

**T.C.  
BAHÇEŞEHİR ÜNİVERSİTESİ**

**RAYLI SİSTEM ARAÇLARI CER MOTORLARININ  
DİZAYN PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ VE  
YERLİ İMALAT İMKANLARININ ARAŞTIRILMASI**

**Yüksek Lisans Tezi**

**MEHMET KARADERE**

**İSTANBUL, 2013**



**T.C.  
BAHÇEŞEHİR ÜNİVERSİTESİ**

**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
KENTSEL SİSTEMLER VE ULAŞTIRMA YÖNETİMİ**

**RAYLI SİSTEM ARAÇLARI CER  
MOTORLARININ DİZAYN PARAMETRELERİNİN  
BELİRLENMESİ VE YERLİ İMALAT  
İMKANLARININ ARAŞTIRILMASI**

**Yüksek Lisans Tezi**

**MEHMET KARADERE**

**Tez Danışmanı: DR. MUAMMER KANTARCI**

**İSTANBUL, 2013**

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

Tezin Adı: Raylı Sistem Araçları Cer Motorlarının Dizayn Parametrelerinin Belirlenmesi ve Yerli İmalat İmkanlarının Araştırılması  
Öğrencinin Adı Soyadı: Mehmet KARADERE  
Tez Savunma Tarihi: 02 Eylül 2013

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

Doç. Dr. Tunç BOZBURA  
Enstitü Müdürü  
İmza

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

Prof. Dr. Mustafa ILICALI  
Program Koordinatörü  
İmza

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

Tez Sınav Jürisi Üyeleri : \_\_\_\_\_

İmzalar

Tez Danışmanı : Dr. Muammer Kantarcı

.....

Jüri Üyesi : Prof. Dr. Ahmet Akbaş

.....

Jüri Üyesi : Prof.Dr. Mustafa Ilıcalı

.....

## TEŞEKKÜR

Kentsel Sistemler ve Ulaştırma Yönetimi programında yüksek lisans eğitiminin sonuna gelmiş bulunuyorum. Bu alanda ayrıntıları öğrenmek ve Ulaştırma sektöründe faydalı olmak için önümde aşmam gereken birçok engel olduğunun farkında olarak;

Tez çalışmam boyunca, teknik bilgi ve tecrübesiyle isabetli yönlendirmeleri yapan ve tez sunumlarımda juri üyesi olarak sabırla değerli katkılarını sunan hocam, Prof.Dr.Ahmet AKBAŞ'a,

Programdan en iyi şekilde faydalanmamızı sağlayan ve bu yönde etkili yönlendirmeler yapan, tez sunumlarımda juri üyesi olarak sabırla değerli katkılarını sunan hocam, Prof.Dr.Mustafa ILICALI'ya,

Tez çalışmam boyunca ilminden faydalandığım, insani ve ahlaki değerleri ile de örnek aldığım, bilgi ve tecrübelerinden yararlanırken göstermiş olduğu hoşgörü ve sabırdan dolayı değerli hocam, danışmanım Dr. Muammer KANTARCI'ya,

Bu günlere gelmemde büyük pay sahibi olan aileme ve dostlarıma,

Tteşekkürlerimi sunarım.

2013, İstanbul

Mehmet KARADERE

## ÖZET

### RAYLI SİSTEM ARAÇLARI CER MOTORLARININ DİZAYN PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ VE YERLİ İMALAT İMKANLARININ ARAŞTIRILMASI

Mehmet KARADERE

Kentsel Sistemler Ve Ulaştırma Yönetimi

Tez Danışmanı: Dr. Muammer KANTARCI

Eylül 2013, 138 sayfa

Şehir içi ve şehirlerarası ulaşım türlerinde raylı sistem uygulamalarının önemi artmaktadır. Her geçen gün raylı sistem ağının genişlemesi, raylı sistem araçlarına olan ihtiyacı da artırmaktadır. Bu nedenle yapılan araç, sistem ve ekipman üretimleri dikkat çekmektedir. Buna istinaden, bu tezde raylı sistem araçlarındaki cer motor ihtiyacı ve tasarım parametrelerine dair incelemeler yapılmış ve çözüm önerileri sıralanmıştır.

Dünya pazarında raylı sistem araçlarının durumundan söz edilmiş, Türkiye ve bazı Avrupa ülkelerinin demiryolu varlığından ortaya konulmuştur. Aynı zamanda Türkiye pazarında faaliyet gösteren işletmecilerle kamuda ve özel sektörde araç imalatı yapan kuruluşlar tanıtılmıştır. Türkiye’de işletme halinde olan araçlardaki cer motor teknolojileri teknik açıdan incelenmiştir. Cer motor teknolojileri olarak, doğru akım motorları, sincap kafesli asenkron motorlar ve sabit mıknatıslı senkron motorların mukayesesi yapılmıştır. Yurtdışı ABB ve TSA-Austria cer motor üreticilerinin profilleri ve Türkiye pazarındaki işletmecilerin araç profilleri incelenerek cer motor ihtiyacı ortaya konmuştur. Mevcut cer motor teknolojilerine ve Türkiye pazarının taleplerine istinaden cer motor dizayn parametreleri sıralanmıştır. Cer motoru dizayn parametrelerine göre Türkiye’deki cer motor üretiminin durumu belirtilmiş ve bu üretimin yapılması sürecindeki maliyet bilgileri verilmiştir.

Sonuç olarak, raylı sistem araçlarında kullanılan mevcut doğru akım motorları, indüksiyon motorları ve sabit mıknatıslı senkron motorlar teknik özellikler bakımından mukayese edilerek dizayn parametreleri elde edilmiştir. Bu sonuçlarla mevcut araç üretimindeki yerlilik oranı ve raylı sistem hedefleri göz önüne alınarak, talepler ve mevcut altyapı çerçevesinde yerli imalat imkanları incelenmiştir.

**Anahtar Sözcükler:** Cer Motor, sincap kafesli asenkron motor, sabit mıknatıslı senkron motor, DC motor

## **ABSTRACT**

### **DETERMINATION OF DESIGN PARAMETERS FOR ROLLING STOCK TRACTION MOTORS AND INVESTIGATION OF DOMESTIC PRODUCTION POSSIBILITIES**

Mehmet KARADERE

Urban Systems And Transportation Management

Thesis Supervisor: Dr. Muammer KANTARCI

September 2013, 138 pages

Importance of railway transportation is increasing day to day. Expansion of railway network makes the need for Rolling stocks higher. So that, production of Rolling stock equipment and system attracts attention of mankind, based on this issue this paper is written by observing parameters of traction motor need and design, submits some solution suggestions.

Status of Rolling stocks all around the World is mentioned and existence of Turkey and Europe railway existence is presented. At the same time, companies which produces Rolling stock or making managership for state or private industry in Turkey are introduced. Vehicles used in Turkey are examined technically. DC motors, squirrel cage induction motors and permanent magnet synchronous motors are compared in terms of traction system. According to Turkey market's desire, traction motor design parameters of ABB and TSA-Austria which are international companies are analyzed and need of traction motor is submitted. Current traction motor design parameters are ordered in respect to Turkey's market demands and current traction motor technologies. Status of production of traction motor in Turkey is defined and costs of this production are compiled.

As a result, design parameters of traction motor gathered by analogising DC motors, induction motors and permanent magnet synchronous motors. With these results, taking Turkey's domestic production aims into account, probability of domestic production is investigated, considering demands and manufacturing capability of Turkey.

**Keywords:** Traction Motor, squirrel cage induction motor, premanent magnet synchronous motor, DC motor

# İÇİNDEKİLER

TABLolar	x
ŞEKİLLER	xi
KISALTMALAR	xiii
1. GİRİŞ	1
2. TÜRKİYE'DE RAYLI SİSTEM PAZARI	2
2.1 DÜNYA'YA BAKIŞ	2
2.2 TÜRKİYE VE BAZI AVRUPA ÜLKELERİNDE DEMİRYOLU VARLIĞI	3
2.3 TÜRKİYE PAZARI	5
2.3.1 Raylı Sistem İşletmecileri	5
2.3.1.1 Türkiye Cumhuriyeti Devlet Demiryolları Genel Müdürlüğü	5
2.3.1.1.1 Demiryolu Ağı ve Hat Uzunlukları	6
2.3.1.1.2 Çeken - Çekilen Araçlar Filosu	7
2.3.1.2 İstanbul Ulaşım A.Ş.	13
2.3.1.2.1 Tanıtım	13
2.3.1.2.2 Tarihi Gelişimi	14
2.3.1.2.3 Mali Yapısı	15
2.3.1.2.4 İşletme Faaliyetleri	15
2.3.1.2.5 Araç Bakım Faaliyetleri	16
2.3.1.2.6 Hat Bakım Faaliyetleri	17
2.3.1.2.7 Elektrik ve Elektronik Tesis Faaliyetleri	17
2.3.1.2.8 AR-GE, Proje ve Müşavirlik Faaliyetleri	18
2.3.1.2.9 Tesis Bakım Hizmetleri	19
2.3.1.2.10 Hat ve Tesis Bakımları	19
2.3.1.2.11 Elektromekanik ve Kontrol Sistemleri Bakım Hizmetleri	20
2.3.1.2.12 Mevcut ve Planlanan Raylı Sistem Hatları	20
2.3.1.3 Adana Büyükşehir Belediyesi	21
2.3.1.4 Ankara Metrosu	22
2.3.1.5 ANKARAY Hafif Raylı Toplu Taşıma İşletmesi	23
2.3.1.6 Antalya Ulaşım A.Ş.	23



2.3.1.7	Bursa Ulaşım Toplu Taşıma İşletmeciliği Turizm San. Tic. A.Ş.....	24
2.3.1.8	Eskişehir Hafif Raylı Sistem İşletmesi .....	25
2.3.1.9	Gaziantep Tramvay .....	26
2.3.1.10	İzmir Metro A.Ş. ....	26
2.3.1.11	İzmir Banliyö A.Ş. (İZBAN) .....	27
2.3.1.12	Kayseri Ulaşım A.Ş. (KAYSERAY).....	28
2.3.1.13	Konya Raylı Sistem Müdürlüğü .....	29
2.3.1.14	Samulaş A.Ş.....	29
2.3.2	Raylı Sistem Araç (Rolling Stock) İmalatçıları .....	30
2.3.2.1	Kamu Raylı Sistem Araç İmalatçıları.....	30
2.3.2.1.1	Türkiye Lokomotif ve Motor Sanayii A.Ş. (TÜLOMSAŞ) .....	30
2.3.2.1.2	Türkiye Vagon Sanayi A.Ş. (TÜVASAŞ) .....	34
2.3.2.1.3	Türkiye Demiryolu Makinaları Sanayii A.Ş. (TÜDEMSAŞ).....	36
2.3.2.1.4	İstanbul Ulaşım A.Ş. ....	37
2.3.2.1.5	TCDD İştiraki EUROTREM.....	41
2.3.2.2	Özel Sektör Raylı Sistem Araç İmalatçıları .....	42
2.3.2.2.1	Durmazlar Makina San ve Tic A.Ş.....	42
2.3.2.2.2	Railtur Vagon Endüstrisi Taşımacılık ve San. Tic. A.Ş. ....	42
2.3.2.2.3	Özbir Ltd. Şti.....	43
2.3.2.2.4	Sakarya Vagon Sanayi A.Ş.....	43
2.3.2.2.5	Vako Vagon Konteyner A.Ş. ....	44
2.3.2.2.6	Bozankaya A.Ş.....	44
2.3.2.2.7	Esray .....	45
3.	CER MOTOR TEKNOLOJİLERİ .....	46
3.1	DOĞRU AKIM MOTORLARI.....	48
3.1.1	Statorun Yapısı .....	48
3.1.2	Kutuplar .....	49
3.1.3	Rotorun Yapısı.....	51
3.1.4	DC Motorların Çalışması.....	54
3.2	SABİT MIKNATISLI SENKRON MOTORLAR .....	56
3.2.1	Rotorun Yapısı.....	56
3.2.1.1	Sabit Miknatıslar .....	56
3.3	ASENKRON MOTORLAR .....	59

3.3.1	Statorun Yapısı.....	61
3.3.2	Rotorun Yapısı.....	62
3.3.3	Sargılar.....	63
4.	CER MOTORLARININ MUKAYESESİ.....	64
4.1	DA MOTORU ve ASENKRON MOTOR MUKAYESESİ.....	64
4.1.1	Asenkron Motorların Avantajları.....	64
4.1.2	DC Motorların Avantajları.....	65
4.1.3	DC Motorların Dezavantajları.....	66
4.2	ASM ve SMSM MUKAYESESİ.....	67
4.2.1	SMSM Avantajları.....	68
4.2.2	SMSM Dezavantajları.....	69
4.3	ASM VE SMSM ARASINDAKİ FARKLAR.....	71
5.	CER MOTORU PAZARI.....	73
5.1	TÜRKİYE RAYLI SİSTEM PARKINDAKİ CER MOTOR PROFİLİ.....	73
5.2	YURTDIŞI CER MOTOR ÜRETİCİLERİ PROFİLİ.....	74
5.2.1	ABB Örneği.....	74
5.2.2	TSA-Austria Örneği.....	75
5.2.3	Türkiye Pazarı Talebi.....	76
6.	CER MOTOR DİZAYN PARAMETRELERİ.....	79
6.1	PARAMETRİK HESAPLAMALAR.....	79
6.1.1	Sabit Mıknatıslı Senkron Motor Hesaplamaları.....	79
6.1.2	Asenkron Motor Hesaplamaları.....	80
6.2	DIŞ KARAKTERİSTİK.....	81
6.2.1	Motor Gücü.....	81
6.2.2	Tork - Hız Eğrisi.....	82
6.2.3	Verim.....	83
6.3	İÇ KARAKTERİSTİK.....	86
6.3.1	Elektronik Kontrol.....	86
6.3.2	Kayıplar.....	87
6.3.3	Yalıtım.....	91
6.3.4	Soğutma Yöntemleri.....	92
6.3.5	Montaj Esasları ve Ağırlık.....	93
6.3.6	Dışlı Kutusu.....	95

6.3.7	Bakım .....	96
6.3.8	Çevresel Talepler .....	96
6.3.9	Ömür .....	97
6.3.10	Motor İmalat Aşamaları .....	97
6.3.10.1	Fikstür .....	97
6.3.10.2	Stator.....	98
6.3.10.3	Rotor .....	98
6.3.11	Testler.....	99
7.	<b>BELİRLENEN DİZAYN PARAMETRELERİNE GÖRE TÜRKİYE’DE CER MOTORU İMALATI .....</b>	<b>100</b>
7.1	<b>YERLİ İMALATIN MEVCUT DURUMU.....</b>	<b>100</b>
7.2	<b>MALİYETLER.....</b>	<b>102</b>
7.2.1	Üretim Maliyetleri .....	103
7.2.2	AR-GE Maliyetleri.....	104
7.2.3	Yatırım ve Devreye Alma Maliyetleri .....	104
7.2.4	İşletme ve Destek Hizmetleri Maliyetleri.....	105
7.3	<b>YERLİ ÜRETİMDE KULLANILAN TEKNOLOJİLER VE AR-GE.....</b>	<b>106</b>
7.3.1	AR-GE Proje Süreci.....	106
7.3.2	Teknoloji Transferi.....	108
8.	<b>SONUÇ.....</b>	<b>111</b>
	<b>KAYNAKÇA .....</b>	<b>114</b>
	<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>123</b>

## TABLolar

Tablo 2.1: Kıtadan kıtaya demiryolu .....	3
Tablo 2.2: Türkiye ve bazı Avrupa ülkelerinde demiryolu varlığı .....	4
Tablo 2.3: TCDD'nin konvansiyonel araç parkı.....	9
Tablo 2.4: Araçların yaş gruplarına göre dağılımı .....	12
Tablo 2.5: TCDD 2020 hedefleri ve proje beklentileri .....	13
Tablo 2.6: İstanbul Ulaşım A.Ş.'nin tarihi gelişmi .....	14
Tablo 2.7: İstanbul Ulaşım AŞ'nin sermaye yapısı .....	15
Tablo 5.1: Dünyada sabit mıknatıslı motor kullanıcıları .....	76
Tablo 5.2: Önemli raylı sistem aracı üreticileri .....	77
Tablo 6.1: Tramvay aracının işletme sırasındaki ortalama yolcu taşıma oranları .....	82
Tablo 6.2: Motor sıcaklık tablosu .....	91
Tablo 7.1: 2023 cer motor talebi (yüzde 5 büyüme oranı ile).....	101
Tablo 7.2: 2023 cer motor talebi (yüzde 10 yenileme oranı ile).....	102
Tablo 7.3: TCDD imalat lisansları .....	110

## ŞEKİLLER

Şekil 2.1: Küresel demiryolu tedarik pazarında gelecekteki gelişimi.....	2
Şekil 2.2: Türkiye ve bazı Avrupa ülkelerindeki araç adedi bilgileri .....	4
Şekil 2.3: Demiryolu tarihsel gelişimi .....	7
Şekil 2.4: TCDD'nin konvansiyonel araç parkı.....	9
Şekil 2.5: Türkiyenin ilk yerli tramvayları.....	38
Şekil 2.6: Yeni nesil yerli tramvay.....	40
Şekil 3.1: Cer motorunun cer sistemi içindeki yeri.....	46
Şekil 3.2: Cer performansı- Hız eğrisi .....	46
Şekil 3.3: Cer gücü-hız eğrisi.....	47
Şekil 3.4: DC Motor çalışma karakteristiği .....	55
Şekil 3.5: SM B-H demanyetizasyon özellikleri.....	57
Şekil 3.6: Tork – hız eğrisi.....	60
Şekil 3.7: Asenkron motor stator ve rotor görünümü .....	61
Şekil 3.8: Rotor yapısı.....	62
Şekil 5.1: Türkiye raylı sistem araçlarına göre cer motoru adetleri.....	73
Şekil 5.2: Kullanım amaçlarına göre ABB cer motor üretim profili ve dağılımı .....	74
Şekil 5.3: Kullanım amaçlarına göre TSA-Austria cer motor üretim profili ve dağılımı .....	75
Şekil 5.4: İstanbul raylı sistem araç talepleri .....	77
Şekil 5.5: Önemli Dünya başkentlerindeki metro aracı dağılımı.....	78
Şekil 6.1: SMSM tasarım akış şeması.....	80
Şekil 6.2: Asenkron motor tasarım akış şeması .....	81
Şekil 6.3: Tork-hız grafiği.....	83
Şekil 6.4: İşletme sırasındaki ASM ve SMSM verimlilikleri .....	85

Şekil 6.5: raylı sistem araçları kontrol devresi.....	86
Şekil 6.6: Doğru akım motoru hız kontrolü .....	86
Şekil 6.7: Asenkron motor hız kontrolü.....	87
Şekil 6.8: Yüksek tabanlı araç motor yerleşimi .....	94
Şekil 6.9: Alçak tabanlı araç motor yerleşimi.....	94
Şekil 7.1: Raylı sistem araçlarındaki yerli üretimin durumu .....	100
Şekil 7.2: Cer sisteminin araç üzerindeki yerli-yabancı durumu .....	101
Şekil 7.3: Üretici ve kullanıcı maliyet tablosu .....	103
Şekil 7.4: Üretim maliyet bileşenleri .....	104
Şekil 7.5: AR-GE proje süreci .....	106
Şekil 7.6: Teknoloji elde etme yolları.....	109

## KISALTMALAR

TCDD	: Türkiye Cumhuriyeti Devlet Demiryolları Genel Müdürlüğü
TÜLOMSAŞ	:Türkiye Lokomotif ve Motor Sanayii Anonim Şirketi
TÜVASAŞ	: Türkiye Vagon Sanayi Anonim Şirketi
TÜDEMSAŞ	: Türkiye Demiryolu Makinaları Sanayi Anonim Şirketi
ELMS	: Eskişehir Lokomotif ve Motor Sanayii Müessesesi
KHK	: Kanun Hükmünde Kararname
ISO	: International Organization for Standardization
ADF	: Adapazarı Demiryolu Fabrikası
ADVAS	: Adapazarı Vagon Sanayi Müessesesi
SİDEMAS	: Sivas Demiryolu Makinaları Sanayii Müessesesi
BURULAŞ	: Bursa Ulaşım Toplu Taşıma İşletmeciliği Turizm San. Tic. A.Ş.
UIC	: Uluslararası Demiryolu Birliği
HRS	: Hafif Raylı Sistem
AC	: Alternatif Akım
DC	: Doğru Akım
ASM	: Asenkron Motor
SMSM	: Sabit Mıknatıslı Senkron Motor
EMU	: Electrical Multiple Unit
FEM	: Finite Element Model
NAFTA	: Kuzey Amerika Serbest Ticaret Anlaşması
UNIFE	: Avrupa Demiryolu Sanayi Derneği
UIC	: Uluslararası Demiryolları Birliği
ATS	: Otomatik durdurma sistemi
TÜBİTAK	: Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu
GE	: General Electric

# 1. GİRİŞ

Raylı sistem uygulamalarında alt yapı ve üst yapıyı oluşturan sabit sistemler kadar üstyapının üzerinde hareket eden, birinci derecede hizmet veren raylı sistem araçlarının (Rolling Stock - Çeken ve Çekilen araçlar) da önemi büyüktür. Bu araçlar, yolun geometrik şekilleri ve enerji alışverişleri itibarıyla sabit sistemlerle entegre çalışırlar.

Raylı sistem araç uygulamalarında katener hattından veya üçüncü bir raydan alınan elektrik enerjisi, cer sistemini kullanarak dingil-teker setine hareket verir. Cer sistemi içerisinde bulunan cer motorları dişli kutuları vasıtasıyla, elektrik enerjisini mekanik enerjiye dönüştüren, en önemli donanımlardan biridir.

Raylı sistem araçları cer sisteminde cer motoru olarak; doğru akım motorları, sincap kafesli asenkron motorları (ASM) ve sabit mıknatıslı senkron motorları (SMSM) kullanmaktadır. Bu üç tip motor ivme ve frenleme torku oluşturmak için temel olarak aynı fiziksel kurallara bağlıdırlar. Temel olarak tüm raylı sistem cer motorlarının amacı, standartlarda belirtilen yük değerleri altında ve her hız aralığında tork üretmesi ve konforlu bir seyahat imkanı sunmasıdır.

Sanayide tasarım ve imalat, kullanılan elektrik motorlarına göre gerçekleşmektedir. Kurulum alanının şartları motorların yapılarına göre değiştirilebilmektedir. Buna karşılık olarak, raylı sistem uygulamalarında cer motorları, her araca göre değişiklik göstermekte, yol şartlarına, aracın yapısına, dolayısıyla, motorun araç üzerindeki konumuna, çevre şartlarına göre, tasarlanmaktadır. Bu durum her motorun araç özelinde tasarlanmasını ve imal edilmesini gerektirmektedir.

Günümüzde raylı sistem cer uygulamalarında en yaygın kullanıma sahip olan sincap kafesli ASM'lerin yanında, yeni kullanılmaya başlanılan sabit mıknatıslı senkron motorların kullanılmasının genel olarak büyük bir yenilik ve avantaj olduğu görülür. Ancak ülkemizde mevcut teknolojik altyapı (malzeme, imalat teknolojileri vb.) yüksek teknoloji ürünü olan SMSM üretmek için zamana ve yüksek maliyetlere ihtiyaç vardır. Bu sebeple, kısa ve orta vadede Türkiye'nin ihtiyacı olan Cer motoru talebinin karşılanması ASM ile mümkün görünmektedir. Dünya ve Ülke cer motoru pazarı da bizi bu yöne itmektedir.

Bu çalışmada, bu perspektif ışığında Türkiye Cer motoru imalatının yerli olarak yapılması incelenmiştir.



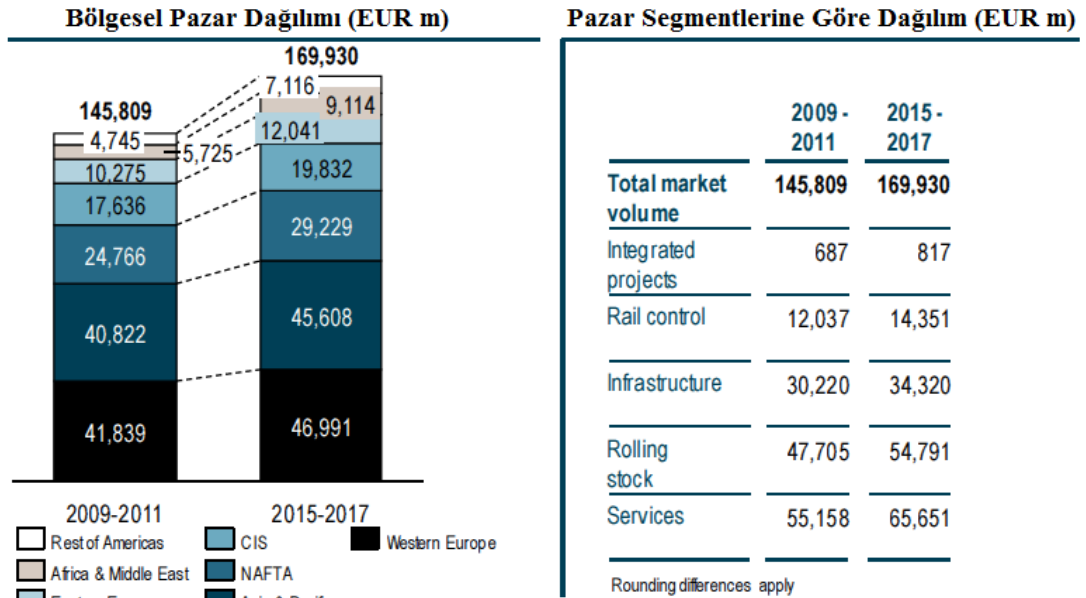
## 2. TÜRKİYE’DE RAYLI SİSTEM PAZARI

Bu bölümde raylı sistem pazarının dünya ölçeğindeki durumunu tespit edilerek, kıtadan kıtaya demiryolu gelişimine değinilmektedir. Türkiye ve bazı Avrupa ülkeleri hat uzunluğu ile mukayese edilerek demiryolu varlığının durumu ortaya konulmuştur. Demiryolu Türkiye pazarındaki raylı sistem işletmecisi ve imlatıcısı konumundaki kuruluşların göstermiş oldukları faaliyetlere değinilmiştir.

### 2.1 DÜNYA’YA BAKIŞ

UNIFE Roland Berger tarafından yapılan, 2012’de dünya raylı sistem pazar araştırmasına göre pazar değeri Şekil 2.1’de verilmektedir. Bölgesel pazarda Batı Avrupa yüzde 28 oranla en büyük pazar payına sahiptir. Batı Avrupa’yı yüzde 26’lık payla Asya-Pasifik takip etmektedir. Bu oranların yanında, raylı sistem araçlarının, yüzde 33 payla dünya pazarında çok önemli bir yere sahip olduğu görülmektedir. Raylı sistem araçlarının, işletme ve hizmetlerden sonra yüzde 33 ile ikinci en büyük paya sahip olması bu alandaki yatırımların önemli bir yer tuttuğunun göstergesidir. Bu pazar araştırmasında raylı sistem sektöründeki büyüme oranının yüzde 3 olarak kullanılmıştır.

Şekil 2.1: Küresel demiryolu tedarik pazarında gelecekteki gelişimi



Kaynak: UNIFE World Rail Market Study,2012

Demiryolu pazarının dünya ölçeğindeki pozisyonu Tablo 2.1’de görülmektedir. Görülüyor ki, raylı sistemlerin, Kuzey Amerika ve Asya’da etkin bir şekilde büyümeye devam ettiğini, Batı Avrupa’da ise yeniden yapılandırma ve Beyaz Kitabın koyduğu hedefler doğrultusunda ulaşım sektöründeki çevreci, enerji tasarrufu, arazi kullanımı, yüksek seviyede hareketlilik ve kullanıcı merkezli taşımacılık avantajlarıyla önceliğini ve güncelliğini koruduğunu görmekteyiz.

**Tablo 2.1: Kıtadan kıtaya demiryolu**

	<b>BATI AVRUPA</b>	<b>DOĞU AVRUPA</b>	<b>KUZEY AMERİKA</b>	<b>ASYA</b>
<b>Rekabet</b>	-Karayolu -Bariyerler, -Kıyı Taşımacılığı -Tedricen Artan Demiryolu	Artan Karayolu ve Demiryolu	Karayolu	Denizyolu, Karayolu
<b>Ortalama Taşıma Mesafesi</b>	350 Km	500 Km	> 2.000 Km	1200 Km
<b>Intermodel Pazar Payı</b>	Azalan yüzde 14	Azalan yüzde 38	Dengeli yüzde 27	Artan 30yüzde China & India
<b>Dibe Vurma</b>	Zarar	Kara Başlama Noktası	Karlı	Karlı
<b>Anahtar Fırsatlar</b>	Uzun Vadeli Hayatta Kalabilmek İçin Yeniden Yapılanma	Sürdürülebilir Seviyede Dengeli Hacim	Cazip Yatırımlarla Büyümeyi sürdürmek	Hızlı Büyümeyi Desteklemek İçin Altyapı Yatırımları

*Kaynak:* Kantarcı, Dr. Muammer, 2011. Güvenli Gelecek Demiryolu Sanayinde Lokomotiften Tramvaya yerli üretim ve Pazar, Mimar ve Mühendis, 62 ss 84-87

## **2.2 TÜRKİYE VE BAZI AVRUPA ÜLKELERİNDE DEMİRYOLU VARLIĞI**

Tablo 2.2 incelendiğinde, Avrupa’da demiryolu varlığı bakımından en gelişmiş ülke Almanya olduğu, İngiltere ve Fransa’nın bu ülkeyi takip ettiği görülmektedir. Türkiye ise, 2012 yılı değerlerine göre aynı tabloda verilen ülkelerin içinde en düşük değer almasına rağmen 2003-2013 yılları arasında yaptığı demiryolu hamlesiyle tabloda verilen rakamlara ulaşmıştır. Aynı dönemde İspanya da büyük gelişme kaydetmiştir.

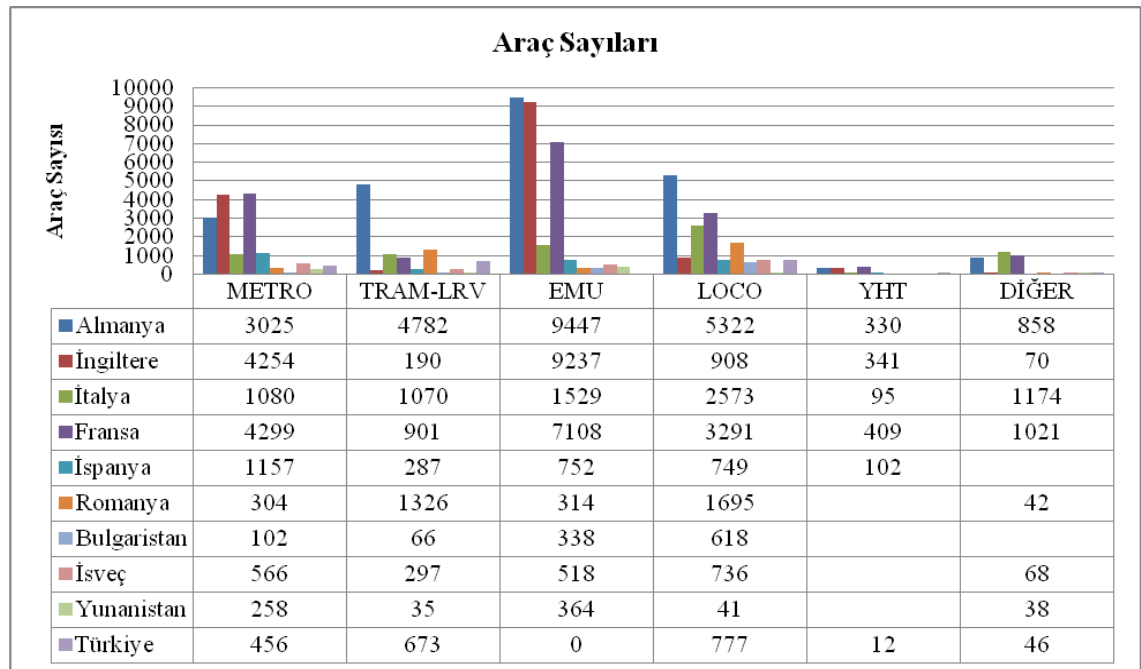
**Tablo 2.2: Türkiye ve bazı Avrupa ülkelerinde demiryolu varlığı**

ÜLKELER	HAT UZUNLUĞU	HAT UZUNLUĞU
	X 1000 Km <sup>2</sup>	X 10.000 Kişi
Almanya	95,9	4,1
United Kingdom	81,5	3,3
İtalya	54,8	2,8
Fransa	53,1	4,8
İspanya	25,3	2,9
Romanya	45,1	5,0
Bulgaristan	37,4	5,4
İsveç	21,9	11,0
Yunanistan	19,5	2,3
Türkiye-2012	15,4	1,6

*Kaynak:* Kantarcı, Dr. Muammer, 2011. Güvenli Gelecek Demiryolu Sanayinde Lokomotiften Tramvaya yerli üretim ve Pazar, Mimar ve Mühendis, 62 ss 84-87

Tablo 2.2’de belirtilen ülkelerin raylı sistem araç türlerine göre adedi bilgileri verilmiştir.

**Şekil 2.2: Türkiye ve bazı Avrupa ülkelerindeki araç adedi bilgileri**



*Kaynak:* Railway Gazette, 20132. www.railwaygazette.com.

## **2.3 TÜRKİYE PAZARI**

Bu bölümde, Türkiye raylı sistemler pazarında, şehiriçi ve şehirlerarası demiryolu ulaşımında önemli yere sahip raylı sistem işletmecileri, araç imalatçıları ile demiryolu sektöründeki yan sanayi kuruluşları tanıtılmaktadır.

### **2.3.1 Raylı Sistem İşletmecileri**

#### **2.3.1.1 Türkiye Cumhuriyeti Devlet Demiryolları Genel Müdürlüğü**

Kuruluşun yükümlülüğü 28.10.1984 tarihli ve 18559 sayılı Resmi Gazetede yayınlanan Ana Statüsünde; konvansiyonel, hızlı ve yüksek hızlı yeni demiryolları inşa etmek ve Devletçe kendisine verilen demiryollarını, liman, rıhtım ve iskeleleri işletmek, genişletmek, yenilemek, bunları tamamlayıcı faaliyetlerde bulunmak olarak belirlenmiştir.

TCDD, tüzel kişiliğe sahip, faaliyetlerinden özerk ve sorumluluğu sermayesiyle sınırlı bir Kamu İktisadi Kuruluşu'dur. Kuruluş, Kamu İktisadi Teşebbüsleri Hakkında 233 sayılı KHK ve Ana Statü hükümleri saklı kalmak üzere özel hukuk hükümlerine tabidir. Kuruluşun sermayesinin tamamı devlete ait olup, tekel niteliğindeki mallar ile temel mal ve hizmetleri üretmek ve pazarlamak üzere kurulan ve kamu hizmeti niteliği ağır basan bir Kamu İktisadi Teşebbüsüdür.

Kuruluş, Ulaştırma Bakanlığının ulaşım politikalarına paralellik arz edecek şekilde Ulaştırma Bakanlığının yönlendirmesi, Hazine Müsteşarlığının finansal desteği ve garantörlüğünde, DPT Müsteşarlığının yatırım planlamasındaki desteği ile faaliyetlerini sürdürmektedir.

Kuruluş, 3346 sayılı Kanun uyarınca da TBMM'nin yetkilendirmesiyle, 72 Sayılı Kanun Hükmünde Kararname gereği Yüksek Denetleme Kurulu'nun denetimine tabidir.

TCDD'nin yeniden yapılandırılması ve sektörün serbestleştirilmesi amacıyla 1 Mayıs 2013 tarih ve 28634 sayılı Resmi Gazetede yayınlanan "Türkiye Demiryolu Ulaştırmasının Serbestleştirilmesi (TDUS) Hakkında Kanun" yürürlüğe girmiştir. Bu

kanunla TCDD'nin mevcut durumu İktisadi Devlet Teşekkülü haline getirilmiş ve TCDD Altyapı İşletmecisi olarak belirlenmiştir. (Resmi Gazete, 28634)

TCDD, yeni demiryolu yapımı, mevcut demiryollarının bakımı ve onarımı, tren trafiğinin sevk ve idaresi, demiryolu hat kapasitesinin önceden belirlenmiş kurallar çerçevesinde tren işletmelerine tahsisi, demiryolu altyapı kullanım ücretlerinin belirlenmesi ve demiryolu altyapısının kullanımı karşılığında belirlenen tarifelere göre ücretlerin eşit şartlarda tren işletmelerinden tahsili gibi görevleri yerine getirecektir.

Bu kanun ile TCDD' nin bağlı ortaklığı olarak TCDD Taşımacılık A.Ş' nin kurulmasına karar verilmiştir. Söz konusu bağlı ortaklık, demiryolu ile yük ve yolcu taşımacılığı hizmetlerini yürütmek üzere görev yapacak olup, kamu tüzel kişileri ile Türk Ticaret Siciline kayıtlı anonim şirketlerin altyapı işletmecisi ve tren işletmecisi olabilmelerine imkân sağlanmaktadır.

#### **2.3.1.1.1 Demiryolu Ağı ve Hat Uzunlukları**

Demiryolu ağı ve gelişimi aşağıdaki haritada özetlenmektedir. Haritada da görüleceği üzere Cumhuriyet öncesi demiryolu ağı 4.136 km iken 1923-1950 yılları arasında 3.764 km, 1951-2004 yılları arasında 945 km, 2005-2012 yılları arasında ise 1.094 km uzunluğunda hat demiryolu ağına katılmış ve işletmeye açılmıştır. Demiryolu ağının geliştirilmesi için, 3.434 km yeni hattın inşaatı devam etmektedir.

Mevcut demiryolu ağının yüzde 33,8'si 0-10 yaş, yüzde 22,5'i 11-20 yaş, yüzde 21,7'si 21-30 yaş, yüzde 22'si ise 31 yaş ve üzerindedir.

TCDD'nin işletmesindeki;

- a. Konvasiyonel hat toplamı, 11120 km'dir. Bu hatların 2328 km'si elektrikli 3128 km'si sinyallidir.
- b. Yüksek hızlı hat toplamı, 888 km'dir. Tamamı elektrikli ve sinyallidir.

Toplam olarak;

- a. Hatların toplam uzunluğu 12008 km'dir.

- b. Elektrikli hatların toplamı, 3216 km olup toplam hatların yüzde 26,78'ini oluşturmaktadır.
- c. Sinyalli hatların toplamı, 4016 km olup toplam hatların yüzde 33,44'ünü oluşturmaktadır. (TCDD, 2013)

### Şekil 2.3: Demiryolu tarihsel gelişimi



Kaynak: Türkiye Cumhuriyeti Devlet Demiryolları Genel Müdürlüğü, Ağustos 2013.

#### 2.3.1.1.2 Çeken - Çekilen Araçlar Filosu

Yolcu taşımacılığı için 1934 yılında “ray otobüsü” olarak adlandırılan ilk dizel motorlu ve mekanik şanzımana sahip 1-6 seri numaralı araçlar, 1935 yılında 21-25 seri numaralı araçlar ile 1948 yılında MT5100 tipi, 1952 yılında MT5300 tipi, 1956 yılında MT5400 tipi araçlar temin edilmiştir. 1961 yıllarında temin edilen MT5500 tipi araçlar ile sürdürülen Ray Otobüsü / Motorlu Tren Filosu, 1990 yılında servise giren TÜVASAŞ üretimi MT5600 tipi, 1993 yılında servise giren ALSTOM üretimi MT5700 tipi; 2009 yılında servise giren HYUNDAI ROTEM üretimi MT15000 tipi ve 2011 yılında servise giren TÜVASAŞ üretimi MT30000 tipi araçlar ile takviye edilmiştir.

Dizel Anahat Lokomotif filosu ise, 1957 yılında DE20000, 1961 yılında DH27000, 1965 yılında DE21500, 1970 yılında DE24000 ve DE18000, 1978 yılında DE18100, 1985 yılında DE22000, 2003 yılında DE33000 tipi lokomotiflerin eklenmesi ile büyümüş olup halen DE18100-DE24000; DE22000 ve DE33000 (GM lisansı ile üretilmiştir.) tipi lokomotifler serviste tutulmaktadır.

1985 yılında servise giren DE11000 tipi lokomotifler ise daha önce kullanılmış olarak TCDD filosuna alınan ve sonra servisten kaldırılan DH11500 tipi lokomotifler gibi yol-manevra hizmeti vermektedir.

TÜLOMSAŞ A.Ş.'de GE lisansı ile üretilen DE36000 tipi lokomotiflerin ilavesi ile TCDD'nin Dizel Lokomotif Filosunun yenilenmesine devam edilmiş olacaktır. Ayrıca, bu lokomotifle TÜLOMSAŞ Avrupa pazarına girecektir.

