



**T.C. İSTANBUL TİCARET
ÜNİVERSİTESİ**

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**İSTANBUL METROBÜS TOPLU TAŞIMA SİSTEMİNDE
KULLANILAN OTOBÜS TİPİNİN İSTASYONLARDA BEKLEME
SÜRELERİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

Abdulhamit ÇETİN

**Danışman
Prof. Dr. Mustafa ILICALI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
KENTSEL SİSTEMLER VE ULAŞTIRMA YÖNETİMİ ANABİLİM DALI
İSTANBUL - 2022**

KABUL VE ONAY SAYFASI

Abdulhamit ÇETİN tarafından hazırlanan " **İstanbul Metrobüs Toplu Taşıma Sisteminde Kullanılan Otobüs Tipinin İstasyonlarda Bekleme Sürelerine Etkisinin İncelenmesi**" adlı tez çalışması 26/01/2022 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri önünde başarı ile savunularak, İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Kentsel Sistemler ve Ulaştırma Yönetimi Anabilim Dalı**’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman

Prof. Dr. Mustafa ILICALI
İstanbul Ticaret Üniversitesi

.....

Jüri Üyesi

Dr. Öğr. Üyesi Leyla SURİ
İstanbul Ticaret Üniversitesi

.....

Jüri Üyesi

Prof. Dr. Halit ÖZEN
Yıldız Teknik Üniversitesi

.....

Onay Tarihi : 10.02.2022

İstanbul Ticaret Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsünün 10.02.2022 Tarih ve 2022/339 numaralı Yönetim Kurulu Kararının 2. maddesi gereğince, ders yüklerini ve tez yükümlülüğünü yerine getirdiği belirlenen “Abdulhamit ÇETİN adlı öğrencinin mezun olmasına oy birliği ile karar verilmiştir.

Prof. Dr. Necip ŞİMŞEK
Enstitü Müdürü

AKADEMİK VE ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

İstanbul Ticaret Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada,

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversitede veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

10.02.2022

Abdulhamit ÇETİN

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER.....	i
ÖZET	iii
ABSTRACT	iv
TEŞEKKÜR.....	v
ŞEKİLLER.....	vi
ÇİZELGELER.....	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	viii
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR ÖZETİ	6
2.1. Dünyadaki Metrobüs Sistemleri.....	6
2.2. Yolcu Bekleme, İnme ve Binme Süreleri	7
2.3. Platform Özelliğinin Bekleme Süresine Etkisi	10
3. TOPLU TAŞIMA SİSTEMLERİ.....	12
3.1. Toplu Taşımanın Tanımı	12
3.1.1. Şehir içi toplu taşıma türleri.....	12
3.1.2. İstanbul toplu taşıma sistemleri.....	13
3.2. BRT Sistemleri.....	15
3.2.1. BRT Tanımı	15
3.2.2. BRT Sisteminin Özellikleri.....	16
3.2.2.1. BRT sisteminin başlıca elemanları	16
3.2.2.2. BRT sisteminin performans kriterleri.....	18
3.2.3. Dünyadaki BRT uygulamaları	19
3.3. İstanbul Metrobüs Sistemi	23
3.3.1. Metrobüs geometrik bilgileri	23
3.3.1.1. Hat yapım bilgisi	23
3.3.1.2. İstasyonlar	24
3.3.1.3. İstasyon platform bilgileri.....	25
3.3.1.4. İstasyon envanter bilgileri	27
3.3.2. İşletme bilgileri.....	29
3.3.3. Entegrasyon bilgileri.....	32
3.3.4. Araç bilgileri.....	32
3.3.4.1. Yolcu kapıları	36
3.3.4.2. İçe açılır kapılar (Inward swing doors).....	37
3.3.4.3. Dışa açılır kapı sistemi (Plug Sliding Door).....	38
3.3.4.4. Yolcu kapı arızalarının incelenmesi.....	39
3.3.4.5. Metrobüs kaza verileri	42
3.3.5. Metrobüs kullanım verileri	46
3.3.5.1. Başlangıç yılı veriler	46
3.3.5.2. Mevcut durum verileri.....	46
4. TOPLU TAŞIMA SİSTEMİ BEKLEME SÜRELERİ	51
4.1. CAN – Bus	51
4.1.1. Analog ve dijital sinyaller	53
4.1.2. İkili sinyaller	54
4.2. Toplu Taşıma Telemetry Cihazı.....	55
4.3. CAN-Bus Verileri	56
4.4. Bekleme Süresi.....	58
4.4.1. Kuyrukta bekleme süresi.....	59

4.4.1.1.	Her bir istasyonda kuyrukta bekleme süresi	61
4.4.1.2.	Araç tipine göre kuyrukta bekleme süresi	63
4.4.2.	İstasyonda bekleme süresi	63
4.4.2.1.	Her bir istasyonda iniş-biniş bekleme süresi.....	65
4.4.2.2.	Araç tipine göre iniş-biniş bekleme süresi	67
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....		74
KAYNAKLAR		78
ÖZGEÇMİŞ.....		82

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

İSTANBUL METROBÜS TOPLU TAŞIMA SİSTEMİNDE KULLANILAN OTOBÜS TİPİNİN İSTASYONLARDA BEKLEME SÜRELERİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Abdulhamit ÇETİN

İstanbul Ticaret Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Kentsel Sistemler ve Ulaştırma Yönetimi Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Mustafa ILICALI
2022, 82 sayfa

Lastik tekerlekli toplu taşıma sisteminde çığır açan Metrobüs sistemi, raylı sistemlere göre proje ve uygulamada daha esnek ve daha ekonomik alternatif seçenekler sunmaktadır. Bu nedenle ulaşım otoritelerinin sisteme olan rağbetinin her geçen gün artmasına, diğer yandan yoğunluğuna rağmen yolculuk sürelerinin daha kısa, sefer sıklığının daha fazla olması da yolcuların ilgisine yol açmaktadır. Bu kadar yoğun talep gören sistemde, araç kuyruklarının oluşmasına ve yolcu kapasitesinin düşmesine sebep olan istasyonlardaki sefer aralıklarını aşan bekleme süreleri, farklı uzunluklara sahip olan araçlar için incelenmiştir. İncelemede, İETT'nin geliştirmiş olduğu Telemetri programından elde edilen verilerden yararlanılmıştır.

Hattın en uzun istasyon aralığına sahip olan Sefaköy ve Yenibosna arasında Zincirlikuyu istikametindeki araçların yüksek hızlara ulaşması sonucu, Yenibosna istasyonunda 6,28 saniye araçların kuyrukta bekledikleri tespit edilmiştir. Farklı uzunluklardaki araçlar için yapılan test sonucuna göre istasyonlarda yolcu sirkülasyonunun daha hızlı olması için 18 metre uzunluğundaki araçların yerine 20 metre ve üzerinde yüksek yolcu kapasiteli araçların kullanılması gerektiği saptanmıştır. Yolcu iniş biniş esnasında vuku bulan bekleme sürelerini, aracın kapı genişliği, kapı sayısı, koltuk sayısı, ayakta yolcu durma alanı, alçak tabanlı olup olmaması, kartlı veya nakit ödeme sisteminin araç içinde olup olmaması gibi parametreler etkilemektedir.

Metrobüs sisteminde araçların istasyonlarda bekleme sürelerinin azaltılması ile planlanan sefer aralıklarına uyum sağlanması, istasyonlarda araç kuyruklarının ve sonraki istasyonlarda yolcu birikmelerin önlenmesi, sistemin itibarının ve yolcu memnuniyetinin artması beklenilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Bekleme süresi, durak, Metrobüs, otobüs kapısı, toplu taşıma.

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF BUS TYPE USED IN ISTANBUL BRT PUBLIC TRANSPORTATION SYSTEM ON DWELL TIMES AT STATIONS

Abdulhamit ÇETİN

**İstanbul Commerce University
Graduate School of Applied and Natural Sciences
Department of Urban Systems And Transportation Management**

**Supervisor: Prof. Dr. Mustafa ILICALI
2022, 82 pages**

Bus Rapid Transit (BRT) system, which groundbreaking in the rubber-wheeled public transportation system, offers more flexible and more economical alternative options in project and application compared to rail systems. For this reason, the demand of the transportation authorities for the system is increasing day by day, and on the other hand, the shorter travel times and the higher headway frequencies, despite the intensity, cause the interest of the passengers. In such a high demanding system, dwell times for buses of different lengths, which exceed the headway frequencies at the stations, causing bus queues and reducing passenger capacity, were examined. In the research, the data obtained from the Telemetry program developed by İETT was used.

As a result of the buses reaching high speeds between Sefaköy and Yenibosna, which has the longest station interval of the BRT line, it was determined that buses waited in the queue for 6.28 seconds at Yenibosna station. According to the test result for buses of different lengths, it has been determined that buses with a high passenger capacity of 20 meters and above should be used instead of buses with a length of 18 meters in order to ensure faster passenger circulation at stations. Parameters such as door width of bus, number of doors, number of seats, standing passenger area, whether it is low-floor, whether card or cash payment system is in bus affect dwell times that occur during the passenger boarding and alighting.

With the reduction of dwell times of buses at stations in the BRT system, it is expected to adapt to the planned headway frequencies, prevent vehicle queues at stations and passenger accumulation at subsequent stations, and increase the reputation of BRT system and passenger satisfaction.

Keywords: BRT, bus door, bus stop, dwell time, public transport.

TEŞEKKÜR

Bu araştırma için bana yardımcı olan değerli Danışman Hocam Prof. Dr. Mustafa ILICALI'ya teşekkürlerimi sunarım. Tez yazım aşamasında kıymetli zamanını bana ayırarak rehberlik eden ve engin hoşgörüsü ile beni etkileyen değerli hocam Prof. Dr. Halit ÖZEN'e minnettarım. İlkokuldan bu zamana kadar beni yetiştiren ve geliştiren bütün hocalarıma çok teşekkür ederim.

Tezimde kullandığım verilerin temini konusunda yardımcı olan İETT Genel Müdürlüğündeki kıymetli mesai arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Başta dualarıyla yanımda hissettiğim annem, yüksek lisans sürecinde beni sürekli destekleyen eşim, kendileriyle vakit geçirmek için sabırla bekleyen oğlum ve kızım olmak üzere bütün aileme sonsuz sevgi ve saygılarımı sunarım.

Abdulhamit ÇETİN
İSTANBUL, 2022

ŞEKİLLER

	Sayfa
Şekil 1.1 İETT akıllı ulaşım sistemleri	4
Şekil 2.1 İlk durakta ortaya çıkacak 1 dakikalık gecikmenin sonraki duraklarda yaratacağı tahmini gecikme	8
Şekil 3.1 Toplu taşıma türüne göre günlük taşınan yolculuk payları	14
Şekil 3.2 BRT ile kilometre başına taşınan günlük yolcu sayısı	21
Şekil 3.3 BRT'nin yıllara göre şehirlere yayılması	22
Şekil 3.4 BRT yıllık yapılan uzunluk değişimi	22
Şekil 3.5 Yenibosna istasyonu indirme ve bindirme platformları	26
Şekil 3.6 Cevizlibağ istasyonu indirme ve bindirme platformları	26
Şekil 3.7 Mecidiyeköy istasyonu platform alanı	27
Şekil 3.8 Metrobüs filo yönetim merkezi	31
Şekil 3.9 Metrobüs yol yardım aracı	31
Şekil 3.10 Raylı sistemlerle entegrasyon	32
Şekil 3.11 Mercedes Conecto	34
Şekil 3.12 Mercedes Conecto ölçüleri	34
Şekil 3.13 Mercedes Capacity	35
Şekil 3.14 Mercedes Capacity ölçüleri	35
Şekil 3.15 APTS Phileas	36
Şekil 3.16 APTS Phileas ölçüleri	36
Şekil 3.17 İçer açılır kapı tipi	37
Şekil 3.18 Dışer açılır kapı tipi	38
Şekil 3.19 Raylı sistem araç kapısı	39
Şekil 3.20 Yıllara göre Metrobüs araçlarının arkadan çarpma kaza sayıları	44
Şekil 3.21 Metrobüs kazalarının meydana geldiği saat aralıkları	45
Şekil 3.22 Metrobüs istasyonu içinde yolcuya çarpma saat aralıkları	45
Şekil 3.23 Metrobüs istasyonlarının yolcular tarafından günlük kullanım oranları	49
Şekil 4.1 Aktüatör elemanı	52
Şekil 4.2 Bir ağ geçidine bağlı üç CAN ağı	53
Şekil 4.3 Analog sinyal görüntüsü	54
Şekil 4.4 Dijital sinyal görüntüsü	54
Şekil 4.5 Sinyalin bit kombinasyonu	54
Şekil 4.6 Raporlanabilen CAN-Bus verileri	56
Şekil 4.7 M3225 nolu araç CAN-Bus bilgileri	57
Şekil 4.8 M4565 nolu araç CAN-Bus bilgileri	57
Şekil 4.9 M4656 nolu Mercedes Conecto araca ait CAN-Bus rapor grafiğı	58
Şekil 4.10 Yenibosna istasyonundan geçen bir aracın CAN-Bus rapor örneğı	59
Şekil 4.11 Test kabul - ret grafiğı	61

ÇİZELGELER

	Sayfa
Çizelge 3.1 Toplu taşıma türlerine göre 2019 yılı yolculuk sayıları	14
Çizelge 3.2 Kıtalaraya göre BRT yolculuk bilgileri	20
Çizelge 3.3 Metrobüs yapım aşamaları	24
Çizelge 3.4 Metrobüs istasyonlar arası mesafe	24
Çizelge 3.5 Avrupa yakası istasyon envanter bilgileri.....	28
Çizelge 3.6 Anadolu yakası istasyon envanter bilgileri.....	29
Çizelge 3.7 Raylı sistem sefer aralıkları	30
Çizelge 3.8 Metrobüs araç teknik bilgileri.....	33
Çizelge 3.9 2019 yılı aylara göre içe açılır ve dışa açılır kapı arıza sayıları	40
Çizelge 3.10 2019 yılı aylara göre kapı arıza grupları.....	40
Çizelge 3.11 2019 yılı aylara göre yapılan kilometre bilgileri	41
Çizelge 3.12 İstasyonlara göre yolcu sayıları.....	46
Çizelge 3.13 Pandemi sonrası günlük sefer ve yolculuk sayıları.....	50
Çizelge 4.1 Avcılar-Zincirlikuyu sabah zirve saat kapı kapalı, hız=0 km/h istasyonda bekleme süresi, saniye	60
Çizelge 4.2 İstasyonlarda kuyrukta bekleme süresi Z testi çizelgesi.....	61
Çizelge 4.3 Araç tipine göre kuyrukta bekleme süresi	63
Çizelge 4.4 Araç tipine göre kuyrukta bekleme süresi Z testi çizelgesi	63
Çizelge 4.5 Avcılar-Zincirlikuyu sabah zirve saat kapı açık, hız=0 km/h istasyonda bekleme süresi, saniye	64
Çizelge 4.6 İstasyonlarda bekleme süresi Z testi çizelgesi	65
Çizelge 4.7 Conecto ve Capacity istasyonlarda bekleme süresi ve standart sapması	67
Çizelge 4.8 Conecto ve Capacity Z skoru çizelgesi	68
Çizelge 4.9 Conecto ve Phileas istasyonlarda bekleme süresi ve standart sapması	69
Çizelge 4.10 Conecto ve Phileas Z skoru çizelgesi.....	70
Çizelge 4.11 Capacity ve Phileas istasyonlarda bekleme süresi ve standart sapması	71
Çizelge 4.12 Capacity ve Phileas Z skoru çizelgesi.....	72

SİMGELER VE KISALTMALAR

AUS	Akıllı Ulaşım Sistemleri
BRT	Bus Rapid Transit (Hızlı Otobüs Taşımacılığı)
CAN	Control Area Network (Kontrol Alan Ağı)
DPT	Devlet Planlama Teşkilatı
HOT	Yüksek Hızlı Otobüs Taşımacılığı
HOV	High Occupancy Vehicle (Yüksek Kapasiteli Araç)
ISO	International Organization for Standardization (Uluslararası Standardizasyon Kuruluşu)
İBB	İstanbul Büyükşehir Belediyesi
İETT	İstanbul Elektrik Tramvay ve Tünel İşletmeleri Genel Müdürlüğü
NACTO	National Association of City Transportation Officials
SAE	Society of Automotive Engineers (Otomotiv Mühendisleri Topluluğu)
SCADA	Supervisory Control and Data Acquisition (Merkezi Denetim ve Veri Toplama)
TDK	Türk Dil Kurumu
TÜİK	Türkiye İstatistik Kurumu

1. GİRİŞ

Türkiye'nin en büyük şehirlerinden birisi olan İstanbul, tarihi yapısının yanında kültürel, sosyal ve ekonomik açıdan cazibe merkezi olarak varlığını sürdürmektedir. Türkiye'nin farklı şehirlerinden çalışmak amacıyla göç eden insanların barınma ihtiyaçlarının karşılanması için şehir, doğuda Kocaeli batıda Tekirdağ istikametinde sürekli genişlemektedir. Kuzeyinde Karadeniz, güneyinde Marmara denizi nedeniyle sınırlanan şehirde ulaşım altyapısı, bilinçli planlamayı gerekli kılmaktadır. Sürekli genişleyen şehirde yaşayanların ve turistik amaçla şehri ziyaret eden misafirlerin ulaşım ihtiyaçlarının karşılanması için hem merkezi hem de yerel yönetimler çözümler geliştirmektedir. İstanbul'da toplu taşıma hizmetleri, İstanbul Büyükşehir Belediyesi (İBB) himayesinde İstanbul Elektrik Tramvay ve Tünel İşletmeleri (İETT) Genel Müdürlüğü tarafından yürütülmektedir.

İBB İstanbul'da trafik yoğunluğunu azaltmak, hızlı ulaşımı sağlamak ve trafik kaynaklı ekonomik kayıpların azaltılması için hızlı otobüs taşımacılığı olarak bilinen ve dünyada giderek yaygınlaşan Metrobüs sistemini, 2006 yılında planlamış ve 2007 yılından itibaren 4 aşamada Beylikdüzü – Söğütluçeşme güzergâhında hizmete almıştır. Metrobüs sisteminde, toplu taşıma otobüsleri ile diğer araçların farklı altyapıyı kullanmaları nedeniyle trafik yoğunluğu kaynaklı gecikmelerin önüne geçilerek trafikte geçen yolculuk süreleri kısalmıştır.

Şehir içi toplu taşıma hizmetlerinde sabah ve akşam yoğun saatlerde güzergâhı uzun ve durak sayısı fazla olan hatlarda, yolculuk süresini kısaltmak için hattaki mevcut araçlarla aradaki bazı duraklara uğramadan belli duraklardan yolcu binmesi/inmesi ile yapılan "Hızlı Sefer", "Ekspres Sefer" gibi uygulamalar bulunmaktadır. Bu tür uygulamalarda toplu taşıma araçları, Metrobüs sistemindeki gibi ayrılmış yol olmadığı için diğer araçlarla aynı yolu kullanmakta ve yolcu ücretleri araç içerisinde tahsil edilmektedir.

Metrobüs sisteminde toplu taşıma hizmeti belirlenmiş koridor boyunca gerçekleşirken, “Hızlı Sefer” uygulamasında ise birbirinden bağımsız birçok hatta uygulama imkânı sağlanmaktadır. Karışık trafikte gerçekleştirilen bu uygulama Metrobüs sisteminin uygulanamadığı yerlerde toplu taşıma kullanan yolculara önemli bir avantaj sağlamaktadır.

Güvenilirlik, hatların planlanan tarifeye uygun çalışması, güvenli olması, talebi karşılayabilecek yeterli kapasitenin sunulması gibi farklı faktörlere bağlı olup hatların yolculuk sürelerinin hesaplanması ile bulunmaktadır. Güvenilirliği etkileyen faktörler, hatların geçtiği güzergâha ait trafik durumu, sefer sıklığı, sefer süresi, hat uzunluğu ve yolcu karakteristikleri olarak sınıflandırılabilir (Özuysal vd., 2016).

Metrobüs sisteminde güvenilirlik kriteri, bu sistem için ayrılmış yol üzerinde ve araca binmeden önce istasyon girişlerinde ödemenin gerçekleşmesi nedeniyle oldukça yüksektir. Bu özellikten dolayı toplu taşıma kullanıcıları, Metrobüs sistemini daha çok tercih etmektedir. İstanbul’daki Metrobüs sisteminin yolcu sayısı, giderek artmış olup günlük ortalama 900.000 kişiye ulaşmıştır.

Artan yolcu talebi nedeniyle her geçen gün iyileştirme çalışmaları yapılan Metrobüs sisteminde zaman zaman aksaklıklar yaşanabilmektedir. Metrobüs hattında gidiş ve dönüş için tek şeridin olması, sollama şeridinin olmaması, istasyon içerisinde araç arızalanması, yolcu indirme ve bindirme esnasında oluşan bekleme sürelerinin sefer aralıklarından uzun olması gibi durumlarda uzun araç kuyruklarının oluşması kaçınılmaz olmaktadır.

Aracın kapı genişliği, kapı sayısı, koltuk sayısı, ayakta yolcu durma alanı, alçak tabanlı olup olmaması, kartlı veya nakit ödeme sisteminin araç içinde olup olmaması gibi parametreler yolcu iniş ve biniş sürelerini etkilemektedir.

İstanbul Metrobüs saha gözlemlerinde, bu parametrelere ilave olarak özellikle yolcu yoğunluğu olan saatlerde, kapıların araç içine açılmasının veya dışarıya açılmasının da bekleme süresini etkilediği müşahade edilmiştir. Araç içerisinde

yolcu yoğunluğu fazla olduğunda kapı kenarlarında bulunan yolcular, kapıların açılıp kapanmasına engel olabilmektedir. Kapılarda yolcu sıkışmasını önlemek için mevcut olan sistem devreye girerek kapıların kapanması gecikmektedir. İstanbul Metrobüs sistemindeki araçlarda “içe açılır” ve “dışa açılır” kapı tipleri kullanılmaktadır. Kapıların bu özelliği, araçların ve yolcuların duraklarda geçirdiği süreyi kısaltabilir veya uzatabilir.

Bu araştırmada, Metrobüs sisteminde sabah yoğun saatlerde Avcılar Zincirlikuyu arası istasyonlar içerisinde yolcu indirme ve bindirme esnasında araçların kuyruktaki ve istasyondaki bekleme süreleri ele alınmıştır. Bekleme süresi, istasyona gelen aracın tam durması, kapıları açması, yolcuların inmesi ve binmesi, kapıların tam kapanması ile harekete geçtiği ana kadar harcanan süredir.

Bekleme sürelerinin kapasiteyi belirlemede kilit rol oynaması gibi, yolcu talep hacimleri ve yolcu hizmet süreleri de bekleme sürelerini belirlemede kilit öneme sahiptir. Bekleme süreleri, binış talebi, iniş talebi veya toplam karşılıklı değişen yolcu talebi (yani, büyük bir transfer noktasında) tarafından yönetilebilir. Her durumda, bekleme süresi yolcu başına hizmet süresinin binış ve iniş hacimleri ile orantılıdır. Bekleme süresi, aynı zamanda bir toplu taşıma operatörünün hizmet maliyetlerini de etkileyebilir: ortalama araç hızları, bekleme süresinin azaltılmasıyla artabiliyorsa ve toplam değişiklik araçlar arası mesafeyi artırıyorsa, aynı servis frekansını sağlamak için daha az araca ihtiyaç duyulabilir. Otobüs yolu veya yüksek kapasiteli araç (HOV) şeridinde çalışan bir otobüsün ortalama hızı üç faktöre bağlıdır: otobüsün şeritteki çalışma hızı, otobüs durak aralığı ve otobüs duraklarında kalma süresi (HCM2000, 2010).

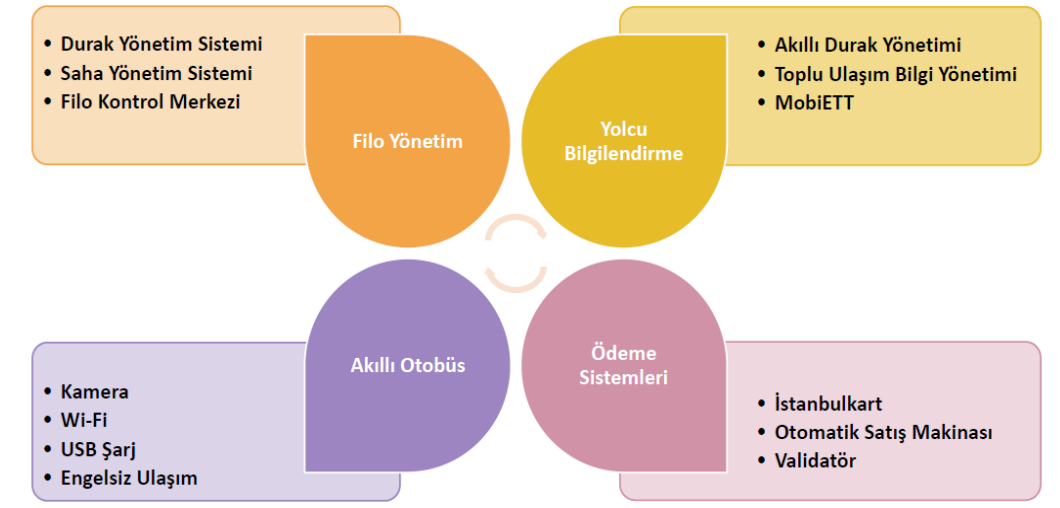
Bir aracın yolcuları bindirmek ve indirmek için durduğu süre olan bekleme süresi, genellikle hız ve kapasitenin temel belirleyicisidir (TCQSM, 2013). Bekleme süresi, aşağıdaki faktörlerle doğrudan ilişkilidir.

- Yolcu binme ve inme hacmi,
- Ücret ödeme metodu,
- Araç tipi ve boyutu,

- Araç içi dolaşım.

Akıllı ulaşım sistemleri (AUS), bilgisayar, iletişim ve elektronik gibi gelişmiş teknolojiler üzerine kurulmuş, gerçek zamanlı ve güncel veri tabanlarını kullanan, ulaşım konusundaki etkinliği, güvenliği ve hizmet kalitesini geliştirmek amacıyla daha çok işletme, kontrol ve yönetim problemlerinin çözümüne yönelik hizmet veren sistemlerin ortak adı olarak tanımlanmıştır (İETT, 2019a).

İstanbul'daki toplu taşımada kullanılan akıllı ulaşım sistemleri Şekil 1.1'de gösterilmiştir.



Şekil 1.1 İETT akıllı ulaşım sistemleri

Bu araştırmada, farklı uzunluktaki araçların sabah yoğun saatlerde istasyonlarda bekleme süreleri, İETT'nin geliştirmiş olduğu bir programdan alınarak raporlanmıştır. Raporlama, akıllı ulaşım sistemlerinin gereği olarak araçlarda bulunan CAN-Bus sistemi ile elektronik kontrol üniteleri arasındaki sinyal iletişimi sayesinde oluşturulmuştur.

