

**T.C.
BAHÇEŞEHİR ÜNİVERSİTESİ**

**SÜRÜCÜLÜ VE SÜRÜCÜSÜZ METROLARIN
PERFORMANS VE MALİYET YÖNÜNDEN
KARŞILAŞTIRILMASI**

Yüksek Lisans Tezi

SÜLEYMAN ATALAY

İSTANBUL, 2012

**T.C
BAHÇEŞEHİR ÜNİVERSİTESİ**

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KENTSEL SİSTEMLER VE ULAŞTIRMA YÖNETİMİ

**SÜRÜCÜLÜ VE SÜRÜCÜSÜZ METROLARIN
PERFORMANS VE MALİYET YÖNÜNDEN
KARŞILAŞTIRILMASI**

Yüksek Lisans Tezi

SÜLEYMAN ATALAY

Tez Danışmanı: DR. Veysel ARLI

İSTANBUL, 2012

T.C
BAHÇEŞEHİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
KENTSEL SİSTEMLER VE ULAŞTIRMA YÖNETİMİ

Tezin Adı: Sürücülü ve sürücüsüz metroların performans ve maliyet yönünden karşılaştırılması

Öğrencinin Adı Soyadı: Süleyman ATALAY

Tez Savunma Tarihi: Nisan 2012

Bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak gerekli şartları yerine getirmiş olduğu Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından onaylanmıştır.

Doç. Dr. Tunç BOZBURA
Enstitü Müdürü
İmza

Bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak gerekli şartları yerine getirmiş olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Mustafa ILICALI
Program Koordinatörü
İmza

Bu Tez tarafımızca okunmuş, nitelik ve içerik açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak yeterli görülmüş ve kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmzalar

Tez Danışmanı
Dr. Veysel ARLI

Üye
Prof. Dr. Mustafa ILICALI

Üye
Yrd. Doç. Dr. Nilgün CAMKESEN

ÖZET

SÜRÜCÜLÜ VE SÜRÜCÜSÜZ METROLARIN PERFORMANS VE MALİYET YÖNÜNDEN KARŞILAŞTIRILMASI

Süleyman Atalay

Kentsel Sistemler ve Ulaştırma Yönetimi

Tez Danışmanı: Dr. Veysel Arlı

Nisan 2012, 136 Sayfa

Dünyada teknolojinin gelişmesiyle beraber sanayi ve hizmet sektöründe otomatikleşme süreci başlamıştır. Dünyada otomatik kontrol sistemlerine geçilme sebebi insan yükünü azaltmak, insan kaynaklı hataları azaltmak ve işletme maliyetini düşürmek dünyada sürücüsüz metrolara geçiş dönemi başlamıştır.

Tam otomatik sürücüsüz metrolarda hizmet, servis ve teknik özellikleri sürücülü metrolardan daha iyidir. Bunun sebebi yapılan hataların ve servis aksamalarının birçoğunun sürücü kaynaklı olmasıdır. Ani yolculuk talebi artış ve azalışına müdahale sürücü sayısına bağlı olduğu için, işletme esnekliği daha kötü olmaktadır. Sürücüsüz metrolarda işletme maliyeti daha düşüktür. Sürücüsüz metroların dezavantajları da mevcuttur. Bunlar her hangi bir acil durumda yolcuyu tahliye etmek zordur. Halka şüphecilik, güvensizlik verir ve sürücülerin iş kaybına sebep olur.

Sürücüsüz metrolar daha avantajlı olduğu için dünyada yapılan yeni metroların birçoğu sürücüsüz yapılmakta ve eski metroların sürücülü metroların modernizasyonu yapılarak sürücüsüz metrolara dönüştürülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Sürücüsüz Metrolar, Hizmet Yönünden Karşılaştırma, Servis Yönünden Karşılaştırma, Teknik Yönünden Karşılaştırma, Maliyet Yönünden Karşılaştırma,

ABSTRACT

COMPARISON OF SUBWAYS WITH AND WITHOUT DRIVER IN TERMS OF PERFORMANCE AND COST

Süleyman Atalay

Urban Systems and Transportation Management
Supervisor: Dr. Veysel Arlı

April 2012, 136 Pages

Along with the global developments in the technology, automation process has begun in the industrial and service sectors. The reason for switching to the automatic control systems around the world is to alleviate the burden of people, to minimize human related mistakes and to reduce the operation costs. The period of switching to subways without drivers has begun.

Function, service and technical specifications of the fully automated subways without driver are better than those with driver. The reason is that many of the mistakes and service interruptions are caused by the driver. As intervention to sudden increase and decrease in the demand for travel depends on the number of drivers, operation flexibility is worse. For the subways without driver, cost of operation is less. Subways without drivers have disadvantages too. For instance, evacuation of the passengers is difficult during an emergency case. This arises the feeling of skepticism and mistrust in the public eye, and leads to the unemployment of drivers.

As subways without drivers are more advantageous, the newly constructed subways around the world are designed without drivers. Furthermore former subways with drivers are modernized and converted into those without drivers.

Keywords: Subways Without Drivers, Comparison In Terms of Function, Comparison In Terms of Service, Comparison In Terms of Technical Specifications, Comparison In Terms of Cost

İÇİNDEKİLER

TABLolar...	ix
ŞEKİLLER.....	x
KISALTMALAR	xii
1. GİRİŞ.....	1
2. KENT İÇİ RAYLI SİSTEMLERİN TARİHİ GELİŞİMİ	3
2.1 METROLARIN TARİHİ GELİŞİMİ	4
2.2 TÜRKİYEDEKİ RAYLI SİSTEMLERİN TARİHİ GELİŞİMİ	5
2.2.1 Ülkemizde Kent İçi Raylı Sistemlerinin Tarihi Gelişimi.....	9
3. METRO SİSTEMLERİNİN ÇEŞİTLERİ VE ÖZELLİKLERİ.....	13
3.1 METRO SİSTEMLERİNİN ÇEŞİTLERİ	13
3.1.1 Hafif Raylı Sistemler	13
3.1.2 Metrolar	15
3.1.3 Lastik Tekerlekli Metrolar	17
3.1.3.1 Lastik tekerlekli metronun avantajları	19
3.1.3.2 Lastik tekerlekli metronun dezavantajları.....	19
3.1.4 Lineer Metrolar	20
3.1.4.1 Lineer metroların teknolojisi.....	21
3.2 METRO İŞLETME ÖZELLİKLERİ.....	23
3.2.1 Kapasite.....	24
3.2.2 Enerji Tüketimi	25
3.2.3 Geçiş Üstünlüğü.....	26
3.2.4 Güvenlik	27
3.2.5 Sıklık.....	28
3.2.6 Yolculuk Süresi.....	28

3.2.7 Konfor	29
3.2.8 Güvenirlilik	30
3.3 METRO ARAÇLARININ TEKNİK ÖZELLİKLERİ	31
3.3.1 Yolcu Yük Koşulları.....	32
3.3.2 Araç Gövdesi.....	33
3.3.3 Çarpışmaya Karşı Dayanım.....	35
3.3.4 Kuplörler	36
3.3.5 Bojiler ve Süspansiyonlar	37
3.3.5.1 Primer süspansiyonlar.....	39
3.3.5.2 Sekonder süspansiyon	40
3.3.5.3 Tekerlek takımı	41
3.3.6 Frenleme Sistemleri.....	42
3.3.7 Kompresörler.....	43
3.3.8 Cer Motorları.....	44
3.4 METROLARDA KULLANILANILAN SİNYAL SİSTEMLERİ.....	45
3.4.1 Otomatik Tren Denetim Sistemi (ATS).....	46
3.4.1.1 ATS sistemi.....	47
3.4.1.2 Otomatik duruş kontrolü	47
3.4.2 Otomatik Tren Koruma Sistemi (ATP)	48
3.4.2.1 Hat boyu ve depo ATP işlevleri	49
3.4.2.2 Duruş mesafesi	50
3.4.2.3 Trende taşınan ATP işlevleri	51
3.4.2.4 ATP çalışma prensibi	52
3.4.2.4.1 Kod iletimi.....	52
3.4.2.4.2 Baliz ile iletim	53
3.4.2.4.3 Balizlerle işletme.....	54

3.4.2.4.4 Aralıklı güncellemeler.....	55
3.4.3 Otomatik Tren İşletme Sistemi (ATO).....	56
3.4.3.1 İstasyonda duruş.....	57
3.4.3.2 Çoklu giriş sistemi.....	58
3.4.3.3 ATO durma ve başlama	59
3.4.4 Otomatik Tren Kontrol Sistemi (ATC).....	60
3.4.5 Sabit Bloklu Sinyalizasyon Sistemi.....	62
3.4.6 Hareketli Bloklu Sinyalizasyon Sistemi	62
3.4.6.1 Hareketli blok ve radyo iletimi.....	64
3.4.6.2 Hareketli blok konum güncellemesi.....	65
3.4.6.3 Hareketli mesafe bloku (HMB)	67
3.4.6.4 Hareketli zaman bloku (HZB).....	67
3.4.6.5 Minimum hareket bloku (MHB)	67
3.4.6.6 Hareketli blok sisteminin avantajları	69
4. OTOMATİK METRO SİSTEMLERİ.....	71
4.1 METROLARIN OTOMASYON DERECELERİ.....	74
4.1.1 Otomasyon Derecesi 1.....	74
4.1.2 Otomasyon Derecesi 2.....	76
4.1.3 Otomasyon Derecesi 3.....	78
4.1.4 Otomasyon Derecesi 4.....	79
4.2 SÜRÜCÜSÜZ METROLARIN FARKLI ÖZELLİKLERİ	80
4.2.1 Engel Algılama Sistemi	82
4.2.2 Yangın Algılama Sistemi	82
4.2.3 Acil Durum Freni Başlatma ve Resetleme	82
4.2.4 Trenin Durum Ve Alarm Bilgisinin TCC'ye İletilmesi	82
4.2.5 Kapıların Yönetimi (Yolcu tahliyesi).....	83

4.2.6 Kritik Cihazların Yedekliliği.....	84
4.2.7 Otomatik Canlandırma Ve Test.....	84
4.2.8 Otomatik Araç Yıkama	85
4.2.9 Platform Kapılar (PSD).....	85
4.2.10 Araç Üstü CCTV Sistemi.....	87
4.2.11 Merkezi Telsiz Kontrol Sistemi.....	88
4.2.12 Araç Üstü Çift Yönlü Telefon Haberleşme Sistemi	88
5. SÜRÜCÜLÜ VE SÜRÜCÜSÜZ METROLARIN KARŞILAŞTIRILMASI	90
5.1 HİZMET ÖZELLİKLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI	93
5.1.1 Sürücüsüz Metro Sistem Hizmet Özelliklerinin Avantajları.....	95
5.1.2 Sürücüsüz Metro Sistem Hizmet Özelliklerinin Dezavantajları...	96
5.2 SERVİS ÖZELLİKLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI	96
5.2.1 Sürücüsüz Metro Sistem Servis Özelliklerinin Avantajları.....	98
5.2.2 Sürücüsüz Metro Sistem Servis Özelliklerinin Dezavantajları	99
5.3 TEKNİK ÖZELLİKLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI	99
5.3.1 Sürücüsüz Metro Sistem Teknik Özelliklerin Avantajları.....	100
5.3.2 Sürücüsüz Metro Sistem Teknik Özelliklerin Dezavantajları	101
5.4 MALİYET KARŞILAŞTIRILMASI	101
5.4.1 Sürücüsüz Metro Araç Maliyeti.....	103
5.4.2 Platform Kapı (PSD) Yapım Maliyeti	104
5.4.3 Platform Kapı (PSD) Bakım Maliyeti	104
5.4.4 Sürücü Maliyeti	106
5.4.5 Sürücülü Ve Sürücüsüz Metroların Maliyet Karşılaştırması	108
6. SONUÇ.....	117
KAYNAKÇA	121
ÖZGEÇMİŞ.....	124

TABLULAR

Tablo 2.1: Dünyadaki raylı sistemlerin tarihi gelişimi.....	5
Tablo 2.2: 1923 – 1947 Yılları arasında yapılan demiryolu hatları	8
Tablo 2.3: 2007 Yıl sonu itibariyle TCDD hat ve yol uzunlukları	9
Tablo 3.1: Hafif metro araçlarının teknik özellikleri	15
Tablo 3.2: Metro araçlarının teknik özellikleri	17
Tablo 3.3: Lineer metro ve geleneksel metro sistemlerinin karşılaştırması.....	23
Tablo 3.4: Kentiçi ulaşım sistemlerinin işletme hızları ve kapasiteleri	24
Tablo 3.5: Ulaşım sistemlerinin yolcu-km başına enerji tüketimi	25
Tablo 3.6: Geçiş üstünlüğü bakımından sistemlerin özellikleri.....	26
Tablo 3.7: Ulaşım türlerinin güvenlik açısından karşılaştırılması	27
Tablo 3.8: Ulaşım türlerinin sıklıkları.....	28
Tablo 3.9: Toplu taşıma sistemlerinde konfor	29
Tablo 3.10: Müsaade edilebilir ivme ve ivme değişimleri.....	30
Tablo 3.11: Toplu taşıma türlerinin seferleri zamanında tamamlayabilme yüzdeleri	31
Tablo 3.12: Yolcu yük koşulları.....	32
Tablo 4.1: Dünyadaki tam otomatik raylı sistemler 2010 yılına kadar	72
Tablo 4.2: Sürücülü ve sürücüsüz sistemlerin kontrolörlerin karşılaştırılması.....	84
Tablo 5.1: Farklı seviyelerdeki otomatik metroların faydaları	92
Tablo 5.2: Hizmet özelliklerinin karşılaştırılması.....	95
Tablo 5.3: Servis özelliklerinin karşılaştırması.....	98
Tablo 5.4: Sürücülü ve sürücüsüz metroların teknik karşılaştırılması.....	100
Tablo 5.5: Kadıköy Kartal metrosunun proje bilgileri.....	101
Tablo 5.6: Metro araç maliyetleri.....	104
Tablo 5.7: Platform kapı yapım maliyeti	104
Tablo 5.8: PSD bakım maliyeti	105
Tablo 5.9: Doruk ve doruk dışı saatlerde mevcut metro hattının trafiği	106
Tablo 5.10: Sürücü maliyeti	107
Tablo 5.11: Toplam maliyetler.....	109
Tablo 5.12: Toplam maliyetler 10 yıllık libör faiz oranı ile	111
Tablo 5.13: Toplam maliyetler 20 yıllık libör faiz oranı ile	113
Tablo 5.14: Özet karşılaştırma tablosu.....	115

ŞEKİLLER

Şekil 2.1: Karaköy tünel hattı	10
Şekil 3.1: Hafif raylı sistem aracı.....	14
Şekil 3.2: Kadıköy Kartal metrosu aracı	16
Şekil 3.3: Paris Meteor sürücüsüz lastik tekerlekli metro aracı	18
Şekil 3.4: Lastik tekerlekli metroların kılavuzlanması	19
Şekil 3.5: Lineer metro aracı	20
Şekil 3.6: Lineer metro ile klasik metronun tünel çaplarının görünüşü.....	21
Şekil 3.7: Lineer motorların yerleşimi	22
Şekil 3.8: Metro aracını yapısı	33
Şekil 3.9: Trenlerin 4'lü dizi şeklinde gösterimi.....	34
Şekil 3.10: Sürücü kabinini modüler kısım.....	35
Şekil 3.11: Otomatik kuplaj	37
Şekil 3.12: Boji mimarisinin	38
Şekil 3.13: Primer süspansiyon	40
Şekil 3.14: Sekonder süspansiyon.....	41
Şekil 3.15: Tekerlek takımı	42
Şekil 3.16: Kompresör	44
Şekil 3.17: Cer motorları.....	45
Şekil 3.18: ATP bileşenleri.....	53
Şekil 3.19: Baliz ile iletim	53
Şekil 3.20: Aktif ve pasif baliz.....	54
Şekil 3.21: Balizle işletme	54
Şekil 3.22: Balizle işletme	55
Şekil 3.23: Aralıklı güncelleme	56
Şekil 3.24: Otomatik tren işletme	56
Şekil 3.25: İstasyonda duruş	58
Şekil 3.26: Çoklu giriş sistemi	58
Şekil 3.27: Çoklu giriş sistemi	59
Şekil 3.28: Durma ve başlama.....	60
Şekil 3.29: ATC sistemi	61
Şekil 3.30: Hareketli blok teorisi.....	63
Şekil 3.31: Hareketli blok iletimi.....	64
Şekil 3.32: Hareketli blok konum güncellemesi.....	65
Şekil 3.33: İndüksiyon çevrimli hareketli blok sistemi	66
Şekil 4.1: Dünyada bulunan tam otomatik sürücüsüz metroların	73
Şekil 4.2: Kıtalara göre tam otomatik metro hatları.....	73
Şekil 4.3: Metroların otomasyon dereceleri	74
Şekil 4.4: MCS hedef hız işareti	75
Şekil 4.5: ATO hedef hız işareti.....	77
Şekil 4.6: Sürücüsüz metrolardaki yedek sistemler	81

Şekil 4.7: TCC'deki araç operatörü ve iletişim operatörünün görünüşü	83
Şekil 4.8: Platform kapılar	86
Şekil 4.9: Dünyada kullanılan platform kapı ve hatta izinsiz giriş algılama sistemi	87
Şekil 4.10: Araç üstü CCTV sistemi	87
Şekil 4.11: Telsiz kontrol sisteminin yapısı	88
Şekil 4.12: Araç üstü çift yönlü telefon haberleşme sistemi	89
Şekil 5.1: Tam otomatik sürücüsüz metro yolcu ve işletmecinin ihtiyaçları	91
Şekil 5.2: Dünyadaki tam otomatik metroların gelişimi	92
Şekil 5.3: Ticari hız karşılaştırması	93
Şekil 5.4: Sürücüsüz metro ve sürücülü metro güvenilirlik grafikleri	94
Şekil 5.5: Sürücülü ve sürücüsüz metroların sefer aralıkları	97
Şekil 5.6: Eşdeğer yıllık maliyet	103
Şekil 5.7: İlk yatırım ve platform kapı bakım maliyetlerini karşılaştırması	110
Şekil 5.8: İlk yatırım ve platform kapı bakım maliyeti 10 yıllık libör faiz oranı ile	112
Şekil 5.9: İlk yatırım ve platform kapı bakım maliyeti 20 yıllık libör faiz oranı ile	114
Şekil 5.10: Maliyet karşılaştırma özeti	116

KISALTMALAR

AC	:	Alternatif Akım
ATC	:	Automatic Train Control
ATO	:	Automatic Train Operation
ATS	:	Automatic Train Supervision
ATP	:	Automatic Train Protection
CBTC	:	Communication Based Train Control
CCTV	:	Kapalı Devre Televizyon Sistemi
DC	:	Doğru Akım
DLH	:	Demir Liman Hava İşletmeciliği
DTO	:	Sürücüsüz Tren İşletimi
HMB	:	Hareketli Mesafe Bloğu
HZB	:	Hareketli Zaman Bloğu
IRSE	:	Uluslararası Demiryolu Sinyal Mühendisleri Kurumu
ITC	:	Uluslararası Teknik Komitesi
İBB	:	İstanbul Büyükşehir Belediyesi
İUAŞ	:	İstanbul Ulaşım Sanayi ve Ticaret AŞ
İETT	:	İstanbul Elektrik Tramvay ve Tünel İşletmeleri
LIM	:	Lineer Endüksiyon Motoru
LİBÖR:		London Interbank Borrowing Offer Rate
LRT	:	Hafif Raylı Sistem
MCS	:	Manuel Kontrollü Sürüş
MHB	:	Mesafe Hareketli Bloğu
NATM:		Yeni Avusturya Tünel Metodu
NFPA	:	Amerikan Ulusal Yangın Koruma Ajansı
PSD	:	Platform Screen Doors
PTES	:	Peron Acil Durum Durdurma Sistemi
STO	:	Yarı-otomatik Tren İşletimi
TBM	:	Tünel Açma Makinesi
TCC	:	Tren Kontrol Merkezi
TCDD:		Türkiye Cumhuriyeti Devlet Demiryolları
UIC	:	Uluslararası Demiryolu Birliği
UITP	:	Uluslararası Toplu Taşımacılar Birliği
UTO	:	İnsansız Tren İşletimi
VOBC:		Vehicle On-Board Computer

1. GİRİŞ

Ulaşım, kent dokusunun oluşmasında önemli bir yere sahiptir. 19.yy.'a kadar kentlerde ulaşım yürümeye dayanmaktadır. Bu nedenle, yerleşim yerleri yürüme yollarına göre biçimlenmiştir. 20.yy.'da Sanayi devrimi ile kentlerde nüfus artmış ve buna bağlı olarak "kent içi ulaşım" gündeme gelmiştir. Bu dönemdeki raylı sistem hatları buharla çalışan trenlerle işletiliyordu. Daha sonra hatlar elektrikle çalışan trenlerle işletilmiştir. Bu dönemlerde kentlerin dokusunun oluşmasında bu hatlar belirleyici unsur olmuştur. 2.Dünya Savaşı'ndan sonra ise otomobillerin kullanımının artmasına paralel olarak, yolların da artmasıyla kentin şekillenmesinde "yollar" etkin olmuştur.

Çağdaş kentlerde insanların çeşitli aktivitelerden yararlanabilmeleri için kolay, hızlı ve rahat ulaşım sağlanmalıdır. Bu da toplu taşıma sistemleri ile sağlanabilir. Buna karşılık kent ile otomobil birbirlerine zıt kavramlardır. Daha fazla karayolu daha fazla talebi artırmaktadır. Yeni yollar, yine yeni talepleri doğuracağından kent içi ulaşım sorunun çözülmesinde yeterli olamamaktadır. Raylı sistemlerin diğer sistemlere göre hızlı, güvenli, konforlu gibi üstün özellikleri vardır. Bu nedenle kent içi ulaşım sorunlarının çözümünde "raylı sistemler" en iyi çözüm olarak geliştirilmeli ve uygulanmalıdır (Tunç 2007, s.1).

Metropoller, barındırdıkları nüfus ve aktivite yoğunluğu nedeniyle yeraltının yerüstü kadar yoğun olarak kullanıldığı kentler olmaya başlamış, gündelik yaşam kavramı değişmiş, gün içinde yapılan aktivite sayısı ve çeşidi artmıştır. Artan nüfusla birlikte oluşan trafik yoğunluğu nedeniyle metropollerde özel ulaşımlardan toplu taşımaya yönelinmiş, teknolojinin de sunduğu olanaklarla metro ulaşım sistemi geliştirilmiş ve kentlilerin gündelik yaşamlarının vazgeçilmez bir ulaşım şekli olmuştur (Demir 2007, s.1).

Raylı sistemlerden biri olan metrolar, genellikle yeraltında tesis edilirler. Bunun nedeni ise kamulaştırma maliyetleri, yer üstünde diğer araçlarla kesişmesinden doğan sinyalizasyon ve zaman faktörü gibi unsurlardır. Kent içi ulaşımında, ulaşımın omurgasını raylı sistemler oluşturmalı, diğer otobüs, minibüs gibi toplu taşıma araçları ise bu hatları

beslemelidir. Ayrıca değişik hatlar arasında aktarma merkezleri oluşturulmalıdır. Kent halkının rağbet ettiği alış-veriş yerleri, ofis binaları gibi yerler ile de entegrasyon sağlanmalıdır. Yeraltı metro istasyonları kapalıdır. Metrolar hızlı, ekonomik, çevre dostu, konforlu olmaları gibi özelliklere sahiptir (Tunç 2007, s.1).

Sürücüsüz metrolar, hektometrik ulaşım, otomatik insansız taşıyıcılar, sürücüsüz metro, otomatik kılavuz yönlü transit ve benzerleri gibi otomatik seviyelerine göre bir çok sayıda isim verilmiştir. Sonuç olarak, kavramsal karışıklıklar vardır. Ancak son yıllarda, bu karışıkları engellemek için UTO İnsansız Tren İşletmesi tanımı ve daha tarafsız ve doğru bir kavram olarak ortaya çıkmıştır. Bu tanım trenin her hangi bir sürücü olmadan çalıştırılan bir ulaşım sistemi anlamına gelmektedir.1970'lerde düşük hat kapasiteli UTO uygulamaları hava alanları, otobüs terminalleri, limanlar, kamu hizmet binaları, eğlence parkları, kampüsler benzeri yerlerde kullanılmıştır. 2007 yılında 49 tane UTO hattı bulunmaktadır, 15 tanesinin inşaatı devam etmektedir, 10 tanesinde planlama aşamasındadır.

Metro otomasyonları genellikle yeni hatlar için kullanılır. Ayrıca eski hatların modernizasyonu ve sinyal sisteminin yükseltme durumlarında kullanılır. Dünyadaki yeni eğilim otomasyona daha fazla ilgi yaratmak ve potansiyelini artırmak. UITP tahminlerine göre 2020 yılına kadar yapılan tüm hatların yüzde 75'i gözetimsiz tren işletmesi (UTO) sisteminde yapılacaktır. Mevcut diğer hatların yüzde 40'ı büyük bir revizyona uğrayarak UTO seviyesine yükseleceği tahmin ediliyor (Malla 2007).

Klasik metrolarda trenin kumandası bir sürücüye bağlı olduğu için esnek bir çalışma sistemi yoktur. Sürücünün hastalanması, işe geç gelmesi, grev ve sürücüdenden kaynaklanan tren seferlerinin iptali gibi sorunlar meydana geliyor. Bu tip sorunları ortadan kaldırmak için ve işletme maliyetlerini düşürmek için dünyada sürücüsüz metrolara geçiş süreci başlamıştır.

Bu tez çalışmasında klasik metrolar ile sürücüsüz metroları teknik özellikler, ekonomik özellikler ve hizmet özellikleri bakımından karşılaştırılmıştır. Bu bilgilerden bir sonuç çıkarılarak sürücüsüz metroların avantaj mı yoksa dezavantaj mı olduğu tespit edilir.

2. KENT İÇİ RAYLI SİSTEMLERİN TARİHİ GELİŞİMİ

Dünyada ilk toplu taşıma örneklerini demiryolları üzerine inşa edilen raylı sistemler oluşturmaktadır. 1801 Yılında Wandsworth ile Croydon arasında toplu taşımaya yönelik ilk demiryolunun yapımına izin verilmiştir. Üç yıl sonra hizmete giren yaklaşık 16 km uzunluğundaki bu sistemde raylar üzerinde hareket eden taşıtları atlar çekiyordu. Ama 1802'de Vivian ve Trevithick adlarındaki iki İngiliz ilk buharlı lokomotif ruhsatını almışlardı. 1806'ya doğru Vivian köşebent raylar yerine tekerleklerin klavuzlaması için çıkıntılı çubuk raylar geliştirdi. Bu raylar üzerinde oluklu makaralardan oluşan tekerlekler çalışacaktı. Daha sonra makaranın yalnız iç çıkıntısını koruyarak günümüzdeki demiryollarının ilk örneğini verdi.

1827 Yılında Fransız mühendis Marc Seguin'in borulu kazanı bulması bu alanda dev bir gelişme sağladı; ardından bir İngiliz madencisinin oğlu George Stephenson gazlan sürüklemek amacıyla egzoz buharını bacaya püskürttü. Böylece ocağın iyi çalışması için gereken çekme elde edilmişti; işte bu gelişme, sürekli iyileştirme çalışmalarına konu olan çağdaş lokomotiflerin temelini oluşturur. Stephenson'un 1829'da Rainhill yarışmasına ödül kazanan "Fusee" adlı lokomotifi, saatte yaklaşık 24 km hızla 12 924 kg'lık yükü çekmeyi başardı. Bir lokomotifin bütün temel organlarını içeren bu çekici, buharlı lokomotiflerin atası kabul edilir.

İlk toplu taşıma türünün, 1827 senesinde New York'ta işletmeye açılan, atla çekilen ve yaklaşık olarak 18 kişilik arabalardan oluşan "omnibus" adı verilen sistemdir. Hafif raylı sistemlerin gelişimim üç evrede gruplandırmıştır:

Buna göre omnibus'tan hemen kısa bir süre sonra 1832 yılında yine New York'ta ilk raylı sistem, birinci kuşak hafif raylı sistem olarak tanımlana bilecek atlı tramvaylar işletmeye konulmuştur. Tramvayların yaklaşık ağırlığı 2000 kg, kapasitesi ise 20-25 kişilik olup, bir veya iki atla çekilmekte idi. Omnibus'dan daha hızlı olan atlı tramvay hızla dünyaya yayıldı.

İlk kez 1873 yılında San Francisco'da işletmeye açılan ve halatla çekilen tramvaylar ise ikinci kuşak hafif raylı sistemler olarak tanımlanabilir. Bu sistem en kötü hava şartlarında dahi yüksek meyillere tırmanma özelliğine sahipti. Sistemin gücü başlangıçta buharla sağlanırken daha sonra elektrikli makinelerden elde edilmiştir.

Üçüncü kuşak hafif raylı sistem olarak değerlendirilen elektrikli tramvayların ilk denemeleri 1835 senesine kadar uzanmaktadır. Bu sistemin ilk düzenli örneği, 1886 senesinde Montgomery (Alabama)'da açılan ve 9,7 km / saat maksimum hıza sahip olan sistemdir. Çok kısa sürede yayılan ve halatlı sistemin yerini alan elektrikli tramvaylar, 1917-1923 senelerinde dünyada en yaygın dönemini yaşamıştır.

2.1 METROLARIN TARİHİ GELİŞİMİ

Hafif raylı sistemlerle birlikte 19. yüzyılın ortalarından başlamak üzere ağır raylı sistemlerin ilk örnekleri de geliştirilmeye başlanmıştır. Yer altında işletmeye açılan ilk demiryolu örneği, Londra'da yayaların kullandığı Thames Tüneli'ne 1843 yılında demiryolu hattı döşenerek işletmeye açılmasıyla ortaya çıkmıştır. Böylece yer altında inşa edilen metro için ilk adım atılmıştır.

Dünya metrosunun ilk örneği olarak kabul gören ve Londra Metrosunun ilk bölümü olan dört mil uzunluğundaki Metropolitan Line 1863 yılında işletmeye açılmıştır. Metro, Londra'dan sonra ilk olarak 1863 yılında New York'ta kullanılmaya başlanmıştır. 1870 Yılında Thames nehrinin altında açılan demiryolu tüneli, metro yapımında tüp-tünel yönteminin ilk kez kullanılmasıdır. 1879 Yılında elektrikli lokomotifin icadıyla birlikte metro teknolojisinde yeni arayışlar başlamış; ve on bir yıl sonra da ilk elektrikli metro hattı (City-South London Railway) yine Londra'da hizmete açılmıştır. Bu sistemde tüp-tünel yöntemiyle inşa edilmiştir. Bu iki örneği sırasıyla Chicago(192), Budapeşte (1896), Glasgov (1897), Paris (1900) ve Berlin (1902) metroları izlemiştir (Türkmen 2001, ss.5-7).

Dünyadaki raylı sistemlerin tarihi gelişimi Tablo 2.1'de verilmiştir.

Tablo 2.1 Dünyadaki raylı sistemlerin tarihi gelişimi

Yıl	Yer	Olay
1765	İngiltere	Buharlı motorun icadı (Watt)
1825	Stockton-Darlington İngiltere	İlk demiryolu hattı
1832	New York	İlk atla çekilen tramvay
1863	Londra	İlk metro
1881	Berlin	İlk elektrikli tramvay (Siemens)
1901	Wuppertal, Almanya	İlk başarılı monoray
1955	Cleveland	İlk kapsamlı park et-bin uygulaması (metro için)
1956	Paris	İlk lastik tekerlekli metro
1962	New York	İlk tam otomatik metro
1972	BART, San Francisco	İlk bilgisayar kontrollü metro
1990	Bremen	İlk %100 düşük tabanlı LRT aracı
1990	Batı Avrupa, ABD, Japonya, Singapur	ITS teknolojinin yaygın kullanımı
1993-2002	Lyon, Paris, Singapur	Tam otomatik sürücüsüz metro

Kaynak: Veysel Arlı 2010 Kent İçi Raylı Sistemlerin Tarihçesi Ders Sunumları

2.2 TÜRKİYE'DEKİ RAYLI SİSTEMLERİN TARİHİ GELİŞİMİ

Osmanlı yönetimi demiryolunu; erişimin, bütünleşmenin, ekonomik kalkınmanın ve merkezîyetçiliğin temel aracı olarak görüyordu. Demiryolunun artması ile İmparatorluğun askeri yönden güçleneceğine, isyan ve eşkiyacılığın anında asker sevkıyatı ile önleneceğine, tarım ürünlerinin pazara sevki ile halkın üretim gücünün ve dolayısıyla zenginliğinin artacağına inanılıyordu. Ancak, demiryolu yapımının İmparatorluğun elindeki olanakların çok ötesinde olduğu da kabul ediliyor ve yabancı sermayeyi çekecek imtiyazlar veriliyordu.

1856 yılında bir İngiliz şirketine Anadolu' da İzmir - Aydın, Rumeli' de Köstence - Çernovoda arasında demiryolu yapımı ve işletmesi imtiyazı verilmiştir. Yaklaşık on yılda bitirilen İzmir - Aydın hattı 1866' da işletmeye açılmıştır. 1869' da bitirilen Rumeli' deki demiryolu hatları, Avrupa hatlarıyla bağlantılarının bulunmaması nedeniyle yerel hat özelliğini taşıyorlardı. Bunu çok önemli bir sakınca olarak gören Osmanlı idaresi, Avrupa' ya demiryolu ile bağlanma konusunun daha fazla

geciktirilmemesi görüşü ile daha fazla demiryolu yapımını ve demiryolu ağının kurulmasını öncelikli devlet meselesi olarak ele almıştır. 1869’ da Baron Hirsch’ e, İstanbul - Edirne - Filibe - Sofya - Niş Piriştine hattı ve bu hattın Bosna - Hersek üzerinden Avusturya demiryoluna bağlanması, Dedeağaç - Selanik ve Burgaz ile bağlantı yapılmak üzere ayrıca bir branşman hattı yapımı konusunda imtiyaz verilmiştir. Rumeli Demiryolu Şirket-i Şahane’ sini kuran Hirsch yaptığı hatların ucuza çıkması için büyük yarma ve tünellerden kaçınmış, küçük çapta kurplar tesis ederek hattın boyunu uzatmıştır.

Sonuçta çok küçük nitelikte bir demiryolu hattı ortaya çıkmıştır. Yapılan hattın çok düşük nitelikte ve oldukça pahalıya mal olması nedeniyle Osmanlı yönetimi en azından Anadolu’daki demiryollarını kendi olanaklarıyla yapmayı düşünmüştür. 1871 - 1873 yılları arasında Haydarpaşa - İzmit arasında 91 km, Turgutlu - Alaşehir arasında 76 km demiryolu yaptırmıştır. Ancak yapılan bu hatlardan da iyi sonuç alınmamıştır.

Osmanlı İmparatorluğunda demiryolu yapımı, Batı devletleri arasında çekişmelere ve zorlu mücadelelere neden olmuştur. Devletlerin üstünlüğü ve İmparatorluk üzerindeki nüfuzları dönem dönem değişiklik göstermişse de, sonunda bu devletler kendi aralarında anlaşmaya vararak, paylaştıkları etki alanlarından en etkin şekilde yararlanma yollarına gitmişlerdir.

Demiryolu yaparak İmparatorlukta rant kapma mücadelesindeki dönüm noktası, 1880’lerde Almanya’nın bu mücadeleye dahil olması ve Berlin - Bağdat Demiryolu imtiyazını almasıdır. 1888 yılında kilometre garantisi ile bir Alman şirketine İstanbul - Ankara hattının yapım imtiyazı verilmiştir. Bu hat 1893 yılında tamamlanmıştır.

2064 km’lik Konya - Basra hattının imtiyazı ise Bağdat Demiryolu Şirketi’ne verilmiştir. Ülkeyi bir uçtan bir uca birleştirmesi, ekonomik ve politik yapılanmaya hizmet etmesi, olası tehlikeler karşısında merkezi idarenin ülkeyi daha etkin savunmasını sağlaması yönünden Bağdat Demiryolu, Osmanlı İmparatorluğu için oldukça önemliydi.

Osmanlı İmparatorluğu döneminde yapılan demiryolları, hattın imtiyazının verildiği devletin çıkarlarına hizmet etmek amacıyla yapıldığı için yıllarca çekilen sıkıntılara ve ağır mali bedele karşın Anadolu topraklarında bir demiryolu ağı olduğunu söylemek çeşitli nedenlerden dolayı imkânsızdı. Hatların her birinde farklı malzemeler kullanılmış, standardizasyon ve uyumluluk aranmamış, bazı yerlerde birbirine geçit vermeyen hatlar meydana gelmiş, ayrıca, daha fazla ödenek alma kaygısıyla güzergâhlar gereksiz yere uzatılmış, böylece hızlı ulaşım olanağı ortadan kalkmıştır.

Uzun savaş yıllarından sonra harap olmuş bir ülke devralan Cumhuriyet yöneticileri, demiryolunu milli savunmanın ve ülke bütünlüğünün en gerekli aracı olarak kabul ediyorlardı. Demiryolu ile sağlanacak olan ulaşım olanağı, iç ve dış güvenlik açısından büyük önem taşımaktaydı.

Demiryolu ağı ile sınırlara olan uzaklığı kısaltmak ve böylece dışarıdan gelecek bir saldırı olasılığını azaltmak öncelikli hedef olarak tanımlanıyordu. Bununla beraber Demiryolunun ülke sınırları içerisinde yaşanan asayişsizliğe son vermede ve ülke bütünlüğünü sağlamada etkili olacağına inanılıyordu. Demiryolu yapımının, ağırlık merkezinin Doğu Anadolu'ya kaydırılması, bu bölgenin imarı ve dolayısıyla da bölgede sürüp giden asayişsizliğe son verme çerçevesinde açıklanıyordu. Demiryolu politikası, yabancı şirketlerin elindeki hatların millileştirilmesi ve aralarında malzeme, tarife ve işletme bütünlüğü olmayan hatların da devlet elinde ve bir idare altında toplanması amacını da içermiştir. 1924'te başlayıp, 1927'den sonra ivme kazanan ve 1939'a doğru sona eren demiryolu politikası, Cumhuriyet'in kuruluş dönemini simgeleyerek yeni rejim ile özdeşleşmiştir. Uygulanan bu politika sonucunda Türkiye demiryollarında büyük ilerleme kaydedilmiştir. 1927 - 1937 yılları arasında, işletme uzunluğunda yüzde 191, tren sayısında yüzde 304, yolcu sayısında yüzde 203, yolcu gelirinde yüzde 155 oranında bir artış olmuştur. Büyük fedakarlıklar yapılarak uygulanan demiryolu politikası sonucunda, yurdu uzunlamasına baştan başa kesen iki paralel hat ve bunları genişliğine kesen hatlar ile uzun mesafede kitle nakliyatı başlamıştır. Bu hatlar ile Türkiye kuzeyden güneye, batıdan doğuya demiryolları ile bağlanmıştır. 1923 - 1947 yılları arasında yapılan demiryolu hatları aşağıda Tablo 2.2'de gösterilmiştir.

Tablo 2.2: 1923 - 1947 Yılları arasında yapılan demiryolu hatları

HATTIN ADI:	UZUNLUĞU(km):	
SAMSUN – SİVAS	377	
ANKARA – KAYSERİ	379	
KAYSERİ – SİVAS	222	
IRMAK – ZONGULDAK – KOZLU	419	
FEVZİPAŞA – YOLÇATI – D.BAKIR – KURTALAN	62	
KÜTAHYA – TAVŞANLI – BALIKESİR –TUNÇBİLEK	267	
KARDEŞGEDİĞİ – BOĞAZKÖPRÜ	171	
AFYON – KARAKUYU	112	
SİVAS – ÇETİNKAYA	111	
ÇETİNKAYA – ERZURUM	435	
MALATYA – CETİNKAYA	139	
YOLÇATI – ELAZIĞ – GENÇ	157	
KÖPRÜAĞZI – MARAŞ	29	
HADIMKÖY – KURUKAVAK	11	
BOZANÖNÜ – ISPARTA	13	
BALADIZ – BURDUR	23	
ÖDEMİS – SEHİR	1,5	
	DAR	3.535
ILICA – PALAMUTLUK		
SAMSUN – CARSAMBA		
	GENİS	67
TOPLAM		3603

Kaynak: Güleney Y, (2009) Bir raylı ulaşım sinyalizasyon sistemi gerçekleştirme. Yüksek Lisans Tezi.

1939 yılında başlayan İkinci Dünya Savaşı demiryolu yapım faaliyetlerini de etkilemiştir. Ancak genel olarak baktığımızda Cumhuriyet döneminde Demiryolu için öngörülen hedefe büyük ölçüde ulaşılmıştır. 1920 - 1930 arasındaki on yıllık dönemde 633 km, 1930 - 1940 arasında ise 2484 km yeni demiryolu hattı yapılmıştır. Hat yapımı yanı sıra, lokomotif ve vagon bakım ve onarımına yönelik atölyeler kurulmuştur.