Dizel işletmeciliği yanında ilk elektrifikasyon sistemi, 1955 yılında, İstanbul'da 26 km'lik Sirkeci-Halkalı hattı ile kurulmuş, bu hatta işletilmek üzere E8000 tipi elektrikli banliyö tren setleri ile E4000 tipi elektrikli lokomotifi temin edilmiştir. Elektrifikasyonu tamamlanan Haydarpaşa-Gebze banliyö hattına 1971 yılında 15 adet E 40000 tipi elektrikli lokomotif alınmıştır. E40000 tipi lokomotiflerin tahrik sistemlerinde diyotlu doğrultucular ve doğru akım elektrik motorları kullanılmıştır.

1979 yılında servise verilen E14000 tipi elektrikli banliyö trenlerinde ise doğru akım motorları ilk kez diyot ve tristörlerden oluşan doğrultucu grupları ile beslenmiş ve bu araçlarda elektronik baskı devrelerinden oluşan kontrol devreleri kullanılmıştır. E14000 tipi araçlar, lisans anlaşması ile TÜVASAŞ 'ta üretilmiştir.

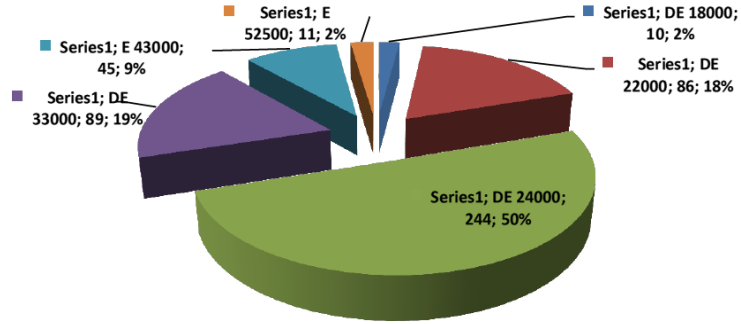
1987 yılında ilk olarak Divriği-İskenderun cevher hattında servise verilen ve TOSHIBA lisansı altında TÜLOMSAŞ'ta üretilen E43000 tipi elektrikli lokomotiflerin doğru akım motorları da diyot ve tristör elemanları ile beslenmiştir. Elektrikli araç filosuna en son HYUNDAI ROTEM'den temin edilen E23000 tipi EMU tren setleri katılmıştır.

**Tablo 2.3: TCDD'nin konvansiyonel araç parkı**

BÖLGE	DE 18000	DE 22000	DE 24000	DE 33000	DE TOPLAM	E 43000	E 52500	E TOPLAM	ANAHAT TOPLAM	DE 11000	DH 3600	DH 6500	DH 7000	DH 9500	MANEVRA TOPLAM	5500	5600	5700	MT 15000	MT 30000	DMU TOPLAM	E 14000	EMU 23000	EMU TOPLAM	GENEL TOPLAM
1			13	4	17		6	6	23	8	2	1	5	7	15						0	65	17	82	128
2		59	32	15	106	1	5	6	112	14			10	6	16				5		5	4	5	9	156
3	4		52	8	64				64	19						7		14		7	28		10	10	121
4		19	32	26	77				77	20								4			4				101
5	4		38	5	47	16		16	63					2	2										65
6		8	47	12	67	28		28	95					10	10		9	8	7	6	30				135
7	2		30	19	51				51	2			2	1	3			2			2				58
TOPLAM	10	86	244	89	429	45	11	56	485	63	2	1	17	26	46	7	9	28	12	13	69	69	32	101	764

Kaynak: Türkiye Cumhuriyeti Devlet Demiryolları Genel Müdürlüğü, Ağustos 2013.

**Şekil 2.4: TCDD'nin konvansiyonel araç parkı**



Kaynak: Türkiye Cumhuriyeti Devlet Demiryolları Genel Müdürlüğü, Ağustos 2013.

Demiryolu ağında elektrifikasyon sistemlerinin yaygınlaştırılmasının yanında halen TCDD çeken araç parkının sadece yüzde 11'ini elektrikli lokomotif oluşturmaktadır.

Yüksek hızlı tren işletmeciliği, 2009 yılında servise verilen CAF tarafından üretilen HT65000 tipi yüksek hızlı tren setleri ile yapılmaktadır.

1953 yılından itibaren ise TÜDEMSAŞ, TÜLOMSAŞ ile birlikte demiryollarının yük vagon ihtiyacını karşılamıştır.

2003 yılından itibaren habis ve gabs tipi kapalı yük vagonları 100 km/saat hız ve 22,5 ton dingil yüküne, Sgss tipi konteyner taşıma yük vagonları ise 120 km/saat hız ve 22,5 ton dingil yüküne uygun olarak üretilmiştir.

Bu özelliklere sahip vagonların üretilmesiyle hem TCDD'ye ait yük vagonlarının Avrupa demiryollarında kullanılması sırasında karşılaşılan sorunlar ortadan kaldırılmış hem de dara/yük oranı olumlu yönde değiştirilmiştir. 2007 yılı içerisinde Türkiye'de ilk defa bojili nitrik asit taşıma vagonu üretimi, 2008 yılında ise yine ilk kez, yeni nesil,



kargo taşımacılığında kullanılan Hbbillnss tipi yük vagonları üretilmiştir. 2008 yılında ayrıca; darası hafifletilmiş, fren sistemi geliştirilmiş, ağırlık merkezi aşağıya çekilmiş, kilitleme sistemi kolaylaştırılmış, taşıma kapasitesi artırılmış Falns tipi cevher taşıma vagonu tasarlanarak, prototip üretimi gerçekleştirilmiştir. 2009-2010 yıllarında iki dingilli Hbbillnss vagonunun hafif olan üst kısmı ile bojinin yüksek taşıma kapasitesi biraraya getirilerek Habillnss vagonu tasarlanmıştır. 2011 yılında, TÜDEMSAŞ tesislerinde montajını takiben prototip vagonun UIC ERRI B12 RP 17 standardına göre, dinamik ve statik testleri yapılmıştır. Aynı yıl, Hs vagonu ilk defa imal edilmiştir. Sgss vagonu projeleri TSI sertifikasyonuna uygun hale getirilmiştir.

Yolcu taşımalarında ise, 1887 yılında Abdülhamit salon vagonu, 1908 yılında 2 dingilli yolcu vagonu, 1923 yılında salon vagonları, 1953 yılında ise banliyö vagonları kullanılmaya başlamıştır. 1962 yılında TÜVASAŞ'ta üretilen ilk vagona kadar yolcu vagonları ülke dışından temin edilmekte iken 1962 sonrası sadece TÜVASAŞ'ta üretilmiştir. Hem sermayedarı, hem de tek müşterisi konumunda olan TCDD için TÜVASAŞ, 31.12.2012 tarihi itibarıyla 1793 adet yolcu vagonu imalatı ile 36 bin 224 adet yolcu vagonu bakım, onarım, revizyon ve modernizasyonunu tamamlamıştır.

1975'li yıllar ile birlikte uluslararası standartlarda RIC tipi yolcu vagonları üretimine geçilmiştir. 1976 yılından itibaren Alstom firmasının lisansı ile elektrikli banliyö dizileri üretimine başlanmış ve toplam 75 dizilik 225 adet araç üretilerek, TCDD'ye teslim edilmiştir. 1990'li yıllarda tasarımı TÜVASAŞ'a ait ray otobüsleri, RIC-Z tipi yeni lüks vagon ve TVS 2000 klimalı lüks vagon projeleri tamamlanarak imalatlarına başlanmıştır. 2002 yılından itibaren ise eski tip vagonlara ilişkin M-Serisi (M10 pulman, M70 yemekli ve M80 personel bölmeli) modernizasyon projeleri gerçekleştirilmiştir.

2003-2012 yıllarında,

- a. 142 adet yolcu vagonu,
- b. 5891 adet yük vagonu,
- c. 89 adet DE33000 tipi ana hat lokomotifleri imali,
- d. 12 adet HT65000 tipi YHT seti satın alınması,

- e. 12 adet MT15000 tipi DMU tren seti satın alınması,
- f. 12 adet 3 vagonlu MT30000 tipi DMU tren seti imali,
- g. 1 adet 4 vagonlu MT 30000 tipi DMU tren seti imali,
- h. 65 adet mobil demiryolu aracı satın alınması,
- i. 32 adet E23000 tipi elektrikli banliyö seti satın alınması,
- j. 33 adet E22000 tipi elektrikli banliyö seti satın alınması,
- k. 12 adet acil kurtarma ve müdahale aracı satın alınması,
- l. 3 adet derayman vinci temini, gerçekleştirilmiştir.

Ayrıca 10 adet dizel lokomotif markizleri ve 4 adet furgon vagonları zırhlandırılmıştır. 40 adet elektrikli banliyö seti ile ilgili temin anlaşması yapılmış olup tasarım çalışmaları sürmektedir.

2012 itibarıyla çeken-çekilen araç parkında, biri faal olmak üzere toplam 7 adet buharlı lokomotif, 429 adet dizel anahat lokomotif, 63 adet uzun yol manevra lokomotifi, 46 adet DH manevra lokomotifi, 69 adet dizelli dizi, 11 adedi kiralık olmak üzere 56 adet elektrikli lokomotif, 101 adet elektrikli dizi, 12 adet YHT seti, 964 adet yolcu vagonu, 88 adet jeneratör vagonu, 18.164 adet ticari yük vagonu ile 3159 adet 3. şahsa ait yük vagonu ve 1778 adet idari hizmet vagonu bulunmaktadır.

Ayrıca tüm çeken araçlara ATS montajının yanı sıra hava kurutucuları takılarak seyrüsefer güvenliği artırılmıştır. Makinist kabinleri modernize edilmiştir. Yine de, filo yaşı nedeniyle bir an önce eski lokomotiflerin iskat edilerek servisten çekilmesi ve yerine yeni nesil araçların temini gerekmektedir.

TCDD bünyesinde yaş dağılımına göre mevcut çeken ve çekilen araç filosu aşağıdaki Tablo 2.4'te sunulmaktadır. Tablonun alt satırında belirtilen yüzdeler filonun 20 yaş ve üzeri araç oranını göstermektedir.

**Tablo 2.4: Araçların yaş gruplarına göre dağılımı**

Yaş Grupları	Çeken araç			Çekilen araç		Genel Dağılım
	Dizel Anahat Loko	Elektrikli Loko	Elektrikli Dizi	Yolcu Vagonu	Yük Vagonu	Toplam Araç
0-9	79	0	39	178	5.745	6.041
10-19	10	19	0	166	1.917	2.112
20+	407	37	69	600	10.505	11.618
Toplam	496	56	108	944	18.167	19.771
Oran (20+)	82%	66%	64%	64%	58%	59%

*Kaynak:* Kantarcı, Dr. Muammer, 2011. Güvenli Gelecek Demiryolu Sanayinde Lokomotiften Tramvaya yerli üretim ve Pazar, *Mimar ve Mühendis*, 62 ss 84-87.

Toplam çeken çekilen araç parkının yüzde 59'u 20 yaş ve üzerindedir. Özellikle çeken araç parkının yüzde 64'ünün 20 yaş ve üzerinde bulunması tüm demiryolu işletimini etkiler niteliktedir. Çeken araçların gerek teknolojik ve performans, gerek maliyet, verim ve çevresel yönlerden yetersizliği demiryolu taşımalarını doğrudan etkileyerek demiryolu işletimine yıllar geçtikçe artan ve katlanarak büyüyen oranlarda dezavantaj ya da olumsuzluk yüklemekte veya yaratmaktadır. Bu oran, mevcut araç parkının ekonomik ömrüne ilişkin ciddi problemler bulunduğunu açıkça ortaya koymakta ve acil önlem alınmasını zorunlu kılmaktadır.

Çeken ve çekilen araç bakım ve onarımları genel olarak TCDD'ye bağlı işyerlerinde ve TULOMSAŞ, TÜVASAŞ ve TÜDEMSAŞ gibi Bağlı Ortaklıklar ve ADF gibi fabrikalarında ve bunların alt yüklenicilerinde yapılmaktadır.

TCDD'nin 2020 hedefleri doğrultusunda yeni projeler, hızlı tren yatırımları, modernizasyon çalışmaları ve hat bakım-onarım ve iyileştirmeleri sonucunda elde edilmesi beklenen fayda Tablo 2.5'te görülmektedir.

**Tablo 2.5: TCDD 2020 hedefleri ve proje beklentileri**

Projeler	Yatırım Tutarı	Tasımacılık Karı	Personel Tasarrufu	Yakıt Ve Bakım-Onarım Tasarrufu/ İlave Bakım Maliyeti	Kazaların Azalması	Toplam
Yol Bakım-Onarım	1.649	89	0	88	15	192
Sinyalizasyon	2.383	214	44	-24	30	264
Elektrifikasyon ve Elektrikli Loko	2.001	81	18	137	0	236
Araç Parkının Yenilenmesi	270	0	0	38	0	38
Hızlı Tren Hatları ve Tren Setleri	12.531	916	0	0	0	916
Çift Hat Yapımı	1.912	193	0	-10	5	188
<b>TOPLAM</b>	<b>20.746</b>	<b>1.493</b>	<b>62</b>	<b>229</b>	<b>50</b>	<b>1.834</b>

*Kaynak:* Kantarcı, Dr. Muammer, 2011. Güvenli Gelecek Demiryolu Sanayinde Lokomotiften Tramvaya yerli üretim ve Pazar, Mimar ve Mühendis, 62 ss 84-87.

### 2.3.1.2 İstanbul Ulaşım A.Ş.

İstanbul ili sınırları içinde, mevcut ulaşım türleri arasında raylı sistemler, yüzde 13 oranıyla, yüzde 83,7'lik orana sahip karayolundan sonra ikinci sırada gelmektedir. Bu raylı sistemleri işletmeleri TCDD, İstanbul Ulaşım A.Ş. ve İETT tarafından yapılmaktadır. Banliyö hatlarının işletmesi TCDD tarafından, Türkiye'nin ilk metrosu niteliğinde olan 573 metrelik Tünel hattının işletmesi İETT tarafından gerçekleştirilmektedir.

Bunların yanında İstanbul'un metro, tramvay, finiküler ve teleferik hatlarını içeren kentiçi raylı sistemlerinin işletmesinden sorumlu en önemli kuruluş İstanbul Ulaşım A.Ş.'dir.

#### 2.3.1.2.1 Tanıtım

İstanbul Ulaşım A.Ş. İstanbul'daki mevcut tramvay, metro, hafif metro, füniküler ve teleferik hatlarının işletmeciliğini yapmakta olan, İstanbul Büyükşehir Belediyesi'ne ait iştirak kuruluşudur. İstanbul Büyükşehir Belediyesi tarafından İstanbul'da kent içi raylı

sistemlerin işletmeciliğini yapmak üzere kurulan İstanbul Ulaşım A.Ş. toplam 611 araçla kent içi raylı sistem hattının işletmeciliğini yapmaktadır. İşletmeciliğini yaptığı Zeytinburnu-Kabataş tramvay hattı Uluslararası Toplu Taşımacılar Birliği tarafından yüksek yolcu talebini karşılama alanında, dünyada en iyi uygulama olarak seçilmiştir. İstanbul'da giderek ivme kazanan raylı sistem yatırımlarının tamamlanmasıyla birlikte kısa zamanda çok fazla sayıda yolcuya hizmet verecek olan Ulaşım A.Ş. 2005 yılında imzaladığı Uluslararası Toplu Taşımacılar Birliği Sürdürülebilir Gelişme Beyannamesi ile sürdürülebilir gelişme alanındaki taahhüdünü de ortaya koymuştur.

### 2.3.1.2.2 Tarihi Gelişimi

İstanbul raylı sistemleri açısından önemli yere sahip olan İstanbul Ulaşım A.Ş.'nin tarihi gelişimi Tablo 2.6'da sırasıyla yer almaktadır.

**Tablo 2.6: İstanbul Ulaşım A.Ş.'nin tarihi gelişimi**

16.08.1988	İstanbul Ulaşım A.Ş. kuruldu.
18.03.1989	Aksaray-Atatürk Havalimanı hafif metro hattının ilk aşaması hizmete açıldı.
13.06.1992	Zeytinburnu-Kabataş tramvay hattının ilk aşaması olan Topkapı-Sirkeci arası tamamlandı.
11.04.1993	Maçka-Taşkışla teleferik hattı hizmete açıldı.
10.03.1994	Zeytinburnu-Kabataş tramvay hattının ikinci aşaması olan Topkapı-Zeytinburnu arası hizmete alındı.
20.04.1996	Tramvay Sirkeci-Eminönü bağlantısı yapıldı.
16.09.2000	Taksim-4.Levent metrosu hizmete açıldı.
20.12.2002	Aksaray-Atatürk Havalimanı hafif metro hattı havalimanı bağlantısı açıldı.
01.11.2003	Kadıköy-Moda tramvay hattı hizmete açıldı.
30.01.2005	Eminönü-Fındıklı tramvay hattı hizmete açıldı.
31.11.2005	Eyüp-Pierre Loti teleferiği hizmete açıldı.
29.06.2006	Taksim - Kabataş funiküleri hizmete açıldı.
29.06.2006	Zeytinburnu - Fındıklı tramvay hattı Kabataş bağlantısı açıldı.
14.09.2006	Güngören - Bağcılar tramvay hattı açıldı.

17.09.2007	Sultançiftliği-Edirnekapı tramvay hattı açıldı.
31.01.2009	M2 hattının kuzeyinde Atatürk Oto Sanayi ve güneyinde Şişhane uzantıları, hizmet vermeye başladı.
18.03.2009	T4 hattı Edirnekapı-Topkapı uzantısı hizmete açıldı.
02.09.2010	M2 hattı Darüşşafaka istasyonu hizmete açıldı.
11.11.2010	M2 hattı Seyrantepe istasyonu hizmete açıldı.
03.02.2011	T1 ve T2 hatları birleştirildi.
09.07.2011	M2 hattı Hacı Osman istasyonu hizmete açıldı.
17.08.2012	Kadıköy-Kartal metro hattı hizmete açıldı.

*Kaynak:* İstanbul Ulaşım A.Ş. internet sitesi, Haziran 2013.

### 2.3.1.2.3 Mali Yapısı

İstanbul Ulaşım Sanayi ve Ticaret A.Ş. 1988 yılında Türkiye'de kurulmuştur. Şirket'in ana faaliyet konusu; şehir içi raylı sistemler işletmeciliği yapmaktır. 31 Aralık 2011 tarihi itibarıyla şirketin mali yapısı Tablo 2.7'deki gibidir.

**Tablo 2.7: İstanbul Ulaşım AŞ'nin sermaye yapısı**

Ortaklar	Değer (TL)	%
İstanbul Büyükşehir Belediyesi	224.525.025	99,7889
İETT Genel Müdürlüğü	395.192	0,1756
İspark İstanbul Otopark İşletmeleri Tic. A.Ş	70.756	0,0314
İsbak A.Ş	8.831	0,0039
İSTEK Servis Eğitim Ticaret Anonim Şirketi	196	0,0001
<b>TOPLAM</b>	<b>225.000.000</b>	<b>100,00</b>

*Kaynak:* İstanbul Ulaşım A.Ş. internet sitesi, Haziran 2013.

### 2.3.1.2.4 İşletme Faaliyetleri

İstanbul Ulaşım, İstanbul'daki kent içi raylı sistemlerin işletmeciliğinin yanı sıra metro ve tramvay araçlarının bakım-onarımlarını, istasyon ve hatların bakım-onarımlarını, elektrik ve elektronik sistemlerin bakım-onarımlarını yapmaktadır. Bu faaliyetlerinin yanında İstanbul Ulaşım, gerek İstanbul'un gelecekteki raylı sistem yatırım projeleri, gerekse yurt içi ve yurtdışındaki toplu taşıma projeleri için mühendislik ve müşavirlik hizmetleri vermektedir.

Ulaşım A.Ş bünyesindeki işletmelerde, yolcu taşımak, gün içindeki yolcu yoğunluğuna uygun olarak sefer tarifelerini hazırlamak, modernizasyon çalışmalarını tespit ederek ilgili birimlere iletmek, yolcunun turnikelerden ücretli alana girişinden ücretli alanı terk edişine kadar tüm süreçleri düzenlemek, işletme sahiplerinin görevidir. Bu kapsamda, M1 Aksaray-Atatürk Havalimanı hafif metro hattı, M2 Şişhane-Hacı Osman metro hattı, T1 Kabataş-Bağcılar tramvay hattı, T3 Kadıköy Moda Nostaljik tramvay hattı, T4 Habibler-Topkapı tramvay hattı, F1 Füniküler hattı (Taksim-Kabataş), Maçka-Taşkışla teleferik, Eyüp-Piyer loti teleferik hatlarında işletme faaliyetleri İstanbul Ulaşım A.Ş tarafından yürütülmektedir.

#### **2.3.1.2.5 Araç Bakım Faaliyetleri**

İstanbul Ulaşım, araçların bakımı ile ilgili olarak; koruyucu bakım faaliyetleri, düzeltici bakım faaliyetleri, yenileme faaliyetleri, kazalı araçların onarım faaliyetleri, tadilat proje faaliyetleri, tekerlek tornalama ve yenileme faaliyetleri, araç kurtarma faaliyetleri, atölye içi donanım bakım-onarım faaliyetleri, elektronik kartların onarım işlemleri başlıkları altında sıralanabilir.

Raylı ve telli toplu taşıma araçlarında arıza belirtisi beklemeden, olası arızaların kaynaklarını önceden yok etmek ve arızaların önüne geçmek için sürekli olarak koruyucu bakım faaliyetleri yapılmaktadır. Hatlarda faaliyet gösteren tüm metro, tramvay, füniküler ve teleferik araçlarının koruyucu bakım hizmetleri ilgili hatların bakım onarım merkezlerinde, kilometre esaslı olarak gerçekleştirilmektedir.

Araçların genellikle, her 400.000 kilometrede bir kapsamlı ağır bakım faaliyetleri yapılmaktadır. Ağır bakım kapsamında araç üzerindeki donanım sökülümekte, sökülen ekipmanlar ilgili donanım bakım - onarım atölyelerine götürülerek kapsamlı bakım altına alınmakta ve gerekirse yenilenmektedirler. Çok sayıda ayrı çalışma grubunun ortak çalışmaları neticesinde tamamlanan bir aracın ağır bakımı, bant usulü çalışma sistemi ile yaklaşık 10 iş gününde tamamlanmakta olup ilgili araçta statik ve dinamik test ve ölçümler yapıldıktan sonra araç yolculu servise verilmektedir.

Düzeltilici Bakım faaliyetleri ise beklenmeyen arızalar olduktan sonra yapılan onarım ve tashihleri içerir. Düzeltici Bakımlarda arızanın kök nedeninin bulunarak giderilmesi ve sistemin eski duruma veya arzu edilen duruma en kısa sürede getirilmesi hedeflenir.

Araçların bakım ve onarım faaliyetlerinin aksamaması için yıl içerisinde sürekli olarak atölye içi ekipmanlara koruyucu ve düzeltici bakım faaliyetleri uygulanmaktadır.

Çeşitli sebepler ile meydana gelebilen kazalardan dolayı araçlarda hafif, orta ve ağır boyutlu hasarlar oluşabilmekte olup; araçların tamir - onarım işlemleri kurum tarafından yapılmaktadır. Ayrıca raylı sistem araçlarında gelişen teknolojilere bağlı olarak; araçlarda büyük ya da orta çaplı tadilat projeleri gerekebilmektedir. Bu tarz projelerin geliştirilmesi ve araçlara uygulanması da, diğer faaliyetler ile beraber kurum atölyelerinde yürütülmektedir.

#### **2.3.1.2.6 Hat Bakım Faaliyetleri**

Raylı sistemlerde güvenli ve konforlu bir işletmecilik için en önemli hususlardan biri, araçların üzerinden gittiği demiryolu üstyapısının düzgünlüğü ve sağlamlığıdır. Ray, makas, bağlantı elemanları, taşıyıcı tabakaların periyodik olarak kontrol ve ölçümlerle takip edilmesi ve tespit edilen kusurların öncelik sırasına göre bir plan dâhilinde giderilmesi önemli bir husustur. Bakım, onarım ve yenileme çalışmaları ulusal/uluslararası standartlara göre yürütülmektedir.

Tüm yolcu grupları için istasyonların tam erişilebilir ve konforlu olması önemlidir. Bunun için istasyonlardaki yapının ve elektromekanik sistemlerin (yürüyen merdiven, asansör, havalandırma, drenaj sistemleri vs.) planlı olarak bakım, onarım ve yenileme faaliyetleri yürütülmektedir. Artan yolculuk taleplerini karşılamak ve konforu artırmak için istasyonlarımızda yenileme çalışmaları yapılmaktadır.

Bununla birlikte, işletme ve bakım faaliyetleri için gerekli olan araç park sahaları, atölye, ofis, depo binalarının yapımı gerçekleştirilmektedir. Araçların ve sistemlerin düzenli çalışabilmesi için uygun lokasyonlarda yeterli kapasitede bakım tesislerinin bulunması önemli bir husustur. Bu konuda bilgi ve tecrübe birikimini kullanılarak; ülkemizdeki diğer raylı sistem işletmelerine bakım, onarım, ölçüm, eğitim, danışmanlık, proje hizmetleri sunulmaktadır.

#### **2.3.1.2.7 Elektrik ve Elektronik Tesis Faaliyetleri**

İstanbul Ulaşım A.Ş., işletmeciliğini yaptığı Metro, Hafif Metro, tramvay, füniküler ve teleferik hatlarına ait elektrik ve elektronik tesisleri, istenilen çalışma şartlarına uygun



olarak sürekli çalışır vaziyette tutmaktan sorumludur. Firma, elektrik ve elektronik sistemlerin sürekli çalışmasının “hizmet kalitesi” ve “müşteri memnuniyet seviyesi” için önemli oranda belirleyici olduğunun bilincindedir. Bu nedenle bu sistemlere yönelik yapılan tüm bakım-onarım faaliyetlerini deneyimli teknik personeli ile sorunları kaynağında ve büyümeden çözüme anlayışı içinde ve son derece titiz bir çalışma ile yürütmektedir.

Güvenli, hızlı ve konforlu bir seyahat için, telsiz sistemi, transmisyon ve telefon sistemleri, elektronik güvenlik sistemleri, saat sistemi, SCADA sistemi, CCTV ve anons sistemi, yangın algılama ve ihbar sistemi, tren hareketlerinin emniyetli olmasını sağlayan sinyalizasyon sistemi ile araçlara enerji sağlayan katener sistemi, yardımcı güç dağıtım sistemleri, kesintisiz güç kaynakları ve trafolar gibi enerji sistemlerine ilişkin arızaların giderilmesi ve koruyucu bakımlarının yapılması bu kapsamda yapılan en önemli çalışmalar arasındadır.

#### **2.3.1.2.8 AR-GE, Proje ve Müşavirlik Faaliyetleri**

Tecrübe ve tasarım gücüyle yeni ve yerli teknoloji geliştirme anlayışını benimseyen İstanbul Ulaşım A.Ş. araştırma geliştirme, tasarım ve yenilikçi çalışmalarına ayrı bir önem ve değer vermektedir.

Bu doğrultuda yeni ürün, araç ve parça üretmek; yeni süreç ve sistemler ortaya koymak ve var olan sistemleri daha da geliştirmek amacıyla mevcut bilgi ve birikimle sistematik olarak çalışmalar ve yatırımlar devam etmektedir.

İstanbul Ulaşım A.Ş., AR-GE faaliyetleri yanında, her türlü raylı sistemin ve bunlara ait ek işlerin, etüdü, projelendirilmesi, fizibilite çalışması, ihale edilmesi, montaj işlerinin yapılmasını veya yaptırılmasını sağlamak üzere, müşavirlik ve planlama faaliyetlerinin konuları olan aşağıdaki işleri yapmaktadır;

- a. Tasarım ve işletme kriterlerinin tespiti,
- b. Sistem planı,
- c. Altyapı temini,
- d. İstasyon ve aktarma merkezleri,

- e. Bakım alanı ve depo sahası,
- f. Güzergah ve demiryolu projeleri,
- g. Sinyalizasyon ve haberleşme,
- h. Cer gücü projeleri,
- i. Araç projeleri,
- j. İnşaat ve yapım işleri.

Aynı zamanda aşağıdaki tasarım ve mühendislik faaliyetlerini de yapmaktadır:

- a. Sistem mühendisliği,
- b. Proje yönetimi,
- c. İhale dökümanları hazırlama,
- d. Şantiye yönetimi,
- e. İşletme prosedürleri,
- f. Teknik eleman eğitimi,
- g. Pazarlama konseptleri.

#### **2.3.1.2.9 Tesis Bakım Hizmetleri**

İstanbul Ulaşım, farklı teknolojiler ile inşa edilmiş olan raylı sistem hatları ve yardımcı tesisleri için donanım ve sistem seviyesinde bakım hizmetleri sunabilmektedir. Sahip olduğu tam teşekküllü makine parkı, teknolojik ölçüm cihazları, vasıflı mühendislik ve bakım iş gücü ile İstanbul Ulaşımın yürütmüş olduğu bakım hizmet konuları ve sistem bilgileri aşağıda sunulmuştur.

#### **2.3.1.2.10 Hat ve Tesis Bakımları**

Hat bakım ve onarım hizmetleri, Hat iyileştirme çalışmaları, Ray ve makas kaynakları, Hat geometri bakımları, Hat kontrol ve ölçümleri, Geometrik ölçümler, Geo radar ve Ultrasonik muayene olarak hizmet verilmektedir.

### **2.3.1.2.11 Elektromekanik ve Kontrol Sistemleri Bakım Hizmetleri**

Orta gerilim besleme ve dağıtım sistemleri bakım hizmetleri, Cer gücü ve dağıtım sistemleri, Yardımcı güç besleme ve dağıtım sistemleri, Katener/3. ray sistemleri, Sinyalizasyon sistemleri, Scada/Ecs sistemleri, Haberleşme/iletişim sistemleri, Kamera sistemleri, Yolcu bilgilendirme sistemleri, Yangın algılama ve söndürme sistemleri, Havalandırma sistemleri, Asansör/yürüyen merdiven sistemleri ve Drenaj sistemleri olarak hizmet verilmektedir.

### **2.3.1.2.12 Mevcut ve Planlanan Raylı Sistem Hatları**

İstanbul Ulaşım A.Ş., İstanbul Büyükşehir sınırları içinde 2004 yılı öncesinde işletmede olan raylı sistem hatlarının toplam uzunluğu 45 km'dir.

2004-2013 yılları arasında işletmede olan veya yapımı planlanan hatlarla birlikte raylı sistem hatlarının toplam uzunluğu takriben 141 km'ye ulaşmıştır. Bu dönem içerisinde ortalama yıllık 9,6 km raylı sistem hizmete sunulmuştur.

2019 ve 2023 hedeflerini yakalamak için yıllık yukarıda bahsedilen ortalama raylı sistem hizmete alma rakamının en az 3'e katlanması gerekmektedir. Bu durumda da 2023 hedefi 400 km olarak tutturulabilecektir. Ancak bunun için İBB bütçesinin yüzde 50'den fazlasının sadece raylı sistemlere tahsisi gerecektir.

2004 yılı öncesinde işletmeye alınan hatlar şu şekildedir:

- a. 1990 - İstiklal Caddesi nostaljik tramvayı, 1,6 km
- b. 1993 - Taksim - Maçka teleferik hattı, 0,3 km
- c. 1996 - Zeytinburnu - Eminönü tramvay hattı, 11,2 km
- d. 2000 - Taksim - 4. Levent metro hattı, 8,5 km
- e. 2002 - Aksaray - Havalimanı tramvay hattı, 20,3 km
- f. 2003 - Kadıköy - Moda Nostaljik tramvayı, 2,6 km

2004-2012 yılları arasında işletmeye alınan hatlar şu şekildedir:

- a. 2005 - Eminönü - Kabataş tramvay hattı, 2,9 km
- b. 2005 - Eyüp - Piyer Loti teleferik hattı, 0,42 km
- c. 2006 - Zeytinburnu - Bağcılar tramvay hattı, 5,2 km
- d. 2006 - Taksim - Kabataş funiküler hattı, 0,64 km
- e. 2007 - Edirnekapı - Sultançiftliği Habibler tramvay hattı, 13,3 km
- f. 2009 - Topkapı - Edirnekapı tramvay hattı, 2 km
- g. 2009 - Şişhane - Taksim metro hattı, 1,65 km
- h. 2009 - 4. Levent - Sanayi - İTÜ Ayazağa Oto Sanayi metro hattı, 5,5 km
- i. 2010 - Atatürk Oto Sanayi - Darüşşafaka metro hattı, 1,27 km
- j. 2010 - Sanayi - Seyrantepe metro hattı, 1,67 km
- k. 2011 - Darüşşafaka - HacıOsman metro hattı, 1,35 km

2012 yılında işletmeye alınan hatlar şu şekildedir:

- a. 2012 - Kadıköy - Kartal metro hattı, 21,7 km

2013 yılında işletmeye alınan ve alınması planlanan hatlar şu şekildedir:

- a. Otogar - Bağcılar Kirazlı - Başakşehir - Olimpiyatköy metro hattı, 21,7 km
- b. Yenikapı - Şişhane metro hattı, 3,55 km

2014 yılında işletmeye alınması planlanan hatlar şu şekildedir:

- a. Yenikapı - Aksaray metro hattı, 0,7 km

### **2.3.1.3 Adana Büyükşehir Belediyesi**

Adana'da ulaşımı rahatlatmak amacıyla planlanan raylı sistem projesinin fizibilite raporu 1992 yılında Başbakanlık DPT tarafından onaylanarak, 1993 yılı yatırım programına alınmıştır.

Adana Raylı Taşıma Sistemi Projesi, 1996 yılı 2886 sayılı yasa kapsamında, Bursa, Ankara ve İzmir Raylı Taşıma Sistemleri kavramsal projelerinin esas alınması ile yaklaşık olarak 340 Milyon ABD doları bedelle, uluslararası şirketlere açık olmak üzere ihale yapılmış ve Adtranz–Alarko-ABB Elektrik Konsorsiyumu ihaleyi almıştır.

İhale şartnamesini içeren sözleşme, 1996 yılının Ekim ayı başlarında Adana Büyükşehir Belediyesi ile Konsorsiyum (Adtranz–Alarko-ABB Elektrik) arasında imzalanmıştır. Sayıştay'ın onayı ile de yürürlüğe girmiş bulunmaktadır. İhale şartnamesine göre proje 1998 yılı Ocak ayı olmasına rağmen, projede ön görülen değişiklikler nedeniyle, yapılan değişiklik çalışmaları doğrultusunda hazırlanan proje, DTP ve ilgili kurum onayını 1999 yılı Ocak ayı içerisinde almıştır. Yüklenici firmaya fiili inşaat başlama yetkisi de bu onaya müracaatı takiben 1998 yılı Mart ayının ilk haftalarında verilmiştir. Konsorsiyum gerekli onayları 1999 yılı başlangıcında alır almaz 1999 yılı Ocak sonu tarihi ile işe başlamıştır.

Adana Raylı Taşıma sistemi, 2 etaptan oluşmaktadır. Birinci etapta, başlangıç ile bitiş arası 13 istasyon olarak projelendirilmiştir.

Proje, 42 araçlık katar denilen vagonlu sistem olarak uygulamaya alınmış ve 2010 yılına kadarki taşıma ihtiyacını karşılayacağı düşünülecek tasarlanmıştır.

Adana'daki 14 kilometrelik güzergaha sahip hafif metro 2010 yılının Mayıs ayında açılmıştır. 9.3 km'lik ilave yapılması planlan hattın toplam raylı sistem uzunluğunun 23.3 kilometre olması planlanmaktadır. (Adana Büyükşehir Belediyesi, 2013)

Proje, 1. ve 2. etap olarak tam kapasiteli, günlük 660 Bin yolcu olarak planlanmıştır. 36 hafif metro aracı ile hizmet vermektedir.

#### **2.3.1.4 Ankara Metrosu**

1997 tarihinde hizmet vermeye başlayan Ankara metro sistemi, 14,6 km. uzunluğunda, çift hatlı, ağır raylı sistem olup, 12 istasyon ve bir depodan oluşmaktadır.

Ankara'da halihazırda inşası devam eden raylı sistem uzunluğu 42 kilometre olup, bu hatların açılmasından sonra Ankara'da toplam 65.5 kilometre uzunluğunda raylı

sistemin olması planlanmaktadır. Ayrıca TCDD'nin işlettiği banliyö hattının uzunluğu da 37 kilometredir. (Ankara Metrosu, 2013)

Ankara Metrosu sistemi, 90 saniyelik servis aralıkları ile hareket edebilme, saatte 80 km hız yapabilme, 36 dizilik 108 adet metro aracıyla her bir yönde saatte 70.000 yolcu taşıma kapasitesine sahiptir. Güzergâh boyunca sistemdeki max. eğim yüzde 3' tür. Ana hat 3.4 km'lik viyadük, 7.1 km'lik yeraltı delme tüneller, 4.1 km'lik açık yarma ve hemzemin kesimlerden oluşmaktadır. Hat açıklığı 1435 mm olup kaynaklanmış sürekli raylardan oluşmaktadır.

### **2.3.1.5 ANKARAY Hafif Raylı Toplu Taşıma İşletmesi**

ANKARAY araçları işletimde azami 80 km/saat ve ortalama 35 km/saat seyir hızlarında gidecek şekilde tasarlanmıştır. Araçların cer sistemi, elektriksel fren esnasında üretilen enerjiyi güç ağının beslenmesi için tasarlanmıştır. ANKARAY Sistemi, 1992 ve 1995 yılları arasında ANKARAY Konsorsiyumu tarafından, anahtar teslim sistemi ile yapılmıştır. Dünyadaki benzer sistemler ile karşılaştırıldığında, bu kısa bir yapım sürecidir.

ANKARAY'ın yapımına Ağustos 1992'de başlanmıştır. 30 Ağustos 1996 tarihinde ise 33 adet yüksek tabanlı hafif raylı sistem aracı ile işletmeye açılmıştır. Araçlar ikili ve üçlü diziler halinde çalışabilmektedir. Siemens firması tarafından üretilen bu araçlar elektrik enerjisini 750V DC gerilimli üçüncü raydan sağlamaktadır. Herbir araçta 2 adet motorlu 1 adet taşıyıcı bogi bulunmaktadır. Araç üzerinde toplam 4 DAM motoru bulunmaktadır.

### **2.3.1.6 Antalya Ulaşım A.Ş.**

Antalya'da 2010 tarihinde açılan "AntRay" raylı sistemi 11 kilometre uzunluğunda, 16 duraklı hafif raylı sistem hattıdır ve şehrin 2013 yılından itibaren işletilmeye başlanan 5 kilometre uzunluğunda nostalji amaçlı tramvayı bulunmaktadır. (Antalya Ulaşım A.Ş., 2013)

Antalya'da 14 adet düşük tabanlı cadde tramvayı ile hizmet vermektedir. CAF firması tarafından üretilmiş olup, çift yönlü olarak çalışmakta ve 2 adet motorlu 1 adet taşıyıcı bogi bulunmaktadır. Araç üzerinde toplam 2 adet 3 fazlı asenkron motor bulunmaktadır.

### **2.3.1.7 Bursa Ulaşım Toplu Taşıma İşletmeciliği Turizm San. Tic. A.Ş.**

Bursa Büyükşehir Belediyesi tarafından kurulan işletme, Avrupa'daki toplu taşıma şirketleri örnek alınarak kurulmuştur. 2004 yılından bu yana ISO 9000-2001 kalite belgesine sahip olan BURULAŞ, 2005 yılından bu yana UITP üyesidir. HRS işletimi, otobüs işletimi, tramvay işletimi, bütünleşik bilet sistemi işletimi, araç kiralama, ş. arası terminal işletimi, deniz ulaşımı faaliyetlerinde bulunmaktadır.

Kentiçi ulaşımda önemli yere sahip olan HRS işletmesi, 8 Temmuz 1998 tarihinde BursaRay işletmesinin temeli atılarak 29 Ekim 2001 tarihinde kurulmuştur.

2003 yılında marka tescil belgesi alınarak BursaRay adı markalaştırılmıştır.

BURSARAY, iki etapta 5 aşamalı çalışma ile 31 istasyonlu 31 km'lik hat uzunluğuna sahip olmuştur. 23.04.2002 tarihinde 17 km, 06.04.2008 tarihinde 5 km ile hizmete giren birinci hafif raylı sistem hattı üzerinde 23 istasyon ve 48 adet B80 aracıyla; 24.12.2010 tarihinde 3 km 19.09.2011 tarihinde 3,5 km, 15.12.2011 tarihinde 2,5 km ile hizmete giren ikinci hafif raylı sistem hattı üzerinde 8 istasyon ve 30 adet B2010 aracıyla ulaşım ihtiyacını karşılamaktadır.

Bursa'da iki hat üzerinde toplam 78 adet yüksek tabanlı hafif metro aracıyla hizmet vermektedir. 4'lü dizi halinde çalışabilen araçların azami hızı 70km/h olmakla beraber hattın ticari hızı ortalama 34 km/h'tir. Yaklaşık olarak 28m uzunluğunda olan her bir aracın boş ağırlığı 40 ton olmakla birlikte 287 yolcu taşıma kapasitesine sahiptir. Siemens ve Bombardier firmaların tarafından üretilen bu araçlar elektrik enerjisini 1500V katener hattından sağlamaktadır. Her bir araç üzerinde 4 adet 3 fazlı asenkron motor bulunmaktadır.