Araçların hız, motor devri, soğutma suyu sıcaklığı, kapı açık-kapalı durumu, arıza uyarı ve konumu gibi birçok özellikleri dijital ortamda online takip edilebilmektedir.

Araştırma kapsamında, Mercedes Conecto, Mercedes Capacity ve Phileas araçların yaptıkları kilometreye göre kapı arızaları, istasyon içerisinde yolcuya çarpma durumları ile arkadan çarpma nedeniyle oluşan kazalar incelenmiştir.

Metrobüs istasyonlarında, iniş-biniş esnasında gecikme veya arıza – kaza nedeniyle otobüs akışı engellendiğinde hatta tıkanıklık meydana gelmekte ve hattın kapasitesi etkilenmektedir. İstasyon alanında otobüslerin sefer aralıklarından daha fazla bir süre beklemesi, arkadan gelen araçların kuyruk oluşturmasına yol açmaktadır.

Araç bekleme süresi, yüksek frekanslı, yüksek yolculu toplu taşıma hatlarında yolcu kapasitesini ve hizmet kalitesini belirleyici önemli bir parametredir. Bekleme süresi, araç yolculuk süresini, belirli bir zaman içerisinde çalışması gereken araç sayısını ve hattın kapasitesini doğrudan etkilemektedir. Sefer sıklığının değişmesi, araçlara binecek yolcu dağılımının düzensizliğine ve artan kalabalıktan dolayı yolcuların verilen hizmetten memnun olmamalarına yol açabilir. Yolcu sayısının az olması, sefer aralığının yüksek olması ve ödemenin araç dışında olması durumunda istasyonda bekleme süresi önemli bir parametre olmayabilir ancak tam tersi durumda ödemenin araç dışında olması bile bekleme süresini önemli hale getirebilir.

Bekleme süresi, istasyonlardan araçların geç ayrılması ve diğer istasyonlarda yolcu birikmesi nedeniyle sadece kapasiteyi değil tüm sistemi olumsuz etkileyebilecektir. Metrobüs sisteminde araçların istasyonlarda bekleme sürelerinin azaltılması ile planlanan sefer aralıklarına uyum sağlanması, istasyonlarda araç kuyruklarının ve sonraki istasyonlarda yolcu birikmelerin önlenmesi, sistemin itibarının ve yolcu memnuniyetinin artması beklenilmektedir.

2. LİTERATÜR ÖZETİ

Metrobüs toplu taşıma sisteminin kalitesinin artırılması ve karşılaşılan sorunlarla ilgili pek çok araştırma yapılmıştır. Literatür taramasında Metrobüs sisteminin ilk fikir olarak ortaya atılmasından sonra sistemden elde edilen başarı sonucu dünyaya yayılması, daha sonra istasyonlarda iniş biniş esnasında oluşan bekleme süreleri ve sistemde kullanılan platform özelliklerinin bekleme sürelerine etkileri ile ilgili önceki çalışmalar incelenmiştir.

2.1. Dünyadaki Metrobüs Sistemleri

Son yıllarda gündeme çok gelen ve Türkiye’de Metrobüs ismiyle bilinen BRT sistemi, yeni bir sistem olmayıp 1930 yılından itibaren farklı BRT alternatifleri üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Bu kapsamda 1937 senesinde Chicago, 1956 senesinde Washington, 1959 senesinde St. Louis ve 1970 senesinde Milwaukee için planlanmasına rağmen gerçek anlamda ilk olarak 1974 yılında Brezilya’nın Curitiba şehrinde hayata geçirilen ve ‘Rede Integrada de Transporte’ yani ‘Entegre Ulaşım Ağı’ olarak bilinen toplu ulaşım türüdür. Metrobüs sistemi, trafik tıkanıklığı ve kentsel yayılma konularına karşı mücadelede oldukça etkili olduğu görülünce birçok kentin ilgisini çekmeyi başarmıştır (Akı, 2012; Levinson vd., 2002)

Deng ve Nelson (2011) Metrobüs ile ilgili dünyadaki son gelişmeleri ve Metrobüsün bölge gelişimine etkisini ele aldığı araştırmasında, hızla artan trafik sıkışıklığı nedeniyle trafik sorunlarını azaltmak amacıyla ulaşım ile ilgili karar verenlerin, yüksek kapasiteli ve kaliteli farklı ulaşım modlarına sevk ettiğini belirtmiştir. Yıllarca ulaşım iyileştirme seçeneği olarak raylı sistemlerin tercih edildiğini ancak yüksek yatırım maliyeti ve bütçe sınırı olan şehirlerin bu durumdan olumsuz etkilendiğini, dünya çapında birçok şehirde maliyet etkinliği dolayısıyla Metrobüsün raylı sistemin tamamlayıcısı olarak görüldüğünü ifade etmiştir (Deng ve Nelson, 2011).

Şerit sayısına bağlı olarak Metrobüs sistemi ile saatte tek yönde 20.000–45.000 yolcu kapasitesine ulaşabilmek mümkündür. Örneğin Dünya’da uygulanan başarılı Metrobüs sistemlerinin başında yer alan Kolombiya’daki Bogota TransMilenio Metrobüs sistemi çift şerit olarak işletilmekte olup saatte tek yönde 45.000 düzeyinde yolcu taşımaktadır (Cirit, 2014)

2.2. Yolcu Bekleme, İnme ve Binme Süreleri

Bekleme süresi, kapasiteyi hesaplamada en önemli bileşenlerden birisidir. Bekleme süresi, bir otobüsün yolculara hizmet vermek için durduğu sırada, kapıların açılması, en yoğun kapıdan yolcu inip binmesi ve kapıların kapanması için gereken süre toplamıdır (HCM2000, 2004).

El-Geneidy ve Vijayakumar, körüklü otobüslerin bekleme ve işletme sürelerine etkisini ele aldığı araştırmasında, Levinson vd. (2002) körüklü otobüslerin Metrobüs sisteminin bir parçası olarak kullanılmasını önerdiğini belirterek körüklü otobüslerin her durakta iniş biniş hızını artırabileceği gibi hatta ihtiyaç duyulan otobüs sayısını azaltabileceğini belirtmiştir (El-Geneidy ve Vijayakumar, 2011; Levinson vd., 2002)

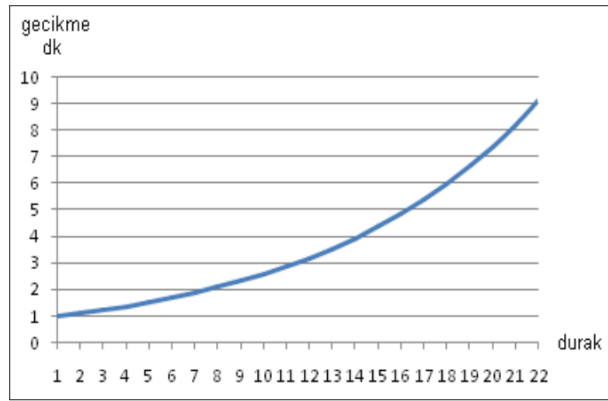
Candem ve Tanyel, hızlı raylı sistemle ilgili bildirisinde raylı ulaşımlarda bekleme süresinin 15 ile 40 saniye arasında değişkenlik gösterdiğini, pik saatlerde yoğun istasyonlarda bu sürenin 45 saniyenin üzerine çıkabildiğini, güvenlik artırıcı ek süre olan operasyon sınır zamanın Metrolarda genellikle 15 -25 saniye kabul edildiğini belirtmiştir (Candem ve Tanyel, 2005).

Jaiswal vd. (2009) geleneksel otobüs bekleme süresi hesaplama yaklaşımının, istasyonlardaki yolcu yoğunlukları, çoklu otobüs hizmetleri, otobüs kuyrukları ve kayıp zamanlar gibi önemli değişkenler nedeniyle BRT istasyonlarında uygulanamayacağını ifade etmiştir (Jaiswal vd., 2009).

Duraklarda otobüs bekleme süresi, seyahat süresinin ve ulaşım ağındaki değişikliğin önemli bir bileşenidir. Geleneksel olarak, bir durakta harcanan

otobüs bekleme süresi, inen ve binen yolcuların sayısı ile bir otobüsün kapılarını açıp kapamak için gereken sürenin bir fonksiyonu olarak dikkate alınır. Metrobüs işletimi bekleme süresinde meydana gelen değişiklikler bir domino etkisine neden olabilir ve hizmet güvenilirliğinde ve hattaki otobüs kapasitesinde azalmaya neden olabilir (S. Jaiswal vd., 2010).

Kılıoğlu, Metrobüs sisteminde kapasite artışı ile ilgili yapmış olduğu tezinde, istasyonların ikili-üçlü grup kalkışlarına izin verdiğini ifade ederek duraklarda indi-bindi sürelerinin 2 katına artırılabilirliğini belirtmesinin yanında mevcut sistemde yoğunluktan dolayı iki kere aracın durmasıyla kayıp sürelerin arttığını belirtmiştir. Ayrıca Şekil 2.1'deki grafikte görüldüğü gibi ilk duraklarda yaşanan gecikmenin son durakta 9 dakikaya çıktığını tespit etmiştir (Kılıoğlu, 2010).



Şekil 2.1 İlk durakta ortaya çıkacak 1 dakikalık gecikmenin sonraki duraklarda yaratacağı tahmini gecikme (Kılıoğlu, 2010)

Cundil ve Watts (1973), Levine ve Torng (1994), Vandebona ve Richardson (1985) bekleme süresinin kapı açma ve kapama süresi dahil olmak üzere her duraktaki yolcu sirkülasyonuna bağlı olduğunu belirterek artan bekleme süresinin, artan yolcu sirkülasyonundan kaynaklandığını ifade etmektedir (El-Geneidy ve Vijayakumar, 2011).

Yurdağül araştırmasında, yolculuk talebinin yoğun olduğu saat ve yönlerde araçların ilk istasyondan gecikmeli kalkmasının, ara istasyonlarda yoğunluğu ve iniş biniş süresini artırdığını, sistemin kapasitesini düşürdüğünü, araçların

birbirlerini sollayamaması ve dolu kalkan araçların ara istasyonlarda beklemesi nedeniyle ileriki duraklara boş araç gönderilmesinin önemli bir rahatlama sağlayamadığını belirtmiştir (Yurdagül, 2012).

OECD-IEA (2002) Metrobüs sistemlerinde işletme hızının 20-25 km/s, kat edilen mesafenin 500 km ve bekleme süresinin ise 1-10 dakika civarında değiştiğini belirtmiştir (Cirit, 2014).

Wright (2004) tarafından BRT sistemlerinde kapasitenin; taşıt yolcu kapasitesine, taşıt sayısına, iki taşıt arasındaki süreye ve taşıt geçiş sıklığına, taşıt doluluk oranlarına, devir hızını artıracak teknolojilere, servis ve işletme yapısına, güvenlik, konfor ve uygun ücretlendirmelere bağlı olduğunu ifade etmiştir (Deli, 2015).

Metrobüs istasyonlarında kuyrukta bekleme ve kapasite doygunluk derecesi arasındaki ilişkiyi tahmin etmek için matematiksel model üzerinde çalışılmıştır (Widanapathirana, 2015).

Wang (2016) Otobüsün hızlanma, yavaşlama, ölü zaman, yolcuların iniş biniş sürelerini içeren istasyonda bekleme süresini ve kaybedilen süreyi tahmin etmek için çalışmalar yapmıştır (Wang vd., 2016).

Sadeghpour (2016) tezinde otobüs hizmet sürelerini etkileyen yolcuların yaşı, cinsiyeti, otobüslerin doluluğu ve otobüs tipleri gibi faktörler açısından biniş ve iniş sürelerini ele almıştır (Sadeghpour, 2016).

Pamuk (2017), Metrobüs istasyonlarındaki kameralar aracılığıyla her bir istasyonda 10 aracın ortalama bekleme sürelerini incelemiş ve bekleme sürelerini düşürmesi amacıyla yolcu davranışlarını da göz önünde bulundurmuştur. Duraklarda bekleme sürelerini azaltıp kapasite artışı sağlamak için 3'lü grup kalkışları, eşdeğer uzunluktaki araçların çalıştığı istasyonlarda uygun kılavuz çizgileri ile yolcu hareketlerinin düzenlenmesini önermiştir (Pamuk, 2017).

2.3. Platform Özelliğinin Bekleme Süresine Etkisi

Yolcu bekleme alanı (durak, istasyon), yolcunun istenilen otobüse binmek için otobüs giriş kapısına yürümesi ihtiyacını karşılar. Yolcu istasyonu talebi, yolcuların sırayla yürümesi nedeniyle istasyonun kalabalıklaşmasına neden olur. Otobüs kayıp zaman değişikliğine platform kalabalığı, yolcu yürüyüşü ve otobüsün kendisi arasındaki karmaşık süreç etki eder. Yolcunun yürüyüşünü ve bekleme yerini, diğer yolcularla karşılaşmaya neden olan istasyon yoğunluğu belirler. Kayıp zamanın, istasyondan istasyona ve pik ve pik dışı dönemler arasında platform genelinde değişiklik gösterdiği tespit edilmiştir (S. K. Jaiswal, 2010).

Hidalgo ve diğerleri (2013) yolcu kapasitesinin, ulaşım sistemlerinin önemli performans ölçütlerinden biri olduğunu belirtmiş, BRT sistemlerinde kapasite artırımı için öngörülen iyileştirme kalemlerini şöyle özetlemiştir:

- Sollama kesimleri oluşturulması,
- Önceden ödemeli biletler,
- Çok kapılı büyük otobüsler,
- Ekspres ve yerel servisler,
- Hemzemin kavşaklarda etkili trafik mühendisliği çözümleri (Deli, 2015).

İstasyonlarda çift şerit olması kapasiteyi yaklaşık iki katına çıkarmakta fakat bununla beraber; bütün BRT hattının çift şerit olması ise kayda değer bir kapasite artışı sağlamamaktadır (Deli, 2015).

Tirachini (2013), Fletcher, El-Geneidy (2013) araştırmasında iniş biniş sürecini etkileyen araçla ilgili (kapı genişliği ve adedi, girişte basamak durumu, koltuk sayısı, ayaktaki yolcu alanı) olan ve ücret toplama sistemi (ön ödemeli, otobüs içi ödeme, kart dolum) ilgili özellikler ele alınmıştır (Özuysal vd., 2016).

SFMTA (2012) sürücüyü etkileşime girmeden önceden ödeme sistemi ile ilgili olarak bütün kapılardan binişleri analiz etmesi sonucu, bekleme sürelerinde yolcu başına ortalama %38 azalma, %2 binişin artmasına rağmen otobüs

hızlarında %2 artış ve ücret ödemedir kaçınma %7,9 oranında azalma sağlandığını tespit etmiştir (NACTO, 2017).

Yolcuların bekleme süresi, araç dışı (durağa yürüme ve durakta bekleme) ve araç içi (seyahat) sürelerinden oluşan toplam yolculuk sürelerinin %10 ila %30'unu (VTPI,2015) oluşturduğu bildirmiştir. Doğan ve Özuysal, İzmir toplu taşıma sisteminde kullanılan akıllı kart verileri ile yolcu iniş biniş sürelerini modellemiş ve biniş süresinin yolcu başına 4,23 saniye, iniş süresinin 1,0 saniye olduğunu tespit etmiştir (Doğan ve Özuysal, 2017).

Önden, Doğan ve Eldemir (2019) Metrobüs istasyonlarının belirlenmesi ile ilgili araştırmasında Metrobüsün, metro yatırımlarına göre daha hızlı gerçekleştirilebilen ve lastik tekerlekli alternatiflerine göre yüksek kapasiteli taşıma hizmeti sunabilen bir taşıma türü olduğunu belirterek, istasyon seçimlerinde sadece uzman görüşüyle yetinilmemesini, analitik etütlerin gerekliliğini ifade etmiştir (Önden vd., 2019).

3. TOPLU TAŞIMA SİSTEMLERİ

3.1. Toplu Taşımanın Tanımı

Toplu taşıma, Türk Dil Kurumu tarafından “Bir şehir halkının ulaşım gereksiniminin, çok sayıda insan taşımaya elverişli büyük taşıma araçlarıyla karşılanmasını sağlayan ulaşım sistemi” olarak tanımlanmıştır (TDK, 2021).

Şehirlerin gelişmesiyle birlikte günümüzde insanların evden başlayıp işe, okula, diğer yerlere olan veya ev uçlu olmayan yolculuklarının karşılanması için şehirde yaşam kalitesini artıran ve yaşamı kolaylaştıran bir toplu taşıma sistemi zaruri bir ihtiyaç olarak görülmektedir. Toplu taşıma sisteminin yetersiz kaldığı durumlarda insanlar ihtiyaçlarını, bireysel araçlarla veya kendiliğinde ortaya çıkan ve disipline edilmekte zorlanıldığı bilinen dolmuşlarla (DPT, 2001; Saatçioğlu ve Yaşarlar, 2012) karşılamak zorunda kalmaktadır. Bu durum daha sonra mevcut yolların kapasitesinin aşması ile hem trafik yoğunluklarına hem de çevresel gürültülere/görüntü kirliliklerine yol açabilmektedir.

3.1.1. Şehir içi toplu taşıma türleri

Şehir içinde insanların hareketliliklerinin sağlanması için toplu taşıma sistemi olarak karayolu, demiryolu (tramvay, metro, funiküler, teleferik) ve denizyolu araçları kullanılmaktadır.

Abbasgil (1994), raylı sistemlerin toplu taşımada kullanılan otobüsleri besleyici olarak çalıştığını, ara toplu taşıma sistemleri olan dolmuş ve minibüslerin toplu taşıma sisteminin yetersiz kaldığı durumlarda ortaya çıkan araçlar olduğunu ifade etmiştir (Saatçioğlu ve Yaşarlar, 2012).

Abbasgil (1994) deniz ulaşımında kullanılan araçların yüksek yolcu kapasiteleri ile güvenli olduğunu ve kara trafiğinde görülen sıkışıklık karşısında daha hızlı ulaşım avantajı sağladığını belirtmiştir (Saatçioğlu ve Yaşarlar, 2012).

Abbasgil (1994), Saatçioğlu ve Yaşarlar (2012), sanayileşme ile birlikte dünyanın büyük kentlerinde en önemli sorunlardan birisi olarak ulaşımın görüldüğünü belirterek özellikle gelişmiş ülkelerdeki kent yönetiminin trafik sıkışıklığı ve yolcu taşımanın verimliliği açısından toplu taşıma sisteminin gerekliliğini vurgulamışlardır.

3.1.2. İstanbul toplu taşıma sistemleri

18. yüzyılda ulaşımın atlı arabalar ve kayıklarla sağlandığı İstanbul'da, dünyanın ilk tramvayı New York'ta (1842), dünyanın ilk metrosunun Londra'da (1863) hizmete girmesinin ardından 1869 yılında Eugene Henri Gavand adlı Fransız mühendisin Galata'dan Pera'ya dünyanın ikinci yeraltı demiryolunun yapılması için girişimde bulunması ve aynı yıl ilk atlı tramvayın Tophane - Ortaköy hattında çalışmaya başlaması ve sonrasında Dersaadet Tramvay Şirketinin (1871) kurulmasıyla toplu taşıma sisteminin temelleri atılmıştır. Açıldığı 30 Ocak 1875 tarihinden itibaren halkın ilgisine mazhar olan Tünel'de 14 gün içerisinde 75 bin yolcu seyahat etmiştir. 1914 yılında elektrikli tramvay işletmeciliğine geçen kurumda, 1926 yılında 4 adet Renault Scemia marka otobüslerin alınmasıyla ilk otobüsler kullanılmaya başlanmıştır. 1939 yılında Elektrik, Tramvay ve Tünel İşletmelerinin millileştirilmesi sonucu günümüzde toplu taşıma denilince akla ilk gelen isim olan İETT çatısı altında şirketler toplanmıştır. 1981 yılında ilk ekspres seferler, 1987 yılında ilk deniz otobüsü seferleri ve 1988 yılında ilk Hafif Raylı Sistem seferleri ile toplu taşıma sistemi gelişmeye devam etmiştir (İETT, 2021).

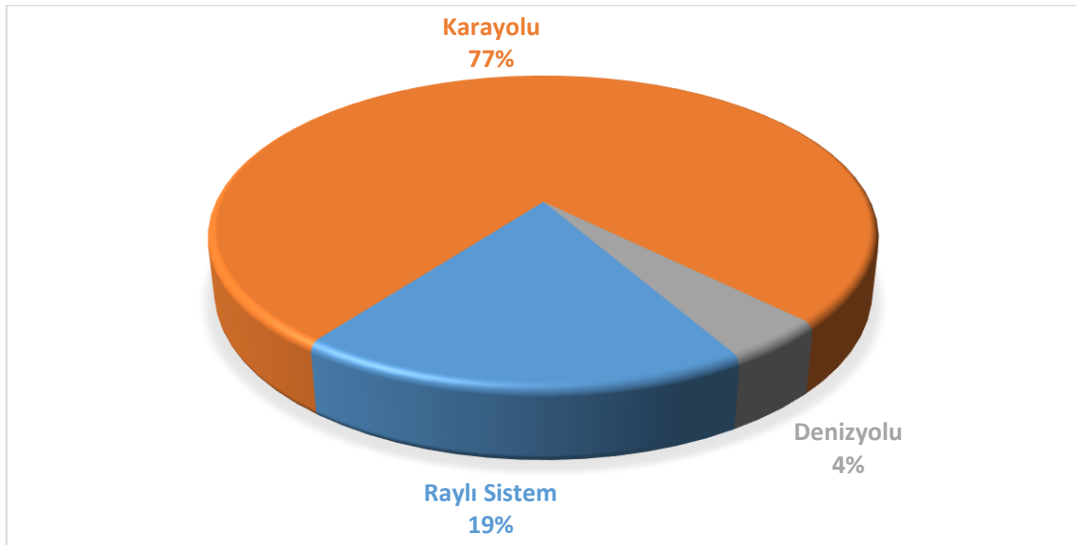
Zamanla artan şehir nüfusu ve teknolojik gelişmelere göre toplu taşıma sistemlerinde kullanılan otobüsler, biletler, duraklar, yolcu bilgilendirme gibi birçok alanda değişiklikler görülmüştür.

İstanbul'da şehir içi toplu taşıma sistemi olarak raylı sistemler, karayolu ve denizyolu ulaşım sistemleri bulunmaktadır. Çizelge 3.1'de 2019 yılı toplu taşıma türüne göre yolcu sayıları verilmiştir (İETT, 2019b).

Çizelge 3.1 Toplu taşıma türlerine göre 2019 yılı yolculuk sayıları

Toplu Taşıma Türü		Günlük Yolcu	Toplam
Raylı Sistem	Metro/ Hafif Metro	1.654.777	2.822.291
	Tramvay	677.222	
	Teleferik / Nostaljik Tramvay / Tünel / Funiküler	59.674	
	TCDD (Marmaray)	430.618	
Karayolu	İETT Otobüs/ Metrobüs	2.059.151	11.682.191
	Özel Halk Otobüsü	1.607.036	
	Otobüs A.Ş.	860.801	
	Minibüs	2.911.163	
	Taksi / Taksi Dolmuş	1.403.949	
	Servis	2.867.502	
Denizyolu	İDO	163.434	644.851
	Şehir Hatları	231.444	
	Özel Tekne / Motor	249.973	
Toplam			15.149.333

Toplu taşıma türlerine göre 2019 yılı günlük taşınan yolculuk payları Şekil 3.1'deki grafikte gösterilmektedir.



Şekil 3.1 Toplu taşıma türüne göre günlük taşınan yolculuk payları

Toplu taşıma türlerine göre en fazla yolculuk payı, karayolu ile yapılan ulaşım araçları ile sağlanmaktadır. Karayolu ile yapılan günlük yolculukların %49'u minibüs ve servis araçları ile sağlanırken, %39'u otobüslerle, %12'si taksi ve taksi dolmuş araçları ile sağlanmıştır.

Raylı sistemleri ile taşınan günlük yolculukların yaklaşık %60'ı metro ve hafif metro araçları ile gerçekleşmiştir. En az yolculuk payına sahip olan denizyolu araçları ile taşınan günlük yolculukların yaklaşık %40'ı özel tekne ve motorlarla yapılmıştır. Denizyolu ulaşımı için elverişli bir şehir olan ancak bu imkandan yeterince yararlanamayan İstanbul'da karayolundaki toplu taşıma yükünü ve şehir trafiğini azaltmak amacıyla denizyolu ulaşımına öncelik verilmesi gerekmektedir.

3.2. BRT Sistemleri

3.2.1. BRT Tanımı

BRT sistemi ile ilgili birbirine yakın olan farklı tanımlamalar yapılmıştır. Bu kapsamda BRT sistemini;

Thomas (2001), *“demiryolu taşımacılığının kalitesi ile otobüslerin esnekliğini birleştirebilen hızlı bir ulaşım”*,

Levinson vd. (2003), *“İstasyonları, araçları, servisleri, güzergah yollarını ve AUS elemanlarını güçlü bir kimliğe sahip entegre bir sistemde birleştiren esnek, lastik tekerlekli bir hızlı ulaşım”*,

Kanada Kentsel Ulaşım Birliği (2004), *“İstasyonları, araçları, güzergâh yollarını, esnek bir çalışma planını ve teknolojiyi yüksek kaliteli, müşteri odaklı, sık, hızlı, güvenilir, konforlu ve uygun maliyetli bir hizmette birleştiren lastik tekerlekli bir hızlı toplu taşıma”* hizmeti olarak tanımlamışlardır (Deng ve Nelson, 2011).

BRT sistemi, Sürdürülebilir Taşımacılık Merkezi (2006) tarafından hızlı, konforlu ve maliyet etkin bir ulaşım ve yolculuk imkanı sağlayan, sadece otobüslere ait şeritler ile raylı taşıma sisteminin performansını daha ucuz maliyetle

gerçekleştirmeye çalışan bir toplu taşıma sistemi olarak tanımlamıştır (Kılıoğlu 2010)

Ülkemizde Metrobüs olarak bilinen BRT sistemi, yüksek hızlı otobüs taşımacılığı (HOT) (Önden vd., 2019) olarak da isimlendirilmektedir. Diğer ülkelerde ise BRT sistemi; yüksek kapasiteli otobüs sistemleri, yüksek kaliteli otobüs sistemleri, Metrobüs, hızlı otobüs sistemleri ve otobüs yolu sistemleri gibi farklı isimlerle bilinmektedir (Orhan, 2010)

Metrobüs sistemi, yer altı metro sistemlerinde olduğu gibi trafikten ayrılmış yalnızca kendine tahsisli özel bir hatta yüksek kapasiteli ve alçak tabanlı otobüsler ile sık sefer aralıklarıyla işletilen dakik, konforlu, hızlı, kaliteli ve maliyet – etkin bir toplu taşıma sistemidir. Sistemin özelliği metro gibi yüksek yolcu kapasitesini otobüs sisteminin esnekliği ve maliyet avantajlarıyla sağlamasıdır. Metrobüs sistemlerini diğer otobüs sistemlerinden veya raylı sistemlerden ayıran kendilerine has özellikleri mevcuttur (Cirit, 2014).

