

**T.C.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**ELEKTRİKLİ KENTİÇİ ARAÇ SİMÜLASYONU
VE
ELEKTRİKLİ ARAÇLAR İÇİN OPTİMUM MOTOR
TİPİNİN BELİRLENMESİ**

**Hazırlayan
Mehmet UYAR**

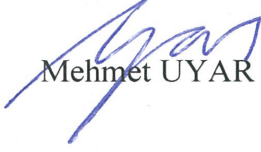
**Danışman
Yrd. Doç. Dr. Sami AKMERMER**

**Bu çalışma; Türkiye Cumhuriyeti Bilim, Sanayi ve Teknoloji
bakanlığının 00806.STZ.2011-1 proje kodlu SAN-TEZ projesi
tarafından desteklenmiştir.**

**Aralık 2014
KAYSERİ**

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK

Bu çalışmadaki tüm bilgilerin, akademik ve etik kurallara uygun bir şekilde elde edildiğini beyan ederim. Aynı zamanda bu kural ve davranışların gerektirdiği gibi, bu çalışmanın özünde olmayan tüm materyal ve sonuçları tam olarak aktardığımı ve referans gösterdiğimi belirtirim.



Mehmet UYAR

YÖNERGEYE UYGUNLUK

“Elektrikli Kentiçi Araç Simülasyonu ve Elektrikli Araçlar için Optimum Motor Tipinin Belirlenmesi” adlı Yüksek Lisans tezi, Erciyes Üniversitesi Lisansüstü Tez Önerisi ve Tez Yazma Yönergesi’ne uygun olarak hazırlanmıştır.

Tezi Hazırlayan



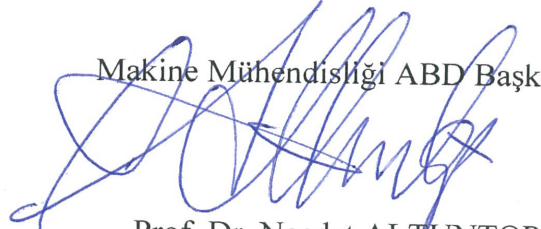
Mehmet UYAR

Danışman



Yrd. Doç. Dr. Sami AKMERMER

Makine Mühendisliği ABD Başkanı



Prof. Dr. Necdet ALTUNTOP

Yrd. Doç. Dr. Sami AKMERMER'in danışmanlığında **Mehmet UYAR** tarafından hazırlanan “**Elektrikli Kentiçi Araç Simülasyonu ve Elektrikli Araçlar için Optimum Motor Tipinin Belirlenmesi**” adlı bu çalışma, jürimiz tarafından Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

12 / 01 / 2015

JÜRİ:

Danışman :Yrd. Doç. Dr. Sami AKMERMER

Üye :Prof. Dr. İbrahim UZMAY

Üye :Doç. Dr. Selçuk ERKAYA

ONAY:

Bu tezin kabulü Enstitü Yönetim Kurulunun 13/01/2015 tarih ve 2015/02-09 sayılı kararı ile onaylanmıştır.


Prof. Dr. Kâzım KESLİOĞLU
Enstitü Müdürü

TEŞEKKÜR

“Elektrikli Kentiçi Araç Simülasyonu ve Elektrikli Araçlar için Optimum Motor Tipinin Belirlenmesi” adlı tez çalışmasının seçiminde, yürütülmesinde, sonuçlandırılmasında ve sonuçlarının değerlendirilmesinde maddi ve manevi destek ve yardımlarını esirgemeyen değerli hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Sami AKMERMER’e teşekkür ederim.

Tez çalışmamın deneylerinin gerçekleştirildiği ve Kentiçi bireysel taşıt projesinin üretimi sürecinde Melikşah Üniversitesinde, maddi ve manevi yardımlarını esirgemeyen değerli hocamlarım Sayın Yrd. Doç. Dr. Mustafa YILMAZ, Kanber SEDEF’e ve bölümdeki asistan arkadaşlarıma teşekkürü borç bilirim.

Bu tez çalışmasına maddi destek veren Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığına (Proje kodu: 00806.STZ.2011-1) ve Hacettepe Teknoloji, Araştırma ve Geliştirme Merkezi’ne teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarım süresince sabır göstererek beni daima destekleyen aileme en içten teşekkürlerimi sunarım.

Mehmet UYAR

Kayseri, Aralık 2014

ELEKTRİKLİ KENTİÇİ ARAÇ SİMÜLASYONU VE ELEKTRİKLİ ARAÇLAR İÇİN OPTİMUM MOTOR TİPİNİN BELİRLENMESİ

Mehmet UYAR

Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü

Yüksek Lisans Tezi, Aralık 2014

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Sami AKMERMER

ÖZET

Günümüzde, petrol tüketiminin sektörlere dağılımına bakıldığında ulaşım sektörünün yaklaşık olarak % 60'ını karşılamaktadır. Petrol fiyatlarının yükselmesi, tüketicilerin otomobil seçiminde baskı oluşturmuş olup daha az petrol tüketen araçlara yönelmelerini sağlamıştır. Bu durum otomotiv sektöründe daha verimli motor teknolojilerine, diğer petrol türevi olmayan araçlara yani hibrit ve elektrikli araçların geliştirilmesine ve yatırım yapılmasına yol açmıştır.

Bu çalışma kent içi elektrikli araçlarda kullanılan iki farklı elektrikli motorunun performanslarının karşılaştırılmasını incelemektedir. Bir elektrikli aracın güç sistemi PM ve IM ile modellenerek iki farklı sürüş çevrimi için simülasyon çalıştırılmaktadır. Belirlenen bir rota üzerinden alınmış normal ve agresif sürüş hız profili için aracın dinamik modeli kullanılarak. Her iki sürüş hız profilinde de IM'nin, PM'den daha performanslı olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Elektrikli araç motoru, elektrikli araç, rejeneratif fren sistemi, elektrikli araç itiş sistemi, hız profili.

A SIMULATION FOR ELECTRIC URBAN CAR AND DETERMINING OPTIMUM MOTOR TYPE FOR ELECTRIC CARS

Mehmet UYAR

Erciyes University, Graduate School of Natural and Applied Sciences

M.Sc. Thesis, December 2014

Supervisor: Assist. Prof. Dr. Sami AKMERMER

ABSTRACT

Nowadays, looking at the distribution by sector of oil consumption meets about 60 % in transport sector. As oil prices rise, consumers has put pressure on the car selection to tend less oil-consuming vehicles. In this case, this has led to developing the more efficient engine technology in the automotive sector and making an investment the other non-petroleum vehicles that is hybrid/electric vehicles.

This study presents a comparison study for performance of two types electric motors which are used in urban electric cars (EC). The power transmission system of an EC is modelled once with a PM and IM. In both cases the electric motors can be operated with simulation for two different driving cycles. Taken on a specified route, the speed profile of normal and aggressive driving are used in the simulation. As a result IM shows better performance than PM for two different driving profiles in EC.

Keywords:Electric vehicle motors, electric vehicle, regenerative brake system, electric vehicle propulsion system, speed profile.

İÇİNDEKİLER

ELEKTRİKLİ KENTİÇİ ARAÇ SİMÜLASYONU VE ELEKTRİKLİ ARAÇLAR İÇİN OPTİMUM MOTOR TİPİNİN BELİRLENMESİ

	<u>Sayfa</u>
BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK SAYFASI	i
YÖNERGEYE UYGUNLUK SAYFASI	ii
KABUL VE ONAY SAYFASI	iii
TEŞEKKÜR.....	iv
ÖZET.....	v
ABSTRACT.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
KISALTMALAR	xi
TABLolar LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİLLER LİSTESİ	xiv
GİRİŞ	1

1.....	B
---------------	----------

ÖLÜM

ELEKTRİKLİ ARAÇLAR VE BİLEŞENLERİ

1.1. Hibrit Ve Elektrikli Araçlar.....	5
1.1.1. Elektrikli Araçların Tarihçesi	5
1.1.2. Elektrikli Araç (EA) Sistemleri	9
1.1.3. Bataryalı Elektrikli Araçlar (BEA).....	10
1.1.4. Hibrit Elektrikli Araçlar (HEA)	11
1.1.5. Yakıt Pili Elektrikli Araçlar (YPEA).....	14
1.1.6. EA'ın İçten Yanmalı Motorlu (İYM) Araçlarla Karşılaştırılması.....	16
1.1.7. EA için Enerji Verimliliği	21
1.2. Elektrikli Araçlar İçin Elektrik Motorları	21
1.2.1. Giriş.....	22
1.2.2. Elektrik Motorları	22

1.2.3. Hibrit ve Elektrikli Araçlarda Kullanılan Elektrik Motorları	23
1.2.4. Doğru Akım (DC) Motorları.....	24
1.2.4.1. DC Motorun Dönüş Yönü.....	25
1.2.4.2. DC Motorda Hız Kontrolü	25
1.2.4.3. DC Motorun Çalıştırılması.....	25
1.2.4.4. DC Motorlar İçin Manyetik Alanların Kontrolü	26
1.2.4.5. Seri Bağlı DC Motorlar	27
1.2.4.6. Paralel Bağlı DC Motorlar.....	27
1.2.4.7. Birleşik Bağlı DC Motorlar	28
1.2.4.8. Kalıcı Mıknatıslı DC Motorlar	29
1.2.4.9. Fırçalı DC Elektrik Motorları.....	31
1.2.4.10. Fırçalı DC Motorun Kontrolü	31
1.2.4.11. DC Motorların Verimliliği.....	33
1.2.4.12. Motor Kayıpları ve Motor Boyutu.....	35
1.2.5. Alternatif Akım (AC) Motorları.....	36
1.2.5.1. AC Motorun Temelleri.....	36
1.2.5.2. AC Motorun Yapısı	37
1.2.5.3. AC Senkron Motorlar	38
1.2.5.4. AC Senkron Motorun Çalışma İlkesi	39
1.2.5.5. AC Senkron Motorların Manyetik Alanı	39
1.2.5.6. AC Senkron Motorun Moment-Hız Karakteristiği.....	40
1.2.5.7. AC Asenkron Motorlar	40
1.2.6. Elektrik Motorlarının Soğutulması, Verimliliği, Boyutu ve Kütlesi	44
1.2.7. Regeneratif Fren Sistemi	47
1.2.7.1. Regeneratif Frenlemenin Temelleri.....	48
1.2.7.2. Regeneratif Frenin Soğutulması ve Aerodinamik Direnç	49
1.2.7.3. Şehir İçindeki Sürüşte Tüketilen Frenleme Enerjisi	50
1.2.7.4. Regeneratif Yavaşlatma.....	50
1.2.7.5. Regeneratif Fren Tarafından Kazanılan Enerji.....	52
1.2.7.6. Batarya İçin Şarj Durum Şeridi.....	53
1.2.7.7. Regeneratif Frenleme İle Durma Mesafesi	53
1.2.7.8. Regeneratif Frenleme Verimi.....	55
1.3. Elektrikli Araçlar İçin Bataryalar.....	56

1.3.1. EA Batarya Bileşenleri	58
1.3.2. Kurşun-Asit (Pb-Asit) Bataryalar	58
1.3.3. NiMH Bataryalar	59
1.3.4. Lityum-iyon Bataryalar	60
1.3.5. Lityum Polimer Bataryalar	62
1.3.6. EA için Batarya Tipinin Belirlenmesi	63
1.3.7. Batarya Verimliliğini Etkileyen Etmenler	65

2. BÖLÜM

ELEKTRİKLİ ARACIN MODELLENMESİ

2.1. Giriş	66
2.2. Kaynak Araştırması	67
2.3. Araç Dinamiği	70
2.3.1. Elektrikli Aracın Çekiş Gücü	71
2.3.2. Yuvarlanma Direnç Kuvveti.....	71
2.3.3. Aerodinamik Kuvvet	72
2.3.4. Tırmanma Kuvveti	73
2.3.5. İvmelenme Kuvveti.....	73
2.3.6. Toplam Çekiş Gücü	75
2.4. Kent İçi Bireysel Elektrikli Aracın Menzilin Modeldenmesi	76
2.5. Elektrikli Aracın Güç Sisteminin Modeldenmesi.....	85
2.6. Elektrikli Aracın Matlab’de Simülasyonunun Yapılması.....	88
2.7. Elektrikli Araç Simülasyonunun Matlab’de Kodlanması.....	90

3. BÖLÜM

SİMÜLASYON ÇALIŞMASI

4. BÖLÜM

TARTIŞMA, SONUÇ VE ÖNERİLER

KAYNAKLAR	99
EKLER.....	102

ÖZGEÇMİŞ.....	108
----------------------	------------

KISALTMALAR

<u>Sembol</u>	<u>Anlamı</u>
a	İvme
A	Aracın ön projeksiyon alanı
AC	Alternatif akım
BEA	Bataryalı elektrikli araçlar
BLDC	Kalıcı mıknatıslı doğru akım motoru
C_d	Hava sürtünme katsayısı
DC	Doğru akım
DOD	Deşarj derinliği
EA	Elektrikli araçlar
EMF	Elektromotor kuvveti
F_{ad}	Aerodinamik direnç kuvveti
F_{hc}	Tırmanma kuvveti
F_{la}	İvmelenme kuvveti
F_{rr}	Yuvarlanma direnç kuvveti
F_{te}	İtiş Kuvveti
F_{wa}	Araç tekerleğinin acısal olarak hızlanmasını sağlayan kuvvet
HEA	Hibrit elektrikli araçlar
g	Yerçekimi ivmesi
İYM	İçten yanmalı motor
I	Akım
k_c	Elektrik motorunun bakır kayıp katsayısı
KE	Kinetik enerji
k_i	Elektrik motorunun demir kayıp katsayısı
k_w	Elektrik motorunun kanatçık kayıp katsayısı
M/G	Motor/jeneratör
P	Güç
PHEV	Bataryalı hibrit otomobiller
PM	Kalıcı mıknatıslı
$P_{mot_giriş}$	Elektrik motorunun giriş gücü

$P_{\text{mot_çıkış}}$	Elektrik motorunun çıkış gücü
SOC	Yüksek şarj durumu
SR	Senkron motor
v	Hız
V	Voltaaj
ω	Açısal hız
YPEA	Yakıt pilli elektrikli araçlar
η	Verimlilik
η_m	Motor verimlilik değeri
η_g	Dişli verimlilik değeri

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 1.1. BEA, HEA ve Yakıt Pilli EA'ların özellikleri.....	9
Tablo 1.2. Mevcut Elektrikli Araçlarda Kullanılan Elektrik Motorları	23
Tablo 1.3. Sınırlandırılmış Asenkron motorların minimum verimlilikleri	45
Tablo 1.4. 37 Kw asenkron motorun hızı ile kütlesinin karşılaştırılması	47
Tablo 1.5. Üç farklı yavaşlama için uygun enerji miktarı[27].....	52
Tablo 1.6. EA için yeniden dönüştürülen enerji miktarı[27]	52
Tablo 1.7. Üç çeşit bataryanın bakım maliyeti[28].....	60
Tablo 1.8. EA için kullanılan bataryaların özellikleri[28]	63
Tablo 2.1. EA için simülasyon parametreleri.....	76
Tablo 2.2. İki farklı elektrik motoru için kayıp değerleri	86
Tablo 3.1. Simülasyon sonunda her iki hız çevrimi ve elektrik motoru için toplam harcanan enerji miktarı.....	95

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.	Yıllara ait karbondioksit salınım miktarı	2
Şekil 1.1.	1899'da Camille Jenatzy'e ait olan roket tipli elektrikli araç	6
Şekil 1.2.	Thomas Edison ve bir Detroit Elektrik arabası,1913.....	6
Şekil 1.3.	The Henney Kilowatt, 1961 yılında üretilen Renault Dauphine'e dayanan elektrikli araç	7
Şekil 1.4.	Tesla tarafında üretilen spor model elektrik araç.....	8
Şekil 1.5.	Şematik bataryalı elektrikli araç (BEA).....	11
Şekil 1.6.	Paralel bağlı hibrit elektrikli araç sistemi	12
Şekil 1.7.	Seri bağlı hibrit elektrikli araç sistemi	13
Şekil 1.8.	Ferdinand Porsche tarafından yapılan ilk hibrit elektrikli araç Wixte-Wagenn.....	13
Şekil 1.9.	Hidrojen yakıt pili	15
Şekil 1.10.	Yakıt pilli elektrikli araç sistemi.....	15
Şekil 1.11.	Mitsubishi i MiEV'in satışları Japonya'da Nisan2010'da , Hong Kong'da Mayıs 2010'da ve Australya'da Temmuz 2010'da başladı.....	16
Şekil 1.12.	The Tesla Roadster, 2008'de piyasaya çıktı, tamamen elektrikli 244 mi (393 km)'lik bir menzile sahiptir ve 2011'de üretimi durdu	17
Şekil 1.13.	2009'da ABD elektrik üretimine ait kaynak dağılımı[94]	20
Şekil 1.14.	Seri bağlı DC motor	27
Şekil 1.15.	Paralel Bağlı DC motor.....	28
Şekil 1.16.	Birleşik bağlı DC motor.....	28
Şekil 1.17.	Kalıcı mıknatıslı (PM) DC motor yapısı.....	29
Şekil 1.18.	Kalıcı Mıknatıslı DC motorun çalışma prensibi	30
Şekil 1.19.	Fırçalı DC motorun çalışma prensibi	32
Şekil 1.20.	Fırçalı DC motor için tork-hız grafiği.....	32
Şekil 1.21.	DC motor üzerindeki kaynak voltajı ve manyetik akımın tork-hız grafiğine etkisi	33
Şekil 1.22.	BLDC motor ve fırçalı DC motor için verimlilik haritası	36
Şekil 1.23.	AC voltajın kademeli değişimi	37
Şekil 1.24.	AC akımın sinüs dalgası	38
Şekil 1.25.	Asenkron motorda rotor üzerindeki akım	41
Şekil 1.26.	Dönüştürücü modülü.....	42

Şekil 1.27.	Asenkron motorun stator ve rotoru	43
Şekil 1.28.	Asenkron motor için Tork-Açısal Hız eğrisi	43
Şekil 1.29.	Farklı tiplerdeki elektrik motorlarının spesifik gücü ve motor gücü	46
Şekil 1.30.	Rejeneratif fren sistemi	48
Şekil 1.31.	Rejeneratif frenleme de hızlanma ve yavaşlamanın şeması[8].....	49
Şekil 1.32.	Rejeneratif frenleme esnasındaki yaklaşık tork karakteristiği[7]	50
Şekil 1.33.	Rejeneratif frenleme ile hız-mesafe arasındaki ilişki.....	51
Şekil 1.34.	Dört farklı batarya şarj durum göstergesi[9].....	53
Şekil 1.35.	Rejeneratif frenlemeden dolayı durma mesafesi[9]	54
Şekil 1.36.	Sürtünme ve rejeneratif frenleme arasındaki durma mesafesi[9]	54
Şekil 1.37.	Li-ion EA batarya hücresinin yaşam ömrü	64
Şekil 2.1.	Eğimli yüzeyde EA'a etki eden kuvvetler	72
Şekil 2.2.	Elektrik motoru ile tekerlek arasındaki bağlantı.....	74
Şekil 2.3.	Şehir içi EA için standart sürüş çevrimi (FUDs)	77
Şekil 2.4.	Tramway için standart hız çevrimi (SFUDs)	78
Şekil 2.5.	Avrupada şehir içi EA için standart sürüş çevrimi (ECE-15).....	78
Şekil 2.6.	EA simülasyonu için belirlenmiş rota.....	79
Şekil 2.7.	Rota üzerindeki normal sürüş için elde edilen hız çevrimi.....	79
Şekil 2.8.	Rota üzerindeki agresif sürüş için elde edilen hız çevrimi	80
Şekil 2.9.	Her iki hız çevrimi için hız-zaman karakteristiği	80
Şekil 2.10.	Kalıcı mıknatıslı DC motor için standart verimlilik haritası[42].....	81
Şekil 2.11.	Asenkron AC motor için standart verimlilik haritası[42]	81
Şekil 2.12.	Kalıcı mıknatıslı DC motorun normal sürüş için anlık verim karakteristiği	82
Şekil 2.13.	Asenkron AC motorun normal sürüş için anlık verim karakteristiği.....	82
Şekil 2.14.	Kalıcı mıknatıslı DC motorun agresif sürüş için anlık verim karakteristiği.....	83
Şekil 2.15.	Asenkron AC motorun agresif sürüş için anlık verim karakteristiği	83
Şekil 2.16.	Normal sürüş çevriminde elektrik motorlarına ait verimlilik karakteristiği.....	84
Şekil 2.17.	Agresif sürüş çevriminde elektrik motorlarına ait verimlilik karakteristiği.....	84
Şekil 2.18.	Rejeneratif frenlemeye sahip EA için enerji akışı	85

Şekil 2.19.	EA için simülasyon akış şeması.....	89
Şekil 3.1.	Normal sürüş çevriminde elektrik motorlarının harcadığı enerji.....	94
Şekil 3.2.	Agresif sürüş çevriminde elektrik motorlarının harcadığı enerji.....	95
Şekil 3.3.	Kalıcı mıknatıslı DC motor için batarya göstergesi.....	96
Şekil 3.4.	Asenkron AC motor için batarya göstergesi.....	96
Şekil 4.1.	Kent içi bireysel taşıt projesinde kullanılan asenkron ac motor	97
Şekil 4.2.	Kent içi bireysel taşıt projesi için prototipi üretilen elektrikli araç	98
Şekil 4.3.	Kent içi bireysel taşıt projesi için prototipi üretilen elektrikli araç	98

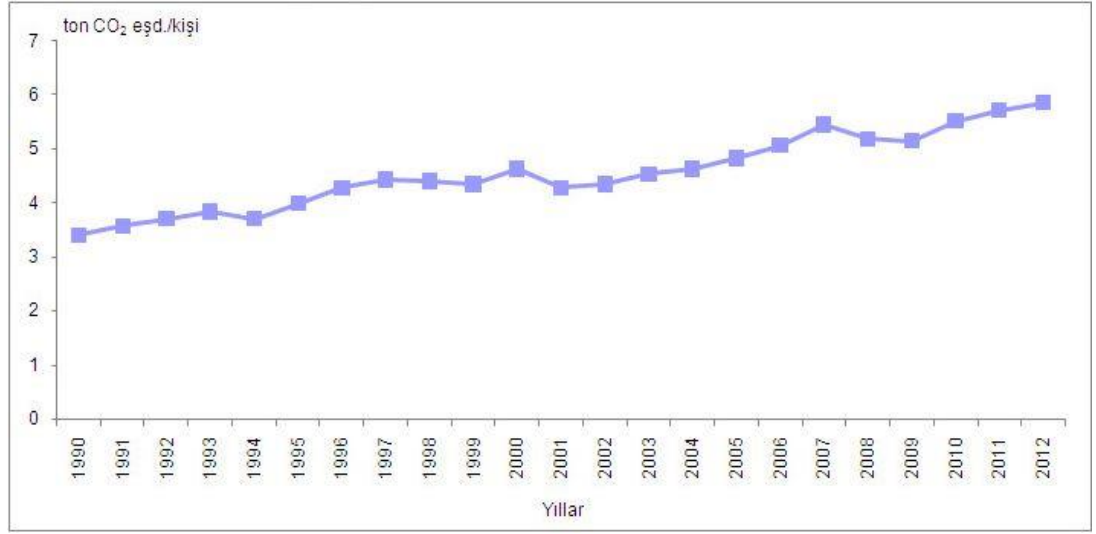
GİRİŞ

21. yüzyılda, enerji ülkelerin en çok önem verdiği ve kaynaklarını elinde bulundurmaya en çok istediği sektördür. Petrol ise günümüzde en fazla tüketilen enerji kaynağıdır. Bu sebeple petrol fiyatları da hem ülke ekonomilerini hem de enerji şirketlerinin karlılığını etkileyen en önemli faktördür. Enerji talebinin artması, kıt kaynak olan petrol fiyatlarını da artıracak anlamına gelmektedir.

