



**KENT İÇİ RAYLI SİSTEM ARAÇLARININ
TASARIM KRİTERLERİ ÖRNEK BİR
METRO TASARIMI ARAÇ GÖVDESİNİN
SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİYLE
AERODİNAMİK VE STATİK ANALİZİ**

Muhammed Emin ARI

**2021
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ**

**Tez Danışmanı
Doç. Dr. İsmail ESEN**

**KENT İÇİ RAYLI SİSTEM ARAÇLARININ TASARIM KRİTERLERİ
ÖRNEK BİR METRO TASARIMI ARAÇ GÖVDESİNİN SONLU
ELEMENLAR YÖNTEMİYLE AERODİNAMİK VE STATİK ANALİZİ**

Muhammed Emin ARI

**T.C.
Karabük Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalında
Yüksek Lisans Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

**Tez Danışmanı
Doç. Dr. İsmail ESEN**

**KARABÜK
Temmuz 2021**

Muhammed Emin ARI tarafından hazırlanan “KENT İÇİ RAYLI SİSTEM ARAÇLARININ TASARIM KRİTERLERİ ÖRNEK BİR METRO TASARIMI ARAÇ GÖVDESİNİN SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİYLE AERODİNAMİK VE STATİK ANALİZİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. İsmail ESEN

.....

Tez Danışmanı, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından **Oy Birliği** ile Makine Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 16/07/2021

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Doç. Dr. İsmail ESEN (KBÜ)

.....

Üye : Doç. Dr. Selami SAĞIROĞLU (KBÜ)

.....

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Akif KOÇ (SUBÜ)

.....

KBÜ Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, **Yüksek Lisans** derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Hasan SOLMAZ

.....

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”

Muhammed Emin ARI

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

KENT İÇİ RAYLI SİSTEM ARAÇLARININ TASARIM KRİTERLERİ, ÖRNEK BİR METRO TASARIMI, ARAÇ GÖVDESİNİN SONLU ELEMENLAR YÖNTEMİYLE AERODİNAMİK VE STATİK ANALİZİ

Muhammed Emin ARI

Karabük Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Doç. Dr. İsmail ESEN

Temmuz 2021, 116 sayfa

Ulaşım günlük yaşamımızın en önemli ihtiyaçlarından biridir. Kentlerde artan nüfus yoğunluğuyla birlikte trafikteki araç sayıları da artmakta ve trafik sıkışıklıkları yoğun bir şekilde yaşanmaktadır. Ayrıca, oluşan emisyonlardan kaynaklanan hava kirliliği de çok önemli bir problem haline gelmektedir. Hat trafiğinde oluşan bu yoğunluğu gidermek için toplu taşıma araçlarının kullanımları oldukça önemlidir. Raylı sistem araçlarının kentlerde kullanımları; kent trafiğinden bağımsız bir hat üzerinde ilerlemesi, taşıma kapasitelerinin yüksek olması, pik saatlerde kapasitelerinin eklenebilen araçlarla artırılabilmesi, ekonomik olması ve çevreye zarar vermemeleri yönüyle öne çıkmaktadır.

Kentsel raylı araçlar içerisinde en fazla yolcu taşıma kapasitesine sahip olanı metrolardır. Özellikle büyük şehirlerdeki aşırı yoğun nüfus için en uygun toplu

ulaşım aracıdır. Yolcu seyahat alanları, yolcu yoğunluğuna karşı özel olarak tasarlanmıştır. Yolculara kolay iniş ve biniş imkanı sunar. Metrolar çoğunlukla yer altı tünellerinde çalışırlar. Tam sinyalli ve tam korumalı olduklarından oldukça güvenlidir.

Bu çalışmada kent içi raylı sistem araçlarının karakteristik özelliklerine değinilmiş ve bu araçların tasarım kriterleri hakkında araştırmalar yapılmıştır. Elde edilen literatür araştırmaları verileri ve uluslararası standartlar çerçevesinde, bilgisayar ortamında örnek bir metro tasarımı yapılmıştır. Başlangıçta üç farklı ölçüde tren ön kafa modeli tasarlanarak aerodinamik açıdan bu üç modelin analizleri yapılmıştır. CFD analiz sonuçlarına göre en uygun model tespit edilerek bu modele uygun araç gövdesi tasarımı yapılmıştır. TS EN 12663 standardında belirtilen koşullara göre araç gövdesinin statik-mukavemet analizleri gerçekleştirilmiştir. Araç gövde şasisinde SUS304 paslanmaz çeliği kullanılmıştır. Analiz sonucunda oluşan deformasyondan kaynaklanan maksimum yer değiştirme miktarları ve Von Mises gerilmeleri tespit edilmiştir.

Sonuç olarak, tasarımı yapılan metro aracında hem aerodinamik analizlerin hem de statik-mukavemet analizlerinin sonuçları değerlendirilmiştir.

Anahtar Sözcükler : Kent içi raylı sistem araçları, metro, raylı sistem araç tasarımı, tasarım kriterleri, bilgisayar destekli tasarım, sonlu elemanlar analizi, CFD analiz, statik analiz.

Bilim Kodu : 91433

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

DESIGN CRITERIA OF URBAN RAIL SYSTEM VEHICLES, AN EXAMPLE METRO DESIGN, AERODYNAMIC AND STATIC ANALYSIS OF THE VEHICLE BODY BY FINITE ELEMENT METHOD

Muhammed Emin ARI

Karabük University

Institute of Graduate Programs

Department of Mechanical Engineering

Thesis Advisor:

Assoc. Prof. Dr. İsmail ESEN

July 2021, 116 pages

Transportation is one of the most important needs of our daily life. With the increasing population density in cities, the number of vehicles in traffic also increases and traffic jams are experienced intensely. In addition, air pollution resulting from emissions is becoming a very important problem. The use of public transportation vehicles is very important in order to eliminate this density in line traffic. Use of rail system vehicles in cities; It stands out as it moves on a line independent of urban traffic, has a high carrying capacity, can be increased with vehicles that can be added during peak hours, is economical and does not harm the environment.

Among the urban rail vehicles, metros have the highest passenger carrying capacity. It is the most suitable means of public transportation, especially for the extremely

dense population in big cities. Passenger travel areas are specially designed against passenger density. It offers passengers easy boarding and disembarkation. Metros mostly operate in underground tunnels. It is quite safe as they are full signaled and fully shielded.

In this study, the characteristic features of urban rail system vehicles were mentioned and researches were made on the design criteria of these vehicles. An exemplary metro design was made in the computer environment within the framework of the literature research data and international standards. Initially, three different sizes of train front head models were designed and these three models were analyzed in terms of aerodynamics. According to the CFD analysis results, the most suitable model was determined and the vehicle body design was made according to this model. Static-strength analyzes of the vehicle body were carried out according to the conditions specified in the TS EN 12663 standard. SUS304 stainless steel is used in the vehicle body chassis. As a result of the analysis, the maximum displacements caused by the deformation and Von Mises stresses were determined.

As a result, the results of both aerodynamic analyzes and static-strength analyzes of the designed metro vehicle were evaluated.

Key Word : Urban railway system vehicles, metro, railway system vehicle design, design criteria, computer aided design, finite element analysis, CFD analysis, static analysis.

Science Code : 91433

TEŞEKKÜR

Bu tez alıőmasının planlanmasında, araőtırılmasında, yürütölmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalıőmamı bilimsel temeller ışığında őekillendiren sayın hocam Doç. Dr. İsmail ESEN'e sonsuz teőekkürlerimi sunarım.

Tüm yaőamım boyunca her an yanımda olduklarını bildiğim, maddi ve manevi hiçbir desteklerini benden esirgemeyen babam Nami ARI'ya, annem Zölbiye ARI'ya ve kardeőim Hakan Ersin ARI'ya tüm kalbimle sonsuz sevgi ve őükranlarımı sunarım.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xiv
ÇİZELGELER DİZİNİ	xviii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xix
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2	6
KENT İÇİ RAYLI SİSTEM TOPLU ULAŞIM ARAÇLARI.....	6
2.1. KENT İÇİ RAYLI SİSTEM TAŞIMACILIĞININ TEMELLERİ.....	7
2.1.1. Harici Kılavuzlama	7
2.1.2. Raylı Sistem Teknolojisi.....	8
2.1.3. Elektrikli Tahrik Sistemleri.....	9
2.1.4. Yol Kullanım Hakkının Ayrı Olması.....	10
2.2. KENT İÇİ RAYLI TOPLU TAŞIMA ARAÇLARI.....	11
2.2.1. Tramvay	13
2.2.2. Translohr	15
2.2.3. Hafif Raylı Sistem.....	17

	<u>Sayfa</u>
2.2.4. Metro	18
2.2.5. Lastik Tekerlekli Metro.....	20
2.2.6. Banliyö Treni	21
2.2.7. AGT (Otomatik Sürücüsüz Sistemler).....	22
2.2.8. Monoray	22
2.2.9. Füniküler	25
BÖLÜM 3	27
KENT İÇİ RAYLI SİSTEM ARAÇLARINDA GÖVDE GEOMETRİSİ VE GÖVDE BOYUTLARI.....	27
3.1. ARAÇ GÖVDESİ TASARIM FAKTÖRLERİ	27
3.1.1. Ekonomik Faktörler	27
3.1.2. İklim Faktörleri	28
3.1.3. Coğrafi Faktörler.....	28
3.1.4. Beşeri ve Fiziki Faktörler.....	29
3.1.5. Kent Estetiğine Uygunluk Faktörü	29
3.2. RAYLI TAŞITLARDA GÖVDE BOYUTLARI	29
3.3. TAŞIT – GABARİ İLİŞKİSİ.....	33
3.3.1. Statik Gabari.....	33
3.3.2. Dinamik Gabari.....	34
3.4. GÖVDE TASARIMININ AERODİNAMİK PERFORMANSA ETKİSİ	35
3.4.1. Metro Treninin Tünel İçerisindeki Hareketi ve Olası Sorunlar	36
3.4.1.1. Hava Direnci	36
3.4.1.2. Basınç Dalgası.....	37
3.4.1.3. Aerodinamik Gürültü	37
3.5. METRO GÖVDE TASARIMINA GİRİŞ	37

	<u>Sayfa</u>
3.5.1. Tren Kafa Modelleri.....	38
3.5.2. Hesaplama Alanı ve Mesh Oluşturma.....	40
3.5.3. Simülasyon Sonuçlarının Analizi.....	41
3.5.4. Metro Treni Kafasının Çevresindeki Hava Akış Alanının Hesaplanması ve Analizi	43
3.5.5. Aerodinamik Analiz Üzerine Sonuç	46
BÖLÜM 4	48
KENT İÇİ RAYLI SİSTEM ARAÇLARININ ŞASI VE GÖVDE YAPILARI.....	48
4.1. RAYLI SİSTEM ARAÇ GÖVDELERİNİN TARİHSEL GELİŞİMİ	48
4.2. RAYLI SİSTEM ARAÇ GÖVDELERİNDE YAPISAL ÖZELLİKLER.....	50
4.2.1. Raylı Sistem Araçları Tasarım Kategorileri.....	50
4.2.1.1. Lokomotifler Kategorisi (Kategori L).....	51
4.2.1.2. Yolcu Araçları Kategorisi (Kategori P)	51
4.2.1.3. Yük Vagonları Kategorisi (Kategori F)	51
4.2.2. Araçlarda Kütle Dağılımları ve Tasarımların Yük Durumları	52
4.3. METRO ARAÇ GÖVDESİNİN SONLU ELEMENLAR YÖNTEMİYLE STATİK ANALİZİ	53
4.3.1. Koordinat Sistemi	53
4.3.2. Modelleme.....	54
4.3.3. Yükleme Koşulları	54
4.3.4. Araç Modelleri	55
4.3.5. Araç Gövdesinde Mesh Oluşturma İşlemi	57
4.3.6. Malzeme.....	58
4.3.7. Araç Gövde İskeleti Kütleleri.....	58
4.3.8. Ekipman Kütleleri	59

	<u>Sayfa</u>
4.3.9. Araç İç-Dış Kaplama (Trim) Kütleleri.....	60
4.3.10. Yolcu Kütleleri.....	60
4.3.11. Statik Mukavemet Analizleri	61
4.3.11.1. En Büyük İşletme Yüğü İçin Analiz	61
4.3.11.2. Tampon Bölgesinde Sıkıştırma Kuvveti Uygulanması Durumu İçin Analiz	63
4.3.11.3. Tampon Bölgesindeki Sıkıştırma Kuvvetiyle Beraber Yolcu Yüğüleri Dahil Olarak Dikey Yüğü Durumunda Analiz.....	65
4.3.11.4. Statik Mukavemet Analizleri Üzerine Sonuç ve Öneriler.....	67
BÖLÜM 5	69
RAYLI SİSTEM ARAÇLARINDAKİ ÖGELER VE TASARIM YÖNTEMLERİ. 69	
5.1. ARAÇ ZEMİNİ.....	70
5.2. PENCERELER, CAMLAR VE CAM SİLECEĞİ.....	71
5.3. ARAÇLARDA YALITIM	72
5.4. KÖRÜK GEÇİŞLER	73
5.5. KRİKOLAMA VE KALDIRMA	74
5.6. YOLCU KAPILARI	74
5.7. YOLCU KOLTUKLARI	77
5.8. ARAÇ İÇİNDEKİ YOLCU TUTUNMA ELEMANLARI	77
5.9. ISITMA, HAVALANDIRMA VE İKLİMLENDİRME (HVAC) SİSTEMLERİ.....	78
5.10. ANONS VE YOLCU BİLGİLENDİRME SİSTEMLERİ	80
5.11. CCTV SİSTEMİ	80
5.12. AYDINLATMA SİSTEMLERİ	81
5.12.1. İç Aydınlatma.....	81
5.12.2. Dış Aydınlatma	81

	<u>Sayfa</u>
5.13. ARAÇLARDA YANGINA KARŞI TEDBİRLER	83
5.14. ARAÇLARDA ENGELLİ YOLCULAR İÇİN TAŞIMACILIK	84
5.15. SÜRÜCÜ KABİNİ	85
5.16. KUPLAJ BAĞLANTILARI	87
5.16.1. Otomatik Kuplaj	87
5.16.2. Sabit Kuplaj	88
5.17. BOJİLER	89
5.18. FRENLER	90
5.18.1. Dinamik Fren	91
5.18.2. Mekanik Fren	91
5.18.3. Manyetik Fren	92
5.18.4. Park Freni	92
5.18.5. Acil Durum Freni	93
5.19. CER MOTORLARI	93
5.20. AKIM TOPLAMA EKİPMANLARI	95
5.20.1. Pantograf	95
5.20.2. Üçüncü Ray Pabucu	95
5.21. DİĞER EKİPMANLAR	96
BÖLÜM 6	98
SONUÇLAR	98
KAYNAKLAR	100
EK AÇIKLAMALAR A. METRO TASARIMINA AİT GÖRSELLER	103
ÖZGEÇMİŞ	116

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 1.1.	Taşıma kapasitesi karşılaştırması (Münih örneği).....	2
Şekil 1.2.	Otomobil ve toplu ulaşım araçlarının ortalama yolculuk süresi, yolculuk hacmi ve maliyet eğrisi.	3
Şekil 2.1.	Kent içi raylı sistem taşımacılığının temelleri.	7
Şekil 2.2.	Tekerlek, ray ve buda etkileşimi.	8
Şekil 2.3.	Kent içi raylı toplu taşıma araçları.....	12
Şekil 2.4.	Kayseri tramvayı (katenerli).	13
Şekil 2.5.	İstanbul Alibeyköy - Eminönü tramvayı (Katenersiz, sürekli yerden beslemeli üçüncü ray sistemi).....	14
Şekil 2.6.	Konya tramvayı (Katenerli ama ilgili bölgelerde bataryalı sistem).....	14
Şekil 2.7.	Translohr hattı ve aracı (Clermont-Ferrand, Fransa).	15
Şekil 2.8.	Tramvay ve translohr tekerlek - ray düzenleri.....	16
Şekil 2.9.	Translohr tekerlek ve süspansiyon sistemi.	17
Şekil 2.10.	Hafif raylı sistem (Los Angeles, ABD).	18
Şekil 2.11.	Metro.....	19
Şekil 2.12.	Lastik tekerlekli metro (Sapporo, Japonya).	20
Şekil 2.13.	Banliyö treni (İZBAN, İzmir).	21
Şekil 2.14.	AGT - Otomatik sürücüsüz sistemler (Tampa/Florida, ABD).....	22
Şekil 2.15.	Monoray tipleri.	23
Şekil 2.16.	Askı tip monoray ve giriş içerisindeki boji yerleşimi.	23
Şekil 2.17.	Bindirme tip monoray ve giriş üzerindeki boji yerleşimi.	24
Şekil 2.18.	Füniküler istasyonlarının ve araç tahrik sisteminin genel görünüşü.....	25
Şekil 2.19.	Tünel Füniküleri (İstanbul).	26
Şekil 3.1.	Bazı alçak tabanlı tramvay / hafif raylı sistem modelleri.	31
Şekil 3.2.	Metro aracı statik gabari (Aliymanda).	34
Şekil 3.3.	Metro aracı dinamik gabari (Aliymanda).	35
Şekil 3.4.	Tasarlanan metro aracı kafa modeli ve vagon geometrisi görünüşü.....	38
Şekil 3.5.	Tasarlanan metro aracı kafa modelleri.....	39

Sayfa

Şekil 3.6. Tasarlanan metro aracı kafa model ölçüleri.....	39
Şekil 3.7. Dikdörtgensel hesaplama alanı.	40
Şekil 3.8. Mesh ağ yapıları.....	41
Şekil 3.9. Rüzgara karşı hız vektör diyagramları.....	43
Şekil 3.10. Basınç dağılım diyagramları.....	45
Şekil 4.1. Taban şasisi metal, kabini ahşap vagonlardan oluşan raylı sistem aracı	48
Şekil 4.2. Metro aracı koordinat sistemi.	53
Şekil 4.3. Metro setindeki araçlar.	55
Şekil 4.4. MC metro aracı.	56
Şekil 4.5. MC metro aracı gövde iskeleti.....	56
Şekil 4.6. Mesh genel görünüş.	57
Şekil 4.7. Mesh yakın görünüş.....	57
Şekil 4.8. Araç altı ve çatı ekipmanları.....	60
Şekil 4.9. Koşul-1 için Von Mises gerilmesi dağılımı.....	62
Şekil 4.10. Koşul-1 için maksimum yer değiştirme.....	62
Şekil 4.11. Koşul-2 için Von Mises gerilmesi dağılımı.....	63
Şekil 4.12. Koşul-2 için Von Mises gerilmesi dağılımı.....	64
Şekil 4.13. Koşul-2 için maksimum yer değiştirme.....	64
Şekil 4.14. Koşul-3 için Von Mises gerilmesi genel dağılım.	65
Şekil 4.15. Koşul-3 için Von Mises gerilmesi sürücü kabini alt kısım.....	66
Şekil 4.16. Koşul-3 için Von Mises gerilmesi sürücü kabini alt kısım.....	66
Şekil 4.17. Koşul-3 için maksimum yer değiştirme.....	67
Şekil 5.1. Metro setleri.....	69
Şekil 5.2. Araç zemini, yalıtımları ve kaplamaları.....	70
Şekil 5.3. Körük geçişler.....	73
Şekil 5.4. Metro yolcu kapıları.....	75
Şekil 5.5. Metro yolcu kapısı.....	75
Şekil 5.6. Metro yolcu kapısı elemanları.....	76
Şekil 5.7. Metro yolcu koridoru ve tutunma elemanları.....	78
Şekil 5.8. HVAC ünitesi.....	79
Şekil 5.9. Metro dış aydınlatmalar.....	82
Şekil 5.10. Metro iç mekan elemanları.....	83

	<u>Sayfa</u>
Şekil 5.11. Engelli yolcu bölümü.....	84
Şekil 5.12. Metro şasi sökülebilir sürücü kabini.....	85
Şekil 5.13. Metro şasi sökülebilir sürücü kabini.....	86
Şekil 5.14. Sürücü kabini.....	86
Şekil 5.15. Otomatik kuplaj.....	88
Şekil 5.16. Sabit kuplaj.....	88
Şekil 5.17. Boji.....	89
Şekil 5.18. Mekanik frenler.....	92
Şekil 5.19. Farklı bojilerde farklı tekerlek ve cer motoru konfigürasyonları.....	94
Şekil 5.20. Pantograf.....	95
Şekil 5.21. Üçüncü ray pabucu.....	96
Şekil 5.22. Stockholm metrosu araç altı ekipman dağılımı.....	97
Şekil Ek A.1. Metro setleri.....	104
Şekil Ek A.2. Metro tünel geçişi.....	104
Şekil Ek A.3. Metro istasyon.....	104
Şekil Ek A.4. MC1 ve MC2 araç şasisi.....	105
Şekil Ek A.5. M ve T araç şasisi.....	105
Şekil Ek A.6. MC araç tasarımı.....	106
Şekil Ek A.7. MC1 ve MC2 araç.....	106
Şekil Ek A.8. MC araç koltuk dizilimi.....	107
Şekil Ek A.9. MC1 ve MC2 araç koltuk dağılımı.....	107
Şekil Ek A.10. M araç tasarımı.....	108
Şekil Ek A.11. M araç.....	108
Şekil Ek A.12. M araç koltuk dizilimi.....	109
Şekil Ek A.13. M araç koltuk dağılımı.....	109
Şekil Ek A.14. T araç tasarımı.....	110
Şekil Ek A.15. T araç.....	110
Şekil Ek A.16. T araç koltuk dizilimi.....	111
Şekil Ek A.17. T araç koltuk dağılımı.....	111
Şekil Ek A.18. Yolcu seyahat alanı.....	112
Şekil Ek A.19. Engelli yolcu seyahat alanı.....	112
Şekil Ek A.20. Yolcu seyahat alanı.....	113

	<u>Sayfa</u>
Şekil Ek A.21. Yolcu seyahat alanı.....	113
Şekil Ek A.22. Sökülebilir sürücü kabini şasisi.	114
Şekil Ek A.23. Sürücü kabini.....	114
Şekil Ek A.24. Sürücü araç kontrol bölgesi.	114
Şekil Ek A.25. Metro tren seti.....	115
Şekil Ek A.26. Metro.	115

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1. Farklı ulaşım modu kategorilerinin özellikleri.	10
Çizelge 3.1. Kent içi raylı sistem araçlarının türlerine göre özellikleri.	32
Çizelge 3.2. Model A, Model B ve Model C akış analizi sonuçları.	41
Çizelge 4.1. Yolcu araçları kategorileri.	51
Çizelge 4.2. Yük vagonları kategorileri.	51
Çizelge 4.3. Raylı sistem araç tasarım kütlelerinin tanımları.	52
Çizelge 4.4. Raylı sistem araçlarının en büyük işletme yükleri.	52
Çizelge 4.5. Raylı araçların tampon veya kuplaj bölgesi basınç kuvvetleri.	53
Çizelge 4.6. Yükleme koşulları.	54
Çizelge 4.7. Metro araç özellikleri, boyutları, yolcu kapasiteleri ve kütleleri.	55
Çizelge 4.8. SUS304 paslanmaz çelik malzeme mekanik özellikleri.	58
Çizelge 4.9. Araç ekipman kütleleri.	59
Çizelge 4.10. MC araç yolcu kütleleri ve ağırlıkları.	61

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

CO ₂	: karbondioksit
C _d	: aerodinamik direnç katsayısı
F _d	: aerodinamik direnç kuvveti
ρ	: yoğunluk
V	: hız
A	: alan
m	: kütle
g	: yerçekimi ivmesi
F	: kuvvet
x	: koordinat sistemi x eksen
y	: koordinat sistemi y eksen
z	: koordinat sistemi z eksen
Cr	: krom
Ni	: nikel
PVB	: polivinil butiral
m	: metre
km	: kilometre
kW	: kilowatt
m/s ²	: metre / saniye kare
km/sa	: kilometre / saat
mm	: milimetre
m/s	: metre /saniye
kg/m ³	: kilogram / metreküp
kg	: kilogram
N	: Newton
kN	: kilo Newton
MPa	: Mega Pascal

GPa : Giga Pascal

m² : metrekare

dBa : desibel

kj : kilo joule

V : volt

L : EN 12663 standardında lokomotifler

P : EN 12663 standardında yolcu araçları

F : EN 12663 standardında yük vagonları

KISALTMALAR

ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
AC	: Alternatif akım
AGT	: Automated Guideway Transit (Otomatik Kılavuzlu Yol Ulaşımı)
ANSYS	: Analysis System (Analiz Sistemi)
ATC	: Automatic Train Control (Otomatik Tren Kontrol)
ATO	: Automatic Train Operation (Otomatik Tren İşletme)
ATP	: Automatic Train Protection (Otomatik Tren Koruma)
BRT	: Bus Rapid Transit (Hızlı Otobüs Taşımacılığı)
Bkz.	: Bakınız
CAD	: Computer Aided Design (Bilgisayar Destekli Tasarım)
CCTV	: Close Circuit Television (Kapalı Devre Televizyon)
CFD	: Computational Fluid Dynamics (Hesaplama Akışkanlar Mekaniği)
DC	: Doğru akım
ECE	: Economic Commission for Europe (Avrupa Ekonomi Komisyonu)
EN	: European Norm (Avrupa Normu)
HVAC	: Heating Ventilating and Air Conditioning (Isıtma, Havalandırma ve İklimlendirme)
IEC	: The International Electrotechnical Commission (Uluslararası Elektronik Komisyonu)
ISO	: International Organization for Standardization (Uluslararası Standardizasyon Kuruluşu)
İZBAN	: İzmir Banliyö Sistemi
LRT	: Light Rail Transit (Hafif Raylı Taşımacılık)
M	: Motorlu, kabinsiz metro aracı
Mak.	: Maksimum
MC	: Motorlu, kabinli metro aracı
MC1	: Motorlu, kabini metro aracı 1
MC2	: Motorlu, kabinli metro aracı 2
Min.	: Minimum
Ort.	: Ortalama
SUS	: Steel Use Stainless (Paslanmaz Çelik Kullanımı)

T	: Motorsuz, kabinsiz, taşıyıcı metro aracı
TCDD	: Türkiye Cumhuriyeti Devlet Demiryolları
TS	: Türk Standardı
TÜİK	: Türkiye İstatistik Kurumu
UIC	: Union Internationale des Chemins de fer (Uluslararası Demiryolları Birliği)
Yük.	: Yükseklik

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Ulaşım, günümüz kentlerinin en önemli sorunlarından birisidir. Günlük yaşamımızdaki her 24 saatimizde ulaşım araçlarına olan ihtiyacımız, kentlerin büyümesi sebebiyle daha da artmaktadır. Özellikle kentlerdeki yoğun nüfus artışları ve buna bağlı olarak oluşan hava kirliliği çok önemli bir sorundur. Ayrıca otomotiv sektörünün son yıllarda gelişmesiyle birlikte trafikteki kişisel otomobillerin yoğunluğu da kent içi ulaşımında trafik sıkışıklığını artırmaktadır.

Türkiye'nin 1990 yılındaki yaklaşık nüfusu 56 milyondur. Bu nüfusun % 60'ı (yaklaşık 33 milyon) il ve ilçe merkezlerinde yaşamaktaydı [1]. Ülkemizin 2020 yılı TÜİK verilerine göre nüfusu ise yaklaşık 84 milyondur. Bu nüfusun % 94'ü (yaklaşık 77 milyon) il ve ilçe merkezlerinde yaşamaktadır [2].

1990 yılından 2020 yılına kadarki sürece bakıldığında Türkiye'nin toplam nüfusu %50, il ve ilçe merkezlerinde yaşayan toplam nüfus ise %133 oranında artmıştır. İstatistikler kentlerdeki nüfus yoğunluğunun çok ciddi bir seviyede arttığını göstermektedir. Dolayısıyla kent içi ulaşım, günümüz şehirlerinin en büyük problemlerinden biri haline gelmiştir.

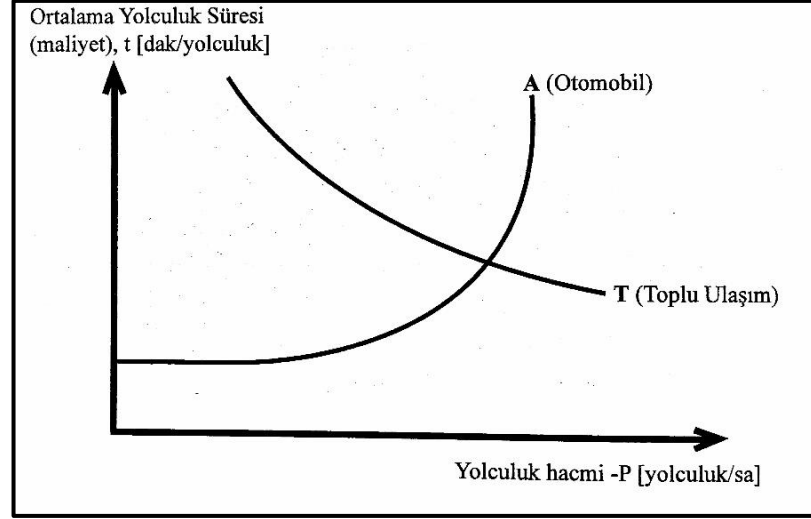
Almanya'da Münih kentinde yapılan bir araştırma neticesinde otomobillerin, otobüslerin ve tramvayların şehir içinde yolcu taşımaları yönünden verimlilikleri ortaya konmuştur. Taşıma kapasitelerinin karşılaştırılmasında 218 yolcu 145 otomobilin taşıdığı tespit edilmiştir. Bu değer otomobil başına ortalama 1.5 kişiye denk gelmektedir. Bu otomobillerin karayolu üzerinde oluşturdukları araç kuyruğu uzunluğu; yol kenarlarındaki araçların park etmeleri de dikkate alındığında yaklaşık 3.3 km'yi bulabilmektedir. Bu 218 yolcu, toplu taşıma araçları ile taşınmak

istendiğinde ise 2 adet körüklü otobüse ihtiyaç duyulmaktadır. Aynı miktardaki yolcu tramvayla taşınmak istediğimizde ise 1 adet tramvay kullanmak yeterli olmaktadır. Bu veriler neticesinde toplu taşıma araçlarının kullanımının önemi belirgin bir şekilde ortaya çıkmaktadır. Münih örneğindeki tramvay, körüklü otobüsler ve otomobillerin şematik olarak görünümü Şekil 1.1’de gösterilmiştir [3].



Şekil 1.1. Taşıma kapasitesi karşılaştırması (Münih örneği) [3].

Kentlerin büyümesi sonucu kalabalıklaşan nüfusla beraber ulaşım ve trafik sorununun yanı sıra insanların trafikte harcadıkları zamanın fazlalığı, kent yönetimlerini daha pratik taşımacılık sistemlerine yönelmeye itmektedir. Bu yüzden toplu taşımanın önemi günümüz kentleri için oldukça fazladır. Otomobil ve toplu ulaşım araçlarının ortalama yolculuk süresi ve yolculuk hacmini belirten maliyet eğrisi Şekil 1.2’de gösterilmiştir.



Şekil 1.2. Otomobil ve toplu ulaşım araçlarının ortalama yolculuk süresi, yolculuk hacmi ve maliyet eğrisi [4].

Kentlerdeki artan nüfusla birlikte otobüs, minibüs vb. toplu taşıma araçları yüksek yolcu yoğunluğuna karşı yetersiz kalabilmekte ya da şehir merkezlerinde çok fazla trafik sıkışıklığına sebep olabilmektedir. Kent yönetimlerinin ulaşım sistemlerindeki fikir ve projelerinde; hem taşıma kapasitelerinin yüksek olması hem de temiz enerji kullanmaları sebebiyle raylı sistem taşımacılığı ön plana çıkmaktadır.

Günümüzde kentsel raylı sistem taşımacılığında temel olarak tramvaylar, hafif raylı sistemler, metrolar, banliyö trenleri, monoraylar kullanılmaktadır. Bu raylı ulaşım sistemleri, diğer karayolu toplu taşıma sistemleriyle kıyaslandığında pek çok avantaja sahiptir. Özellikle büyük şehirlerde raylı sistem işletmeciliğinin avantajları daha fazla ön plana çıkmaktadır.

Elektrikli cer gücüne sahip raylı sistem araçları tam yüklü ya da kısmen yüklü olma durumlarına bakılmaksızın, dizel yakıtlı otobüslere göre çok yüksek verime sahiptir. Hızlanmaları dizel motorlu araçlara göre daha güçlü ve daha rahattır. Ayrıca raylı sistem araçları enerji tüketimi yönünden otobüslerle kıyaslandığında 3 kat daha avantajlıdır. Elektrikli makine sistemlerinde verim % 80'in üzerindedir. Dizel ve buharlı makinelerde verim oranı %30'un üzerine çıkamamaktadır [5].

Günümüzde, dünyadaki enerji ihtiyacının çok büyük bir kısmı fosil yakıtlardan karşılanmaktadır. Fosil yakıtlardan karşılanan bu enerjinin %26'sı ulaşımında

kullanılmaktadır. Bu enerji kullanımı sonucunda karayollarında %26 oranında CO₂ emisyonu oluşmaktadır [6]. Dolayısıyla daha temiz bir hava sahası için emisyonu azaltmak gerekmektedir. Kent içi raylı sistem araçları; elektrikli tahrik gücüne sahip oldukları için, elektrik ihtiyacının yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlanması durumunda sıfır emisyona sahip olmaktadır. 1 milyon yolcu taşınması durumunda otobüsler, %2 oranında havayı kirletir ve bunun sonucunda 300 ton egzoz gazı açığa çıkar. Bu değer raylı sistem araçlarında sıfırdır, çevreyi kirletmezler [5]. Buna ek olarak elektrikli trenlerde yakıt depolama ve bu yakıtı taşıma durumunun olmaması da enerji verimliliğine katkı sağlamaktadır.

Raylı sistem araçları; elektrikli motorları sayesinde daha az gürültüyle çalışır. Çelik raylar üzerinde hareket ettiği için karayolu araçlarına göre çok daha az sarsıntı oluştuğundan daha fazla konfor sunar. Ayrıca elektrik motorları çok az yer kaplar. Bu da motorların tekerleklerin yakınına monte edilmelerini mümkün kılar.

Raylı sistem taşıtları, taşıma kapasitesi yüksek araçlardır. Otobüslerle karşılaştırıldığında tek yönde daha fazla yolcu taşımaktadırlar. Çoklu vagonlara sahip olmaları sayesinde kapasiteleri daha da yükselmektedir. Özellikle sabah ve akşam vakitlerindeki yolcu yoğunluğunun maksimuma yükseldiği pik saatlerde, tren setleri kuplaj yapılmak suretiyle iki ya da daha fazla set halinde aynı anda çalıştırılabilmektedir. Bu durumda kent trafiğindeki yolcu yoğunluğu önemli miktarda azaltılabilmektedir. Raylı sistem araçlarıyla aynı miktarda yolcu taşınabilmesi için gereken karayolu genişliği yolcu yoğunluğunun olduğu bölgelerde, otobüsler için 8 kat, özel araçlar için ise 15 kat daha fazladır [5].

Kent trafiğindeki aşırı araç yoğunluğu ve yayaların da bu trafiğin bir parçası olması; trafik kazaları, yaralanmalar, sakatlıklar ya da maddi ve manevi kayıplar gibi istenmeyen durumlara yol açabilmektedir. Raylı ulaşım sistemleri, kendine has yolları ve güzergahlarıyla kendi içerisinde kapalı bir sistemdir. Bu yüzden diğer taşıma sistemlerine göre daha güvenli bir yolculuk imkanı sunar.

Raylı sistem araçları kendi içinde kapalı bir sistem olmasıyla şehir içi trafiğinden bağımsızdır. Trenler trafiğe takılmadan demiryolu hattı üzerindeki seferini tamamlar.

Yani trafikte harcanan zaman, demiryolu taşımacılığıyla minimize edilerek vakitten ve yakıttan tasarruf sağlanır.

Raylı sistemlerde ilk yatırım maliyetleri yüksek olsa da işletme maliyetleri oldukça düşüktür. Elektrikli cer gücünün dizel yakıttan daha ucuza mal olması, raylı sistem araçlarının otobüslere göre periyodik bakım sürelerinin daha uzun vadede yapılması, elektrik motorlarının ömrünün uzun olması ve içerisinde çoğunlukla aşınmayan parçalar barındırması sebebiyle ekonomiktir. Bunun sonucunda raylı sistem araçları, uzun yıllar işletildiğinde ilk yatırım maliyetini karşılamaktadır.

Karayolu taşıtları; yağmur, kar vb. kötü hava koşullarından etkilenebilmekte, ve ulaşım aksayabilmektedir. Raylı sistem araçları kötü hava koşullarından daha az etkilenir. Hatta yeraltı tünellerinde hareket eden metro araçları, bu koşullardan tamamen izoledir.

Bu çalışmada kent içi raylı sistem araçlarının tasarım kriterleri üzerinde durulmuş ve literatürden elde edilen araştırma verileri neticesinde, uluslararası standartlara bağlı kalınma gayretiyle örnek bir metro tren setinin 3 boyutlu CAD (Computer Aided Design) modeli oluşturulmuştur. Metro treni tasarım sürecinde Solidworks programından faydalanılmıştır. Daha sonra, trenin ilgili analizleri ANSYS programıyla yapılarak elde edilen sonuçlar incelenmiştir.

BÖLÜM 2

KENT İÇİ RAYLI SİSTEM TOPLU ULAŞIM ARAÇLARI

Kent içi ulaşım; yaya yolları ve bisiklet yolları dahil olmak üzere, kent içinde seyahat edilmeye müsait olan deniz, göl, nehir vb. su yolları ile kent içi cadde ve sokakların yanı sıra, metro ve diğer raylı sistem hatlarını kapsamaktadır. Kent içi ulaşımında trafik yoğunluğunu azaltmak için en makul çözümlerin başında toplu taşıma sistemleri gelmektedir. Toplu taşıma araçları içerisinde; konforlu, güvenli, ekonomik ve çevreci olmalarının yanı sıra taşıma kapasitelerinin de yüksek olmaları sebebiyle raylı sistem taşımacılığı diğer toplu taşıma araçlarına göre daha avantajlı konumdadır.

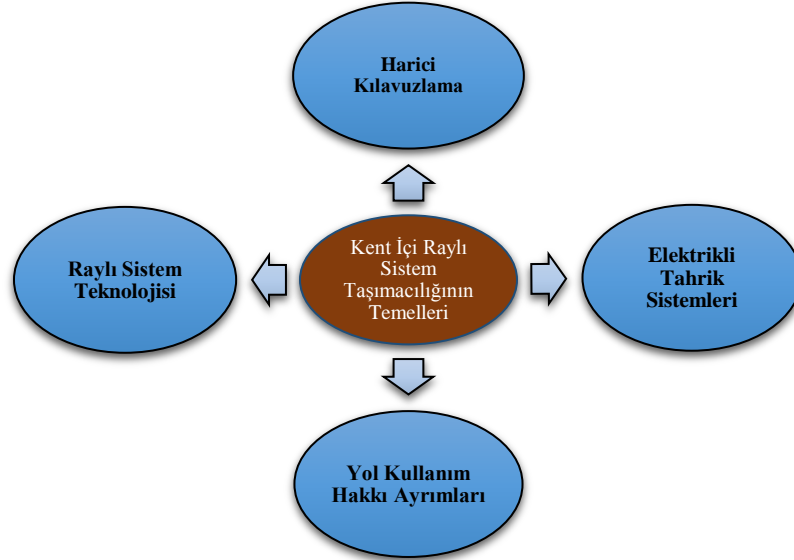
Kent içi raylı sistem araçları, otobüslerle kıyaslandığında ortaya çıkan avantajları kısaca şu şekilde sıralayabiliriz:

1. Daha hızlı ulaşım imkanı,
2. Aynı anda daha fazla yolcu taşıma,
3. Daha güvenli yolculuk,
4. Elektrikli cer sistemi sayesinde ucuz ve çevreci taşımacılık,
5. Daha yüksek performanslı ve verimli araçlar,
6. Yolcu yoğunluğuna göre araç ekleyerek tren uzunluklarını ayarlayabilme ve bunun sayesinde taşıma kapasitesini artırabilme fırsatı,
7. Diğer ulaşım sistemlerinden izole taşımacılık,
8. Seyir esnasında yaya yoğunluğunun azalması,
9. Sinyalizasyon sistemleri ile sürücü hatalarını minimuma indirerek daha güvenli yolculuk imkanı,
10. Alçak tabanlı gövde yapıları ya da istasyonlardaki platformlar sayesinde iniş binişlerde kolaylık.

2.1. KENT İÇİ RAYLI SİSTEM TAŞIMACILIĞININ TEMELLERİ

Raylı sistem taşımacılığını diğer toplu taşıma sistemlerinden ayıran durumların çoğu, temelde dört farklı özellikten kaynaklanmaktadır. Bu özellikler;

1. harici kılavuzlama,
2. raylı sistem teknolojisi,
3. elektrikli tahrik sistemleri ve
4. yol kullanım hakkı ayrımlarıdır [4,7,8]. (Şekil 2.1)



Şekil 2.1. Kent içi raylı sistem taşımacılığının temelleri.

