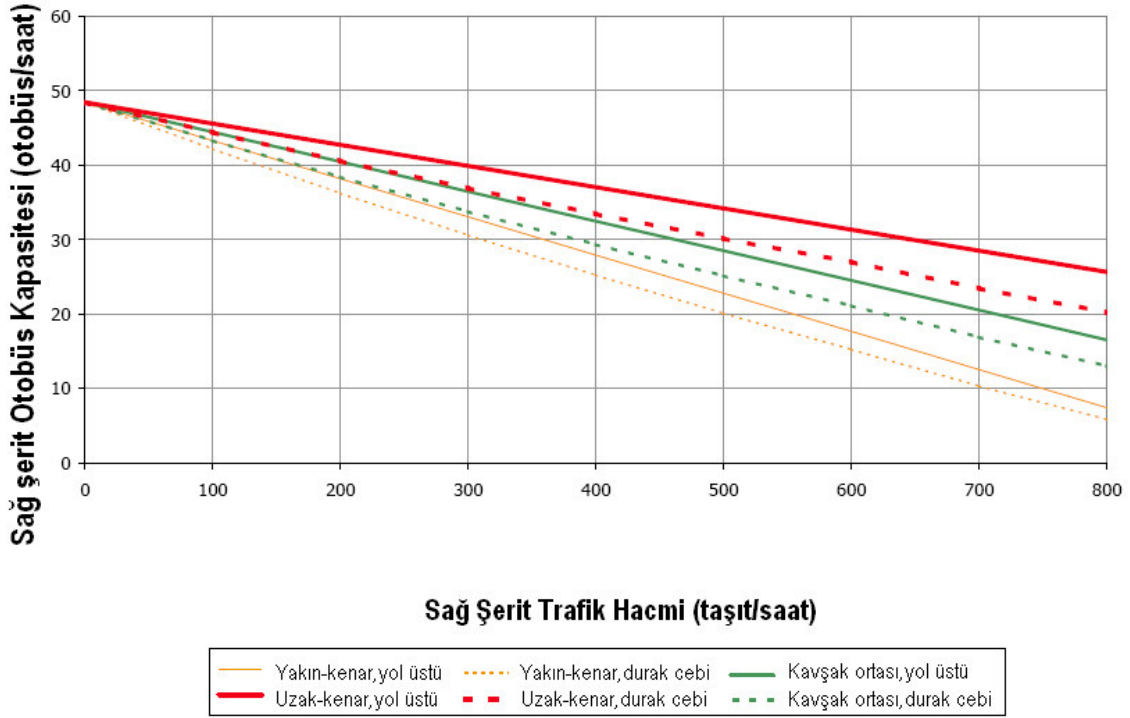
B = karma trafik otobüs kapasitesi (otobüs/saat)

B_l = kritik duraktaki tek bir biniş alanının otobüs kapasitesi (otobüs/saat)

N_{el} = kritik duraktaki efektif biniş alanı sayısı

f_m = kritik durakta karma trafik etkileşimi için kapasite ayarlama faktörü

Şekil 3.27, sağ şerit trafik hacimlerinin artmasıyla otobüs taşıt kapasitesinin nasıl azaldığını ve otobüs durak yeriyle otobüs taşıt kapasitesinin nasıl değiştiğini göstermektedir. Karma trafik koşullarında durak cepli doğrusal duraklar aynı duruş süresine sahip yol üstü duraklardan daha düşük bir kapasiteye sahip olmaktadır. Çünkü durak cepleri ile sağlanan ek fayda, otobüslerin trafiğe yeniden katılımında ek gecikmelere neden olmaktadır.



Not: Tip 2 otobüs şeridi, durak başına bir adet doğrusal binüş alanı, 0,5 yeşil süre oranı, 30 saniye duruş süresi, %25 hata oranı ve %60 değişkenlik katsayısı kabullerine göre çizilmiştir.

Şekil 3.27 Karma trafik maksimum otobüs kapasitesi

3.7.4 Otobüs Hızları

Otobüs hızlarını belirlemenin en iyi yolu doğrudan ölçüm yapmaktır. Ama bunun mümkün olmadığı durumlarda (örneğin, planlanmakta olan bir sistem için) hızlar, (1) zirve ve zirve dışı sürelerde, iki veya üç kez, hat boyunca ortalama durak sayısı ve duruş süresi kadar durarak (2) benzer hatlar baz alınarak çizelgeleme yapılması ve işletim deneyimine dayanarak gerekli seyir süresi ayarlamalarının yapılması ile tahmin edilebilir veya (3) hız tahmini için aşağıda gösterilen analitik yöntem kullanılabilir.

Karma trafikte işletilen otobüslerin hızları, durak aralığı, duruş süreleri, trafik sinyallerinden kaynaklanan gecikmeler ve şeridi kullanan diğer trafik ile olan etkileşime bağlıdır. Karma trafikte işletilen otobüslerin hızlarının tahmininde kullanılan bu faktörler anayol otobüs şeritleri için kullanılanlar ile aynıdır. Tek fark, seyir süresi kayıplarını belirlerken Çizelge 3.26'da "karma akım" sütununun seçilmesidir.

3.8 ÖRNEK PROBLEMLER

3.8.1 Örnek Problem 1 – Otobüs Duruş Süresi

Durum

Banliyö alanından Merkezi İş Alanına (MİA) bağlanan 10 duraklı bir ekspres hat planlanmaktadır. Orta durakta (5.durak) bir aktarma merkezi bulunacaktır. Bu hat MİA'ya girdiğinde (7. duraktan 10. durağa kadar) karma trafikte işletilecektir.

Soru

Her bir duraktaki ortalama duruş süresi ne kadar olacaktır ve bu duruş süreleri hattın iyileştirilmesini nasıl etkiler?

Veriler

- Hatta 40 koltuğu bulunan standart otobüsler kullanılacaktır.
- Ücretler otobüse binişte ödenecektir (tam ücret, bilet vb.).
- Kapıların açılma ve kapanma süresi 4 saniyedir.
- Tüm yolcular ön kapıdan biniş, arka kapıdan iniş yapar.
- Toplu taşıma kuruluşu, hattın potansiyel yolcu miktarını belirlemiş ve her bir duraktaki tahmini biniş ve iniş miktarlarını öngörmüştür.

<i>Duraklar</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>10</i>
İnen Yolcular	0	0	3	2	14	6	16	19	15	11
Binen Yolcular	20	16	11	12	16	8	2	1	0	0

Kabuller

- Yolcu başına biniş süresi 3,5 saniyedir (otobüs içinde ayakta yolcu varsa bu süre 4,0 saniye kabul edilir).
- Yolcu başına iniş süresi 2,0 saniyedir.

Cözümün Ana Hatları

Tüm parametreler bilindiğine göre duruş sürelerini bulmak için 3.yöntem olan hesaplama yöntemi kullanılabilir. Bir kapıdan biniş diğer kapıdan iniş yapıldığı için (biniş ve inişler eş zamanlı gerçekleştiğinden), her bir duraktaki biniş ve iniş süreleri ayrıca hesaplanıp hangisinin duruş süresini belirlediği bulunmalıdır. Otobüsün hangi duraklara ayakta yolcusu bulunurken yanaşacağını belirlemek için otobüs içindeki toplam yolcu sayısının bilinmesi gereklidir.

Cözüm

1. Adım: Yolcu biniş sürelerini hesaplayabilmek için otobüsün hangi duraklara yanaştığında ayakta yolcusu olduğu belirlenir. 4. durak ile 8. durak arasında otobüs içindeki yolcu sayısı 40'ın üzerindedir. Bununla beraber 3. Durakta ilk yedi yolcu bindikten sonra geriye kalan üç yolcu için artık otobüste ayakta yolcu bulunmaktadır.
2. Adım: Biniş süreleri hesaplanır. Yolcular biniş yaparken taşıt içinde ayakta yolcu bulunması durumunda biniş yapan yolcu sayısı 3,5 yerine 4,0 saniye ile çarpılmaktadır.
3. Adım: İniş süreleri bulunur. İniş yapan yolcu sayısı 2,0 saniye ile çarpılmaktadır.
4. Adım: Her bir durak için biniş ve iniş sürelerinden hangisinin duruş süresini belirlediği saptanır (İniş ve biniş eşzamanlı gerçekleştiği için bu sürelerden büyük olanı duruş süresini belirleyecektir).
5. Adım: Duruş süreleri bulunur. Maksimum biniş–iniş süresine kapı açılma–kapanma süresi eklenir.

Sonuçlar

1. Durak için;

Biniş Süresi= 20. 3,5 = 70 saniye

İniş Süresi= 0 saniye

Kapı Açılma-Kapanma Süresi = 4 saniye

Duruş Süresi= maksimum (Biniş süresi, İniş süresi) + Kapı Açılma–Kapanma süresi
= 70+4 =74 saniye

3.8.2 Örnek Problem 2 – Bir Duraktaki Gerekli Biniş Alanı Sayısı

Durum

Bir kent merkezi Tip 2 otobüs şeridinde, akşam zirve saatte 32 otobüs çalıştırılmaktadır. Zirve saat boyunca bu koridorda 10 dakika izleme süresiyle hizmet verecek ek bir hat konmak isteniyor.

Soru

Koridordaki mevcut otobüs kapasitesi nedir? En yoğun durakta ek biniş alanı sağlamaya gerek var mıdır, varsa kaç adet eklenmelidir?

Veriler

- Hattaki g/C oranı 0,45'tir.
- Otobüs duraklarının tümü yol üstü duraklardır ve mevcutta her birinde yalnızca tek bir biniş alanı vardır.
- Kritik duraktaki ortalama duruş süresi 30 saniyedir.
- İstenilen hata oranı %10'dır.
- Yol boyunca sağa dönüş yasaktır.

Kabuller

- Duruş süreleri değişkenlik katsayısı 0,60'dır.
- Otobüslerin duraklara rast gele vardığı kabul edilmektedir.
- Yol üstü duraklar için boşaltma süresi 10 saniyedir.

Cözümün Ana Hatları

Tüm girdi parametreleri bilinmektedir. Sağa dönüşler yasaklandığı için ($f_r = 1,0$ olacağı için), “kritik otobüs durağının otobüs kapasitesi”, “otobüs şeridinin taşıt kapasitesi”ni belirleyecektir. Doğrusal bir otobüs durağının taşıt kapasitesi, biniş alanı kapasitesinin etkin biniş alanı sayısı ile çarpılması sonucunda elde edilir.

Cözüm

1. Adım: Denklem (3.6) kullanılarak tek bir biniş alanının otobüs kapasitesi hesaplanır.

$$B_l = \frac{3600 (g/C)}{t_c + (g/C) t_d + Z_{c_v} t_d}$$

$$B_l = \frac{3600 (0,45)}{10 + (0,45) 30 + (1,28) (0,60) 30} = 35 \text{ otobüs/saat}$$

2. Adım: Bir biniş alanının kapasitesi mevcuttaki 32 otobüs talebini karşılamaktadır. Fakat zirve saatte 10 dakika izleme aralığıyla işletilmek istenen hat ile otobüs talebi 38'e çıkmakta ve kritik durağın kapasitesini aşmaktadır. Bu nedenle ikinci bir biniş alanının sağlanması gerekecektir. İki biniş alanının etkinlik sayısı 1,75'dir (Çizelge 3.9).

$$B_s = B_l N_{el}$$

$$B_s = 35 (1,75) = 61 \text{ otobüs/saat}$$

Sonuçlar

Kritik durakta ikinci bir biniş alanı oluşturmak, yeni hat için yeterli kapasiteyi sağlayacaktır. Bundan sonra yapılması gereken yeni kritik durağı belirlemek ve kapasitesinin ek otobüsleri kaldırıp kaldıramayacağını hesaplamaktır.

Genel bir kural olarak, büyük şehirlerin kent merkezi duraklarında mümkünse iki veya üç biniş alanı sağlanmalıdır.

3.8.3 Örnek Problem 3 –Durak Atlamalı İşletim’de Otobüs Taşıt Kapasitesi ve Hızı

Durum

Problem 2’de tanımlanan ek otobüs hattını içeren hizmet iyileştirmesine ek olarak, kent merkezindeki toplu taşıma hızlarının da artırılması isteniyor. Seçenekler, otobüs karmaşasını azaltmak için durak uzunluklarını arttırmayı (biniş alanı eklemek), durak sayısını azaltmayı ve/veya durak atlamalı düzen uygulamayı içermektedir.

Soru

Her bir seçenek işletilmek istenilen 38 otobüs için yeterli kapasiteyi sağlayabilmekte midir? Her bir senaryo için otobüslerin işletme hızı nedir?

Veriler

- Kabuller Problem 2’dekiler ile aynıdır.
- Durak atlamalı sistemde 20 ve 18 otobüsün işletildiği iki grup hat bulunmaktadır. Otobüsler minimum tıkanıklığı sağlamak üzere çizelgelenmelidir, fakat trafik sinyalleri ve diğer gecikmeler nedeni ile çizelgeye bağlılık yetersiz düzeyde olabilir.
- Bitişik şeridin taşıt hacmi 500 taşıt/saattir.
- Bitişik şeritteki trafiğin %2’sini ağır taşıtlar oluşturmaktadır.
- Otobüs durakları yakın–kenarda konumlanmıştır.
- Kritik duraktaki ortalama duruş süresi 30 saniyedir. Kent merkezindeki tüm duraklarda ortalama duruş süresi 20 saniyedir. Bu süreler durak atlamalı işletim senaryolarındaki iki grup için de aynıdır.
- Duraklar her bir adada (blokta) yer almaktadır (durak aralığı 125 metredir yani km başına 8 durak bulunmaktadır). Eğer duraklar elimine edilecekse veya durak atlamalı sistem uygulanacaksa, duraklar iki adada bir (km başına 4 durak) yerleştirilecektir. Hizmeti kullanacak yolcular 8 durak yerine 4 durakta toplanacağı için duruş sürelerinin iki kat artacağı kabul edilmektedir.
- Bitişik şeridin kapasitesini belirlemek için HCM kullanılmalıdır. Temel doygun akım oranı, v_o , 1900 otomobil/saatteki yeşil süredir. Ağır taşıt doygun akım ayarlama faktörü, f_{HV} 0,98’dir. MİA için doygun akım ayarlama faktörü f_A 0,90’dır.

Cözümün Ana Hatları

Her bir senaryo için otobüs şeridi kapasitesi belirlenecektir. Durak atlamalı sistem dışındaki hesaplama yöntemi Problem 2'deki ile aynıdır. Durak atlamalı sistem senaryosu için otobüs şeridi kapasitesi, her bir grup kapasitesinin toplamının –tipik varışlar ve bitişik şeritteki diğer trafiğin direncinin etkileri için– bir ayarlama faktörü ile çarpılmasıyla bulunur.

Eğer kapasite, çalıştırılması düşünülen otobüs sayısından fazlaysa hız hesabı yapılır. MİA otobüs şeridindeki temel otobüs hızı Çizelge 3.25 ve Çizelge 3.26'dan belirlenir, durak atlamalı işletim ve otobüs–otobüs etkileşimi için ayarlama faktörleri kullanılarak bu hızlar düzeltilir.

Cözüm

İlk olarak, tüm senaryolarda kullanılacak olan bitişik şerit kapasitesi HCM'nin 16. bölümünde anlatılan yöntemler kullanılarak hesaplanır. (Bu değer, tüm senaryolar için sabittir.)

$$c = v_o (g/C) f_{HV} f_A$$

$$c = (1900)(0,45)(0,98)(0,90) = 754 \text{ taşıt/saat}$$

Bundan sonra, her bir senaryo için kapasitenin sağlanıp sağlanmadığı tespit edilecek ve eğer sağlanıyorsa hız hesabı yapılacaktır.

1.Senaryo– İkinci Bir Biniş Alanı Eklemek

İkinci bir biniş alanı eklendiğinde, 38 otobüs için yeterli kapasite sağlandığı problem 2'de bulunmuştur. Kapasite sağlandığına göre otobüslerin işletme hızları hesaplanabilir. Hız hesaplamalarında, kullanılan girdiler;

$$S_t = \left(\frac{60}{t_r + t_l} \right) f_s f_b$$

- t_r ve t_l (gözlem verilerinden veya Çizelge 3.25 ve Çizelge 3.26 kullanılarak, tüm durakların ortalama duruş süresine göre belirlenir.)
- f_s (durak atlamalı sistemin uygulanmasından önceki ve sonraki durak aralıkları, bitişik şeridin hacmi ve kapasitesi, durak atlama düzenindeki otobüs hacmi ve bu düzenin kritik durağının maksimum otobüs kapasitesine bağlıdır.)

$$f_s = 1 - \left(\frac{d_l}{d_2} \right) \left(\frac{v}{c} \right)^2 \left(\frac{v_p}{B_p} \right)$$

- f_b (Çizelge 3.27’den otobüs şeridi hacim–kapasite oranına göre belirlenir.)

Temel seyir süresi (t_r) Çizelge 3.25 kullanılarak bulunur. Tüm duraklar için ortalama duruş süresi 20 saniye, kilometre başına durak adedi 8’dir. Bu nedenle $t_r = 7,24$ dakika/km’dir. Otobüslerin seyir süresi kayıpları (t_p) ise Çizelge 3.26 kullanılarak bulunur. “MİA”, ”otobüs şeridi sağa dönüş yok”, “tipik” satır ve sütunların kesişiminden $f_b = 0,7$ olarak bulunur.

Durak atlamalı sistem uygulanmadığı için durak atlamalı işletimler için ayarlama faktörü sıfıra eşit olacaktır ($f_s = 0$).

Otobüs–otobüs etkileşim faktörü (f_b), Çizelge 3.27’den otobüs şeridi hacim–kapasite oranına göre belirlenir. Otobüs şeridini kullanacak otobüs sayısı problemde 38 ($v=38$) olarak verilmiştir. Kritik durağın otobüs kapasitesi ise hata oranı %25 alınarak (maksimum kapasite) tekrar hesaplanmalıdır. Diğer tüm girdiler Örnek Problem 2’deki ile aynı olacaktır. %25 hata oranı için $Z=0,675$ ’dir. Denklem Z yerine 0,675 yazılarak yeniden hesaplanır.

$$B_l = \frac{3600 (g/C)}{t_c + (g/C) t_d + Z c_v t_d}$$

$$B_l = \frac{3600 (0,45)}{10 + (0,45) 30 + (0,675) (0,60) 30} = 45 \text{ otobüs/saat}$$

Bir biniş alanının maksimum otobüs kapasitesi 45 otobüs/saattir. 2 adet biniş alanının etkinlik sayısı 1,75’dir. Bu iki değerin çarpılması ile otobüs durağının otobüs kapasitesi bulunur.

$$B_s = B_l N_{el}$$

$$B_s = 45 (1,75) = 78 \text{ otobüs/saat}$$

Otobüs şeridinin hacim kapasite oranı ($38/78=0,49$) 0,49’dir. Çizelgede 0,49’a karşılık gelen değer 1,00’dir ($f_b=1,0$).