BURULAŞ tarafından HRS işletmesinin yanında 28 Mayıs 2011' de yolculu olarak faaliyete başlayan nostaljik tramvay işletmesini gerçekleştirmektedir. 2,5 km'lik hat üzerinde 6 adet nostaljik tramvayla günlük 5000 yolcuya hizmet vermektedir. Bu hat üzerinde, 600 VDC gerilimle çalışan ve 40 km/h azami hıza ulaşabilen TZ70 tipi araçlar, 14 ton boş ağırlığa ve 45 kişilik yolcu taşıma kapasitesine sahiptir. Bir diğer araç tipi olan M6C tramvayları, 600-750 VDC çalışma gerilimine sahip 70 km/h hıza erişebilen, 29,8 boş ağırlığa ve 101 adet yolcu taşıma kapasitesine sahip araçlardır.

BURULAŞ, iki hattın devamı olarak mevcut raylı sistem hattını geliştirmek için yatırımlarına devam etmektedir. Açılış için 2013 yılı planlanan, 7 istasyonlu 8 km uzunluğundaki hat inşaatının yanında, 13 duraklı 6,5 km'lik hat inşaatına devam etmektedir.

BURULAŞ, Durmazları Makine A.Ş'nin dizayn ve imal ederek test sürüşlerine başladığı ve Innotrans 2012'de Almanya'da sergilediği İpekböceği Tramvay Projesinin Bursa Büyükşehir Belediyesi adına proje ortağıdır.

### **2.3.1.8 Eskişehir Hafif Raylı Sistem İşletmesi**

Eskişehir tramvay sisteminin asıl sahibi Eskişehir Büyükşehir Belediyesi'dir. Ulaştırma faaliyeti 24.12.2004 tarihinde başlamış olup, işletilmesi 10 yıl süre ile EsTram 'a verilmiştir. İki hattan oluşan tramvay sistemi 26 duraklı 16 km hat uzunluğuna sahiptir. (EsTram, 2013)

2003 yılı ikinci yarısında alınan Yüksek Planlama Kurulu Kararı ile proje, EsTram Proje kredisi dönemin Hükümeti tarafından serbest bırakılmış ve 24 Aralık 2004 tarihinde işletmeye başlayabilmiştir.

Sözleşme Başlangıç Tarihi (NTP) 11 Temmuz 2002 tarihinde sözleşmesi imzalanan tramvay hattı projesi, 15 Ağustos 2002 tarihinde Çarşı bölgesinde kazılara başlanması ve 15 Ağustos 2003 Opera hattının eklenmesi ile 27 Haziran 2004 tarihinde tamamlanmıştır. 24 Aralık 2004 tarihinde ilk yolculu seferlerine başlayan EsTram Projesi benzerleri ile kıyaslandığında 2 yıl gibi oldukça kısa sayılabilecek bir sürede tamamlanmıştır.

Mevcut hatlara ilave olarak, tramvay hatları Çamlıca-Batıkent, Çankaya –Yenikent ve Emek-71 Evler olmak üzere 3 istikamette uzatılması faaliyetleri başlatılmıştır. 15 duraklı 11 km'lik Batıkent-Çamlıca hattı, 10 duraklı 6,1 km Yenikent-Çankaya hattı, 7 duraklı 4,5 km'lik Emek-71 Evler hattı planlanmıştır. Yaklaşık 22 km uzatma hatları ve 16 km mevcut hat ile ESTRAM da toplam hat uzunluğu 38 km olacaktır.

Halihazırda EsTram, 3 Bojili, 5 Modüllü, tek yönlü olan Flexity Outlook Cityrunner modüler alçak tabanlı, 35,8 ton boş ağırlığa sahip 23 adet tramvay aracı ile kentiçi toplu taşıma hizmeti vermektedir. Bombardier firması tarafından üretilen bu araçlarda 2 adet



motorlu 1 adet taşıyıcı bogi bulunmaktadır. Araç üzerinde toplam 4 adet 3 fazlı asenkron cer motoru bulunmaktadır.

### **2.3.1.9 Gaziantep Tramvay**

2011 yılının Mart ayında hizmete başlayan raylı sistem, 2011 Haziran ayında yapımına başlanan hafif raylı sistem ikinci etabın Karataş hattının devreye girmesi ile 2012 yılında 12 milyon yolcu taşınmıştır. Gar Meydanı'ndan başlayan, Burç Kavşağı'nda sona eren, depo alanı ile birlikte 15 kilometrelik raylı sistem, 6 kilometrelik Üniversite-Akkent arasındaki ikinci etabın devreye girmesi ile birlikte toplamda 21 kilometreye ulaşmıştır. 3. etapla 6,5 kilometrelik İbrahimli etabı ile yaklaşık 29 kilometrelik bir hafif raylı sistem ulaşım ağına ulaşma planlanmaktadır. Hafif raylı sistem Akkent'ten başlayarak Gar'da sonlanan 19 durakta 11 hafif metro aracı ile hizmet vermektedir. Büyükşehir belediyesi tarafından hizmet veren hafif raylı sistem, Akkent ile Gar arasında toplam 21 kilometrelik hat üzerinde 220 kişilik 15 alçak tabanlı tabanlı cadde tramvayı ile 19 durakta ulaşımı sağlamaktadır. (Gaziantep Büyükşehir Belediyesi, 2013)

### **2.3.1.10 İzmir Metro A.Ş.**

İzmir Metrosu için ilk çalışmalar, 1989 yılında başlatıldı. Heusch und Bosefeldt (Almanya) kuruluşu, iki yıl boyunca kentin ana arterlerinde trafik sayımları yaparak, Ulaşım Master Planı'nı hazırladı. İzmir Ulaşım Master Planı'nda 2010 yılı için 50 km'lik, kentin dört uç noktasına ulaşan (Bornova, Buca, Narlıdere, Çiğli) ve sırt sırta iki hilal biçiminde bir metro sistemi öneriliyor. Sistemin en yoğun olan bölümüne öncelik tanındı ve 1992 yılı Haziran ayında acil olan bölümün ihalesi duyuruldu. İhaleye Siemens, Breda (İtalyan) ve ABB-Yapı Merkezi Konsorsiyumu katıldı. 15 Ocak 1993'te ABB-Yapı Merkezi Konsorsiyumu ve İzmir Büyükşehir Belediyesi arasında sözleşme imzalandı. ABB-Yapı Merkezi bir 'design and built' konsorsiyumu olarak, yurt dışından proje finansmanını sağlamak yükümlülüğünü de taşıyordu. 1994 yılında güzergahın yeniden değerlendirilmesi gündeme geldi ve düzenlenen projede Fahrettin Altay'a uzanan bölüm iptal edildi. Basmane-Bornova hattı 50 yıllığına TCDD'den alındı ve İzmir Metrosu'nun güncel durumuna ilişkin sözleşme, 1.5 yıl gecikmeyle, 1995 Mart ayında imzalandı.

22 Mayıs 2000 tarihinde Üçyol – Bornova istasyonları arasında 10 istasyon ve 11,6 km işletim hattı ile ticari faaliyetine başlamıştır. Metro hattının Bu hatta ilave olarak, 20 Mart 2012 tarihinde Ege Üniversitesi ve Evka 3 istasyonlarının hizmete girmesi ile 2,3 km ve 29 Aralık 2012 tarihinde İzmirspor-Hatay istasyonlarının işleme girmesi ile 1,6 km daha artarak toplam 14 istasyon ve 14,7 km' lik işletim hattı faaliyetlerine başlamıştır.

Yapımı devam eden Göztepe-Poligon ve F.Altay istasyonlarının tamamlanması ile İzmir metrosu toplam 17 istasyon ve 19 km hat uzunluğuna ulaşacaktır. Bununla beraber 23 istasyonlu 12,7 km'lik Konak tramvayı, 20 istasyonu 10km'lik Karşıyaka tramvayı, 9 istasyonlu 5,5 km'lik Buca tramvayı projeleri planlanmaktadır. (İzmir Metro A.Ş., 2013).

Halihazırda mevcut hafif raylıs sistem hatlarında, ABB tarafından imal edile 45 adet, CSR tarafından üretilen 32 adet, toplam 77 adet LRV aracı ile hizmet vermektedir.

### **2.3.1.11 İzmir Banliyö A.Ş. (İZBAN)**

İZBAN, İzmir'de Aliğa'dan Cumaovası'na kadar olan 80 kilometrelik banliyö hattı üzerinde metro standartlarında raylı toplu taşımacılık yapan işletmecisi şirkettir. İzmir Büyükşehir Belediyesi ile Türkiye Cumhuriyeti Devlet Demiryolları'nın (TCDD) yüzde 50-50 ortaklıklarıyla kurulmuştur. (İZBAN A.Ş., 2013)

İzmir'in kuzeyden güneye en önemli ulaşım aksından geçen banliyö sisteminde İZBAN A.Ş. nin günlük yolcu sayısının 550.000 civarında olması öngörülmektedir.

İZBAN, Cumhuriyet tarihimizin en büyük kent içi raylı toplu ulaşım sistemi olarak 10 Ocak 2007 tarihinde kuruldu. 01 Temmuz 2010'da güney hattında yolcusuz deneme seferlerine başlayan İZBAN, ilk yolculu ön işletmesini aynı hat üzerinde 30 Ağustos 2010'da yaptı. İzmir'in merkezindeki Halkapınar ile kuzey uç istasyonu Aliğa arasında 29 Ekim 2010'da yolcusuz ilk işletmeyi devreye alan İZBAN, 05 Aralık 2010'da Çiğli-Cumaovası, 30 Ocak 2011'de ise Aliğa-Cumaovası arasında yolculu ön işletmeye başladı. 13 Şubat 2011'de otobüslerle aktarmalı ulaşım entegrasyonunun raylı sisteme göre yeniden düzenlenmesi ile yolcu sayısı önemli ölçüde artan İZBAN'ın devlet töreniyle resmi açılışı 6 Mart 2011'de gerçekleştirildi.

İZBAN, Aliğa-Cumaovası hattında İspanyol CAF firması tarafından üretilen 33 adet EMU tren setiyle hizmet vermeye başladı. 18 Ağustos 2011'de TCDD'den 10 adet Rotem tren seti kiralarak set sayısını 43'e yükselten İZBAN, 40 yeni tren setinin alımı için açtığı ihaleyi 2011 yılı Aralık ayında Rotem firması kazandı ve 17 mart 2012de sözleşme imzalandı. Tüm İZBAN trenleri, kapalı devre görüntüleme, ATS Otomatik Tren Durdurma, Klima, Anons ve LCD panel yolcu bilgilendirme sistemleri ile donatılmıştır. İZBAN'da yolcu ve işletme güvenliği, sinyalizasyon, otomatik tren durdurma ATS, makinist totman, otomatik korumalı kapılar, kapalı devre Görüntüleme sistem merkezi OCC, S.O.S. haberleşme istasyonları ve tren konum-bilgi sistemi gibi ileri teknoloji barındıran donanımlar ve eğitilmiş personel ile sağlanmaktadır.

### **2.3.1.12 Kayseri Ulaşım A.Ş. (KAYSERAY)**

Kayseri şehrindeki tramvay 18 kilometre uzunluğunda olup 1 Ağustos 2009 tarihinde açılmıştır ve bu hatta 16.5 kilometrelik tramvay hattı ekleme çalışmaları devam etmektedir.

Kayseri tarihinin en büyük projelerinden birisi olan Kayseri Raylı Sistem projesi yaklaşık 3 yıllık yapım süresinden sonra 1 Ağustos 2009 tarihi itibari ile birinci hattı olan 28 istasyonlu 17,2 km'lik hat işletmeye açılmıştır. KayseRAY projesi sözleşme bedeli ve sözleşme süresi içerisinde bitmesi ile diğer raylı sistem projelerine örnek olmuştur.

Kayseri Raylı Sistemi'nin 16 istasyonlu 11 km'lik ikinci ve 39 istasyonlu 26,24 km'lik üçüncü etap güzergahları için projelendirme çalışmaları yapılmaktadır. İkinci Etap kapsamında, halihazırdaki raylı sistem hattının Mimarsinan Kavşağı'ndan Beyazşehir-İldem'e kadar uzatılması hedeflenirken, üçüncü etapta ise; Sivas Caddesi-Erciyes Üniversitesi-Talas hattı planlanmaktadır.

Halihazırda mevcut birinci hatta, Ansaldo Breda tarafından imal edilen 38 adet hafif raylı sistem aracı hizmet vermektedir. İkinci hat için 12, üçüncü hat için 26 yeni aracın çalıştırılması planlanmaktadır. (Kayseri Ulaşım A.Ş., 2013)

### **2.3.1.13 Konya Raylı Sistem Müdürlüğü**

Anadolu'daki ilk kent içi elektrikli tramvay hareketi 1989 tarihinde Konya'da başlamış ve 24 kilometrelik raylı sistem hattı devreye alınmıştır. (Konya Büyükşehir Belediyesi, 2013)

Konyaray projesinin başlangıcı 2012 yılının ortalarında gerçekleşmiştir. İhale 17 Ekim 2012 yılında yapıldı, İhale süreci tamamlanan, kamu ihale kurumu ve hukuki süreçlerinde tamamlanmasının ardından en düşük teklifi veren Skoda ile el sıkışıldı, imzalar atıldı. 4 Mart 2013 itibariyle ihale sonuçlandırılmıştır. Siemens tarafından imal edilen 60 adet hafif raylı sistem aracı ile hizmet vermektedir. Konya, halihazırda 90'ların başında Almanya Köln'den alınan tramvay ile hizmet veren 24 km tramvay ağını genişletmeyi planlamaktadır.

### **2.3.1.14 Samulaş A.Ş.**

Samulaş A.Ş., Samsun Büyükşehir Belediyesi tarafından raylı sistem işletmecisi olarak kurulmuştur. İlk raylı sistem uygulaması için, 17.12.1999 tarihinde kavram projesinin hazırlanması ile başlamıştır. İhaleye çıkılan hafif raylı sistem hattının ulaşım ana planı ve fizibilite etüdü şartnamesi 06.10.2003 tarihinde ulaştırma bakanlığınca onaylanmıştır. 31.08.2004 tarihinde proje, bakanlar kurulu kararı ile yatırım programına alınmıştır.

19.01.2007, müşavirlik ve müşavirlik hizmetleri ihalesi, 20.03.2008 tarihinde yapım ihalesi gerçekleşmiştir. Alınan ihale onayının ardından 19.06.2008 tarihinde sözleşme imzalanmıştır.

Karadeniz sahili boyunca paralel uzanan 21 istasyonlu 15,7 km'lik hat, 10.09.2008 tarihinde teslim edilmiş ve 10.10.2010 tarihinde yolculu işletmeye başlamıştır.

Bu hat üzerinde, Ansaldo Breda tarafından imal edilen 32,25 metre uzunluğunda azami 350 yolcu taşıyabilen, 43,3ton boş ağırlığa sahip 16 adet LRV aracı ile hizmet vermektedir.

## **2.3.2 Raylı Sistem Araç (Rolling Stock) İmalatçıları**

### **2.3.2.1 Kamu Raylı Sistem Araç İmalatçıları**

Bu bölümde kamu alanında asıl ve tamamlayıcı imalatlar yapan kuruluşlar tanıtılacaktır.

#### **2.3.2.1.1 Türkiye Lokomotif ve Motor Sanayii A.Ş. (TÜLOMSAŞ)**

TCDD'nin bağlı ortaklığı olan TÜLOMSAŞ, Ticaret Kanununa tabi Anonim Şirkettir. Faaliyetlerini, Şirket Ana Sözleşmesi ve 233 sayılı Kanun Hükmünde Kararname hükümleri çerçevesinde yürütmektedir.

Mevcut sermayesi 150.000.000 TL olup, 500.000 m<sup>2</sup> açık alan üzerine kurulu bulunan TÜLOMSAŞ'ta 176.000 m<sup>2</sup>'lik kapalı alan mevcuttur.

1894 yılında Almanlar tarafından Anadolu-Bağdat demiryolu ile ilgili olarak buharlı lokomotif ve vagon tamiri ihtiyacını karşılamak üzere Eskişehir'de Anadolu-Osmanlı Kumpanyası adı ile kurulmuştur.

1919'da Anadolu'nun işgali sırasında İngilizlerin eline geçen Anadolu-Osmanlı Kumpanyası 20 Mart 1920'de Kuvayı-Millîye tarafından geri alınmış ve adı Eskişehir Cer Atölyesi olarak değiştirilmiştir.

1923 yılında 800 m<sup>2</sup> kapalı alana ulaşan Eskişehir Cer Atölyesinde, 1925'ten 1928 sonuna kadar, kazanhane, çarkhane, marangozhane, köprü, demiryolu makası, kantar ve yol emniyeti ile ilgili malzemeler üretecek birimler hizmete girerek dışa bağımlılığın kırılması yolunda büyük adımlar atılır.

1951 yılında Türkiye'de ilk mekanik kantar imalatı, lisans veya know-how alınmaksızın bu atölyede gerçekleştirilmiştir.

1958 yılında adı, Eskişehir Demiryolu Fabrikası adıyla ilk yerli lokomotifi imal etmek üzere yenilenmiştir.

16 Haziran 1961 tarihinde, Ordunun cadde binek ihtiyacını karşılayacak bir otomobil tipinin geliştirilmesi projesi, onarım amacıyla kurulmuş fakat geniş ölçüde yedek parça imal eden Ankara, Eskişehir, Sivas ve Adapazarı'ndaki fabrikaları ile önemli teknik

potansiyeli ve yetişmiş teknik kadrosunun bulunması nedeniyle TCDD'ye verilmiş ve dönemin ekonomik değerlerine göre 1.400.000 TL ödenek ayrılmıştır. Eskişehir Demiryolu Fabrikasında 4,5 ay gibi kısa bir sürede üretilen 2 otomobil 29 ekim 1961'de teslim edilmiştir. Daha sonra 4'e tamamlanmıştır. 2004'te faal olan ve tek numunesi kalan Devrim Otomobili bakım-onarımı yapılmış, o günden bugüne TÛLOMSAŞ bahçesinde sergilenmektedir.

1961 yılında 1915 beygir gücünde, 97 ton ağırlığında, 70 km/h hız yapabilen ilk Türk buharlı lokomotifi Karakurt üretilmiştir. 1962 yılında bojili, cevher, konteyner, sarnıç, soğutma, boraks, tahıl, slab, platform gibi tiplerde çeşitli yük vagonlarının seri olarak imalatı sağlanmıştır.

1968 yılında Alman MAK Firmasının lisansı ile 360 Beygir Gücünde DH3600 tipi dizel manevra lokomotiflerinin sürekli olarak yapımına başlanarak 1975 yılına kadar 25 adet üretilmiştir.

1968 yılında Fransız Semt Pielstick Firması ile yapılan lisans anlaşmasıyla 16 PA4 V-185 tipi motorların imalatına geçilmiş, her yıl gittikçe artan yerli malzeme oranı ile 2400 beygir gücünde 16 ve 12 silindirli motorlar ELMS'de üretilmiştir. 1971 yılında DE24000 tipi dizel elektrikli anahat lokomotifi imalatına başlanarak toplam 431 adet üretilmiştir.

1970 yılında Eskişehir Demiryolu Fabrikası, Eskişehir Lokomotif ve Motor Sanayii Müessesesi adını alır. ELMS, 1986 yılında dünyada ve yurdumuzdaki değişen koşullara göre yeniden yapılarak, Bakanlar Kurulu kararı ile TCDD Genel Müdürlüğü'nün bağlı ortaklığı haline dönüştürülmüş ve "Türkiye Lokomotif ve Motor Sanayii A.Ş." olarak yeni bir hukuki yapıya kavuşturulmuştur.

1971 yılında Fransız Traction Export firması ile motor lisans anlaşması çerçevesinde 2400 beygir gücünde, 111 ton ağırlığında, 39400 kg çekme kuvvetine sahip ilk dizel elektrik anahat lokomotifi törenle sefere konulmuştur.

1986 yılında DE11000 tipi; 1987 yılında, Amerikan General Motors firması ile dizel elektrikli anahat lokomotifi lisans anlaşması çerçevesinde 2200 Beygir Gücünde DE22000 tipi anahat lokomotifi üretimine başlanmıştır. TCDD İşletmesi Genel

Müdürlüğü tarafından 39 adet ithal edilen DE22000 tipi lokomotiften TÛLOMSAŞ'ta 48 adet üretilmiştir. 1987 yılında muhtelif demiryolu iş makinaları'nın üretimine başlanmış ve toplam 46 adet üretilmiştir.

1988 yılında, Japon NISSHO IWAI-TOSHIBA firmasıyla elektrikli anahat lokomotifi lisans anlaşması çerçevesinde 4300 beygir gücünde, 1 adet E43000 tipi elektrikli anahat lokomotifi ithal edilerek toplam 44 adet üretim gerçekleştirilmiştir.

1994 yılında herhangi bir teknoloji transfer etmeden, teknoloji üreterek proje, dizayn ve imalatı tümüyle TÛLOMSAŞ'a ait olan 709 Beygir Gücündeki DH7000 tipi dizel hidrolik manevra lokomotifi üretimine başlanmış ve 20 adet üretilmiştir.

1997 yılında kamuda bir ilk olarak ISO9001 standardının sertifikalandırılması gerçekleştirilmiştir.

1999 yılında proje ve imalatı kendisine ait 950 beygir gücünde DH9500 tipi 26 adet manevra lokomotifi, 2000 yılında kapalı kayar yan duvarlı yük vagonlarının imalatı, 2001-2004 yıllarında, 1000 beygir gücünde DH10000 ve DH12000 tipi 14 adet dizel hidrolik anahat ve manevra lokomotifi üretimi ve yurt dışına ihracı gerçekleştirilmiştir.

2003-2011 yılları arasında, TCDD İşletmesi Genel Müdürlüğünün 89 adet Anahat Lokomotif ihtiyacının karşılanabilmesini teminen ABD General Motors firmasından yapılan teknoloji transferi çerçevesinde DE 33000 tipi dizel elektrikli anahat lokomotifinden ilk 6 adedi üretilir. Kalan 83 adet lokomotifin 36 adedi 2006 yılı sonuna kadar yüzde 51'lik yerli katkı ile üretilmiştir. 2009 yılı sonuna kadar 47 adet lokomotif yüzde 55 yerli katkı oranı ile üretilerek toplam 89 adet DE 33000 lokomotif TCDD filosuna katılmıştır.

2011-2012 yılında GE ile yapılan proje ortaklık anlaşması ile UK lokomotifi ve Avrupa Platformu lokomotifi imalatı tamamlanıp teslim edilmiştir. Bu bağlamda, 50 adet dizel elektrik lokomotif siparişi alınmış olup GE ile ortak imal edilmektedir.

TCDD ihtiyacı 80 adet elektrikli lokomotif imalatına Hyundai-Rotem firması ile başlanılmıştır. Van Gölü feribotlarına ait 8 adet TÛLOMSAŞ yapımı marine dizel motor üretilmiş 4 adedi teslim edilmiştir.

Özel sektör lojistik firmalarına vagon imalatı yapılmakta olup bugüne kadar 600 adet vagon teslim edilmiştir.

Marmaray araçlarına ait boji ve cer motoru imalatına devam etmektedir.

Gaziantep Büyükşehir Belediyesine 15 adet tramvay modernizasyonu işi tamamlanarak, 10 adet daha sipariş alınmıştır.

Tübitak ile araştırma geliştirme projeleri yürütülen yerli kompozit sabo projesi tamamlanarak milli elektrikli lokomotif ve hafifletilmiş yük vagonu projeleri devam ettirilmektedir.

TÜLOMSAŞ çeşitli tipte lokomotif, demiryolu bakım aracı, bojili yük vagonu; çeşitli tipte dizel motor, alternatör, cer motoru; çelik ve pik döküm üretim kapasitesiyle Türk ağır sanayiinin lokomotifi olarak hizmet vermektedir. Bugüne kadar 707 adet çeşitli tipte lokomotif ve 7680 adet çeşitli tipte bojili yük vagonu üretimi gerçekleştirmiştir. Bunların onarımları ile diğer demiryolu araç ve gereçlerinin üretim ve onarımları da yapılmaktadır.

Lokomotif fabrikasında, 360-4300 Beygir Gücü aralığında değişik tiplerde dizel-elektrik, dizel-hidrolik veya elektrikli anahat ve manevra lokomotifleri ile demiryolu bakım araçlarının boji, şasi, kaporta imalatı, komple montaj, boya ve test işlemleri ile bu araçların bakım ve revizyonları yapılmaktadır.

Motor fabrikasında, 2400 Beygir gücünde dizel motor imalatı yapılmaktadır. Ayrıca bu motorlar ile çeşitli tip ve güçte dizel motorların bakım onarım ve yedek parça imalatı yapılmaktadır. Fabrika değişik tiplerde CNC tezgah ve işleme merkezlerine sahip olup, modern bir makina parkına ve imalat teknolojisine sahiptir.

Elektrik makinaları fabrikasında, lokomotiflerde kullanılan 530 kW güce kadar cer motoru imalatı yapılmaktadır. Ayrıca alternatör, kumanda dolapları imalatı ile kablo tesisatı ve emprenye işlemleri gerçekleştirilmektedir.

Dişli, takım ve kalıp fabrikası, iki bölümden oluşmaktadır. Birinci bölüm Dişli Takım ve Kalıp İmal Atölyesi, ikinci bölüm Tekerlek Torna Atölyesi. Dişli Takım ve Kalıp İmal Atölyesinde düz dişliler, helis dişliler, iç dişliler, sonsuz dişliler, zincir dişliler,



kurt dişliler, matkaplar, kılavuzlar, zenkerler, raybalar, role topları, özel frezeler, kalibreler, paftalar, makinatolar, kumpaslar, mastarlar ve özel tezgah imalatı yapılmaktadır. Tekerlek Torna Atölyesinde her türlü çeken ve çekilen demiryolu araçları tekerlek takımları montaj-demontaj ve imalatı yapılmaktadır.

#### **2.3.2.1.2 Türkiye Vagon Sanayi A.Ş. (TÜVASAŞ)**

TCDD'nin bağlı ortaklığı olan TÜVASAŞ, Ticaret Kanununa tabi Anonim Şirkettir. Faaliyetlerini, Ana Sözleşmesi ve 233 Sayılı Kanun Hükmünde Kararname hükümleri çerçevesinde yürütmektedir.

TÜVASAŞ'ın ilk tesisleri 25 Ekim 1951 tarihinde "Vagon Tamir Atölyesi" adıyla faaliyete geçmiştir. 1961 yılından itibaren "Adapazarı Demiryolu Fabrikasına" (ADF) dönüştürülen kuruluşta, 1962 yılında ilk vagon üretilmiştir. 1964 yılından itibaren vagon imalatına da başlayarak, demiryolu işletmeciliğinin dışa bağımlılığını ortadan kaldırdığı gibi, tamamen ithal olan vagonların bakım, onarım ve yedek parça konusundaki sıkıntıları gidermiştir. 1971 yılında başlanan ihracat çalışmaları neticesinde, Pakistan ve Bangladeş'e toplam 77 vagon ihraç edilmiştir. 1975 yılında "Adapazarı Vagon Sanayi Müessesesi" adını alan tesislerde uluslararası standartlarda RIC tipi yolcu vagonlarının üretimine geçilmiştir. Bugünkü statüsünü 1985 yılında kazanan "Türkiye Vagon Sanayi Anonim Şirketi", yolcu vagonları ve elektrikli dizi imalatlarının yanı sıra, araştırma geliştirme faaliyetleri ve mühendislik hizmetleri konularında da atılımlar yaparak, yeni projelere yoğunluk vermektedir.

Mevcut sermayesi 80.000.000 TL olan TÜVASAŞ 80.779 m<sup>2</sup>'si kapalı alan olmak üzere toplam 359.073 m<sup>2</sup> alan içinde yıllık 75 vagon imalatı ve 500 vagon onarımı kapasitesine sahip bulunmaktadır.

1976 yılından itibaren Alstom firmasının lisansı ile elektrikli banliyö dizileri üretimine başlanmış ve toplam 225 araçlık 75 dizi üreterek, TCDD'ye teslim edilmiştir. 1990'lı yıllarda üretilen projeler olgunlaştırılmış ve tasarımı TÜVASAŞ'a ait ray otobüsleri, RIC-Z tipi yeni lüks vagon ve TVS2000 klimalı lüks vagon projeleri tamamlanmış, 1994 yılında da imalatlarına başlanmıştır.

1995 yılında hafif raylı taşımacılıkta kullanılan araçların üretimi için, alt yapı çalışmalarına hız verilmiştir. 1998 yılında tecrübeli uzman, mühendis ve kalifiye işçi kadrosu ile vagon üretim ve onarımı konularında kaliteli hizmetler sunmaya başlayan TÜVASAŞ, TVS2000 tipi lüks yataklı vagon imalatını da başarı ile tamamlamıştır.

TCDD'ye yaptığı üretimlerin yanı sıra 2001 yılında, Siemens ile yapılan işbirliği çerçevesinde, Bursa Büyükşehir Belediyesi'nin hafif raylı taşıt filosunun 38 aracının montaj ve işletmeye alma çalışmaları, TÜVASAŞ tesislerinde gerçekleştirilmiştir. 2002 yılından itibaren de eski tip vagonların modüler anlayışla, günümüz çizgilerinde modern görünüşe ve konfora ulaştırılmaları amacıyla M-Serisi (M10 pulman, M70 yemekli ve M80 personel bölmeli) modernizasyon vagonu projeleri gerçekleştirilmiştir.

2003–2009 döneminde katma değeri yüksek, bilgi ve teknoloji yoğun yarı mamul ve ekipmanlar yerleştirilerek, yüzde 90 yerlilik oranıyla yolcu vagonu üretilmeye başlanmıştır.

TÜVASAŞ'ta son yıllarda yurtdışına vagon ihracatı çalışmalarına hız verilmiş, Irak Demiryolları için 2005 yılında imalatına başlanan jeneratör vagonlar, 28 Mayıs 2006 tarihinde teslim edilmiştir. Böylece TÜVASAŞ, 35 yıl aradan sonra ihracat yapma yeteneği olan bir şirket hüviyetini yeniden kazanmıştır.

2008 ve 2009 yıllarında, İstanbul Büyükşehir Belediyesi'nin Taksim–Yenikapı arasında işlettiği 28 setlik 84 adet metro araçları ve TCDD'nin 25 setlik 75 adet elektrikli tren seti araçlarının, Güney Kore Hyundai/Rotem firması ile ortak üretim çerçevesinde imalatı yapılmıştır. 2010 yılında Avrupa demiryollarında kullanılacak çok gerilimli enerji besleme ünitesi (UIC gerilimli konvertör) imal edilerek, yol şartlarında denemeleri yapılmıştır.

2010 yılında Sakarya Üniversitesi, Uludağ Üniversitesi ve TÜVASAŞ işbirliği ile raylı taşıtların klima sistemlerinin test edileceği “Klimatik Test Tüneli” yapımı başlatılmış ve bu uygulama TÜBİTAK'a sunulmuştur.

2010 yılında üretimine başlanan dizel tren set araçları projesi, 12 adeti 3'lü, 12 adeti ise 4'lü olmak üzere toplam 84 araçtan oluşmaktadır. Bu araçların 2013 yılı sonuna kadar üretiminin tamamlanarak TCDD'ye teslim edilmesi planlanmıştır.

2010 yılında Hyundai/Rotem firması ile ortak üretim çerçevesinde Marmaray Projesi için 275 aracın imalatı, sözleşmeye uygun olarak TÜVASAŞ'ta yapılmaya başlanmıştır. 2011 yılında EUROTREM ile ortak üretim çerçevesinde 144 adet, 2012 yılı içinde 49 adet Marmaray aracı üretimi gerçekleştirilmiştir.

2012 yılında 20 adet K50 yataklı vagon modernizasyonu gerçekleştirilmiştir.

2013 yılında, Bulgaristan Demiryolları için TSI standartlarına uygun olarak imal edilen 30 adet yataklı vagon ihracatı yapılmıştır.

Kuruluş, kurulduğu yıldan bu güne kadar 1784 adet yolcu vagonu imalatı ile 34000 adedin üzerinde yolcu vagonu modernizasyonu ve onarımı yapmıştır.

### **2.3.2.1.3 Türkiye Demiryolu Makinaları Sanayii A.Ş. (TÜDEMSAŞ)**

TÜDEMSAŞ, başlangıçta TCDD işletmesinin kullanmakta olduğu buharlı lokomotif ve yük vagonlarının onarımını yapmak üzere, 1939 yılında, TCDD'nin kullanmakta olduğu buharlı lokomotif ve yük vagonlarının onarımını yapmak gayesi ile "Sivas Cer Atelyesi" adı altında işletmeye açılmıştır. Demiryolu ulaşımındaki gelişmeler ve yurt ekonomisinin ihtiyaçları doğrultusunda bina, tezgâh ve tesis bakımından geliştirilerek onarım işleri yanında, 1953 yılından itibaren yük vagonu yapımına başlamış ve 1958 yılında da adı "Sivas Demiryolu Fabrikaları" olarak değiştirilmiştir. 01.09.1972 tarihinde 440 sayılı Kanunun amacına uygun olarak 200 Milyon TL. sermayeli TCDD Genel Müdürlüğü'ne bağlı "Sivas Demiryolu Makinaları Sanayii Müessesesi" adı ile müessese haline getirilmiş ve müessese statüsü 01.04.1975 tarihinden itibaren uygulamaya başlanmıştır. Sermayesi Ekim 1976 tarihinde 600 milyon TL, 1983 yılında da 7 milyar TL'ye çıkartılmıştır. SİDEMAS Müessesesi, 28.3.1986 tarihinde Bakanlar Kurulunun 86/10527 sayılı kararı ile "Türkiye Demiryolu Makinaları Sanayii A.Ş." unvanı ile TCDD Genel Müdürlüğü'nün bağlı ortaklığı olarak teşkilatlandırılmıştır.

31.12.2012 tarihi itibarıyla 80 milyon TL sermayesi bulunan TÜDEMSAŞ'ın yüzde 99.99'u TCDD'ye yüzde 0,002 oranındaki payları sırası ile Türkiye Gemi San.A.Ş., TDÇİ Genel Müdürlüğü ve Asil Çelik San. Ve Tic. A.Ş.'ye aittir.

Kurulu bulunduğu, 418.000 m<sup>2</sup>'lik toplam alanı, 100.000 m<sup>2</sup>'lik kapalı alanı, yaklaşık 1500 uzman personeli ile Ortadoğu ve Balkanlar'ın en güçlü sanayi kuruluşlarından biri

olan TÜDEMSAŞ, ulusal demiryolu sektörünün faaliyet alanına giren ihtiyaçlarını karşıladığı gibi yurtdışına da yük vagonu ve yedek parçaları ile sanayi ürünleri ihraç etmektedir.

1986 yılından itibaren buharlı lokomotif onarımına son verilmiş, işin yapıldığı tesisler yük vagonu üretimi yapılacak şekilde yeniden düzenlenmiştir. Şirket halen UIC standartlarına uygun bojlili ve iki dingilli yük vagonu yapımı ve bu vagonların her türlü onarımları ve periyodik bakımlarını gerçekleştirmektedir. 2002 yılında ISO9001 Kalite Güvence Belgesi alınmıştır. 2003 yılında ISO9001:2000 Kalite Yönetim Sistemi Belgesini alan ilk şirketlerden biri olmuştur. 2002 ve 2003 yıllarında ilk vagon ihracâtı gerçekleştirilmiştir. Yabancı bir vagon üretim firması ile ortak vagon üretimi ve işbirliği kapsamında görüşmeler sürdürülmektedir. 160 km/h hıza sahip boji projesi üzerinde araştırm ve geliştirme faaliyetleri başlatılmıştır. Bu ana kalemlerin yanı sıra özel sektör, bağlı ortaklıklar ve TCDD'nin yurdun dört bir yanında yer alan tüm servis ve bölgelerinde tamir edilen çeken ve çekilen araçları için; tampon, yaprak susta, fren silindiri gibi demiryollarında kullanılan birçok yedek parça imalatı yapılmaktadır.

#### **2.3.2.1.4 İstanbul Ulaşım A.Ş.**

Kuruluş, asli faaliyetlerinin icrası esnasında, çok çeşitli araç filosu sayesinde edindiği bilgi, tecrübe ve mühendislik altyapısını kullanarak, Avrupa standartlarına uygun, güvenilir, ekonomik, teknolojik ,yerel işletme ve yolculuk karakterine uygun, başta İstanbul olmak üzere, Türkiye'nin şehir içi raylı sistem araç ihtiyacını karşılamak için 2000 yılından başlayarak, aynı zamanda devletin başlatmış olduğu demiryolu hamlesine istinaden, RTE Projesi kapsamında raylı sistem araçları üretmek üzere prototip çalışmaları yapmıştır. Bu kapsamda mühendisliği kendisine ait olmak üzere, yurtiçi birçok firmaya imalatlar yaptırarak, Türkiye'nin ilk "Seri Üretim Yerli Tramvayının" imalatına başlamıştır.

Raylı sistemlere ve taşıtlara ait donanım ve parçaların yerlileştirme projeleriyle başlayan ve gelişen ARGE faaliyetleri Türkiye'nin ilk tramvay projesi olan RTE 2000 projesi ile devam etmiştir. ARGE tasarım kapasitesini, bilgi-birikimini ve teknolojik altyapısını gerçekleştirdiği "Yerli Tramvay" projeleri ve sürekli geliştirme konsepti ile daha ileri bir düzeye taşımıştır.

Yerli araç tasarlama ve üretme fikri çerçevesinde insan ve altyapı yatırımlarını arttıran İstanbul Ulaşım, bu süreç içerisinde ürettiği prototip veya araçlar ile bu sahada yapabilirlik konusunda güven kazanmıştır.

Yerli Araç Projesi teknolojik bağımlılığa dur diyecek bir projedir. İstanbul kendi araç ihtiyacını karşılayabilme gücüne sahip olacaktır. Daha ekonomik araç sağlanabilecektir. İstanbulun taleplerine en uygun araç temin edilecektir. Demiryolu teknolojilerinde bilgi ve tecrübeyi daha üst boyutlara taşıyacaktır. Raylı taşıtların ihtiyacı olan uzman personel yetişecektir. Güçlü bir demiryolu yan sanayii oluşacaktır. Bu proje ile İstanbul Ulaşım A.Ş., üretici marka değeri olan, sadece teknolojiyi kullanan değil üreten bir firma olacaktır. Şekil 2.5'te RTE 2000 (soldaki) ve RTE 2009 (sağdaki) tramvay araçları gösterilmiştir.

### Şekil 2.5: Türkiye'nin ilk yerli tramvayları



*Kaynak:* İstanbul Ulaşım A.Ş., Yerli Tramvay Proje Koordinatörlüğü, Ocak 2013.

Türkiye'nin ilk yerli tramvay aracı olma özelliği taşıyan RTE2000 modelinin üretimi ile başlayan yerli tramvay projeleri, bugüne kadar gelişerek ve büyüyerek devam etmiş ve bu süreçte yetişen uzman ve yetkin insan kaynağı ile işletmenin, bakım birimlerinin ve yolcuların ihtiyaç ve beklentileri de analiz edilerek araç tasarımlarına aktarılmış, RTE2004 ve RTE2009 tramvay prototip modelleri üretilmiştir. Hem işletme hizmeti hem de teknik hizmet veren İstanbul Ulaşım tarafından elde edilen bu geniş tecrübe, yeni ürün tasarımlarında kendisine büyük bir avantaj sağlamaktadır.

Birinci aşama olarak, Şekil 2.4'te görülen RTE 2000 tramvay aracı, yeni gövde tasarımı ve imalatı, araç mühendislik analizleri, araç yükleme test ve ölçümleri, yeni bogie frame imalatı, yeni aks teker set, yeni pantograf imalatı, yerli üretim kapılar ve pnömatik

sistem kurulumu yapılarak, yüzde 60 daha ucuz imal edilmiştir. İşletme şartlarında 300 bin km'nin üzerinde mesafe kat etmiştir.

İkinci aşama olarak, RTE 2004 tramvay aracı, artırılmış yerli teknoloji oranı ile geliştirilmiş ve iyileştirilmiş gövde, yeni bogie dizaynı ve imalatı, yeni elektrik güç sistemi entegrasyonu, farklı ekipman konfigürasyonu, yeni tahrik sistemi entegrasyonu, yeni araç kontrol bilgisayarı, araç kontrol sistemi tasarımı, yeni fren sistemi tasarımı, iyileştirilmiş kapı sistemi, yeni araç iç tasarımı ve imalatı ve saha tip testleri yapılarak imal edilmiştir. Bu projede üniversitelerle işbirliği yapılmış, geniş yerli tedarikçi ağı ile çalışılmış ve yüksek oranda yerli üretim ve teknoloji kullanılmıştır. RTE 2004 aracı hatta verilmemekle beraber İstanbul Ulaşım A.Ş. bünyesinde özellikle araç kontrol yazılımı ve diğer araştırma geliştirme çalışmalarında test aracı olarak kullanılmaktadır.