2.1.1. Harici Kılavuzlama

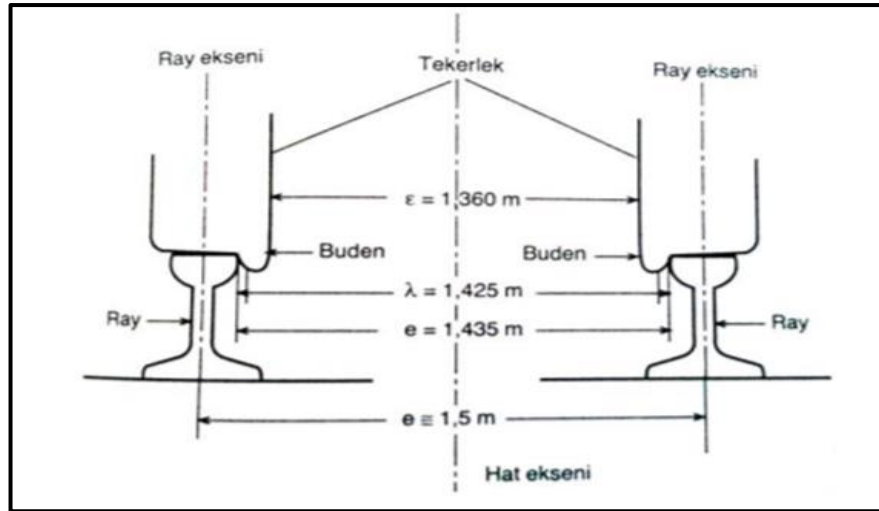
Raylı sistem araçlarının rotaları, üzerinde hareket ettikleri rayların konumlarıyla sınırlıdır. Bu yüzden makinistin seyir esnasındaki temel görevleri aracı hızlandırmak, yavaşlatmak ve durdurduktan sonra kapıların açılıp kapanmasını sağlamaktır. Yani; harici kılavuzlamanın güzergahı belirlemesinden dolayı, makinistin aracı yönlendirmeye herhangi bir müdahalesi yoktur.

Harici araç kılavuzlama; güzergahını diğer trafik yollarından ayırdığı için yüksek yolcu taşıma kapasitesi imkanı sunar. Taşıma kapasitesinin yükselmesi ise kent

trafiğini rahatlatmak için oldukça önemlidir. Harici kılavuzlama; elektrikli cer sistemlerinin kullanılmasını daha kolay hale getirerek daha çevreci bir taşımacılık fırsatı verir. Ayrıca kılavuzlama, sinyalizasyon sistemlerinin kullanımıyla beraber tren işletmeciliğinde tam otomasyonlu seyir imkanı sunar. Fakat harici kılavuzlamanın bunca avantajlarının yanı sıra en büyük dezavantajı, yüksek yatırım maliyeti gerektirmesidir [4,7].

2.1.2. Raylı Sistem Teknolojisi

Raylı sistem araçlarının çelik tekerlekleri, belirli aralıktaki iki çelik ray üzerinde hareket etmektedir. Tekerleklerin iki ray üzerinden kayarak düşmelerini önlemeye yardım eden, araçların belli bir yolda hareketini sağlayan “buden” adı verilen bir çıkıntı bulunmaktadır [9]. Raylı sistem araçlarının tekerleklerindeki buden yapısı Şekil 2.2'de gösterilmiştir.



Şekil 2.2. Tekerlek, ray ve buden etkileşimi [10].

Çelik tekerleklerdeki budenler raylı sistem taşıtlarına hem bir mesnet sağlar hem de ray doğrultusunda kılavuzluk eder. Budenler ve üzerinde hareket ettikleri yüzeylerin konik şekilleri sayesinde tekerlekler, raylarla temas noktası ile kılavuzlanmaktadır [4,7].

Çelik tekerleğin, çelik rayla teması oldukça düşük bir yuvarlanma direnci oluşturmaktadır. Bu yuvarlanma direnci lastik tekerlekler ile karşılaştırıldığında

yaklaşık 10 kat daha düşük seviyededir. Dolayısıyla çelik tekerleğin çelik raya teması, ton başına en düşük enerji tüketimini sağlar. Enerji tüketiminden sağlanan bu avantaj, trenin hızıyla da doğru orantılı bir şekilde artmaktadır. Ancak çelik tekerlekler, çelik raylar üzerinde daha düşük tutunma katsayısına sahiptir. Düşük tutunmanın iki dezavantajı vardır. Bunlardan birincisi çelik tekerlekli raylı sistem araçlarının, lastik tekerlekli taşıtlara göre eğim tırmanma kabiliyetlerinin iyi olmamasıdır. İkincisi ise frenleme esnasında duruş mesafelerinin uzun olmasından dolayı lastik tekerlekli araçlar kadar kısa sürede duramamasıdır [4,7]. Ayrıca çelik tekerlekli raylı sistem araçları düzlüklerde ve hafif kurplarda sessiz olmasına rağmen daha keskin kurplarda budenlerin rayla etkileşimi arttığı için gürültü miktarı da artmaktadır. Lastik tekerleklerde böyle bir durum olmadığı için gürültü daha azdır. Manevra kabiliyetleri, çelik tekerlekli sistemlere kıyasla daha iyi seviyededir.

Monoray, lastik tekerlekli metro, translohr vb. lastik tekerlek kullanan raylı taşıtlarda da kendine özgü mesnet sağlayan ve araç yörüngesi doğrultusunda kılavuzluk yapan tekerlek sistemleri bulunmaktadır. Hem çelik tekerlek sisteminde hem de lastik tekerlek sisteminde araçların seyri, yine raylı teknoloji ile sağlanmaktadır. Araçların kullanılacakları bölgelerin fiziksel, coğrafi ya da iklimsel şartları çelik ya da lastik tekerlekten hangisinin daha avantajlı olacağı hususunda belirleyici rol oynamaktadır.

2.1.3. Elektrikli Tahrik Sistemleri

Kent içi raylı sistem taşımacılığında kullanılan araçlar elektrikle çalışmaktadır. Elektrikli tahrik sisteminin pek çok avantajı vardır. Bunlar;

1. Araçların daha dinamik performansla çalışabilmeleri,
2. Araçların hızlı ivmelenebilmesi,
3. Elektrik motorlarının sessiz oluşu,
4. Elektrik motorlarının uzun ömürlü oluşu,
5. Rejenaratif frenleme adı verilen; cer motorunda fren yapıldığı esnada trenin elektrik üreterek, ürettiği enerjiyi hatta geri verilmesini sağlayıp enerji dönüşümü sağlayan özel bir sisteme sahip oluşu [9].
6. Hava kirliliğine sebep olmayışıdır.

Elektrikli tahrik sistemine gereken gücü sağlamak için yapılan tesislerin yatırım maliyetlerinin yüksek oluşu, araçların rotasının elektrikli hattın ulaştığı alanlarla sınırlı olması, hatta oluşabilecek bir elektrik arızasının tüm sistemi kullanılamaz hale getirmesinin olası olması dezavantajlarıdır. Ancak elektrikli tahrikin verdiği performans avantajı ve ilk yatırım maliyeti sonrasındaki işletme maliyetinin düşük oluşu sebebiyle kent yönetimlerince tercih edilmektedir [4,7].

2.1.4. Yol Kullanım Hakkının Ayırılması

Toplu taşıma araçlarının yol kullanım hakları, araçların fonksiyonelliklerine ve gösterdikleri performansa doğrudan etki etmektedir. Bu etki, kendine özgü güzergahlarının, rayların rotasıyla belirgin olduğu raylı sistem araçlarında daha belirgindir. Toplu ulaşım sistemlerini yol kullanım hakkı ayırımına göre üç grupta inceleyebiliriz (Çizelge 2.1) [11]:

1. Cadde ulaşımı
2. Yarı hızlı ulaşım
3. Hızlı ulaşım

Çizelge 2.1. Farklı ulaşım modu kategorilerinin özellikleri [11].

Sistem kategorisi	Ulaşım sistemi	Araç kontrol	Araç sayısı	Araç kapasitesi	Hat kapasitesi (x bin yolcu/saat)
Cadde ulaşımı	Trolleybüs	Sürücü/Görsel	1	80-125	3-6
	Tramvay	Sürücü/Görsel	1-3	100-300	10-20
Yarı hızlı ulaşım	Metrobüs (BRT)	Sürücü/Görsel	1	80-180	6-24
	Hafif raylı sistem (LRT)	Sürücü/Sinyal	1-4	100-600	10-28
Hızlı ulaşım	Metro	Sinyal/ATO	4-10	720-2500	40-70
	Banliyö	Sinyal/ATO	1-10	150-1800	25-50

Cadde ulaşımı; karma trafikte caddelerde yapılan taşımacılık türüdür. Mevcut trafik şartları ve trafikteki yoğunluğun az ya da çokluğu sistemin güvenilirliğini doğrudan etkiler. Otobüs, trolleybüs ve tramvay cadde ulaşımı sınıfındadır [11].

Yarı hızlı ulaşım; bariyerler ya da kot farklarıyla fiziksel olarak şehir içi trafiğinden ayrılmıştır. Ancak bazı alanlarda karayolu taşıtlarıyla kesişmeler olabilmektedir. Ülkemizde metrobüs adıyla bilinen BRT (Bus Rapid Transit) sistemleri ve LRT (Light Rail Transit) olarak adlandırılan hafif raylı sistem araçları bu gruptadır [11].

Hızlı ulaşım; kent merkezlerindeki diğer taşıtlarla, kavşaklarda ve yayalarla kesişimi olmayan, tam kontrollü taşımacılık türüdür. Hızlı ulaşım modları; yüksek hız, yüksek kapasite ve daha güvenli yolculuk imkanı sunar. Metro, lastik tekerlekli metro, monoray ve banliyö sistemleri hızlı ulaşım sınıfındaki taşıtlardır [11].

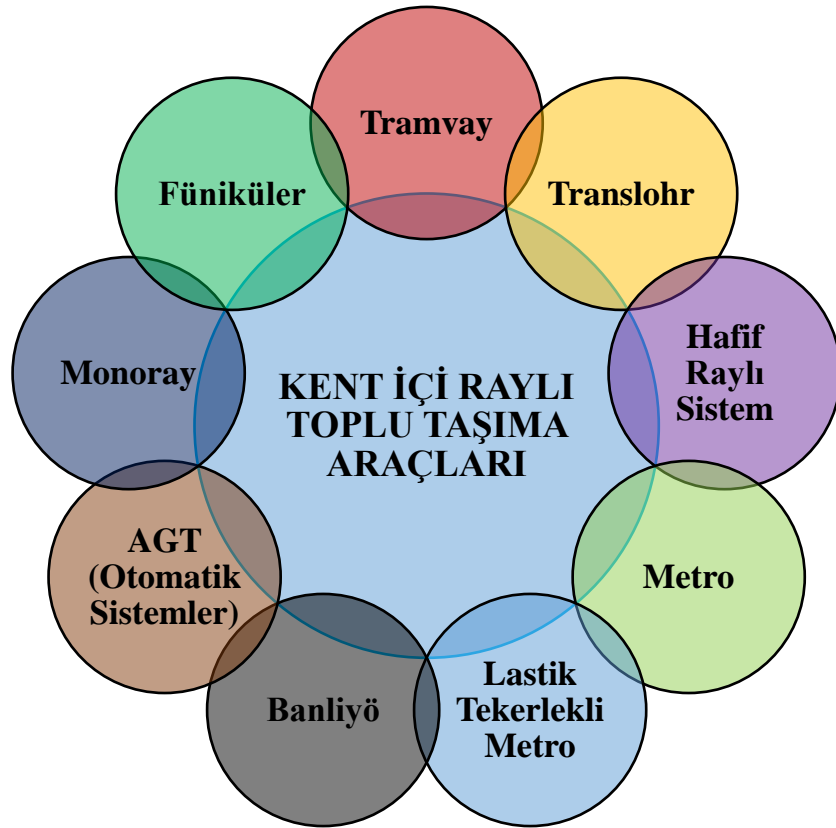
2.2. KENT İÇİ RAYLI TOPLU TAŞIMA ARAÇLARI

Kent içi toplu taşımacılıkta kullanılan raylı sistem araçları, yoğun yolcu talebini karşılaması gereken ulaşım sistemleridir. Bu yüzden aynı anda taşıyabileceği maksimum yolcuyu en çabuk şekilde, güvenli, verimli ve performanslı olarak ulaştırmak zorundadır. Kent merkezinde yolcu yoğunluklarının bulunduğu işlek alanların birbirlerine yakınlığı sebebiyle durak mesafeleri kısadır. Yani sürekli olarak durup hızlanmaya uygun şekilde tasarlanmaktadır. Yolcu sirkülasyonunu en çabuk sürede yapabilmesi için iniş binişlerin kolay hale getirilmesi göz önünde bulundurularak dizayn edilmektedir.

Şehir trafiği ile iç içe çalışan cadde tramvaylarının yolcu kapasitesi, kentsel raylı sistem taşımacılığının en düşük kapasitelilerinden biridir. Tramvaylar yaklaşık olarak tek yönde 10.000 yolcu/saat taşıma kapasitesine sahiptir. Metroların taşıma kapasiteleri ise bu sınıfta en yüksek seviyededir. Tek yönde 40.000 yolcu/saat ile 80.000 yolcu/saat arasında yolcu taşıyabilmektedir. Yani tramvay ve metro, kent içi raylı toplu taşımacılığında yolcu kapasitesi olarak en az ve en çok olmak üzere iki uç noktada bulunmaktadır. Örneğin, 15.000 yolcu/saat ile 30.000 yolcu/saat aralığındaki bir talep tramvay için yüksek olmasına rağmen metro için düşük bir değerdir. Yani,

tramvaylar yetersiz kalmakta, metrolar ise pahalı bir ulaşım yatırımı haline gelmektedir. Bu yüzden, oluşan bu durum ve buna benzer senaryolar, tramvay ve metro arasındaki kapasite farkını kapatacak yeni raylı sistem araç türlerinin geliştirilmesine öncü olmuştur. Tramvay ve metronun, yolcu kapasitelerinin arasında bir kapasiteye sahip olan hafif raylı sistem taşıtları bu gelişimlerin bir sonucudur [12].

Hafif raylı sistem araçları, koşullara göre izole bir şekilde kendine ait yolundan giderken bazen de trafiğe karışarak kent caddelerini paylaşabilmektedir. Dolayısıyla raylı sistemlerde araçlar, talebe göre geliştirilerek kentler için en uygun ulaşım sisteminin entegre olması sağlanabilmektedir. Beşeri, coğrafi, fiziki ve ekonomik şartlara göre kentler için bir çok türde, farklı modlarda raylı toplu taşıma araçları ortaya çıkmıştır. Bu araçları; tramvay, translohr, hafif raylı sistem, metro, AGT (otomatik sistemler), lastik tekerlekli metro, monoray, föniküler ve banliyö olarak sınıflandırabiliriz. (Bkz. Şekil 2.3)



Şekil 2.3. Kent içi raylı toplu taşıma araçları.

2.2.1. Tramvay

Kent içi raylı sistemin atası sayılabilecek tramvay araçları ilk olarak 1800'lü yılların başında kullanılmaya başlandı. İlk tramvaylarda araçlar atlar tarafından çekiliyordu. Zamanla hayvan gücü yerini elektrik enerjisine bıraktı.

Tramvaylar çoğunlukla caddelerde döşenmiş raylar üzerinde, şehir trafiğiyle birlikte bir sürücü tarafından kumanda edilen taşıtlardır. İşletme hızları hareket ettikleri hat üzerindeki koşullara göre farklılık gösterse de genellikle 15 km/saat ile 30 km/saat arasında değişiklik göstermektedir. Şehir içlerinde karayollarıyla aynı ortamı paylaşımlarından dolayı trafik düzenine uymak zorundadır. Geniş caddelerde ya da uygun yollarda işletildiği takdirde sistem akıcıdır. Fakat trafik sıkışıklığının fazla olabileceği dar bölgelerde verimli çalışmayabilir.



Şekil 2.4. Kayseri tramvayı (katenerli).

Elektrik enerjisiyle çalışan bu taşıtlar, genellikle gücünü yol boyunca uzanan katener hattından almaktadır. Ayrıca son yıllarda enerjisini raydan alan tramvaylar da geliştirilmiştir. Ülkemizde İstanbul'da hattın konumu gereği sahil boyunca tarihi alanlardan ilerleyen Alibeyköy-Eminönü tramvayı, karmaşık bir görüntü oluşturmaması için katenersiz yapılmıştır ve enerjisini raylardan almaktadır. Bu hatta kullanılan sistem sürekli yerden beslemeli teknolojiye sahip üçüncü ray sistemidir. Sistem, taşıtlara enerji sağlamak için taşıyıcı rayların arasına yerleştirilen ray segmentlerini kullanmaktadır. Bu raylardaki antenler sayesinde araçlar, ray

üzerindeki geçiş esnasında algılanmakta ve araç hattın geçtiği o sırada raylar enerjilendirilmektedir. Araçların hatta bulunmadıkları durumlarda ilgili raylar enerjisiz konumda kalmaktadırlar. Böylece sistemin güvenliği sağlanır ve hattın araç olmayan bölgelerinde emniyetli şekilde yaya geçişlerine imkan sağlanmış olur.



Şekil 2.5. İstanbul Alibeyköy - Eminönü tramvayı (Katenersiz, sürekli yerden beslemeli üçüncü ray sistemi).

Batarya teknolojilerindeki ilerlemelerle birlikte enerjinin depolanmasındaki gelişmeler, tramvayların kendi enerjilerini depolayıp daha sonradan bu enerjiyi kullanabilmelerine de olanak sağlar. Konya’da kullanılan tramvaylar enerjisini katener hattından almaktadır. Ancak, şehrin tarihi dokuya sahip ilgili yerlerinde, katener hattındaki ekipmanların, direklerin ve tellerin yaratmış olduğu görsel karmaşıklığa sebep olmamak adına, ilgili bölgelerde katener hattı kullanılmamaktadır. Enerji bataryalarda depolanır ve tarihi bölgelerdeki tramvay hareketi bu enerjiyle sağlanır.



Şekil 2.6. Konya tramvayı (Katenerli ama ilgili bölgelerde bataryalı sistem).

Tramvaylar cadde seviyesinde iniş ve binişlerin kolay yapılabilmesi için genellikle alçak tabanlı tercih edilirler. Yolcu yoğunluğunu gidermek için özel dizayn edilen bu araçlarda ayakta durmak için yapılmış bölümler geniş yer kaplamaktadır.

Tipik bir cadde tramvayı 1, 2 bazen de 3 araçlı dizilerden oluşur. Dört ila altı akslı olan bu taşıtların uzunluğu 14 ile 21 m arasındadır. Yolcu kapasitesi 80 ile 300 arasında değişiklik gösterir. Bu kapasitenin %20 ile %40'ı oturan yolcuları kapsamaktadır [11].

2.2.2. Translohr

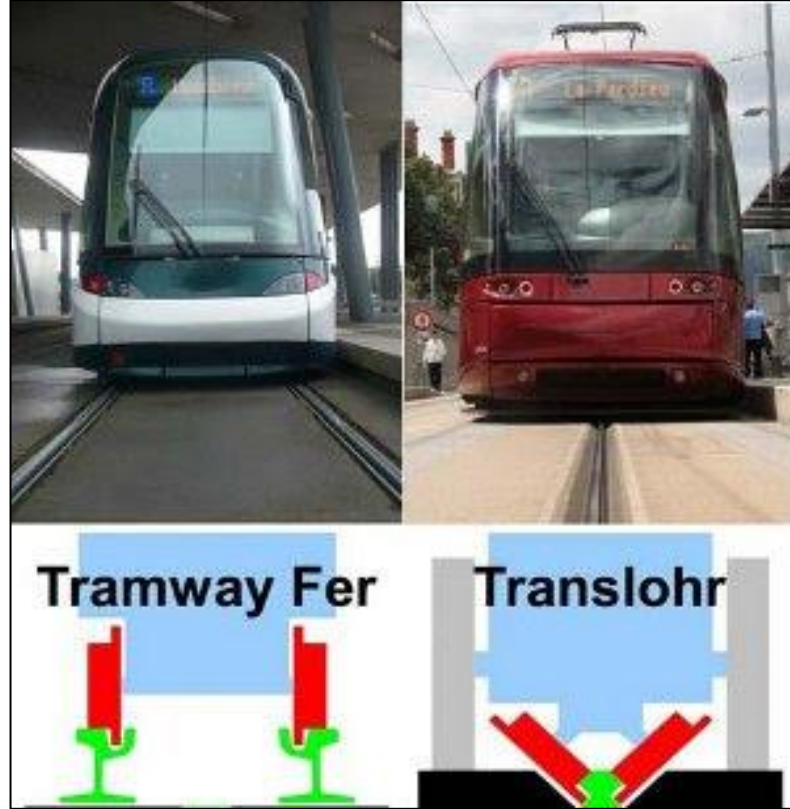
Translohr; sistemsal olarak bakıldığında tramvay ve trolleybüs benzeri bir raylı sistem taşıtıdır (Şekil 2.7). Bu sistemi lastik tekerlekli tramvay olarak tanımlamak yanlış olmayacaktır. Ancak lastik tekerleklerinin yanı sıra, aracı hattın yörüngesinde tutması için çelik malzemedan yapılmış kılavuz tekerlek sistemini de içerisinde barındırmaktadır.



Şekil 2.7. Translohr hattı ve aracı (Clermont-Ferrand, Fransa).

Translohr sisteminin temel tekerlek yapısını lastik tekerlekler oluşturur. Tahrik sistemi, süspansiyon sistemleri ve frenler lastik tekerlek sistemine entegredir. Ancak aracın sağ ve sol yanındaki lastik tekerleklerin tam orta bölümünde, tek bir ray

üzerinde hareket etmeye uyumlu olarak tasarlanmış, "V" şeklinde ve yol düzlemiyle 45°'lik açı yapacak biçimde konumlandırılmış iki adet çelik tekerlek sistemi, yol güzergahında araca kılavuzluk yapma görevini üstlenmektedir (Şekil 2.9). Tramvay hattının ve translohr hattının çelik tekerlek yapısıyla kendi rayları üzerindeki şematik görünüşleri Şekil 2.8'de gösterilmiştir.



Şekil 2.8. Tramvay ve translohr tekerlek - ray düzenleri.

Translohr araçlarının geleneksel tramvaylara göre önemli avantajları bulunmaktadır. Geleneksel cadde tramvaylarında çelik tekerlekler çelik raylar üzerinde yuvarlanarak hareketini sağlar. Fakat çelik malzemenin başka bir çelik malzemeyle temasıyla meydana gelen tutunma kabiliyeti, lastik tekerleğin asfalt yada beton yola tutunmasına kıyasla daha düşük seviyededir. Dolayısıyla lastik tekerlekli translohr, çelik tekerlekli tramvaylara göre frenleme mesafeleri bakımından daha avantajlıdır. Lastik tutuşu sayesinde frenleme esnasında daha kolay durdurulabilir. Tutunmanın diğer etkisi ise eğim tırmanma kabiliyetlerinde ortaya çıkmaktadır. Translohr sisteminde, geleneksel tramvaylara göre daha dik eğimleri daha kolay tırmanabilmek

mümkün hale gelmektedir. Ayrıca keskin dönüşlerdeki manevra kabiliyeti, klasik tramvaylardan çok daha iyi seviyededir.



Şekil 2.9. Translohr tekerlek ve süspansiyon sistemi.

Translohrun dezavantajları ise lastik tekerleğin çelik tekerleklere oranla yuvarlanma dirençlerinin 10 kata kadar daha fazla olmasından dolayı tonaj başına enerji tüketimlerinin fazlalığıdır. Bu durum dikkate alındığında geleneksel tramvaylar çok daha ekonomik olmaktadır. Ayrıca lastik tekerlekler tek bir kılavuz rayın yörüngesine bağlı olarak hareket ettiklerinden dolayı tekerlekler sürekli olarak asfalt ya da beton yolun aynı bölgelerine temas etmektedir. Bu durumun sonucunda yol geometrisinde çökmeler oluşabilmekte ve yol yapım maliyeti artmaktadır. Lastiklerin zamanla aşınma durumlarından dolayı lastik değiştirme maliyetleriyle karşılaşmak mümkündür.

Günümüzde Fransa, İtalya, Çin, Kolombiya gibi ülkelerde kullanılan translohr sistemi, yüksek eğimli coğrafyaya sahip kentlerde mantıklı bir raylı sistem aracı olabilir. Ama daha düz coğrafyalar için geleneksel cadde tramvayları daha uygun bir tercihtir.

2.2.3. Hafif Raylı Sistem

Hafif raylı sistemler; kent içindeki hattının bir kısmında karayolu taşıtlarıyla aynı yolu paylaşıp da çoğunlukla kendine özgü yolu üzerinde işletilen taşıttır (Şekil 2.10).

Tramvay ve metro araçlarının arasında kalan bir raylı ulaşım sistemidir. Hafif raylı sistemde aynı hat üzerinde çok farklı işletme koşulları karşımıza çıkabilmektedir. Araçlar zaman zaman yeraltı tünellerine girebilir, bazen de trafikteki diğer araçlarla karma olarak ilerleyebilir. Bu özelliklerinden dolayı yarı hızlı ulaşım sınıfındadır. Araçların özelliklerine göre istasyonlarda alçak ya da yüksek peronlar olabilir.



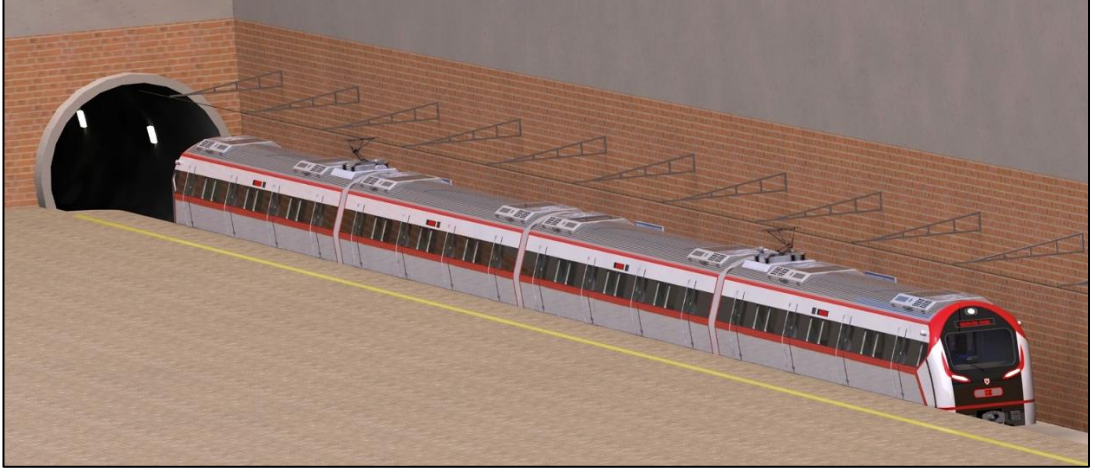
Şekil 2.10. Hafif raylı sistem (Los Angeles, ABD).

Hafif raylı sistemde yolcuların % 20-50'si oturandır. Araç boyları 18-42 m aralığındadır. Yüksek ivmelenme ve yavaşlama kabiliyetine sahip araçlardır. Maksimum hızları genellikle 70 km/saat ile 80 km/saat arasında değişkenlik gösterir. Ancak daha yüksek hızlara ulaşan hafif raylı sistem araçları da bulunmaktadır. İşletme hızları genellikle 18 km/saat ile 40 km/saat arasındadır [4,7].

2.2.4. Metro

Metrolar; çoğunlukla yeraltı tünellerinde işletilen ama gerektiğinde yeryüzünde de çalışabilen, tam sinyali ve tam korumalı kent içi raylı sistem taşıtlarıdır (Şekil 2.11). Kent içi raylı taşımacılıkta banliyö trenlerinden sonra en fazla yolcu kapasitesine sahip araçlardır. Yüksek kapasite ve yüksek hızın yanı sıra her iki yanlarında bulunan

geniş kapı sistemleri sayesinde hızlı iniş biniş imkanı sunar. Metrolardaki bu kapıların yolcu indirme-bindirme kapasitesi hafif raylı sistem araçlarına göre 3- 5 kat ve otobüslere göre ise 10-20 kat daha fazladır. 90 saniyeye kadar düşen sefer aralıkları ve aynı anda 2000 kişiye kadar yolcu kapasitesi imkanı sunmasıyla diğer kent içi toplu taşıma araçlarından çok daha fazla yüksek performans sunmaktadır [11].



Şekil 2.11. Metro.

Metro ulaşım sistemi, tüm kent içi taşımacılık modları arasında en yüksek yatırım maliyetine sahip olanıdır. Çünkü metrolar, kot farkıyla ayrılmış yollardan, büyük istasyonlardan oluşur. Ayrıca yeraltı tünelleri ve bu tünellerin havalandırması, aydınlatması ve diğer unsurları yüksek maliyetin en büyük sebebidir. Tam korumalı sinyal sistemleriyle donatılmış olmalarının da yüksek maliyete etkisi büyüktür. Ancak hattın kurulumu sonrası ekonomik işletmecilikle birlikte yüksek kapasiteli taşımacılık yapıldığından ilk yatırım maliyetini amorti etmektedir.

Metrolardaki sinyalizasyon sistemleriyle birlikte tam emniyetli kontrol sistemleri, sürücü hatalarına izin vermemelerinden dolayı son derece güvenlidir. Son zamanlarda karşımıza çıkan metrolarda ATO (Automation Train Operation) adı verilen otomatik tren işletme ve ATP (Automation Train Protection) adı verilen otomatik tren koruma sistemleri, metroların sürücüsüz olarak kontrol merkezlerinden güvenli bir şekilde işletilmesine olanak sunar. Metrolar elektrik enerjisini ya

pantograf vasıtasıyla kataner hattından ya da bojilerindeki pabuçlar vasıtasıyla hat boyunca uzanan üçüncü ray hattından sağlamaktadır.

Tipik metro araçlarının uzunlukları 16 m ile 23 m aralığındadır. Genişlikleri ise 2,50m ile 3,20m aralığındadır. Araçlar 4 akslıdır ve 10'lu setlere kadar çalıştırılabilmektedir. Araç kapasiteleri 120 kişi ile 250 kişi arasında değişiklik gösterir. Bu yolcu kapasitesinin % 25 ila % 60'ını oturan yolcular oluşturur. Ortalama işletme hızı 25-60 km/saat arasındadır. Azami hızları ise 80-110 km/saat'e kadar çıkabilir [4,7].

2.2.5. Lastik Tekerlekli Metro

Lastik tekerlekli metro sistemleri klasik metro sistemleriyle aynı gövde düzenine sahiptir. Bojileri ise lastik ve çelik tekerlekler dışında yine aynı düzene sahiptir. Araçlar sağ ve sol taraflardaki kılavuz tekerlekler vasıtasıyla hatta kılavuzlanırlar (Şekil 2.12).

Lastik tekerleklerde tutunma daha iyi olduğu için ivmelenme ve frenleme ile birlikte işletme hızını artırmak, tekerleklerden gelen gürültüyü azaltmak ve maliyeti indirgemek amaçlanmıştır. Ancak geleneksel metroların, lastik tekerlekli metrolardan geride olmadığı, hatta lastik tekerlek sisteminin daha dezavantajlı olduğu anlaşıldığından bu sistem çok fazla tutulmamıştır [11].



Şekil 2.12. Lastik tekerlekli metro (Sapporo, Japonya).

Lastik tekerlekli araçların sürtünme dirençleri yaklaşık olarak 10 kat daha fazladır. Bu yüzden çelik tekerlekli geleneksel metrolara göre % 25-30 oranında daha fazla enerji tüketmektedir. Sistem daha karmaşık yapıda olduğu için hem yatırım maliyetleri hem de bakım maliyetleri yaklaşık % 20 kadar daha fazladır [11].

2.2.6. Banliyö Treni

Banliyö trenleri; genellikle büyük şehirlerde işletilen, şehir dışındaki yerleşim bölgelerinden şehir merkezlerine yolcu taşıyan raylı sistem taşıtlarıdır (Şekil 2.13). Günümüz kentlerindeki trafik yoğunluğunda artış, park sorunları, hava kirliliği gibi sorunlara karşı banliyö taşımacılığı; yüksek kapasite, hız, konfor ve güvenlik imkanı sunmaktadır. Kendine has hatları kullanmasının yanı sıra konvansiyonel hatları da kullanabilirler.



Şekil 2.13. Banliyö treni (İZBAN, İzmir).

Banliyö trenleri; diğer kent içi raylı sistem taşıtları gibi sürekli olarak merkezi bölgelerde işletilmeyip, kent merkezlerinin uzak bölgelerindeki yolcuları merkezi yerlere taşıma amacıyla oluşturuldukları için istasyon mesafe aralıkları uzundur. İstasyonların mesafelerinin miktarına bağlı olarak 110 km/saat ile 130 km/saat arası hızlara kadar çıkabilir. Uzun mesafe taşıtları oldukları için yolcu kapasitesi çok

yüksek araçlardır. Tek yönde saatte 100.000 yolcunun üzerindeki kapasitelere kadar çıkabilmektedir.

2.2.7. AGT (Otomatik Sürücüsüz Sistemler)

AGT (Automated Guideway Transit) olarak bilinen otomatik sürücüsüz sistemler, bilgisayarlar tarafından kumanda edilen küçük taşıtlardır (Şekil 2.14). Kendi kılavuz yolunda lastik tekerleklerle işletilirler. Elektrik enerjisiyle çalıştılarından çevre dostudur. Ayrıca hem elektrik motorları hem de lastik tekerlekleri sayesinde sessizdirler. Lastik tekerlekli yapısıyla eğimli kentlerde işletilmeye uygundur. Vagonların parçalı olmasından dolayı manevra kabiliyetleri iyi seviyededir. AGT sisteminin dezavantajı küçük araçlara sahip olması ve dolayısıyla yolcu kapasitesinin düşük oluşunun yanı sıra yatırım maliyetinin yüksekliğidir.



Şekil 2.14. AGT - Otomatik sürücüsüz sistemler (Tampa/Florida, ABD).

2.2.8. Monoray

Monoray; adından da anlaşıldığı üzere "mono" yani "tek" bir ray üzerinde veya altında, beton ya da çelik kolonlar ve kirişler vasıtasıyla karayolundan bağımsız olarak yüksekte konumlandırılmış kent içi raylı sistem taşıtıdır [11]. Elektrik enerjisini kendine özgü raylarından alan bu araçlar tekli ya da çoklu vagonla çalıştırılır. Sürücülü ya da sürücüsüz işletilebilirler. Havada yükseltilmiş raylarında kılavuzlu tekerlek sistemiyle hareket eden monorayların askı tip ve bindirme tip olmak üzere iki türü vardır. Monoray tipleri Şekil 2.15'te gösterilmiştir.

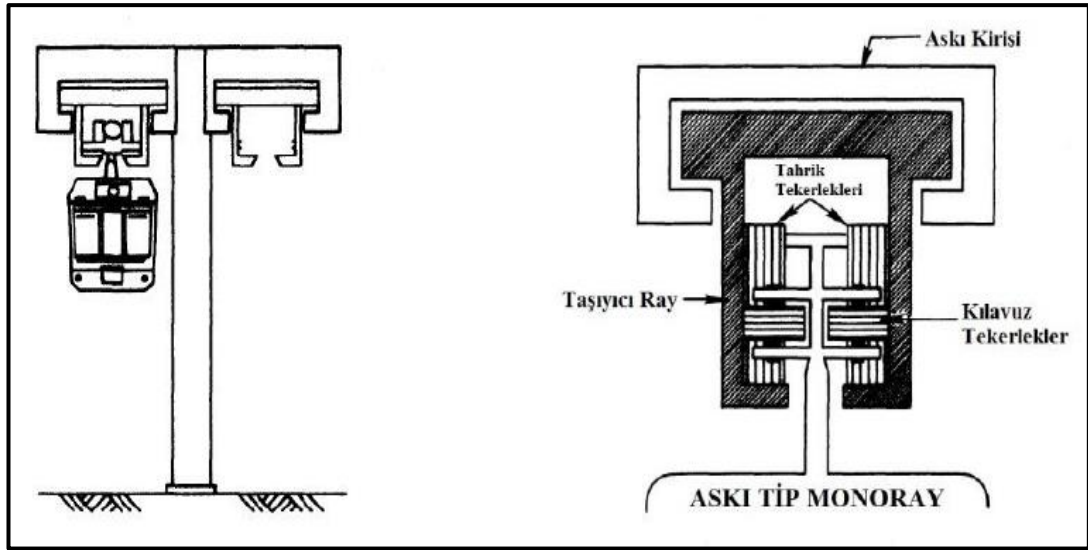


a) Askı tip monoray.

b) Bindirme tip monoray.

Şekil 2.15. Monoray tipleri.

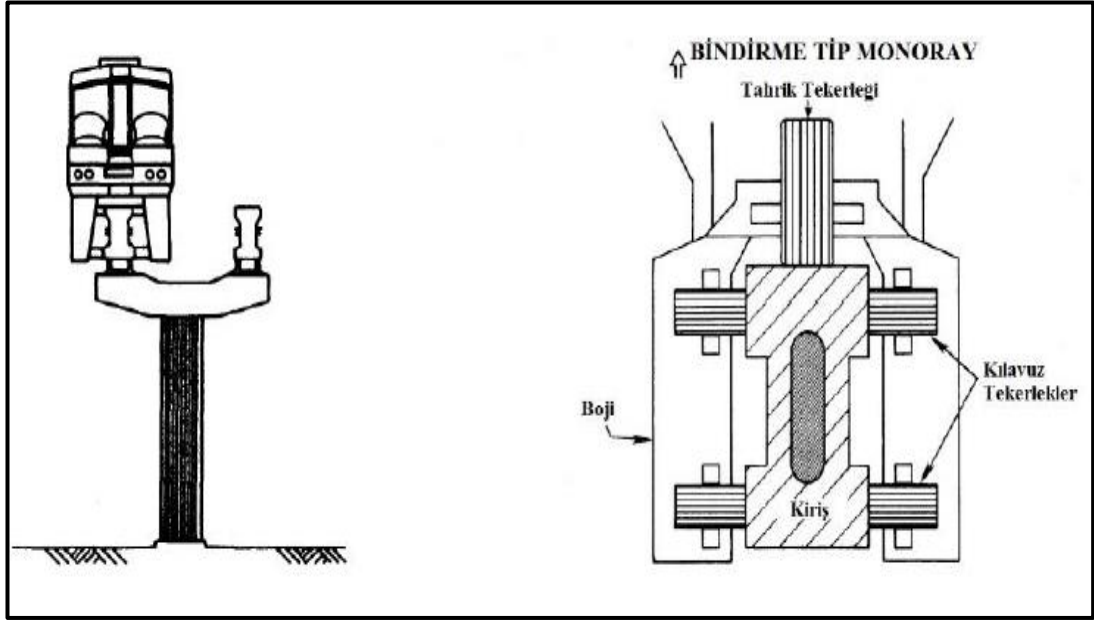
Askı tip monoray; kendine özgü boji ve süspansiyon sisteminin aracın üst kısmında olduğu sarkaç tipi bir sistemdir [13]. Araçlarda lastik tekerlekler kullanılır. Bojilerindeki taşıyıcı tekerleklerin yanı sıra araçları dengede tutan ve rotası boyunca hareketine yardımcı olan kılavuz tekerlekler de bulunmaktadır (Şekil 2.16). Araçların yapısı gereği üst bölümde bulunan bojilerdeki taşıyıcı tekerlekler, içi boş bir kutu şeklindeki kirişin iç alt yüzeyine temas ederek aracın hareketini sağlamaktadır. Bojiler kapalı bir sistem içinde olduğundan yağmur, kar ya da buzlanma gibi hava koşullarından etkilenmezler.



Şekil 2.16. Askı tip monoray ve kiriş içerisindeki boji yerleşimi [13].

Bindirme tip monoraylar ise klasik araçlar gibi boji ve süspansiyon sisteminin aracın alt bölümünde bulunduğu, ancak kılavuz tekerlekleriyle yükseltilmiş hattının üzerine oturur vaziyette hareketini sağlayan raylı sistem taşıtıdır (Şekil 2.17). Dünyada en çok tercih edilen monoray tipidir [13]. Bojilerindeki lastik tekerlekler ana hattaki ray kirişine temas eder ve ana tekerleklere yardımcı olan ve araçları dengede tutan kılavuz tekerlekler, vagonların kendi rotaları boyunca hareket etmesinde önemli bir unsurdur.

Askı tip monorayda olduğu gibi bindirme tip monorayda da lastik tekerleklerin hızlanma, fren mesafesi, ses ve gürültü kirliliği, kurp dönüşleri, eğim tırmanma kabiliyetleri yönüyle diğer raylı sistem taşıtlarına göre avantajlıdır.