Tablo 2.3’de TCDD’de ait hat ve yol uzunlukları verilmiştir. Söz konusu toplam hattın yüzde 22’si elektrikli, yüzde 27’si sinyalli ve 5’i de çift hatlıdır (Güleney 2009, ss.6-11).

Tablo 2.3: 2007 Yılı sonu itibariyle TCDD hat ve yol uzunlukları

HAT VE YOL UZUNLUKLARI		
Hat Uzunlukları	Birimi	2007Yılı
A. ANA HATLAR		
Elektriksiz	Km.	6693
Elektrikli	Km.	1564
Toplam	Km.	8257
B. İKİNCİ HATLAR		
Elektriksiz	Km.	84
Elektrikli	Km.	356
Toplam	Km.	440
ANA HATLAR TOPLAMI		
Elektriksiz	Km.	6777
Elektrikli	Km.	1920
Toplam	Km.	8697
C. TALİ HATLAR		
Elektriksiz	Km.	1940
Elektrikli	Km.	354
Toplam	Km.	2294
D. TOPLAM YOL UZUNLUKLARI		
Elektriksiz	Km.	8717
Elektrikli	Km.	2274
Toplam	Km.	10991

Kaynak: Gülener Y, (2009) Bir raylı ulaşım sinyalizasyon sistemi gerçekleştirme. Yüksek Lisans Tezi

2.2.1 Ülkemizde Kent İçi Raylı Sistemlerinin Tarihi Gelişimi

Osmanlı İmparatorluğu'nun son dönemlerinden itibaren ülkemizde raylı sistemlerle ulaşım başlamıştır. 1869 Yılında yabancı bir şirket tarafından İstanbul'da işletmeye sokulan atlı tramvaylar ile kentsel ulaşımında çağdaş bir döneme adım atılmıştır. Açılan yeni hatlarla kısa zamanda tramvay uzunluğu 33 km'ye ulaşmış ve 1912 yılından itibaren de elektrikli çekişe geçilmiştir. Londra'da açılan ilk metro hatundan sadece 11 yıl sonra, 1874'de tünelde yolcu taşımacılığına başlanmıştır. Halen çalışmakta olan Karaköy Tünel hattı Şekil 2.1' gösterilmiştir. İstanbul'da geçmişte yapılmış olan bir diğer raylı sistem de 27,6 km uzunluğundaki Sirkeci-Halkalı ve 44,2 km uzunluğundaki

Haydarpaşa-Gebze banliyö hatlarıdır. Ancak I. ve II. Dünya Savaşlarıyla birlikte genç Cumhuriyet ekonomik sıkıntılara uğramış, bu nedenle 1966 yılında son tramvay hattı da kapatılmıştır. Böylece sadece sembolik olarak banliyö ve tünel ile raylı taşımacılık kalmıştır.

Şekil 2.1: Karaköy tünel hattı



İstanbul'da 1908 yılından beri süren metro girişimleri de en sonunda Taksim-4. Levent hattı ile 1999 yılında işletmeye açılmıştır.

Osmanlı İmparatorluğu'nda karayolu yapımı oldukça geridir. Devlet karayolu yapımında başarısız olmuştur. Devlet, en son olarak, bir Fransız şirketiyle karayolu yapımı için 2 milyon franklık bir anlaşma yapmıştı. Ancak 400 km yol yapımının ardından çıkan I. Dünya Savaşı yolu engellemiştir. Bu dönemde karayolları motorlu taşıtlar için uygun özelliklerde değildi. Anadolu'da toprak karayolu uzunluğu 9711 km idi. Tüm otomobil sayısı 1000 idi ve bunun 800'ü İstanbul'daydı.

Cumhuriyetin ilk yıllarında yaşanan ekonomik sorunlar nedeniyle ne karayolu ne de demiryollarına ciddi yatırımlar yapılamamış; ancak eldeki kısıtlı imkânlarla rağmen 3 360 km yeni demiryolu yapılmıştır.

1950'den itibaren A.B.D. tarafından sağlanan Marshall yardımı ile karayolu ulaşımına öncelik verilmesi temel bir ekonomi politikası olarak benimsenmiştir. Bu yardım çerçevesinde sert yüzeyli yollar 1950'de 1700 km'den 1955'te 3500 km'ye, 1965'te de 10 750 km'ye yükseldi. Bu dönemde devlet karayollarının uzunluğu da 24 bin km'den 25 bin km'ye çıktı. Bu dönemde demiryolları tamamıyla geri plana itilmiştir.

Planlı dönemin başında, 1963 yılında, toplam şehirlerarası yolcu taşımacılığında karayollarının payı yüzde 73, demiryollarının payı yüzde 24 ve denizyollarının payı da yüzde 3 oranındaydı. 1965 Yılında sert yüzeyli yolların uzunluğu toplam 10 750 km'ye ulaşmıştı.

Görüldüğü gibi Cumhuriyet'in ilk yıllarında gelişmiş ülkelere paralel olarak demiryolu yapımı ön planda tutulmuş; ancak 1950'de Marshall yardımı ile başlayan süreçte bu öncelik tamamıyla karayollarına kaymıştır.

1970'li yıllardan itibaren dünyada ortaya çıkan çağdaş ulaşım yaklaşımlarına paralel olarak, ülkemizde de 1980-1990 yılları arasında 7 büyük kentte (İstanbul, Ankara, İzmir, Adana, Bursa, Konya, Kayseri) 22 adet kent içi ulaşım çalışması yapılmış ve bu çalışmalarda raylı sistem alternatifleri planlanmıştır (Türkmen 2001, ss.14-16).

İstanbul'daki Toplu Ulaşımın Gelişimi aşağıdaki gibidir.

18. yüzyıl İstanbul'da atlı arabalar ve kayıklarla ulaşım

1869 İstanbul'da ilk atlı tramvayın Tophane-Beşiktaş arasında çalışmaya başlaması

1875 İstanbul metrosunun (Karaköy-Beyoğlu Tünel) hizmete başlaması

1912 İlk elektrikli tramvay hattı olan Karaköy-Ortaköy hattının açılışı

1914 Galata köprüsü üzerinde ilk elektrikli tramvayın çalıştırılması

- 1953 Tramvay hatlarının işletmeden kaldırılması (Tünel-Taksim, Taksim-Eminönü, Kadıköy-Moda, Kadıköy-Bostancı hatları)
- 1955 Tramvayların Galata Köprüsü'nden geçişlerinin sona erdirilmesi
- 1961 Trolleybüslerin İstanbul'da hizmete alınması
- 1961 İstanbul Yakasında elektrikli tramvayın işletmeden kaldırılışı
- 1966 Anadolu Yakasında elektrikli tramvayın kaldırılışı
- 1989 Aksaray - Esenler Hafif Raylı Sistem hattının hizmet vermeye başlaması
- 1990 Taksim Beyoğlu Tramvayının fiilen hizmet vermeye başlaması
- 2000 Taksim-Levent metrosunun işletmeye başlaması
- 2003 Kadıköy-Moda tramvay ring hattının hizmete açılması
- 2005 Kabataş-Eminönü raylı sisteminin hizmete açılması
- 2006 Taksim-Kabataş arası 110 saniyeye indiren Füniküler sistemin hizmete açılması
- 2007 Edirnekapı-Sultançiftliği Hafif Raylı Sistemin hizmete açılması
- 2009 Edirnekapı-Topkapı Hafif Raylı Sistemin hizmete açılması
- 2009 İki yakanın Metrobüs hattı ile birleştirilmesi (Baraçlı 2010).

3. METRO SİSTEMLERİNİN ÇEŞİTLERİ VE ÖZELLİKLERİ

Bu bölümde altında metro sistemlerinin çeşitleri, metroların işletme özellikleri, metro araçlarının teknik özellikleri ve metrolarda kullanılan sinyal sistemleri hakkında bilgiler verilmektedir. Bu bilgiler ile metro sistemleri hakkında

3.1 METRO SİSTEMLERİNİN ÇEŞİTLERİ

Metro çeşitleri genellikle taşıdığı yolcu sayısına, tekerlek türüne ve motor yapısına göre çeşitlere ayrılır. Bunlar hafif raylı sistemler, metrolar, lastik tekerlekli metrolar ve lineer metrolardır. Bu metroların özellikleri aşağıda açıklanmıştır.

3.1.1 Hafif Raylı Sistemler

Hafif raylı sistemler, esas olarak klasik tramvayın modernleştirilmiş ve evrimleşmiş halidir. Hafif raylı taşımacılık; tek araba veya kısa dizi halinde işletilebilen yer seviyesinde veya yükseltilmiş yollarda kendine ait özel bir yolu ve çoğunlukla caddeleri kullanan bir kent içi elektrikli ulaşım sistemidir. Gelişen ve hızla genişleyen büyük kentlerin toplu yolcu taşıma ihtiyaçlarını karşılamak için geliştirilen ve günümüz büyük kentlerinde yaşamı ve ulaşımı kolaylaştıran elektrik enerjisiyle çalışan çeken ve çekilen araçlardan oluşan bir sistemdir. Temel özelliği çalıştığı yolun tamamıyla diğer kullanıcılardan ayrılmış olmasıdır.

Ray açıklığı genellikle 1435 mm olan 750 V DC veya 1500 V AC ile 3 raydan veya katanerden enerji alan, bir sürücü tarafından sinyalizasyon sistemine uygun olarak kumanda edilen, her 600-1000 m mesafede özel istasyonlarda yolcu indirip bindiren, ortalama 60-80 km/saat süratle kendine ait hatlarda işletilen raylı toplu taşıma sistemleridir. Şekil 3.1’de hafif raylı sistem görülmektedir.

Şekil 3.1: Hafif raylı sistem aracı



Metro niteliklerini tam olarak sağlamamakla birlikte tramvaydan daha etkili hizmet veren hafif raylı sistemlerin kapasiteleri kullanılan teknoloji ve trafikten korunma oranına göre yüzde 40-90 arasında değişmektedir. Tramvayda olduğu gibi görsel trafik kontrolüyle işletilebilen hafif raylı sistemler gelişmiş elektronik kontrol ve haberleşme yöntemleriyle daha yüksek kapasitelere ulaşabilmektedir. Bu sistemler çok düşük araç aralıkları ile çalışabildiği gibi (5–12 araç/saat) özel önlemlerle bu sayı artırılabilir (140 araç/saat). Hafif raylı sistemlerin saatlik yolcu kapasiteleri 20.000-36.000 kişi arasında değişmektedir. Hafif metro araçlarının teknik özellikleri Tablo 3.1’de verilmiştir.

Tablo 3.1. Hafif metro araçlarının teknik özellikleri

Boyutlar	LRT
Boy	23.200 mm
Araç Genişliği	2.650 mm
Araç iç Tavan yüksekliği	2.100 mm
Araç Dış Tavan Yüksekliği	3.360 mm
Araç Ağırlığı ve Yolcu Kapasitesi	
Yolcu (m ² 'de 6 kişi)	257(225+32)
Boş ağırlık	30.000 kg
Dolu Ağırlık(m ² de 6 kişi)	49.000 kg
Performans	
Maksimum Hız	80 km/h
Hızlanma İvmesi	0,7 m/sn ²
Frenleme İvmesi	1,1 m/sn ²
Acil frenleme ivmesi	1,27 m/sn ²
Yatay Kurp (hatta)	50 m
Yatay Kurp(Depoda)	30 m
Dikey Kurp	300 m
Eğim	%6

Kaynak: İstanbul Ulaşım A.Ş, Atölyeler Müdürlüğü, Şubat 2010.

Esnek planlama ve işletmecilik olanağı sağlayan hafif raylı sistemler yapılaşmış ve büyük gelişmelerin beklenmediği mevcut kentsel alanlarda ve nüfus artışlarının sınırlı kaldığı çevre bölgelerde etkin olarak kullanılmaktadır (Ulusoy 2010 ss.9-10).

3.1.2 Metrolar

En büyük trafik potansiyelini gerçekleştirecek taşıt türüdür. Yer altında veya bazen yer üstünde hareket eder, yol kesişmesi yoktur. Kendi içinde kapalı bir sistemdir ve burada yalnızca metro taşıtları çalışır. Genellikle 1435 mm ray açıklındaki hatlarda, 600-750 V DC veya 1500 V AC ile 3. raydan veya katener hattından beslenen, dünyada yaygın olarak büyük şehirlerde kullanılan toplu taşıma sistemleridir. Diğer türlerin ulaşamadığı

yüksek hızlara ulaşabilen tam korumalı metro sistemleri genellikle 2-10 vagon dan oluşan katarlarla tüm türler içinde en yüksek kapasiteyi sağlamakta (60.000 kişi/saat) ancak o oranda da yatırım maliyeti artmaktadır. Şekil 3.2’de Kadıköy Kartal metrosu aracı görülmektedir.

Şekil 3.2: Kadıköy Kartal metrosu aracı



Yüksek düzeyde otomasyon gerektiren işletmecilikte bu yüksek yatırım maliyetine karşılık en düşük işletme giderleriyle çalışmaktadır. Hat esnekliğinin kısıtlı olması nedeniyle düşük kapasiteli sistemlerin besleyici olarak bütünleşmesinin sağlanmasıyla verimli bir işletmecilik elde edilmektedir. Tablo 3.2’de Metro araçlarının teknik özellikleri verilmiştir (Ulusoy 2010, s.11).

Tablo 3.2: Metro araçlarının teknik özellikleri

BOYUTLAR	METRO
Boy	MC 21.600, M-T 21.360, TOP 85.920mm
Araç Genişliği	3.050 mm
Araç iç Tavan yüksekliği	2.080 mm
Araç Dış Tavan Yüksekliği	3519 mm (3970 Araç üstü klima dahil)
Araç Ağırlığı ve Yolcu Kapasitesi	
Yolcu (m ² 'de 6 kişi)	MC 228(54+174) M-T 240(60+180) TOP: 936
Boş ağırlık	MC(32.117)kg, T(22.295)kg, M(31.650)kg TOP(118.179)kg
Dolu Ağırlık(m ² de 6 kişi)	MC 48.077kg, M 48.450kg, T 39.095kg TOP(183.699)kg
Performans	
Maksimum Hız	80 km/h
Hızlanma İvmesi	1.03 m/sn ² ± %10
Frenleme İvmesi	(1.04 m/sn ² ± %13)
Acil frenleme ivmesi	(1.04 m/sn ² ± %20)
Yatay Kurp (hatta)	95m
Yatay Kurp(Depoda)	80 m
Dikey Kurp	1.500 m
Eğim	4%

Kaynak: İstanbul Ulaşım A.Ş, Atölyeler Müdürlüğü, Şubat 2010.

3.1.3 Lastik Tekerlekli Metrolar

1951-1956 yıllarında Paris metrosunda ilk defa lastik tekerlekli metrolar geliştirilmiş daha sonra Montreal, Mexico, Santiago, Lyon ve Marseille şehirlerinde de kullanılmaya başlamıştır. Şekil 3.3'de lastik tekerlekli sürücüsüz bir metro görülmektedir.

Lastik tekerleğin adhezyonu çelik tekerleğe göre daha fazla olduğu için frenleme ve ivmelenme için işletme hızını artırmak, gürültüyü azaltmak ve maliyeti azaltmak için bu

araçlar benimsenmiştir. Ancak geçen süreçte raylı sistem teknolojisi aynı performansları sağladığı ve lastik tekerlekli araçların dezavantajları olduğu için kabul gören bir ulaşım aracı olmamıştır. Lastik tekerlekli araçların sürtünme direnci yaklaşık 10 kat fazla ve temas yüzeyi daha fazla olduğu için yüzde 25-30 oranında daha fazla enerji tüketmektedir. Daha kompleks bir teknoloji olduğu için yatırım ve bakım maliyeti (yaklaşık yüzde 20) daha fazladır.

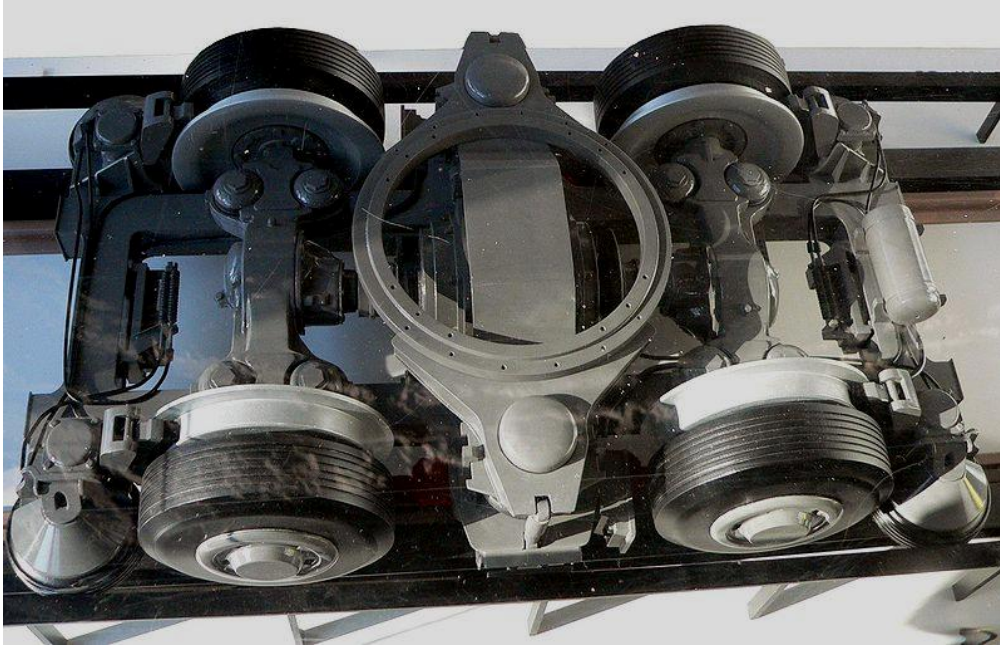
Şekil 3.3: Paris Meteor sürücüsüz lastik tekerlekli metro aracı



Lastiklerin yanıcı olması ve yangın çıkma ihtimali gibi hususlar önemli dezavantajlarıdır. Baltimore, Caracas, Roma, San Francisco ve Pittsburgh gibi bazı şehirlerin planlama aşamasında lastik tekerlekli ve çelik tekerlekli her iki metro alternatifi değerlendirilmiş ve çelik tekerlekli metroya karar verilmiştir.

Bu araçlarda 8 tanesi mesnet ve 8 tanesi kılavuzlama için 16 lastik tekerlek ve ayrıca 8 çelik tekerlek vardır. Çelik tekerlekler makasta çelik ray boyunca kılavuzlamayı sağlamak ve lastik tekerleğin patlaması durumunda aracın aşırı yana yatmasını önlemek için gereklidir. Şekil 3.4’de lastik tekerlekli metroların kılavuzlanması gösterilmiştir (Arlı 2010).

Şekil 3.4: Lastik tekerlekli metroların kılavuzlanması



3.1.3.1 Lastik tekerlekli metronun avantajları

- a. Daha hızlı ivmelenme
- b. Daha kısa fren mesafeleri
- c. Tırmanma ve inme yeteneği çok iyi yüzde 13 eğime kadar mümkün
- d. Daha sessiz sürüş

3.1.3.2 Lastik tekerlekli metronun dezavantajları

Yüksek sürtünme ve yuvarlanma direnci nedeni ile dezavantajları (çelik ray üzerindeki çelik jant göre) artmıştır:

- a. Yüksek enerji tüketimi
- b. Tekerleklerin lastik olduğundan dolayı patlama riski var.
- c. Daha fazla ısı meydana gelir.
- d. Daha kompleks bir yapıya sahip
- f. Lastik yenileme maliyeti (www.en.wikipedia.org)

3.1.4 Lineer Metrolar

Şehirçi toplu taşımacılık sistemlerinin daha konforlu, çevre dostu ve inşaat, işletme, bakım maliyetlerinin azaltılmasına yönelik geliştirme çabaları devamlı yapılmaktadır. Bu ihtiyaçlardan yola çıkılarak Lineer Metro Sistemleri geliştirilmiştir. Japonya ve Kanada firmalarının geliştirdiği sistemlerin toplam tek hat uzunluğu günümüz itibari yaklaşık 300 km'dir.

Dünyadaki ilk LIM (Lineer Endüksiyon Motoru) teknolojisi uygulanan hat Kanada-Vancouver şehrinin SkyTrain projesidir. Sistemin ilk aşaması 1986 yılında açılmıştır ve taşıdığı yıllık yolcu sayısı 40 Milyonu aşmaktadır. Sistemi kuran firmanın diğer uygulaması ise Malezya - Kuala Lumpur da hizmetine devam etmektedir. Şekil 3.5'de lineer bir metro görülmektedir.

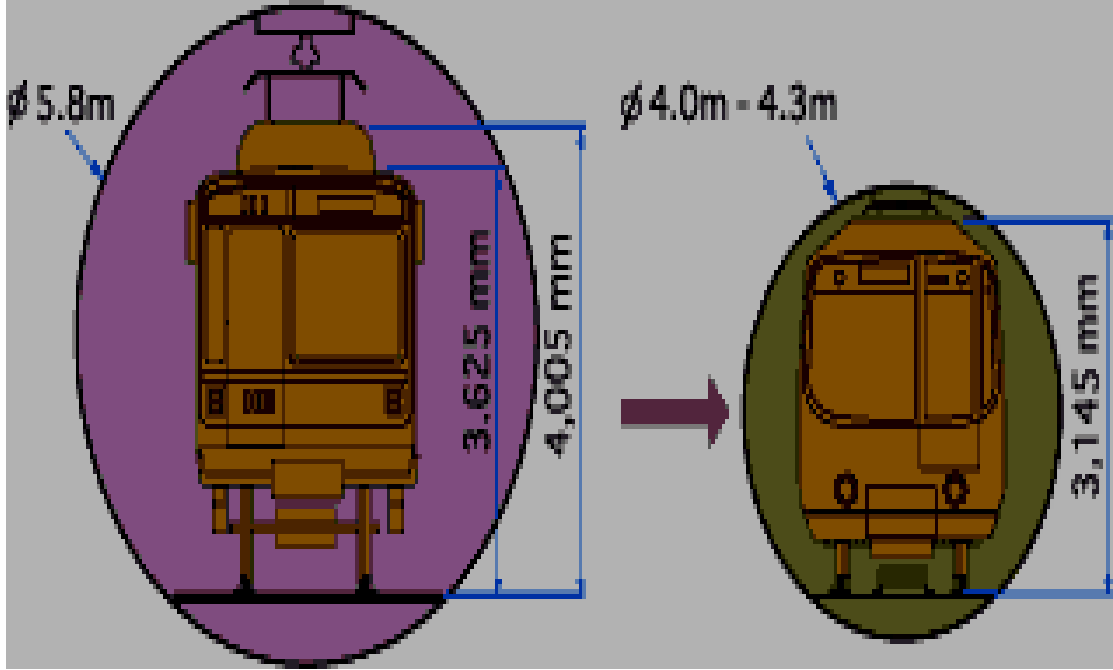
Şekil 3.5: Lineer metro aracı



1990 yılında Japonya-Osaka şehri Lineer Metro sistemine kavuşmuş ve buradaki başarılı uygulamayı Tokyo şehri izlemiştir. Birkaç hat ise inşaat aşamasındadır. Lineer metro sistemi kapasite olarak orta ölçekli yolculuk ve mesafeli taşımalar için uygundur. Ağır metro sistemlerinin yarı kapasitesi olan 35.000 kişi/saat trafik kapasitesini karşılayabilmektedir.

Lineer motor tahrikli, çelik tekerlek-raylı sürücülü ve sürücüsüz olan bu sistemler tünel boyutunu küçültmesi, daha dik eğimleri tırmanabilmesi ve daha dar kurplardan dönebilmesi özellikleri ile birçok Büyükşehirin ilgisini çekmektedir. Şekil 3.6’da lineer metroların tünel boyutları gösterilmiştir.

Şekil 3.6: Lineer metro ile klasik metronun tünel çaplarının görünüşü



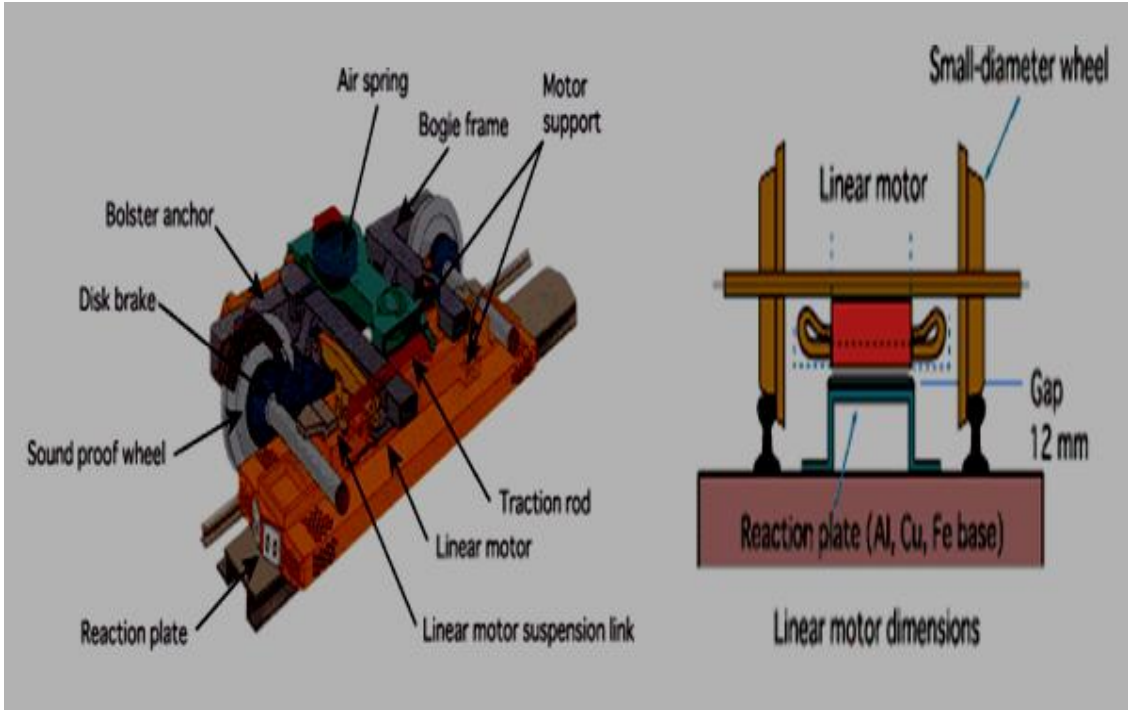
3.1.4.1 Lineer metroların teknolojisi

Lineer metro sisteminde araçlarda geleneksel döner motorlar kullanılmamaktadır. Bunun yerine normal bir motorun stator ve rotorunun açılarak düz hale getirilmiştir. Şekil 3.7’de görülen Lineer motorlar kullanılmaktadır.

Stator yerine geçecek olan reaksiyon plakaları adı verilen metal plakalar (Cu-Al) hat boyunca iki ray arasına yerleştirilmişlerdir. Motorun rotorunun yerini alan bir bobin sistemi ise aracın altına yerleştirilmiştir. Bu bobin AC gerilim ile enerjilendirilerek reaksiyon plakaları ile kendi arasında bir elektro-manyetik kuvvet oluşturur. Bu kuvvetin etkisi ile araç ivmelenir veya yavaşlar.

Bu sistemin en iyi avantajı yokuşlarda kalkışlarda tespit edilebilir. Adezyonsuz tahrik sistemi sayesinde tekerlekler sadece yük taşıma ve klavuzlama işlevlerini yerine getirmektedir, tahrik kuvvetini iletmemektedir.

Şekil 3.7: Lineer motorların yerleşimi



Sistemde kullanılan boji sistemi ile hareket edebilme özelliğine sahiptir. Bojiler kurba göre dönerek gerek tekerlerdeki gerekse raylardaki aşınmaları minimuma indirmektedir. Ayrıca bojilerde dişli kutusu gibi ekipmanın bulunmaması bakımını kolaylaştırmaktadır. Lineer metro ile geleneksel metronun karşılaştırılması aşağıdaki Tablo 3.3’de verilmiştir (Açıkbaş ve Dündar).

Tablo 3.3 Lineer metro ve geleneksel metro sistemlerinin karşılaştırması

Ekipman Alt-Sistem	Geleneksel Metro	Lineer Metro	Yeni Teknolojinin Etkileri
Tahrik Sistemi	Tekerlekler ve ray arasındaki sürtünme ile	Lineer Motor manyetik etkisi ile	<ul style="list-style-type: none">• Geleneksel metrolardaki %3,5 değerine karşın %6-8 eğimlere tırmanabilme.
Motor Tipi	Döner motor ve dişli sistemi	Dönmesiz lineer motor	<ul style="list-style-type: none">• Ray ve tekerlek arasındaki sürtünmenin azaltılması• Motor olmamasından ötürü sessiz yolculuk
Motor Şekli	Büyük ve ağır	Düz lineer motor ve reaksiyon plakası	<ul style="list-style-type: none">• Araç tabanın alçaltılması, rahat araç içi• Tünel kesitinin %50 azalması
Tahrik İnvörtörü	Akım kontrolü	Gerilim kontrolü, verimi maksimize eden kayma kontrolü, ivme düzenleme kontrolü	<ul style="list-style-type: none">• Lineer motorlar ile reaksiyon plakaları arasındaki mesafenin değişmesine adaptasyon• Lineer motorun veriminin optimize edilmesi• Reaksiyon plakasının malzemesinin değişmesinden etkilenmeme
Boji Tipi	Tekerlek açısı sabit	Tekerlek açısı değişken	<ul style="list-style-type: none">• Keskin kurpları dönme kapasitesinin artırılması. (minumum kurp yarıçapının 160 m den 50 m ye indirilmiştir.)• Kurpları dönerken rahatsız edici gürültünün ortadan kaldırılması• Tekerlek flanşı ile ray arasındaki sürtünmenin azaltılması

3.2 METRO İŞLETME ÖZELLİKLERİ

Kent içi toplu taşıma türlerinin karşılaştırılabilmesi için, öncelikle karşılaştırılmaya esas kabul edilecek ölçütler belirlenmelidir. Bu ölçütler belirlenirken, yolcuları etkileyen ölçütler (kapasite, seyahat süresi, güvenilirlik, vb.), şehir ve trafiği etkileyen ölçütler (kent yapısına uygunluk, güvenlik, trafik sıklığı, vb), ülke ve kentte yaşayan diğer

insanları etkileyen ölçütler (enerji gereksinimi, çevre kirliliği, alan kullanımı, kaynak gereksinimi, vb.) ve işletmeciyi etkileyen ölçütler (esneklik, diğer sistemlere uygunluk ekonomik işletme şartları, personel gereksinimi) belirlenmelidir (Türkmen 2001, s30).

3.2.1 Kapasite

Kentsel ulaşım türlerini en belirgin biçimde birbirinden ayıran özelliklerden birisi de sistemlerin saatlik yolcu taşıma kapasiteleridir. Bir saatte bir yönde taşınabilecek yolcu sayısı olarak tanımlanan kapasite, sistemdeki her bir taşıtın yolcu kapasitesinin, taşıtların doruk saatteki doluluk oranlarının, işletme hızının, iki taşıt arası sürenin ve bir izden bir saatte geçebilen taşıt sayısının işlevidir. Ancak karayolu altyapısını ortaklaşa kullanan sistemlerde (otobüs, minibüs) karşılıklı etkileşme nedeniyle kapasite kurumsal değerlere erişemeyebilir. Ayrıca sistemlerin işletildiği ülke veya kentin özgün koşulları da pratik kapasite de belirleyici olmaktadır. Bu nedenle verilen sistem kapasitelerine kesin değer gözüyle bakmamak gerekmektedir. Sistemlerin işletme hızları ve kapasiteleri Tablo 3.4'de verilmiştir.

Tablo 3.4: Kentiçi ulaşım sistemlerinin işletme hızları ve kapasiteleri

Sistem Tipi	İşletme Hızı	Kapasite(yolcu/saat/yön)
Otomobil	15-50	2.000-6.000
Dolmuş –Minibüs	10-20	1.000-4.000
Otobüs	10-20	10.000-15.000
Otobüs(Öncelikli)	15-30	15.000-30.000
Tramvay	10-25	6.000-20.000
Hafif Raylı Sistem	20-45	20.000-36.000
Metro	25-60	40.000-80.000
Tren	30-70	40.000-90.000
Vapur	10-25	5.000-24.000

3.2.2 Enerji Tüketimi

Enerji açısından dışa bağımlı ülkelerde, enerji tüketimi özelliği sistem seçiminde göz önüne alınması gereken birincil konulardandır. Sistemlerin farklı enerji türleriyle çalışmaları karşılaştırma yapmayı zorlaştırmaktadır. Bu zorluk birçok araştırmacı tarafından ortak birimler (kcal, vb.) kullanılmasıyla aşılmıştır.

Enerji tüketimi yerel koşullara göre farklılıklar göstermektedir. Ulaştırma Bakanlığı Ulaştırma Koordinasyon İdaresi çalışmalarına göre Türkiye koşullarında kentsel ulaşımda yolcu-km başına kcal olarak enerji tüketimi yaklaşık olarak raylı sistemlerde 85, otobüslerde 105, dolmuşlarda 275, otomobillerde 550'dir. Buna göre raylı sistemlerde tüketilen enerji 1 olduğunda otobüste 1.24, dolmuşta 3.24, otomobilde 6.47 olmaktadır.

Tablo 3.5'de verilen yolcu-km başına enerji tüketim miktarları dört uluslar arası araştırmanın ortalamalarını yansıtmaktadır. Otobüs, tren, metro, tramvay gibi toplu taşıma sistemlerinin az ve birbirine yakın düzeyde enerji tükettiği, otomobilin tüketiminin ise bu sistemlerin beş katından fazla olduğu görülmektedir. Ayrıca tüketilen enerjinin yalnız niceliği değil, niteliği de önemli olmaktadır. Petrol üretmeyen ülkelerde, enerji tüketimi aynı olan sistemler arasından akaryakıtla çalışmayanlarının tercih edilmesi doğaldır (Atik 2010, ss 18-20).

Tablo 3.5: Ulaşım sistemlerinin yolcu-km başına enerji tüketimi (Tren=100)

Sistem Tipi	Enerji Tüketimi
Otomobil	515
Dolmuş	241
Minibüs	134
Otobüs	96
Tramvay	112
Metro	97
Tren	100

3.2.3 Geçiş Üstünlüğü

Toplu taşıma türleri arasında en önemli özelliklerden bir tanesi de geçiş üstünlüğüdür. Ulaşım türünün kapasitesi, hızı ve düzenliliği bu özelliğe bağlıdır. Geçiş üstünlüğü açısından toplu taşıma türleri üç grupta sınıflandırılmıştır.

1. Genel trafik içinde hareket eden ulaştırma türleri - Kontrolsüz
2. Kısmen özel yola sahip ulaştırma türleri - Yan kontrollü
3. Özel yola sahip ulaştırma türleri - Tam kontrollü

Genel trafik içinde hareket eden ulaşım türleri, karayolunu diğer araçlarla paylaştıklarından ticari hızları düşük, seyahat süreleri uzun olmakta ve bu iki faktöre bağlı olarak yolcu kapasiteleri düşmektedir. Bununla birlikte güvenlik de kontrolsüz türlerde en düşük olurken, kontrollü türlerde en yüksek olmaktadır. Otobüs, dolmuş, minibüs kontrolsüz türlerdir. Tramvay, hafif raylı sistemler genellikle yan kontrollüdür. Ağır raylı sistemler ve banliyö ise tam kontrollüdür. Bu faktör aynı zamanda fiziksel özerklikle de doğrudan ilgiye sahiptir. Geçiş üstünlüğü bakımından türlerin karşılaştırılması Tablo 3.6'de verilmiştir.

Tablo 3.6: Geçiş üstünlüğü bakımından sistemlerin özellikleri

ÖZELLİKLER	SİSTEMLER		
	Tam Kontrollü	Yarı Kontrollü	Kontrolsüz
Servis kalitesi	Çok yüksek	Yüksek	Düşük
Yolcu çekimi	Çok yüksek	Yüksek	Düşük
Yatırım maliyeti	Çok yüksek	Yüksek	Çok düşük
Otomasyon imkanı	Tam	Kısmi	Yok

3.2.4 Güvenlik

Taşıma türlerinin güvenliği kaza riskinin ve tehlikenin olmamasını ifade eder. Güvenlik yalnızca seyahat esnasını kapsamaz; aynı zamanda durak ve istasyonların giriş çıkışında ve durak ve istasyonlardaki zamanı da kapsar. Özellikle belirli bir ize bağlı olarak çalışan ve iklim şartlarından diğer türler kadar etkilenmeyen raylı sistemlerde güvenlik daha yüksektir. Tablo 3.7’de ulaşım türlerinin güvenlik açısından karşılaştırılması verilmiştir.

Tablo 3.7: Ulaşım türlerinin güvenlik açısından karşılaştırılması

Taşıt Türü	Güvenlik
Otomobil	Çok düşük
Dolmuş	Düşük
Minibüs	Düşük
Otobüs	Düşük
Tramvay -LRT	Yüksek
Metro	Çok yüksek
Tren - Banliyö	Çok yüksek

Fiziksel özerklik ve geçiş üstünlüğüne sahip türlerin güvenlik açısından diğer türlerden ileride olmasının temel nedeni bu türlerle aynı yolu paylaşmamalıdır. Almanya’da 8 büyük kentte toplanan verilere göre; otomobillerde 22 kaza/milyon yolcu-km, otobüs ve tramvaylarda 3,35 kaza/milyon yolcu-km ve metrolarda ise 0,82 kaza/milyon yolcu-km olduğu tespit edilmiştir.

Ülkemizde raylı ulaşım sistemlerinde toplam yıllık ölüm sayısı 200’ün altında iken, bu rakam karayollarında 5 000 ile 6 000 arasında değişmektedir (Türkmen 2001, ss.34-36).

3.2.5 Sıklık

Topu taşıma türlerinin sıklığı, servisler arasındaki frekansı ifade etmektedir. Birbirini izleyen iki servis arasında geçen zaman aralığına sıklık denilir. Bu zaman aralığın düşük olması sıklığın yüksek olması anlamına gelmektedir. Sıklığın yüksek olmasına bağlı olarak ta kullanıcıların bekleme süresi azalacağından, sıklık kullanıcılar için en önemli tercih ölçütleri arasında gelmektedir. Geçiş üstünlüğü ve özerklik gibi etkenler de sistemlerin sıklığı üzerinde belirleyicidir. Tablo 3.8’de toplu taşıma türlerinin sıklıkları verilmiştir. Tablodan anlaşılacağı üzere en düşük geçiş aralıkları otobüslerde 60 saniye, tramvaylarda 72 saniye ve metrolarda ise 120 saniye olarak gerçekleşmektedir.

Tablo 3.8: Ulaşım türlerinin sıklıkları

Ulaşım Türü	Zirve Saatte Maksimum Araç Sıklığı (kesim/araç)	Diğer Saatlerde Maksimum Araç Sıklığı (kesim/araç)	Maksimum Araç Sayısı (araç/saat)
Otobüs	-	-	60
Tramvay	14	5-12	50
Hafif Raylı Sistem	40-120	5-12	30
Metro	20-40	5-12	30
Banliyö	6-30	1-4	-

3.2.6 Yolculuk Süresi

Kullanıcıların ulaşım türleri arasında en fazla önem verdikleri ölçütlerden bir tanesi de yolculuk için harcanan süredir. Yolculuk süresi aşağıdaki bölümleri içermektedir.

1. Yürüme zamanı
2. Durak ya da istasyonda bekleme zamanı
3. Taşıtta geçen zaman

Yürüme zamanı istasyon ya da duraklardan yürünen mesafe ve aktarma noktalan arasındaki mesafeye bağlıdır. Bekleme zamanı ise doğrudan sıklıkla ilgilidir. Taşıtta geçen zaman ise türlerin yukarıda ifade edilmiş olan ticari-işletme hızlan ile aynı şartlardan etkilenir. Dolayısıyla yolculuk süresi, güzergah uzunluğunun ticari hıza bölümü ile elde edilir. Bu formülden hareketle ticari hızın yükselmesine bağlı olarak yolculuk süresinin azaldığı görülmektedir.

3.2.7 Konfor

Yolculuğun konforu oldukça göreceli bir kavram olup, kullanıcıların rahatlık hislerine bağlı olarak değişkenlik gösterir. Yolculuğun konforunu etkileyen temel etkenler arasında; taşıta binilen ve taşıttan inilen platformun taşıtla aynı zeminde olması, oturma ve ayakta durma oranlan, taşıtın ısıtma ve havalandırma şartlan, taşıt içerisindeki gürültü, frenleme ve hızlanmaya bağlı etkiler, taşıtın temizliği, koltukların rahatlığı, aydınlatma gibi gelmektedir.