3.2.2. BRT Sisteminin Özellikleri

BRT sisteminin özellikleri açısından başlıca elemanları ve performans kriterleri açısından ele alınacaktır.

3.2.2.1. BRT sisteminin başlıca elemanları

BRT sisteminin kurulması esnasında başlıca 7 elemanı üzerinden değerlendirilmektedir. Bunlar; seyir yolları, istasyonlar, araçlar, servisler, hat yapısı, ücret toplama ve akıllı ulaşım sistemleridir (AUS) (Deng ve Nelson, 2011; Levinson vd., 2003).

Seyir yolları; BRT araçları öncelikli olarak özel toplu taşıma yollarında ve özel otobüs şeritlerinde çalışabildiği gibi karışık trafikte de çalışması mümkündür. Seyir yollarının, karışık trafikten ayrılması BRT sisteminin yolculuk süresini azaltır, güvenilirliğini artırır. BRT yolunun kavşaklarla ve diğer araçlarla

kesilmesi gecikmelere yol açarak hizmet kalitesini olumsuz etkileyebilir (Güven, 2008).

İstasyonlar; olumsuz hava durumlarına karşı uygun çatı koruması, banklar, müşteri bilgileri, yeterli aydınlatma, yolcular için geniş platform alanı minimum ihtiyaçlardır (CUTA, 2004). BRT istasyonlarında yolcu sayısı geleneksel otobüs duraklarından oldukça fazla olacağı için önemlidir. Platform ve otobüse binış seviyesinin aynı olması yolcu sirkülasyonunu kolaylaştırır ve bekleme süresini azaltır. Aynı anda kaç aracın istasyona gireceğı, yolcuların binecekleri kapı alanlarının belirlenmesi, yolcuların istasyona erişimlerinin kolaylaştırılması, çevredeki alanın araçlı yolcuların park etmesine imkan sağlaması planlanmalıdır (Güven, 2008).

Araçlar; İdeal bir BRT aracının yüksek yolcu kapasiteli, geniş iç hacme ve yolcu sirkülasyonunu artıran iki yanda geniş kapılara sahip, görsel olarak çekici, çevre dostu ve sessiz olması beklenir (CUTA, 2004; Güven, 2008).

Servisler; Servis sıklığının çok yüksek olması, alternatif ulaşım hizmetleri için diğer toplu taşıma sistemleri ile entegrasyonun sağlanması uzun mesafeli yolculuk sürelerini azaltabilir. Servis sıklığı, yolcuların bekleme sürelerini bilmelerine yardımcı olur (CUTA, 2004; Güven, 2008; Levinson vd., 2003).

Hat yapısı; BRT sistemi için oluşturulan hattın uzunluğu, istasyonlar arası mesafe, istasyon sayısı, hizmet süresi, gidilecek yerin kolay anlaşılır olması işletme açısından önemlidir (CUTA, 2004; Güven, 2008).

Ücret toplama; Biniş öncesi istasyona girişte ücret toplanması ile tüm kapılardan biniş sağlanarak istasyonda harcanan süreler azaltılır (CUTA, 2004; Levinson vd., 2003).

AUS; Araç konumu, yolcu bilgilendirme, trafikte önceliklendirme gibi teknolojik uygulamalar ile BRT hizmetinin rahatlığını, güvenliğini ve güvenilirliğini artıracabilecek bir bilgisayar ve iletişim teknolojileri koleksiyonu olan AUS, en üst

düzeyde ve en verimli bir şekilde hizmet verilmesini sağlar (CUTA, 2004; Güven, 2008; Levinson vd., 2003).

3.2.2.2. BRT sisteminin performans kriterleri

BRT sisteminin değerlendirmesinde öne çıkan başlıca performans kriterleri olarak yolculuk süresi, güvenilirlik, güvenlik, sistemin kapasitesi ile kimlik ve imajı olarak 5 özellik dikkate alınmaktadır (Güven, 2008).

Yolculuk süresi; yolculuğun başlangıç ve bitiş noktaları arasında bekleme, iniş biniş ve taşıt içinde hareket halindeyken geçen sürelerinin toplamını ifade etmektedir.

Araç bekleme süresi, istasyona giriş yapan yolcunun araç gelene kadar yolculuk başlangıcı geçirdiği bu süre, yüksek sefer sıklığı olan BRT sisteminde yolcular tarifeye ihtiyaç duymadan kısa süre bekleme ile yolculuk yapabilme imkanı bulunmaktadır.

İniş biniş süresi, aracın istasyonda durmasından itibaren yolcu iniş binışı tamamlanıncaya kadar aracın ve yolcuların geçirdiği bu süre, platformun tasarım ve boyutundan, aracın uzunluğundan, alçak tabanlı olup olmadığından, kapı genişliklerinden, araç içi doluluğundan ve ücret ödemenin araç içinde olup olmadığından etkilenmektedir.

Seyir süresi, İstasyonlar arası araçların içindeki yolcularla birlikte hareket halindeyken geçen bu süre, trafik sıkışıklığından, istasyonlara girişte hız düşürmeden, kapı kapalı kuyrukta beklemekten, iniş biniş düzensizliğinden ve istasyondan çıkarken hızlanmadan etkilenmektedir (Güven, 2008).

Güvenilirlik; yolcuların sistem üzerinde meydana gelen olumsuzluklardan etkilenmeden tutarlı bir şekilde hizmetten yararlandırılması ve önceden planlanan ve bildirilen hizmetin sürekliliği olarak bilinen güvenilirlik, trafik koşulları, araç arızaları ve kazaları, hattın uzunluğu, durak sayısı, düzensiz yolcu dağılımı gibi unsurlardan etkilenir. Trafiğin farklı özelliklerine bağlı olarak yolculuk süresinde görülen değişiklikler sonucu, ilk duraktan uzaklaştıkça ve durulan durak sayısı arttıkça güvenilirlik düşmesine karşı toplu taşıma

işletmecileri hat uzunluklarını kısaltma ve entegrasyona uygun noktalarda aktarma imkânı sunarak yolcuların istedikleri yere ulaştırmaya çalışmaktadır (İlıcılı vd., 2015).

Güvenlik; yolcuların can güvenliğinin sağlanması ve BRT sisteminin korunması için muhtemel araç kazalarına ve potansiyel tehlikelere karşı gerekli tedbirlerin alınmasıdır.

Kapasite; BRT sisteminde bir noktadan geçirilebilen maksimum toplu taşıma taşıtı veya maksimum yolcu sayısını ifade edilmektedir. Wright (2004), BRT sistemlerinde kapasitenin taşıt yolcu kapasitesine, taşıt sayısına, iki taşıt arasındaki süreye ve taşıt geçiş sıklığına, taşıt doluluk oranlarına, devir hızını artıracak teknolojilere, servis ve işletme yapısına, güvenliğ, konfor ve uygun ücretlendirmelere göre değişmektedir (Deli, 2015).

Kimlik ve imaj; BRT sisteminin marka kimliği ve çevresel tasarım olarak iki elemanı bulunmaktadır.

Marka kimliği, BRT sisteminin alternatif ulaşım tercihlerini ve diğer toplu taşıma sistemleri ile entegrasyonunu içeren potansiyel kullanıcılara kullanım kolaylığı sunan ve cazip gelen bir özelliktir.

Çevresel tasarım, BRT sisteminin çevresindeki bölge ile uyumluluğu için etkin tasarımı öne çıkaran bir özelliktir (Güven, 2008).

3.2.3. Dünyadaki BRT uygulamaları

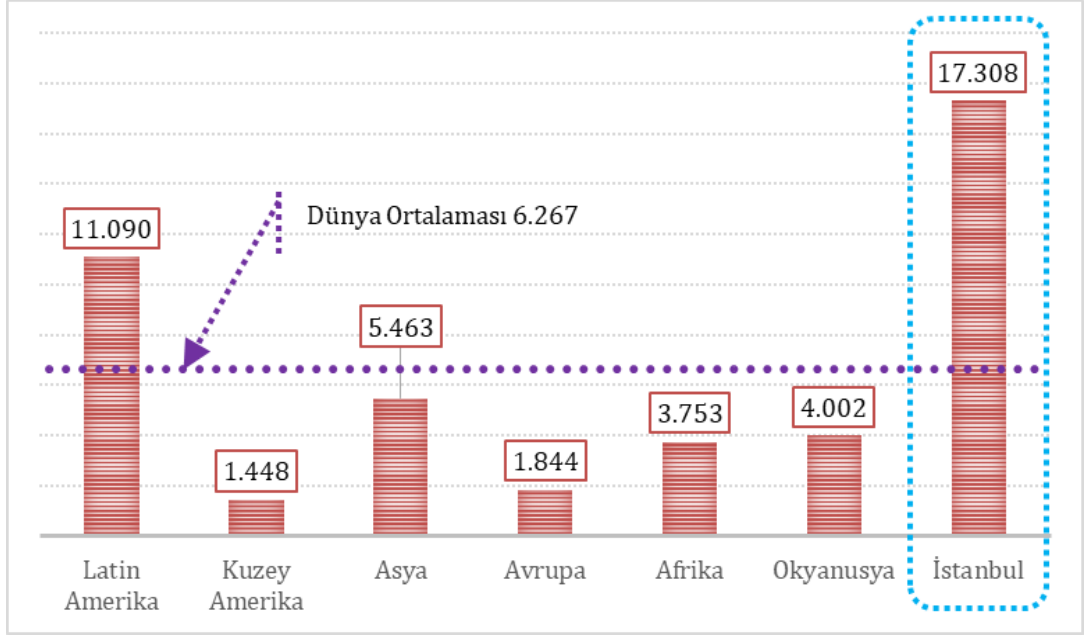
2000 yılına kadar sadece 32 şehirde bulunan Metrobüs sistemi, 2001 yılından itibaren toplam 145 şehirde daha uygulamaya konulmuştur. Günümüzde dünyada 43 ülkede, 177 şehirde, 409 koridorda toplam 5.376 kilometre uzunluğundaki Metrobüs hattı ile günlük 34 milyon civarında yolcu taşınmaktadır (Şekil 3.3 ve 3.4). Çizelge 3.2’de kıtalara göre BRT bulunan şehir sayıları, koridor bilgileri ve günlük yolculuk bilgileri gösterilmektedir (BRT Data 2021).

Çizelge 3.2 Kıtalarla göre BRT yolculuk bilgileri

Kıta	L. Amerika	K. Amerika	Asya	Avrupa	Afrika	Okyanusya
Ülke Sayısı	13	2	12	10	3	3
Şehir Sayısı	57	21	45	44	5	5
Koridor Sayısı	186	49	99	58	8	9
Uzunluk, km	1.886	683	1.691	875	131	109
Ort. Koridor, km	10	14	17	15	16	12
Günlük Yolcu Sayısı	20.916.474	988.683	9.238.060	1.613.580	491.578	436.200
Koridor Başına Yolcu	112.454	20.177	93.314	27.820	61.447	48.467

Metrobüs sisteminin en yaygın kullanıldığı ve dünyadaki günlük taşınan yolcu sayısının %62'sine hizmet veren Latin Amerika ülkelerindeki 57 şehirdeki koridor uzunluğu ortalama 10 km'dir. Diğer kıta ülkelerine göre Latin Amerika kıtası, en düşük ortalama koridor uzunluğu sahiptir.

Latin Amerika kıtasına benzer şekilde, Avrupa'daki günlük yolculukların yaklaşık %60'ı kıtada bulunan ve 52 km koridor uzunluğuna sahip İstanbul'da gerçekleşmektedir. Kıtalarla göre BRT ile kilometre başına taşınan yolcu sayısı Şekil 3.2'deki grafikte verilmiştir.

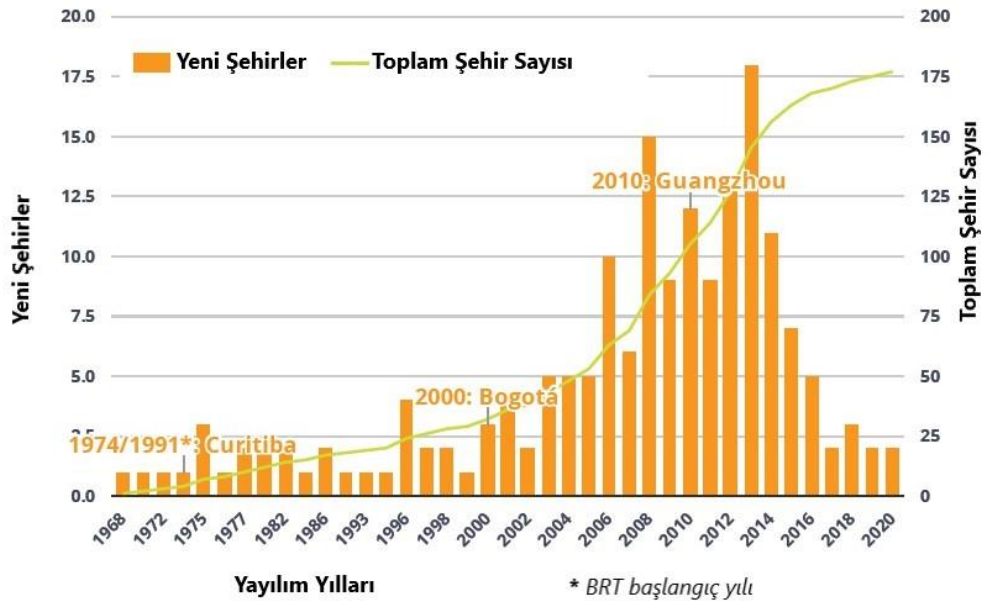


Şekil 3.2 BRT ile kilometre başına taşınan günlük yolcu sayısı

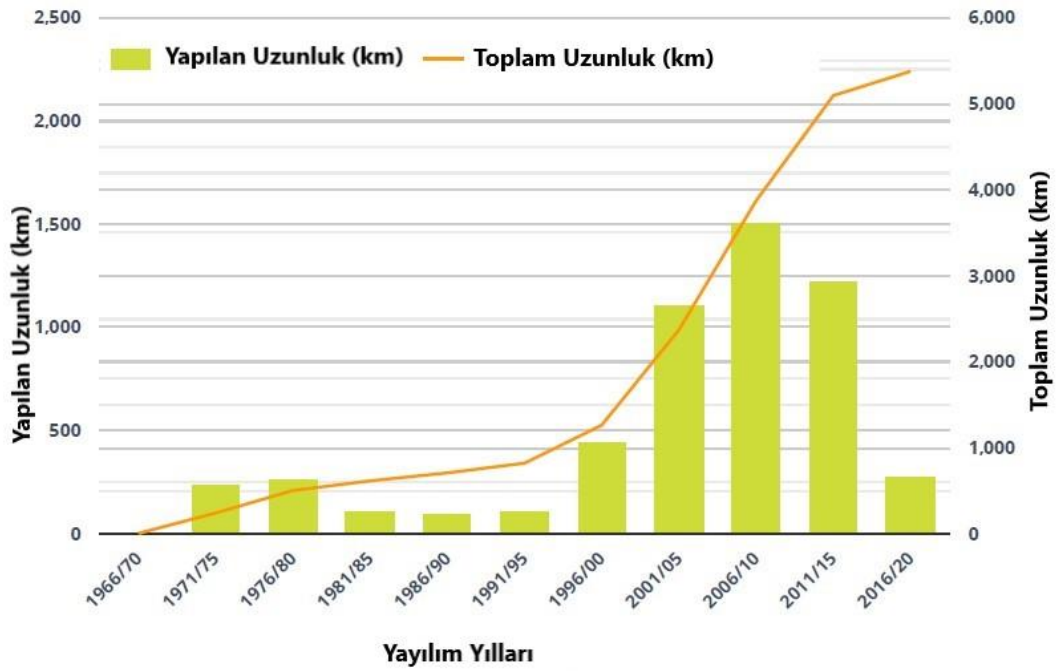
Dünyada BRT ile kilometre başına ortalama 6.267 kişi yolculuk yaparken İstanbul'da ise dünya ortalamasının 3 katı yolculuk gerçekleşmektedir.

BRT sisteminin uzun koridorlar yerine ortalama 10 km uzunluk ile şehrin her yerine hitap eden Latin Amerika uygulamasında olduğu gibi İstanbul'da da kısa kilometreli koridorların yaygınlaştırılması ile günlük yolculukların artması, kilometre başına taşınan yolcu sayısının dünya ortalamasına yaklaşması ile konforlu yolculuğun sağlanması ve yolcu memnuniyetinin artması öngörülmektedir.

Şekil 3.3 ve 3.4'de BRT'nin yıllara göre şehirlere yayılımı ve yapılan km uzunluk bilgileri paylaşılmıştır.



Şekil 3.3 BRT'nin yıllara göre şehirlere yayılması (BRT Data, 2021)



Şekil 3.4 BRT yıllık yapılan uzunluk değişimi (BRT Data, 2021)

3.3. İstanbul Metrobüs Sistemi

İstanbul Metrobüs uygulaması kapsamında geometrik durumlar, işletme, entegrasyon, kullanılan araçlar ve kullanım verileri hakkında bilgiler verilmiştir.

3.3.1. Metrobüs geometrik bilgileri

Geometrik bilgiler olarak hat yapım bilgisi, istasyonlar, platformlar ve kullanılan envanterler hakkında bilgiler paylaşılmıştır.

3.3.1.1. Hat yapım bilgisi

Metrobüs projesi, İstanbul'un ana arterlerindeki trafik yoğunluğunu azaltmak, hızlı ve konforlu ulaşım sağlamak amacıyla 2006 yılında Beylikdüzü – Söğütlüçeşme güzergâhında 4 etapta (Çizelge 3.3) yapılması planlamıştır. Metrobüs sistemi imalat çalışmaları 2007 yılı başında başlayan 18,3 kilometrelik Topkapı – Avcılar hattı, sekiz ay gibi kısa sürede tamamlanarak ilk etabı 17 Eylül 2007 tarihinde hizmete açılmıştır. Daha önce 67 dakikada alınan Topkapı – Avcılar arasını sadece 22 dakikaya indiren Metrobüsün ikinci etabı olan Topkapı – Zincirlikuyu hattı, 8 Eylül 2008 Pazartesi günü yeni eğitim-öğretim yılı başında hizmete alınmış olup, hattın 77 gün gibi kısa sürede tamamlanmasıyla durak sayısı 25'e yükselmiştir (İETT, 2012).

Boğaziçi Köprüsü'nden yapılan yolcu taşımacılığını rahatlatmak ve hızlandırmak isteyen İstanbul Büyükşehir Belediyesi ve İETT, Metrobüsün 3. Etabı olan Söğütlüçeşme – Zincirlikuyu hattını 3 Mart 2009 tarihinde hizmete açarak İstanbul'un iki yakası en kısa yoldan birbirine bağlanmış olup Avcılar – Söğütlüçeşme hattında yolculuk süresi 63 dakikaya inmiştir. Son etap olan Avcılar – Beylikdüzü hattı, 10 km uzunluk ve 11 istasyon ile 16 Temmuz 2012 tarihinde hizmete açılmıştır. Böylece Beylikdüzü- Söğütlüçeşme arası yolculuk süresini 83 dakikaya indiren hattın uzunluğu toplam 52 km'ye ulaşmıştır (İETT, 2012).

Çizelge 3.3 Metrobüs yapım aşamaları

Etap	Güzergâh	İstasyon Sayısı	Hat Uzunluğu	Açılış Tarihi	İmalat Süresi
1. Etap	Avcılar – Topkapı	15	18,3 km	17.09.2007	240 gün
2. Etap	Topkapı – Zincirlikuyu	10	10,8 km	08.09.2008	77 gün
3. Etap	Zincirlikuyu – Söğütlüçeşme	8	11,2 km	03.09.2009	150 gün
4. Etap	Avcılar – Beylikdüzü	11	10 km	16.07.2012	492 gün

Metrobüs araçları, Beylikdüzü ve Zincirlikuyu ile 15 Temmuz Şehitler Köprüsü ve Söğütlüçeşme istasyonlarında kendi özel yolunda giderken, 15 Temmuz Şehitler Köprüsünde diğer araçlarla aynı yolu kullanmaktadır.

3.3.1.2. İstasyonlar

Metrobüs hattında ortalama 1,18 km aralıklarda 44 istasyon bulunmakta olup en kısa mesafe 0,4 km ile Okmeydanı Hastane ve Çağlayan arası iken en uzun mesafe 4,2 km ile Metrobüs özel yolundan çıkıp karışık trafikteki Zincirlikuyu ve 15 Temmuz Şehitler Köprüsü istasyonları arasındır. Sefaköy – Yenibosna arası, 3,5 km ile Metrobüs özel yolundaki en uzun mesafedir (Çizelge 3.4).

Çizelge 3.4 Metrobüs istasyonlar arası mesafe

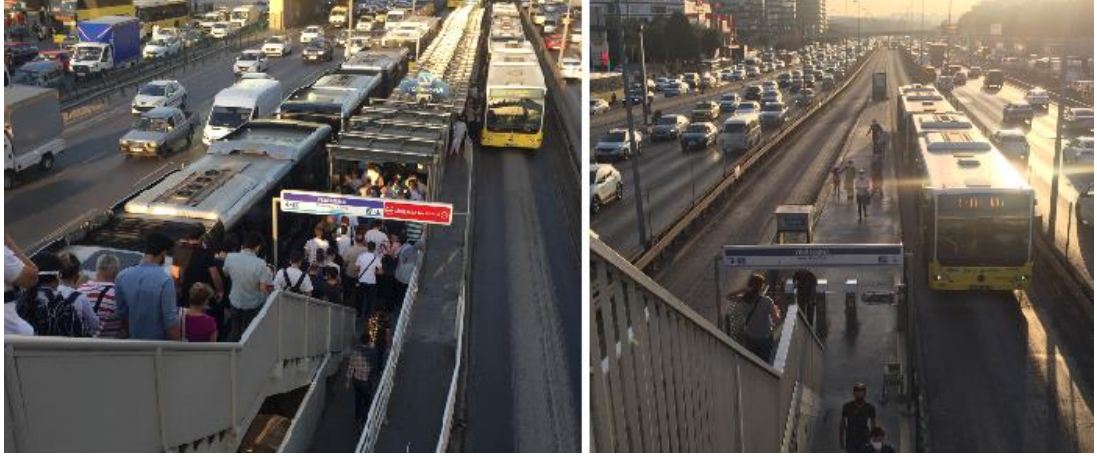
İstasyon No	İstasyon Adı	Bir Önceki İstasyonla Mesafesi, km	İstasyon No	İstasyon Adı	Bir Önceki İstasyonla Mesafesi, km
1.	Beylikdüzü Son Durak (TÜYAP)	0	23.	İncirli	0,7
2.	Beykent	0,9	24.	Zeytinburnu	1,7
3.	Cumhuriyet	1,1	25.	Merter	0,8
4.	Beylikdüzü Belediyesi	0,7	26.	Cevizlibağ	1,5
5.	Beylikdüzü	0,7	27.	Topkapı	0,6
6.	Güzelyurt	0,8	28.	Bayrampaşa-Maltepe	0,5
7.	Haramidere	0,7	29.	Edirnekapı	1,4
8.	Haramidere Sanayi	1	30.	Ayvansaray	0,9
9.	Saadetdere Mah.	0,8	31.	Halıcıoğlu	1,3
10.	Mustafa Kemal Paşa	1,3	32.	Okmeydanı	1,5

11.	Cihangir	0,8	33.	Darülaceze Perpa	0,9
12.	Avcılar	1,3	34.	Okmeydanı Hastane	0,9
13.	Şükrübey	0,6	35.	Çağlayan	0,4
14.	İBB Sosyal Tesisler	1,2	36.	Mecidiyeköy	0,9
15.	Küçükçekmece	2,3	37.	Zincirlikuyu	1,9
16.	Cennet Mah.	1,1	38.	15 Tem. Şehitler Köp.	4,2
17.	Florya	0,7	39.	Burhaniye	0,7
18.	Beşyol	0,8	40.	Altunizade	1,3
19.	Sefaköy	0,6	41.	Acıbadem	1,1
20.	Yenibosna	3,5	42.	Uzunçayır	1,9
21.	Şirinevler	1	43.	Fikirtepe	1
22.	Bahçelievler	1,5	44.	Söğütözü	1,2

3.3.1.3. İstasyon platform bilgileri

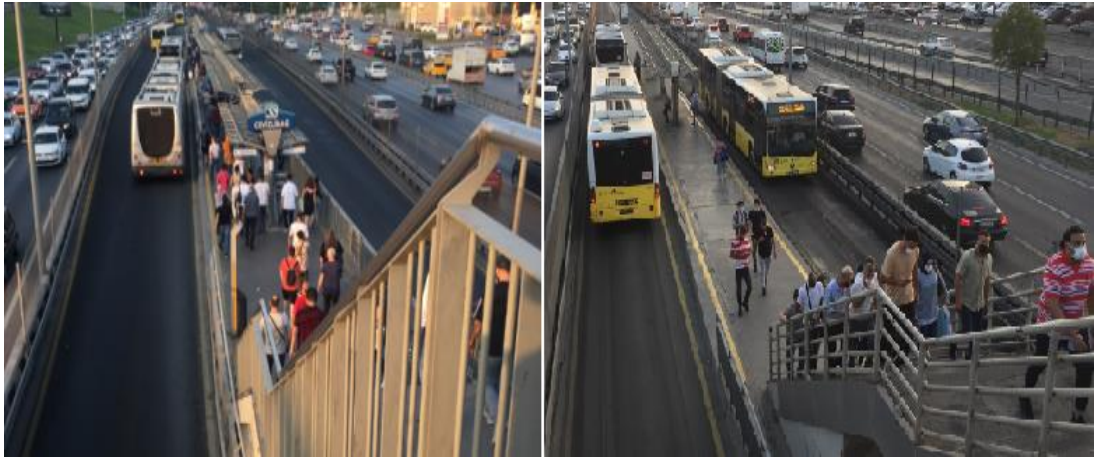
Metrobüs istasyonlarında yolcular, platform seviyesindeki alçak tabanlı araçlara binmek ve araçlardan inmek için genelde aynı platformu müşterek kullanmaktadır. Fiziki olarak ayrı yerlerde bulunan sadece Zincirlikuyu ve 15 Temmuz Şehitler Köprüsü istasyonlarında inen ve binen yolcular aynı platformu kullanmamaktadır. İniş platformu olan istasyonlardan Yenibosna, Cevizlibağ, Bayrampaşa ve Okmeydanı Hastane istasyonlarında tek yönlü olarak kullanılmaktadır.

Metrobüs araçlarının en çok kuyrukta bekleme yaptığı Yenibosna istasyonu (Şekil 3.5), indirme platformu olmasına rağmen 3,3 metre genişliği ve yolcu geçiş alanlarının çok dar olması nedeniyle yolcu sirkülasyonu yavaş gerçekleşmektedir.