Bulunan değerleri formüle yazarsak;

$$S_t = \left(\frac{60}{(7,24) + (0,7)} \right) (1,0) (1,0) = 7,6 \text{ km/saat}$$

2. Senaryo– İki Adada Bir Durak (Durak Sayısının Azaltılması)

Bu senaryo için ilk olarak kapasite yeterliliği test edilmelidir. İki duraktan biri elimine edildiği için seyir hızı artacaktır. Fakat kaldırılan duraklardaki yolcu talepleri yakındaki durağa ekleneceği için duruş sürelerinin iki kat oranında artacağı ($t_d = 30.2=60$ saniye) kabul

edilebilir. Kapasite hesabı yapıldığı için hata oranı %10 ($Z=1,28$) alınmaktadır.

$$B_l = \frac{3600 (g/C)}{t_c + (g/C) t_d + Z c_v t_d}$$

$$B_l = \frac{3600 (0,45)}{10 + (0,45) 60 + (1,28) (0,60) 60} = 19 \text{ otobüs / saat}$$

Bir biniş alanının otobüs kapasitesi 19 otobüs/saattir. İkinci bir biniş alanı eklendiği durumda kapasite;

$$B_s = B_l N_{el}$$

$$B_s = 19 (1,75) = 34 \text{ otobüs/saat}$$

olmaktadır. Durak sayısı azaltıldığında kritik durağın kapasitesi ciddi oranda düşmektedir. İkinci bir biniş alanının sağlanması bile işletilmesi düşünülen 38 otobüs için yeterli kapasiteyi sunmamaktadır. Bu nedenle bu senaryonun uygulanması akılcı değildir.

3. Senaryo– İki Biniş Alanı ve Durak Atlamalı Sistem

Bu senaryoya göre işletilecek olan 38 otobüs, 20 ile 18 otobüs olarak iki gruba ayrılmaktadır. Bir durak atlayarak hizmet vereceği için kritik durağın kapasitesi 2. Senaryodaki ile aynıdır ($B_s = 34$ otobüs/saat). Büyük hacme sahip grupta 20 otobüs olduğu için, kritik durak kapasitesinin yeterli olacağı görülmektedir. Kapasite sağlandığına göre otobüslerin işletme hızları hesaplanabilir.

Tüm duraklar için ortalama duruş süresi $20.2=40$ saniye, kilometre başına durak adedi $8/2=4$ 'dür. Çizelge 3.25'e göre $t_r = 4,82$ dakika/km'dir. Otobüslerin seyir süresi kayıpları (t_l) ise Çizelge 3.26 kullanılarak bulunur. "MİA", "otobüs şeridi sağa dönüş yok", "tipik" satır ve sütunların kesişiminden 0,7 olarak bulunur.

Durak atlamalı işletimler için ayarlama faktörü (f_s) için önceki ve sonraki durak aralıkları soruda verilmiştir. Bitişik şeridin hacim kapasite oranı HCM kullanılarak hesaplanmıştı. Durak atlamalı sistemin yüksek otobüs hacmine sahip olan düzeninin ($v=20$ otobüs) hacim kapasite oranı bulunmalıdır. Hız hesabında kullanılacak kritik durağın otobüs kapasitesi, duruş süresi 60 saniye ve hata oranı %25 alınarak hesaplanır.

$$B_l = \frac{3600(g/C)}{t_c + (g/C) t_d + Z c_v t_d}$$

$$B_l = \frac{3600 (0,45)}{10 + (0,45)60 + (0,675) (0,60) 60} = 26 \text{ otobüs/saat}$$

$$B_s = B_l \cdot N_{el}$$

$$B_s = 26(1,75) = 46 \text{ otobüs/saat}$$

Durak Atlamalı sistemin her bir düzeni için otobüs durağı kapasitesi 46 otobüs/saattir. Maksimum kapasite (%25 hata oranı) kabulü ile kapasite 34 otobüs/saatten 46 otobüs/saate çıkmıştır.

Değerler formülde yerine konulursa;

$$f_s = 1 - \left(\frac{125}{250} \right) \left(\frac{500}{754} \right)^2 \left(\frac{20}{46} \right) = 0,90$$

olarak bulunur.

Otobüs–otobüs etkileşim faktörü (f_b), Çizelge 3.27’den otobüs şeridi hacim–kapasite oranına göre belirlenir. Otobüs şeridinin hacim kapasite oranı ($20/46=0,44$) 0,44’tür. Çizelgede 0,44’e karşılık gelen değer 1,0’dır ($f_b=0,97$).

Bulunan değerleri formüle yazarsak;

$$S_t = \left(\frac{60}{(4,82) + (0,7)} \right) (0,90)(1,0) = 9,8 \text{ km/saat}$$

Mevcut Durumdaki Otobüs İşletme Hızları– 32 Otobüs ve Bir Adet Biniş Alanı

Temel seyir süresi (t_r) Çizelge 3.25 kullanılarak bulunur. Tüm duraklar için ortalama duruş süresi 20 saniye, kilometre başına durak adedi 8’dir. Bu nedenle $t_r = 7,24$ dakika/km’dir. Otobüslerin seyir süresi kayıpları (t_p) ise Çizelge 3.26 kullanılarak bulunur. “MİA”, ”otobüs şeridi sağa dönüş yok”, “tipik” satır ve sütunların kesişiminden 0,7 olarak bulunur.

Durak atlamalı sistem uygulanmadığı için durak atlamalı işletimler için ayarlama faktörü sıfıra eşit olacaktır ($f_s=0$).

Otobüs–otobüs etkileşim faktörü (f_b), Çizelge 3.27’den otobüs şeridi hacim–kapasite oranına göre belirlenir. Mevcut durumda otobüs şeridini kullanan otobüs sayısının 32 olduğu bilinmektedir. Durakta tek bir biniş alanı bulunduğu için kritik durağın otobüs kapasitesi 1. Senaryo’da hesaplanan biniş alanının maksimum kapasitesine (%25 hata oranı) eşittir ($B_s = 45 \text{ otobüs / saat}$). Otobüs şeridinin hacim kapasite oranı ($32/45=0,7$) 0,7’dir. Çizelgede

0,7'ye karşılık gelen değer 0,88'dir ($f_b=0,88$).

İşletme Hızını hesaplamak için bulunan değerleri formüle yazarsak;

$$S_t = \left(\frac{60}{(7,24) + (0,7)} \right) (1,0)(0,88) = 6,6 \text{ km/saat}$$

Senaryoların Karşılaştırılması

Mevcut Durum (32 otobüs ve 1 adet biniş alanı)	$S_t = 6,6 \text{ km/saat}$
1.Senaryo (38 otobüs ve 2 adet biniş alanı)	$S_t = 7,6 \text{ km/saat}$
3.Senaryo (38 otobüs ve 2 adet biniş alanı ve durak atlamalı sistem)	$S_t = 9,8 \text{ km/saat}$

Sonuçlar

2. Senaryo (durak sayısını azaltma) dışındaki tüm seçenekler, hattaki düzenleme için gereken kapasiteyi karşılamaktadır. Her bir durakta ikinci bir biniş alanının sağlanması ile ek otobüsler için kapasite sağlanmaktadır. Bununla beraber seyahat hızları mevcuttakiyle aynı veya az artmış olacaktır.

Durak atlamalı sistemin uygulanması ile durak aralıkları artmıştır. İkinci bir biniş alanının sağlanmasıyla da hızlar mevcuda oranla yaklaşık %50 artacaktır. Fakat bazı yolcular için yürüme mesafesi artacaktır. Hız ile yürüme mesafesi arasında bir ödünleşme bulunmaktadır.

3.8.4 Örnek Problem 4 – Yakın–Kenar Duraklar ile Karma Trafikte İşletilen Sistemin Otobüs Taşıt Kapasitesi

Durum

Kent merkezinden dışarıya doğru hizmet veren, üç şeritli tek yöndeki çeşitli yolları kullanan otobüs hatlarının birleştirilmesi düşünülüyor.

Soru

Otobüs işletmesi perspektifinden yaklaşıldığında bu yol, eklenen otobüsler ile birlikte nasıl işletilecektir?

Veriler

- $g/C = 0,45$
- Yolu saatte 40 otobüs kullanacaktır.
- Yolu saatte yaklaşık 1200 otomobil kullanmaktadır. Otobüsler nedeniyle otomobiller sağa dönüş dışında sağ şeridi kullanmaktan kaçınacaktır.
- Duraktan otobüs kapısına olan yürüme mesafesini azaltmak ve böylece duruş sürelerini minimize etmek için, durak başına biniş alanı sayısı iki adetle sınırlandırılmıştır.
- Her iki adada (blokta) bir yakın–kenar yol üstü durak yer alacaktır.
- Duruş süreleri, sağ şeritten otomobillerin sağa dönüş hacimleri ve yaya kesişim hacimleri aşağıdaki çizelgede verilmiştir.

<i>Duraklar</i>	<i>Ortalama Duruş süresi (saniye)</i>	<i>Sağa Dönüş Hacmi (taşıt/saat)</i>	<i>Yaya Kesişim Hacmi (yaya/saat)</i>
1	30	350	100
2	35	200	300
3	40	100	500
4	20	300	200

Kabuller ve Türetilmiş Değerler

- Otobüs durak yeri faktörü, (Tip 2 otobüs şeridi, yakın–kenar durak için Çizelge 3.23'te gösterildiği gibi) 0,90'dır ($f_l=0,90$).
- Yol üstü duraklar için boşaltma süresi 10 saniyedir ($t_c=10$).
- 7,5 hata oranı için $Z=1,44$ 'dir. (Çizelge 3.4)

- $c_v = 0,60$
- $N_{el} = 1,75$ (iki adet biniş alanının etkinlik sayısı, Çizelge 3.9)

Cözümün Ana Hatları

Kritik otobüs durağı, otobüs şeridinin kapasitesini belirleyecektir. Duruş süreleri, sağa dönüş ve yaya kesişim hacimlerinin çeşitliliği nedeni ile kritik durağı doğrudan belirlemek mümkün değildir. İlk olarak her bir durak için otobüs kapasitesi ($B_s = B_l N_{el}$) bulunmalıdır. Bu değer ile karma trafik ayarlama faktörünün (f_m) çarpılması sonucu otobüs şeridi taşıt kapasitesi ($B = B_l N_{el} f_m$) bulunacaktır.

Cözüm

Durak kapasitelerini bulmak için biniş alanı kapasitesi ve karma trafik ayarlama faktörünün hesaplanması gerekmektedir. Biniş alanı kapasitesini hesaplamak için gereken tüm değerler problemde verilmiştir. Karma trafik ayarlama faktörünü hesaplamak için ise sağ şerit taşıt kapasitesi bulunmalıdır. Her bir durak için sağ şerit taşıt kapasitesi HCM'den faydalanılarak $[1450.(g/C)(1-(yaya \text{ kesişim hacmi})/(g/C)/2000)]$ formülü kullanılarak hesaplanır. Aynı zamanda, otobüsler dışındaki tüm taşıtlar için bu şerit sağa dönüş şeridi gibi kullanılacağı için Çizelge 3.22'den de faydalanılabilir. Çizelgedeki ara değerler için enterpolasyon yapılır.

$$c = 1450 (g/C) \left(1 - (v_{ped}) \left(\frac{C}{g} \right) \left(\frac{1}{2000} \right) \right)$$

1. Durak için sağ şerit taşıt kapasitesi (c):

$$c = 1450 (0,45) \left(1 - 100 \left(\frac{100}{45} \right) \left(\frac{1}{2000} \right) \right) = 580 \text{ taşıt/saat}$$

2. Durak için sağ şerit taşıt kapasitesi (c):

$$c = 1450 (0,45) \left(1 - 300 \left(\frac{100}{45} \right) \left(\frac{1}{2000} \right) \right) = 435 \text{ taşıt/saat}$$

3. Durak için sağ şerit taşıt kapasitesi (c):

$$c = 1450 (0,45) \left(1 - 500 \left(\frac{100}{45} \right) \left(\frac{1}{2000} \right) \right) = 290 \text{ taşıt/saat}$$

4. Durak için sağ şerit taşıt kapasitesi (c):

$$c = 1450 (0,45) \left(1 - 200 \left(\frac{100}{45} \right) \left(\frac{1}{2000} \right) \right) = 508 \text{ taşıt/saat}$$

Her bir durak için sağ şerit taşıt kapasitesi bilindiğine göre, problemde verilen sağ şeridi kullanan taşıt hacimleri (sağa dönüş yapan taşıt miktarı ile sağ şeritte seyreden otobüs sayısı) formülde yerlerine konularak karma trafik ayarlama faktörü bulunur..

$$f_m = 1 - f_l \left(\frac{v}{c} \right)$$

1. Durak için karma trafik ayarlama faktörü (f_m);

$$f_m = 1 - (0,90) \left(\frac{350 + 40}{580} \right) = 0,39$$

2. Durak için karma trafik ayarlama faktörü (f_m);

$$f_m = 1 - (0,90) \left(\frac{200 + 40}{435} \right) = 0,50$$

3. Durak için karma trafik ayarlama faktörü (f_m);

$$f_m = 1 - (0,90) \left(\frac{100 + 40}{290} \right) = 0,57$$

4. Durak için karma trafik ayarlama faktörü (f_m);

$$f_m = 1 - (0,90) \left(\frac{300 + 40}{508} \right) = 0,40$$

Farklı duruş sürelerine sahip oldukları için biniş alanı kapasitesi her bir durak için hesaplanır:

$$B_l = \frac{3600 (g/C)}{t_c + (g/C) t_d + Z c_v t_d}$$

1. Durak için biniş alanı kapasitesi (B_l);

$$B_l = \frac{3600 (0,45)}{10 + (0,45) 30 + (1,44) (0,60) 30} = 33 \text{ otobüs / saat}$$

2. Durak için biniş alanı kapasitesi (B_l);

$$B_l = \frac{3600 (0,45)}{10 + (0,45) 35 + (1,44) (0,60) 35} = 29 \text{ otobüs / saat}$$

3. Durak için biniş alanı kapasitesi (B_l);

$$B_l = \frac{3600 (0,45)}{10 + (0,45) 40 + (1,44) (0,60) 40} = 26 \text{ otobüs / saat}$$

4. Durak için biniş alanı kapasitesi (B_l);

$$B_l = \frac{3600 (0,45)}{10 + (0,45) 20 + (1,44) (0,60) 20} = 45 \text{ otobüs / saat}$$

Son olarak sağ şerit otobüs kapasitesi her bir durak için hesaplanır:

$$B = B_l N_{el} f_m$$

1. Durak için otobüs şeridi taşıt kapasitesi (B);

$$B = 33 (1,75) (0,39) = 22 \text{ otobüs / saat}$$

2. Durak için otobüs şeridi taşıt kapasitesi (B);

$$B = 29 (1,75) (0,50) = 26 \text{ otobüs / saat}$$

3. Durak için otobüs şeridi taşıt kapasitesi (B);

$$B = 26 (1,75) (0,57) = 26 \text{ otobüs / saat}$$

4. Durak için otobüs şeridi taşıt kapasitesi (B);

$$B = 45 (1,75) (0,40) = 31 \text{ otobüs / saat}$$

Tüm duraklar için bulunan değerler çizelgede gösterilmiştir.

Duraklar	t_d	v	c	f_m	B_l	B
1	30	390	580	0,39	33	22
2	35	240	435	0,50	29	26
3	40	140	290	0,57	26	26
4	20	340	508	0,40	45	31

Sonuçlar

3. Durak en yüksek duruş süresine ve en düşük biniş alanı kapasitesine sahip olmasına rağmen kritik durak değildir. 1. Durak'taki yüksek sağa dönüş hacimleri nedeni ile bu durak daha düşük şerit kapasitesine sahiptir. Sağ şeridin otobüs kapasitesi 22 otobüs/saat

bulunmuştur. Bu kapasite işletilecek otobüs miktarını istenilen güvenilirlik düzeyinde (%7,5 hata oranında) karşılamamaktadır.

Yorumlar

Kapasiteyi arttırmanın en kolay yolu, yeterli alan bulunduğu durumlarda, biniş alanı sayısını arttırmaktır. Ancak, problemde yürüme mesafesini minimize etmek için biniş alanı sayısının kısıtlandığı söylenmektedir. Bununla beraber, beş adet biniş alanı sağlansa bile (kritik durak için şerit kapasitesi 35 otobüs/saat olmakta) kapasite yeterli olmamaktadır.

Diğer bir seçenek tasarım hata oranını arttırmaktır. Ancak bunu yapmak çizelge ve izleme süresi güvenilirliğini azaltacaktır ve bu durumdan mümkün oldukça kaçınılmalıdır. Bu nedenle farklı çözümler düşünülmelidir. Durak yerini değiştirme (uzak-kenar) ve durak atlamalı sistem uygulama alternatifleri Örnek Problem 5 ve 6'da ele alınmıştır.

3.8.5 Örnek Problem 5 – Uzak–Kenar Duraklar ile Karma Trafikte İşletilen Sistemin Otobüs Taşıt Kapasitesi

Durum

Örnek Problem 4’de karma trafik şeridindeki yakın–kenar durakların yeterli kapasiteyi sağlamadığı görülmüştür. Kapasiteyi arttırmak için uzak–kenar durakları deneyerek sağa dönüş etkileşiminden kaçınmak istenmektedir.

Soru

Bu senaryo altında otobüsler nasıl işleyecektir?

Veriler

Durakların yakın–kenarda değil uzak kenarda yer alması dışında Örnek Problem 4 ile aynı kabuller yapılmıştır.

Cözümün Ana Hatları

Otobüs şerit kapasitesini hesaplamak için gereken tüm veriler problemde verilmiştir. Otobüs şerit kapasitesini, kritik durağın otobüs kapasitesi belirleyecektir. Değişen tek faktör, Örnek Problem 4’deki f_1 değeridir. Bu değer, Tip 2 karma trafik şeridi ve uzak kenar–duraklar için 0,50’ye eşittir.