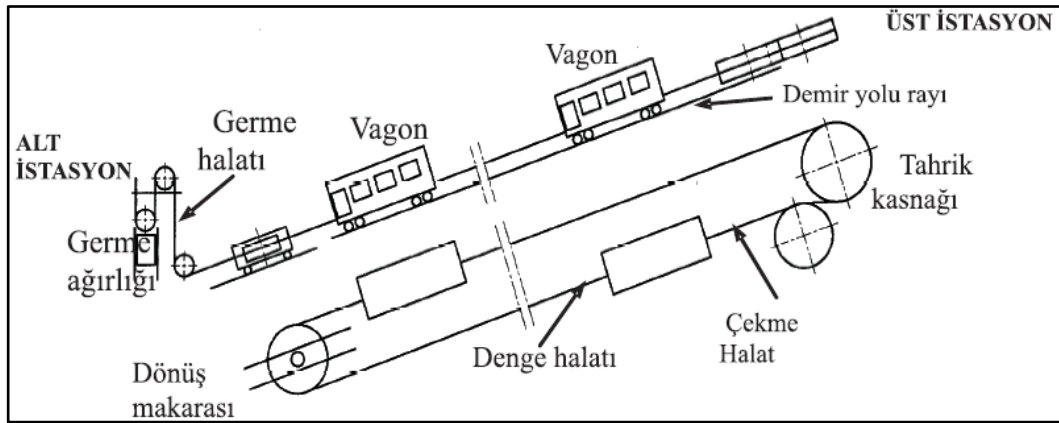
Şekil 2.17. Bindirme tip monoray ve kiriş üzerindeki boji yerleşimi [13].

Bindirme tip monoraylar, askı tip monoraylarla kıyaslandığında kent estetiğine daha uygun olmakla birlikte daha güvenlidirler. Çünkü askı tip monorayların alt bölümünde, karayolu trafiğinin akması için yeterli miktarda yüksekliğin sağlanması gerekmektedir. Yani, askı tip monoray hatlarının bindirme tip monoray hatlarına göre daha yüksek inşa edilmesi zorunludur. Bu da kent estetiği bakımından dezavantaj sağlamaktadır.

Monoray hatlarının inşası diğer geleneksel raylı sistem hatlarına göre çok daha kolay ve az maliyetlidir. Fabrikalardan hazır olarak getirilen beton ya da çelik blokların birbirleriyle montajlanmasıyla hattın inşası tamamlanır. Bu yükseltilmiş yolları sayesinde diğer araçlarla kaza riski bulunmamaktadır [14].

2.2.9. Füniküler

Füniküler; şehir merkezlerindeki engebeli coğrafi bölgelerde halatlar vasıtasıyla çekilen ve bir taşıyıcı rayın kılavuzluk ettiği kent içi raylı sistem taşıtıdır. Yükseklik farklarının fazla olduğu iki bölge arasında hem asansör hem de demiryolu teknolojisi kullanılarak taşımacılık yapılır (Şekil 2.18) [15].



Şekil 2.18. Füniküler istasyonlarının ve araç tahrik sisteminin genel görünüşü [15].

Füniküler sistemi; engebeli bölgenin üst istasyonundaki tahrik kasnağına sarılı, çelik halat yardımıyla bağlanmış en az iki araçtan oluşmaktadır. Araçlar hattın her iki tarafında tam orta bölümlerde yer alan paralel raylar üzerinde hareketini gerçekleştirir. Aynı anda çekilen araçlar, hattın tam ortasında karşılaşılarak yan yana gelirler. Belirli bir mesafeden sonra bu iki hat yeniden tek hatta düşer ve araçlar istasyona ulaşır. İnen trenin ağırlığı, eğimli yol üzerindeki çıkan treni çekmeye yardım ederek her iki araç da birbirinin hızının kontrolden çıkmasına engel olur [15].



Şekil 2.19. Tünel Füniküleri (İstanbul).

Dünyanın ilk yer altı funiküleri 1875 yılında İstanbul'da inşa edilmiştir. Karaköy'den Galata Kulesi'ne çıkan bu funiküler "Tünel" ismiyle bilinir (Şekil 2.19). Tünel; ilk inşa edildiğinde tahrik sistemi buhar gücüyle çalışmaktaydı. Ayrıca, Tünel Füniküleri; Londra Metrosundan sonra dünyanın metro kategorisindeki ikinci sistemidir [15].

BÖLÜM 3

KENT İÇİ RAYLI SİSTEM ARAÇLARINDA GÖVDE GEOMETRİSİ VE GÖVDE BOYUTLARI

Raylı sistem araç üretimlerinde üzerinde durulması gereken başlıca unsurlar; araç başına üretimin maliyeti, kalite odaklı araç üretimi, inovatif ve teknolojik ürün ortaya koyma yaklaşımlarıdır. Kentsel raylı sistemlerde müşterilerin talepleri, kent şartlarına göre farklılık göstermektedir. Bu yüzden raylı sistem araçlarını üreten firmaların, farklı müşteri taleplerine cevap verebilecek mühendislik kabiliyetlerine sahip olmaları gerekmektedir. Bunun yanı sıra, üretilecek olan raylı sistem araçları maliyet açısından rekabetçi potansiyele sahip olmalıdır [16].

3.1. ARAÇ GÖVDESİ TASARIM FAKTÖRLERİ

Raylı sistem taşıtlarının gövde geometrisi ve gövde boyutları, uluslararası standartlara bağlı kalınmak suretiyle, raylı sistem aracının işletmesini yapacak olan şirketlerin ya da kurumların talepleri dikkate alınarak belirlenmektedir. Şirket ya da kurumların bu talepleri, raylı sistem işletmeciliğinin yapılacağı kentlerin beşeri, coğrafi, fiziki, iklimsel ve ekonomik şartlarına bağlı olmakla birlikte, kent estetiğine tasarımsal olarak uygunluğu dikkate alınarak belirlenmektedir. Araçlar tasarlanırken, kentlerin mevcut şartlarına göre optimum düzeyde uygunluk sağlanması hedeflenir.

3.1.1. Ekonomik Faktörler

Araçların yatırım maliyetleri ile sistemin kurulumu sonrası bakım maliyetleri raylı sistem işletmeciliğinde önemli bir faktördür. İlk yatırım maliyetleri; araçların gövde şekillerine, setlerdeki araç sayılarına, hatların yapısal özelliklerine ve türüne, kullanılan malzemelerin dayanıklılıklarına vb. birçok sebebe bağlıdır. Bakım maliyetleri; sistemin ilk kurulumundaki malzeme ve ekipman kalitelerinin yanı

sıra işçiliğın kalitesine de bağılıdır. Dayanıklı malzemeden yapılan bir taşıt, daha az bakım isteyeceğı için bakım maliyeti de düşük olacaktır. Ancak yatırım maliyeti yüksek olduğundan yine ekonomik olmayacaktır. Optimum maliyetle bir çözüme ulaşmak için yatırım maliyeti ve bakım maliyeti arasındaki dengenin sağlanması gerekmektedir.

3.1.2. İklim Faktörleri

Kent içi raylı sistem taşıtlarının çalışma bölgelerindeki iklimsel şartlar hem performansa hem de konfora doğrudan etki etmektedir. Kentlerin rakımı, sıcaklık değerleri, nem miktarları, hava hareketleri, yağış tipleri vb. etmenler yolcu konforunu, araç performanslarını ve araç gövdelerini etkileyebilmektedir.

Mevsimsel geçişlerdeki ani hava değışiklikleri; araç üzerindeki ekipmanlara ve araçların elektronik sistemlerine zarar verebilir. Bu yüzden tüm elektronik ve elektromekanik sistemler, olumsuz hava koşullarına karşı korunmalıdır. Araç ve araç üzerindeki bütün ekipmanlar “TS EN 50125-1 (Demiryolu uygulamaları- Donanım için çevre şartları)” standardındaki sınır şartlarını sağlaması gerekmektedir.

Metro araçları çoğunlukla tünellerde çalışmaktadır. Araçlar açık havalara çıktığı durumlarda koridor, yağmur, sis vb. koşullarla karşılaşılabilir. Dolayısıyla araç gövdelerinin hava koşullarına uygunluğu oldukça önemlidir.

3.1.3. Coğrafi Faktörler

Kentlerin coğrafi şartları, raylı sistem araçlarının tasarım ve hesaplamalarında mutlaka göz önünde bulundurulmalıdır. Hatların topografik özellikleri, eğim değerleri ve bu unsurlara bağılı olarak kurp yarıçapları araçların tasarım sürecinde değerlendirilmesi gereken önemli hususlardır.

3.1.4. Beşeri ve Fiziki Faktörler

Kentlerin toplu taşıma aracı ihtiyaçlarının en önemli seçim faktörü yolcu yoğunluğunu karşılayacak kapasitede olmasıdır. Örneğin; çok yoğun nüfuslu bir büyük şehrin, tek yönde en az 4 araçlık yolcu yoğunluğunu taşıma ihtiyacı varsa, üretici firmadan 3 araçlık bir set talep etmek uygun olmayacaktır. Raylı sistem araçlarının yolcu yoğunluğunun maksimum seviyeye ulaştığı pik saatlerde, araç dizilerinin miktarı kuplaj sistemleriyle birleştirilerek gereken talebi karşılamaya uygun olmalıdır. Araç gövdeleri yolcu yoğunluğunu kaldırabilecek ve iniş binişleri kolay olabilecek şekilde dizayn edilmelidir. Bütün bu unsurlar göz önünde bulundurulurken, araçlarda herhangi bir performans kaybı olmamasına da dikkat edilmelidir. Ayrıca araçların uzun ömürlülüğü ve sürdürülebilirliği de çok önemlidir.

3.1.5. Kent Estetiğine Uygunluk Faktörü

Kent içinde kullanılan raylı sistem araçları, günlük yolcu yoğunluğunu taşımaları sebebiyle insanların sürekli olarak karşı karşıya geldikleri taşıtlardır. Dolayısıyla estetik açıdan kentlerle uyum içinde olmaları oldukça önemlidir. Kent içi toplu taşıma araçları, günümüz kentlerinin kimliğini yansıtan faktörlerden birisidir.

Toplu ulaşımın temeli insan faktörüdür. Bu yüzden araçların iç ve dış görüntülerinin cazipliği, bu taşıtların halk arasında popüler olması ve pozitif bir imaj sunması yönünden önem arz etmektedir [4,7].

3.2. RAYLI TAŞITLARDA GÖVDE BOYUTLARI

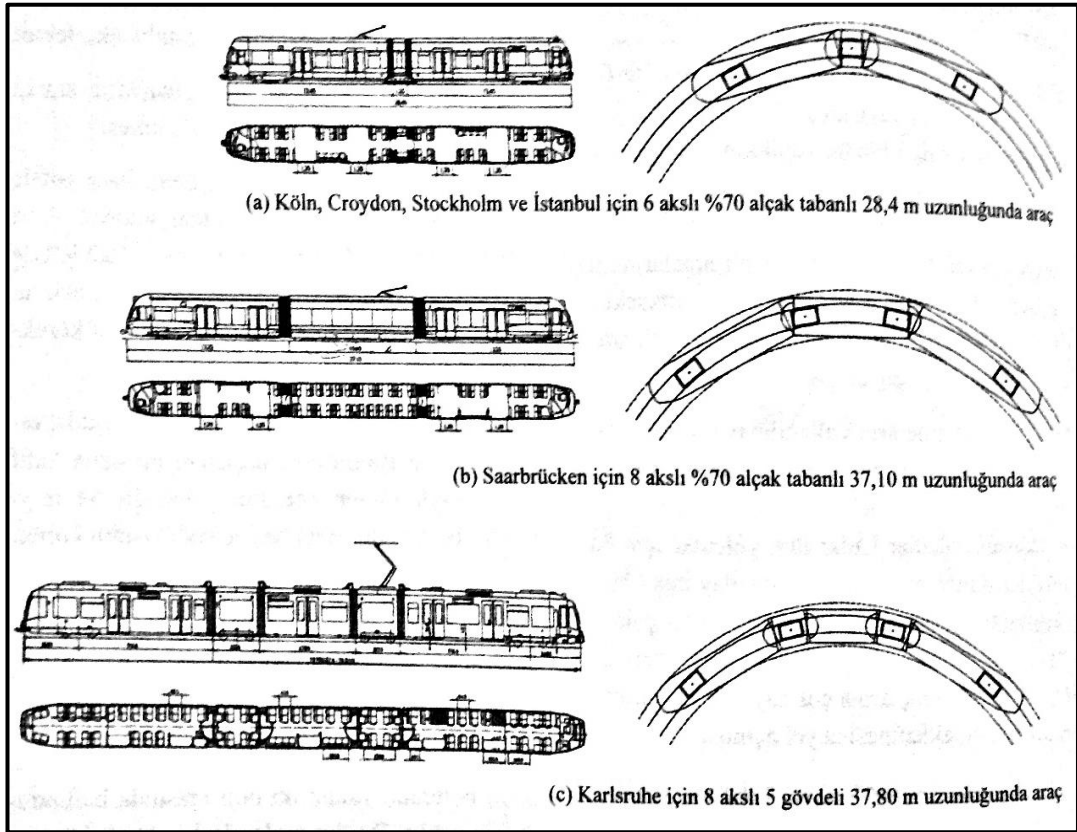
Demiryolu taşıt teknolojisi gövde tipleri, gövde boyutları, aks yapıları ve dinamik performansları bakımından farklı türlerdeki araçların kullanılmasına olanak sağlar. Kent içi raylı sistemlerde farklı türlerdeki araç modlarının aralarındaki farklar kendilerine özgü karakteristik yapılarından kaynaklanmaktadır. Tramvaylar ve hafif raylı sistem (LRT) araçları cadde trafiğinde de çalışabilmeleri sebebiyle araç genişlikleri sınırlıdır ve boyları arasındaki mesafeler hattaki dar kurpların durumuna göre belirlenmektedir. Metro araçlarının ise sistemsel özelliklerine uygun

güzergahları ve açıklıkları bulunmaktadır. Ayrıca yolcu yoğunluğu, istasyon aralarında mesafeler, iklimsel faktörler, topografya vb. unsurlar araç görünümünü ve araçların geometrik özelliklerini etkilemektedir [11].

Hafif raylı sistem ve tramvay araçları yarıçapları 15-25 m aralığındaki dar kurplardan geçebilecek şekilde tasarlanmaktadır. Bundan dolayı boji aralarındaki mesafe 6-7 m arasındadır, nadiren 10 m'ye kadar çıkabilir. Aksın bulunduğu konumdan araç önüne kadar olan mesafe 2- 4 m aralığındadır. Ayrıca tek gövdede çift bojiye sahip, yani dört akslı hafif raylı sistem ya da tramvay araçlarının boy uzunlukları 13-14 m civarındayken, bazı istisna durumlarda 16 m'ye kadar uzayabilir. Kuzey Amerika'da yeni kullanılmaya başlanan hafif raylı sistem araçlarının çoğunluğu tek körüklü, 3 boji olmak üzere toplam 6 akslı ve 18-24 m aralığında uzunluğa sahiptir. İstisna olarak araç uzunluğu 27 m'ye kadar çıkabilir. Çoğu Avrupa şehrinde ise araçlar çift körüklü, 4 boji olmak üzere toplam 8 akslı ve 23-29 m aralığındadır. Nadiren 32 m uzunluğunda da görülebilir [4,7].

Bir üretici firma tarafından 1985 yılında ilk kez alçak tabanlı tramvay/hafif raylı sistem aracı yapılmıştır. Aracın tabanının yüksekliği ray üzerinden 0,30-0,35 metredir. Alçak tabanlı araçların üretilip kullanılmalarının sebebi daha kolay iniş ve binış sağlayabilmektir. Özellikle tekerlekli sandalye ile seyahat eden engelli yolcular ile bisiklet, bebek arabası, bagaj vb. durumdaki yolculara büyük kolaylık sağlamaktadır. Alçak tabanlı araçlar % 35, % 70 ve % 100 olmak üzere üç gruba ayrılabilir. % 35 alçak tabanlı araçlarda bojinin olduğu kısımlar geleneksel yöntemlerle dizayn edilmiş olsa da iki boji arası koridor, basamaklarla boji kısmından ayrılmış ve alçak olarak tasarlanmıştır. Yani alçak tabanlı bölümün uzunluğu kısadır. % 70 alçak tabaklarda ise genellikle aracın iki ucu standart taban yüksekliğindeki bojilerden oluşur. Ama orta kısımdaki boji motorsuzdur. Bu sayede iki uç arasında % 35 alçak tabanlılara göre daha uzun boyutta alçak tabanlı bölge bulunmaktadır. Hem % 35 hem de % 70 alçak tabanlı araçlarda standart boji sistemleri kullanılır ve orta kısımdaki alçak tabanlı bölgeye basamaklarla inilir. Orta kısımdaki alçak taban bölgesinin uzunluğu sınırlıdır. % 100 alçak tabanlı araçlarda ise tabanın tamamı alçaktır. İç mekanda basamaksız alan sunduğu için çok daha kullanışlıdır. Boji sistemlerinin alçak tabana uyumlu hale gelebilmesi için tasarımları

oldukça farklıdır. Motorlar bojilerin yan bölgelerindedir ve her bir tekerlek tek bir motordan güç alır veya her bir motor birbiri arkasındaki her iki tekerleğe tahrik sağlar. Yani tekerleklerde aks bulunmaz, bağımsızdırlar. Bojilerin orta kısımları alçak tabanlı tasarıma uyum sağlamak için boşluktur. Araç gövdesinin tabanlarında motor ve tekerleklerin bulunduğu kısımlar içe doğru çıkıntı yapacak şekilde dizayn edilmiş ve arada kalan diğer bölgeler tüm araç boyunca düz ve alçak olarak tasarlanmıştır. Araçlar tek süspansiyonludur ve alçak taban gereği alt bölümde ekipman yerleştirecek yer olmadığı için çatı kısımlarına yerleşim yapılmıştır. % 100 alçak tabanlı araçlarda inişler binişler çok daha kolaydır ve iç mekanın kullanılabilirliği maksimum düzeydedir. Bahsi geçen alçak tabanlı araçların uzunlukları 27-42 m aralığında uzunluğa sahipken, daha önceden kullanımda olan araçların uzunlukları nadiren 30 m'yi geçmekteydi [4,7].



Şekil 3.1. Bazı alçak tabanlı tramvay / hafif raylı sistem modelleri [17].

Son dönemlerde üretimi yapılan metro araçları genellikle 18-23 m arası uzunluklarda ve 2.80 - 3.10 m arası genişliklerdedir. Araçlar çoğunlukla 2 bojlili olmak üzere

toplam 4 akslıdır. Araçlar körukler vasıtasıyla birbirlerine bağlanarak talebe göre 4'lü, 5'li, 8'li çalıştırılabildiği gibi 10'lu vagona kadar tek bir setin kullanımına izin verebilir [11].

Banliyö trenleri ise tüm kent içi raylı araçlar arasında en büyük boyutlara sahip olanıdır. Çoğu kentlerde maksimum araç uzunluğu 26 m, genişliği ise 3.20 m'dir [4,7].

Vuchic'in yaptığı çalışmaya göre dünyanın farklı şehirlerindeki 90 araç modeli incelenmiş ve elde edilen verilerden yola çıkılarak tramvay, hafif raylı sistem, metro ve banliyö sistemlerinin boyutları, kapasiteleri, ağırlıkları ve bazı performans verileri saptanmıştır. Elde edilen bu veriler Çizelge 3.1'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.1. Kent içi raylı sistem araçlarının türlerine göre özellikleri [4,7].

	Tramvay (4 Akslı)			Hafif Raylı Sistem (6 Akslı, %70 Alçak Taban)			Hafif Raylı Sistem (6 Aks Üzeri)			Metro			Banliyö		
	Min.	Ort.	Mak.	Min.	Ort.	Mak.	Min.	Ort.	Mak.	Min.	Ort.	Mak.	Min.	Ort.	Mak.
Araç boyu (m)	13.6	14.1	20.0	19.1	25.0	30.0	23.5	30.0	54.0	14.6	18.0	22.9	17.5	25.9	25.9
Boji aralığı (m)	6.0	6.4	11.8	6.0	9.0	10.0	6.0	6.5	7.1	8.2	12.0	16.5	10.0	16.5	18.2
Gövde genişliği (m)	2.20	2.40	2.70	2.20	2.65	3.0	2.20	2.40	2.65	2.50	2.90	3.20	3.05	3.15	3.20
Motorlu aks sayısı	4	4	4	2	4	6	4	4	8	2	4	4	2	4	4
Tek taraftaki kapı sayısı	2	3	4	2	4	4	4	4	5	2	3	5	1	3	4
Koltuk sayısı	20	35	60	30	45	90	44	64	90	35	60	83	70	100	175
Toplam kapasite	100	110	170	117	160	210	160	185	240	137	170	300	140	160	250
Toplam güç (kW)	160	160	360	200	300	470	200	300	430	270	400	470	300	450	530
Boş araç ağırlığı (ton)	15.2	17.0	28.8	19.8	24.0	39.0	25.4	33.0	38.3	19.0	25.0	38.0	29.0	34.0	59.0
Mak. hızlanma ivmesi (m/s ²)	1.0	1.2	1.9	1.0	1.0	1.7	0.9	1.0	1.3	1.0	1.1	1.4	0.8	1.0	1.3
Acil fren ivmesi (m/s ²)	2.0	3.0	3.7	2.0	3.0	3.0	2.0	3.0	3.0	1.1	1.3	2.1	1.0	1.2	1.4
Mak. hız (km/sa)	60	70	125	65	80	100	65	80	80	70	85	130	100	120	160

3.3. TAŞIT – GABARİ İLİŞKİSİ

Demiryollarında gabari; taşıtların emniyetli bir şekilde hareket etmesi için güvenli hareket alanını sağlayacak boşluğun adıdır. Gabari, raylı sistem taşıtlarının mümkün seviyedeki en büyük dış çerçeve sınırlarını, hat güzergahındaki sabit tesislerin konumlarını ve köprü, tünel, geçit vb. sanat yapılarının boyutlarını belirler [18].

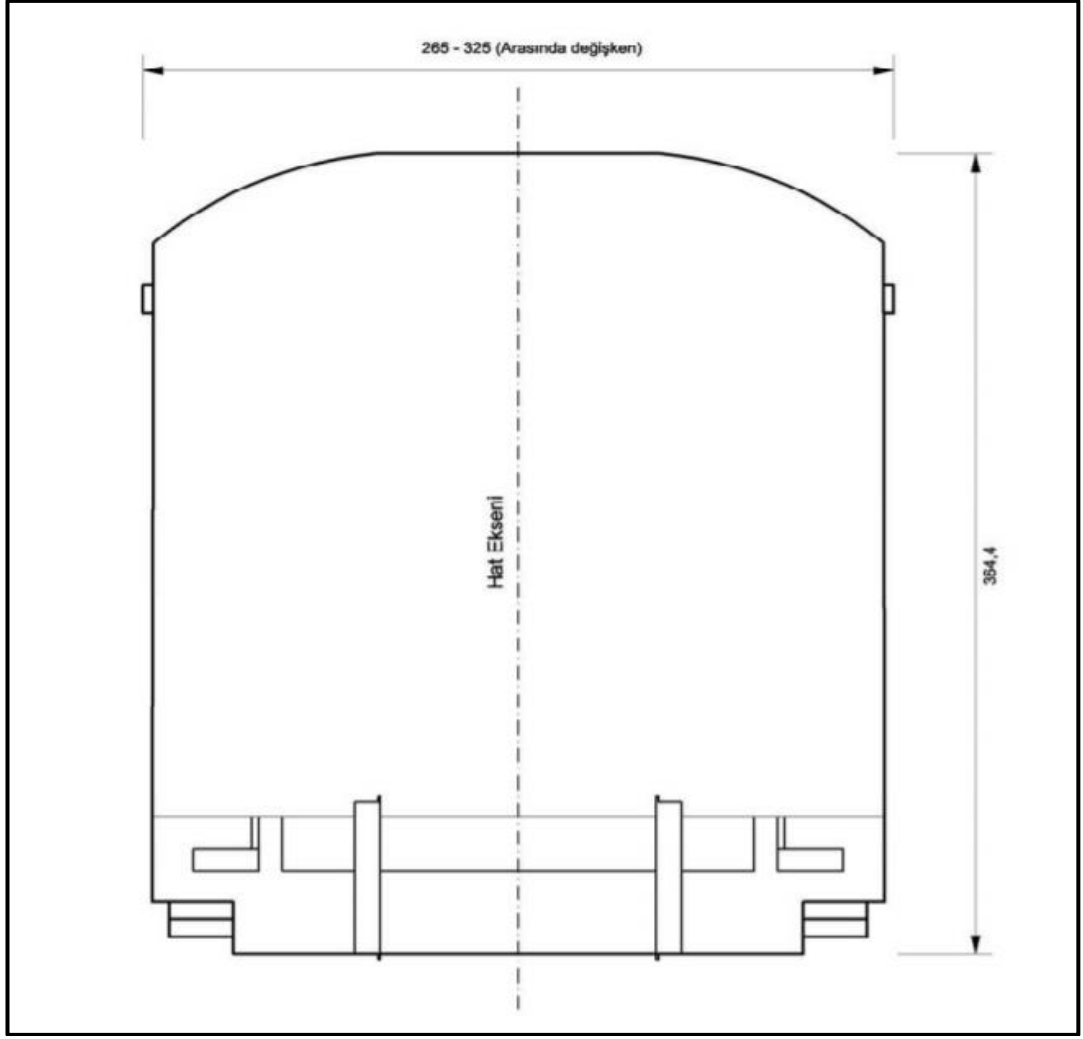
Raylı sistem araçları tasarlanırken gabari hesaplamalarında her zaman en kötü şartlar göz önünde bulundurularak hesaplamalar yapılır. Bu şartlara; raylardaki çöküntüler, kurpların durumları ve araç süspansiyonlarındaki salınımlar vb. durumlar örnek olarak verilebilir.

Temel düzeyde iki tür gabari vardır. Bunlar:

1. Statik gabari
2. Dinamik gabari

3.3.1. Statik Gabari

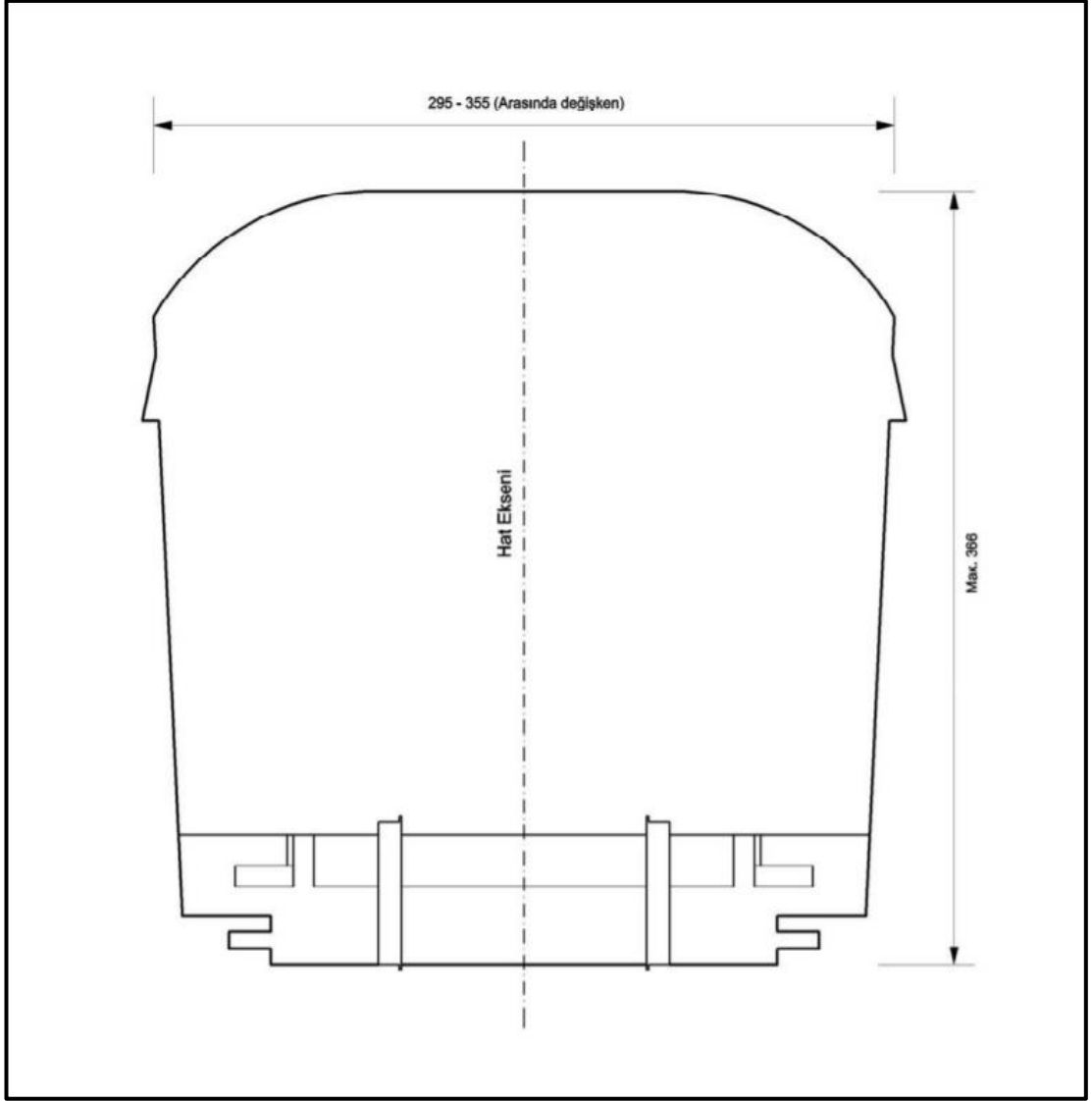
Raylı sistem taşıtının durağan konumundaki sınır ölçüsüdür. Araçların üretimi öncesi, yani tasarımı esnasında belirlenen imal ölçüleri statik gabariyle doğrudan ilişkilidir.



Şekil 3.2. Metro aracı statik gabari (Aliymanda) [19].

3.3.2. Dinamik Gabari

Raylı sistem araçlarının hareket durumlarına bağlı olarak süspansiyonlarının esnemesi ya da yol durumdan dolayı salınım hareketleri ile yolun geometrik ve dinamik açıdan yer değiştirmesinin (fleş, dever vb.) hesaba katılması dinamik gabari sınırının gereğidir. Taşıtların emniyetli bir şekilde seyri için salınımlardan kaynaklanan gabari sınırı aşımalarını tolere etmek amaçlanır. Dinamik gabari; “UIC (Union International des Chemins de fer – Uluslararası Demiryolu Birliği)” tarafından belirlenmiştir.



Şekil 3.3. Metro aracı dinamik gabari (Aliymanda) [19].

3.4. GÖVDE TASARIMININ AERODİNAMİK PERFORMANSA ETKİSİ

İyi bir aerodinamik performansa sahip tren kafa modeli tasarımları yüksek hızlı trenler için çok önemli bir kriterdir. Metro araçlarında hız genellikle 80-90 km/saat ile sınırlıdır. Yani hava direnci ve aerodinamik performans yüksek hızlı trenlerde olduğu kadar önem arz etmemektedir. Ayrıca yüksek hızlı trenlerin kafa modellerindeki aerodinamik yüzey modellemesinin tasarım yöntemi, işleme teknolojisi ve malzeme performansı bakımından çok daha yüksek talepleri vardır. Bu yüzden metro trenlerinin ön ve arka vagonlarındaki kafa kısımlarında oval tasarımlar yerine genellikle daha kare ve keskin hatlara rastlarız. Ancak şehir içinde

çalışan metro araçlarının iyi bir aerodinamik performansla araç ve evre arasındaki etkilerini en aza indirmek birinci öncelik olmalıdır [20].

Zaman içerisinde kentlerdeki raylı sistem hatlarının uzamasıyla birlikte, ilçe merkezlerine kadar taşımacılık yapılabilir. Yani mevcut metro hatları zamanla banliyo hatlarına dönüşebilmektedirler. Örneğin, TCDD tarafından İstanbul'da 2013 yılında 13.5 km'lik hat uzunluğu ve Kazlıeşe - Ayrılık eşeesi arasındaki 5 istasyonuyla işletmeye açılan Marmaray, 2019 yılında Halkalı - Gebze arasında 76.6 km'lik hat uzunluğuyla 43 istasyonda çalışmaktadır. Zamanla banliyo hattına dönüşen metro hatlarındaki araçların, artan hız kriterleri ve çevresel faktörler sebebiyle aerodinamik performansının etkisi de daha fazla önem kazanmaktadır.

3.4.1. Metro Treninin Tünel İçerisindeki Hareketi ve Olası Sorunlar

Metro araçları tünel içinde hareket ettiklerinde, hava akışı tünel ve araç gövdesi tarafından kısıtlanmaktadır. Bunun sonucunda tünel içerisindeki havanın sıkışmasından dolayı hava basıncında ani artışlar görülmektedir. Böylece tünel içinde ve araç gövdesinin yüzeyinde etrafa yayılan ve basınc değişikliklerine sebep olan bir sıkıştırma dalgası oluşur. Oluşan bu dalgalar araç içerisinde de yayılır [21].

Sıkıştırma dalgasının araç içerisinde yayılması sonucu hava direnci, basınc dalgası ve aerodinamik gürültü gibi sorunlar ortaya çıkabilmektedir.

3.4.1.1. Hava Direnci

Hava direnci; hava ile araç yüzeyi arasındaki sürtünmeden kaynaklanan dirençtir. Metro treninin çalışması esnasında hava direnci ve sürüş direnci olmak üzere iki direnç etkili olmaktadır. Tren düşük hızda hareket ettiğinde sürüş direnci ana dirençtir ve hava direnci etkisi yüksek seviyede değildir. Fakat tren hızlandıkça hava ve araç yüzeyi arasındaki sürtünme etkisi artacağından hava direnci de artacaktır. Yapılan araştırmalarda 160 km/saat hızdaki hava direncinin, toplam seyir direncinin % 60'ını oluşturduğu tespit edilmiştir. Araç tünelin içinde hareket halindeyken aracın hava direnci, tünel dışındaki açık hatta alışırkenki hava direncinden birkaç kat daha

fazladır. Trenin tünel içerisindeki hava direncini etkileyen ana faktörler arasında trenin hızı, trenin uzunluğu, blokaj oranı vb. faktörler sayılabilir [21]. Blokaj oranı; araç yüzeyinin ön kesit alanının tünel lülesinin çıkış kesit alanına oranıdır.

3.4.1.2. Basınç Dalgası

Tren tünel içinden geçerken, tünelin duvarlarının kısıtlı bir alan yaratmasından dolayı aerodinamik olgular; tünel dışındaki açık hattakine göre daha güçlü olmaktadır. Tren kafasının tünel içerisinde ittiği hava, tünelde yüksek hızda hareket etmeye zorlanmış olur. Çok fazla miktarda hava tren tarafından ileri itilir ve bunun yanı sıra az miktarda hava da tren ile tünel duvarları arasındaki boşluktan geriye doğru akar. Bu durum hava basıncı dalgasını oluşturmaktadır. Tünel içindeki basınç dalgasının özellikleri hem tünelin durumu hem de aracın durumuyla yakından ilgilidir. Tünel basınç dalgasını etkileyen en önemli iki faktörün blokaj oranı ve trenin hızı olduğunu söyleyebiliriz. Basınç dalgası etkisinden dolayı araç içerisinde ani basınç değişimlerinin yaşanması olasıdır ve tren içerisinde yolculuk eden insanlar olumsuz etkilenebilir [21].

3.4.1.3. Aerodinamik Gürültü

Trenin tünel içerisindeki hareketinden kaynaklanan hava akışının girdaplar oluşturmasından dolayı aerodinamik gürültü oluşacaktır. Aerodinamik gürültü; trenin hızı, trenin gövdesinin yüzey pürüzlülüğü, araç kafasının tasarım detayları ve diğer faktörlere bağlı olabilmektedir. Oluşan bu gürültü çevresel gürültü kirliliğinin yanı sıra, trenin ve tünelin yorulmasıyla yapıların zarar görmesine sebep olabilir [21].

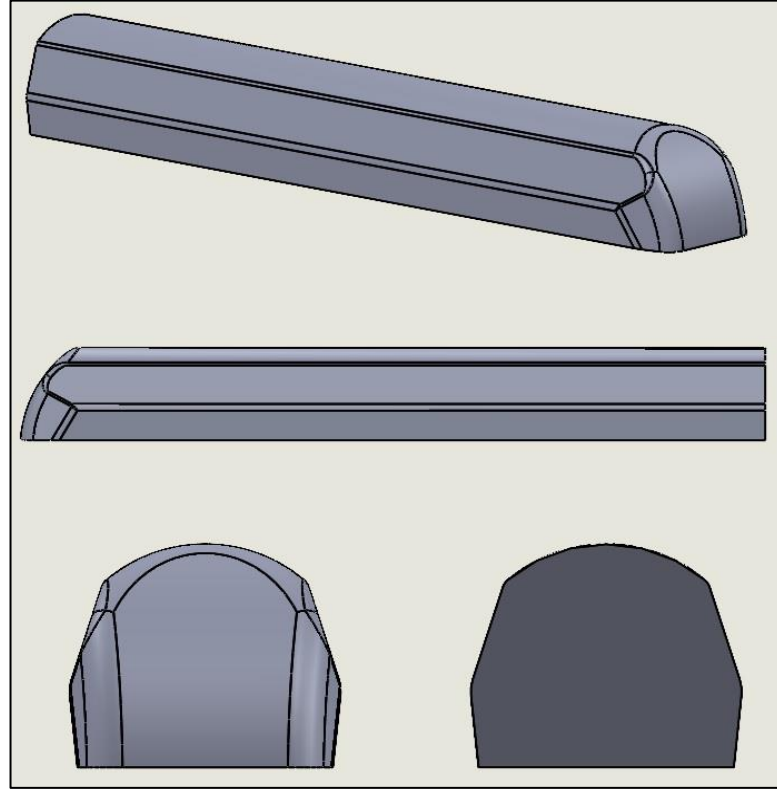
3.5. METRO GÖVDE TASARIMINA GİRİŞ

Bu çalışmada birbirine benzer, ancak birkaç noktayla ayrılmış 3 farklı tren kafa modeli üzerine çalışılmıştır. CAD modellemesi oluşturulan kafa modellerinin, daha sonra hesaplamalı akışkanlar dinamiği (CFD) metoduna başvurulmuş ve ANSYS Workbench programından hava akış analizine bakılmıştır. Bu sayede aerodinamik

performansları incelenmiştir. Yapılan çalışmada pantograf, farlar, pencereler, kuplör, kapı kolları vb. öğeler göz ardı edilmiştir.

3.5.1. Tren Kafa Modelleri

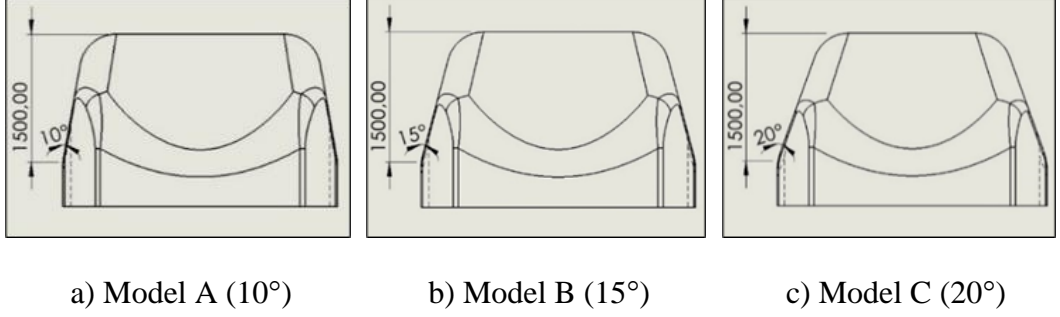
Tren vagonları modellenirken, tünel içerisindeki seyir sırasında hava akışının oluşturabileceği olumsuzlukları (hava direnci, basınç dalgası ve aerodinamik gürültü) en aza indirmek adına ana gövdenin yan duvarları oval biçimde eğimli tasarlanmıştır. Tasarlanan kafa modelleri ve vagon modelinin geometrik görünüşü Şekil 3.4'deki gibidir.



Şekil 3.4. Tasarlanan metro aracı kafa modeli ve vagon geometrisi görünüşü.