Tablo 3.9'da görüldüğü gibi oturma kapasitesi açısından otobüs raylı sistemlere üstünlük sağlarken, inme binme kolaylığı açısından en olumsuz türdür. İnme-binme kolaylığı açısından da ağır raylı sistemler diğer sistemlere göre üstünlük göstermektedir.

Tablo 3.9: Toplu taşıma sistemlerinde konfor

Toplu Taşıma Türleri	Oturan yolcuların ayaktakilere oranı	Hızlanma ivmesi (metre/s²)	Kapı açılma aralığı (metre)	Havalandırma	Isıtma
Otobüs	%61	0,09-0,98	3,80	Yok	Var
LRT	%50	1,37-1,56	4,10	Var	Var
Metro	% 45	1,19-1,61	5,10	Var	Var

Yolculuk esnasında araçların yolcular açısından müsaade edilebilir frenleme ve hızlanma ivmeleri, oturan ve ayakta duran yolcular için ayrı ayrı olmak üzere Tablo 3.10'da verilmiştir. Raylı sistemler, frenleme, hızlanma sırasında ve kurlarda meydana gelen ivmeler ve ivme değişimleri açısından yolcu rahatlığı için diğer sistemler göre çok daha uygundur.

Tablo 3.10: Müsaade edilebilir ivme ve ivme değişimleri

İvme	Ayaktaki yolcu için	Oturan yolcu için
Boyuna ve yanal ivme değişimi	1,5 m/s ³	2,5 m/s ³
Boyuna ve yanal ivme	2,5 m/s ³	5 m/s ³
Acil frenleme ivmesi	4 m/s ²	8 m/s ²
Düşey ivme	1,2 m/s ²	1,2 m/s ²

3.2.8 Güvenirlilik

Yapılan araştırmalara göre, sıklığın 10 dakikanın altında olduğu sistemlerde yolcular zaman tarifesini dikkate almaksızın istasyon ya da durağa gelmektedirler. Ancak sıklık arttığı zaman bekleme süresini kısaltmak amacıyla servislerin zaman tarifesine uydukları tespit edilmiştir.

Güvenirliliğin sağlanabilmesi için sistem sık sık arıza yapmamalı; kaza, güvenlik, vb. nedenlerle seferler iptal edilmemeli ve zaman tarifesine mutlaka uyulmalıdır, özellikle elektrikle çalışan sistemlerde enerji kesintisi de güvenirliliği etkileyecek önemli bir etkidir. Güvenirlilik fiziksel özerklikle doğru orantılı olarak artmaktadır. Geçiş üstünlüğü (kontrol faktörü) de güvenirliliği etkileyen diğer bir önemli etkidir. Tablo 3.11'de toplu taşıma türlerinin her 100 seferden kaçını zamanında tamamladığına göre güvenirlilikleri gösterilmiştir (Türkmen 2001, ss.61-64).

Tablo 3.11: Toplu taşıma türlerinin seferleri zamanında tamamlanabilme yüzdeleri

Ulaşım Türü	Seferlerini Zamanında Tamamlama Yüzdesi
Otobüs	99,5
Hafif Raylı Sistem	99,7
Metro	99,9

3.3 METRO ARAÇLARININ TEKNİK ÖZELLİKLERİ

Araç gövdesi, metro araçları için öngörülen 30 yıllık tasarım ömrü boyunca çevresel etkilerden dolayı oluşabilecek paslanma veya aşınma nedenlerinin önlenmesi için, dayanımlı malzeme ve gereçlerden yapılmaktadır. Özellikle tünel ortamı içinde oluşabilecek su sızıntılarına ve araçların gövdesine damlayan sulara dayanıklı malzemeler seçilir. Bütün malzemeler kullanım amacına uygun kalitede ve Uluslararası kabul edilmiş standartlara uygun olarak üretilmektedir.

İç ve dış panellerde yüksek kalitede alüminyum kullanılır. Bojilerde akma dayanımı en az 350 N/mm² olan çelik malzeme kullanılmaktadır. Araç gövdesi çelik olduğu gibi alüminyum veya alüminyum çelik kombinasyonundan üretilebilir. Yüksek gerilimler altında olmayan yan detaylarda yumuşak çelikler kullanılmaktadır.

Araçlar her ne kadar tünel içinde çalışmakla birlikte, depo sahası açık alanında park edileceğinden, dış hava koşullarından etkilenmemesi için aşağıdaki iklim koşullarına göre malzemeler seçilmektedir.

- a. Sıcaklık: -10⁰ C ile +45⁰ C,
- b. Bağıl nem, yoğunlaşma dahil olmak üzere: %100
- c. Rüzgar hızı, depolama sahasında: 120 km/saat

Araç gövdesinin yapısı ve AW3 yolcu yükleme koşulları altında, belirlenen 30 yıllık tasarım ömrü boyunca, araçta hiçbir şekilde yorulmadan kaynaklanan çatlak ve kırılma olmamalıdır.

Yangın riskini en aza indirmek için bütün malzemeler yangına dayanıklı olmaktadır. Dış aksesuarlar ve tespit parçaları, peronda bekleyen yolcuların zarar görmemesi için mümkün olduğunca gömme olarak monte edilmektedir (Kadıköy Kartal Metrosu Araç Temin Şartnamesi 2008).

3.3.1 Yolcu Yük Koşulları

AW3 yüklü bir vagon, yüzde 4 eğimden başlamak üzere AW3 yükü bir seti itebilmeli ve çekebilmelidir. Bu durumda çoklu ünite maksimum 60 saniye içinde 50 km/saat hıza ulaşmalıdır. Yolcu yük koşulları Tablo 3.12’de verilmiştir.

Tablo 3.12: Yolcu yük koşulları

Yük koşulu	Tanım	Trendeki yolcu (4 vagon)
AW0	Yolcusuz vagonun maksimum çalışma ağırlığı	0
AW1	Tüm yolcu koltukları dolu (yolcu +sürücü) +AW0	164
AW2	4 yolcu/m ² ayakta duran yolcular +AW1	698
AW3	6 yolcu/m ² ayakta duran yolcular +AW1	966
AW4	8 yolcu/m ² ayakta duran yolcular +AW1	1234

Kaynak: Tiberghien P. (2009) Makinist eğitim ve arıza müdahale klavuzu

1. AW4 yükü durumunda set yüzde 4 eğimden başlamaktadır. Bu durumda set minimum 70 km/saat hıza ulaşmaktadır.
2. Set, AW4 yüküyle yüzde 4 eğimde servis freni ve acil durum freni ile maksimum 250 m mesafede durabilmektedir (Tiberghien 2009).

3.3.2 Araç Gövdesi

Araç gövdesi göze hoş gelecek bir mimariye ve aerodinamik bir yapıya göre yapılır. Şasi çelik olduğu gibi alüminyum veya alüminyum-çelik kombinasyonundan da yapılmaktadır. Şekil 3.8’de araç yapısı görülmektedir.

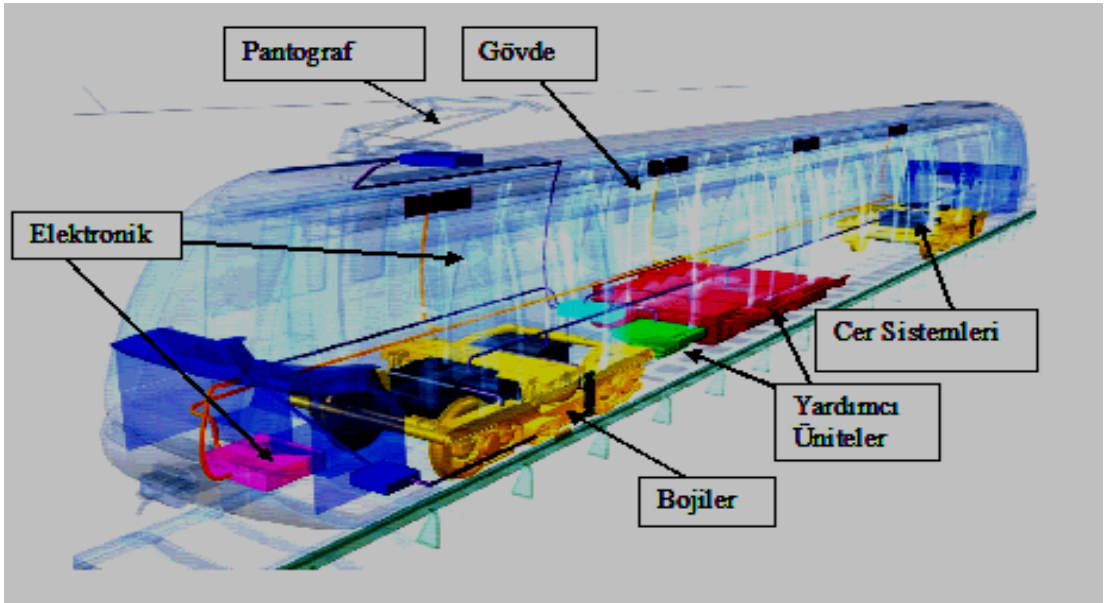
Tampon ve/veya kavrama alanı, en az 800 kN luk bir basma yüküne dayanıklı ve bu yük altında taşıt gövdesi hiçbir deformasyona maruz kalmayacak şekilde yapılmaktadır.

AW0 ila AW4 işletme koşullarında oluşabilecek herhangi bir düşey yük altında aracın düşey sapması, yolcu kompartmanının kapıları ve sürücü kabini kapısının normal işletimini engellemez. Minimum koşul olarak araç gövdesi en az 10 milyon çevrim için AW3 yük koşullarında uygulanabilecek olan aşağıdaki ivmelere karşı dayanıklıdır (Kadıköy Kartal Metro su Araç Temin Şartnamesi 2008).

(1+/- 0.15) x g düşey

(+/- 0.15) x g yanal

Şekil 3.8: Metro aracını yapısı



Mc Sürüş Motor vagonu:

- Makinist kabiniyle birlikte 1karoser,
- Tavanda1 pantograf,
- Çoklu birim işletimi için kabinin ucunda otomatik kuplör,
- M veya T vagonu ile birlikte 1 yarı-kalıcı çubuk,
- Kasanın altında 2motorbojisi,

M Motor vagonu:

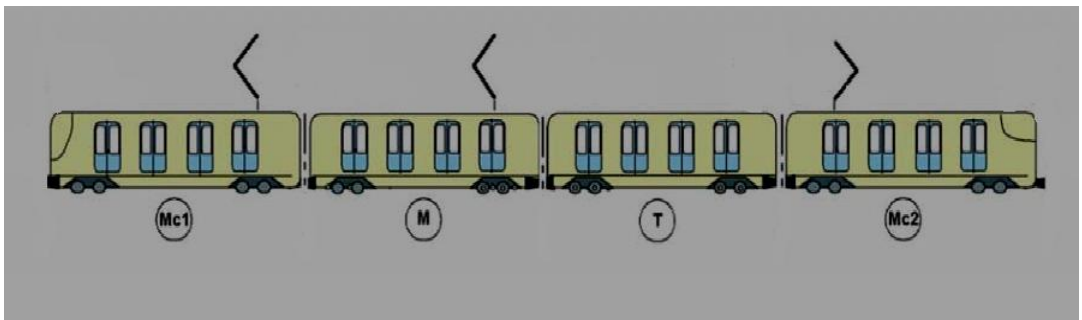
- 1karoser,
- Tavanda1 pantograf,
- Mc vagon ile birlikte 1 yarı-kalıcı çubuk,
- T vagon ile birlikte 1 yarı-kalıcı çubuk,
- Kasanın altında 2motorbojisi,

T Trayler vagonu:

- 1karoser,
- 1 Mc vagon ile birlikte 1 yarı-kalıcı çubuk,
- M vagon ile birlikte 1 yarı-kalıcı çubuk,
- Kasanınaltında1 traylerbojisiherbirbojinin2elektrikmotoru vardır.

Tren her biri 4 vagondan oluşan (Mc1-M-T-Mc2). Şekil 3.9'da gösterilmiştir. Tekli birim veya çoklu birim (2birim) şeklinde çalışabilirler. Yolcu bölümünde Mc vagonu 37 yolcu koltuğuyla donatılmıştır. M ve T vagonları45 yolcu koltuğuyla donatılmıştır (Tiberghien 2009).

Şekil 3.9: Trenlerin 4'lü dizi seklinde gösterimi

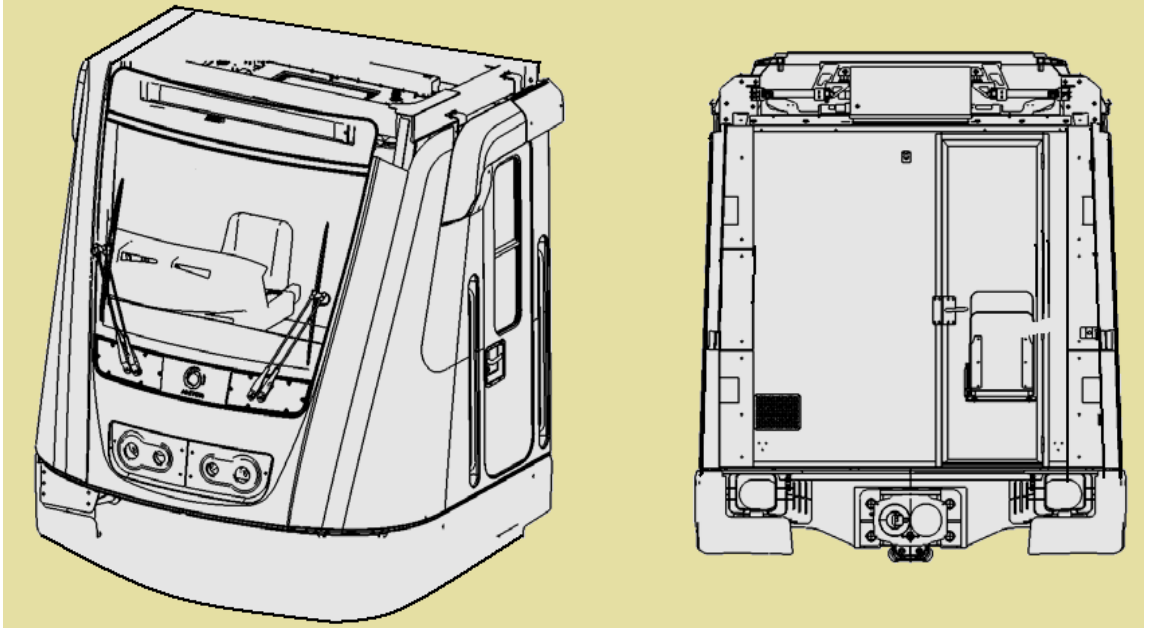


3.3.3 Çarpışmaya Karşı Dayanım

Her sürücü kabiniinde, sürücü için koruma sağlayan ve sürücü kabininin herhangi bir çarpışma halinde yolcu kompartmanına girmesini önleyen bir sistem uygulanır. Sürücü kabinli araç, bir çarpışmadan sonra sürücü kabinli bölüm kolaylıkla onarılabilen şekilde olmalıdır. Şekil 3.10'de görüldüğü gibi sürücü bölmesi modüler olarak tasarlanır ve yenisi ile kolayca değiştirilmektedir.

Araç yapısı çarpışma nedeniyle oluşacak kinetik enerjiyi absorbe edecek aygıtlarla sağlamalı ve yolculara aktarılan ivme en alt düzeyde olmalıdır. AW3 yük koşullarındaki bir trenin içinde +100 yolcu fazlasıyla V hızı ile hareketinde, aynı şartlarda ve frenleri çekilmiş diğer bir trene çarpması halinde, araçlar aşağıda belirtilen koşulları sağlamalıdır.

Şekil 3.10: Sürücü kabini modüler kısım



- a. $V=5$ km/saat'a kadar hızlarda herhangi bir araç ve ekipmanda fonksiyon kaybı ya da hasar olmamalıdır. Enerji absorbe elemanlarında kalıcı hasar gözlenmemelidir.

- b. $V=15$ km/saat veya daha düşük hızlarda, trende oluşan hasar, kuplörün kırılma elemanları ve ön eteğin değiştirilebilen elemanlarından oluşan hasarlarla sınırlı olmalıdır.
- c. $V>15$ km/saat ve >25 km/saat hızlar arasında oluşan hasar, araçların uç kısımlarının ilk bir metrelik kısımlarında oluşan hasarlarla sınırlı olmalıdır .Göçme bölgesi olarak tanımlanan bu alanın dışında, araçların yapısında bir bozulma olmamalı, araçlarda bulunan herhangi bir parça veya eleman üzerinde kalıcı deformasyon oluşmamalıdır. Yolcu kompartmanındaki yolcuların uzuvlarında bir hasar ve yırtılma ve delik açılmamalıdır. Yüksek gerilimli aygıtlar ve bu donanımların bağlantı kabloları elektrik şoku tehlikesine yol açmamalı ve yangın tehlikesi olmamalıdır.

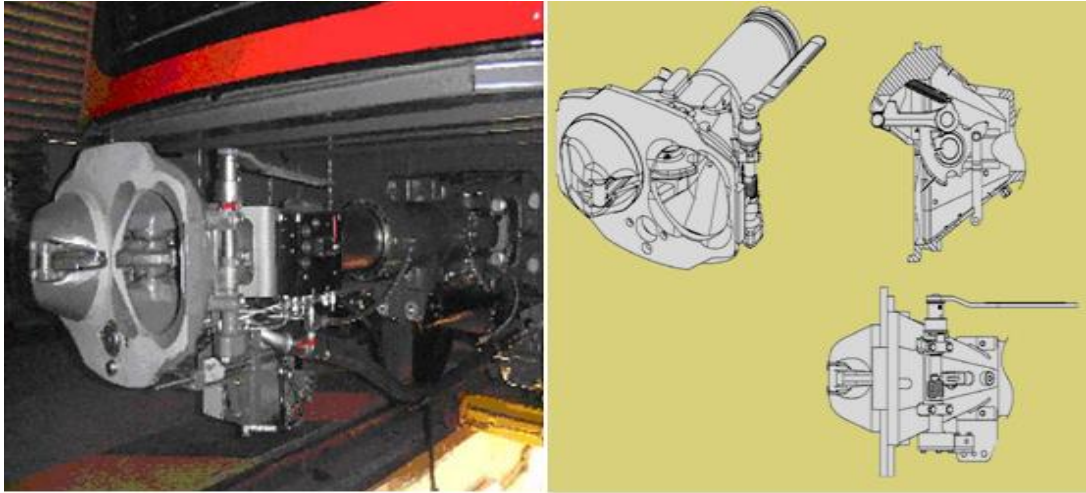
3.3.4 Kuplörler

Dört aracın konfigürasyonundan oluşan bir tren dizisinin her iki başında otomatik kuplörler ve araçların arası yarı -sabit kuplörler vardır. Dört aracın konfigürasyonundan oluşacak tren dizisi, diğer bir dört araçlık tren dizisi ile Şekil 3.11'de görüldüğü gibi otomatik kuplörler ile düşük bir hızda (yaklaşık 5 km/h) birbirine bağlanarak kilitlenir. Bu bağlanma esnasında elektrik, mekanik ve pnömatik bağlantılar otomatik olarak sağlanır. Bağlantının başarılı olup olmadığı sürücü kabininden kontrol edilebilir.

Ayrılma işlemi sürücü kabininden hiçbir alete gerek olmaksızın, ayrıca aşağıdan fazla bir kuvvete gereksinim olmadan manuel olarak sağlanabilmektedir. Otomatik kuplörler ve yarı-sabit kuplörler her türlü işletim koşullarında hiçbir kalıcı deformasyona maruz kalmamalıdır.Tüm kuplörler, kabul edilebilir tekerlek aşınmaları, homojen olmayan yükleme koşulları ve yük koşulları, süspansiyonlardan oluşacak hareket boşlukları ve süspansiyon arızaları gibi nedenlerden dolayı araçlar arasındaki değişikliklere uyum sağlamaktadır.

Kuplörlerin elektriksel başlıklarında, yüksek güvenilirlikli kontak noktaları bulunmalı ve bu noktalarda gerilim ve akım düzeyine uygun kontak gereçleri kullanılmaktadır. Düşey ve yatay kurplardan geçişlerde kesintisiz bir bağlantı sağlanmaktadır. Elektrik bağlantılarında en az yüzde 10 yedek kontak bulunmaktadır. Gerek otomatik kuplörler ve gerekse yarı sabit kuplörler, AW4 yolcu yükündeki arızalı 8 araçlık bir tren dizisininin diğer bir 8 araçlık tren dizisi ile yüzde 4 eğimde çekmeye veya itmeye dayanabilecek bir yapıda olmaktadır (Kadıköy Kartal Metrosu Araç Temin Şartnamesi 2008).

Şekil 3.11: Otomatik kuplaj



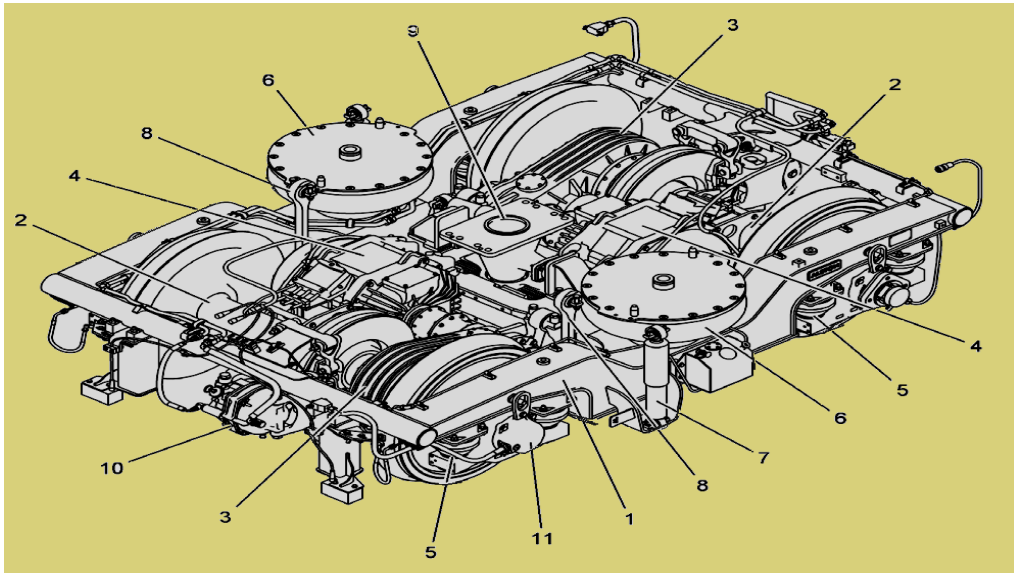
3.3.5 Bojiler ve Süspansiyonlar

Boji türlerinin genel mimarisi aynıdır ve mümkün olduğu durumlarda aynı bileşenler kullanılmıştır. Şekil 3.12’de boji mimarisi görülmekte ve boji kısımları şunlardan oluşur.

- İki uç kirişe sahip H-tipi çerçeve (1),
- Harici eksen kutularıyla beraber boji başına iki tekerlek seti (2),
- Eksen monteli dişli kutusu (3), her dişli kutusu ayrı bir motor tarafından sürülür (sadece motor bojileri)
- Boji vasistasına bağlı iki motor (4) (sadece motor bojilerinde)
- Süspansiyon sistemi. Süspansiyon sistemi iki çeşit süspansiyondan oluşur:

- f. Birincil süspansiyon (5) iki lastik/metal konik yaydan oluşur. Birincil süspansiyon tekerlek seti ve boji çerçevesi arasındaki bağlantıyı sağlar. Tekerlek seti ve boji arasındaki sürtüş ve frenleme kuvvetlerini iletir ve bojinin dinamik dengesini sağlamak için gerekli olan tekerlek seti plan izleme sertliğini sağlar.
- g. İkincil süspansiyon, süspansiyonu dengelemek için havalı yay tipi ikincil süspansiyon (6), ikincil yanal ve dikey amortisörler (7) ve devrilme önleyici çubuktan (8) oluşur. İkincil süspansiyonun ana işlevi yolcu rahatlığıdır. Süspansiyon karoser için esnek bir destek sağlar, karoser hareketinin bojiyle ilintili olmasını sağlar ve aynı zamanda yanal bir yeniden merkezleme işlevi sağlar. İkincil süspansiyon da karoserin konumunu yolcu yüklemeye bağımsız önceden ayarlı bir yükseklikte tutmak için kullanılır
- h. Karoser altına tutturulan merkezi bir eksen tarafından sağlanan gövdeden bojiye bağlantısı (9), bojinin merkezinde bulunan ön-gerilmeli lastik bloğu tertibatını devreye alır
- i. Disk frenleri tarafından sağlanan mekanik frenleme (10) işlevi
- j. Bojiler (11) üzerinde kullanılan çeşitli dingil ve ekipman yapılandırmaları (Tiberghien 2009).

Şekil 3.12: Boji mimarisinin



3.3.5.1 Primer süspansiyonlar

Birincil süspansiyon tekerlek seti ve boji çerçevesi arasındaki bağlantıyı sağlar. Tekerlek seti ve boji arasındaki sürüş ve frenleme kuvvetlerini iletir ve bojinin dinamik dengesini sağlamak için gerekli olan tekerlek seti plan izleme sertliğini sağlar.

Birincil süspansiyon her dişli kutusu başına iki adet metal-elastomer konik yaydan(1)oluşur. Yaylar boji kenar şasi uçlarının altına sabitlenir. Şekil 3.13’de görüldüğü gibi amortisör işlevi yay özelliğiyle sağlanır ve bu nedenle birincil bir amortisöre gerek yoktur. Yaylar aynı zamanda tekerlek takımının boji şasisinden elektrikizolasyonunu sağlar. Boji şasisinin aşağı doğru hareketi dingil kutusunun üzerindeki yay sönümler.

Araçlar, primer ve sekonder süspansiyon sistemleri ve tekerleklere yataklık yapacak dingil yataklarını kapsayan iki dingilli bojiler üzerinde hareket eder. Bojiler, 100 km/h lık hıza kadar güvenli bir işletmeye uygun ve aşınmalardan ötürü tekerleklerin zemin altı tekerlek tornasında tornalama işlemine tabi tutulmasına imkan verecek bir yapıdadır.

Bojiler, frenleme ve kalkışta meydana gelecek yatay silkinmeler ile hattan gelecek düşey dinamik kuvvetlerin sönümlenebilmesi için yeterince düşey ve yatay sönümleyiciler (Primer süspansiyonlar) vardır.

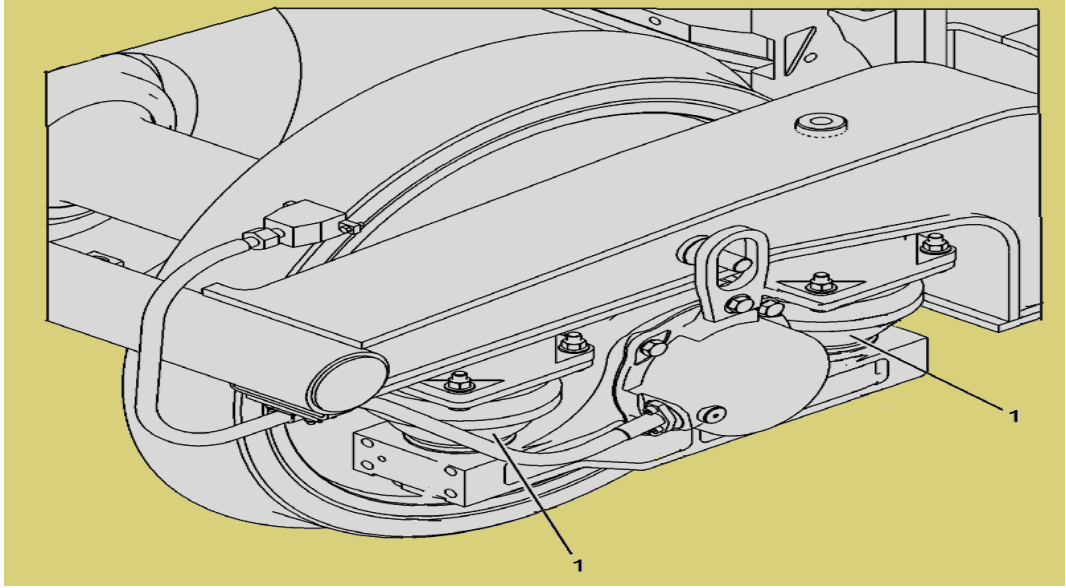
- a. Primer süspansiyonlar, dönüşler dahil olmak üzere yarıçapı, 50 metreye kadar düşebilen yatay kurlar üzerinde yolcusuz araçta rahatça hareket edecek şekilde tasarlanır.
- b. Ondülasyon oluşumunun asgari düzeye indirgenmesi için ondülasyona neden olan kuvvetler minimum seviyeye indirgenir.
- c. Motorlu bojiler birbirleri ile ve treyler bojiler birbirleri ile değiştirilebilir ve çevrilebilir şekilde tasarlanır.
- d. Motorlu boji şasileri ile treyler boji şasileri aynı konstrüktif bir yapıdadır.

- e. Bojilerin doğal frekanslar, patinaj/kayma koşulları altında gözlenebilecek olan yük titreşimlerinden etkilenmezler.
- f. Bojiler araç gövdesi ile birlikte kaldırılabilir. Bunun için şaside kilitleme tertibatları vardır.

Boji iskeleti, iskelet üzerindeki kuvvetler nedeniyle uygulanabilecek her türlü dinamik yüke dayanıklıdır. Her türlü işletme koşulu altında, bojide, rezonans, gürültü ve aşırı titreşimlerin oluşması önlenmelidir. Ayrıca boji parçalarındaki aşınmalar minimum düzeyde olmalıdır.

Azami hıza ulaşan tüm bojilerde tekerlek aşınmalarının homojen olması gerekir, boji düzleminin her noktasında eşit yükler olmalıdır.

Şekil 3.13: Primer süspansiyon



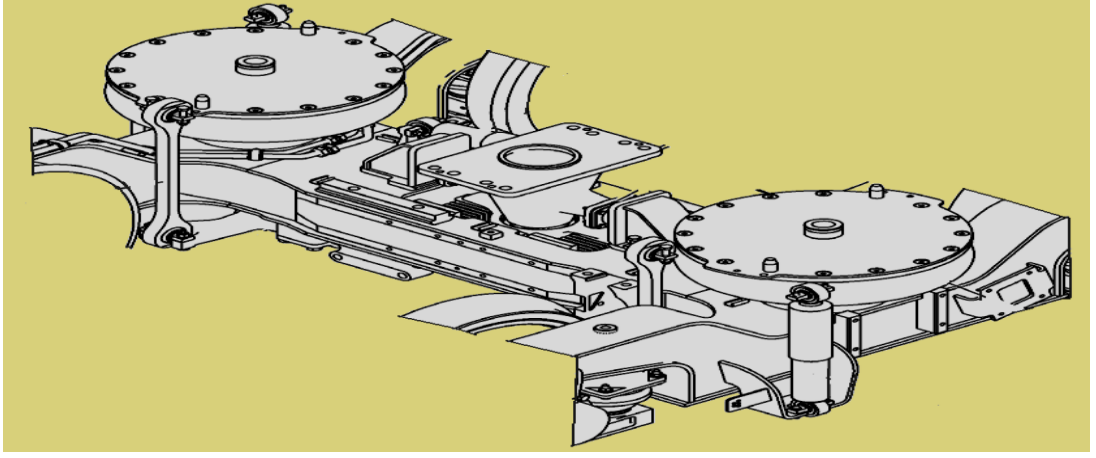
3.3.5.2 Sekonder süspansiyon

Sekonder süspansiyon, AW0 ila AW4 aralığındaki tüm yük koşulları altında döşeme yüksekliğinin, nominal döşeme yüksekliğinin +/- 10mm dahilinde kalmasını sağlamalıdır. Sekonder süspansiyon hava yastıkları Şekil 3.14'de görüldüğü gibi her bojide vardır ve boji şasisi ile kiriş arasına yerleştirilir. Sistemde, değişik yolcu yüküne

karşı eşik seviyesini otomatik olarak kontrol eden ve sabit tutucak seviye ayarlayıcı valfler bulunmaktadır.

Havalı bir körüğün içindeki havanın yükleme koşullarından bağımsız olarak boşalması halinde araç, 80 km/saat düzeyine ulaşan hızlarda, tüm hat koşullarında, araç dinamik profili dahilinde güvenli ve sabit düzlem kapsamında muhafaza etmektedir.

Şekil 3.14: Sekonder süspansiyon



3.3.5.3 Tekerlek takımı

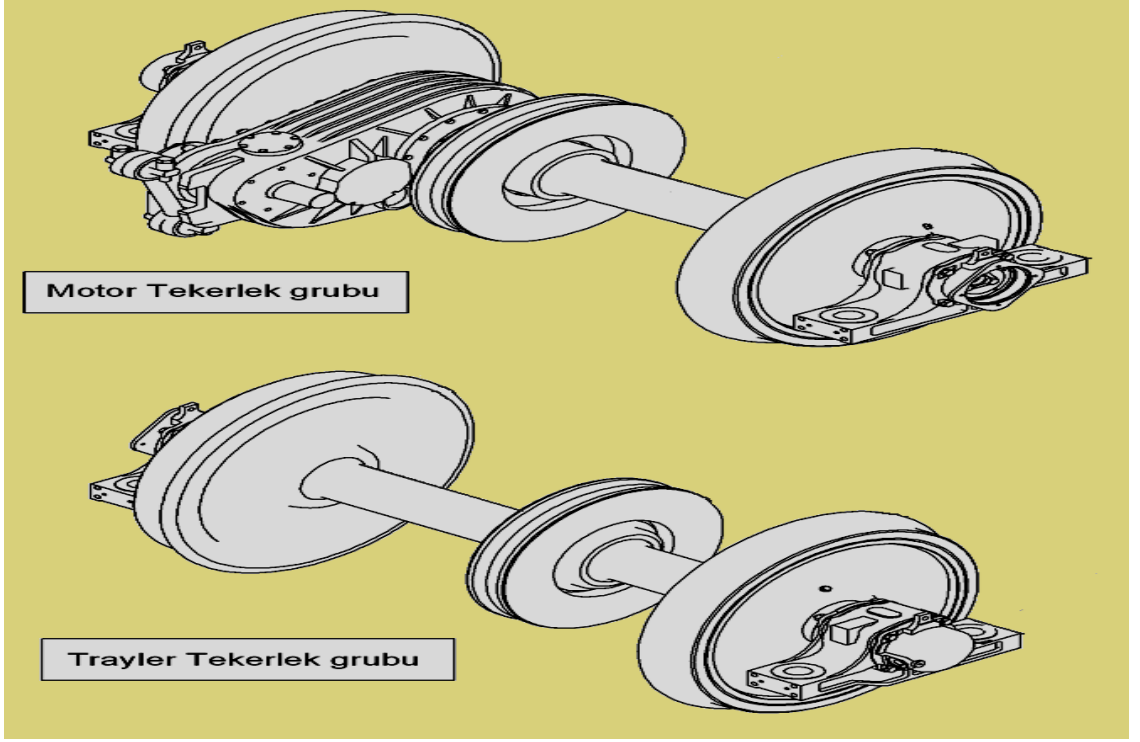
Her boji, Şekil 3.15’de görüldüğü gibi motor ve trayler harici dingil kutusu yatağına sahip iki tekerlek takımıyla donanmıştır. Tekerlek takımı şunlardan oluşur:

- a. Tekerlekler
- b. Dingil
- c. Dingil kutusu
- d. Fren diski
- e. Motor tekerlek takımında dişli kutusu

Tekerlek dingil yatakları makaralı tiptir ve öngörülen hizmet koşulları altında en az 1.500.000 km ömrü vardır. Tekerlek flanşlarındaki aşınmaları minimum düzeye

indirmek ve deraya karşı emniyet sağlamak için bir flanş sıvı yağlama sistemi vardır. Flanş yağlama sistemi basınçlı hava ile çalışır.

Şekil 3.15: Tekerlek takımı



3.3.6 Frenleme Sistemleri

İşletim freni elektro-dinamik fren ve sürtünme fren sisteminin entegre bir şekilde çalışması ile gerçekleşir.

Elektro-dinamik fren sistemi, aracın kinetik enerjisinin, cer motorlarının generatör olarak çalıştırılması sureti ile elektrik enerjisine çevrilmesi ve bu enerjinin kullanımı esasına göre çalışır. Elektro-dinamik fren iki şekilde gerçekleşir.

Regeneratif fren: Asenkron cer motorlarının generatör olarak çalıştırılması ile elde edilecek elektrik enerjisinin, havai hatta geri verilmesi ve bu hatta çalışan diğer

araçların bu enerjiyi kullanması suretiyle ile yapılan frenleme sistemidir. Regeneratif frenlemede asgari yüzde 15 bir enerji geri dönüşümü sağlanmaktadır.

Reostatik fren: Asenkron cer motorlarının generatör olarak kullanılması ile elde edilecek elektrik enerjisinin, hatta alıcı konumunda araç olmaması halinde, bu enerjinin araç üzerindeki dirençlere verilerek harcanması sureti ile yapılan frenleme sistemidir.

Elektro-dinamik frenlemede, regeneratif frenden reostatik frene veya reostatik frenden regeneratif frene veya elektro-dinamik frenden sürtünmeli frene geçişler otomatik olarak sarsıntısız bir şekilde sağlanır. Elektro-dinamik ve sürtünmeli fren kombinasyonunda frenleme oranının +/- yüzde 5 aralığında muhafaza edilmesi sağlanmalıdır.

Sürtünme frenleri, disk fren ve elektro-pnömatik kontrollü frenler, motorlu ve motorsuz bojilerde bulunur. Her boji ve her araçtaki sürtünmeli frenler birbirinden bağımsızdır. Böylece bir bojide arızalı olan frenler manuel olarak devre dışı bırakılarak ve tren kesintisiz olarak hizmete devam eder.

İşletim etkisi kanıtlanmış ve mikro işlemci tabanlı bir tekerlek kaymasına karşı koruma sistemi, hem işletme ve hemde acil durum frenlemesi için yolcu yükünü algılayarak fren kuvvetine etki edecek yük sensörleri kullanılır.

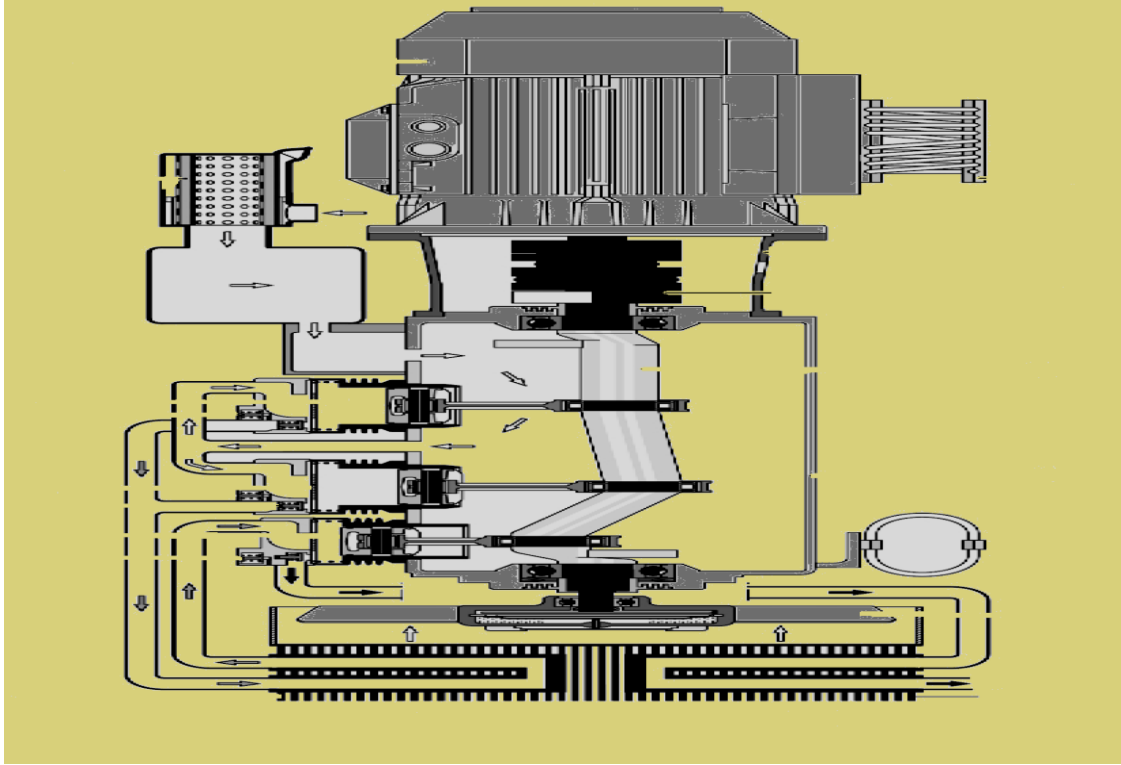
3.3.7 Kompresörler

Dört vagonan oluşan bir dizide Şekil 3.16'da görüldüğü gibi birbirinden bağımsız besleme ve kontrol sistemine sahip en az iki kompresör vardır. Kompresörler bir pnömatik regülatör aracılığı ile otomatik olarak devreye girip çıkarlar, kompresörün birinin arızalanması halinde sürücü kabininden manuel olarak izole edilir.