Petrol tüketiminin sektörlere dağılımına bakıldığında ulaşım sektörünün yaklaşık olarak % 60 ile başı çektiği görülmektedir. Petrol fiyatlarının yükselmesi, tüketicilerin otomobil seçiminde baskı oluşturmuş olup daha az petrol tüketen araçlara yönelmelerini sağlamıştır. Bu durum otomotiv sektöründe daha verimli motor teknolojilerine ve diğer petrol türevi olmayan araçlara yatırım yapılmasına yol açmıştır[1].

Ayrıca, fosil yakıtların yanma ürünü olarak açığa çıkan CO_x, NO_x SO_x gibi gazların atmosferdeki miktarının artması; asit yağmurlarına, ozon tabakasının zarar görmesine, sera etkisinin ve atmosferdeki uçucu organik bileşiklerin miktarının artmasına sebep olmaktadır.

Karayolu ulaşımında motorlu taşıt araçlarında kullanılan fosil yakıtlardan kaynaklanan sera gazı emisyonlarının azaltılması çalışmaları, araçlarda daha düşük emisyon yapan, ileri içten yanmalı motor teknolojileri, alternatif yakıtlar, hibrit ve elektrikli araçlar gibi pek çok alternatif tahrik sistemlerinin kullandığı araçları gündeme getirmiştir. Bu alternatif sistemler içerisinde hibrit ve elektrikli araçlar, hedeflenen CO₂ emisyonu değerlerini sağlamak için en önemli adaylar arasındadır. Karbon emisyon değerleri gün geçtikçe artmaktadır. Şekil 1’de yıllık karbon emisyon miktarına yer verilmiştir[2].



Şekil 1. Yıllara ait karbondioksit salınım miktarı[2].

Hibrit araçlarda iki farklı tahrik sistemi (içten yanmalı motor – elektrik motoru) ve iki farklı enerji kaynağının kullanımı optimize edilerek, araç konvansiyonel bir araca göre yakıt tüketimi ve emisyon azalımı sağlanır.

Günümüzde otomotiv pazarı konvansiyonel içten yanmalı araçların hâkimiyetindedir ve pazarda çok az hibrit ve elektrikli araç bulunmaktadır. Elektrikli araçların yaygınlaşmasının önündeki en önemli sınırlayıcı bileşen batarya teknolojisi olup son yıllarda ticari uygulamalar için öncelikli çalışma konusu haline gelmiştir. Batarya konusundaki çalışmalar, Li-iyon teknolojisi üzerine yoğunlaşmıştır. Li-iyon teknolojisi otomotivin yanı sıra (hibrit ve elektrikli araçlarda), mobil iletişimde kullanılmaktadır[3].

Ancak günümüzde hibrit ve elektrikli araçların yüksek sistem maliyetleri, motor üretim maliyetlerinin yüksekliği, şarj ömürlerinin düşük olması, pil ile gidilen menzilin kısa olması, değiştirme maliyetinin olması gibi önemli dezavantajları vardır. Bununla birlikte gelişen teknoloji ile her geçen gün bu sorunlar giderek azalmaktadır. Teknolojinin hızla gelişimi ile birlikte günümüzde konvansiyonel araçların yanında elektrikli ve hibrit araçlarında otomotiv piyasasına girdiği görülmektedir.

Otomotiv sektöründe sıklıkla tartışılan diğer bir teknoloji ise hidrojen yakıt hücreleridir. Bu teknolojiye sahip araçları yollarda görebilmemiz için büyük bir teknolojik gelişim ve maliyet düşürme gereklidir. Bu yakın gelecekte görülmesi zor bir evrimdir. Nitekim, birçok zorlukları araçta hidrojenin depolanması, yenilenebilir bir hidrojen kaynağı bulunması, yakıtın depolanması ve dağıtımı için altyapı ihtiyacı gibi büyük sorunların

çözülmesi gerekmektedir. Bu zorlukların giderilmezse hidrojen yakıt hücresi araçları pazara girmesi pek olası değildir.

Geleneksel motor teknolojilerinde motor güncellemeleri, ısı yönetimi, enerji yönetimi ve motorların küçülmesi konularında araştırma ve geliştirme çalışmaları yaparken motor dışı teknolojilerde ise araçların ağırlıklarının düşürülmesi, aerodinamik yapısının geliştirilmesi ve daha düşük dirençli lastik üretimi gibi konularda araştırmalar yapılmaya devam etmektedir. Günümüzde bu gelişimlerle % 20'ye yakın yakıt tasarrufu sağlanabilmektedir. İlerleyen yıllarda motor verimi çok daha fazla olan araçların yollara çıkacağı tahmin edilmektedir[4].

Yeni nesil hibrit elektrikli araçların ve elektrikli araçların üretim ve kullanımının yaygınlaşmaya başlaması ile birlikte elektriksel güç talebinin de paralel olarak artması beklenmektedir. Bu araçların elektriksel olarak şarj edilebilmesi için gerek evlerde gerekse istasyonlarda şarj üniteleri kurulmaktadır.

Enerji kaynağı olarak sadece bataryanın bulunduğu elektrikli araçlar, günümüz batarya teknolojisi ile kısıtlı menzillere sahip (150 -200 km) oldukları için özellikle şehir içi kullanım için uygundur.

Hibrit ve elektrikli araç alt sistemlerine bakıldığında, bazı ilave teknolojik kazanımların elde edilmesi ve mevcutların da iyileştirilmesi gerekmektedir. Bu konular arasında başlıcaları: araçlar için batarya, ultrakapasitör gibi elektrik enerji depolama sistemleri, elektrikle tahrik için elektrik makineleri ve sürücüleri, araç içerisinde bulunan farklı sistemlerin birbirleri ile haberleşmelerini ve kontrolünü sağlayan elektronik kontrol üniteleri (elektrikli araç kontrol ünitesi, batarya kontrol ünitesi vb), araç içi ve şebekeden şarj için güç elektroniği sistemleri, elektrikli tahrik konseptleri ve elektrik tahrikli yardımcı sistemlerdir.

Mevcut hibrit ve elektrikli araçların için en önemli parçasını elektrik motorları oluşturmaktadır. Elektrik motorların verimlerinin düşük olması ve istenilen seviyede olmaması nedeniyle elektrik motorları üzerine çeşitli çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmada, elektrik motorlarının verimine bağlı olarak bir elektrikli aracın gidebileceği mesafe kullanılacak olan farklı tipteki iki elektrik motoru için karşılaştırılacaktır. Bilindiği üzere elektrik motorlarının verim değerleri her motor çeşidine ve motorun çalışma şartlarına bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Sabit bir verim değeri

olmaması nedeniyle, elektrikli araçlarda kullanılan motorların menzil mesafeleri ölçümlerinde aracın hızına bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Aracın hızının farklı olması nedeniyle bataryadan harcanan enerji miktarıda değişkenlik göstermektedir. Bu değişken şartlar dikkate alınarak elektrikli araçlarda kullanılması düşünülen elektrikli motorun tipinin belirlenmesi gerekmektedir. Mevcut elektrikli araçlarda yaygın olarak kullanılan elektrik motorları; doğru akım (DC) motorlar ve alternatif akım (AC) asenkron motorlardır.

Elektrikli araçlarda kullanılan motorların verimlilik değerleri yükleme şartlarına göre değişkenlik göstermektedir. Verimlilik değerlerinin değişkenlik göstermesi nedeniyle elektrikli araçların çalışma şartlarında bataryadan çekilen enerji miktarı motorun çeşidine bağlı olarak değişecektir. EA'nın anlık hızına ve kullanılan motor tipine bağlı olarak, gidecek olan mesafe aynı olsa bile, harcanan enerji miktarı farklı olacaktır.

Bu tez çalışmasında, Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı tarafından desteklenen “Kentiçi bireysel elektrikli taşıt” projesi çerçevesinde prototipi üretilmiş olan elektrikli aracın motor seçiminde kullanılmak amacıyla bu çalışma gerçekleştirilmiştir. Elektrikli araçta kullanılacak iki farklı motor tipi için şehir merkezinde olmak şartıyla bir rota belirlenmiştir. Belirlenen rota üzerinden hem normal sürüş hem de agresif sürüş olmak üzere iki farklı hız profili elde edilmiştir. Bu hız profilleri ve araç dinamiği kullanılarak Matlab programıyla bir simülasyon model oluşturulmuştur. Simülasyon modelde, elektrikli araçlarda kullanılan elektrik motorlarının anlık olarak verim değerleri elde edilmiştir. Verim değerleri yardımıyla iki farklı elektrik motoru için harcanan enerji miktarı, seçilen rota üzerinden anlık olarak belirlenmiştir. Simülasyon model sonucunda elde edilen grafik veriler karşılaştırılmıştır.

Sonuç kısmında, simülasyon model sonucunda elde edilen veriler ve değerler tartışılmıştır. En son olarak elektrikli araçlardaki kullanılan motorların daha fazla nasıl geliştirilebileceğine yönelik ve elektrikli araçlarda kullanılacak olan elektrik motorlarının tipine ve çeşidine göre optimum motor çeşiti için öneriler ve fikirler sunulmuştur.

1. BÖLÜM

ELEKTRİKLİ ARAÇLAR VE BİLEŞENLERİ

1.1. Hibrit ve Elektrikli Araçlar

1.1.1. Elektrikli Araçların Tarihçesi

Elektrikli otomobiller 19.yy'ın ortalarında ve 20.yy'ın başlarında oldukça popülerdi, elektrikli otomobiller konforu ve kullanım kolaylığı ile petrole bağımlı otomobillere göre daha üstündü. İçten yanmalı motor teknolojisindeki ilerlemeler bu üstünlüğü tartışmalı hale getirdi. Petrollü otomobillerin geniş çeşitliliği, gelişen petrol altyapısı, şirketlerin seri petrollü araç üretimi ve bu seri üretim sonucu petrollü otomobillerin elektrikli otomobiller ile aynı fiyata gelmesine hatta daha ucuz olmasına sebep oldu. Bu gelişmeler 1930'larda elektrikli otomobillerin ABD piyasasından silinmesine sebep oldu. Bununla birlikte, son yıllarda, petrollü otomobillerin çevresel etkileri hakkındaki endişeler, yüksek benzin fiyatları, batarya teknolojisindeki gelişmeler ve petrol fiyatının yükselme ihtimali elektrikli otomobillere yeniden bir ilgi doğmasına yol açtı. 1990'lardaki başarısız bir ortaya çıkma girişiminden sonra bu yeni elektrikli otomobiller daha çevre dostu oldu ve ilk satın alma masraflarına rağmen çalıştırılması ve kullanımı daha ucuzdur.

2000'li yılların ortalarından beri batarya ve güç yönetimi teknolojilerindeki ilerlemeler, değişken petrol fiyatlarının sebep olduğu endişeler ve sera gazı azaltma gereksinimi elektrikli otomobilleri yeniden gündeme getirdi.

Türkiye'de ilk elektrikli otomobil II. Abdülhamit tarafından İngiltere'de Messrs Immisch & Co şirketine 1888 yılında sipariş edildi. Şirketin mühendisleri Magnus Volk ve Moritz Immisch'in özel olarak hazırladıkları bu otomobil ön kısmında tek bir büyük teker yerine birbirine yakın iki küçük tekere sahipti. 19.yy'da elektrikli otomobiller birçok hız ve mesafe rekoruna sahipti. Bu rekorlar arasında en dikkat çekici olan Camille Jenatzy tarafından 1899'da kendisine ait olan roket tipli elektrikli aracı, Jamais Contente ile 100 km/saat rekorunun 106 km/saat'lik bir hızla

kırılmasıdır. 1920'lerden önce, elektrikli otomobiller, petrol yakıtlı otomobiller ile şehir içinde kullanım kalitesi olarak rekabet etmekteydi.



Şekil 1.1. 1899'da Camille Jenatzy'e ait olan roket tipli elektrikli araç.

1896 yılına kadar süre gelen şarj etme altyapısındaki eksikliği aşmak için getirilen çözümlerden biri değiştirilebilir batarya hizmeti Hartford Electric Light Company tarafından elektrikli kamyonlar için ilk defa uygulamaya konuldu. Araç sahibi aracını bataryasız olarak General Electric Şirketinden satın alıyordu ve elektriği de Hartford Electric'ten değiştirilebilir bataryalar vasıtasıyla satın alıyordu. Araç sahibi değişken bir mil başına şarj ücreti ve kamyon depolama ve bakımını kapsayan aylık bir hizmet ücreti ödüyordu. Hizmet, 1910 ile 1924 yılları arasında 6 milyon milden fazla bir ulaşımı kullanıcılara sunmuştu. 1917'nin başlarında benzer bir hizmeti Chicago'da Milburn Light Electric otomobilleri sahipleri için bataryasız araç satın alma seçenekleri mevcuttur[1].



Şekil 1.2. Thomas Edison ve bir Detroit Elektrik arabası, 1913.

1897’de ABD’deki ilk ticari olarak elektrikli araçlar New York şehri taksi filosunda elektrikli araçlar taşıma için kullanılmıştır. İçten yanmalı motorlarla (İYM) karşılaştırıldığında daha yavaş olmasına rağmen, 1900’lerin başlarında bazı avantajlarından dolayı tercih edilmekteydi. Petrollü otomobillerde bulunan sarsıntı, koku ve gürültü gibi olumsuz yönler elektrikli otomobillerde yoktu. Elektrikli otomobillerin petrollü otomobillerde sürme esnasında en büyük problem olan vites değiştirme gibi bir problemi yoktu. Elektrikli otomobiller zenginlerin şehir içi ulaşımında uzun menzilin gerekmeceği şekilde bir kullanımda tercih edilmişti. Petrollü otomobillerin bir diğer dezavantajı ise motoru çalıştırmak için elle kurulan bir kola gereksinim duymasıydı, kolun kurulması için fiziksel olarak bir çaba harcamak gerekiyordu. Elektrikli otomobiller bu sebeplerden bayanlar için de kullanım kolaylığı sağlamaktaydı.



Şekil 1.3. The Henney Kilowatt, 1961 yılında üretilen Renault Dauphine'e dayanan elektrikli araç.

1980 ve öncesindeki enerji krizleri, hidrokarbon(petrol) enerji piyasasındaki dalgalanmalardan bağımsız olması sebebiyle elektrikli otomobillere olan ilgi tekrar yenilendi. 1990’ların başlarında, CARB(California Air Resources Board) daha yakıt verimli, daha az emisyonlu araçlara; asıl amaç olarak sıfır emisyonlu örneğin elektrikli araçlar gibi, araçlara geçişi öngören bir çalışma başlattı. Karşılık olarak, otomobil üreticileri, elektrikli modeller geliştirdiler: CryslerTEVan, Ford Ranger EV pickup truck, GM EV1 ve S10 EV pickup, Honda EV plus hatchback, Nissan lityum-iyon bataryalı

Altra EV minivagon ve Toyota RAV4 EV gibi. Bu otomobiller netice olarak ABD otomobil marketinde lağvoldular, ortadan kalktılar[2].

2000'lerin sonlarında küresel ekonomik durgunluktan dolayı otomobil üreticilerine aşırılığın sembolü olarak görülen fazla yakıt tüketen sportif aktivite taşıtları(SUVs) azaltarak, küçük arabaları, hibrit arabaları ve elektrikli arabaları yaygınlaştırma üzerine çağrılarını artırdı. Temmuz 2012 itibariyle, diğer elektrikli otomobiller, şehir arabaları ve bazı marketlerde bulunan hafif kamyonlar satın alma için veya kiralama için sunulmaktadır: REVAi, Buddy, Citroën C1 ev'ie, Transit Connect Electric, Mercedes-Benz Vito E-Cell, Tazzari Zero, Smart ED, Wheego Whip LiFe, Mia electric, BYD e6, Bolloré Bluecar, Ford Focus Electric, BMW ActiveE, Coda, Renault Fluence Z.E., Tesla Model S, Honda Fit EV ve çeşitli elektrikli araçlardır. Ayrıca bazı ön gösterim araçları deneme programlarını sürdürmektedir: Volvo C30 Electric, Toyota RAV4 EV ve Volkswagen Golf blue-e-motion.

Daha sonraki yıllarda elektrikli araç imalatında yeniliklerle beraber spor model elektrikli araçlarında üretimi yapılmıştır. 2013 yılında Tesla tarafından üretilmiş ve satışı yapılan elektrikli araç şekil 1.4.'de yer almaktadır. Batarya teknolojindeki ve elektronik ekipmanlarda yaşanan gelişmelerden dolayı daha hızlı ve uzun menzilli elektrikli araç üretimi yapılabilir.



Şekil 1.4. Tesla tarafında üretilen elektrik araç.

1.1.2. Elektrikli Araç (EA) Sistemleri

Elektrikli araç, elektrik enerjisini mekanik enerjiye dönüştürerek çalışan araçlara verilen isimdir. Gelecekte, elektrikli araçların otomotiv endüstrisinde önemli bir etkisi olacaktır. Bu türdeki arabaların yakıt tasarrufunu, şehir kirliliğini ve karbon emisyonunu azaltacaktır.

Elektrikli araçlar, bir veya daha fazla elektrik motoru kullanarak, bataryalardan ve diğer enerji depolama cihazlarında depoladığı elektrik enerjisini kullanarak hareket ettirilen araçlardır. Elektrik motorları ani tork verir, güçlü ve dengeli bir şekilde hızlanma sağlar.

Elektrikli otomobiller içten yanmalı motorlu araçlarla karşılaştırıldığında bazı avantajlara sahiptir; bunlar yerel hava kirliliğini azaltır, petrol ve petrol ithal yapan ülkelere bağımlılığı azaltır.

Potansiyel faydalarına rağmen, elektrikli otomobillerin geniş ölçüde benimsenmemesinin bazı sebepleri ve sınırlamalar ile karşılaşmalarıdır. 2010 itibariyle elektrikli arabalar lityum-iyon bataryaların ek masrafları sebebiyle, sıradan bir içten yanmalı motorlu araca ve hibrit elektrikli araçlara göre önemli ölçüde daha pahalıdır. Bununla birlikte batarya fiyatları toplu üretim ile azalmaktadır ve daha da azalması beklenmektedir. Elektrikli arabaların yaygınlaşmasını engelleyen diğer faktörler; özel veya kamuya ait bir girişim olarak şarj istasyonlarının eksikliği ve kısıtlı menzil sebebiyle sürücülerin hedeflerine varamadan bataryalarının tükenip yolda kalacakları şeklindeki endişeleridir. Bazı hükümetler var olan engelleri aşmak için politikalar geliştirmekte, ekonomik teşvik paketleri sunmaktalar. Böylece elektrikli otomobillerin satışını artırmak için, elektrikli araç ve batarya teknolojisindeki gelişmeleri desteklemektedirler. Çeşitli ulusal ve yerel hükümetler vergileri azaltarak, çeşitli destekler sağlayarak elektrikli arabaların ve diğer şarj edilen hibrit araçların satın alma fiyatlarını azaltmaktadır. Üç çeşit elektrikli araç var olup tablo 1.1.'de elektrikli araçlara ait özellikler yer almaktadır.

Tablo 1.1. BEA, HEA ve Yakıt Pilli EA'ların özellikleri

HEA ve EA Çeşitleri	Bataryalı EA'lar	HEA'lar	Yakıt Pilli EA'lar
Tahrik	Elektrik Motoru	Elektrik Motoru	Elektrik Motoru

		İYM	
Enerji Sistemi	Batarya Süperkapasitör	Batarya Süperkapasitör İYM Üretimi	Yakıt Pili+
Enerji Kaynağı	Elektrik Şarjı	Benzin Elektrik Şarjı Alternatif Yakıtlar	Benzin Elektrik Şarjı Alternatif Yakıtlar
Karakteristikler	0 Emisyon 100-200 km menzil Pazarda Mevcut	Düşük Emisyon Normal Menzil Pazarda Sınırlı	Düşük Emisyon H Depolama
Sorunlar	Batarya teknolojisi Şarj Özellikleri	Batarya Teknolojisi Enerji Yönetimi	Yakıt Pili Teknoloji H Teknolojisi

Hibrit elektrikli araç; günümüzde en yaygın olarak kullanılan elektrikli araç sistemidir. HEA’da tahrik elektrikli motorla beraber içten yanmalı motorla (İYM) sağlanır. Bunun nedeni EA’ların ani hızlanmalarda ve kalkışta yeterince tepki verememesidir. Enerji sistemi batarya olup enerji kaynakları olarak benzin istasyonları ve elektrik şarj imkanları vardır.

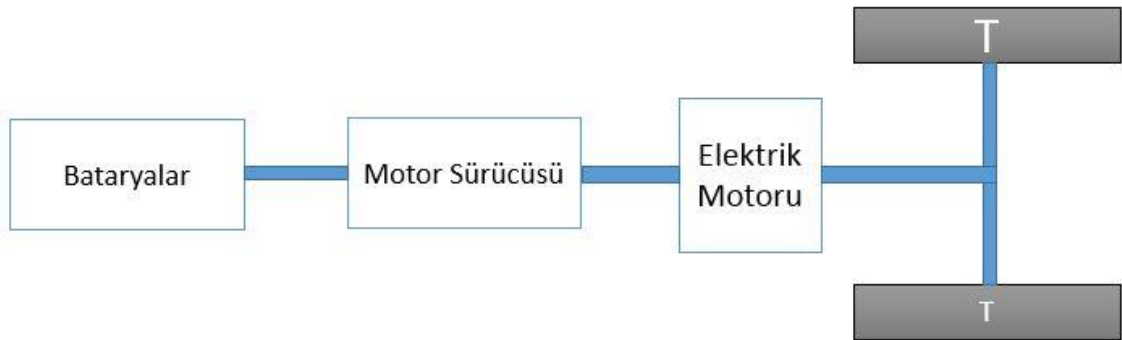
Bataryalı elektrikli araç; tekerlek tahriği elektrikli motordan almaktadır. Enerji sistemi bataryalar olup enerji kaynağı olarak elektrik şarj imkânı vardır. Avantaj olarak sıfır emisyon olmasına rağmen menzil olarak dezavantaja sahiptir. Yüksek performans ve şarj olanaklarına sahiptir.