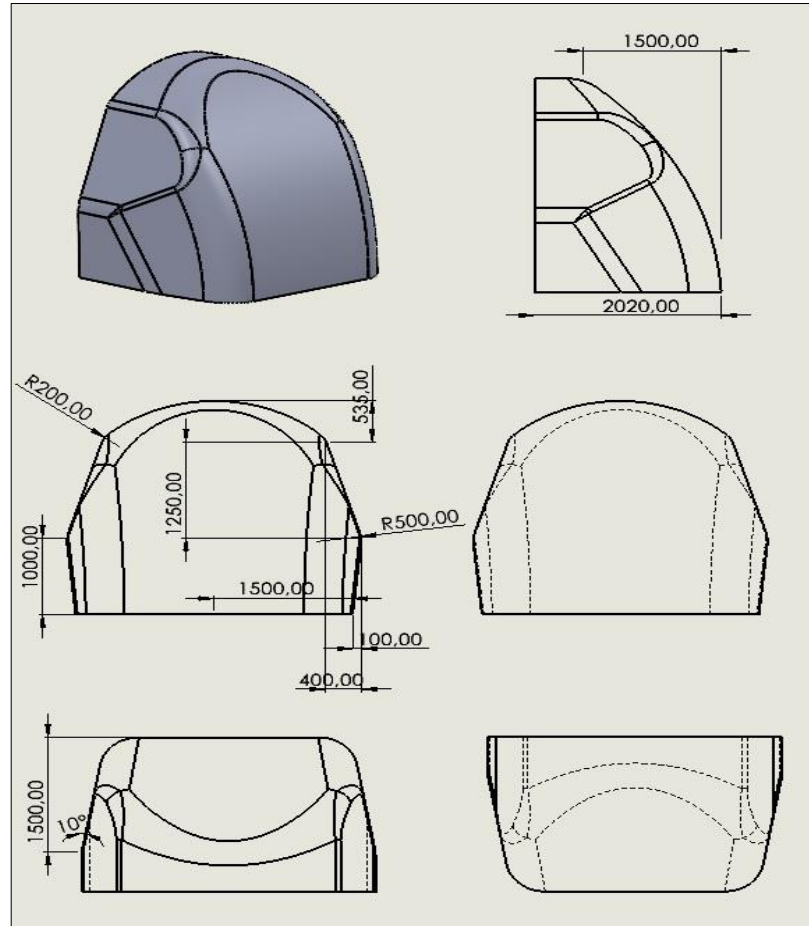
Bu çalışmada tasarlanan 3 farklı kafa modeline "Model A", "Model B", "Model C" isimleri verilmiştir. Her 3 model için de ön cam eğimleri, kabin uzunlukları, yükseklikler aynı ölçüdedir. Birbirinden ayrılan farkları ise kafanın önden bakıldığında sağ ve sol yan yüzeylerinin vagonun ana gövdesine geçişindeki açısallardır. Bu geçişin uzunluğu her 3 model için dikey olarak 1500 mm'dir. Fakat

dikey düzlemle yaptığı açı Model A için 10° , Model B için 15° ve Model C için 20° kabul edilmiştir. Her 3 modelin de geometrik görünüşü Şekil 3.5'deki gibidir.



Şekil 3.5. Tasarlanan metro aracı kafa modelleri.

Model A, Model B ve Model C'nin 3 farklı kafa ölçüsü dışında kalan diğer ortak ölçülendirmeleri ve geometrik görünüşleri Şekil 3.6'daki gibidir.

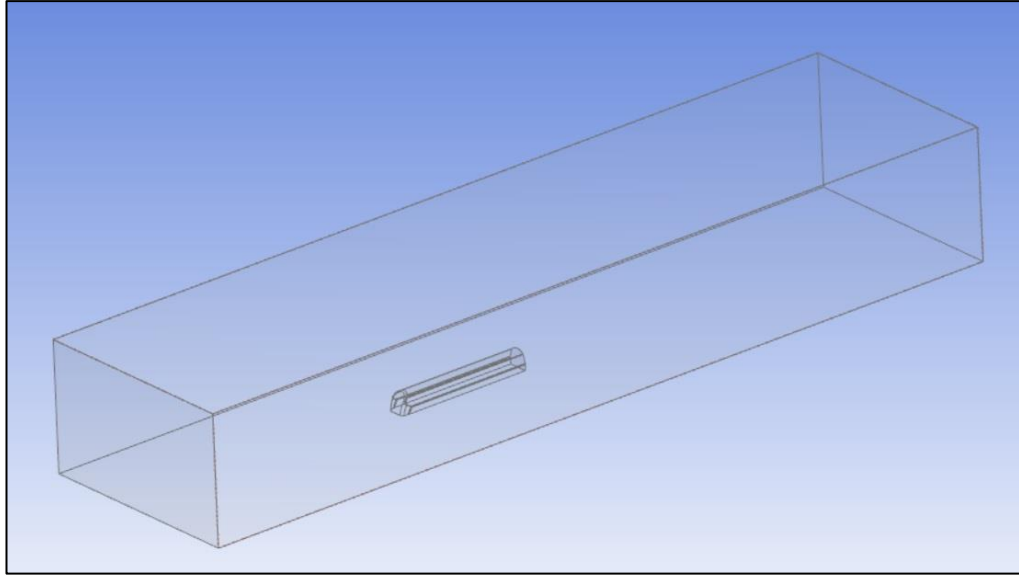


Şekil 3.6. Tasarlanan metro aracı kafa model ölçüleri.

3.5.2. Hesaplama Alanı ve Mesh Oluşturma

Akış analizi simülasyon hesaplamalarında, genellikle sonsuz bir alanın yerine nispeten büyük bir sonlu alan belirlenir ve hesaplamalar o alan içerisinde yapılır. Metro treninin kafa kısmının önü ve çevresinin akış alanının hesaplamasında da bu yöntem uygulanmıştır.

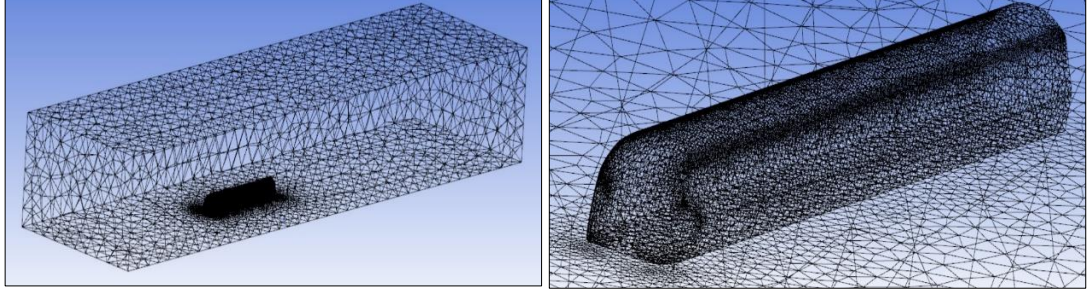
Hesaplama alanı dikdörtgensel bir prizmadır. Vagonun önünde kalan hesaplama alanının uzunluğu vagonun uzunluğunun yaklaşık olarak 2 katıdır. Vagonun arkasında kalan bölgenin uzunluğu ise vagonun uzunluğunun yaklaşık olarak 3 katı uzunluğundadır. Toplam genişlik vagonun genişliğinin 10 katı kadardır. Yükseklik ise vagon yüksekliğinin yaklaşık 6 katıdır. Vagonun altı ile yol yüzeyi arasındaki mesafe 200 mm'dir. Trenin yüzeyi, hesaplama alanının iç yüzeyindedir. Şekil 3.7'de hesaplama alanının geometrik oluşumu gösterilmiştir [22].



Şekil 3.7. Dikdörtgensel hesaplama alanı.

Analizin çözümlenmesindeki en önemli aşamalardan bir tanesi de meshleme işlemidir. Meshleme; modelleri boyutları belirlenmiş elementler ile çok küçük alanlara ayırma işlemi olarak tanımlanabilir. Yani model küçük parçalara ayrılır, her bir parçanın analizi ayrı ayrı hesaplanır. Tüm elementlerde oluşan sonuçlar çeşitli fonksiyonlar ile birleştirilip gerçek sonuca gitmemizde yardımcı olacaktır. Meshleme

işleminde daha hassas detaylara sahip olan köşeli ya da yuvarlatılmış yüzeylerde, ağ yapıları daha sık durumdadır. Bu noktalar analizimizin sonuçlarını doğrudan etkileyen hassas kısımlardır. Bu bölgelerdeki ağ yapısının sık olması hassasiyet ve daha doğru sonuç için istediğimiz bir durumdur. Hesaplama alanında oluşturulmuş meshlemeki ağ yapısı Şekil 3.8’de gösterilmiştir.



a) Mesh ağ yapısı (genel).

b) Mesh ağ yapısı (vagon).

Şekil 3.8. Mesh ağ yapıları.

3.5.3. Simülasyon Sonuçlarının Analizi

Trenin önüne girişten gelen hava akışının hızı 27.7778 m/s (100 km/saat) alınmıştır. Çıkış statik basıncı sıfırdır.

Çizelge 3.2’de Model A, B ve C’nin akış analiz sonucunda tespit edilen sayısal verileri gösterilmiştir.

Çizelge 3.2. Model A, Model B ve Model C akış analizi sonuçları.

	Model A	Model B	Model C
Yanal Eğim	10°	15°	20°
Alan (m²)	8.8697625	8.8699441	8.8699423
C_d	0.28945	0.30028	0.29283
F_d (N)	1213.3592	1258.7801	1227.5549

Akmakta olan akışkanın cisme akış yönünde uyguladığı kuvvet direnç kuvvetidir. Direnç kuvveti tıpkı sürtünme kuvveti gibi istemediğimiz bir kuvvettir. Yani direnç

kuvvetini en aza indirgememiz her zaman işimize gelir. Direnç kuvvetinin azalması neticesinde trenin seyir sırasındaki enerji tüketimi de azalacaktır. Direnç kuvveti aşağıdaki şekilde formülize edilir.

$$F_d = \frac{1}{2} C_d \rho V^2 A \quad (1)$$

Burada F_d direnç kuvvetini, ρ akışkanın yoğunluğunu (hava için bu değer 1.225 kg/m³ 'tür), V hareket halindeki aracın hızını (tren hızı 27.7778 m/s (100 km/saat)'tir), A aracın ön bakış alanını ve C_d ise direnç katsayısını göstermektedir.

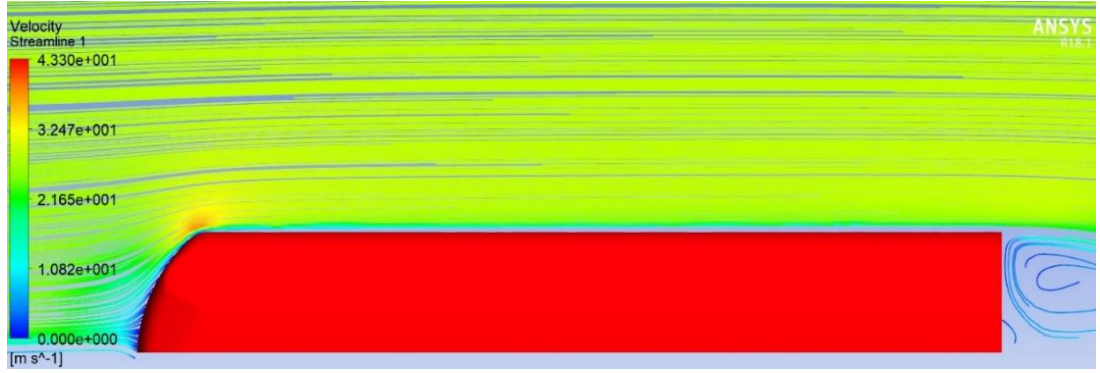
Direnç kuvveti hesaplamasında üzerinde durulması gereken en önemli kavramlardan birisi de direnç katsayısıdır. Genellikle taşıtların yüzeyleri ne kadar körlenmişse (yani ne kadar küt haldeyse) direnç katsayıları da o oranda yükselecektir. Bir taşıtın direnç katsayısı bakımından en mükemmel şekli gözyaşı damlasına benzer şekilde tasarlanmasıdır. Türbülanslı akış durumu için buna karşılık gelen direnç katsayısı değeri yaklaşık 0.1 civarındadır. Ancak taşıtların tasarımlarında gözyaşı damlası şekli üzerinde durmak konfor ve kullanılabilirlik açısından uygun değildir. Özellikle toplu taşıma araçlarında yolcu konforu için yeteri kadar yükseklik sağlamak, taşıt içerisini ölü alanlardan arındırmak gibi çeşitli faktörler devreye girdiğinde direnç katsayısı ve dolayısıyla direnç kuvveti faktörleri ikinci planda kalabilmektedir [23].

Çizelge 3.2 incelendiğinde 15° yanal eğime sahip olan Model B'de; en yüksek F_d (direnç kuvveti) değeri 1258.7801 N ve en yüksek C_d (direnç katsayısı) değeri 0.30028 olarak tespit edilmiştir. 20°'lik yanal eğime sahip olan Model C'nin F_d değeri 1227.5549 N ve C_d değeri 0.29283'tür. 10° yanal eğime sahip olan Model A'da ise en küçük F_d değeri 1213.3592 N ve en küçük C_d katsayısı 0.28945 değerlerine ulaşılmıştır. Dolayısıyla metro tren gövdesine ait kafa modeli tasarımında, ön burun için 10°'lik yanal eğimiyle Model A'nın daha uygun olduğu tespit edilmiş ve diğer analiz verilerinde Model A'ya ait sonuçlar yorumlanmıştır.

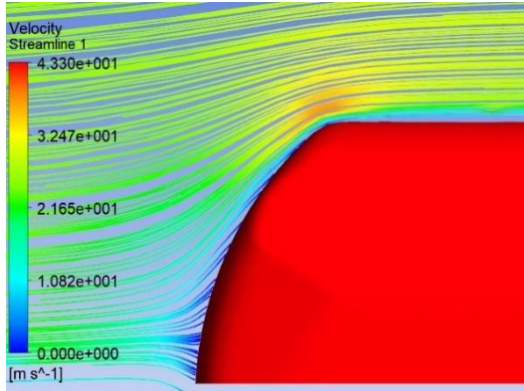
3.5.4. Metro Treni Kafasının Çevresindeki Hava Akış Alanının Hesaplanması ve Analizi

Tasarım parametrelerinin, trenin aerodinamik performansı üzerindeki etkisini bulmak için tren modelinin akış alanı dağılımını analiz etmek amacıyla, herhangi bir kesit üzerindeki akış hızı vektör diyagramı, hız ve basınç dağılımı diyagramı elde edilebilir.

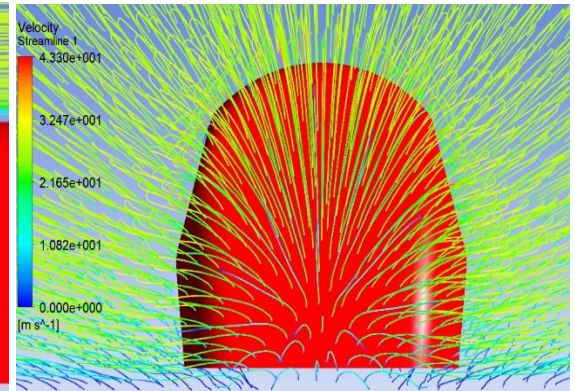
Boyuna kesitteki hız vektör diyagramı ve rüzgara karşı hız vektör diyagramı Şekil 3.9'da gösterilmektedir.



a) Hız vektör diyagramı (yan genel görünüş).



b) Hız vektör diyagramı (yan kesit).

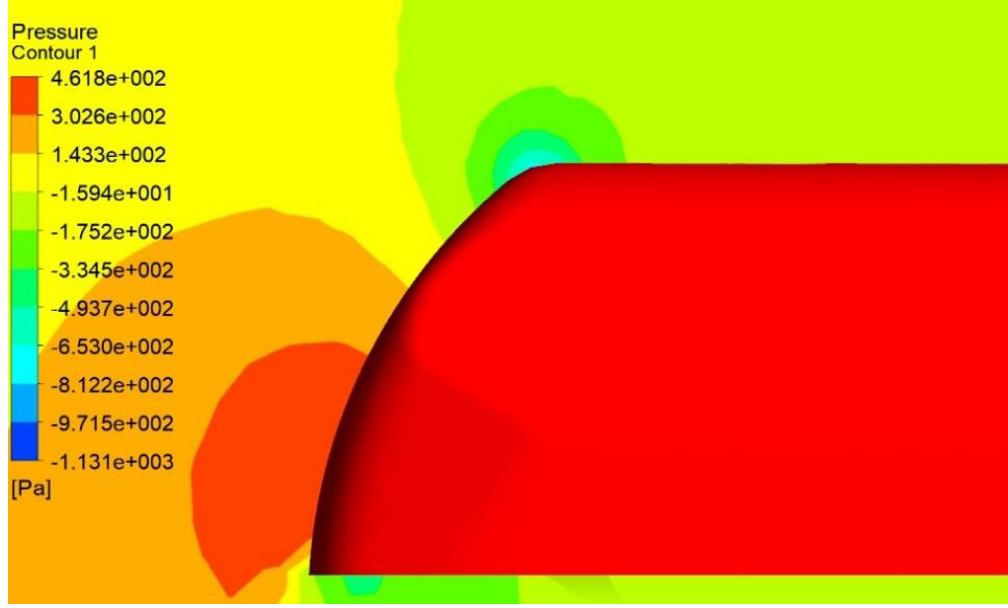


c) Hız vektör diyagramı (ön).

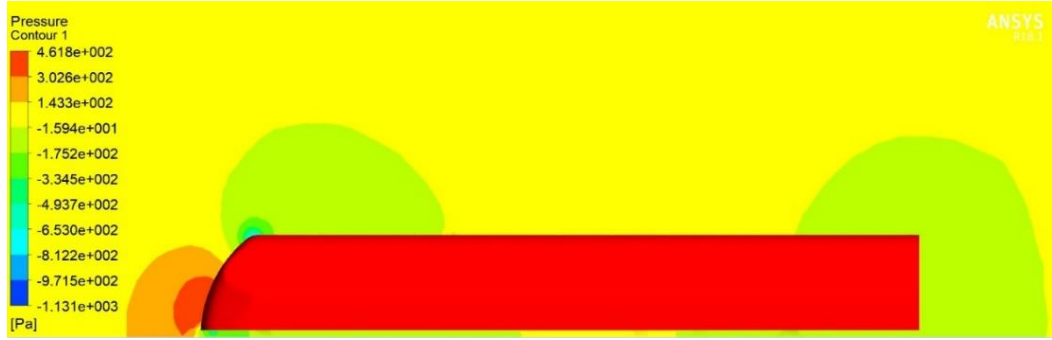
Şekil 3.9. Rüzgara karşı hız vektör diyagramları.

Şekil 3.9'a göre trenin ön yüzeyinin havayla temasından sonra, oluşan hava akışının büyük ölçüde engelleneceğini tespit edebiliriz. Hava akışını ilk karşılayan bölge; trenin zemine yakın olan burun kısmıdır. Diyagramlara bakıldığında bu bölgedeki hava akış hızının sıfır olduğu görülmektedir. Hava bu noktadan geçtikten sonra tasarımın belirlediği yörüngelerde hızlanma başlar. Trenin ön yüzeyinin eğimli ve oval yapısının yanı sıra, burundan yan gövdeye geçişlerdeki 10° 'lik eğimler hava akımını sağdan, soldan ve üst yüzeyden dağıtmaktadır. Tren kafasının aerodinamik şekli sayesinde hava akışı; trenin üst bölümüne ve yan yüzeylere iletilir. Yani tren kafasının aerodinamik tasarımı hava akışının düzgün bir şekilde gerçekleşmesine yardımcı olur. Böylece trenin kafa kısmına temas eden hava akış miktarı da azalmaktadır. Bu da tren kafasının hava direncini küçültür. Bunun sonucunda tünel girişlerinde veya çıkışlarında boşaltılan hava basıncı dalgası ve mikro basınç dalgasının azaltılmasına yardımcı olunmaktadır. Hava basıncı dalgalarını azaltmak tünele giriş ve çıkışlarda kullanılabilirlik sağlar.

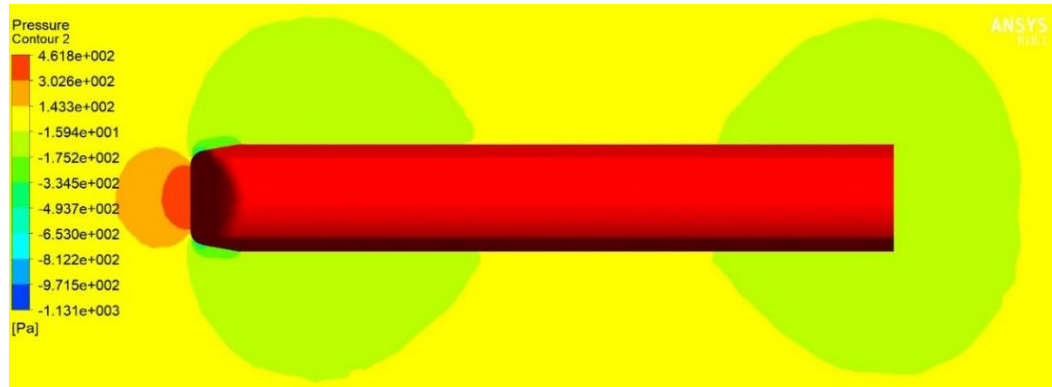
Şekil 3.10'da basınç dağılım diyagramları gösterilmiştir.



a) Basınç dağılım diyagramı (yan kesit)



b) Basınç dağılım diyagramı (yan genel görünüş)



c) Basınç dağılım diyagramı (üst genel görünüş)

Şekil 3.10. Basınç dağılım diyagramları.

Basınç diyagramları incelendiğinde trenin ön kısmında yüksek pozitif basınç bölgesi, arkasında ise negatif basınç bölgeleri olduğu görülmektedir. Pencereler, aydınlatmalar ya da diğer harici ekipmanların çalışma ömrünü uzatmak için, trenin tasarımında olabildiğince yüksek basınç bölgelerinden kaçınmak gerekmektedir. Bu yüksek basınç alanlarından kaçınılarak, gövdenin ön yan duvarıyla ana gövdenin yan duvarı arasına 10°'lik eğim uygulanmış, ön yüzey ile yan duvar arasındaki geçiş pürüzsüz hale getirilmiştir.

3.5.5. Aerodinamik Analiz Üzerine Sonuç

Modellenen metro treninin analizi ve hesaplamasında gövde yanal eğimlerinin, yani yan duvarların yumuşak geçişlerinin, açılal değerlerinin değışmesiyle aerodinamik performansın da değıştiğı görülmektedir.

Modellenen tren kafası, hava akışını trenin sağından, solundan ve üzerinden arka bölgeye yönlendirir. Sonuç olarak trenin ön bölgesindeki hava akımı miktarı azalır. Ve bu tünel girişlerinde ya da çıkışlarında boşaltılan hava basıncı dalgasını ve mikro basınç dalgasını azaltmada etkilidir.

Pozitif basınç bölgesi daha yüksek aerodinamik performansla daha küçük hale getirilebilir. Bu bölge, tasarımda mümkün olduğunca harici ekipmanlardan arındırılmalıdır.

Tren yan duvarlarının yumuşak geçişı, negatif basınç bölgesini azaltmak adına çok büyük yardımcı roledir.

Sonuç olarak tren kafası tasarlanırken, trenin aerodinamik parametreleri kapsamlı bir şekilde dikkate alınmalıdır. Ayrıca aerodinamik performans göz önünde bulundurulurken söz konusu taşıtın şehir içinde çalışan metro treni olduğu ve metro trenlerinin hızının çok yüksek seviyelerde olmadığı unutulmamalıdır. Metro trenini tasarlariken ekonomik performans ve teknik gereksinimlerin yanı sıra estetik tasarım faktörü de göz önünde bulundurulmalıdır.

Çizelge 3.2'ye bakıldığında tasarlanan taşıt burunlarındaki 3 farklı modelin, akış analizindeki simülasyon sonuçları görülmektedir. Model A, Model B ve Model C'nin sonuçları incelendiğinde en düşük direnç katsayısı (C_d) değerinin 0.28945 ve en düşük direnç kuvveti (F_d) değerinin 1213.3592 N'luk değerle Model A'ya ait olduğu sonucuna varılmıştır. Dolayısıyla metro treni tasarımında ön burun için 10° 'lik yanal eğimiyle Model A'nın daha uygun olduğu tespit edilmiştir.

BÖLÜM 4

KENT İÇİ RAYLI SİSTEM ARAÇLARININ ŞASİ VE GÖVDE YAPILARI

Raylı sistem araçları tarihte ilk kez ortaya çıktığı zamanlardan günümüze kadar önemli değişikliklere uğramıştır. Teknolojinin gelişimi, malzeme bilimindeki ilerlemeler ve araçlardaki değişen talepler vagon gövde yapılarının her geçen zamanda daha az maliyetle en hafif ve en sağlam özelliklerde geliştirilip revize edilmesini mümkün kılmıştır.

4.1. RAYLI SİSTEM ARAÇ GÖVDELERİNİN TARİHSEL GELİŞİMİ

Demiryolu araçlarının ilk ortaya çıktığı dönemlerde yolcu vagonlarının gövdelerinde ahşap malzemeler kullanılmaktaydı. Dolayısıyla bu araçlar çarpışmalara ve darbelere karşı dayanıklı değildi. Olası kazalar ciddi can kayıplarına ve yaralanmalara sebep olmaktaydı. Vagonların yolculuk yapmak için gerekli güvenlik kontrollerinin yapılması maksadıyla 1840 yılında Birleşik Krallık'ta Demiryolu Müfettişliği Kurumu kuruldu. Bu kurum, o dönemlerdeki kazaları inceleyerek raylı araçlardaki standartların zaman içerisinde gelişimine büyük katkılar sağlamıştır [24].



Şekil 4.1. Taban şasisi metal, kabini ahşap vagonlardan oluşan raylı sistem aracı

İlk zamanlarda vagonların taşıyıcı sistemlerinde dövme demir malzemeler kullanılmış, sonradan çelik malzemelere geçiş yapılmıştır. Ama alt kısımdaki metalik taşıyıcı malzemeleri yine ahşap yan duvarlardan oluşan bir kabin çevreliyordu. Yani vagonun alt taban şasileri sağlamdı. Fakat diğer kısımların darbelere ve çarpışmalara karşı dayanımları iyi seviyede değildi. İlerleyen zamanlarda alt tabandaki çelik şasinin yanı sıra çelik ya da alüminyum malzemedan yapılmış yan duvarlar kullanıldı. Vagonların gövde dayanımları artmış ve çarpışmalara karşı dayanıklılık sağlanmıştı. Ama araçların ağırlıkları çok arttığı için hantaldı ve fazla enerji tüketiyordu. Ayrıca maliyetleri de çok yükselmişti [24].

Günümüzdeki modern vagon tasarımlarında gövde "tek-kabuk" olarak tasarlanır. Yani gövdenin tamamı tek parça olarak iki boji arasına uzanır. Araç gövdesinin tamamı çekme, basma, eğme ve burulma gerilmelerini karşılaması gerekmektedir. Üretilen araç şasilerinin son şekli genellikle çekme alüminyum ya da çelik profillerden oluşur.

Daha sonra kaynaklı paslanmaz çelik saclar gövde üzerine giydirilir. Bu yöntemle üretilen araçlar önceki araçlarla kıyasla çok daha hafiftir. Araçların hafiflemesi ise daha yüksek gerilmeler ve metal yorgunluğu sorununa olumlu katkı sunmaktadır [24].

Raylı sistem taşımacılığında kullanılan araçların en önemli ve en temel kısmı gövde yapılarıdır. Araç gövdesinin görevi dış dinamik gerilmelere karşı mukavemet ve rijitlik sağlayarak yolcular ile yolcuların taşındığı iç mekanın emniyetini sağlamaktır. Günümüz raylı sistem taşıtlarının gövdelerinde, uygun kaynak teknolojisiyle birlikte en az kütle ile en dayanıklı ve en sağlam yapının sağlanması amaçlanır. Bu özelliklerin sağlanması sayesinde düşük araç kütlesiyle yüksek yolcu taşımak mümkün hale gelir. Yani gövdedeki malzemelerin mukavemetlerinin artırılması suretiyle yapı elemanlarının kalınlıklarının azaltılması sonucunda hem gereken dayanıklılığı sağlamak hem de ağırlıktan kazanç sağlamak mümkün hale gelmektedir. Gövdenin hafifliği sebebiyle enerji tüketimi azalır. Darbelere ya da çarpışmalara karşı gövde dayanımları üst seviyeye çıkmış olur. Dolayısıyla en az maliyetle hafif, dayanıklı ve verimli araç gövde yapıları oluşturulur.

4.2. RAYLI SİSTEM ARAÇ GÖVDELERİNDE YAPISAL ÖZELLİKLER

Raylı sistem araç gövdelerinin tasarım ve imalat kriterleri; “TS EN 12663 - Demiryolu Uygulamaları – Demiryolu Araç Gövdelerinin Yapısal Gereksinimleri” standardında belirtilmiştir. Bu Avrupa Standardı; demiryolu araç gövdelerinin yapısı ile ilgili göz önünde bulundurulması gereken kuralları açıklar. Araç gövdelerinin taşıyabilecekleri yükleri belirterek malzeme verilerinin gerektiği yerde nasıl kullanılacağını anlatmaktadır. Yapılan araç gövdesi tasarımlarının analiz ve test yardımıyla kontrollerinde ve doğrulamalarında kullanılacak ilkeleri açıklamaktadır. Araç tasarımlarındaki gövde yapıları ve gövdeye uygulanan yük durumları ilgili standarttaki şartları sağlamalıdır.

4.2.1. Raylı Sistem Araçları Tasarım Kategorileri

Raylı sistem araçlarında EN 12663 standardının uygulanabilirliği, araçların çeşitli türlerde gövde yapılarına sahip olmalarından dolayı farklı kategorilere bölünmüştür. Standartta göre araçların hangi kategoride olacağı, ilgili kategorilerdeki araç gövdesindeki yükleme prosedürleri ve tasarım sürecindeki analizlerde hangi yüklerin uygulanacağı belirtilir.

Taşıt gövdeleri yapısal olarak kendilerine özgü doğası ve farklı tasarımlarda farklı amaçlara hizmet etmeleri sebebiyle üç ana kategoriye ayrılmıştır.

Bu kategoriler şunlardır [25]:

1. Lokomotifler (L)
2. Yolcu araçları (P)
3. Yük vagonları (F)

Bu üç yapı kategorisi de ilgili taşıt kategorisindeki çeşitliliklere göre farklı alt kategorilere ayrılabilir.

Raylı sistem araç tasarımlarında; bu standardın ilgili araç tasarım kategorisi belirlenir ve bu doğrultuda analizlerde ya da testlerde yükleme senaryoları uygulanır.

4.2.1.1. Lokomotifler Kategorisi (Kategori L)

Yolcu taşıma amaçlı olmayıp, yolcu ya da yük taşıyacak dizileri çekme amacıyla dizayn edilmiş lokomotiflerin ve güç ünitelerinin yükleme prosedürleri belirtilir.

4.2.1.2. Yolcu Araçları Kategorisi (Kategori P)

Yolcu taşıma maksadıyla tasarlanmış olan ana hat araçları, banliyö, metro, tramvay vb. bütün yolcu taşıtlarının bulunduğu kategoridir. Raylı sistemlerde yolcu araçları beş farklı yapısal kategoriye ayrılmıştır. Alt başlığa ayrılan bu beş kategorideki araç türleri Çizelge 4.1'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.1. Yolcu araçları kategorileri [25].

Yolcu Aracı Kategorisi	Araç Örneği
Kategori P- I	Yolcu vagonları
Kategori P- II	Sabit üniteler ve yolcu vagonları
Kategori P-III	Metro, hızlı ulaşım taşıtları ve otoray
Kategori P-IV	Hafif hizmet metro ve ağır hizmet tramvay taşıtları
Kategori P- V	Tramvay taşıtları

4.2.1.3. Yük Vagonları Kategorisi (Kategori F)

Bu grup içerisindeki tüm yük vagonları herhangi bir eşya, otomobil, maden, cevher, tarım ürünleri, konteynırlar, sıvı ya da gaz yakıtlar, kimyasal maddeler vb. yüklerin taşınması amacıyla kullanılır. Yük vagonları grubu iki alt kategoriden oluşmaktadır. (Çizelge 4.2)

Çizelge 4.2. Yük vagonları kategorileri [25].

Yük vagonu Kategorisi	Araç Örneği
Kategori F- I	Kısıtlama olmaksızın manevra yapabilen taşıtlar
Kategori F- II	Tümsek ve serbest manevrada dahil edilmeyen araçlar

4.2.2. Araçlarda Kütle Dağılımları ve Tasarımların Yük Durumları

Demiryolu taşıtları tasarımlarında EN 12663 Avrupa Standardı'na göre araç yük durumlarını belirtmek amacıyla kullanılacak olan tasarım kütleleri Çizelge 4.3'te gösterilmiştir.

Çizelge 4.3. Raylı sistem araç tasarım kütlelerinin tanımları [25].

Tanım	Sembol	Açıklama
Araç gövdesinin çalışır haldeki tasarım kütlesi	m_1	Araç gövdesinin çalışır haldeki tasarım kütlesi, boji kütleleri olmadan EN 15663'e göre.
Bir boji ya da hareket tertibatının tasarım kütlesi	m_2	Gövde süspansiyonu dahil olmak üzere araç üzerindeki diğer ekipmanların kütlesi. Araç gövdesi ile boji veya şasi arasındaki bağlantı elemanlarının kütlesi m_1 ve m_2 arasında paylaşılır.
Normal tasarım yükü	m_3	EN 15663'te belirtilen normal tasarım yükünün kütlesi.
İstisnai yük	m_4	EN 15663'te belirtilen istisnai yükün kütlesi

Standartta göre araçların maksimum çalışma yükleri Çizelge 4.4'te gösterilmiştir. Maksimum çalışma yükü, raylı sistem aracının istisnai taşıma yüküne karşılık gelmektedir.

Çizelge 4.4. Raylı sistem araçlarının en büyük işletme yükleri [25].

Lokomotifler	Yolcu vagonları					Yük vagonları	
Kategori L	Kategori P- I	Kategori P- II	Kategori P- III	Kategori P- IV	Kategori P- V	Kategori F- I	Kategori F- II
$1,3 \times g \times m_l$	$1,3 \times g \times (m_l + m_4)$					$1,3 \times g \times (m_l + m_3)$	
Yük : N							

Standartta göre tamponlarda veya kuplaj bölgesindeki basınç kuvveti değerleri Çizelge 4.5'te gösterilmiştir.

Çizelge 4.5. Raylı araçların tampon veya kuplaj bölgesi basınç kuvvetleri [25].

Lokomotifler	Yolcu vagonları					Yük vagonları	
	Kategori L	Kategori P- I	Kategori P- II	Kategori P-III	Kategori P-IV	Kategori P- V	Kategori F- I
2000	2000	1500	800	400	200	2000	1200
Kuvvet : kN							

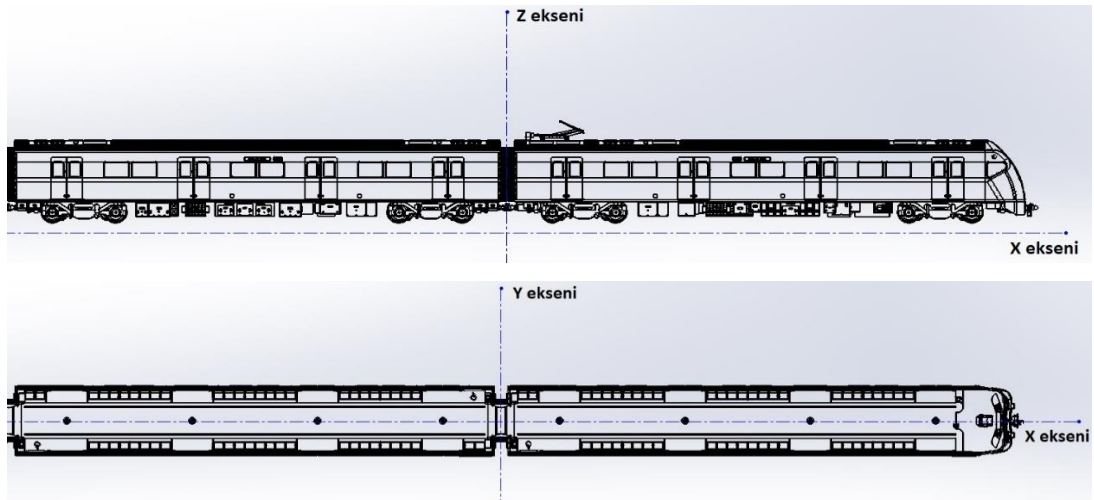
Basma kuvveti yan tamponlara uygulandığında, her bir tampon eksenine Çizelge 4.5'te belirtilen ilgili kategorideki araç için yazan değer yarısı kullanılmalıdır.

4.3. METRO ARAÇ GÖVDESİNİN SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİYLE STATİK ANALİZİ

Metro aracının gövde tasarımının oluşturulmasının ardından statik mukavemet analizleri TS EN 12663 standardındaki koşullara uygun olarak gerçekleştirilmiştir.

4.3.1. Koordinat Sistemi

Koordinat sisteminde X eksenini araç gövdesinin boylamasına eksenine karşılık gelmektedir. Aracın hareket yönü X ekseninin pozitif yönüdür. Z ekseninin pozitif yönü yukarı bölgeyi gösterir ve bu araç gövdesinin dikey eksenidir. Y eksenini ise araç gövdesinin enine eksenidir. Yani Y eksenini yanal yöndür. (Şekil 4.2)



Şekil 4.2. Metro aracı koordinat sistemi.

4.3.2. Modelleme

Metro setinin araç gövdeleri, üç boyutlu katı modelleme programı olan Solidworks ile tasarlanmıştır. Gövdelerin yapıları genel olarak ince sac levhalar ve kutu profillerin kaynak yoluyla birleştirilmesi sonucu oluşturulmuştur. Araç gövdesinin sonlu elemanlar modelinin oluşturulmasında ise ANSYS Workbench programından yararlanılmıştır.

4.3.3. Yükleme Koşulları

Küçükçicibiyık ve arkadaşlarının (2012) bir tramvay araç gövdesi için yaptığı çalışmada, üç farklı koşulda yükleme senaryosu üzerinde durulmuştur. Tasarımı yapılan metro araç gövdesinin de statik analizinde bu üç farklı yükleme senaryosu üzerinde durulmuştur. Çizelge 4.6'da statik analizdeki yükleme senaryolarına ait koşullar belirtilmiştir.

Çizelge 4.6. Yükleme koşulları [26].

Koşul	Yük Durumu	Düşey Yük	Yatay Yük
1	En büyük işletme yükü (dikey yük)	$F_z = 1.3 \times g \times (m_1 + m_4)$	-
2	Tampon veya kuplaj bölgesindeki sıkıştırma kuvveti	$F_z = g \times m_1$	800 kN
3	Tampon veya kuplaj bölgesindeki sıkıştırma kuvveti ile birlikte dikey yükler	$F_z = g \times (m_1 + m_4)$	800 kN

Koşul 1'deki yükleme senaryosunda metro aracının gövdesindeki bütün ekipmanların ağırlıklarına ek olarak yolcuların ağırlıklarının 1.3 kat fazlası uygulanmaktadır. Bu katsayı; TS EN 12663 standardında metro aracının maksimum çalışma yükünü ifade etmektedir.

Koşul 2'deki yükleme senaryosunda metro aracının tampon ya da kuplaj bölgesinden 800 kN'luk basınç kuvveti uygulanmaktadır. Bu sıkıştırma yükü; aracın başka bir araç tarafından itilmesi senaryosundaki dayanımı ifade etmektedir.

Koşul 3'teki yükleme senaryosunda ise vagon gövdesindeki tüm ekipman ağırlıklarına ek olarak, yolcuların ağırlıkları ve metro aracının tampon veya kuplaj bölgesindeki 800 kN değerindeki sıkıştırma yükünün birlikte uygulanmasıyla araç gövdesinin dayanımının analizi yapılmıştır.

4.3.4. Araç Modelleri

Metro setinin tasarımı dört araçtan oluşmaktadır. Bunlar; MC1, T, M ve MC2 araçlarıdır. MC1 ve MC2 araçları tren setinin her iki baş kısımlarında bulunan, tahrik sistemine sahip araçlardır. Yani MC araçlarda motorlu boji ve sürücü kabini bulunmaktadır T ve M araçlar ise setin iki uç kısımlarındaki MC araçlar arasında kalan diğer iki aracı temsil etmektedir. M araç motorlu bojiye sahip, ancak sürücü kabini olmayan araçtır. T araç ise motorsuz bojisi olan ve sürücü kabini olmayan aracı ifade eder. Metro setindeki araçların genel görünümü Şekil 4.3'te gösterilmiştir.



Şekil 4.3. Metro setindeki araçlar.

Metro setindeki bu dört aracın özellikleri, boyutları, kütleleri ve yolcu kapasiteleri Çizelge 4.7'de gösterilmiştir.