Cözüm

İlk olarak her bir durak için karma trafik faktörü yeniden hesaplanır. Daha sonra bu değerlere göre yeni kapasiteler bulunur. Bu yeni kapasiteler hangi durağın kritik durak olduğunu anlamamızı sağlayacaktır.

$$f_m = 1 - f_1 \left(\frac{v}{c} \right)$$

1. Durak için karma trafik ayarlama faktörü (f_m);

$$f_m = 1 - (0,50) \left(\frac{390}{580} \right) = 0,66$$

2. Durak için karma trafik ayarlama faktörü (f_m);

$$f_m = 1 - (0,50) \left(\frac{240}{435} \right) = 0,72$$

3. Durak için karma trafik ayarlama faktörü (f_m);

$$f_m = 1 - (0,50) \left(\frac{140}{290} \right) = 0,76$$

4. Durak için karma trafik ayarlama faktörü (f_m);

$$f_m = 1 - (0,50) \left(\frac{340}{508} \right) = 0,67$$

Sağ şerit otobüs kapasitesi bulunan bu değerlere göre her bir durak için yeniden hesaplanır:

$$B = B_l \cdot N_{el} \cdot f_m$$

1. Durak için otobüs şeridi taşıt kapasitesi (B);

$$B = 33(1,75)(0,66) = 38 \text{ otobüs / saat}$$

2. Durak için otobüs şeridi taşıt kapasitesi (B);

$$B = 29(1,75)(0,72) = 37 \text{ otobüs / saat}$$

3. Durak için otobüs şeridi taşıt kapasitesi (B);

$$B = 26(1,75)(0,76) = 34 \text{ otobüs / saat}$$

4. Durak için otobüs şeridi taşıt kapasitesi (B);

$$B = 45(1,75)(0,67) = 52 \text{ otobüs / saat}$$

Tüm duraklar için bulunan değerler çizelgede gösterilmiştir.

<i>Duraklar</i>	t_d	v	c	f_m	B_l	B
1	30	390	580	0,66	33	38
2	35	240	435	0,72	29	37
3	40	140	290	0,76	26	34
4	20	340	508	0,67	45	52

Sonuçlar

Durakların uzak-kenarda konumlandırılması ile birlikte sağa dönüş etkileşimi minimize edilmiş ve kritik durak saatte 34 otobüse hizmet verebilen 3. durak olarak değişmiştir. Bu senaryo ile kapasitede ciddi bir artış elde edilmiş olsa da işletilecek 40 otobüs için yeterli kapasite sağlanamamaktadır.

Yorumlar

Bu noktada toplu taşıma kuruluşunun biniş alanı sayısındaki kısıtlamasını yeniden değerlendirmesi gerekmektedir. 3. durağa bir biniş alanı daha eklenmesiyle bu durağın kapasitesi 48 otobüs/saate ($B=26.(2,45).(0,76)$) çıkartılabilmektedir. 1. ve 2. durak için de ek bir biniş alanı sağlamak gerekecektir.

Başka bir seçenek ise anahtar kavşaklarda sağa dönüşlerin yasaklanmasıdır. Böylece karma trafik ayarlama faktörü (f_m) 1,0 olacak ve durak kapasiteleri sırasıyla 57, 50, 45 ve 78 otobüs/saate çıkacaktır. Fakat bunu yapmak sağa dönüş yapacak taşıtların farklı güzergâhları izlemelerini gerektirecektir. Bunun için yerel karayolu kurumuyla işbirliği gereklidir.

3.8.6 Örnek Problem 6– Karma Trafikte Durak Atlamalı İşletimin Otobüs Taşıt Kapasitesi

Durum

Örnek Problem 4 ve 5'teki MİA yolunda durak atlamalı işletim uygulanarak kapasitenin artırılması denenecektir.

Soru

Bu senaryo altında yeterli otobüs kapasitesi sağlanabilir mi?

Veriler

Kabuller Örnek Problem 4 ile aynıdır. Durak atlamalı sistem ilk olarak yakın–kenar duraklarla denenecek, şayet yeterli kapasite sağlanamazsa uzak–kenar durak seçeneği değerlendirilecektir.

40 otobüsün yarısı A düzeninde, diğer yarısı da B– düzeninde işletilecektir. Bu örnekteki A ve B düzenlerinin kritik durakları benzer özelliktedir.

Kabuller ve Türetilmiş Değerler

- Otobüsler, otobüs varışlarını dağıtacak şekilde çizelgelenecektir, fakat karma trafik koşullarının bir sonucu olarak bazı hizmetler için bir düzensizlik söz konusu olacaktır.
- Sol şeritlerdeki otomobil hacimlerinin eşit dağıldığı kabul edilmektedir.
- Tipik varışlar için f_a 0,75'e eşittir.
- HCM'ye göre; temel doygun akım oranı; (v_o) 1900 otomobil taşıt/saatlik yeşil süre/şerit, ağır taşıt doygun akım ayarlama faktörü (f_{HV}) 0,97 ve MİA için doygun akım ayarlama faktörü (f_A) 0,90'dır.

Cözümün Ana Hatları

A ve B kritik durakları otobüs şeridinin kapasitesini belirleyecektir. Otobüslerin birbirlerini sollamak için bitişik şeridi ne ölçüde kullanabildiğini belirlemek amacı ile bitişik şeridin v/c oranının hesaplanması gerekmektedir. Durak atlamalı sistem senaryosu için otobüs şeridi kapasitesi, A ve B kritik durak kapasitelerinin toplamının –tipik varışlar ve bitişik şeritteki diğer trafiğin direncinin etkileri için– bir ayarlama faktörü ile çarpılmasıyla bulunur.

Cözüm

Yakın-kenar durak için kritik durağın 1. Durak ve kapasitesinin 22 otobüs olduğu Örnek Problem 4'ten bilinmektedir. Durak kapasitesi bilindiğinden, sistem kapasitesini ($B = f_k (B_1 + B_2)$) hesaplamak için bulunması gereken tek değer durak atlamalı işletim ayarlama faktörüdür (f_k).

$$f_k = \frac{1 + f_a f_i (N_{ss} - 1)}{N_{ss}}$$

Soruda f_a 'nın 0,75, N_{ss} 'in ise 2 olduğu verilmektedir. Bitişik şerit direnç faktörünü (f_i) hesaplamak için ise bitişik şeridin hacmi ve kapasitesinin bilinmesi gerekmektedir.

$$f_i = 1 - 0,8 \left(\frac{v}{c} \right)^3$$

Sağa dönen taşıtların sağ şeridi kullandığı kabul edildiği için, bitişik şeridin hacmi, bu yolu kullanan taşıt sayısından sağa dönüşlerin çıkartılması yoluyla bulunur. Elde edilen taşıt miktarı -2 şeritteki taşıt sayısını verdiği ve problemde sol şeritler için eşit hacim kabulü yapıldığı için- ikiye bölünerek şerit başına taşıt hacmi bulunur.

Bitişik şeridin kapasitesi (c);

$$c = v_o (g/C) f_{HV} f_A$$

$$c = 1900 (0,45) (0,97) (0,90) = 746 \text{ taşıt/saat}$$

1. Durak için bitişik şeritteki taşıt hacmi:

$$v = \frac{1200 - 350}{2} = 425 \text{ taşıt/saat}$$

1. Durak için f_i ve f_k değerleri;

$$f_i = 1 - 0,8 \left(\frac{425}{746} \right)^3 = 0,85$$

$$f_k = \frac{1 + (0,75) (0,85) (2 - 1)}{2} = 0,82$$

Örnek Problem 4'de yakın-kenar durak için kritik durak kapasitesi 22 otobüs/saat olarak bulunmuştu. A ve B düzenleri aynı kapasiteye sahip olduğuna göre yolun toplam otobüs kapasitesi;

$$B = f_k (B_1 + B_2)$$

$$B = (0,82)(22 + 22) = 36 \text{ otobüs/saattir.}$$

Yakın-kenar duraklara sahip işleme durak atlamalı sistem uygulamak yeterli kapasiteyi sağlamamıştır. Bu nedenle kapasite arttırma seçeneği olarak uzak-kenar duraklar denenecektir. Uzak-kenar durak için kritik durağın 3. Durak ve kapasitesinin 34 otobüs olduğu Örnek Problem 5'ten bilinmektedir.

3. Durak için bitişik şeritteki taşıt hacmi:

$$v = \frac{1200 - 100}{2} = 550 \text{ taşıt/saat}$$

3. Durak için f_i ve f_k değerleri;

$$f_i = 1 - 0,8 \left(\frac{550}{746} \right)^3 = 0,68$$

$$f_k = \frac{1 + (0,75)(0,68)(2 - 1)}{2} = 0,76$$

Örnek Problem 5'de uzak-kenar durak için kritik durak kapasitesi 34 otobüs/saat olarak bulunmuştu. A ve B düzenleri aynı kapasiteye sahip olduğuna göre yolun toplam otobüs kapasitesi;

$$B = f_k (B_1 + B_2)$$

$$B = (0,76)(34 + 34) = 51 \text{ otobüs/saattir.}$$

Sonuçlar

Durak atlamalı sistem uygulanır ve duraklar uzak-kenarda yer alırsa saatte 40 otobüs çalıştırılması için yeterli ve gelecekte daha fazla otobüsü barındırabilecek ek kapasite elde edilmektedir.

Yorumlar

Toplu taşıma kuruluşunun hattı yapılandırırken çeşitli seçenekleri bulunmaktadır. Seçenekleri sınırlamak için otobüs seyir hızı, toplam yolcu gecikmesi, yatırım maliyeti etkilerini saptamak amacıyla ek analizler yapılmalıdır.

3.8.7 Örnek Problem 7 – Yolcu Kapasitesi

Durum

Problem 4–5 ve 6’daki MİA yolu.

Soru

Durak atlamalı işletim uygulandığı takdirde yolun maksimum biniş noktasına kaç yolcu taşınabilecektir?

Veriler

- Örnek Problem 6’daki kabuller yapılmıştır. ($B=51$ otobüs/saat)
- Tüm otobüsler 43 yolcu kapasitelidir.
- 40 otobüsten 10’u ekspres otobüs olarak çevreyolunda işletilmektedir. Çevreyolu kullanan otobüslerde ayakta yolcuya izin verilmemektedir.
- Yerel hatlarda ayakta yolcuya izin verilmektedir.

Kabuller

- Yerel otobüsler için planlanan maksimum yükleme, standart otobüsler için 1,50 olan yükleme faktörüne eşdeğerdir.
- Zirve saat faktörü (PHF) 0,75’dir.

Çözümün Ana Hatları

Yolun maksimum biniş noktasındaki yolcu kapasitesi, yolun otobüs kapasitesinin otobüs başına izin verilen yolcu sayısı ve zirve saat faktörü ile çarpılması ile bulunur. Örnek Problem 6’da bu yolun otobüs kapasitesinin 51 otobüs/saat olduğu hesaplanmıştır.

Çözüm

Önerilen işletim koşullarına göre yolun maksimum biniş noktasındaki otobüs yolcu kapasitesi ile yolun maksimum biniş noktasındaki maksimum otobüs yolcu kapasitesi ayrı ayrı hesaplanacaktır. Otobüste planlanan maksimum yolcu yükü, “kapasite” ile eş anlamlıdır ve uygun bir “ayaktaki yolcu sayısı” kabulünü yapar. Maksimum yolcu yükü, planlama amaçları için üst limiti temsil eder.

$$P = \min \{ P_{maks} f(PHF), P_{maks} B(PHF) \}$$

P =Yolcu kapasitesi (yolcu/saat)

P_{maks} =Otobüs başına planlanan maksimum yolcu yükü (yolcu/otobüs)

f = Planlanan otobüs sıklığı (otobüs/saat)

B = Tesisin otobüs kapasitesi (otobüs/saat)

Önerilen işletim koşullarına göre yolun maksimum biniş noktasındaki otobüs yolcu kapasitesi (10 ekspres, 30 yerel otobüs)

$$P_{maks} f(PHF) = [(10.43) + (30.43.(1,50))](0,75) = 1770 \text{ yolcu/ saat}$$

Yolun maksimum biniş noktasındaki maksimum otobüs yolcu kapasitesi (10 adet ekspres otobüs olduğu kabul edilmiştir.) (10 ekspres, 41 yerel otobüs)

$$P_{maks} B(PHF) = [(10.43) + (41.43.(1,50))](0,75) = 2304 \text{ yolcu/ saat}$$

Sonuçlar

Önerilen işletim koşullarında otobüsler, maksimum biniş noktalarında saatte 1770 yolcu taşıyabilmektedir. Eğer saatte 51 otobüs işletilirse bu yolcu kapasitesi 2304'e çıkmaktadır.

3.8.8 Örnek Problem 8- MİA'ya Hizmet Eden Bir Yolda Özel Otobüs Şeridi Açılması

Durum

Bir toplu taşıma kuruluşu, otobüslerini, kent merkezindeki 3 şeritli tek yönlü bir yolda karma trafikte işletmektedir. Yoldaki otobüs hacimleri ile trafik hacimleri otobüsler için işletim ve güvenilirlikle ilgili sorunlara neden olmaktadır. Bu sorundan kaçınmak amacıyla üç şeritli yolun 1080 metrelik (8 adalık) bir kesiminde bir şeridin otobüslere ayrılması ve bu şeritten sağa dönüş yapılmasının yasaklanması düşünülmektedir. Bir şeridin otobüs şeridine dönüştürülmesi aynı zamanda, ileride otobüs hacimlerindeki büyümenin gerektireceği kapasiteyi sağlar ve kent yolları daha tıkanık hale geldikçe operatörün çizelge kontrolü yapmasına yardımcı olur. Otobüs şeridinin uygulanması sonucunda otomobiller için ek bir gecikme olup olmayacağı ile ilgilenilmektedir.

Soru

Önerilen otobüs şeridinin uygulanması sonucunda zirve saatte toplam yolcu gecikmeleri arttıracak mıdır, azaltacak mıdır?

Veriler

- Zirve saatte bu yolu 1050 taşıt (ağır taşıt oranı %3) ve 52 otobüs kullanmaktadır. Bu analiz, zirve saatin maksimum 15 dakikalık hacmine değil de zirve saatteki ortalama yolcu gecikmesine odaklandığı için taşıtların PHF'nün bilinmesine ihtiyaç yoktur.
- Her iki adada bir uzak-kenar, yol üstü, üç biniş alanına sahip duraklar yer almaktadır.
- Otobüs şeridini kesen hiçbir sağa dönüşü izin verilmemektedir.
- Otobüsler, otobüs şeridindeki bir diğer otobüsü sollamak için bitişik karma trafik şeridini kullanabilirler (yani Tip 2 otobüs şeridi).
- Ada uzunlukları 135 metredir. Her adanın sonunda trafik sinyali bulunmaktadır.
- Kullanılan otobüslerde 40 oturma yeri bulunmaktadır. Otobüs başına ortalama zirve saat yük miktarı 30 kişidir. Ortalama taşıt yoğunluğu 1,2 yolcu/otomobildir.
- Mevcutta analiz kesimi içerisinde sağa dönen taşıtlar, dönüş yapabilmek için paralel sokakları kullanacaktır. Bu durum, dönüş yapan her bir taşıt için 60 saniyelik ekstra bir gecikmeye neden olacaktır. Paralel sokaktaki hacmin artması sonucu burada yaşanan ek gecikmeler -ana yoldaki hacmin azalması sonucu daha az gecikme yaşayan taşıtlar olacağı kabulü ile- ihmal edilmiştir.
- Kritik duraktaki ortalama duruş süresi 45 saniyedir. Kritik durakta otobüs yolundan saatte

ortalama 150 taşıt sağa dönüş yapmaktadır. Sekiz adalılık tüm kesimde ise saatte ortalama 650 taşıt sağa dönüş yapmaktadır. Kritik durağın bulunduğu kavşakta, saatte ortalama 400 yaya, sağa dönüş hareketi ile kesişim yaşamaktadır.

- Önerilen otobüs şeridinde yer alan dört durak için ortalama duruş süresi 35 saniyedir.
- Ani sinyal değişimi, 60 saniye devre süresi, $g/C=0,45$, HCM varış Tipi 5, serbest akım hızı 40 km/saat, yol üstü parkına izin verilmiyor, eğim yok, şerit genişliği 3,6 metre, HCM anayol sınıfı IV.

Kabuller ve Türetilmiş Değerler

- HCM' ye göre; temel doygun akım oranı; (v_o) 1900 otomobil taşıt/saatlik yeşil süre/şerit, ağır taşıt doygun akım ayarlama faktörü (f_{HV}) 0,97 ve MIA için doygun akım ayarlama faktörü (f_A) 0,90'dır. Sol şeritlerdeki otomobil hacimlerinin eşit dağıldığı kabul edilmektedir. g/C oranı bilinmektedir. Bu değerler vasıtasıyla şerit kapasitesinin saatte 746 taşıt ($1900 \cdot (0,90) \cdot (0,97) \cdot (0,45) = 746$) olduğu bulunmaktadır.
- Tip 2 otobüs şeridi için otobüs durak yeri faktörü (f_p) 0,50'dir. (bkz. Çizelge 3.23)
- Ani sinyal değişimi için güncel kontrol ayarlama faktörü (k) 0,50'dir.
- Yol üstü duraklar için boşaltma süresi 10 saniyedir.
- Hız hesaplamalarında maksimum kapasite (%25 hata oranı) kullanılmalıdır. ($Z=0,675$)
- $c_v = 0,60$
- Otobüs varışlarını dağıtılacak şekilde çizelgeleme yapıldığı kabul edilmektedir. Tipik varışlar için ayarlama faktörü 0,75'e eşittir. ($f_a = 0,75$)
- Üç biniş alanı için etkinlik katsayısı 2,45'tir.

Çözümün Ana Hatları

Yolcu gecikmesini hesaplamak için gereken tüm veriler problemde verilmiştir. Otobüs şeridi uygulandığı ve uygulanmadığı durumlardaki seyahat hızları hem otomobiller hem de otobüsler için ayrı olarak bulunacaktır. Otomobil hızları HCM 2000'deki yöntemler kullanılarak hesaplanacaktır. Bulunan hızlar, daha sonra 1080 metrelik analiz kesimi için seyir sürelerine dönüştürülecektir. Seyahat sürelerindeki değişimler her ulaşım türü için ayrıca hesaplanır. Seyahat süreleri arasındaki fark, bu değişimden etkilenen yolcu sayısı ile çarpılır ve yolcu gecikmesindeki net kar bulunmuş olur.

Cözüm

1. Adım: Toplu Taşıma için Seyahat Süresi Değişimi

İlk olarak, mevcut durumdaki otobüs hızları bulunur. Daha sonra otobüs şeridinin sağlanması ile artacak otobüs hızı hesaplanır. Hızdaki değişim yolculuk süresi tasarrufuna dönüştürülür ve yolcu miktarıyla çarpılmasıyla, toplu taşıma yolcuları için elde edilecek süre tasarrufu bulunur.

Mevcut Durumdaki Otobüs Hızları

Hız hesaplamalarında, kullanılan girdiler;

$$S_t = \left(\frac{60}{t_r + t_l} \right) f_s f_b$$

- t_r ve t_l (gözlem verilerinden veya Çizelge 3.25 ve Çizelge 3.26 kullanılarak, tüm durakların ortalama duruş süresine göre belirlenir.)
- f_s (durak atlamalı sistemin uygulanmasından önceki ve sonraki durak aralıkları, bitişik şeridin hacmi ve kapasitesi, durak atlama düzenindeki otobüs hacmi ve bu düzenin kritik durağının maksimum otobüs kapasitesine bağlıdır.)

$$f_s = 1 - \left(\frac{d_1}{d_2} \right) \left(\frac{v}{c} \right)^2 \left(\frac{v_p}{B_p} \right)$$

- f_b (Çizelge 3.27’den otobüs şeridi hacim–kapasite oranına göre belirlenir.)