Yakıt pilli elektrikli araç; tekerlek tahriğini elektrikli motordan alır. Enerji kaynağı yakıt pilleridir. Enerji kaynakları avantajlı olup hidrojen, metanol, etanol ve benzin kullanılır. Avantajı sıfır emisyon olup hidrojen gibi yüksek enerjili bir yakıtın kullanılması dolayısıyla yüksek enerji verimi ve iyi sürüş menziline sahiptir. Dezavantajı ise gelişiminin sınırlı olması ve yüksek maliyete sahip olmasıdır.

1.1.3. Bataryalı Elektrikli Araçlar

Bataryalı elektrikli araç (BEA), modern elektrikli tahrik teknolojisi kullanılarak geliştirilmiş elektrik motoru, güç konvertörü içeren kontrolör ve enerji kaynağı olan bir

batarya içermektedir. BEA yapısı oldukça basittir. Bu yapıda bataryalar dışarıdan şarj edilirler. Hibrit elektrikli araçlardaki gibi yakıttan elektrik enerjisi elde edilmemektedir. Elektrik enerjisi batarya veya süper kapasitörler ile depolanmaktadır. Ayrıca dört bölge çalışması ile motorun rejeneratif frenlemesi yoluyla bataryaların şarj edilmesi de arzu edilir. BEA'lar yeni bir aracın ötesinde taşımacılık hizmetlerinin, sıfır emisyon ve daha yüksek verim ile sağlanmasına yol açacak köklü bir değişimdir.



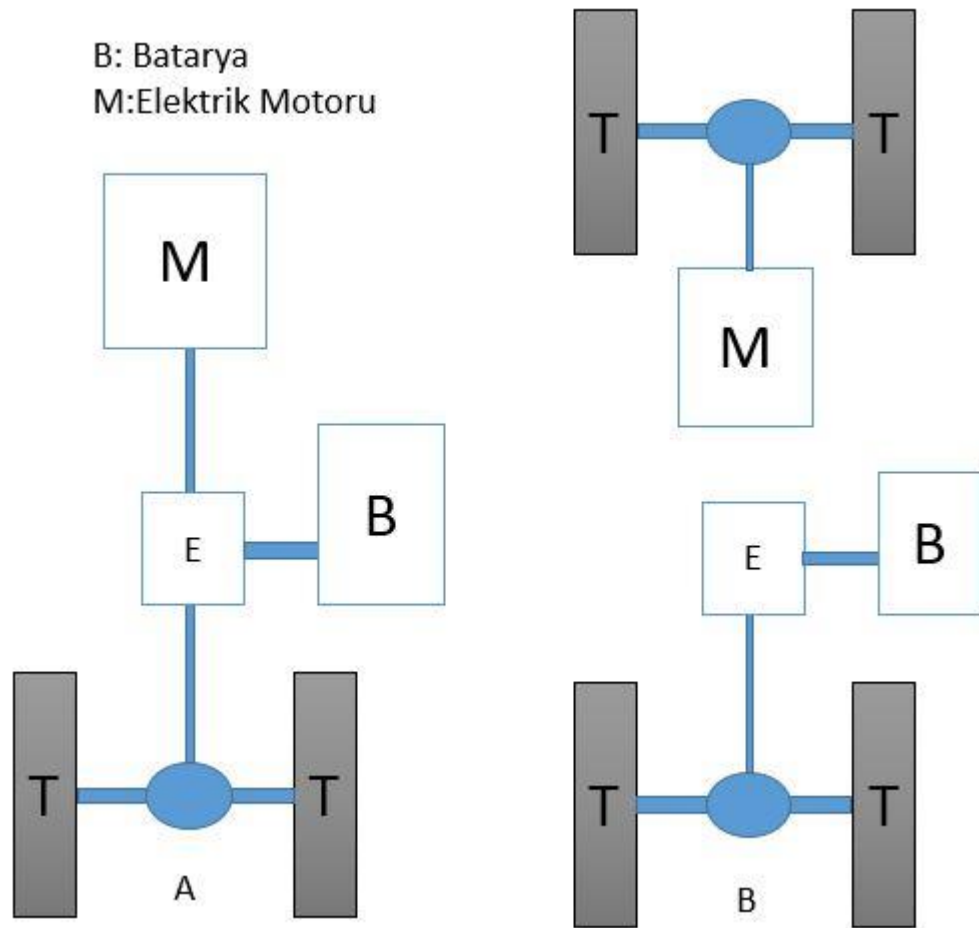
Şekil 1.5. Şematik bataryalı elektrikli araç (BEA)

BEA'da, araç içerisine yerleştirilmiş enerji üretim, dağıtım ve tahrik sistem elemanları birlikte çalışmaktadır. Sistem içerisindeki elemanların birbirlerine bağlanma şekilleri, enerji akışındaki tercihleri ve farklılıklarına göre tahrik sistem konfigürasyonları tanımlanmıştır. BEA, depolanan ya da üretilen tüm itici gücü elektrik olarak kullanmaktadır. Bu tip araçlarda ana güç kaynağına ek olarak yardımcı güç kaynakları da bulunmaktadır. Daha önce de bahsedildiği gibi elektrik motorunun dönmesi için gerekli olan elektrikselsel enerji bataryalardan elde edilmektedir. Bunun yanında BEA'lar da ana bataryaya ilave yardımcı güç kaynağı olarak ikinci bir batarya veya süper kapasitör kullanılabilir.

1.1.4. Hibrit Elektrikli Araçlar (HEV)

Günümüzde kullanılan ve üretilen elektrikli araçların yanında hem içten yanmalı motor(İYM) ve elektrikli motorun beraber kullanıldığı araçlara hibrit elektrikli araçlar (HEA) adı verilmiştir. 1970'li yıllarda meydana gelen yakıt krizinden sonra bilim adamlarını ve otomobil üreticilerinin dikkatini elektrikli araçlar ve hibrit elektrikli araçlar çekmiştir. Yaşanmış olan krizle beraber petrole olan bağımlılığı azaltmak için İYM ve elektrik motorları paralel ve seri olarak bağlanarak yeni bir araç meydana getirilmiştir.

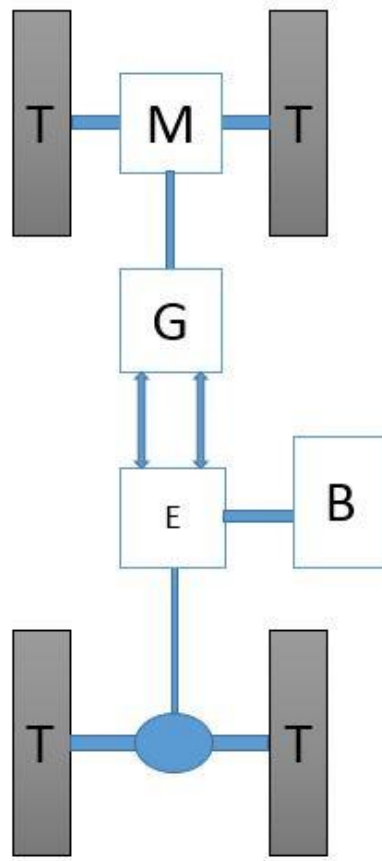
Yapılan çalışma sonucunda hibrit elektrikli araç olmuştur. Hibrit elektrikli araçların amacı benzin sarfiyatını azaltmaktır. Bunu sağlamak için sıkışık trafikte, düşük hızlarda benzin motoru yerine elektrik motorunu kullanmakta ve bu sayede kısmen 0 (sıfır) emisyon salınımı sağlamaktadırlar. Elektrik motorunun çalışması için gerekli enerji benzin motoru çalıştırıldığı zamanlarda ya da frenleme sırasında rejeneratif fren sistemi ve dinamo özellikli elektrikli motorlar yardımıyla akülere şarj edilmektedir. Dolayısıyla bu araçların elektriğe bağlanarak şarj edilmesi gibi bir gereksinim yoktur. HEA'larda elektronik sistemlerinin ve güç aktarma organlarının tekerleğe bağlanma şekline göre paralel ve seri bağlı olmak üzere iki çeşit hibrit elektrikli araçlar vardır.



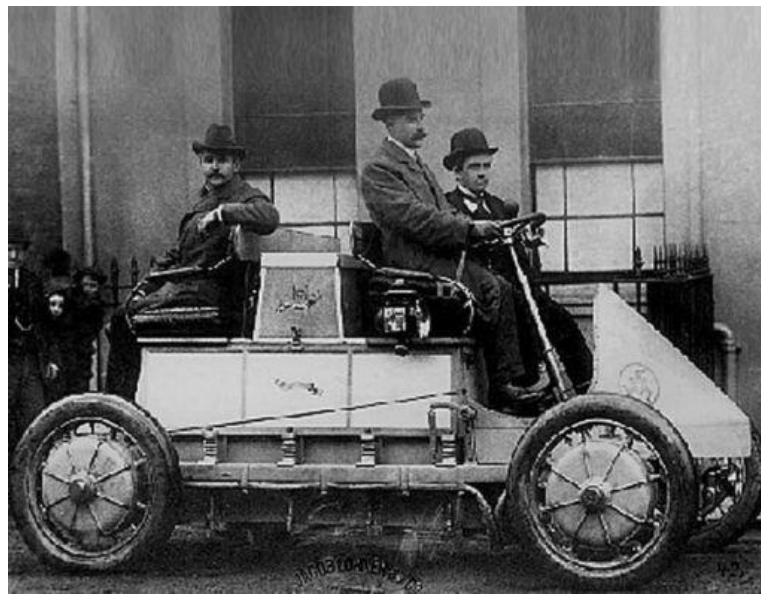
Şekil 1.6. Paralel bağlı hibrit elektrikli araç sistemi.

İstenildiğinde benzinli istenildiğinde elektrik motoruyla ilerleyebilen ilk aracı 27 yaşındayken Ferdinand Porsche yapmıştır. 1902 yılında “Mixte-Wagen” adını verdiği aracı tanıtmıştır. Viyanalı bir fayton üreticisi olan Ludwig Lohner ile birlikte çalışan Porsche 4 silindirli bir Daimler motoruna aküler, bir jeneratör ve elektrik

motorları eklemiştir. Bu haliyle Mixte benzinli motor stop edildiğinde bile akülerin çalıştırdığı elektrikli motorla ilerlemeye devam edebilmekteydi.



Şekil 1.7. Seri bağlı hibrit elektrikli araç sistemi.



Şekil 1.8. Ferdinand Porsche tarafından yapılan ilk hibrit elektrikli araç Wixte-Wagen.

Hibrit arabaların yaklaşık 10 yıl içerisinde, benzin motorlu arabaların yerini alacağı düşünülmektedir. Toyota'nın Toyota Prius modeli, Honda'nın Honda Insight ile başladığı günümüzde Honda Civic Hybrid ile devam eden serileri hibrit otomobillere örnek olarak verilebilir. Toyota'nın lüks araba şirketini temsil eden Lexus'un 2005 yılı içerisinde piyasaya sunduğu Lexus RX 400h modeli de hibrit elektrikli araçlar arasında yerini alacaktır.

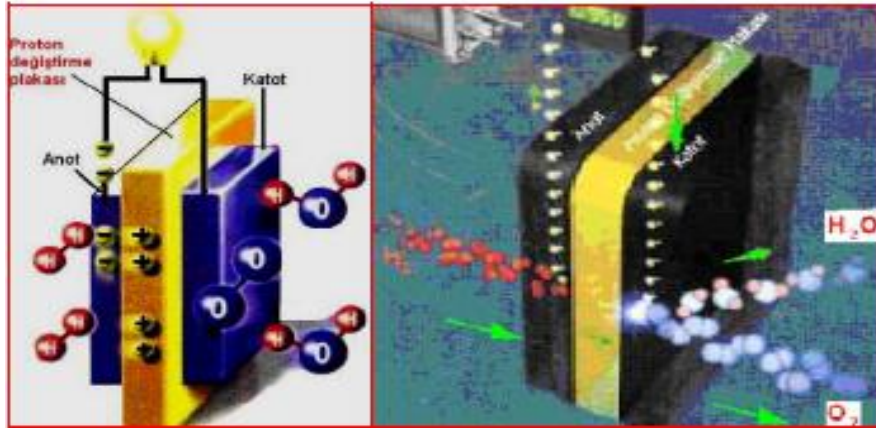
Günümüzde kullanılan hibrit elektrikli araçların kullandığı elektrik motorları çok büyük bir öneme sahiptir. Kullanılan elektrik motorlarının verimliliği büyük öneme sahiptir. Elektrik motorlarının sabit torka sahip olması ile daha düşük hızlar için elektrik motoru kullanılır. Yüksek hızlarda ise İYM kullanılarak hem aracın hareket etmesi hemde araç içerisinde elektrik enerjisi depomak için kullanılan bataryada elektrik enerjisi depolanır. Regeneratif frenleme sistemi ile aracın yavaşlaması ve yokuş aşağı iniş esnasında aracın hızından yararlanarak aracın mekanik enerjisi elektrik enerjisine dönüştürülerek bataryalarda depolanır. Hibrit elektrikli araçlarda kullanılan elektrik motoru hem elektrik enerjisini mekanik enerjiye dönüştürür hem de mekanik enerjiyi elektrik enerjisine dönüştürür. Yani elektrik motoru dinamo görevi için de kullanılır. Kullanılan elektrik motorunun anlık olarak farklı hızlarda ve yükte çalışacak olması sebebiyle kullanılan elektrik motorunun verimliliği büyük önem arz eder.

Hibrit elektrikli araçlarda hıza ve torka bağlı olarak elektrik motorunun verimliliği değişmektedir. Bu nedenle bu çalışmada “en uygun hangi elektrik motorunun kullanılmalı?” sorusunun cevabı verilecektir. Hem hibrit hem de elektrikli araçlarda kullanılan elektrik motorları aynı görevleri yerine getirmeleri nedeniyle yapılan çalışma her iki araç içinde uygundur. Çalışmada sadece elektrikli araç için uygun elektrik motoru incelenecektir.

1.1.5. Yakıt Pilleri Elektrikli Araçlar

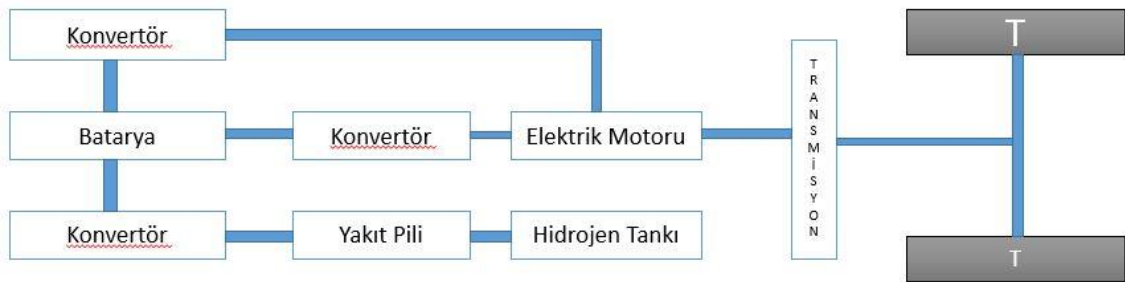
Yakıt pilleri yakıtın kimyasal enerjisini direkt olarak elektrik enerjisine dönüştüren cihazlardır. Geleneksel teknolojilere göre daha yüksek verim ve önemli miktarda düşük emisyon üretirler. Ayrıca daha sessiz çalışırlar ve modüler bir yapıdadırlar. Son yıllarda çeşitli prototip uygulamalarında kullanılmaya başlanmıştır. Daha uzun dönemlerde yakıt pillerinin özellikle araç uygulamalarında daha da yaygın olarak kullanılabileceği öngörülmektedir. Bir yakıt pilli HEA; yakıt depolama sistemi, yakıt pil kontrol ünitesi,

güç işlemci ünitesi-kontrolü ve tahrik sisteminden (elektrik motorları, vb) oluşmaktadır. Yakıt depolama sisteminde depolanan hidrojen doğrudan veya fosil kökenli yakıtların, yakıt işleme sürecine tabi tutulması ile elde edilen hidrojen yakıt pilini besler.



Şekil 1.9. Hidrojen yakıt pili.

Yakıt pili ve elektrik motoru arasındaki güç elektroniği devresi, gerilim değerinin yükseltilmesi için DC motorlarda DC/DC çeviricisine, AC motoru için DC/AC çeviricisine, kontrol için mikroişlemci/dijital sinyal işlemcisine, aşırı yükleme şartları ve rejeneratif frenleme için batarya sistemine ihtiyaç duyulmaktadır. Yakıt pilli elektrikli bir araçta batarya yerine süperkapasitörler de kullanılmaktadır. Fakat mevcut teknoloji daha süperkapasitörlerin bataryaların yerini alabilmesi için maliyet ve güvenilirlik açısından geliştirilmeye ihtiyaç duyulmaktadır [4].



Şekil 1.10. Yakıt pilli elektrikli araç sistemi.

Yakıt pili teknolojisinin en zayıf yanı hidrojenin üretilmesi, depolanması ve taşınmasıdır. Bu sorunların çözümünün çok kısa bir süre içinde gerçekleşmeyeceği anlaşılmaktadır. Bu durum otomotiv firmalarının hibrit elektrikli araç teknolojisine daha çok yönelmelerine yol açmıştır.

1.1.6. EA'ın İçten Yanmalı Motorlu (İYM) Araçlarla Karşılaştırma

Elektrikli araçlar için en önemli amaç; içten yanmalı motorlu araçlardaki muadilleri ile kıyaslandığında geliştirme, üretim ve kullanım masrafları arasındaki eşitsizliği gidermektir. Elektrikli otomobillerin satın alma fiyatları sıradan içten yanmalı motorlu otomobillerin fiyatlarından oldukça pahalıdır, hatta çeşitli ülkelerdeki elektrikli otomobil için devlet teşviklerine rağmen durum değişmemektedir. Yüksek fiyatın temel sebebi bataryalardır.[6] Yüksek satın alma maliyeti, petrollü otomobillerden elektrikli otomobillere geçişi engellemektedir. Hibrit elektrikli araçları(HEV), bataryalı elektrikli araçların(BEV) ikinci el satış fiyatları, hem de tükenmiş bataryaların değiştirilme fiyatı, tüketicilerin zihninde bulunan diğer finansal sorunlardır.”[4]



Şekil 1.11. Mitsubishi i-MiEV'in satışları Japonya'da Nisan 2010'da, Hong Kong'da Mayıs 2010'da ve Australya'da Temmuz 2010'da başladı.

Elektrikli otomobil şirketi Tesla Motors dizüstü PC batarya teknolojisini kendi otomobil bataryaları için kullanmaktadır. Bu teknoloji diğer otomobil üreticilerinin kullandığı özel bataryalardan 3 ile 4 kat daha ucuzdur. Özel bataryalar kilovat saat başına 700-800 dolar fiyatı varken dizüstü bilgisayar hücreleri 200 dolar civarındadır. Bu sayede Tesla'nın batarya teknolojisini kullanan örneğin Toyota RAV4 EV ve Smart ED ve gelecek 2014 modelleri Model X gibi elektrikli otomobil fiyatını düşürecektir[3,4 ve 5]. Haziran 2012

itibariyle, Tesla Model S için önerilen üç tip batarya boyutu seçeneğine dayanarak, New York Times otomobil bataryalarının kilovat saat başına 400 dolar ile 500 dolar arasında olacağını tahmin etti[6].

Harvard Üniversitesi Belfor Center tarafından 2011 yılında yayınlanan bir çalışmada elde edilen bir bulgu elektrikli otomobil kullanımı ile petrol masraflarından kurtulmanın, elektrikli otomobillerin yaşamı boyunca süregelen yüksek masraflarından dolayı benzinli otomobiller ile dengelenemediğini belirtti. Çalışma ayrıca önümüzdeki 10 ve 20 yıllar için bu karşılaştırmalı fiyat durumlarının, bataryaların ucuzlayacağı, petrolün pahalılaşacağı varsayımı ile incelenmesini de içermektedir. Gelecek senaryoları değerlendirilerek inceleme yapıldığında, çalışma bataryalı elektrikli otomobillerin sıradan arabalardan az bir miktar pahalı olduğunu(1,155-7,187 dolara kadar), bataryalı hibrit otomobillerin(PHEV) bütün karşılaştırma senaryolarında bataryalı elektrikli otomobillerden(BEV) daha pahalı olacağını ve sadece bataryaların çok ucuz, petrol fiyatlarının çok yüksek olduğu bir senaryoda sıradan arabalardan daha ucuz olabileceğini ortaya çıkarmıştır. Tasarruflar değişmektedir çünkü bataryalı elektrikli araçların yapılması basittir ve sıvı yakıt kullanmazlar, bataryalı hibrit otomobiller ise çok fazla karışık güç aktarma organına sahiptir ve hala petrole çalışan bir motoru bulunmaktadır[7].



Şekil 1.12. The Tesla Roadster, 2008'de piyasaya çıktı, tamamen elektrikli 244 mi (393 km)'lik bir menzile sahiptir ve 2011'de üretimi durdu.

Elektrikli bir otomobilin çalışma masraflarının çoğu batarya bakımı ve olası yerleşimiyle ilgilidir çünkü elektrikli bir aracın motorunda sadece beş hareketli parça varken, benzinli bir aracın içten yanmalı motorunda yüzlerce parça bulunur[8]. Elektrikli otomobiller değiştirilmesi gereken pahalı bataryalara sahiptirler fakat bunun dışında özellikle yaygın lityum tabanlı tasarımlarda çok düşük bakım masrafları bulunmaktadır.

Elektrikli aracın kilometre başına masrafını hesaplamak için bataryada meydana gelen yıpranmaya da parasal bir değer atanması bu yüzden gereklidir. Bu oldukça zordur çünkü batarya her şarj edilğinde kapasitesi yavaş yavaş azalacaktır; kullanıcısı bataryanın performansını yeterli bulmadığı zaman ömrünün sonuna gelmiş olacaktır. Batarya ömrünün sonuna gelmiş olsa bile tamamıyla değersiz değildir farklı bir kullanım için yeniden değerlendirilebilir, geri dönüştürülebilir veya yedek olarak kullanılabilir[9].

Bataryaların birçok tekil hücreden oluşmasından dolayı illa ki bütün hücrelerde eşit düzeyde bir yıpranma meydana gelmeyebilir, periyodik olarak en fazla yıpranan hücre değiştirilerek aracın menzili korunabilir. Bataryanın ömrü ve dayanıklılığı hakkındaki endişeler devam etmektedir.

Bu farklılık değişik tasarım ve kullanım hedeflerinden ve değişken test standartlarından kaynaklanmaktadır. Araçların gerçek enerji kullanımı sürme şartları ve sürme stili ile büyük ölçüde ilgilidir.