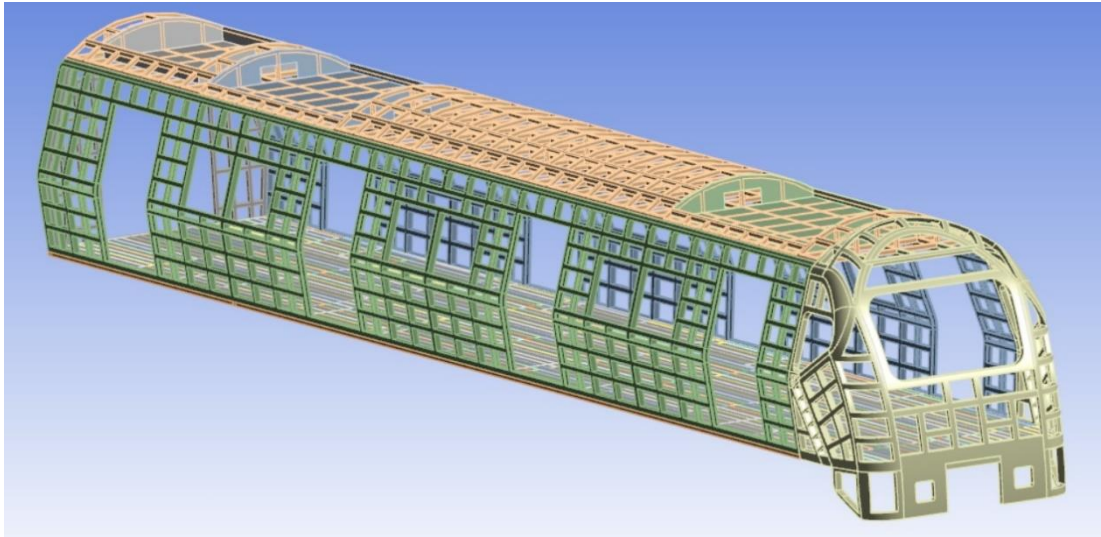
Çizelge 4.7. Metro araç özellikleri, boyutları, yolcu kapasiteleri ve kütleleri.

Araçlar	Özellikleri		Boyutları (mm)			Kapasiteleri (6 yolcu/m ²)			Kütle (ton)
	Motor	Kabin	En	Boy	Yük.	Oturan	Ayakta	Toplam	
MC1	Var	Var	3185	22700	3725	50	252	302	35
T	Yok	Yok	3185	21130	3725	50	270	320	29
M	Var	Yok	3185	21130	3725	52	270	322	34
MC2	Var	Yok	3185	22700	3725	50	252	302	35
TOPLAM			88566			202	1044	1246	133

Çizelge 4.7’de de görüldüğü gibi araçlar arasında en büyük boyuta sahip, en fazla yolcu taşıma kapasiteli olan ve en yüksek kütleli araçlar MC araçlardır. Dolayısıyla sonlu elemanlar analizinde ilgili yüklemeler göz önünde bulundurulduğunda en kritik araçlar MC araçlardır. Bu yüzden bu çalışmada MC vagonun analizleri yapılarak elde edilen sonuçlar yorumlanmıştır. (Şekil 4.4 ve Şekil 4.5)



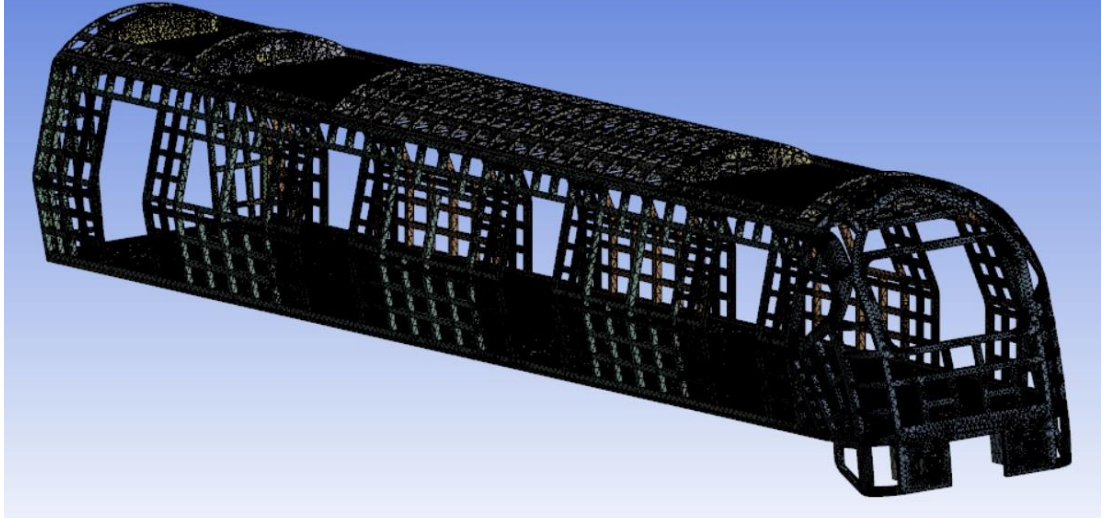
Şekil 4.4. MC metro aracı.



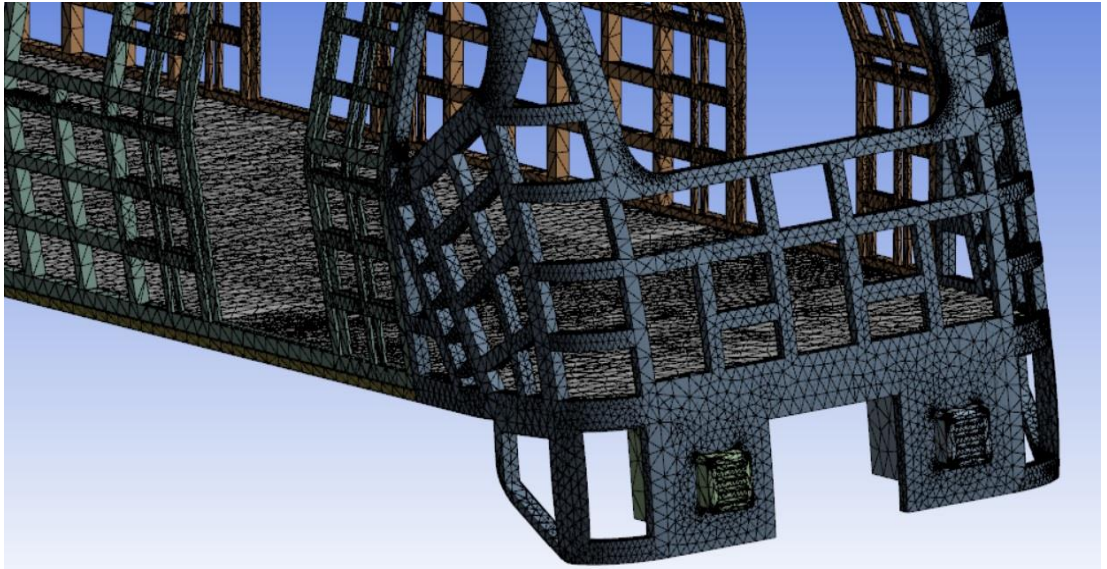
Şekil 4.5. MC metro aracı gövde iskeleti.

4.3.5. Araç Gövdesinde Mesh Oluşturma İşlemi

Araç gövdesinin sonlu elemanlar ağ yapısında 4 düğüm noktalı kabuk elemanlar kullanılarak meshleme işlemi yapılmıştır. Mesh işlemi sonucunda elde edilen toplam eleman sayısı 883.796 ve toplam düğüm sayısı 1.591.640'tır. (şekil 4.6 ve şekil 4.7)



şekil 4.6. Mesh genel görünüş.



şekil 4.7. Mesh yakın görünüş.

4.3.6. Malzeme

Metro aracının gövde tasarımında SUS304 tipi yüksek gerilme dayanımlı paslanmaz çelik malzeme kullanılmıştır. Bu malzeme korozyona karşı oldukça dayanıklıdır. Kaynak edilebilirliği çok iyidir, gaz eritme kaynağı hariç tüm kaynak yöntemleri SUS304 tipi paslanmaz çelikte uygulanabilir. Dünyada en yaygın olarak kullanılan çelik malzemelerden biri olan 304 kalite paslanmaz çelik, makine ve imalat sanayinde de çok fazla tercih edilmektedir. Raylı sistem araçlarının gövde malzemelerindeki kullanımı da oldukça yaygındır.

304 kalite paslanmaz çelik, EN normuna göre 1.4301 veya X5CrNi18-10 olarak da adlandırılmaktadır. ANSYS Workbench programında araç gövdesine malzeme tanımlanırken girilen mekanik özelliklerde, Solidworks programındaki malzeme listesinden 1.4301 – X5CrNi18-10 malzeme için belirlenmiş sayısal değerler aynen girilmiştir. Çizelge 4.8’de SUS304 paslanmaz çelik malzemenin mekanik özellikleri ve programdan girilen değerler gösterilmiştir.

Çizelge 4.8. SUS304 paslanmaz çelik malzeme mekanik özellikleri.

	%0.2 Akma Dayanımı (MPa)	%1 Akma Dayanımı (MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)
Tavlanmış Halde	En az 200	En az 240	500
Soğuk İşlenmiş	500’e kadar	500’e kadar	600
Programdaki Kabul	400	400	600
Elastisite Modülü (GPa)	200		
Poisson Oranı	0,28		
Kütle Yoğunluğu (kg/m³)	7900		

4.3.7. Araç Gövde İskeleti Kütlesi

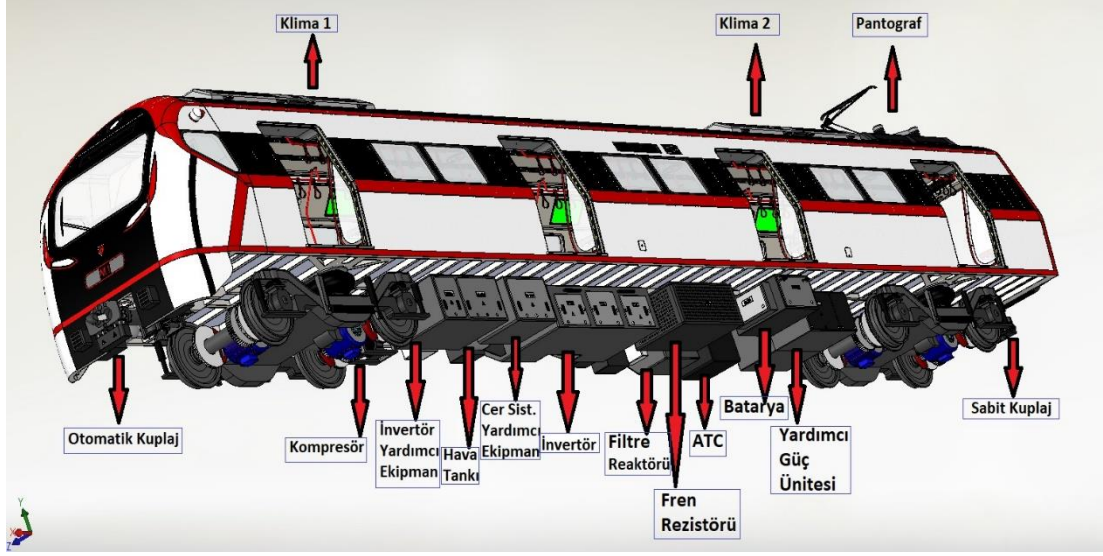
Metro seti tasarımındaki MC araçta dış iskelet (karoseri); şase taban, yan duvarlar, çatı, arka panel, kupa ve pivot yastığından oluşmaktadır. Tüm bu elemanlarla birlikte gövde iskeletinin toplam kütlesi 8150 kg'dır.

4.3.8. Ekipman Kütelleri

Metro aracının şase bölümünde invertör, invertör yardımcı ekipmanı, cer sistemi yardımcı ekipmanı, fren rezistörü, filtre reaktörü, batarya, yardımcı güç ünitesi, kompresör, hava tankı, ATC, otomatik kuplaj ve sabit kuplaj ekipmanları bulunmaktadır. Aracın çatı bölümünde ise iki adet klima ünitesinin yanı sıra pantograf ve ekipmanları yer almaktadır. Ekipman kütellerinde referans olarak Metro İstanbul araçlarındaki kütle verileri kullanılmıştır. Hem çatıdaki hem de şase tabanındaki tüm bu ekipmanlara ait kütle verileri Çizelge 4.9'da ve ekipmanların araçtaki yerleşim yerleri ise Şekil 4.8'de belirtilmiştir.

Çizelge 4.9. Araç ekipman kütelleri.

Ekipman	Kütle (kg) (<i>m</i>)	Gerçek Yük (N) ($F_{zg} = m \times g$)	İstisnai Yük (N) ($F_{zi} = 1.3 \times m \times g$)
Klima 1	620	6082.2	7906.86
Klima 2	620	6082.2	7906.86
Pantograf	250	2452.5	3315.78
İnvertör	800	7848	10202.4
İnvertör Yardımcı Ekipman	260	2550.6	3315.78
Cer Sistemi Yardımcı Ekipman	135	1324.35	1721.655
Fren Rezistörü	285	2795.85	3634.605
Filtre Reaktörü	500	4905	6376.5
Batarya	250	2442.5	3188.25
Yardımcı Güç Ünitesi	1050	10300.5	13390.65
ATC	50	490.5	637.65
Kompresör	250	2452.5	3188.25
Hava Tankı	25	245.25	318.825
Kuplaj 1	550	5395.5	7014.15
Kuplaj 2	210	2060.1	2678.13



Şekil 4.8. Araç altı ve çatı ekipmanları.

4.3.9. Araç İç-Dış Kaplama (Trim) Kütleleri

Metro aracının iç mekanında kullanılan taban kaplamaları, yolcu bölümü cam panelleri, sürücü bölümü cam panelleri, dikmeler, tirabzanlar, tutamaklar, yolcu koltukları, sürücü koltuğu, araç sürüş paneli vb. elemanlar ilgili kısımlara kütle olarak eklenmiştir. Ayrıca kapılar, pencereler, yan duvar panelleri, çatı panelleri, kupa paneli gibi yapıların kütleleri de hesaplama dahil edilmiştir.

4.3.10. Yolcu Kütleleri

Araçtaki yolcu kütleleri için "TS EN 12663 - Demiryolu Uygulamaları - Demiryolu Taşıt Gövdelerinin Yapısal Özellikleri" standardındaki yükleme koşulları referans alınmıştır. Bu standarda göre her bir yolcunun kütlesi 70 kg'dır. Ayrıca standart gereği sürücü kütlesi de 80 kg kabul edilir.

Metro setindeki MC araçların her birinde toplam 50 koltuk bulunmaktadır. Koltuk alanları dışında ayakta yolcu alınabilecek alan boyutu 42 m² olarak hesaplanmıştır. Ayakta seyahat edebilecek maksimum yolcu miktarı ise metrekarede 8 yolcudur. Yolcu ve araçlar hakkındaki bu verilere bakarak oluşturulmuş yolcu kütlesi sayısal değerleri Çizelge 4.10'da gösterilmiştir.

Çizelge 4.10. MC araç yolcu kütleleri ve ağırlıkları.

	Adet	Kütle (kg) (<i>m</i>)	Gerçek Yük (N) ($F_{zg} = m \times g$)	İstisnai Yük (N) ($F_{zi} = 1.3 \times m \times g$)
Oturan Yolcu	50	3500	34335	44635.5
Ayakta Yolcu (8 yolcu/m²)	336 (42m ²)	23520	230731.2	299950.56
Toplam	386	27020	265066.2	344586.06

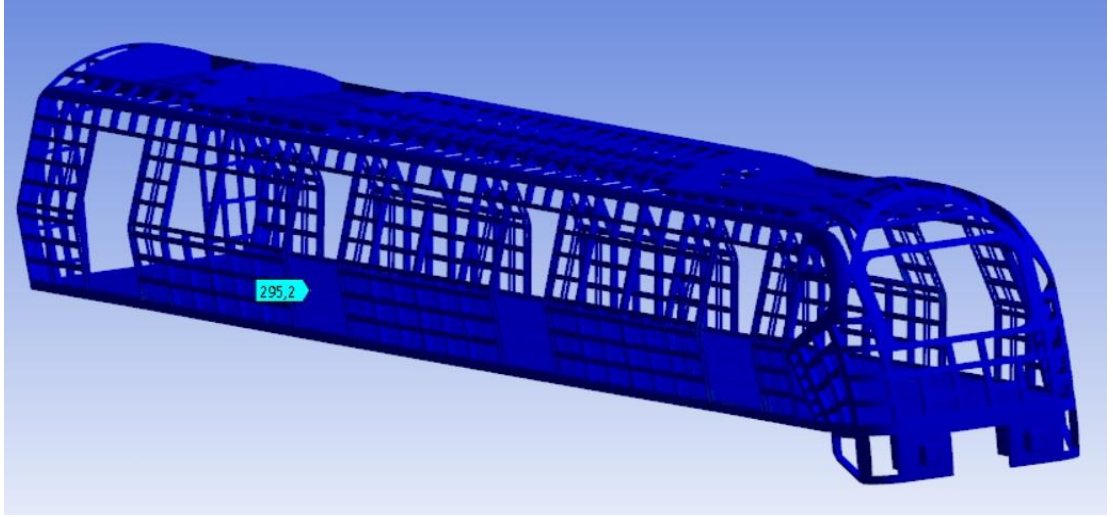
4.3.11. Statik Mukavemet Analizleri

Metro setindeki MC aracın gövdesine, Çizelge 4.6'da belirtilen her üç koşuldaki yükleme senaryoları uygulanarak sonlu elemanlar analizi yapılmıştır. Aracın analizi yapılırken boji bağlantı noktalarından gövde sabitlenmiş ve ekipmanlar ile yolcu yükleri, ilgili yerlere eklenmiştir.

4.3.11.1. En Büyük İşletme Yüğü İçin Analiz

Çizelge 4,6'da da gösterildiği gibi en büyük işletme yükü analizinde tüm dikey yüklerin 1.3 katı alınarak statik mukavemet analizleri yapılmaktadır.

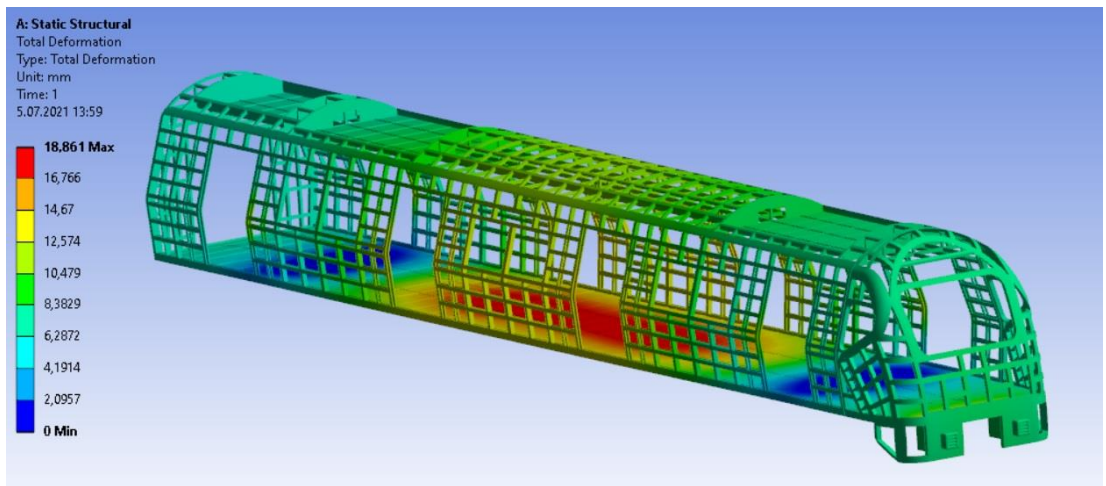
Sonlu elemanlar analizi sonucunda maksimum Von Mises gerilmesi 295 MPa olarak bulunmuştur. Maksimum Von Mises gerilmesinin olduğu bölge araç altında arka bojiye ait pivot yastığına yakın bir bölgede bulunmaktadır. Gerilmelerin genel dağılımı Şekil 4.9'daki gibidir.



Şekil 4.9. Koşul-1 için Von Mises gerilmesi dağılımı.

SUS304 paslanmaz çelik malzemenin Çizelge 4.8’de belirtildiği gibi akma mukavemeti 400 MPa değerindedir. Sonuç olarak; ortaya çıkan maksimum gerilme değeri ise 295 MPa olup, malzemenin akma mukavemet değerinin altındadır. Elde edilen sonuçlara göre yapı 1.36 kat emniyetlidir.

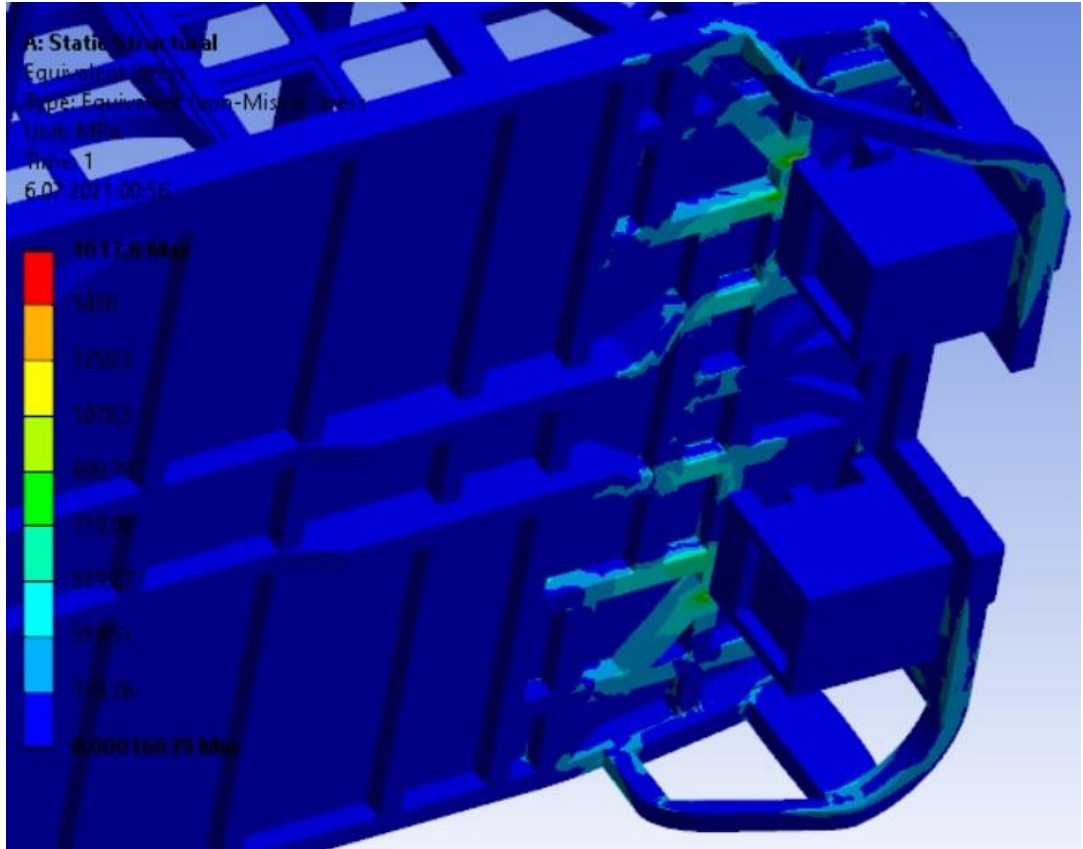
Statik analizin sonucunda ortaya çıkan yer değiştirme Şekil 4.10’da görülmektedir. Maksimum yer değiştirmenin bulunduğu bölge, yolcu kabininin orta kısmında olup maksimum değer 18.86 mm’dir.



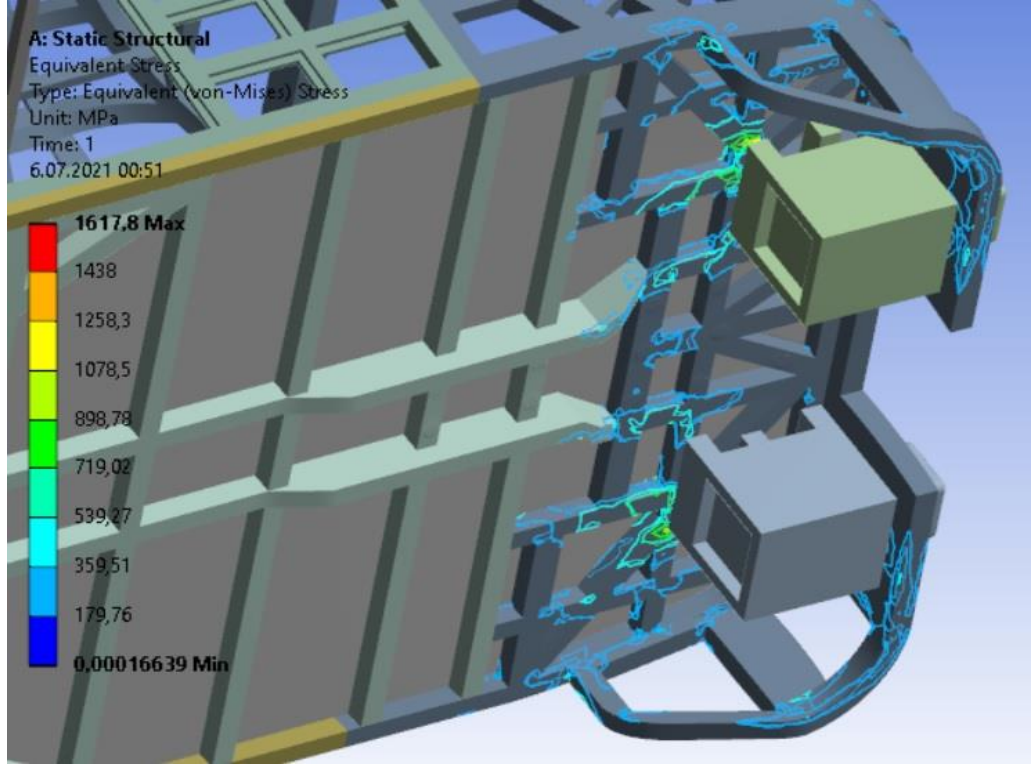
Şekil 4.10. Koşul-1 için maksimum yer değiştirme.

4.3.11.2. Tampon Bölgesinde Sıkıştırma Kuvveti Uygulanması Durumu İçin Analiz

MC araç ekipmanlarının ağırlıkları da dahil olmak üzere, araçta yolcu olmadan tampon bölgelerine 800 kN sıkıştırma kuvveti uygulanmıştır. Statik analiz neticesinde tampon bölgelerinin çevresi ve tamponların monte edildiği sürücü kabini alt bölgelerinde maksimum Von Mises gerilmesi 1600 MPa'ın üzerinde bir değerdedir (Şekil 4.11 ve Şekil 4.12). Bu değer, tasarımdaki malzemenin 400 MPa'lık akma gerilmesinin çok üzerindedir. Dolayısıyla TS EN 12663 standardındaki şartlarda, tampon bölgesinden alınacak darbelere ya da basınç kuvvetlerine karşı emniyetli değildir. Bu sorun, sürücü kabininin alt bölümünde yapılacak tasarım iyileştirilmeleriyle giderilmelidir. Ayrıca tasarımdaki tamponlarda herhangi bir yaylı mekanizma sistemi kullanılmamıştır. Tamponların içerisinde yaylı mekanizmaların kullanılmasıyla, tampon bölgesine alınacak olası darbe şiddetinin absorbe edilmesi sağlanarak deformasyonun azaltılması mümkün hale gelebilir.

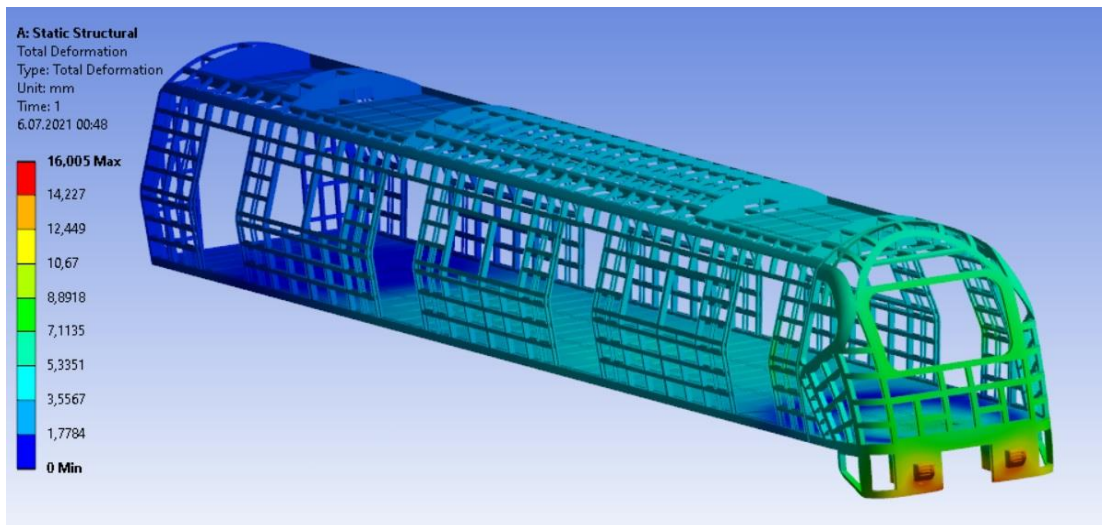


Şekil 4.11. Koşul-2 için Von Mises gerilmesi dağılımı.



Şekil 4.12. Koşul-2 için Von Mises gerilmesi dağılımı.

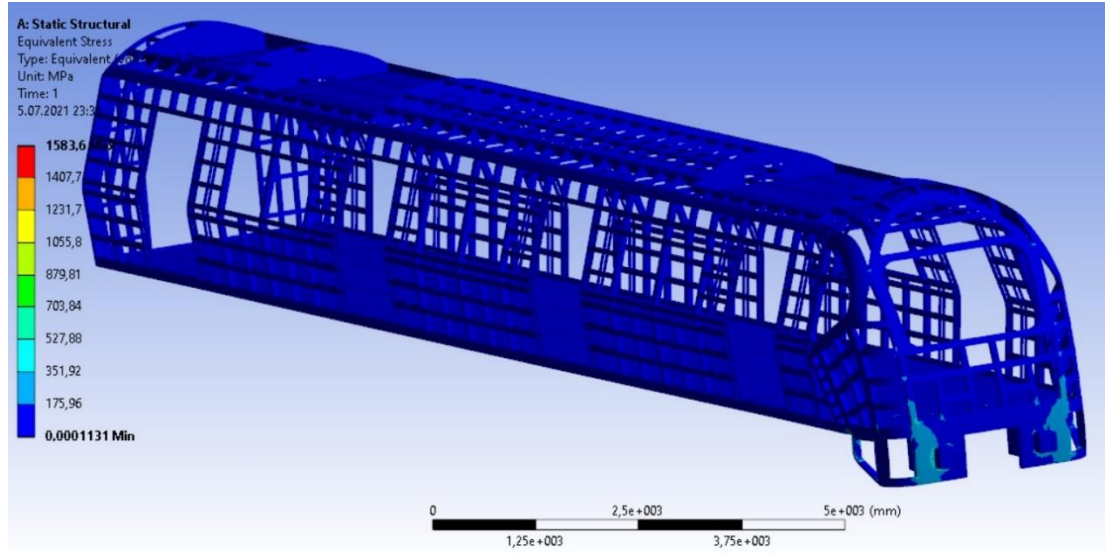
Araç içerisinde yolcu yükü olmadan, aracın ekipman ve karoseri ağırlıkları ile analiz yapılan bu senaryoda, tampon bölgesindeki maksimum yer değiştirme 16 mm olarak tespit edilmiştir. Yer değiştirme miktarını gösteren görsel veriler Şekil 4.13'te belirtilmiştir.



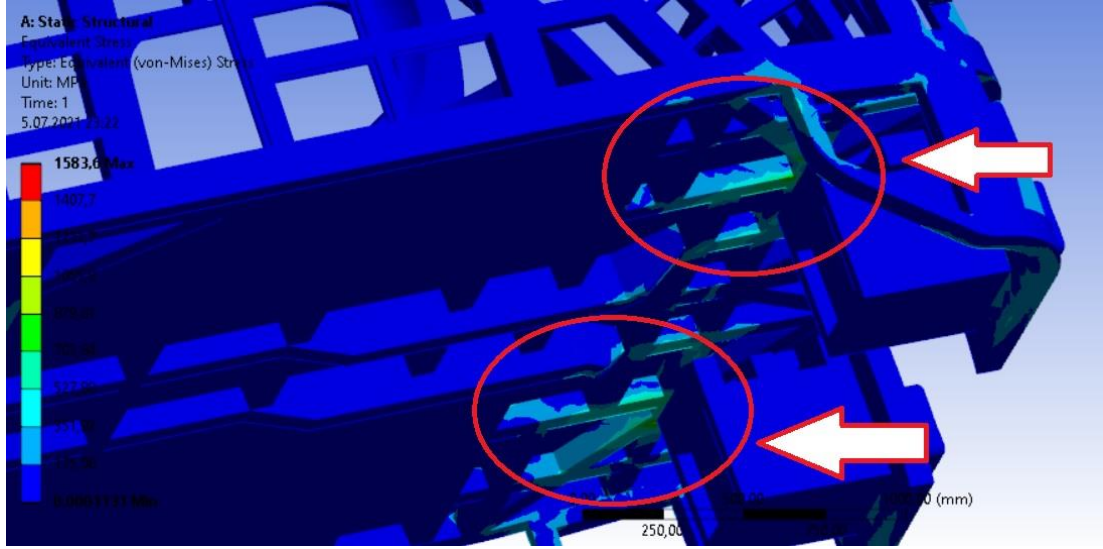
Şekil 4.13. Koşul-2 için maksimum yer değiştirme.

4.3.11.3. Tampon Bölgesindeki Sıkıştırma Kuvvetiyle Beraber Yolcu Yükleri Dahil Olarak Dikey Yük Durumunda Analiz

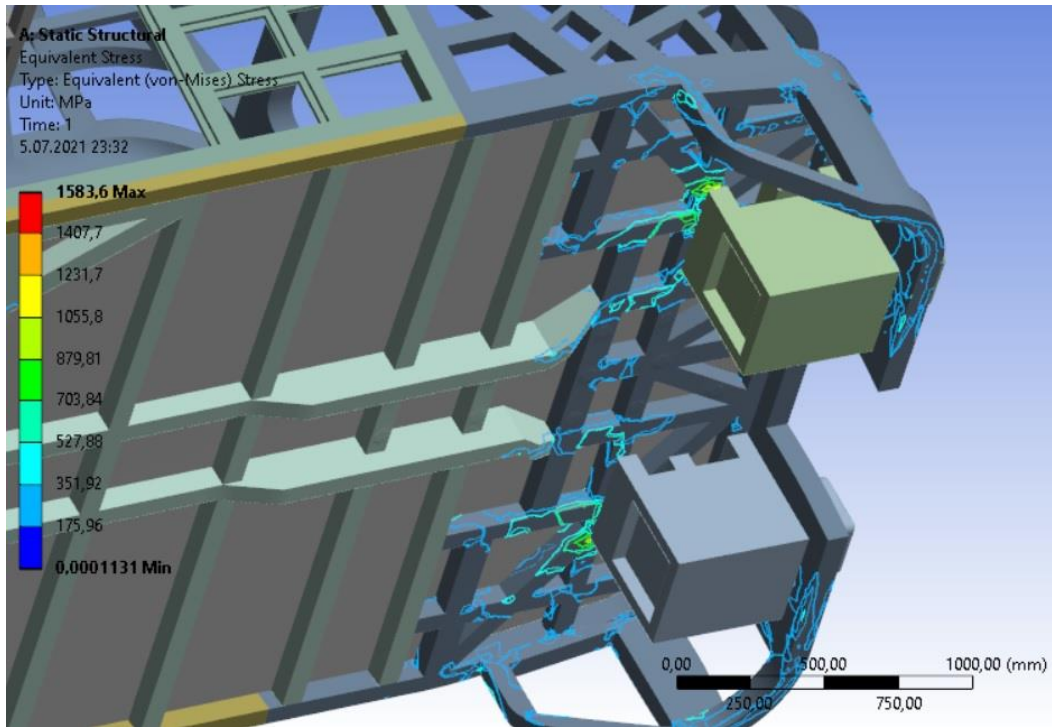
MC aracın tampon bölgelerine 800 kN sıkıştırma kuvvetinin uygulanmasının yanı sıra araç gövdesindeki ekipman yükü ve m²'ye 8 yolcu olacak durumdaki yolcu yükünün analizi yapılmıştır. Statik analiz neticesinde yolcu kabini alanlarındaki dikey yüklerin Von Mises gerilmesi, Şekil 4.14'te de görüldüğü gibi, gövdede kullanılan malzemenin 400 MPa'lık akma mukavemetinin altındadır. Ancak tampon bölgelerindeki sıkıştırma kuvvetinin etkisiyle tamponun monte edildiği sürücü kabininin alt bölgelerinde Von Mises gerilmesi değeri 1500 MPa'nın üzerindedir (Şekil 4.15 ve Şekil 4.16). Bu değer akma mukavemetinin oldukça üstündedir, dolayısıyla tampon bölgesinden TS EN 12663 standardındaki sıkıştırma kuvvetine karşı emniyetli değildir. Bu sorun, sürücü kabinin tampon ve kuplaj bölgeleriyle birlikte diğer ilgili yerlerin tasarımlarında iyileştirmeler yapılmasıyla giderilmelidir. Tamponların, gelen darbeyi ve buna bağlı olarak oluşan basıncı absorbe edebilmesi için tampon içi yay mekanizması kullanılarak tasarımda iyileştirmeler de yapılabilir.



Şekil 4.14. Koşul-3 için Von Mises gerilmesi genel dağılımı.

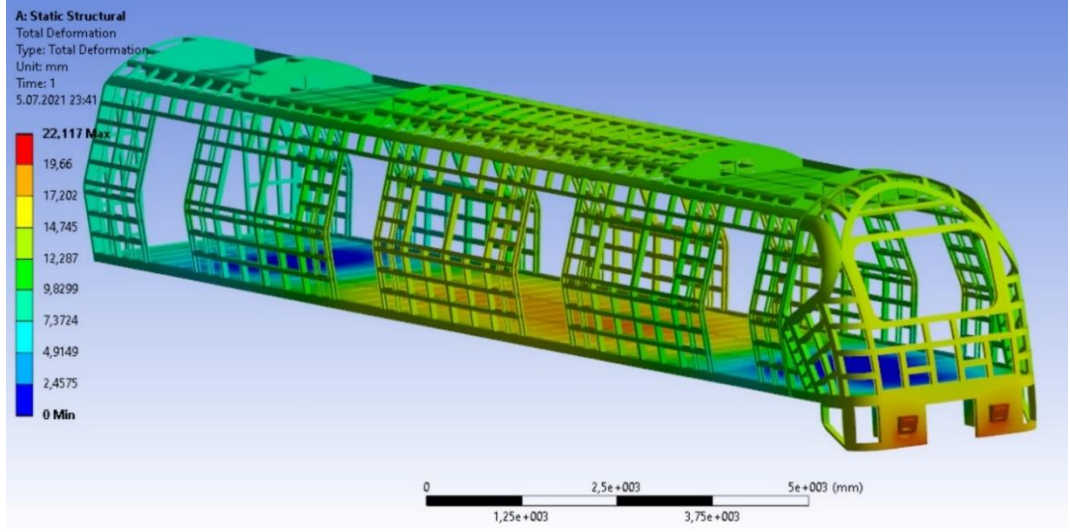


Şekil 4.15. Koşul-3 için Von Mises gerilmesi sürücü kabini alt kısım.



Şekil 4.16. Koşul-3 için Von Mises gerilmesi sürücü kabini alt kısım.

Tampon bölgesine uygulanan 800 kN sıkıştırma kuvvetinin yanı sıra yolcu ağırlıklarının da sonlu elemanlar analiz modeline dahil edildiği durumdaki maksimum yer değiştirme Şekil 4.17’de gösterilmiştir. Maksimum yer değiştirme, sürücü kabini bölgesinin tampon ve çevresinde olup 22.117 mm değerindedir.



Şekil 4.17. Koşul-3 için maksimum yer değiştirme.

4.3.11.4. Statik Mukavemet Analizleri Üzerine Sonuç ve Öneriler

Bu bölümde, tasarımı tamamlanmış metro setindeki MC araca ait gövdenin sonlu elemanlar modeli oluşturulmuş ve ilgili standartlarda belirlenen yükleme koşullarına uygun bir şekilde statik mukavemet analizleri yapılmıştır.