Temel seyir süresi (t_r) Çizelge 3.25 kullanılarak bulunur. Tüm duraklar için ortalama duruş süresi 35 saniye, kilometre başına durak adedi 3,75’tir. Bu nedenle enterpolasyon sonucunda $t_r = 4,25$ dakika/km çıkmaktadır. Otobüslerin seyir süresi kayıpları (t_l) ise Çizelge 3.26 kullanılarak bulunur. “MİA”, ”Karma Trafik Akımı”, “Trafik Sinyalleri Otobüs Duraklarından Daha Sık” satır ve sütunların kesişiminden 2,25 (2,1–2,4 aralığının orta değeri) olarak bulunur.

Durak atlamalı sistem uygulanmadığı için durak atlamalı işletimler için ayarlama faktörü sıfıra eşit olacaktır ($f_s = 0$).

Otobüs–otobüs etkileşim faktörü (f_b), Çizelge 3.27’den otobüs şeridi hacim–kapasite oranına göre belirlenir. Otobüs şeridini kullanacak otobüs sayısı problemde 52 ($v=52$) olarak verilmiştir. Hız hesabı için yolun maksimum otobüs kapasitesi ($B = B_l N_{el} f_r$) hesaplanacaktır. Bunun için kritik durağın biniş alanının maksimum kapasitesine (B_l) ve sağa

dönüş faktörünün (f_r) bilinmesine ihtiyaç vardır.

$$B_l = \frac{3600(g/C)}{t_c + (g/C)t_d + Z_{c_v} t_d}$$

$$B_l = \frac{3600(0,45)}{10 + (0,45)45 + (0,675)(0,60)45} = 33 \text{ otobüs/saat}$$

Sağa dönüş ayarlama faktörünü hesaplamak için ise sağa dönüş kapasitesi bulunmalıdır. Sağa dönüş kapasitesi Çizelge 3.22'den faydalanılarak belirlenir. 0,45 g/C oranı ve 400 yaya/saat kesişimi için sağa dönüş taşıt kapasitesinin 360 taşıt/saat olduğu Çizelge 3.22'den okunmaktadır. Kritik durakta sağa dönüş yapan saatlik taşıt hacminin 150 ve durak yeri ayarlama faktörünün 0,50 olduğu soruda verilmiştir. Bu değerler formülde yerlerine konularak sağa dönüş ayarlama faktörü bulunur.

$$f_r = 1 - f_l \left(\frac{v_r}{c_r} \right)$$

$$f_r = 1 - (0,5) \left(\frac{150}{360} \right) = 0,79$$

Bir biniş alanının maksimum otobüs kapasitesi 33 otobüs/saattir. 3 adet biniş alanının etkinlik sayısı 2,45'tir. Sağa dönüş ayarlama faktörü 0,79'dur. Bu değerlerin çarpılması ile yolun otobüs kapasitesi bulunur.

$$B = B_l N_{el} f_r$$

$$B = 33(2,45)(0,79) = 63 \text{ otobüs/saat}$$

Otobüs şeridinin hacim kapasite oranı ($52/63=0,83$) 0,83'tür. Otobüs-otobüs etkileşim faktörü için çizelgede 0,83'e karşılık gelen değer 0,77'dir ($f_p=0,77$).

Bulunan değerleri formüle yazarsak mevcut durumdaki ortalama otobüs hızı bulunur;

$$S_t = \left(\frac{60}{(4,25) + (2,25)} \right) (1,0)(0,77) = 7,11 \text{ km / saat}$$

Otobüs Şeridinin Ayrılması Durumundaki Otobüs Hızları

Bir şeridin otobüslerin kullanımına ayrılması ile birlikte sağa dönüş trafiği ile otobüslerin etkileşimi ortadan kalkacaktır ($f_r=1,0$) ve bu nedenle sistemin otobüs kapasitesi artmış olacaktır.

$$B = B_l N_{el} f_r$$

$$B = 33 (2,45) (1,0) = 80 \text{ otobüs/saat}$$

Bu artan kapasite otobüs-otobüs etkileşimini azaltacak, hızları arttıracaktır. Artan kapasiteye bağlı olarak hacim kapasite oranı 0,83 iken 0,65 ($52/80=0,65$)'e düşmüştür. Otobüs-otobüs etkileşim faktörü için çizelgede 0,65'e karşılık gelen değer 0,92'dir ($f_b=0,92$).

Özel bir seyir yolunun bulunması, diğer trafik ile etkileşimden kaynaklanan seyir süresi kayıplarını (t_l) azaltacaktır. Böylece hız artmış olacaktır. Otobüs şeridinin uygulanma senaryosuna göre yeni " t_l " değeri, Çizelge 3.26 kullanılarak bulunur. "MİA", "Otobüs Şeridi, Sağa Dönüş Yok", "Trafik Sinyalleri Otobüs Duraklarından Daha Sık" satır ve sütunların kesişiminden " t_l " değerinin 1,05 (0,9–1,2 aralığının orta değeri) olduğu görülmektedir.

Otobüs şeridi ayrılması nedeni ile değişen değerler hız formülünde yerine yazılarak, bu senaryo sonucunda elde edilecek ortalama seyahat hızı hesaplanır:

$$S_t = \left(\frac{60}{(4,25) + (1,05)} \right) (1,0) (0,92) = 10,42 \text{ km / saat}$$

Toplu Taşıma Sistemindeki Seyahat Süreleri

1080 metrelik analiz kesimi için bulunan hızlara bağlı seyahat süreleri hesaplanır.

Mevcut Durum (Otobüs Şeridi Olmadan);

$$t = \frac{(1,08)}{(7,11)} = 0,152 \text{ saat} \equiv 9,1 \text{ dakika}$$

Otobüs Şeridi Uygulanırsa;

$$t = \frac{(1,08)}{(10,42)} = 0,103 \text{ saat} \equiv 6,2 \text{ dakika}$$

Seyahat süresindeki değişim, toplu taşıma yolcuları için net karı bize sunmaktadır:

$$\Delta t = (52 \text{ otobüs} * 30 \text{ yolcu/otobüs}) * (9,1 \text{ dakika} - 6,2 \text{ dakika}) = 4524 \text{ yolcu-dakika}$$

2. Adım: Otomobiller için Seyahat Süresi Değişimi

İlk olarak, mevcut durumdaki otomobil hızları bulunur. Daha sonra otobüs şeridinin ayrılması ile azalacak otomobil hızı hesaplanır. Hızdaki değişim yolculuk süresi kaybına dönüştürülür ve yolcu miktarıyla çarpılmasıyla, otomobil yolcuları için elde edilecek süre kaybı bulunur.

Mevcut Durumdaki Otomobil Hızları

Mevcut durumdaki ortalama seyahat hızını hesaplamak için HCM 2000'nin 16. Bölümündeki yöntemler kullanılır.

$S_A = 18,56$ km/saat olarak bulunur.

Otobüs Şeridinin Ayrılması Durumundaki Otomobil Hızları

Otobüs şeridinin ayrılmasıyla bir saatte bu yolu kullanan 1050 otomobil üç değil iki şeritte seyahat etmek zorunda kalacaktır. Böylece bir şeritteki otomobil hacmi 350 taşıt/saatten $(1050/3=350)$ 525 taşıt/saate $(1050/2=525)$ çıkacak ve trafik gecikmeleri artacak, seyahat hızı düşecektir. HCM 2000'nin 16. Bölümündeki yöntemler ile hız tekrar hesaplandığında;

$S_A = 17,44$ km/saat olarak bulunur.

Otomobiller için Seyahat Süreleri

1080 metrelik analiz kesimi için bulunan hızlara bağlı seyahat süreleri hesaplanır.

Mevcut Durum (Otobüs Şeridi Olmadan);

$$t = \frac{(1,08)}{(18,56)} = 0,058 \text{ saat} \equiv 3,5 \text{ dakika}$$

Otobüs Şeridi Uygulanırsa;

$$t = \frac{(1,08)}{(17,44)} = 0,061 \text{ saat} \equiv 3,7 \text{ dakika}$$

Seyahat süresindeki değişim ile sağa dönüş yapan 650 taşıtın yaşayacağı gecikme otomobil yolcuları için net kaybı bize sunmaktadır.

$$\Delta t = (1200 \text{ otomobil} * 1,2 \text{ yolcu/otomobil}) * (3,7 \text{ dakika} - 3,5 \text{ dakika}) + (650 \text{ otomobil} * 1,2 \text{ yolcu/otomobil}) * (1 \text{ dakika})$$

$$\Delta t = 1068 \text{ yolcu-dakika}$$

Yolcu Gecikmesindeki Net Kar

Otobüs şeridinin ayrılması ile birlikte toplu taşıma yolcuları için süre tasarrufu, otomobil yolcuları için kaybı söz konusu olmuştur. Bu kar ve kaybın arasındaki fark yolcu

gecikmesindeki net karı verecektir.

$$\Delta t = (4524 \text{ yolcu-dakika}) - (1068 \text{ yolcu-dakika}) = 3456 \text{ yolcu-dakika tasarrufu}$$

Sonuçlar

Önerilen otobüs şeridi, zirve saatte yolcu gecikmelerini 3400 yolcu-dakika civarında azaltacaktır. Otobüsler analiz edilen kesimi, öncekine göre yaklaşık 3 dakika ($9,1-6,2=2,9$ dakika) daha hızlı kat edeceklerdir. Düz giden otomobiller 12 saniye ($3,7-3,5=0,2$ dakika), sağa dönüş yapanlar ise 1 dakika yavaşlayacaktır. Önerilen otobüs şeridi sonucunda toplamda yolculuk sürelerinde tasarruf sağlanmaktadır. Öneri, bu perspektiften değerlendirilmelidir.

3.8.9 Örnek Problem 9- Bir Sinyalize Kavşağa Otobüsler İçin “Kuyruk Atlama” Uygulanması

Durum

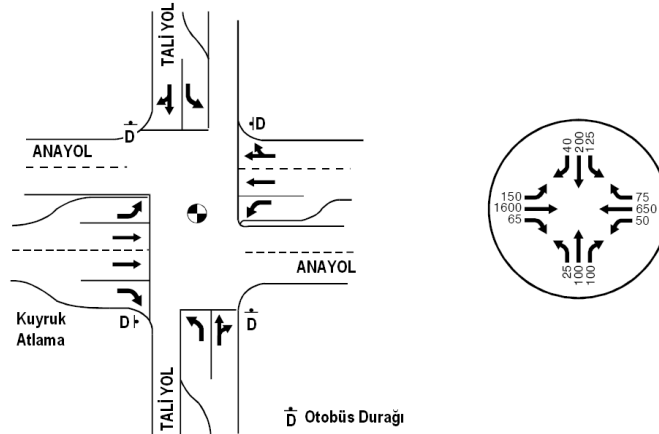
Bir toplu taşıma işletmecisi, anayol üzerindeki sinyalize bir kavşağa “kuyruk atlama sinyal önceliği” uygulamak istiyor. Trafik mühendisi, bu uygulamanın otomobiller üzerindeki etkisini inceliyor.

Soru

Sinyal önceliği sonucunda yolcu gecikmesindeki değişimi karşılaştırın.

Veriler

- Otobüsler anayol üzerindeki sağa dönüş şeridi üzerinde bulunan yakın kenar durağa, anayol için yanan yeşil süre zarfında yanaşmaktadırlar. Yolcu binış ve iniş faaliyetleri, anayol için kırmızı sinyal fazının bitiminden önce tamamlanmaktadır. Zirve yön olan batı-doğu yönünde sağlanacak bir kuyruk atlama sinyal önceliği sistemi ile otobüslerin sinyalde duran ve düz devam edecek diğer taşıtların önüne geçmesine (duraktan çıktıktan sonra trafiğe katılım gecikmesi yaşamamasına) olanak sağlanır. Otobüsler bu yönde hareket eden diğer taşıtlardan 3 saniye avantajlı olmaktadır. Otobüs durağında bulunan bir detektör, durağa bir otobüs yanaştığında kuyruk atlama sinyalinin devreye girmesini sağlamaktadır. (Yalnızca durağa bir otobüs yaklaştığı zaman kuyruk atlama fazının devreye girmesi için durakta bir detektör bulunmaktadır.). Bu 3 saniye, zirve yön için yeşil süreden alınmaktadır. (Düz giden taşıtlara ekstradan 3 saniye daha kırmızı yanmaya devam etmektedir)
- Şerit konfigürasyonları ve trafik hacimleri aşağıdaki şekilde gösterilmiştir. Kuyruk atlama sinyal önceliği batı-doğu yönündeki otobüs durağı için uygulanacaktır.



- Trafik sinyali devre süresi (C) 90 saniyedir. Anayol üzerinde korumalı sola dönüş fazı (yani sinyal olarak yeşil ok) bulunmaktadır. Tali yoldaki sola dönüşler ise müsaadelidir.
- Zirve saat faktörü 0,94'tür.
- Otobüsler, anayolda 10 dakikalık izleme süreleri ile işletilmektedir. Tali yolda ise bu süre 30 dakikadır.
- Zirve saatte ortalama taşıt yoğunluğu 1,2 yolcu/otomobildir. Anayolda ortalama otobüs doluluğu zirve yönde 40, ters yönde 20 yolcu/otobüstür. Tali yolun ortalama otobüs doluluğu zirve yönde 25, ters yönde 10 yolcu/otobüstür.

Kabuller ve Türetilmiş Değerler

- Bu örnekte otobüsün trafiğe katılım gecikmesi Çizelge 3.3 kullanılarak belirlenemez. Çünkü bu katılım gecikmesi, trafikte beklenen bir boşluk için değil, sinyalizasyon bir kavşaktaki kuyruğun temizlenmesi için beklemekten kaynaklanmaktadır. Saha gözlemleri, otobüslerin yola tekrar girmesinden önce kuyruğun temizlenmesi için ortalama 18 saniye geçtiğini göstermektedir. Önerilen kuyruk atlama sistemi ile birlikte bu gecikme elimine edilebilecektir.
- Kavşağın hacim kapasite oranı yeterli biçimde düşük olduğu için, kuyruk atlama sinyali boyunca zirve yöndeki trafik için gerçekleşen 3 saniyelik ek gecikmenin devre hatalarına neden olmayacağı HCM'de kullanılan bir kapasite analizinde bunmuştur (yani, zirve yönde kuyruklanmış tüm trafik, bir sonraki yeşil sürede temizlenecektir.).

Cözümün Ana Hatları

Yolcu-dakika tasarrufunun hesaplanması için gereken tüm parametreler bilinmektedir. Kuyruk atlama sinyali yalnızca tek bir yöndeki düz giden trafiğin yeşil süresinden sağlandığından, tüm hareketler için gecikmelerin hesaplanması gerekli değildir. Ancak, kuyruk atlama kullanıldığında, zirve yöndeki otomobil trafiğindeki ortalama gecikme bu devir süresi için 3 saniye daha uzundur. Kuyruk atlama devre süresince ek gecikme yaşayan otomobil yolcuları ile zirve yönde seyahat eden otobüs yolcularının gecikme tasarrufları karşılaştırılacaktır. Kavşaktaki diğer taşıtlarda bulunan tüm yolcular için yolcu gecikmesinde herhangi bir değişiklik olmayacaktır.

Cözüm

Zirve yönde zirve saatte otobüsler 10 dakikalık izleme aralıklarıyla işletilmektedir. Yani, zirve yönde zirve saatte bu kavşağı kullanacak otobüs sayısı 6'dır. Her bir otobüs, yeşil ışık yandıktan 18 saniye sonra trafiğe katılabilmektedir. Kuyruk atlama sistemi ile birlikte bu süre

elimine edilecektir. Bununla birlikte otobüs dolululuğunun zirve yönde, zirve saatte 40 yolcu/otobüs olduğu bilinmektedir. Bu verilerden faydalanılarak, kuyruk atlama sistemi uygulandığında, zirve yöndeki otobüs yolcuları için gecikme tasarrufu hesaplanmış olur.

$$\Delta t = (18 \text{ saniye}) * (6 \text{ otobüs/saat}) * (40 \text{ yolcu/otobüs})$$

$$\Delta t = 4320 \text{ yolcu-saniye tasarrufu}$$

$$\Delta t \approx 72 \text{ yolcu-dakika tasarrufu}$$

Kuyruk atlama sisteminin uygulanması ile birlikte toplu taşıma yolcuları için 72 yolcu-dakikalık süre tasarrufu sağlanmaktadır. Düz trafik için ise bir kayıp söz konusu olacaktır. Düz trafik hacminin 1600 taşıt/saat olduğu şekilden görülmektedir. Bir saatte 1600 taşıt geçtiğine göre, bir devre süresince 40 taşıt ($1600 * 90 / 3600 = 40$) 3 saniyelik gecikmeye uğrayacaktır (40 otomobil/devre). 10 dakikalık izleme aralıkları söz konusu olduğu için, saatte 6 kez detektör bir otobüsü algılayacak ve kuyruk atlama fazını devreye sokacaktır (6 devre/saat). Otomobil doluluğunun 1,2 olduğu bilinmektedir. Bu verilerden faydalanılarak, kuyruk atlama sistemi uygulandığında, zirve yöndeki otomobil yolcuları için ek gecikme hesaplanmış olur.

$$\Delta t = (3 \text{ saniye}) * (6 \text{ devre/saat}) * (40 \text{ otomobil/devre}) * (1,2 \text{ yolcu/otomobil})$$

$$\Delta t = 864 \text{ yolcu-saniye kayıp}$$

$$\Delta t \approx 15 \text{ yolcu-dakika kayıp}$$

Yolcu Gecikmesindeki Net Kar

Kuyruk atlama sistemi ile birlikte toplu taşıma yolcuları için süre tasarrufu, otomobil yolcuları için kaybı söz konusu olmuştur. Bu kar ve kaybın arasındaki fark yolcu gecikmesindeki net karı verecektir.

$$\Delta t = (72 \text{ yolcu-dakika}) - (15 \text{ yolcu-dakika}) = 57 \text{ yolcu-dakika tasarrufu}$$

Sonuçlar

Önerilen kuyruk atlama sistemi, zirve saatte yolcu gecikmelerini 57 yolcu-dakika civarında azaltacaktır. Önerilen kuyruk atlama sistemi sonucunda toplamda yolculuk sürelerinde tasarruf sağlanmaktadır. Öneri, bu perspektiften değerlendirilmelidir.