Şekil 3.5 Yenibosna istasyonu indirme ve bindirme platformları

Yolcu indirme ve bindirme platformu ile hatta tek sollama şeridinde sahip olan Cevizlibağ istasyonu (Şekil 3.6), yaklaşık 300 metre uzunluğu ile en uzun platformdur.



Şekil 3.6 Cevizlibağ istasyonu indirme ve bindirme platformları

Yolcu kullanım oranı en yüksek olan ve iki farklı giriş noktası bulunan Mecidiyeköy istasyonunun (Şekil 3.7) platform çatısı tamamen kapalı olup hatta 8,5 metre genişliği ile en geniş platformdur.



Şekil 3.7 Mecidiyeköy istasyonu platform alanı

3.3.1.4. İstasyon envanter bilgileri

Yolcuların istasyona erişimlerinde kullanmaları için toplam 55 adet asansör, 31 adet yürüyen merdiven, 437 adet ödeme turnikesi, 64 adet engelli geçiş kapısı, 275 adet iade makinesi, 177 adet otomatik bilet satış makinesi ve 14 adet bisiklet parkı bulunmaktadır.

Yolcu bilgilendirme kapsamında 50 adet bas konuş çağrı makinesi, 12 adet dokunmatik ekran, 48 adet LCD TV ekranı, 85 adet bilgilendirme panosu ve 189 adet hoparlör cihazı mevcuttur. Ayrıca elektrik kesilme durumlarına karşı önlem amacıyla Cennet istasyonu hariç, Zincirlikuyu ve 15 Temmuz Şehitler Köprüsü istasyonlarında 2'ser adet, diğerlerinde 1'er adet olmak üzere toplam 45 adet jeneratör bulunmaktadır.

İstasyonlarda bulunan toplam 284 kamera ile hat sürekli izlenerek istasyonlarda olası acil durumlara hızlı bir şekilde müdahale edilmesi sağlanmaktadır. Beylikdüzü TÜYAP ile Avcılar Merkez istasyonları arasında 12 adet Dokunmatik ekran ve 48 adet LCD ekran bulunmaktadır (Çizelge 3.5).

Çizelge 3.5 Avrupa yakası istasyon envanter bilgileri

Avrupa Yakası Metrobüs İstasyonları	Asansör	Yürüyen Merdiven	Rampa Yol	Kamera	Turnike	Engelli Kapı	Otomatik Satış OSM	İade Cihazı	Bilgilendirm e Panosu	Bas Konuş Çağrı	Hoparlör	Jeneratör	Bisiklet Parkı
Beylikdüzü TÜYAP	3	2	-	11	13	2	6	4	2	2	4	1	-
Beykent	3	3	-	6	9	1	4	4	1	1	4	1	1
Cumhuriyet	3	3	-	6	10	1	3	7	1	1	4	1	1
Beylikdüzü Belediye	-	-	1	8	14	1	4	7	2	1	4	1	-
Beylikdüzü	3	3	-	6	11	1	5	7	2	1	4	1	1
Güzelyurt	3	-	-	6	5	1	3	3	2	1	4	1	1
Haramidere	3	3	-	6	8	1	4	6	2	1	4	1	1
Haramidere San.	3	3	-	6	6	1	3	4	2	2	4	1	1
Saadetdere	3	-	-	6	6	1	2	4	2	2	4	1	1
M. Kemal Paşa	3	3	-	6	7	1	3	7	2	2	4	1	1
Cihangir	3	3	-	6	6	1	3	4	2	2	3	1	-
Avcılar Merkez	3	3	-	11	8	1	6	14	2	1	4	1	1
Şükrübey	2	-	1	5	8	2	4	4	2	1	4	1	-
İBB Sosyal Tesisler	2	-	1	7	5	1	2	4	2	1	4	1	-
Küçükçekmece	-	-	-	5	4	1	2	4	2	1	4	1	-
Cennet	-	-	-	9	6	2	3	4	2	-	5	-	-
Florya	1	-	1	12	12	2	4	8	2	2	6	1	-
Beşyol	-	-	1	4	6	1	3	4	2	-	4	1	1
Sefaköy	-	-	1	9	12	2	4	7	2	1	6	1	-
Yenibosna	-	-	1	5	8	2	3	6	2	1	4	1	-
Şirinevler	1	1	1	5	11	1	8	7	1	1	-	1	-
Bahçelievler	3	4	-	4	6	1	2	6	2	2	5	1	-
İncirli	-	-	1	7	4	1	3	7	2	1	4	1	-
Zeytinburnu	-	-	1	8	12	1	4	7	2	-	6	1	-
Merter	-	-	-	5	4	1	2	3	2	2	5	1	-
Cevizlibağ	3	-	-	10	13	2	4	9	3	2	9	1	1
Şehit Mustafa Cambaz	-	-	1	5	4	1	1	2	2	1	4	1	-
Bayrampaşa- Maltepe	-	-	-	5	6	2	1	4	2	1	2	1	-
Edirnekapı	1	-	-	6	7	1	3	9	2	1	6	1	-
Ayvansaray	-	-	-	5	5	1	2	4	2	1	5	1	-
Halıcıoğlu	3	-	-	6	9	2	3	4	2	1	4	1	-
Okmeydanı	-	-	1	6	9	2	4	6	2	1	4	1	-
Darülaceze Perpa	-	-	1	8	8	1	4	5	2	2	6	1	-
Okmeydanı Hastane	1	-	-	5	5	1	2	2	2	1	4	1	-
Çağlayan	4	-	-	5	6	1	2	4	2	1	4	1	-

Mecidiyeköy	-	-	-	10	28	3	11	16	2	1	8	1	-
Zincirlikuyu Anadolu	1	-	-	5	19	2	8	11	1	1	4	1	-
Zincirlikuyu Avrupa	-	-	-	5	35	2	5	10	-	1	4	1	1
Toplam	55	31	13	250	355	52	140	228	71	45	168	37	12

Anadolu yakasında bulunan Metrobüs istasyonlarında, Avrupa yakasında bulunan asansör, yürüyen merdiven, rampa yol ve dokunmatik ekran bulunmamaktadır. Bisikletli yolcular için Uzunçayır ve Söğütluçeşme istasyonlarında park imkanı mevcuttur (Çizelge 3.6).

Çizelge 3.6 Anadolu yakası istasyon envanter bilgileri

Anadolu Yakası Metrobüs İstasyonları	Kamera	Turnike	Engelli Kapı	Otomatik Satış OSM	İade Cihazı	Bilgilendirme Panosu	Bas Konuş Çağrı	Hoparlör	Jeneratör
15 Tem. Şehitler Köp. Avrupa	1	6	1	1	2	1	-	2	1
15 Tem. Şehitler Köp. Anadolu	1	2	1	1	2	1	1	2	1
Burhaniye	2	2	1	1	2	1	-	-	1
Altunizade	5	15	2	5	10	2	1	4	1
Acıbadem	4	5	1	2	2	2	1	4	1
Uzunçayır	5	24	2	14	18	2	1	5	1
Fikirtepe	5	6	2	3	4	2	1	4	1
Söğütluçeşme	11	22	2	10	7	2	-	-	1
Toplam	34	82	12	37	47	13	5	21	8

3.3.2. İşletme bilgileri

Beylikdüzü ile Söğütluçeşme arasında tek bir koridorda bulunan Metrobüs hattında araçlar, Beylikdüzü – Cevizlibağ, Beylikdüzü – Zincirlikuyu, Beylikdüzü – Söğütluçeşme, Avcılar – Cevizlibağ, Avcılar – Zincirlikuyu, Zincirlikuyu – Söğütluçeşme arasında çalışmaktadır.

Metrobüs kullanan yolcuların, tüm kapılardan araçlara binmesi ve araçlardan inmesi mümkündür. Ödemeler, araç içinde değil istasyon girişlerinde alınmaktadır. Gidilen mesafeye göre iadeler istasyon dışındaki cihazlarla sağlanmaktadır.

Metrobüs seferleri, yoğun saatlerde 15 – 20 saniye, yoğun olmayan ara saatlerde 45 – 60 saniye, gece ise 30 dakika aralıklarla gerçekleştirilmektedir. 40 km/saat ticari hızı ile Dünya'daki en hızlı Metrobüs sistemi olan hatta 535 araç ve 1.184 şoför ile 24 saat hizmet verilmektedir (İETT, 2020a).

Akıllı ulaşım sistemleri ile bilgisayar kontrollü kullanılan raylı sistemlerde minimum sefer aralığı 90 saniye iken (Çizelge 3.7), insan faktörünün etkin olduğu Metrobüs sisteminde 6 kat daha kısa sefer aralığı ile çalışmak oldukça iddialı görünmektedir. Çizelgede raylı sistemlerde kullanılan minimum sefer aralıkları verilmiştir (Baştürk, 2014).

Çizelge 3.7 Raylı sistem sefer aralıkları

Şehir	Hat	Güzergâh	Km	Minimum Sefer Sıklığı, saniye	İstasyon Sayısı
İstanbul	M1A	Atatürk Havalimanı – Yenikapı	24,7	180	18
İstanbul	M2	Yenikapı – Hacıosman	19,5	150	16
İstanbul	M3	Kirazlı – Başakşehir	15,9	120	9
İstanbul	M4	Kadıköy – Tavşantepe	26,2	240	19
İstanbul	T1	Bağcılar – Kabataş	18,5	120	22
İstanbul	T4	Mescidi Selam – Topkapı	15,3	300	22
İstanbul	Marmaray	Halkalı – Gebze	76	480	43
Ankara	M1	Batıkent – Kızılay	14,6	90	12
Ankara	M2	Necatibey – Koru	16,6	90	11
Ankara	M3	OSB – Batı Merkezi	15,3	90	11

Metrobüs hattında 03.03.2020 tarihli yolculuk verilerine göre maksimum yolculuk yaklaşık 51.000 kişi/saat,yön ile, sabah 08.00 – 09.00 arası Söğütluçeşme ve akşam 18.00 – 19.00 arası Beylikdüzü istikametinde gerçekleşmiştir.

Metrobüs şoförleri, her sefer sonunda son istasyonlarda araçlardan inerek aracı diğer Metrobüs şoförüne teslim etmektedir. Bu şekilde araçlar bekletilmeden çalışmaya devam ettirilmekte ve şoför personel dinlendirilmektedir.

Metrobüs hattı, Edirnekapı Garajında bulunan komuta kontrol merkezi aracılığıyla filo yönetimi (Şekil 3.8), kaza yönetimi, yolcu bilgilendirme, istasyonlarda bulunan asansör, yürüyen merdiven gibi ekipmanların anlık kameralar ve SCADA sistemi ile takibi yapılmaktadır. Herhangi bir arıza durumunda İETT mobil yol yardım servisi (Şekil 3.9) ile anında müdahale sağlanmakta ve aracın çekilmesi gerekirse çekici hizmeti sayesinde Metrobüs hattı sürekli açık ve faal tutulmaktadır.



Şekil 3.8 Metrobüs filo yönetim merkezi



Şekil 3.9 Metrobüs yol yardım aracı

3.3.3. Entegrasyon bilgileri

Metrobüs hattı, 9 farklı hatta giden raylı sistemlerle 14 istasyonda entegre olarak hizmet vermektedir (Şekil 3.10).



Şekil 3.10 Raylı sistemlerle entegrasyon

Metrobüs yolcuları, Zeytinburnu istasyonunda Aksaray-Havalimanı Hafif Metro ve Bağcılar-Kabataş Tramvay hatlarına, Mecidiyeköy istasyonunda ise, Yenikapı-Haciosman Metro ve Mecidiyeköy-Mahmutbey Metro hatlarına geçiş yapabilmektedir. Metrobüs hattı, Havalimanı metrosu ile 5, Kabataş tramvayı, Mahmutbey metrosu ve Haciosman metrosu ile 2'şer defa yolcu aktarmasına imkan sağlamaktadır. Marmaray ve Yüksek Hızlı Tren ile Söğütluçeşme istasyonunda entegrasyon bulunmaktadır.

3.3.4. Araç bilgileri

Türkiye'nin sadece İstanbul şehrinde kullanılan ve Metrobüs olarak bilinen toplu taşıma sisteminde Mercedes Conecto(Şekil 3.11 ve 3.12), Mercedes Capacity (Şekil 3.13 ve 3.14) ve APTS Phileas (Şekil 3.15 ve 3.16) olarak üç tip araç kullanılmaktadır. Dönüş çapı, tek körüklü Mercedes araçlarda 22,8 metre, çift körüklü Phileas araçlarda ise 25 metredir. Metrobüs sisteminde çalışan araç tipleri ve bazı özellikleri Çizelge 3.8'de gösterilmiştir.

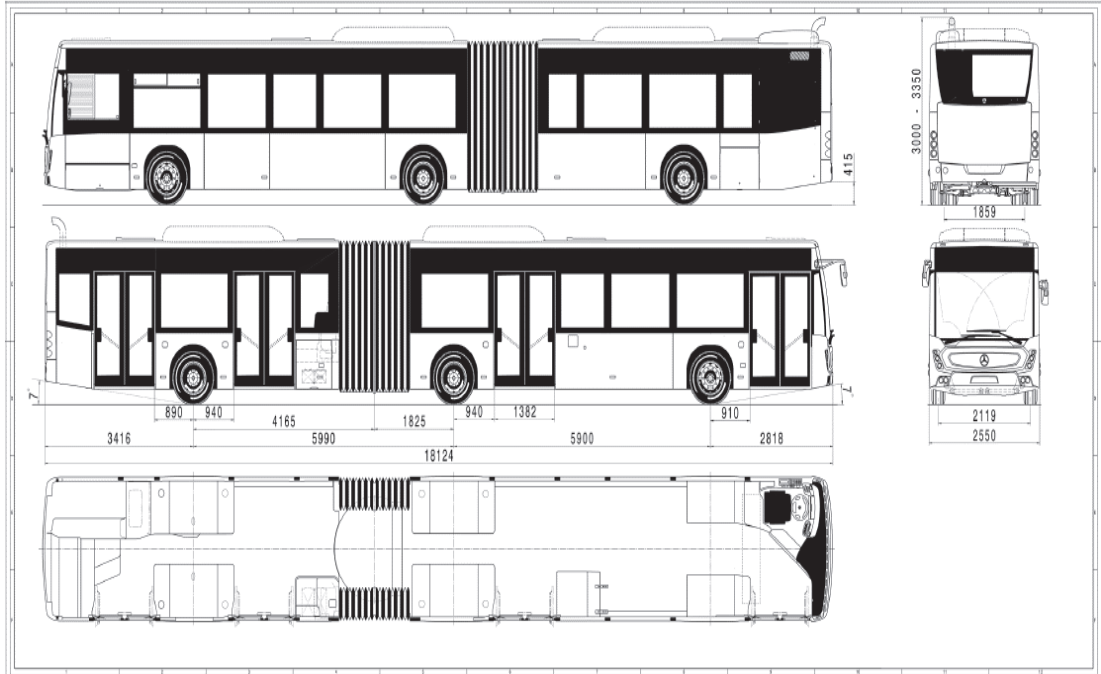
Çizelge 3.8 Metrobüs araç teknik bilgileri

	Mercedes Conecto	Mercedes Capacity	APTS Phileas
Uzunluk, mm	17.940	19.540	26.035
Genişlik, mm	2.550	2.550	2550
Yükseklik, mm	3.076	3.155	3.200
İç yükseklik, mm	2.032	2313	2.250
Yoldan yükseklik, mm	370	340	340
Ön/Arka uzantı, mm	2.705/3.400	2.705/3.400	1190/1995
Dingil aralığı, mm	1-2 Aks 5845 2-3 Aks 5990	1-2 Aks 5845 2-3 Aks 5990 3-4 Aks 1600	1-2 Aks 7700 2-3 Aks 7510 3-4 Aks 7575
Dönüş çapı, mm	22.822	22.852	22.400
Kapı genişliği, mm	1.250	1.250	1.350
Kapı sayısı, adet	Sağ yanda, 4	Sağ yanda, 4	Sağ ve sol yanda, 8
Motor	M. Benz OM 457 LA, Euro 4,5	M. Benz OM 457 LA, Euro 4,5	Cummins ISLE4 340B, Euro4
Güç Kaynağı	Dizel	Dizel	Paralel Hibrit (Dizel + Elektrik)
Yakıt sistemi	PLD	PLD	Cummins Common Rail
Azami güç, kW	260	260	253
Motor hacmi, cm ³	11.967	11.967	8.900
Azami tork, Nm	1.600, 1.100 d/d	1.600, 1.100 d/d	1425, 1.300 d/d
Şanzıman	ZF Eco.2 Plus6HP602C	ZF Eco.2 Plus6HP602C	GM Allison Ev50
Yönlendirilebilen aks	-	4. aks	2, 3 ve 4.aks elektrohidrolik
Lastik ölçüsü	275/70R22,5 arkalar 2'li	275/70R22,5 ortalar 2'li	Ön 275/70R22,5 Arkalar 385/65R22,5
Lastik sayısı, adet	10	12	8
Yakıt deposu, lt	300	300	250
AdBlue deposu, lt	46	46	28
Koltuk sayısı, kişi	42	43	52
Ayakta yolcu, kişi	108	150	178
Toplam yolcu, kişi	149	193	230
Boş ağırlık, kg	15.000	18.000	21.600
Azami ağırlık, kg	28.000	32.000	37.350

Mercedes araçlar dizel, Phileas araçlar ise paralel hibrit (dizel + elektrik) güç kaynağı ile çalışmaktadır. Motorların en arka akslarda konumlandırıldığı araçların tahrik aksları, Conecto ve Capacity araçlarda çift lastikli 3. Akslar, Phileas araçlarda ise tek lastikli 4. Akslardır. Capacity araçların 4. Aksı, ilave direksiyon aksı olarak isimlendirilmiştir. Phileas araçların ön aks haricindeki arka aksları, direksiyon dönüş yönü ve aracın hızına göre dönebilme özelliğine sahiptir.



Şekil 3.11 Mercedes Conecto



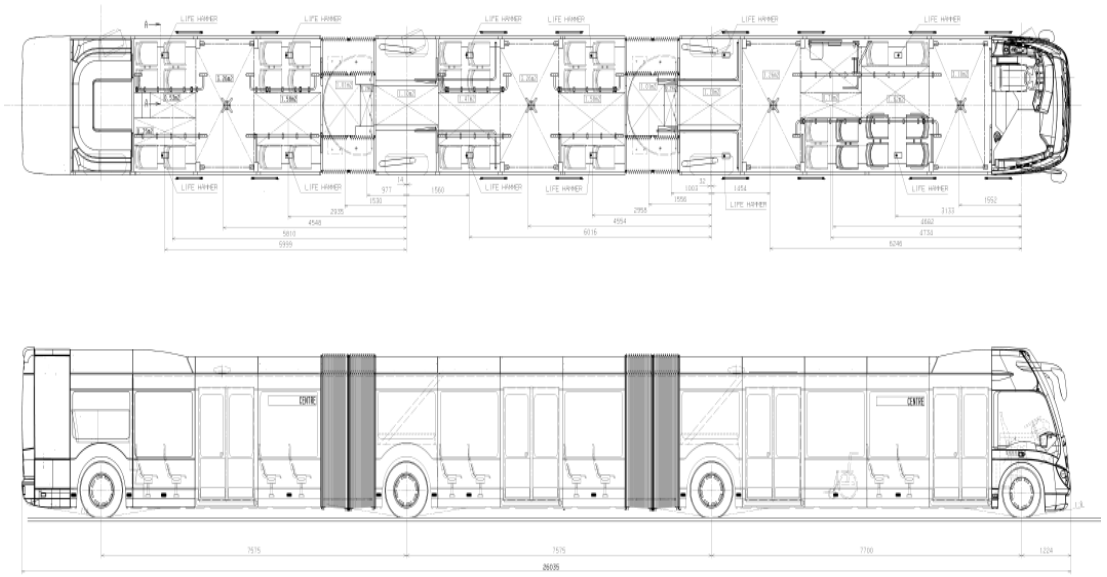
Şekil 3.12 Mercedes Conecto ölçüleri

A side profile view of a dark green and white articulated bus, showing its long body, multiple windows, and wheels. The bus is parked on a grey surface against a light grey wall.

35



Şekil 3.15 APTS Phileas



Şekil 3.16 APTS Phileas ölçüleri

3.3.4.1. Yolcu kapıları

Toplu taşıma sisteminde yolcuların araçlara binmeleri ve araçlardan inmeleri için araçların yan kısımlarında bulunan, araç iç kısmının dışarı ile bağlantısını sağlayan, araç ve yolcu güvenliğinde çok önemli bir yere sahip olan kapılar kullanılmaktadır.

Yolcu kapıları, elektrik kumandalı, basınçlı hava tahrikli ve acil durumlarda el ile açılabilir donanımına sahiptir. Yolcu kapıları kızakta kayar tip olup sağa ve sola iki kanat halinde açılarak senkronize çalışmaktadır. Kapılardan sürücüye gelen ikaz işareti, sadece ait olduğu kapının duracak ışığını ve ön göstergedeki kapı ikaz

ışığını yakmaktadır. Kapı üst kısımlarında yolcunun ineceğini gösteren ikaz lambaları bulunmakta, kapılar açılır ve kapanırken sesli ikaz vermektedir. Araç kapıları açık durumda iken aracı hareket ettirmeyecek ve araç seyir halinde iken kapıların açılmasını önleyecek sistem bulunmaktadır.

Metrobüs araçlarında hızlı yolcu iniş biniş kolaylığı sağlayan basamaksız, yolcu güvenliği için sıkışmayı önleyici özelliklere haiz içe doğru açılır ve dışa doğru kayarak açılan iki kanatlı geniş kapılar kullanılmaktadır.

Toplu taşımada kullanılan yolcu kapılarının içe doğru açılan, içe doğru katlanan, dışa doğru açılan ve dışa kayarak açılan çeşitleri bulunmaktadır. Metrobüs araçlarında kullanılan yolcu kapıları, içe açılır ve dışa kayarak açılır kapılardır. Kapıların çalışması, basınçlı hava veya elektrik motoru ile sağlanmaktadır.

3.3.4.2. İçe açılır kapılar (Inward swing doors)

Toplu taşıma sisteminde otobüslerde yaygın olarak kullanılan ve içe doğru kayma hareketini basınçlı hava veya elektrik motoru ile sağlayan tek ya da çift kanatlı bir kapı çeşididir (Şekil 3.17).



Şekil 3.17 İçe açılır kapı tipi

Bu tip kapılar, daha çok karışık trafikte seyreden, yolcuların ön kapıdan bindiği ve diğer kapılardan indiği geleneksel toplu taşıma araçlarında görülmektedir. Araç içi yolcu yoğunluğunun fazla olduğu durumlarda içe açılır kapıların çalışma alanında kalan yolcuların, kapı kanadının açılıp kapanmasına engel olması sonucu aracın hareket etmesi gecikebilmektedir.

3.3.4.3. Dışa açılır kapı sistemi (Plug Sliding Door)

Bu kapılar, kapı kanatlarının aks mili üzerinde yatay kayması ile açılma ve kapanma işleminin sağlandığı bir kapı çeşididir. Bu tip kapılar, iç alanı artırır ve yolcuların araca hızlı bir şekilde binip inmesini sağlar. Kapı aracın yan tarafına yakın hareket eder, böylece hem içerideki yolcular hem de dışarıda bekleyenler araca kolayca girip çıkabilecekleri yeterli alana sahip olur. Kullanıldığı ortamda geniş giriş - çıkış mesafesi sağlanmasından dolayı yaygın olarak kullanılmaktadır (Şekil 3.18).



Şekil 3.18 Dışa açılır kapı tipi

Ödemenin istasyona girişte yapıldığı yüksek yolcu taşıma kapasitesine sahip raylı sistem araçlarında yolcu sirkülasyonunu kolaylaştırmak amacıyla aracın yan tarafına doğru kayarak açılan buna benzer kapıların tercih edildiği görülmektedir (Şekil 3.19).



Şekil 3.19 Raylı sistem araç kapısı

Metrobüs sisteminde çalışan araçlar da tıpkı raylı sistem araçları gibi kendi özel yolunda ödemenin istasyon girişinde yapılması ile tüm kapılardan yolcuların araçlara binmesine imkan tanımaktadır. Bu nedenle Metrobüs araçlarında iniş biniş esnasında yolcu sirkülasyonunu hızlandırmak amacıyla dışa açılır kapılar tercih edilebilir.

3.3.4.4. Yolcu kapı arızalarının incelenmesi

Toplu taşıma sisteminin gereği olarak yolcuların araca binerken ve inerken kapılar, yolcu talebine göre sürekli açılıp kapatılmaktadır. Çok sık kullanılan yolcu kapılarında dayanıklı yedek parçanın tercih edilmesi önemlidir. Metrobüs araçlarında 2019 yılında meydana gelen kapı arıza sayıları, İETT'nin Arıza Takip Sistemi adlı programından raporlanmıştır.

Çizelge 3.9'da 2019 yılına ait aylık kapı arızaları araç modeline göre gösterilmiştir.

Çizelge 3.9 2019 yılı aylara göre içe açılır ve dışa açılır kapı arıza sayıları

Aylar	Mercedes	Phileas	Toplam
Ocak	665	6	671
Şubat	548	6	554
Mart	658	4	662
Nisan	643	10	653
Mayıs	578	4	582
Haziran	536	3	539
Temmuz	620	16	636
Ağustos	683	12	695
Eylül	737	4	741
Ekim	788	7	795
Kasım	793	12	805
Aralık	885	11	896
Toplam	8.134	95	8.229

Kapı arıza sınıfına göre arıza bilgileri Çizelge 3.10'da yer almaktadır.

Çizelge 3.10 2019 yılı aylara göre kapı arıza grupları

Kapı Arızaları	Mercedes	Phileas	Toplam
Kapı Beyni Arızalı	2859	39	2898
Kapı Ayarı	1664	10	1674
Kapı Tesisatı	1420	32	1452
Kapı Motoru Arızası	1403	3	1406
Kapı Düğme Arızası	310	2	312
Kapı Cıvataları Gevşek	170	1	171
Kapı Makara Ve Mafsal Arızası	121		121
Kapı Potansiyometresi	54	2	56
Kapı Pompa Arızası	40		40
Diğer Kapı Arızaları	93	6	99
Toplam	8134	95	8229

2019 yılında yolda meydana gelen kapı arızaları aylık ortalaması Phileas araçlarda 8 iken, Mercedes araçlarda ise 678 olarak gerçekleşmiştir. En fazla kapı arızası, Mercedes araçlarda Aralık ayında, Phileas araçlarda ise Temmuz ayında meydana gelmiştir.

2019 yılında toplam yapılan kilometre bilgileri Çizelge 3.11’de verilmiştir.