US Environmental Protection Agency (ABD Çevre Koruma Ajansı) tarafından belirlenen yakıt ödemelerini karşılaştırmaktadır. Ajansın yakıt ekonomisi için(galon petrol mil başına(miles per gallon(mpg)) ve elektrikli otomobillerdeki eşdeğeri) resmi değerleri, ABD’de seri üretimle satılan elektrikli arabaları, Energy Protection Agency(ABD Çevresel Koruma Ajansı) tarafından seçilmiş yakıt verimli elektrikli hibrit(Chevrolet Volt)[57], benzinli elektrikli hibrit arabalar(Toyota Prius üçüncü jenerasyon) ve EPA’nın 2013 model 23 mpg_us’lik(10L/100km; 28 mpg_imp) yakıt ekonomisine sahip araçlar için değerlendirilmiştir[10].

İçten yanmalı motorlu araçların çoğu sınırsız menzile sahip olduğu değerlendirilmesi yapılır ve çok kısa bir sürede neredeyse çok yaygın bir şekilde bulunan benzin istasyonlarından depolarını doldururlar. Elektrikli araçlar tek şarj ile daha az bir menzile sahiptir ve şarj süresi uzun bir zaman alabilmektedir. Ülkemizde araç kullanıcıları günlük ortalama yaklaşık 100 km’den az bir mesafe kat etmektedir böylece elektrikli araçlar şehir

içindeki sürüş ihtiyaçlarına uygundur. Aksine elektrikli araç kullanıcıları, araçları ile hedeflerine varmadan bataryalarının biteceği endişesi taşımaktadır.

Otomobil üreticilerinin elektrikli araçların kısa menzili uzatmak için tek bir çözümü vardır o da araçların bataryalarını değiştirilebilir şekilde yapmalarıdır. Batarya değiştirme teknolojisine sahip bir elektrikli araç 100 mil(160 km)'lik bir sürüş menzili ile batarya değiştirme istasyonuna gidebilecektir ve tükenmiş batarya tam dolu batarya ile 1 dakikada değiştirilerek elektrikli araca 100 mil(160 km)'lik bir sürüş menzili sağlayacaktır[11]. Bu işlem benzinli araçlardaki depo doldurma işleminden daha temiz ve daha hızlıdır. Fakat yüksek yatırım maliyeti yüzünden ekonomik olarak uygulanabilir değildir.

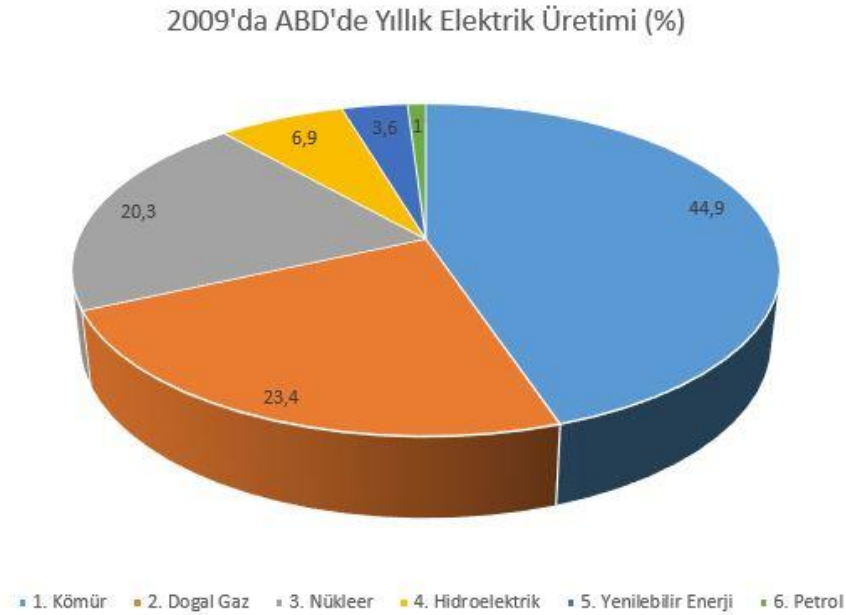
Bir diğer depolama yöntemi doğru akım hızlı şarj istasyonları, üç fazlı endüstriyel prizlerden yüksek hızlı şarj yeteneği ile tüketiciler 100 millik bataryanın %80'ini 30 dakika gibi bir sürede şarj edebilmektedir[12].

Elektrikli otomobiller şehirlerde temiz havaya katkıda bulunur. Çünkü is(partiküller), uçucu organik bileşikler, hidrokarbonlar, karbon monoksit, ozon, kurşun ve çeşitli nitrojen oksitleri gibi zararlı bir atık üretmezler. Temiz hava genelde yereldir çünkü bataryayı tekrar şarj etmek için kullanılan elektrik kaynağına bağlıdır, hava kirliliği emisyonları üretim santrallerinin olduğu yere kaymaktadır. Salınan karbon dioksit miktarı, aracı şarj etmek için kullanılan güç kaynağının emisyon yoğunluğuna bağlıdır, araç bazında düşünüldüğünde söz konusu aracın verimliliği ve şarj işlemi sırasında kayıp olan enerjiye bağlıdır.

Şebeke elektriği için emisyon yoğunluğu ülkeden ülkeye değişmektedir, ve bir ülke değerlendirildiğinde talebe göre, yenilenebilir enerji kaynaklarının uygunluğuna göre ve fosil yakıtların üretimde verimliliğine göre değişmektedir[13]. Şebekeden bağımsız yenilenebilir enerji ile aracın şarj edilmesi çok düşük bir karbon yoğunluğuna sebep olmaktadır.

Diğer taraftan, kömürden üretilen güç oranının yüksek olduğu bölgelerde, hibrit elektrikli otomobiller, prize takılan elektrikli otomobillerden daha az CO2 emisyonu üretir, ve en iyi yakıt verimli benzinli küçük otomobiller prize takılan otomobillerden biraz az bir emisyon üretir. En kötü durum senaryosunda, bütün enerjinin kömürden üretildiği bir bölge için, yapılan çalışma prize takılan elektrikli bir arabanın, benzinli bir arabanın şehir/otobandaki birleşik yakıt ekonomisi olan 30 mpg_us'ye denk bir sera gazı emisyonu

yaydığını ortaya koydu. (7.8 L/100 km; 36 mpg_imp). Aksine, tamamen doğalgaza dayanan bir bölgede, elektrikli otomobiller 50 mpg_us'lık değerli benzinli otomobillere eşdeğerdir(4.7L/100 km; 60 mpg_imp)[14,15].



Şekil 1.13. 2009'da ABD'de elektrik üretimine ait kaynak dağılımı[13].

İngiltere'de 2008'de yapılan bir çalışma İngiltere'deki mevcut elektrik üretiminden dolayı ve elektrikli otomobillerin üretimi ve kullanımı ile ilgili emisyonlar dikkate alındığında bile elektrikli otomobillerin karbondioksit ve sera gazı emisyonlarını en az %40 azaltma potansiyeli olduğunu belirtti[16].

Türkiye'de 1990-2009 Ulusal Seragazı Envanter raporunda, ulaştırma sektörü toplam karbon emsionunun %17'sinin kaynağıdır, ulaştırma sektörü içerisinde karayolu tipi %84.74'e denk gelmektedir. Ülkemizde satışı yapılan Renault Fluence Z.E. modelinin ortalama yakıt tüketimi 13,9kWh/100 km'dir. Türkiye'nin kaynaklara göre ortalama birim enerji emisyonu 0,53426 kgCO₂/kWh ile Avrupa ortalamasının(0,8 kgCO₂/kWh) altındadır[17].

2011'de hazırlanan bir raporda hibrit elektrik araçlar, prize takılan hibritler ve bütün elektrikli otomobiller üretimleri esnasında mevcut sıradan otomobillerden daha fazla karbon emisyonu üretmektedirler, fakat bütün yaşam döngüleri üzerinde toplam karbon kapsama alanı daha düşüktür. İlk yüksek karbon kapsama alanı batarya üretiminden kaynaklanmaktadır. Örnek olarak çalışma orta ölçekli bir elektrikli otomobilin üretim

esnasında oluşan emisyonunun %43'ünün batarya üretiminden olduğunu değerlendirmiştir[18].

1.1.7. EA için Enerji Verimliliği

İçten yanmalı motorlar nispeten yakıt enerjisini itme gücüne dönüştürürken verimsizdirler, enerjinin çoğu ısı olarak harcanmaktadır. Fakat elektrikli motorlar batarya da depolanmış enerjiyi aracın hareket enerjisine dönüştürürken çok daha verimlidir. Elektrik tahrikli araçlar hareketsizken veya kendi kendine giderken enerji harcamazlar ve kaybedilen enerjinin bir kısmı, frenin tutması sırasında bir miktar enerji kaybedilir ve rejeneratif frenleme sayesinde yeniden kullanılır. Rejeneratif frenleme, frenleme esnasında kaybedilen enerjinin beşte biri kadarını tutar. Normalde, sıradan benzinli motorlar aracı hareket ettirmek için veya güç aksesuarları için yakıt enerjisinin sadece %15'ini etkin bir şekilde kullanır. Dizel motorlar %20'lik bir verimliliğe sahipken, elektrik motorlu araçlar %80 civarı bir verimliliğe sahiptir.

Elektrikli arabaların üretimi ve dönüşümü tipik olarak 10 ila 23 kwh/100 km dir[9], [19]. Güç tüketiminin yaklaşık %20'si bataryaların şarj edilmesindeki verimsizliklerden kaynaklanmaktadır. Tesla Motors aracın verimliliği (şarj durumundaki kayıpları da içerir) onların lityum iyonlu bataryalar 12.7 kwh/100 km(0.21 kwh/mil) ve kuyudan tekere verimlilik (elektriğin doğalgazdan üretildiği varsayımıyla) 24.4 kwh/100 km'dir(0.39 kwh/mi)[20].

1.2. Elektrikli Araçlar İçin Elektrik Motorları

Endüstriyel uygulamalarda ve meskenlerde çok sık kullanılan elektrik motorları, kullanım kolaylığı, basit yapısı, bakım gerektirmemesi ve ucuz olması nedeniyle yaygın olarak kullanılmaktadır. Teknolojinin gelişmesi ile endüstri alanı yanı sıra hemen hemen her alanda insan dışı kontrol teknikleri artmıştır. Bu kontrol tekniklerinin uygulamalarında ise elektrik motorları yer almaktadır.

Elektrik motorları, elektrik enerjisini mekanik enerjiye dönüştüren aygıtlardır. Her elektrik motoru biri sabit (stator) ve diğeri kendi çevresinde dönen (rotor ya da endüvi) iki ana parçadan oluşur. Elektrik motorları çok farklı boyutlarda ve farklı yerlerde

kullanılır ve çeşitli kullanımlara sahiptir. Gerçekte, elektrik motorları insan yaşamında her yerde çok yaygın kullanılan ve etkili olan çok güvenli, hızlı ve ucuz makinelerdir[21].

Elektrik motorlarına günlük kullanılan araç ve gereçlerde binlerce olmasa da bir düzinesi ile karşılaşırız. Elektrik motorlarını çevremizde itme, çekme, kaldırma vb. ihtiyaçlarımızı karşılamak için kullanırız. Elektrik motoru yararlı iş yapabilen elektrik enerjisini kinetik enerjiye dönüştüren makinelerdir. Öncelikle basit olduğundan dolayı güvenirdir[22].

Sürekli mıknatıslı fırçasız doğru akım motorları yüksek moment/akım ve moment/eylemsizlik oranı, yüksek verim ve güvenilirlik gibi üstünlüklerinden dolayı otomotiv, uzay teknolojileri, bilgisayar, robotik ve ev ürünlerinde artan sayılarda kullanılmaktadır[23]. Elektrik motorları, motora gelen akıma göre doğru akım (DC) ve alternatif akım (AC) olmak üzere ikiye ayrılır.

1.2.1. Elektrik Motorları

Hibrit elektrikli araçlarda ve elektrikli araçlarda, itiş gücü sağlamak için elektrik motoru ve güç aktarma organı kullanılır. Elektrik motorları günlük kullanılan uygulamalarda hem verimli hem de basittir. Elektrikli motorlar, hibrit ve elektrikli araçlar da hareket ettirmek için elektrik enerjisini mekanik enerjiye dönüştürler. Her motor, mekanik enerjiyi elektrik enerjisine dönüştürmek için bir jeneratör gibi kullanılabilir. Bu iki durum için, hibrit ve elektrikli araçlarda elektrik motorları, başlangıçta araca itiş gücü sağlamak için kullanılır ve sonra ise frenleme esnasında motorun hızından yararlanarak aracın bataryasına enerji depolamak (şarj etmek) için kullanılır. Bu durumda iki ayrı elektrik motoru kullanmadan hem aracın hareket etmesi sağlanır hem de bataryalar şarj etmek için kullanılır.

Geleneksel araçlarda, motorun boyutu için hareket eden araca uygun toplam güç belirlenebilir. Hibrit araçlarda, aracın ihtiyaç olduğu güce ek olarak elektrik motorlarına da sahiptir. Hem elektrik motorları hem de geleneksel içten yanmalı motorlar kilowatt (kW) ile ilgilidir. İçten yanmalı motorlar beygir gücü ile karşılaştırıldığında, elektrikli araçların yeterli güce sahip olmadığı görülür. Fakat içten yanmalı motorlar maksimum çıkış gücü ile değerlendirilirken, elektrikli motorlar ise sürekli güç sağlamaları ile değerlendirilir.

Manyetik alan yapısı, motor içerisinde sabit manyetik alandan oluşur. Bobinden akım geçtiğinde elektro mıknatıslanma olur ve rotor döner. Akım değiştirici yardımıyla rotor

üzerindeki akımın yönü değiştirilir, rotor ve güç kaynağı arasında akım oluşmasına yardım eder. Doğru akım ve alternatif akım motoru olmak üzere iki çeşit motor vardır.

1.2.2. Hibrit ve Elektrikli Araçlarda Kullanılan Elektrik Motorları

Hibrit ve elektrikli araçlarda kullanılan elektrik motorlarının diğer elektrik motorları arasında temel olarak çok büyük fark yoktur. Seri hibrit araçlarda kullanılan elektrik motorları diğer uygulamalarda kullanılan elektrik motorları arasında hiçbir fark yoktur. İtiş motoru, batarya ile güçlendirilen elektrikli araçlarda kullanılan elektrik motorları gibi aynı şartta çalışmaktadır. Paralel hibrit elektrikli motorlarda kullanılan elektrik motorlarının üstün olmaları, paralel hibrit sisteminden dolayıdır. Paralel hibrit sistemlerde, tasarımda kullanılan elektrik motorları krank miline bağlanır. Elektrik motoru, doğrudan krank miline bağlı olarak hem jeneratör hem de elektrik motoru olarak çalışır. Böylesi elektrikli araçlarda ve hibrit elektrikli araçlarda kullanılan elektrik motoru, fırçasız DC ya da AC Senkron elektrik motorunun çeşitleri kullanılır. Bu elektrik motorları çok kutuplu elektrik motorlarıdır. Çünkü bu motorların, uzunluğu kısa ve çapı da büyüktür. Bu motorlar istenilen en büyük yarıçaplı motorlar üretilmesine izin verirler[24].

Bu tür elektrikli motorları için teker içi tipinde olan elektrik motorları da kullanılır. Fakat tüm paralel hibrit elektrikli araçlarda, bu tip elektrikli motorların özel yapım elektrikli motorları kullanılır. Bazı hibrit ve elektrikli araçlarda kullanılan elektrikli motorlar, oldukça geleneksel, tek kutuplu ve krank miline bağlı olduklarından oldukça yüksek hızlı elektrikli motorlardır. Mevcut hibrit ve elektrikli araçlarda kullanılan elektrik motorları aşağıdaki tablo 2,1’de belirtilmiştir.

Tablo 1.2. Mevcut Elektrikli Araçlarda Kullanılan Elektrik Motorları

EA Modelleri	EA için Elektrik Motorları
Fiat Panda	DC Motor
Mazda Bongo	DC Motor
Suzuki Senior Tricycle	Kalıcı Mıknatıslı (PM) DC Motor
Ford Think City	Asenkron Motor
GM EV1	Asenkron Motor

Honda EV Plus	Kalıcı Mıknatıslı (PM) DC Motor
Nissan Altra	Kalıcı Mıknatıslı (PM) DC Motor
Toyota RAV4	Kalıcı Mıknatıslı (PM) DC Motor

Hibrit elektrikli araçlar için farklı paralel elektrikli motor bağlantıları vardır. Bir diğer paralel bağlı motor yapısı ise ön tekerleklerle elektrikli motorların bağlı olması ve krank milinin dişlilere bağlı olmasıdır. Daha fazla güce ihtiyaç olduğunda ya da çok daha yavaş hızlarda hareket ederken elektrik motorları ön tekerlekleri besler. Dört ayrı tekerlekte itme gücü oluşturur. Benzer şekilde, rejeneratif frenleme yaparak ön tekerler hem jeneratör görevi yapar hem de frenleme yapar[24].

1.2.3. Doğru Akım (DC) Motorları

Geleneksel sanayinin temelinde elektrik enerjiyi üretmek ve mekanik enerjiyi elektrik enerjisine dönüştürmektir. DC motorlar sanayinin temel amaçları için kullanılır. Elektrik motoruna uygulanan voltajı kontrol ederek, çok farklı motor hızları elde edilir. DC motorlarının hızlarının kontrol edilebilmesi, ağır yüklerde yavaş bir şekilde başlatılabilmesi ve daha sonra hızlı bir şekilde hızlandırılabilmesi ile sanayi uygulamalarında bu motorları değerli yapar. DC motorlar aynı zamanda yazıcı ve çelik üretim operasyonlarındaki gibi değerli uygulamalarda kullanılır[23].

Doğru akım motorların da, akım daima aynı yöne doğru akar. Doğru akım motorları mekanik enerjiyi elektrik enerjiye dönüştürmek için manyetik alanlar arasındaki etkileşimi kullanırlar. Manyetik alan kuvvetleri bir mıknatısın kuzey kutbundan güney kutbuna doğru akar. Sonuçta bir manyetik alanın içerisine iletken bir çubuk yerleştirilirse, manyetik alan kuvvetinden dolayı çubuğun dönmeye başlar. Doğru akım motorları bu prensibe göre çalışmaktadır[21].

Doğru akım motorları dönen aksama rotor denilmektedir. Rotor ve alan kanatçıklarına 3 farklı yolla bobin sarılması gerçekleştirilir. Bu nedenle her hangi bir DC motor da, 3 farklı bobin ile rotor arasında bağlantı sağlanır. Bu bağlantı şekilleri seri, paralel ve seri ve paralel bağlantı şeklinin beraber yapıldığı bileşik bir bağlantıdır. Böyle bir bağlantı şekilleri olmasına rağmen çoğu doğru akım motorlarında kalıcı mıknatıslı motorları görmek çok yaygındır[21]. DC motorların yapısında, alan bobinlerine, rotor(endüvi)

bobinlerine ve fırçalar ile değiştiriciye sahiptir. Seri, paralel ve birleşik olmak üzere üç çeşit doğru akım motorları vardır[24].

1.2.3.1. DC Motorun Dönüş Yönü

DC motorların rotorlarının dönüş yönü, rotorun akımına ve manyetik alanın yönüne bağlıdır. DC motorun dönüş yönünü değiştirmek için akımın ve manyetik alanın yönünü değiştirmek gereklidir. Güç kaynağını tersine çevirmek, rotorun yönünün ters dönmesine neden olmaz. Çünkü bu durumda manyetik alan ve rotorun akımı tersine döner. DC motorun dönüş yönü, kontrolör yardımıyla belirlenebilir[23].

1.2.3.2. DC Motorda Hız Kontrolü

DC motorların en büyük avantajı farklı hızlarda çalıştırılabilmesidir. Dc motorların normal hızı, rotor ve manyetik alanın ikisini tam bir voltaj enerji bağlanarak elde edilir. DC motorlar rotordaki voltajı orantılı olarak devam ettirilir ve manyetik alana gelen akımı azaltarak motorun hızı normal çalışma hızının üstüne çıkartılabilir. Manyetik alan akısı azaltılırsa, rotorda üretilen elektromotor kuvvet (EMF) azalmasına neden olur. Böylece, rotora daha fazla akım akışına izin verir ve bir çevrimlik tork kazanılır. Motor hızı, motor torkunu mekanik torka eşit olana kadar artacaktır. Motor normal hızın üstünde çalıştığında, motor üretim özellikleri maksimum çalışma hızındaki güvenilirlik hakkında bilgi sahibi olunmalıdır. Hız sınırı kontrol edilmeksizin ve kontrolör kullanılmadan aşırı yüksek hızda çalışan motoru kontrolörün kontrol etmesi ve koruma sağlanamaz[23].

DC motorların hızlarını kontrol etmek için çeşitli metotlar mevcut olup bu metotların en temel olarak manuel kontrol ile motorların hızları kontrol edilmektedir. Ayrıca çoğu motorlarda yaygın olarak katı plakadan yapılmış kontrolör kullanılır. DC motorların hızlarını kontrol ederek gerekli çalışma şartlarında çalışması sağlanır. Böylece DC motorun hızı kontrol edilerek güvenli bir ortam oluşturulur. Hız kontrolör ile motorun hızı istenen hızlarda çalıştırılmasına ve hızının düzenlenmesi sağlanır[23].

1.2.3.3. DC Motorun Çalıştırılması

DC kaynaktan rotora alınan akım sınırlandıran iki faktör vardır. Birincisi, elektromotor kuvvetinin (EMF) karşı koyulması ve ikincisi ise rotorun dayanımıdır. Çünkü rotorun

duraklamasında ve rotorun dayanımının çok düşük olduğunda, elektromotor kuvveti direnç oluşturmaz. Böylece rotorun gelen akım anormal şekilde yüksek olacaktır. Sonuç olarak, rotor akımı başlangıç bir kontrol direnci ya da iç direnç ile sınırlandırılır. Kontrolör ile dc motorun başlatılmasında kademeli bir akım artışı ile sağlanır[22, 23].

1.2.3.4. DC motorlar için Manyetik Alanların Kontrolü

Manyetik alan, kalıcı mıknatıslar ile motorun dönmesini sağlar. Fakat bu motoru döndürmek için tek seçenek değildir. Manyetik alan oluşturmak için, akım geçmesi ile bobinleri kullanmak mümkündür. Bu alan kanatçıkları, elektrik motorun statorunda yer alır. Manyetik alan oluşturmak için kullanılan elektro manyetiğin avantajı, manyetik alan gücünün akımı değiştirerek değiştirilebilmesidir. En büyük avantajı ise güçlü bir manyetik alan üretmenin en ucuz yoludur. Dezavantajı ise alan kanatçıklarının, elektrik akımını tüketmesi ve ısı üretmesidir. Böylece, elektrik motorun verimi düşük olur. Pratikte, manyetik alanın kontrolü genellikle daha az verimli olur. Çünkü motor kayıpları azalır. Sonuçta, fırçalı DC motorlarda hala sıklıkla elektrikli araçlarda kullanılır. Üç çeşit fırçalı DC motor mevcut olup bizi ilgilendiren sadece bir tanesidir. Seri ve paralel bağlı fırçalı DC motorun davranışı, temel elektrik mühendisliği kitaplarında yer alır. Fakat bu motorlar elektrikli araçlar için gerekli olan hız ve tork kontrolünü veremez. Heterojen bağlı Fırçalı dc motorların elektrikli araçlarda kullanılması yaygındır[24].