4. İSTANBUL METROPOLİTEN ALANI AVCILAR-TOPKAPI METROBÜS (BRT) PROJESİ DEĞERLENDİRMESİ

4.1 Giriş

İstanbul'daki hızlı kentleşme, nüfus ve araç sayısının hızla artması beraberinde ciddi trafik ve ulaşım problemlerini getirmektedir. Yaşanan bu problemlerin altında, toplu taşıma sisteminin yetersizliği ile özel araç kullanımının yaygın olması yatmaktadır. Toplam 25.000 km olan İstanbul karayolu ulaşım ağındaki taşıt sayısının %96,3'ünü özel otomobiller oluşturmaktadır. Yolcu sayısının ise yalnızca %27,1'ini otomobil yolcuları oluşturmaktadır. Toplu taşıma taşıtlarının oranı yalnızca %3,7 iken, toplam yolcuların %72,9'u toplu taşıma sistemi ile taşınmaktadır.

İstanbul Metropoliten Planlama'nın yaptığı anket çalışmalarından elde edilen bilgiye göre İstanbul'daki günlük yolculuk sayısı 22 milyondur. Ortalama yolculuk süresi ise 48 dakikadır. Ulaşımda 30 dakikanın altındaki yolculukların tüm yolculuğa oranı %35, bir saat üzerindeki yolculukların oranı %28, iki saat üzerindeki yolculukların oranı ise %5'tir. Toplu taşıma yolculuklarının dağılımına bakıldığında ise lastik tekerlekli sistemlerin %82 ile en yüksek orana sahip olduğu görülmektedir. Raylı istemler %13, denizyolu ise %6'lık bir paya sahiptir.

Lastik tekerlekli sistemlerin, özellikle kent merkezinde ve ana arterlerde, işletme hızı doruk saatlerde 8 – 10 km/saat düzeyine kadar düşmekte olup, bu tıkanıklıklar nedeniyle önemli bir yakıt ve zaman kaybı ortaya çıkmakta, işletme maliyetleri artmaktadır. (Gerçek & Demir, 2004)

Raylı sistemlerin yaygınlaştırılması toplu taşımadaki payının artırılması planlanmaktadır. Mevcutta toplam 137 km uzunluğunda 13 raylı sistem hattı işletilmektedir. İnşaatı devam eden üç hat (60 km raylı sistem) ile birlikte halen ihalesi veya uygulama projeleri hazırlanma aşamasında olan 200 km raylı sistem hattı mevcuttur. İstanbul Boğazı'nı tüple geçerek Asya ve Avrupa yakasını birleştiren Marmaray projesi ile birlikte raylı sistem ağının 2025 yılında 500 kilometrenin üzerine çıkarılması amaçlanmaktadır. Ancak, bilindiği gibi, raylı sistem projeleri gerçekleştirilmeleri uzun zaman alan ve maliyeti yüksek altyapı projeleridir.

Özel otomobil kullanımının azaltılması ve toplu taşıma sisteminin kapasitesinin ve kalitesinin artırılması amacıyla, İstanbul Büyükşehir Belediye Başkanlığı, bir yandan yukarıda sözü edilen raylı sistem projelerini gerçekleştirirken, diğer yanda da, düşük maliyetli, daha kısa sürede gerçekleştirilecek ve mevcut lastik tekerlekli toplu taşıma sisteminin hizmet kalitesini arttıracak projeleri gündeme getirmektedir. Bu nedenle, kent düzeyinde uygun arterlerde

yaygınlaştırmak üzere, ayrı bir şeritte hizmet veren, araçları ve işletme sistemi tramvaya benzeyen, lastik tekerlekli, yüksek kapasiteli toplu taşıma hatlarının (BRT) yapımı gündeme gelmiştir. BRT (Bus Rapid Transit) sistemi ülkemizde “Metrobüs” olarak anılmaktadır. Bu bölümde bu nedenle, “metrobüs” terimi kullanılacaktır.

4.2 Projenin Açıklaması

İlk aşamada, kentin ana ulaşım aksı olan D - 100 karayolu üzerinde, Avcılar ile Topkapı arasında hizmet veren metrobüs hattının yapımına başlanmıştır. Metrobüs hattının inşası 2005 yılında başlamıştır. İşletime Eylül 2007’de başlanmıştır. 17 Eylül 2007’de Küçükçekmece - Cevizlibağ arasında işletmeye alınan metrobüs hattı, 12 Ekim 2007 tarihinde Avcılar İstanbul Üniversitesi Kampüsü’ne uzatılmıştır (Şekil 4.1).

Hattın hem batı hem de doğu yönünde uzatılması planlanmaktadır. İlk etapta, hat doğu yönüne, Zincirlikuyu’ya uzatılarak mevcuttaki metro sistemi ile entegre edilmektedir. Bu hattın da Eylül 2008’de işletime açılması hedeflenmektedir. İkinci etapta, hat Boğaziçi Köprüsü’nü geçerek Kadıköy’e kadar uzatılacaktır. Batı yönünde hat Beylikdüzü’ne kadar uzatılacaktır (Şekil 4.1). Bununla beraber farklı güzergâhlarda yeni hatlar planlanmaktadır.

İlk metrobüs hattı Avcılar ile Topkapı arasında ve 18,3 km uzunluğundadır. 14 adet durağa sahiptir (Şekil 4.2). İstanbul’un ana ulaşım aksı olan D-100 karayolunun orta aksında yer almaktadır. Açıldığı tarihte, 8 adedi Mercedes CapaCity, 18 adedi çift katlı olmak üzere 26 araç ile hizmete başlanan hatta şu an 1 tanesi yedek olmak üzere toplam 81 adet Mercedes CapaCity marka otobüs çalışmaktadır. Gerekğinde 8-10 adet Mercedes Citaro marka otobüs ile destek sağlanmaktadır. İleride hatta CapaCity marka otobüsler ile birlikte 172 yolcu kapasitesine (4 kişi/m²) sahip, 26 metre uzunluğundaki Phileas model otobüslerin çalıştırılması planlanmaktadır.

17-24 Eylül tarihlerinde ücretsiz olarak hizmete başlayan hatta ÖZEL TARİFE (Tam 0,65.-YTL, İndirimli 0,40.-YTL) uygulanmış olup, 01.01.2008 tarihinden itibaren Normal tarifeye (Tam 1,25.-YTL, İndirimli 0,80.-YTL) geçilmiştir. 01.06.2008’de Normal ücret tarifesi yeniden düzenlenmiştir (Tam 1,30.-YTL, İndirimli 0,85.-YTL). (www.iETT.gov.tr)

Avcılar-Cevizlibağ arasındaki projenin taşıtlar dahil toplam yatırım maliyeti 8,5 milyon \$’dır.

Metrobüs (BRT) sistemleri benzersiz ve farklı kimliğe sahip bir sistem olmak amacı ile bir takım hızlı toplu taşıma bileşenlerini bir araya getirmektedir. Bu bölümde, İstanbul Metrobüs uygulaması için 2. Bölüm’de anlatılan ana BRT bileşenlerinin detaylı bir açıklaması yer almaktadır.



Şekil 4.1 Metrobüs hattı

4.2.1 Seyir Yolları

Avcılar-Topkapı Metrobüs Hattı, D-100 karayolunun orta aksında yer almaktadır. Bu yolu zirve saatte bir şeritte tek yönde yaklaşık 1900 taşıt kullanmaktadır. Hemzemin olarak düzenlenmesine karşın, söz konusu karayolu üzerindeki tüm kavşaklar katlı olarak düzenlendiği için diğer trafik ile kesişme bulunmamaktadır. Kesişme bulunmayan seyir yolları, yüksek hız ve güvenilirlik sağlamaktadır. Aynı zamanda sistemin imajı ve kimliği üzerinde olumlu etkilere sahiptir. Proje koridoru Şekil 4.2’de gösterilmiştir.

Yuvarlanma yüzeyi ayrılmış metrobüs yolları, taşıtların kesintisiz ve maksimum hızda seyahat etmesini sağlamaktadır. Kentiçi yollardaki kesişmelerden ayrılmış bu yollar;

- En kısa yolculuk süresine,
- En güvenilir yolculuk sürelerine,
- En yüksek derecede güvenliğe sahiptir.

Bu nedenle özel otobüs yolları, diğer ayırım derecelerine göre, daha yüksek fayda ile daha fazla maliyete neden olurlar. (Diaz, 2004)



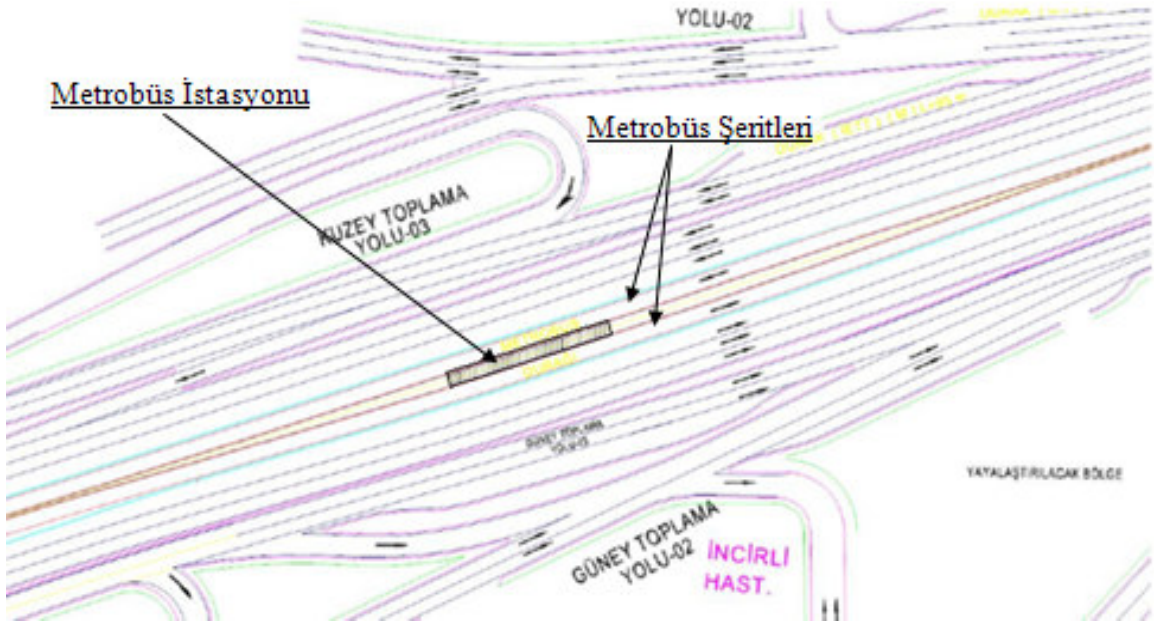
Şekil 4.2 Avcılar-Topkapı Metrobüs proje güzergâhı

Metrobüs sisteminin uygulanması öncesinde D-100 karayolu, her yönde 3,50 metre genişliğinde 3'er şeride sahipti. Emniyet banketi 2,0 metre, refüj genişliği ise 3,0 metreydi. Metrobüs sistemi uygulandıktan sonra D-100 karayolunda şerit düzeni değiştirilmiştir. Metrobüs yolu, her yönde birer şerit olmak üzere toplam iki şeritten oluşmaktadır. Bununla birlikte karayolunun her iki yanında servis yolları düzenlemesi yapılmış, kavşak bölgelerinde trafik sıkışıklığına neden olan giriş-çıkış ve yolcu indirme-bindirme faaliyetleri yan yol trafiğine alınarak transit trafik rahatlatılmıştır. Çizelge 4.1'de proje uygulanmadan öncesi ve sonrasındaki şerit düzeni sunulmuştur.

Çizelge 4.1 Proje uygulanmadan önce ve sonraki şerit düzeni

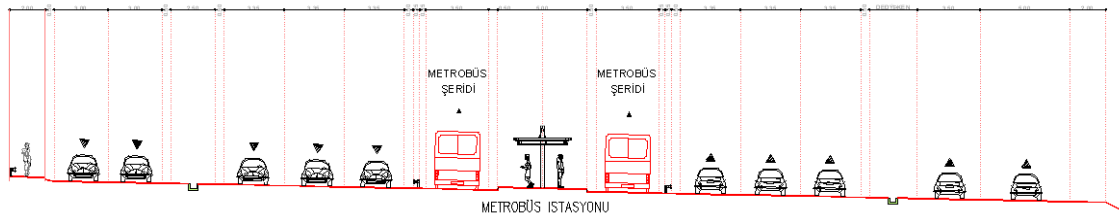
	Uygulamadan Önce		Uygulamadan Sonra	
	Şerit Sayısı	Şerit Genişliği	Şerit Sayısı	Şerit Genişliği
D-100 Karayolu	2 x 3	3,50 m	2 x 3	3,25–3,50 m
Yan-Yol	-	-	2 x 2	3,00 m
Metrobüs Yolu	-	-	2 x 1	3,50 m

Metrobüs hattının D-100 karayolu üzerindeki konumu, plan olarak Şekil 4.3’de gösterilmiştir.



Şekil 4.3 Metrobüs hattının D-100 karayolu üzerindeki konumu (İncirli)

Servis yollarını, D-100 karayolunu ve metrobüs projesini içeren yol enkesiti Şekil 4.4’de verilmiştir.



Şekil 4.4 Yol enkesiti

Her yönde birer şeride sahip BRT hattında, yönler arasında ayraç olarak çizgiler kullanılmaktadır. Bu nedenden ötürü otobüsler karşı yöndeki şeridi kısmı olarak kullanarak duran bir taşıtı geçebilmektedirler.

Otobüs kapılarının sağ tarafta yer almasından ötürü BRT hattı soldan akan trafik koşulları ile işletilmektedir.

Avcılar’da D-100 karayolunun kuzey tarafında terminal oluşturulmuştur. Metrobüsler, terminalden seyir yoluna (D-100 karayolunun orta şeridine) her yönde birer şeridi bulunan bir köprüyle erişmektedir (Şekil 4.5). Topkapı’da seferlerini tamamlayan otobüsler ise dönüş tamburunu kullanarak Avcılar yönüne dönmektedir (Şekil 4.6).



Şekil 4.5 Avcılar terminalinden D-100 orta aksına erişim köprüsü



Şekil 4.6 Topkapı istasyonundan U-Dönüş tamburu

Çizelge 4.2, Avcılar-Topkapı Metrobüs Hattı'nın seyir yolu özelliklerini özetlemektedir.

Çizelge 4.2 Seyir yolunun ana bileşenleri

Seyir Yolu Ayrımı	Özel Otobüs Yolu
Toplam Hat Uzunluğu	18,3 km
Kılavuzlama Seçenekleri (Optik/ Mekanik/ Elektro Manyetik/-)	-
Seyir Yolu İşaretlemesi	Çelik Bariyerler
Kaplama Tipi (Asfalt/Beton)	Asfalt

4.2.2 İstasyonlar

Avcılar-Topkapı hattında toplam 14 istasyon bulunmaktadır. Yol genişliğinin sınırlı olmasından dolayı istasyonlarda sollama şeridi bulunmamaktadır. İstasyon genişliği, aynı anda 26 metre uzunluğunda iki otobüsün, 18 metre uzunluğunda üç otobüsün hizmet vermesini sağlayacak şekilde 60 metredir.

Metrobüs sisteminin D-100 karayolunun orta aksında olması nedeni ile dikey hatları kullanarak metrobüs güzergâhına erişen ve karayolunun iki yanında bulunan metrobüs yolcularının peronlara erişimini sağlamak üzere D-100 karayolu üzerinde yaya üst geçitleri planlanmıştır (Şekil 4.7).



Şekil 4.7 Duraklara Yaya Erişimi

Platformlar taşıtlar ile hemzemindir. Bu nedenle yolcu iniş-binişleri için gereken süre azalmakta, sistemin kapasitesi artmaktadır. Çizelge 4.3, Avcılar-Topkapı Metrobüs Hattı'ndaki istasyonların özelliklerini özetlemektedir.

Çizelge 4.3 İstasyonların ana bileşenleri

İstasyon Tipi	Özel Görünümlü Korunak
Sistemdeki Toplam İstasyon Sayısı	14
İstasyonlardaki Konfor Bileşenleri	-
Telefon/ WC/ Otomat/ Bank/ Çöp Kutusu	-
Klima (Sıcaklık Kontrolü)/ Kamusal Sanat Öğeleri	-
Duyuru Sistemi/ Acil Arama Telefonu	-
Güvenlik Kontrolü (Kapalı Devre Kamera/ Polis)	✓
Platform Yüksekliği	Hemzemin Platform
Platformdaki Maksimum Taşıt Sayısı	3
Uzunluk	60 m
Sollama Kabiliyeti (Bitişik Karma Akım Şeridi/Otobüs Cepleri/Sollama Şeritleri/-)	-
Otopark Tesis Seçenekleri (Park Et ve Bin Tesisi olan İstasyon Sayısı)	0

4.2.3 Taşıtlar

Metrobüs hattında şu anda Mercedes CapaCity ve Citaro marka otobüsler (Şekil 4.5) çalıştırılmaktadır. 50 adet Phileas modeli otobüs siparişi verilmiş ancak henüz teslim edilmediği için işletilmeye başlanmamıştır.

Şu an metrobüs hattında işgünlerinde 85, cumartesi günü 64, Pazar günü ise 49 adet otobüs çalıştırılmaktadır. Metrobüs hattının uzatılması ile birlikte ileride tüm hizmet 50 adet Phileas ile 150 adet CapaCity modeli otobüs tarafından karşılanacaktır. Talebin karşılanamaması durumunda Citaro modeli otobüsler ile destek sağlanacaktır.

Citaro modeli otobüsler “binişte ödemi” yöntemi nedeni ile ön kapıdan binerek ödemenin yapıldığı, geleneksel hizmetlerde de kullanılan taşıtlardır. Geleneksel sistemde tek kapıdan binişin zorunlu olması duruş sürelerinin artmasına dolayısıyla da kapasitenin düşmesine sebep olmaktadır. Ancak BRT hattında turnikeden geçiş sistemi uygulanmakta böylece çok kapıdan binişe izin verilmektedir. Bu nedenle duruş süreleri 20 saniyeye kadar düşmektedir. Citaro modeli otobüsler, bu işletim farklılığından dolayı yerel hizmette olduğundan daha yüksek kapasitede çalıştırılmaktadır.

CapaCity ve Phileas modeli otobüslerde, taşıt uzunluğuna oranla daha az oturma yeri sağlanmış, bu sayede yolcu sirkülasyonu arttırılmıştır. Böylece yolcuların taşıta biniş ve inişi için gereken duruş süresi azaltılmıştır. İleride anlatılacağı gibi, kapasiteyi etkileyecek en

önemli etken istasyonlardaki duruş süresidir.