Üçüncü aşama olarak, Şekil 2.5'te görülen RTE 2009 tramvay aracı, endüstriyel tasarım ile yenilenmiş araç iç ve dış görsel tasarımı, yeni bilgilendirme sistemleri, yeni fren ve cer sistemi, failsafe PLC kurulumu ile daha güvenli araç kontrol ve elektrik güç sistemi kullanılarak imal edilmiştir.

Dördüncü aşama olarak, Şekil 2.6'da görülen seri üretime hazır modern ve son teknoloji yerli tramvay aracı olan RTE-T4, Yerli Tramvay Proje Koordinatörlüğü tarafından tasarlanan ve imal edilen yüksek tabanlı tramvay aracıdır. RTE-T4 araçları, tasarımı, mühendislik ve işçiliği kendisine ait olan İstanbul Ulaşım A.Ş. tesislerinde, 18 adetlik seri imalat aşamasının ilki olan iki adet seri prototip aracının üretimi ile başlamıştır. Avrupa standartlarına uygun olarak üretilen bu araçların test ve belgelendirme işleri tamamlandıktan sonra Ocak 2014'te yine İstanbul Ulaşım A.Ş.'nin işlettiği T4 hattında seferlerine başlaması planlanmaktadır. RTE Yerli Tramvay Projesi kapsamında 2 adet seri araç prototipinin üretilmesi ile Türkiye'de bir ilk olarak seri üretimin yolu açılmış olmaktadır.

## Şekil 2.6: Yeni nesil yerli tramvay



*Kaynak:* İstanbul Ulaşım A.Ş., Yerli Tramvay Proje Koordinatörlüğü, Ocak 2013.

RTE-T4 yerli tramvay araçları, en önemli özelliği olan seri üretime hazır bir araç olmasının yanında, yenilenmiş görsel ve endüstriyel bir tasarıma, estetik ve kente uyumlu bir görünüme, yeni tasarlanmış gövde ve bogilere, son teknoloji tahrik sistemine, yeni araç bilgisayarı ve kontrol yazılımına, son teknoloji fren sistemine, modern yolcu kapıları, özgün ve estetik iç tasarıma sahiptir.

RTE-T4 yerli tramvay araçları, artırılmış yerli ekipman oranı ile geniş yerli yan sanayi katılımı sağlayan, düşük enerji tüketimine sahip çevre dostu araçlardır.

Yerli tramvay üretim projesinin temel hedefleri aşağıdaki şekilde tanımlanmaktadır:

- a. Raylı sistemlerde teknolojik yetkinlik kazanarak yurtdışına bağımlılığı azaltmak
- b. İstanbul kendi araç ihtiyacını karşılamak
- c. Daha ekonomik araç sağlamak
- d. İstanbul'un taleplerine ve profiline en uygun aracın üretmek
- e. Demiryolu sektörünün ihtiyacı olan nitelikli ve uzman insan kaynağını yetiştirmek
- f. Akademik ve bilimsel çalışmalar ile demiryolu teknolojilerinde bilgi ve tecrübeyi geliştirmek
- g. Güçlü bir yerli demiryolu yan sanayi ve tedarikçi zinciri oluşturmak
- h. Araç üretici kimliğine sahip bir firma olarak yüksek marka değeri kazanmak

### 2.3.2.1.5 TCDD İştiraki EUROTEM

ROTEM ve yerli ortağı ASAŞ firması ile 14.07.2004 tarihinde Ortak İşbirliği görüşmelerine başlanmıştır. 10 Aralık 2004 tarihinde Devlet Planlama Teşkilatı kanalıyla Yüksek Planlama Kurulundan talep edilen iştirak kurma izni, 30 Ocak 2006 tarih ve 2006/T-4 sayılı YPK kararı ile alınmıştır. Alınan YPK iznini müteakip EMU, LRV ve hızlı tren setleri üretimi ile bunların bakım, onarım ve satış sonrası hizmetlerini verecek olan şirket kuruluşu için 08 Mart 2006 tarihinde şirket ortakları Ortak İşbirliği Anlaşmasını imzalayarak şirket kurma çalışmaları başlatılmıştır. 04 Temmuz 2006 tarihinde ise EUROTEM Demiryolu Araçları Sanayi ve Ticaret A. Ş. resmen kurulmuştur. Yüzde 15'i TCDD'ye, yüzde 34'ü ASAŞ ve HACO firmalarına ait yerli hisse yanında yüzde 51 hissesi ise Güney Koreli Rotem firmasına aittir. 30 bin m<sup>2</sup> alan üzerinde kurulan ve yaklaşık 10.000 m<sup>2</sup> kapalı alana sahip olan tesislerde, vagon giydirme atölyeleri, fren ve alt tesisat montaj hatları, yağmurlama test ünitesi ile vagon transfer araçlarından ve diğer üniteler bulunmaktadır.

Tesislerinde İstanbul Büyükşehir Belediyesi'ne 92 vagonluk metro aracı imal edilmiştir. Ayrıca TCDD için üretilen E23000 tipi tren setlerinin ilk 7'si Güney Kore'de geri kalan 25 set ise Adapazarı'nda üretilmiştir.

EUROTEM, Hyundai Rotem lisansı ile Türk Devlet Demiryolları için 84 adet dizel tren setlerini ve Sincan - Kayaş hattında kullanacağı 96 adet elektrikli tren setleri imal etmiştir. 30 Ocak 2009 tarihinde, İstanbul Metrosu için EUROTEM tarafından imal edilen ilk 8 tren hizmete girmiştir. EUROTEM toplam maliyeti 127.000.000 \$ olan, M2 hattı için 92 yeni vagon toplam imal ederk 2008 yılında teslim etmiştir. EUROTEM 29 Ekim 2013'te açılması planlanan Marmaray Projesi için 440 EMU aracı imalatını TÜVASAŞ ve EUROTEM'in Adapazarı'ndaki fabrikasında gerçekleştirilmiştir.



### **2.3.2.2 Özel Sektör Raylı Sistem Araç İmalatçıları**

#### **2.3.2.2.1 Durmazlar Makina San ve Tic A.Ş.**

Durmazlar Makina San ve Tic A.Ş. tesislerinde yüksek performans sac işleme makineleri üretilmektedir.

1956 yılında kurulan Durmazlar Makine, ilk olarak kollu makas ile üretimine başlamıştır. 1974 yılında, ilk modern fabrika 6000m<sup>2</sup> kapalı alana kurularak, 1976 yılında ilk ihracat Almanya'ya gerçekleştirilmiştir. 1978 yılında ilk motorlu makas, 1980 yılında ilk hidrolik apkant makas, 1989 yılında ilk CNC hidrolik apkant pres makinesi üretilmiştir. 1998'de ilk hidrolik punch pres üretildi.

200 yılında, Başköy fabrikası 20.000m<sup>2</sup> alanda, 2001 yılında, Ataevler Merkez Fabrikası 60.000 m<sup>2</sup> alanda üretime başlamıştır. 2005 yılında Lazer fabrikası kurularak lazer kesme makinelerinin üretimine başlanmıştır.

2009 yılında TBMM tarafından Onur Ödülü'ne layık görülmüş, 2010 yılında Türkiye makine sektörünün ilk AR-GE Merkezi ve Uludağ Üniversitesi Ali Durmaz Makine Mühendisliği Fakültesi kurulmuştur.

Yerli makina imalat ve ihracatında önemli bir yeri sahip olan Durmazlar Makina, 1994 yılında CE sertifikasını, 1998 yılında ISO 9001 sertifikasını ve 2000 yılında Durma markasının patentini almıştır.

Raylı sistem araçlarının yerli olarak üretilmesi için Bursa Büyükşehir Belediyesi'nin danışmanlığında BURULAŞ tarafından işletilen 13 duraklı 6,5 km'lik ring hattında çalışması planlanan İpekböceği tramvay aracını üretmiştir.

#### **2.3.2.2.2 Raitur Vagon Endüstrisi Taşımacılık ve San. Tic. A.Ş.**

Raitur, 2003 yılında TULOMSAŞ'la birlikte Savunma Bakanlığı için sarnıç vagonu üretimi gerçekleştirmiştir.

2006 yılında yük vagonu ve yedek parça üretimine başlamak üzere Türkiye'nin ilk ve tek özel vagon üretim fabrikası olan Raitur Vagon Endüstrisi Taşımacılık ve San. Tic. A.Ş. Kayseride kurulmuştur. Tamamen kendine özgün ve modern tasarımıyla üretimine

başladığı 70 m<sup>3</sup> 'luk prototip sarnıçlı vagon UIC standartlarına ve Avrupa Demiryolu Araştırma Enstitüsü teknik raporlarına göre İstanbul Teknik Üniversitesi ve Yurt dışı firmaları tarafından yapılan testlerden başarıyla geçmiştir. Türkiyedeilgili standartlara göre teste tabii tutulan 3 vagon arasından en yüksek performans gösteren vagon olma kimliğini kazanmıştır. 20.03.2006 tarihinden itibaren üretime Sarnıçlı Vagon imalatı ile başlanmış olup yeni vagon tasarım projeleri ve testleri devam etmektedir.

İstanbul Ulaşım A.Ş.tarafından üretilen RTE-T4 seri üretim yerli tramvay araçları için motorlu ve taşıyıcı bogi yapmaktadır.

#### **2.3.2.2.3 Özbir Ltd. Şti.**

Özbir Araç Makina İmalat ve Yenileme firması 2006 yılında Adapazarı ili Arifiye ilçesinde kurulmuştur. Mevcut fabrikanın 8500m<sup>2</sup> açık alan 2500m<sup>2</sup> kapalı alanı içeren tesislerinde özellikle, demiryollarında çeken ve çekilen araçların bakımı, onarımı ile beraber parça, ekipman imalatı yapılmaktadır. Firma imalatlarını EN 15085 standardına uygun olarak yapmaktadır.

İstanbul Ulaşım A.Ş.'nin ürettiği 18 adet yüksek tabanlı tramvay aracınının 16 adedinin elektrifikasyonu kapsamında montaj işlemlerini gerçekleştirmektedir.

Faaliyet konuları genel olarak, yolcu vagonu, K11 vagonu, motorlu tren, elektrikli tren, tünel aracı yeni imalat, vagon izolasyonu, elektrik dolabı, aydınlatma armatürü, kablo kanalı imalatı, transporter, akü sandığı imalatıdır.

#### **2.3.2.2.4 Sakarya Vagon Sanayi A.Ş.**

Türkiye'deki demiryolu sektörünün oluşturduğu yan sanayi kuruluşlarından olan Sakarya Vagon Sanayi A.Ş.'nin En önemli faaliyet konusu vagon imalatıdır.

SKW-30 siklonlu tip kumlama ünitesinde, vagon imalatlarında veya bakım-onarımlarında boyaya hazırlık aşamalarını gerçekleştirilmektedir.

DSSV-30 boyama ünitesinde, vagon imalatlarında veya bakım-onarımlarında boyama aşamasını gerçekleştirilmektedir.

İmalat ve onarım atölyesinde, komponent montajı, elektrik sistem montajı ve ölçümleri, fren sistemi, iklimlendirme sistemi imalatları yapılmaktadır.

Boji imalat atölyesinde, Uluslararası TSI, UIC ve EN15085 standartlarına uygun sertifikalı Y32 tip boji imalatı yapılmaktadır.

Kalite kontrol ünitesinde, hem boji, hem vagon için gözle ve teknik donanımla kontroller yapılmaktadır. vagon imalatı sonrasında önemli yeri olan vagon yağmurlama testi, vagon di elektrik ve topraklama testi, iklimlendirme testi, fren testi, kapı testi ve sıhhi tesisatleri yapılmaktadır.

#### **2.3.2.2.5 Vako Vagon Konteyner A.Ş.**

VA-KO Vagon Konteyner Makina Mühendislik Proje Sanayi Ve Ticaret Limited Şirketi adı altında 08.05.2007 tarihinde kurulmuştur. İmalatı tamamlanan vagonlar her türlü test ve deneme çalışmalarından geçirildikten sonra TCDD tarafından gerekli onaylar verilerek 04.11.2010 tarihi itibarıyla VA-KO özel sektör olarak ilk vagon imalatçısı firma olarak onaylanmıştır. 22,5 ton dingil basıncı ve 120 km/h hız rejimine uygun boji ve iki dingilli yük vagonu imalatı gerçekleştirilmektedir. Firma, demiryolu deneyimine sahip teknik ekibiyle UIC, RIV ve RID standartlarında değişik tiplerde yük vagonu imalatı ile her tip yük vagonlarının bakım-onarım ve revizyon ile yolcu vagonu revizyon ve modernizasyonu hizmetlerini de sunmaktadır.

#### **2.3.2.2.6 Bozankaya A.Ş.**

1989'da "Bozankaya Mühendislik" olarak hizmet vermeye başlayan Bozankaya A.Ş., uluslararası bir araç üreticisi olarak birçok markanın çözüm ortağıdır.

Avrupa ve Türkiye'de faaliyetlerini yürütmekte olan firma, otobüs ve raylı sistem araçları üretiminde en kritik nokta olan fikstür ve kalıp teknolojilerini üretmektedir.

Bozankaya, Ankara ve Almanya'da kurulu fabrikalarında dünyanın en önde gelen raylı sistem üreticilerine paslanmaz çelik ve alüminyum tramvay gövde ve alt parça üretimi yapmaktadır. Aynı zamanda raylı sistem yatırım ve üretimlerinin ülkemizde gelişmesine yardımcı olmak için üretim ve plan aşamalarında olan yerli üretim tramvay projelerinin kritik aşamalarında yer almaktadır.

Firma, yıllardır elde ettiği tecrube ve know-how ile ülkemizde yerli kaynaklar kullanılarak, ticari ürün olarak üretimi henüz gerçekleştirilememiş olan hafif raylı sistem aracının ulusal ve uluslararası ihtiyaçlar gözetilerek, uluslararası onaylı kuruluşlar tarafından sertifikalandırılacak şekilde tasarlanması ve üretilmesi için çalışmalarını devam ettirmektedir.

#### **2.3.2.2.7 Esray**

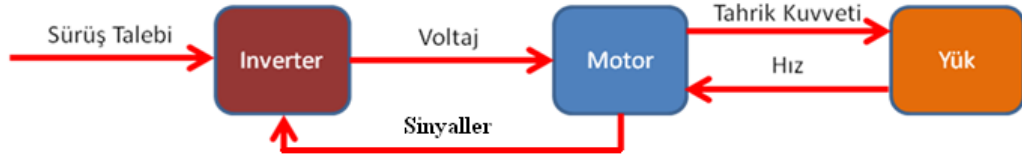
Türkiye'deki demiryolu sektörünün oluşturduğu yan sanayi kuruluşlarından. En önemli faaliyet konusu vagon imalatı olmakla beraber, Eskişehir'de kurulu bulunan Esray Makine Otomotiv İnşaat Sanayi Ticaret A.Ş., demiryolu vagon hat konteynerleri, demiryolu boji, demiryolu vagon şasesi imalatı yapmaktadır.

### 3. CER MOTOR TEKNOLOJİLERİ

Bu bölümde raylı sistem uygulamalarında kullanılan cer motor teknolojileri olarak DC motor, ASM ve SMSM'ler anlatılacaktır. Motor türlerine göre manyetik alanlarının ve yapılarının ve davranışlarının bilinmesi gerekir.

Şekil 3.1'de görüldüğü gibi cer sisteminde önemli bir yere sahip olan cer motorunda üretilen tork, teker-ray arayüzünde doğrusal kuvvete çevrilir. Bu hareket aracın dinamik olarak hızlanmasını ve yavaşlamasını sağlar. Buna cer performansı denir.

**Şekil 3.1: Cer motorunun cer sistemi içindeki yeri**

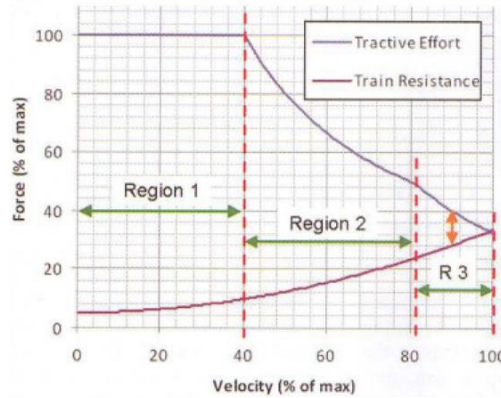


*Kaynak: İstanbul Ulaşım A.Ş., Yerli Tramvay Proje Koordinatörlüğü, Ocak 2013.*

Tüm motor tiplerinde tork iki manyetik alanın birbirini etkilemesi ile üretilir. Bu manyetik alan sargılarından veya sürekli mıknatıslardan geçen akım tarafından üretilir. İki manyetik alan arasında ideal olarak 90° açı olması gerekmektedir.

Şekil 3.2'de bir motorda cer performansı eğrisi, aracın atalat eğrisi ile birlikte gösterilmiştir.

**Şekil 3.2: Cer performansı- Hız eğrisi**



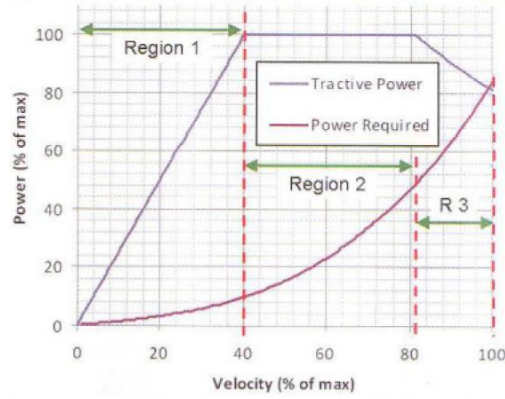
*Kaynak: İstanbul Ulaşım A.Ş., Atölye Müdürlüğü, Ocak 2013.*

Cer motorları genel olarak özel amaçları karşılamak için tasarlanırlar. Cer motorları sıfır hızda talep edilen tam torku üretmeli ve bu torku cer performans eğrisinin birinci bölgesindeki temel hıza kadar sürdürmelidir. Bu hızın üzerinde motor üretebileceği en yüksek çıkış gücü ile çalışır. Bundan dolayı ikinci bölgede cer performansı V hızı ile ters orantılıdır. Üçüncü bölgede ise motorun fiziksel limitlerinden dolayı cer performansı hızın karesi ile ters orantılıdır.

Cer performans eğrisi ile aracın ihtiyacı olan güç eğrisi denge hızında kesişir ki, bu hız aracın teorik olarak maksimum hızıdır. Bu hıza yakın hızlarda, aracı hızlandırmak için, grafikte kırmızı okla gösterildiği gibi sadece çok küçük miktarlarda cer performansı mevcuttur.

Şekil 3.3'te ise cer sistemi tarafından üretilen güç, hız ve cer performansının sonucu olarak ortaya çıkan talep edilen cer gücü eğrisi gösterilmiştir.

**Şekil 3.3: Cer gücü-hız eğrisi**



*Kaynak:* İstanbul Ulaşım A.Ş., Atölye Müdürlüğü, Ocak 2013.

Düşük hızlarda motor teker ile ray arasında sürtünmeden dolayı, teorik olarak tekere iletilenden daha fazla güç sağlar. Buna rağmen, normal kabul edilen seviyenin üzerinde motorun aşırı yüklenmesine sebep olabilir.

Günümüzde, doğru akım motorları, sincap kafesli asenkron motorlar ve sabit mıknatıslı senkron motorlar, yumuşak yol verme denilen invertör kontrollü sistemlerle tarafından düşük hızlardaki aşırı yük durumunu yönetebilmektedir.

Elektrik motorlarının yapıları, motorun gücüne, gerilimine ve devir sayısına bağlıdır. Bu üç parametrenin kendi içlerinde farklı değerleri olduğundan yapıları da bu değerlere göre değişir. Gerilimi aynı, güçleri farklı olan motorlarda akım değerlerinin farklı olması nedeniyle tasarım açısından büyük fark vardır. Güç ve gerilimler eşit olsa bile devir sayısındaki değişimler nedeniyle yapısal farklılıklar vardır.

Cer motoru çeşitleri; Serbest uyarımlı doğru akım motorları, Sincap kafesli asenkron motorlar, Sabit mıknatıslı senkron motorlar

### **3.1 DOĞRU AKIM MOTORLARI**

Konvansiyonel doğru akım motoru duran ve dönen kısımdan oluşur. Duran kısım stator olup, karkas ve üzerine yerleştirilmiş ana ve yardımcı kutuplardan meydana gelir. Ana kutuplar üzerine doğru akımla beslenen uyarma sargıları yerleştirilmiştir. Dönen kısım ise, rotor (endüvi) çekirdeği ve bunun üzerindeki sargılar ile, kollektörden oluşur. Fırçaları taşıyan fırça tutucuları ise yataklar üzerine yerleştirilmişlerdir.

Doğru akım motorlarına uygulanan DC gerilim kollektör ve fırçalar yardımı ile alternatif gerilime çevrilir. DC cer motorlarında stator alanın N ve S kutupları daima aynı yönde yerleştirilir. Buna karşılık rotor sargıları ise komutatör hareketine elektriksel olarak 90°açı ile konumlandırılır. Sargıları ayrı olarak tahrik edilen motorda rotor ve stator sargıları bağımsız olarak kontrol edilir.

#### **3.1.1 Statorun Yapısı**

Stator; motorun, gövde, ana kutuplar ve yardımcı kutuplardan oluşan, hareket etmeyen kısmıdır.

**Gövde**, motorun dış etkenlerden korunmasını sağlayan ve sargılarının soğutulmasını sağlayan en dış kısmıdır. Soğutmaya katkıda bulunduğu için ısı iletim katsayısının büyük olması gerekmektedir. Motorun ana parçalarından olması, motorun ağırlığı ve kapladığı hacim, boyutsal olarak tasarımı etkilemektedir. Aynı zamanda . Gövdeyi oluşturacak malzemenin manyetik, boyut ve ağırlık özellikleri göz önünde tutulmaktadır.

**Stator boyunduruğu**, motorun ana kutuplarını ve yardımcı kutuplarını içerir. Motorun manyetik devresinin gövde ile kutuplar arasında kalan parçasıdır. Kutuplarda üretilen akımın manyetik devresini kapaması için kullandığı yoldur. Böylece iki kutbu birbirine manyetik olarak bağlar. Stator boyutlandırılırken, kutupta üretilen akımın toplam değerinin yarısına göre hesap yapılır. Çünkü manyetik akı kutbu terk ettikten sonra iki eşit parçaya ayrılır. Fakat bunların bir kısmı devresini iki kutup arasındaki geniş hava aralığına geçip, diğer kutup üzerinden devresini tamamlar. Kutuplar arasında meydana gelen kaçakları hesaba katmak için, değeri *yüzde 15-25* kadar arttırılır. Böylece boyunduruk yüksekliğinin küçük olması ve motorun dış çapının küçülmesi, ağırlığını azalması sağlanır.

### 3.1.2 Kutuplar

Doğru akım motorlarında ana ve yardımcı kutup olarak iki çeşit kutup bulunur. Ana kutuplar, kutup sargılarının yardımıyla motorun içinde gerekli olan manyetik alanı meydana getirirler. Yardımcı kutup, yük altında çalışan motorda endüvi reaksiyonunun kutup akısı üzerinde meydana getirdiği bozucu etkiyi yok etmek için kullanılır.

**Ana kutup**, doğrudan statorun gövdesine monte edilir. Uyarma sargısı olarak da anılan ana kutup, kutup sargılarının monte edildiği kutup gövdesi ve kutup ayağından oluşmaktadır.

Stator boyunduruğunda, ana sargı üzerinden akan doğru akım ile oluşan manyetik akı zamana göre değişmediğinden, bu parçada Fuko ve Histerizis kayıpları meydana gelmez. Ancak kutup gövdesinin altında rotora bakan tarafta yer alan kutup ayaklarının endüvide endüklenen alternatif akımın meydana getirdiği manyetik alan, hava aralığının küçük olmasından dolayı, kutup ayaklarının içine geçer ve burada demir kayıpları meydana getirir. Bu nedenle kutup ayaklarının yapısı önemlidir. Bu kayıpları azaltmak için bu kısımda, *0,5-1,0 mm* kalınlığında silisyumlu laklanmış saclardan yapılır.

Kutup ayakları kutuplarda üretilen manyetik akımın hava aralığına geçmesini sağlayan ara parçadır. Bir kutup altındaki bölgede hava aralığı akısının sinüs şeklinde dağıtılmasını sağlamak için, kutup ayaklarına özel olarak şekil verilir.



**Yardımcı kutup ve sargısı,** endüvi reaksiyonunun etkisini yok etmek için kullanılır ve statorda iki ana kutup arasına ve gövdeye monte edilir. Montaj yöntemi ana kutuplardaki gibidir. Endüvi akımının oluşturduğu manyetik alanın bir kısmı yardımcı kutup ayaklarından geçer ve fuko akımları endüklenir. Bu akımların yardımcı kutupta meydana getireceği demir kaybını azaltmak amacıyla sac paket olarak imal edilir. Yardımcı kutupların yerleştirildikleri geometrik nötr ekseninde endüvi sargısına seri bağlandıklarından endüvi akımında oluşabilecek değişikliklerde manyetik doymaya girmemelidir. Bu nedenle yardımcı kutbun endüvi ile arasındaki hava aralığı ana kutup altındaki hava aralığından yüzde 20-50 kadar büyük yapılır. Yardımcı kutupların doymaması ve değişen yük koşullarında gerekli ters amper-sarımı üreterek endüvi alanının bozucu etkisini yok etmesi veya küçültmesi gerekir.

**Kutup Sargısı,** stator boyunduruğuna yerleştirilen ana kutuplarda kullanılan sargılar motorun türüne göre değişir. Akımın meydana getirdiği Joule kayıpları sonucunda oluşan ısı enerjisinin motordan dışarıya atılması değişik yapısal tedbirler gerektirir. Bunun yanı sıra iletken kesitinin büyüklüğü ve kullanılması gereken sarım sayısı için, kısıtlı miktardaki hacimde, sargıyı yerleştirmek gerekmektedir.

Kutup sargılarının yeterince soğutulmasını sağlamak için bobinlerin kalınlıkları *4-5cm* yapılır. Bu kalınlığın aşılması halinde bobinler gruplara ayrılır ve aralarında hava aralığı bırakılır.

Motorun soğutma şekli radyal veya aksiyal olmasına göre, kutup sargılarının yerleşimi değişiklik göstermektedir. Bobin grupları arasında bırakılan hava aralıkları makineye bir uçtan girip, mil eksenini boyunca diğer uçtan çıkan havanın gerek manyetik devreden ve gerekse kutup sargılarının arasından geçmesi ile soğutulur.

**Kompanzasyon Sargısı,** kutup ayaklarının altına açılan oluklara yerleştirilirler. Görevi, geniş kutup ayakları olan motorlarda, endüviden gelen manyetik akımın kutuplara girmesine engel olmaktır. Kullanılan bakır iletken miktarı çok olduğundan motor ağırlığı ve maliyeti artar. Motorun manyetik alanındaki ani değişmelerin endüklenen gerilime etki etmesi sonunda kolektörde meydana gelebilecek kıvılcımların yok edilmesinde de kullanılır.

### 3.1.3 Rotorun Yapısı

DC motorlardaki dönen rotora endüvi denir. Endüvide alternatif akım endüklendiği için üretilen manyetik alan zamana göre değişir ve manyetik devrede demir kayıplarına neden olur. Bu kayıpları azaltmak için endüvinin manyetik devresi  $0,5-1,0mm$  kalınlığında laklanmış sac plakalardan yapılır.

Rotor çapı büyük olması, büyük çapta rotor saclarının kesilmesi ve rotor sac paketinin ağırlığı ve eylemsizlik momentinin aşırı büyümesine neden olmaktadır. Bu durumda rotorun çevresi segman parçalarına bölünerek imal edilir. Küçük çaplı rotorlarda saclar, doğrudan mil üzerine büyük güçlü rotorlarda ise, rotor göbek yıldızı ile bağlanır. Sac segmanların dış çapı rotor dış çapına eşit, iç çapı ise hesaplanan rotor boyunduruk yüksekliği kadar daha küçük yapılıdır. Böylece mil merkezinden itibaren, boyunduruk yüksekliğinin genişliğinde bir sac şerit elde edilir. Bunun ortası boş olduğundan çemberin ağırlığı da azaltılmış olur.

Rotor hızlı döndüğü için, rotor sargıları rotorun yüzeyinde açılan oluklara aksiyal eksen boyunca yerleştirilir. Sargılarda endüklenen alternatif akımın doğru akıma çevrilmesi için mil üzerine monte edilen kolektör-fırça sistemi kullanılır.

**Rotor Olukları**, DC motorlarda verilen rotor dış çap, mil ve oluk ölçülerine göre kesilir. Orta ve büyük güçlü motorlarda açık oluklar kullanılırlar. Endüvi iletkenleri dikdörtgen kesitli ve kalın olduğundan, sargının yerleştirilme işlemi kolay olur. Açık ve yarı açık oluk tiplerinin her ikisinde de oluk genişlikleri sabit olduğundan, hava aralığına yakın yerdeki dış genişliği oluk dibindeki dış genişliğinden büyük olur. Bu nedenle dış dibinde manyetik alan yoğunluğu dış başına göre büyük olur ve bazı işletme koşullarında manyetik doyma tehlikesi ortaya çıkar. Oluk kesitinde kullanılan yumuşak çizgiler bu iletkenlerin yerleştirilmesinde ve aralarında boşluk kalmamasında önemli olur.

**Endüvi Sargıları**, manyetik alanın oluşturulabilmesi için bir bobinden akım geçirilmesi veya tabii mıknatıs kullanılması gerekir. Amper yasasına göre iletken üzerinden geçirilen elektrik akımının oluşturduğu manyetik alan, iletken sayısına ve içinden geçen akıma bağlıdır. Manyetik alanın büyütülmesi için amper-sarım miktarının büyütülmesi gerekir.

Bobinden akım geçmesi durumunda meydana gelen manyetik alan çizgileri, bobini oluşturan iletkenlerde meydana gelen akı çizgilerini oluşturur.

Sarımlardan oluşan bobini stator sac paketine yerleştirmek için çevrede iki adet oluğa ihtiyaç vardır. Üretilen manyetik akı farklı oluklara yerleştirilmiş iki iletken kümesinin yarattığı düzlemin içinde akar. Manyetik akının yönü sağ el kuralı ile bulunur. Üretilen bir akı manyetik devrede akarak kendi devresini bobin düzleminin diğer tarafından tamamlar. Böylece akının aktığı yöne göre bobinde  $N$  ve  $S$  kutupları meydana gelir.

Motorda kullanılacak kutup sayısı statorun çevresine eşit olarak paylaşılır.  $N$  ve  $S$  kutuplarının sayıları eşittir. Kutup sayısı  $2p$  ve stator iç çapı  $D_i$  ise bir kutbun çevrede kaplayacağı uzunluk  $\tau_p = \pi D_i / 2p$  ile hesaplanır. Bobin tarafından üretilen bütün akı kutup adımının içinden geçer. Bir kutup adımı içinde üretilen akı miktarını attırmak için, o bölgede kullanılan bobin sayısını arttırmak ve bobinleri seri bağlamak gerekir. Akının en üst seviyede olması için bir bobinin, bobin yanları ile arasındaki açıklık, ideal olarak kutup adımına eşit olmalıdır. Aksi halde bobinden geçen akı miktarı azalır ve bu da  $emk$ 'in küçülmesine neden olur.

Sargıların tasarlanmasında oluklar arasındaki açılar elektriksel açı olarak verilir. Elektriksel açı ile geometrik açı arasındaki ilişki, kutup çifti sayısı ( $p$ ) ile doğru orantılıdır. Motorun çevresi  $360^\circ$  lik geometrik açı yapar. Eğer motor iki çift kutba çıkartılırsa, bütün çevreye  $N-S$ ,  $N-S$  olmak koşuluyla dört kutup yerleştirilir. Böylece her kutbun kapadığı açı  $90^\circ$  olur.

DC motorlarının endüvisinde, motorun güç ve akım değerlerine göre, oluk şekli ve soğutma göz önünde tutularak, dalgalı veya bükümlü olarak iki silindirik sargı kullanılır. Sargı tasarlanırken paralel kol sayısı belirlenir. Endüvideki paralel kol sayısı fırçanın genişliği ile anlaşılır. Her kutup çiftinde, fırçanın aynı anda tam olarak temas ettiği kolektör sayısının 2 katı kadar paralel kol vardır.

Rotor silindir şeklinde olduğundan iletkenler endüvi oluklarına yerleştirilirler. Endüvinin bittiği her iki uçta iletkenler demiri terk eder, havada kıvrılır ve tekrar endüviye dönüş iletkeni olarak girerler. Cephe bağlantısı iletkenlerinde akan akımın yarattığı manyetik akı demirin içinden geçmediği için gerilim endüklemede kullanılmaz ve kaçak akı olarak bilinir.

Faraday yasası kapsamında sargının uygun olarak yapılabilmesi için kutuplarda üretilen manyetik akının tamamının endüvi çevresinde kesintisiz saran, gidiş ve dönüş iletkenlerinin meydana getirdiği düzlemden geçmesi gerekir. Bu nedenle gidiş ve dönüş iletkeni arasındaki açıklığın kutup genişliğine eşit yapılıp, kutuplarda üretilen akıdan tam yarar sağlanması istenir.

Bir endüvi oluşundaki iki tabakalı sargının her tabakasinda iki bobin yanı veya dikdörtgen iletken olduğu görülmektedir. İletkenler ve bobinler, yan iletkenlerden ve bobin yanlarından ve gövdeden yalıtılır. Sargının yerleştirildiği açık tip oluk olduğundan, bobinler yerleştirildikten sonra oluğun boyun kısmı takozla kapatılarak sargıların merkez-kaç kuvvetle yerlerinden oynamasına engel olunur.

**Kollektör**, endüvi bobin yanlarının bağlandığı, akım ileten, bakırdan yapılmış, silindir biçiminde ve milin üstüne monte edilmiş bir parçadır. Bu yapı birbirinden yalıtılmış ve yan-yana dizilmiş ince bakır kollektör lamellerinden oluşur. Kolektör lamel sayısı bobin-yanı sayısına eşittir. Bobinden gelen akım, bobin-yanı bayrakçık parçasına bağlanarak lamele aktarılır. Lameller rotor hızında döndüğünden, üzerine gelen merkez-kaç kuvveti etkisine karşı korunur.

Birbirini takip eden lameller arasında  $0,4-2,0mm$  arası kalınlığa sahip mika izolasyon malzemesini kullanılır. Fazla kalın olması kolektörün mekanik olarak zayıflamasına neden olur. Ayrıca bu izolasyon yüksekliklerinin lamel yüzeyine kadar yükseltilmemesi ve fırçalarda oluşabilecek kıvılcımların azaltılması için lamel yüzey seviyesinden  $0,5-1,0mm$  daha düşük yapılması gereklidir.

İşletme sırasında lameller üzerinde meydana gelen kıvılcımlar sert elektrolitik bakırdan yapılmış kolektör yüzeyinin aşınmasına ve daha fazla kıvılcım oluşumuna neden olur. Bu nedenle kolektörün durumuna göre, kolektörün sökülüp torna edilmesi gerekir. Lamel kalınlıkları tamirat ve bakım için gereken tornalama payını içerir.

**Fırçalar**, kolektörle akım alışverişi yapan parçalardır. Fırçalar fırça tutuculara, fırça tutucular da fırça taşıyıcılara tespit edilir. Fırçalar makinanın akım şiddetine ve devir sayısına göre seçilir, kollektör yüzeyine basan fırça ile kollektör yüzeyi arasındaki geçiş direncini küçültmek için fırça tutuculara yerleştirilmiş bir yay belirli bir basınçla basar. Bu  $200\text{ gr/cm}^2$  civarındadır. Söz konusu geçiş direncinden dolayı fırçalarda bir gerilim

düşümü meydana gelir. Bu gerilim düşümü kömür fırçalarda 1,6 ile 2V, madeni fırçalarda 0,6 ile 1V civarındadır.

Fırça malzemesi sert karbon, grafit, elektro-grafit dışında metal tozlarının karbona katkısıyla elde edilir. Metal tozları iletkenliği, sertliği artırır, sürtünme kat sayısını azaltır. Sertlik olarak kolektörden daha yumuşak olduğu için, işletmede çabuk aşınırlar. Fırçalardan kopan taneciklerin fırçayı ve kolektör yüzeyini terk etmesi için fırçanın temas yüzeyini arttıran kanallar kullanılır. Bunlar hem taneciklerin ortamı terk etmesine, hem de fırçanın daha etkin soğutulmasına yardımcı olur.

### **3.1.4 DC Motorların Çalışması**

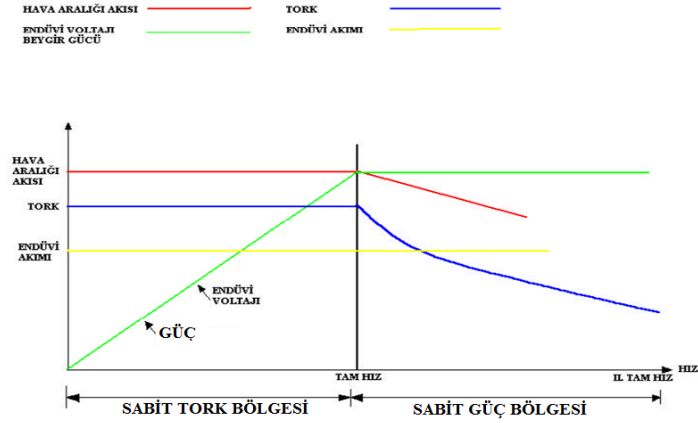
Bir DC motorun tahriği endüvi ve/veya endüktör voltajının değiştirilmesi ile yapılır. Endüktör voltajının değiştirilmesi hız artışına bağlı olarak torkun düşmesine sebep olur. Bunun için DC motorda önemli olan hız kontrolünün endüvi voltajının kontrolü ile yapılmasıdır. Endüvi voltajının değiştirilmesiyle tork sabit iken sıfır hızdan öngörülen hıza çıkabilir.

Motorda önemli olan devir sayısı ve momenttir. Moment motordaki bileşke akı ve endüvi akımı ile doğru orantılıdır.

Şekil 3.4'te DC motorun çalışma karakteristikleri görülmektedir. Endüvi voltajına bağlı olarak hava aralığı akısının sabit kalması durumunda ve hız yükselmesine bağlı olarak torkun değişmediği görülüyor. Eğrinin devamında hızın artmasına binaen hava aralığı akısı düşmekte ve tork da düşmektedir.

Mıknatıslanma karakteristiğinde manyetik doymanın olmadığı lineer bölgede momentin de lineer değişeceği, fakat dirsek bölgesinden sonra değişimin mıknatıslanma karakteristiğinin şekline uyacağı görülmektedir. Momentte meydana gelen bu değişim motorun endüvi akımının şiddetine bağlıdır.

**Şekil 3.4: DC Motor çalışma karakteristiği**



*Kaynak:* TÜLOMSAŞ A.Ş., ElektrikMmakinaleri Fabrika Müdürlüğü, Ocak 2013.

Endüklenen gerilimi devir sayısı ile endüklenen momenti endüvi akımı ile doğru orantılıdır. Motorda moment ve devir sayılarının birbiri ile olan ilişkileri motorun çalışma karakteristiklerini verir.

- Boşta çalışma karakteristiği yükte çalışma karakteristiğinin özel halidir, yani yük akımının sıfır olduğu durumdur. Bu nedenle motor işletmesinde boşta çalışma karakteristiği önemli değildir.

$$n=f(I_f)$$

- Yük karakteristiği boşta karakteristikle kıyaslayınca, gerilim düşümlerinin ve endüvi reaksiyonunun etkilerini gösterir.

$$n=f(I_f)$$

- Dış karakteristik değişen yük koşullarında motorun devir sayısındaki değişimi veren, hız ayarında kullanılan önemli bir eğridir.

$$n=f(M) \text{ veya } n=f(I_a)$$

- Ayar karakteristiği ise değişen yük koşullarında, motorun sabit devir sayısında kalması için uyarma akımının değişimini belirtir.

$$I_f=f(I_a)$$

## **3.2 SABİT MİKNATISLI SENKRON MOTORLAR**

Raylı sistem araçlarında yeni uygulanmaya başlayan sabit mıknatıslı senkron motorlar, yapı itibariyle sincap kafesli asenkron motorlara benzemekte, verimi yüksek, bakım gereksinimi duymayan yeni teknoloji ürünü motorlardır.

Sincap kafesli asenkron motorlara benzer şekilde stator ve rotordan oluşmaktadır. Farklılık rotordan katnaklandığı için sadece rotor incelenmiştir.

### **3.2.1 Rotorun Yapısı**

Sabit mıknatıslı senkron motorları sincap kafesli asenkron motorlardan ayıran en önemli özelliği, asenkron motorların rotorunda bulunan bakır çubuk ve alüminyum dolgu kafesinin yerine kalıcı mıknatısların olmasıdır. Bu mıknatıslar nadir topraktan elde edilen ve uygun teknoloji ile manyetik özelliği kazandırılan doğal mıknatıslardır.

Bunun yanında sincap kafesli asenkron motorlarda olduğu gibi, DC motorların tersine fırça ve kollektör gibi aşınan parçaları bulunmamaktadır.