Özellikle paralel bağlı motorun kontrol edilmesi zordur. Çünkü kaynak voltajının azaltılması zayıf manyetik alanın oluşmasıyla sonuçlanır, böylece elektromotor kuvveti azalır ve hızın artmasına neden olur. Voltaj kaynağındaki azalma, motorun hızını etkileyen çok küçük etkilere sebep olur. Seri bağlı motorların en önemli avantajı, torkun düşük hızlarda çok yüksek olmasıdır ve hız artırıldığında hız bir şekilde tork düşer. Bu tür motorlar içten yanmalı araçlarda başlatıcı (starter) motor olarak kullanılabilir. Fakat elektrikli araçlarda kullanılması uygun değildir[24].

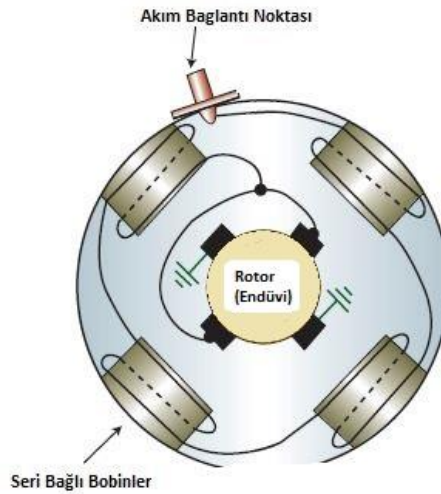
Heterojen bağlı motorların hem manyetik alan hem de kaynak voltajının kontrol edilmesine izin vermesiyle bize bağımsız kontrol imkânı sağlar. Gerekli hızlarda gerekli tork değerlerinin elde edilmesinde bize büyük esneklik sağlar. Bu tür motorlarda kullanılan kontrol metodu olarak birincisinde rotor üzerindeki kaynak voltajının azaltılması ikinci olarak da manyetik akının azaltılması ile motorun kontrol edilmesi gerçekleştirilir[24].

Bu nedenle heterojen bağılı fırçalı DC motorlar, elektrikli araçların uygulamalarında çok yaygın bir şekilde kullanılır. Manyetik alan kalıcı mıknatıslar ile sağlanır. Bu durum bir motoru basit ve üretmek için daha ucuz yapar. Böylesi kalıcı mıknatıslı motorlar bazen itme motoru olarak kullanılır.

1.2.3.5. Seri Bağlı DC Motorlar

Seri Bağlı DC Motorlar, rotor ve manyetik alan elektrikselsel olarak birbirine seri olarak bağlıdır. Rotora, manyetik alan gücünü artırarak akım manyetik alan boyunca akar. Motor aşırı yüklemde bile hızlı şekilde başlayabilir. Fakat aşırı yüklemde motorun hızı azalacaktır[24].

Çoğu başlatıcı (starter) motorlar seri bağılı motorlardır. Fakat günümüzde çoğu DC motorlar fırçalı ve fırçasız motorlar olmaktadır. Seri bağılı motorlar, tasarımından dolayı bobinden rotora geçecek olan akımın tümünün geçmesine izin vermemektedir[21].



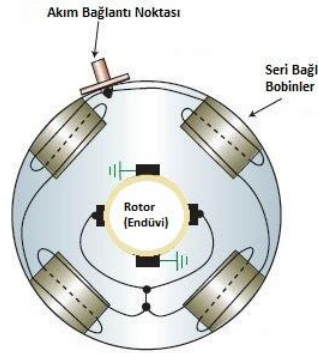
Şekil 1.14. Seri bağılı DC motor.

1.2.3.6. Paralel Bağlı DC Motorlar

Paralel bağılı DC motorlar, paralel şekilde rotor ve mıknatıslar bağılıdır. Akım, rotor boyunca geçerken mıknatıs boyunca da geçer. Motor yükleme olmaksızın bile herhangi bir hızda döner. Fakat yükleme aşırı olursa, motor başlamak için zorlanır[24].

Elektrik motorlarda ve paralel bağılı motorlarda alan kanatçıları rotora karşı paralel bağılıdır. Paralel olarak bağılı olan motorların dönmesini sağlayan hızı sınırlandırmak için

kullanılır. Paralel bağlı motorlarda, hızı artırdıkça motorun çıkış torkunda azalma olmaz. Paralel bağlı motorlar tork üretmezler. Bu nedenle paralel bağlı motorlar başlatıcı(starter) motorlar olarak kullanılamaz. Fakat paralel bağlı motorlar, silecek motorları, güç ayarlı koltuk motorları ve güç ayarlı pencere motorları olarak kullanılabilir[21].

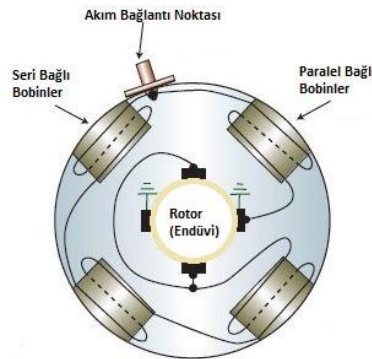


Şekil 1.15. Paralel Bağlı DC motor

1.2.3.7. Birleşik Bağlı DC Motorlar

Birleşik bağlı DC motorlarda, bir tanesi paralel diğeri seri olacak şekilde iki alan mıknatısı rotora bağlıdır. Birleşik bağlı motorlar hem seri hem de paralel bağlı motorların avantajına sahiptir. Bu tür motorlar aşırı yüklemelerde kolay çalışabilir ve yük artırıldığında, sabit hızla devam edebilir[24].

Bileşik bağlı DC motorlarda, alan bobinleri rotora seri olarak bağlı ve diğeri alan bobini ise rotor ile batarya'ya paralel olarak bağlıdır. Bu konfigürasyon motora iyi bir başlatıcı torku ve sabit çalışma hızı kazandırır. Paralel bağlı alan bobini başlatıcı(starter) motorun hızını sınırlamak için kullanılır[21].



Şekil 1.16. Birleşik bağlı DC motor.

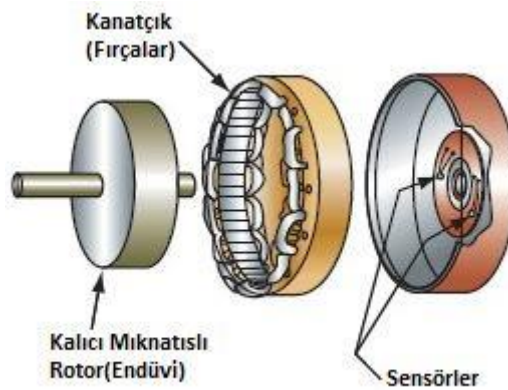
1.2.3.8. Kalıcı Mıknatıslı (PM) DC Motorlar

Çoğu yeni araçlarda, başlatıcı (starter) motor olarak kalıcı mıknatıslı motorlar kullanılır. Bu motorlar aynı zamanda çok farklı uygulamalar içinde kullanılır. Kalıcı mıknatıslı motorlar bobinlerin yerine kullanıldığında, motorda alan akımı olmaz. Bu akımı yok ederek, potansiyel elektriksel problemleri de yok edilebilir. Kalıcı mıknatıslı motorların bir diğer avantajı, ağırlıktır. Kalıcı mıknatıslı DC motorlar, normal bir başlatıcı(starter) motorun ağırlığının %50 si kadardır[21].

Çok farklı kalıcı mıknatıslar, motor içerisindeki rotor etrafındaki yuvaya yerleştirilir. Bu mıknatıslar bor, neodyum ve demir alaşımıdır. Bu mıknatısların alan güçleri diğer mıknatısların alan güçlerinden daha büyüktür. Bu motorların çalışma prensibi diğer elektrik motorların çalışma prensibi gibidir.

PM DC motorlar, kalıcı mıknatıslı bir rot ve elektromanyetik alan kanatçıklar kullanır. Motor tasarımı fırçasız olduğunda, kontak yapmayı azaltır ve daha uzun servis bakımı gerektirir. Kontak yapma, ters bir şekilde elektronik sistemi etkilediği elektromanyetik müdahaleye sebep olabilir. Yüksek çıkışlı PM DC motorlar, bazı hibrit elektrikli araçlarda kullanılır[21].

Başlatıcının kontrolü, rotorun dönmesini sağlayacak olan akım akışını değiştiren bir elektronik akım ile sağlanır. Motorun hızı, sürüş akımı ile kontrol edilebilir.



Şekil 1.17. Kalıcı mıknatıslı (PM) DC motor yapısı

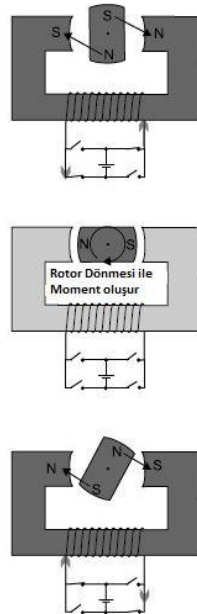
PM DC elektrikli motorun çalışma prensibi aynı klasik bir DC elektrik motor gibidir. Bu motorun fırçaları açıkça bir problemdir. Fırçalar ve rotor arasındaki sürtünmeden dolayı motorun fırçalarında yıpranma oluşur. Fakat bu tip motorların en büyük problemi

kayıplardan dolayı meydana gelen ısı, motorun merkezindeki rotorda meydana gelmesidir. Motor içerisindeki oluşacak olan ısı dış stator da meydana gelirse, ısıya dışarıya doğru taşınması çok daha kolay olacaktır ve daha küçük motorların üretilmesine izin verecektir[24].

Elektrikli motor teknolojinde ilginç özelliklerinden biri hiç açık bir kazananın olmamasıdır. Elektrikli araçlar için uygulamalarında bütün elektrikli motorların kullanıldığı görülmektedir.

PM DC elektrikli motorlar (BLDC motor) gerçekte AC bir motordur. BLDC motorlar olarak isimlendirilmesinin nedeni akım değiştirmesini çeşitli frekanslarda olması, DC bir kaynaktan türetilmesi ve hız-tork karakteristiği sıradan bir fırçalı DC motor ile çok benzer olması sebebiyle AC motor değil de BLDC motor olarak isimlendirilir[24].

BLDC motorun çalışma prensibi aşağıda gösterildiği gibidir. Rotor kalıcı mıknatıslardan oluşur. Motoru saat yönünde döndürmek için statoru mıknatıslandığı yönde akım akar. Rotor statorun kutupları arasından geçer ve stator akımı kapatılır. Momentum stator üzerinde taşınır ve stator bobini yeniden enerji verilir. Fakat akım ve böylece manyetik alan ters yönde döner. Devamlı olarak motor içerisinde bu süreç devam eder[24].



Şekil 1.18. Kalıcı Mıknatıslı DC motorun çalışma prensibi

Açıkçası, akımın değişmesi rotor üzerinde senkron olarak gerçekleşir. Bu işlem sensörler kullanılarak yapılır. BLDC motorların bir özelliği, hız arttıkça, torkun azalmasıdır. Dönen mıknatıs, bobinde geri elektro-motor kuvveti (EMF) oluşturacaktır. Geri EMF, dönme hızıyla orantılı ve bobine akan akım azalacaktır. Azalan akım manyetik alanın gücünü azaltacak ve böylece tork da azalacaktır. Neden olan geri EMF'nin boyutu, voltaj kaynağıyla eşit ve bu noktada maksimum hıza ulaşır. Bu davranışıyla açıkçası fırçalı DC motorla aynı özelliğe sahiptir[24].

Motor bobinleri boyunca akımın değişmesine rağmen, genellikle DC olarak sınıflandırıldığı DC bir kaynak olmalıdır. Bu motorlar genellikle bilgisayar ekipmanlarından disk depolama ve fanlarda yaygın bir şekilde kullanılır. Fakat bu motorlar aynı zamanda daha yüksek güç uygulamalarında da kullanılır. Çok esnek sürücü sistemleri üretebilmek için tork ve akımı değiştirebilmek için çok yüksek gelişmiş kontrolör kullanılır[24].

BLDC motorları, rotor için güçlü kalıcı bir mıknatısa ihtiyaç duyar. Bunun avantajı ise çok yüksek spesifik bir güç sağlayabilir ve çok daha yüksek verime sahiptir. Fakat kalıcı mıknatıslı rotor motorun üretilmesinde önemli derecede maliyetinde artış olacaktır.

1.2.3.9. Fırçalı DC Elektrik Motorları

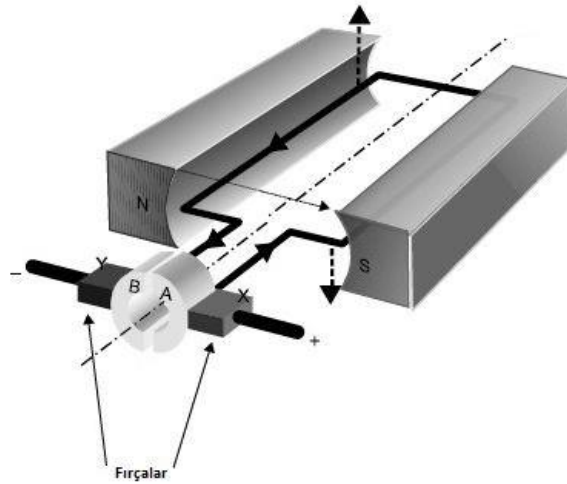
Elektrikli araçlarda çeşitli elektrik motorları kullanıldığı görülmektedir. Fakat elektrik motorlarının yapısı en basit bilinen çeşidi fırçalı DC motordur. Bu tip elektrik motoru yaygın bir şekilde taşınabilir araçlarda, elektrikle çalışan araç pencereleri, saç kurutma makinelerinde vb. çeşitli uygulamalarda kullanılmaktadır. Fakat bu motorlar tepki motoru olarak da kullanılır. Aynı zamanda fırçalı DC motorlar iyi bir başlatıcı(starter) motor olarak yaygın olarak kullanılır[24].

Genel olarak DC motorlar kalıcı mıknatıslardan ve fırçalardan oluşur. Klasik bir DC motor şekil 1.19'daki gibidir. Bu motorlar basitçe bir bobine sahip ve mıknatıs etrafındaki kablolardan akım geçirilerek, bobinlerde kuvvet oluşmasına neden olur[24].

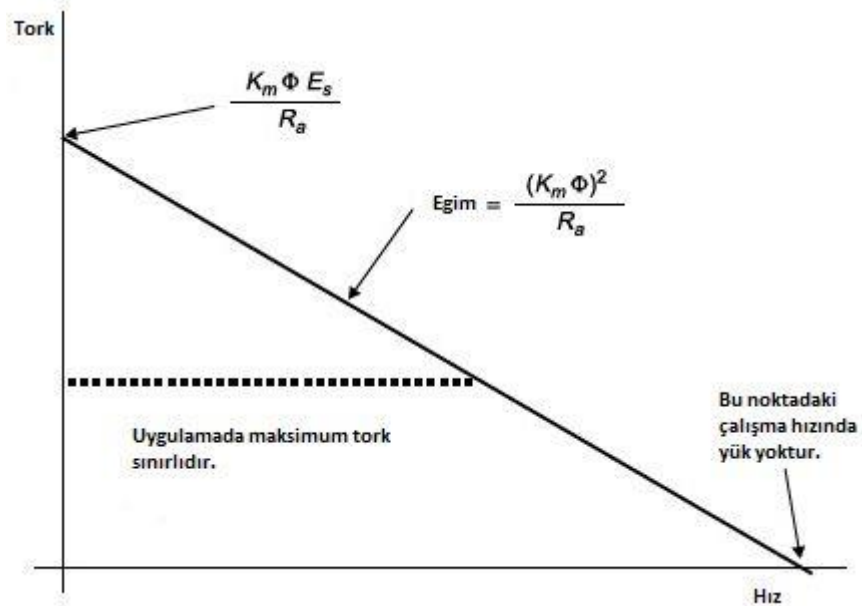
1.2.3.10. Fırçalı DC motorun kontrolü

Fırçalı DC motorların kontrolü çok kolaydır. Kaynak voltajı azaltılırsa, maksimum tork orantılı olarak düşer ve tork-hız grafiğinin eğimi değişmez. Diğer yönden, herhangi bir

değerdeki tork ve hız maksimum değerinin altında kalabilir. Kaynak voltajını basit ve etkili bir şekilde kontrol edebiliriz. Bu yüzden fırçalı DC motorların kontrolü bize iyi bir avantaj sağlar.



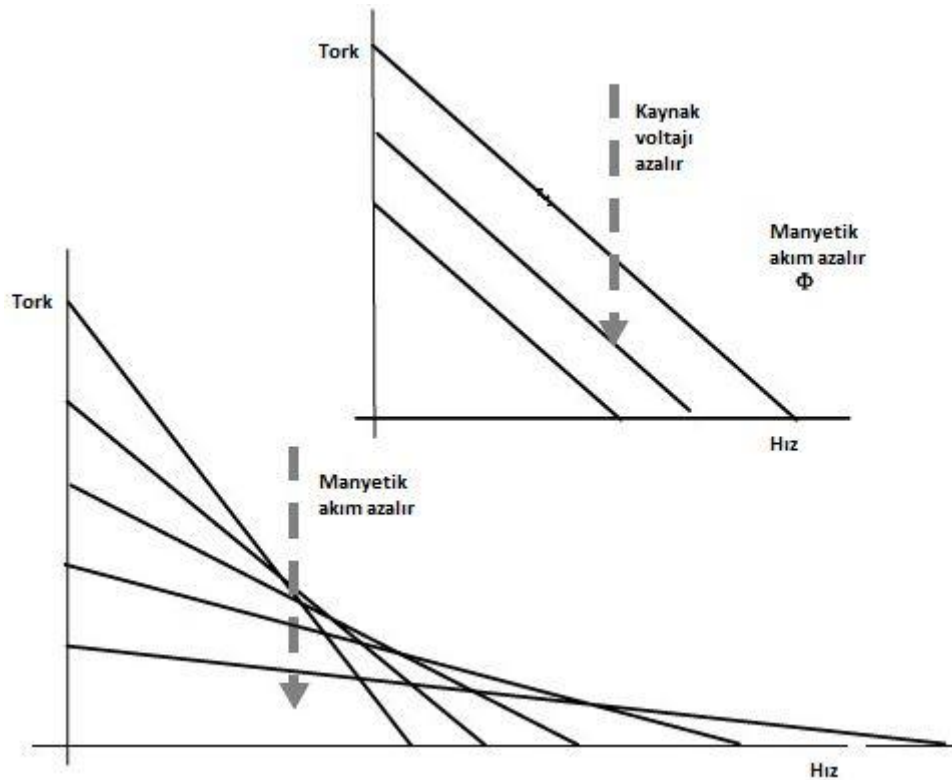
Şekil 1.19. Fırçalı DC motorun çalışma prensibi.



Şekil 1.20. Fırçalı DC motor için tork-hız grafiği.

Fakat kaynak voltajının azaltılması bu tip motorların kontrolü için tek seçenek değildir. Bazı durumlarda fırçalı DC motorları kontrol etmek için manyetik akıyı değiştirebiliriz.

Manyetik akı azaltılırsa, daha sonra maksimum tork değeri düşer. Fakat tork-hız grafiğinin eğimi düz olur. Bu durum aşağıdaki resimde açıklanmıştır. Böylece motor büyük orandaki tork ve hız aralığında çalışma yapabilir. Bu metot bazen basitçe kullanılan voltaj kontrolünden daha iyidir. Özellikle, yüksek hız ve düşük tork gerekli olduğu durumlarda bu metot kullanılır. Genellikle elektrikli araçlarda maksimum hızda seyahat ederken bu tür metot kullanılarak motorun kontrolü yapılmış olur. Bu metotla, yüksek hızlarda ve yüksek manyetik alanla ilişki olarak meydana gelen motor kayıplarını azaltabilir[24]. Fırçalı DC motorların kontrol metodu olarak çok esnektir. Özellikle, manyetik akının değiştirilebilmesinden dolayı çok avantajı vardır.



Şekil 1.21. DC motor üzerindeki kaynak voltajı ve manyetik akının tork-hız grafiğine etkisi.

1.2.3.11. DC Motorların Verimliliği

DC elektrik motorlarındaki kayıpların temel kaynakları tüm elektrikli motorlardakiler için aynı ve 4 farklı kayıp oluşur[24].

Birincisi, motorda bakır kayıplarıdır. Bu bakır kayıpları, motorun fırçalarındaki elektriksel zorluğa neden olur. Böylece, motordaki elektrik enerjisinin, mekanik enerjiye

dönüşmesinden ziyade ısı enerjisine dönüşür. Elektriksel akımın ısı etkisi akımın karesi ile orantılı olarak değişir[24].

$$P = I^2 * R \quad (1.1)$$

$$T = n * \emptyset * I \quad (1.2)$$

$$T = K_m * \emptyset * I \quad (1.3)$$

Yukarıdaki denklemlerden bakır kaybını tork cinsi olarak aşağıdaki gibi buluruz.

$$\text{Bakır kayıpları} = k_c * T^2 \quad (1.4)$$

k_c , fırçaların ve bobinin dayanırlığına bağlı bir sabit değerdir. Bakır kayıpları özellikle daha küçük motorlarda çok daha büyük verimsizliğe sebep olmaktadır[24].

Motor kayıpların ikinci büyük kaynağı, demir kayıplarıdır. Çünkü demir kayıpları motor içindeki manyetik alanın etkilenmesine neden olur ve özellikle rotordaki manyetik alanın etkilenmesine neden olur. Demir kayıplarının iki temel sebebi vardır. Fakat her iki sebebi anlamak için öncelikle, rotordaki manyetik alanın kademeli olarak nasıl değiştiği anlaşılmalıdır. Bakır kayıplarının ilki zamana bağlı uzun süreli etkisel kayıplardır ve demirin kademeli olarak mıknatıslanma ve mıknatıslanmaması için gerekli enerjidir. İkinci demir kaybı ise değişen manyetik alan demirde akım oluşturacağından dolayı demir kaybına neden olur. Bu akım demirin ısınmasına neden olur. Çünkü bu akımlar sadece demir rotor üzerinde akar ve bu da ısınmaya sebep olur. Isınmadan dolayı demir kayıpları meydana gelir[24].