Araç kapasiteleri geleneksel otobüslerden daha fazla olduğu ve kendisine ayrılmış şeritlerde, diğer trafikten etkilenmeden sefer yapabildiği için, sistemin hız ve kapasitesi geleneksel otobüs sistemlerine göre daha yüksektir.

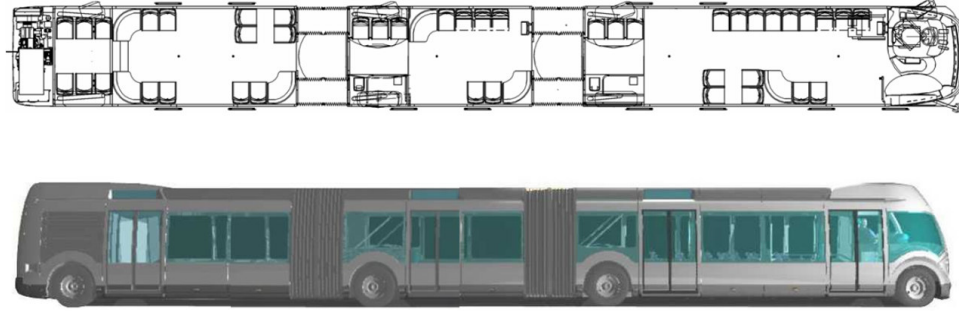
Her üç otobüs modelinin genel özellikleri, karşılaştırmalı olarak, Çizelge 4.4’de verilmiştir.

Çizelge 4.4 Metrobüs hattında kullanılan taşıtların karşılaştırılması

Model	Phileas	CapaCity	CITARO
Konfigürasyon	2 körüklü (26m)	Tek körüklü (19m)	Tek körüklü (18m)
Ayırt edici cephe giydirmeleri	-	-	-
Döşeme yüksekliği	Düşük	Düşük	Düşük
Kapı sayısı	4	4	4
Otobüs kapasitesi (Oturacı sayısı)	52	42	45
Yolcuların ayakta durabileceği alan (m ²)	30	25	20
Otobüs Kapasitesi (Ayakta Sayısı) (4kişi/m ²)	120	100	80
Toplam yolcu kapasitesi (Oturacı ve ayakta)	172	142	125
Çekim sistemi (Hibrid/içten yanmalı/..)	4 zamanlı Paralel hibrid sistem (Dizel ve cer motor)		4 zamanlı dizel motor, pld yakıt sistemi
Yakıt	Dizel+elektrik	Dizel	Dizel
Emisyon standardı	Euro IV	Euro III	Euro III
Yakıt sarfıyatı (lt/km)			Bilinmiyor
Tekerlekli sandalye biniş ekipmanları	Hem zemin biniş	Hem zemin biniş	Hem zemin biniş
Tekerlekli sandalye güvenlik tipi	Geriye doğru duruş pozisyonu	Geriye doğru duruş pozisyonu	Geriye doğru duruş pozisyonu
Uzunluk (m)	26,04	19,54	17,94
Genişlik (m)	2,54	2,55	2,55
Yükseklik (m)	2,95	3,16	3,08
Boş ağırlık (kg)	21530	18550	16758
Azami yüklü ağırlık (kg)	34600	32000	26278
Minimum dönüş yarıçapı (m)	12,50	22,85	11,41
En yüksek hız	85	80	60
Çalışmaya başladığı tarih	-	Eylül 2007	Eylül 2007
Hatta çalıştırılan otobüs sayısı	-	80	8-10
Hatta çalıştırılması planlanan otobüs sayısı	50	150	-

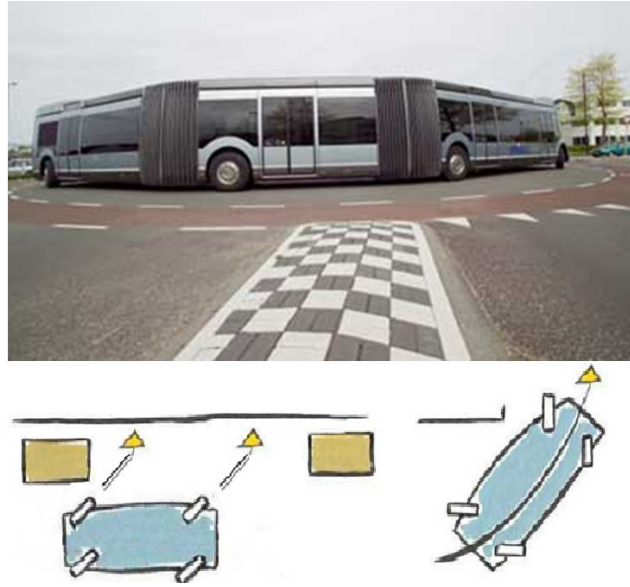
Phileas otobüsü, elektronik kılavuzlama sistemi bulunan ve yola döşenen manyetik çivilerden aldığı sinyaller ile şoförsüz olarak da hizmet verebilen, gelişmiş teknolojiye sahip bir modeldir. Duraklara yan olarak yanaşma özelliği de bulunan bu otobüslerin çift tarafta kapıları bulunmaktadır. Hibrid (elektrik – dizel) motorlu olarak tasarlanan bu araçlar, Euro IV standardında, çok düşük emisyon değerlerine sahiptir. Hibrid motor sayesinde yüzde 25 ile 40

oranında yakıt tasarrufu sağlandığı söylenmektedir. Diğer taraftan, satış fiyatı CapaCity modeli otobüsün 4 katıdır. Şekil 4.8’de Phileas marka otobüsün yan görünümü ve oturma düzeni gösterilmektedir.



Şekil 4.8 Phileas marka otobüsün oturma planı

Şekil 4.9’da Phileas marka otobüsün bağımsız süspansiyonu ve tüm tekerleklerin direksiyondan kumandalı olması sayesinde platforma boşluksuz yanaşma ve yüksek manevra kabiliyeti gösterilmiştir.



Şekil 4.9 Phileas marka otobüsün manevra kabiliyeti ve yengeç yanaşma

Mercedes CapaCity modelinin ise tek tarafta kapısı bulunmaktadır. Düşük döşemeli ve kent içi toplu taşıma aracı olarak tasarlanmıştır. Dizel motoru bulunan bu aracın emisyon değerleri, Euro III egzoz emisyon standartlarındadır. Şekil 4.10’da CapaCity modeli otobüsün iç ve dış görünüşleri sunulmuştur.



Şekil 4.10 CapaCity modeli otobüs

4.2.4 Ücret Toplama

Metrobüs sisteminde zirve saatlerde ön-ödeme, zirve dışı saatlerde ise binişlerde ödeme yöntemi kullanılmaktadır (Şekil 4.6 ve Şekil 4.11). Ücret ödeme araçları, depolanmış değer akıllı kartları olan AKBİL, ELBİL ve gişede nakit ödeme ile serbest geçiş kartlarıdır.

İstanbul Büyükşehir Belediyesi, toplu taşıma araçlarında ortak tek bilet kullanımı uygulamasını yaygınlaştırmaktadır. Günümüzde, otobüslerde ve raylı sistem hatlarında, yolculuk uzunluğuna bağlı olmaksızın, sabit ücret uygulanmaktadır. Tam ücret 1,30 YTL olup belirli yolcu grupları için indirimli ücret (0,85 YTL) uygulanmaktadır. Ancak, İstanbul Büyükşehir Belediyesi toplu taşıma kullanımını yaygınlaştırmak ve hatların optimizasyonu amacıyla AKBİL ile aktarmalara izin veren yeni bir ücretlendirme uygulamasına başlamıştır. Aktarmalarda tam AKBİL'den 0,65 YTL, öğrenci AKBİL'den ise 0,42 YTL düşmektedir. Aylık tam AKBİL fiyatı 105 YTL, aylık indirimli AKBİL fiyatı 55 YTL, 5 binişlik kontöre sahip elektronik biletler (ELBİL) ise 7 YTL'dir. (www.iETT.gov.tr)

Metrobüslerin istasyonlardaki duruş sürelerini azaltmak ve binişi hızlandırmak amacı ile bu sistem, diğer toplu taşıma sistemleri ile aynı sabit tarifeyi kullanmaktadır.



Şekil 4.11 Turnikeler

Çizelge 4.5’de ücret toplama sistemi bileşenlerinin özeti verilmiştir.

Çizelge 4.5 Ücret toplama bileşenleri

Ücret Toplama Yöntemi	Zirve saatte; Ön-ödeme (Gişeden Geçiş) Sistemi
Ücret Ödeme Araçları	Zirve dışı saatte; Binişte ödeme Gişede nakit ödeme, AKBİL, ELBİL
Ücret Tarifesi	Sabit Tarife
İstasyondaki Ekipmanlar	Elektronik ücret makinesi

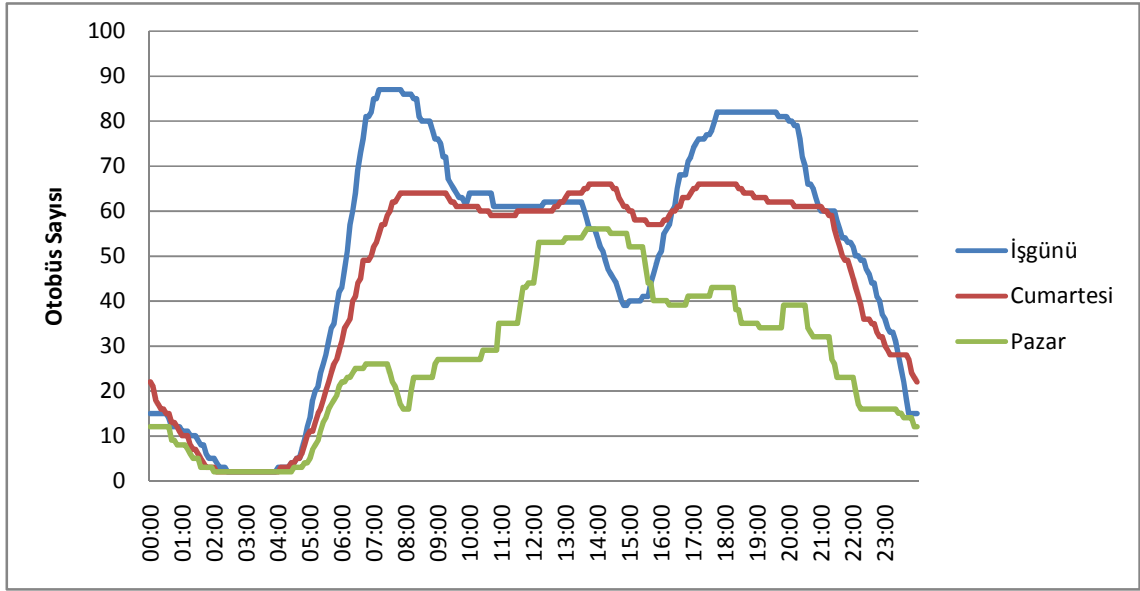
4.2.5 Hizmet ve İşletim Planı

Metrobüs sisteminin hizmet süresi 24 saattir. Her durakta duran bir sistemdir. Her yön için tek bir şeride sahip olması nedeniyle istasyonlarda sollama kabiliyeti bulunmamakta, bu nedenle de farklı bir işletim yapısına (ekspres hizmetler ve/veya durak-atlamalı sistemler) izin vermemektedir. Terminallerdeki yoğun talep nedeni ile ara duraklardaki talebi karşılamak güçleşmiştir. Bu nedenle daha ilerideki duraklardaki talebi karşılamak amacıyla terminallerden bu duraklara boş otobüsler yollanmaktadır.

Zirve saatte izleme süresi 30 saniyeye kadar düşmektedir. Zirve dışı periyotlardaki maksimum izleme süresi ise 30 dakikadır.

Şekil 4.12, işgünü, cumartesi ve pazar tarifelerine göre metrobüs hattının otobüs frekansını göstermektedir. Zirve frekanslara bakıldığında en yoğun otobüs miktarının işgünlerindeki sabah zirvesinde, 87 otobüs, olduğu görülmektedir (Çizelge 4.6). Hattaki yoğun talep nedeni ile otobüsler kapasitesinin üzerinde yolcu taşımaktadır. Bu nedenle otobüs başına 160 yolcu kabulü yapılarak sistemin mevcut işletme koşullarında, herhangi bir kesitten bir saatte geçebilecek yolcu sayısı yaklaşık 14.000 yolcu/yön-saat olarak bulunmuştur (Çizelge 4.6).

İş günlerindeki tüm gün ortalama izleme aralığı 1,3 dakika (78 saniye)’dir. Cumartesi ve Pazar günlerindeki tüm gün ortalama izleme aralığı ise sırasıyla 84 ve 105 saniyedir. Otobüsler, Avcılar ve Topkapı’daki ilk hareket noktalarından saat 02:00 ile 05:00 arasında yarım saatte bir kalkarak karşılıklı sefer yapmaktadır. Metrobüsü gece yarısından sonra kullanmak isteyen yolcular, Mecidiyeköy ve Taksim’den Yenibosna Metro bağlantılı kesintisiz hatlardan faydalanabilmektedirler.



Şekil 4.12 Avcılar-Topkapı Metrobüs hattı otobüs frekansları

Çizelge 4.6 Avcılar-Topkapı Metrobüs hattı kapasitesi (zirve saat)

	Frekans (otobüs/yön-saat)			İzleme Aralığı (saniye)			Araç Kapasitesi	Kapasite (yolcu/yön-saat)		
	Sabah	Öğle	Akşam	Sabah	Öğle	Akşam		Sabah	Öğle	Akşam
İşgünü	87	62	82	41	58	44	160	13920	9920	13120
Cumartesi	64	66	66	56	55	55	160	10240	10560	10560
Pazar	26	56	41	138	64	88	160	4160	8960	6560

Çizelge 4.7’de Hizmet ve işletim planı özetlenmektedir.

Çizelge 4.7 Hizmet ve işletim planı

Hat yapısı	Yerel hat ile birlikte metrobüs hattı
Koridorda işletilen hat sayısı	48
Metrobüs Hattında işletilen hat sayısı	1
Hizmet süresi	24 saat
Zirve Saatte Minimum İzleme Süresi	30 saniye
Ortalama İstasyon Aralığı	1,4 km

En kısa durak (istasyon) aralığı Cevizlibağ ile Topkapı ve Zeytinburnu ile Merter arasında ve 0,7 km’dir. En uzun durak aralığı olan 3,2 km ise Sefaköy ile Yenibosna durakları arasındadır. Tüm sistemin ortalama durak aralığı 1,4 km’dir.

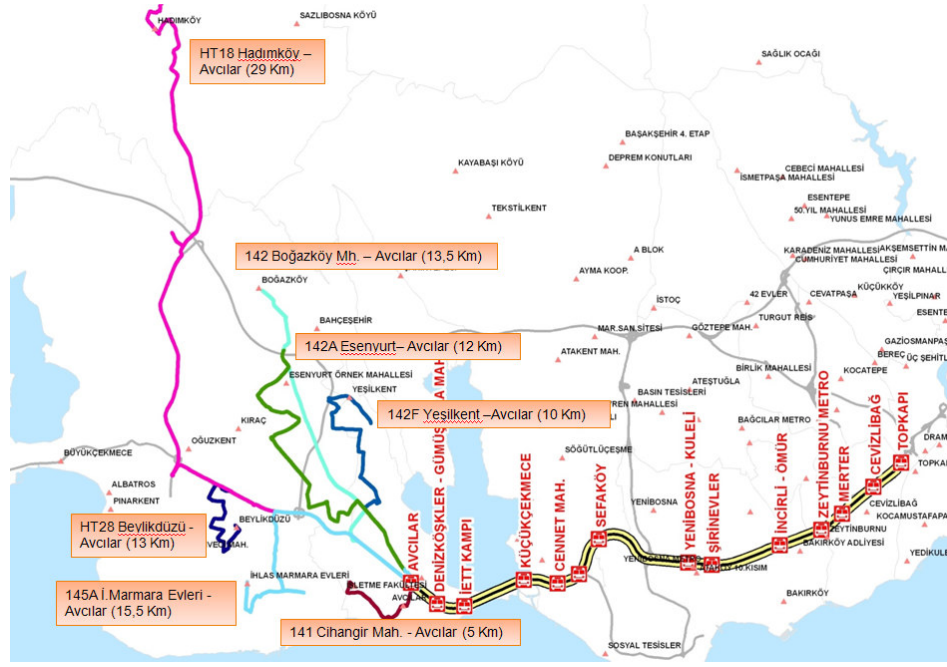
4.3 Sistemdeki Yolcu Talebi

Metrobüs projesinin yer aldığı koridorda günün hemen her saatinde yoğun bir trafik bulunmaktadır. Proje öncesinde bu koridorda toplu taşıma hizmeti otobüs ve minibüsler tarafından çok sayıda hat ile sağlanmaktadır. Uygulama öncesinde proje güzergâhını kullanan 48 otobüs hattının toplam araç adedi 694, toplam hat uzunluğu 1412 km, günlük toplam sefer sayısı 3333, günlük hat başına ortalama sefer 69, günlük araç başına ortalama sefer 5'tir. Ortalama hat başına sefer süresi 141 dakika, zirve saatteki ortalama hızlar ise 19 km/saattir. Taşınan günlük yolcu sayısı ise yaklaşık 335.000'dir. Ancak bu otobüslerin güzergâhları tümüyle Metrobüs proje güzergâhı ile çakışmamaktadır.

Otobüslere benzer şekilde, midibüs ve minibüs hatları da Metrobüs güzergâhı ile belirli kesimlerde birlikte çalışmaktadır. Metrobüs projesinin uygulanması sonrasında bu minibüs ve midibüs hatları kaldırılmış, otobüs hatlarının bir kısmı kaldırılmış, bir kısmı ise kısaltılmış, taşıt adetleri de azaltılmıştır. Şekil 4.13 ve Şekil 4.14’te uygulama öncesi ve sonrasında İETT hatlarındaki değişikliklerin bazıları görülmektedir.



Şekil 4.13 Uygulama öncesi hatlar



Şekil 4.14 Uygulama sonrası hatlar

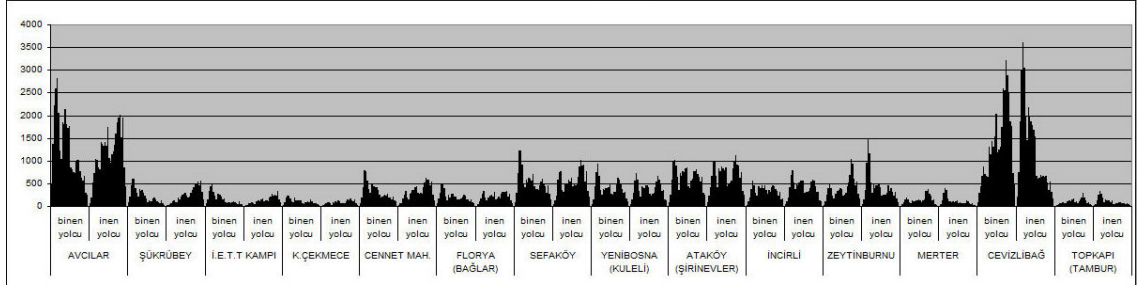
Uygulama sonrasında hat adedi ve ortalama hat uzunlukları azaltılmış, ortalama araç başına sefer adedi artırılarak işletme maliyetleri düşürülmüştür.