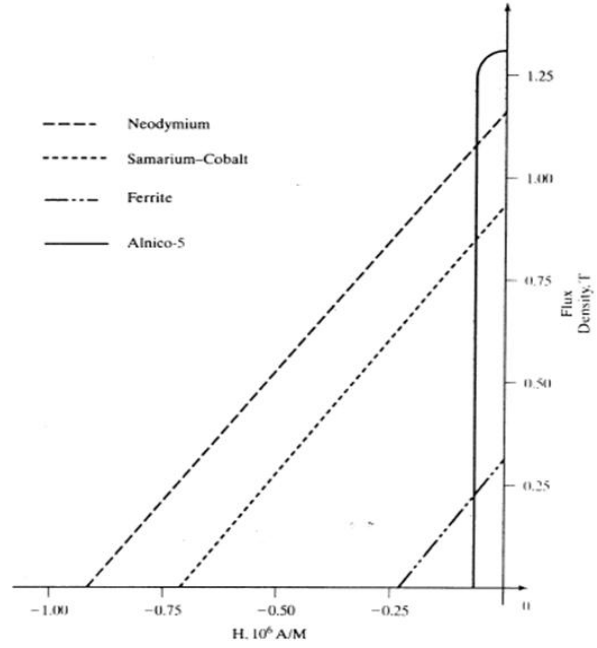
Sabit mıknatıslı senkron (SMSM) motorlar iki kısımda incelenmiştir.

- a. Bunlardan ilki çıkıntı olmayan yüzeye monteli SPM ve çıkıntı iç IPM rotorlar tanımlanan rotor türüdür.
- b. İkinci kategori nispeten stator ve rotorun pozisyonu olarak tanımlanan rotor düzenlemedir.

#### **3.2.1.1 Sabit Mıknatıslar**

1950'lerde elektrikli motor araştırmalarında manyetizmasını kaybetmeyen sert mıknatıs materyaller ortaya konmuştur. Bu malzemeler motorlarda kalıcı mıknatıs olarak kullanılan Alnico-5, Ferritler, Samaryum-cobalt ve Neodimiyum-bor-demir adlı mıknatıslardır. Bu malzemelerin Şekil 3.5'in ikinci çeyreğinde B-H demanyetizasyon özellikleri gösterilir. Mıknatıslar dış uyartımla manyetizedir ve bu nedenle negatif bir manyetik alan gücü ile kullanılması gerekir. Bu B-H karakteristiklerin ikinci ve üçüncü çeyreği içerir. İşlemin üçüncü çeyreğinde bu karşılaşma olağan değildir. Bundan dolayı sadece ikinci çeyrek dikkate alınmıştır.

**Şekil 3.5: SM B-H demanyetizasyon özellikleri**



*Kaynak:* Krishman R., Electric motor drives modeling, analysis, and control. Upper Saddle River, New Jersey 07458 Prentice Hall, 2001.

SMSM genel olarak manyetik akının yönüne göre iki şekilde sınıflandırılabilir:

- Radyal alanı: Akı yönü motorun yarıçapı boyunca ilerler.
- Eksen alanı: Akı yönü rotor şaftına paralel olarak ilerler.

Radyal alan PM motorlar yaygındır, ancak aksiyel alan motorlar daha yüksek güç yoğunluğu ve hızlanma nedeniyle uygulamaları azdır. Bunlar yüksek performanslı uygulamalarda arzu edilen özelliklerdir.

Mıknatıslar rotor üzerinde çeşitli şekillerde yerleştirilebilir. Radyal yönlendirme ile sabit mıknatıs yüzeyine sahip yüksek güç yoğunluklu senkron motorlar genellikle düşük hızlı uygulamalara yöneliktir, oysa iç mıknatıs versiyonu yüksek hızlı uygulamalar için tasarlanmıştır. Sabit mıknatısların montaj şekli ne olursa olsun temel çalışma prensibi aynıdır. Rotor mıknatıslar montaj yönteminin önemli bir sonucu doğrudan ve karesel eksenli endüktans değerleri arasındaki farktır. Rotor manyetik eksenli, doğrudan eksenli ve mıknatısların temel akı yolu olarak adlandırılır. Kalıcı mıknatısların yüksek akı yoğunluğu hava boşluğunun geçirgenliğine bağlıdır. Hava boşluğu miktarı, mıknatısın



kalınlığı belirler. Doğrudan eksen veya mıknatıslar stator sargısı ile hizalanmış olan stator endüktansı doğrudan eksen endüktansı olarak bilinir. 90° derece ile konumlandırılmış mıknatıslar çevirerek, stator akısı rotorun interpolar alanını görür, demir yolunu içeren, bu konumda ölçülen endüktans karesel eksen endüktansı olarak adlandırılır. Doğrudan eksen relüktansı kuadratür eksen relüktansından, doğrudan eksen etkin hava boşluğu kudratür eksen tarafından görülen asıl hava boşluğuna göre birde çok kez olduğu için daha büyüktür.

Bu bobin rotorlu çıkık kutuplu senkron makineye, kudratür-eksen endüktansı her zaman doğrudan eksen endüktansından daha büyük olduğundan oldukça aykırıdır. Kuadratür eksenini büyük bir hava aralığına sahip ise, bobin rotorlu çıkıntı kutuplu senkron makine, doğrudan eksenini, uyarım bobinleri olan, küçük bir hava boşluğu vardır.

Bu düzenleme, en yüksek hava boşluğu akı yoğunluğu sağlar ancak daha düşük yapısal bütünlük ve mekanik sağlamlığın dezavantajı var. Mıknatısların düzenleme ile makineler yüzeye montajlı PMSM'ler olarak bilinir. Genellikle 3000 rpm'dan büyük yüksek hızlı uygulamalar için tercih edilmezler. Makinelerde kuadratür eksen ve doğrudan eksen arasında varyasyon çok azdır (yüzde 10'dan az). Yüzeye montajlı PMSM sürücülerin karakteristikleri, operasyon, ve kontrolü için bu belirgin özel sonuçlara sahiptir.

Bu düzenleme işlemi yüzey montajı yada ilave mıknatıs rotorlardan daha karmaşıktır. Kuadratür ve doğrudan eksenini endüktansı arasındaki oran ilave mıknatıs rotora göre daha yüksek olabilir ancak genel olarak değeri üçü geçmez. Bu tip makine konstrüksiyon genellikle iç PMSM olarak anılır.

İlave mıknatıs konstrüksiyon yüzey ve iç mıknatıs düzenlemelerin hepsinin avantajına sahiptir: sırasıyla, kuadratür ve doğrudan eksen endüktans arasındaki yüksek katsayıyla, daha kolay konstrüksiyon ve mekanik sağlamlık. Rotor üzerinde daha çok mıknatıs düzenlemeleri mümkündür fakat çok nadiren genel endüstriyel uygulamalarda kullanılır. belirgin stator kutup ve belirgin sargısız veya mıknatıslarla stator üzerinde mıknatıslar ve armatür sargıları ile akı ters dönüş makineleri başka olası yapıdadır.

### 3.3 ASENKRON MOTORLAR

Demir yolu taşıtlarındaki cer motorlarının büyük kısmı, sincap kafesli asenkron motorlardır.

Asenkron motorlar iki sargıdan oluşmaktadır. Sargılardan biri manyetik alan oluşturmakta, diğeri dönme hareketini oluşturacak kuvveti üretmektedir. Sabit ve dönen kısım arasında minimum ölçüde hava aralığı bulunmaktadır. Hareketli kısım rotor, sabit kısım statordur. Hem stator hem de rotor dönme hareketinden dolayı dairesel kesitli, birbirine eşit uzunluklu silindir yapıdadırlar. Her iki kısımda dönme hareketini sağlayacak manyetik alanı üreten sargılar yer almaktadır. Rotorun yüksek dönüş hızlarına ulaşması merkez kaç kuvvetinin ortaya çıkmasına neden olur. Bu kuvvetin rotor sargılarını dağıtmaması için sargılar her iki kısımda yer alan oluklara yerleştirilmiştir. Bu sayede hava aralığının sabit kalması sağlanmaktadır. Motorun gövdesi kullanım alanına göre tasarlanmakta ve üretilmektedir.

Asenkron motorlar, rotor yapısına göre bilezikli ve sincap kafesli olarak ikidir. Demiryolu araçlarında sincap kafesli asenkron motor tercih edilir.

3 fazlı ASM'de statordaki döner manyetik alan, rotor kafesinde akım indükler ki, bu akım manyetik alan üretir. Üretilen bu manyetik alan hem hızlanma hem de frenleme torku üretmek için stator manyetik alanıyla birbirlerini karşılıklı etkilerler.

İvmelenme esnasında, rotor dönüş hızı elektronik olarak ayarlanır. Bu dönüş hızı stator döner manyetik alan hızından yavaştır. Fakat frenleme esnasında rotor hızı, statordaki döner manyetik alan hızından daha hızlıdır. Eğer statordaki döner manyetik alan hızı ile rotorun dönüş hızı aynı olursa motorda tork üretilmez. Bu dönüş hızı farkı, kayma frekansı olarak adlandırılır.

$$\text{yüzde kayma} = (N_s - N_b) / N_s \times 100$$

şeklinde ifade edilir.

Artan motor yükünde yüzde kayma artar, azalan motor yükünde yüzde kayma azalır. Genel olarak yüzde 5 civarında bir işletimde kayma karakteristiktir.

Şekil 3.6’da tork hız grafiği görülür. Nominal motor hızında üretilen tork ayrıca senkron hızı olarak adlandırılır ve sıfırdır. Dolayısıyla asenkron motorlar senkron hızından daha düşük hızda tork üreten motorlardır. Sabit bir tork-hız aralığı çalışması için statora uygulanan besleme frekansının değiştirilmesi gerekir. Dolayısıyla motorun kontrolünde değişken frekanslı üç fazlı besleme kaynağı kullanılır.

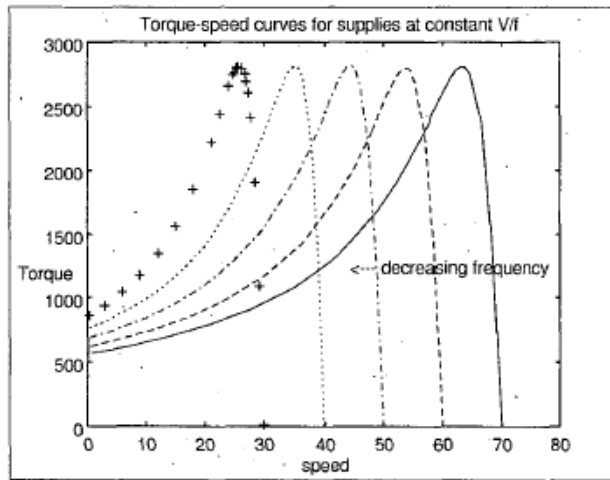
Motordaki senkron hız  $N_s=120 \times f/P$  ile gösterilir.

$N_s$ = rpm’de motorun senkronize hız

$f$ = hertz frekans kaynağı

$P$ = çift kutup sayısı

**Şekil 3.6: Tork – hız eğrisi**



*Kaynak:* İstanbul Ulaşım A.Ş., Atölye Müdürlüğü, Ocak 2013.

Kontrol sistemleri karmaşık olmasına rağmen asenkron motor imal etmek DC motor imal etmekten kolaydır.

Manyetik Devre, stator sargılarının ürettiği manyetik akının dolaştığı yol manyetik devredir. Yapısı silisyumlu olmakla beraber, stator boyunduruğu, iki hava kanalı ve rotor boyunduruğundan oluşmaktadır. Manyetik akı bu yapı içinden geçerek devreyi tamamlar. Manyetik akının aktığı parçaların özellikleri aşağıda anlatılmıştır:

### 3.3.1 Statorun Yapısı

Stator çekirdeği ve stator sargılarından oluşur. Manyetik alanı oluşturan birincil sargılar stator üzerinde yer alır. Şekil 3.7’de asenkron motorun yapısı ve elektiriksel devresi görülmektedir.

**Şekil 3.7: Asenkron motor stator ve rotor görünümü**



*Kaynak:* İstanbul Ulaşım A.Ş., Atölye Müdürlüğü, Ocak 2013.

Manyetik akıyı rotora ulaştırır. Manyetik akının aktığı ferromanyetik alanda demir kayıpları oluşmaktadır. Bu kapsamdaki histeresis ve fuko kayıpları demir yapı üzerinde aşırı ısınmaya neden olacağından kayıpların azaltılması gerekmektedir. Bunun için motorlar, DC motorlarda da konu edilen yalıtılmış, silisyumlu saclarla imal edilir. Sacların yüzeyine uygulanan yalıtım malzemesi 8-25 mikron kalınlığında, 300-350 °C’de fırınlanan lak kaplamasıdır. Sacların imalatında, statorun silindirik yapısını oluşturabilmesi için oluklar ve rotor kısmı boşaltılmış olarak kesilir.

Stator sac paketini soğutmak üzere, ortaya çıkan ısıyı dışarı atmak için soğutma kanalları kullanılmaktadır. Statorun boyunca yerleştirilen hava kanalları manyetik akının akmasına engel olmamaktadır. Sac paketi oluşturulduktan sonra dış etkilerden korunması ve tüm parçaların soğutulması için gövde içine preslenerek yerleştirilir.

Asenkron motorun dönme hareketinde stator ile rotor arasında minimum seviyede hava aralığı bulunmaktadır. Hava aralığının oluşturulması ve korunması rotorun yataklanmasına bağlıdır. Rotor, merkezinden geçirilen mülle, ön ve arka kapaklara sıkı geçme yapılmış rulmanlara yerleştirilir. Kapakların ve milin hassasiyeti hava aralığını etkilemektedir.

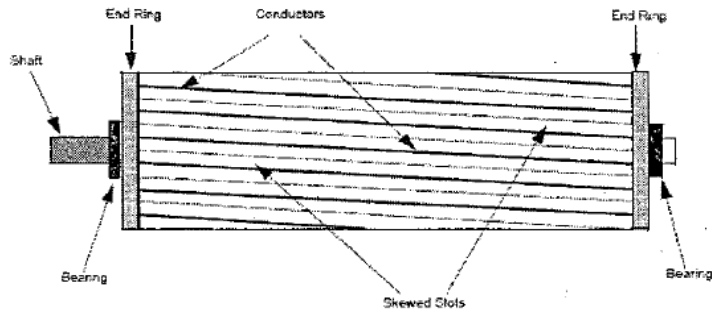
Sincap kafesli motorlarda stator sargılarının bağlantı uçları motor gövdesinde yer alan bağlantı kutusunda yer almaktadır.

### 3.3.2 Rotorun Yapısı

Asenkron motorlarda çoğunlukla uygulanan rotor tipidir sincap kafesli rotordur. Rotorda endüklenen alternatif akımın meydana getirdiği manyetik alan zamana göre değişir. Statorda olduğu gibi rotorda da histerizis ve fuco kayıpları oluşur. Bu kayıplar azaltmak için rotor, statorda olduğu gibi aynı özelliklerde üretilmektedir. Sincap kafesli rotolarda tam kapalı veya yarı-açık oluk kullanılmaktadır. Rotor oluklarından mil dış çapına kadar olan kısımda rotor boyunduruğu yer almaktadır. Normal çalışmada rotorda endüklenen gerilim ve frekans çok küçük olduğundan bu bölgede fazla demir kaybı olmamaktadır.

Şekil 3.8’de yapısı görülen rotorun sac paketinde yer alan oluklar, alüminyum enjeksiyon presi ile erimiş alüminyum basınçla basılarak doldurulmaktadır. Rotor silindrinin ön ve arka kısımlarında iletkenlerin kısa devre halkalarının oluşması sağlanmaktadır. Rotor sargısında endüklenen gerilim ve frekans, stator sargısında endüklenen gerilim ve frekansın yüzde 2-5’i kadar olduğu için iletken ile demir arasında yalıtım malzemesinin konulmasına gerek duyulmamaktadır. İletkenleri yerleştirilen rotora presle mil sıkıca takılmaktadır.

**Şekil 3.8: Rotor yapısı**



*Kaynak:* The Institute of Engineering and Technology, Railway Network, November 2008.

Rotorda bakır iletken de kullanılır. Bakır iletkenler oluklara tek tek yerleştirilmekte, kısa devre halkaları ile kaynaklanarak kısa devre yapılmaktadır. Alüminyum iletkenin kullanılması durumunda imalat süresi ve işçilik azalmaktadır.

Rotorda motorun devir sayısı- moment karakteristiğini istenen değerlere ulaştırmak için, derin oluklar veya alt alta iki oluktan oluşan çift kafes sistemi de kullanılmaktadır. Derin olukta derinlik artırılarak direnç, kaçak reaktans küçültülmektedir. Her iki oluk da kullanılmaktadır.

### **3.3.3 Sargılar**

Sincap kafesli asenkron motorların statorunda alternatif akım sargıları kullanılmaktadır. Sargılar, stator oluklarına iletkenler arası ve faz-gövde arası oluşabilecek kısa devrelere karşı yalıtılarak bağımsız olarak yerleştirilmektedirler. Sargıların yerleştirilmesi motorun çalışma prensibiyle ilgilidir.

Motorun çalışması için manyetik alanın oluşturulması, manyetik alan içine yerleştirilen rotor sargılarında endüksiyon yasasına göre gerilim endüklenmesi, gerilim akıma dönüştürülerek, Biot-Savart yasasına göre kuvvet üretilmesi gerekmektedir.

Manyetik alanın oluşturulması için stator sargısından elektrik akımı geçirmek gerekmektedir. Amper yasasına göre elektrik akımının oluşturduğu manyetik alan, iletken sayısına ve içinden geçen akıma bağlıdır. İletkenler birbirine seri bağlanarak bobin sargısı oluşturulur. Manyetik alanın büyütülmesi için amper-sarım büyütülmelidir.

Sarımlardan oluşan bobin stator sac paketine yerleştirmek için çevrede iki adet oluğa ihtiyaç vardır. Bu oluklardan birinin içine bobinin bir yönde akım taşıyan iletken topluluğu, diğerinin içine ise bobinin ters yönde akım taşıyan iletken topluluğu konur. İletkenler sac paketin aksiyel eksenini boyunca yerleştirilir. Üretilen manyetik akı farklı oluklara yerleştirilen bu iletken grubunun oluşturduğu düzlem içinde akar. Manyetik akının yönü sağ el kuralı ile tespit edilir. Üretilen manyetik akı manyetik devrede akarak kendi devresini bobin düzleminde tamamlar. Bu şekilde akının aktığı yöne göre N ve S kutupları meydana gelir.

## 4. CER MOTORLARININ MUKAYESESİ

Bu bölümde, asenkron motorlar doğru akım motorları ve sabit mıknatıslı senron motorlarla avantaj ve dezavantajları yönünden mukayese edilmektedir.

### 4.1 DA MOTORU ve ASENKRON MOTOR MUKAYESESİ

#### 4.1.1 Asenkron Motorların Avantajları

AC tahrik tekniğinde kullanılan üç fazlı sincap kafesli asenkron cer motorlar aynı güçteki doğru akım cer motorlarına göre daha az hacim kaplarlar ve daha hafiftirler. Boji dizaynında önemli avantaj sağlamaktadırlar.

Asenkron cer motorlarında kolektör ve kömür gibi aşınan parçalar kullanılmaz. Rulman dışında bakım gerektiren parçaları yoktur.

Sincap kafesli asenkron cer motorlarda bakım 1.200.000 km'de yapılmaktadır. Bakım periyotlarının uzun olması bakım maliyetlerini önemli ölçüde düşürmektedir. Az bakım gerektirdiği için işletme maliyetleri de azalır.

VVVF invertörü ile kontrolü kolaydır. Elektronik devre ile devir sayısı kolayca ayarlanabilir. Bu kontrol sistemi karmaşık olmakla beraber pahalıdır. AC tahrik tekniğinde, gelişen kontrol elektroniği ve asenkron motorların moment-hız karakteristiği sayesinde patinaj olayı görülmez. Moment tüm hız kademelerinde sabit tutulabilir.

Özellikle demeraj sırasında, DC motorlar dönme-sizin aşırı akım altında tutulamazlar. Ancak asenkron motorlar da bu sorun yoktur.

DC sistemde elektrikli frenleme kuvveti hız düştükçe azaldığından ayrıca mekanik frenleme gerekmektedir. AC sistemde ise araç duruncaya kadar maksimum elektrikli frenleme kuvveti sağlanmaktadır. Geri kazanımları fazladır.

AC tahrik tekniği ile donatılmış elektrikli lokomotiflerde, elektrikli frenleme sırasında elde edilen enerji kataner hattına geri verilmektedir. Bu rejeneratif frenleme sayesinde

tren ağırlığına, yol eğimine, durulan istasyon sayısına, yük-yolcu tren tipine göre ortalama olarak yüzde 15 - yüzde 25 arasında enerji tasarrufu sağlanabilmektedir.

Ray ile tekerlek arasındaki sürtünme kuvveti en yüksek olan cer motoru tercih edilir. AC tahrik tekniği ile DC sisteme göre ray-tekerlek arasındaki sürtünme kuvvetinden en yüksek düzeyde yararlanır. Hareket kısa sürede ve patinaj olmaksızın gerçekleşir ve ray ve tekerlek arasındaki aşınma azalır. Kum sarfiyatı en aza iner.

AC tahrik tekniği ile yüksek güçlü ve hızlı lokomotifler yapılabilmektedir. Böylece aynı lokomotif hem ağır yük hem de hızlı yolcu trenlerinde çalıştırılarak verimlilik artırılmıştır. Verimleri daha yüksektir.

AC motorlarda moment  $I/n^2$  şeklinde düşmektedir, yani bütün hız aralıklarında anma gücü mevcuttur. Çok geniş hız aralığı için çalışması mümkündür. Yüksek hızlarda ve dinamik frenlemede artan güç elde edilir. Komütatör motorlarının, genelde reaktans gerilimlerinin neden olduğu aşırı komütatör kıvılcımları nedeniyle, yüksek hızlarda anma gücünü sağlayamazlar. Komütatör, frenleme sürecinde de mevcut frenleme gücünü sınırlar. Komütatörün atılması bu sınırlamaları ortadan kaldırır.

Kötü çevre koşullarına karşı toleranslıdır. Çevresel yüksek şok yüklerinden etkilenecek hareketli elektrik kontakları yoktur.

Üretim maliyetleri düşüktür. Az sayıda malzeme kullanılması ve pahalı komütatörün bulunmaması nedeniyle yatırım maliyetleri azdır. DC motorlara göre aynı güçteki bir AC motor daha ucuzdur.

Yük altında devir sayıları çok değişmez.

#### **4.1.2 DC Motorların Avantajları**

DC cer motorlarında 400.000 – 600.000 km. arasında bakım yapılmaktadır.

Doğru akım motorları aşırı yüklenmeye müsaittir. İlk kalkışları iyidir. DC motorda tork açısından düşük hızlarda bile tork eğrisinde bir düşme olmazken AC motorda tork eğrisi düşmektedir.



DC motorlar daha ucuzdur. Boyutları küçüktür. Düşük akımlarda çalışırlar. Hız, güç ve boyut bakımından çok fazla çeşitleri vardır, kolay temin edilirler. Hızlı ve hassastır.

### **4.1.3 DC Motorların Dezavantajları**

Kolektör ve kömür gibi aşınan parçalarından dolayı sürekli bakım gerektirir. Parçaların aşınmasından dolayı arıza yapma oranı yüksektir. Bu durum bakım maliyetlerini artırır.

Aynı güç değerlerinde diğer motorlara göre daha ağır ve daha büyük boyuttadırlar. Kollektör aksenal yönde uzunluk ve hacim gerektirdiğinden motorun hacmi de büyüktür. Motorların ağır olması taşıt dinamiğini, hacminin fazla olması yerleşimini olumsuz etkiler.

Kararlılıkları ve konum değişikliklerine cevap verme süreleri çok uzundur.

Düşük redüktör oranına sahip motorlar istenilen sonuçları vermekte zorlanırlar. Redüktörleri aşırı yükte kolaylıkla kullanılmaz hale gelir.

Düşük moment ve yüksek hızda çalışır. Bu sebeple hareketi değiştirecek aktarma organlarına ve dişlilere ihtiyaç vardır. Dişlilerdeki boşluk, hassasiyeti sınırlar.

AC motorla kıyaslandığında; aynı güçlü bir AC motordan daha pahalıdırlar.

Dinamik frenleme asenkron motorun aksine 10-15 km/h hıza kadar mümkün olabilmektedir.

DC motorlarda moment  $I/n$  şeklinde düşmektedir, yani bütün hız aralıklarında anma gücü mevcut değildir.

Kollektörün çevre hızı sınırlı olduğundan motorun hızı da sınırlanmış olur.

Hareketin engellenmesi durumunda sargılardaki ısı yükselir. Bu nedenle cebri soğutmaya ihtiyaç duyarlar.

Son derece katı olan devir sayısında değişiklik olmaması özelliği, her motor için aynı frekansta gerilim üretme ve kontrol zorluğunu doğurmaktadır.

Doğru akım motorlarının kutuplarına en çok 1500 V uygulamak mümkündür. Bu nedenle doğru akım sistemleri, iki motorun seri bağlanması şartı ile en çok 3000 V 'a

kadar olabilir. Bu gerilim enerji iletimi için; çok düşük olup ya besleme noktalarını sıklaştırmak, büyük kesitli teller kullanmak ya da büyük enerji kayıpları ve gerilim düşmelerine katlanmak gerekir.

## **4.2 ASM ve SMSM MUKAYESESİ**

Senkron ve asenkron motorlar, bir rotor manyetik alanı ile bir stator manyetik alanı etkileşimi ile tork üreten iki motordur. Motorların bu iki türü arasındaki farklılıklar nedeniyle rotorun manyetik alan şeklinde farklılıklar ortaya çıkmaktadır.

Senkron motorlar rotorunda sabit bir manyetik alana sahiptir. Bu alan kayma halkaları ile desteklenen bir alan sargısı yerine kalıcı mıknatıslar tarafından oluşturulur. Rotor alan ile stator döner alanının etkileşimi tork oluşturur ve motorun dönmesini sağlar. Bir senkron motor her zaman kutuplarının sayılarına göre belirlenen hat frekansına göre döner. Bir senkron motorun tork üretebilmesi için değişken frekans kaynağı ile beslenmesi gerekir.

İndüksiyon motorlar, rotorunda dönen bir manyetik alana sahiptir. Sincap kafesli motorlarda bu alan, stator alanının hareketi ile kısa devre edilmiş rotor kafesinde akım endüklenerek oluşur. İndüksiyon motorlar her zaman senkron hızdan daha dar hız aralığında çalışır. Rotor alanı oluşturmak için gerekli olan bu hız farkı “kayma” olarak adlandırılır. Senkron hıza yakın dönen, düşük kaymaya sahip motorlar yüksek kaymaya sahip motorlardan daha verimlidir. Ancak daha düşük başlangıç torkuna sahiptir. Asenkron motorlar sıfır hızda tork üretebilir, bu nedenle yük momenti sıfır hızda oldukça düşük olduğunda bile başlangıç yeteneğine sahiptir. Asenkron motorların nominal hızdaki moment-hız karakteristiği, negatif eğimlidir. Tork arttıkça hız azalır. Sonuç olarak, asenkron motorları işletmede ilave kontrole ihtiyaç duymamaktadır. Geri bildirim mekanizması motorun içine yerleştirilmiştir.

Bir rotorun sargısının olmaması sincap kafesli asenkron motorların üretiminin senkron motorlardan önemli ölçüde daha ucuz olmasını sağlar. Sincap kafesli motorlar, bobin rotorunun olmaması nedeniyle son derece sağlamdır. Bir asenkron motorun rotorunda dolaşan akım direnç kayıplarına yol açmaktadır. Bu da asenkron motorların senkron motorlardan daha az verimli hale gelmesine neden olmaktadır.

Bu motorda stator asenkron motorun statoruyla aynıdır. Fark rotordadır. Rotorda sargılar yoktur. Senkron motorda karmaşık olan rotor sargı düzeneği, fırça ve uyarma devresinin yerini bu motorda mıknatıslar almıştır. İhtiyaç duyulan akı mıknatıslar sayesinde oluşmaktadır. Rotor üzerine kutup sayısı kadar manyetik kutup yerleştirilmiştir. Mıknatıslar rotor sac paketlerine gömülmüştür. Mıknatısların motorun ömrü boyunca bakıma ihtiyacı yoktur.

Mıknatıslanma rotordaki sabit mıknatıslarla sağlandığından asenkron motorda var olan rotor akımı sabit mıknatıslı motorda yoktur. Akım sadece stator sargılarında vardır. Bu da asenkron motorda rotorda oluşan demir ve bakır kayıplarının sabit mıknatıslı motorda olmayacağı anlamına gelir.

Güç yoğunlukları fazladır ve asenkron motorlara göre daha verimlidir.

Yüksek moment elde edilebilir. Düşük eylemsizliğe sahiptir.

Temel prensip stator sargılarını denetlemek ve rotoru hareket ettirmektir. Hız kontrolü olanakları çok iyidir. Yüksek hızlarda çalışma imkanı verirler.

Aynı boyuttaki asenkron makineye göre yüzde 30-yüzde 35 daha güçlüdürler. Yine aynı güçteki asenkron makineye göre yüzde 25 daha hafif ve daha küçüktürler. Aynı güçteki diğer motorlara göre hacim ve ağırlığı daha azdır. Bütünleşik tasarıma sahiptirler.

Rotorunda sargılar, fırçalar, bilezikler ve kollektörler bulunmamaktadır. Bu nedenle fırça sistemi bulunmadığından fırçalardan çıkacak olan karbon tozları bulunmamaktadır. Rotorunda daimi mıknatıs bulunduğundan uyarma akımına gerek yoktur. Rotorda sargılar olmadığından bakır kayıpları yoktur ve soğutulması daha kolaydır. Aşınma, komütasyon gibi problemler yoktur. Sessiz çalışma sağlarlar.

#### **4.2.1 SMSM Avantajları**

Kalıcı mıknatıslı motorlar yüzde 80 çalışma oranında, yüzde 1 ve yüzde 2 daha verimlidirler. Aynı boyuttaki motorlara göre yüzde 30-yüzde 35 daha güçlü, aynı güçteki motorlara göre ise yüzde 25 daha hafif ve daha küçüktürler.

ASM'lerdeki rotorların doğal yapısındaki kayıplardan dolayı oluşan ısınma, SMSM'lerde fiilen bertaraf edilmiştir. Böylece rotor soğutmasına gerek yoktur.

Normalde SMSM stator tamamen kapalıdır. Soğutma ısı transfer akımıyla sağlanır. Böylece daha sağlam bir motor sürüşü sağlanır. Ayrıca düşük hızlarda da SMSM'ler dinamik frenlemeye izin verirler. Stator sargılarında elektromekanik kısa devre yaparak kendinden kontrollü yavaşlatma sağlamak mümkündür. Elbette bu faydaları sağlamak için bazı özelliklerden vazgeçmek gerekir.

#### **4.2.2 SMSM Dezavantajları**

Generatör çalışma durumunda, gerilim ayarı, uyarma akımı olmadığından dolayı yapılamaz.

Kontrol edilmeksizin hızın değişimi söz konusu değildir. Uygulama alanları da sabit hızın gerektiği yerlerdir.

Yüksek enerjili mıknatısların fiyatlarının ve üretim giderlerinin yüksek olması nedeniyle sabit mıknatıslı senkron motorlar, doğru akım ve asenkron motorlara oranla daha pahalıdır.

Mıknatıs malzemelerin ısıl sınırlamaları ve demagnetizasyon riski sistem güvenilirliğini azaltmaktadır. Eğer yüksek sıcaklıkta makineden çok yüksek akım geçerse, sıcaklık Currie sıcaklığı olan 310°C ile 370°C'ye ulaşmasa bile, geri dönüşü olmayan manyetiklik kaybı oluşur. Uzun vadede mıknatısların çeşitli atmosferik ve termik etkiler sonucu kalıcı indüksiyonları az da olsa zayıflamaktadır.

Stator alanı ile senkronizasyon sağlanabilmesi için, rotor pozisyonu bilinmesi gerekir. Rotor pozisyonu sensörlerle belirlenebilir, fakat bu durum; Karmaşıklığı arttırır. Motorun maliyetini yükseltir. Boyutunun büyümesine sebep olur. Mekanik güvenilirliğini azaltır. Kullanım alanını sınırlandırır. Hız denetimi gerektiren uygulamalarda hız bilgisi gereklidir.

Potansiyel olarak daha kritik bir durum ise, stator sargılarında oluşacak kısa devre motorun tahrip olmasına sebep olabilir. Çünkü sürekli mıknatısların alanının hareket etmesi, statorda çok yüksek akımların indüklenmesine neden olacaktır. Ancak, manyetizmanın kaybolması bu problemin azalmasına yardım edecektir.

Araç yüksüz çalışmada rotor mıknatısları, statorda gerilim indüklemeye devam eder. Bu fuko akımları histerisis etkisiyle demir kayıplarına sebep olur. Bu durumda motorun toplam verimliliğini azaltır.

Daimi mıknatıs ve stator alanı arasında senkronizasyon sağlayabilmek için akım veya gerilim girişleri bir denetleyici tarafından kontrol edilmelidir. Daimi mıknatıslar sabit akı üretirler ve bu rotor akımı değişen geleneksel senkron motor kadar kolay kontrol edilemeyebilir. Denetim düzenleri doğru akım servo sistemlerine göre daha karmaşıktır.

Dört-çeyrek parçalı konvertörün boyut ve maliyet sınırlarından dolayı, motor tüm hız aralıklarında sadece gerilim ayarı yaparak çalışamaz. Talep edilen torku elde etmek için kullanılan bu gerilim, istenen akımı sağlamak amacıyla, etkin olarak zıt emk'dan daha büyük olur. Bu sınırlama sorunu, sabit tork ve sabit güç bölgeleri oluşturularak, alan zayıflaması yöntemiyle çözülür. Sabit mıknatıslar tarafından üretilen alan ayarlanamadığından, alan zayıflaması stator sargılarının içine akım verilerek sağlanır. Bu akım dönen rotorun mıknatıslarına zıt yönde oluşturulur. Bu ekstra akım, stator sargılarında bakır kayıplarına neden olur. Bu kayıplar göz ardı edilebilir, sürekli mıknatıslı rotor kullanımı ile verimlilik artışı elde edilir.

Alan zayıflama etkisini oluşturan akımları kontrol etmek amacıyla, rotorun pozisyonunu  $1^\circ$  ile  $2^\circ$  (alan açısı) arasındaki doğrulukta elektronik olarak bilmek zorunludur. 4 kutuplu motor, mekanik olarak  $1,5^\circ$  den daha büyük hassasiyet gerektirir. Eğer bu iş için sensör kullanılırsa, yeterli performansı sağlayabilmek için sensörün doğruluğu ve sağlamlığı aşırı derecede yüksek olmalıdır. Sensörsüz çözümler sistem kontrolünün doğruluğunda azalmaya neden olur.

Manyetik akı sıcaklığa bağımlı olduğundan, alan gücü her rotordaki 10 Kelvin'lik ısı artışında yüzde 1 oranında düşer. SMSM, 200K ( $-40^\circ\text{C}$ 'den izin verilen maks. sıcaklık olan  $160^\circ\text{C}$ 'ye kadar) sıcaklık aralığında çalışır. Elektronik kontrol için işletim sıcaklığını izlemek gereklidir ve motoru kontrol eden elektrik beslemesi için bu durumu hesaba katmak gerekir.

Her SMSM için son derece güvenli ve her bir motor için özel elektronik güç kontrolüne ihtiyaç vardır. Böylece doğru zamanda motora doğru akımın verildiğinden emin olunabilir. Öte yandan, günümüz raylı sistemlerde, cer motorlarının performansını

artırmak için her bir motor bağımsız bir kontrol sistemi tarafından kontrol edilir. Bu sebeple bu zorunluluk göz ardı edilir.

SMSM nadir toprak mıknatısları kullanılır. Bu mıknatıslar manyetik olarak güçlüdürler. Nispeten hem mekanik hem de ısı yünden zayıftırlar. Bu nedenle indüksiyon motorların rotorlarının yapılarına oranla, PMSM rotorlarının yapıları daha karmaşıktır. Rotorun tasarım işlemi buna bağlı olarak yapılır. Stator sargılarının besleme gerilimi, sinyal dönüşümü ve çoklu geri besleme döngüsü gerektirdiğinden daha karmaşıktır.

Potansiyel engeller çok görünmesine rağmen, SMSM'lerin faydaları dezavantajlarına karşı ağır basmaktadır. Bu durum SMSM'leri, cer motoru tasarımcıları için çekici hale getirmektedir.

Sınırlı alana sahip bojiler üzerinde, boyutlarının küçük olması ve daha hafif olması sebebiyle PMSM'lerin kullanılması daha avantajlıdır. Örneğin, sürüş sisteminin, dişli kutusu olmadan tek tekerin sürülmesi durumunda kullanımı avantaj sağlar.

Büyük oranda, daha verimli ve çok daha düşük rotor kayıpları, performansın artması ve enerji tüketiminin azalması açısından önemli faydalar sunar. Bu araçlarda asenkron motorlar araçlarda gövdeye asılarak monte edilmek zorundadır. SMSM ise orta araç çiftlerinin arasına, körük bölgelerine monte edilebilir. Böylece karmaşıklık ve cer iletim sisteminin kütle yoğunluğu azaltılmış olur.

### **4.3 ASM VE SMSM ARASINDAKİ FARKLAR**

Asenkron motorda yalnız statora AC gerilim uygulanır. Rotoru uygulanmaz. Sabit mıknatıslı motorda rotorda manyetik alan oluşumu için rotora DC gerilim uygulamaya ihtiyaç yoktur, rotora monte edilmiş mıknatıslar bu görevi yapmaktadır.

Asenkron motorlarda demir, bakır ve sürtünme kayıplarından dolayı statorda meydana gelen manyetik alanın devri ile rotor devri birbirine eşit değildir, yani rotor devri senkron devirden daha düşüktür. Buna kayma denir. Sabit mıknatıslı motorda mıknatıslarla sabit mıknatıslanma oluşur. Bu sabit mıknatıslanma, kayıplardan dolayı meydana gelebilecek olan kaymayı ortadan kaldırır ve statorun devir sayısı ile rotorun devir sayısı birbirine eşit olur.

Senkron motorların güç katsayısı asenkron motorlara göre daha yüksektir.

Senkron motorların verimi asenkron motorlardan daha yüksektir.

Senkron motorlarda şebeke gerilimi değişimlerinin dönme momentine etkisi asenkron motorlara göre daha azdır.

Sabit mıknatıslı senkron motorda rotorda akım oluşmadığı için asenkron motor rotorunda oluşan bakır ve demir kayıpları (ısıya dönüşen kayıp) olmayacaktır.

Sabit mıknatıslı senkron motor aynı güçlü asenkron motora göre daha küçük boyutlarda imal edilebilmektedir.

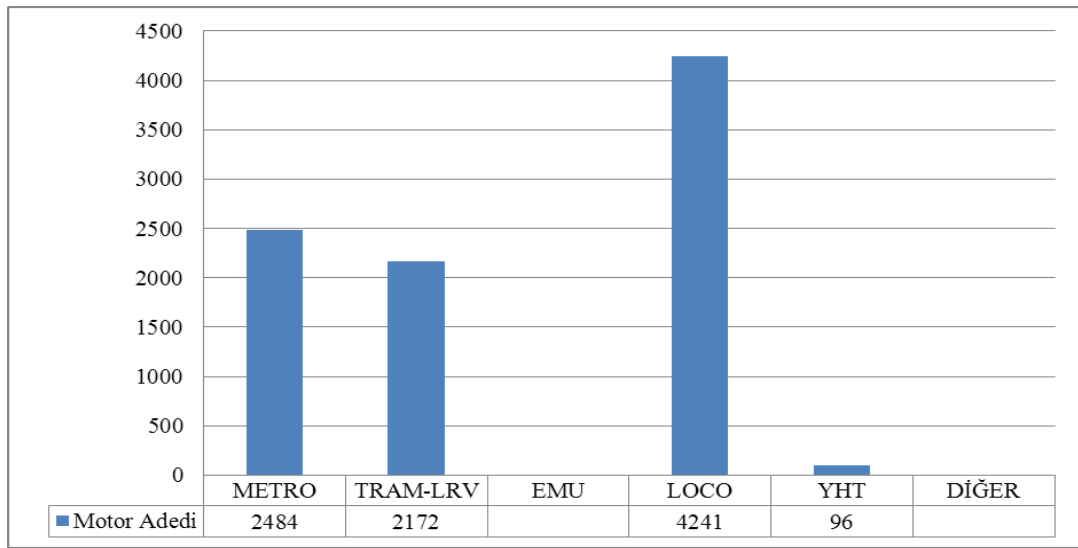
Sürekli mıknatıslı senkron motorların güç kontrolü, sabit tork bölgesinde iyi performansla yapılır. Fakat sabit güç bölgesinde motoru kontrol etmek için karmaşık algoritmaya ihtiyaç vardır.