Açıktası bu demir kayıpları manyetik alanın frekansı ile orantılıdır. Yüksek frekans daha fazla mıknatıslanma ve mıknatıslanmamaya sebep olur ve böylece daha fazla zamana bağlı uzun süreli etkisel kayıplar oluşur. Demir kaybını formülüze edersek şöyledir[24].

$$\text{Demir kayıpları} = k_i * w \quad (1.5)$$

Burada, k_i , manyetik alan gücü ve oluşumundan dolayı ile etkilenen ve sabit bir değer olmamasına rağmen sabit bir değer olarak alınır[24].

Motor kaybının üçüncüsü ise, sürtünme ve rüzgarlamadan dolayıdır. Motorun fırçalarında veya rulmanlarında sürtünmeden dolayı kayıplar meydana gelir. Rotor aynı zamanda motoru soğutmak için kullanılan bir fanıdan dolayı rüzgarlama bir dirence sahiptir.

Sürtünme kuvveti genellikle sabit bir değerdir. Fakat rüzgâr direnç kuvveti hızın karesi ile artacaktır. Bu kuvvetleri güç ile ilişkilendirildiğinde aşağıdaki gibi olur[24].

Güç = Tork x açısal hız

$$\text{Sürtünme gücü} = T_f * w \quad \text{ve} \quad \text{Kanat gücü} = k_w * w^3 \quad (1.6)$$

Burada, T_f sürtünme torku ve k_w ise rotorun şekline ve boyutuna ve soğutma fanının olup olmamasına bağlı olarak değişen sabittir[24].

Motor kayıplarının sonuncusu ise hız ve tork ile değişen ve tamamen motorun durgun olup olmamasına göre değişen kayıplardır. Bu kayıplar C ile gösterilir. Motorda meydana gelen tüm kayıplar şöyle gösterilir[24].

$$\text{Toplam kayıplar} = k_c * T^2 + k_i * w + k_w * w^3 + C \quad (1.7)$$

Fakat genellikle motor verimliliği η_m 'dir. Motor verimliliği ile kayıplar arasında aşağıdaki gibi ilişki vardır[24].

$$\eta_m = \frac{\text{Çıkış gücü}}{\text{Giriş gücü}}$$

$$\eta_m = \frac{\text{Çıkış gücü}}{\text{Çıkış gücü} + \text{kayıplar}} = \frac{T * w}{T * w + k_c * T^2 + k_i * w + k_w * w^3 + C} \quad (1.8)$$

Bu eşitlikler elektrikli araç için performansını modellemek için çok yararlı olacaktır. Fırçalı bir DC motorda yukarıdaki sabit değerler genellikle şöyle olduğu kabul edilir[24].

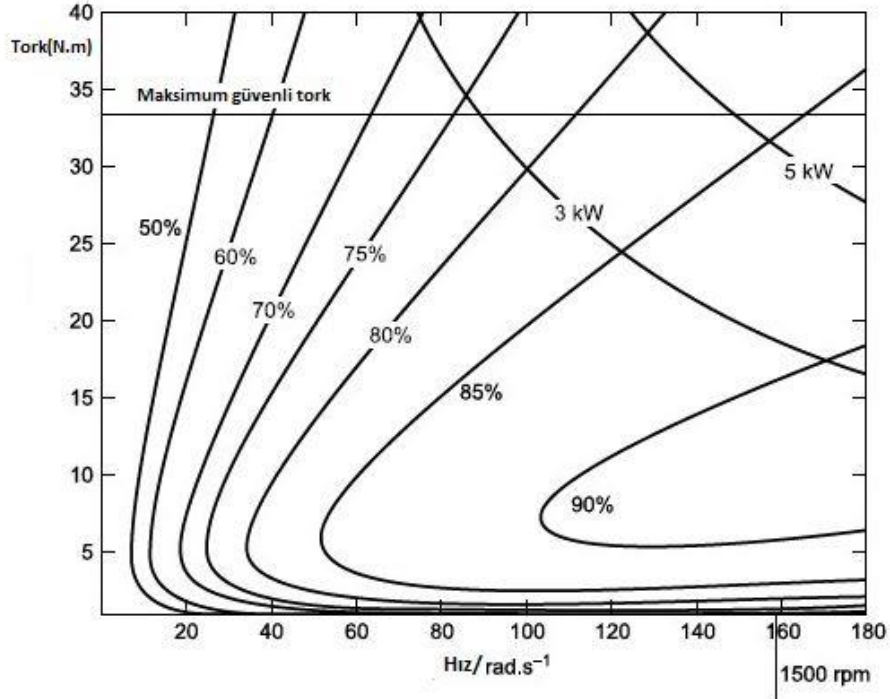
$$k_c = 0.8 \quad k_i = 0.1 \quad k_w = 10^{-5} \quad C = 20 \quad (1.9)$$

1.2.3.12. Motor Kayıpları ve Motor Boyutu

Motordaki kayıpları açıkçası motorun verimliliğini etkiler. Herhangi bir boyuttaki bir motordan elde edilebilecek maksimum gücü önemli derecede etkilemektedir. Fırçalı DC motorlar için üretilen güç kaynak voltajı artırarak, artırılabilir. Açıkçası bu artış da sınır olmalıdır. Motorun gücü sonsuz miktarda artış olamaz. Belirli bir güç üstünde kayıpların sonucunda ısınma meydana gelir. Bu ısınma miktarı çok daha fazlada olabilir. Böylece motorda aşırı ısınma meydana gelir[24].

Fırçalı DC motorların en büyük dezavantajı bütün kayıpların motorun merkezindeki rotor üzerinde meydana gelir. Bu kayıplardan dolayı rotor üzerinde aşırı ısınma meydana gelir.

Motorlardaki kayıplardan dolayı fırçalı ve fırçasız DC elektrik motorlarının verimlilik haritası yukarıda yer almaktadır[24].



Şekil 1.22. BLDC motor ve fırçalı DC motor için verimlilik haritası.

1.2.4. Alternatif Akım (AC) Motorları

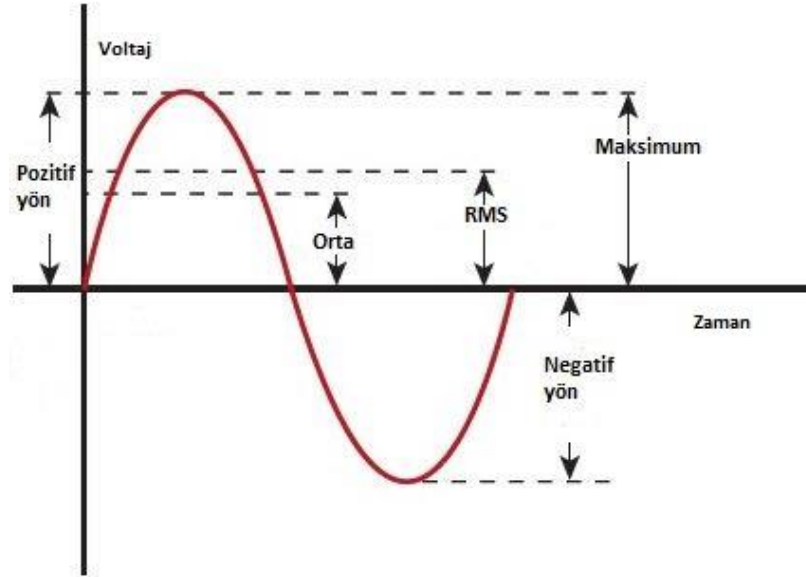
Alternatif akım motorları düzeni akım yönünün tersinedir. Akımın yön değiştirmesi Amerika’da saniyede 60 Hz ve Avrupa’da ise 50 Hz’dir. Akımın yön değiştirmesi tek çevrimde tamamlanır. Saniyedeki çevrim sayısı, değişen akımın frekansına bağlıdır[24].

AC motorlar, DC motorlara göre çok avantaja sahiptir. AC motorları üretmesi kolay ve kullanmak daha uygundur. Çoğu AC motorlar, akım dönüştürücü gerektirmez. Çünkü akım otomatik olarak motorun dönüş yönünde döner. Akım dönüştürücüleri kullanan motorlar, içten güç kaynağından motorun hareket eden parçasına akımı iletir.

1.2.4.1. AC Motor Temelleri

Birkaç yıl öncesine kadar, otomobil geliştirenler, AC motorların çalışma temelleri hakkında çok fazla ilgilenmiyorlardı. Hibrit elektrikli araçlar ve elektrikli araçların artmasıyla, bu motorların kullanımı çoğu araçlarda arttı[21].

AC motorlarda kullanılan AC voltaj, akımın değişimi ile akım yönünde değişmesine neden olur. AC voltaj sinüs dalgası oluşturur. Sinüs dalgası halindeki akımın üç kez sıfır noktasına döner. Sinüs dalgası ile akım kademeli olarak yükselir ve sonra diğer yöne doğru düşer. Akım sürekli sinüs dalgası boyunca değişir[21].



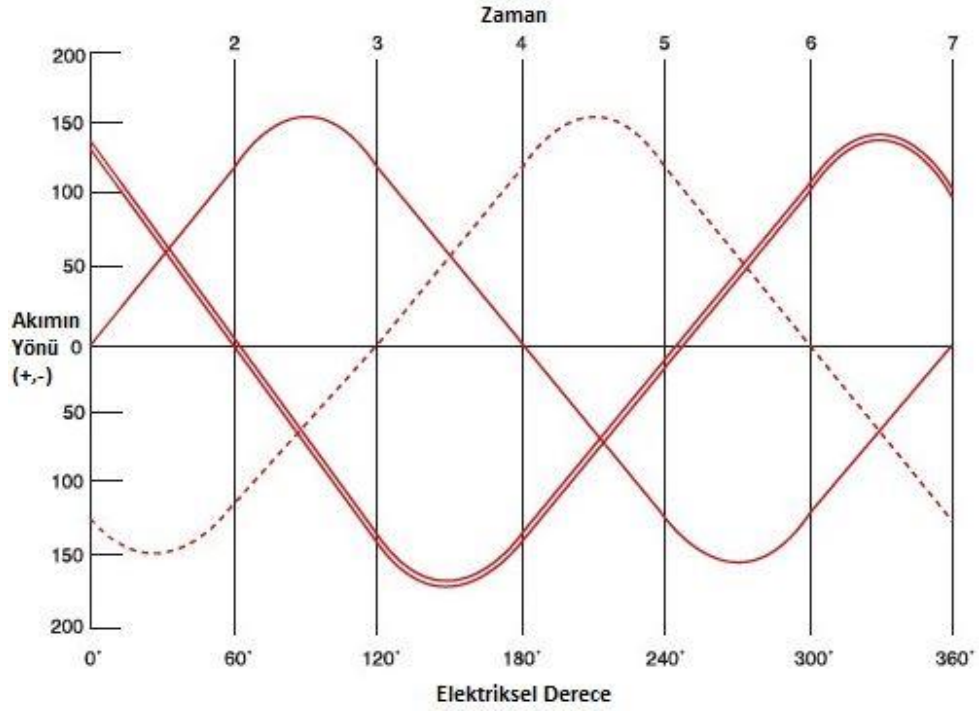
Şekil 1.23. AC voltajın kademeli değişimi.

1.2.4.2. AC Motor Yapısı

DC motor gibi AC motorlarda, bir stator(sabit kısım) ve bir rotor dan oluşur. AC motorların en yaygın tipleri, senkron motorlar ve asenkron motorlardır. Her iki motor tipide, ya elektriksel olarak birbirleri ile bağlanır yada grup halinde bağlandığı elektromıknatıs ile birleşmiştir. Birbirleri arasındaki fark ise rotor tasarımıdır. AC motorlar ya tek fazlı yada üç fazlı AC akım ile kullanılabilir. Üç aşamalı AC motorlar elektrikli ve hibrit elektrikli araçlarda çok yaygın kullanımından dolayı, çalışmamızda 3 aşamalı AC motorlar kullanılmıştır[21].

DC motorlarda olduğu gibi, AC motorun rotor hareketi, manyetik kutupların itmesi ve etkilemesi sonucunda meydana gelir. Fakat AC motorlardaki bu çalışma prensibi çok farklıdır. Çünkü AC motorda akım değişkendir. Üç aşamalı AC motorun çalışma prensibi, dönen manyetik alana bağlıdır. Rotor, dönen bir manyetik alandan dolayı döner. Stator sabit ve fiziksel olarak hareket etmez. Fakat manyetik alan bir kutuptan diğer kutba doğru hareket eder. Rotoru döndürmek için manyetik alanın neden olduğu üç faktör var. Birinci

faktör, üç aşamalı olan motorlarda, voltajın birbiri arasında 180 derece olur. İkincisi, üç voltaj kutuplarda düzenli aralıklarla değişir. Son faktör ise, motor içerisindeki stator kanatçıklarının düzenlenmesidir[21].



Şekil 1.24. AC akımın sinüs dalgası.

AC motorlar da dönen manyetik alan, her bir aşamadaki voltajın her çevriminde stator etrafında döneceğinden dolayı, manyetik alan, kaynak voltajın frekansında döner. Her kutupsal değişim olduğunda, rotorun kutupları stator üzerindeki zıt kutuplar tarafından etkilenir. Böylece, statorun manyetik alanı döndükçe, rotor da stator ile döner. Rotorun dönüş hızı veya AC motorun dönüş hızı motor içindeki kutup ve kanatçık sayısına, AC kaynak voltajının frekansına ve rotor şaftı üzerindeki yüke bağlıdır. Frekans değişimi, kontrolör kullanımı ile değiştirilebilir[21]. AC motorların senkron ve asenkron motorlar olmak üzere iki çeşidi vardır[24].

1.2.4.3. AC Senkron Motorlar

Senkron motorlarda, stator daima dönen bir manyetik alan üretir. Fakat rotor elektrik akımının neden olduğu stator üzerindeki manyetik alanı kullanmanın yerine güç kaynağından doğrudan akımı alır. Rotor, statorun dönen manyetik alanı içinde sabit hızda

hareket eder. Böylece, senkron motorlar asenkron motorlardan daha az enerji kullanır ve sabit hızda motor döner[24].

Manyetik alanın dönüş hızını senkron olarak isimlendirilir. Dönen manyetik alanın senkron hızını belirlemede, stator kutup sayısı ve uygulanan voltajın frekansı gibi iki ana faktör etkilidir. Senkron motorlar, yükleme olmaksızın sabit hızda çalışır. Rotorun hızı, senkron hızına eşittir. Rotorun hızı, tork üretmek için rotordaki tetikleyici akıma bağlı değildir. Rotorun hızı, statora AC girişin frekansı ile tespit edilirken, manyetik alanın gücü, rotorun çıkış torku ile belirlenebilir[21].

Senkron motorlar, başlangıçta üç aşamalı AC güç uygulanarak çalıştırılmayabilir. Çünkü AC voltaj, stator kanatlarına uygulandığında, hemen yüksek hızda dönen bir manyetik alan meydana gelir. Dönen manyetik alan rotorun dönmeye başlama zamanından sahip olmadan hızlıca rotordan geçer[21].

1.2.4.4. AC Senkron Motorlarının Çalışma İlkeleri

Senkron motorun çalışma yapısı, motorun alan akımı, sürekli ve devamlı olarak manyetik alanı üretir. Motorun statoruna üç fazlı akım meydana gelir. Endüvi sargılarından akan üç fazlı akımlar düzgün dönen bir manyetik alanı üretirler. Dolayısıyla, motor içerisinde iki manyetik alan vardır ve iki mıknatıs çubuğun birbirine yakın yerleştirildiğinde üst üste gelmeye çalışmalarındaki gibi rotor alanı ile stator alanı çakışmaya çalışacaktır. Stator manyetik alanı döndüğünden, rotor manyetik alanı sürekli olarak onu yakalamaya çalışacaktır. Böylece motorun rotoru dönmeye başlar. İki manyetik alan arasındaki açının büyümesi makinanın rotoru üzerindeki momenti daha büyük yapacaktır. Senkron motorların çalışma ilkesi rotorun bir daire çevresinde dönen stator manyetik alanını asla ona tam yetişmeden kovalamasıdır[25].

1.2.4.5. Manyetik Alan Açısından Senkron Motorlar

Senkron motorların çalışmasını anlamak için, senkron jeneratörün sonsuz güçlü şebekeye bağlı olduğu kabul edilecek ve incelemelerde bu bakış açısından başlanacaktır. Jeneratör, rotorunu dışarıdan döndüren bir tahrik kaynağına sahiptir. Tahrik kaynağından uygulanan momentin yönü hareket yönündedir. Çünkü tahrik makinası önce jeneratörü döndürmektedir[25].

1.2.4.6. Senkron Motor Moment-Hız Karakteristik Eğrisi

Senkron motorlar genelde sabit hız gereksinimi olan yüklere güç sağlarlar. Genellikle bir tek motorun bağlandığı güç sistemlerinden çok daha büyük güç sistemlerine bağlanırlar. Bundan dolayı güç sistemi motorlar için sonsuz güçlü şebeke gibi görünür. Sonsuz güçlü şebeke demek; terminal gerilimi ve sistem frekansı motor tarafından çekilen güce bağlı olmaksızın sabit olan şebeke demektir. Motorun hızı yükten bağımsız olarak sabit olur. Motorun sürekli durum hızı boşa çalışma hızından, motorun üretebildiği maksimum moment değerine kadar sabit olur, dolayısıyla bu motorun hız regülasyonu yüzde sıfırdır[25].

1.2.4.7. Asenkron (İndüksiyon) Motorlar

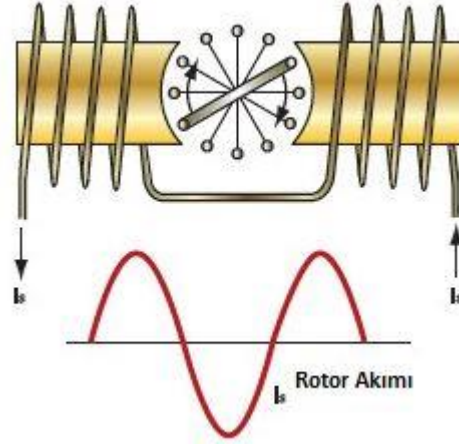
Asenkron motorlarda, iç elektrik kaynağına doğrudan bağlanmamıştır. Akım, stator içindeki bobinler etrafından akar ve dönen bir manyetik alan üretir. Bu manyetik alan, rotor üzerinde elektrik akımına sebep olur. Rotor üzerinde oluşan manyetik alan, rotoru dönmesine sebep olan statordaki manyetik alan tarafından etkilenir[24].

Bir indüksiyon motor, statorun dönen manyetik alana voltaj vererek tetikleyici akım ile kendi rotorunun dönmesi sağlanır. Akım rotor kanatçıklarını tetikler. Çünkü akım dönen stator alanının manyetik akı çizgileri boyunca kesilir. Genellikle rotor, spiral kafes yapısındadır. Fakat bağlı rotor motorları, rotorun 120 derecelik bölümlerinde kanatta 3 ayrı bobinler ile bağlantılıdır. Bu bobinler, rotora içten bir bağlantı ile bağlıdır[21].

Voltaj stator kanatlarına uygulandığında, rotor dönmez. Spiral kafesli indüksiyon motoru çalıştırmak için, statorun manyetik alanı, kafes çubukları içine bir voltaj ile tetiklendiği rotor çubuklarını keser. Bu tetikleyici voltaj, statora uygulanan voltaj ile aynı frekanslıdır. Rotor hareketsiz olduğundan dolayı, maksimum voltaj spiral kafesi tetikler ve kafes çubukları boyunca geçen akıma neden olur[21].

Rotorun manyetik alanı, statorun dönen manyetik alanını etkiler. Rotor dönen manyetik alanın ile aynı yöne doğru dönmeye başlar. Rotorun hızı artıka, dönen manyetik alan, rotoru tetikleyen daha voltaj ile daha yavaş oranda kafes çubuklarının voltajını keser. Bunun sonucunda rotorun akımı azaltılmış olur. Rotor akımı azalmasıyla, stator akımı da aynı zamanda azalır. Motor yüksüz halde çalıştırıldığında, rotor dönen manyetik alanın hızına yakın hızda dönene kadar hızlanmaya devam eder. Bununla şü kastedilmektedir;

spiral kafesli indüksiyon motor ilk kez çalıştırıldığında, motorun normal çalışma akımından daha büyük bir akıma sahip olduğudur[21].



Şekil 1.25. Asenkron motorda rotor üzerindeki akım.

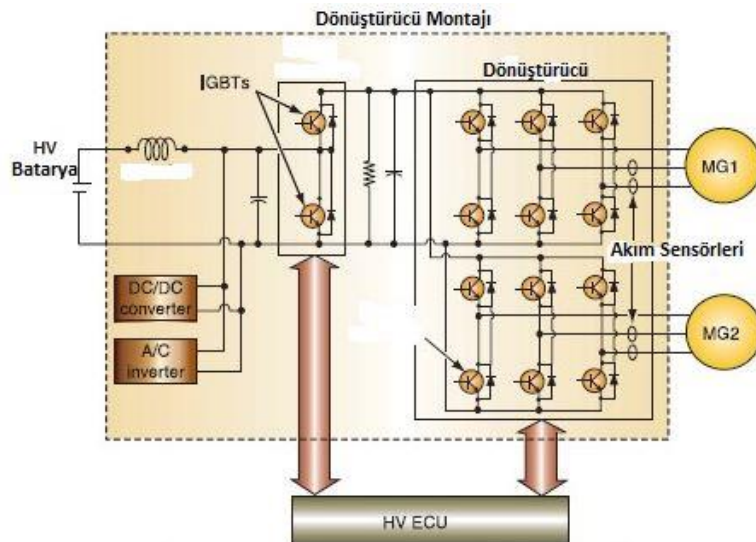
Rotor manyetik alanla aynı hızla dönerse, rotoru tetikleyen voltaj olmayabilir ve sonuç olarak, rotor akımı olmaz. Yani, bir indüksiyon motor, asla senkron hıza ulaşamaz. Motor yüksüz halde çalıştırılırsa, rotorun hızlanması ve tork oluşturması sürtünme kayıpları oranındadır. Yükler motora uygulandığında, ek bir tork yükün üstesinden gelmek için gereklidir. Yükteki artış motor hızın da azalmaya sebep olur. Bu daha hızlı oranda kafes çubuklarının akımını kesen dönen manyetik alana sebep olur. Bu döngü ile tetikleyici voltaj ve kafes içindeki akım artar ve rotor da daha güçlü manyetik alan üretir. Böylece, daha çok tork üretilmiş olur. Rotor içine akan akım artması ile statora akan akımında artmasına neden olur. Yani, motor akımı yüklemeye oldukça artmaya devam eder[21].

Senkron hız ve gerçek rotor hızı arasındaki fark kayma(Slip) olarak isimlendirilir. Kayma doğrudan motor üzerindeki yük ile orantılıdır. Yükler rotor shaftı üzerinde olduğunda, rotor yavaşlamaya ve Kaymanın artmasına eğilimlidir. Kayma daha sonra rotora daha fazla akım ile tetikler ve rotor daha fazla tork ile döner. Fakat daha düşük hızlı olarak döner[21].