Çizelge 3.11 2019 yılı aylara göre yapılan kilometre bilgileri

Aylar	Mercedes	Phileas	Toplam
Ocak	6.471.421	101.929	6.573.350
Şubat	5.969.996	95.042	6.065.038
Mart	6.497.060	111.716	6.608.776
Nisan	6.365.618	114.489	6.480.107
Mayıs	6.667.847	116.836	6.784.683
Haziran	5.891.464	65.541	5.957.005
Temmuz	6.090.461	112.524	6.202.985
Ağustos	5.773.465	102.431	5.875.896
Eylül	6.120.647	96.738	6.217.385
Ekim	6.514.118	101.135	6.615.253
Kasım	6.319.502	97.147	6.416.649
Aralık	6.506.408	102.180	6.608.588
Toplam	75.188.007	1.217.708	76.405.715

2019 yılında yapılan kilometreye göre içe açılır kapıya sahip olan Mercedes araçlarda 9.244 km’de bir, dışa açılır kapıya sahip olan Phileas araçlarda ise 12.818 km’de bir kapı arızası meydana geldiği hesaplanmıştır.

İçe doğru açılan kapılar, açılma ve kapanma esnasında süpürme alanında kalan yolcuyla temas esnasında güvenlik açısından görevini tamamlayamamaktır. Yolcu yoğunluğu olduğunda bu tür engellemeler çok sık görülmekte olup kapı mekanizmalarının zorlanmasına ve arızalanmasına yol açmaktadır. Dışa açılan

kapılar, aracın dış gövdesine yakın kayma hareketi ile açılıp kapandığından sağ ve sol kapı kanatları arasına yolcu sıkışması haricinde engelleme bulunmamaktadır. 2019 yılı kapı arıza istatistiğine göre dışa açılan kapılara sahip olan Phileas araçların daha az arıza yaptığı tespit edilmiştir.

3.3.4.5. Metrobüs kaza verileri

Metrobüs şoförünün sürüş ve yol güvenliği açısından belirli kurallara uyması ve önündeki aracın durumuna göre sürüşünü ayarlaması zaruri bir gerekliliktir. Metrobüs koridorunda sollama imkanı olmadığı için takip mesafesine ve uyarılara uymak, kazaların önlenmesi ve yolcu güvenliği açısından oldukça önemlidir. Takip mesafesi ve uyarılara uyulmadığında kaza gibi durumlarda sistemin tıkanması ve arkadan gelen araçların uzun kuyruklar oluşturması kaçınılmaz olmaktadır.

Trafikte oluşan kazalarda kusur oranlarına göre insan (sürücü, yaya ve yolcu), taşıt ve yol faktörü trafik güvenliği açısından oldukça önemlidir. Türkiye'de 2019 yılında ölümlü yaralanmalı trafik kazasına neden olan toplam 204 bin 538 kusura bakıldığında kusurların %88,0'ının sürücü, %8,2'sinin yaya, %2,0'ının taşıt, %1,3'ünün yolcu ve %0,5'inin yol kaynaklı olduğu görülmüştür (TÜİK, 2019).

Yaşanan kazalarda hem yol hem de taşıt faktörünü kontrol edebilecek olan insan faktörünün toplam %97,5 gibi büyük paya sahip olması nedeniyle bireyin kontrolündeki ve kontrolü dışındaki faktörler arasında ayırım yapması ve kendi payına düşen sorumlulukları yerine getirmesi halinde trafik güvenliği sağlanabilecektir.

İnsanın fiziki özellikleri arasında bulunan görme özelliği, trafik güvenliği ile ilişkilidir. Görme özelliğinin bir göstergesi olarak yolda seyreden bir sürücünün veya yayanın tehlikeli bir durumu/engeli gördükten sonra ne yapacağına karar verip uygulaması için intikal reaksiyon süresine ihtiyaç duyulur. Karar verip uygulamaya kadar geçen intikal reaksiyon süresi, kişinin yaş, moral, uyku, stres gibi durumlarına göre herkes için farklı olabilir. Bu nedenle aracın engele

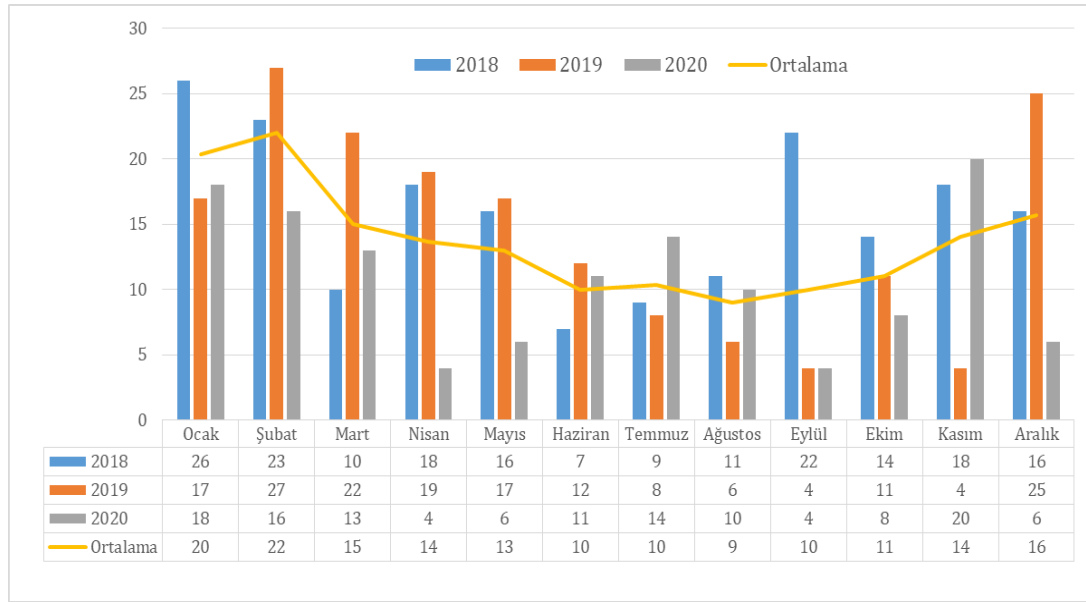
Çarpmadan frenleme ve taşıt takip mesafelerinin dikkate alınması kazaların oluşmasını önleyebilir.

Birbirini izleyen iki taşıttan ndeki taşıtın sürücüsü, yol üzerinde ani olarak fark ettiği bir engele çarpmamak için sert şekilde fren yaptığında, arkadaki taşıtın ndeki taşıta çarpmaması için arada bulunması gereken en az mesafe, arkadaki taşıt sürücüsünün intikal-reaksiyon süresi içinde kat ettiği mesafe kadar olmalıdır. Ancak, uygulamada fren glerinin ve sürücülerin frene basma derecelerinin farklı olabileceği, arkadaki sürücünün herhangi bir sebeple ndeki taşıtın fren lambasının yanışını fark etmede bir miktar gecikebileceği gibi hususlar söz konusu olabilecektir. Bu nedenle takip aralığında daha uzun bir mesafenin dikkate alınması güvenlik açısından uygun kabul edilir (Ilıcalı, 2019).

Metrobüs koridorunda çalışan araçlar, karışık trafikte seyretmedikleri için arkadan gelen aracın ndeki araca çarpmaması beklenir. Ancak sefer aralıkları 15 sn civarında olan Metrobüs koridorunda kazalar kaçınılmaz olmaktadır. Otomatik sinyalizasyon sistemine sahip olan raylı sistemlerde sefer aralıkları en az 90 saniye olarak planlanıp işletilmektedir. İnsan faktörünün ne çıktığı toplu taşıma sistemi olan Metrobüs sisteminde sefer aralıklarının uzatılması kazaların önlenmesinde önem arz etmektedir.

Metrobüs şoförünün sürüş ve yol güvenliği açısından belirli kurallara uyması ve önündeki aracın durumuna göre sürüşünü ayarlamak zorundadır. Metrobüs koridorunda sollama imkanı olmadığı için takip mesafesine ve uyarılara uymak, kazaların önlenmesi ve yolcu güvenliği açısından oldukça önemlidir. Takip mesafesi ve uyarılara uyulmadığında sistem tıkanarak arkadan gelen araçların uzun kuyruk oluşturması söz konusudur.

Metrobüs araçlarının birbiriyle kazaya karıştığı 2018, 2019 ve 2020 yılına ait aylık veriler Şekil 3.20’de gösterilmiştir.

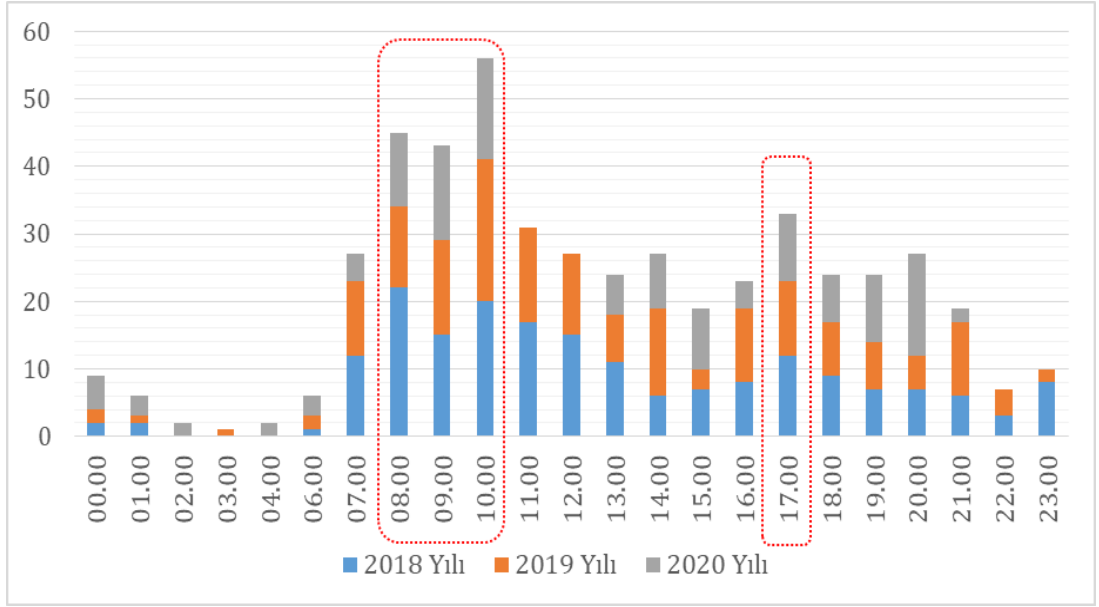


Şekil 3.20 Yıllara göre Metrobüs araçlarının arkadan çarpma kaza sayıları

2018 ve 2019 yıllarında ortalama 2 günde 1 kaza meydana gelirken, 2020 yılında ise ortalama 3 günde 1 kaza meydana gelmiştir. 2020 yılı Mart ayından itibaren görülen koronavirüs pandemisi nedeniyle sokağa çıkma kısıtlaması uygulanmaya başlanmış ve başta okullar olmak üzere birçok işyeri kapatılmıştır. Bu durumdan doğal olarak toplu taşıma sektörü de etkilenmiş, yolcu sayıları azalması nedeniyle sefer planlamaları seyreltilmek zorunda kalmıştır (İETT, 2020d, 2020c).

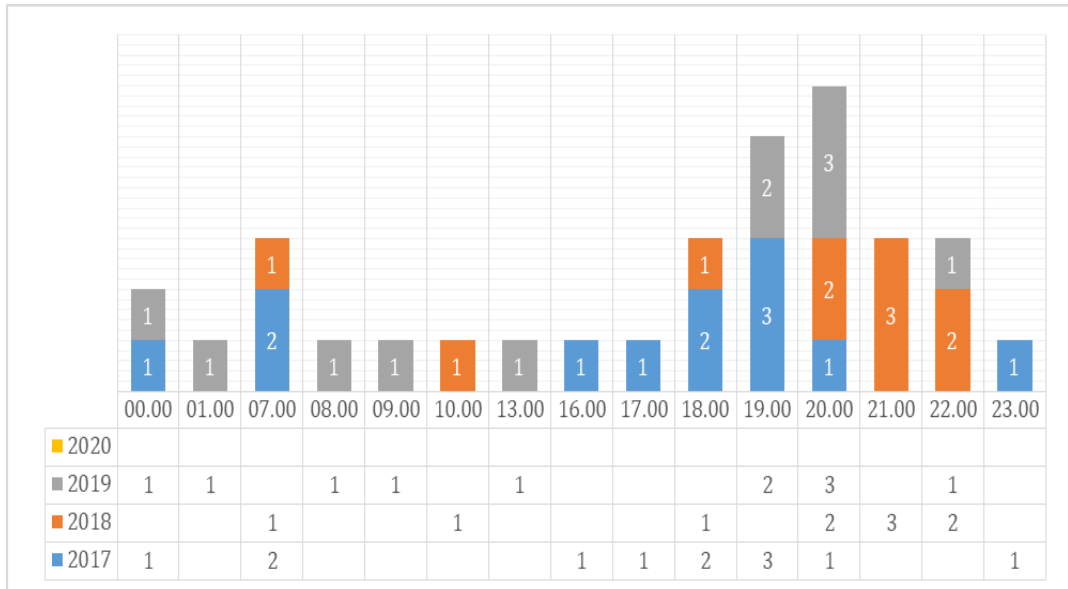
Söz konusu pandemi sonucu İstanbul Metrobüs sefer aralıkları, ortalama 22 – 38 saniye olarak güncellenmiş olup Metrobüs araçlarının birbirleri ile olan kazalarının önceki yıllara göre azalmasını sağlamıştır.

Şekil 3. 21’deki grafiğe göre kazaların daha çok sabah 08.00 – 11.00 ve akşam 17.00 – 18.00 saatleri arasında sefer aralıklarının 15 – 20 saniye olduğu yoğun saatlerde meydana geldiği tespit edilmiştir. Metrobüs kazalarının meydana geldiği zaman dilimleri Şekil 3.21’deki grafikte gösterilmiştir.



Şekil 3.21 Metrobüs kazalarının meydana geldiği saat aralıkları

Metrobüs aracına binmek ya da inmek isteyen yolculara zaman zaman istasyon içerisinde Metrobüs aracı çarpmakta ve kazalar meydana gelmektedir. İstanbul Metrobüs toplu taşıma sisteminde 2017 – 2020 yılları arasında meydana gelen yolcuya çarpma şeklinde gerçekleşen kaza zamanlarını gösteren veriler Şekil 3.22’de gösterilmiştir.



Şekil 3.22 Metrobüs istasyonu içinde yolcuya çarpma saat aralıkları

Grafikteki verilere göre yolcuya çarpma sonucu kazaların çoğu akşam 18.00 – 23.00 arası zaman dilimlerinde meydana gelmiştir.

2020 yılında uygulanan sokağa çıkma kısıtlaması sonucu Metrobüs istasyonları içerisinde yolcu yoğunluğunun azalmasının bir göstergesi olarak yolcuya çarpma kazası ile karşılaşılmamıştır.

3.3.5. Metrobüs kullanım verileri

Kullanım verileri Metrobüsün ilk kurulduğundaki ve mevcut durumdaki sefer sıklıkları, kullanılan araç sayıları ve taşınan yolcu sayıları olarak ele alınmıştır.

3.3.5.1. Başlangıç yılı veriler

Metrobüsün ilk kurulduğu yıllarda Avcılar Zincirlikuyu arasında ortalama 45 saniye sefer aralığında çalışan 205 otobüsle günlük 545.000 yolcu taşınmıştır. Yolculuk süresi, 38 dakika olarak gerçekleşen Avcılar Zincirlikuyu arasında günlük 2800 sefer yapılmıştır (İETT, 2008b).

3.3.5.2. Mevcut durum verileri

Metrobüs hattında virüs salgını öncesinde 965.110 yolcunun taşındığı 03.03.2020 tarihine ait istasyonlarda binen ve inen toplam yolcu sayıları Çizelge 3.14’de verilmiştir.

Çizelge 3.12 İstasyonlara göre yolcu sayıları

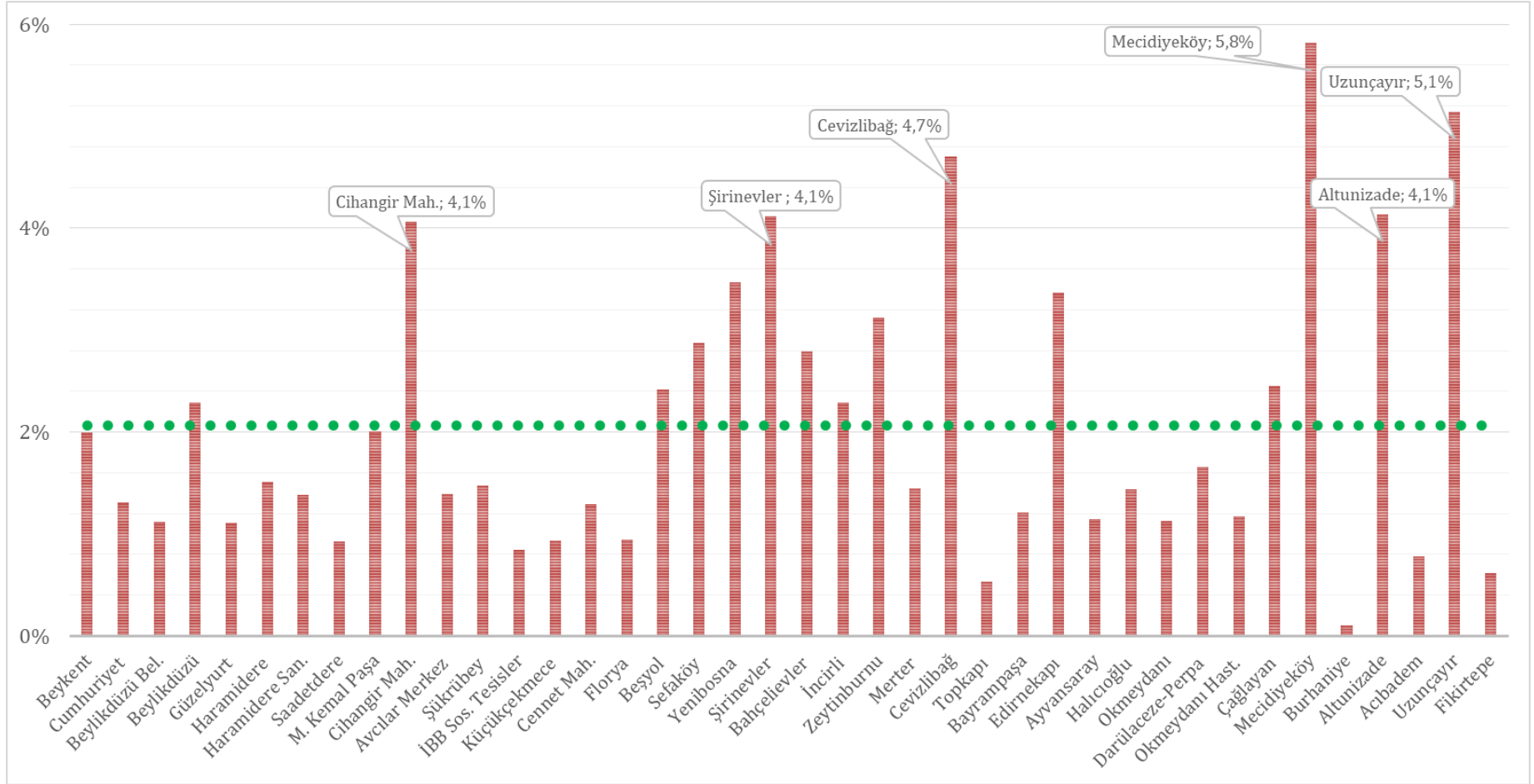
İstasyonlar	Söğütlüçeşme Yönü Binen Yolcu Sayısı	Beylikdüzü Yönü İnen Yolcu Sayısı	Beylikdüzü Yönü Binen Yolcu Sayısı	Söğütlüçeşme Yönü İnen Yolcu Sayısı	İstasyonu Kullanan Yolcu Sayısı
Beylikdüzü Tüyap	29.453	26.104			55.557
Beykent	19.166	18.113	901	331	38.511
Cumhuriyet	11.003	12.651	1.080	532	25.267

Beylikdüzü Bel.	9.553	10.320	1.044	697	21.613
Beylikdüzü	18.380	21.081	2.431	2.324	44.216
Güzelyurt	10.269	9.609	824	730	21.432
Haramidere	13.281	13.240	1.395	1.278	29.194
Haramidere San.	10.011	10.665	3.086	2.952	26.715
Saadetdere	7.257	7.301	1.658	1.632	17.847
M. Kemal Paşa	14.672	15.927	3.964	4.174	38.737
Cihangir Mah.	32.709	33.822	5.783	6.071	78.385
Avcılar Merkez	8.891	10.139	3.811	4.080	26.920
Şükrübey	9.749	11.426	3.561	3.665	28.401
İBB Sos. Tesisler	5.706	5.832	2.357	2.393	16.288
Küçükçekmece	4.006	4.176	5.163	4.789	18.134
Cennet Mah.	7.672	8.848	4.099	4.249	24.867
Florya	5.689	6.036	3.281	3.255	18.261
Beşyol	15.427	16.616	7.271	7.303	46.616
Sefaköy	16.724	18.297	10.332	10.214	55.567
Yenibosna	17.063	17.804	16.475	15.655	66.997
Şirinevler	17.403	17.724	22.621	21.737	79.486
Bahçelievler	11.565	12.032	15.275	14.980	53.852
İncirli	10.555	11.580	11.221	10.782	44.137
Zeytinburnu	10.439	10.489	19.728	19.599	60.255
Merter	6.476	6.500	7.918	7.117	28.012
Cevizlibağ	11.964	12.125	33.878	32.770	90.737
Topkapı	1.623	1.571	3.388	3.780	10.361
Bayrampaşa	6.190	5.627	5.982	5.580	23.380
Edirnekapı	14.370	14.292	18.850	17.526	65.038
Ayvansaray	5.551	5.094	6.024	5.546	22.214
Halıcıoğlu	6.692	6.694	7.268	7.120	27.773
Okmeydanı	5.433	6.022	4.932	5.344	21.731
D. Perpa	8.405	8.238	7.727	7.592	31.961

Okmeydanı Hast.	5.223	5.592	5.665	6.184	22.665
Çağlayan	11.620	12.040	11.511	12.209	47.379
Mecidiyeköy	18.021	18.922	37.238	38.181	112.362
Zincirlikuyu	40.503	42.531	51.744	47.474	182.252
15 Temmuz Köp.	1.237	1.550	6.129	7.031	15.946
Burhaniye	333	408	574	674	1.989
Altunizade	8.550	8.721	31.407	31.237	79.915
Acıbadem	1.382	1.697	5.831	6.140	15.049
Uzunçayır	3.513	2.875	47.975	44.925	99.288
Fikirtepe	505	547	5.474	5.374	11.901
Söğütluçeşme			44.005	39.007	83.012
Genel Toplam	474.232	490.878	490.878	474.232	1.930.221

Çizelge 3.14'deki verilere göre tüm istasyonların yolcular tarafından günlük kullanım oranı, ortalama %2 olarak ölçülmüştür. Başlangıç ve bitiş istasyonları ile platformları ayrı olan istasyonlar dışında günlük olarak en fazla yolcunun kullandığı ara istasyonlardan Mecidiyeköy %5,8 ile ilk sırada yer alırken Uzunçayır %5,1, Cevizlibağ %4,7, Cihangir, Şirinevler ve Altunizade %4,1 kullanım oranına sahiptir.

Şekil 3.23'deki grafikte Metrobüs istasyonlarını yolcular tarafından günlük kullanım yüzdeleri gösterilmiştir.



Şekil 3.23 Metrobüs istasyonlarının yolcular tarafından günlük kullanım oranları

İlk olarak Çin'in Vuhan Eyaleti'nde Aralık 2019 tarihinde solunum yolu enfeksiyonu yaptığı tespit edilen ve ülkemizde de Mart 2020 tarihinde görülen "Yeni Koronavirüs" (COVID-19) pandemisi (T.C. Sağlık Bakanlığı, 2020) nedeniyle sokağa çıkma kısıtlaması öncesinde 44 istasyonlu Beylikdüzü - Söğütluçeşme Metrobüs hattında 535 araçla günlük ortalama 900.000 civarında yolcu taşınmıştır. Bu pandemi sonrasında ise yolculuk sayısı Çizelge 3.15'de de görüleceği üzere oldukça gerilemiştir (İETT, 2020b).

Çizelge 3.13 Pandemi sonrası günlük sefer ve yolculuk sayıları

Yıl	Ay	Günlük Araç	Günlük Sefer	Günlük Yolculuk	Araç Başına Günlük Sefer	Sefer Başına Yolculuk
2019	Aralık	528	7.155	928.423	14	130
2020	Ocak	527	7.187	862.163	14	120
2020	Şubat	527	7.369	928.399	14	126
2020	Mart	475	6.788	560.707	14	83
2020	Nisan	498	6.160	117.703	12	19
2020	Mayıs	502	6.187	170.797	12	28
2020	Haziran	494	6.726	408.800	14	61
2020	Temmuz	515	6.692	474.947	13	71
2020	Ağustos	535	6.692	478.393	13	71
2020	Eylül	535	6.865	547.094	13	80
2020	Ekim	535	6.925	562.239	13	81
2020	Kasım	560	7.357	499.262	13	68

4. TOPLU TAŞIMA SİSTEMİ BEKLEME SÜRELERİ

Bu bölümde toplu taşıma sisteminde kullanılan araçların teknik özelliklerinden olan CAN-Bus sisteminden bahsedilmiş olup bu sistem aracılığıyla elde edilen istasyonlarda bekleme süreleri değerlendirilmiştir.

4.1. CAN – Bus

CAN Protokolü, 1980 yılında Alman otomotiv sistemleri üreticisi olan Robert Bosch tarafından ortaya çıkarılmıştır. CAN protokolü, 1993 yılında ISO tarafından uluslararası bir standart ve 1995 yılında SAE tarafından dizel motor uygulamalarında bir standart olarak kabul edilmiştir (Ünal, 2006).

CAN-Bus sistemi ile ilgili aşağıda bahsedilen veriler İETT araç teknik eğitim dokümanlarından yararlanılarak oluşturulmuştur (İETT, 2008a).

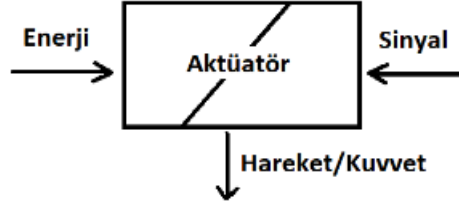
CAN sisteminin birden fazla aktüatör ve sensör için tek bir kabloyla aynı anda elektrik sinyalleri göndermesine "çoğullama" veya "çoklama" denir. Sistem yazılım ve donanım olarak ayrılmaktadır.

Donanım aşağıdaki bileşenlerden oluşur:

- İşlem üniteli ekran (D-MUX)
- Merkezi işlemci
- Giriş / çıkış birimleri, düğümler
- Elektronik kontrol üniteleri (ECAS, EBS, DMCI, DTCO vb.)

Farklı donanım bileşenlerinin bir ağ içerisinde CAN kabloları üzerinden birbirleriyle iletişim kurması ile sensörler ve aktüatörler düğümlere bağlanmaktadır. CAN sinyalleri, analog veya dijital sinyallere dönüştürülebilmektedir.