## 5. CER MOTORU PAZARI

### 5.1 TÜRKİYE RAYLI SİSTEM PARKINDAKİ CER MOTOR PROFİLİ

Türkiye'deki raylı sistem işletmecilerindeki mevcut araçların türlerine göre cer motoru profili ve dağılımı Şekil 5.1'de görülmektedir.

**Şekil 5.1: Türkiye raylı sistem araçlarına göre cer motoru adetleri**



*Kaynak:* İstanbul Ulaşım A.Ş., Yerli Tramvay Proje Koordinatörlüğü, Ocak 2013.

Bu tablodan da anlaşılacağı üzere, metro, tramvay ve LRV araçlarından oluşan şehiriçi raylı sistem araçları grubu ile şehirlerarası ulaşımda kullanılan lokomotiflerin cer motor sayıları birbirine yakındır. Ancak mevcudun tamamının yüzde 52 oranına sahip olması ve yeni yatırımların şehiriçi raylı sistemlere yönelik olması nedeniyle, şehiriçi raylı sistem araçlarına ait cer motorların önemini artırmaktadır.

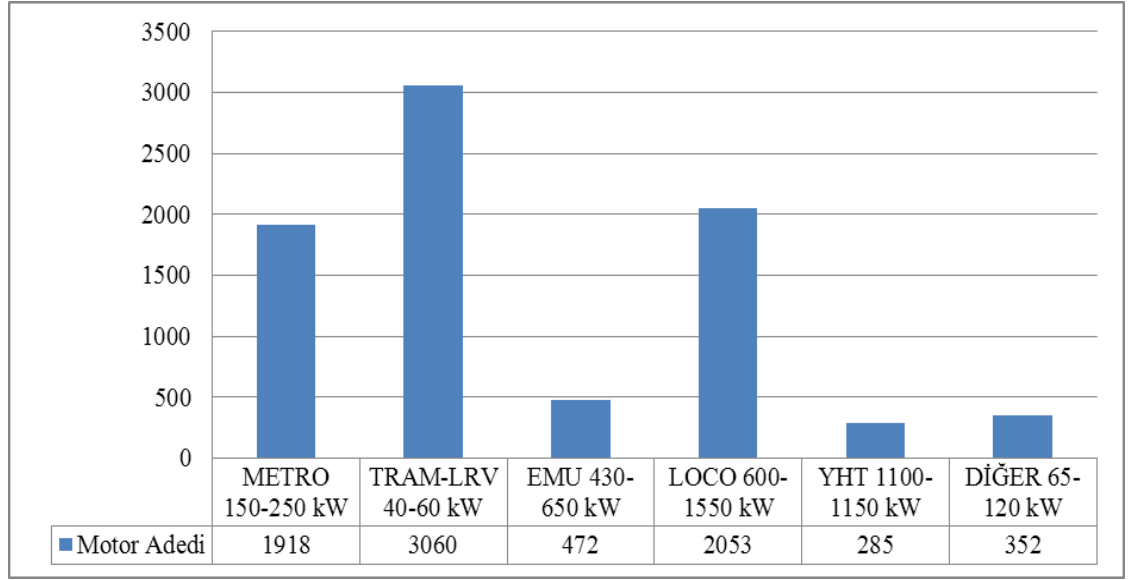


## 5.2 YURTDIŞI CER MOTOR ÜRETİCİLERİ PROFİLİ

### 5.2.1 ABB Örneği

Yurtdışı cer motor üreticilerinden olan ABB firmasının araç türlerine göre üretim profili ve dağılımı Şekil 5.2’de görölmektedir.

**Şekil 5.2: Kullanım amaçlarına göre ABB cer motor üretim profili ve dağılımı**



*Kaynak:* ABB Group, ABB Elektrik Sanayi A.Ő., Ocak 2013.

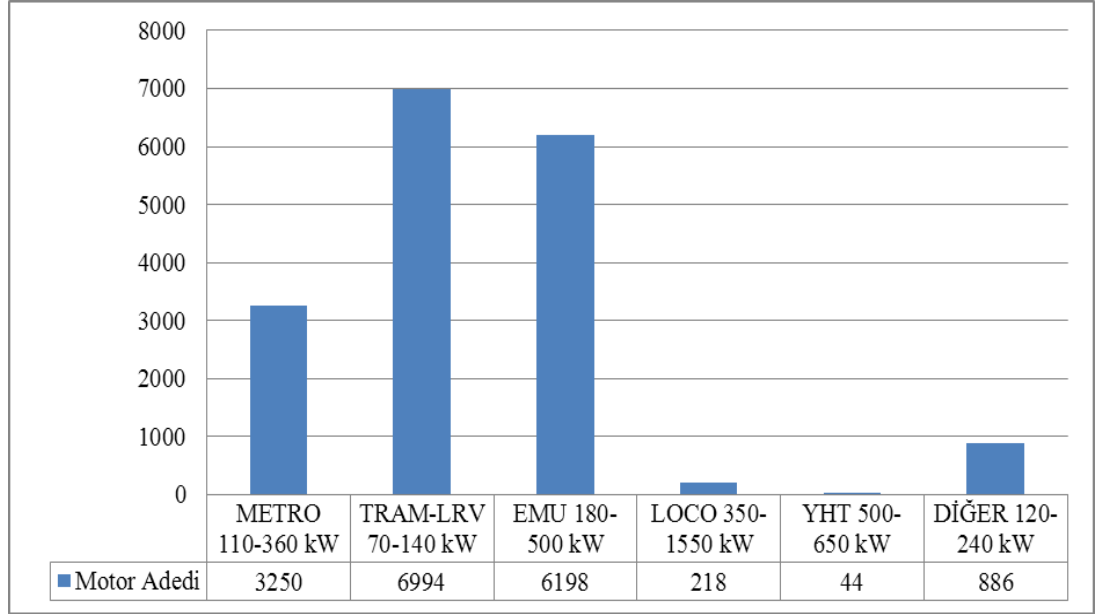
ABB firmasının üretiminin yaklaşık yüzde 65’i Őhiriçi raylı sistem araçlarına yöneliktir. Kalan yüzde 35 ise Şehirlerarası kullanılan araçlar için üretilmektedir.

Ülkemizdeki raylı sistem hamlesine kayıtsız kalamayan ABB firması, cer sistemlerinin yanında cer motorlarının imalatını, sanayi ve kalkınma planları çerçevesinde yapılacak teknolojik imalatların yüzde 51’inin yerli olması gerekliliğinden dolayı, yerinde imalat yapmak üzere, Türkiye’de çalışmalar yapmaktadır.

## 5.2.2 TSA-Austria Örneği

ABB örneğine benzer şekilde yurtdışı üreticilerden olan TSA-Austria firmasının araç türlerine göre üretim profili ve dağılımı Şekil 5.3’de görülmektedir.

**Şekil 5.3: Kullanım amaçlarına göre TSA-Austria cer motor üretim profili ve dağılımı**



*Kaynak:* İstanbul Ulaşım A.Ş, Yerli Tramvay Proje Koordinatörlüğü, Ocak 2013.

TSA-Austria firmasının üretiminde de yaklaşık yüzde 63’ü şehiriçi raylı sistem araçlarına yöneliktir. Kalan yüzde 37 ise şehirlerarası kullanılan araçlar için üretilmektedir.

Her iki firma da cer motor üretimlerinde, şehiriçi raylı sistem araçları olan metro, tramvay ve LRV araçlarında kullanılan motorlara ağırlık vermişlerdir.

Diğer yurtdışı üreticilerden olan VEM ve Siemens cer motorlarını üretimindeki ağırlığı, ABB ve TSA-Austria örneğinde olduğu gibi şehiriçi raylı sistemlere yönelik olarak metro, tramvay ve LRV araçları için yapmaktadır.

Oluşturulan bu profillere ve dağılıma oranlarına göre cer motor üretiminin şehiriçi ve şehirlerarası ilişkisi açısından yüzde 65 ile şehiriçi kullanıma yönelik olduğu görülmektedir.

Dünya çapında raylı sistem işletmesi yapan ve elinde raylı sistem aracı bulunduran 1770 kuruluş bulunmaktadır.

Tablo 5.1’de yer alan araç imalatçılarının raylı sistem araçlarında kullandıkları cer motorlarının üreticisi konumundaki Traktionssysteme Austria GmbH firmasının yapmış olduğu üretim miktarları Tablo 5.1’de verilmiştir.

**Tablo 5.1: Dünyada sabit mıknatıslı motor kullanıcıları**

İşletme	Üretici	Trenler
NTV	Alstom	25x AGV Hızlı tren setleri
SBB	Bombardier	59 Twindex double-deck EMUs
SNCF	Alstom	31x Citadis-Dualis tram-train vehicles
SNCF	Alstom	Regiolis EMUs- framework contract
SNCF	Bombardier	Omneo EMUs- framework contract
Praha	Skoda	15T ForCity low-floor tram
Tokyo Metro	Kawasaki	Series 16000 EMUs
JR East	Toshiba	Series E331 EMUs for Tokyo Suburban services
München U-Bahn	Siemens	C19 metro trainset with Syntegra bogies
China	CNR Yongji	Full cell loco prototype
Sweden	Bombardier	Gröna Taget research EMU
Turkey	Alstom	Citadis X04low-floor tram
Japan		Gauge- Changing Train 2

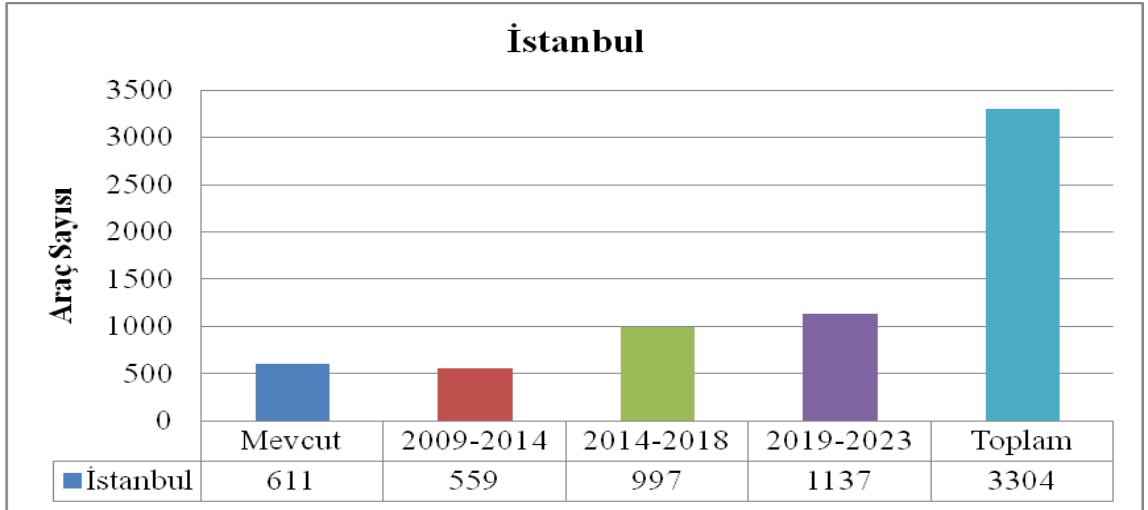
*Kaynak:* İstanbul Ulaşım A.Ş., Yerli Tramvay Proje Koordinatörlüğü, Ocak 2013.

### 5.2.3 Türkiye Pazarı Talebi

Bu bölümde, Türkiye’de raylı sistem işletmecisi konumundaki 14 kuruluşun bünyesinde bulundurduğu araçlar ve bu araçlarda kullanılan cer motorların adedi bilgileri yer almaktadır.

Şekil 5.4’te görüldüğü üzere, İstanbul raylı sistem ağında kullanılmak üzere; 2014 yılına kadar 754 metro, 34 hafif metro; 2014 ile 2018 yılları arasında 789 metro, 30 tramvay, 152 hafif metro, 26 monoray; 2019 ile 2023 yılları arasında 1091 metro, 46 hafif metro aracı olmak üzere toplam 3304 adet araç tedarik edilmesi planlanmıştır.

**Şekil 5.4: İstanbul raylı sistem araç talepleri**



*Kaynak:* İstanbul Ulaşım A.Ş., Yerli Tramvay Proje Koordinatörlüğü, Ocak 2013.

Türkiye geneli araç ihtiyacı 2014 yılında 1700 adet, 2019 yılına kadar 1850, 2024 yılına kadar 1950, toplam 5500 adet araca ihtiyacı olacağı öngörülmektedir.

Tablo 5.2’de 2007 yılındaki başlıca araç imalatçılarının yıllık araç üretim miktarları görülmektedir. Araçlarda her hız aralığında yüksek tork elde etmek üzere, cer performansının yüksek tutulması için, her aracın 4 motorla çalışması söz konusu olduğunda yüksek adette motor ihtiyacının ortaya çıktığı görülür.

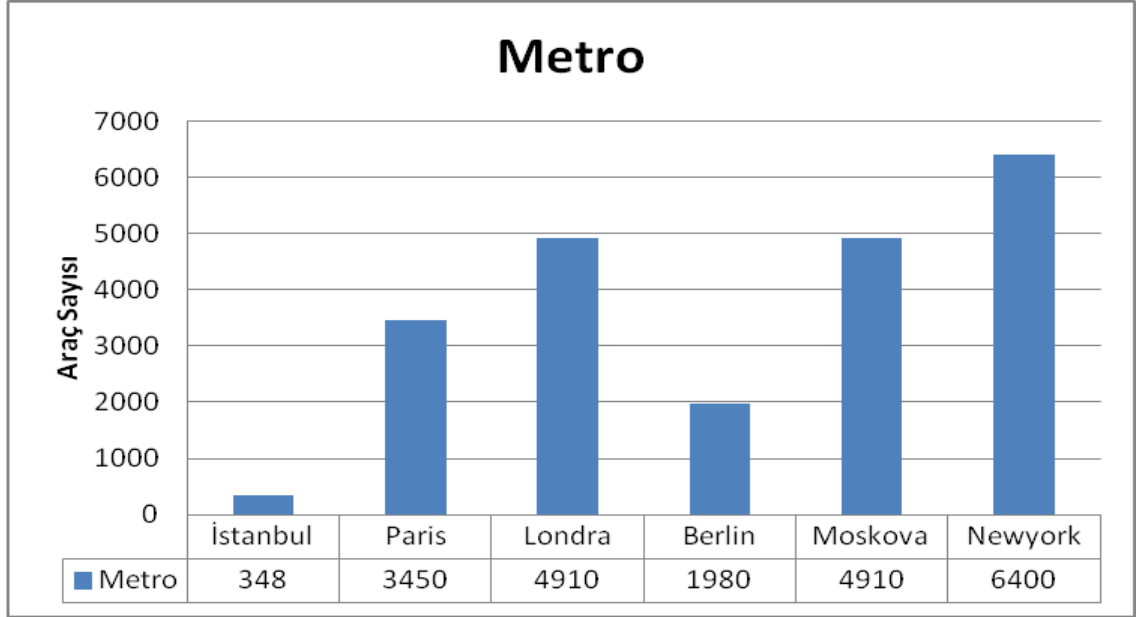
**Tablo 5.2: Önemli raylı sistem aracı üreticileri**

Üretici Firma	Ülke	Araç Adedi /Yıl
Alstom Transport S.A	Fransa	2500
Mitsubishi /Hitachi / Mitsui	Japonya	2460
Bombardier	Kanada, Sweden Ab	2000
Hyundai-Rotem Company	G.Kore	1000
Siemens	Almanya	500
Talgo–Stadler	Switzerland	100
Ansaldo Breda Spa	İtalya	100
Skoda	Çek Cumhuriyeti	100
CAF	İspanya	100

*Kaynak:* İstanbul Ulaşım A.Ş., Yerli Tramvay Proje Koordinatörlüğü, Ocak 2013.

Raylı sistem uygulamalarında önemli bir yeri bulunan metro hatlarında kullanılan araç sayılarının, İstanbul ile beş önemli merkez arasındaki kıyaslaması Şekil 5.5’te açıkça görülmektedir.

**Şekil 5.5: Önemli Dünya başkentlerindeki metro aracı dağılımı**



*Kaynak:* İstanbul Ulaşım A.Ş., Yerli Tramvay Proje Koordinatörlüğü, Ocak 2013.

İstanbul'un topografik yapısı itibariyle raylı sistemlerin kurulmasını zorlaştırmaktadır. Bu nedenle yapılan şehiriçi raylı sistemlerin yer altından ilerletilmesi, dolayısıyla metro hattı ihtiyacını ortaya çıkarmaktadır ve bu metrolar derin metrolar olarak inşa edilmektedir. Tablo 5.5'te görüldüğü gibi Avrupa raylı sistem pazarındaki yer alan Berlin metro araç sayısı, İstanbul metro hatlarında kullanılan araç sayısından yaklaşık 6 kat fazladır. Paris metro araçları yaklaşık 10 kat, Londra metro araçları yaklaşık 14 kat fazladır.

## **6. CER MOTOR DİZAYN PARAMETRELERİ**

Cer motoru IEC 60077 tanımlandığı gibi ‘en ağır normal servis’ için performans gereksinimlerine göre tasarlanır ve imal edilir. Motorun genel tasarım ve üretimi modern cer uygulamalarına uygun olarak standart IEC 60349-2 e göre yapılır.

Motor tasarımı müşteri isteklerine göre özelleştirilerek, gövde tasarımı, soğutma yöntemleri ve montaj düzenlemeleri gibi özellikleri, bir dizi adaptasyon için hazırlanır ve standartlara uygun hale getirilir.

Bu bölümde cer uygulamaları için yüksek güçlü indüksiyon motorların tasarım konuları incelenir.

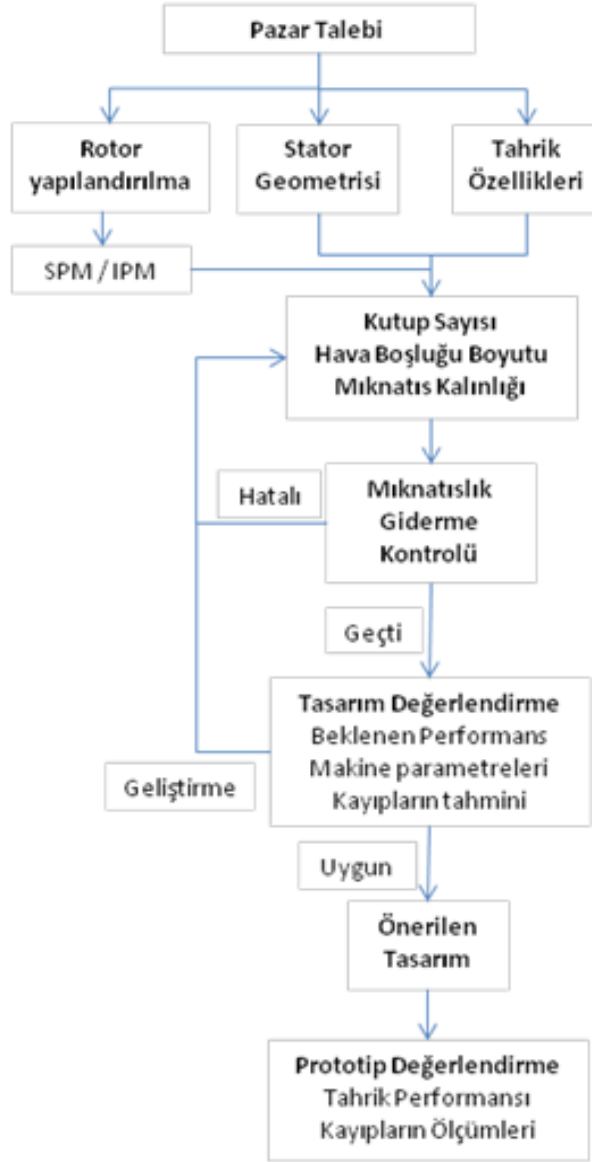
### **6.1 PARAMETRİK HESAPLAMALAR**

#### **6.1.1 Sabit Mıknatıslı Senkron Motor Hesaplamaları**

Şekil 6.1’de SMSM motorların tasarım aşamaları gösterilmiştir.

Parametrik hesaplamalar, devre analizine dayanan Motor-CAD ve sonlu elemanlar modeline dayanan FEMLAB program analizleriyle yapılır. Müşteri taleplerini oluşturan yol teknik bilgileri ve araç ağırlık bilgilerine göre Maxell programı ile parametrik hesaplamalar yapılır. Bu programdan elektriksel ve boyutsal bilgiler ışığında 3D tasarımlar gerçekleştirilir. Tasarımı yapılan motorun uygulamaya geçirilmeden önce sonlu elemanlar yöntemi ile analizleri yapılarak, mekanik ve ısı hesaplamaları yapılır.

**Şekil 6.1: SMSM tasarım akış şeması**

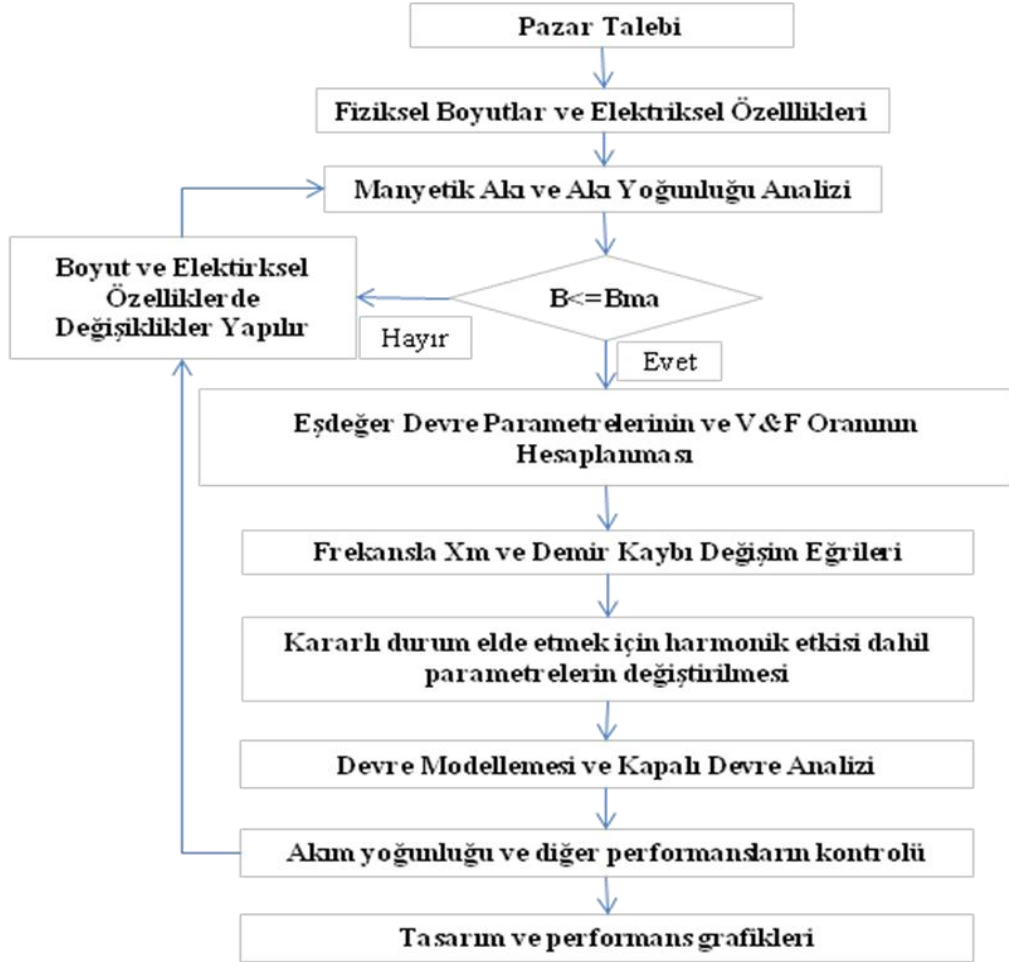


*Kaynak:* A Permanent Magnet Synchronous Motor for Traction Applications of Electric Vehicles, Electric Machines and Drives Conference, 2003.

### 6.1.2 Asenkron Motor Hesaplamaları

Şekil 6.2'deki akış şemasına göre, pazar taleplerinin sonucu olarak bir indüksiyon motorun devre modellemesi ve analizleri fiziksel boyutlarından gelen parametreler ile gerçekleştirilir. Kapalı çevrim V/F kontrol sırasında invertör PWM kaynağı, akı ve frekans değişiminin, harmonik etkileri dahil parametrelerin değişimi incelenir. Motorların tasarımı için MATLAB gibi programlar kullanılır.

Şekil 6.2: Asenkron motor tasarım akış şeması



*Kaynak:* Design of Squirrel Cage Induction Motors for Traction Applications, Power Electronics, Drives and Energy Systems, 2006.

## 6.2 DIŞ KARAKTERİSTİK

### 6.2.1 Motor Gücü

Cer motorlarının güçleri ve araç üzerindeki yerleşimi yol profiline göre tespit edilmektedir. Cer motorlarının güç hesabında, verilen yol profilinin eğimi dikkate alınarak en uzun rampada AW3 yük koşulundaki motor gücü, stator sargıları ve rotor ısınma değerlerinin, kullanılan izolasyon sınıfının ısınma değerinin üzerine çıkmaması



koşuluyla kısa süreli aşırı rejim gücü kullanılabilir. Güç hesaplanmasında yarı aşınmış tekerlek çapları dikkate alınmaktadır.

Araçtaki 1 motor gücü tork ve hızın çarpımı ile elde edilir.(6.1)

$$\text{Güç} = \text{Tork} * \text{Hız} \quad (6.1)$$

Buradan hareketle araç başına motor gücü hesaplanır.

$$\text{Güç} = \text{Araç başına motor adedi} * \text{motor gücü} * \text{dişli kutusu-eff.} \quad (6.2)$$

Cer motorlarının güç hesabı, AW3 yük koşulundaki servis dışı olan bir treni, yüzde 4 rampada düşük bir hızla çekeceği veya iteceği dikkate alınarak yapılmaktadır.

EN 13104 standardına göre araç yükleme koşulları AW0 - AW4 olarak m<sup>2</sup>'ye düşen yolcu sayısına bağlı olarak sınıflandırılmıştır. Şekil 6.1'de belirtildiği gibi, en ağır yükleme koşulu AW3'e göre araç tüm koltukları dolu ve ayakta yolcu sayısı m<sup>2</sup>'ye 8 yolcu olarak belirlenmiştir.

**Tablo 6.1: Tramvay aracının işletme sırasındaki ortalama yolcu taşıma oranları**

Yükleme Sınıfı	Bir gün boyunca çalışma oranı [yüzde ]	Toplam Araç Yüğü [kg]
AW0	2	38050
AW1	7	40220
AW2	47	51140
AW3	41	56600
AW4	3	62060

*Kaynak:* İstanbul Ulaşım A.Ş., Yerli Tramvay Proje Koordinatörlüğü, Ocak 2013.

### 6.2.2 Tork - Hız Eğrisi

Cer motorları, geniş hız aralığında yeterli torku ve cer performansını sağlamalıdır.

Şekil 6.3'te belirtilen birinci bölge cer performansının en yüksek olduğu noktadır. İkinci bölge asenkron motorlarda frekans ayar bölgesidir. Üçüncü bölge motor yapısından kaynaklanan hız limit bölgesidir. Bu limit, doğru akım motorlarında komutasyon sınırını, asenkron motorlarda devrilme momentinin olduğu sınırdır.

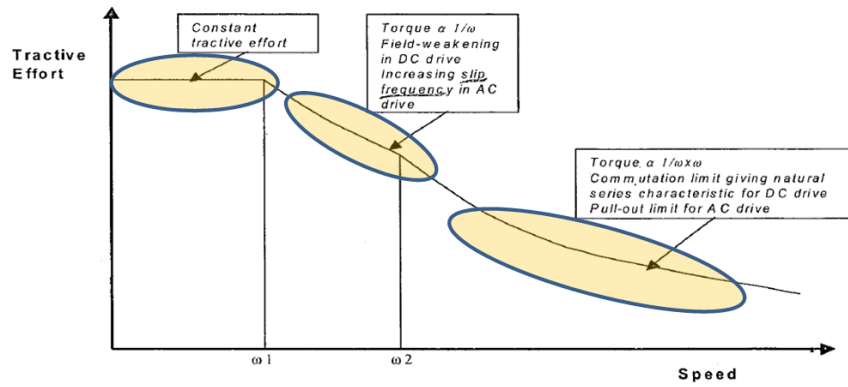
Araç başına gerekli olan tork talebinin bir sonucu olarak cer eforu hesaplanmıştır. Cer eforu hesaplamasında ağırlık ve dönüş ağırlığı gereklidir.

$$\text{Cer Kuvveti} = \frac{\text{“Tork/mot.shaft”}}{(\text{Tekerlek çapı}/2) * \text{dişli kutusu-eff.} * \text{dişli kutusu-ratio}} * \text{“araç başına motor sayısı”} \quad (6.3)$$

Motor hızı tekerlek çapı, proje dizayn hızı ve dişli kutusu dönüştürme oranı dikkate alınarak hesaplanır.

$$\text{Hız} = \text{Tekerlek çapı} * \pi * \text{Dizayn hızı} / 60 * (3600\text{s}/1000\text{m}) / \text{dişli kutusu oranı} \quad (6.4)$$

**Şekil 6.3: Tork-hız grafiği**



Kaynak: İstanbul Ulaşım A.Ş., Yerli Tramvay Proje Koordinatörlüğü, Ocak 2013.

### 6.2.3 Verim

DC motorlarda verim, çıkış gücü ile giriş gücü arasındaki orandır, yüzde olarak verilir.

$$\eta = P_{\phi} / P_g \cdot 100$$

Verim, DC motorlarda kolektör kayıplarından dolayı diğer motorlara göre daha küçüktür. Küçük güçlü motorlarda yüzde 70 den başlar. Motor en yüksek verime anma yükünün yüzde 75’i civarında erişir. Anma yükünde verim yüzde 0,5 kadar düşer. Anma yükünden sonra sürekli olarak küçülmeye devam eder.

Doğru akım motorları yapıları gereği, verimi en düşük olan elektrik motorlarıdır. Bu nedenle günümüzde raylı sistem araçlarında kullanımı tercih edilmemektedir.

Sincap kafesli asenkron motorların tek bir nokta dikkate alınarak elde edilen verimi, sabit mıknatıslı senkron motorun tek bir nokta veriminden daha düşük olsa bile, doğru uygulama için tasarlanan asenkron motorların verimliliği sabit mıknatıslı motorların verimliliğinden önemli ölçüde daha yüksek olmaktadır. Buradan sabit mıknatıslı motorların yüksek verimli araç tahrik motorları için gerekli olmadığı ve asenkron motorların raylı sistem araçları için cer motoru olarak, sabit mıknatıslı senkron motorlara göre üstün performansa sahip olmak için tasarlanabileceği anlaşılmaktadır.

Asenkron motorların işletiminde iki tür sınırı vardır. İlk olarak, motorun akısı ve tepki akımı tarafından üretilen akıya dayalı dönüş momentinde kısa süreli endüktans limitleri vardır. İkinci, pik tork limitlerinden önemli ölçüde daha az olma eğiliminde olan termal limitlerdir. Pik tork limitleri tasarımının hakim olduğu motorlar, bakır ve alüminyum rotorlarla tasarlanır ki, sabit mıknatıslı motorla karşılaştırılmasında, biraz daha yüksek kararlı durum (termal) limitlerine sahip gerekli hız aralığında pik tork gereksinimleri karşılanır. İki asenkron motor çok benzer ağırlıklara ve verime sahiptir, ancak alüminyum rotorlu motor fiziksel olarak daha büyüktür. Bu bir tasarım tercihi sonucu olarak, alüminyum rotorlu motor fiziksel olarak daha küçük yapılmış olabilir, ancak düşük verimli olabilir.

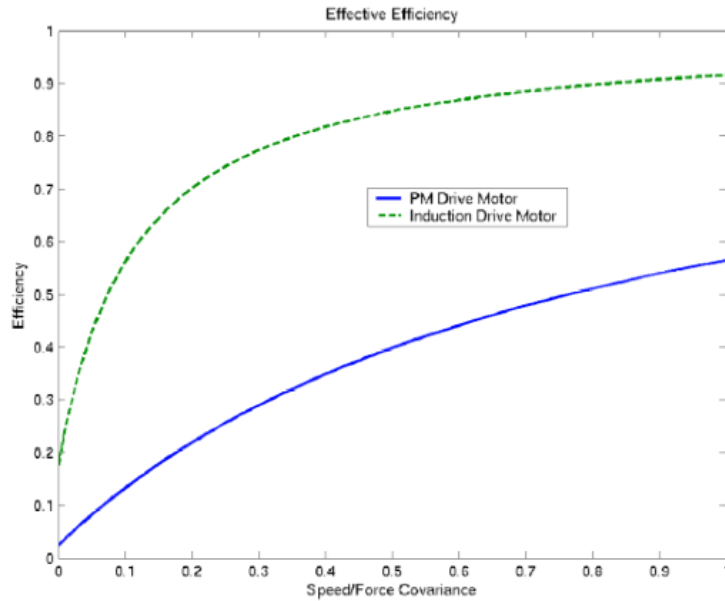
Dökme bakırdan imal edilen asenkron motorun verimi, motorun tork kapasitesi ile sınırlıdır. Böylece verimlilik yüksek rotor hızlarında nispeten yüksek kalır. Motorlar, tork üretici ve çıkış gücü tork ve hız ürünü olduğu için beklediğimiz gibi verimlilik düşük rotor hızlarında düşer. Asenkron motorlar, karşılaştırılabilir en az verimliliğe sahip sabit mıknatıslı motordan biraz daha fazla verimliliğe sahiptir.

Sabit mıknatıslı (PM) motorlardaki kayıplar çeşitli bileşenlere sahiptir, ama kayıpların en büyük bileşenleri bakır stator ve demir statorunda bulunmaktadır. Sonuncu, kalıcı mıknatısların yarattığı manyetik akının döndürmesiyle üretilmektedir. Bu kayıplar motorlarda her zaman bulunmaktadır. Çünkü bu her zaman mevcut kayıp mekanizması, PM motorun etkin verimlilik önerilen kararlı hal verileri gibi yüksek değildir. Bu nedenle indüksiyon motor kullanımı belirlenmiştir.

Şekil 6.4'te görüldüğü üzere, işletme sırasında asenkron motorun daha verimli olduğu ortaya çıkmıştır. Bu sonuç her ne kadar sabit mıknatıslı motor azami verimli işletme

durumlarında daha verimli olsa da geçerlidir. Her iki motorun asıl işletme koşulları için etkin veriminin bu iki motorun nominal işletme koşullarındaki nominal veriminden az olduğu gösterilmiştir. Aracın asıl işletme durumunda, asenkron motor çok önemli bir avantaja sahiptir. Çünkü asenkron motor moment üretmesi gerekmediği zamanlarda uyardıma ihtiyaç duymaz ve boşta elektrik kayıplarının önüne geçer. Rotasyonel kayıpların etkisi aracın verimine bağlıdır ve tabii ki aracın hız profiline bağlıdır. Benzer olarak, asenkron motorda kayıpların etkisi motorun gerekli moment üretimine ve az ölçüde dönüş hızına bağlıdır. Bu kayıplar yalnızca motorun moment ürettiği zamanlarda söz konusu olduğu için hibrid araçlarda asenkron motor tahrik gücü olarak kullanıldığı zaman daha fazla verim elde edilir.

**Şekil 6.4: İşletme sırasındaki ASM ve SMSM verimlilikleri**



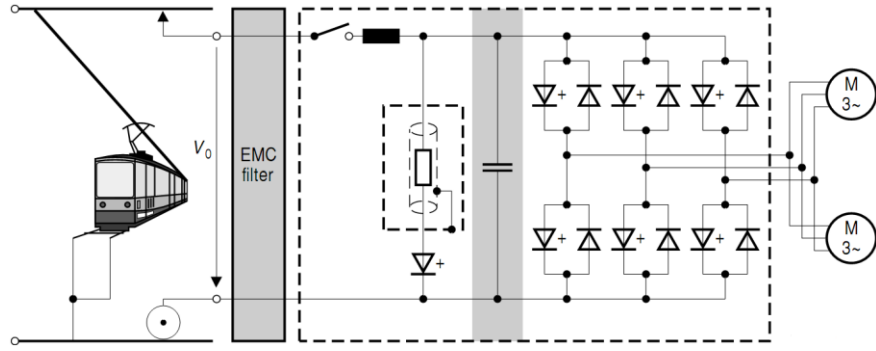
*Kaynak:* Kirtly Jr., J.L., Traction motor design considerations, Massachusetts institute of technology, Cambridge.

## 6.3 İÇ KARAKTERİSTİK

### 6.3.1 Elektronik Kontrol

Şekil 6.5'te şehiriçi raylı sistem araçlarında kullanılan güç kontrol devresi görülmektedir. Bu kontrol devresi yumuşak yol verme sağladığı ve frekans kontrolü yaparak her hız aralığında tork üretebilmektedir.

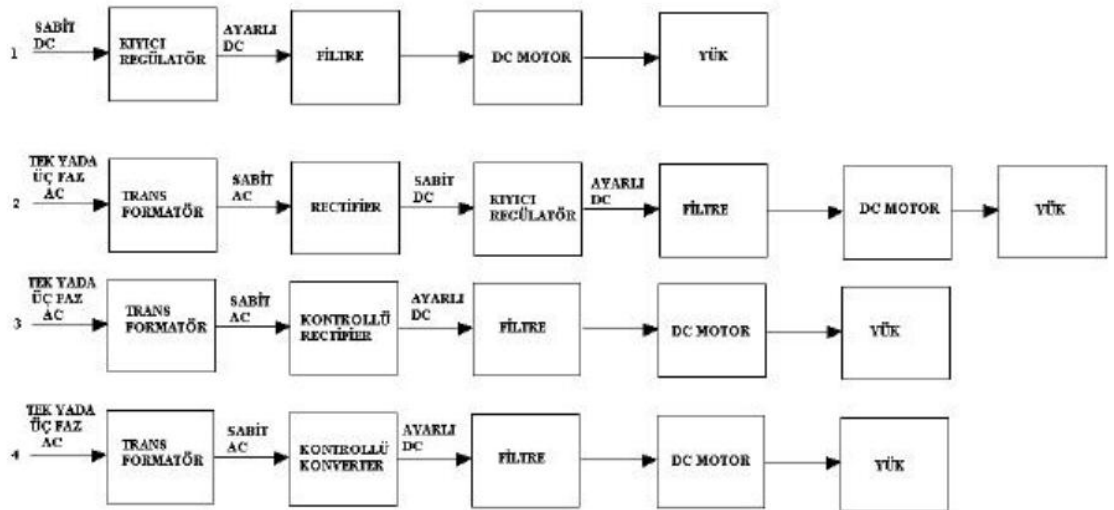
Şekil 6.5: raylı sistem araçları kontrol devresi



Kaynak: İstanbul Ulaşım A.Ş., Yerli Tramvay Proje Koordinatörlüğü, Ocak 2013.

Şekil 6.6'da görüldüğü üzere, doğru akım motor hız kontrolü için AC ve DC kaynak kullanılmasına bağlı olarak doğru akım motorları kontrol edilir.

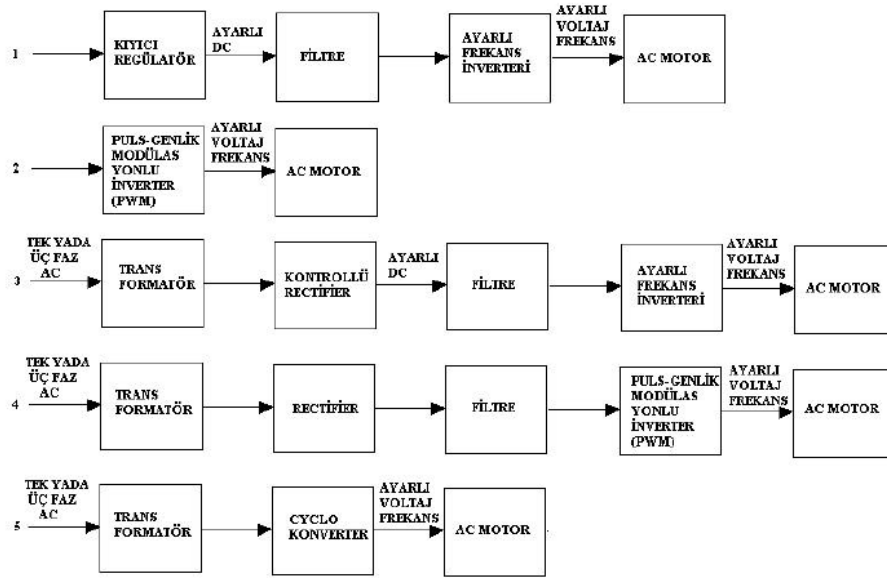
Şekil 6.6: Doğru akım motoru hız kontrolü



Kaynak: İstanbul Ulaşım A.Ş., Yerli Tramvay Proje Koordinatörlüğü, Ocak 2013.

Şekil 6.7’de görüldüğü üzere, AC motor hız kontrolü için AC ve DC kaynak kullanılmasına bağlı olarak değişken voltaj ve değişken frekans elde etmek için farklı yöntemler kullanılır. Günümüz uygulamalarında 2. Sıradaki darbe genlik modülasyonlu invertörler sıklıkla görülmektedir.