4.3.1 Metrobüs Hattındaki Günlük Toplu Taşıma Yolculukları

Toplu Ulaşım Hizmetleri Müdürlüğü'nün 08.04.2008 ve 10.04.2008 tarihlerinde yaptığı çalışmaya göre tüm hattaki yaklaşık günlük ortalama binen yolcu sayısı 166.700'dür. Binen ve inen yolcu sayımları, istasyonlara giren ve istasyonlardan çıkan yolcu sayıları baz alınarak yapılmıştır.

Çalışma yapılan tarihlerde Metrobüs sistemi 06:00 ile 00:00 saatleri arasında hizmet vermektedir. Hizmet süresinin 18 saatten 24 saate çıkmasıyla sistemi kullanan yolcu miktarının arttığı kabul edilebilir. Tüm hattaki yolculukların zamana göre istasyonlar bazında dağılımlarına bakıldığında (

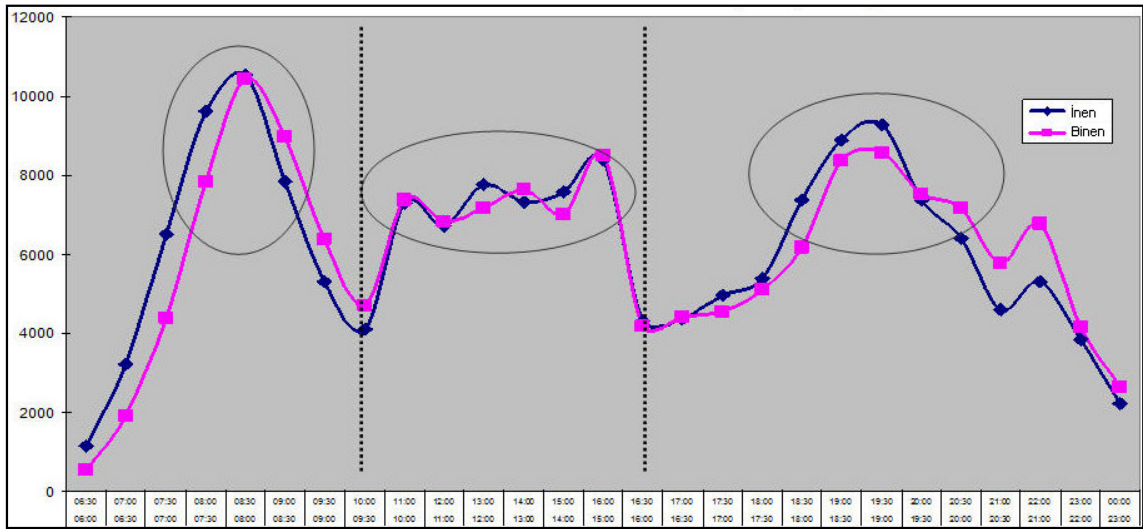
Şekil 4.15) istasyonlar bazında binen ve inen yolcu miktarlarının zamansal olarak simetrik olduğu görülmektedir. Ataköy (Şirinevler) istasyonunun ise tüm gün boyunca aktarımların yapıldığı önemli bir noktada olduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 4.15 Tüm gün boyunca istasyonlardaki binen ve inen yolcu dağılımı

Mevcut Metrobüs hattı boyunca tüm istasyonlardaki binen-inen yolcuların zamansal dağılımı, İstanbul'daki diğer yolculuk hareketlerine oldukça benzemektedir (Şekil 4.16). Grafikte, zaman dilimlerinin çok kesin olarak birbirinden ayrıldığı görülebilir.

Grafikte görülen keskin artış ve azalışlar sefer sayıları değil yolcu talebi ile ilişkilidir. Çünkü çalışmada istasyona giren ve istasyondan çıkan yolcu sayıları kullanılmıştır.



Şekil 4.16 Zirve saatlerde binen ve inen yolcu sayıları

Bu grafiğe göre;

- Sabah zirvesi 07:00–08:30 saatleri arasındaki kısa bir zaman aralığında gerçekleşmiştir. Sayısal olarak artış ve azalış büyük olmuştur.
- Öğle zirvesi ya da zirve dışı olarak adlandırılan zaman, 10:00–15:00 arasındadır. Yolcu sayısı bu zaman diliminde fazla değişkenlik göstermemiştir. Yaklaşık olarak inen-binen yolcuların sayısı 6500 ile 8000 arasındadır.
- Akşam zirvesi 18:00–20:30 saatleri arasında, sabaha göre nispeten daha uzun zaman aralığında gerçekleşmiştir. Sayısal olarak artış ve azalış büyük olmuştur.

4.4 Avcılar-Topkapı Metrobüs Hattının Kapasitesi

Avcılar - Topkapı Metrobüs Hattı'nın kapasitesi hesaplanırken 3. Bölüm'de anlatılan yöntemler kullanılmıştır. Önceden belirtildiği üzere kesintisiz akım sistemlerinin kapasitesi, otobüs yolundaki minimum durak kapasitesi (otobüs/saat) tarafından kısıtlanmaktadır (Denklem (3.9)).

$$B = B_{s,min}$$

Burada;

B = Yerel hizmetin otobüs kapasitesi (otobüs/saat)

$B_{s,min}$ = Otobüs yolundaki minimum durak kapasitesi (otobüs/saat)

Sistemin otobüs kapasitesi; belirlenen bir hata oranı (bir otobüs biniş alanına yaklaşırken, bu alanın başka bir otobüs tarafından işgal edilmiş (kullanılıyor) olma olasılığı), duruş süresi ve boşaltma süresinin fonksiyonu olarak bulunmaktadır. Otobüslerin yolcu kapasitesi ile bulunan değerin çarpılmasıyla sistemin tek yöndeki saatlik yolcu kapasitesi bulunmaktadır.

Duruş süresi ve boşaltma süresinin kombinasyonu tek bir otobüsün biniş alanını ortalama işgal ettiği süreyi vermektedir. Duruş süresi değişkenliği ile tasarım hata oranının kombinasyonu, otobüslerin biniş alanına varır varmaz hizmet görebilmesini garanti etmek için ek bir tolerans süresi sunmaktadır. Bu iki büyüklüğü birlikte kullanarak, otobüslerin ard arda gelmesinden kaçınmak için gerekli olan minimum izleme süresi elde edilebilmektedir. İzleme süresi kullanılarak saatte kaç otobüsün durağı kullandığı hesaplanabilir, böylece de biniş alanının kapasitesi elde edilmiş olunur.

Biniş alanı kapasitesinin otobüs sayısı cinsinden saatteki değeri, B_1 (Denklem (3.6))

$$B_1 = \frac{3600(g/C)}{t_c + (g/C)t_d + Z c_v t_d}$$

Burada,

B_1 = biniş alanı otobüs kapasitesi (otobüs/saat)

3600 = bir saatteki saniye sayısı

g/C = yeşil süre oranı

t_c = boşaltma süresi (saniye)

t_d = ortalama duruş süresi (saniye)

Z = istenilen hata oranı ile ilgili standart normal değişken

c_v = duruş süreleri değişim katsayısı

Avcılar- Topkapı Metrobüs hattı özel seyir yolunda hizmet veren bir sistem olduğu için g/C oranı 1,0'e eşit olacaktır. Boşaltma süresi (t_c), trafiğe yeniden katılım gecikmesi yaşanmayacağı için 10 saniye olarak kabul edilebilmektedir. Duruş süresi, kritik durakta 20 saniye olarak ölçülmüştür. Kabul edilen hata oranı %25 olduğunda, kapasite maksimum olmaktadır. Fakat hizmet kalitesi ile hata oranı arasındaki ödünleşme sebebiyle hata oranı %10 kabul edilmektedir. Bu kabullere göre, Avcılar- Topkapı Metrobüs Hattının biniş alanı kapasitesi:

$$B_1 = \frac{3600(1,0)}{10 + (20)(1,0) + (1,28)(0,60)(20)} = 79 \text{ otobüs/saat olarak bulunmuştur.}$$

Duraklar 18 metrelik üç otobüsü barındıracak genişliktedir. Ancak lineer biniş alanlarında otobüslerin varış şekillerine göre biniş alanlarının etkinlik miktarı farklılık göstermektedir. Rastgele varışlar söz konusu ise 3 biniş alanı için etkinlik katsayısı 2,45, dizi varışlar için ise 2,65'tir (Çizelge 3.9). Durakların üç biniş alanı içermesi nedeniyle, biniş alanı kapasitesinin biniş alanı etkinlik katsayısı ile çarpılarak durak kapasitesi bulunabilmektedir (Denklem (3.7)). Buna göre, rastgele varışlar için durak kapasitesinin saatteki otobüs sayısı cinsinden değeri;

$$B_s = 79 \times 2,65 = 209 \text{ otobüs/saattir.}$$

Otobüslerin 3'lü dizi halinde işletilmesi durumunda, Avcılar-Topkapı Metrobüs Hattı'nın otobüs kapasitesi 209 otobüs/saat olarak bulunmuştur. 4kişi/m² kabulü ile CapaCity otobüsünün taşıt kapasitesi baz alınır, zirve saatte tek yönde taşınabilecek yolcu sayısı yaklaşık (209x142) 30000 yolcu/yön-saattir.

Aynı işlemler 2'li dizi halinde işletilmesi planlanan Phileas için yapıldığında durak kapasitesi 146 otobüs/saate düşmektedir. Saatte tek yönde taşınabilecek yolcu sayısı ise 25000'dir. Phileas modeli otobüsün yolcu kapasitesi yüksek de olsa 2'li dizi işletme CapaCity modeli otobüslerin kullanımıyla 3'lü dizi işletmenin sunduğu kapasiteden daha azdır.

4.5 Otobüs Hızları

Ortalama durak aralığı 1,4 km'dir. Şeritteki maksimum hız 80 km, ortalama duruş süresi 20 saniye alındığında sistemin tasarım seyir hızı 55 km/saat olarak bulunmaktadır (Çizelge 3.21). Sistemin ticari hızı ise 37 km/saat'tir.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada BRT (Metrobüs) sisteminin planlama, tasarım ve işletim özellikleri ile sistem bileşenlerinin kapasiteye etkisi incelenmiş, İstanbul’da uygulanan Avcılar-Topkapı Metrobüs Hattı’nın değerlendirmesi yapılarak bazı önerilerde bulunulmuştur.

BRT, kaliteli bir imaja ve benzersiz bir kimliğe sahip olan, bir sistem bütünlüğü içinde, çeşitli fiziksel ve işletim bileşenlerini içinde barındıran esnek ve yüksek performanslı bir toplu taşıma türüdür. Ulaştırma sektörüne uyarlanan çeşitli teknik ve teknolojik uygulamaları içeren esnek bir sistemdir. Seçilen bileşenler ve kombinasyonları projenin finansman büyüklüğü ve süresine bağlı olarak çeşitlilik göstermektedir.

Bu bileşenler, her bir koridorun kendine özgü fiziksel kısıtları altında, kendi pazarına optimum hizmet veren bir sistem oluşturmak için bir araya getirilmelidir. Örneğin, BRT taşıtları için, nüfusun yoğun olduğu kentsel bölgelerde özel otobüs şeritlerinin inşa edilmesi ya da tahsis edilmesi yerine, “ITS trafik sinyal önceliği” yatırımları yapılması çok daha yüksek bir maliyet verimliliği sağlayabilmektedir.

BRT’nin her bir bileşeni, ayrı ayrı geliştirilebilmektedir; ayrıca yolcu sayısı arttıkça, kamu desteği güçlendikçe ve daha fazla kaynak bulundukça sistemin geliştirilmesi için yatırımları arttırmak olanaklıdır. Daha gelişmiş teknolojilere erişmek için mevcut sistem bileşenleri iyileştirilebilir (örneğin, normal otobüs filoları yerine özel donanımlı BRT taşıtlarının kullanılması) ya da yeni bileşenler (örneğin, taşıt dışı ücret toplama veya ITS) eklenebilir.

BRT bileşenlerinin başarılı bir şekilde uygulanması, bu bileşenlerin birbirleriyle bütünsellik içinde bulunmasını gerektirir.

ABD’de uygulanmış 10 BRT sistemine dayanarak değerlendirilen BRT sistem performansı; yolculuk süresi, güvenilirlik ve kapasitede somut gelişmeler yaşandığını göstermektedir. Yerel otobüs güzergahı ile karşılaştırıldığında, “özel seyir yolu”na sahip BRT projelerinde, oldukça büyük yolculuk zamanı tasarrufu sağlamaktadır. Diğer taşıtların kullanımına kapalı olan “özel toplu taşıma yolları” projelerinde ortalama seyir hızı 30 ile 50 km/saat arasındadır. Karma akım trafiği içinde veya tercihli şeritlerdeki (herhangi bir bariyerle ayrılmamış) BRT projelerinde ise 20-30 km/saat arasındadır. Güvenilirlikte de seyir süresine benzer etkiler görülmüştür.

Bununla birlikte sistemin kapasitesi; yaya ve taşıt hareketliliği ile ilgili olup, kullanılan otobüslerin boyutları ve otobüslerin işletim sıklığına bağlıdır, ayrıca yolcu yoğunlukları ve taşıt akımı arasındaki etkileşimi yansıtır. Aynı zamanda hizmet sağlayıcının –hizmet sıklığı ve otobüste izin verilen yolcu sayısı olarak belirtilen– işletim politikasına da bağlıdır.

5.1 Avcılar-Topkapı Metrobüs Hattı

5.1.1 Projenin Olumlu Yönleri

Avcılar- Topkapı Metrobüs hattı;

- Özel otobüs yolu,
- Uzun istasyon aralıkları ve
- Duraklardaki azaltılmış duruş sürelerinin (ön-ödeme sistemi sayesinde tüm kapılardan binişin sağlanması ve hizmet sıklığının zirve saatlerde 30 saniyeye kadar düşmesi nedeni ile biniş süreleri 20 saniye civarında tutulabilmektedir) bir kombinasyonu olarak, geleneksel otobüs hizmetlerinden daha iyi bir yolculuk süresine sahiptir.

Özel otobüs yolu, aynı zamanda, sistemdeki diğer taşıtlardan ve trafik sinyallerinden kaynaklanan gecikmeleri ortadan kaldırdığı için yolculuk süresi güvenilirliği yüksektir. Fakat beklenmeyen bir arıza durumunda acil müdahale planları bu konuda önem kazanmaktadır. Sık seferler nedeniyle duruş süresi güvenilirliği de yüksektir.

İETT yolcu konforunu sağlamak amacıyla, araçlara monte edilecek bilgisayarlardaki ivme sensörü vasıtasıyla aracın hareket halindeyken ivmelenme değerlerini ölçecektir. Bu değerlere göre hesaplanan ‘Sürüş Kalitesi Puanı’ (SKP) sayesinde şoförlerin sürüş alışkanlıkları elektronik olarak izlenerek performans ölçümleri objektif kriterlere dayandırılmış olacaktır.

Avcılar- Topkapı Metrobüs hattının;

- Arttırılmış yolcu sirkülasyonu (taşıt uzunluğuna oranla daha az oturma yeri sağlanması sayesinde),
- Azaltılmış duruş süresi,
- Yüksek kapasiteli araçlar (geleneksel otobüslere kıyasla) ve
- Özel şeritler (diğer trafik ile etkileşim yok) nedeni ile hız ve kapasitesi yüksektir.

D-100’e katılımların kısıtlanması ile minibüsler ve otobüslerin D-100 üzerinden çekilmesi kısmen akıcılığı sağlamıştır.

Bununla birlikte metrobüsün bir şeridinin bir saatte bir yönde taşıyabileceği yolcu sayısını özel araçlar ile sağlamaya çalışırsak (1,6 yolcu/otomobil kabulü ile);

- Mevcut işletme koşullarına göre (14000 yolcu/yön-saat) 5 şeritli,
- Öneri işletme koşullarına göre (30000 yolcu/yön-saat) 10 şeritli otoyollara ihtiyaç duyulacaktır.

5.1.2 Projenin Olumsuz Yönleri

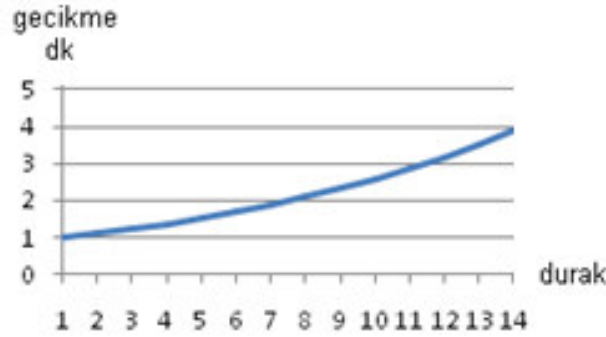
Proje nedeni ile emniyet şeridinin kaldırılması;

- Güvenlik problemlerine ve
- Arıza durumlarında trafiğin sıkışmasına neden olmaktadır.

Şeritlerin daraltılması;

- Güvenlik problemlerine ve
- 3 şeritli yolun kapasitesinin düşmesine neden olmaktadır. Sağ şerit emniyet şeridi gibi kullanıldığından bu şeridin kullanım oranı düşüktür.

Bunlarla birlikte otobüslerin kalkış aralığı düzensizlikleri nedeni ile duraklarda ek yolcu birikimleri meydana gelmektedir. Ek yolcu birikimleri istasyondaki duruş sürelerini arttırmaktadır (Şekil 5.1). Bu durum zaten gecikmiş olan otobüsler için olumsuz bir etkiye neden olur. Sonraki duraklarda mevcut gecikme daha da artacak ve hat boyunca kötüleşecektir (Şekil 5.2). Bu düzensiz durumun oluşmaması için şoförler eğitilmeli, kalkış aralıkları sabitlenmeli ve kayıp süreler telafi edilecek şekilde duruş süreleri (gecikme durumlarında) bekleyen yolcu sayısına rağmen kısaltılmalıdır.



Şekil 5.1 İlk duraktaki 1 dakikalık gecikmenin sonraki duraklarda oluşturacağı olası gecikme

Şekil 5.1’de 1 dakikalık bir gecikmenin hattın sonuna kadar ilerleyişi ve son duraklara doğru 4 dakikalık gecikmeye çıkışı görülmüyor. Buna göre gecikme arttıkça öndeki duraklarda bekleyen sayısı daha da artarak gecikmeyi daha da kötü arttırmaktadır.