Dizideki kompresörlerin toplam kapasitesi besledikleri tüm pnömatik sistemlerin işletmedeki tüm ihtiyaçlarını herhangi bir arızaya neden olmadan karşılayabilir. Soğuk

durumda havası tamamen tükenmiş bir dizinin ana hava depolarının 5 dakikada azami servis basıncına getirecek şekilde dizayn edilir.

Şekil 3.16: Kompresör



3.3.8 Cer Motorları

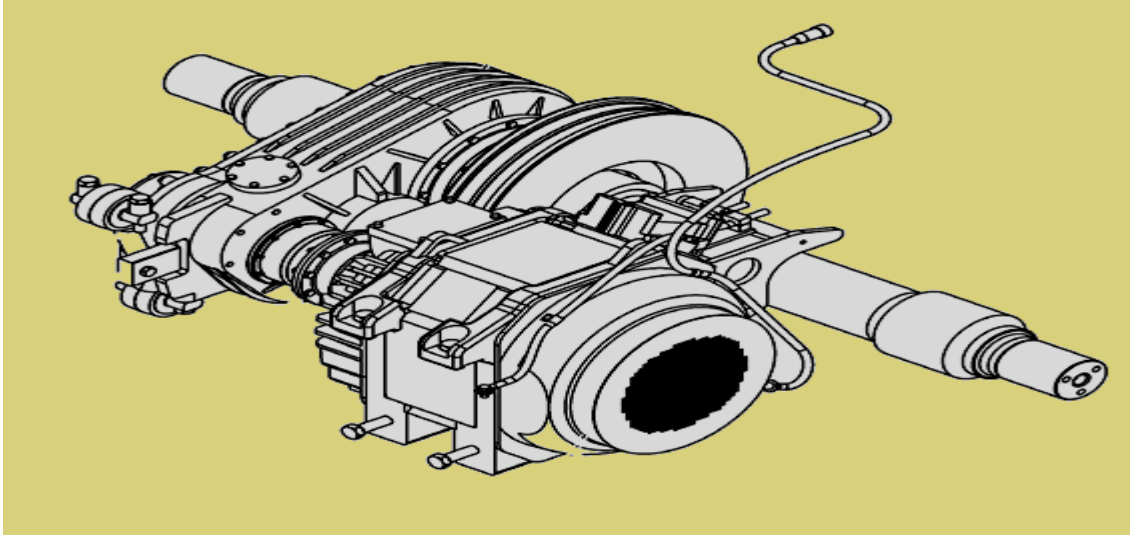
Her tahrikli bojide Şekil 3.17’de görüldüğü gibi birbirine çapraz konumda yerleştirilmiş iki adet cer motoru vardır. Cer motorları üç fazlı sincap kafes rotorlu asenkron motor vardır. Aynı bojide bulunan cer motorları birbirleri ile paralel çalışır.

Cer motorları, tahrikli dingile paralel olacak şekilde boji şasisine tam askılı olarak monte edilir ve bir esnek kuplaj bağlantısı ile dingile güç aktarır.

Cer Motoru, tekerlek takımı ve dişli kutusunun sökülmesine gerek olmadan tek bir kütle olarak yerinden çıkarılabilir. Benzer şekilde, tekerlek takımı ve dişli kutusu cer motoru

yerinden sökülmeden çıkarılabilir (Kadıköy Kartal Metro su Araç Temin Şartnamesi 2008).

Şekil 3.17: Cer motorları



3.4 METROLARDA KULLANILAN SİNYAL SİSTEMLERİ

Raylı ulaşım, önemli bir ihtiyaca cevap vermek suretiyle nakil vasıtaları arasında yerini ve önemini korumaktadır. Raylı ulaşım da trafik emniyetini temin etme mecburiyeti ve bu mecburiyetin arz ettiği iktisadi değerler, demiryollarında işaretler sisteminin doğmasına ve gelişmesine neden olmuştur. İşaretleşme maksadı ile kullanılan ışıklar ve elektrikli telgraf, demiryolu sinyalciliğinin başlangıcıdır. Zamanla özel işaretlerin belirlenmesi ve belirli noktalara yerleştirilmesi, trafik emniyeti ve tren süratlerini arttırmıştır. Daha sonra işaretlerin ve demiryolu makaslarının istasyonlarda belirli bir yerden idare edilmesi çareleri araştırılmıştır.

Makara ve kasnaklar üzerinden gerilen çelik teller aracılığıyla simaforların (mekanik sinyal) uzaktan idareleri mümkün kılınmış, sonra da makas ve simaforların kilitlenmeleri temin edilerek çok daha emniyetli bir sistem meydana getirilmiştir. Bu sistemlere elektriğin verilmesi ile yarı elektriks el, yarı mekanik emniyet sistemleri geliştirilmiştir. Bu durum, trafik emniyetini personel elinden kurtardığı gibi daha az

sayıda personel istihdamına neden olmuştur. Makas ve simaforlar elektrik kumandalı motorlar ile çalıştırılmıştır. Gelişim devam ettiğinden simaforların yerini elektrik lambalı sinyaller almıştır. Buradan hareketle trenlerin dur işaretini gösteren bir sinyali geçmelerini önlemek amacıyla, manyetik olarak çalışan tren durdurucuları geliştirilmiştir.

Bütün bu çalışmalar yardımıyla tren işletmeciliğinin gelişmesi karşısında daha çok tren işletebilmek, daha az personel kullanmak, trenlerin istasyonlardan yol alıp verme metoduyla sevklerinden doğan gecikmeleri önlemek amacıyla tren trafiğinin merkezden kontrolü sağlanmıştır.

Sinyalizasyonun amacı, hat ve işletme kabiliyetinin artırılması, her türlü ulaşımın daha süratli yapılması, mevcut araçlardan maksimum yarar sağlanması, trafikle ilgili birçok yazılı emre gerek duyulmadan en az personel ile trafiğin düzenlenmesi ve ilgili personele bölgedeki sinyallerin görünüşlerine göre nasıl hareket edeceklerini göstermek suretiyle akıcı, ekonomik ve emniyetli bir işletme sisteminin uygulanmasıdır.

Demiryollarında sinyalizasyon, ilgili personele demiryolu vasıtalarının seyirleriyle ilgili yapılan manevralar, yolun durumu gibi hakkında talimat veren bir tesistir. Bu anlamda sinyalizasyona kendine özgü bir haberleşme aracı olarak bakılabilir. Sinyalizasyon tesislerinde yukarıda sayılan bilgiler, tesislerin sinyal olarak adlandırılan ekipmanlarıyla bildirilirler. Yani sinyaller belirlenmiş olan bilgi ve talimatları ilgili personele bildirirler (Gülener 2009, ss 15-16).

3.4.1 Otomatik Tren Denetim Sistemi (ATS)

ATS sistemi, etkili olan tarifeye göre sistem çalışmasını iyileştirmek ve dengelemek amacıyla tren hareketlerini izlen ve yöneten sistemdir. Sistemin işletim ve denetimi, tüm Metro ray ağını, onu diğer ağlarla birleştiren tüm bağlantı ve arayüzler ile birlikte gösteren görüntülerin Tren Kontrol Merkezinde (TCC) görünür. Göstergeler trenin

bulunduğu yeri, tren kimliğini, tren numarasını, sinyalizasyon ve ATC işlevleri ile alarmların durumlarını gösterir.

Kilitleme sistemleri arasındaki veya kilitleme sistemleri ile ATS işlev denetiminin toplanmış olduğu Kontrol Merkezi arasındaki iletişimin kopması durumunda sistem çalışmasının devamlılığını sağlaması gerekir.

3.4.1.1 ATS sistemi

ATS sistemi, Trafik Operatörünün klavye ve fare komutları ile aşağıda belirtilen menü fonksiyonlarını gerçekleştirir:

- a. Güzergah iptali: Sinyali kırmızıya çevirerek ve seçilmiş olan güzergahı kilitleme şartlarına bağlı olarak güzergah başvurusunu iptal eder.
- b. Güzergah tahsis: Kilitleme şartlarına bağlı olarak, seçilmiş güzergahı çağırır, tahsis eder, kilitler ve uygun sinyalleri temiz konumuna getirir.
- c. Güzergah yasaklama: Seçilmiş olan bir güzergahın otomatik olarak istenmesini veya çağrılmasını önler.
- d. Tren tutma: MCS veya UTO tarzlarının herhangi birinde çalışan ve yaklaşan bir trenin durup durmayacağına bağlı olarak, ayrılışını önlemek için Operatörün kilitleme ve ATP üzerinden bir peron kesimine için sıfır hız komutu uygulamasını mümkün kılar.
- e. Akıllı dönüş peronu seçme: Son istasyonda hedef peronu meşgul olan treni boş olan diğer perona yönlendirir.
- f. Otomatik geri dönüşler (Automatic Turn-Back): Hat sonu veya seferine bağlı olarak hat ortası geri dönüşleri otomatik olarak sağlamaktır.
- g. Otomatik tren uyandırma (Automatic Wake-Up): Trene sürücü ya da görevli gönderilmeden, trenlerin uyandırılması ve servise verilmesi mümkün kılar.

3.4.1.2 Otomatik duruş kontrolü

ATS, normal olarak bir istasyon peronundaki bir tren için gereken duruş süresini, tarifeye göre belirler. Duruş süresi her durumda tren kapılarının açılması için iki

saniyelik, tren kapılarının kapanması için iki saniyelik ve işletmenin ilerle komutu için bir saniyelik bir tolerans içerir. Bir trenin istasyonda duruşu, beklemesi ve kalkışı için normal işlem sırası aşağıdaki gibi olmaktadır.

- a. Tren istasyonda durmak için perona doğru bir şekilde yanaşır.
- b. ATP tarafından sıfır hızın algılanması ile, uygun taraftaki yolcu kapılarının güvenli bir şekilde açılması sağlanır.
- c. ATS sistemi gerçek zaman ile tren için tarifeli sevk zamanını karşılaştırır, kalan duruş süresini hesaplar ve sonra geri sayıma başlar.
- d. Sevk zamanından önce ATS alt sistemi ATO aracılığıyla tren kapılarını kapatıp hareket etmesi gerektiğinin bir işareti olarak bir sevk sinyali gönderir.
- e. Tren kalkış saati geçilince ileriye doğru sayıma başlar.
- f. Trenlerin tarifeli servise göre, peronlara erken gelmesi, vaktinde bulunması veya gecikmesi durumları ATS iş istasyonlarında ve ATS Video Wall ekranlarında renklendirilmiş görsellerle ve süre detaylarıyla (Üsküdar Ümraniye Metrosu İnşaat ve Elektromekanik İşler Teknik Şartnamesi 2007).

3.4.2 Otomatik Tren Koruma Sistemi (ATP)

ATP sistemi, ana görevi çerçevesinde güvenle ve hatasız bir usulle trenleri kumanda etmek ve sadece uygun bir İlerle Komutu tarafından yetkilendirildiğinde, trenlerin hareket ettirilebilmesini sağlamaktır. Otomatik Tren Koruma ATP Sistemi aşağıdaki işlevleri yerine getirir:

- a. Bir hat kesiminde trenlerin mevcudiyetinin algılanması.
- b. Hareketli trenler arasında güvenli bir mesafenin korunması.
- c. Hız sınırlarını trenlere uygulama.
- d. Kontrol dışı makaslara, dur sinyallerinde ve acil durdurma alanlarına yaklaşmaktan ve benzeri diğer tehlikeli durumlardan trenleri koruma.
- e. Belirlenen hızın, tanımlanan sınırları aşması durumunda trende acil frenlemenin uygulanması.

- f. Normal işletme yönünün kontrolü.
- g. Kapıların kapanması ve kilitlenmesinin denetlenmesi ve trene kalkış yetkisinin verilmesi.
- h. Kapı açma yetkisinin verilmesi
- i. Trenin durmadan bir istasyonu geçip gitmesi halinde, kapı açılmasının engellenmesi.
- j. Hareket halindeki trende kapı açılmasının engellenmesi.
- k. Trenin sadece kapıları kapalı iken kalkışa geçebilmesinin ve hareket edebilmesinin denetlenmesi.
- l. Bir istasyonda yolcular binerken ve inerken trenin yerinde durmasının denetlenmesi.
- m. Tren hareket etmeye başladığında geri kaymasının engellenmesi.
- n. Platform kapılarını (PSD) açık iken, perona trenlerin girmesinin engellenmesi,
- o. Trenlerin aktif PTES (Peron Acil Durum Durdurma Sistemi) Acil durumunda ilgili perona girmesinin engellenmesi.

Yukarıdaki durumların herhangi birinin ihlaline trende taşınan ATC hemen Acil Durum Fren uygulanması gerekir.

3.4.2.1 Hat boyu ve depo ATP işlevleri

Otomatik Tren Koruma (ATP), Otomatik Tren Kumanda (ATC) sisteminin tren çarpışmaları ve yoldan çıkmalardan koruma temel amacına sahip bir hayati alt sistemi olacaktır. Hat boyu ve depo ATP cihazları aşağıdaki işlevleri yerine getirir.

- a. Trenlerin mevcudiyetinin algılanması.
- b. Hat koşullarına uygun bir En Yüksek Emniyetli Hız komut sinyali seçilmesi ve trene gönderilmesi. Böylece trenin, önündeki trenden güvenli bir şekilde ayrılığını sürdürürken, müsaade edilebilen en yüksek hızda seyahatine imkan vermek.
- c. Bir Geçici Hız Kısıtlaması uygulanmasını mümkün kılacak şekilde, örneğin ATP cihazlarına bağlı bir bakım terminali vasıtasıyla, En Yüksek Güvenli Hız komutunun suni bir şekilde en düşük hız seviyesinde korunmasına olanak sağlanması.
- d. Metro sistemi boyunca tüm hızlardaki trenler için güvenli fren mesafelerinin sağlanması.

- e. Trenlerin gerekli servis aralıklarında çalışmalarına olanak tanıyacak hat donanımı ve yeterli En Yüksek Güvenli Hız komutlarının sağlanması.
- f. Trenlerin hız kısıtlamaları ile tutarlı, mümkün olan en yüksek hızda seyahat etmelerine olanak verecek yeterli seviyedeki imkanların ATP Sistemi içerisinde sağlanması.

3.4.2.2 Duruş mesafesi

En azından seyahat eden bir trenin arkası ile bir sonraki trenin arasındaki mesafe tepki süresi gibi gerekli ve makul toleransları da hesaba katarak, izin verilmiş olan güvenli duruş mesafesi olarak tanımlanmaktadır, ve bu mesafe ATP'nin Acil Durum Fren Uygulama isteğinden önceki servis frenleme mesafesine eşit olmaktadır. Duruş Mesafesi, Trenler için aşağıdaki beş faktörün toplamıyla belirlenir.

- a. Sinyal Tanınma Mesafesi: Bir hız değişim sinyali gönderildiği veya algılandığı andan, trende taşınan ATP cihazlarının bir "sıfır" hız komutu aldığı ana kadar trenin kat ettiği mesafedir.
- b. Aşırı Hız Algılama Mesafesi: Sıfır hız komut noktasından ATP sisteminin bir aşırı hız durumu algıladığı noktaya kadar tren tarafından kat edilen mesafedir. Bu mesafe, sıfır komutundan hemen önce alınan ATP hız komutuna karşılık olan hızdan itibaren, en fazla 1 saniye tam güçte tren ivmelenmesi olduğu farz edilerek hesaplanmaktadır.
- c. Tren Tepki Mesafesi: ATP'nin bir aşırı hız durumu algıladığı ve tren idare devrelerine bir Dur komutu çıktığı noktadan, en düşük fren uygulamasının gerçekleştiği noktaya kadar bir tren tarafından kat edilen mesafedir. Bu mesafenin hesabı, bir 0.983 m/sn^3 'lük en az silkme oranında tüm gücün kesilmesine, 0.3 s.'lik tahrik/fren geçiş süresine ve 0.983 m/sn^3 'lük en az bir silkme oranında 0.6 sn.'lik bir fren destekleme süresine izin verecek şekilde yapılmalıdır.
- d. Fren Mesafesi: Fren mesafesi, etkin frenleme uygulanan noktadan trenin tam olarak durduğu noktaya kadar kat edilen mesafedir. Bu mesafe, tüm hızlar için 0.89 m/s^2 'lik bir sabit frenleme oranında hesaplanır.

- e. Tren Sarkma Mesafesi: Takip eden bir trenin ön dingilinin önündeki şasi mesafesi ile öndeki trenin arka dingili için eşdeğer mesafenin toplamından oluşan mesafe, tren sarkma mesafesidir. Bu hesaplama ile bulunan toplam uzunluk fren mesafesine dahil edilir.

3.4.2.3 Trende taşınan ATP işlevleri

Trendeki Otomatik Tren Koruma cihazları, hat boyu cihazlarından gönderilen işaretlere göre güvenli tren hareketlerini tesis etmektedir. Kritik emniyet öğeleri olarak kabul edilen ATP işlevleri aşağıdaki gibidir:

- a. Hat boyu cihazları tarafından gönderilen en yüksek güvenli hız işaretlerini almak ve çözmek.
- b. Araç sistemlerinden gelen işaretleri izlemek ve sistemlerin durumu gereken koşullara uygun değil ise tren hareketlerini engellemek.
- c. Tren bir hız komutu almadığı zaman, tren hareketine kesinlikle engel olmak.
- d. Çeşitli vasıtalarla gerçek tren hızını ölçmek.
- e. Mevcut en yüksek güvenli hız komutu tarafından izin verilen hız ile ölçülen hızı sürekli karşılaştırmak, hız aşımı durumunun varlığına işaret etmek ve hız aşımı durumunun devam etmesi halinde Acil Durum Frenlemesi uygulamak.
- f. Harici bir en yüksek güvenli hız komutunun mevcut olmaması durumunda trenin düşük bir hızda sürülmesine izin vermek, bu hız aşırsa hız aşımı durumunun varlığına işaret etmek ve hız aşımı durumunun devam etmesi halinde Acil Durum Frenlemesi uygulamak.
- g. Her iki işletme yönünde de trenin baştaki ucunu otomatik olarak tanımak.
- h. Hız Komutu Alınması: Trenin ATP cihazları, hat boyu cihazları tarafından trene gönderilen hız komutu sinyallerini hatasız bir usulle almak ve çözmek.
- i. Hız Komut Önceliği Trende taşınan ATP cihazlarının işletimi, birden fazla komut eşzamanlı olarak algılanırsa düşük komut etkin olacak şekilde ayarlanır.
- j. Aşırı Hız Algılaması İçin Hız Ölçümü Trende taşınan ATP cihazları, aşırı hız algılaması amacıyla gerçek araç hızını güvenli ve hatasız bir usulle ölçecektir. Tekerlek aşınma ve bozulma durumlarında ölçüm hassasiyetinin korunması için

tekerlek çapının gerçek değerine düzeltilmesi ATP sistemi tarafından otomatik olarak yapılır.

- k. Aşırı Hız Algılaması Trende taşınan ATP cihazları trenin aşırı hızını tespit edecek ve hemen acil fren uygulayacaktır. Elle Kumanda sürüşünde (MCS ve RM) aşırı hız tespitinden önce; İzin Verilen En Yüksek Hız'a ulaşıldığında ATP cihazı sürücüyü uyarır. Uyarı hızına ulaşıldığında sürücü konsolunda ışıklı işaret ve sesli alarm olarak bildirilir, sesli alarm sürücünün tren hızını belirlenmiş seviyeye düşürene kadar sürecektir.
- l. Fren Boşaltma: Sürücüsüz İşletimde, durağan halden harekete geçerken tüm sürtünme frenleri uygulanmış, tüm yolcu kapıları kapatılmış ve ATP geçerli bir hız komutu almakta ise ATP devreleri, fren boşaltmaya izin verecek şekilde çalışmaktadır (Üsküdar Ümraniye Metrosu İnşaat ve Elektromekanik İşler Teknik Şartnamesi 2007).

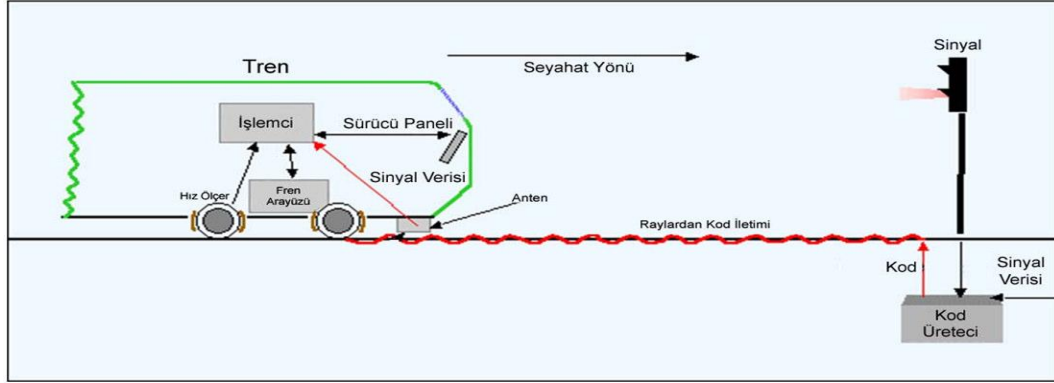
3.4.2.4 ATP çalışma prensibi

3.4.2.4.1 Kod iletimi

Şekil 3.18'de gördüğümüz hat devrelerindeki ATP sinyal kodları, trenin önünde bulunan sürücü kabinin altına monte edilmiş alıcı antenler vasıtasıyla trene aktarılır. Veriler tren üzerindeki dekodere ve güvenlik işlemcisine geçer. Gerçek hız devamlı ölçülerek izin verilen hız ile karşılaştırılır. Eğer izin verilen hız aşılmış ise fren tertibatı devreye girer. Modern sistemlerde gidilecek mesafe bilgisi de trene iletilir. Bu bilgiler aynı zamanda kabin içerisindeki ekrana da gönderilir. Bu sayede tren sürücüsünün izin verilen hız aralığında treni manuel olarak kullanması sağlanır.

Hat tarafında ise öndeki bölmenin sinyal görüntüsü her blok için kod üreticine gönderilir ve izlenir. Kod üretici uygun kodları ray devresine gönderir. Kod trendeki anten tarafından alınır ve tren üstü bilgisayara aktarılır. Daha önce gördüğümüz gibi bilgisayar gerçek hızı kontrol eder ve koda bildirilen hızla karşılaştırır. Eğer trenin hızı çok yüksekse fren sistemini devreye sokar.

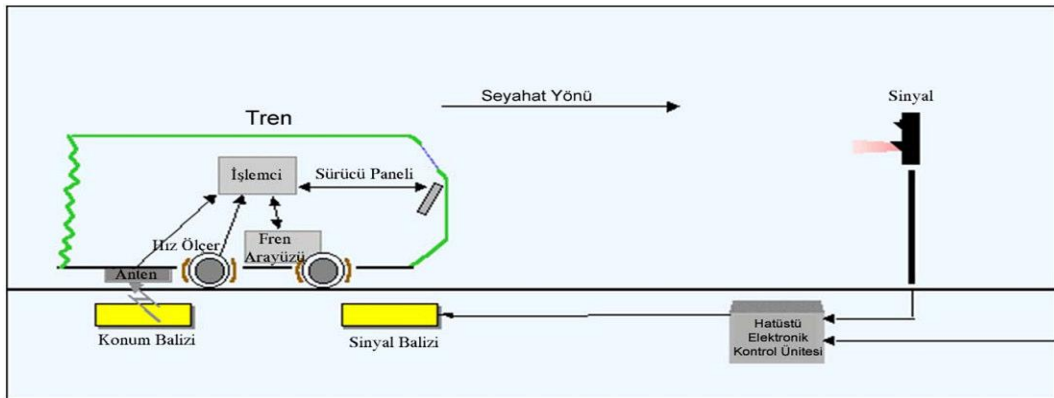
Şekil 3.18: ATP bileşenleri



3.4.2.4.2 Balız ile iletim

Şekil 3.19'de hattan trene olan ATP verilerinin rayların içinden geçen kodlanmış hat devreleri tarafından trene iletiildiği görülmektedir. Burada veriler sürekli olarak trene iletiildiği için bu sisteme "sürekli" iletim sistemi denir. Ancak bu yöntemin bazı dezavantajları da vardır. Uzun bloklar da iletim kaybı oluşur ve bu da etkili ray devresi uzunluğunu 350 metreye düşürür. Aynı zamanda sinyal ekipmanları pahalı, kötü hava koşullarına, elektronik parazitlere, zedelenmelere, kötü niyetli kişiler tarafından tahrip edilmeye ve hırsızlığa karşı korumasızdırlar. Bu nedenle bu tür olumsuzlukları ortadan kaldırmak için sinyal verilerinin aralıklı olarak iletimi yöntemi ortaya konmuştur. Bu yöntemle sinyal iletimi hat boyunca aralıklı konumlandırılmış elektronik balızler kullanılarak gerçekleştirilmektedir.

Şekil 3.19: Balız ile iletim



İlk olarak Ericsson tarafından geliştirilen balizle iletim sisteminde Şekil 3.20’de görüldüğü gibi 2 tane baliz kullanılmaktadır. Bunlardan bir tanesi trene o anda nerde olduğunu söyleyen bir konum balizi (pasif) diğeri ise önündeki bloğun durumunu bildiren sinyal balizidir (aktif). Balizle iletim sisteminde veri işleme ve diğeri ATP fonksiyonları “sürekli” iletim sistemindekilere benzer.

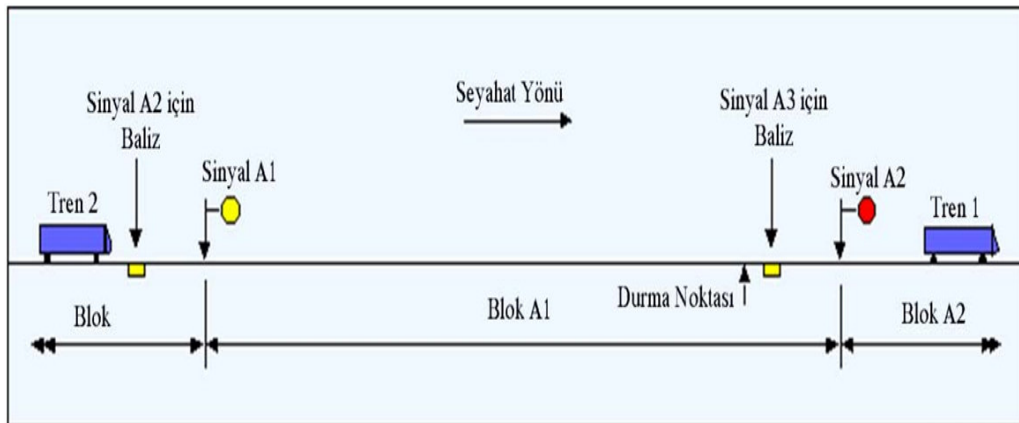
Şekil 3.20: Aktif ve pasif baliz



3.4.2.4.3 Balizlerle işletme

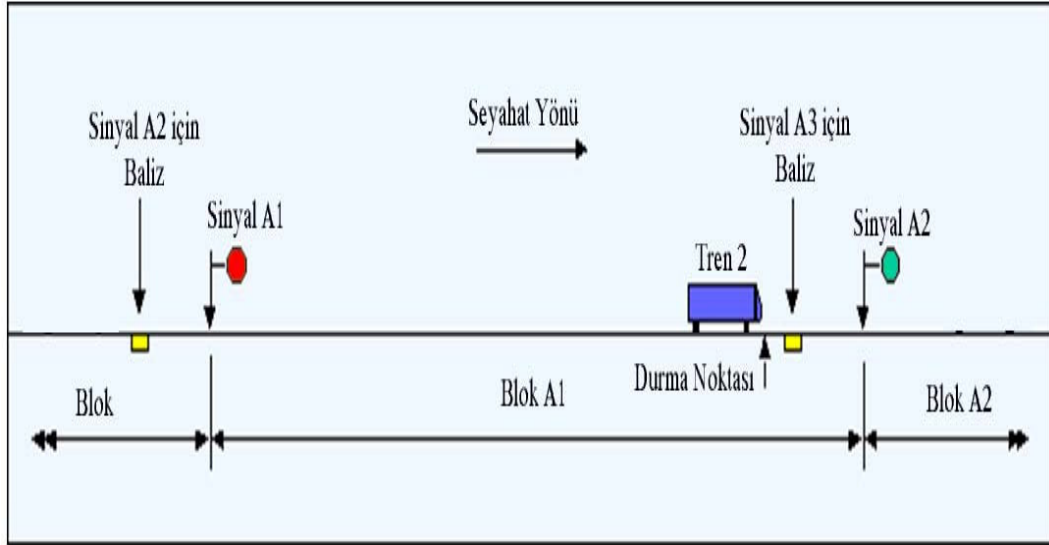
Baliz sistemi Şekil 3.21’de basit olarak gösterilmiştir. Şeklin sol tarafındaki baliz, A2 kırmızı sinyal bilgilerini yaklaşan Tren-2’ye durma imkânı vermek için A1 sinyalinin önüne yerleştirilmiştir. Tren-2 durma sinyalini aldıktan sonra A3 sinyal balizine varmadan önce durur.

Şekil 3.21: Balizle işletme



Şekil 3.22’de görüldüğü gibi Tren-2, A2 sinyaline varmadan durdurulur ve Tren-1’in A2 bloğunu boşaltmasını ve sinyalin yeşile dönmesini bekler. Trenin yeniden başlatılarak tekrar hareket etmesi için tren sürücüsü tarafından sistemin resetlenmesi gerekir. Bu nedenden dolayı bu tip ATP’ler manüel sistemlerde kullanılır.

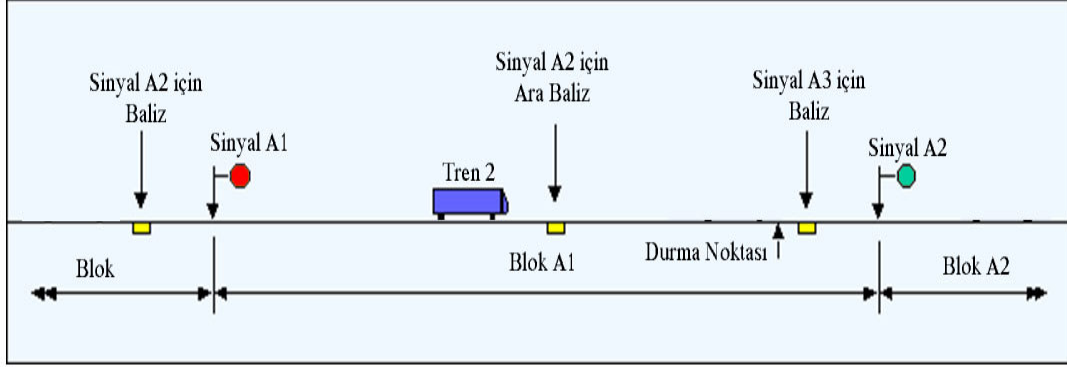
Şekil 3.22: Balizle işletme



3.4.2.4.4 Aralıklı güncellemeler

Şekil 3.23’deki gibi bir baliz sisteminin dezavantajı; bir trenin, dur veya hız azalt sinyalinin aldığı zaman bu komutu bir başka balizi geçinceye veya duruncaya kadar tutmasıdır. Bu şu anlama gelir; eğer Tren-2 durma noktasına gelmeden önce önündeki blok boşalıp sinyal yeşile dönse bile “dur” sinyalinin aldığı için durmasına gerek olmasa dahi duracaktır. ATP sisteminin bir özelliği olarak sürücü, sinyal yeşile döndüğünde “dur” sinyalinin iptal edemez çünkü eğer tren hareket halindeyken bu sinyal iptal edilebilseydi, bu sistemin elle kumandalı basit bir sistemden farkı kalmazdı. ATP hayati öneme sahip ve hatasız çalışan bir sistemdir ve insan müdahalesiyle bu etkinliğinin azaltılmasına izin vermez.

Şekil 3.23: Aralıklı güncelleme

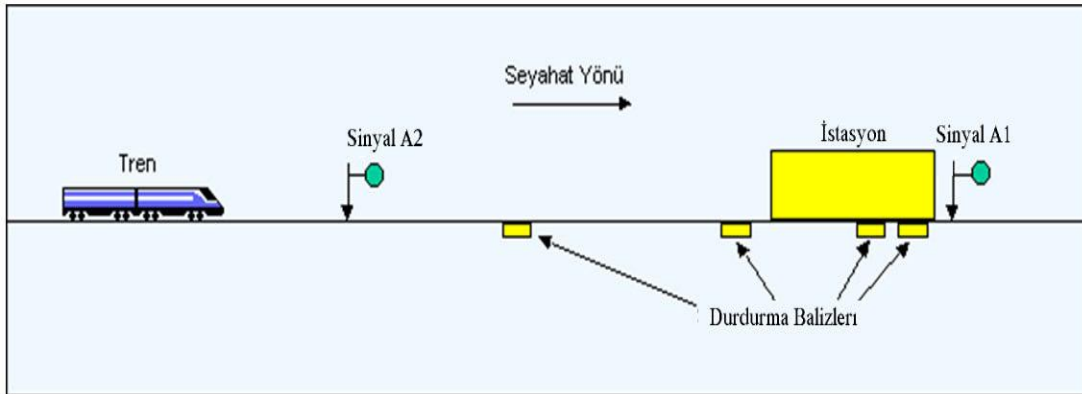


Bu gereksiz yere duruşlardan dolayı meydana gelen bu dezavantajı ortadan kaldırmak için bir ara baliz kullanılır. Bu yenileme, Blok-2 boşaldığında dur komutunu geri alır ve durma noktasına yaklaşan trene iletir. Eğer gerekli görülürse birden fazla ara baliz de kullanılabilir.

3.4.3 Otomatik Tren İşletme Sistemi (ATO)

ATP, trenlerin başka bir trene çarpmasını önlemek için güvenli bir mesafede kalmasını sağlayan güvenlik sistemidir. ATO (ATO = Automatic Train Operation = Otomatik Tren İşletme) güvenlikten ziyade trenlerin durması ve kalkmasını sağlayan sistemdir. ATO'nun temel görevi istasyona yaklaşan trenin nerde duracağını belirlemektir. Bunu ATP hattın boş olduğunu doğruladığı zaman gerçekleştirir. Bu düzen Şekil 3.24'deki gibi işletilir.

Şekil 3.24: Otomatik tren işletme



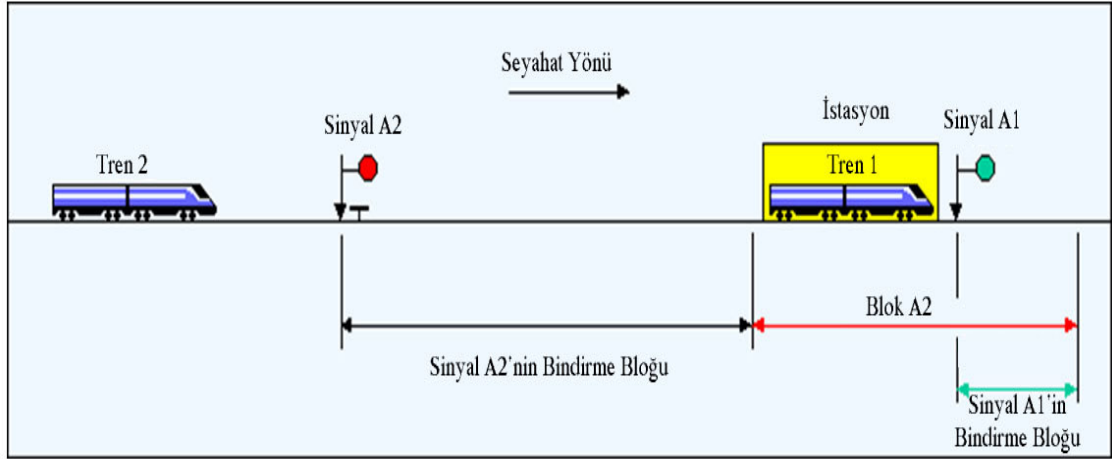
İstasyona yaklaşan tren hattın boş olduğu sinyalini aldığı anda bloğa normal bir giriş yapar. İlk balize vardığında istasyon durma komutu alır. Tren üstü bilgisayarı doğru noktada durabilmek için frenleme eğrisini hesaplar ve platforma yaklaşırken kesinlik sağlayabilmek için eğri birkaç kez güncellenir. Örneğin Londra'daki 35 yıllık Victoria hattında tren istasyonda fren yaparken 13 ayrı noktada hızı kontrol edilir. Bu kadar çok kontrol noktası olmasının sebebi tren üstü kontrol sisteminin sadece 3 sabit yavaşlama oranı verdiği içindir. Bu nedenle durma hassasiyeti ± 2 metredir. Modern sistemler daha dinamik ve kesin frenleme hesaplamalarından dolayı daha az kontrol gerektirir. Bu sistemlerde durma hassasiyeti $\pm 0,15$ metredir. (Eski sistemin 14 katı daha iyi)

3.4.3.1 İstasyonda duruş

İstasyonlardaki metro işletmesi sinyalizasyonun en zorlu kısımlarındadır. Birbirlerini yakın olarak takip eden trenlerin istasyondaki duruşunu kontrol etmek için ATO, ATP ile kombine bir şekilde çalışmak zorundadır. ATO'nun çalışabilmesi için öndeki trenin istasyon giriş veya çıkışının engellememiş olması veya hattın boş olması gerekmektedir. ATO'nun amaçlarından bir tanesi de trenin istasyonda uzunca gecikmesinden kaynaklanan etkilerini minimize etmektir.

Metrolarda sık tren servisi sağlamak için istasyonlardaki durma süresini minimumda tutmak gerekir. Sistem, istasyonda kalan trenin müteakip trene olan etkilerini minimize etmek için geliştirilmiştir. Bu sistemin nasıl çalıştığı Şekil 3.25'de gösterilmiştir. A1 bloğunun başlamaya hazır olduğunu gösteren yeşil A1 sinyali ve istasyondaki Tren1'i koruyan kırmızı A2 sinyali görülmektedir. Mekanik ATP'nin sağlandığı varsayıldığında A2 sinyalinin bindirme bloğu platformun gerisindeki güvenli fren mesafesidir. İstasyona yaklaşan Tren2'nin sürücüsü kırmızı ışığı görünce yavaşlamaya başlar. Tren1 istasyonu terk etmeye başlasa bile A1 sinyalinin bindirme alanını boşaltana kadar A2 sinyali kırmızı kalmaya devam eder. Tren2, A2 sinyalinin yeşile dönmesini beklemek zorundadır. Bu durum Tren 2'ye zaman kaybettirmenin yanı sıra yeniden kalkış için gereksiz enerji sarfiyatına neden olmaktadır. Bu dezavantajları ortadan kaldırmak ve Tren 2'yi hareket halinde tutmak için "Çoklu Giriş" sistemi geliştirilmiştir.