Aktüatör; elektriksel, hidrolik veya pnömatik giriş bilgisini fiziksel çıkış hareketine dönüştüren bir elemandır. Bir enerjiyi alarak bir nesneyi hareket ettirmek için kullanılan aktüatör elemanı Şekil 4.1’de gösterilmektedir.

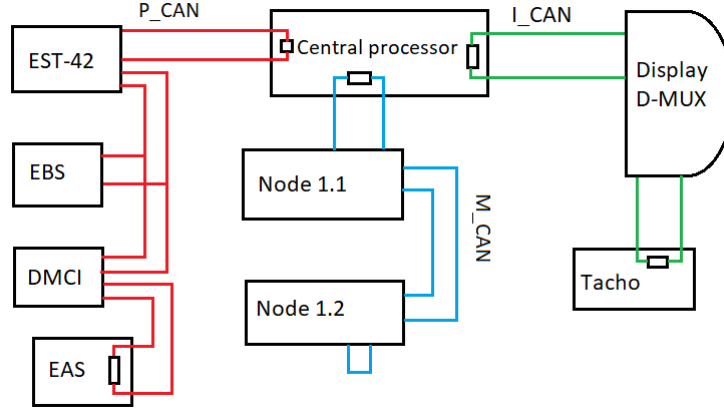


Şekil 4.1 Aktüatör elemanı

Merkezi işlemci, ilgili bileşenlerle CAN kabloları üzerinden iletişim kurmaktadır. Her bileşen, CAN kabloları üzerinden merkezi işlemciden sinyal alıp göndermektedir.

Düğümelerde CAN sinyalleri, analog sinyallere ve dijital sinyallere veya tam tersine dönüştürülmektedir. Düğümler, sensörler ve aktüatörlerle bağlı olup merkezi işlemcinin bir komutu ile düğüm aktüatörleri etkinleştirebilmektedir. Merkezi işlemci komutu, merkezi işlemcide programlanan sensör bilgisi ve yazılıma dayandırmaktadır.

Bir araçta birden fazla CAN ağı kullanmak mümkündür. Bu CAN ağları, aynı hıza ve aynı protokole sahip oldukları sürece birbirleriyle iletişim kurabilir. Ağların aynı hıza veya protokole sahip olmaması durumunda, bir ağ geçidi kullanarak yine de iletişim kurabilirler. Şekil 4.2’deki şemada bir ağ geçidine bağlı üç CAN ağı görülmektedir (P_CAN, I_CAN, M_CAN).

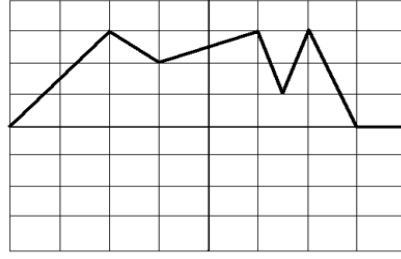


Şekil 4.2 Bir ağ geçidine bağlı üç CAN ağı

4.1.1. Analog ve dijital sinyaller

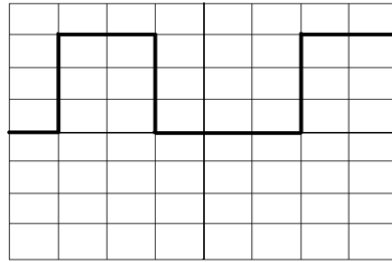
Bir analog ve bir dijital sistem arasındaki fark, bir bent kapağı ile karşılaştırılabilir. Bu bent kapağı; kapalı, yarı açık veya tamamen açık olabilir. Tamamen açık ve kapalı arasında, bent kapağı rastgele herhangi bir konuma sahip olabilir. Sonuç, tamamen değişken bir su akışıdır. Bent kapağı analog bir sistem gibi çalışır. Bent kapağı sadece iki pozisyon bildiğinde; aç ve kapa, su akışını ayarlamanın tek yolu bent kapağını sürekli hızlı açıp kapatmaktır. Bent kapağının açılması ve kapatılması kademeli olmadığı zaman dijital bir sistem gibi çalışır.

Bir elektrik sistemindeki potansiyometre, analog bir sinyal oluşturur. Örneğin, bir ampulün parlaklığını kademeli olarak ayarlayabilirsiniz. Potansiyometre yerine bir anahtar kullandığımızda, ampulün yalnızca iki konumu vardır: açık ve kapalı. Bu durumda elektrik sistemi dijital bir sistem gibi çalışır. Anahtarlı bir potansiyometreyi yüksek frekansta açıp kapatarak simüle etmek mümkündür. Şekil 4.3 ve 4.4’de analog ve dijital sinyal görüntüsü gösterilmiştir.



Analog signal on a scope

Şekil 4.3 Analog sinyal görüntüsü

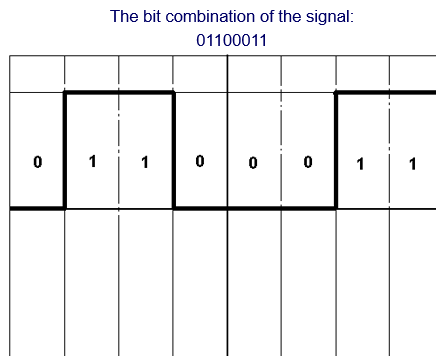


Digital signal on a scope

Şekil 4.4 Dijital sinyal görüntüsü

4.1.2. İkili sinyaller

Dijital sinyallerde ikili sinyaller kullanılmakta olup yalnızca iki kararlı koşul mümkündür, 1 bit (voltaj var) ve 0 bit (voltaj yok). Sinyal aynı parçalara bölündüğünde ve bu parçalara ikili değerler verildiğinde Şekil 4.5'deki gibi görüntü meydana gelir.



Şekil 4.5 Sinyalin bit kombinasyonu

Sinyalin her parçası bir “bit” hücrelidir. Bu ikili rakam anlamına gelir. Toplam ikili sinyal, bir “bit” kombinasyondur.

- Bir bit kombinasyonu her zaman sabit sayıda bit içerir.
- En çok kullanılan 8 bitlik kombinasyondur. (8 bit = 1 bayt)
- Aşağıdaki kombinasyonlar 2 bit ile mümkündür:

✓	00	} 4 farklı değer
✓	01	
✓	10	
✓	11	

Dijital sistem ne yapacağını, nereden başlayacağını bilemez. Bu nedenle bir bit kombinasyonunun önceden kararlaştırılmış bit sayısına sahip olduğu konusunda bir kabul vardır. En çok kullanılan bit kombinasyonu 8 bitlik kombinasyondur.

4.2. Toplu Taşıma Telemetry Cihazı

Metrobüs hattında çalışan araçların CAN-Bus sisteminden alınan sinyallerle araçların motor devirleri, hızları, fren pedal pozisyonu, kapıların açılıp kapatılma durumları ve konumları gibi birçok verisi anlık olarak İETT toplu taşıma araçlarında kullanılmak üzere geliştirilen telemetry cihazı ile takip edilip kayıt edilmektedir. Karakutu olarak da isimlendirilen bu cihaz sayesinde bir kaza olduğunda veya araçta büyük bir arıza olduğunda bu cihazda kayıtlı bilgiler incelenerek raporlamalara destek olunmaktadır (İETT, 2015).

Belirli periyotlar halinde online olarak sunuculara aktarılan araçtan gelen sensör ve sürüş bilgileri sayesinde görev ve iş emirlerinin belirlenen kriterlere uygun yapılıp yapılmadığı denetlenmektedir. Ayrıca ani yavaşlama, ani duruş, ani ivmelenme ve kasislerden hızlı geçiş durumları kayıt altına alınarak sürücü sesli olarak uyarılmaktadır (Infinidium, 2021).

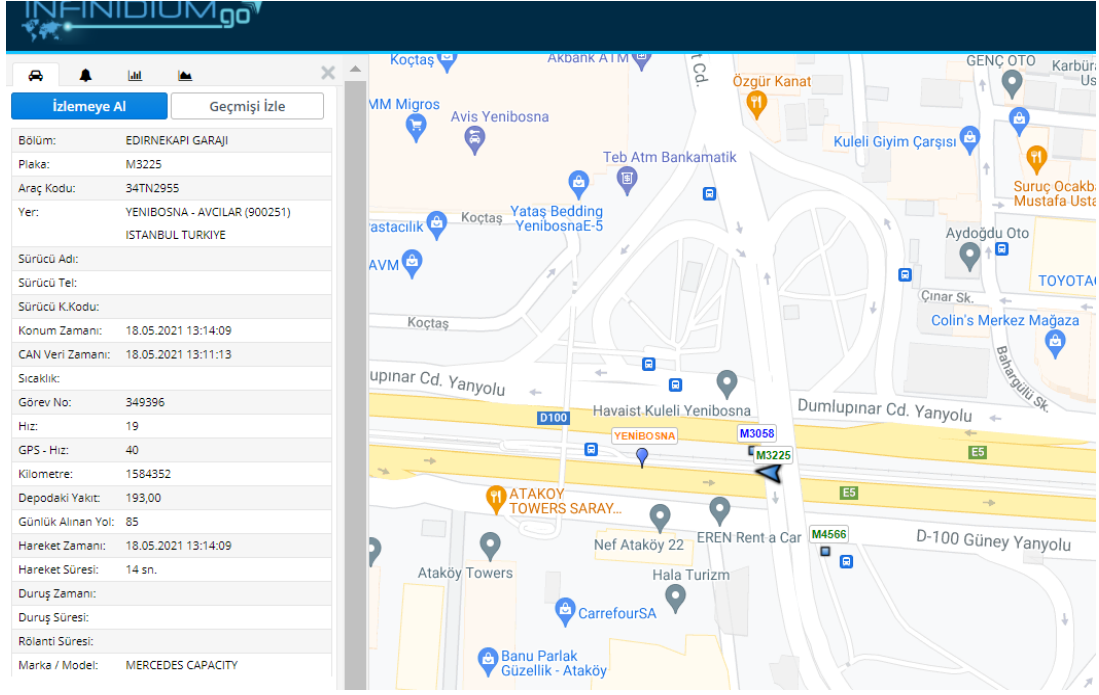
4.3. CAN-Bus Verileri

CAN-Bus hattı sayesinde, aracın konumu, motor devri, hızı, yakıt seviyesi ve tüketimi, seçilen vitesi, gaz – fren pedal pozisyonu, fren balataları aşınma seviyesi, fren basınçları, motor – şanzıman yağ seviye ve sıcaklığı, klima çalışma durumu, kapıların açık – kapalı pozisyonu ve arıza uyarıları gibi pek çok bilgileri kayıt edilmektedir. Telemetri cihazı ile her 1 saniyede kaydedilen bu veriler, program üzerinden anlık takip edilebildiği gibi daha sonra da raporlanabilmektedir. Raporlanabilen veriler Şekil 4.6’da gösterilmiştir.

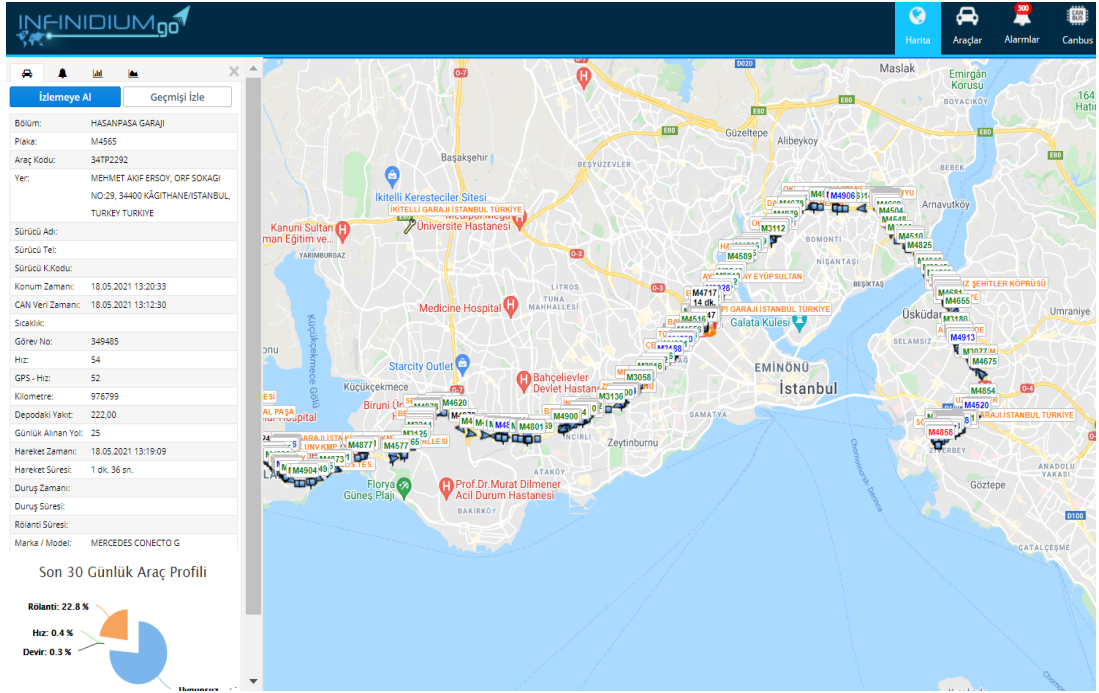
☐ 1 - Motor Devri	☐ 2 - Motor Yüğü	☐ 3 - Hedef Tork	☐ 4 - Fiili / İdeal Motor Tork	☐ 5 - Taşıt Hızı
☐ 6 - Soğutma Suyu Sıcaklığı	☐ 7 - Anlık Yakıt Tüketimi	☐ 8 - Kilometre Sayacı	☐ 9 - Katalizör Giriş Sıc.	☐ 10 - Katalizör Çıkış Sıc.
☐ 11 - Katalizör Sıcaklığı	☐ 12 - Turbo Sıcaklığı	☐ 13 - Turbo Basıncı	☐ 14 - Aktif Vites	☐ 15 - Egroz Çıkış Sıcaklığı
☐ 16 - Fren Pedalı Switch	☐ 17 - Retarder Mom. Fiili Değ.	☐ 18 - Motor Yağ Sıcaklığı	☐ 19 - Motor Yağ Basıncı	☐ 20 - Yakıt Sıcaklığı
☐ 21 - Yakıt Depo Seviyesi (%)	☐ 22 - Ortam Basıncı	☐ 23 - Fren Pedal Konumu	☐ 24 - Seçilen Vites	☐ 25 - Fren Tank1 Basıncı
☐ 26 - Fren Tank2 Basıncı	☐ 27 - Akü Voltajı	☐ 28 - Ön Süspansiyon Basıncı	☐ 29 - Kick Down Anahtarı	☐ 30 - El Freni Pozisyonu / Park El Freni Konumu
☐ 31 - Aracın Toplam Röl. Çal. Süresi	☐ 32 - Araç Dışı Ortalama Sıcaklık	☐ 33 - Adblue Seviyesi	☐ 34 - Toplam Tüketilen Yakıt Miktarı	☐ 35 - Rölantide Tük. Top. Yakıt Mik.
☐ 36 - Motor Çalışma Süresi	☐ 37 - Gaz Pedalı Pozisyonu	☐ 38 - Adblue Tüketim Miktarı	☐ 39 - Emme Hava Debisi	☐ 40 - Emme Hava Sıcaklığı
☐ 41 - M.Yağ Sev.	☐ 42 - Şanzıman Yağı Sıcaklığı	☐ 43 - Eksik Motor Yağ Mik.	☐ 44 - Lastik Hava Basıncı	☐ 45 - Fren Balata Aşınması 1. Aks Sol
☐ 46 - Fren Balata Aşınması 1. Aks Sağ	☐ 47 - Fren Balata Aşınması 2.Aks Sol	☐ 48 - Fren Balata Aşınması 2.Aks Sağ	☐ 49 - Fren Balata Aşınması 3.Aks Sol	☐ 50 - Fren Balata Aşınması 3.Aks Sağ
☐ 51 - Fren Balata Aşınması 4.Aks Sol	☐ 52 - Fren Balata Aşınması 4.Aks Sağ	☐ 53 - Sinyal Durumu	☐ 54 - Uyarılar	☐ 56 - Debriyaj Pedalı Konumu
☐ 57 - Kapı Durumları	☐ 61 - Klima Çalışma Durumu	☐ 62 - Seçili Sıcaklık	☐ 63 - Ön Taraf Sıcaklığı	☐ 64 - Arka Taraf Sıcaklığı
☐ 65 - Hava Kompresör Durumu	☐ 66 - Notaus Anahtarı	☐ 67 - Durak Freni	☐ 68 - Eğim X	☐ 69 - Eğim Y
☐ 70 - Eğim Z	☐ 71 - X Eğim Hassasiyet	☐ 72 - Y Eğim Hassasiyet	☐ 73 - Z Eğim Hassasiyet	☐ 74 - İvme X
☐ 75 - İvme Y	☐ 76 - İvme Z	☐ 77 - Gerçek Tork (%)	☐ 78 - V1	☐ 79 - Sensör Aks-1 Sol
☐ 80 - Sensör Aks-1 Sağ	☐ 81 - Sensör Aks-2 Sol	☐ 82 - Sensör Aks-2 Sağ	☐ 83 - Yakıt Depo Seviyesi (L)	☐ 84 - Adblue Tüketim Miktarı
☐ 85 - Yakıt Basıncı	☐ 86 - Şanzıman Yağ Kumanda Voltajı	☐ 87 - Motor Odası Yangın İkazı	☐ 88 - Enjeksiyon Püskürtme Açısı	☐ 89 - Hedef Tork (%)
☐ 90 - Kontak	☐ 91 - Menzil	☐ 92 - Sürüş Programı		

Şekil 4.6 Raporlanabilen CAN-Bus verileri

Telemetri cihazı bulunan 18.05.2021 tarihinde M3225 kapı numaralı Mercedes Capacity model ve M4565 kapı numaralı Mercedes Conecto model Metrobüs araçlarının, görev takip numarası, kilometresi, hızı, depodaki yakıt miktarı ve harita üzerindeki konumu gibi verileri içeren ekran alıntısı Şekil 4.7 ve 4.8’de gösterilmiştir.



Şekil 4.7 M3225 nolu araç CAN-Bus bilgileri



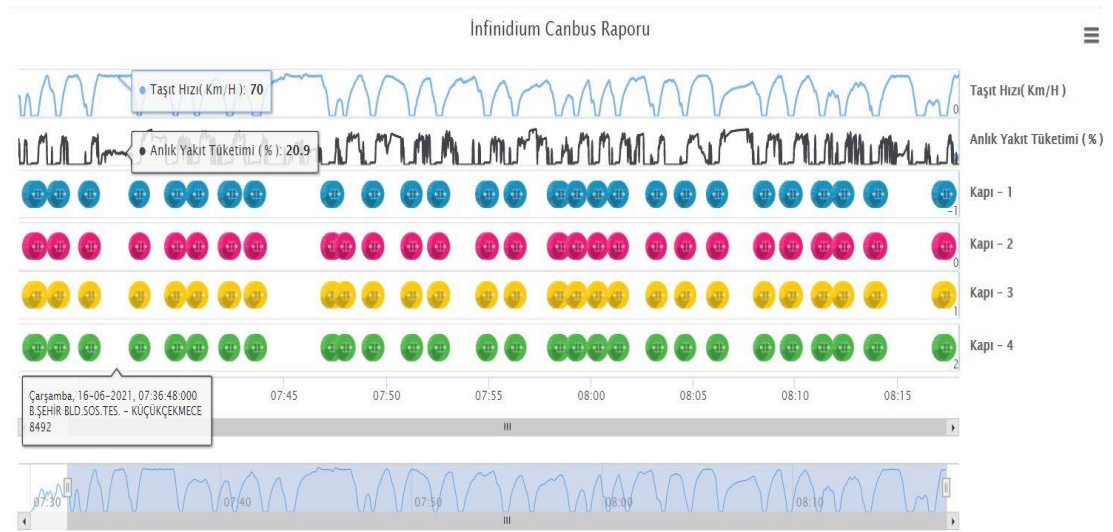
Şekil 4.8 M4565 nolu araç CAN-Bus bilgileri

4.4. Bekleme Süresi

Avcılar – Zincirlikuyu arasında sabah yoğun olan 07.00 – 09.00 saat aralığında çalışan Mercedes Conecto (10 araç), Mercedes Capacity (10 araç) ve APTS Phileas (10 araç) marka araçların aynı istasyonda kapılarının açık kalma süresi ile yolcu indirme ve bindirme süreleri dahil toplam bekleme süreleri, Metrobüs yazılım programından raporlanmıştır.

Araç kapı numaraları, Mercedes Capacity M3***, Mercedes Conecto M4*** ve APTS Phileas P1**** ile başlayan kodlarla ifade edilmektedir.

CAN-Bus kriterlerinden seçilen taşıt hızı, anlık yakıt tüketimi ve kapı durumlarını gösteren CAN-Bus rapor grafiği Şekil 4.9’da gösterilmektedir.



Şekil 4.9 M4656 nolu Mercedes Conecto araca ait CAN-Bus rapor grafiği

İncelenmek üzere seçilen kriterlerin her bir saniye için detayları Microsoft Excel programında Şekil 4.10’daki gibi raporlanmaktadır.

İşlem Zamanı	Adres	Hız (Km/H)	Kapı 1	Kapı 2	Kapı 3	Kapı4
16.06.2021 07:45:41	YENİBOSNA	28	KAPALI	KAPALI	KAPALI	KAPALI
16.06.2021 07:45:42	YENİBOSNA	23	KAPALI	KAPALI	KAPALI	KAPALI
16.06.2021 07:45:43	YENİBOSNA	18	KAPALI	KAPALI	KAPALI	KAPALI
16.06.2021 07:45:44	YENİBOSNA	12	KAPALI	KAPALI	KAPALI	KAPALI
16.06.2021 07:45:45	YENİBOSNA	8	KAPALI	KAPALI	KAPALI	KAPALI
16.06.2021 07:45:46	YENİBOSNA	5	KAPALI	KAPALI	KAPALI	KAPALI
16.06.2021 07:45:47	YENİBOSNA	1	KAPALI	KAPALI	KAPALI	KAPALI
16.06.2021 07:45:48	YENİBOSNA	0	KAPALI	KAPALI	KAPALI	KAPALI
16.06.2021 07:45:49	YENİBOSNA	0	KAPALI	KAPALI	KAPALI	KAPALI
16.06.2021 07:45:50	YENİBOSNA	0	AÇIK	AÇIK	AÇIK	AÇIK
16.06.2021 07:45:51	YENİBOSNA	0	AÇIK	AÇIK	AÇIK	AÇIK
16.06.2021 07:45:52	YENİBOSNA	0	AÇIK	AÇIK	AÇIK	AÇIK
16.06.2021 07:45:53	YENİBOSNA	0	AÇIK	AÇIK	AÇIK	AÇIK
16.06.2021 07:45:54	YENİBOSNA	0	AÇIK	AÇIK	AÇIK	AÇIK
16.06.2021 07:45:55	YENİBOSNA	0	AÇIK	AÇIK	AÇIK	AÇIK
16.06.2021 07:45:56	YENİBOSNA	0	AÇIK	AÇIK	AÇIK	AÇIK
16.06.2021 07:45:57	YENİBOSNA	0	AÇIK	AÇIK	AÇIK	AÇIK
16.06.2021 07:45:58	YENİBOSNA	0	AÇIK	AÇIK	AÇIK	AÇIK
16.06.2021 07:45:59	YENİBOSNA	0	AÇIK	AÇIK	AÇIK	AÇIK
16.06.2021 07:46:00	YENİBOSNA	0	AÇIK	AÇIK	AÇIK	AÇIK
16.06.2021 07:46:01	YENİBOSNA	0	AÇIK	AÇIK	AÇIK	AÇIK
16.06.2021 07:46:02	YENİBOSNA	0	AÇIK	AÇIK	AÇIK	AÇIK
16.06.2021 07:46:03	YENİBOSNA	0	AÇIK	AÇIK	AÇIK	AÇIK
16.06.2021 07:46:04	YENİBOSNA	1	AÇIK	AÇIK	AÇIK	AÇIK
16.06.2021 07:46:05	YENİBOSNA	5	KAPALI	KAPALI	KAPALI	KAPALI
16.06.2021 07:46:06	YENİBOSNA	9	KAPALI	KAPALI	KAPALI	KAPALI

Şekil 4.10 Yenibosna istasyonundan geçen bir aracın CAN-Bus rapor örneği

4.4.1. Kuyrukta bekleme süresi

Avcılar – Zincirlikuyu arasındaki istasyonlardan geçen Metrobüs araçlarının kapıları kapalı iken kuyrukta bekleme sürelerini gösteren çizelge aşağıda verilmiştir. Her bir istasyon için genel ortalamaya göre kuyrukta bekleme süreleri ile araç tiplerine göre kuyrukta bekleme süreleri ayrı ayrı test edilmiştir. Z skoru, örneklem sayısının $n \geq 30$ ve $n < 30$ olması durumuna göre iki farklı formül ile hesaplanmıştır (İstanbul Ticaret Üniversitesi, 2021).

- $n \geq 30$; $Z = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sigma_{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}}$, $\sigma_{\bar{x}_1 - \bar{x}_2} = \sqrt{\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}}$ formülü,

- $n < 30$; $Z = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sigma_{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}}$, $S^2 = \frac{(n_1 - 1)s_1^2 + (n_2 - 1)s_2^2}{n_1 + n_2 - 2}$, $\sigma_{\bar{x}_1 - \bar{x}_2} = S \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}$ formülü

kullanılmıştır.

Formüldeki;

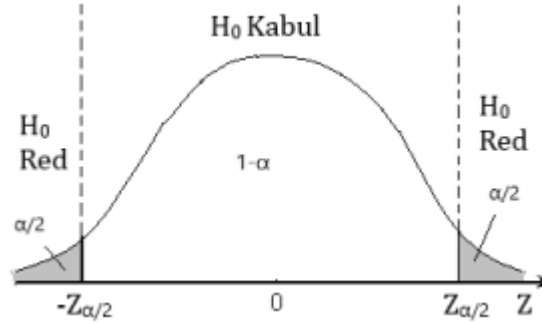
- $\bar{x}_1$ ve $\bar{x}_2$ örneklemin ortalamasını,
- S_1 ve S_2 , örneklemin standart sapmasını,
- n_1 ve n_2 örneklem sayısını göstermektedir.