**Şekil 6.7: Asenkron motor hız kontrolü**



*Kaynak:* İstanbul Ulaşım A.Ş., Yerli Tramvay Proje Koordinatörlüğü, Ocak 2013.

Motorunu nominal çalışma gerilimi ve akımı, maksimum çekeceği akım güç devresinin kapasite ile sınırlandırılır. Verilen sürücü özellikleri ve stator geometrisi ile motor performansları hakkında parametrik çalışmalar, SPM ve IPM tasarımlarının her ikisi için de yapılmaktadır. Belirli bir güvenlik payı ile demanyetizasyon kontrol mutlak mıknatıs koruma sağlamak için kullanılır.

### 6.3.2 Kayıplar

Raylı sistem araçlarının verimli çalışması için sabit mıknatıslı motor ve sincap kafesli (asenكرون) motorun kayıplarının incelenmesi gerekmektedir. Sabit mıknatıslı motorlarda uyarma akısı kayıpsız olarak sabit mıknatıslar sayesinde sağlanır. Demir çekirdekteki fuko (girdap) akımlarının ve histeresiz kayıplarının oluşturduğu kayıp durumları uyarma akısıyla alakalı olan kayıplardır. Bu kayıp hız büyüklüğüyle matematiksel olarak 2. dereceden (quadratic) ilişkilidir. Asenkron motorlarda uyarma

akısı stator akımları tarafından sağlanır, dolayısıyla stator akımlarının sebep olduğu kayıplar burada söz konusu olur. Ayrıca bu kaybın yanı sıra demir çekirdeğin kayıplarını da hesaba katmak gerekir ki o da besleme geriliminin karesiyle orantılıdır. Bu kayıp rotor hızı kendi devrine ulaşmaya kadar artar. Ancak uyarma akısının kontrolü tüm çalışma noktaları için optimum kayıp oluşturulacak şekilde ayarlanabilir. Şunu belirtmek gerekir ki, asenkron motorun uyarma akısıyla ilgili olan iletim kayıpları oldukça azdır ve mıknatıslanma reaktansı büyük olduğu için mıknatıslanma akımı yük akımından oldukça zayıftır.

Yük kayıpları momenti üreten akımlardan dolayı oluşur. Yük akımı momentle doğru, uyarma akısıyla ters orantılıdır. Sabit mıknatıslı motorlarda moment kayıpları moment ifadesinin karesiyle orantılıdır. Asenkron motorlarda moment ayrıca rotorda üretilir ve de dolayısıyla kayıplarıyla birlikte asenkron motorun momenti sabit mıknatıslı motora göre daha yüksektir.

Motorun hızı ve ivmelenme için gerekli olan kuvvet arttıkça motor daha verimli çalışmaya başlar. Bu hız ve kuvvet kayıplara sebep olmakla beraber aktif güç tüketimine neden olur. Hız ve kuvvetin (moment) birbiriyle alakalı olmadığı durumlarda kayıplar çıkış gücüne bağlı olarak daha fazla olur. Asenkron motor rotasyonel kayıpları daha az olduğu için temelde daha verimli çalışır. Asenkron motorun sürüşündeki avantajları ve uyarma olmaksızın dönüşünü sağlaması gibi özellikler bu motorun daha verimli çalışmasını sağlar.

Üç motor türü için kayıplar üç kısımda incelenmektedir:

- a. İletkenlerde meydana gelen Joule kayıpları
- b. Demirde meydana gelen demir kayıpları
- c. Mekanik kayıplar

**Joule Kayıpları**, iletkenlerde doğru akıma ve alternatif akıma karşı gösterilen dirençten kaynaklanan kayıplardır.

**Direnç Kayıpları**, endüvi, uyarma, yardımcı kutup sargılarının iletkenlerinde meydana gelir. Sargıların direnç değerleri elektrik motorlarında doğru akım veya alternatif akım

direnci olarak ayrılmaz. Aslında her ikisinin arasında fark olmasına rağmen, kullanılan iletken kesitlerinin küçük ve yuvarlak olması halinde, aralarındaki fark rahatlıkla ihmal edilecek büyüklüktedir. Bu nedenle frekansın 50Hz ve civarında olması durumunda aradaki fark aranmaz. İletkenin öz direnci sıcaklığa ve malzemenin cinsine göre değiştiğinden direnci de değişmektedir. Direnç kayıpları, DC motorların en büyük dezavantajlarından biridir.

**Deri Olayı Kayıpları**, manyetik alan içinde bulunan iletkenin üzerinden geçen akımın frekansı yükseldikçe, yüzeye doğru sıkışmaya başlar. İletkenin aşağıda kalan kısmından akım geçmez. Bilhassa yüksekliği büyük olan, büyük kesitli iletkenlerde direncin fazla değişmesine neden olan, önemli bir olaydır. Alternatif akım içeren bütün elektrik motorlarında görülür. DC motorlarda ise alternatif akım akan endüvi iletkenlerinde kendini gösterir.

İletkenleri büyük kesitli ve derin oluklu motorlarda doğru akım direncine göre hesaplanmış sargı direncinin, endüvideki akımın frekansına göre düzeltilmesi gerekir.

Deri olayı kayıpları, rotor ve stator oluk tasarımındaki iyileştirmelerle giderilebilir. Bunun için rotorun dışındaki sargılar ile içindeki sargıların konumu, oluğun düz veya dışa doğru daralan yapıda olması, deri kayıplarını etkiler.

**Demir Kayıpları**, motorda alternatif akımın yarattığı değişken manyetik alanın etkisi altında kalan sac paketi, mil ve kutup ayakları gibi demir parçalarında meydana gelir. Endüvi sac paketi iki ayrı kısımda incelenir. Bunlardan biri endüvi boyunduruğudur. Genişliği büyük olan bu kısımda manyetik alan yoğunluğu fazla değildir. İkinci bölge endüvi dişleridir. Bunlar birbirini takip eden olukların arasındadır. Dar oldukları için gerek kutup akısından ve gerekse endüvi alanının enine etkisiyle manyetik doymaya çok yakın manyetik alan yoğunluklarında çalışırlar. Bu nedenle dişlerin ağırlıkları rotor boyunduruğuna göre az olmasına rağmen büyük demir kaybına neden olurlar. Ayrıca doyma halinde sanki hava aralığının büyümüş olması gibi etki yaparlar. Demir kayıpları esas itibariyle iki kısımda incelenirler. Bunlar Histerisiz ve Fuko (Girdap akımı) kayıplarıdır.

Sacın kalınlığının mümkün olduğu kadar ince yapılması ve laklanarak direncinin artırılmasıdır. Motorda bu kayıplardan dolayı oluşacak ısınmaya karşı, gerekli soğutma



tedbirleri alınır ve motorun çalışmasına zarar verecek ısı değerlerine ulaşması engellenir.

**Mıknatıslanma Eğrileri,** motorların manyetik devresinde kullanılan malzemenin en yaygın ve ucuz olanı demirdir. Farklı malzemeler farklı mıknatıslanma özelliklerine sahiptir. Mıknatıslanma, motor tasarımında kullanılması gereken manyetik endüksiyon değeri ne manyetik doyma bölgesinde, ne de lineer bölgede seçilmelidir. Lineer bölgede yapılan seçimler manyetik alan küçük olmasından dolayı demir çekirdek kesitinin büyümesine ve gücün küçülmesine yol açar. Ayrıca demir ağırlığının artmasıyla demir kayıpları artarak verimin küçülmesine sebep olur. Aynı şekilde manyetik endüksiyonun doyma bölgesinde seçilmesi, bobinlerin aşırı yüklenmesine neden olacağından, ısınma ile soğutma problemleri oldukça önem kazanır. Bu durumda motorun verimi fazlalaşan bakır kayıplarından dolayı düşer.

Bu nedenlerden dolayı manyetik endüksiyon, genelde lineerlikten ayrılıp doyma bölgesine girdiği ara bölgede seçilir. Ancak bu durumda optimum demir gövde ölçülerine, demir kayıplarına ve bakır kayıplarına erişildiği için, verim de varabileceği en yüksek noktaya ulaşır.

**Yüzey Kaybı,** demir kaybının olduğu diğer kısım ise kutup ayaklarının endüviye baktığı yüzdür. Endüvide endüklenen alternatif akımın meydana getirdiği değişken manyetik alan bu kısımların derinliklerine girer. Buralarda demir kayıplarına neden olur. Bunun dışında endüvide oluklaşmanın getirdiği hava aralığı titreşimleri kutupların altındaki uyarma alanına ait manyetik alanın şeklini bozar. Bu titreşimler oluk sayısı ve saniyedeki devir sayısı ile doğru orantılıdır. Bu titreşimler manyetik alan eğrisinin üstüne binerek onun şeklini bozar ve kutup ayaklarının yüzeylerinde yüzey kayıplarını meydana getirir.

**Mekanik Kayıplar,** hava ile soğutmalı motorlarda üç kısımda incelenir. Bunlar yataklarda meydana gelen soğutucu havanın oluşturduğu sürtünmedir. Soğutucu ortam malzemesinin veya soğutma türünün değişmesi vantilasyon kayıplarını etkiler.

**Fırça Sürtünme Kaybı,** fırçanın yüzeyi, kolektöre veya bileziğe bastığı basınç ve kolektör hızı ile orantılıdır. Sadece DC motorlar için geçerlidir.

**Yatak Sürtünme Kaybı,** rulmanlı yataklarda meydana gelen sürtünme kaybı ventilasyon kaybının yanında çok küçüktür. Bir çok durumda hesaba dahi katılmaz. Bu kayıp genel olarak rulmanın çapı, boyu, rulmana gelen basınç ve milin çevresel hızı ile orantılıdır.

**Ventilasyon Kaybı,** ventilasyon kaybı motora giren hava debisi ve hızın karesi ile doğru orantılıdır. Motora giren havanın debisi endüvi hızının fonksiyonu olduğu için, ventilasyondan oluşan kayıp hızın küpü ile orantılı olur.

Özet olarak toplam sürtünme ve ventilasyon kaybı toplamı motorun çıkış gücünün *yüzde 0,7-2* si veya toplam kayıpların *yüzde 10-20* si mertebesindedir.

**Boşta Kayıplar,** DC motorların boşta çalışmasında endüvi akımının sıfır olması gereklidir. Bu durum serbest uyarmalı motorlarda sıfırdır.

### 6.3.3 Yalıtım

Motor üzerinde kullanılan izolasyon sisteminin derecesi izin verilen sıcaklık artışıyla tespit edilir. Genel olarak izolasyon malzemesi, yüksek sıcaklığa daha kısa maruz kaldığında etkin ömürlüdür. Ömrü havadaki kirleticiler ve kimyasal temizleyiciler tarafından kısılabılır. Tahrik motoru yalıtım sınıfı “Class 200” olarak tespit edilir.

**Tablo 6.2: Motor sıcaklık tablosu**

ATE ou RTE °C		Classe thermique °C	Lettre d'identification <sup>a</sup>
≥90	<105	90	Y
≥105	<120	105	A
≥120	<130	120	E
≥130	<155	130	B
≥155	<180	155	F
≥180	<200	180	H
≥200	<220	200	N
≥220	<250	220	R
≥250 <sup>b</sup>	<275	250	-

*Kaynak:* TS EN 60349-1:2010, Elektrik ile cer – demiryolu ve karayolu taşıtları için döner elektrik makineler, Nisan 2011.

Tablo 6.2’de kullanılan aralıklar gösterilmiştir. Y, A ve E düşük sıcaklık sınıfları olduğu için tahrik motorda kullanılmamaktadır.

Motor tipleri ve motor parçaları arasında biraz farklı şekillerde uygulanır. Sincap kafesli asenkron motorlarda sıcaklık artışı herhangi bir sargı veya parça için tehlikeli olmamalıdır.

#### **6.3.4 Soğutma Yöntemleri**

Tüm cer uygulamalarında soğutma şekli, motorunun gücüne, sargılarından geçen akımların genliklerine, kullanılan elektro-manyetik devrenin yapısına, mıknatıslanma karakteristiğine ve sürtünme kayıplarına bağlıdır. Kayıpların motor sıcaklığında meydana getirdiği artış soğutucu ortam ile engellenir ve motorun sabit sıcaklıkta çalışması sağlanır. Bu işlemi gerçekleştirmek için ısınan yüzeylerde ısı transferinin yapılması gerekir. Elektrik motorlarında ısı transferini gerçekleştirmek için kullanılan yöntemlerde, soğutmak için kullanılan enerjinin mümkün olduğu kadar küçük olması önemlidir. Elektrik motorunun soğutucusu için sarf edilen güçlerin toplamı, bu ikilinin verimini etkiler. Buna göre, cer motorların yapısı soğutma şekline bağlı olarak tamamen kapalı, kendinden havalandırmalı, cebri havalandırmalı olarak imal edilir.

Tamamen kapalı motorlar iç kısmına gelen harici havaya kapalı sistemlerdir. Demiryolu araçlarında nadiren uygulanır.

Kendinden havalandırmalı motorlar çok daha yaygındır ve raylı sistem araçlarının büyük kısmında kullanılır. Burada hava ısıyı dağıtmak için motorun içinden geçmeye zorlanır. Bundan dolayı motor içinde sıkışan hava hacmi doğrudan motorun hızına bağlıdır.

Motorlar uzun süre düşük hızlarda yüksek çekiş gücünde çalışabilir. Bu durumda kuvvetli havalandırma kullanmak gereklidir, soğutma havası harici fanlar beslenir. Maruz kalınan değişken yüke ve anahtarlama göre verimliliği artırmak amacıyla motor sıcaklığının her hız aralığında sabit olması için hava akışının sabit olması gerekir.

Kendinden havalandırmalı ve cebri havalandırmalı motorlarda hava, herhangi bir parça kirlenmeyecek şekilde temiz ve kuru olması için filtrelendirilir. Yeterli soğuk hava tüm hız aralıklarında ve motorun her çalışma şartında elde edilmesi gerekir. Hava akımı diğer ekipmanlar tarafından engellenmeyecek ve diğer ekipmanlar tarafından ısıtılmayacak düzende imal edilir.

İmalatı yapılacak motorda kullanılacak havalandırma şekli parametrik hesaplamalar sonucu elde edilen ısı analizlere göre yapılır.

İndüksiyon cer motorunda, bütün bir motor boyunca cebri havalandırma uygulanır. Bununla birlikte, toz ve düşük bakımdan rotoru önlemek amacıyla, PMSM motoru sadece statorda soğutma cebri havalandırma bulunmaktadır. Ayrıca, PMSM rotorda üretilen daha düşük kayıplar vardır ve indüksiyon motor ile karşılaştırıldığında nispeten daha düşük ısı doğal olarak statora aktarılabilir. Isı dağılımı hesaplamalı akışkanlar dinamiği modeline göre analiz edilir.

Cer motoru sarımının maksimum sıcaklık artışı, filtrelerin yüzde 25 oranında dolması göz önünde tutularak T-70 santigrad derece olarak sınırlanır.

### **6.3.5 Montaj Esasları ve Ağırlık**

Cer motor tasarımının mekanik yönlerinden yola çıkarak, aracın tekerleklerine cer gücünü aktarmak için yol olmalıdır. Bu nedenle motor çıkış şaftı ve araç aksları arasında mekanik bir bağlantı olması gerekir. Motor, gövdesinden bir veya birkaç noktadan desteklenmiş ve bağlanmış olmalıdır.

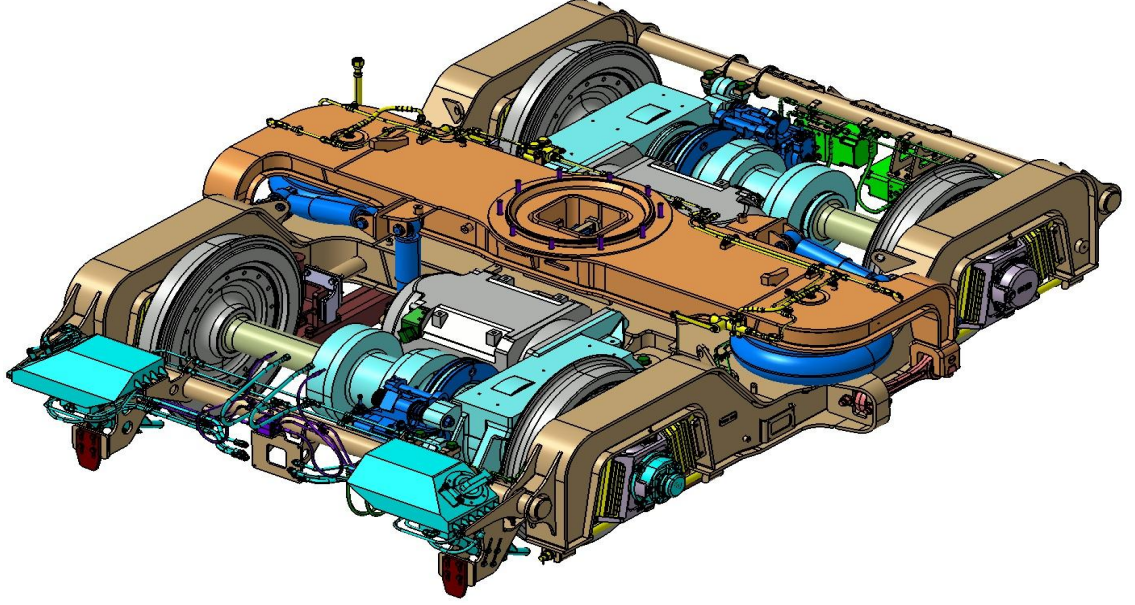
Motor ağırlığı, araç toplam ağırlığını etkilemesi nedeniyle cer performansına direkt etkisi bulunmaktadır. Buna istinaden ve yerleşimdeki kısıtlar nedeniyle cer motorları, hafif ve küçük boyutlarda tasarlanır.

Seçim motorun türüne, ölçüsüne, araç hızına ve yaysız kütle gereksinimleri ve kullanılabilir alana göre belirlenir.

Her tahrikli bojide birbirine çapraz konumda tek veya iki cer motoru yerleştirilebilir. Yerleştirilen bu motorların statorunu oluşturan gövde, bogi üzerine yerleşimini

etkilemektedir. Şekil 6.8’de görüldüğü gibi yüksek tabanlı araçlarda bogi üzerinde yeterli alanın olması motor boyutunun ikinci plana atılmasını sağlar.

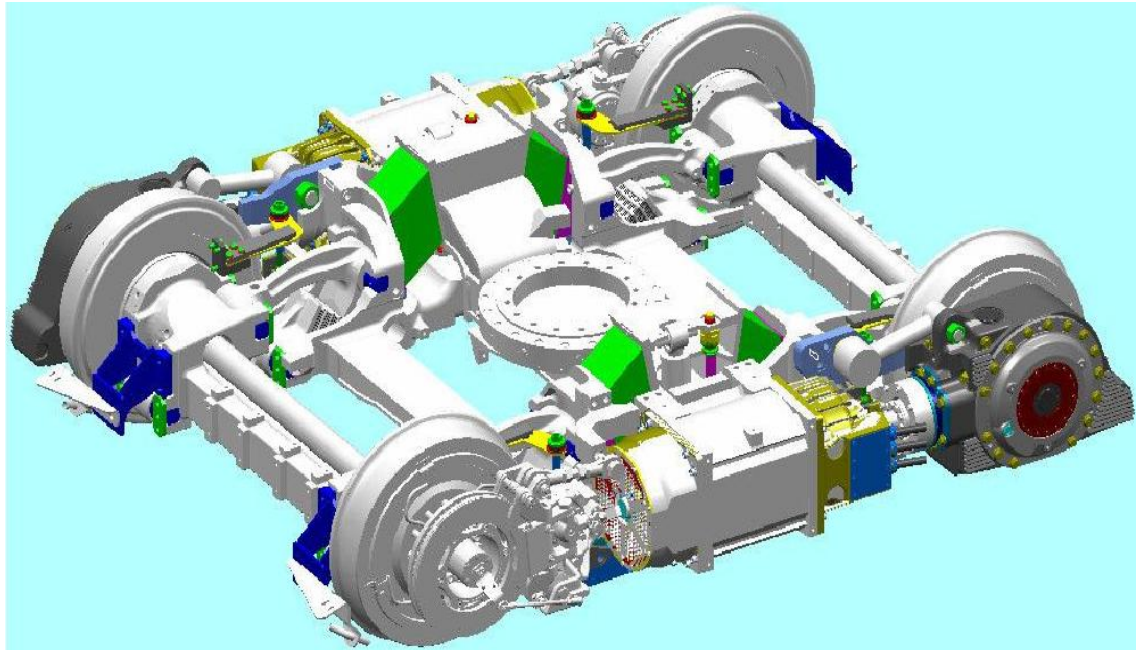
**Şekil 6.8: Yüksek tabanlı araç motor yerleşimi**



*Kaynak:* İstanbul Ulaşım A.Ş, Yerli Tramvay Proje Koordinatörlüğü, Ocak 2013.

Şekil 6.9’da görülen yerleşim ise, düşük tabanlı araçlarda bu durumun tersi olduğudur.

**Şekil 6.9: Alçak tabanlı araç motor yerleşimi**



*Kaynak:* İstanbul Ulaşım A.Ş, Yerli Tramvay Proje Koordinatörlüğü, Ocak 2013.

Asılı aks, bogi çerçevesi montajı, gövde montajı sırasıyla doğru cer düzenlemelerinin mekanik olarak karmaşıklığını gösterir.

Asılı aks tertibatında motor aksa paralel şekilde ve motor çerçevesine monte edilmiş esnek bir burun ile bogiye bağlanarak desteklenmiştir. Burun montajı darbe direnci derecesi sağlar ve motor çerçevesinin aksın kendi tırnakları içinde hareketine olanak sağlar.

Motor ölçüsü tekerlek çapıyla ve motor ağırlığının yaklaşık yarısıyla sınırlıdır. Motor ağırlığının diğer yarısı aks ağırlığının parçası olarak sayılan, yaysız kütle bölümünü oluşturur. Demir yolu üzerindeki hataların trene etkisi, yaysız kütle ve hızın karesi olarak tanımlanır.

Çözüm olarak tüm motor ağırlığı ön süspansiyon ile bogi üzerine monte edilir. Burada motor mili tamamen esnek bir tahrik düzenlemesi vasıtasıyla tekerlek/aksa bağlı olarak bogi çerçevesi üzerine asılır. Bu esnek mafsal esas süspansiyon tarafından izin verilen sınırlarla aksın hareketini gerçekleştirmesi mümkün olmaktadır. Hareket aralığını sınırlamak için motor sabit çerçeveye monte edilir veya çok sınırlı esneklikle monte edilir. Gövde monteli motor tertibatı geliştirilir. Motor birincil ve ikincil süspansiyonların her ikisi araç gövdesi üzerine monte edilir, mekanik açıdan bu ağırlığı taşımak zorunda olduğu için en iyi yerdir.

Buraya kadar olan mekanik düzenlemeler tek bir motor ve tek bir aks/tekerlek içindir. Montajın bir diğer biçimi olan tek motor bojidir. Tek motor tek bojide iki aks tahrik etmek için kullanılmıştır. Motor, uygulamaya göre boyuna ya da enine montajlanabilir. Bu montaj şekli daha karmaşık mekanik aktarma organları gerektirir.

Karmaşık yapıya karşılık bu durum tahrikli dingil sayısını artırırken pahalı motorların sayısını azaltır. Fakat bu mekanik karmaşıklık fiyatına gelir.

### **6.3.6 Dişli Kutusu**

Raylı sistem araçlarında sabit dönüştürme oranına sahip dişli kutusu kullanılmaktadır.

Aks ile mekanik bağlantı genellikle tek bir redüksiyon düz dişlisiyle, motor şaftı üzerine monteli küçük bir dişli ile tekerlekler aks üzerinde monteli geniş dişlidir. Hafif motorlar

ve yüksek ivmelenmenin gerekli olduğu durumlarda, hızlı transit uygulamalar gibi, daha karmaşık çift redüksiyon tahrik dişlisi kullanmak gerekebilir.

### **6.3.7 Bakım**

DC motorlarda, yardımcı kutup alanının çok zayıf veya kuvvetli olması, kollektör yüzeyinin yuvarlak olmayışı, kollektör lamelleri arasındaki izolasyonun dışarı taşması, fırça ile fırça tutucu arasındaki oynaklığın fazla veya az oluşu, fırçanın kollektör yüzeyine belirli bir basınç ile oturmaması, fırça tutucunun tespit edildiği fırça taşıyıcısının saplamasının endüvi eksenine paralel olmayışı, fırça taksimatının eşit olmayışı, kollektör yüzeyinin oksidasyona karşı korunmuş olmaması, endüvinin dinamik balansmanı iyi olmaması, yatakların zamanla aşınması ile meydana gelen boşluklar, fırçaların uygun seçilmemesi, kutuplar altındaki hava aralığının birbirine eşit olmaması komutasyonu bozar. Bu durumlar DC motorların arıza ve bakım sıklığını artırır. Bu, işletmede maliyetleri artırıcı bir unsur olması nedeniyle istenmeyen bir durumdur.

Cer motorlarında kullanılan rulmanlar yağlayıcı tipte ve yüksek kalitede tanınmış markalardan seçilecektir. Rulmanlara dışarıdan, kolay ulaşılabilir sistem/ekipman vasıtasıyla yağ ilave edilebilmelidir.

Cer motorları kolaylıkla bakım yapılabilecek nitelikte olması gerekmektedir. Cer motorlarının önemli bir arızası olmaması halinde araçtan bakım için en erken 800.000 km'de alınması beklenir.

### **6.3.8 Çevresel Talepler**

Raylı sistem araçlarının ülkelere göre farklılık gösteren iklim koşullarında çalışması söz konusudur. Ortam sıcaklığı, motorun çalışmasının etkileyeceği için, özellikle sıcaklık artışı sabit mıknatıslı motorlar olumsuz etkileyeceği için, müşteri talepleri doğrultusunda -25 °C ve +40 °C aralığında tasarlanır.

Cer Motorları araç altından açık alanda bulunur. Çevresel olarak gürültü söz konusu olmaktadır. Bu nedenle motorun tam frekans aralığında maksimum kabul edilebilir ses seviyesi 1 metre mesafeden 85 dB (A) 'dir.

Isı, titreşim, mekanik ve basınç kaynaklı gerilmeler, nemliliğin özel çevresel etkileri, fren papuçlarından gelen toz ve metal toz parametreleri gerçek çalışma koşullarına olabildiğince yakın bir şekilde simüle etmek için dahil edilir.

Uygulanan yalıtım sistemi özellikleri standartlarda belirtilen olumsuz iklim ve çevre koşullarına dayanacak şekilde dizayn edilir. Nem geçirmezliği sağlanır. Yalıtım sistemini etkileyecek sıcaklık değer göstergesi IEC 271 standardına göre belirlenir.

Termal dayanıklılık için yalıtım sisteminin imalatı, testi ve değerlendirmesi, IEC 60034-18'de belirtilen gereksinimlere uygun olarak yapılır.

20,000 saatlik bir tahmini ömrün elde edildiği sıcaklık, yalıtım sisteminin termal mukavemet sınırı olarak kabul edilir.

Uygulanan yalıtımın sistemi, iklimsel ve çevresel koşullarla ilgili olarak şirket cer motorlarının uzun ömürlülüğü için sıcaklık yükselişindeki maksimum olası sınırlarını sağlaması beklenir.

### **6.3.9 Ömür**

Motorun teknik ömrü en az 30 yıldır. Bu dönemde, motorun stator sargılarına ve rulman yataklarına bakım yapılır. Rulman yatakları için ömrü hesaplamaları yapılır.

Motorun bakım aralığı en az 8 yıl ya da bu katlarından olması beklenir. Bu süre içinde araç en az 720.000 km sürücü veya hizmet 40.000 saat olacaktır.

Cer motoru yataklarının L-10 ömrü en az 1.2 milyon km olması beklenmektedir.

### **6.3.10 Motor İmalat Aşamaları**

#### **6.3.10.1 Fikstür**

Motor üretiminin hesaplanan değerleri karşılması ve hızlı olması için üretim altyapısını oluşturan aşağıdaki fikstürlerin imalatı yapılır.

a. Gövdenin imalatı için hazırlanan fikstürler,



- b. Stator sac paketinin oluşturulması için hazırlanan fikstürler,
- c. Rotor sac paketlerinin oluşturulması için hazırlanan fikstürler,
- d. Stator sargılarına şekil vermek için kullanılan fikstürler.

### **6.3.10.2 Stator**

Motorun gövdesini oluşturan çelik karkas fikstürler üzerinde EN 15085 standardına göre kaynaklanarak montajı yapılır. Kaynakla montajı biten gövdenin minimum 4 saat 180-220 derecede sıcaklıkta normalize tavını alması sonrasında kumlama, temizleme ve boyama yapılır. Gövde üzerinde stator sargılarının yerleştirileceği, bogi montaj yüzeyleri, soğutma kanalları oluşturulur.

Motorun gövdesini önemli bir kısmını oluşturan stator için, fikstürler yardımı ile stator oluklarını içeren silisyum alaşımli, tek tarafı laklanmış laminasyon saclarının yerleşimi yapılır. Bu işlemde lak kaplamanın çizilmemesi önemli bir konudur. Oluşturulan stator sac paketi preslenerek sabitlenir.

Stator sargıları gerekli izolasyonları yapılarak hazırlanır ve stator olukları içine yerleştirilir. U, V, W uçlarının oluşturulması için her sargı gruplandırılarak lehimlenir. Oluşturulan üç grup sargı konnektörü ile sonlandırılır.

### **6.3.10.3 Rotor**

Motorun tasarımına göre hazırlanan rotor mili izerine, stator uygulamasında olduğu gibi fikstürler yardımı ile rotorun oluklarını içeren silisyum alaşımli, tek tarafın laklanmış sacların yerleşimi yapılır. Bu işlemde lak kaplamanın çizilmemesi önemli bir konudur. Oluşturulan rotor preslenerek sabitlenir.

Sac paketinde rotor miline paralel halde uzanan oluklar, bakır çubuklardan oluşan iletkenler tek tek yerleştirilir. Gerekli ısıtma ve soğutma işlemlerinden sonra dinamik balans ayarı yapılır. İletkenlerin dönme hareketi sırasında oluşan merkez-kaç kuvvetlerinden etkilenip, hava aralığına taşmalarını engellemek amacıyla, merkez-kaç kuvvetine eşit basınçla preslenerek oluk içinde sıkıştırılır. Preslenen bakır çubuklar kısa devre halkası kaynaklanarak kısa devre yapılır.

### 6.3.11 Testler

AC tahrik motoru IEC 60349'a göre tip testine tabi tutulur. Motorun verim ve karakteristiğinin belirlenmesi IEC 60349 standartına göre minimum frekansta, nominal hızda, maksimum kayma sınırlama hızında ve maksimum hızdaki testler de dahil olmak üzere yapılır.

- a. Gövdenin boyutsal ölçümleri
- b. Ağırlık ölçümü
- c. Stator sargı direnci
- d. Yüksüz, rotor kilitlemeli ve yüklü karakteristik testleri
- e. Sürekli nominal güçte ve bir saatlik çalışmadaki sıcaklık artış testleri
- f. Aşırı hız testi
- g. Gürültü testi
- h. Titreşim testi
- i. Hız sensörü ölçümleri
- j. İzolasyon direnci ölçümleri
- k. Dielektrik izolasyon testi

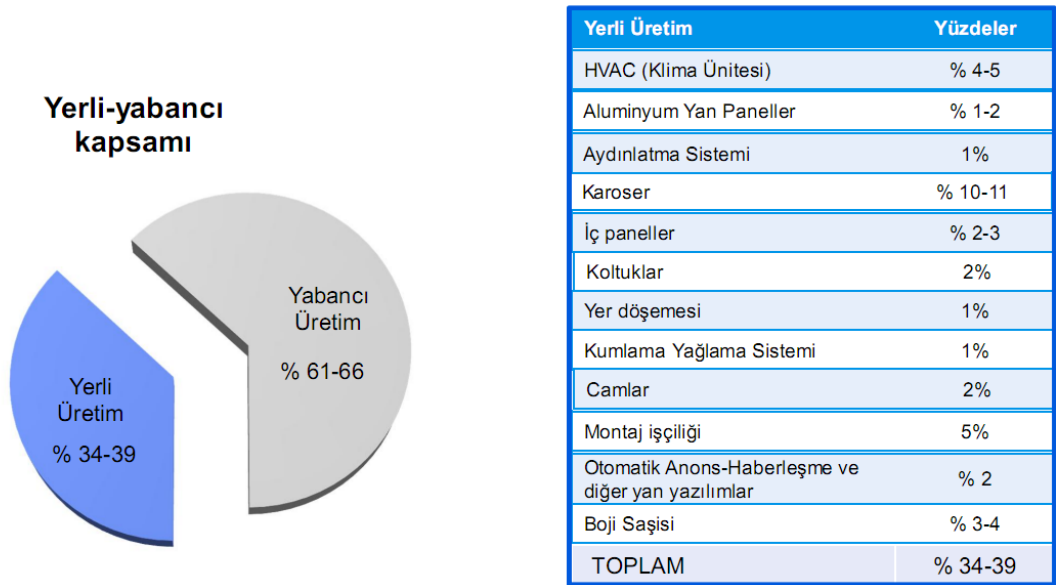
## 7. BELİRLENEN DİZAYN PARAMETRELERİNE GÖRE TÜRKİYE’DE CER MOTORU İMALATI

### 7.1 YERLİ İMALATIN MEVCUT DURUMU

Türkiye raylı sistem araçlarındaki yerli ve yabancı oranları ile cer motorunun toplam üretim içindeki payından söz edilecektir.

Şekil 7.1’de görüldüğü gibi, raylı sistem araçlarında kullanılan sistemlerin üretimi içinde yerli üretimin payı yüzde 34-39 bölgesindedir.

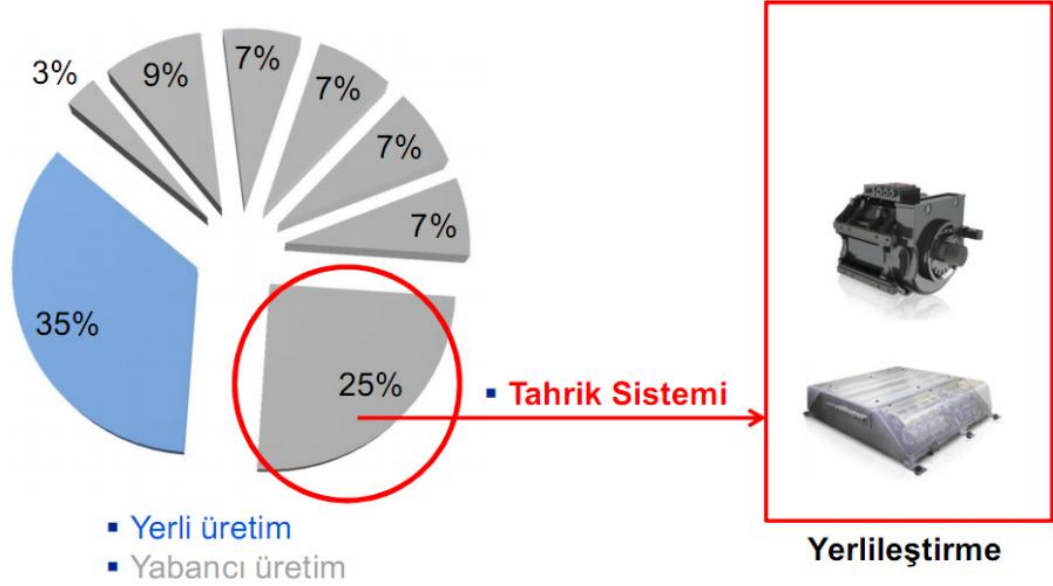
**Şekil 7.1: Raylı sistem araçlarındaki yerli üretimin durumu**



*Kaynak:* İstanbul Ulaşım A.Ş., Yerli Tramvay Proje Koordinatörlüğü, Ocak 2013.

Bununla beraber Şekil 7.2’de, araç üzeri sistemlerin yüzde 25’inin cer sisteminin oluşturduğu görülmektedir. Genel olarak bir aracın ihtiyacı olan cer performansını karşılaması için cer sistemine 4 motor dahil edilmektedir. Bu motorlar bir bogide iki motor olmak üzere bir invertörle kontrol edilmektedir. Buradan, araç üzerinde yer alan motorların, yaklaşık olarak cer sisteminin yüzde 50’sini oluşturduğu anlaşılır.

**Şekil 7.2: Cer sisteminin araç üzerindeki yerli-yabancı durumu**



*Kaynak: İstanbul Ulaşım A.Ş., Yerli Tramvay Proje Koordinatörlüğü, Ocak 2013.*

Unife, Dünya yıllık raylı sistem büyümesini yüzde 3'lük olarak temel almıştır. Türkiye ile Avrupa raylı sistem araç parkı arasındaki farkın azaltılması için yıllık büyüme en az yüzde 5 alınmalıdır. Bu büyüme varsayımıyla Tablo 7.1'de verilen adetler hesaplanmıştır ve toplam 5656 adet cer motoru ihtiyacı tespit edilmiştir.

**Tablo 7.1: 2023 cer motor talebi (yüzde 5 büyüme oranı ile)**

	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
<b>Mevcut</b>	8993	9443	9915	10411	10931	11478	12051	12654	13287	13951	
<b>%5 Büyüme</b>		9443	9915	10411	10931	11478	12051	12654	13287	13951	14649

*Kaynak: İstanbul Ulaşım A.Ş., Yerli Tramvay Proje Koordinatörlüğü, Ağustos 2013.*

Bu tablo değerleri "Türkiye Ulaşım Ve İletişim Stratejisi Hedef 2023" belgesinde belirlenen hedefler doğrultusunda Türkiye'deki cer motor talebi ile uyum içindedir.

Diğer taraftan, bu büyüme yanında, Türkiye raylı sistem araçlarının yüzde 70'inin 20 yaş ve üzerinde olduğu düşünüldüğünde, en az yüzde 10 yenileme ihtiyacını ortaya çıkarmaktadır. Bu sebeple, yüzde 10 yenileme yapılması gerekmektedir (Avrupa raylı sistem pazarıyla olan farkın azaltılması için bu zorunluktur).

2023 hedefleri dikkate alındığında Türkiye cer motor talebi, yüzde 10 yenileme öngörüsüyle, Tablo 7.2’de verilen adetlere ulaşmakta ve toplam olarak yenileme için 14333 adet cer motoru ihtiyacı doğmaktadır.

**Tablo 7.2: 2023 cer motor talebi (yüzde 10 yenileme oranı ile)**

	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
<b>Mevcut</b>	8993	9892	10882	11970	13167	14483	15932	17525	19277	21205	
<b>%10 Yenileme</b>		9892	10882	11970	13167	14483	15932	17525	19277	21205	23326

*Kaynak: İstanbul Ulaşım A.Ş., Yerli Tramvay Proje Koordinatörlüğü, Ağustos 2013.*

Türkiye 2023 ulaşım stratejileri, raylı sistem araç filosunun büyümesi ve mevcut araçlardaki yenileme ihtiyacı dikkate alındığında, 2023 cer motoru talebi yaklaşık 20.000 adet olarak hesaplanmaktadır.

Bu talebin parasal değeri, asenkron cer motorunun güncel ortalama fiyatı olan 25.000 Euro fiyat baz alınarak hesaplandığında 500 milyon Euro baliğ olmaktadır. Bu değer yüzde 50’sinin bile ülkemizde kalması cari açığın azaltılmasına katkı yapacağı aşıkardır.

## **7.2 MALİYETLER**

Demiryolu sektöründe rekabet ortamının oluşması, mevcut bütçe kısıtlarına rağmen pahalı ürün ve sistemlerden dolayı işletme ve bakım maliyetlerinin ve ekonomik veri olarak kullanılan enflasyon oranlarının yükselmesi, kullanıcıların, ekipman, araç ve sistemlerin maliyet etkinliği konusundaki farkındalığının artması imalatı yapılacak motorun en etkin şekilde maliyetlendirilmesini gerektirmektedir.

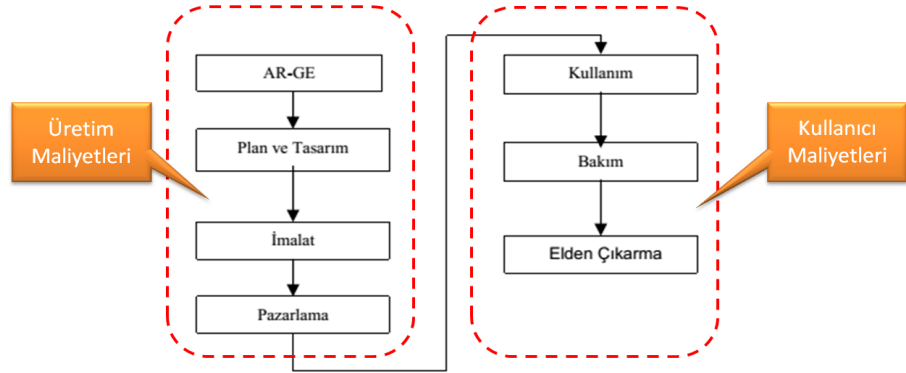
Üretim ve yatırım maliyetleri süreç olarak verilmiş, rakamsal değerler ticari sınırlar kapsamında değerlendirilmiştir.