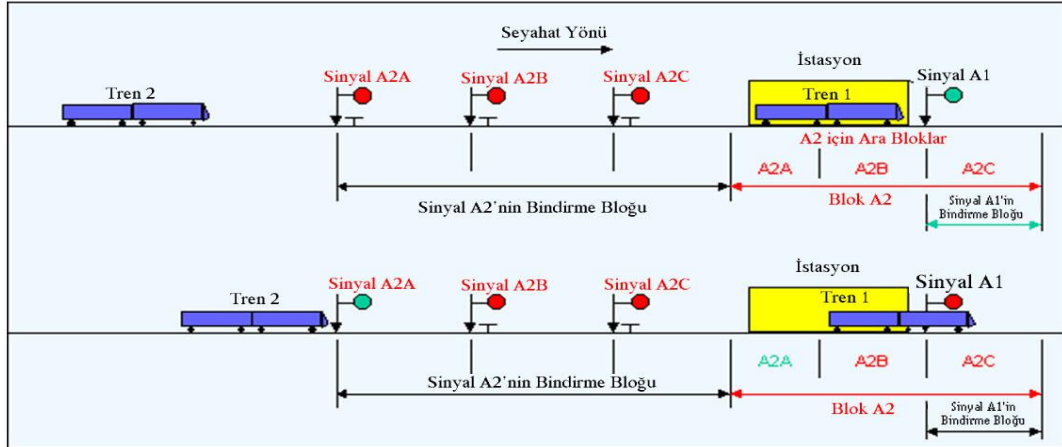
Şekil 3.25: İstasyonda duruş



3.4.3.2 Çoklu giriş sistemi

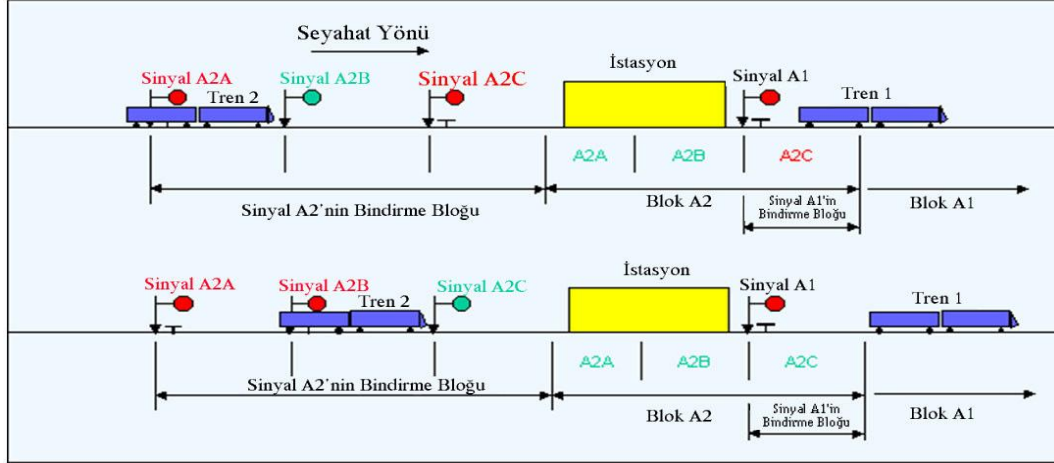
Şekil 3.26 ve Şekil 3.27'deki Çoklu Giriş Sisteminin kurulmuş olduğu istasyon A2 Bloğu, A2A, A2B ve A2C olmak üzere daha küçük üç alt bloğa bölünmüş olup her blok kendi sinyaline sahiptir. Tren1 istasyonda iken bu sinyaller kırmızıdır.

Şekil 3.26: Çoklu giriş sistemi



İstasyona yaklaşan Tren2 A2A sinyalinde duracak gibi frene başlar. Ancak Tren1 istasyondan ayrılmaya başladığında önce A2A bloğunu boşaltır ve bu bloğun sinyali olan A2A yeşile döner. Tren2'nin hızı azaltılmıştır. Ancak A2A sinyalinde durmasına gerek kalmadığından istasyona doğru hareketine devam eder.

Şekil 3.27: Çoklu giriş sistemi

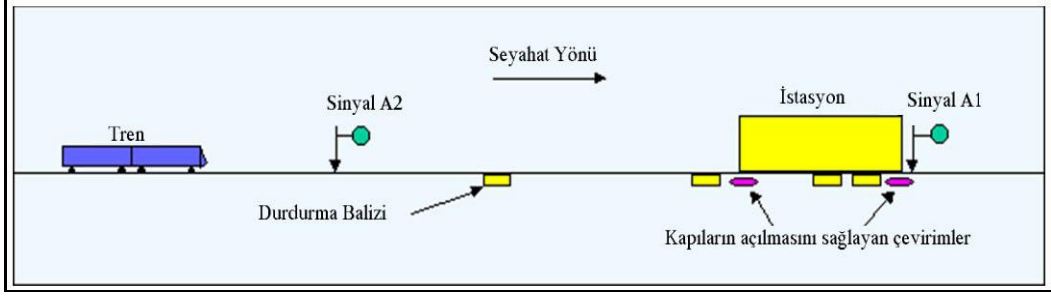


Daha sonra Tren1 sırasıyla A2B ve A2C bloğunu boşaltır ve A1 bloğuna girer böylece bütün alt blok sinyalleri yeşile A1 sinyali ise kırmızıya döner. Hızı azaltılarak istasyona doğru ilerleyen Tren2 artık bu alt bloklarda durmak zorunda değildir. Tren1, A1 bindirme bloğunu da boşalttığı anda bütün A2 sinyalleri açıktır ve A2C sinyali Tren2'ye platforma girmesi için izin verir.

3.4.3.3 ATO durma ve başlama

ATO, istasyonlarda otomatik durma fonksiyonuna ilave olarak kapı hareketleri ve istasyondan ayrılış işlemlerini gerçekleştirir. Bazı sistemlerde tren sürücüsüne tren kapılarının açma – kapama ve bütün kapılar kapandıktan sonra treni yeniden başlatma görevi verilmiştir. Bazı sistemlerde ise kapılar trenin istasyonda belirlenen doğru konumda tamamen durmasından sonra otomatik olarak açılır. Bazı sistemlerde de kapı hareketleri sürücüdenden bağımsız olarak Şekil 3.28'de gösterilen ekipmanlar vasıtasıyla ATO sistemine verilmiştir.

Şekil 3.28: Durma ve başlama



ATO sistemi tren durduğunda frenlerin hala uygulanıyor olduğunu doğrular ve trenin, kapıların açılmasına müsaade edilen çevrimlerin içerisinde durup durmadığını kontrol eder. Bu çevrimler trenin platforma göre pozisyonunu ve hangi taraftaki kapıların açılması gerektiğini belirler. Bütün bu kontrollerden sonra ATO sistemi kapıları açar. Önceden belirlenmiş veya kontrol merkezinden ihtiyaca göre değiştirilmiş bir bekleme süresinden sonra ATO kapıları kapatır ve kapı kapatma devresi tamamlandıktan sonra treni otomatik olarak başlatır. Kapı hareketleri ATO'nun bir fonksiyonu olarak tanımlanmasına karşın ATP sisteminin de bir parçasıdır. Çünkü bu, hayati sistem olarak ele alınır ve ATP ile aynı güvenlik prosedürlerini gerektirir. Kapı kapanma işlemi tamamlandıktan sonra ATO, treni harekete geçirerek müsaade edilen hıza kadar çıkarır ve ATP sistemi tarafından bir müdahale olmadığı varsayıldığında sonraki istasyondaki fren kumanda balizine kadar trenin hızını korur ve bu balizden sonra frenlemeye başlar.

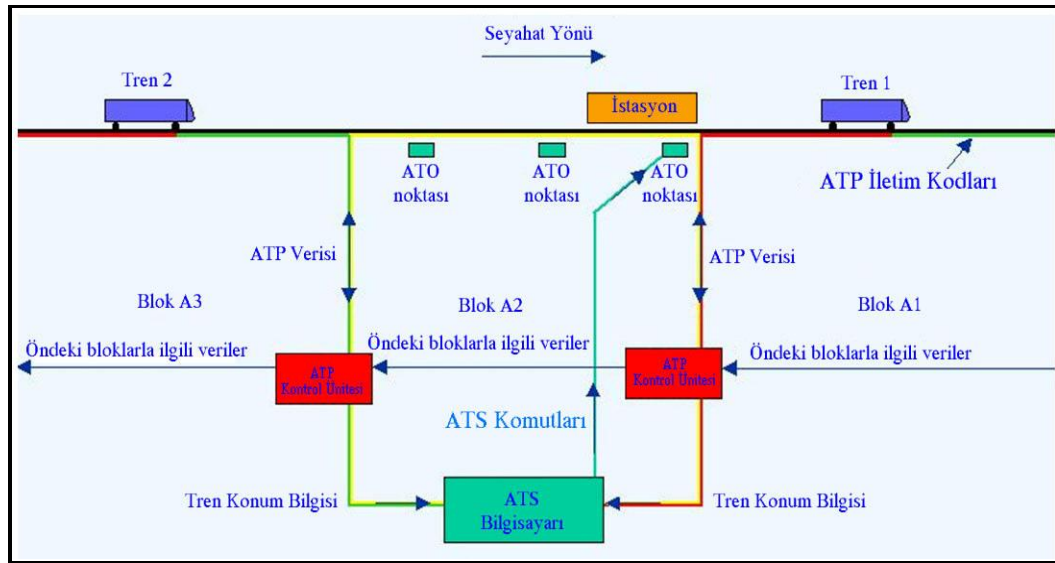
3.4.4 Otomatik Tren Kontrol Sistemi (ATC)

Otomatik Tren Kontrol sistemi (ATC = Automatic Train Control), ATP, ATO ve ATS sistemlerinin bileşiminden oluşan ve dünyada otomatik olarak işletilen demiryolu mimarisini tanımlamak için kullanılan bir kontrol sistemidir. Genelde metro sistemlerinde kullanılır.

Şekil 3.29'da sabit bloklu ATC sisteminin ve üç ana bileşeni ATO (Automatic Train Operation), ATP (Automatic Train Protection), ATS (Automatic Train Supervision)'nin temel mimarisini göstermektedir. Trenleri güvenli bölümlere ayrılmış mesafelerde

tutmak amacıyla temel güvenlik ihtiyacı her blok için kontrol ünitesine sahip olan ATP tarafından sağlanır. Bu kontrol ünitesi öndeki bloklardan verileri alarak içinde bulunulan blok için onları hız limitlerine çevirir ve bu hız limitlerini hat'a tekrar gönderir. Tren, iletilmiş bilgileri hat boyunca konumlandırılmış ray devreleri, çevrimler veya balizler yardımıyla alır. ATP kontrol ünitesi tarafından alınan veriler genellikle trenin blok içerisinde olduğunu veya blok içerisindeki hız limitleri arasında olup olmadığını gösterir. Bu veri, trenin programa uyup uymadığını, erken veya geç geldiğini zaman tablosuyla karşılaştırıp belirleyen ATS bilgisayarına gönderilir. Tren zamanlamasını ayarlamak için ATS hat boyunca konumlandırılmış ATO noktalarına komut gönderir. Kısa iletim çevrimleri veya baliz adı verilen küçük kutulardan oluşan ATO noktaları trene istasyonda durma komutlarını gönderir. Bu noktalar genellikle sabit bilgiler içerir fakat bazen istasyondaki dizilerin sonuncusu trene bu istasyondaki durma süresini ve bazen de bir sonraki istasyona ne hızla gideceğini söyler. ATS bilgisayar, ATP kontrol ünitesine hattaki sınırlandırılmış ve sıfır hızları iletir. ATP ve ATO'nun komutları trendeki antenler vasıtasıyla alınır ve frenleme, yavaşlama ve gizleme komutlarına çevrilir. Manüel olarak kullanılabilen trenlerde ATP güvenlik ihtiyaçlarını karşılamak için kullanılır ancak ATO gerekli görülmez. Sürücü treni kabin kontrollerini kullanarak istasyonda durdurur. Birçok sistemde kullanılan ATC'nin yapısı aşağıdaki gibidir.

Şekil 3.29: ATC sistemi



Dünyada birçok çeşit ATC sistemi vardır. Fakat hepsinde de temel olarak ATP güvenliği sağlar, ATO istasyonlardaki duruş komutlarını sağlar ve ATS ise hareket zamanlarını kontrol eder, düzenli bir seyir için ayarlama yapar (Yüksel 2007, ss.14-28).

3.4.5 Sabit Bloklü Sinyalizasyon Sistemi

Otomatik tren işletme sistemine sahip bu sistemlerde trenler kumanda merkezi tarafından bilgisayar vasıtasıyla otomatik olarak sürülmektedir. Zaman çizelgesine göre tren hareket saatleri işletme programına kaydedilir. Trenin hangi hızda nasıl gideceği bazen blokların başında veya devamlı trenle haberleşme yoluyla alınmaktadır. Merkezi interlocking trenlerin konumunu algılar ve durması gerektiği noktayı ve nasıl güvenli olarak duracağını trene bildirir. Trende aldığı bilgiye göre duracağı yeri, uygulaması gereken fren gücünü hesaplar ve ona göre bir fren gücü uygular. Eğer tren çalıştırma sıklığı düşük tutulmak isteniyorsa sinyalizasyon sisteminin ilk dizaynı sırasında (örn. HT= 90 sn. veya 120 sn.) ray devrelerinin uzunluğu kısa tutulmalıdır. Düşük tren aralıklarında uygulanması zor olmakla beraber 2 dk. civarındaki tren aralıklarına kadar uygun bir çözümdür.

Manuel sürüş sinyalizasyon sistemine göre yüzde 10-15 daha fazla maliyetli olmakla beraber, sürüş senkronizasyonu, enerji ve personel tasarrufu düşünüldüğünde uygun bir çözümdür (Gülener 2009 s.38).

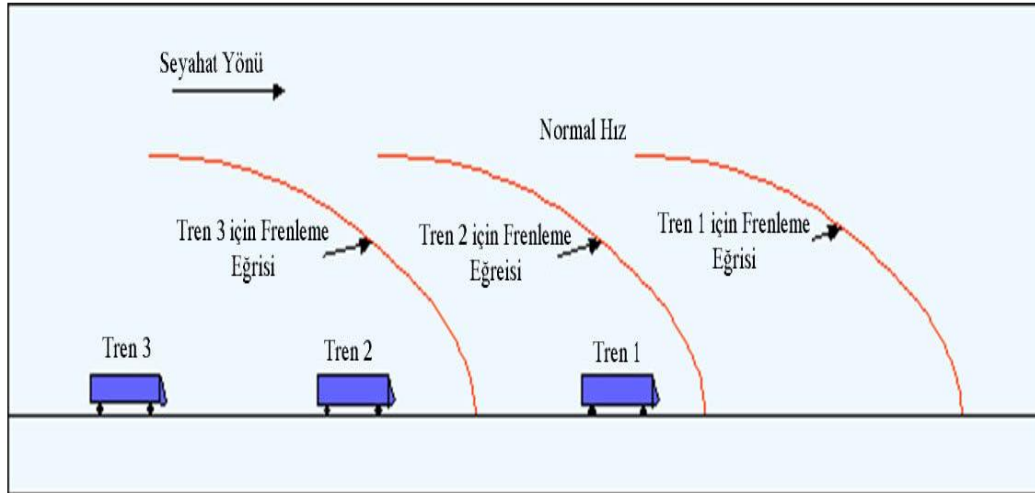
3.4.6 Hareketli Bloklü Sinyalizasyon Sistemi

Günümüzde sinyalizasyon teknolojisi oldukça gelişti ve blok sistemi üzerine birçok yararlı ilaveler yapıldı. Fakat son yıllarda sabit blok sistemini tamamen ortadan kaldırma girişimleri üzerinde durulmaktadır. Sabit bloğu ortadan kaldırmak trenlerin gerçek hızlarına göre aralarındaki mesafeyi değiştirebilme ve hızlarını birbiriyle ilişkili tutabilme avantajı sağlar. Hız ayarlama konusunda karayolundaki esnekliği verir. Öndeki araç aniden duramayacağı için bu araçtan tam fren mesafesi kadar uzak durmaya gerek kalmaz. Eğer aynı hızda takip ediyorsanız teorik olarak onun

hemen arkasında seyahat edebilirsiniz. Öndeki araç ne zaman frene basarsa siz de basarsınız ve fren performanslarındaki değişiklikleri göz önünde bulundurarak ve aracın lambalarını fark edebilmek için bir kaç metre ihtiyat mesafesi bırakırsanız bu teori çok iyi çalışır. Ancak birçok düzenli demiryolunda araya acil durum fren mesafesi konulmadığı takdirde bu teori uygulanamaz.

Şekil 3.30'da görülen her tren birbiri arkasında aynı hızda hareket ediyor ve hepsinin frenleme kapasiteleri aynıdır. Teoriye göre bu trenler birbirlerine birkaç metre mesafe kalana kadar yaklaşabilir. Trenler, sadece bir reaksiyon zamanı ve küçük hatalar için bir mesafe bıraktıklarında ise 50 km hızla 50 m birbirlerine yaklaşarak gidebilirler. Teoride bu olabilir ancak pratikte bu biraz farklıdır. Almanya'da yaşanan en son şehirlerarası hızlı tren kazasında tren raydan çıkmış ve köprü ayağına çarparak hızlı bir şekilde durmuştur. Eğer yukarıdaki teoriye göre arkadan da bir tren geliyor olsaydı çarpışma kaçınılmazdı. Bu durum, yukarıdaki teorik hareketli blok sistemini etkisiz hale getirir. Bu örnekten de anlaşıldığı üzere trenler arasına her zaman için güvenli durma mesafesi koymak şarttır.

Şekil 3.30: Hareketli blok teorisi



Blok konumlarını ve boyunu sürekli bir şekilde trenin konumu ve hızına bağlı olarak yani onları sabitlemek yerine hareketli olarak düzenleme esnekliği, trenlerin konumunu, hızını ve yönünü tespit etmek ve izin verilen işletme hızını bildirmek için

hat devresi iletimi yerine Haberleşme Temelli Tren Kontrolü (CBTC = Communication Based Train Control) radyo iletimine ihtiyaç duyar.

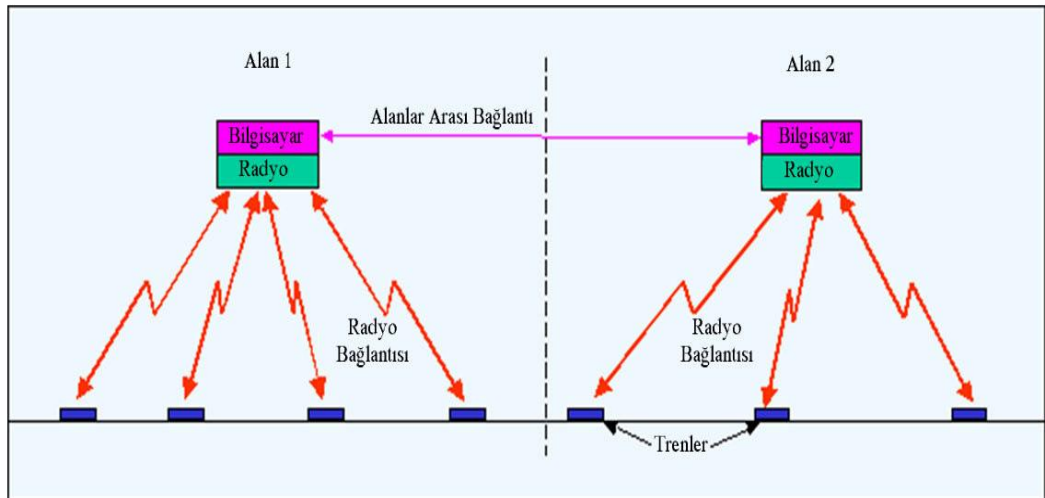
3.4.6.1 Hareketli blok ve radyo iletimi

Hareketli blokla donatılmış demiryolunda, hat bölgelere ayrılmıştır. Her alan bir bilgisayarın kontrolündedir ve her bir bilgisayarda Şekil 3.31’de görüldüğü gibi kendi radyo iletim sistemine sahiptir. Her tren; kimliğini, konumunu, yönünü ve hızını bu radyo sistemi vasıtasıyla bölge bilgisayarına aktarır. Bölge bilgisayarı uygun tren ayarlaması için gerekli hesapları yaparak bunu takip eden trene iletir.

Bölge bilgisayarı ve trenler arasındaki bağlantı kesintisizdir. Bu nedenle bilgisayar kendi bölgesindeki her trenin konumunu her zaman bilir. Bilgisayar her trene önündeki trenin konumunu iletir ve öndekine çarpmadan durabilmesi için frenleme eğrisini verir.

Sonuç olarak bu dinamik mesafeli ilerleme sistemidir yani Haberleşme Temelli Tren Kontrol Sistemidir. Radyo bağlantısı kesilirse öndeki trene çarpmasını önlemek için en son verileri tren üstü bilgisayarda tutulur.

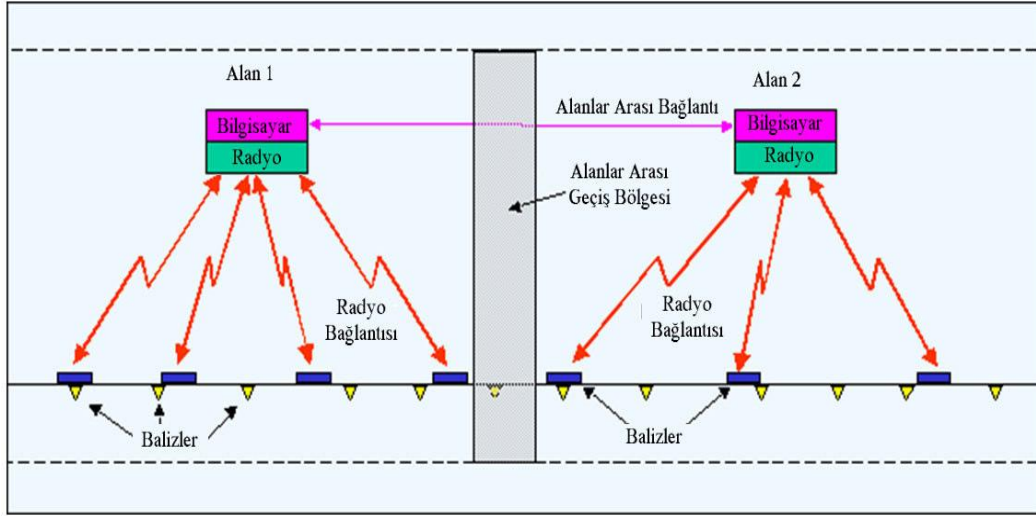
Şekil 3.31: Hareketli blok iletimi



3.4.6.2 Hareketli blok konum güncellemesi

Şekil 3.32’de görüldüğü gibi hareketli blok sisteminde trenler pozisyonlarını sürekli olarak buldukları alan bilgisayarına iletirler. Her tren, ana hat üzerinde konumlandırılmış balizler vasıtasıyla kendi konumlarını doğrular ve yeniden kalibre eder. Trenin bir alandan diğerine geçişi bir radyo bağlantısı ve iki bitişik alan bilgisayarları arasında ilave bir bağlantı kullanılarak gerçekleştirilir. Alanlar birbirine bindirme yapar. Bu nedenle bir tren yeni alanın sınırına vardığında birinci alanın bilgisayarını ikinci alanın bilgisayarıyla bir kontak kurar ve alanına giren yeni trenin sinyallerini alması için uyarır. Aynı zamanda trene yeni alana uyması için radyo kodlarını değiştirmesini söyler. Yeni alanda trenin kimlik bilgisi alındığında ilk alandan teslim alındığı tasdik edilir ve transfer tamamlanır.

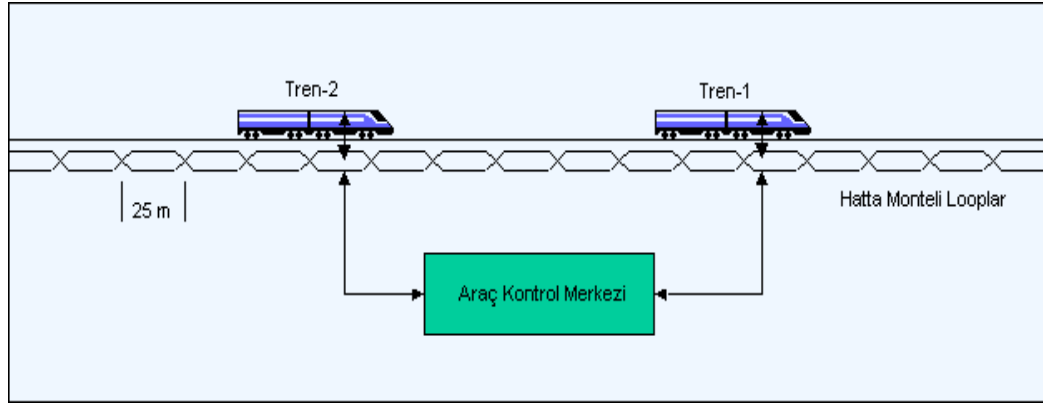
Şekil 3.32: Hareketli blok konum güncellemesi



Hareketli blok sisteminin bir diğer versiyonunda konumlama bilgisayarları trenlerin üzerindedir. Her tren diğer bütün trenlerle nerde ilişki olduğunu bilir ve güvenli hızı bu verileri kullanarak belirler. Bu sistemin diğer sistemlere göre daha az yol ekipmanı gerektirmesi gibi avantajlarının yanında diğerine göre daha çok miktarda iletişim gerektirir.

İlk hareketli blok sistemi Seltrack adı altında Alcatel tarafından pazarlandı. İlk olarak Kanada'da ve Londra'da Dockland Hafif Raylı Sisteminde kullanıldı. Bu sistem de hareketli veri iletim bileşenlerinden oluşur ancak ileti ortamı olarak radyo bağlantısı yerine Şekil 3.33'de görüldüğü gibi 25 metrede bir çaprazlaşan ve rayların arasına döşenmiş ve trenlerin yerinin tespitine yarayan, indüksiyon çevrimlerinden oluşur. Veriler, VOBC (Vehicle On-Board Computer) denilen tren üstü bilgisayarından TCC (Train Control Center) denilen araç kontrol merkezine çevrimler vasıtasıyla geçer. TCC Tren-2'nin hızını Tren-1'in konumunu kontrol ederek belirler ve güvenli frenleme eğrisini buna göre hesaplar.

Şekil 3.33: İndüksiyon çevrimli hareketli blok sistemi



Seltrac sistemi tam otomatik olduğu için sürücü gerektirmez. Bir sistem hatası durumunda trenler manuel olarak kullanılmak zorundadırlar. Çevrimlerin yaptığı kontrol haricinde trenlerin konumlarının doğrulanması için dingil sayıcıları vardır. Dingil sayıcıları bloğa girişte ve çıkışta dingilleri sayarak trenin bloktan tamamen çıktığını doğrulamak için ray devreleri yerine kullanılır. İndüksiyon çevrimli hareketli blok sisteminin en büyük dezavantajı bütün hat boyunca uzanan sinyal kablosunun raylar arasına döşenmiş olmasıdır. Bu kablonun kurulumu pahalıdır ve hat bakım çalışmaları sırasında kolayca zarar görebilir.

Bu sistemle modern sistem arasındaki temel fark Radyo bazlı sistemin anten gerektirdiği gibi Seltrac sisteminin de veri transferini sinyal kablosu gerektiren elektromagnetik iletimle gerçekleştiriyor olmasıdır (Yüksel 2007, ss.14-28).

3.4.6.3 Hareketli mesafe bloku (HMB)

Birbirini izleyen iki tren arasındaki minimum mesafe, maksimum hat hızında durmak için gerekli fren mesafesidir. İşletim boyunca kontrol edilen bu mesafe;

$$M = \frac{V_m^2}{2 * d} \quad (3.1)$$

V_m = Maksimum hat hızı

d = Frenleme ivmesi

Bu tür bir sistemde, izleyen trene yalnızca kendi pozisyonuna ilişkin öndeki trenin pozisyonu bilgisi iletilir. İşletim mesafesi sabit olup trenlerin çalışma hızlarından bağımsızdır.

3.4.6.4 Hareketli zaman bloku (HZB)

Hat boyunca herhangi bir noktayı geçen iki tren arasındaki zaman farkı bu tür hareketli blok sistemi işletiminde sabittir ve öndeki trenin çalışma hızından bağımsızdır. Trenleri ayıran minimum mesafe,

$$M = \frac{V_m * V_2(t)}{2 * d} \quad (3.2)$$

$V_2(t)$ = izleyen trenin t zamanındaki çalışma hızıdır.

3.4.6.5 Minimum hareketli bloku (MHB)

Sabit blok sistemlerinde konum sayısının artırılması; blok uzunluklarını kısaltır ve dolayısıyla trenler arasında minimum mesafenin azalmasını, hat kapasitesinin artmasını sağlar. Blok uzunluklarının sıfır olması durumunda, bir trenin pozisyonu tam olarak bilinir ve emniyet sınırları içerisinde trenler arası mesafeyi mutlak minimuma indirmek

mümkündür. Birbirini izleyen iki tren arasındaki mutlak mesafe, izleyen trenin hızına bağlı olarak değişen ani frenleme mesafesidir. Gerekli olan bilgi iletimi trenlerin relatif pozisyonları ve izleyen trenin hızıdır. Bu sistemde trenler arası minimum mesafe;

$$M = \frac{V(t)^2}{2 \cdot d} \quad (3.3)$$

M, bir çarpışma olmaması için gerekli minimum mesafedir. Öndeki trenin ani olarak birden bire durabileceği prensibine göre hesaplanır.

Hareketli blok sistemleri, otomatik tren işletimi ve yol boyu kontrol teçhizatları arasındaki iki yönlü bilgi alışverişine bağlıdır. Bu sistemlerde, ray devreleri; yalnızca raydan trene bilgi sağladıkları ve sınırlı tren pozisyonu saptama olanağı verdiği için uygun değildir. Aynı zamanda hareketli blok sistemleri için gerekli büyük miktarda bilgiyi iletebilecek kanal kapasitesini ray devreleri sağlamayabilir. Bu nedenlerden ötürü, rayların arasına bir anten fonksiyonu gören endüksiyon iletim halkaları döşenir ve düzenli aralıklarla çaprazlanır. Tek kanalda iki yönlü iletim kullanımı ve uygun kodlama tekniği ile tren ve yol boyu işlemcileri arasında iki yönlü veri alış veriş endüktif iletim halkaları düzeneği ile sağlanır. Her bir tren pozisyonunu, hızını ve yönünü periyodik olarak iletir. İletim halkasının çaprazlandığı yerde iletilen sinyalin faz değiştirmesi ile tren pozisyonu saptanır. Çaprazlama noktaları arasındaki mesafe aynı zamanda dingile monte edilmiş bir takojenaratör tarafından da hesaplanabilir.

Trenler arasındaki emniyetli fren mesafesinin sağlanması için her bir trene yol boyu işlemcileri tarafından kumanda bilgisi iletilir. Kablo band genişliği sayesinde çok fazla bilginin iletimi örneğin sürekli ve geçici hat hız limitlerinin iletimi de mümkündür. Sürekli tren kontrol sistemi, Avrupa' da, Kuzey Amerika' da ve Japonya' da şehiriçi ve şehirlerarası demiryolu işletmeciliğinde yaklaşık 21 yıldır kullanılmaktadır.

Kablosuz ağ yoluyla trenle haberleşilen sistemlerde sinyalizasyonun güvenlik seviyesinin yüksek olması gerektiğinden haberleşme sistemi yedeklidir yani çift kanal

haberleşme kullanılır ve sahadan gelen bilgiler tren üzerinde karşılaştırılır. Trenlerin hangi hattın hangi noktası üzerinde olduğu (dopler radar, GPS, aracın km sayacı vs. yardımı ile bu konum belirlenir) tren tarafından kumanda merkezine gönderilir.

Her trenin, önündeki trene ne kadar yaklaşacağı trenin hızına, fren gücüne ve yol durumuna göre her zaman yeniden hesaplanır ve trene gönderilir ve buna göre trenin hızı yeniden ayarlanır. Her trenin bulunduğu bölge ayrı ayrı kilitlenir ve her trenin hızı ayrı ayrı hesaplanır.

Genelde 90 sn. ve daha az sefer aralıkları için cazip bir sinyal sistemidir. 90 saniyenin üstündeki sefer aralıklarında bir sinyal sistemi için bazen pahalı kalmakla beraber genelde yolcu yoğunluğu olan hatlarda uygundur. Özellikle son yıllarda açık kod olarak standarda giden Haberleşme Tabanlı Tren Kontrolü (Communication Based Train Control-CBTC) sistemleri tek firmaya bağlı kalmama yönünden de avantajlıdır. Yani bir firmanın yapmış olduğu sinyal sistemini diğer sinyal firması da uzatabilir ve böylece özellikle uzatma projelerinde rekabet ve fiyat avantajı oluşur (Gülener 2009 ss. 39-40).

3.4.6.6 Hareketli blok sisteminin avantajları

Demiryolu sinyalizasyonu, değişken iklim şartlarına, yoğun kullanıma, aşınmaya, kötü niyetli kişiler tarafından tahrip edilmeye ve hırsızlığa maruz kalan oldukça pahalı sistemlere sahiptir. Bu sinyalizasyon ekipmanlarının geniş bir alana yerleştirilmiş olması, bakımının pahalı ve zaman alıcı olmasına sebebiyet vermektedir. Arızaların yerinin tespit edilmesi ve arıza mahalline ulaşılması oldukça zordur. Özellikle metrolarda trenler ve yeraltındaki katlara ulaşım ilave bir zorluk getirmektedir. Bu nedenlerden dolayı demiryolu işletmecileri bakım giderlerini azaltmak için yol ekipmanlarını azaltmayı denemektedirler. Azaltılmış yol kenarı 3 ekipmanları kurulum maliyetlerini de azaltır. Hareketli blok sistemi sabit blok sistemine göre daha az yol kenarı ekipmanı gerektirir.

Diğer bir avantaj ise yüksek kapasite sağlıyor olmasıdır. Bir çok metro normuna göre işletme aralığı 2 dakika veya saatte 30 trendir. Yüksek kapasite sağlansa bile terminal ve istasyon beklemeleri hat kapasitesinde büyük kayıplar meydana getirir. Yoğun olarak kullanılan Hong Kong metrosu gibi hatlarda, pik saatlerde bekleme süresini 40-50 saniyenin altında tutarak kapasitenin saate 30 trene çıkarılmasına çalışılmaktadır. Böylece hangi sinyalizasyon sistemi kullanılırsa kullanılсын işletme aralığı 2 dakika veya daha altına çekilebilir. Paris Metrosunun bazı kesimlerinde ve Dockland Hafif Metro sisteminde 95 saniye Marmaray Projesinde ise işletme aralığı 90 saniyedir. Hareketli blok sinyalizasyon sistemi işletme aralığını 90 saniyenin altına indirip 50 metrelik tren ayırma mesafesine izin verebilir ancak bu durumda da yer altı hatlarında kritik zamanlarda yeterli hava sirkülasyonu sağlamak için her 200-300 metrede bir modern duman kontrolü ve havalandırma sistemlerine ihtiyaç duyulacaktır. Bu da oldukça yüklü bir maliyet getirerek hareketli bloğun faydalarını azaltacaktır. Bu nedenle kısa işletme aralıkları; hızların düşük, trenlerin kısa ve yolcu seviyelerinin az olduğu sistemlerde elde edilebilir.

İşletmecilerin hareketli blok sisteminde elde ettikleri asıl kazanç, yol kenarı ekipmanlarının azaltılması ve dolayısıyla bunların bakım masraflarının azaltılmasıyla sağlanan kazançtır. Hareketli blok sisteminde kolay hata tespiti ve yüksek güvenilirlik sağlanabilir ancak birçok işletici hem kırık rayların tespiti hem de bir yedek olması açısından bu sistemin yanı sıra bir de sabit blok sistemi istemektedirler (Yüksel 2007, ss.14-28).

4. OTOMATİK METRO SİSTEMLERİ

Sürücüsüz metroların temelini oluşturan otomatik tren işletmesi (ATO) ve otomatik tren denetimi (ATP) bağlı olduğu tren sinyal sisteminin çalışmaları son yüzyılın ikinci yarısında başlamıştır. Londra metrosuna bağlı Victoria hattı 1968 yılında hizmete girmiştir. Bu hat sabit blok sistemini kullanıldığı ilk ATO metro hattı olarak kabul edilir. Sabit blok teknolojisinin kullanıldığı bu hatta sürücü kapıları kapatır ve start butonuna basar. Tren istasyondan hareket eder diğer istasyona kadar önü açıktır. Tren sinyal sisteminin belirlediği hızlara göre hareket ederek bir sonraki istasyonda belirlenen konumda durur. Victoria hattı bu sistem özelliğinden dolayı ilk yarı otomatik metro (STO) hattıdır.

Benzer STO sistemleri 1960'lı yılların sonunda ABD'de ortaya çıkmıştır. Bu sistemler Port Authority Transit Corporation, Lindenwold STO sistemlerdir. 1969 yılında Philadelphia, San Francisco 1972 yılında Oakland BART sistemi, 1976 yılında Washington Metro sistemi, 1979 yılında Atlanta Metro sistemi ve 1984 yılında Miami Metrorail sistemleridir. Hong Kong MTR sistemi de STO sabit blok teknoloji kabul edilen sistem 1979 yılında hizmete girmiştir. 1996 yılında Madrid Metro Hat 7 STO olarak açılmıştır.

Tüm ATO uygulamalarda temel ilke, bir trenin tahrik komutunu ve fren sistemleri sağlamak için güvenli hız sınırının altında bir hızda sürmektir. ATP ise güvenli hızı aşmamasını sağlamak için trene acil frenler sayesinde hız sınırı uygulayan sistemdir. İlk ATO uygulamalarında, sabit blok sistemi kullanılır. ATO işlevselliği de sabit blok ile sağlanabilir. "Dijital olarak kodlanmış", profil tabanlı parça devre teknolojisi gibi İletişim Tabanlı Tren Kontrol (CBTC) sistemler vardır. CBTC teknoloji kullanılan ilk yarı otomatik tren sistemi örneği Toronto Scarborough RT hattı 1985 yılında hizmete girdi. CBTC teknoloji kullanılan diğer STO örnekleri San Francisco MUNI, Ankara Metrosu 1997'de, Hong Kong KCRC Batı Ray 2003'de ve New York City Transit Canarsie Hattı 2006'da hizmete girmiştir. Tablo 4.1'de 2010 yılına kadar hizmete giren tam otomatik raylı sistemler gösterilmektedir.

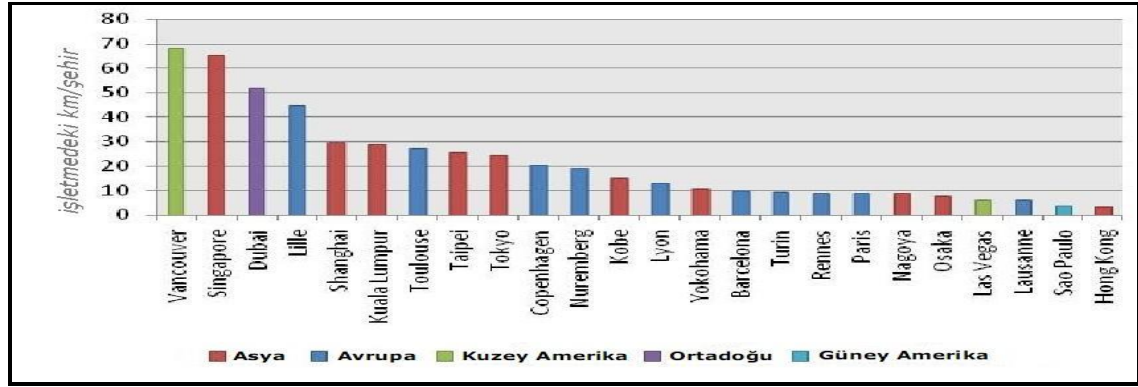
Tablo 4.1: Dünyadaki tam otomatik raylı sistemler 2010 yılına kadar

	Avrupa	Amerika	Asya
Hazır Çalışan Sistemler	Copenhagen (2002)	Chicago	Ankara (1997)
	Lille 1 (1983)	Detroit (1986)	Kobe Port Island (1981)
	Lille 2	Jacksonville	Kobe Rokko Island
	London Docklands	Miami	Kuala Lumpur (1997)
	Lyon Maggaly (Line D, 1992)	Newark Airport	Osaka (1981)
	Toulouse A	San Francisco(Barth)	Taipeh
	Paris Meteor (1998 Line 14)	Toronto Scarborough	Tokyo Waterfront (1995)
	Paris Orlyval	Vancouver1(1986, Skytrain)	Yokohama
	Rennes	Las Vegas(2004)	Fukuoka(Nanakuma, 2005)
	Turin(2006)	Sao Paulo(2010)	Nagoya(2005)
	Nuremberg(2008)		HongKong(West Line(Southern Link),2009)
	Lozan Lausanne(2008)		Dubai(2009)
	BarcelonaLine11(2009)		Shanghai(2010)
Uygulama Aşamasındaki Sistemler	Lille 2 (ext.)	New York (Canarsie Line)	Tokyo Nippori
	London Jubilee Line	Vancouver 2	Singapore NEL
	Nuremberg U1/U3		Singapore BKT/PJG
	Barcelona Line 9		
	Toulouse B		
	Toulouse A (ext.) Paris Meteor (St. Luz)		
Planlanan ve Proje Aşamasındaki Sistemler	Paris / Meteor (Olymp)		Singapore SKg/Plg

Kaynak :UITP Training Programme 3rd Module. Automated Metro Seminar Barcelona 1 December 2010

UTO gözetimsiz tren işletmesi araç üzerinde hiç bir kişinin olmadan yapılan ilk örnekleri, 1982 yılında Kobe Japonya, 1983 yılında Lille Fransa ve 1985 yılında Vancouver Kanada UTO metro sistemleridir. Kobe ve Lille sistemleri sabit blok teknolojisine dayanır Vancouver sisteminde ise CBTC teknolojisi kullanılmaktadır. Şekil 4.1’de dünyada bulunan tam otomatik sürücüsüz metrolar gösterilmiştir.