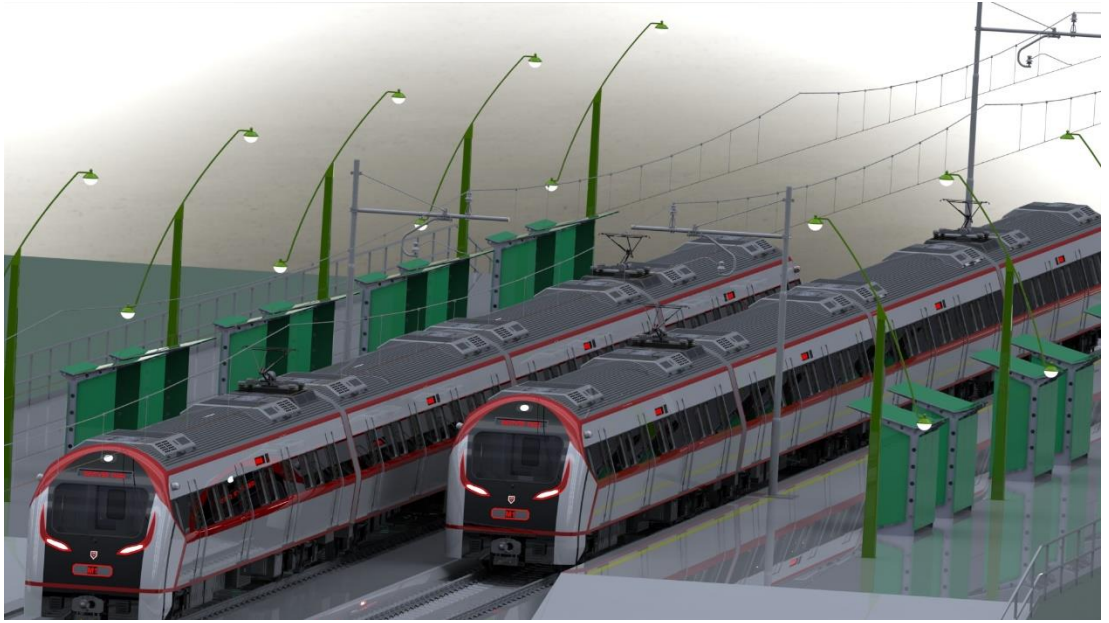
İncelemesi yapılan üç yükleme durumlarındaki koşullarda dikey yüklerden kaynaklanan deformasyon değerlerinin aracın işletilmesindeki performansına negatif etki edecek seviyede olmadığı görülmüştür. En büyük işletme yükü koşullarında araç gövdesinin emniyet sınırının üzerinde gerilmeye karşılaşılmamıştır. Ancak tampon bölgelerine, metro araçları için standartta belirtilen 800 kN değerindeki kuvvet uygulandığı yükleme koşullarında, tampon bölgesi çevresi ve sürücü kabini şase tabanında bölgesel olarak yüksek gerilmeler görülmüştür. Tampon çevresi ve sürücü kabini alt bölümlerindeki aksamlar bölgesel de olsa gerilmelere karşı zayıf kaldığı için emniyetli değildir. Dolayısıyla sürücü kabini ve tampon bölgelerindeki tasarım revize edilerek iyileştirilmelidir. Şase tabanında kullanılan malzeme, gövdedeki diğer elemanların malzemelerinden farklı olarak akma dayanımı daha yüksek olarak tercih edilebilir. Ayrıca, tampon tasarımlarında herhangi bir yay mekanizması kullanılmamış ve dolayısıyla bu bölge için herhangi bir dinamik hareket analizine bu çalışma kapsamında bakılmamıştır. Tamponlarda yaylı

mekanizmalar kullanıldığı takdirde, gelebilecek darbelere ya da sıkıştırma kuvvetlerine karşı sönümleme sağlanarak deformasyon miktarı düşürülebilir.

BÖLÜM 5

RAYLI SİSTEM ARAÇLARINDAKİ ÖGELER VE TASARIM YÖNTEMLERİ

Raylı sistem taşıtları; yüksek teknolojili donanımlara sahip, bünyesinde onbinlerce parça ve onlarca sistem barındıran ürünlerdir. Dört metro aracından oluşan bir tren setinde sadece gövde üzerindeki çeşitli alanlardaki vida, somun vb. en küçük parçalar da dahil olmak üzere 100.000'in üzerinde parça bulunmaktadır. Her bir metro aracında cer, fren, klima, yardımcı güç, batarya, kapı, yolcu bilgilendirme vb. 20'ye yakın alt sistem vardır. Her bir sistem kendi içerisinde bir çok ekipman ve parçalardan oluşmaktadır. Araçların her birinde takriben 10-15 km uzunlukta kablo ve yaklaşık 8.000-10.000 adet kablo bağlantı uçları, yüzlerce metre uzunlukta hidrolik sistem ve pnömatik sistem borulama tesisatları bulunmaktadır. Dolayısıyla raylı sistem araçları karmaşık sistemlerdir ve araçların tasarımları ile üretimleri disiplinli yaklaşımlarla, uluslararası standartlara bağlı kalınarak yapılmalıdır [16].

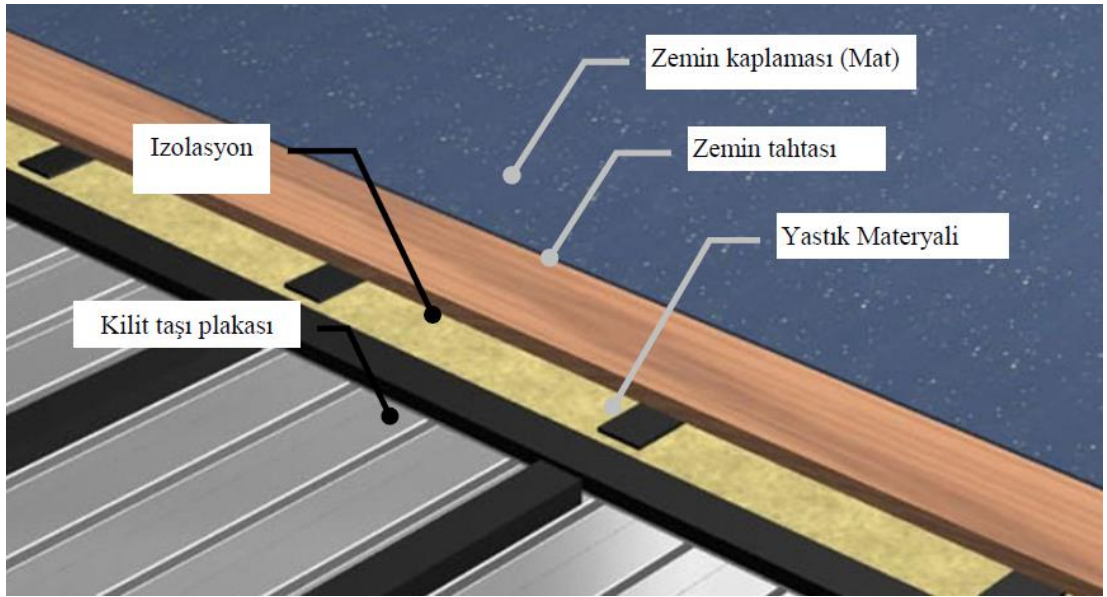


Şekil 5.1. Metro setleri.

5.1. ARAÇ ZEMİNİ

Araç zemini; araç içerisindeki yolcu yüküyle doğrudan temas halinde olan kısımdır. Bu yüzden zemin, yoğun yolcu yüklemesinde gereken dayanımı sağlamak zorundadır. Yolcuların güvenli bir şekilde inip binmeleri ve araç içerisinde ayakta yolculuk yapabilmeleri adına zemin döşemelerinde kaygan olmayan malzemeler tercih edilmelidir. Seyir esnasında zeminden gelebilecek yol gürültüsü ve ısı kayıplarına karşı önlemler alınmalı, gerekli yalıtımlar yapılmalıdır.

Araçların zeminleri; kullanılabilirlik bakımından körük bağlantılarının zeminleri ile aynı seviyede olmalıdır. Zemin malzemesi sızdırmaz ve yangına dayanıklı olarak tercih edilmelidir. Aracın hareketi sırasında zemin malzemesindeki esnemelerden kaynaklanabilecek gıcırtıların önüne geçilmelidir.



Şekil 5.2. Araç zemini, yalıtımları ve kaplamaları [27].

Zemin, araç içerisinde gövdeyi boydan boya kaplayan ve yolcuları üzerinde taşıyan temel bir öğedir. Dolayısıyla araç içerisindeki güvenlik, konfor ve kullanılabilirlik faktörleri araç zeminlerinde oldukça önemlidir.

5.2. PENCERELER, CAMLAR VE CAM SİLECEĞİ

Camlar iç mekan ile dışarıyı arasındaki görsel bağı sağlayan elemanlardır. Yolcuların seyahat alanındaki camlar en az 5 mm kalınlığa sahip lamine emniyet camı olmalıdır [19]. Lamine camlar özel bağlayıcı bir madde olan polivinil butiral (PVB) tabakalar aracılığıyla iki veya daha fazla cam plakanın özel lamine fırınlarında ısı ve basınç altında birleştirilmesiyle üretilir. Darbelere bağlı kırılmalar halinde cam parçalarını bir arada tutarak emniyet sağlar ve yaralanma risklerini azaltır. Lamine camlar ısı geçirgenliği ve gürültü kontrolü bakımından da avantaj sağlamaktadır.

Raylı sistem araçlarındaki camlar "ECE 43 -R- Motorlu Taşıtlar - Emniyet Cam Malzemelerinin ve Bunların Takıldığı Taşıtların Onayı ile İlgili Hükümler" standardına uygun olmalıdır.

Yolcuların seyahat alanında belirli yerlerde, acil durum senaryolarına karşı güvenlik gereği laminesiz emniyet camı da olmalıdır. Acil durumdaki zorunlu yolcu tahliyesini sağlamak amacıyla ilgili laminesiz camın kolaylıkla kırılabilmesi için cam kırma çekici bulunmalıdır.

Tren sürücü kabinindeki ön cam, elektrikli, ısıtılmalı ya da sıcak hava üflemeli düzeneğe sahip, dağılmaz lamine emniyet camı olmalıdır. Sürücü kabinindeki bu cam, 80 km/saat hızla çarpan 2 kg ağırlığa sahip bir nesnenin içeriye girmesine müsaade etmeyecek ölçüde bir darbe mukavemetine sahip olmalıdır [19].

Sürücünün doğrudan görüş alanı içerisinde bulunan ön camda herhangi bir kirlenme senaryosuna karşı cam temizliğini sağlamak adına cam sileceği ve su püskürtme elemanları bulunmalıdır. Bu elemanlar, sürüş esnasında sürücünün görüş alanını kısıtlamayacak şekilde tasarlanmalıdır.

Tren sürücü kabinindeki tüm pencereler "TS EN 15152 - Demiryolu Uygulamaları- Tren Kabinleri İçin Ön Cam Silecekleri" standardının şartlarını sağlayacak şekilde

dizayn edilmelidir. Pencereleer 6 mm kalınlığındaki dağılmaz emniyet amından oluşmalıdır [19].

5.3. ARAÇLARDA YALITIM

Kentlerde raylı sistem araçlarının kullanım oranı yükseldikçe yolcuların seyahat esnasında araçlardan beklediği konfor algısının da önemi artmıştır. Yolculuk sırasında araç içerisindeki ısıl konfor ve ses konforu raylı sistem araç üreticileri için çok önemli tasarım kriterleridir.

Taşıtların i mekanlarında optimum ısı dengesini sağlamak hem yolcuların sağlığı, hem de yolculuk konforu açısından oldukça önemlidir. Dış ortam ve iç ortam arasındaki ısı alışverişinin önüne geçmek araçlara uygun malzemeler ile ısı izolasyonu yapmakla mümkün hale gelmektedir.

Araçların hareketleri sonucunda oluşan istenmeyen sesleri gürültü olarak tanımlayabiliriz. Bu gürültüler çeşitli sebeplerden ortaya çıkabilir. Bunlar; motorlardan kaynaklanabilecek gürültü, şasi ve kaportadan kaynaklanabilecek gürültü, frenlemelerden doğabilecek gürültü, tekerleklerin ray ile temasından kaynaklanan gürültü, klima ve yardımcı ekipmanlarının çalışmasında oluşabilecek gürültü ile taşıtın hareketiyle hava girdaplarından oluşabilecek gürültüler olarak sıralanabilir [28].

Araçlardaki gürültünün seviyesine bağlı olarak yayılan ses dalgalarının yoğunluğu fazla olabilmektedir. Bunun sonucunda oluşan dalgalar, araçların çeşitli bölgelerinde titreşim sorunları da oluşturabilmektedir. Araçlarda gürültü iletimini önlemek ya da azaltmak ve buna bağlı olarak gelişebilecek titreşim sorunlarının önüne geçmek için araçların ilgili bölgelerine gereken izolasyonlar yapılmalıdır. Kullanılan izolasyon malzemeleri, olası bir tehlike anında güvenlik riski oluşurmaması adına yangına karşı dayanıklı olmalıdır.

Ulaşım sistemlerinin konforlu bir yolculuk için gürültü üst sınırı 65 dBA, gürültü tahammül sınırı 65-75 dBA'dır. Gürültü rahatsızlık bölgesi ise 75-120 dBA

aralığında kabul edilmektedir. Türkiye'de demiryolu gürültüsü için bu gürültü değeri gündüz-akşam vakti arası için (06.00-22.00) 65 dBA iken gece-sabah vakitleri arası için (22.00-06.00) 55 dBA olarak kabul edilmiştir [29].

Üretimi yapılacak raylı sistem araçları; "TS EN ISO 3381: Demiryolu Uygulamaları- Akustik-Ray Üstü Taşıtların İçindeki Gürültünün Ölçülmesi" ve "TS EN 30955: Demiryolu Uygulamaları – Akustik - Ray Üstü Taşıtlarda Neşrolunan Gürültünün Ölçülmesi" standartlarında belirtilen ilgili testleri geçmesi gerekmektedir.

5.4. KÖRÜK GEÇİŞLER

Körükler vagonlar arasında bağlantıyı sağlayarak araç içerisinde koridorlar arasında bir vagonun diğerine geçiş imkanı sunan yapıdır. Kurplardaki açılabilir hareket olarak sağlaması için esneklik sağlayan bir tasarıma sahiptir.



a) Körük dış görünüm

b) Körük iç görünüm.

Şekil 5.3. Körük geçişler.

Körükler araç iç mekanında seyahat edilebilecek yeni alanlara imkan sunarlar. Metrolarda araç kapasiteleri, körük bölgelerinin sağladığı alanlar sayesinde % 10'a kadar artabilmektedir.

Körükler vagon gövdeleri arasında yolcuların serbest dolaşımına imkan sunarken, iç ve dış kaplama panelleri ise seyahat edenlerin azami emniyetini sağlamalıdır. Körüklerde kullanılan malzemeler yanmaya ve iklim şartlarına karşı dayanıklı olmalıdır [19].

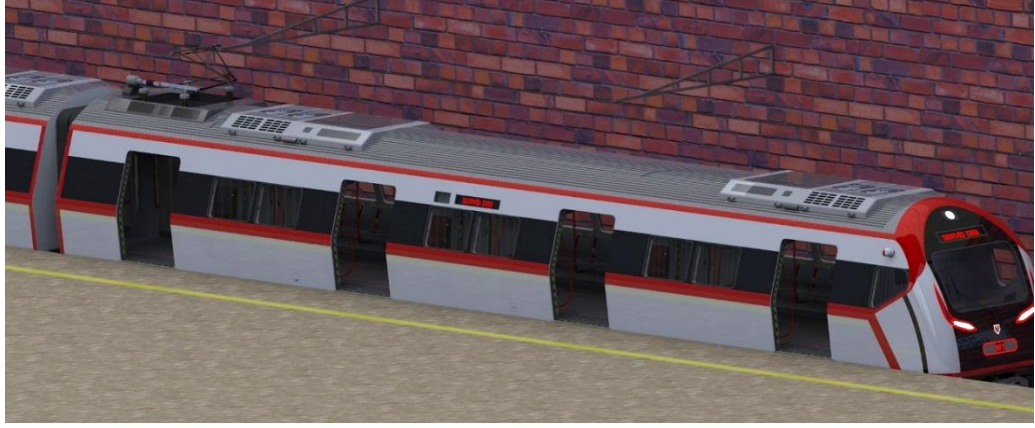
5.5. KRİKOLAMA VE KALDIRMA

Raylı sistem araçlarında deray olarak adlandırılan aracın raydan çıkma durumlarında, olası arızalara müdahalede ya da periyodik bakımlarda daha kolay müdahaleler için aracın tamamına ya da bir kısmına krikolar vasıtasıyla müdahale edilebilmelidir. Araçların gövde tasarımları kriko ile kaldırılmaya uygun biçimde tasarlanmalıdır.

Raylı sistem araç gövdelerinin krikolama ve kaldırmayla ilgili gerekli yükleme koşulları "TS EN 12663 - Demiryolu Uygulamaları - Demiryolu Taşıt Gövdelerinin Yapısal Özellikleri" standardında belirtilmiştir.

5.6. YOLCU KAPILARI

Kent içi raylı sistemler bünyesindeki taşıtlar, şehir merkezlerinde kısa mesafeli durakları arasında, yoğun yolcu taşıma potansiyeli olan taşıtlardır. Özellikle sabah ve akşam vakitlerinde yolcu yoğunluğunun maksimuma çıktığı pik saatlerde, iniş ve binişlerin kolay ve hızlı bir şekilde yapılabilmesi gerekmektedir. Bu yüzden kentsel raylı taşıtların gövdelerinin her iki tarafında yeterli sayıda ve yeterli genişlikte kapılar bulunmalıdır. Kapı genişlikleri en az iki yolcunun rahat bir şekilde yan yana iniş-binişine imkan vermelidir. Koridorlarda kapı önlerindeki alanlar, iniş ve binışı kolaylaştıracak biçimde tasarlanmalıdır.



Şekil 5.4. Metro yolcu kapıları.

Raylı sistemlerde kapı tasarımları "TS EN 14752 - Demiryolu Uygulamaları - Araç Gövdesi Yan Giriş Sistemleri" standardındaki şartları sağlamalıdır.

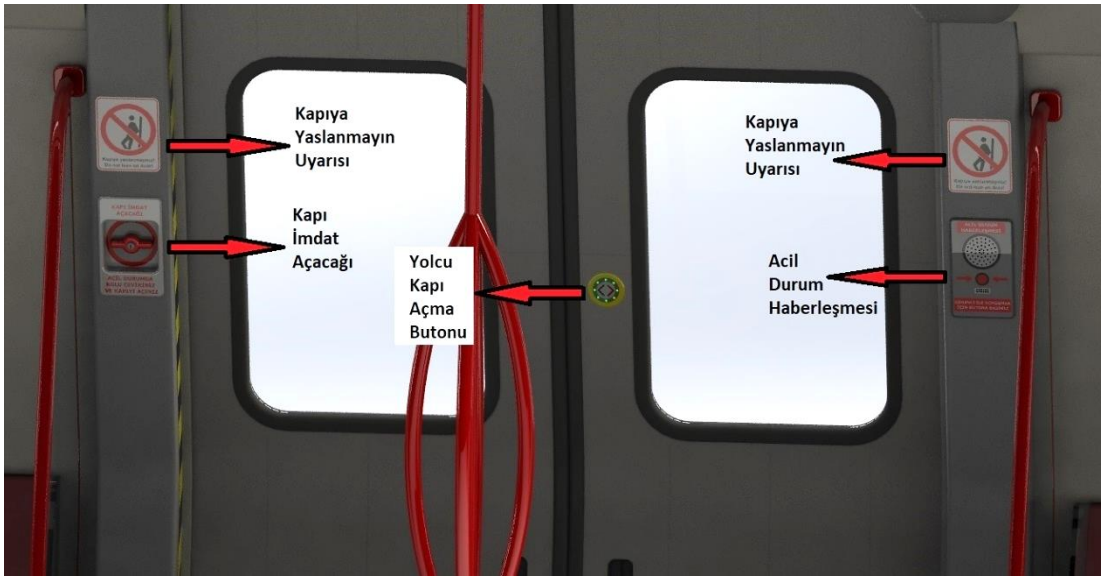
Araçların kapılarının tahrik kontrol mekanizması, servo kontrollü ve araç bataryalarından beslenen elektrik motorlu olmalıdır.



Şekil 5.5. Metro yolcu kapısı.

Kapı açılışları kaymalı ya da kaymalı-geçmeli tipte (sliding plug) olmalıdır. Kapıların açılıp kapanması sürücü kabininden kumanda edilecek ve kapıların hepsi kapanmadığı sürece araç hareket edemeyecektir. Kapıların herhangi birisinin ya da daha fazlasının açık olması, sürücü kabininde ikaz ışıkları ile görülebilecektir [19].

Kapı sistemleri sürücünün doğrudan göremediği ve uzaktan kontrol ettiği sistemlerdir. Bu durumu ve yoğun yolcu senaryolarını düşündüğümüzde güvenlik ve emniyet faktörü oldukça önemlidir. Dolayısıyla araçlardaki kapıların seyir halinde istem dışı açılmasını önleyecek kilit sistemi bulunmalıdır. Olası acil durum senaryolarında kapıların yolcular tarafından açılabilmesini sağlayan kapı açma mekanizması bulunacak ancak bu mekanizma araç durmadan kesinlikle devreye giremeyecektir.



Şekil 5.6. Metro yolcu kapısı elemanları.

Bir metroda her bir aracın kapılarından en az iki tanesi, acil durumlarda yolcu tahliyesi yapmaya uygun olacaktır. Bu iki kapı farklı taraflarda ve orta bölüme yakın konumdadır.

İniş ve binışlerde yolcu sıkışmasına karşı kapı kapanışları, son kapanma anlarında daha yavaş ve azaltılmış kuvvette olmalıdır. Yolcu kapıya sıkışır ya da kapı kapanırken herhangi bir engelle karşılaşırsa, kapının kendi kendisini tekrar geri

açma düzeneği devreye girmelidir. Kapı açılış ve kapanışlarında, yolcuları güvenlik açısından uarmaya yönelik sesli uyarılar ve görsel ikaz ışıkları kullanılmalıdır.

5.7. YOLCU KOLTUKLARI

Araç içi tasarımlarında insanların vücut ölçülerine uygun olmakla birlikte ergonomiye uygun bir şekilde; engelliler, hamileler, yaşlılar ve hareket kısıtlılığı yaşayan yolcular göz önünde bulundurularak oturma alanları tasarlanmalıdır. Koltuklar, araçtaki tüm yolcuların kolay erişebilmelerine uygun, yolcu sirkülasyonunu ve bu sirkülasyonun sürekliliğini sağlayacak düzeyde, yeterli genişliğe sahip, kullanımı rahat tasarımlara sahip olmalıdır [30].

Koltuklarda kullanılacak malzemeler olası bir güvenlik sorununa karşı yanmaya karşı dayanıklı olmalıdır. Koltuklar "UIC 566 - Loadings of Coach Bodies and Their Components - (Yolcu Vagonu Gövdesi ve Bileşenlerinin Yüklenmesi)" standardındaki şartları sağlamalıdır.

5.8. ARAÇ İÇİNDEKİ YOLCU TUTUNMA ELEMANLARI

Tutamaklar, dikmeler ve tırabzanlar araç içerisinde yolcuların (özellikle ayakta yapılan yolculuklarda) tutunarak güvenli bir şekilde seyahat etmelerine yardımcı olan unsurlardır.

Tırabzanlar, dikmeler, yatay ve dikey tutamaklar; dış çapı 30mm'deki paslanmaz çeliklerden oluşmalıdır. Araçların tavan bölgesinde bulunan yatay tutamak boruları, ayakta yolculuk yapanların rahatlıkla uzanabileceği yükseklikte olmalıdır. Oturanlarla birlikte ayakta 6 yolcu/m² yoğunluktaki kapasite dikkate alınarak yeterli sayıda tutunma ekipmanı tasarıma dahil edilmelidir.

İlgili yolcu tutunma ekipmanları, yolcuların tutunmasıyla oluşan gerilmelere ve kopmalara dayanıklı olmalıdır. Ayrıca bu elemanlarda, yanmaya karşı dirençli ve zehirli madde çıkarmayan malzemeler tercih edilmelidir [19].

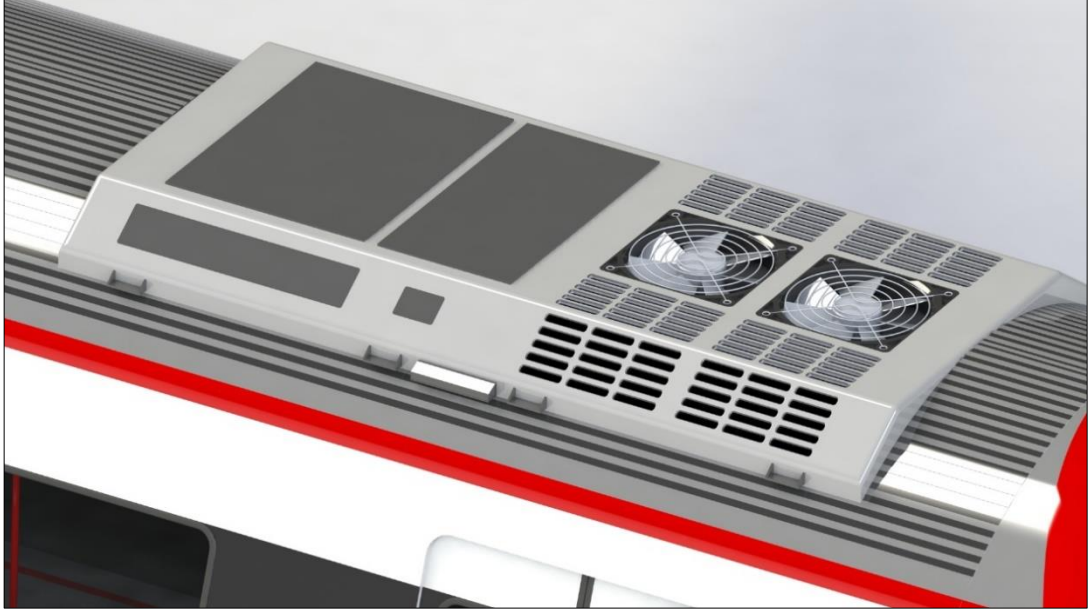


Şekil 5.7. Metro yolcu koridoru ve tutunma elemanları.

5.9. ISITMA, HAVALANDIRMA VE İKLİMLENDİRME (HVAC) SİSTEMLERİ

Havalandırma sistemleri; bir ortamdaki kirli havayı değiştirmek için bulunduğu ortamdaki havanın emilip dışarıya atılması ya da bu ortama taze hava verilmesi amacıyla kurulan mekanik sistemlerdir [31].

İnsanların kalabalık bir şekilde seyahat ettiği toplu taşıma araçlarının iç mekanlarında konfor, hijyen ve güvenlik bakımından iklimlendirme ve havalandırma büyük öneme sahiptir. Hem raylı sistem araçlarında hem de otobüslerde iklimlendirmeye ortamın ısıtılması, soğutulması, nem miktarının uygun seviyelerde tutulması ve iç ortamdaki havanın temizliğinin sağlanması ısı konfor sağlamak için gereklidir [32].



Şekil 5.8. HVAC ünitesi.

Araçlarda gereken ısı konforunu sağlamak için gerekli iklimlendirme hesaplarının yapılması gerekmektedir. Araçların iklimlendirme hesaplarını aracın çalışma koşulları, aracın izolasyon durumu, araç körük bölgesindeki izolasyon durumu, aracın çalıştığı bölgenin çevre faktörleri, kapılar ile camların ısı geçirgenliği ve izolasyon durumu vb. faktörler etkilemektedir. Bu faktörlerden elde edilen veriler doğrultusunda, araçların ihtiyaç duyduğu klima sisteminin kapasitesi tespit edilir. Eğer klima kapasitesi çok yüksek seviyede olursa araç tavanındaki klima üniteleri aşırı bir yük getirir. Bu da aracın aks yüklerine ekstra bir artış getirecek ve performansa olumsuz bir etki olacaktır. Ayrıca klimanın yüksek enerji sarfiyatının olması, aracın ihtiyaç duyacağı enerji miktarını da doğrudan etkileyecektir. Bu yüzden klimalardaki iklimlendirme hesaplamalarında her zaman optimum değere ulaşmak, gereken ihtiyacın belirlenmesi için önemli bir husustur.

Araçların HVAC sistemlerinde gereken şartlar ve iklimlendirme hesapları için "TS EN 14750-11: Demiryolu Uygulamaları - Şehir İçi ve Banliyö Çeken ve Çekilen Taşıtlar İçin Havalandırma - Bölüm 1 Konfor Parametreleri ve Bölüm 2 Tip Deneyle" standartları ile "TS EN 14813-1: Demiryolu Uygulamaları - Makinist Kabini İçin Havalandırma - Bölüm 1 Konfor Parametreleri ve Bölüm 2 Tip Deneyle" standartları dikkate alınmalıdır.

5.10. ANONS VE YOLCU BİLGİLENDİRME SİSTEMLERİ

Kentsel raylı sistemlerde kullanılan yolcu bilgilendirme sistemleri; yolcuların sesli ya da görüntülü olarak uyarılması ve bilgilendirilmesini sağlayan sistemlerdir. Yolcu bilgilendirme sistemleri; güzergah varış yeri bilgilendirme ekranları, araç içi ekranlar, yolcu kapısı üzerindeki hat güzergah haritaları, led bilgilendirme tabelaları, otomatik ve manuel anons tertibatlarından oluşur.

Araçların her iki yanlarında ve kabinli araçların önlerinde hat güzergahındaki varış yeri olan son istasyon bilgi ekranları ya da ledli bilgilendirme tabelaları olmalıdır. Bu ekran ya da tabelalardaki yazıların boyutu görüş alanında yeterli oranda okunurluk sağlayacak düzeyde olmalıdır. Araç içerisinde yolcu bölümüne dönük alanlarda bir sonraki istasyon bilgisini gösteren ekranlar ya da ledli bilgilendirme tabelaları bulunmalıdır.

Araç iç mekanındaki diğer bilgilendirme ekranları; yolculara görsel olarak uyarılar, yolculuğun ilerleyişi hakkındaki görsel bilgiler, reklamlar, haberler vb. görüntülü ya da videolu bilgilendirmelere imkan sunan ekranlardır.

Araçların her bir yolcu kapısının üzerinde ledli ya da ekranlı hat güzergah haritaları bulunmalıdır. Trenin hat üzerindeki ilerleyişinde, varılan ve varılacak olan istasyonlar bulunulan konumda işaretli olarak gösterilmeli ve yolculara gerekli hat güzergah bilgisi verilmelidir. Tren istasyonlar arasında ilerledikçe, bulunulan istasyon ya da gelecek istasyon bilgilerinin duyurulduğu bir otomatik anons sistemi bulunmalıdır. Ayrıca yolcu kapılarında acil durum senaryoları için araç sürücüsü ve yolcular arasında iletişimi sağlayabilmek adına acil durum konuşma ve haberleşme tertibatı olmalıdır.

5.11. CCTV SİSTEMİ

Araçlarda CCTV (Kapalı Devre Televizyon Sistemi) sistemi bulunmalıdır. Bu sistemde iç mekanda bulundurulacak olan kameralarla görüntüler sisteme kaydedilir halde olmalıdır. Sürücü kabinindeki ekranlardan araç içi görüntüleri

takip edilebilmelidir. Bu sistem, araç içerisindeki güvenlik zafiyetleri ya da acil durumlara müdahalelerin görsel olarak algılanabilmesi için gereklidir.

Dizilerde en öndeki ve en arkadaki vagonların yan taraflarına, yolcu peronu kenarları ve yolcu kapılarındaki iniş-binişlerin görülebilmesini sağlamak amacıyla peron izleme sistemi kurulmalı ve bu görüntüler sürücü kabinindeki ekranlara aktarılacak şekilde dizayn edilmelidir.

5.12. AYDINLATMA SİSTEMLERİ

Raylı sistem taşıtlarında farklı alanlara gereken aydınlığı sağlamak, yolcuları ve ilgili görevlileri uyarmak amacıyla aydınlatmalar yapılmaktadır. Aydınlatma sistemlerinin dizaynı; amacına uygun, güvenli ve bakımı kolay olacak biçimde tasarlanmalıdır. Raylı sistem araçlarında aydınlatma; iç ve dış aydınlatma olmak üzere iki gruptur.

5.12.1. İç Aydınlatma

İç mekan aydınlatmaları, araç boyunca iki sıra olarak tavana monte edilmiş led floresan lambalardan oluşur. Aydınlatma sistemi, otomatik olarak ya da sürücü kabininde tren sürücü tarafından manuel olarak kontrol edilir.

İç aydınlatmalarda CCTV sistemi bünyesinde bulunan kameraların ışıklardan dolayı görüş alanlarının kapanmamasına özen gösterilmelidir. Kameraların görüş alanına giren alanlarda daha düzgün bir aydınlatma sağlanmalıdır [33].

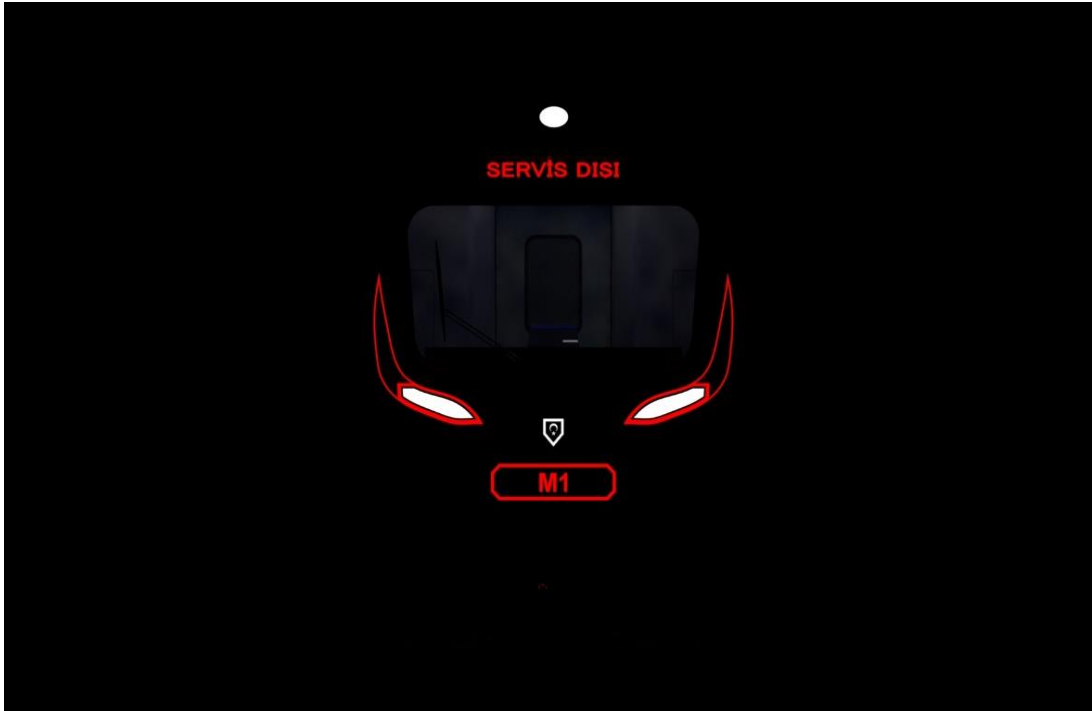
Yolcu kapıları önünde bulunan aydınlatmalar, acil durumlarda aküden beslenecek şekilde olmalıdır.

5.12.2. Dış Aydınlatma

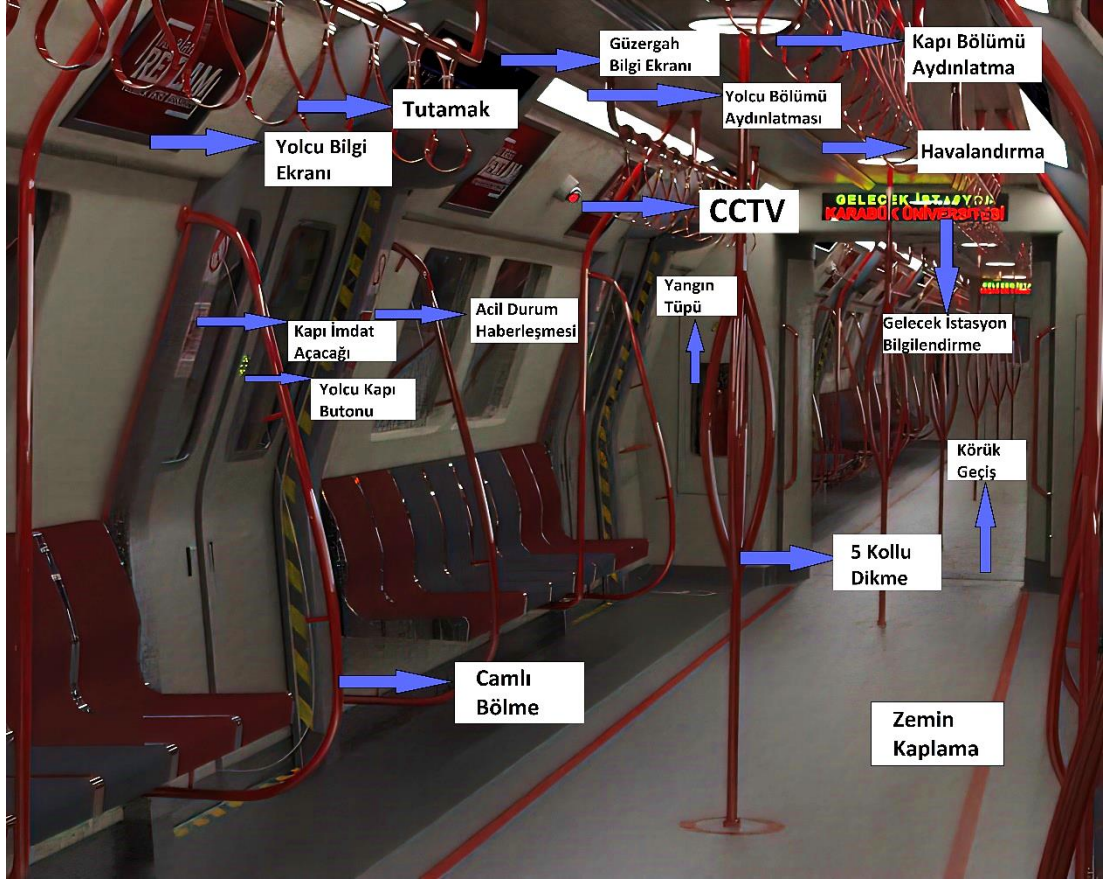
Dış aydınlatmadaki tüm ışıklar suya, neme ve toza karşı korumak olmalıdır. Bu ışık kaynakları devredeyken, sürücü kabininde bu ışıkların aktif olduğu ışıklı göstergelerle izlenebilecektir [19].

Araçların önünde iki adet far bulunacak ve sadece aracın hareket ettiği yöndeki far sistemi devrede olacaktır. Ayrıca aracın ön ve arkasında ikişer adet park lambaları bulunacaktır. Bu lambalar kırmızı renkte ışık verecektir.

Araçların sağ ve sol yanları ile önlerinde, hat güzergahındaki son istasyonu bildiren ışıklı tabelalar bulunacaktır. Bu tabelanın ışıkları, karanlık ortamlarda gözde kamaşma yapmayacak şekilde aydınlatılmalıdır [19].



Şekil 5.9. Metro dış aydınlatmalar.



Şekil 5.10. Metro iç mekan elemanları.

5.13. ARAÇLARDA YANGINA KARŞI TEDBİRLER

Raylı sistem araçlarında oluşabilecek yangınlarda ısının ve dumanın araç içinde çok hızlı bir şekilde yayılması, araç içindeki yolcu tahliyesi imkanlarının az olması aracın tünel gibi kapalı ortamlardan geçiş yapması vb. sebepler araçlarda, ağır hasarlara, yaralanmalara, can ve mal kayıplarına sebep olabilmektedir. Dolayısıyla yangın güvenliği için araçlarda oldukça katı standartlar ortaya çıkmış ve uygulamaya konmuştur [34].