Çizelge 4.1 Avcılar-Zincirlikuyu sabah zirve saat kapı kapalı, hız=0 km/h istasyonda bekleme süresi, saniye

İstasyon	M4505	M4511	M4534	M4542	M4555	M4565	M4577	M4598	M4600	M4656	M3019	M3033	M3063	M3088	M3100	M3110	M3134	M3189	M3220	M3238	P1001	P1003	P1013	P1014	P1022	P1026	P1032	P1037	P1045	P1050
Şükrübey	2	2	3	2	2	2	3	2	1	2	2	1	2	2			2		2		1	1	1	2	2	1	4	2	2	1
İBB Sos. Tesisler	3	2		2	1	2	6	2	1	2	3	2	2	10	3	2	2		2	3	1	2	1	2	2	1	3	2	2	1
Küçükçekmece	3	1	5	2	2	2	2	2	7	2	1	2	2	2	2	4	1	9	2	3	2	1	1	3	2	5	4	1	17	1
Cennet Mahallesi	2	2	3	2	1	14	2	2	6	2	1	2	2	1	2	2	1	2	2			1		2	2		3	2	2	1
Florya	2	2	2	2	1	2	3	3	2	2	1	1	2	3	3	1	2	2	2	2	1	2	1	2	4	1	4		2	2
Beşyol	2	2	3	1	2	3	6	3	12	2	5	19	1	5	7	2	1	2	2	17	1	3	2	8	2	1	4	1	9	1
Sefaköy	2	2	3	3	1	2	2	3	2	10	2	1	2	2	5	7	2	6	2		1	2		4	3	2	5	2		1
Yenibosna	1	3	2	2	11	18	4	18		5	23	2	2	1	2	18	2	1	1	1	1	15	5	7	6	2	3	21	4	1
Şirinevler	2	2	3	2	1	2	2	2	2	2	1		2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	2	2	3	3	2	3	3
Bahçelievler	3	2	3	2	1	2	2	2	2	2	1	3	2	3	2	2	2	3	2	3	1	2	2	11	2	2	4	3	3	2
İncirli	2	3	3	2	1	2	2	2	2	4	3	4	2	2	2	2	11	2	3	3	2	3	1	3	4	2	4	4	2	2
Zeytinburnu	2	2	3	2	8	3	3	3	9	4	1		2	2	2	2	2	1	1	3	3	2	2	7	2	3	4	3	12	4
Merter	2	2		2	2	11	2	2	1	1	2	2	9	12	3	12	2	2	2	9	1	8	2	2	2	2	5	2	13	6
Cevizlibağ	4	2	2	4	2	1	3	3	1	5	1	7	2	5	3	1	2	1	4	2	2	2	1	3	2	2	6	1	6	2
Topkapı	2	2		2	9	2	2	2	2	2		2	2	2	3	2	2	2	2	3	2	3	1	11	1		3	7	3	2
Bayrampaşa	2	2	3	2	2	3	3	2	1	1	1	2	1	2	2	2	1	4	2	2	2	3		3	3	2	3	13	3	2
Edirnekapı	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	5	1	2	1	2	2	7	7	2	1	2	2	1	3	3	1	3	4	2	1
Ayvansaray	1	2	2	3	2	2	3	7	2	1	2	2	1	12	2	2	2	1	2	3	1	2		3	2	2	5	5	1	2
Halıcıoğlu	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	4	2	2	3	2	1	2	2	5	3		2	4	4	2	6	3	3	3
Okmeydanı	2	2	2	4	13	1	2	12	7	2		2	1	2	2	2	2	3	2	3	2	1	1	4	2	1	4	4	2	1
Darülaceze Perpa	2	1	3	6	2	2	3	3	2	2		2	2	2	2	2	1	2	2	3	2	1	2	3	2	8	4	2	2	
Okmeydanı Hastane	2	1	3	4	2	10	3	3	1	2	1	5	1	2	2	2	2	2		3	1	1		3		7	3	3	3	
Çağlayan	2	1	3	3	3	2	2	2	2	1	3		2	2	2	8	2	7	2	17	2	3		3	3	1	4	2	2	1
Mecidiyeköy	2	1	3	9	2	2	3	2	1	2	1	2	1	9	2	2	3		2	2	2	2	1	1	3	3	4	2	1	1

4.4.1.1. Her bir istasyonda kuyrukta bekleme süresi

İstasyonlarda araçların kapı kapalıyken kuyrukta genel bekleme süresi ortalama 2,92 saniye, standart sapması ise 2,808 olarak ölçülmüştür. Genel ortalamaya göre istasyonlar arasında farkın olup olmadığını incelemek üzere çift taraflı H_0 sıfır (temel) hipotezi; $H_0: \mu_1=\mu_2$ olarak, H_1 alternatif (karşıt) hipotezi $H_1: \mu_1\neq\mu_2$ olarak oluşturulmuştur. Örneklem sayısı $n\geq 30$ olduğu için $\alpha=0,05$ hata payı veya $(1-\alpha)=0,95$ güven olasılığı için kritik değerler hesaplanmıştır. Z skorunun ret bölgesindeki negatif değeri, yoğunluğun normal dağılıma göre az olduğunu ifade ederken, pozitif değeri yoğunluğun normal dağılıma göre fazla olduğunu ifade etmektedir (Şekil 4.11).



Şekil 4.11 Test kabul - ret grafiği

Her bir istasyon için standart sapma ve Z skoru hesaplanarak Çizelge 4.2’de gösterilmiştir. Anlam seviyesi $\alpha=0,05$ için $Z_{\alpha/2}=1,96$ olarak dikkate alınmış ve hesaplanan Z skoru değerleri ile test edilmiştir.

Çizelge 4.2 İstasyonlarda kuyrukta bekleme süresi Z testi çizelgesi

No	İstasyon	İstasyon Ortalaması, $\bar{x}_i$	Standart Sapma, S_i	Z skor	$Z_{\alpha/2}=1,96$ $H_0:\mu_1=\mu_2$
1.	Şükrübey	1,88	0,711	-5,875	Yanlış
2.	İBB Sos. Tesisler	2,39	1,792	-1,48	Doğru
3.	Küçükçekmece	3,1	3,209	0,305	Doğru
4.	Cennet Mahallesi	2,46	2,549	-0,893	Doğru
5.	Florya	2,03	0,823	-4,735	Yanlış
6.	Beşyol	4,3	4,602	1,631	Doğru

7.	Sefaköy	2,93	2,074	0,018	Doğru
8.	Yenibosna	6,28	6,984	2,58	Yanlış
9.	Şirinevler	1,97	0,626	-6,026	Yanlış
10.	Bahçelievler	2,53	1,737	-1,15	Doğru
11.	İncirli	2,8	1,769	-0,348	Doğru
12.	Zeytinburnu	3,34	2,539	0,882	Doğru
13.	Merter	4,24	3,87	1,821	Doğru
14.	Cevizlibağ	2,73	1,68	-0,569	Doğru
15.	Topkapı	2,89	2,326	-0,064	Doğru
16.	Bayrampaşa	2,55	2,148	-0,888	Doğru
17.	Edirnekapı	2,33	1,561	-1,921	Doğru
18.	Ayvansaray	2,66	2,24	-0,613	Doğru
19.	Halıçioğlu	2,55	1,121	-1,566	Doğru
20.	Okmeydanı	3,03	2,921	0,21	Doğru
21.	Darülaceze Perpa	2,5	1,453	-1,419	Doğru
22.	Okmeydanı Hastane	2,77	2,006	-0,366	Doğru
23.	Çağlayan	3,11	3,143	0,313	Doğru
24.	Mecidiyeköy	2,45	1,975	-1,231	Doğru

Çizelge 4.2'deki μ_1 her bir istasyonunun ayrı ayrı genel ortalamasını, μ_2 ise tüm istasyonların genel ortalamasını ifade etmektedir. Çizelge 4.2'den de görüleceği üzere H_0 hipotezi, Şükrübey ($Z=-5,875$), Florya ($Z=-4,735$), Yenibosna ($Z=2,58$) ve Şirinevler ($Z=-6,026$) istasyonları için, $|Z|>|Z_{\alpha/2}|=1,96$ olduğundan dolayı kabul görmezken diğer istasyonlar için kabul görmüştür.

Bu sonuca göre Şükrübey, Florya ve Şirinevler'de meydana gelen kuyrukta bekleme süreleri, genel ortalamanın altında kaldığı için önemsizdir. Ancak Yenibosna istasyonu kuyrukta bekleme süresi (6,28) ve standart sapmasının (6,984), genel ortalamanın oldukça üzerinde olması sistemin kapasitesini olumsuz etkilemektedir. Yenibosna istasyonu ile kendisinden önceki Sefaköy istasyonu arası, Metrobüsün en uzun mesafesine (3,5 km) sahip olması, araçların yüksek hızda seyretmelerine imkan sağlamaktadır. İstasyona önce gelen aracın, yolcu iniş biniş için bekleme süresinin uzaması ile istasyonu boşaltmamasının kuyrukta beklemeye yol açtığı anlaşılmıştır.

4.4.1.2. Araç tipine göre kuyrukta bekleme süresi

Araç uzunluk ve tipine göre kuyrukta bekleme süreleri ortalaması ve standart sapması Çizelge 4.3’de verilmiştir.

Çizelge 4.3 Araç tipine göre kuyrukta bekleme süresi

Araç Tipi	Ortalama, $\bar{x}_i$	Standart Sapma
Conecto	2,852	2,563
Capacity	2,956	3,151
Phileas	2,951	2,700

Araç tiplerine göre Conecto ile Capacity, Conecto ile Phileas ve Capacity ile Phileas marka araçların kuyrukta bekleme süreleri için $H_0: \mu_1=\mu_2$ hipotezine göre anlam seviyesi $\alpha=0,05$ için $Z_{\alpha/2}=1,96$ olarak test edilmiş olup sonuçlar Çizelge 4.4’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.4 Araç tipine göre kuyrukta bekleme süresi Z testi çizelgesi

Araçlar Genel Değerlendirme	Z Skor	$Z_{\alpha/2}=1,96$ $H_0: \mu_1=\mu_2$
Conecto ile Capacity	-0,3872	Doğru
Conecto ile Phileas	-0,4051	Doğru
Capacity ile Phileas	0,0161	Doğru

$|Z| < |Z_{\alpha/2}|=1,96$ olduğundan araç tiplerine göre istasyonlarda kuyrukta bekleme süreleri arasında fark bulunmadığı, her üç tipteki araçların kuyrukta bekleme sürelerinin aynı olduğu tespit edilmiştir.

4.4.2. İstasyonda bekleme süresi

Avcılar – Zincirlikuyu arasındaki istasyonlardan geçen Metrobüs araçlarının kapıları açık iken yolcu indirme ve bindirme bekleme sürelerini gösteren Çizelge 4.5’de verilmiştir.

Çizelge 4.5 Avcılar-Zincirlikuyu sabah zirve saat kapı açık, hız=0 km/h istasyonda bekleme süresi, saniye

İstasyon	M4505	M4511	M4534	M4542	M4555	M4565	M4577	M4598	M4600	M4656	M3019	M3033	M3063	M3088	M3100	M3110	M3134	M3189	M3220	M3238	P1001	P1003	P1013	P1014	P1022	P1026	P1032	P1037	P1045	P1050
Şükrübey	10	10	12	10	12	10	12	12	11	11	13	11	11	17	10	11	11	11	14	11	12	9	12	14	9	10	13	8	10	15
İBB Sos. Tesisler	11	10		15	10	10		12	12	9	11	8	10	8	10	8	9		11		12	10	8	11	9	9	10	10	11	11
Küçükçekmece	11	9	20	13	11	9	10	11	13	8	9	9	11	9	8	7	10	10	12	9	11	8	9	10	9	10	11	10	12	11
Cennet Mahallesi	11	10	12	16	11	8	13	11	9	11	9	10	12	9	9	9	13	13	10			8	11	11	11	13	11	10	14	10
Florya	11	11	16	26	12	10	11	10	10	11	11	9	9	8	9	9	10	7	14	9		8	11	9	8	9	13		13	12
Beşyol	13	16	16	15	21	15	12	12	11	15	8	12	14	11	8	17	12	12	14	10	10	12	12	14	11	11	12	12	12	13
Sefaköy	14	14	15	15	14	13	15	12	12	14	14	11	12	14	13	12	12	28	16	14	9	16	9	9	15	11	15	13	9	13
Yenibosna	17	24	16	17	19	14	27	13		21	17	22	36	16	15	15	16	16	25	13	10	11	24	11	25	18	15	24	27	19
Şirinevler	17	18	13	22	15	11	16	14	13	12	16	17	17	15	16	13	19	18	18	14	10	14	15	19	14	13	17	13	13	16
Bahçelievler	16	11	10	14	13	11	13	12	14	11	10	13	16	14	12	11	12	10	16	13	12	9	14	11	16	19	14	11	17	15
İncirli	15	13	12	12	15	9	13	12	12	12	12	13	12	13	12	12	13	9	16	11	10	9	12	9	9	18	12	10	12	9
Zeytinburnu	18	14	19	15	15	12	18	12	17	14	12	19	17	16	11	14	14	15	20	13	12	12	21	15	15	14	15	15	13	13
Merter	13	11		14	9	14	11	10	16	11	13	14	12	10	12	12	11	13	13	10	22	8	11	11	13	9	10	10	11	11
Cevizlibağ	21	16	14	28	15	14	14	12	15	24	16	21	14	29	13	13	14	19	32	12	14	12	20	10	16	15	14	9	27	13
Topkapı	10	11		8	10	10	10	10	11	9	10	8	9	11	9	7	7	11	12	6	8	7	8	10	8	10	9		10	8
Bayrampaşa	10	12	16	12	10	10	11	7	11	11	11	10	11	13	9	10	9	9	14	13	11	8	10	9	12	9	11	14	11	9
Edirnekapı	15	12	10	11	9	13	11	11	10	9	14	13	15	12	10	11	16	11	20	11	11	8	12	10	10	13	16	13	13	9
Ayvansaray	11	10	10	11	7	11	15	8	12	10	9	11	15	10	8	8	12	6	10	8	12	9	9	9	9	15	9	8	11	9
Halıcıoğlu	10	10	6	10	10	11	11	9	11	11	13	9	9	7	8	8	10	9	10	7	7		9	11	7	8	8	8	10	8
Okmeydanı	10	11	15	8	8	16	11	10	8	10		10	10	9	10	8	14	8	11	8	8	8	9	10	9	8	9	10	9	9
Darülaceze Perpa	11	11	13	8	10	9	10	11	10	13	23	11	13	11	8	9	12	7	15	8	9	10	15	15	11	10	12	10	10	10
Okmeydanı Hastane	11	14	11	9	12	9	11	9	8	13	15	9	13	12	10	9	14	8		7	19	7	11	12		9	13	10	9	
Çağlayan	12	13	19	12	10	11	13	11	22	12	12	14	14	11	10	9	16	12	12	10	11	8	11	15	10	10	11	11	14	11
Mecidiyeköy	15	15	17	12	14	13	12	20	16	16	16	17	15	16	14	15	18	17	19	13	10	14	15	16	14	17	14	14	14	15

İstasyonda bekleme süresi, önce her bir istasyon için genel ortalamaya göre ayrı ayrı, daha sonra araç tiplerine göre Conecto –Capacity, Conecto – Phileas ve Capacity – Phileas araçlar için ikili olarak test edilmiştir.

4.4.2.1. Her bir istasyonda iniş-biniş bekleme süresi

İstasyonlarda araçların kapı açıkken genel bekleme süresi ortalama 12,24 saniye, standart sapması ise 3,829 olarak ölçülmüştür. Genel ortalamaya göre istasyonlar arasında farkın olup olmadığını incelemek üzere $H_0: \mu_1=\mu_2$ hipotezi, $\alpha=0,05$ hata payı veya $(1-\alpha)=0,95$ güven olasılığı için kritik değerler hesaplanmıştır. Her bir istasyon için standart sapma ve Z skoru hesaplanarak Çizelge 4.6’da gösterilmiştir. Anlam seviyesi $\alpha=0,05$ için $Z_{\alpha/2}=1,96$ olarak dikkate alınmış ve hesaplanan Z skoru değerleri ile test edilmiştir.

Çizelge 4.6 İstasyonlarda bekleme süresi Z testi çizelgesi

No	İstasyon	İstasyon Ortalaması, $\bar{x}_i$	Standart Sapma	Z skor	$Z_{\alpha/2}=1,96$ $H_0: \mu_1=\mu_2$
1.	Şükrübey	11,400	1,886	-2,243	Yanlış
2.	İBB Sos. Tesisler	10,192	1,263	-7,134	Yanlış
3.	Küçükçekmece	10,333	1,333	-6,730	Yanlış
4.	Cennet Mahallesi	10,893	1,708	-3,802	Yanlış
5.	Florya	10,929	1,997	-3,240	Yanlış
6.	Beşyol	12,767	2,059	1,314	Doğru
7.	Sefaköy	13,433	4,153	1,549	Doğru
8.	Yenibosna	18,724	6,520	5,320	Yanlış
9.	Şirinevler	15,267	2,368	6,645	Yanlış
10.	Bahçelievler	13,000	2,653	1,508	Doğru
11.	İncirli	11,933	2,368	-0,667	Doğru
12.	Zeytinburnu	15,000	2,707	5,366	Yanlış
13.	Merter	11,897	2,840	-0,624	Doğru
14.	Cevizlibağ	16,867	6,277	4,008	Yanlış
15.	Topkapı	9,179	1,608	-9,093	Yanlış
16.	Bayrampaşa	10,767	1,785	-4,126	Yanlış
17.	Edirnekapı	11,967	2,817	-0,507	Doğru

18.	Ayvansaray	10,067	2,277	-4,932	Yanlış
19.	Halıcıoğlu	9,138	1,558	-9,587	Yanlış
20.	Okmeydanı	9,793	1,455	-7,979	Yanlış
21.	Darülaceze Perpa	11,167	3,561	-1,608	Doğru
22.	Okmeydanı Hastane	10,889	3,142	-2,169	Yanlış
23.	Çağlayan	12,233	2,062	-0,010	Doğru
24.	Mecidiyeköy	15,100	1,981	7,351	Yanlış

Çizelge 4.6'daki μ_1 her bir istasyonunun ayrı ayrı genel ortalamasını, μ_2 ise tüm istasyonların genel ortalamasını ifade etmektedir. Çizelge 4.6'dan da görüleceği üzere H_0 hipotezi, Beşyol, Sefaköy, Bahçelievler, İncirli, Merter, Edirnekapı, Darülaceze Perpa ve Çağlayan istasyonları için, $|Z| < |Z_{\alpha/2}| = 1,96$ olduğundan dolayı kabul bölgesindeyken diğer istasyonlar için ret bölgesinde çıkmıştır. Bu sonuca göre söz konusu 8 istasyonda bekleme süresi, genel ortalamaya göre aynı çıkmıştır.

İBB Sosyal Tesisler, Küçükçekmece, Topkapı, Halıcıoğlu ve Okmeydanı istasyonlarındaki bekleme süreleri, genel ortalamanın çok altında kaldığı için önemsiz olup bu istasyonların çok yoğun olmadığı tespit edilmiştir. Şükrübey, Cennet, Florya, Bayrampaşa, Ayvansaray ve Okmeydanı Hastane istasyonlarındaki bekleme sürelerinin de önemsiz olduğu belirlenmiştir.

Yenibosna istasyonu bekleme süresi (18,724) ve standart sapmasının (6,52), genel ortalamanın çok üzerinde olduğu ve sistemin kapasitesi açısından kritik bir istasyon olduğu görülmüştür. Şirinevler (15,267), Zeytinburnu (15), Cevizlibağ (16,867) ve Mecidiyeköy (15,1) istasyonlarındaki bekleme süreleri de Metrobüs hattının en uzun bekleme süresine sahip istasyonları olarak tespit edilmiştir. Cevizlibağ istasyonunda araçların sollama imkânına sahip olması nedeniyle uzun bekleme süresinin sorun teşkil etmeyeceği düşünülmektedir.

4.4.2.2. Araç tipine göre iniş-biniş bekleme süresi

- Mercedes Conecto (18 m) ve Mercedes Capacity (19,5m) bekleme süresi

Conecto ve Capacity araçların her bir istasyon için z skoru, $n < 30$ olduğundan $(n_1 + n_2 - 2)$ serbestlik derecesine göre $\alpha = 0,05$ olmak üzere Z çizelgesinden $t_{\alpha/2}$ değeri bulunarak H_0 hipotezi test edilmiştir (Çizelge 4.7).

Çizelge 4.7 Conecto ve Capacity istasyonlarda bekleme süresi ve standart sapması

İstasyon	Conecto Ortalama, $\bar{x}_i$	Capacity Ortalama, $\bar{x}_i$	Conecto Standart Sapma	Capacity Standart Sapma
Şükrübey	11,000	12,000	0,943	2,108
İBB Sos. Tesisler	11,125	9,375	1,885	1,302
Küçükçekmece	11,500	9,400	3,408	1,430
Cennet Mahallesi	11,200	10,444	2,201	1,740
Florya	12,800	9,500	4,962	1,900
Beşyol	14,600	11,800	2,875	2,781
Sefaköy	13,800	14,600	1,135	4,926
Yenibosna	18,667	19,100	4,610	6,935
Şirinevler	15,100	16,300	3,281	1,889
Bahçelievler	12,500	12,700	1,841	2,163
İncirli	12,500	12,300	1,716	1,767
Zeytinburnu	15,400	15,100	2,503	2,923
Merter	12,111	12,000	2,261	1,333
Cevizlibağ	17,300	18,300	5,229	7,056
Topkapı	9,889	9,000	0,928	2,000
Bayrampaşa	11,000	10,900	2,261	1,853
Edirnekapı	11,100	13,300	1,853	3,057
Ayvansaray	10,500	9,700	2,173	2,541
Halıcıoğlu	9,900	9,000	1,524	1,764
Okmeydanı	10,700	9,778	2,791	1,922
Darülaceze Perpa	10,600	11,700	1,578	4,692
Okmeydanı Hastane	10,700	10,778	1,947	2,819
Çağlayan	13,500	12,000	3,866	2,160
Mecidiyeköy	15,000	16,000	2,449	1,826

Conecto ve Capacity araçların bekleme sürelerine göre Z skoru Çizelge 4.8’de verilmiştir.

Çizelge 4.8 Conecto ve Capacity Z skoru çizelgesi

İstasyon	Serbestlik Derecesi, $n_{con}+n_{cap}-2$	$t_{\alpha/2}$ değeri çizelge	Z skor	$ t_{\alpha/2} < Z $ $H_0: \mu_1 = \mu_2$
Şükrübey	18	2,101	-1,369	Doğru
İBB Sos. Tesisler	14	2,145	2,160	Yanlış
Küçükçekmece	18	2,101	1,797	Doğru
Cennet Mahallesi	17	2,11	0,823	Doğru
Florya	18	2,101	1,964	Doğru
Beşyol	18	2,101	2,214	Yanlış
Sefaköy	18	2,101	-0,500	Doğru
Yenibosna	17	2,11	-0,158	Doğru
Şirinevler	18	2,101	-1,002	Doğru
Bahçelievler	18	2,101	-0,223	Doğru
İncirli	18	2,101	0,257	Doğru
Zeytinburnu	18	2,101	0,247	Doğru
Merter	17	2,11	0,132	Doğru
Cevizlibağ	18	2,101	-0,360	Doğru
Topkapı	17	2,11	1,218	Doğru
Bayrampaşa	18	2,101	0,108	Doğru
Edirnekapi	18	2,101	-1,946	Doğru
Ayvansaray	18	2,101	0,757	Doğru
Halıcıoğlu	18	2,101	1,221	Doğru
Okmeydanı	17	2,11	0,829	Doğru
Darülaceze Perpa	18	2,101	-0,703	Doğru
Okmeydanı Hastane	17	2,11	-0,071	Doğru
Çağlayan	18	2,101	1,071	Doğru
Mecidiyeköy	18	2,101	-1,035	Doğru

İBB sosyal tesisler ve Beşyol istasyonlarında H_0 hipotezi ret edilmiş olup diğer istasyonlarda kabul bölgesinde kalmıştır. Bu iki istasyonda Conecto araçların bekleme süresi, Capacity araçların bekleme süresinden fazla çıkmıştır.

Ortalama bekleme süresi, Conecto araçlarda 12,604 saniye, Capacity araçlarda 12,345 saniye olarak ölçülmüş olup standart sapmaları ise Conecto araçların 3,491, Capacity araçların 4,138 olarak hesaplanmıştır. Conecto ile Capacity marka araçların istasyonda bekleme süreleri için $H_0: \mu_{con}=\mu_{cap}$ hipotezine göre anlam seviyesi $\alpha=0,05$ için $Z_{\alpha/2}=1,96$ olarak test edilmiş Z skor 0,735 olarak hesaplanmıştır. $|Z| < |Z_{\alpha/2}|$; $0,735 < 1,96$ olduğundan H_0 hipotezi kabul edilmiştir. Yani Mercedes Conecto ve Mercedes Capacity araçların istasyonlarda bekleme süreleri arasında fark yoktur.

- Mercedes Conecto (18 m) ve APTS Phileas (26m) bekleme süresi

Conecto ve Phileas araçların her bir istasyon için z skoru, $n < 30$ olduğundan serbestlik derecesine göre $\alpha=0,05$ olmak üzere çizelgeden $t_{\alpha/2}$ değeri bulunarak H_0 hipotezi test edilmiştir (Çizelge 4.9).

Çizelge 4.9 Conecto ve Phileas istasyonlarda bekleme süresi ve standart sapması

İstasyon	Conecto Ortalama, $\bar{x}_i$	Phileas Ortalama, $\bar{x}_i$	Conecto Standart Sapma	Phileas Standart Sapma
Şükrübey	11,000	11,200	0,943	2,348
İBB Sos. Tesisler	11,125	10,100	1,885	1,197
Küçükçekmece	11,500	10,100	3,408	1,197
Cennet Mahallesi	11,200	11,000	2,201	1,732
Florya	12,800	10,375	4,962	2,134
Beşyol	14,600	11,900	2,875	1,101
Sefaköy	13,800	11,900	1,135	2,846
Yenibosna	18,667	18,400	4,610	6,433
Şirinevler	15,100	14,400	3,281	2,503
Bahçelievler	12,500	13,800	1,841	3,084
İncirli	12,500	11,000	1,716	2,789
Zeytinburnu	15,400	14,500	2,503	2,593
Merter	12,111	11,600	2,261	3,893
Cevizlibağ	17,300	15,000	5,229	5,228
Topkapı	9,889	8,667	0,928	1,118
Bayrampaşa	11,000	10,400	2,261	1,776

Edirnekapı	11,100	11,500	1,853	2,369
Ayvansaray	10,500	10,000	2,173	2,108
Halıcıoğlu	9,900	8,444	1,524	1,333
Okmeydanı	10,700	8,900	2,791	0,738
Darülaceze Perpa	10,600	11,200	1,578	2,150
Okmeydanı Hastane	10,700	11,250	1,947	3,655
Çağlayan	13,500	11,200	3,866	1,989
Mecidiyeköy	15,000	14,300	2,449	1,829

Conecto ve Phileas araçların bekleme sürelerine göre Z skoru Çizelge 4.10'da verilmiştir.