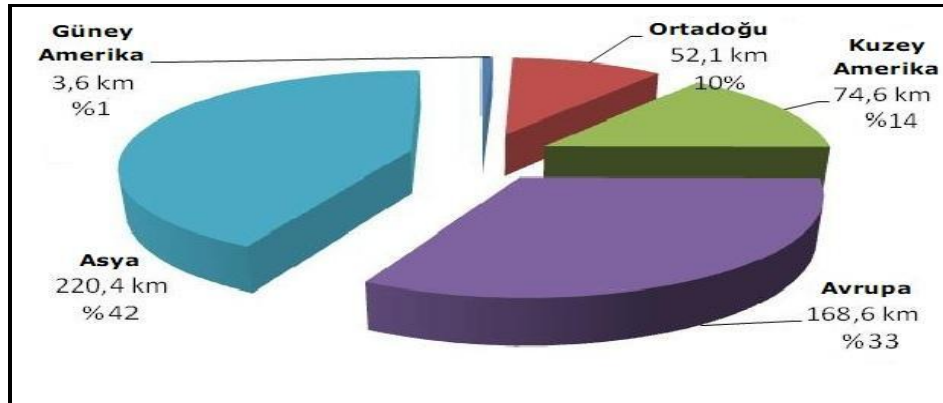
Şekil 4.1: Dünyada bulunan tam otomatik sürücüsüz metrolar



Kaynak: Kentiçi Raylı Sistemler Toplantısı Tokyo Otomatik Metrolar Gözlemevi Ramon Malla

CBTC teknoloji, kullanılan diğer UTO örnekleri 1992 yılında Lyon Line D, 1998 yılında Kuala Lumpur ve Paris Meteor Hattı, 2003 yılında Singapur Kuzey-Doğu hattı hizmete açılmıştır. UTO sabit blok teknolojisine dayalı diğer örnekler ise 1982 yılında Osaka ve 2002 yılında Kopenhag Metro hattıdır. Şekil 4.2’de kıtalara göre kaç km tam otomatik metro hattı olduğu gösterilmiştir (www.irse.org 2009).

Şekil 4.2: Kıtalara göre tam otomatik metro hatları







Kaynak: Kent içi Raylı Sistemler Toplantısı Tokyo Otomatik Metrolar Gözlemevi Ramon Malla

4.1 METROLARIN OTOMASYON DERECELERİ

Metrolarda kullanılan Şekil 4.3’de görüldüğü gibi 4 tane otomasyon derecesi vardır ve bu derecelere göre işletme yapılmaktadır.

Şekil 4.3: Metroların otomasyon dereceleri

Otomasyon Derecesi	Tren İşletimi	Trenin harekete geçinmesi	Trenin sürülmesi ve durdurulması	Kapının kapanması	Olumsuz durumda işletme
Otomasyon Derecesi 1 	Sürücülü ATP	Sürücü	Sürücü	Sürücü	Sürücü
Otomasyon Derecesi 2 	Sürücülü ATP ve ATO	Sürücü / Otomatik	Otomatik	Sürücü	Sürücü
Otomasyon Derecesi 3 	Sürücüsüz (DTO)	Otomatik	Otomatik	Tren Görevlisi / Otomatik	Tren Görevlisi
Otomasyon Derecesi 4 	Tren Görevlisi Olmadan (UTO)	Otomatik	Otomatik	Otomatik	Otomatik

4.1.1 Otomasyon Derecesi 1

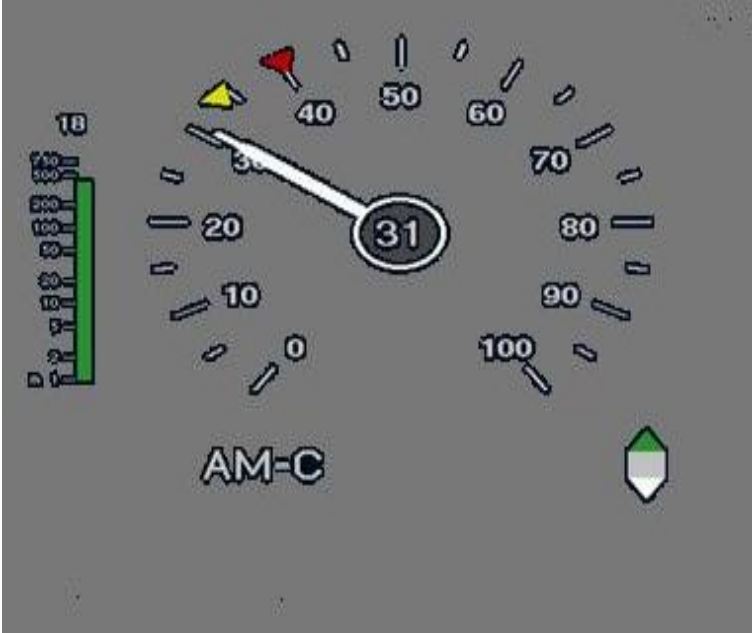
Araçta ATP sinyal koruması vardır. Aracın hız kazanması, seyir hızı, yavaşlama ve durma fonksiyonları araç sürücüsü tarafından kabin içindeki göstergeler sinyaller yardımı ile verilen hız limitlerine göre manuel olarak yapılır. İstasyonlarda kapıların

açılması ve kapanması araç sürücüsü tarafından manuel yapılır. Olumsuz durumda işletme ve tren arızalarına müdahale sürücü tarafından yapılır. Aksaray-Havalimanı hafif metro hattı (LRT) 1. derece otomasyona göre yapılmıştır (DLH Hafif Raylı Sistemler 2010).

Kabin sinyalli tarzı, trenin ATP sisteminin denetimi altında tren sürücüsü tarafından sürülmesini mümkün kılar. 1. derece otomasyona göre işletme yapılmaktadır. Trende bulunan ATP sistemi Şekil 4.4’de görüldüğü gibi tren sürücüsünün konsolundaki Hedef Hız işaretini göre sürer ve bir sesli kabin göstergesi aracılığıyla tren sürücüsüne hedef hız değişimlerine dair sinyaller gönderir. MCS işletim şekli altında, tüm güvenlik denetimi sürdürülür.

Kabin sinyalleri, sürücünün bu tarzında yürürlükte olacak ve trenlerin istasyon peronlarından tarifeden önce ayrılmamasını sağlamak için istasyon bekleme süresinin doluşunu işaret edecek, hızı arttırması veya düşürmesi için sürücüye görsel ve işitsel göstergeler ile uyarılır.

Şekil 4.4: MCS hedef hız işareti



Bu işleyiş şeklinde trenin hızlanma, seyir hızı, yavaşlama ve durma işlevleri kabin sinyallerinin yardımı ile tren sürücüsü tarafından elle yerine getirilir. İstasyonlarda kapı açılması ve kapı kapanması, ATP denetimine bağlı olarak tren sürücüsü tarafından kabinde elle yapılır. Kabin sinyalli tarzda, yetkilendirilmiş herhangi bir yönde ön-arka kabinlerden treni işletme olanağı sağlanmaktadır.

Kabin sinyalli tarzda, aşırı hız koruması vardır. Kabin sinyalli tarzda tren en yüksek müsaade edilmiş hıza ulaşırsa, kabinde bir işitsel uyarı duyulacaktır. Uyarının zamanlaması insan ve araç tepki süresini hesaba katacaktır. Tren en yüksek müsaade edilebilir hız ile tanımlanmış bir kademeyi aşarsa, acil durum frenleri otomatik olarak uygulanır. Acil durumda işletme ve tren arızalarına müdahale sürücü tarafından yapılır.

4.1.2 Otomasyon Derecesi 2

Yarı otomatik sürücülü bir metrodur. Araçta ATP sinyal koruması ve ATO işletmesi vardır. Aracın hızlanma, hızlı seyir, tahriksiz ilerleme, hız kesme, durma ve kapı açma işlevleri otomatik olarak yapılmaktadır. İstasyonlarda kapı kapama araç sürücüsü tarafından manüel olarak yapılır. Aracın harekete geçirilmesi için ATO START butonuna basılır. Olumsuz durumda işletme ve tren arızalarına müdahale sürücü tarafından yapılır. Taksim Hacıosman Metro hattı 2.derecede otomasyona göre yapılmıştır (DLH Metro 2010).

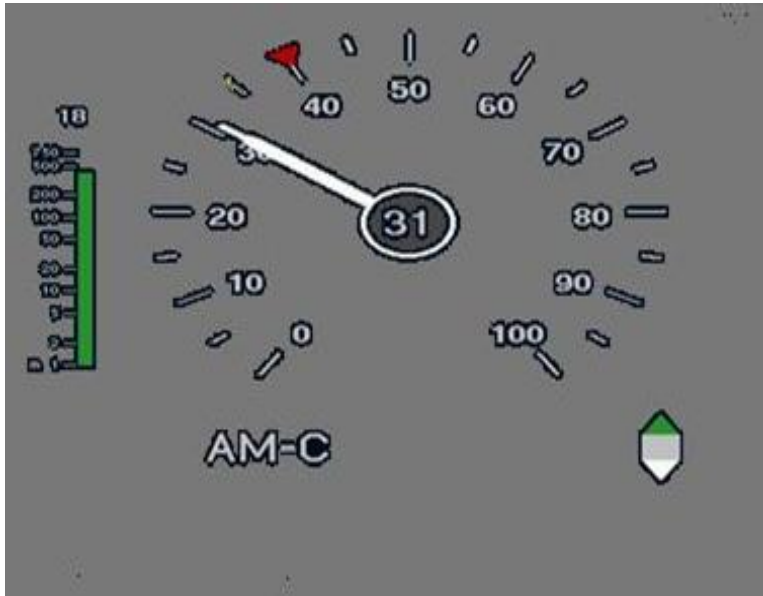
Otomatik (AUTO) tarzda tren işletmesi, tren sürücüsünün en az müdahalesini gerektirecek şekilde ayarlanır. Tüm istasyonlar arasında, istasyonlar ile dönüş hatları arasında ve aktarma yerleri arasında trenler otomatik duruş yapar. İstasyonda bekleyen bir trende, sürücünün yapması gerekenler aşağıdaki belirtilmiştir.

1. Ana Kontrolör'den Otomatik Tarz'ı seçmek.
2. Tüm tren kapılarını kapatmak.
3. Otomatik Başla (Auto-Start) butonuna basıp serbest bırakmak.

Kapılar ile trenin çekiş kumanda sistemi arasında teçhiz edilmiş olan normal kilitleme kapılar kapanmadan ATO, "Otomatik Başlama" butonunun kullanımının etkin hale getirmez. Önce tüm kapıların "kapalı durum" da olması gerekmektedir.

Otomatik Başla butonunun kullanımının ATO tarafından kabul edilmesi durumunda, etkin ATP en yüksek güvenli hız ile tren belirtilmiş olan mevcut performans seviyesine uygun sürüş otomatik şekilde yapılır. ATO alt sistemi, uygun bir noktada çekiş gücünü kesmek isteyebilir. Bundan dolayı, tren kayma durumuna geçebilir. ATP tarafından tayin edilen sınırlar içinde ve belirtilmiş olan profile göre Şekil 4.5’de görüldüğü gibi tren hızının ayarlanması için uygun şekilde çekiş veya frenler uygulanarak ya da serbest bırakılarak kayma durumu önlenir.

Şekil 4.5: ATO hedef hız işareti



Bir sonraki istasyon duruşuna yaklaşım esnasında, önceden belirlenmiş bir noktada tren servis frenlemesi uygulayarak perondaki duruş noktasına kadar uygun bir Duruş Profili izler. Tren duruş noktasında durur kapıları otomatik olarak acar (Taksim Metrosu İnşaat Ve Elektromekanik Sistem Şartnamesi 2007).

4.1.3 Otomasyon Derecesi 3

Tam otomatik sürücüsüz bir metrodur (DTO). Bu sistemde araçlarda veya peronlarda tren görevlisi bulunur. Aracın hızlanma, hızlı seyir, tahriksiz ilerleme, hız kesme, durma, kapı açma ve kapama işlevleri otomatik olarak yapılmaktadır. Olumsuz durumda işletme ve tren arızalarına müdahale trafik operatörü tarafından kontrol merkezinden yapılır. Kontrol merkezinden müdahale edilemeyen arızalara tren görevlisi tarafından müdahale edilir. Kadıköy Kartal Metro hattı 3. derecede otomasyona göre yapılmıştır.

Sinyalizasyon sistemi, sürücüsüz DTO Tam Otomatik sürüş modunda trenlerin depo alanında otomatik park ve sefere verme hizmetinin yanında, "Otomatik Duruş Yerleri" olarak adlandırılan; tüm istasyonlar arasında, istasyonlar ile dönüş hatları arasında ve istasyonlar ile bekleme hatları ve aktarma yerleri arasında, otomatik tarzda işletmesine imkan verir. Yolculu kesimlerde tren işletmesi, tamamen sürücüsüz ve otomatik bir şekilde yapılır. Tam sürücüsüz DTO sistemde araçlarda veya peronlarda tren görevlisi bulunur. Tren görevlisinin yapması gerekenler aşağıda belirtilmiştir.

1. Kontrol merkezinden müdahale edilemeyen arızalara tren görevlisi tarafından müdahale edilir.
2. Acil durumlarda tren tahliyesi yapmak.
3. Yolcuları gerektiğinde güzergahlar, kalkış zamanları, tehirler, iptaller veya acil durumlar hakkında bilgilendirmek ve yönlendirmek.

Tam otomatik sürücüsüz (DTO) metro aşağıdaki işlevleri yerine getirmektedir.

1. İstasyonlarda kapıların açılması için trenin doğru tarafının tanımlanması, güzergah ve performans seviyesi verilerinin gönderilmesi için hat boyu ile trende taşınan cihazlar arasında iletişim kurulması.
2. Tren tanılama verilerinin gönderilmesi için trende taşınanlar ile hat boyunda yer alan cihazlar arasında iletişim kurulması.

3. Tanımlanmış olan "Otomatik Duruş Yerleri"nden trenleri otomatik olarak hareket ettirmek.
4. Önceden belirlenmiş performans gereklerine göre ivmelenme, hız ve sürüş seviyelerinin ayarlanmasını sağlamak.
5. ATP alt sisteminden alınmakta olan en yüksek güvenli hız komutlarına göre hızın ayarlanması ve trenlerin, bir "sıfır hız" komutunun (Dur Sinyali) yerine getirildiği servis frenleme koşulları altında durdurulmasını sağlamak.
6. Tren sürücüsünün müdahalesi olmaksızın, trenlerin durma noktalarından hareket ettirilmesi (Kadıköy Kartal Metrosu İnşaat Ve Elektromekanik İşler Şartnamesi 2007).

4.1.4 Otomasyon Derecesi 4

Tam otomatik sürücüsüz bir metrodur. Trenlerde hiçbir personelin bulunmadığı insansız tren işletimi (UTO) vardır. Aracın hızlanma, hızlı seyir, tahriksiz ilerleme, hız kesme, durma, kapı açma ve kapama işlevleri otomatik olarak yapılmaktadır. Olumsuz durumda işletme ve tren arızalarına müdahale trafik operatörü tarafından kontrol merkezinden yapılır. Trende müdahale edilemeyen bir arıza olduğunda atölyedeki ekiplerle birlikte kurtarma treni bölgeye sevk edilerek müdahale edilir. Eğer tren arızasına müdahale edilemiyorsa araç kuplaj edilerek atölyeye çekilir. Üsküdar Ümraniye Metro hattı 4. derecede otomasyona göre yapılması planlanmaktadır.

Sinyalizasyon sistemi, sürücüsüz UTO Tam Otomatik sürüş modunda trenlerin depo alanında otomatik park ve sefere verme hizmetinin yanında, "Otomatik Duruş Yerleri" olarak adlandırılan; tüm istasyonlar arasında, istasyonlar ile dönüş hatları arasında ve istasyonlar ile bekleme hatları ve aktarma yerleri arasında, otomatik tarzda işletmesine imkan verir. Yolculu kesimlerde tren işletmesi, tamamen sürücüsüz (UTO) ve otomatik bir şekilde yapılır.

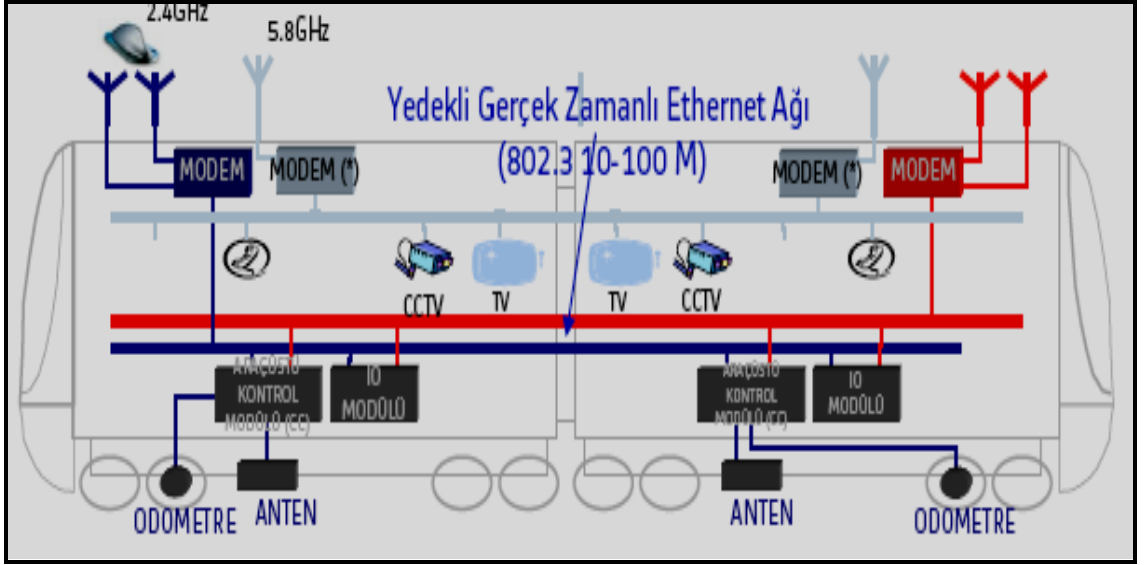
Tam otomatik sürücüsüz (UTO) metro aşağıdaki işlevleri yerine getirmektedir.

1. İstasyonlarda kapıların açılması için trenin doğru tarafının tanımlanması, güzergah ve performans seviyesi verilerinin gönderilmesi için hat boyu ile trende taşınan cihazlar arasında iletişim kurulması.
2. Tren tanılama verilerinin gönderilmesi için trende taşınanlar ile hat boyunda yer alan cihazlar arasında iletişim kurulması.
3. Tanımlanmış olan "Otomatik Duruş Yerleri"nden trenleri otomatik olarak hareket ettirmek.
4. Önceden belirlenmiş performans gereklerine göre ivmelenme, hız ve gezinti seviyelerinin ayarlanmasını sağlamak.
5. ATP alt sisteminden alınmakta olan en yüksek güvenli hız komutlarına göre hızın ayarlanması ve trenlerin, bir "sıfır hız" komutunun (Dur Sinyali) yerine getirildiği servis frenleme koşulları altında durdurulmasını sağlamak.
6. Tren yolcu kapılarının kapatılması ve kilitlemesi.
7. Platform kapılarını(PSD) açılıp, kapatılmasının kontrolü.
8. Hat sonu dönüşlerinin, parklanma bölgelerine parketmenin ya da parklanmış trenlerin uyandırılarak hareket ettirilmesinin sağlanması.
9. Otomatik geri dönmek (turn-back) özelliği sağlanması (Üsküdar Ümraniye Metrosu İnşaat Ve Elektromekanik İşler Şartnamesi 2007).

4.2 SÜRÜCÜSÜZ METROLARIN FARKLI ÖZELLİKLERİ

Sinyalizasyon sistemi ATP ve ATO ile tren kontrol fonksiyonlarını gerçekleştirmek amacıyla araç bilgileri için arayüz sağlar. Bu arayüz performans özelliklerini bağımsız olarak sürücüsüz işletme dahil tüm işletme biçimleri için istenilen toplam sistem performansını sağlayacak donanım ve yazılım özelliklerine sahiptir. Her dizi için Şekil 4.6'de görüldüğü gibi 2 adet birbirini yedekleyen araç üstü sinyalizasyon kontrol teçhizatı ve dolabı, antenleri, gerekli hız ölçerleri, ivme ölçerleri, mesafe ölçerleri, göstergeler, benzeri teçhizat ve aksesuarları ile ara bağlantı kabloları vardır.

Şekil 4.6: Sürücüsüz metrolardaki yedek sistemler



Sürücüsüz sistemde kullanılan bazı uzaktan kumanda fonsiyonları aşağıda belirtilmiştir.

Metro araç fonsiyonları için:

1. Ray temizleme fırçasını açma ve kapatma
2. Cer ve yardımcı arıza resetleme
3. Korna komutu
4. Acil durum frenini resetleme
5. Park freninin uygulanması ve serbest bırakılması
6. Kapı açma ve kapatma komutu
7. Canlandırma fonsiyonu
8. Kapatma fonsiyonu
9. Ticari ve ticari olmayan servis

Sinyalizasyon fonsiyonları için:

1. ATC resetleme
2. Sürücüsüz işletmeye izin verme
3. Acil durum kolunu resetleme
4. Hareket kontrolü: görev, kalkış, treni bekletme, istasyon atlama (Üsküdar Ümraniye Sürücüsüz İşletme Çözümü 2011).

4.2.1 Engel Algılama Sistemi

Sürücülü metrolarda tren kontrolü sürücüye aittir. Tren önüne çıkabilecek her türlü engelde tren durdurma işlemini sürücü yapar. Fakat tam otomatik metrolarda sürücü yoktur. Bundan dolayı araç önüne çıkabilecek engelleri önceden algılayan sistemler geliştirilmiştir.

Engel algılama sistemi tren seyir halindeyken ray hattına düşmüş yabancı cisimleri önceden algılayarak, bu bilgiyi trene iletir. Engel algılama sisteminden aldığı bilgiler doğrultusunda tren yabancı cisimlere çarpmadan kendini durdurur.

4.2.2 Yangın Algılama Sistemi

Sinyalizasyon sistemi, araç içlerinde bulunan yangın algılama ve ihbar sistemine arayüz ve iletim alt yapısı sağlamaktadır. Bu arayüz vasıtasıyla, ilgili tren kimlik bilgisi TCC'deki (Trafik Kontrol Merkezi) Trafik operatörünce temin edilir ve tren işletiminin yangın senaryolarına uygun olarak çalışması sağlanır. Ayrıca Yangın Algılama Sistemi bilgileri, TCC'deki Araç Operatörünün önünde bulunan Araç SCADA İş istasyonuna da taşınarak izlenilmesi sağlanmaktadır (Üsküdar Ümraniye Metro su İnşaat Ve Elektromekanik İşler Teknik Şartnamesi 2007).

4.2.3 Acil Durum Freni Başlatma ve Resetleme

Trenler herhangi bir durumda veya olumsuzlukda acil fren yapabilir. Sürücü veya bir kurtarma treni göndermeye gerek kalmadan neredeyse tüm durumlarda treni yeniden başlatmaya imkan sağlamak için kullanılır (Üsküdar Ümraniye Sürücüsüz İşletme Çözümü 2011).

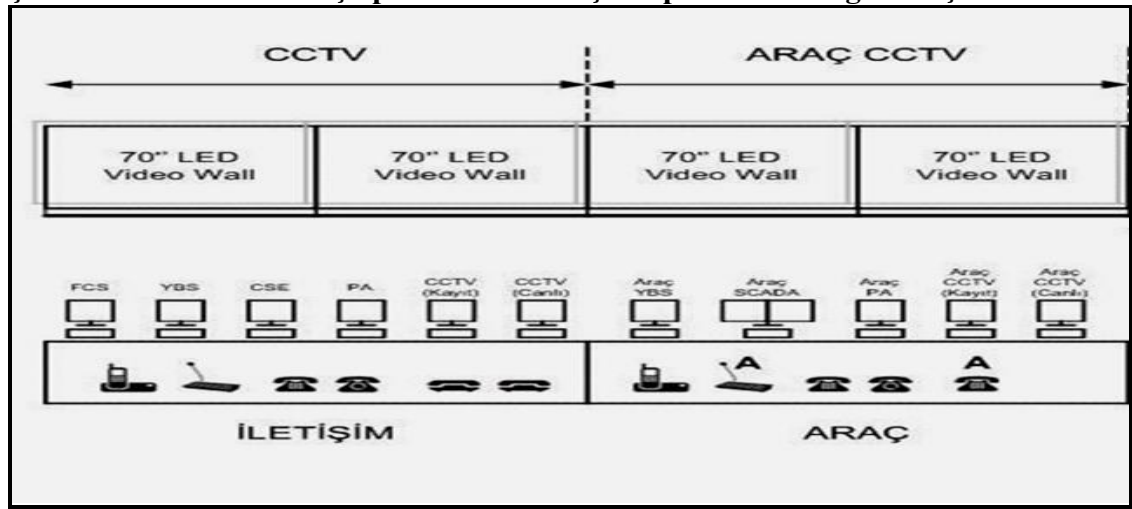
4.2.4 Trenin Durum, Alarm Bilgisinin TCC'ye İletilmesi

Sürücüsüz sistemlerde meydana gelen her hangi bir olumsuzluğu veya arızaları araç üstü ATC tarafından toplanmakta ve CBTC Telsiz Veri Haberleşme Sistemi aracılığıyla

TCC'ye iletmektedir. Ancak sinyalizasyon sisteminin söz konusu verileri taşıyamaması durumunda, alternatif yollar izlenir. Sinyalizasyon Sistemi; belirli bir araç üzerinde oluşan bütün arızaları ve sistemin sürücüsüz olması sebebiyle (km bilgisi, deray bilgisi, hat üzerinde algılanan engel bilgisi vs.) Tren Kontrol Merkezinden takip edilir.

Ayrıca Ana ve Yedek TCC Kontrol Merkezine yer alan Araç operatörünün önündeki ekipman ve donanımların ait Şekil 4.7'de görülmektedir.

Şekil 4.7: TCC'deki araç operatörü ve iletişim operatörünün görünüşü



4.2.5 Kapıların Yönetimi (Yolcu tahliyesi)

Her hangi bir acil durum da tren tünelde beklerken sistem Tren Kontrol Merkezinden yürüme yolu taraftaki tren kapısını açma işlemini sağlar.

Bu fonksiyon zaten CBTC sistemi tarafından yönetilir. Trenin hızı ve yürüme yolu tarafına bağlı olarak kapıların kilitlenmesini daimi olarak hesap eder. Yani, tren sıfır hızda algılanırsa ve tren kapılarına yolcular tarafından manuel bir talep varsa yürüme yolu sol tarafta yer alıyorsa, sol taraftaki kapıların trenin seyrine göre açılması yasaklanmaz, fakat sağ taraftaki kapılar araçüstü CBTC sistemi tarafından kilitli tutulur (Üsküdar Ümraniye Sürücüsüz İşletme Çözümü 2011).

4.2.6 Kritik Cihazların Yedekliliği

Bir dizideki her bir araç üstü sinyalizasyon kontrol sistemi tüm ATC işletme modları için tam güvenli işletme sağlamak üzere dual çalışan mikroprosesör ve gerekli dual iletim ve ölçü cihazları bulunmaktadır. Bir dizideki aktif araç üstü sinyalizasyon kontrolörü arızalandığında diğer araç üstü sinyalizasyon kontrolörüne otomatik geçiş yaparak tüm fonksiyonları gerçekleştirilir. Tablo 4.2’de görüldüğü gibi araç üstü kontrolörler birbirinin tam yedeği vardır ve arıza durumunda treni durdurmadan, anında diğerine yedek sisteme geçiş yapmaktadır (Üsküdar Ümraniye Metrosu İnşaat Ve Elektromekanik İşler Teknik Şartnamesi 2007).

Tablo 4.2: Sürücülü ve sürücüsüz sistemlerin kontrolörlerin karşılaştırılması

Ana Sistemler	Sürücülü Tren	Sürücüsüz Tren
Sürücü Ekran Ünitesi	1	1
Ana İşlemci Ünitesi	2	2
Röle(yüksek akım sağlayan sistem)	178	320
Devre Kesicisi	330	520
Uzaktan Kumanda	Geçerli Değil	86
Ethernet Ağı	Geçerli Değil	1
Sviç Ethernet	Geçerli Değil	6

Kaynak: Üsküdar Ümraniye Metrosu Alstom’un İBB’ye Sunumu (15 Şubat 2011)

4.2.7 Otomatik Canlandırma Ve Test

Sürücüsüz metrolarda trenler depo sahasında uyku modunda park edilir. Bunun sebebi trenlerin batarya tüketimini azaltmaktır. Tüm cihazlar (gerekli sinyalizasyon ve telsiz cihazları dışında) kapatılmak suretiyle otomatik olarak Trafik Kontrolörünün komutu doğrultusunda uyku moduna alınır. Tren, tarife veya Trafik Kontrolörünün komutu

doğrultusunda otomatik olarak uyanabilmekte ve canlanabilmektedir. Servise uygun olduğundan emin olmak için gerekli olan kendi hazırlık testlerini gerçekleştirebilir.

Sinyalizasyon sistemi için uyanma sonrası gerekli olan 2 tip temel hazırlık testi vardır. Güvenlikle ilgili testler ve güvenlikle ilgili olmayan testler (eksik işlev veya performanslara sahip arızalı bir trenin servise gönderilmesi durumundan kaçınmak için fonksiyon testi). Kombine testler, güvenlikle ilgili olup sinyalizasyon, uzaktan kumanda fonksiyonları ve acil durum freni ve kapıları kapsar.

Güvenlikle ilgili kritik bir test başarısız olduğunda, sürücüsüz sürüş moduna (AM) artık izin verilmez. Güvenlikle ilgili olmayan bir kritik test başarısız olduğunda, Tren Kontrol Merkezine bir alarm verilir, trenin detaylı durumu ATS çalışma istasyonunda gösterilir, daha sonra operatör, arızanın ağırlığına ve işletme kurallarına dayalı olarak treni servise gönderip göndermemeye karar verir.

4.2.8 Otomatik Araç Yıkama

Trenler, araç yıkama işlemi için otomatik olarak gider ve tarife doğrultusunda yıkama ünitesini çalıştırır. Trenin hızı, araç yıkama ünitesinden geçerken düşük hızda (3-5 km/saat) olacak şekilde düzenlenir.

Yıkama hattına düşük hızda ivmelenmesi, ivmelenme sırasında düşük seviyede frenleme uygulamak için özel bir ATC arayüzü vardır. Araç yıkama ünitesi tarafından bir arıza rapor edildiğinde treni otomatik olarak acil durum durdurma bölgesi etkinleştirmektedir (Üsküdar Ümraniye Sürücüsüz İşletme Çözümü 2011).

4.2.9 Platform Kapılar (PSD)

Peron ile tren arasında bir bariyer oluşturan kapılara denir. Bu sistem, Paris'teki Val ve METEOR metro sistemleri tarafından kabul edilmiştir. Platformu kapıların varlığı, insanların ray hattına düşmesi, intihar girişimi gibi kazaları önler. Bu kazalar yolcu

gecikme ve sefer aksama sorunlarının yarısından fazlasını teşkil eder. Bu kazaları önlemek için Lille metro hatları platform kapıları ile donatılmıştır. Şekil 4.8’de platform kapılar gösterilmektedir.

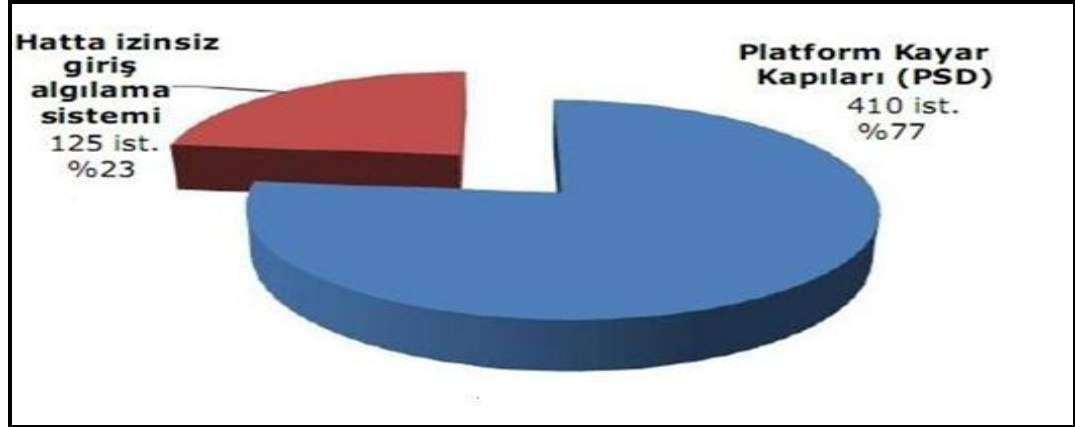
Şekil 4.8: Platform kapılar



Geleneksel metro sistemlerinde platform kapılar kullanılmamasından dolayı ölümcül ve ciddi kazalara meydana gelmiştir. Örneğin Paris’te, intihar girişimi hariç, çok sayıda ölümlü kaza vardır. Bunlar yolcuların yanlışlıkla ray hattına düşmesi ve yolcuların tren kapısına sıkışması sonucu tren ile birlikte sürüklenmesinden meydana gelir. Platform kapıları istasyon klima özelliği de sağlar. Ayrıca, grafiti sanatçıların tünellere ve tren park alanları içine girmesini engeller. Tablo dünyadaki sürücüsüz metro sistemlerinde kullanılan platform kapılarının ve hatta izinsiz giriş algılama sistemlerinin oranlarını göstermektedir.

Platformu kapıların kullanımı çok olumlu ve güvenilir sonuçlar gösterir. Lille metrosunda 12 yıl içindeki sefer aksamalarının sadece yüzde 3 platformu kapıları ile ilgili sorunlar oluşturmaktadır. Şekil 4.9’da dünyada kullanılan platform kapı ve hatta izinsiz giriş algılama sistemi yüzdesi gösterilmektedir. (UITP Metrolar Çalışma Grubu 1997).

Şekil 4.9: Dünyada kullanılan platform kapı ve hatta izinsiz giriş algılama sistemi



Kaynak: Kentiçi Raylı Sistemler Toplantısı Tokyo Otomatik Metrolar Gözlemevi Ramon Malla

4.2.10 Araç Üstü CCTV Sistemi

Sinyalizasyon sistemi; trenler üzerinde bulunan Kapalı Devre Televizyon Sistemi CCTV sistemine ait verilerin, ana ve yedek TCC Kontrol Merkezlerindeki Araç CCTV iş istasyonlarına taşınması için gerekli arayüzleri ve iletim alt yapısını sağlamaktadır. Sürücüsüz Metrolarda Şekil 4.10'da görüldüğü gibi araç içindeki kamera sistemleri sayesinde, herhangi bir acil durumda TCC Kontrol Merkezlerindeki Araç Operatörü tren içini izler ve görüntüler doğrultusunda araca müdahale edilir (Üsküdar Ümraniye Metrosu İnşaat Ve Elektromekanik İşler Teknik Şartnamesi 2007).

Şekil 4.10: Araç üstü CCTV sistemi



4.2.11 Merkezi Telsiz Kontrol Sistemi

Sinyalizasyon sistemi tren içerisinde bulunan araç üstü telsiz sistemine arayüz sağlar. TCC'den ana hatta bulunan belirli bir trene, bir grup trene veya tüm trenlere yolcu anonsu yapılabilmektedir. Şekil 4.11'de telsiz kontrol sisteminin yapısı gösterilmektedir. Merkezi telsiz kontrol sistemi, aşağıdaki işlevleri yerine getirmektedir.

1. Kontrol Merkezinden belirli bir araca, bir grup araca, veya tüm araçlara uzak anons yapılır.
2. Kontrol Merkezinden ortam dinlemesi gerçekleştirilmesi
3. İstendiğinde yapılan konuşma ve veri alışverişini kayıt edebilmektedir.
4. Yolculara acil durumlarda anons yapılabilir.

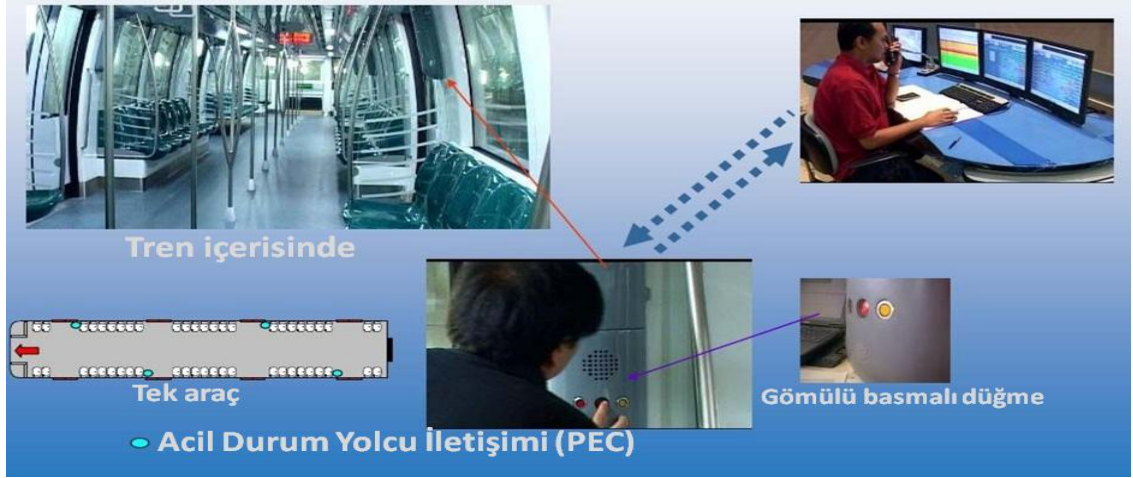
Şekil 4.11: Telsiz kontrol sisteminin yapısı



4.2.12 Araç Üstü Çift Yönlü Telefon Haberleşme Sistemi

Araç içlerinde bulunan çift yönlü telefon haberleşmesi sistemleri vasıtasıyla, yolcular ve TCC birbiriyle telefon görüşmesi yapabilmektedir. Sinyalizasyon sistemi bu fonksiyon için gerekli olan arayüzleri ve iletim alt yapısını sağlar. Şekil 4.12'de görülen trende çağrı noktasındaki kırmızı düğme acil aramalar için sarı düğme ise bilgi aramalar için kullanılmaktadır (Üsküdar Ümraniye Metro su İnşaat Ve Elektromekanik İşler Teknik Şartnamesi 2007).

Şekil 4.12: Araç üstü çift yönlü telefon haberleşme sistemi



5. SÜRÜCÜLÜ VE SÜRÜCÜSÜZ METROLARIN KARŞILAŞTIRILMASI

Otomasyon insan çaba ve zekasının yerini alan ve mekanik, elektrik veya bilgisayar donanımlı eylemini içeren önemli sistemlerdir. Genel kullanımda otomasyon, yönergelerin uygun şekilde uygulanmasını sağlamak amacıyla, otomatik geri bildirimli kontrol ile birlikte programlı komutlar yoluyla bir süreci gerçekleştirmeye yönelik bir teknoloji şeklinde tanımlanabilir. Bunun sonucunda meydana gelen sistem, insan müdahalesi olmadan çalışabilmektedir (UITP Eğitim Programı Ian Graham 2010).

İlk otomatik metrolar 1951 yılında seviye 2 ve 1981 yılında seviye 4 hizmete girmiştir. Şu an 45 şehirde işletmede olan 60 hat ile otomatik metro, artık bir kent içi standart haline gelmiştir. Günümüzde otomasyon tercihi, metro hattı inşası veya modernizasyon programlarında bir önkoşul haline gelmiştir (UITP Dubai G.Churchill 2011).

Sürücüsüz sistem (UTO), tren hızını hizmet ihtiyaçlarına uygun olarak ayarlamakta ve daha esnek bir işletme sağlamaktadır. Olağan hizmette sefer aralığı 90 saniye olacak, ancak aşırı yoğunluk durumlarında 75 saniyeye kadar düşürülebilecektir (UITP Dubai Sergio Avelleda 2011).

Normal işletme, servislerin yüzde 99.9'undan daha fazlasında sürücüsüz olmaktadır çok nadir durumlarda veya bakım bölgesinde manuel moda geçilmektedir. Eğer sistem sürücüsüz modda çalışmaz ise genel sistemlerin performansını ve ekipmanların verimini düşürür ve maliyeti artırır (Üsküdar Ümraniye Sürücüsüz İşletme Çözümü 2011).

Ulaşım sisteminde işletmeci farklı düşünür, yolcu farklı düşünür. İşletmeci sistemden tasarruf etmeyi ister. Bu nedenle işletme ve bakım masraflarını düşürmeye çalışır. İşletmeyi daha verimli, daha esnek nasıl çalıştırabilmesinin hesaplarını yapar. Yolcu ise sistemin güvenilir olması, bekleme süresinin kısa olmasını, trafiğe karışmamasını ve konforlu olmasını ister. Şekil 5.1'de gösterildiği gibi tam otomatik sürücüsüz metro sistemi (UTO) hem yolcu ihtiyaçlarını karşılar hem de işletmecinin ihtiyaçlarını karşılar.