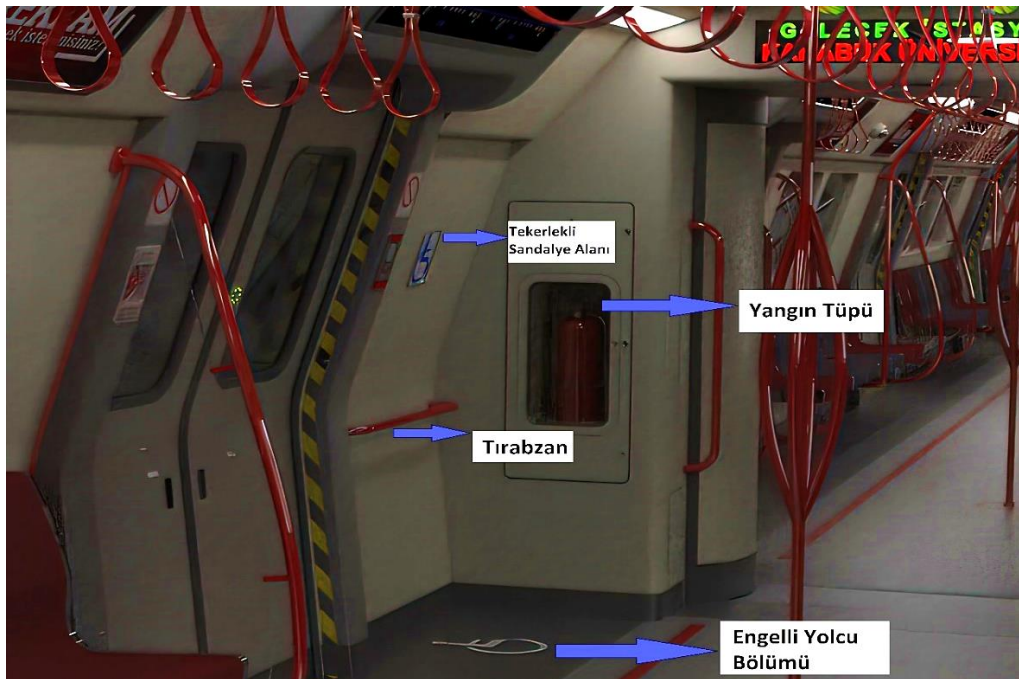
Yangınlara karşı riskleri en aza indirmek için araçlardaki malzemelerin seçiminde dikkatli davranılmalıdır. Araçlardaki metal malzemeler haricindeki diğer malzemelerde ısıya dayanıklı ve alev almayan malzemeler tercih edilmelidir.

Raylı sistem araçlarında yangına karşı "TS EN 45545 - Demiryolu Uygulamaları - Demiryolu Araçlarında Yangından Korunma" standardı oluşturulmuştur. Bu standart yedi bölümden oluşur. Yangına karşı genel tedbirler, malzemelerin yayın davranışları, yangın direnç gereksinimleri, araç tasarımları için yangın güvenliği, elektrik ekipmanları için yangın güvenliği, yangın kontrol ve yönetim sistemleri, yanıcı gaz ve yanıcı sıvı tesisatları için güvenlik tedbirleri gibi hususlara değinilir [35].

Araçların yolcu bölümünde ve sürücü kabinlerinde en az birer tane, yeterli oranda su katkılı ya da kuru kimyevi tozlu yangın söndürücüler bulunmalıdır

5.14. ARAÇLARDA ENGELLİ YOLCULAR İÇİN TAŞIMACILIK

Kentsel raylı sistemlerde engelli yolcuların araçlara iniş-binişlerinin kolay hale getirilebilmesi için araç-peron arasındaki kot farkı ortadan kaldırılmalıdır. Özellikle metro ve banliyö trenlerinde peron seviyelerindeki kot farkı ortadan kaldırılır. Tramvaylarda ise araçların alçak tabanlı tasarlanması ve iniş-binişlerin kolay bir şekilde yapılması için katlanabilir kapı rampaları bulunmalıdır.



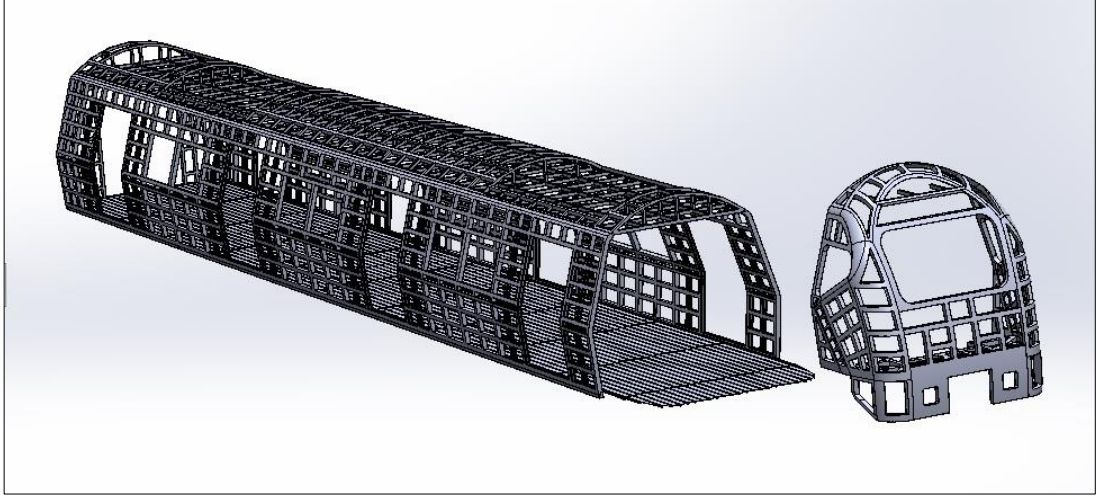
Şekil 5.11. Engelli yolcu bölümü.

Araçların iç mekanlarında engellilerin rahatlıkla seyahat edebilecekleri alanlar oluşturulmalıdır. Tekerlekli sandalyeli yolcular için emniyet kemerleri olmalıdır.

Raylı ulaşımında engelli yolcular için taşımacılık çözümleri "TS EN 12694 - Demiryolu Taşıtları - Yolcu Vagonları - Engelli Yolcuların Tekerlekli Sandalyeler İle Seyahatine Uygun Vagon Düzenlemeleri" standardında belirtilmiştir. Araç tasarımlarında bu standarda uygun önlemler alınmalıdır.

5.15. SÜRÜCÜ KABİNİ

Sürücü kabininin gövdesinin sökülebilir olarak tasarlanması önden alınabilecek herhangi bir darbe durumunda sadece ön bölgenin tamirinin yapılması ya da değişiminin kolay bir şekilde yapılabilmesi için kolaylık sağlamaktadır. Ayrıca ön yüzde yapılması düşünülen bir tasarım değişikliği olursa, aracın konstrüksiyonu değişmeden yeni bir tasarıma kavuşabilmesi de mümkün hale gelebilir.

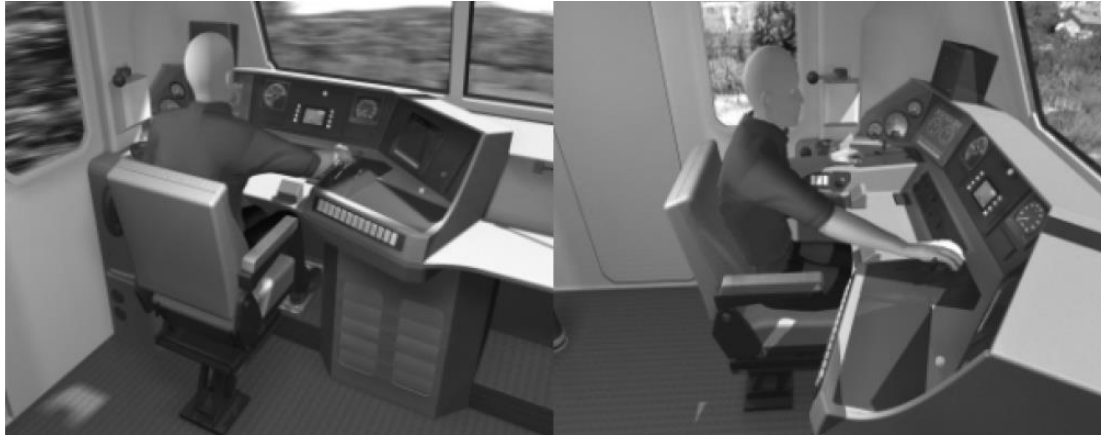


Şekil 5.12. Metro şasi sökülebilir sürücü kabini.



Şekil 5.13. Metro şasi sökülebilir sürücü kabini.

Sürücü kabininin iç mekanında her bir öge, tren sürücüsüne kullanım kolaylığı sağlayacak ergonomiye sahip olacak şekilde tasarlanmalıdır. Aracı kumanda etmek için ilgili butonlar, ekranlar ya da diğer ekipmanlar sürüş esnasında makinistin müdahalesinin kolay bir şekilde yapılabilmesine imkan vermelidir.



Şekil 5.14. Sürücü kabini [36].

Kabindeki camların tasarım ölçüleri görüş alanını kısıtlamamalı, optik açıdan gerekli özellikleri sağlamalı ve yansıma olmayarak görüşü kapatmamalıdır.

Kabin içerisinde ısı yalıtım ve gürültü yalıtımı sağlanmalıdır. Ayrıca elektronik cihazlardan doğabilecek tehlikelere karşı da yalıtım önlemleri alınmalıdır. Kabindeki iklimlendirme sistemi uygun şartları sağlamalı ve havadar bir ortam sağlanmalıdır.

Kabin içerisinde kullanılan ekipmanların malzemeleri yangına karşı dayanıklı olması gerekmektedir. Kabin içerisinde acil durumlarda meydana gelebilecek olası bir yangına müdahale için yangın söndürücü bulunmalıdır.

Raylı sistem araçlarında sürücü kabınının iç tasarımı “UIC 651 – Layout of Driver’s Cabs in Locomotives, Railcars, Multiple-Unit Trains and Driving Trailers (Lokomotiflerde, Trenlerde, Çok Üniteli Trenlerde ve Sürücülü Araçlarda Kabinlerin Düzeni)” standardına uygun ergonomide tasarlanmalıdır.

5.16. KUPLAJ BAĞLANTILARI

Kuplaj; araçları ve tren setlerini birbirlerine bağlayarak araçların birbirini çekmesi ya da hızlanmaları gibi ivmeli hareket hallerinde oluşabilecek darbeleri belirli oranlarda sönmüleyebilen ekipmandır.

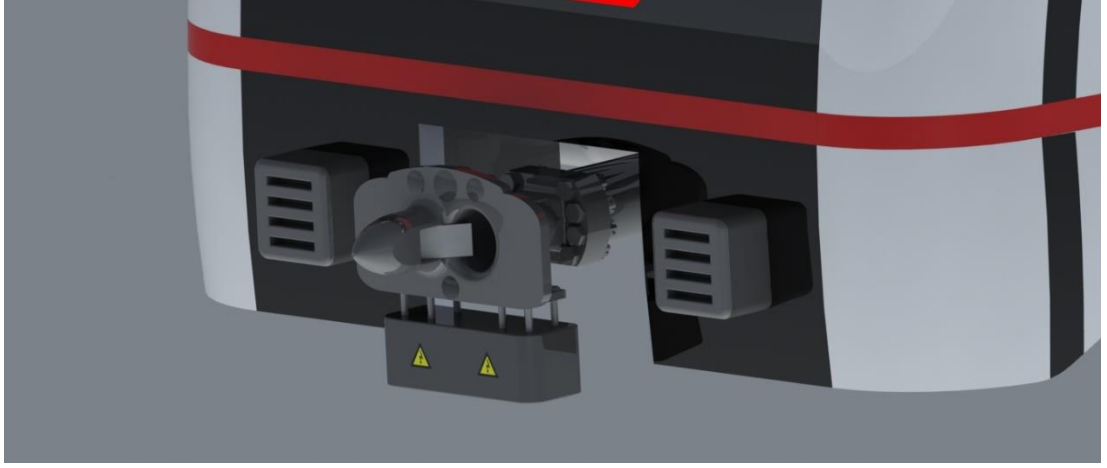
Araçların her iki uç kısımlarında deformasyonlara maruz kalmadan bağlanma anında oluşabilecek şoka dayanıklı, yeterli mukavemete sahip olarak, mekanik ve elektriksel bağlantıyı sağlamak adına kuplaj bağlantıları önemli ekipmanlardır.

Bir metro trenindeki kuplaj ekipmanları, m²'de 6 yolcu yükünde maksimum eğimdeki aracı çekebilme potansiyelinde, deformasyon kapasitesinde 65 kJ enerji sönmüleme kabiliyeti olan, 700 kN çekme ve 800 kN basma dayanımına sahip olmalıdır [19].

Bir metro tren setinde otomatik ve sabit olmak üzere iki tip kuplaj kullanılır.

5.16.1. Otomatik Kuplaj

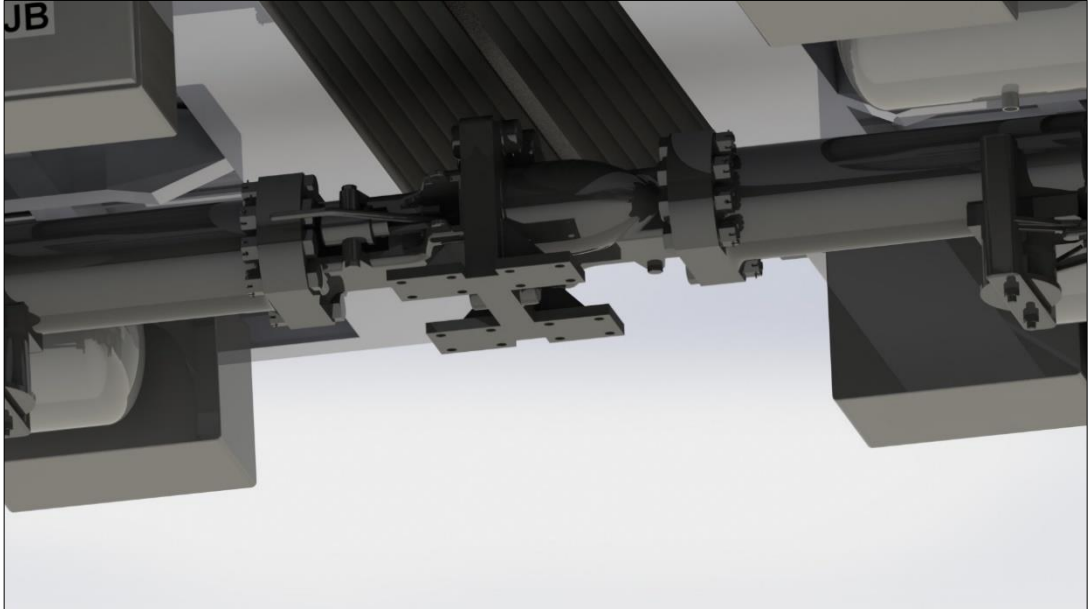
Otomatik kuplaj tren setinin uç vagonlarında bulunmaktadır. Bir tren setini başka bir tren setiyle bağlarken kullanılır. Bu bağlantı mekanik, pnömomatik ve elektriksel olarak yapılmaktadır.



Şekil 5.15. Otomatik kuplaj.

5.16.2. Sabit Kuplaj

Sabit kuplaj bir tren seti bünyesindeki her bir aracı birbirine bağlayan ekipmandır. Sabit kuplaj bağlantısı mekanik bir bağlantıdır.



Şekil 5.16. Sabit kuplaj.

5.17. BOJİLER

Boji; araç gövdesini taşıyan, aksların ortak bir çerçevede bir araya getirilmesiyle oluşturulmuş, aracın hareketine olanak sağlayan ekipmanın genel adıdır.

Bojiler, araçların şasilerine süspansiyonlar aracılığıyla sabitlenmektedir. Aracın şasisi küresel ve oynar yapıdaki boji göbeğine oturtularak bağlantı yapılır. Küresel geometrideki oynak yapı sayesinde boji, şasinin altında rahat bir şekilde hareketini sağlayabilmektedir.



Şekil 5.17. Boji.

Bojiler temel olarak şasi, tekerlekler, akslar, cer motorları, dişli kutuları, süspansiyonlar ve frenlerden oluşur. Ayrıca tekerlek aşınmalarını önlemek adına buda yağlama sistemi ile tekerlek-ray arasındaki sürtünme kuvvetini artırıp yol tutunmasını artırmak amacıyla ray ve teker arasına kum püskürten kumlama sistemi bojiye yardımcı ekipmanlardır.

Bojilerin tasarımlarında "TS EN 13749 - Demiryolu Uygulamaları - Tekerlek Takımları ve Bojiler - Boji Şasilerinin Yapısal Şartlarını Belirleme Yöntemleri" ve

"EN 15827-1-Demiryolu Uygulamaları - Bojiler ve Şanzuman - Bölüm 1 Genel Prensipler" standartlarının gereklerine uyulmak zorundadır.

Bojilerin şasileri çelik döküm olarak ya da çelik kaynak konstrüksiyon şeklinde imal edilmektedir. Şasiler yorulma testleri ve statik testlerden başarıyla geçmelidir.

Bojiler; hareket halindeki olumsuzlukları gidermek, titreşimi azaltmak ve konforu artırmak için süspansiyon sistemleriyle donatılmıştır. Tekerlekler ve akslar arasındaki süspansiyon konforunu sağlayan sisteme birincil süspansiyon, boji ile araç gövdesi arasındaki yatay ve dikey darbelerdeki olumsuzlukları gidererek sönümleme yapan sisteme de ikincil süspansiyon adı verilir.

Akslar ve tekerlekler tüm araç yüküyle birlikte yolcu yükünü taşıyan ve asıl hareketi sağlayan parçalardır. Metro araçlarında tekerlekler monoblok ya da bandajlı tipte olmalıdır. Monoblok tekerlek yapıları "TS 11588 - Demiryolu Hareketli Malzemeler - Bölüm 8: Çeken ve Çekilen Taşıtlar için Monoblok Tekerleklerin Boyut Ve Dengeleme Özellikleri" ve bandajlı tekerlek yapıları ise "TS 10184 - Demiryolu Hareketli Malzemeler - Kısım 2: Çeken Ve Çekilen Taşıtlar İçin Bandajlı Tekerlekler" standartlarına uygunluk şartlarını sağlamalıdır.

Tren tekerleklerinde budenler en çok aşınan kısımdır. Hat üzerinde trenin kurplardaki geçişlerinde bütün trenin yükü budenler üzerinden raya sürtünmektedir. Tren tekerleklerinde budenlerin aşınmasının önüne geçmek ve tekerleklerin ömrünü uzatmak için buden yağlama sistemi aracılığıyla yağlama yapılmalıdır. Bu sayede ray ve tekerlek budeni arasındaki sürtünme azaltılarak aşınmanın önüne geçilir.

5.18. FRENLER

Raylı taşıtların kontrollü bir şekilde yavaşlatılması ya da durdurulması, araçlar üzerindeki fren sistemleri ile mümkündür. Hareketini cer gücüyle sağlayan bu taşıtların hızlarının azaltılması ya da durdurulması için, trenin hareketinden dolayı oluşan kinetik enerjinin azaltılması ya da tamamen ortadan kaldırılması gerekmektedir. Hızların azaltılması ya da araçların tamamen durdurulabilmesi için

cer gücündeki itme ya da çekme kuvvetinin tersi yönünde bir kuvvet uygulanması ile mümkün hale gelmektedir. Aracın hareketine karşı uygulanan bu kuvvet fren kuvveti olarak adlandırılır. Fren kuvveti uygulanmaya başlandığında aracın hareketine karşı uygulanan kuvvetin fazla olması neticesinde frenleme gerçekleşmektedir [37].

Raylı taşıtlardaki frenlerin "TS EN 13452-1 - Demiryolu Uygulamaları - Toplu Taşıma Fren Sistemleri - Bölüm 1: Performans Gereksinimleri" standardındaki şartları sağlamaları gerekmektedir.

Demiryolu taşıtlarının frenleme tertibatlarında farklı tekniklere sahip çeşitli türde sistemler vardır. Bu frenler; dinamik fren, mekanik fren, manyetik fren, park freni ve acil durum frenleridir.

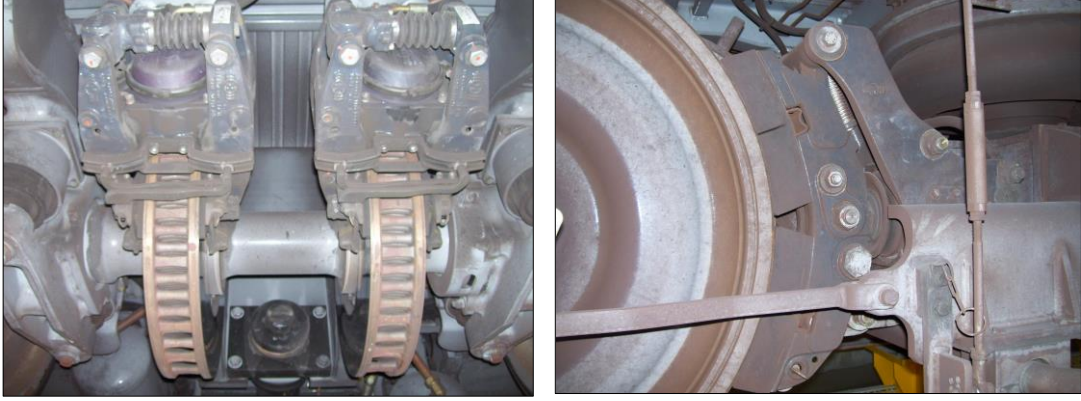
5.18.1. Dinamik Fren

Araçların cer motorlarıyla tahrikinde motorlar jeneratör olarak çalıştırılır ve tekerleklerin dönmelerine karşı elektromanyetik bir direnç oluşur. Motorun jeneratör olarak çalışması sonucunda elde edilen elektrik enerjisi katener hattı ya da üçüncü ray hattına iletilir veya dirençler yardımıyla ısıtılarak ısı enerjisine dönüştürülerek atmosfere karışır. Dinamik fren sistemi, trenin hızından kazanılan kinetik enerjinin frenleme esnasında kullanılması tekniğidir. Bu fren sistemi treni durdurmak amaçlı değildir. Daha çok yavaşlatma ve hızı sabit tutma amacıyla kullanılmaktadır. Bu sistemde herhangi bir mekanik parça kullanılmaz. Yani bakım masrafı azdır, dolayısıyla ekonomik bir sistemdir.

5.18.2. Mekanik Fren

Frenlemenin tekerleklere ya da fren disklerine uygulanan baskı kuvvetleri sayesinde yapıldığı sistemdir. Bu sistem trenin temel fren sistemidir. Tekerleklere baskı uygulayarak durmayı sağlayan sabo ya da fren disklerine baskı uygulayarak durmayı sağlayan balataları baskı kuvvetinde oluşan sürtünmelerden dolayı zamanla aşınmaktadırlar. Bu yüzden bakımlarına özen gösterilmesi önemlidir. Mekanik frenlemede baskı kuvveti basınçlı hava yardımıyla uygulanmaktadır. Kompresörlerde

üretileen basınçlı hava fren sistemindeki iletim elemanlarıyla sisteme dağıtılır. Pistonların havayı itmesiyle balataların ya da saboların tekerleğe baskı yapması sağlanır. Bu sayede tren yavaşlatılabilir ya da durdurulabilir.



a) Fren diskleri.

b) Sabo.

Şekil 5.18. Mekanik frenler.

5.18.3. Manyetik Fren

Araçların üzerine yerleştirilen çelik parçaların, raylara yaklaştırılması sayesinde aracın durdurulması prensibiyle çalışır. Aracın giriş izninin olmadığı bir hatta girmesi ya da hat üzerinde hız limitinin üzerine çıkılması durumunda hat üzerindeki manyetler, araçtaki bu fren sistemini otomatik olarak devreye sokar ve güvenli bir şekilde duruş gerçekleşir.

5.18.4. Park Freni

Park frenleri araçların park edildiği zamanlarda aracın emniyetli bir şekilde durması için kullanılmaktadır. Sistem basınçlı hava desteklidir ve mekanik olarak çalışmaktadır. Hat üzerindeki en eğimli rampada bile güvenli bir şekilde park edilebilmeyi sağlayacak kapasitede tasarlanması gerekmektedir.

5.18.5. Acil Durum Freni

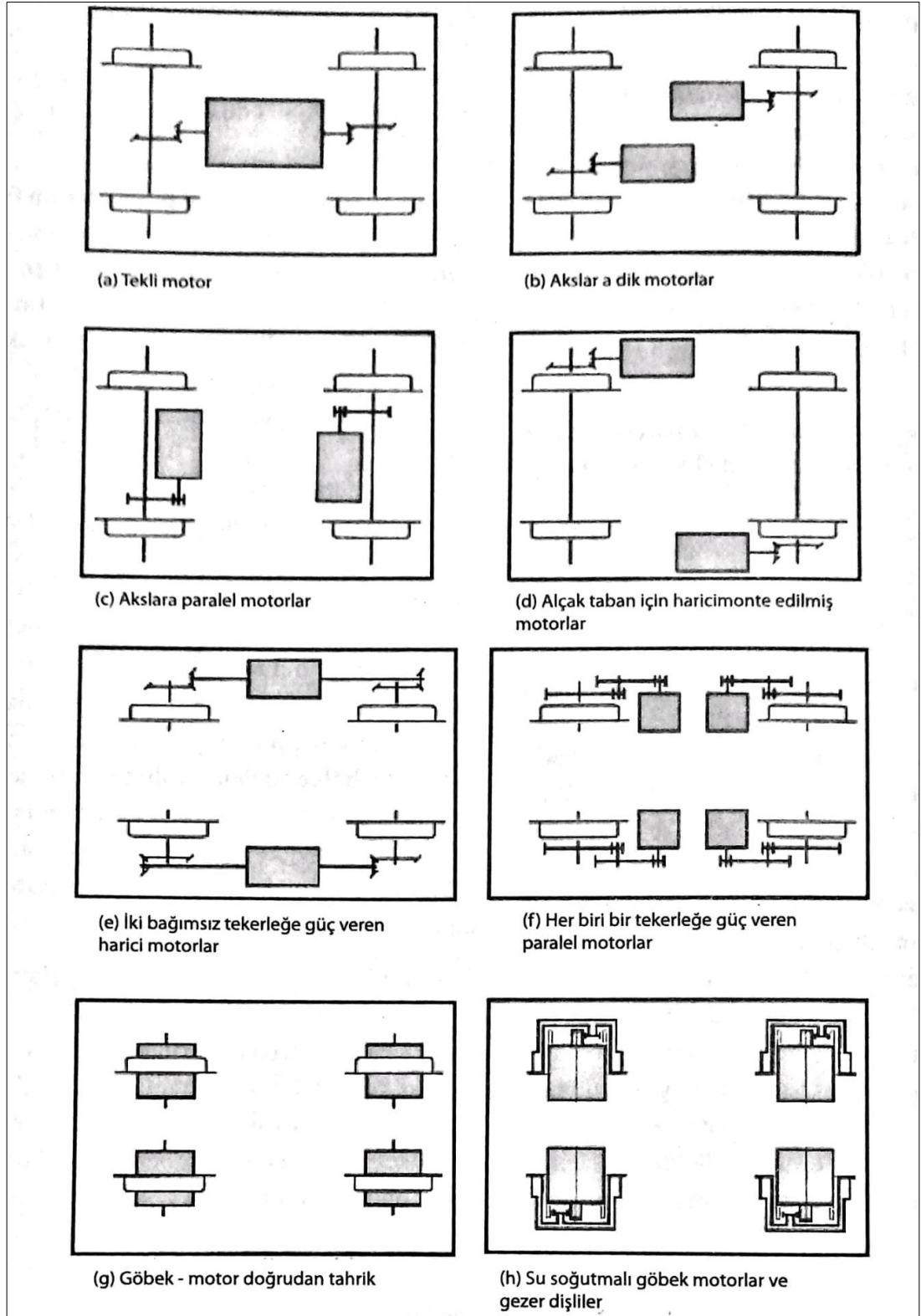
Araçlardaki olası bir güvenlik sorununda, yolcuların araç içerisindeki imdat kollarına müdahale etmesiyle frenlemenin yapılması sağlanabilmelidir.

5.19. CER MOTORLARI

Kentsel raylı sistem araçlarının tahrikleri elektrik enerjisiyle sağlanmaktadır. Elektrikli tahrik sisteminin öne çıkan parçası ise cer motorlarıdır. Elektrik enerjisinin mekanik enerjiye dönüştürülmesi ve trenin hareket etmesi cer motorlarının sağladığı tahrikle mümkün hale gelmektedir.

Raylı araçlardaki Cer motorları "IEC 349 - Factory-Built Assembler of Low - Voltage Switchgear and Controlgear (Alçak Gerilim Kesme Ve Kontrol Anahtarlarının Fabrika Montajları)" standardına ya da buna eşdeğer normlara uygun olması gerekmektedir [19].

Cer motorları; doğru akım (DC) ya da alternatif akım (AC) olmak üzere iki farklı türde kullanılabilir. AC motorlar üretim ve bakım maliyetleri göz önünde bulundurulduğunda DC motorlara göre ekonomiktir. Fakat AC motorların hız kontrolleri DC motorlara göre daha zordur. Elektrikli tahrik sisteminin ilk kullanıldığı zamanlarda hız kontrollerindeki kolaylıklarından dolayı DC cer motorları, üretim ve bakım maliyetleri yüksek olmalarına rağmen kullanılmıştır. Ama teknolojik gelişmeler sayesinde AC cer motorlarının da hız kontrolleri kolaylaşmıştır. Dolayısıyla daha az maliyetle verimli cer gücü kullanımı mümkün hale gelmiştir.



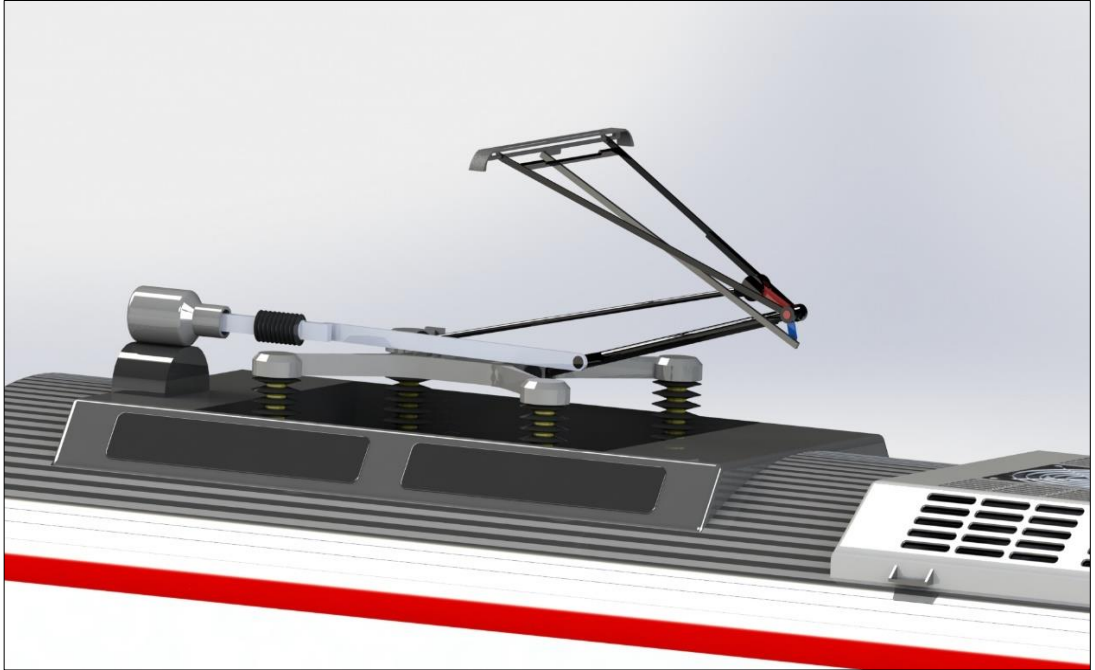
Şekil 5.19. Farklı bojilerde farklı tekerlek ve cer motoru konfigürasyonları [4].

5.20. AKIM TOPLAMA EKİPMANLARI

Elektrik tahrikli demiryolu araçlarının akım toplama ekipmanları temelde iki türdedir. Bunlar pantograf ve üçüncü ray pabucudur.

5.20.1. Pantograf

Elektrikli beslemeye sahip raylı sistem taşıtlarında gerekli enerjinin araca iletimini mümkün kılan havai kablo hattına katener hattı adı verilir. Demiryolu hattı boyunca uzanan katener sisteminden sürtünme yoluyla elektrik enerjisini alarak aracın kullanımına sunan ekipman ise pantografır.

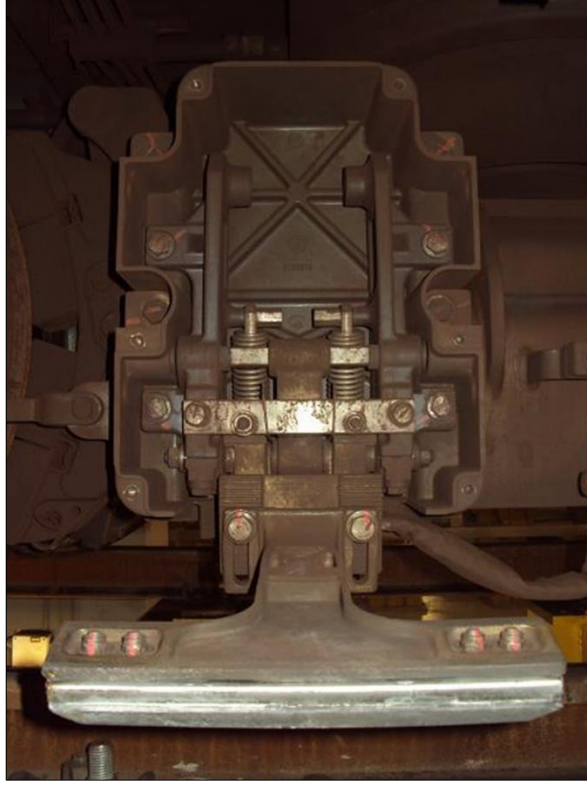


Şekil 5.20 Pantograf.

5.20.2. Üçüncü Ray Pabucu

Elektrikli beslemeye sahip raylı sistem taşıtlarında gerekli enerjinin araca hat kenarındaki üçüncü bir ray vasıtasıyla sağlandığı sistem üçüncü ray sistemidir. Metro araçlarında katener sistemlerin tercih edildiği gibi üçüncü ray sistemleri de sıklıkla

kullanılmaktadır. Bu sistemi kullanan araçların bojilerinde, hattaki akımı araca iletmek için üçüncü ray pabuçları kullanılmaktadır.

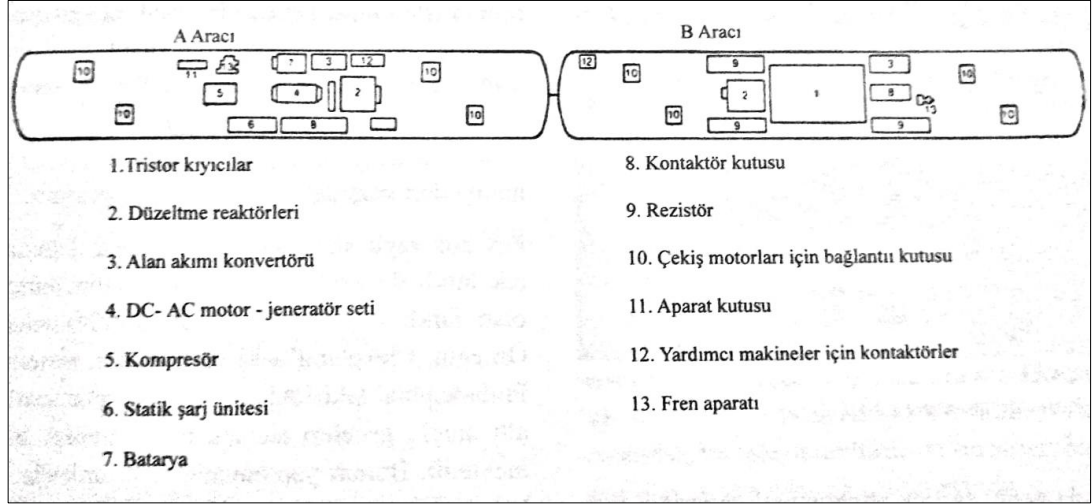


Şekil 5.21. Üçüncü ray pabucu.

5.21. DİĞER EKİPMANLAR

Metrolardaki cer sistemine yardımcı ekipmanlar, araç gövdesinin altına ve bazı durumlarda ise araç gövdesi içerisinde erişimi kolay olan bir bölüme yerleştirilebilir. Genellikle araçların taban kısımlarının altına yerleştirilen diğer mekanik ekipmanlar ile elektrikli ekipmanlar, bir motor-jeneratör grubu ile bir bataryadan oluşur. Hattan gelen voltaj ile çalışan motor (600 - 800 V aralığı), bataryada depolanan düşük voltajı (genellikle 24 - 40 V aralığı) üreten jeneratörü tahriklemektedir. Acil durum aydınlatmaları, servo motorlar vb. birçok elektrikle çalışan çoğu yardımcı ekipman, bataryadan alınan enerji ile çalışmaktadır. Motor kontrolünü sağlayan ekipmanlar, fren sistemine yardımcı ekipmanlar, kompresör, hava tankı, yardımcı güç ekipmanları da araçların altında bulunan diğer bileşenlerdir. Metro araçlarında bu ekipmanların maliyetlerini düşürebilmek, araç altında gerekli alanı azaltmak

maksadıyla tek ekipman setinin iki araçla birlikte paylaşıldığı çiftli diziler kullanılır. Şekil 5.22'de A ve B araçları arasında ekipman dağıtımları bu duruma bir örnektir [4,7].



Şekil 5.22. Stockholm metrosu araç altı ekipman dağılımı [4].

BÖLÜM 6

SONUÇLAR

Bu çalışmada, kent içi raylı sistem araçlarının karakteristik özellikleri ve tasarım kriterleri üzerinde durulmuştur. Elde edilen literatür tarama verileri doğrultusunda metro tasarımı yapılmıştır. Dört araçlı metronun sürücü kabineye sahip olan aracının 3 farklı ön burun kafa modeli oluşturularak CFD analizi yapılmış, sonuçları yorumlanmış ve aerodinamik açıdan en uygun olan model tespit edilerek tasarıma devam edilmiştir. Uygun bulunan kafa modeline göre araç gövdesi ve sürücü kabini tasarımı yapılmış ve diğer elemanların ve ekipmanların tasarımları oluşturulmuştur. Tasarım sonucunda, araç gövdesinin ANSYS programında statik mukavemet analizi yapılmıştır. Analizde ekipman ve yolcu ağırlıklarının hesaplamaya dahil edilmesiyle üç farklı koşulda TS EN 12663 standardına göre yüklemeler yapılmıştır. Ayrıca, tampon bölgelerine, ilgili standartta metro aracı için belirlenen 800 kN'luk sıkıştırma kuvveti uygulanmıştır. Analizler sonucunda maksimum yer değiştirme miktarları ve gerilemeler tespit edilmiş ve bu sonuçlar yorumlanarak çözüm önerileri sunulmuştur. Bu çalışma sonucunda;

1. Kent içi toplu taşımacılıkta ilk yatırım maliyetleri yüksek olsa da uzun vadede en ekonomik olanı raylı sistem taşımacılığıdır. Ayrıca kentlerdeki yoğun trafik için en uygunu yine raylı sistem taşımacılığıdır. Münih kenti örneğinde 218 yolcunun kullandığı 145 otomobilin trafikteki yoğunluğu, 1 adet tramvay kullanılarak önlenebilmektedir.
2. Dört araçlı bir metro setinde 100.000'in üzerinde parça, farklı farklı 20'ye yakın alt sistem, yaklaşık 10-15 km uzunluğunda kablo, 8.000 - 10.000 kablo bağlantısı ve yüzlerce metre uzunluğunda hidrolik ve pnömatik boru sistemleri bulunmaktadır. Bu denli karmaşık sistemin tasarımları, belirli kriterler çerçevesinde yapılmak zorundadır. Dolayısıyla raylı sistem

araçlarında her bir tasarım unsurları uluslararası standartlara bağlı kalınarak dizayn edilmektedir.

3. CFD analizde belirlenen 3 farklı araç modelinin analizleri sonucunda yanal açısal eğimi 10° olan modelin en uygun tercih olacağı sonucuna ulaşılmıştır. Bu modelin analiz sonucunda direnç katsayısı (C_d) 0.28945 ve direnç kuvveti (F_d) 1213.3592 N olarak bulunmuştur. Bu sonuç verileri, diğer iki modelin sonuçlarından daha düşük seviyede olduğu, 10° 'lik tren kafa modelinin hava akışını daha iyi karşıladığı ve aerodinamik performansa daha fazla olumlu katkı yapacağını göstermektedir.
4. Araç gövde tasarım sürecinden sonra kabinli gövdenin yapısal analizi yapılmıştır. Analizde TS EN 12663 standardında belirtilen yükleme koşulları, araç gövdesine uygulanmış ve deformasyondan kaynaklı maksimum yer değiştirmeler ile Von Mises gerilmeleri tespit edilmiştir. Araç gövdesinin en büyük işletme yükündeki gerilmelerinin gövdede kullanılan SUS304 paslanmaz çeliğinin akma gerilmesinin altında olduğu tespit edilmiştir. Yani araç gövdesinin dikey yüklemelere karşı emniyetli olduğu sonucuna varılmıştır. Ancak tampon bölgelerine uygulanan sıkıştırma kuvvetleri sonucunda sürücü kabini tampon bölgesi çevresinde ve alt tabanında gerilme değerleri, malzemenin akma gerilmesinden çok yüksek çıkmıştır. Dolayısıyla tampon bölgesi ve sürücü kabini tasarımlarında iyileştirmeler yapıp gerilmelerin düşürülmesiyle emniyetli hale getirilmesi gerektiği tespit edilmiştir.