Şekil 5.2 Zirve saat yolcu talebi

Turnikelerin platform üzerinde olması sebebiyle durak alanında kayıplar oluşmaktadır. Bu ölü alanların engellemesi turnikelerin geçitler üzerine alınması ile mümkündür. Güncel durumda otobüsler bu ölü durak alanında dur-kalk yaparak beklemekte ve turnikelerin konumuna göre uygun alana yanaşmak için vakit kaybetmektedir.

İstasyonların fiziki olarak yetersizliği ve erişimden kaynaklanan sıkıntılar;

- Talebe göre yetersiz genişlikte platform alanı,
- Dar üstgeçit ve merdivenler,
- Diğer ulaşım sistemleri ile entegrasyonda erişim sorunu,
- Ücret toplama ve bilet satışının istasyon içinde olması,
- İstasyon giriş ve çıkışlarının aynı yerden olması ve turnike sayısının yetersizliği nedeni ile yaşanan sıkışıklıktır.

Bununla birlikte yeterli büyüklükte, otopark ve sosyal donatı alanlarıyla birlikte, iyi bir şekilde düzenlenmiş, gerekli sayıda aktarma merkezi ve besleme hatları kurulmamıştır.

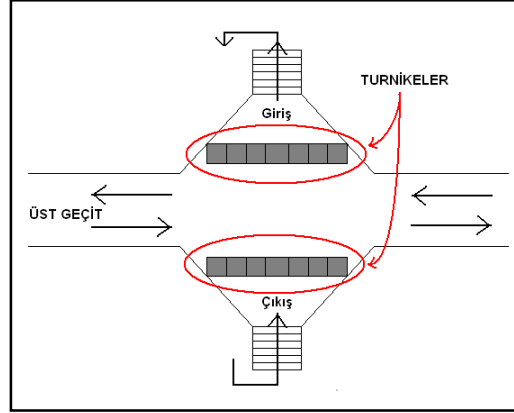
Olası problemlere ve aksaklıklara karşı müdahale ve kontrol merkezi bulunmamaktadır. Tek şeritli ve sık izleme aralığına sahip bu hatta acil müdahale sistemin verimliliği ve imajı açısından büyük önem taşımaktadır.

Hastane ve alışveriş merkezlerinin yoğun olması nedeni ile yolcu talebinin yüksek olduğu bazı bölgelere (örneğin Bahçelievler ve Florya) durak konulmamış olması ve diğer toplu taşıma hatlarının da kaldırılmış olması, bu talebin değerlendirilememesine, bu yolcuların çok sayıda aktarma yapmak zorunda kalmasına neden olmaktadır.

5.1.3 Öneriler

(1) Turnikeler

Turnikelerin giriş ve çıkışlarının aynı turnikelerden yapılması yolcu hareketini olumsuz etkilemektedir. Bu durum turnikelerin önünde kuyruklanmalara ve tıkanmalara sebebiyet vermektedir. Turnike giriş ve çıkışlarının birbirinden ayrılması gereklidir. Bunun için en uygun yapı turnikelerin geçitler üzerine taşınmasıyla mümkündür. Geçit üzerinde istenen sayıda turnike koyulabilecek bir yapı rahatlıkla oluşturulabilir (Şekil 5.3).



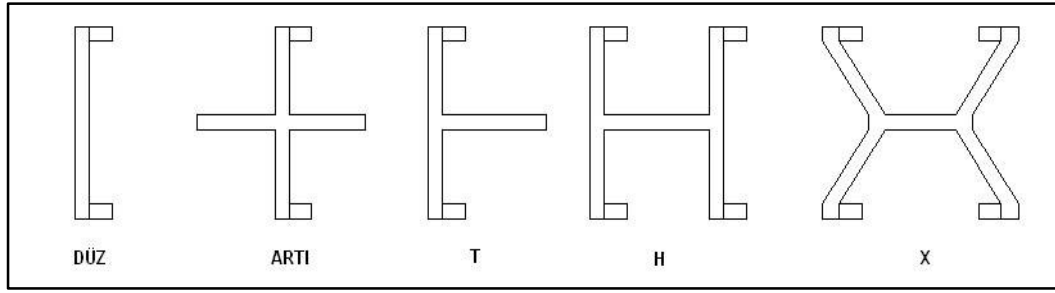
Şekil 5.3 Öneri üstgeçit ve turnikeler

Turnikelerin üst geçitler üzerine taşınmasının faydaları;

- Durak platformu ve durak platformu dışındaki alanların her biri otobüslerin yolcu indirme ve bindirmesine uygun hale gelir.
- Giriş ve çıkış hareketi platform üzerindeki dar alandan geniş alana taşınarak dar alanda yolcu hareket zorluğu da önlenmiş olur.
- Giriş ve çıkışların birbirinden ayrı merdiven ve turnikelerden yapılması sağlanarak yolcuların platforma giriş ve çıkışları kolaylaştırır.
- Giriş ve çıkışların birbirinden ayrılması farklı ücretlendirme politikalarını uygulamayı mümkün kılar.

(2) Üstgeçitler

Üstgeçitlerin üzerinde bazı değişiklikler gerekmektedir. Birçok noktada genişlikleri yaya trafiğine yetersiz kalmaktadır. Genişliklerinin yaya trafiğine uygun hale getirilmesi gereklidir. Üniversite, Sefaköy, Yenibosna, İncirli, Zeytinburnu, vb. duraklarda yaya geçitleri kapasiteleri zirve saatlerde yetersiz kalmaktadır. Bu geçitlerin genişliklerinin artırılması gereklidir. Farklı üstgeçit tasarımları yaya erişim mesafelerini kısaltıp ve akımları rahatlatılabilir ve yaya konforunu arttırabilir (Şekil 5.4).



Şekil 5.4 Yaya üstgeçit tipleri

Metrobüs sistemine erişimlerde en kötü etkiyi yağmur yapmaktadır. Rüzgar hızı yağmurun olumsuz etkilerini daha da arttırmaktadır. Bu durum yayaların üstgeçidindeki konforlarını azaltmaktadır. Bu nedenle üst geçitlerin korunaklı yapılması önem taşımaktadır.

Engelliler için eğik inişler yerine asansörlü sistemlerin kurulması gerekmektedir. Mevcut durumda engellilerin eğik inişlerde sıkışma sorunları vardır. İnişler iki tekerlekli sandalyenin karşılıklı geçebilmesine uygun değildir. Eğik inişler durak kapasitesini de olumsuz etkilemekte kullanılabilir indi bindi alanlarını daraltmaktadır. Ancak asansörlü inişler kurulursa engelliler gerçekten durak platformuna erişebilecektir.

(3) Dizi Varışlar ve Mercedes CapaCity

Avcılar-Topkapı Metrobüs Hattında kesitten saatte geçebilecek yolcu sayısı 14.000 yolcu/yön-saatir. Farklı işletim koşullarıyla sistemin yolcu kapasitesi önemli ölçüde artırılabilir. Her yönde tek şeride sahip olan sistem ekspres ve durak atlamalı işletimlere izin vermediğinden “dizi varışlar” seçeneği üzerinde durulmalıdır.

Farklı işletim koşulları (yani dizi varışlar) ile bu kapasite;

- 2’li dizi (172 yolcu kapasiteli Phileas) 25.000 yolcu/yön-saate,
- 3’lü dizi (142 yolcu kapasiteli CapaCity) ise **30.000 yolcu/yön-saate** çıkarılabilmektedir.

Phileas modeli otobüsün yolcu kapasitesi yüksek de olsa 2’li dizi işletme CapaCity modeli otobüslerin kullanımıyla 3lü dizi işletmenin sunduğu kapasiteye sahip değildir. Bunun beraberinde Phileas modeli otobüsten 4 kat ucuz olan CapaCity modeli otobüsün kullanımı ile yatırım maliyetleri de düşecektir.

Otobüslerle kurulan bir sistemin kesitten geçen yolcu kapasitesini arttırmak için yapılabilecekler, dizi varışlar, ekspres veya durak atlamalı sistemler kullanılması, otobüslerin birbirine kenetlenmesi ve yeni şerit eklenmesidir. Buradaki en ucuz, en kolay ve en uygulanabilir yöntem dizi varışlardır. Bunun sağlanabilmesi için aşağıda belirtilen düzenlemelerin yapılması gerekmektedir.

Durak Kayıp Süreleri

Yolcuların kapıların kapanmasına yakın binişleri zorlamamaları üzere otobüslerin kapı ağızlarında otomatik sesli uyarı sistemi kurulmalıdır. Bir aracın bir durakta biraz fazla beklemesi, bir sonraki durakta daha da çok yolcu talebi doğuracaktır. Bu sebeple duruş sürelerinin arttırılmaması gereklidir. Zirve saatlerde araç içinde akbil basımının kaldırılması gerekmektedir.

Kılavuz Çizgilerin Çizilmesi

Duraklarda otobüslerin duracağı yerlere ait dur çizgilerinin çizilmesi gerekmektedir. Yaya hareketini düzenlemek için de, yayaların inip bineceği yerlerin çizgilerle belirtilmesi düzen sağlamada uygundur.

Sinyalizasyon ve Otobüs Kalkış Uyarı Sistemi

- Kapılar kapanırken sesli uyarı sistemi ile yolcuların uyarılarak iniş ve binişlerinin düzenlenmesi sağlanmalıdır. Bu sayede durumu zorlayarak yolcuların kapıda sıkışmaları önlenmelidir.
- Duraklar arası iletişim ve kontrol altyapısı kurulmalı ve diziler arasında zaman farkları korunacak şekilde işletme düzenlenmelidir. Durağın gerisinde yaklaşmakta olan otobüs dizisini belirlemek için tüm duraklara ve yaklaşım noktalarına loop detektörleri yerleştirilerek, iki dizinin durakta karşılaşması önlenmelidir. Bu şekilde kurulacak ışıklı sinyalizasyon sistemi ile otobüs dizilerinin birlikte hareketleri düzenlenmiş olur.

Mevcut sistem altyapı ve kullanım maliyeti ucuz, kapasitesi raylı sistemlere yakındır. 3'lü dizi varışlar gerçekleştirildiğinde raylı sistemlerdeki gibi araç dizileri birlikte hareket edecek ve kayıp süreler azalacaktır. Bugünkü işletmeyle kapasitesi 14.000 yolcu/yön-saattir. Bu kapasite 30.000 yolcu/yön-saate çıkartılabilir. Gelecekte talebin daha da artması sistemin kapasitesini arttırmayı gerektirecektir. Bunun için ya otobüslerin birbirine kenetlenmesi ya da AGT gibi bir lastik tekerlekli raylı sistemin kurulması gerekebilir. Aynı zamanda yeraltı metro sisteminin metrobüs hattına paralel güzergah üzerinde kurulmaya devam ederek gelecekte bu hat üzerindeki yolculukları çekmesi veya paylaşması gerekecektir.

(4) Kaza ve Arıza Durumu

- Acil durum çekici ve acil durum trafik düzenleyici birimleri konuşlandırılmalıdır.
- İki yönlü gidebilen vinç ve kurtarıcı olarak kullanılabilen özel araçlar sağlanmalıdır.
- Kaza ve arıza senaryoları üretilip, senaryolara uygun müdahale ve trafik düzenlemelerinin planlanması ve ekiplerin eğitilmesi gerekmektedir.

- Problem ve aksaklıklara müdahale ve kontrol merkezi kurulmalıdır.

(5) Besleme Hatları ve Transfer Merkezleri

Metrobüs duraklarına ve yolcu toplama bölgelerinin yoğunluğuna göre minibüslerle veya otobüslerle yolcu toplama (besleme) hatları düzenlenmelidir. Günlük yolcu miktarına bakılarak hangi sistemin kullanılacağına karar verilebilir.

Park-Et Bin Sistemleri

Özel otomobil kullanıcılarının metrobüs hattına erişimleri için hattın yolu üzerindeki duraklara park et-bin sistemlerinin kurulması gerekmektedir. Özel otomobillerin ana akımlarının yoğunlaşarak geldiği ana yol kesişimlerinde, hattın hemen üzerinde veya yanında otopark imkanlarının yaratılması özel otomobil kullanıcılarına cazip gelecek düzenlemelerin yapılması gereklidir. Bu sayede özel otomobil kullanıcılarından metrobüs için alınan yol kendilerine için de bir alternatif haline gelecektir.

5.1.4 Önerilen Çalışmalar (Analizler) ve Gerekli Veriler

Metrobüs sisteminin performans ve fayda analizlerinin yapılabilmesi için çok çeşitli ve detaylı veriye ihtiyaç vardır. Ancak bu verilerin toplanması ile ilgili ciddi sıkıntılar bulunmaktadır. Metrobüs sisteminin diğer etapları için bu ölçütlerin belirlenmesi amacı ile şimdiden veri toplanmaya başlanmalıdır.

- Yolculuk süresi tasarrufu
- Çevresel etkilerdeki değişme
- Zirve saatlerdeki trafik durumunun uçtan-uca yolculuk süresindeki etkisi
- Duruş süresi tasarrufu
- Güvenilirlik analizi ve
- Kapasite analizinin yapılabilmesi için bilinmesi gerekenler;

(1) Zirve ve zirve dışı saatlerde tek bir yönde, hattın başından sonuna kadar, bir yolculuğu tamamlamak için gereken “ortalama hafta içi yolculuk süresi”

(2) Bu sürenin hat uzunluğuna bölünmesi ile bulunan “km başına süre”,

(3) Metrobüs hattı ile aynı güzergâh boyunca seyreden bir yerel otobüs hattının zirve saatteki “uçtan-uca maksimum yolculuk süresi

(4) En yüksek hacimli kapıdan biniş ve/veya iniş yapan “yolcu hacmi” ve

(5) “Yolcu seyahat uzunlukları”dır.

Böylece, bir BRT hattı ile aynı güzergahta işletilen ve aynı varış noktalarına sahip bir yerel

hat arasındaki karşılaştırmadan yolculuk süresindeki azalma belirlenebilir. Zirve dışı (serbest) yolculuk süresinin zirve saatlerdeki (maksimum) yolculuk süresine oranı ile zirve saatlerdeki trafik durumunun uçtan-uca yolculuk süresi üzerindeki etkisi ölçülmektedir. Ücret ödeme yöntemi ve otobüs konfigürasyonlarının bilinmesiyle birlikte, duruş sürelerindeki tasarrufu hesaplayabilmek için, bu kesitteki hatlarda en yüksek hacimli kapıdan biniş ve/veya iniş yapan yolcu hacmi bilinmelidir.

Toplu taşıma öncelikli iyileştirme sağlanması, yolu kullanan çeşitli kullanıcılar arasında bir ödünleşmeyi gerektirmektedir. Bir öncelik ölçütünü uygularken dikkat edilmesi gereken, bu uygulama sonucunda yolu kullanan herkes için yolcu gecikmesindeki “net kazanç”tır. Tabii ki, maliyet, hizmet kalitesindeki değişim ve daha iyi bir toplu taşıma kullanımını teşvik edici yerel politikalar gibi diğer faktörler de göz önüne alınmalıdır. Metrobüs projesi ile birlikte yolcu gecikmesindeki net kazancı hesaplamak için proje öncesinde ve sonrasında bu kesimi kullanan toplu taşıma taşıtı ve özel otomobil sayısı, doluluğu, hızı ve seyir süreleri bilinmelidir. Bu, aynı zamanda, çevresel etkilerdeki değişimin tahmin edilebilmesi için de gereklidir.

Örneğin, Avcılar-Topkapı Metrobüs hattının yolculuk süresi tasarrufunu hesaplayabilmek için bu kesimdeki otobüs hatlarının proje öncesindeki ortalama seyir sürelerinin bilinmesi gerekmektedir. Seyir süresi güvenilirliğinin ölçülebilmesi için uygulama projesinin otobüs seyir süreleri üzerindeki etkileri değerlendirilmelidir. Bu amaçla, sistemli olarak ölçülen gözlem verileri (proje uygulama öncesi, uygulama sonrası) ve/veya uygun yerlerde konumlandırılmış detektörlerden alınan veriler kullanılabilir.

Hizmet planlarının hazırlanması ve performans analizi için diğer bilinmesi gerekenler:

- Verimli bir hizmet planlaması için sistemdeki darboğazların belirlenmesi ve gerekli iyileştirme önerilerinin geliştirilebilmesi için, zamana bağlı, istasyonlar arası başlangıç son yolcu hacimleri,
- Maksimum yolcu yükü kesiminin belirlenebilmesi için, yöne (ve zamana) göre istasyonlardaki iniş-biniş yolcu hacimleri,
- İstasyonlardaki duruş süreleridir.

KAYNAKLAR

Diaz, et al., (2004), Characteristics of Bus Rapid Transit for Decision-Making, Federal Transit Administration, Project No: FTA-VA-26-7222-2004.1, ABD.

Gerçek, H. ve Demir, O., (2007), Topkapı-Avcılar Metrobüs Projesi ve Yeni Otobüs Alımı Ekonomik ve Mali Fizibilite Etüdü, İstanbul.

Highway Capacity Manual 2000, Transportation Research Board, Chapter 14 and 27, Washington DC.

Jacques, K. ve Levinson H.S., (1997), Operational Analysis of Bus Lanes on Arterials,TCRP Report 26, Transportation Research Board, Washington DC.

Ryus, P., (2003), Transit Capacity and Quality of Service Manuel, 2nd Edition, Kiettelson & Associates, INC: assisted by KFH Group, Inc., Parsons Brinckerhoff Quade & Douglas, Inc. and Dr. Katherine Hunter-Zaworski, Transportation Research Board, Washington DC.

İMP (2006), İstanbul Ulaşım Master Plan Çalışması, İstanbul Metropolitan Planlama, İstanbul Büyükşehir Belediyesi.

TUHM (2008), Avcılar-Topkapı Metrobüs Hattı Yolcu Sayımı ve Anketi Çalışması, Toplu Ulaşım Hizmetleri Müdürlüğü, İstanbul Büyükşehir Belediyesi.

INTERNET KAYNAKLARI

[1]www.iETT.gov.tr.

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi	03.08.1981	
Doğum yeri	İstanbul	
Lise	1992-1999	İstek Özel Uluğbey Lisesi
Lisans	1999-2005	Yıldız Üniversitesi Mimarlık Fak. Şehir ve Bölge Planlama Bölümü
Yüksek Lisans	2005-2008	Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Müh. Anabilim Dalı, Ulaştırma Programı

Çalıştığı kurumlar

2004-2005	Salarha Mimarlık, Mühendislik, Şehircilik Ltd. Şti.
2007-2008	İSBAK (İstanbul Ulaşım Haberleşme ve Güvenlik Teknolojileri San. Ve Tic. A.Ş.)
2008-Devam ediyor	İstanbul Büyükşehir Belediyesi Ulaşım Koordinasyon Müdürlüğü