Şekil 5.1: Tam otomatik sürücüsüz metro yolcu ve işletmecinin ihtiyaçları



Kaynak : UITP Dubai 2011 Ansaldo STS Paolo Marino www.ansaldo-sts.com

Tam otomatik metro sistemlerinde sürücü ve araç içi personele gerek kalmaması nedeniyle personel sayısının önemli ölçüde azalması sonucu daha düşük işletme ve bakım maliyeti vardır. Sistem optimum tam otomatik şartnameye uygun olarak işletildiğinden, işletme maliyetlerinde ekstra tasarruf enerji tüketiminde parça aşınmasında azalma ve buna bağlı olarak daha az yedek parça ihtiyacı olmaktadır. Trenler daha kısa olabilmekte (kabinsiz) ve personel maliyetinde artış olmadan daha sık çalışabilmektedir. Ani ve beklenmeyen ulaşım talebi değişimlerini karşılamak üzere metro işletmecileri, personel maliyetini arttırmaksızın sık sık ve kolayca hizmet sıklığını değiştirebilmektedir. Biletler işletmeyi karşılayamadığı durumlarda bile personel maliyetini arttırmaksızın yüksek sıklıkta yüksek hizmet kalitesi yapılabilmektedir. Otomatik sürüş fonksiyonları trenin istasyonlar arasında daha düzenli bir şekilde çalışmasını sağlar. Tablo 5.1’de üç sistemin karşılaştırılması yapılmıştır. Bu karşılaştırmalardan da anlaşılacağı gibi otomasyon seviyesi 4 UTO diğer iki sistemden daha avantajlıdır (UITP Dubai Paolo Marino 2011).

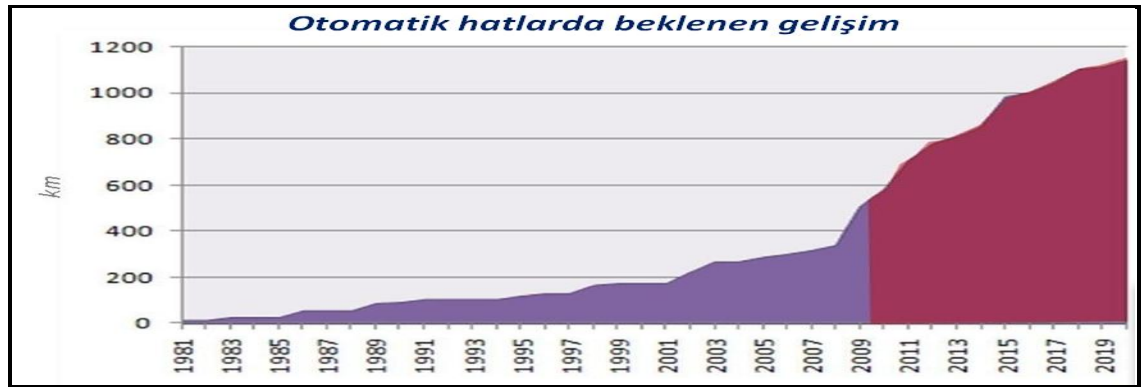
Tablo 5.1: Farklı seviyelerdeki otomatik metroların faydaları

Faydaları	STO	DTO	UTO
Otomatik Tren Koruma (ATP)	√	√	√
Daha kaliteli bir sisteme binmek	√	√	√
Tahrik ve fren sistemlerinde daha az aşınma	√	√	√
Enerji optimizasyonu	√	√	√
İşletme doğrultusunda değişiklikler filo azaltılması ve gelişmiş hizmet düzenleme		√	√
Otomatik geri dönüş		√	√
Trende hiçbir personelin bulunmaması			√
Esneklik genelde daha kısa trenlere işletmek			√
Beklenmeyen yolcu taleplerine yanıt			√
İşletim maliyetlerini azaltma potansiyeli			√
Otomatik hata algılama ve tepki			√

Kaynak: IRSE ITC 17 Haziran 2010 www.irse-itc.net/index

Yüksek performans düzeyi, yüksek güvenilirlik ve düşük sefer aralıkları, düşük işletme maliyeti sürücüsüz, yolcu taleplerine daha iyi yanıt verebilme metroların cazibesi artırmaktadır. Bu nedenlerden dolayı dünyada tam otomatik metro geçiş dönemi başlamıştır. Şekil 5.2’de dünyadaki tam otomatik metroların gelişimi gösterilmiştir.

Şekil 5.2: Dünyadaki tam otomatik metroların gelişimi



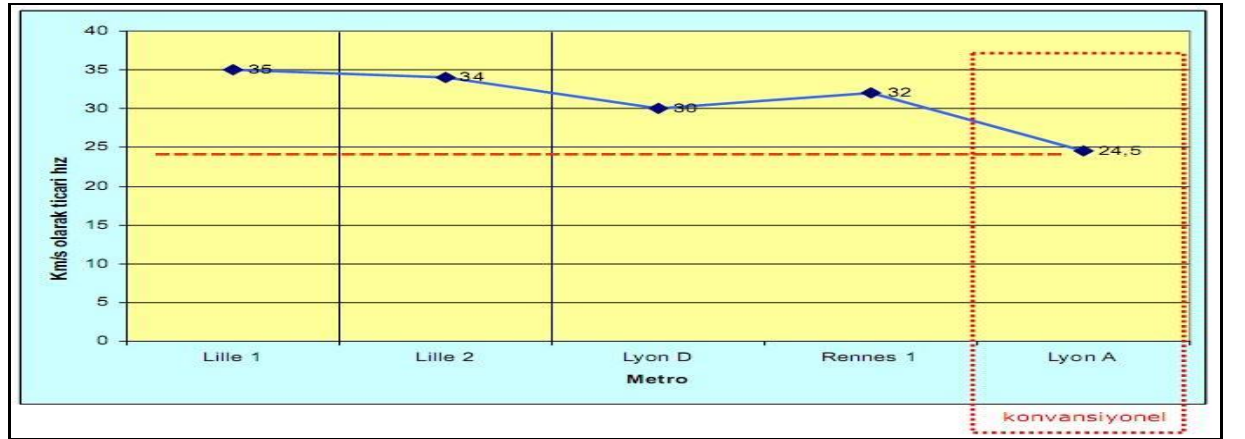
Kaynak: Kentiçi Raylı Sistemler Toplantısı Tokyo Otomatik Metrolar Gözlemevi Ramon Malla

5.1 HİZMET ÖZELLİKLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

Metrolarda hizmet seviyesi sistemin yolculuk süresi, yolcuları istasyonda bekleme süresi, güvenlik, güvenilirlik, istasyon ve trenlerin temizliği gibi etkenlere bağlıdır. Sürücüsüz metro sistemlerinde sefer aralığı sürelerinin düşmesi ve trende sürücü bulunmaması sistem tarafından verilen en düşük aralığa kadar trenleri maksimum sayıda işletmeye vererek, sistemden tam kapasite yararlanmak mümkündür. Yolcunun yoğun olduğu saatlerde sisteme tren enjekte ederek yolcu yoğunluğu azaltılır veya yolcu yoğunluğunun azaldığında sistemden tren çıkartılarak sistem dengelenir. Ani yolcu taleplerine hemen müdahale edilebilmektedir. Sürücünün çalışma saatlerini dikkate almaya gerek kalmadan planlı ve yolcu ihtiyaçlarına göre işletme yapılabilmektedir.

Sürücüsüz metrolar daha yüksek işletme hızı ve buna bağlı olarak daha kısa yolculuk süresi, daha kısa aralık, daha az bekleme süreleri vardır. İşletme hızının artmasının sebebi yolculuk yönünü değiştirmek için zamana ihtiyaç olmaması 10-20 saniye sonra sistem diğer başı aktifler ve sürüşe otomatik olarak başlar. Sürücüsüz sistemlerde sürücülü sistemlerde sürücünün kabin değişmesi için belirli bir vakit geçirmesi ve sürücüdenden kaynaklanan istasyonlardaki bekleme işletme hızının azalmasına sebep olmaktadır. Şekil 5.3'deki Lyon A hattı sürücülü diğer hatlar ise sürücüsüz metro sistemleridir. Şekilde görüldüğü gibi sürücüsüz metro sistemlerindeki ticari hız 30 km/'den daha büyük ve sürücülü metro sistemlerindeki yüzde 20 daha fazladır.

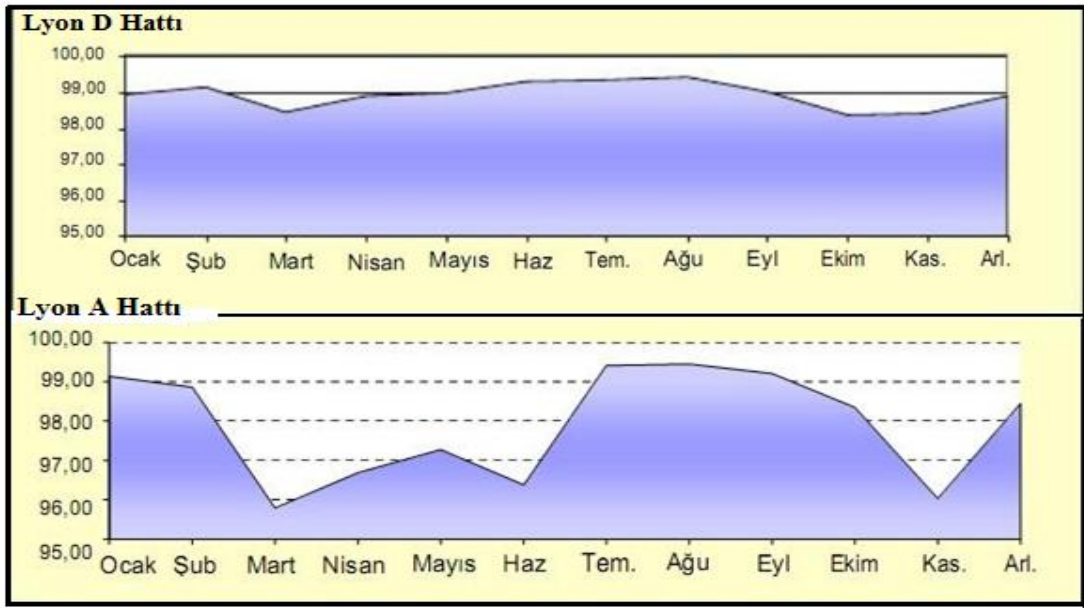
Şekil 5.3: Ticari hız karşılaştırması



Kaynak: UITP 9. Eğitim Programı 3.modül: Toplu Ulaşım Modları ve İşletme HongKong, 4-7Eylül 2011

Metro sistemlerinin güvenilirliği araç arızalarının azalmasına, kaza güvenlik gibi nedenlerle seferlerin iptal edilmesine bağlıdır. Her türlü sefer iptali zaman tarifesine uyulmasına sebep olur. Bu gibi olumsuzluklar sistem güvenilirliği azaltır. Şekil 5.4’de görüldüğü gibi Lyon D hattı sürücüsüz metro sistemidir. Lyon D hattının hizmet güvenilirliği yüzde 99 üzerine çıkmaktadır. Fakat Lyon A hattı sürücülü metro sistemidir ve hizmet güvenilirliği yüzde 96-99 arasında değişmektedir. Bu grafikten de anlaşılacağı gibi sürücüsüz sistemlerin güvenilirliği sürücülü sistemlerden daha iyidir.

Şekil 5.4: Sürücüsüz metro ve sürücülü metro güvenilirlik grafikleri



Kaynak: UITP 3-5Aralık Lausanne Bernard Tabary Genel Müdür

Daha iyi ivmelenme, frenleme ve işletme hızı sayesinde son duraklar arası minimum yolculuk süresi ile daha üstün bir hizmet sağlamaktadır. Buna bağlı olarak yolcunun ortalama bekleme süresinde azalmakta ve yolcu yığılmaları önlenmektedir. İstasyonlardaki bekleme süreleri şartlara göre Kontrol Merkezinden ayarlanabilmektedir. Hizmet verimliliği diğer sistemlere göre daha iyidir. Personel bulunmayan trenlerde tren arızalarında daha fazla gecikme olabilir. Gecikme süresi uç istasyonlarda trenler hemen geri döndürerek giderilebilir veya boşlukları gidermek üzere sisteme yedek trenler dahil edilebilir. Sürücülü trenlerde sürücünün kabin değişmesi zaman alacağından bu gecikme süresi daha zor giderilir.

Kısa bir zaman diliminde yüksek talep doğurabilecek olan etkinlikler için ek hizmet sağlamak mümkündür (ilave sürücüye ihtiyaç duymadan) yüksek bir verimlilik düzeyi ve maliyet tasarrufu sağlar (UITP Eğitim Programı Ian Graham 2010).

Tablo 5.2’de yapılan karşılaştırmada 2. seviye yarı otomatik metro (Taksim metrosu, STO) ve 4. seviye tam otomatik insansız metro (Üsküdar-Ümraniye metrosu UTO) sistemleri baz alınarak karşılaştırma yapılmıştır.

Tablo 5.2: Hizmet özelliklerinin karşılaştırılması

Hizmet Kriterleri	Sürücülü	Sürücüsüz
Hizmet Kalitesi	orta	yüksek
Verimlilik	orta	yüksek
Kapasite	orta	yüksek
Güvenlik	orta	yüksek
Güvenirlilik	orta	yüksek
Bekleme Süresi Avantajı	düşük	yüksek
Yolculuk Süresi Avantajı	orta	yüksek
Genel Ticari Hız	düşük	yüksek

5.1.1 Sürücüsüz Metro Sistem Hizmet Özelliklerinin Avantajları

1. Optimize edilmiş hızlanma, frenleme, işletim hızı sayesinde ve sürücü kaynaklı gecikmeler olmadığından daha kısa seyahat süresi daha kaliteli hizmet sağlar.
2. Sürücüsüz sistemlerde seyahat, bekleme süresinin kısılması ve sürüş kalitesinin artması hizmet kalitesini artırır.
3. Ani talep yükselmelerinde hiçbir personele ihtiyaç duymadan ek servisler yapılarak hizmet kalitesi artırılır.
4. Sistem sürücüsüz olduğundan personelin işe gecikmesi veya hiç gelmemesi hizmet kalitesini etkilemez.

5. Sürücüsüz sistemlerde kısa zaman döngüsü, ani talep yükselme ve azalmalarına hemen müdahale edilmesi verimi artırmaktadır.
6. Daha kısa sefer aralığı (75 saniye) işletme yapıldığı için kapasitesi daha yüksektir.
7. Sefer aralığı sürelerinin kısalmasından dolayı yolcuların bekleme süresi kısalmaktadır.
8. Sefer aralığı sürelerinin kısalması, seyahat ve bekleme sürelerinin kısalması genel ticari hızı artırır.
9. Sürücüsüz metrolarda sistem aksaklıkları daha az olduğundan güvenilirliği daha yüksektir.
10. İnsan kaynaklı hatalar azaldığından ve güvenlik sistemlerinin geliştiğinden (engel, yangın algılama vb.) güvenliği daha da artmıştır.

5.1.2 Sürücüsüz Metro Sistem Hizmet Özelliklerinin Dezavantajları

1. Halka şüphencilik verir.
2. Halka güvensizlik verir (UITP Eğitim Programı Laurent Dauby 2010).

5.2 SERVİS ÖZELLİKLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

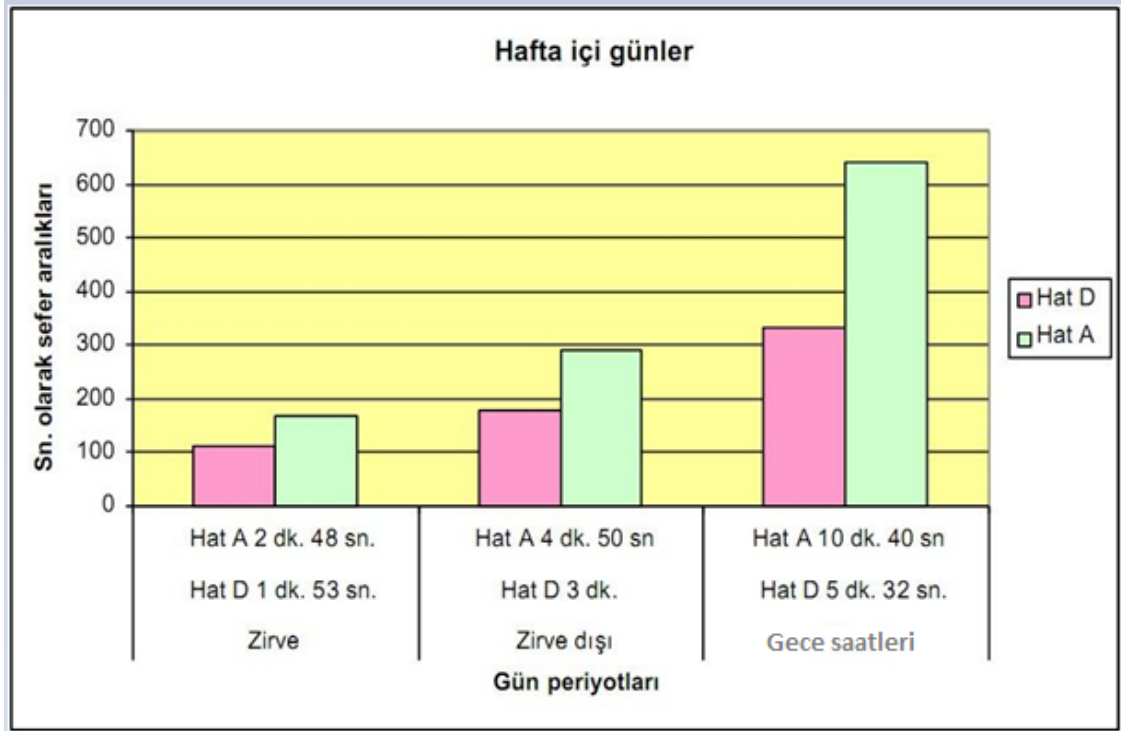
Metro sistemlerinde otomasyonunun artması servis kalitesini artırmaktadır. Sistem otomasyonu ilerleme aralıklarının kısalmasına ve yolculuk süresinin kısalmasına sebep olur. Bunlar ise genel ticari hızın artmasına ve yolcu bekleme süresinin kısalması servis kalitesini artırmaktadır.

Sürücüsüz metro sistemlerinin servisi zamanında tamamlama yüzdesi yüzde 99 ile yüzde 99,5 arasında değişmektedir. Lille ve Toulouse gibi platform kapılarıyla donatılmış metro sistemlerinde servis kalitesi yüzde 99,7'e kadar yükselmektedir (UITP Metrolar Çalışma Grubu 1997).

Metrolar maksimum 80 km/h hız yapmaktadır. İstasyonlarda 20 saniye durur ve daha sonra devam etmektedir. Ortalama işletme hızı 40 km/h'dir. Sürücüsüz sistemleri sefer

aralığı sürücülü sisteminden daha iyidir. Şekil 5.5’de gösterildiği gibi Lyon D hattı sürücüsüz metro sistemi ve Lyon A hattı sürücülü metro sistemidir.

Şekil 5.5: Sürücülü ve sürücüsüz metroların sefer aralıkları



Kaynak: UITP 3-5Aralık Lausanne Bernard Tabary Genel Müdür

Hizmet düzeyleri, çalışanların vardiyalarını herhangi bir şekilde etkilemeden, kısa sürede yeniden ayarlanabilir. Beklenmeyen talebe göre hizmeti yeniden ayarlamak mümkündür. Planlı alternatif hizmet tren sayısı ve tur süresi değiştirilse bile nispeten daha kısa bir zamanda gerçekleştirilebilmektedir. Plansız arıza ve gecikmeleri, müşteri hizmeti önceliklerine göre yönetmek mümkündür (UITP Eğitim Programı Ian Graham 2010).

Yapılan servis karşılaştırılmasında 2. seviye yarı otomatik metro (STO) ile 4.seviye tam otomatik metro UTO karşılaştırılması yapılmıştır. Yapılan karşılaştırma Tablo 5.3’de gösterilmiştir.

Tablo 5.3: Servis özelliklerinin karşılaştırması

Servis Kriterleri	Sürücülü	Sürücüsüz
Sürüş Kalitesi	orta	yüksek
Planlı Hizmet	düşük	yüksek
Yolcu Talebine Müdahale	düşük	yüksek
Daha Az Tren Gereksinimi	orta	yüksek
Azaltılmış Depolama Sahası	orta	yüksek
Hata ve Gecikmeleri Düzeltme	orta	yüksek
Acil Durum Müdahale	orta	yüksek
Müdahale Edilebilir Arıza Durumu	kötü	yüksek
Müdahale Edilemeyen Arıza Durumu	yüksek	düşük

5.2.1 Sürücüsüz Metro Sistem Servis Özelliklerinin Avantajları

1. Sürüş otomatik olduğu için tüm trenlerde aynı sürüş kalitesi vardır.
2. Metro sistemlerinin otomatikleşmesi ile daha planlı hizmet yapılmaktadır.
3. Ani yolculuk dalgalanmalarına müdahale etmek sürücüsüz sistemlerde daha kolaydır. Sistem otomatik olduğu için depo sahasından hatta hemen tren enjekte edilir.
4. Sürücüsüz metrolarda daha kısa sefer aralığı ve uç noktalarda bekleme süreleri az olduğundan daha hızlı işletme yapılır. Bu nedenle daha az trene ihtiyaç vardır.
5. Sürücüsüz metrolarda sistem otomatik olduğu için hata ve gecikmelere anında müdahale edilerek giderilir.
6. Arıza müdahalesi Kontrol Merkezinden yapıldığı için arıza daha hızlı giderilir.
7. Tren sayısının azalmasından dolayı depolama sahası küçülmektedir.
8. Hizmet düzeyleri, kısa sürede ayarlanabilir çalışan vardiyadan etkilenmez.
9. Hizmet talebine göre program ayarlanır.

5.2.2 Sürücüsüz Metro Sistem Servis Özelliklerinin Dezavantajları

1. Sürücüsüz metrolarda her hangi bir acil durumda yolcuyu tahliye etmekte sorunlar yaşanmaktadır
2. Sürücüsüz metrolarda Kontrol Merkezi arızaya müdahale edemiyorsa bölgeye kurtarıcı tren gönderilir. Bu da zaman ve servis aksamalarına sebep olur (UITP Eğitim Programı Laurent Dauby 2010).

5.3 TEKNİK ÖZELLİKLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

Sürücüsüz metro sistemleri daha az arıza yapması için kalite kontrol, test prosedürlerine uygun standartlar sinyal ve tren kontrol ekipmanları seçilir. Genel donanım sistemleri kullanılabilirliği yüksek düzeyde olması gerekir. Uzaktan teşhis yetenekleri, sinyal ve tren kontrol ekipmanları hataları algılayıp hemen tepki geliştirmesi gerekir. Bakım ve teşhis yetenekleri sağlayan yerleşik test cihazları, diğer arıza lambaları arızaları zamanında tespit ederek sorun giderilir (IRSE Dr Alan F. Rumsey 2009).

Sürücülü metro sistemlerinde trenle ilgili tüm müdahaleleri sürücü yapmaktadır. Arıza, yangın, acil durum, yolcu tahliye gibi durumlara sürücü müdahale eder. Trenin önüne çıkabilecek engellerin kontrolü, kapıya sıkışabilecek yolcuların kontrolü, yolcu bölümünde çıkabilecek acil durum ve kargaşa gibi durumlarda sürücünün kontrolündedir. Araçla ilgili tüm durumlarda ilk müdahale sürücü tarafından yapılmaktadır.

Sürücüsüz metro sistemlerinde sürücü bulunmadığından sürücünün yaptığı tüm müdahale ve kontrolleri elektronik sistemler yardımı ile Trafik Kontrol Merkezinden yapılır. Trenin arıza, yangın, acil durum gibi durumlarda Kontrol Merkezindeki tren ile ilgili iş istasyonuna gelen alarm bilgisine göre trene müdahale edilir. Tüm müdahaleler Kontrol Merkezinden yapılmaktadır. Tablo 5.4'de yapılan teknik karşılaştırmada 2. seviye yarı otomatik metro (STO) ile 4. seviye tam otomatik metrolar arasında yapılmıştır.

Tablo 5.4: Sürücülü ve sürücüsüz metroların teknik karşılaştırılması

Teknik Karşılaştırma	Sürücülü	Sürücüsüz
Engel Algılama	yok	var
Yangın Algılama	var	var
Acil Durum Freni (EB) Başlatma Ve Resetleme	yok	var
Otomatik Canlandırma Ve Test	yok	var
Tren Durum Ve Alarm Bilgilerinin TCC'ye İletilmesi	yok	var
TCC'den Tüm Tren Kapılarının Açılıp Kapatıla Bilmesi	yok	var
Araç İçi TCC arası Çift Yönlü Haberleşme Sistemi	yok	var
PSD Platform Kapılar	yok	var

5.3.1 Sürücüsüz Metro Sistem Teknik Özelliklerin Avantajları

1. Engel algılama sistemi sayesinde daha güvenli sürüş
2. Yangın algılama sistemi trende çıkabilecek yangınlara daha erken müdahale etme olanağı sağlayarak daha güvenli işletme
3. Otomatik test sayesinde arızalı trenlerin hatta çıkmasını engellemek
4. Tren alarm bilgilerini TCC 'ye ileterek oluşacak arıza veya kötü durumlara hemen müdahale ederek daha hızlı işletme
5. Araç içi video gözetimi ile araç içindeki olumsuz durumlara erken müdahale ile daha güvenli işletme
6. Otomatik hata algılama sistemleri sayesinde insan hatalarını ortadan kaldırır
7. Platform kapılar sayesinde kaza ve intihar olayları azalır, daha güvenli hizmet sağlar
8. Platform kapılar, yolcuların tren kapılarının kapanmasına müdahale etmesini engeller ve tren gecikmelerini ortadan kaldırır.
9. Platform kapılar tünel ve istasyon havalandırmasını daha iyi yapılmasını sağlar
10. Platform kapılar görme yeteneği olmayan yolcular için daha fazla güvenlik sağlar

5.3.1 Sürücüsüz Metro Sistem Teknik Özelliklerin Dezavantajları

1. Sürücüsüz metrolar daha karmaşık bir yapıya sahip oldukları için bakımları zordur.
2. Daha kalifiyeli elemanlara ihtiyaç vardır.

5.4 MALİYET KARŞILAŞTIRILMASI

Kadıköy - Kartal Metro Projesi, İstanbul'un Anadolu Yakasında yer almaktadır. Çift hatlı ve 21,020 m uzunluğunda olan güzergâh üzerinde 16 istasyon planlamıştır. Kadıköy vapur isketesi önünden başlayan güzergâh, D-100 karayolu koridorunu takip ederek Kartal Kavşağına kadar uzanmaktadır. Genel proje bilgileri Tablo 5.5'de verilmiştir (Kadıköy-Kartal metrosu fizibilite etüdü 2005).

Tablo 5.5: Kadıköy Kartal metrosunun proje bilgileri

Toplam Güzergâh Uzunluğu	21.663 m
Toplam Tek Hat Tünel Boyu	43.326 m
Bağlantı ve Merdiven Tünelleri Dahil Toplam Tünel Boyu	56.150 m
Toplam Ray Uzunluğu	48.572 m
İstasyon Sayısı	16

Kadıköy-Kartal Metrosu ana hat tünellerinden Kadıköy-Kozyatağı arası 2 adet TBM “Tünel Açma Makinesi” kullanılarak açılmıştır. Kozyatağı-Kartal arası tünellerde 2 adet TBM “Tünel Açma Makinesi” kullanılmıştır. Tüm istasyon peron tünelleri ve makas tünelleri ise NATM (Yeni Avusturya Tünel Metodu) ile inşa edilmiştir. Toplam inşaat maliyeti 1.135.214.262 dolardır.

İstasyonların peron boyu 180 m olup trenler 4’lizi 1000 yolcu kapasiteli veya 8’li dizi 2000 yolcu kapasiteli vagonlardan oluşan metro trenleri her 2,5 dakikada ile 90 saniye

arasında aynı yöne doğru hareket edeceklerdir. Sistem, yoğun saatte bir saat içerisinde aynı yöne 70.000 yolcu taşıyabilecek kapasitede olup, günde bir milyonun üzerinde yolcuya hizmet vermesi planlanmaktadır.

Gelecek için öngörülen yolculuk taleplerini karşılamak üzere araç sayıları (yüzde 15 yedek araç da göz önüne alınarak) aşağıdaki gibi hesaplanmıştır. Proje konusu hatta işletilmesi öngörülen araçların toplam yolcu kapasitesi, 57 oturan ve 177 ayakta (6 kişi/m²) olmak üzere, 234 yolcu olarak alınmıştır. Böylece, 8 araçlık bir dizinin kapasitesi 1872 yolcu olarak hesaplanmaktadır. Doruk saatlerde ortalama doluluk oranı 0.90 olarak kabul edilmiştir. İlk etapta alınacak bir vagonun bedeli 1.500.000 dolar ve toplam 120 vagonun maliyeti ise 180.000.000 dolardır (İBB. İnteraktif uygulama).

Tez çalışmasında yapılacak maliyet karşılaştırmasında sürücülü 3. seviye olarak yapılan Kadıköy-Kartal Metrosu incelenecektir. Belirli bir karşılaştırma yapabilmek için Kadıköy-Kartal Metrosu sürücüsüz 4. seviye olarak yapılıyorsa ne gibi ek yatırım ve bakım maliyetleri ortaya çıkar bunlar belirlenerek karşılaştırma yapılacaktır.

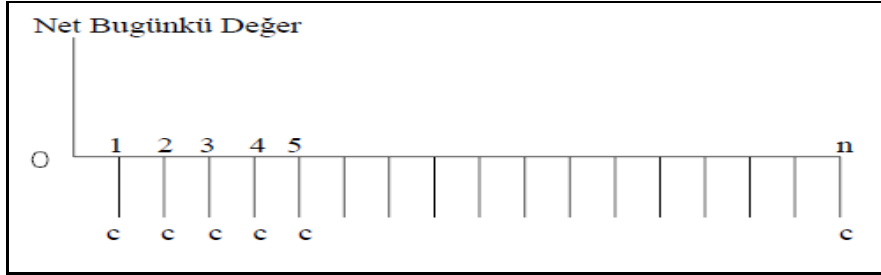
Metroların inşaat maliyetleri tünelin derinliğine, zeminin türüne, istasyonlar arası mesafeye, istasyonun uzunluğuna ve kamulaştırma bedeline bağlıdır. Buradan da anlaşılacağı gibi metroların inşaat maliyetleri otomasyon derecelerine bağlı değildir. Yapılan metronun sürücülü veya sürücüsüz olması inşaat maliyetini etkilemediğinden karşılaştırmada inşaat maliyetleri dikkate alınmayacaktır.

Yapılan maliyet karşılaştırmasında sadece sürücülü metro sistemi sürücüsüzüye dönüştürülürse ne kadar bir ek yatırım ve bakım maliyeti ortaya çıkar bunlar belirtilmiştir. Sürücüsüz metro sisteminde sürücü olmadığından dolayı sürücüden ne kadar bir kar elde edilir bunlar belirlenerek karşılaştırmalar yapılacak.

Yapılacak yatırım ve bakım maliyetleri, net bugünkü değer analizine göre hesaplanarak karşılaştırılmalıdır. Net bugünkü değer analizinde gelecek yıllardaki maliyetler, piyasa yıllık faiz oranına göre bugünkü değere dönüştürülmektedir. İlk maliyetinin eklenmesi

ile beraber projenin başlangıcındaki “net bugünkü maliyet” hesaplanır. Yapılacak maliyet karşılaştırmalarında Şekil 5.6’da gösterildiği gibi Net Bugünkü Değer Metodu kullanılacaktır.

Şekil 5.6: Eşdeğer yıllık maliyet



$$\text{Net Bugünkü Değer} = cX[1/(1+r) + 1/(1+r)^2 + 1/(1+r)^3 + \dots + 1/(1+r)^n] \quad (5.1)$$

c: Eşdeğer yıllık maliyet

r: Yıllık faiz yüzdesi

n: Yıl sayısı

5.4.1 Sürücüsüz Metro Araç Maliyeti

Sürücüsüz metrolarda sürücü bulunmadığından dolayı sürücünün yaptığı bütün işleri elektronik sistemler yapar. Bu elektronik sistemlerden dolayı araç maliyeti klasik metrolardan fazladır. Alstom, Rotem ve CAF gibi metro aracı üreten firmalardan alınan bilgilere göre araç maliyeti klasik metrolardan yüzde 2-3 daha fazladır. Tam donanımlı sürücüsüz metrolarda ise araç maliyeti klasik metrolardan yüzde 5 daha fazladır. Yapılan maliyet hesabında tam donanımlı metrolar dikkate alınacaktır. Kadıköy-Kartal Metrosu alınan CAF marka trenlerin bir vagonunun maliyeti 1.500.000 dolardır. Eğer vagonlar sürücüsüz olsaydı bir vagonunun maliyeti 1.575.000 dolar olacaktır. Maliyetler Tablo 5.6’da gösterilmiştir.

Tablo 5.6: Metro araç maliyetleri

	Toplam Araç Sayısı	Araç Birim Fiyatı	Araç Maliyeti
Sürücülü Metro	120	1.500.000	180.000.000
Sürücüsüz Metro	120	1.575.000	189.000.000
Toplam Fark	120	75.000	9.000.000

5.4.2 Platform Kapı (PSD)Yapım Maliyeti

Sürücüsüz metrolarda peronlar platform kapılarla donatılmaktadır. Platform kapı maliyeti Raylı Sistemler Müdürlüğünden alınan bilgiye göre metresi 3.125 dolardır. Kadıköy-Kartal Metrosu istasyon uzunluğu 180 metre, her istasyonda iki peron bulunmakta ve toplam 16 istasyon vardır. Toplam peron uzunluğu ve toplam PSD maliyeti Tablo 5.7’de verilmiştir.

Tablo 5.7: Platform kapı yapım maliyeti

İstasyon Uzunluğu (m)	İstasyon Sayısı	Toplam Peron Uzunluğu (m)	Toplam PSD Maliyeti (\$)
180*2	16	5760	18.000.000

5.4.3 Platform Kapı (PSD)Bakım Maliyeti

Platform kapı maliyetleri Paris Meteor Metro Hattındaki 288 tane kapının bakım maliyeti yıllık 250.000 dolardır. Platform kapı başına yıllık bakım maliyeti 868 dolardır. Kadıköy-Kartal metrosuna toplam 1024 platform kapıya ihtiyaç vardır ve bunların toplam bakım maliyeti $868 \times 1024 = 888.832$ dolardır. Kadıköy-Kartal fizibilite etüdüne göre işçilik ve bakım maliyeti için ön görülen faiz oranı yüzde 2’dir. Yapmış olduğum platform kapı bakım maliyet hesabında her yıl yüzde 2 oranında artırılmıştır. Tablo

5.8'de 30 yıl boyunca hesaplanmış bakım maliyeti gösterilmiştir. Toplam bakım maliyeti 36.058.207 dolar olmaktadır.

Tablo 5.8: PSD bakım maliyeti

Yıl	PSD BAKIM	2012 Yılındaki Değer
2012	888.832	888.832
2013	906.609	755.507
2014	924.741	642.181
2015	943.236	545.854
2016	962.100	463.976
2017	981.342	394.379
2018	1.000.969	335.223
2019	1.020.989	284.939
2020	1.041.408	242.198
2021	1.062.237	205.869
2022	1.083.481	174.988
2023	1.105.151	148.740
2024	1.127.254	126.429
2025	1.149.799	107.465
2026	1.172.795	91.345
2027	1.196.251	77.643
2028	1.220.176	65.997
2029	1.244.579	56.097
2030	1.269.471	47.683
2031	1.294.860	40.530
2032	1.320.758	34.451
2033	1.347.173	29.283
2034	1.374.116	24.891
2035	1.401.599	21.157
2036	1.429.630	17.983
2037	1.458.223	15.286
2038	1.487.388	12.993
2039	1.517.135	11.044
2040	1.547.478	9.387
2041	1.578.428	7.979
Toplam	36.058.207	5.880.330

5.4.4 Sürücü Maliyeti

Kadıköy - Kartal metro hattının, mevcut metro hattına benzer şekilde, günde 18 saat işletileceği öngörülmüştür Bunun 6 saati doruk zaman aralığında olacak ve sefer aralıkları, doruk saat yolculuk talebine göre, yıllar itibariyle değişecektir. 8 saat olarak öngörülen doruk dışı saatlerdeki sıklıklar ise 4 saat olarak öngörülen gece saatlerindeki sıklıklar ise Ulaşım A Ş tarafından işletilmekte olan metrodaki yolculukların saatlere dağılımlarına uygun olarak hesaplanmıştır Tablo 5.9'da doruk ve doruk dışı saatlerde mevcut metro hattının trafiği gösterilmiştir.

Tablo 5.9: Doruk ve doruk dışı saatlerde mevcut metro hattının trafiği

	Süre (Saat)	Günlük Trafik İçerisindeki Payı (%)
Zirve Saatler (7:00 - 10:00, 17:00 - 20:00)	6	33,33
Zirve Dışı Saatler (10:00 - 17:00, 20:00- 21:00)	8	44,45
Gece Saatleri (21:00 - 00:00, 06:00 -07:00)	4	22,22
Toplam	18	100,00

Kaynak: Ulaşım A.Ş Ekim 2004

Bu bölümde, 2012-2041 yılları arasındaki değerlendirme dönemi için tahmin edilen yolculuk taleplerine göre, Kadıköy-Kartal metro hattı üzerindeki gerekli araç sayıları, sürücü sayıları ve buna bağlı sürücü maliyetleri Tablo 5.10'da gösterilmiştir. Gerekli sürücü sayısını bulmak için gerekli dizi sayısı ile 3.8 çarpılarak gerekli sürücü sayısı bulunur. Buradaki 3.8 katsayısı 2000 yılında açılan Taksim Metrosundaki dizi başına gerekli olan sürücü sayısıdır. Ulaşım A.Ş' den alınan bilgiye göre bir sürücü maliyeti 2012 itibarı ile 2.857 dolardır. Kadıköy-Kartal Metrosu fizibilite etüt çalışmasında yıllık yüzde 2 oranında enflasyon artışı öngörülmüştür. Yıllara göre sürücü maliyeti hesaplarına yüzde 2 enflasyon oranı yansıtılmıştır (Kadıköy-Kartal metrosu fizibilite etüdü 2005).

Tablo 5.10: Sürücü maliyeti

Yıllar	Gerekli Dizi Sayısı A	Gerekli Sürücü Sayısı A*3,8=B	Bir Sürücünün Maliyeti \$ C	Aylık Toplam Sürücü Maliyeti \$ B*C=D	Yıllık Toplam Sürücü Maliyeti \$ D*12	2012 Yılındaki Değer
2012	14	54	2.857	154.286	1.851.429	1.851.428
2013	14	54	2.914	157.371	1.888.457	1.716.779
2014	15	57	2.973	169.437	2.033.239	1.680.362
2015	15	57	3.032	172.825	2.073.904	1.558.154
2016	15	57	3.093	176.282	2.115.382	1.444.834
2017	15	57	3.155	179.807	2.157.689	1.339.755
2018	15	57	3.218	183.404	2.200.843	1.242.318
2019	17	63	3.282	206.763	2.481.161	1.273.228
2020	17	63	3.348	210.899	2.530.784	1.180.629
2021	17	63	3.415	215.117	2.581.400	1.094.765
2022	17	63	3.483	219.419	2.633.028	1.015.146
2023	17	63	3.552	223.807	2.685.689	941.317
2024	17	63	3.624	228.284	2.739.402	872.858
2025	19	69	3.696	255.025	3.060.304	886.461
2026	19	69	3.770	260.126	3.121.510	821.991
2027	19	69	3.845	265.328	3.183.940	762.210
2028	19	69	3.922	270.635	3.247.619	706.776
2029	19	69	4.001	276.048	3.312.571	655.375
2030	19	69	4.081	281.569	3.378.823	607.711
2031	23	81	4.162	337.148	4.045.773	661.516
2032	23	81	4.246	343.891	4.126.688	613.406
2033	23	81	4.330	350.768	4.209.222	568.794
2034	23	81	4.417	357.784	4.293.406	527.428
2035	23	81	4.505	364.940	4.379.275	489.069
2036	23	81	4.596	372.238	4.466.860	453.501
2037	27	93	4.687	435.932	5.231.189	482.818
2038	27	93	4.781	444.651	5.335.813	447.704
2039	27	93	4.877	453.544	5.442.529	415.144
2040	27	93	4.974	462.615	5.551.380	384.951
2041	27	93	5.074	471.867	5.662.408	356.955
Toplam			115.909	8.501.810	102.021.717	27.053.382

5.4.5 Sürücülü Ve Sürücüsüz Metroların Maliyet Karşılaştırması

Maliyet karşılaştırması 30 yıllık bir dönemi kapsamaktadır. Sürücüsüz metro sistemlerinde sürücülü metrolardan farklı olarak ek yatırım maliyetleri vardır. Bunlar 9 milyon dolar sürücüsüz metro aracı farkı, 18 milyon dolar platform kapı farkıdır.