Hibrit elektrikli araçlar ve elektrikli araçlarda, motorun dönüş yönünde belirli çalışma gerekliliklerini karşılamaya ihtiyaç olacaktır. Üç aşamalı bir AC motorda, dönüş yönü motorun kendi statoru üzerinde her iki yöne doğru kolay bir şekilde değiştirilebilir. Bunu yapabilmek için dönen manyetik alanın tersine çevrilmesi ile olur.

Bir elektrik kontrolör, hızı kontrol etmek için batarya paketinden doğru elektrik akışını ve elektrik motorunun dönüş yönünü yönetmek için kullanılır. Sürücü, hızlanma pozisyon sensörünün kullanımı ile kontrolöre iletilir. Kontrolör, aracın çalışma şartları hakkındaki giriş değerlerini sinyal olarak gösterir. Bu giriş değerleri, kontrolöre motorun voltaj seviyesinin kontrolünü sağlar[21].

HEV yada Elektrikli araçlarda AC motorlar kullanılırsa, dönüştürücü bir modül ile motor için batarya paketindeki voltajdan üç aşamalı AC voltajı DC voltaja dönüştürmek için kullanılır. Bu dönüşüm güç iletiminde kullanılarak yapılır(Figure 6-52). Dönüştürücü modül genellikle hibrit kontrol işlemcidir. Dönüştürücü modül sıklıkla motor kontrol işlemci olarak isimlendirilir. Çünkü dönüştürücü modül hem akım modifikasyonunu hem de motor kontrolü sağlar[21].

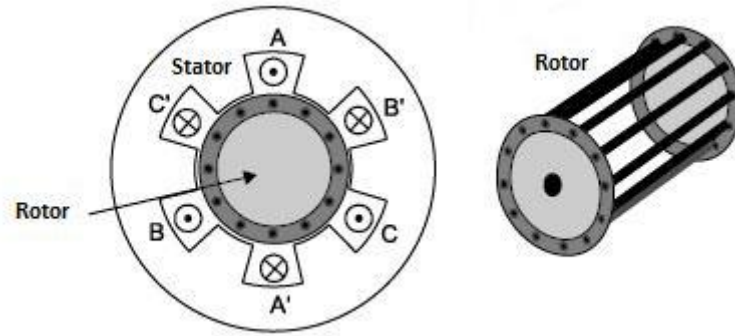


Şekil 1.26. Dönüştürücü modülü.

Asenkron motorların tüm çeşitleri sanayi makinalarında yaygın şekilde kullanılır. Bu motorların teknolojileri çok daha gelişmiştir. Bataryalar ve yakıt hücreleri gibi DC bir kaynak için uygun olmayan, AC bir kaynak gerektirmektedir. Fakat AC kaynak bir dönüştürücü yardımıyla kolay bir şekilde dönüştürülebilir ve asenkron motor için AC voltaj üretilmesi, fırçasız DC motorun maliyeti kadar çok karmaşık ve pahalı değildir. Bu yüzden bu motorlar yaygın şekilde kullanılır ve elektrikli araçlarda kullanmak için çok güvenilir motorlardır[24].

Üç-aşamalı bir asenkron motorların çalışma prensibi aşağıda gösterilmiştir. Üç bobinler, stator olarak bilinen motorun dışına doğru bir şekilde bağlanır. Rotor genellikle bakır ve

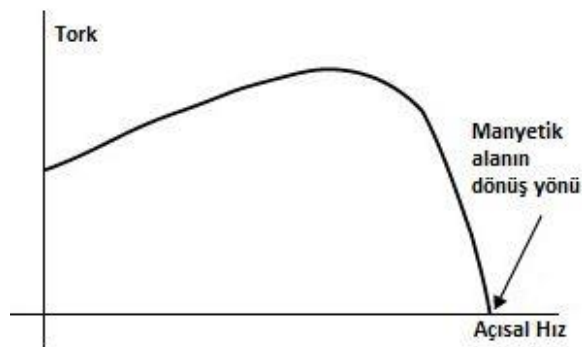
alüminyum çubuklardan oluşur, rotorun sonunda tüm elektriksel bağlantılar yapılır ve rotor kafes şekline dönüşür. Rotor kafesinin içerisi demir tabakalar ile doldurulur[24].



Şekil 1.27. Asenkron motorun stator ve rotoru.

Üç kanatlar, manyetik alan yönünde pozitif akım oluşturmak için planlanır. Bu bobinler, üç aşamalı değişken akım ile beslenirse, manyetik alan saat yönünün tersi yönde döner. Dönen manyetik alan, elektrik akım oluşturan rotor üzerindeki iletkenler boyunca geçer[24].

Elektrik akım taşıyan bu iletkenler üzerinde rotörü döndürmek için kuvvet oluşur. Bu kuvvet dönen manyetik alanı durdurmaya eğilimlidir. Rotor manyetik alanla aynı hızda dönerse, dönen manyetik alan ve iletkenler arasında izafi hıza ulaşamaz. Bu yüzden akım ve tork oluşmaz. Sonuç olarak asenkron motor için tork-hız grafiğinin karakteristik eğrisi aşağıda gösterilmiştir. Tork manyetik alana bağlı açısal hız eğimi, yaklaşık optimum eğime kadar artar. Sonra, tork azalmaya başlar[24].



Şekil 1.28. Asenkron motor için Tork-Açısal Hız eğrisi.

Manyetik alan kutupları 2,4,8 ve çift sayı olarak devam eder. Manyetik alanın dönüş hızı, çift kutup sayısına bağlı olarak kaynak frekansına bağlıdır. Bu yüzden, dört kutuplu motor, aynı AC kaynak frekansına sahip olduğunda iki kutuplu motorun hızının yarısı kadar dönecektir. Bu durum, motor kontrolü için zorluk oluşturacaktır. Kontrol etmenin en iyi yolu üç aşamalı kaynağın kontrol edilmesidir. Kaynak frekansı elektrik motorunun hızını kontrol edemez. Fakat açısal hız belirlenebilirse, kaynak frekansı da arzu edilen hızda elde edilebilir[24].

Maksimum tork, rotor ve stator üzerindeki bobinler arasındaki boşluğa bağlı olarak manyetik alanın gücüne bağlıdır. Aynı zamanda bobindeki akıma da bağlıdır. Akım azaldığında, frekansın yükselmesi bir problemdir. Voltaj frekans dan dolayı orantılı olarak bobinlerdeki etkiden dolayı sabittir. Dönüştürücü sabit bir kaynak voltajından beslenirse, maksimum tork hızla ters orantılı olarak değişir. Bu yakıt hücresi ve batarya sistemleri için uygundur.

Asenkron motorlar çok geniş çapta kullanılır. Çok büyük asenkron motorların üretimi maliyetlidir. Asenkron motorlar için en uygun malzemelerin geliştirilmesi için araştırmalar yapılmaktadır. Günümüz teknolojisinde asenkron motorlar çok gelişmiş ve güvenli elektrik motorlarıdır. Fakat asenkron motorların rotor üzerindeki akımdan dolayı motorda meydana gelen kayıplar eklenince, fırçasız ve diğer aynı özelliklerdeki elektrik motorların verimlilikleri karşılaştırıldığında yaklaşık olarak % 1-2 daha az verimlidir[24].

1.2.5. Motorun Soğutması, Verimliliği, Boyutu ve Kütlesi

Herhangi bir uygulama için bir motor tercihi yapılması gerekirse öncelik verimlilik olması muhtemeldir. Motor verimliliğinin ne olduğunu nasıl tahmin edebiliriz? Verimlilik seçilen motor tipine göre çok büyük değişiklik gösterir. Seçilen motorun, BLDC, SR yada asenkron motor olması çok büyük etkidir[24].

Elektrik motoru oldukça basittir. Elektrik enerjisi giriş ve mekanik çalışma ise arzu edilen çıktıdır. Bu esnada biraz elektrik enerjisi ısı enerjisine dönüşür. Fakat, elektrik motorlarının verimini belirlemek kolay değildir. Verimliliğin farklı çalışma şartlarında değişiyor olmasıdır. Tork ve hız değerine bağlı olarak elektrik motorunun veriminin değişmesinden dolayı sabit bir verimlilik değeri yoktur. Çalışma şartlarına bağlı olarak değişken bir verimlilik değeri vardır. Fakat bazı genel noktalarda elektrik motorlarının

verimliliği belirlenebilir. Verimlilik, elektrik motorunun tipine ve boyutuna göre değişiklik gösterir[24].

Verimliliği etkileyen birinci faktör genellikle motorun boyutudur. Genel olarak elektrik motorların boyutu attıkça, verimliliği de artmaktadır. Aşağıda üç aşamalı ve dört kutuplu asenkron motorun verimliliği gösterilmiştir. Elektrik motorların verimlilikleri Avrupa Birliği düzenlemesine göre sınıflandırılmıştır. Tablodan da anlaşıldığı gibi elektrik motorlarının verimliliği motorun boyutuna göre değiştiği görülmektedir. Bu tablo asenkron motorlar için iken, aslında tüm elektrik motorları içinde aynı durum geçerlidir[24].

Tablo 1.3. Sınırlandırılmış Asenkron Motorların minimum verimlilikleri.

Güç, Kw	Minimum verimlilik,%
1,1	83,8
2,2	86,4
4	88,3
7,5	90,1
15	91,8
30	93,2
55	96,2
90	95,0

İkinci faktör ise motorun tipine bağlı olarak motor hızı verimliliği etkiler. Yüksek hızlı motorlar, düşük hızlı motorlara göre daha yüksek verimlilik değerine sahiptir. Bunun sebebi ise motor içerisindeki motor kayıpları motorun gücünden ziyade torkuyla orantılı ve daha düşük hızlarda daha yüksek tork olacak ve motorda aynı güce sahip olacaktır. Böylece daha yüksek motor kayıpları olacaktır. Verimliliği etkileyen üçüncü önemli faktör ise soğutma metodudur. Sıvı soğutmalı motorlar kanat direncinin azaldığı daha düşük sıcaklıklarda çalışır. Böylece elektrik motorunun verimliliği yaklaşık olarak % 1 lik bir artış olacaktır[24].

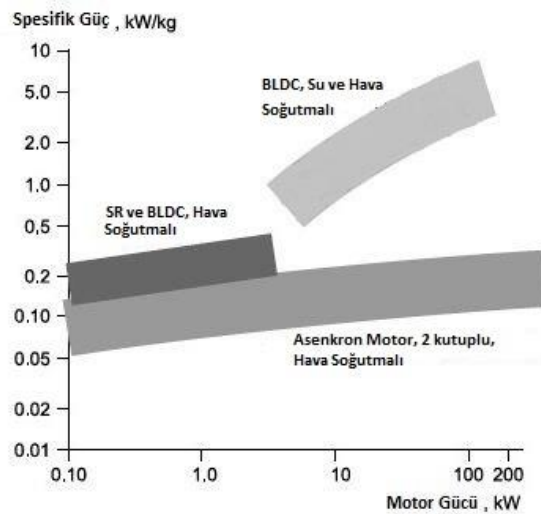
Farklı hızlarda ve tork değerlerinde elektrik motorlarının verimliliği değişmesinden dolayı optimum bir hız ve tork değerinde elektrik motorları maksimum verimliliğe ulaşmaktadır. Farklı hız ve tork değerlerine bağlı olarak sabit güç değerindeki elektrik

motorunun verimlilik haritaları çıkartılmıştır. Bu verimlilik haritalarından bir tanesi aşağıda gösterilmiştir. Gösterilmiş olan verimlilik haritası gerçek bir BLDC motoruna aittir. Bu verimlilik haritasında görülmektedir ki en yüksek maksimum verimlilik değeri %94 olarak görülmektedir. Motorun çalışma şartlarının değişmesiyle motor verimliliği %90 'ın altına düşmektedir. BLDC elektrik motorun verimlilik haritasının çıkartılması gibi diğer tip elektrik motorlarında verimlilik haritaları vardır[24].

Elektrikli motorlar genellikle gerekli olan güçten hafif ve küçük olur. Elektrikli motorun verimliliği, seçilecek olan bir elektrik motorunun soğutma metodu ve hızı gibi diğer faktörlerden daha önemlidir. Bu varsayım genellikle Fırçalı DC motorlar için geçerlidir. Fırçalı DC motorlar diğer elektrikli motorlardan daha büyük yapılıdır. Çünkü yüksek değerli kayıplar, motorun merkezinde bulunan rotor da meydana gelir[26].

Aşağıdaki tabloda, farklı güçlerdeki elektrik motorlarının farklı çeşitleri için spesifik güçleri ile ağırlığı karşılaştırılması gösterilmiştir. BLDC elektrik motorunun örnek alırsak, soğutma metodunun çok önemli faktör olduğu görülmektedir. Hava soğutmalı ve sıvı soğutmalı BLDC elektrik motorlarının arasında önemli farklılık vardır. Bu motorlarda ısı kayıpların miktarı önemlidir. Motor sıvı soğutmalı ise, aynı miktardaki ısı kayıpları daha küçük motorlarda da olabilir[27].

Elektrikli motorlarda verimlilik önemli bir faktör olmalıdır. Çok büyük verimliliğe sahip elektrik motorları daha küçük olabilir. Çünkü daha küçük ısı kayıplar meydana gelir. Motor seçiminde, yüksek verimlilik üreten tüm faktörler ve kayıplar önemlidir[24].



Şekil 1.29. Farklı tiplerdeki elektrik motorlarının spesifik gücü ve motor gücü.

Ne kadar yüksek verimliliğe sahip yüksek güç ise o kadar daha büyük güç demektir. Bu durum aşağıdaki resimden de anlaşılmaktadır. Elektrikli motorların boyutu, motorun gücüne değil de motorun torkuna daha çok etkilidir. Sonuç olarak daha yüksek hız ve daha düşük tork için daha küçük motor olacaktır. Düşük hızlı bir motora ihtiyaç olursa, hızlı elektrik motoru daha düşük hızlı elektrik motorundan daha hafif ve küçük olacaktır. En iyi örnek bir elektrikli araçtır. Aşağıdaki tablo 1.4'den de anlaşılacağı gibi farklı hızlarda fakat aynı güce sahip asenkron elektrik motorlarının kütleleri karşılaştırılmıştır[24].

Tablo 1.4. 37 Kw asenkron motorun hızı ile kütlesinin karşılaştırılması.

Hız, rpm	Kütlesi, kg
3000	270
1500	310
1000	415
750	570

Yüksek verimliliğe sahip elektrik motorlarından SR ve BLDC elektrik motorları, asenkron motorlara göre daha yüksek güce sahiptir. Yukarıda elektrikli motorların kütlelerinin karşılaştırıldığı tablodan kolay bir şekilde kütleye bağlı olarak bir motorun gücünü tahmin edilebilir. Elektrik motorların kütleleri, çeşitli kayıplardan ve faktörlerden dolayı değişkenlik gösterir. Elektrik motorlarının yapıldığı malzeme, motorun kütlesi için önemlidir.

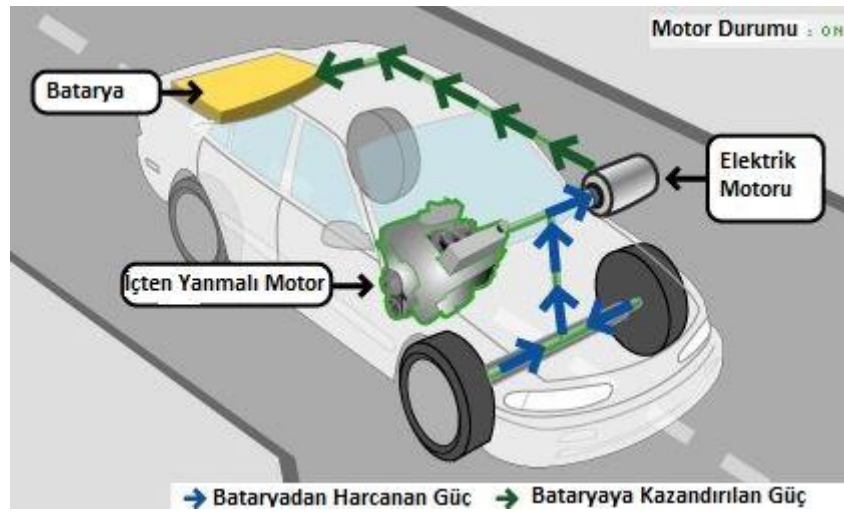
1.2.6. Rejeneratif Fren Sistemi

Açıkçası, frenlemenin fonksiyonu aracı durdurmak ya da aracın hızını azaltmasıdır. Buna ek olarak, frenler aracın hareketini devam ettirebilmek için gereklidir. Frenler aracın yönlenmesi ve istikrarlı olarak yoluna devam etmesi için ters bir etkiye sahip olan tekerleklerin kilitlenmesinden kaçınılması gerekir[27].

Rejeneratif frenleme için, amaç mümkün olan daha çok kinetik enerjiyi potansiyel enerjiye dönüştürmektir. Rejeneratif frenleme yeni bir özellik değildir. 1900'li yıllardaki hibrit araçlarda rejeneratif frenleme kullanılmıştır. Rejeneratif frenleme 1900'dan beri el

arabalarında ve tramvaylarda kullanılıyordu. Üretilen güç çevrimi içerisinde enerji geri sağlanır[27].

Rejeneratif frenleme özel sensorlar ve diğer ekipmanlar gerektirir. Bu ekipmanlar, hafif modifiye edilmiş her dört araç tekerleğın frenleme kuvvetlerinin otomatik kontrol tarafından kilitlenmeyen fren sistemi, araç çekiş kontrol sistemi, istikrarlı kontrol ve fren güç dağıtımı için kullanılır[27].



Şekil 1.30. Rejeneratif fren sistemi.

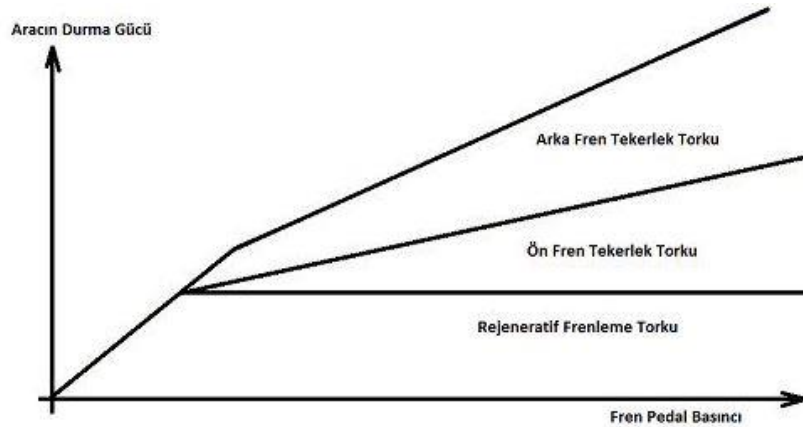
Frenleme güvenlik için kritik bir bileşendir. Böylece, sürtünme frenleri rejeneratif frensiz geleneksel bir araç için daha büyük olması gerekir. Hibrit bir araçta frenler geleneksel bir aracın frenlerinden daha büyüktür. Frenler araçları acil durdurmak için aracın yavaşlamasının %90 kadar yavaşlatır[27].

Rejeneratif frenleme %100 verimli ise, sürtünme frenlemeye gerek duyulmayabilir. Normal Sürüş esnasında frenleme yükünün çoğu rejeneratif frenleme tarafından asorbe edilir. Böylece, sürtünme frenlemesi çok uzun devam etmelidir[26].

1.2.6.1. Rejeneratif Frenlemenin Temelleri

Rejeneratif frenleme ile elektrikli aracın frenleme esnasında kinetik enerjinin potansiyel enerji olarak bataryalarda depolanmasını sağlamaktadır. EA'ların, HEA'ların ve yakıt pilli elektrikli araçların çok önemli özelliklerinden biri frenleme enerjisinin büyük ölçüdeki miktarının geri kazanabilmesidir. EA'ların, HEA'ların ve yakıt pilli elektrikli araçlardaki elektrik motoru aracın kütlesinden dolayı oluşabilecek kinetik ve potansiyel

enerjisini depolayabileceği jeneratör olarak kontrol edilebilecek olması ve daha sonra depolanan enerjinin yeniden kullanımına uygundur[26].



Şekil 1.32. Rejeneratif frenleme esnasındaki yaklaşık tork karakteristiği[26].

Bir aracın frenleme performansı aracın güvenliği konusunda önemli bir faktördür. Bir araç için başarılı bir şekilde tasarımı yapılmış olan fren sisteminin daima aracın hızını istenen mesafede azaltmasını sağlayacak ve aracın direksiyon kontrolünü sağlayarak araç istenen yönde devam edebilmelidir. Fren sistemi için önemli olan şey, yeterli olan frenleme torkunu tüm tekere eşit miktarda ulaştırmaktır. Fren sistemi için ikinci gerekli şart ise tüm tekere uygulanan frenleme kuvvetinin doğru bir şekilde eşit olarak dağıtılmasıdır[26].

Genellikle, aracın durması için gerekli frenleme torku, bir elektrik motorunun üretebileceği frenleme torkundan daha büyüktür. Özellikle daha büyük frenleme torku gereklidir. EA, HEA ve YPEA'larda, mekanik sürtünme ile oluşturulan frenleme sistemi elektrikli rejeneratif frenleme sistemiyle aynı anda var olması gereklidir. Böylece, bu sisteme hibrit frenleme sistemi denilmektedir. Hibrit itme sistemi olarak, çok daha fazla konfigürasyonlar ve kontrol stratejileri vardır. Fakat böylesi sistemlerinin nihai tasarım amaçları ve kontrolleri aracın frenleme performansını sağlama almakta ve bu mümkün olan daha fazla frenleme enerjisini geri dönüştürmektedir[26].

1.2.6.2. Freni Soğutma, Aerodinamik Direnç ve Rejeneratif Frenleme

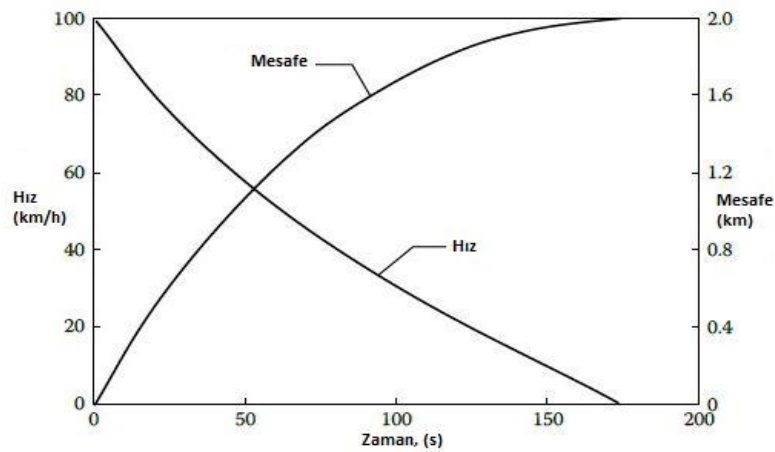
Bir otomobilin tasarımı çok farklı beceriler ve yetenekler içeren çok karmaşık bir süreçtir. Sonuç olarak tasarım süreci düşünce ve deneyim üzerine dayanan anlaşmaları yönetmektir. Ara sıra talepler birbirini daha iyisi ve sağlamlaştırılmış olanı birleştirir.