Çizelge 4.10 Conecto ve Phileas Z skoru çizelgesi

İstasyon	Serbestlik Derecesi, $n_{con}+n_{phi}-2$	$t_{\alpha/2}$ değeri çizelge	Z skor	$ t_{\alpha/2} < Z $ $H_0: \mu_1 = \mu_2$
Şükrübey	18	2,101	-0,250	Doğru
İBB Sos. Tesisler	16	2,12	1,406	Doğru
Küçükçekmece	18	2,101	1,226	Doğru
Cennet Mahallesi	17	2,11	0,218	Doğru
Florya	16	2,12	1,284	Doğru
Beşyol	18	2,101	2,773	Yanlış
Sefaköy	18	2,101	1,961	Doğru
Yenibosna	17	2,11	0,103	Doğru
Şirinevler	18	2,101	0,536	Doğru
Bahçelievler	18	2,101	-1,145	Doğru
İncirli	18	2,101	1,449	Doğru
Zeytinburnu	18	2,101	0,790	Doğru
Merter	17	2,11	0,344	Doğru
Cevizlibağ	18	2,101	0,984	Doğru
Topkapı	16	2,12	2,524	Yanlış
Bayrampaşa	18	2,101	0,660	Doğru
Edirnekapı	18	2,101	-0,421	Doğru
Ayvansaray	18	2,101	0,522	Doğru
Halıcıoğlu	17	2,11	2,204	Yanlış

Okmeydanı	18	2,101	1,972	Doğru
Darülaceze Perpa	18	2,101	-0,712	Doğru
Okmeydanı Hastane	16	2,12	-0,411	Doğru
Çağlayan	18	2,101	1,673	Doğru
Mecidiyeköy	18	2,101	0,724	Doğru

Beşyol, Topkapı ve Halıcıoğlu istasyonlarında H_0 hipotezi ret edilmiş olup diğer istasyonlarda kabul bölgesinde kalmıştır. Bu istasyonlarda Phileas araçların, Conecto araçlara göre daha az bekleme süresi sahip olduğu görülmüştür.

Ortalama bekleme süresi, Conecto araçlarda 12,604 saniye, Phileas araçlarda 11,760 saniye olarak ölçülmüş olup standart sapmaları ise Conecto araçların 3,491, Phileas araçların 3,473 olarak hesaplanmıştır. Conecto ile Phileas marka araçların istasyonda bekleme süreleri için $H_0: \mu_{con}=\mu_{phi}$ hipotezine göre anlam seviyesi $\alpha=0,05$ için $Z_{\alpha/2}=1,96$ olarak test edilmiş Z skor 2,624 olarak hesaplanmıştır. $|Z_{\alpha/2}|<|Z|$; $1,96<2,624$ olduğundan H_0 hipotezi ret edilmiştir. Yani Conecto ve Phileas araçların istasyonlarda bekleme süreleri arasında fark vardır.

- Mercedes Capacity (19,5 m) ve APTS Phileas (26m) bekleme süresi

Capacity ve Phileas araçların her bir istasyon için z skoru, $n<30$ olduğundan serbestlik derecesine göre $\alpha=0,05$ olmak üzere çizelgeden $t_{\alpha/2}$ değeri bulunarak H_0 hipotezi test edilmiştir (Çizelge 4.11).

Çizelge 4.11 Capacity ve Phileas istasyonlarda bekleme süresi ve standart sapması

İstasyon	Capacity Ortalama, $\bar{x}_i$	Phileas Ortalama, $\bar{x}_i$	Capacity Standart Sapma	Phileas Standart Sapma
Şükrübey	12,000	11,200	2,108	2,348
İBB Sos. Tesisler	9,375	10,100	1,302	1,197
Küçükçekmece	9,400	10,100	1,430	1,197
Cennet Mahallesi	10,444	11,000	1,740	1,732
Florya	9,500	10,375	1,900	2,134
Beşyol	11,800	11,900	2,781	1,101

Sefaköy	14,600	11,900	4,926	2,846
Yenibosna	19,100	18,400	6,935	6,433
Şirinevler	16,300	14,400	1,889	2,503
Bahçelievler	12,700	13,800	2,163	3,084
İncirli	12,300	11,000	1,767	2,789
Zeytinburnu	15,100	14,500	2,923	2,593
Merter	12,000	11,600	1,333	3,893
Cevizlibağ	18,300	15,000	7,056	5,228
Topkapı	9,000	8,667	2,000	1,118
Bayrampaşa	10,900	10,400	1,853	1,776
Edirnekapı	13,300	11,500	3,057	2,369
Ayvansaray	9,700	10,000	2,541	2,108
Halıcıoğlu	9,000	8,444	1,764	1,333
Okmeydanı	9,778	8,900	1,922	0,738
Darülaceze Perpa	11,700	11,200	4,692	2,150
Okmeydanı Hastane	10,778	11,250	2,819	3,655
Çağlayan	12,000	11,200	2,160	1,989
Mecidiyeköy	16,000	14,300	1,826	1,829

Capacity ve Phileas araçların bekleme sürelerine göre Z skoru Çizelge 4.12’de verilmiştir.

Çizelge 4.12 Capacity ve Phileas Z skoru çizelgesi

İstasyon	Serbestlik Derecesi, $n_{cap}+n_{phi}-2$	$t_{\alpha/2}$ değeri çizelge	Z skor	$ t_{\alpha/2} < Z $ $H_0: \mu_1 = \mu_2$
Şükrübey	18	2,101	0,802	Doğru
İBB Sos. Tesisler	16	2,12	-1,228	Doğru
Küçükçekmece	18	2,101	-1,187	Doğru
Cennet Mahallesi	16	2,12	-0,679	Doğru
Florya	16	2,12	-0,920	Doğru
Beşyol	18	2,101	-0,106	Doğru
Sefaköy	18	2,101	1,501	Doğru
Yenibosna	18	2,101	0,234	Doğru
Şirinevler	18	2,101	1,916	Doğru
Bahçelievler	18	2,101	-0,923	Doğru

İncirli	18	2,101	1,245	Doğru
Zeytinburnu	18	2,101	0,486	Doğru
Merter	18	2,101	0,307	Doğru
Cevizlibağ	18	2,101	1,188	Doğru
Topkapı	17	2,11	0,441	Doğru
Bayrampaşa	18	2,101	0,616	Doğru
Edirnekapi	18	2,101	1,472	Doğru
Ayvansaray	18	2,101	-0,287	Doğru
Halıcioğlu	17	2,11	0,767	Doğru
Okmeydanı	17	2,11	1,342	Doğru
Darülaceze Perpa	18	2,101	0,306	Doğru
Okmeydanı Hastane	15	2,131	-0,300	Doğru
Çağlayan	18	2,101	0,862	Doğru
Mecidiyeköy	18	2,101	2,080	Doğru

Tüm istasyonlarda H_0 hipotezi kabul bölgesinde kalmış olup Capacity ve Phileas marka araçların bekleme süreleri arasında fark bulunmadığı görülmüştür.

Ortalama bekleme süresi, Capacity araçlarda 12,345 saniye, Phileas araçlarda 11,760 saniye olarak ölçülmüş olup standart sapmaları ise Capacity araçların 4,138, Phileas araçların 3,473 olarak hesaplanmıştır. Capacity ile Phileas marka araçların istasyonda bekleme süreleri için $H_0: \mu_{cap}=\mu_{phi}$ hipotezine göre anlam seviyesi $\alpha=0,05$ için $Z_{\alpha/2}=1,96$ olarak test edilmiş Z skor 1,657 olarak hesaplanmıştır. $|Z|<|Z_{\alpha/2}|$; $1,657<1,96$ olduğundan H_0 hipotezi kabul edilmiştir. Yani Capacity ve Phileas araçların istasyonlarda bekleme süreleri arasında fark yoktur.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Lastik tekerlekli toplu taşıma sisteminde çığır açan Metrobüs sisteminin, raylı sistemlere göre proje ve uygulamada daha esnek ve daha ekonomik seçenek sunması her geçen gün sisteme olan rağbetin artmasına yol açmaktadır. İlk uygulandığı 1974 yılında elde edilen başarı ile günümüzde 43 ülkenin farklı şehirlerinde kullanılmaya devam etmektedir.

Karışık trafikte seyreden toplu taşıma araçlarına göre kendi özel yolu bulunan BRT ile yolculukların daha hızlı ve sefer aralıklarının çok kısa olması sonucu sistemin yoğunluğuna rağmen yolcular tarafından tercih edilmektedir. Bu kadar yoğun talep gören BRT sisteminde zaman zaman istasyonlarda yolcu iniş biniş esnasında sefer aralıklarını aşan bekleme süresi yolculuk kapasitesinin düşmesine, araç kuyruklarının oluşmasına sebep olmaktadır.

Araştırma kapsamında dünyadaki BRT uygulamaları incelenmiş ve ortalama 10 km uzunluğundaki çok sayıda koridor ile dünyada günlük yolculuğun en fazla Latin Amerika kıtasında yapıldığı tespit edilmiştir. Şehrin her yerine ulaşan ve uzunluğu ortalama 10 km olan koridorlar ile yüksek yolcu kapasitesinin mümkün olduğu anlaşılmıştır.

Araç kapılarının sağ tarafta olması nedeniyle istasyonlarda yolcu iniş binişin sağlanması için İstanbul'daki BRT sisteminde araçlar normal trafik düzenine göre ters yönde çalışmaktadır. Ters yönde sürüş, koridor bariyerlerinin yeterli yükseklikte olmaması sonucu karşı taraftan gelen araçların farları özellikle gece sürüşlerinde sürücülerini gözlerini rahatsız etmektedir. Araç kapılarının her iki yönde olması durumunda normal trafik düzeni ile aynı yönde kullanım mümkündür.

Beylikdüzü ve Söğütlüçeşme istikametinde gidecek yolcular, iniş ve biniş için aynı alanı ortak kullanmakta ve yolcuların istasyon içerisindeki hareketlilikleri kısıtlanmakta, araçların istasyondan ayrılmasını geciktirmektedir. İndirme platformu bulunan istasyonlarda ise araçlar mükerrer duruş yapmakta ve işletme

hızının düşürmektedir. Mükerrer duruşu önlemek ve bekleme süresini düşürmek için aynı yönde inen ve binen yolcuların kullandığı platformlar ortak olmalıdır. İstasyon içi yolcu sirkülasyonunu artırmak için yeterli genişlikteki platform olması durumunda ortak kullanım düşünülmelidir. Farklı yönde inen ve binen yolcuların ortak kullandığı Yenibosna istasyonu, yolcu yoğunluğuna göre en dar istasyonlardan olup giriş ve çıkış alanlarının çok dar olması ve yolcu bekleme alanında reklam panolarının olması yolcu sirkülasyonunu olumsuz etkilemektedir.

Her ne kadar 2'li 3'lü grup kalkışları ile yolculuk talebinin karşılanması planlansa da 15 - 20 saniyelik sefer aralıkları, insanın görme özelliğinin kişiden kişiye değişmesine bağlı intikal reaksiyon süresinin farklı olması sonucu takip mesafesinin ihlal edilmesi halinde kazaların meydana gelmesine davetiye çıkarmakta ve sürücüler üzerinde baskı oluşturmaktadır. İstasyonlarda yolcu iniş biniş esnasında vuku bulan bekleme sürelerinin, çok kısa olan sefer aralıklarını aşması durumunda, hattın kapasitesinin düşmesine, kazalara ve sürücüler üzerinde strese neden olduğundan dolayı kısa sefer aralıkları uygun bir yöntem değildir. Hâlbuki insan faktörünün devre dışı bırakıldığı ve akıllı ulaşım sistemleri ile kontrol edilen raylı sistemlerde zirve saatlerde yolcu iniş biniş esnasında 45 saniyeye kadar çıkan bekleme süresi, 90 saniye olan sefer aralığından oldukça düşüktür.

Metrobüs sistemi, geleneksel toplu taşıma sisteminden farklı ve yüksek yolcu taşıma kapasitesine sahip olduğundan istasyonlar arası mesafenin Okmeydanı Hastane ile Çağlayan arasında olduğu gibi 400 metre olmaması gerekmektedir. Sistemden beklenen performansın sağlanması için istasyonlar arası ideal mesafe, 1000 metrenin üzerinde olmalıdır. Böylece işletme hızı ve kapasite artacak, yakıt tüketimi, emisyon değeri, şanzıman freni olan retarderin etkin kullanımı ile fren sistemi elemanlarının aşınması azalacaktır.

Araç kapı tiplerine göre arızalar incelendiğinde içe açılır kapıların, dışa açılır kapılardan daha kısa kilometrelerde arızalandığı tespit edilmiştir. Raylı sistem araçlarında yaygın olarak kullanılan dışa açılır kapı tipleri daha geniş kapı

açıklığına sahip olduğundan, yüksek yolcu kapasiteli Metrobüs araçlarında da geleneksel toplu taşıma araçlarında kullanılan içe açılır kapı yerine dışa açılır kapı tipinin kullanılması yolcu sirkülasyon hızı açısından önemli bir avantaj sağlayacaktır.

Metrobüs hattında çalışan farklı uzunluklardaki araçların her bir istasyondaki kuyrukta bekleme süreleri, yolcu iniş biniş bekleme süreleri hem istasyonlar hem de araç tipleri için kapının kapalı ve açık olduğu süreler için sıfır hipotez testi ile analiz edilmiştir.

Kapı kapalı kuyrukta bekleme süresi, 0,05 anlam seviyesi ile z testi sonucunda, 2,92 saniye olan genel ortalama göre 6,28 saniye ile en fazla ortalama bekleme süresine sahip Yenibosna istasyonunda görülmüştür. Bunun sebebi olarak bir önceki istasyon ile arasındaki mesafenin fazla olması nedeniyle yüksek hızlara ulaşan araçların kendisinden önce gelen araçların istasyonda beklemesinden kaynaklandığı anlaşılmıştır. Araçların hareket halindeki genel ortalama hızları 44 km/saat, en uzun mesafe olan Sefaköy – Yenibosna arasındaki ortalama hızları 60 km/saat, en kısa mesafe olan Okmeydanı Hastane – Çağlayan arasındaki ortalama hızları ise 30 km/saat civarındadır.

Araç uzunluklarına göre istasyonda bekleme süreleri ile ilgili yapılan incelemede 18 m ile 20 m ve 20 m ile 26 m arasında anlamlı bir fark bulunmadığı görülmüş ancak 18 m ile 26 m arasında mukayese edildiğinde bekleme sürelerinin farklı olduğu tespit edilmiştir. Bu sonuç, Metrobüs hattında 18 m araç yerine daha uzun ve daha yüksek yolcu kapasiteli olan araçların kullanılması gerektiğini ortaya koymaktadır. Böylece iniş biniş yapan yolcu sirkülasyonu hızlandırılacak ve bekleme süresini azalacak, sistemde daha az sayıda araç ve şoföre ihtiyaç duyulacaktır.

İstasyonlarda araç kapıları açıldığında yolcuların araçları biniş yerlerinin işaretlenmesi için tek tip aracın kullanılması yolcu davranışlarının düzenlenmesine yardımcı olacaktır.

Bu alışma ile Metrobüs sisteminin geleneksel toplu taşıma sisteminden farklılığı vurgulanmış, yeni bir Metrobüs sistemi hayata geçirilirken yolcu taşıma kapasitesi yüksek aracın tercih edilmesi, yolcu sirkülasyonunu hızlandıran kapı tiplerinin dikkate alınması, takip mesafesinin ihlal edilemeyeceği ve insan faktörünün dikkate alındığı sefer aralıkları ile sistemin işletilmesi, istasyonlar arası mesafenin 1000 m'nin üzerinde olması, yeterli genişliğe ve yolcu bekleme alanı sahip olmayan platformlarda hareketliliği kısıtlayan ekipmanlara yer verilmemesi ve böyle platformların her yn için ayrı olması, uzun tek bir koridor yerine daha kısa çok sayıda koridorlar ile entegrasyonun sağlandığı bir toplu taşıma sistemi önerilmektedir.

KAYNAKLAR

- Akı, M., 2012. Kentsel Toplu Taşıma Kapsamında Metrobüs Sisteminin Yaya Erişebilirliğinin Değerlendirilmesi: İstanbul Örneği. İstanbul Teknik Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, 153, İstanbul.
- Baştürk, G., 2014. Kent İçi Raylı Toplu Taşıma Sistemleri İncelemesi ve Dünya Örnekleri ile Karşılaştırılması. Ulaştırma, Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı, Ulaştırma ve Haberleşme Uzmanlığı Tezi, 106, Ankara.
- BRT Data., 2021. Global BRT Data. Erişim Tarihi: 05.07.2021. brtdata.org
- Candemir, I., Tanyel, S., 2005. Hızlı Raylı Sistemlerin Yolcu Taşıma Kapasite Hesaplamaları ve Türkiye'deki Benzer Sistemlerin Birbirleriyle Karşılaştırılması. Erişim Tarihi: 25.06.2021. <https://www.imo.org.tr/resimler/ekutuphane/pdf/3205.pdf>
- Cirit, F., 2014. Sürdürülebilir Kentiçi Ulaşım Politikaları ve Toplu Taşıma Sistemlerinin Karşılaştırılması, T.C. Kalkınma Bakanlığı, Uzmanlık Tezi, 210, Ankara.
- CUTA., 2004. Bus Rapid Transit: A Canadian Perspective. Erişim Tarihi: 18.07.2021. www.cutaactu.ca/en/note/1630
- Deli, A., 2015. İstanbul Metrobüs Sisteminin Analizi ve Kapasite Artırım Önerisi. İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 111, İstanbul.
- Deng, T., Nelson, J. D., 2011. Recent Developments in Bus Rapid Transit: A Review of the Literature. Transport Reviews, 31(1), 69-96. <https://doi.org/10.1080/01441647.2010.492455>
- Doğan, G., Özuysal, M., 2017. Toplu Ulaşımında Bekleme Süresini Etkileyen Faktörlerin İncelenmesi: Güvenilirlik, Yolcu Bilgilendirme Sistemi ve Fiziksel Koşullar. TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası Teknik Dergi, 28(3), 7927-7954. <https://doi.org/10.18400/tekderg.307513>
- DPT., 2001. Ulaştırma Özel İhtisas Komisyonu Raporu, Kent İçi Ulaşım Alt Komisyonu Raporu, Devlet Planlama Teşkilatı (DPT): 2582-ÖİK: 594, 69s, Ankara.
- El-Geneidy, A. M., Vijayakumar, N., 2011. The Effects of Articulated Buses on Dwell and Running Times. Journal of Public Transportation, 14(3), 63-86. <https://doi.org/10.5038/2375-0901.14.3.4>
- Güven, G., 2008. Metrobüs Sistemlerinin Planlama, Tasarım ve İşletim Özellikleri. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 263, İstanbul.

- HCM2000., 2004. Transit, Highway Capacity Manual 2000, 46p, Washington.
- HCM2000., 2010. Highway Capacity Manual 2000, 1207p, Washington.
- İETT., 2008a. Controller Area Network (CAN) System Training, Kurumiçi Eğitim Sunumu, İETT, İstanbul.
- İETT., 2008b. İETT 2008 Yılı Faaliyet Raporu. Erişim Tarihi:17.07.2021. <https://iett.istanbul/tr/main/pages/raporlar/208>
- İETT., 2012. İETT 2012 Yılı Faaliyet Raporu. Erişim Tarihi:17.07.2021. <https://iett.istanbul/tr/main/pages/raporlar/208>
- İETT., 2015. Ulaşımında Planlama Verimlilik Artışı Ortak Akıl Konferansı, Kurumiçi Rapor, İETT, 54s, İstanbul.
- İETT., 2019a. Akıllı Ulaşım Sistemleri, Kurumiçi Rapor, İETT, 68s, İstanbul.
- İETT., 2019b. İstanbulda Toplu Ulaşım. Erişim Tarihi: 15.07.2021. <https://www.iett.istanbul/tr/main/pages/istanbulda-toplu-ulasim/95>
- İETT., 2020a. İETT 2020 Yılı Faaliyet Raporu. Erişim Tarihi:17.07.2021. <https://iett.istanbul/tr/main/pages/raporlar/208>
- İETT., 2020b. İETT Pandemiye Yoğunluğu Azaltmak İçin Sefer Sayılarını Artırdı. Erişim Tarihi: 15.07.2021. <https://www.iett.istanbul/tr/main/news/iETT-pandemide-yogunlugu-azaltmak-icin-sefer-/2435>
- İETT., 2020c. İstanbul'da Otobüs Seferleri Sosyal Mesafeye Uygun Planlandı. Erişim Tarihi: 15.07.2021. <https://iett.istanbul/tr/main/news/istanbulda-otobus-seferleri-sosyal-mesafeye-u/2351>
- İETT., 2020d. Sefer Saatlerini Güncelliyoruz. Erişim Tarihi: 15.07.2021. <https://iett.istanbul/tr/main/news/sefer-saatlerini-guncelliyoruz/2349>
- İETT., 2021. Kronolojik Tarihçe. Erişim Tarihi: 15.07.2021. <https://iett.istanbul/tr/main/pages/kronolojik-tarihce/32>
- İlcalı, M., 2019. İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kentsel Sistemler ve Ulaştırma Yönetimi, Ulaştırma-1 Ders Notları, İstanbul.
- İlcalı, M., Camkesen, N., Kızıldaş, M. Ç., Ergin, E., 2015. İstanbul'da Kentiçi Ulaştırma Sistemleri ve AB Ülkeleri ile Karşılaştırmalı Bir Değerlendirme. 7. Kentsel Altyapı Sempozyumu, 13-14 Kasım 2015, 397-403.
- Infinidium., 2021. Infinidium Technologies. Erişim Tarihi: 16.07.2021. <https://www.infinidium.com.tr/tr/çözümlerimiz>

- İstanbul Ticaret Üniversitesi., 2021. Hipotez Testleri. Erişim Tarihi: 13.06.2021.
<https://ww4.ticaret.edu.tr/isl/wp-content/uploads/sites/114/2020/03/HipotezTestleri.pdf>
- Jaiswal, S., Bunker, J., Ferreira, L., 2009. Modelling the Relationships Between Passenger Demand and Bus Delays at Busway Stations. Transport Research Board (TRB) 88th Annual Meeting, 11-15 January, Washington, 1-13.
- Jaiswal, S., Bunker, J., Ferreira, L., 2010. Influence of Platform Walking on BRT Station Bus Dwell Time Estimation: Australian Analysis. Journal of Transportation Engineering, 136(12), 1173-1179.
[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)TE.1943-5436.0000174](https://doi.org/10.1061/(ASCE)TE.1943-5436.0000174)
- Jaiswal, S. K., 2010. Busway Platform Bus Capacity Analysis. Queensland University of Technology, School of Urban Development, Thesis, 170p, Brisbane.
- Kılıoğlu, M. E., 2010. İstanbul Metrobüs Sisteminin Kapasitesinin Arttırılması için Alınması Gereken Önlemler. Bahçeşehir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 104, İstanbul.
- Levinson, H., Zimmerman, S., Clinger, J., Rutherford, G., 2002. Bus Rapid Transit: An Overview. Journal of Public Transportation, 5(2), 1-30.
<https://doi.org/10.5038/2375-0901.5.2.1>
- Levinson, H., Zimmerman, S., Clinger, J., Rutherford, S., Simith, R., Cracknell, J., Soberman, R., 2003. Bus Rapid Transit, Volume 1: Case Studies in Bus Rapid Transit, Transportation Research Board, 53p, Washington.
- NACTO., 2017. Better Boarding, Better Buses: Streamlining Boarding & Fares. Erişim Tarihi: 13.07.2021. https://nacto.org/wp-content/uploads/2017/02/NACTO_Better-Buses_Boarding.pdf
- Önden, İ., Doğan, N., Eldemir, F., 2019. Hızlı Otobüs Taşımacılığı İçin İstasyon Lokasyonlarının Belirlenmesine Yönelik Yaklaşımlar. İstanbul Management Journal, 29(85), 41-58.
<https://doi.org/10.26650/imj.2018.29.85.0009>
- Orhan, D., 2010. Avcılar Söğütluçeşme Koridorunda Metrobüs Sisteminin İşletim Özelliklerinin Simülasyon Modeli İle İncelenmesi. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 99, İstanbul.
- Özuysal, M., Çalışkanelli, S. P., Tanyel, S., 2016. Otobüs Duraklarındaki Yolcu İniş-Biniş Zamanları Üzerine Bir Tartışma. Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Bilimleri Dergisi, 22(6), 460-467.
<https://doi.org/10.5505/pajes.2016.17894>
- Pamuk, M. S., 2017. Metrobüs Hattı Katarlanma Problemine Yönelik Çözüm

Önerisi. Beykent Üniversitesi, Fen Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 82, İstanbul.

Saatçioğlu, C., Yaşarlar, Y., 2012. Kentiçi Ulaşımında Toplu Taşımacılık Sistemleri: İstanbul Örneği. Kafkas Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 3(3), 117-144.

Sadeghpour, M., 2016. Analyzing Passenger Boarding and Alighting Service Times For Bus Transportation in Istanbul. Istanbul Technical University, M. Sc. Thesis, 73p, Istanbul.

T.C. Sağlık Bakanlığı., 2020. COVID-19 Bilgilendirme Platformu. Erişim Tarihi: 23.06.2021. <https://covid19.saglik.gov.tr/TR-66113/covid-19.html>

TCQSM., 2013. Transit Capacity and Quality of Service Manual, Operations Concepts. Erişim Tarihi: 22.06.2021. <http://www.trb.org/main/blurbs/169437.aspx>

TDK., 2021. Türk Dil Kurumu. Erişim Tarihi: 25.06.2021. <https://sozluk.gov.tr/>

TUİK., 2019. Karayolu Trafik Kaza İstatistikleri. 2020. Erişim Tarihi: 25.06.2021. <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Karayolu-Trafik-Kaza-Istatistikleri-2019-33628>

Ünal, İ., 2006. CAN (Control Area Network) Üzerinden PIC Programlama. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 82, Isparta.

Wang, C., Ye, Z., Wang, Y., Xu, Y., Wang, W., 2016. Modeling Bus Dwell Time and Time Lost Serving Stop in China. Journal of Public Transportation, 19(3), 55-77.

Widanapathirana, R., 2015. Modelling the BRT Station Capacity and Queuing for All Stopping Busway Operation. Public Transport, 21-38. <https://doi.org/10.1007/s12469-014-0095-y>

Yurdagül, E., 2012. İstanbul Avcılar - Söğütluçeşme Metrobüs Sisteminin Bileşenlerinin Değerlendirilmesi ve Dünyadaki Metrobüs Sistemleri İle Karşılaştırılması. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 151, İstanbul.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Abdulhamit ÇETİN

Eğitim Durumu

Lise : Zeytinburnu İmam Hatip Lisesi, 1995

Lisans : Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makina Bölümü, 2001

Yüksek Lisans : İstanbul Ticaret Üniversitesi,
Fen Bilimleri Enstitüsü, Kentsel Sistemler ve Ulaştırma
Yönetimi Anabilim Dalı, 2021

Yayınları

Çetin, A., Ilıcalı, M., 2022. İstanbul Metrobüs Toplu Taşıma Sisteminde Kullanılan Otobüs Tipinin İstasyonlarda Bekleme Sürelerine Etkisinin İncelenmesi. İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, Basımda.