Sürücülü ve sürücüsüz metrolar arasında araç bakımları arasında bir fark olmadığından araç bakım maliyetleri hesaplanmayacaktır. Platform kapı bakım maliyeti yıllık 888.832 dolardır ve her yıl yüzde 2 enflasyon artış eklenmiştir. Bu maliyetler sürücüsüz metroların sürücülü metrolardan farklı ilk yatırım ve bakım maliyetleridir.

Sürücülü metro sistemlerinde bir sürücü maliyeti vardır. 30 yıllık dönem için hesaplanan bu maliyet 102.021.701 dolardır. Sürücülü metrolarda bu maliyet personel gideri olarak hesaplanır. Sürücüsüz metrolarda sürücü bulunmadığından dolayı 30 yıllık sürücü maliyeti olan 102.021.701 dolar sürücüden elde edilen faydadır.

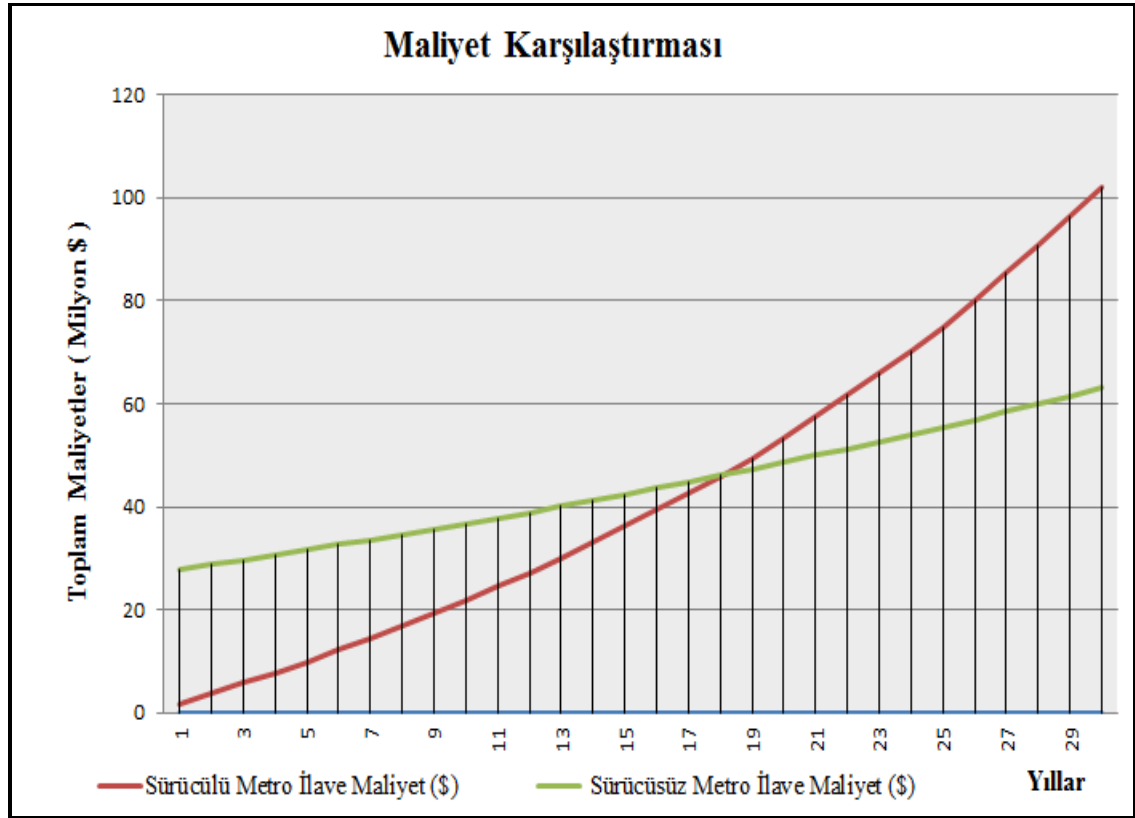
Yapılacak maliyet karşılaştırmasında sürücülü veya sürücüsüz metrolardaki diğer giderler (inşaat, elektromekanik, sinyalizasyon ve araç maliyetleri) ve gelirler (yolcu, kira ve reklam) aynı olarak kabul edilecektir. Maliyet karşılaştırmasına hesaplanmayacaktır. Sadece sürücülü ve sürücüsüz metrolardaki farklı maliyetler karşılaştırmada kullanılacaktır. Tablo 5.11’de yıllara göre maliyetler hesaplanmıştır.

Tablo 5.11: Toplam maliyetler

Yıllar	Sürüclü Metro İlave Maliyet (\$)	Sürücüsüz Metro İlave Maliyet (\$)
2012	1.851.429	27.888.832
2013	1.888.457	906.609
2014	2.033.239	924.741
2015	2.073.904	943.236
2016	2.115.382	962.100
2017	2.157.689	981.342
2018	2.200.843	1.000.969
2019	2.481.161	1.020.989
2020	2.530.784	1.041.408
2021	2.581.400	1.062.237
2022	2.633.028	1.083.481
2023	2.685.689	1.105.151
2024	2.739.402	1.127.254
2025	3.060.304	1.149.799
2026	3.121.510	1.172.795
2027	3.183.940	1.196.251
2028	3.247.619	1.220.176
2029	3.312.571	1.244.579
2030	3.378.823	1.269.471
2031	4.045.773	1.294.860
2032	4.126.688	1.320.758
2033	4.209.222	1.347.173
2034	4.293.406	1.374.116
2035	4.379.275	1.401.599
2036	4.466.860	1.429.630
2037	5.231.189	1.458.223
2038	5.335.813	1.487.388
2039	5.442.529	1.517.135
2040	5.551.380	1.547.478
2041	5.662.408	1.578.428
Toplam	102.021.701	63.058.207

Sürücüsüz metrolarda sürücüden elde edilen fayda Şekil 5.7’de gösterildiği gibi ilk yatırım ve platform kapı bakım maliyetlerini 18 yılda karşılamaktadır. Sürücüsüz sistem 19. yılda fayda sağlamaya başlamaktadır.

Şekil 5.7: İlk yatırım ve platform kapı bakım maliyetlerini karşılaştırması



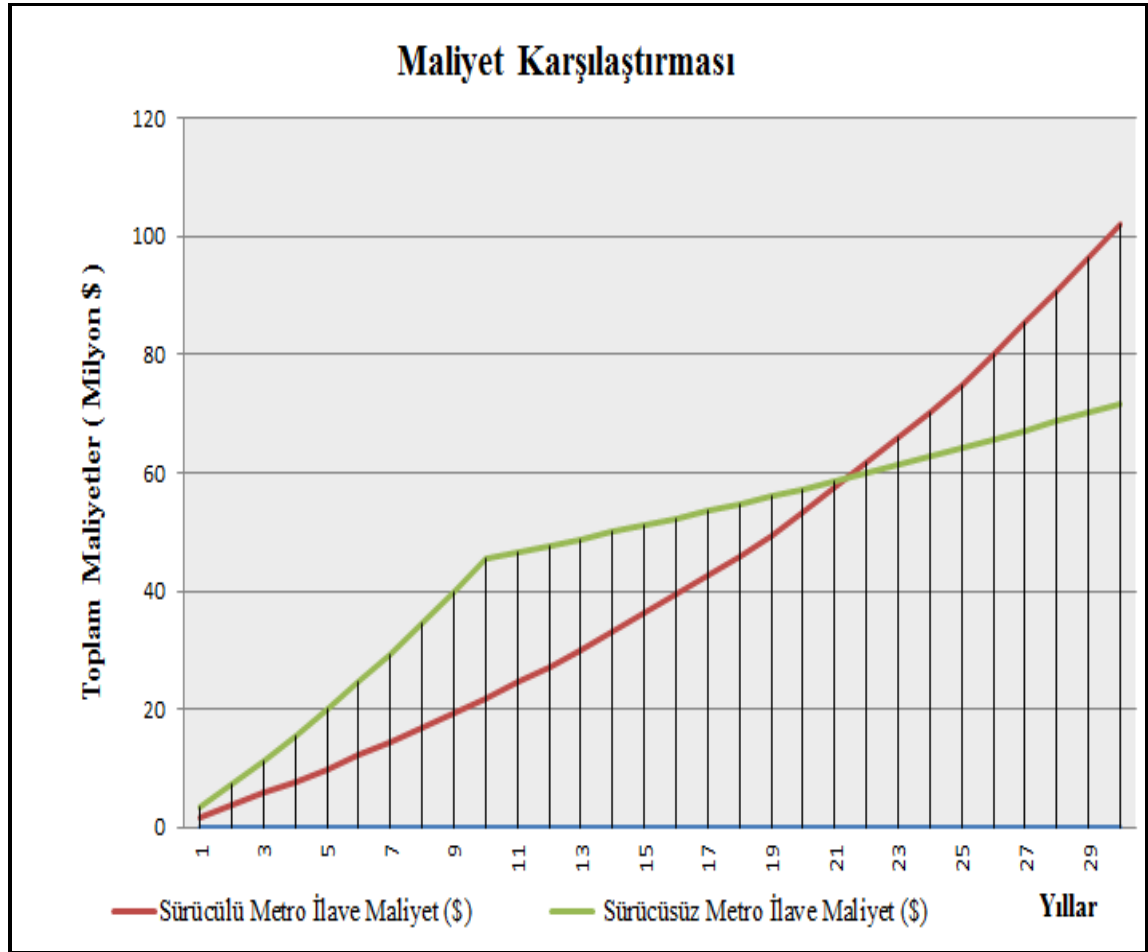
Yapılan hesaplama sürücüsüz metro ilk yatırım maliyeti olan 27.000.000 doları 10 yıllık eşit taksitlerle geri ödenecek şekilde yapılmış olup libör faiz oranı kullanılarak hesaplanmıştır. Londra Bankalararası Para Piyasasında, bankaların kendi aralarındaki kısa dönemli ödünç işlemlerine uyguladıkları ve uluslararası kredi faizlerine temel oluşturan ve günlük olarak Londra'daki beş büyük banka tarafından belirlenen faiz oranına libör faiz oranı denir. Hesaplama alınan faiz oranları dolar bazında alınmıştır. Libör faiz oranı 1 Haziran 2012 tarihinde yüzde 1,07 olarak alınmış bunun üzerine bankaların aldığı kar oranı yüzde 5 eklenerek hesaplamalar yapılmıştır. Tablo 5.12’de yıllara göre 10 yıllık libör faiz oranı ile maliyetler hesaplanmıştır.

Tablo 5.12: Toplam maliyetler 10 yıllık libör faiz oranı ile

Yıllar	Sürücülü Metro İlave Maliyet (\$)	Sürücüsüz Metro İlave Maliyet (\$)
2012	1.851.429	3.588.832
2013	1.888.457	3.770.499
2014	2.033.239	3.962.469
2015	2.073.904	4.165.354
2016	2.115.382	4.379.801
2017	2.157.689	4.606.498
2018	2.200.843	4.846.171
2019	2.481.161	5.099.595
2020	2.530.784	5.367.586
2021	2.581.400	5.651.013
2022	2.633.028	1.083.481
2023	2.685.689	1.105.151
2024	2.739.402	1.127.254
2025	3.060.304	1.149.799
2026	3.121.510	1.172.795
2027	3.183.940	1.196.251
2028	3.247.619	1.220.176
2029	3.312.571	1.244.579
2030	3.378.823	1.269.471
2031	4.045.773	1.294.860
2032	4.126.688	1.320.758
2033	4.209.222	1.347.173
2034	4.293.406	1.374.116
2035	4.379.275	1.401.599
2036	4.466.860	1.429.630
2037	5.231.189	1.458.223
2038	5.335.813	1.487.388
2039	5.442.529	1.517.135
2040	5.551.380	1.547.478
2041	5.662.408	1.578.428
Toplam	102.021.701	70.374.971

Sürücüsüz metrolarda sürücüden elde edilen fayda Şekil 5.8’de gösterildiği gibi ilk yatırım ve platform kapı bakım maliyetlerini 21 yılda karşılamaktadır. Sürücüsüz sistem 22. yılda fayda sağlamaya başlamaktadır.

Şekil 5.8: İlk yatırım ve platform kapı bakım maliyeti 10 yıllık libör faiz oranı ile



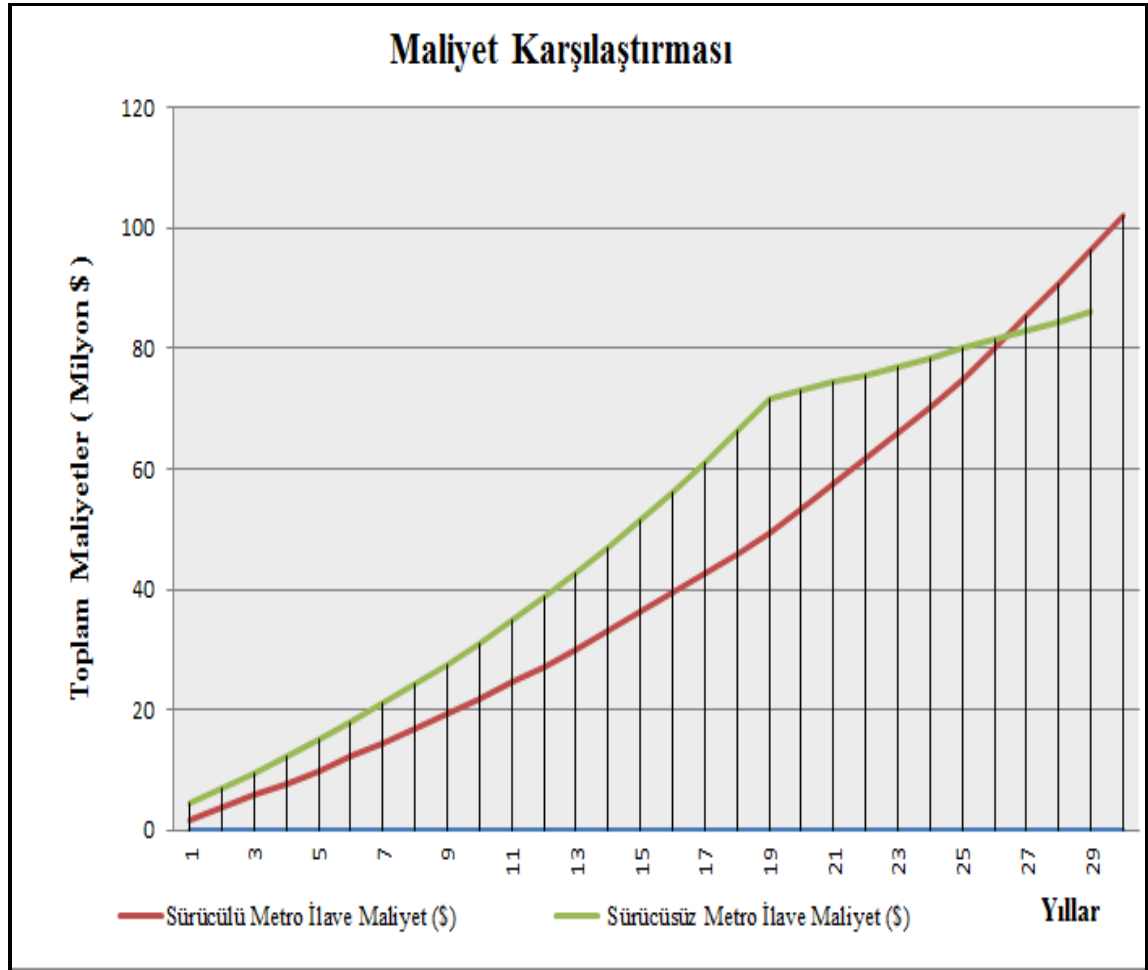
Yapılan hesaplama sürücüsüz metro ilk yatırım maliyeti olan 27.000.000 doları 20 yıllık eşit taksitlerle geri ödenecek şekilde yapılmış olup Libör faiz oranı ve bankaların aldığı kar oranı yüzde 5 eklenerek hesaplamalar yapılmıştır. Tablo 5.12’de yıllara göre 20 yıllık libör faiz oranı ile maliyetler hesaplanmıştır.

Tablo 5.13: Toplam maliyetler 20 yıllık libör faiz oranı ile

Yıllar	Sürücülü Metro İlave Maliyet (\$)	Sürücüsüz Metro İlave Maliyet (\$)
2012	1.851.429	2.238.832
2013	1.888.457	2.338.554
2014	2.033.239	2.443.605
2015	2.073.904	2.554.295
2016	2.115.382	2.670.951
2017	2.157.689	2.793.920
2018	2.200.843	2.923.570
2019	2.481.161	3.060.292
2020	2.530.784	3.204.497
2021	2.581.400	3.356.625
2022	2.633.028	3.517.139
2023	2.685.689	3.686.531
2024	2.739.402	3.865.324
2025	3.060.304	4.054.070
2026	3.121.510	4.253.355
2027	3.183.940	4.463.801
2028	3.247.619	4.686.067
2029	3.312.571	4.920.850
2030	3.378.823	5.168.891
2031	4.045.773	5.430.975
2032	4.126.688	1.320.758
2033	4.209.222	1.347.173
2034	4.293.406	1.374.116
2035	4.379.275	1.401.599
2036	4.466.860	1.429.630
2037	5.231.189	1.458.223
2038	5.335.813	1.487.388
2039	5.442.529	1.517.135
2040	5.551.380	1.547.478
2041	5.662.408	1.578.428
Toplam	102.021.701	86.094.070

Sürücüsüz metrolarda sürücüden elde edilen fayda Şekil 5.9’de gösterildiği gibi ilk yatırım ve platform kapı bakım maliyetlerini 26 yılda karşılamaktadır. Sürücüsüz sistem 27. yılda fayda sağlamaya başlamaktadır.

Şekil 5.9: İlk yatırım ve platform kapı bakım maliyeti 20 yıllık libör faiz oranı ile



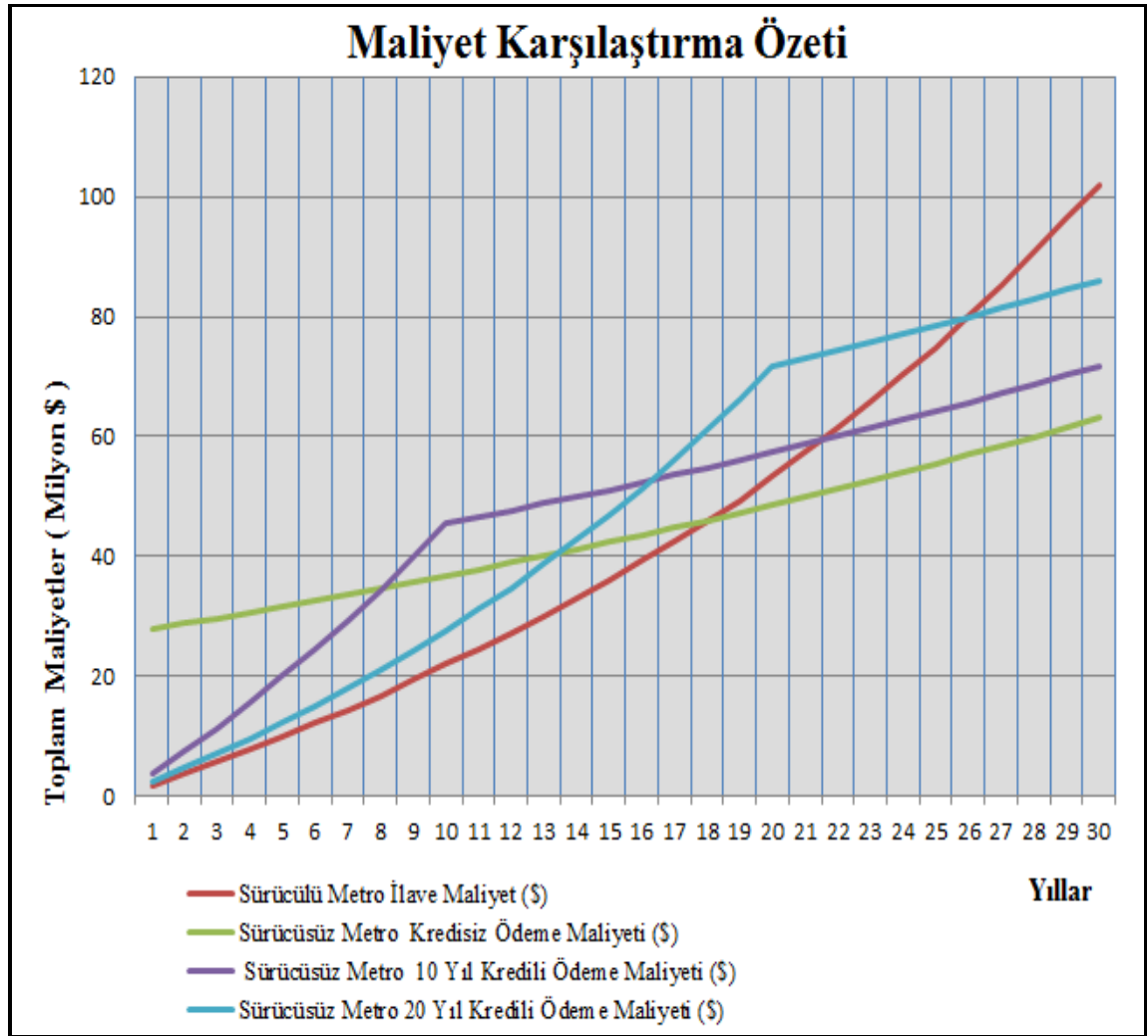
Yapılan özet karşılaştırmasında Tablo 5.14’de gösterilmiştir. Sürücülü metro ilave maliyeti ve sürücüsüz metro ilk yatırım maliyeti olan 27.000.000 dolar ve PSD bakım maliyetleri hesaplanmıştır. Sürücüsüz metro yatırım maliyeti ilk olarak kredisiz, ikinci olarak 10 yıllık libör faizi oranı ile kredili, son olarak da 20 yıllık libör faiz oranı ile kredili hesaplanmıştır.

Tablo 5.14: Özet karşılaştırma tablosu

Yıllar	Sürücülü Metro İlave Maliyet (\$)	Sürücüsüz Metro Maliyet Kredisiz Ödeme (\$)	Sürücüsüz Metro Maliyet 10 Yıl Kredili Ödeme (\$)	Sürücüsüz Metro Maliyet 20 Yıl Kredili Ödeme (\$)
2012	1.851.429	27.888.832	3.588.832	2.238.832
2013	1.888.457	906.609	3.770.499	2.338.554
2014	2.033.239	924.741	3.962.469	2.443.605
2015	2.073.904	943.236	4.165.354	2.554.295
2016	2.115.382	962.100	4.379.801	2.670.951
2017	2.157.689	981.342	4.606.498	2.793.920
2018	2.200.843	1.000.969	4.846.171	2.923.570
2019	2.481.161	1.020.989	5.099.595	3.060.292
2020	2.530.784	1.041.408	5.367.586	3.204.497
2021	2.581.400	1.062.237	5.651.013	3.356.625
2022	2.633.028	1.083.481	1.083.481	3.517.139
2023	2.685.689	1.105.151	1.105.151	3.686.531
2024	2.739.402	1.127.254	1.127.254	3.865.324
2025	3.060.304	1.149.799	1.149.799	4.054.070
2026	3.121.510	1.172.795	1.172.795	4.253.355
2027	3.183.940	1.196.251	1.196.251	4.463.801
2028	3.247.619	1.220.176	1.220.176	4.686.067
2029	3.312.571	1.244.579	1.244.579	4.920.850
2030	3.378.823	1.269.471	1.269.471	5.168.891
2031	4.045.773	1.294.860	1.294.860	5.430.975
2032	4.126.688	1.320.758	1.320.758	1.320.758
2033	4.209.222	1.347.173	1.347.173	1.347.173
2034	4.293.406	1.374.116	1.374.116	1.374.116
2035	4.379.275	1.401.599	1.401.599	1.401.599
2036	4.466.860	1.429.630	1.429.630	1.429.630
2037	5.231.189	1.458.223	1.458.223	1.458.223
2038	5.335.813	1.487.388	1.487.388	1.487.388
2039	5.442.529	1.517.135	1.517.135	1.517.135
2040	5.551.380	1.547.478	1.547.478	1.547.478
2041	5.662.408	1.578.428	1.578.428	1.578.428
Toplam	102.021.701	63.058.207	70.374.971	86.094.070

Sürücüsüz metrolarda sürücüden elde edilen fayda Şekil 5.10'de gösterilmiştir. İlk olarak kredisiz ödemede 18 yılda karşılamakta ve 19. yılda fayda sağlamaya başlamaktadır. İkinci olarak 10 yıllık libör faizi oranı ile kredili ödemede 21 yılda karşılamakta ve 22. yılda fayda sağlamaya başlamaktadır. Son olarak da 20 yıllık libör faiz oranı ile kredili ödemede 26 yılda karşılamakta ve 27. yılda fayda sağlamaya başlamaktadır.

Şekil 5.10: Maliyet karşılaştırma özeti



6. SONUÇ

Dünyada sürücüsüz metrolara geçiş eylemi vardır. Yeni yapılan bir çok hattın sürücüsüz olarak yapılmıştır. Bazı eski hatların modernizasyonu yapılarak sürücüsüz metrolara çevrilmiştir. Dünyada sürücüsüz metro sistemlerine geçişin bir çok sebebi vardır. Bunlardan bazıları prestij, yapılan hataların bir çoğunun insan kaynaklı olması, sendikasyonel eylemler, ve işletme maliyetlerinin düşük olması gibi sebeplerden dolayı sürücüsüz metro sistemlerine geçilmiştir.

Sürücüsüz metro sistemlerinde farklı işletme ihtiyaçlarına göre lastik tekerlekli, çelik tekerlekli, lineer ve hafif raylı sistem gibi sürücüsüz sistemler yapılmaktadır. Sürücüsüz metro sistemlerinde ileri düzeyde tren koruma ve işletme sistemleri geliştirilmiştir. Bu sistemler sayesinde trenlerde daha güvenli sürüş yapılmaktadır. Trende meydana gelen arıza veya olumsuz durumlarda kontrol merkezinden müdahale edilmektedir.

Sürücüsüz metro sistemlerinde sürücü bulunmadığından sürücünün yaptığı tüm işleri elektronik sistemler yapmaktadır. Bu nedenle sürücüsüz sistemlerin sık sık arıza yapmaması için bazı elektronik sistemlerin yedekleri bulunur. Elektronik bir sistem arızalandığında diğer yedek elektronik sisteme otomatik olarak geçiş yapmaktadır. Örneğin sinyalizasyon sistemi arızalandığında tren hareketi durmaması ve işletmeyi aksatmaması için otomatik olarak yedek sinyalizasyon sistemine geçiş yapmaktadır.

Sürücüsüz metrolarda optimize edilmiş hızlanma, frenleme, işletim hızı sayesinde ve sürücü kaynaklı gecikmeler olmadığından daha kısa seyahat süresi daha kaliteli hizmet sağlar. Sürücüsüz sistemlerde seyahat, bekleme süresinin kısalması ve sürüş kalitesinin artması hizmet kalitesini artırır. Ani talep yükselmelerinde hiçbir personele ihtiyaç duymadan ek servisler yapılarak hizmet kalitesi artırılır. Sistem sürücüsüz olduğundan personelin işe gecikmesi veya hiç gelmemesi hizmet kalitesini etkilemez. Sürücüsüz sistemlerde kısa zaman döngüsü, ani talep yükselme ve azalmalarına hemen müdahale edilmesi verimi artırmaktadır. Daha kısa sefer aralığı (75 saniye) işletme yapıldığı için kapasitesi daha yüksektir. Sefer aralığı sürelerinin kısalmasından dolayı yolcuların bekleme süresi kısalmaktadır. Sefer aralığı sürelerinin kısalması, seyahat ve bekleme

sürelerinin kısalması genel ticari hızı artırır. Sürücüsüz metrolarda sistem aksaklıkları daha az olduğundan güvenilirliği daha yüksektir. İnsan kaynaklı hatalar azaldığından ve güvenlik sistemlerinin geliştiğinden (engel, yangın algılama vb.) güvenliği daha da artmıştır.

Sürüş otomatik olduğu için tüm trenlerde aynı sürüş kalitesi vardır. Metro sistemlerinin otomatikleşmesi ile daha planlı hizmet yapılır. Ani yolculuk dalgalanmalarına müdahale etmek sürücüsüz sistemlerde daha kolaydır. Sistem otomatik olduğu için depo sahasından hatta hemen tren enjekte edilir. Sürücüsüz metrolarda daha kısa sefer aralığı ve uç noktalarda bekleme süreleri az olduğundan daha hızlı işletme yapılır. Bu nedenle daha az trene ihtiyaç vardır. Sürücüsüz metrolarda sistem otomatik olduğu için hata ve gecikmelere anında müdahale edilerek giderilir. Arıza müdahalesi Kontrol Merkezinden yapıldığı için arıza daha hızlı giderilir. Tren sayısının azalmasından dolayı depolama sahası küçülmektedir. Hizmet düzeyleri, kısa sürede ayarlanabilir çalışan vardiyadan etkilenmez. Hizmet talebine göre program ayarlanır.

Engel algılama sistemi sayesinde daha güvenli sürüş yapılır. Yangın algılama sistemi trende çıkabilecek yangınlara daha erken müdahale etme olanağı sağlayarak daha güvenli işletme yapılmaktadır. Otomatik test sayesinde arızalı trenlerin hatta çıkmasını engeller. Tren alarm bilgilerini TCC 'ye ileterek oluşacak arıza veya kötü durumlara hemen müdahale ederek daha hızlı işletme yapılmaktadır. Araç içi video gözetimi ile araç içindeki olumsuz durumlara erken müdahale ile daha güvenli işletme yapılır. Otomatik hata algılama sistemleri sayesinde insan hatalarını ortadan kaldırır.

Platform kapılar sayesinde kaza ve intihar olayları azalır, daha güvenli hizmet sağlar. Platform kapılar, yolcuların tren kapılarının kapanmasına müdahale etmesini engeller ve tren gecikmelerini ortadan kaldırır. Platform kapılar tünel ve istasyon havalandırmasını daha iyi yapılmasını sağlar. Platform kapılar görme yeteneği olmayan yolcular için daha fazla güvenlik sağlar.

Metroların inşaat maliyetleri tünelin derinliğine, zeminin türüne, istasyonlar arası mesafeye, istasyonun uzunluğuna ve kamulaştırma bedeline bağlıdır. Buradan da anlaşılacağı gibi metroların inşaat maliyetleri otomasyon derecelerine bağlı değildir. Yapılan metronun sürücülü veya sürücüsüz olması inşaat maliyetini etkilemediğinden karşılaştırmada inşaat maliyetleri dikkate alınmayacaktır.

Maliyet karşılaştırması 30 yıllık bir dönemi kapsar. Sürücüsüz metro sistemlerinde sürücülü metrolardan farklı olarak ek yatırım maliyetleri vardır. Bunlar 9 milyon dolar sürücüsüz metro aracı farkı, 18 milyon dolar platform kapı maliyetidir. Toplam ilk yatırım maliyeti 27.000.000 dolardır. Sürücülü ve sürücüsüz metrolar arasında araç bakımları arasında bir fark olmadığından araç bakım maliyetleri hesaplanmayacaktır. Platform kapı bakım maliyeti yıllık 888.832 dolardır ve her yıl yüzde 2 enflasyon artış eklenmiş olup toplam bakım maliyeti 36.058.207 dolar olmaktadır. Bu maliyetler sürücüsüz metroların sürücülü metrolardan farklı ilk yatırım ve bakım maliyetleridir. Sürücüsüz metrolarda sürücü bulunmadığından dolayı 30 yıllık sürücü maliyeti olan 102.021.701 dolar sürücü maliyetinden elde edilen tasarruftur.

Yapılacak maliyet karşılaştırmasında sürücülü veya sürücüsüz metrolardaki diğer giderler (inşaat, elektromekanik, sinyalizasyon ve araç maliyetleri) ve gelirler (yolcu, kira ve reklam) aynı olarak kabul edilecektir. Maliyet karşılaştırmasına hesaplanmayacaktır. Sadece sürücülü ve sürücüsüz metrolardaki farklı maliyetler karşılaştırmada kullanılacaktır.

İlk hesaplamada 27.000.000 dolarlık ilk yatırım maliyeti peşin ödenmiştir. Sürücüsüz metrolarda sürücüden elde edilen gelir, ilk yatırım ve platform kapı bakım maliyetlerini 18 yılda karşılamıştır. Sürücüsüz sistem 19. yılda fayda sağlamaya başlamıştır. Yapılan ikinci ve üçüncü hesaplamada libör faiz oranı yüzde 1,07 olarak alınmış bunun üzerine bankaların aldığı kar oranı yüzde 5 eklenerek 10 yıllık ve 20 yıllık eşit taksitlerle ödenecek şekilde hesaplamalar yapılmıştır. 10 yıllık ödeme planında sürücüsüz metro ilk yatırım ve platform kapı bakım maliyetlerini 21 yılda karşılamıştır. Sürücüsüz sistem 22. yılda fayda sağlamaya başlamıştır. 20 yıllık ödeme planında sürücüsüz metro ilk

yatırım ve platform kapı bakım maliyetlerini 26 yılda karşılamıştır. Sürücüsüz sistem 27. yılda fayda sağlamaya başlamıştır.

Sürücüsüz metrolarda birçok olumsuz durumlar vardır. Sürücüsüz metrolarda her hangi bir acil durumda yolcu tahliye etmekte sorunlar yaşanır. Sürücüsüz metrolarda Kontrol Merkezi arızaya müdahale edemiyorsa bölgeye kurtarıcı tren gönderilir. Bu da zaman ve servis aksamalarına sebep olur. Halka şüphelilik ve güvensizlik verir. Sürücüsüz metrolar daha karmaşık bir yapıya sahip oldukları için bakımları zordur. Daha kalifiyeli elemanlara ihtiyaç vardır.

Ülkemizde sürücüsüz metro sistemleri yeni yapıldığı için bu sistemler hakkında araştırmalar, makaleler ve tez çalışmaları yapılabilir. Şu konular hakkında tez çalışmaları yapılabilir. Sürücüsüz metroların güvenlik gereksinimleri, sürücüsüz metroların insan psikolojisine etkisi, sistemlerin otomatikleşmesi işsizlik oranı üzerine etkileri ve tam otomatik tren kontrol sistemleri gibi konular hakkında tez çalışmaları yapılabilir.

KAYNAKÇA

Sürelî Yayınlar

Açıkbaş, S. & Dündar, M.T., 2003. Lineer metro sistemleri. *Mimar-Mühendis dergisi* sayı 32. ss. 34-35

Diğer Yayınlar

- Arılı, V., (2010). *Kentiçi raylı sistemler ders notları*
- Atik, Ö., (2010). Lastik ve çelik alaşım tekerlekli metro araçlarının taşıma maliyetleri analizi ve karşılaştırılması. *Yüksek Lisans Tezi*. Yıldız Teknik Üniversitesi FBE.
- Baraçlı, H., (2010). İstanbul'daki toplu ulaşımın gelişimi. *Transist 2010, Toplu Ulaşım Sempozyumu*, İstanbul, 2-3 Aralık.
- Demir, E., (2007). Metro duraklarının mekânsal özellikleri ve kent imajı üzerindeki etkileri, Ankara Kızılay-Batıkent metro hattı analizi. *Yüksek Lisans Tezi*. Gazi Üniversitesi FBE.
- DLH, 2010 Kentiçi raylı toplu taşıma kriterleri, *Hafif raylı sistemler tasarım kriterleri*
- DLH, 2010 Kentiçi raylı toplu taşıma kriterleri, *Metro sistemler tasarım kriterleri*
- Gülener, Y., (2009). Bir raylı ulaşım sinyalizasyon sistemi gerçekleştirme. *Yüksek Lisans Tezi*. İstanbul Teknik Üniversitesi FBE.
- IRSE, ITC, 2010, Semi-automatic, driverless and unattended operation of trains, <http://www.irse-itc.net/index>[erişim tarihi 20 Kasım 2011]
- IRSE, Dr Alan F. Rumsey, 20 Eylül 2009, <http://www.irse-itc.net/index>[erişim tarihi 20 Kasım 2011]
- İBB. 2005 Kadıköy-Kartal metrosu fizibilite etüdü
- İBB. 2007 Kadıköy-Kartal metrosu inşaat ve elektromekanik işler teknik şartnamesi.
- İBB. 2007 Üsküdar-Ümraniye-Çekmeköy metrosu inşaat ve elektromekanik işler teknik şartnamesi.
- İBB. 2007 Taksim metrosu inşaat ve elektromekanik işler teknik şartnamesi.
- İBB. 2007 Üsküdar-Ümraniye-Çekmeköy metrosu araç şartnamesi
- İBB. 2008 Kadıköy-Kartal metrosu raylı ulaşım toplu taşıma sistemi. *120 adet metro aracı temini şartnamesi*.
- İBB. İnteraktif uygulama, <http://www.ibb.gov.tr/tr-TR/SubSites/raylisistemler>[erişim tarihi 12 Mart 2012]
- İpek, A., (2006). Kentiçi raylı sistem araç operatörlerinin çalışma şartlarının incelenmesi ve performans değerlendirme sisteminin kurulması. *Yüksek Lisans Tezi*. Osmangazi Üniversitesi FBE.

- Lastik tekerlekli metro*, http://en.wikipedia.org/wiki/Rubber-tyred_metro. [erişim tarihi 5 Ocak 2012]
- Tiberghien, P., (2009). *Alstom kirazlı makinist eğitim ve arıza müdahale kılavuzu*. İstanbul
- Tunç, H., (2010). Yeraltı metro istasyonlarında algısal faktörlerin irdelenmesi: Taksim Metro İstasyonu. *Yüksek Lisans Tezi*. İstanbul Teknik Üniversitesi FBE.
- Türkmen, M., (2001). Kentiçi toplu taşımada raylı sistemlerin yeri ve Ankara Metrosu ile Ankaray örneklerinin değerlendirilmesi. *Yüksek Lisans Tezi*. Gazi Üniversitesi FBE.
- UITP, 1997 Metrolar çalışma grubu metro sistemleri otomasyonu, <http://www.uitp.org> [erişim tarihi 5 Kasım 2011]
- UITP, 8. Eğitim Programı 3. Modül: Toplu Ulaşım Modları ve İşletme, 3-5 Mayıs 2010, Ian Graham, <http://www.uitp.org> [erişim tarihi 10 Aralık 2011]
- UITP, 8. Eğitim Programı 3. Modül: Toplu Ulaşım Modları ve İşletme, 3-5 Mayıs 2010, Laurent Dauby, <http://www.uitp.org> [erişim tarihi 10 Aralık 2011]
- UITP, Dubai 2011, RATP, G. Churchill, <http://www.uitp.org> [erişim tarihi 15 Ocak 2012]
- UITP, Dubai 2011, Saopaulo Metrosu, Sergio Avelleda, <http://www.uitp.org> [erişim tarihi 15 Ocak 2012]
- UITP, Dubai 2011, Ansaldo STS, Paolo Marino, <http://www.ansaldo-sts.com> [erişim tarihi 19 Şubat 2012]
- Ulusoy, A., (2010). Ulaşımında raylı sistemler ve Kayseray. *Yüksek Lisans Tezi*. Erciyes Üniversitesi FBE.
- Üsküdar-Ümraniye-Çekmeköy metro hattı Alstom'un İBB'ye sunumu 15 Şubat 2011
- Wikipedia Özgür Ansiklopedi www.en.wikipedia.org [erişim tarihi 12 Kasım 2011]
- Yüksel, H.E., (2007). Raylı toplu taşıma sinyalizasyon sistemleri ve Marmaray projesinin sinyalizasyonu. *Yüksek Lisans Tezi*. Niğde Üniversitesi FBE.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Süleyman Atalay

Sürekli Adresi : Büyükdere Mahallesi Pehlivan Sokak No:5 Sarıyer / İstanbul

Doğum Yeri ve Yılı : Trabzon / Tonya 01.01.1983

Yabancı Dili : İngilizce

İlk Öğretim : Tonya Şehit Ayhan Güner İlkokulu, İmam Hatip Lisesi - 1996

Orta Öğretim : Trabzon Endüstri Meslek Lisesi - 1999

Lisans : Pamukkale Üniversitesi / Otomotiv Öğretmenliği - 2006

Yüksek Lisans : Bahçeşehir Üniversitesi - 2012

Enstitü Adı : Fen Bilimleri Enstitüsü

Program Adı : Kentsel Sistemler Ve Ulaştırma Yönetimi

Çalışma Hayatı : Ulaşım AŞ. Makinist, 2007