### 7.2.1 Üretim Maliyetleri

Kavramsal, analitik ve sezgisel olarak üç kategoride sınıflandırılan maliyetleme metotlarında ekipman, araç ve sistem sayısının çeşitliliği nedeniyle bir çok veriye ihtiyaç duymaktadır. Bu veriler elde edilirken, ekipman, sistem veya alt sistemleri etkin ve açık bir şekilde tanımlanması, maliyet tahmini gerçeğe olabildiğince yaklaştırmaktadır.

Bir ürünün, lojistik ve işletme maliyetleri gibi sahip olma maliyetleri, ilk satınalma maliyetinden 10-100 kat daha fazla olabilmektedir. Bu anlamda imalatı yapılacak olan motorun maliyetlerini etkin şekilde tespit edebilmek için, imalatın her aşamasındaki maliyetlerin tespit edilmesi gerekmektedir. Şekil 7.3'te üretim ve kullanıcı maliyetleri akış şeması görülmektedir.

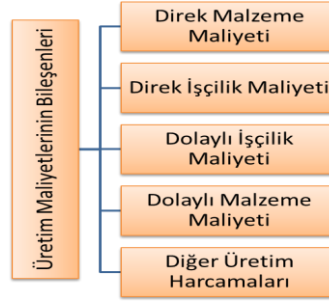
**Şekil 7.3: Üretici ve kullanıcı maliyet tablosu**



*Kaynak:* İstanbul Ulaşım A.Ş., Yerli Tramvay Proje Koordinatörlüğü, Ocak 2013.

Tasarım ve prototip imalat sürecinden sonra gelen imalat aşamasında, üretim maliyetlerindeki en geniş yere sahip maliyet türü malzeme ve işçilik maliyetleridir. Şekil 7.4'te beş grupta gösterilmiştir.

## Şekil 7.4: Üretim maliyet bileşenleri



*Kaynak:* İstanbul Ulaşım A.Ş., Yerli Tramvay Proje Koordinatörlüğü, Ocak 2013.

Motor imalatı sürecinde, AR-GE maliyeti, yatırım/devreye alma maliyeti, işletme ve destek hizmetleri maliyetleri önemli maliyetler kalemlerini oluşturmaktadır.

### 7.2.2 AR-GE Maliyetleri

AR-GE maliyetleri, tasarım aşamasındaki tüm işlemleri kapsayan birinci önemli maliyet unsurudur. 10 ana bileşende gruplamak mümkündür:

- AR-GE veri ve dokümantasyon maliyeti,
- AR-GE ekipman maliyeti,
- AR-GE sabit tesis maliyeti,
- Geliştirme mühendislik maliyeti,
- Prototip üretim maliyeti,
- AR-GE test ve değerlendirme maliyeti,
- Üretilbilirlik tasarım ve planlama maliyeti,
- AR-GE sistemi veya proje yönetim maliyeti,
- AR-GE eğitim hizmetleri ve ekipman maliyeti,
- Diğer AR-GE maliyetleri.

### 7.2.3 Yatırım ve Devreye Alma Maliyetleri

Tasarımı tamamlanarak onayı verilen prototip motorun yatırım, devreye alma maliyetleri ikinci önemli maliyet unsurudur. 11 ana bileşende gruplamak mümkündür:

- Üretim maliyeti,

- b. İlk eğitim maliyeti,
- c. Lojistik maliyetleri,
- d. Veri ve dokümantasyon maliyetleri,
- e. Tasarım değişikliklerinin maliyeti,
- f. Tekrar etmeyen yatırım maliyeti,
- g. Sistemin test ve değerlendirme maliyeti,
- h. Üretim aşamasındaki sistem veya proje yönetim maliyeti,
- i. İlk yedek parçaların ve tamir gören parçaların maliyeti,
- j. Devreye alma maliyeti,
- k. Diğer yatırım/devreye alma maliyetleri.

#### **7.2.4 İşletme ve Destek Hizmetleri Maliyetleri**

Üçüncü önemli unsur olan bu maliyet kalemi, kullanıcı açısından önemli olmasına rağmen, imalat açısından üretilecek motorun tasarımına etki eden bakım maliyetleri gibi önemli konuları içermektedir. 6 adet ana bileşenle sınıflandırmak mümkündür.

- a. Dolaylı destek hizmetlerinin maliyeti,
- b. Bakım maliyetleri,
- c. Revizyon maliyetleri,
- d. İşletme maliyeti,
- e. Personel maliyeti,
- f. Diğer direk destek hizmetlerinin maliyeti.



### 7.3 YERLİ ÜRETİMDE KULLANILAN TEKNOLOJİLER VE AR-GE

Cer motorları, teknoloji transferi yoluyla yapılan lisans anlaşmalarıyla, teknolojinin satın alınarak elde edilen Know-How ile ve AR-GE faaliyetleri sonucunda elde edilen patentle imal edilmektedir.

#### 7.3.1 AR-GE Proje Süreci

AR-GE'nin temel amacı; yaptığımız işin, ürünün ve hizmetin sürdürülebilir rekabet üstünlüğünü korumak ve geliştirmek için mevcut bilim ve teknolojilerin en iyi şekilde kullanımı sağlamaktır. Gelecekte tercih edilmek ve ayakta kalmak için AR-GE çalışmaları şarttır.

Şekil 7.5'te AR-GE proje süreci verilmektedir.

Şekil 7.5: AR-GE proje süreci



*Kaynak:* Kantarcı, Dr. Muammer, 2013. Hatay İli Yenilik Platformu Projesi Kapsamında Küresel Rekabet Ortamında AR-GE Semineri.

AR-GE faaliyetlerinin desteklenmesi için, 5746 sayılı “Araştırma ve Geliştirme Faaliyetlerinin Desteklenmesi Hakkında Kanun” 12.03.2008 tarihinde ve uygulama Yönetmeliği 31 Temmuz 2008 tarihli Resmi Gazetede yayımlanarak yürürlüğe giren 5746 sayılı Kanunun amacı şu şekildedir;

- a. AR-GE ve yenilik yoluyla ülke ekonomisinin uluslararası düzeyde rekabet edebilir bir yapıya kavuşturulmasıdır.
- b. Teknolojik bilgi üretilmesini, üründe ve üretim süreçlerinde yenilik yapılmasını, ürün kalitesi ve standardının yükseltilmesini,
- c. Verimliliğin artırılmasını, üretim maliyetlerinin düşürülmesini,
- d. Teknolojik bilginin ticarileştirilmesini,
- e. Rekabet öncesi işbirliklerinin geliştirilmesini,
- f. Teknoloji yoğun üretim, girişimcilik ve bu alanlara yönelik yatırımlar ile ArGe'ye ve yeniliğe yönelik doğrudan yabancı sermaye yatırımlarının ülkeye girişinin hızlandırılmasını,
- g. ArGe personeli ve nitelikli işgücü istihdamının artırılmasını desteklemek ve teşvik etmektedir.

#### AR-GE Kanunu Kapsamı;

- a. Türkiye'de faaliyet gösteren işletmelerin en az 50 tam zaman eşdeğer ArGe Personeli istihdam ettikleri AR-GE Merkezleri,
- b. Kamu kurum ve kuruluşları ile uluslar arası fonlardan desteklenen ArGe Projeleri ve ortaklarından en az birisi AR-GE Merkezi bulunan bir işletme olmak üzere aynı veya değişik sektörde faaliyet gösteren işletmeler tarafından işbirliği içinde yürütülen ve bu işletmelerden birisi veya birkaçı tarafından fonlanan, Rekabet Öncesi İşbirliği Projeleri,
- c. Küçük ve Orta Ölçekli Sanayi Geliştirme ve Destekleme İdaresi Başkanlığı tarafından 12/4/1990 tarihli ve 3624 sayılı Kanuna göre oluşturulan teknoloji merkezi işletmeleri ve Tekno girişim Sermayesi Desteğinden yararlanan girişimciler için,

sağlanan destek, teşvik ve muafiyetleri kapsamaktadır.

### 7.3.2 Teknoloji Transferi

Teknoloji, bilimden ve tecrübelerden elde edilen bir bilgi, araçlar, teknikler ve yenilikler bütünü olup, ürünlerin, süreçlerin, sistemlerin ve hizmetlerin geliştirilmesinde, tasarlanmasında, üretiminde ve kullanımında/uygulanmasında kullanılır.

Teknoloji Transferi, bilimsel ve teknolojik gelişmelerin; teknolojiyi daha da geliştirerek yeni ürünler, süreçler, uygulamalar ve hizmetlerde kullanabilecek geniş bir kullanıcı kitlesine erişilebilir olmasını sağlamak için, becerilerin, bilgilerin, teknolojilerin, imalat yöntemlerinin, imalat örneklerinin ve tesislerin hükümetler ve diğer kurumlar arasında paylaşılması sürecidir.

Bilgi transferi ile yakından ilişkilidir. Temel olarak, insani bilginin bir insandan diğerine akışı meselesidir.

Cer motoru üretim teknolojisinin satın alınması ile yüksek fayda elde edilir. Bu fayda, uzun vadede çok fazla değişmemektedir.

Üretim teknolojisinin AR-GE faaliyetleri ile yerli imkanlarla geliştirilmesi kısa vadede ihtiyacın karşılanması için yeterli faydayı sağlayamamaktadır. Orta ve uzun vadede elde edilecek fayda sınırlı olmakla beraber yeterli olmamaktadır.

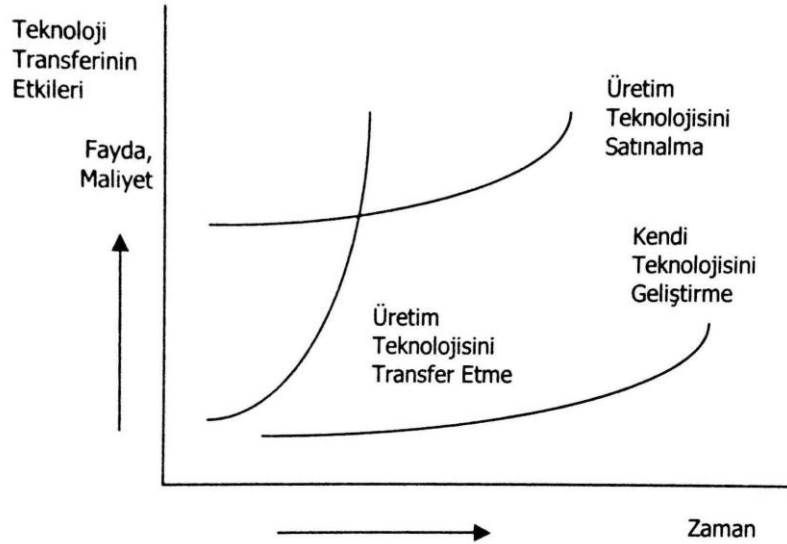
Üretim teknolojisi transfer edilerek, kısa zamanda yüksek fayda elde edildiğinden bu yolla teknolojinin elde edilmesi uygun olmaktadır.

Şekil 7.6'da verilen teknoloji transferinin etkileri hakkındaki bilgiler ışığında Teknoloji Transferi yöntemleri şunlardır:

1. Direkt (Doğrudan) Teknoloji Transferi
  - a. Doğrudan Dış (Yabancı) Yatırım
  - b. Ortak Girişimler (Joint Ventures)
  - c. Teknoloji Transferi Anlaşmaları
    - Lisans Anlaşmaları

- Yönetim Anlaşmaları
  - Teknik Destek Anlaşmaları
  - Anahtar-teslim Sözleşmeleri
- d. Makine ve Ekipman (Donanım)
  - e. Finansal Kiralama (Leasing)
  - f. Çalışan Yabancı Uzmanlar
  - g. Serbest Bölgeler
  - h. Alt yükleniciler (Taşeron)
  - i. AR-GE Faaliyetleri
2. Endirekt (Dolaylı) Teknoloji Transferi
    - a. Kamu Bilgisi, Eğitim ve İnsan Kaynakları

**Şekil 7.6: Teknoloji elde etme yolları**



*Kaynak:* Kantarcı, Dr. Muammer, 2013. Hatay İli Yenilik Platformu Projesi Kapsamında Küresel Rekabet Ortamında AR-GE Semineri.

Tablo 7.3'te TCDD'nin, yaptığı anlaşmalara istinaden yurtiçinde araç üretimi için kullandığı lisanslar yer almaktadır. TCDD, bu lisansların gereklilikleri çerçevesinde araç ve bu araçlarda kullanılan cer motoru imalatını yapmaktadır. Bu yolla yurtiçi araç gereksinimlerinin bir kısmını karşılamanın yanında yurtdışına ihraç etmektedir.

**Tablo 7.3: TCDD imalat lisansları**

LİSANSÖR FİRMA	KONUSU	TEKNOLOJİ TÜRÜ	ANLAŞMA TARİHİ	GEÇERLİLİK SÜRESİ
GENERAL MOTORS, EMD/USA	DE 22000 VE 33000 ANAHAT LOKOMOTİFİ	TEKNİK YARDIM	02.02.1984	31.01.2005
TOSHIBA CORP./ JAPONYA	E 43000 ELEKTRİKLİ ANAHAT LOKOMOTİFİ	LİSANS	21.05.1985	21.05.1995
ALSTHOM / FRANSA	DİZEL MOTOR	LİSANS	23.12.1980	23.12.1995
MTE/FRANSA	LOKOMOTİF İMALATI	LİSANS	23.12.1980	
KRAUSS-MAFFEI / ALMANYA	LOKOMOTİF MEKANİK TEÇHİZAT	LİSANS	1986	OTOMATİK UZAMALI
MTU/ALMANYA	DİZEL MOTOR	LİSANS		

LİSANSÖR FİRMA	KONUSU	TEKNOLOJİ TÜRÜ	ANLAŞMA TARİHİ
MARLY INDUSTRIE / FRANSA	YÜK VAGONU	KNOW-HOW	1991
KRUPP / ALMANYA	AĞIR VİNÇLİ POZ OTOSU	-	-
ROLBA / İSVİÇRE	KARKÜRER ARACI	-	-

**DİZAYNLAR**

MARKA	ÜRÜN CİNSİ	ÜRETİM BAŞLAMA YILI
TÜLOMSAŞ	DH MANEVRA LOKOMOTİFİ (DH 7000)	1994
TÜLOMSAŞ	DH ANAHAT VE MANEVRA LOKOMOTİFİ (DH 9500)	1999
TÜLOMSAŞ	DH ANAHAT VE MANEVRA LOKOMOTİFİ (DH 10000)	2002
TÜLOMSAŞ	DH ANAHAT VE MANEVRA LOKOMOTİFİ (DH 12000)	2004

*Kaynak:* TCDD, TÜLOMSAŞ Elektrik Makineleri Fabrika Müdürlüğü, Ocak 2013.

## 8. SONUÇ

Endüstride tasarım ve imalat, kullanılan elektrik motorlarına göre gerçekleşmektedir. Kurulum alanının şartları motorların yapılarına göre değiştirilebilmektedir.

Buna karşılık olarak, Raylı sistem uygulamalarında cer motorları, her araca göre değişiklik göstermektedir; Yol şartlarına, Aracın yapısına, motorun araç üzerindeki konumuna ve çevre şartlarına göre tasarlanmaktadır.

Bu durum her motorun araç özelinde tasarlanmasını ve imal edilmesini gerektirmektedir.

Cer Motorlarının mukayese edildiği ve Cer motoru dizayn parametrelerinin verildiği bölümlerdeki bilgilerin ışığında sabit mıknatıslı cer motoru (SMSM) imal etmek için yüksek imalat ve malzeme teknolojilerine ihtiyaç vardır. Bu teknolojileri edinmenin yüksek yatırım maliyeti gerektirdiği bilinmektedir. Üstelik üretim ve kullanımı dünya ölçeğinde çok düşüktür. Yaygın olan sincap kafesli asenkron cer motorlarıdır. Verimlilik bakımından çok iyi durumda olup, yüzde 95 civarındadır. SMSM'den sadece yüzde beş düşüktür.

Diğer yandan Türkiye'nin cer motorlarıyla ilgili kendine özgü teknolojisi bulunmamaktadır. Tek cer motor imalatçısı olan TÛLOMSAŞ A.Ş. imal etmekte olduğu lokomotiflere ait cer motorlarını ya komple ithal etmektedir ya da lokomotif firmalarının lisansları ile üretmektedir. TÛLOMSAŞ A.Ş. bu bağlamda 400 adet/yıl cer motor üretme ve 800 adet/yıl bakım-onarım kapasitesine sahiptir. Dolayısıyla cer motor imalatı için ülkemizde alt yapı mevcuttur.

Bazı Cer motorlarının imalatında yerlileştirme payı yüzde 75 oranına kadar çıkmaktadır. Ancak genel olarak Cer motoru imalatında yerli oran yüzde 51'i geçmektedir. Bakiye oran Lisansör firmalardan ithal edilmektedir.

Bununla birlikte 2023 hedefleri dikkate alındığında Cer Motoru Üretim kapasitesi yeterli gelmemektedir. Bu sebeple ihtiyaçların karşılanması için TÛLOMSAŞ imalat teknolojilerini yenilemeli ve teknolojisini geliştirmelidir.

Teknolojik açıdan cer motoru ile ilgili TÜLOMSAŞ'ın mühendislik kabiliyetlerinin artırılması Üniversiteler ve/veya TÜBİTAK desteği ile birlikte yapılabilir. Ancak Üniversiteler ve TÜBİTAK bu çalışmaları imalat ve mamul mühendisliği konularında TÜLOMSAŞ.A.Ş'nin tecrübesi üzerine bina etmesi ihtiyaç duyulan zamanı azaltacaktır. Bu göz ardı edilmemelidir.

AR-GE faaliyetlerinin uzun vadeli alması, prototip safhasından seri üretim safhasına geçişi çok sayıda prosedür ve belgelendirmelerin zaman alması nedeniyle, 2023 hedeflerine yönelik talep edilen 20.000 adet Cer motorunu üretmek son derece güçtür.

ARGE faaliyetlerine paralel olarak teknoloji transferi veya teknoloji satın alma yolu ile cer motoru üretimi TÜLOMSAŞ ve TÜVASAŞ gibi kuruluşlar tarafından yapılabilir.

Bu tesislerde şehir içi raylı sistem araçları için cer motoru üretimi önceliği verilmelidir.

Üretilecek cer motorlarının yaklaşık mali karşılığı minimum 300 milyon € olmasına rağmen bu fiyatlarla 2023 stratejilerindeki ithal araçlarda yüzde 51 yerli oranı gereğince ülkemize kazandırmak mümkündür.

Buna ilaveten özel sektörü demiryolu sektörüne yatırım yapmasını temin için, alım garantili, Demiryolu sektöründeki AR-GE altyapısının düzenlenmesi, bu alana yapılacak yatırımların desteklenmesi ve iş adamlarının teşvik edilmesi uzun vadede ülkemizin refahının gelişmesinde önemli bir etken olacaktır.

Sonuç olarak büyük Türkiye hedefine varabilmek için öncelikle ihtiyaç planlaması yapılmalı. İhtiyaç planlaması talep değerlendirmeye göre değil, talep yönetim sistemine göre yapılmalıdır. Kamu alımları dizaynı, teknoloji transferi ve % 50 yerli imalat oranlarına oturtulmalıdır. Mevcut kurulu kapasiteyi artırmak için de son on yıldır gelişme kaydeden özel sektör demiryolu imalat sanayi şirketleri devreye sokulmalıdır. Demiryolu sektörü için yeni AR-GE fonlarının oluşturulması ve yeni yasal teşviklerin getirilmelidir. KİK ihale mevzuatı demiryolu sektörü için bu konseptle uyumlu hale getirilmelidir.

TCDD'nin son iki Şura'da belirlenen hedef taşıma rakamlarını yakalayabilmek için toplam taşıma içindeki demiryolu sektörünün taşıma paylarının dağılımını 2023 yılına kadar dengeli duruma getirilmelidir.

Bu nedenle demiryolu sekt6r6 çok hızlı bir Şekilde yeniden yapılandırılmalı ve demiryolu makine imalat sanayisi 6zel teŐviklerle teknolojik ve finansal olarak g6lendirilmelidir. Kalkınmanın lokomotifi olan ulaştırma sekt6r6 ve demiryolu sekt6r6 yeni yasama d6neminde de meclisimizin 6nemli ve 6ncelikli konusu olmalıdır.



## KAYNAKÇA

### *Kitaplar*

Gök, Y. Göker, A. & Soyer, N., 2006. *Yüksek-Hız Trenleri Sistem ve Teknolojileri*, Türkiye: TÜBİTAK

Guzzella, L., Sciarretta, A., 2005. *Vehicle Propulsion Systems*, Germany: Sprenger

Iqbal, H., 2003. *Electric and hybrid vehicle*. Boca Raton London New York Washington, D.C.: CRC PREEES

Kantarıcı, Dr. Muammer, 2012. (*Local Content Rules as a Tool of Technology Transfer in the Turkish Rolling Stock Manufacturing Industry: Tulomsas Experience*).

Designing Public Procurement Policy in Developing Countries Edited By Murat A. Yülek, Travis K. Taylor, London: Springer Yayınları.

Krishnan, R., 2001. *Electric motor drives modeling, analysis, and control*. Upper Saddle River, New Jersey 07458: Prentice Hall

Roumequère, Ph., 1995. *Railway engineering*. England: V.Profillidis

Terzi, A.I., 2001. *Raylı taşıtlar ders notları*

***Sürekli yayınlar***

Dagdeviren, M., Eraslan, E., 2008. Promethee Sıralama Yöntemi ile Tedarikçi Seçimi, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, **23** (1) ss 69-75

Kantarci, Dr. Muammer, 2011. Güvenli Gelecek Demiryolu Sanayinde Lokomotiften Tramvaya yerli üretim ve Pazar, *Mimar ve Mühendis*, 62 ss 84-87

TCDD, 2013. TC. Devlet Demiryolları İstatistik Yıllığı 2008-2012.

Yetkin, A.G., Çanakoğlu, A.İ., 2005. Sonlu Elemanlar Yöntemini Kullanarak Asenkron Motorun Hız-Moment Karakteristiğinin Elde Edilmesi, *Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, **17** (4) ss 699-707

## **Diğer yayınlar**

Açıkbaz, S., Alataş, A., Raylı Sistemlerde Enerji Verimli Sürüş ve Frenleme Enerjisinin Geri Kazanılması, *Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi Türkiye 10. Enerji Kongresi*, Türkiye: İstanbul Ulaşım A.Ş.

Anderson, G. B., Peters, A. J., 1991. Design Assessment and Implementation Potential of Three-Phase Asynchronous A.C. Traction Motor Systems for NORTH AMERICA, *Railroad Conference, 1991., Proceedings of the 1991 IEEE/ASME Joint*, pp. 151-159

Arlı, V., Sevim, R., 2012. İstanbul hafif metro sisteminde çevresel demiryolu gürültüsünün incelenmesi, *1. Uluslar arası Raylı Sistemler Mühendisliği Çalıştayı (IWSE'12)*, 11-13 Ekim 2012, Türkiye: Karabük

Aslan, L., 2009. Türkiye’de Ulaşım Sektörünün Gelişmesinde Devletin Yeri ve Önemi, *Yüksek Lisans Tezi*, İzmir: Dokuz Eylül Üniversitesi SBE

Baker, N. J., Atkinson, G. J., Washington, J. G., Mecrow, B. C., Nord, G., Sjoberg, L., 2012, Design of high torque traction motors for automotive applications using modulated pole SMC machines, *Power Electronics, Machines and Drives (PEMD 2012), 6th IET International Conference on*, pp. 1 – 6

Baldwin, M. J., 1949. Progress in the design of traction motors, *Electrical Engineering*, Vol. 68, pp. 479 – 485

Baldwin, M. J., 1949. Twenty-Five Years Progress in the Design of Traction Motors, *American Institute of Electrical Engineers, Transactions of the*, Vol. 68, pp. 132 – 137

Barcaro, M., Fornasiero, E., Bianchi, N., Bolognani, S., 2011. Design procedure of IPM motor drive for railway traction, *Electric Machines & Drives Conference (IEMDC), 2011 IEEE International*, pp. 983 – 988

Bortoni, E.C., Member, IEEE Haddad, J., Santos A.H.M., Azevedo E.M., Yamachita R.A., *Analysis of Preventive and Corrective Maintenance on Three-Phase Squirrel-Cage Induction Motors Performance*, Itajubá-MG, Brazil: Itajubá Federal University Electric and Energy Systems Institute

Chin, Y.K., Soulard, J., 2003. A Permanent Magnet Synchronous Motor for Traction Applications of Electric Vehicles, *Electric Machines and Drives Conference, 2003. IEMDC'03. IEEE International*, pp. 1035 – 1041, vol.2

Chin, Y.K., Soulard, J., 2005. Design study of a traction motor for electric vehicles, *Electrical Machines and Systems, 2005. ICEMS 2005. Proceedings of the Eighth International Conference on*, pp. 786 – 791, Vol. 1

Chong, L., Dutta, R., Rahman M. F., *Design and Thermal Consideration of an Interior Permanent Magnet Machine with Concentrated Windings*, Australia: University of New South Wales Sydney, School of Electrical Engineering and Telecommunications

Çanakoğlu, A.İ., Yetgin, A.G. & Turan, M., 2008. *Performans Evaluation of an Induction Motor by Using Finite Element Method*, Türkiye: Sakarya, Kütahya

Dae-Sung Jung, Yong-Ho Kim, Un-Ho Lee, Hyeoun-Dong Lee, 2012. Optimum Design of the Electric Vehicle Traction Motor Using the Hairpin Winding, *Vehicular Technology Conference (VTC Spring), 2012 IEEE 75<sup>th</sup>*, pp. 1- 4

Everton, J.M., Schofield, N., 1993. Design and testing of a liquid cooled brushless DC traction motor, *Motors and Drives for Battery Powered Propulsion, IEE Colloquium on*, pp. 5/1 - 5/4

Faiz, J., Sharifian, M.B.B., 2006. *Optimal desingof an induction motor for an electric vehicl*, Iran: Tabriz

Florentsev, S. N., Izosimov, D. B., 2012. Features of the design of traction induction motors, *Electric Drives Production Conference (EDPC), 2012 2nd International* , pp. 1 – 6

Franko, M., Kuchta, J., Buday, J., 2012. Development and performance investigation of permanent magnet synchronous traction motor, *Power Electronics, Electrical Drives, Automation and Motion (SPEEDAM), 2012 International Symposium on*, pp. 70 – 74

Funieru, B., Binder, A., 2008. Thermal design of a permanent magnet motor used for gearless railway traction, *Industrial Electronics, 2008. IECON 2008. 34th Annual Conference of IEEE* , pp. 2061 - 2066

Government of India Ministry of Railways, 2010. Specification and standards for electcrical multiple units and main line electrical multiple units with IGBT based three phase electrics to be procurred from rail coach factory at kancharapapa, *Power supply and EMU directorate research, designs & Standard organisation*, Manak Nagar, Lucknow

Gökasan, M., Kurtulan, S., Kalyon, M., Boğasyan, S., Çalışkan, F., Yıldız, Ö., *Boğaziçi Hafif Metrosu Kontrol Sisteminin Analizi*

Gökdağ, M., 2012. Demiryollarının çevre ve enerji açısından incelenmesi, *1. Uluslar arası Raylı Sitemler Mühendisliği Çalıştayı (IWSE'12)*, 11-13 Ekim 2012, Türkiye: Karabük

Göven, M.E., 1987. Üç-Fazlı Asenkron Motorların Kutup Sayısını Değiştirmek İçin Faz Modolasyonu Tekniğinde Yeni Bir Sargı Tasarımı, *Doktora Tezi*, Ankara: Gazi Üniversitesi FBE

Gündoğdu, F., 2012. Raylı sistemlerde emniyet TS EN 50126, *1. Uluslar arası Raylı Sitemler Mühendisliği Çalıştayı (IWSE'12)*, 11-13 Ekim 2012, Türkiye: Karabük

Gündoğdu, F., Erdoğan, M.A., 2012. Raylı sistemlerde bakım yönetimi ve performans göstergeleri, *1. Uluslar arası Raylı Sistemler Mühendisliği Çalıştayı (IWSE'12)*, 11-13 Ekim 2012, Türkiye: Karabük

Hinaoun-Hamze, H.E., (2005). An Interactive Traction Motors Design and Selection Software, *These for the Degree of Licentiate of Engineering*, Sweden: Chalmers University of Technology

Hirzel, A., 2008. Field weakened axial-gap surface permanent magnet traction motor design for constant power speed ratio, *Electrical Machines, 2008. ICEM 2008. 18th International Conference on*, pp. 1 – 4

Ho, S.L., Tam, A.N.K., Tse, C.T., Ho, T.K., 1998. Thermal studies of DC traction motors, *Developments in Mass Transit Systems, 1998. International Conference on (Conf. Publ. No. 453)*, pp. 161 – 166

Huang, Z., Huang, X., Zhang, J., Fang, Y., Lu, Q., 2012, Design of an interior permanent magnet synchronous traction motor for high speed railway applications, *Power Electronics, Machines and Drives (PEMD 2012), 6th IET International Conference on*, p. 1 – 6

Huget, E.W., September/October 1983. Squirrel Cage Induction Motors-Performance Versus Efficiency, *IEEE Transactions on Industry Applications*, Vol. 1A-19, No.5

Jia, K., (2011). Electromagnetic Noise Generated in the Electrified Railway Propulsion System, *Licentiate Thesis*, Sweden: Royal Institute of Technology

Jian-cheng Zhang, Xiao-yan Huang, You-tong Fang, Zi-kui Ma, 2012. Design of interior PM synchronous traction motor with novel approximate skewed rotor, *IECON 2012 - 38th Annual Conference on IEEE Industrial Electronics Society*, pp. 1726 – 1730

JPBEMU Report, December 2000, *25 Kv ac Electrification Project Assessment of Electric Multiple Units Passenger Rail Cars*

Jung Ho Lee, Byeong Du Lee, Tae Won Yun, 2010. Optimum design for premium 250 kW efficiency of traction induction motor using response surface methodology & FEM, *Electrical Machines and Systems (ICEMS), 2010 International Conference on*, pp. 1844 – 1847

Kantarıcı, Dr. Muammer, 2013. Hatay İli Yenilik Platformu Projesi Kapsamında Küresel Rekabet Ortamında AR-GE Semineri.

Kazmin, E.V., Lomonova, E.A., Paulides, J.J.H., *Brushless Traction PM Machines Using Commercial Drive Technology, Part I: Design Methodology and Motor Design*, The Netherlands: Eindhoven University of Technology

Kirtly Jr., J.L., *Traction motor design considerations*, Massachusetts institute of technology, Cambridge

- Kocaarslan, İ., Karaman, S., Apaydın, İ. & Gör, E., 2012. Demiryolu emniyet yönetim sistemi ve TCDD’de uygulanması, *1. Uluslar arası Raylı Sistemler Mühendisliği Çalıştayı (IWSE’12)*, 11-13 Ekim 2012, Türkiye: Karabük
- Kondo, M., 2003. Application of permanent magnet synchronous motor to driving railway vehicles, *Railway Technology Avalanche, No.1, January, 2003*
- Kondo, M., Ebizuka, R., Yasunaga, A., 2009. Rotor design for high efficiency induction motors for railway vehicle traction, *Electrical Machines and Systems, 2009. ICEMS 2009. International Conference on*, pp. 1 – 4
- Kondo, K., Kondo, M., 2003. Design of the parameters of permanent magnet synchronous motors for railway vehicle traction, *Power Electronics and Drive Systems, 2003. PEDS 2003. The Fifth International Conference on*, pp. 992 – 997, Vol.2
- Kreuawan, S., Gillon, F., Moussouni, F., Brisset, S., Brochet, P., 2007. Optimal design of traction motor in railway propulsion system, *Electrical Machines and Power Electronics, 2007. ACEMP '07. International Aegean Conference on*, pp. 343 - 348
- Kuscgarsey, John J., Kelley, William E., 1966. Optimum Design Considerations for Traction-Motor Commutators, *Industry and General Applications, IEEE Transactions on*, pp. 30 – 40
- Lal, R.N., Ganesh, 2010. Development of reliable designs of squirrel cage rotors for traction motors used in locomotives working in arduous operating conditions, *Electric Power Applications, IET*, pp. 487 – 499
- Laskaris, K.I., Chaniotis, A., Kladas, A.G., 2010. High performance traction motor design and construction for small passenger electric car, *Electrical Machines (ICEM), 2010 XIX International Conference on*, pp. 1 – 6
- Laskaris, K.I., Kladas, 2012. A.G. Liquid cooled permanent-magnet traction motordesign considering temporary overloading, *Electrical Machines (ICEM), 2012 XXth International Conference on*, pp. 2677 – 2682
- Lazari, P., Wang, J. & Chen, L., A Design Technique for Electric Vehicle Traction Machines, *IEEE Transactions on Industry Applications*
- Liu, H., Zhang, Y., Kang, W., Xia, Z., 2008. Design and Simulation of a Traction Motor for Variable Speed Drive, *Electrical Machines and Systems, 2008. ICEMS 2008. International Conference on*, pp. 128-131
- Lopez-Fernandez, Xose. M., Gyselinck, J., 2006. Design of an Outer-Rotor Permanent-Magnet Brushless DC Motor for Light Traction through Transient Finite Element Analysis, pp. 1 – 2

- Manyage, M.J., Pillay, P., 2007. Low Voltage High Current PM Traction Motor Design Using Recent Core Loss Results, *Industry Applications Conference, 2007. 42nd IAS Annual Meeting. Conference Record of the 2007 IEEE*, pp. 1560 – 1566
- Mellor, P.H., Wrobel, R., McNeill, N., Drury, D., 2008. Impact of winding and rotor design on efficiency and torque ripple in brushless AC permanent magnet traction motors, *Power Electronics, Machines and Drives, 2008. PEMD 2008. 4th IET Conference on*, pp. 240 – 244
- Mi, C.C., J.L., 2006. Analytical Design of an Permanent-Magnet Traction-Drive Motors, *IEEE Transactions on Industry Applications*, Vol. 42, No.7
- Montonen, J., Lindh, P., Pyrhonen, J., 2012. Design process of traction motor having tooth coil windings, *Electrical Machines (ICEM), 2012 XXth International Conference on*, pp. 1264 – 1268
- Murthy, S.S., Singh, B., Bhuvanewari, G., Naidu, K., Siva, U., 2006. Design of Squirrel Cage Induction Motors for Traction Applications, *Power Electronics, Drives and Energy Systems, 2006. PEDES '06. International Conference on*, pp. 1 – 7
- Nalçakar, M., 2003. Türkiye Ekonomisi Açısından Ulaşım Sektöründe Demiryolu Taşımacılığının Önemi ve Ekonometrik Model ile Türkiye Demiryolu Yurtiçi Yük Taşıma Talebinin Analizi, *Doktora Tezi*, Eskişehir: Anadolu Üniversitesi SBE
- Oki, S., Ishikawa, S. & Ikemi, T., 2012. *Development of High-Power and High-Efficiency Motor for a Newly Developed Electric Vehicle*, SAE Int. J. Alt. Power. 1(1)
- Özge, R.O., Vatandaş, S., Küçükciçibıyık, E., Sabırlı, S., Demir, Ö. & Mecitoğlu, Z., 2012. Raylı taşıt bogi aksının analitik ve sayısal yöntemlerle yorulma analizi, *1. Uluslar arası Raylı Sistemler Mühendisliği Çalıştayı (IWSE'12)*, 11-13 Ekim 2012, Türkiye: Karabük
- Paul, R.N., Arya, L.D., Verma, H.K., 2008. Studies in Design of High Torque Three-Phase Squirrel-Cage AC Traction Motor with Aluminium Alloy Rotor Bars and Parameter Optimization using Artificial Neural Networks, *Power System Technology and IEEE Power India Conference, 2008. POWERCON 2008. Joint International Conference on*, pp. 1 - 8
- Qiping Shen, Xueyan Han, Renyuan Tang, Linlin Luo, 2010. Parameter Selection of the Permanent Magnet Traction Drive Motor - Torque Consideration, *E-Product E-Service and E-Entertainment (ICEEE), 2010 International Conference on*, pp. 1 - 4
- Rothe, R., Hameyer, K., 2011. Life expectancy calculation for electric vehicle traction motors regarding dynamic temperature and driving cycles, *Electric Machines & Drives Conference (IEMDC), 2011 IEEE International*, pp. 1306 – 1309

Sang Hwan Ham, Kwang Soo Kim, Su Yeon Cho, Yong Bok Kim, Won ho Kim, Ju Lee, *Thermal analysis of the IPMSM for Traction Motor*, Korea

Sevim, R., Ocak 2007. İstanbul'da Kent İçi Raylı Sistemler ve Üstyapı Hesapları, *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü

Shahnia, F., Sarhangzadeh, M., Sharifian, M.B.B., Hosseini, S.H., *Induction Motor Characteristics Applications for DC Electrified Railway Systems*, Iran

Solak, A.O., Haziran 2011, Karayolu ve Demiryolu Ulaşım Sistemlerinin Ekonomik Etkinlik Analizi, *Doktora Tezi*, Sakarya: Sakarya Üniversitesi SBE

T.C. Başbakanlık Devlet Planlama Teşkilatı, 2007, *2007- 2013 Dokuzuncu Kalkınma Planı Demiryolu Araçları Sanyii Özel İhtisas Komisyonu Raporu*, Ankara

The Institute of Engineering and Technology, Railway Network, 3-7 November 2008. *The IET Professional Development Course on Electric Traction System*, United Kingdom: Manchester

Türk Standardı, 2011. *Elektrik ile çer – demiryolu ve karayolu taşıtları için döner elektrik makineleri – Bölüm 1: elektronik konvertörler ile beslenen alternatif akım motorları dışındaki makineler*, TS EN 60349-1:2010, Ankara

Türk Standardı, 2011. *Elektrik yalıtımı – Isıl değerlendirme ve gösteriliş*, TS EN 60085:2008, Ankara

Türk Standardı, 2012. *Demiryolu uygulamaları – raylı ve karayolu taşıtlarında kullanılan döner elektrik makineleri – Bölüm 2: elektronik değiştirici (konvertör) ile beslenen alternatif akım metotları*, TS EN 60349-2:2010, Ankara

Türkiye Demiryolu Ulaştırmasının Serbestleştirilmesi (TDUS) Hakkında Kanun. **Resmi Gazete**, 28634; 1 Mayıs 2013.

Wang, R-J., Heyns, G. C., 2013. *Thermal Analysis of a Water-Cooled Interior Permanent Magnet Traction Machine*, South Africa: Matieland, Stellenbosch University, Dept of Electrical and Electronic Engineering

Wei Chen, Jien Ma, Xiaoyan Huang, Youtong Fang, *Thermal Analysis of an Interior Permanent Magnet Synchronous Traction Motor for High Speed Railway Applications*, China: Zhejiang University, College of Electrical Engineering,

Weiguo Liu, Guangzhao Luo, Nannan Zhao, Manfeng Dou, 2009. Design and HIL simulation of proportional compression salient-pole permanent magnet synchronous motor for electrical traction vehicle, *Vehicle Power and Propulsion Conference, 2009. VPPC '09. IEEE*, pp. 884 – 889



Wrobel, R., Mellor, P.H., Holliday, D., 2011. Thermal Modeling of a Segmented Stator Winding Design, *Industry Applications, IEEE Transactions on*, Vol. 47, pp. 2023 - 2030

Woods, G. M., 1944. Gear Ratio and Its Effect on Traction Motors, *American Institute of Electrical Engineers, Transactions of the*, pp. 65 – 68

Yalçın, M.A., Abacı, K., *Asenkron Motor Yük Modellerinin Karşılaştırılması*, Sakarya, Sakarya üniversitesi, Elektrik - Elektronik Mühendisliği Bölümü

## ÖZGEÇMİŞ

- Adı Soyadı** : Mehmet KARADERE
- Sürekli Adresi** : Mimar Sinan Mah. Bilal Habeş Cad. No:5 Dilovası Kocaeli
- Doğum Yeri ve Yılı** : Espiye 1982
- Yabancı Dili** : İngilizce
- İlk Öğretim** : Akşemseddin İlköğretim Okulu
- Orta Öğretim** : Gebze İmam-Hatip Lisesi
- Lisans** : T.C. Anadolu Üniversitesi 2008
- Yüksek Lisans** : T.C. Bahçeşehir Üniversitesi 2013
- Enstitü Adı** : Fen Bilimleri Enstitüsü
- Program Adı** : Kentsel Sistemler ve Ulaştırma Yönetimi
- Çalışma Hayatı** : İstanbul Büyükşehir Belediyesi, İstanbul Ulaşım A.Ş. 2009-  
devam ediyor.
- Elmak Elektronik Makine San. Tic. A.Ş. 2005-2009
- Plato Basım Reklamcılık San.Tic. Ltd. Şti. 2003-2005
- BEDAŞ Elektrik Dağıtım A.Ş. 2002-2003