KAYNAKLAR

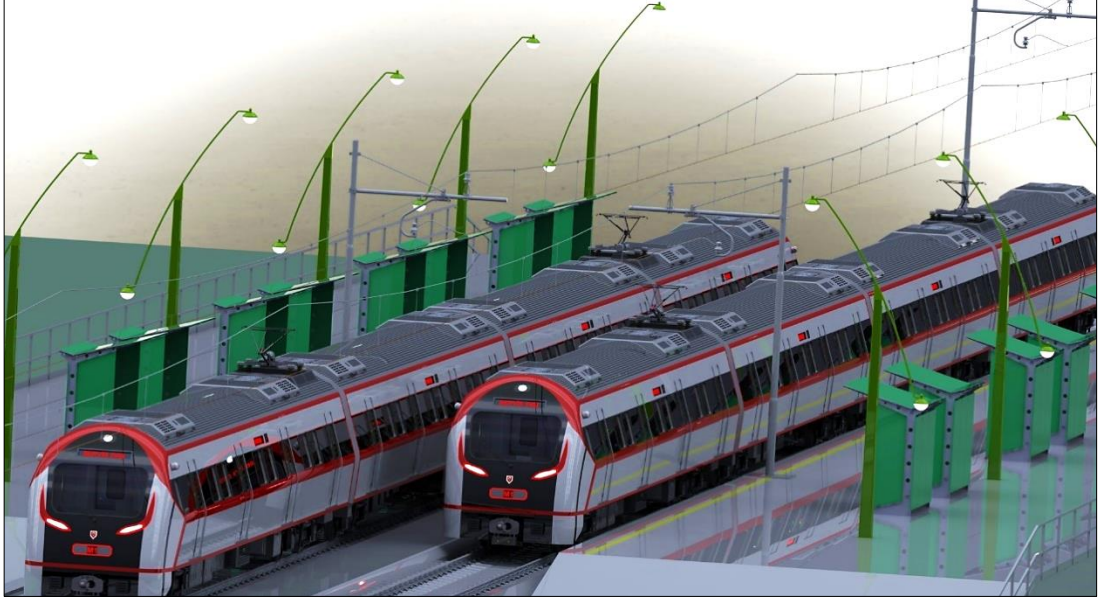
1. "Ulaştırma Özel İhtisas Komisyonu Kent İçi Ulaşım Alt Komisyonu Raporu", *T.C. Başbakanlık Devlet Planlama Teşkilatı*, (1995).
2. İnternet: Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK), "Tablo-3 İl ve Cinsiyete Göre İl/İlçe Merkezi, Belde/Köy Nüfusu ve Nüfus Yoğunluğu", <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Adrese-Dayalı-Nüfus-Kayıt-Sistemi-Sonuçları-2020-37210&dil=1> (2021).
3. "Urban Tramway Systems", *Technische Universität Berlin*, Center For Technology And Society, .
4. Vuchic, V. R., "Kent İçi Toplu Ulaşım ve Yaşanabilir Şehirler", *İstanbul Ulaşım A.Ş.*, İstanbul, 526 (2015).
5. Bal, M. A., "Kent Yönetiminde Raylı Sistem Güvenliği", İstanbul, 256 (2004).
6. Gürbüz, Y. and Kulaksız, A. A., "Elektrikli Araçlar ile Klasik İçten Yanmalı Motorlu Araçların Çeşitli Yönlerden Karşılaştırılması", *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 6 (2): 117–125 (2016).
7. Vuchic, V. R., "Urban Transit Systems And Technology", *John Wiley & Sons*, Hoboken, N.J, 602 (2007).
8. Vuchic, V. R., "Urban Public Transportation Systems", *Department Of Systems Engineering, University Of Pennsylvania, Philadelphia, PA, USA*, (6.40.2.2): .
9. Arlı, V., "Demiryolu Teknik Terimler Sözlüğü", (2013).
10. Bilgiç, Ş., "Demiryolu Ders Notu", (2017).
11. Arlı, V., "Demiryolu Mühendisliği", İstanbul, 445 (2015).
12. Evren, G. and Öğüt, K. S., "Kentsel Raylı Sistemlerdeki Son Gelişmelere İlişkin Görüş ve Öneriler", *İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Ulaştırma Anabilim Dalı*, .
13. Brackett, Q., Biswas, M., and Lucy, S. H., "Monorail Technology Study", *Texas Transportation Institute Texas A&M University College Station*, 39 (1982).
14. Hamurcu, M. and Eren, T., "Monoray ve Türkiye’de Potansiyel Uygulanabilirliği", *TRANSİST 2015*, (2015).
15. İmrak, C. E. and Salman, Ö., "Füniküler Sistemler ve Türkiye’de Kullanımı", *Mühendis Ve Makina*, 51 (605): 37 .

16. Pandül, H. L. and Toprak, T., "Metro Aracı Gövde Son Montaj Tesisinin Kurulumu ve Yatırımın Finansal Değerlendirilmesi", *İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 19 (38): (2020).
17. Girna, G., "Stadtbahnen in Deutschland: innovativ, flexibel, attraktiv = Light rail in Germany", *Alba-Fachverl*, Düsseldorf, 489 (2000).
18. Evren, G., "Demiryolu", *Birsen Yayınevi*, İstanbul, (2002).
19. "Metro Tasarım Kriterleri", *DLH Genel Müdürlüğü, Kent İçi Raylı Toplu Taşıma Kriterleri Ve Mevzuatın Geliştirilmesi İşi*, (2010).
20. Li, Z. and Shu-Hui, Z., "Modeling and simulating of airflow around metro train head", *2012 International Conference On Industrial Control And Electronics Engineering, 2012 International Conference on Industrial Control and Electronics Engineering*, 772–775 (2012).
21. Tang, W. and Wang, L., "Analysis on aerodynamic parameters for rapid metro vehicle design", *DEStech Transactions On Engineering And Technology Research*, 0 (icia): (2017).
22. Jianrun, Z., Li, Z., Qinghong, S., and Weihua, Z., "Simulation calculation and analysis of the flow field around the front of metro trains", *School Of Mechanical Engineering, Southeast University, Nanjing, China - State Key Laboratory Of Traction Power, Southwest Jiaotong University, Chengdu, Sichuan*, .
23. Çengel, Y. A. and Cimbak, J. M., "Akışkanlar mekaniği: temelleri ve uygulamaları", *Güven Bilimsel*, İzmir, (2012).
24. Bonnett, C. F. and Erkaya, H. H., "Raylı Sistemlerin Temelleri", *Nobel Yayıncılık*, (2013).
25. "TS EN 12663-1 - Demiryolu Uygulamaları - Demiryolu Araç Gövdelerinin Yapısal Gereksinimleri", (2012).
26. Küçükçibıyık, E., Sabırlı, S., Özge, R. O., Vatandaş, S., Demir, Ö., and Mecitoğlu, Z., "Bir Raylı Taşıt Gövdesinin Sonlu Elemanlar Yöntemiyle Yapısal Analizi", *1. Uluslararası Raylı Sistemler Mühendisliği Çalıştayı*, Karabük, 23–31 (2012).
27. "İç ve Dış Teçhizat - EM 32000, EM 64000 Mekanik Bilgisi", *TCDD*, .
28. Akalp, K., Eroğlu, M., and Aktürk, N., "Taşıtlardaki Kabin Gürültüsünün Yalıtımı", *Uluslararası Trafik ve Yol Güvenliği Kongresi ve Fuarı*, Ankara, (2002).
29. Aktürk, N., Toprak, R., and Asiloğulları, E., "Hızlı Raylı Ulaşım Sistem Kaynaklı Çevresel Gürültü", *Gazi Üniversitesi Mühendislik Ve Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 18 (3): 11 (2003).

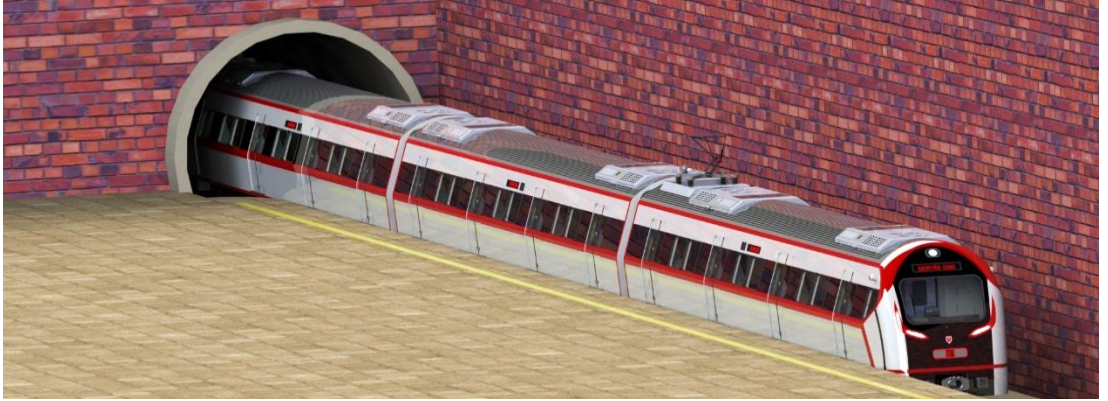
30. Önder, M., "Ankaray Hafif Raylı Taşıtlarında Oturma Düzeninin Yeniden Tasarlanması", *Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 20 (2015).
31. Durgun, G., "Endüstriyel Tesislerde İç Hava Kalitesi", *12. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi*, İzmir, 271–281 (2015).
32. Sayar, E., "Toplu Taşıma Sistemlerinde İklimlendirme ve İç Hava Kalitesi", *Tesisat Mühendisliği*, (174): (2019).
33. Yeni, A. A., "Raylı Sistem Taşımacılığında Aydınlatma Tasarımı ve Uygulaması", Yüksek Lisans Tezi, *Sakarya Üniversitesi*, Sakarya, (2012).
34. Yıldız, H. and Turan, T., "Yolcu Vagonu Tasarımında TSI Yangın Güvenliği Gerekliliklerinin Uygulanması", *2. Uluslararası Raylı Sistemler Mühendisliği Sempozyumu (ISERSE'13)*, Karabük, (2013).
35. "TS EN 45545 - Demiryolu Uygulamaları - Demiryolu Araçlarında Yangından Koruma", (2013).
36. Ciuffi, L., Pascuzzi, V., Pignato, P., Maestrini, E., Mingozi, E., Roattino, G., and Casini, G., "New Ergonomic Study of the railway driving cabins and comparison with the norm UIC 651", .
37. MEGEP, "Mekanik Sistemler", Raylı Sistemler Teknolojisi. Ed., Ankara, (2013).

EK AÇIKLAMALAR A.

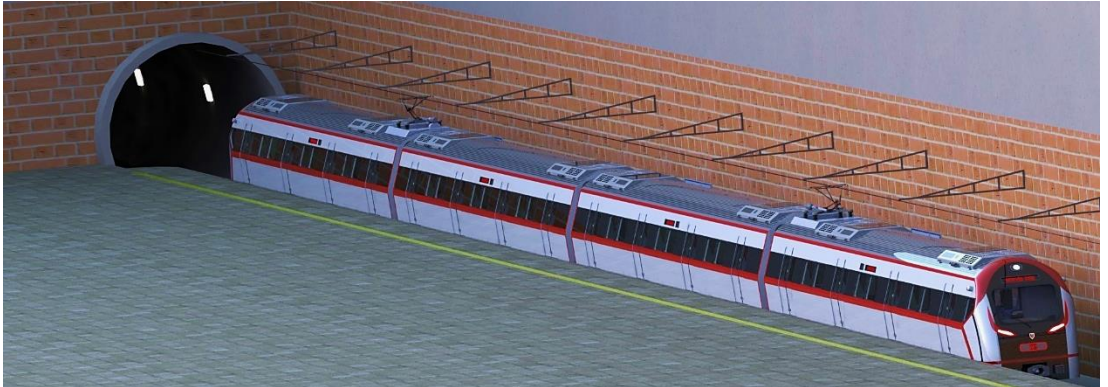
METRO TASARIMINA AİT GÖRSELLER



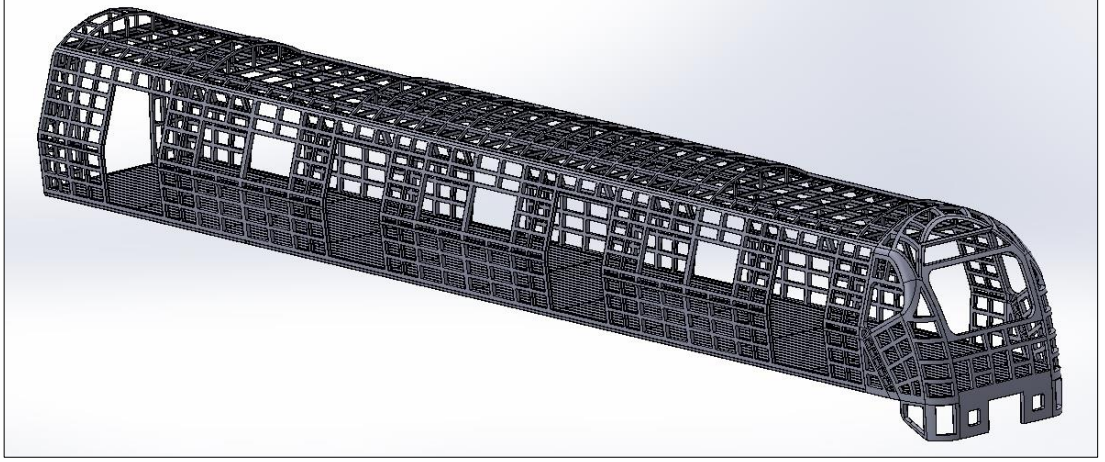
Şekil Ek A.1. Metro setleri.



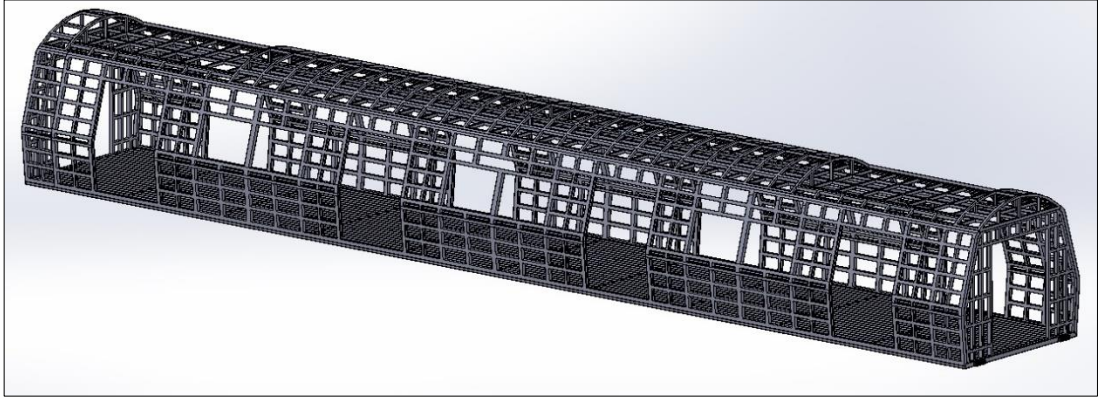
Şekil Ek A.2. Metro tünel geçişi.



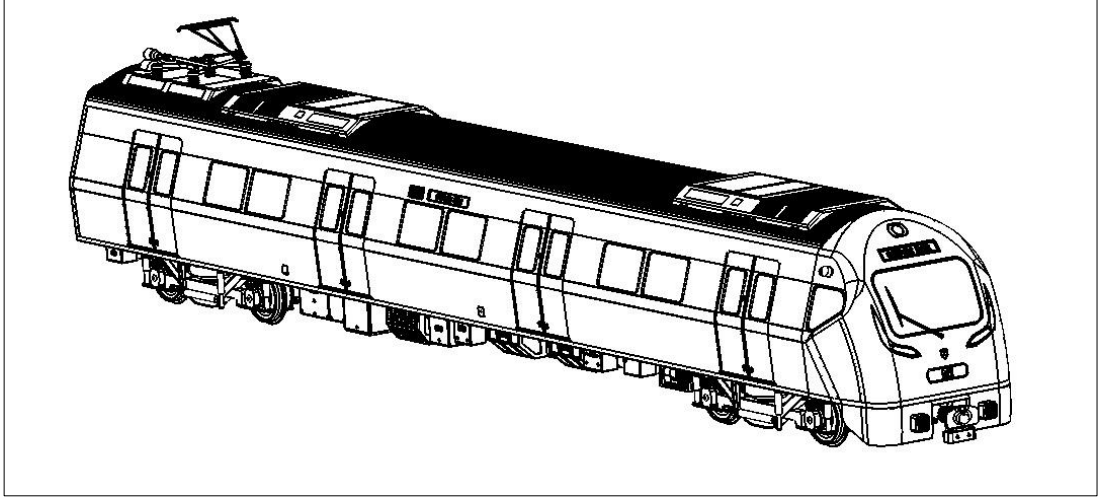
Şekil Ek A.3. Metro istasyon.



Şekil Ek A.4. MC1 ve MC2 araç şasisi.



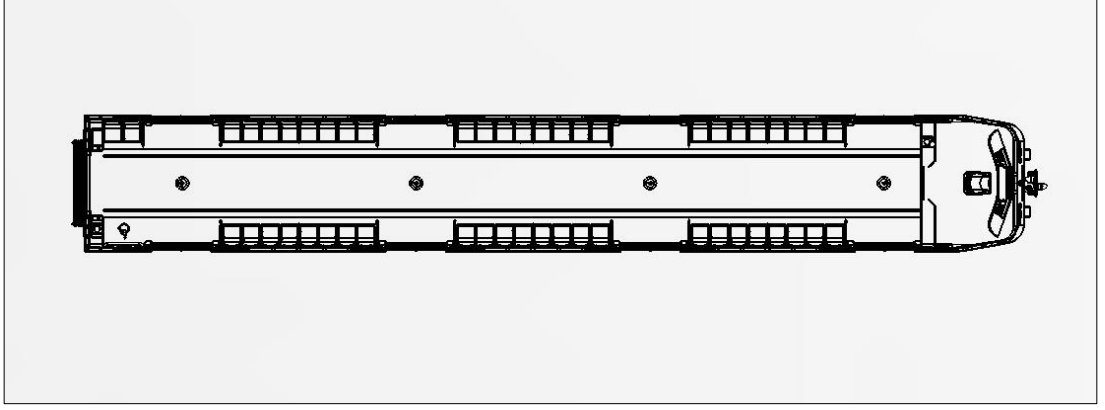
Şekil Ek A.5. M ve T araç şasisi.



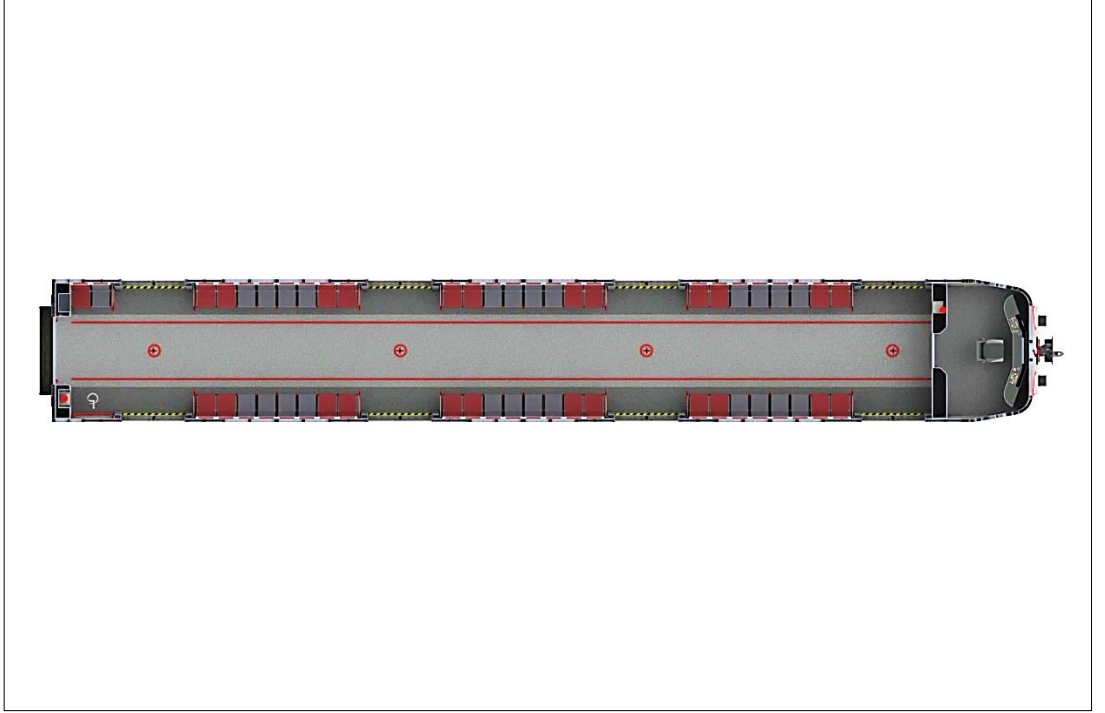
Şekil Ek A.6. MC araç tasarımı.



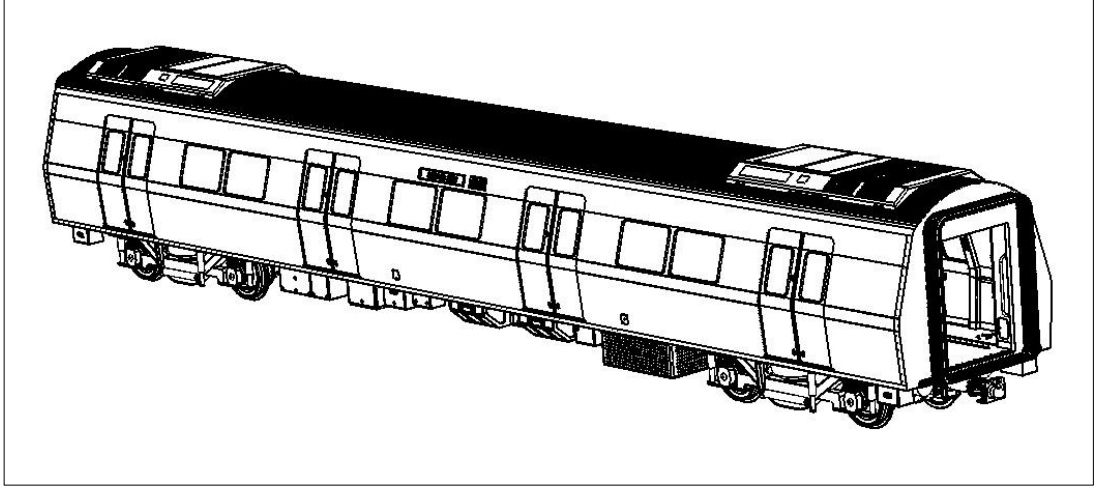
Şekil Ek A.7. MC1 ve MC2 araç.



Şekil Ek A.8. MC araç koltuk dizilimi.



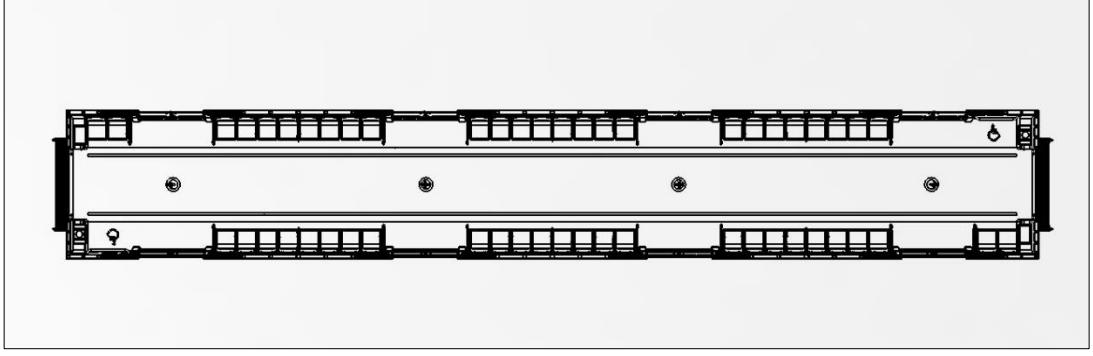
Şekil Ek A.9. MC1 ve MC2 araç koltuk dağılımı.



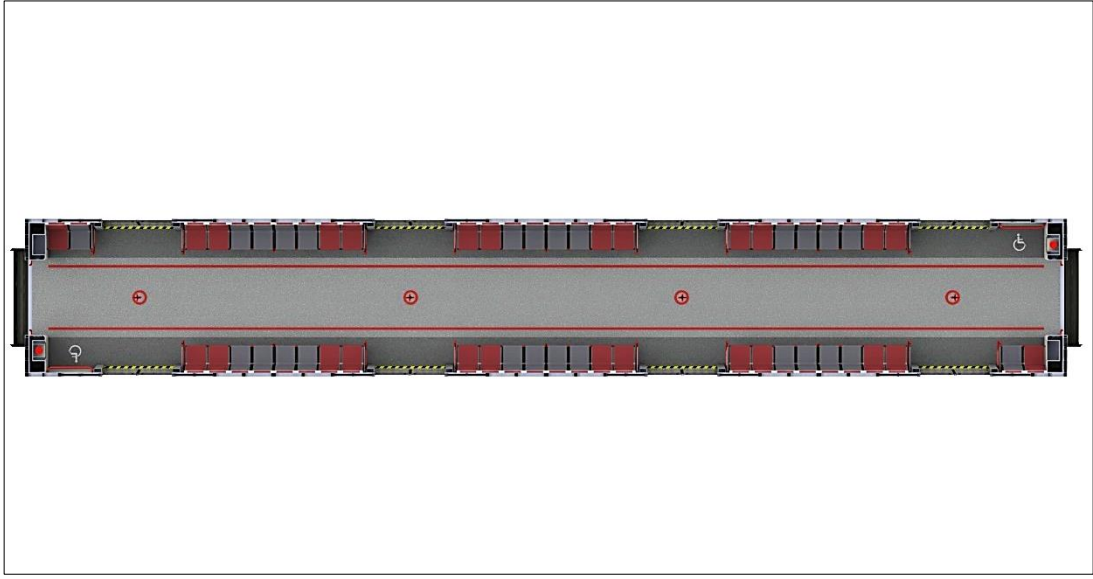
Şekil Ek A.10. M araç tasarımı.



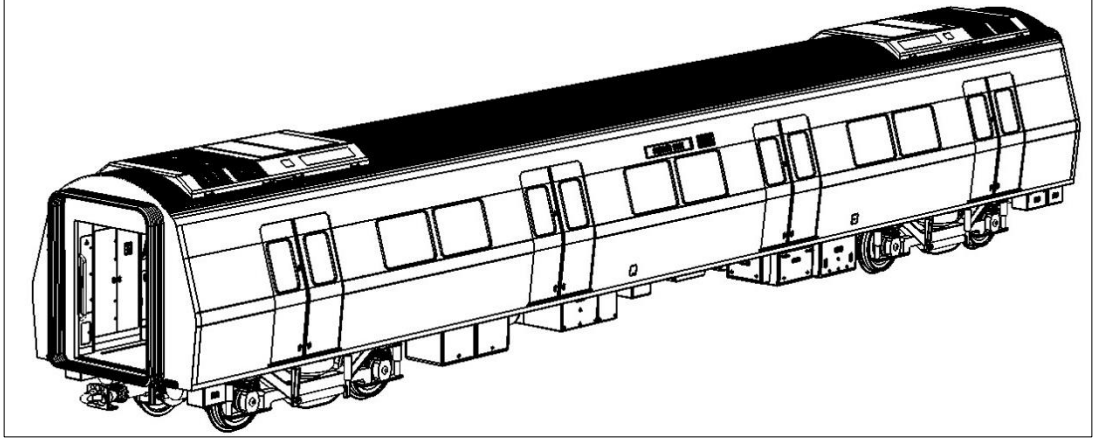
Şekil Ek A.11. M araç.



Şekil Ek A.12. M araç koltuk dizilimi.



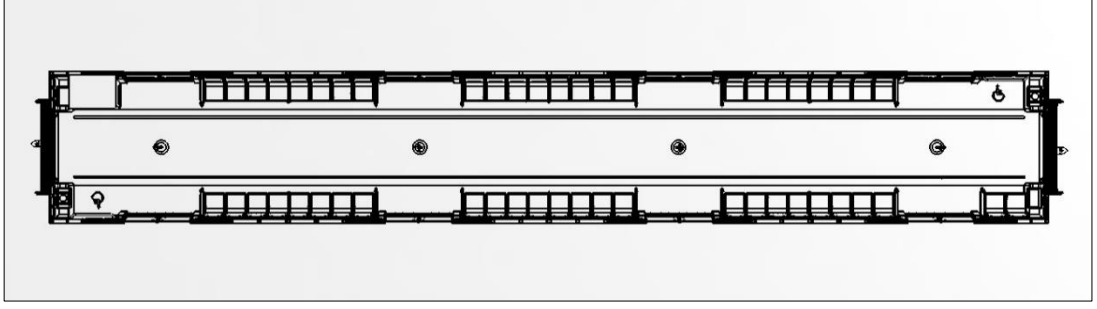
Şekil Ek A.13. M araç koltuk dağılımı.



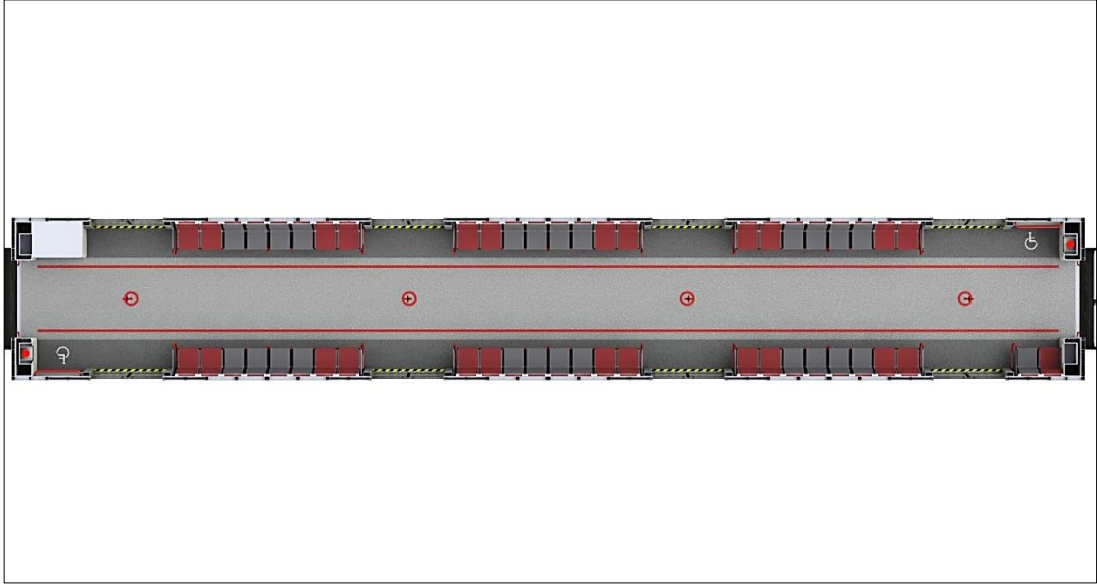
Şekil Ek A.14. T araç tasarımı.



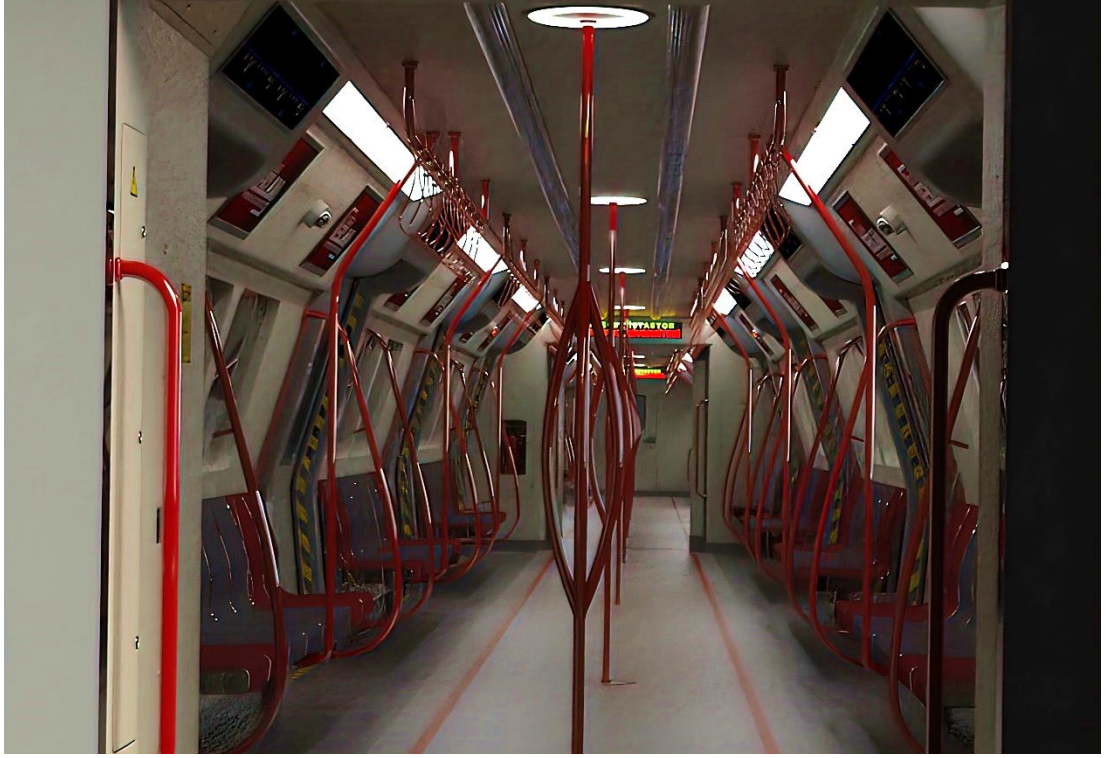
Şekil Ek A.15. T araç.



Şekil Ek A.16. T araç koltuk dizilimi.



Şekil Ek A.17. T araç koltuk dağılımı.



Şekil Ek A.18. Yolcu seyahat alanı.



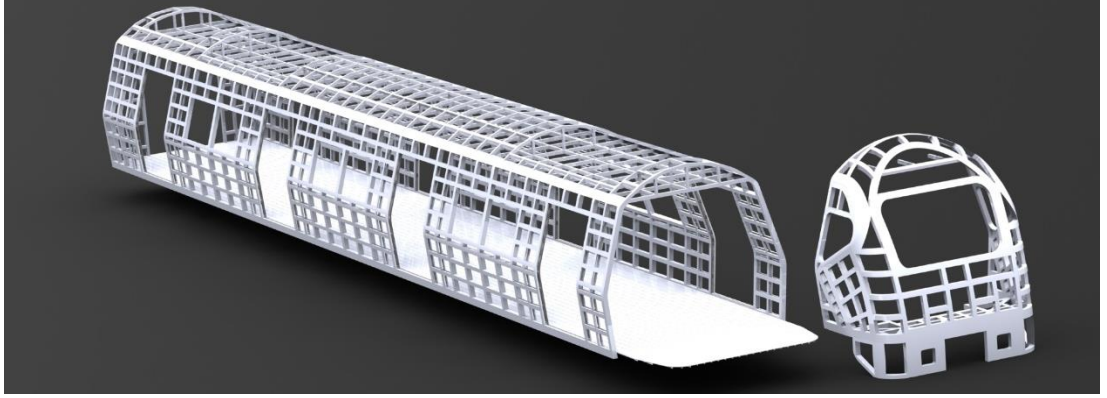
Şekil Ek A.19. Engelli yolcu seyahat alanı.



Şekil Ek A.20. Yolcu seyahat alanı.



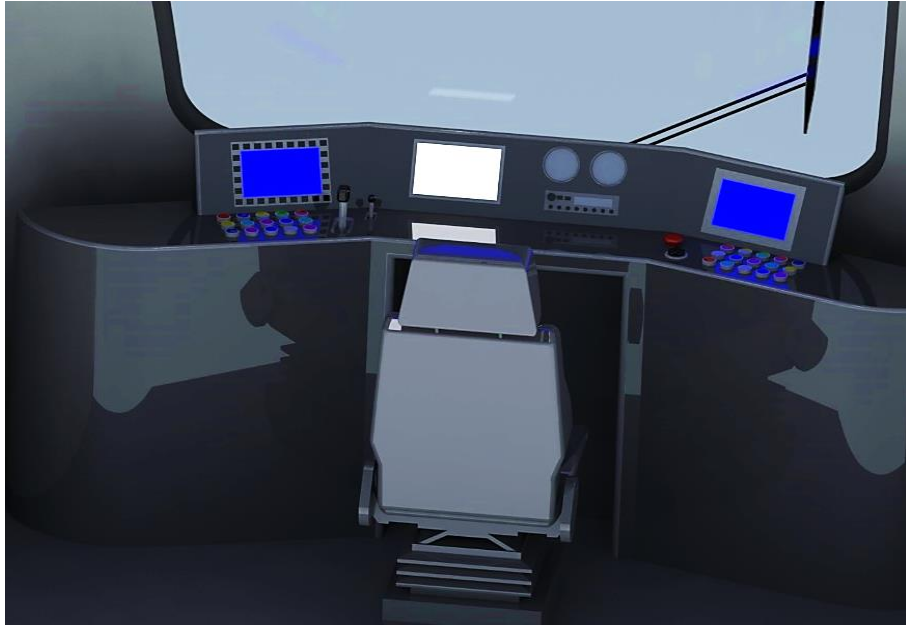
Şekil Ek A.21. Yolcu seyahat alanı.



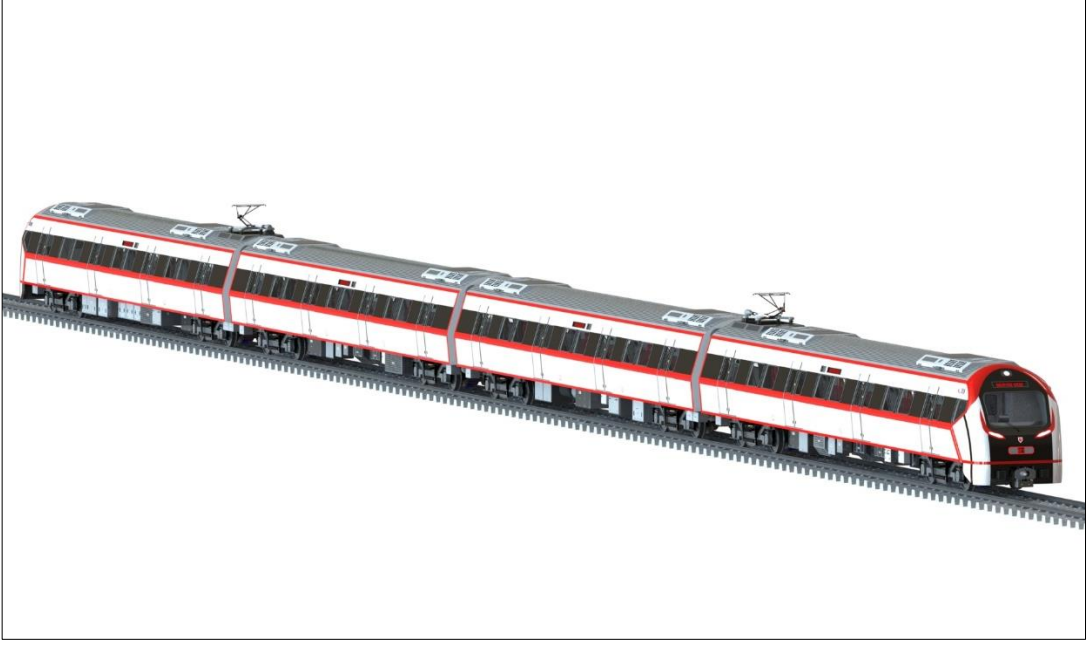
Şekil Ek A.22. Sökülebilir sürücü kabini şasisi.



Şekil Ek A.23. Sürücü kabini.



Şekil Ek A.24. Sürücü araç kontrol bölgesi.



Şekil Ek A.25. Metro tren seti.



Şekil Ek A.26. Metro.

ÖZGEÇMİŞ

Muhammed Emin ARI, ilk ve orta öğrenimini Sivas'ta tamamladı. 2012 yılında Çanakkale İbrahim Bodur Anadolu Lisesi'nden mezun oldu. 2013 yılında Karabük Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Raylı Sistemler Mühendisliği Programına başlayıp, 2018 yılında onur öğrencisi olarak mezun oldu. Aynı yıl Karabük Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı'nda yüksek lisans eğitimine başladı.