Böylesi bir örnek fren soğutması, aerodinamik sürtünme ve rejeneratif frenleme ile ilgilidir[26].

Sağlam fren düzeni ile kromlu tekerler arasındaki sürtünme frenleri için yeterli derecede soğutmayı sağlar. Fakat bu tekerlekler, aracın genel sürtünmesine eklenir. Artan hız ile daha küçük sürtünme değeri elde edilir. Düz plaka ile forya kapakları, frenin soğutmasına problem oluşturur. Enerji miktarını önemli derecede azaltan rejeneratif frenlemeye giren enerji frenler içerisindeki sürtünme tarafından ısı olarak dağılır. Bu üç birleşmeyle uyuşma olmaksızın düşük sürtünme, soğuk frenler ve hız artışını verir[26].

1.2.6.3. Şehir İçindeki Sürüşte Tüketilen Frenleme Enerjisi

Çok büyük miktardaki enerji frenleme tarafından kaybolmaktadır. Bir 1500 kg araç için 100 km/h da tam olarak durması için yaklaşık olarak bir kaç saniye içinde 0.16 kWh'lik enerji kaybolmakta ve ısıya dönüşmektedir. Bu miktardaki enerjinin frenleme olmaksızın sadece sürtünme kuvveti ve aracın kayması ile kaybolmazsa, aracın yaklaşık olarak 2 km daha fazla seyahat edecektir. Aşağıdaki şekilde frenleme ile durma mesafesi arasındaki ilişki gösterilmiştir. Bir aracın şehir bölgesinde sürüşte durma ve kalkma ile sürüldüğünde, çok büyük miktardaki enerji miktarı frenleme ile kaybolmaktadır[26].

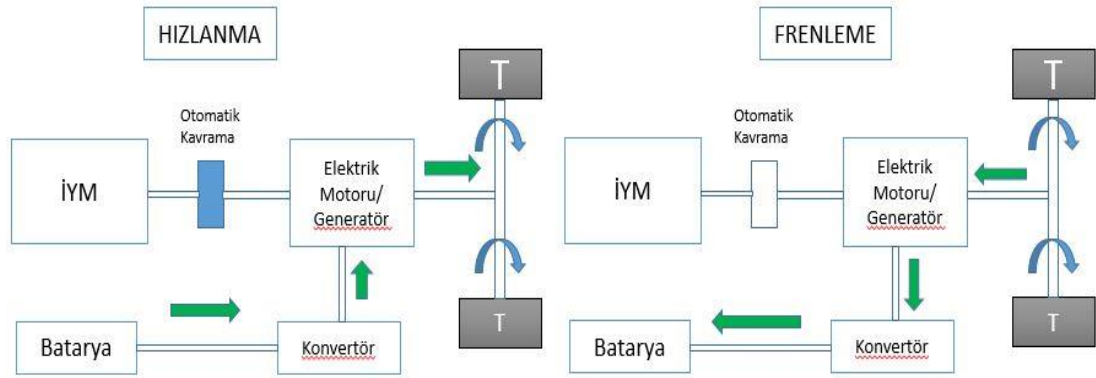


Şekil 1.33. Rejeneratif frenleme ile hız-mesafe arasındaki ilişki.

1.2.6.4. Rejeneratif Yavaşlatma

Rejeneratif frenleme, taşıtın yavaşlaması esnasında elektrikli frenleme tarafından aracın hareket enerjisinin (kinetik enerjisi) geri kazanmasıdır. Elektrik frenleme yaygın olan

sürtünmeden kaynaklı frenlemeye göre sabit değerlidir. Motor tarafından oluşturulan durdurma torkları aynı zamanda yavaşlama esnasında kinetik enerji olarak geri kazanılır. Aracın sürücüsü ayağını gaz pedalından çeker çekmez rejeneratif enerji kazanımı aktif olarak çalışır. Durdurma torku potansiyel enerji olarak geri kazanılmış olur[27].



Şekil 1.31. Rejeneratif frenleme de hızlanma ve yavaşlamanın şeması[27].

Elektrik frenlemeye bir örnek olarak, spor salonlarındaki egzersiz yapmak için kullanılan bisiklet verilebilir. Egzersiz yapma bisikletini herhangi bir enerjiye bağlanmasına gerek yoktur. Çünkü sürücünün oluşturduğu kinetik enerjiden yararlanarak belirli miktarlarda potansiyel güç oluşturmakta ve sürücü tarafından oluşturulan güç miktarı ekran vasıtasıyla görüntülenmektedir. Pedalın hareketine karşı jeneratör tarafından tork oluşturur. Direnç seviyesi arttığında, oluşturulan elektrik gücü egzersiz bisikletinin herhangi bir yerinde yakılan bir direnç içinde dağılır[27].

Rejeneratif frenleme yakıt tasarrufunda %10-15 arasında bir kazanç sağlar. Çift yönlü itme sistemi (motor ve jeneratör) gerektirir. Elektriksel frenleme yapıldığında, çift yönlü sistem jeneratör mod olur. İbreler şaft üzerindeki tork yönünün yanı sıra şaft ve tekerlek dönme yönünü gösterir. Motor modunda, torkun ve tekerlek dönmesinin yönünü aynı yönde gösterir. Jeneratör mod da meydana gelen torklar ve dönüşlerin aksine elektriksel güç batarya içerisine doğru akar. Jeneratör mod da, hibrit büyük bir egzersiz bisikleti gibidir. Rejeneratif frenlemenin verimliliği yaklaşık olarak 0,5 olarak kabul edilir[27].

Rejeneratif frenleme ile bataryaya aracın kinetik enerjisinin küçük bir kısmı geri döner. Koşullu rejeneratif frenleme nadiren kullanılır. Fakat yüksek hızdan aşağıya doğru azalan bir yavaşlama rejeneratif frenlemeden dolayı bataryanın yeniden şarj edilebilmesi daha

fazladır. Yani bataryaya kazandırılan güç daha yüksektir. Aşağıdaki tabloda üç farklı yavaşlama seçenekleri için uygun enerji miktarını göstermektedir[27].

Tablo 1.5. Üç farklı yavaşlama için uygun enerji miktarı[27].

Yavaşlama hız oranı	Şarj miktarı
0-30 km/h'de yavaşlama	1
30-60 km/h'de yavaşlama	3
Yokuş aşağı inişte	33

1.2.6.5. Rejeneratif Fren Tarafından Kazanılan Enerji

Aşağıdaki tabloda % 100 verimle çalıştığı varsayılan üç farklı hızlardaki bir araçtaki geri kazanılan enerji miktarını göstermektedir. Aynı zaman da araç için yeniden dönüştürülmüş olan küçük bir batarya enerjisini göstermektedir[27].

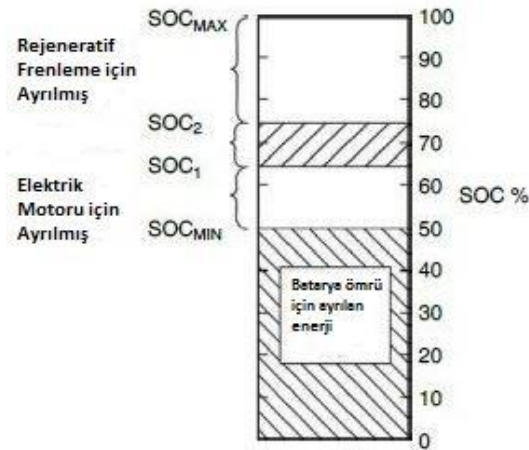
Tablo 1.6. EA için yeniden dönüştürülen enerji miktarı[27].

Hız (km/h)	Enerji	kWh	%
30	116,000	0.032	6
60	467,000	0.130	26
90	1.050,000	0.292	58

Araç hızının karesi olarak değişen kinetik enerjiden, 60 km/h hızındaki aracın 30 km/h deki araçtan 4 kat, 90 km/h deki araçtan 9 kat daha fazla enerjiye sahip olduğu gözlenmiştir. Çoğu rejeneratif frenleme 30 km/h hız bölgelerinin yakınındaki hız değerlerinde etkilidir. İki faktör için aracın kinetik enerjisinin geri kazanılması sınırlıdır. Birincisi, batarya enerjisinin çok yüksek şarj durumunda(SOC) ya da aşırı sıcaklıkta olması kabul edilemez. İkincisi, araç yavaşladıkça, jeneratör batarya voltajına ulaşmak için yeterli voltajı sağlayamaz. Bu noktadan sonra, kinetik enerji (KE) bataryada depolanamaz. Yeni bir DC-DC konvektör motor-jeneratör(M/G) ve enerji deposu (batarya) arasında konumlandırma geliştirilecektir. Böylece M/G ve batarya arasında en iyi eşleşme, daha büyük verimlilik ve en iyi hibrit depolama sağlanacaktır. Rejeneratif fren sisteminden geri dönüştürülecek en büyük enerji miktarına ek olarak, konvektör motor asistanı olarak en iyi hızlanmayı sağlayacaktır[27].

1.2.6.6. Batarya İçin Şarj Durum Şeridi

Batarya yaşamı uygun olan enerji durumu içerisinde bazı sıkı enerji azalmalarına zorlanır. Batarya enerjisi bitime çok yakınsa, yani SOC hemen hemen sıfır ise, bataryanın şarj ve deşarj çevrimi bir kaç kez azalır. Aşağıda dört önemli şarj durumu açıklanmıştır[27].



Şekil 1.34. Dört farklı batarya şarj durum göstergesi[27].

Dört farklı şarj durumu vardır; yani, SOCmax, SOC1, SOC2 ve SOCmin değerleridir. Genellikle SOCmax %100'e eşittir. SOC2 rejeneratif frenlemeden dolayı enerji depolanmasına izin vermek için seçilir. SOCmax ve SOC2 arasındaki şerit rejeneratif frenleme içindir[26, 27].

SOC1 den SOC2 ye kadar olan şerit kontrol sisteminin kapasitesine ve sürüş çevrimine bağlıdır. SOC1'in altındaki SOC aracın hareket etmesini gerçekleştirmek için jeneratörün çalıştırılması yerine yakıt motorunun çalışmasını başlatır. Hibrit olarak gidilebilecek mesafe yalnızca elektrikli motor kullanılarak SOCmin'dan SOC1 arasındaki enerji miktarına bağlıdır. Yeterince şanslıysa, batarya SOC2 de olabilir ve sonra SOCmin'la SOC2 arasındaki enerji kullanılabilir[27].

1.2.6.7. Rejeneratif Frenleme ile Durma Mesafesi

Aşağıda şekillerde verilmiş olan iki grafikte sunulmaktadır. Bu grafikler rejeneratif frenlemenin kapasitesini ve sınırlarını açıklamaktadır. Grafikler aşağıda listelenmiş dört denklemler kullanılarak hesaplanmıştır. Denklemler aşağıda tanımlanan bir kaç semboller kullanılmıştır[27].

P, rejeneratif frenleme için kullanılan jeneratörün gücü, KW

F , aracın hareketini sağlayan kuvvet, N

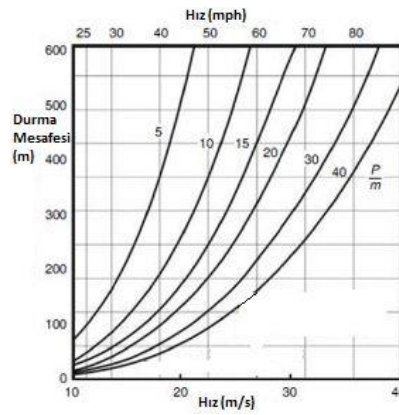
F_f , Sürtünme frenlemesinden dolayı frenleme kuvveti, N

F_r , Regeneratif frenlemeden dolayı frenleme kuvveti, N

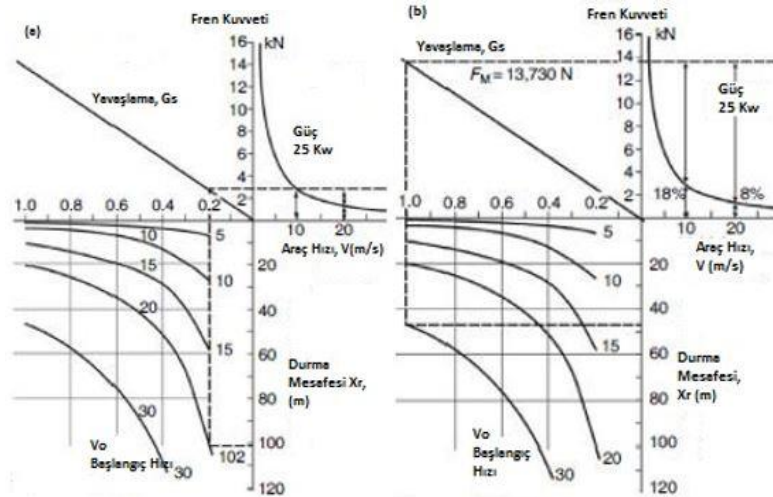
F_b , Hem Sürtünme hem de regeneratif frenlemeden dolayı Frenleme kuvveti, N

F_m , tekerlek ve yol tarafından sınırlandırılmış maksimum frenleme kuvveti, N

V , hız, m/s devamı



Şekil 1.35. Regeneratif frenlemeden dolayı durma mesafesi[27].



Şekil 1.36. Sürtünme ve regeneratif frenleme arasındaki durma mesafesi[27].

V_0 , başlangıç hızı (m/s)

E , kinetik enerji (J)

E_0 , başlangıç kinetik enerjisi (J)

m , araç kütlesi (kg)

a , ivme (m/s^2)

g , yerçekimi ivmesi (m/s^2)

X_f , sürtünme frenlemesinden dolayı durma mesafesi (m)

X_r , rejeneratif frenlemeden dolayı durma mesafesi (m)

t_f , sürtünme frenleme süresi (s)

t_R , rejeneratif frenleme süresi (s)

Sürtünme frenlemesinden dolayı zaman ve durma mesafesine ilişkin denklemler;

$$t_f = \frac{m \cdot V_0}{F_f} \quad X_F = \frac{m}{2F_F} \quad V_0^2 = \frac{E_0}{F_F} \quad (1.10)$$

Rejeneratif frenlemeden dolayı zaman ve durma mesafesine ilişkin denklemler;

$$t_R = \frac{m \cdot V_0^2}{2P} = \frac{E_0}{P} \quad X_R = \frac{m}{3P} (V_0^3) = \frac{1}{3} \left\{ \frac{1}{P/m} \right\} V_0^3 \quad (1.11)$$

Sürtünmeden dolayı oluşan durma mesafesi hızın karesine bağlıdır. Rejeneratif frenlemeye bağlı olan durma mesafesi hızın küpü ile orantılıdır. Verilen araç hızı için rejeneratif frenleme durma mesafesi daha büyüktür. Hibrit araçlar için önemli bir parametre, rejeneratif frenleme oranıdır(P). m , aracın kütlesidir. Rejeneratif frenleme gücü jeneratör mod da çalıştırıldığında(G-Mod) motor ve jeneratör tarafından oluşturulabilecek güç ile aynıdır. Durma mesafesi her eğri için P_m parametreleri ile araç hızının bir fonksiyonu olarak çizdirilir[27].

1.2.6.8. Rejeneratif Frenlemenin Verimi

Aşağıda dikkat edildiği gibi, kinetik enerjinin küçük bir miktarı batarya'ya geri dönebilir. G-mod durumunda motor/jeneratörün gücü ne kadar büyükse, kinetik enerjinin geri kazanımında o kadar büyüktür. Aşağıda iki farklı frenleme deneyimi vardır. Birincisi, kinetik enerji miktarının %10'u batarya'ya geri döndüğünde aracın acil bir şekilde durmasıdır. Kalan enerji yani %90'ı fren sürtünmesinden dolayı ısıya dönüşür. İkincisi, bir trafik lambasında yumuşak bir şekilde durmadır. Bu şart altında yaklaşık enerjinin

%60'ı batarya'ya geri gider. Kalan enerjinin(%40) frenlerde ısı olarak kaybolur. Giriş değerleri aşağıdaki verilmiştir[27].

Normal sürüş çevrimi içerisindeki çoğu durmalar acil bir durma şekli değildir. Panik ve hafif durma arasındaki dağılım sürüş çevrimine bağlıdır. Sonuç olarak rejeneratif fren verimi aracın sürüş çevrimine ve rejeneratif frenlemenin araç üzerindeki etkiye bağlıdır[26].

1.3. Elektrikli Araçlar İçin Bataryalar

Bataryalar sizin kullandığınız cep kayıt cihazlarında, taşınabilir radyonuzda, cep telefonunuzda, dizüstü bilgisayarınızda, taşınabilir el fenerlerinizde ve daha birçok cihazlarınızda vardır. Bataryalar iki farklı özelliğinden dolayı tercih edilirler; şarj edilebilmeleri ve tüketilebilmeleridir. Elektrik motorları gibi bütün bataryaların boyutları, şekilleri, ağırlıkları ve kapasiteleri vardır. Farklı tiplerde bataryalar mevcuttur. Şarj edilebilir bataryalara örnek olarak kurşun-asit, nikel-metal hibrit batarya ve lityum-ion bataryalar mevcuttur. Bu bataryalar kullanılarak aracın sürüş esnasında iken bataryanın şarj edilebilmesi için gerekli alternatör ya da jeneratörler yoluyla şarj edilir[22].

Bataryalar geleneksel içten yanmalı motorların (İYM) otomobillerin çalıştırılması için gerekli tüm fonksiyonları yerine getiren şarj motorunun çalışmasını gerçekleştirmektedir. Gerçekte, aracı çalıştıran batarya ve elektrik şarj dinamosudur. Elektrikli şarj dinamosu ile bataryanın kullanımı ilk 1920'lerde kullanılmış ve daha sonraları kolay bir şekilde İYM araçlarda batarya ve şarj dinamosu olarak kullanılmaktadır[22].

1970'in ortalarına kadar, yakıt kıtlıkları elektrikli araç programının zor şartlar altında gelişmesine izin verdi. Fakat geçici olan yakıt kaynakları sebebiyle elektrikli aracın ve bataryaların gelişmesine sebep oldu. 1990 yılında, taşıma için araç kullanım sayısındaki artış nedeniyle dünya genelinde fosil yakıtlara olan talep artmış olup ve araçların yaymış olduğu karbondioksit gazlarının çevre ve hava kirliliğine neden olmuştur. Bu sebeple elektrikli aracın batarya sistemlerinin gelişmesine olan talepler artmıştır[28].

Elektrikli araçlar için en önemli gelişme lityum-ion batarya teknolojisindeki gelişmelerdir. Batarya piyasasında kolay bir şekilde yer almış ve batarya ücretleri yeterince uygundur. Bir kaç yıl içerisinde bataryanın maliyetleri düşeceği umulmakta ve

piyasada daha çok satılabilecektir. Yakında, gelecekte herhangi bir enerji dönüşüm çevrim kitinde yer alacaktır[22].

Şarj edilebilir kurşun-asit otomobil bataryaları aşırı sıcaklıklarda bile daha çok güvenilebilecek ve performans sağlayacak bataryalardır. Doğru dürüst şarj edilebilirse, bataryaların verimliliği devam edebilecek ve uzun zaman periyodunda bataryanın çıkış karakteristikleri sabit halde kalabilecektir. Eğer siz bir kurşun-asit bataryalarını şoklamazsanız ya da tamamıyla enerjisini tüketilmezse, muhtemelen daha uzun ömürlü olacaktır. Kurşun-asit bataryaları içinde sadece bakım gerektirenler her bir batarya hücresinin elektrotlarını ve periyodik olarak bataryaların su ile yeniden doldurulması gerekmektedir[22].

Elektrikli araçların geleneksel içten yanmalı araca göre daha fazla ağır olmasının nedeni 1 kg'lık fosil yakıtın 100 kg'lık kurşun-asit bataryasının sağladığı kimyasal enerjiye eşittir. Ayrıca, fosil yakıtlı içten yanmalı aracın yeniden deposunu doldurulması, yakıt kaynaklarının limitsiz olduğu varsayımı ve yolcu ve nakliye taşımacılığın daha ucuz ve kolay olması sadece dakikalar alırken, elektrikli araçlarda batarya teknolojilerinin gelişmemiş olması ile gerekli sürede taşımacılık daha zor ve ağır araçlara ihtiyaç duyulacaktır[28].

Hibrit ve elektrikli araçlarda büyük güç gerektiğinde, batarya ve kapasitörlerden karşılanır. Bataryalar enerji depolar ve ihtiyaç halinde bu enerji kullanılır. Hibrit ve elektrikli araçların en önemli parçaları bataryalardır. Bataryalar, kimyasal reaksiyon yoluyla elektrik enerjisi üretir ve depolar. Bataryalar, bir ya da daha fazla elektriksel hücrelerden meydana gelir. Her bir hücre elektrik akımı üretebilecek parçalardan ve kimyasallardan oluşur[28].

Bataryaların birincil ve ikincil bataryalar olmak üzere iki çeşidi vardır. Birincil bataryalar, deşarj olduklarında ve kimyasalları tükendiğinde ıskartaya çıkarlar. İkincil bataryalar, elektrik enerjisi iletilindiğinde tekrar şarj olabilirler. Sonuç olarak, ikincil bataryalar hibrit ve elektrikli araçların uygulamalarında kullanmak için idealdir. Bu bataryalar araçlar için güç kaynağı olur ve yeniden kullanma imkânı sağlar[28].

Elektrikli ve hibrit araçlarda kullanılan bataryaların seçmekte kullanılan kriterler; sıcaklık, enerji yoğunluğu, güç yoğunluğu, kullanım ömrü, raf ömrü, maliyeti, güvenilirliği, hücre uyumu, şarj ve deşarj çevrimi ve güvenlik olarak sıralanabilir.

1.3.1. EA Batarya Bileşenleri

Bir batarya hücresi elektrot (anot ve katot), ayırıcı, istasyon, elektrolit ve hücre kafesi olmak üzere 5 temel bileşenlerden oluşur. Batarya hücreleri, bir batarya modülü olacak olan bir mekanik ve elektrik ünitelerinden oluşur. Bu batarya modülleri elektronik sürüş sistemini çalıştıracak bir pile dönüştürmek için elektriksel olarak birbirine bağlantılıdır.

Bataryalarda negatif ve pozitif olmak üzere iki istasyon vardır. Elektrolitler sıvı, jel ve katı malzemeler olabilir. Kurşun-asit (Pb-asit), nikel-kadmiyum(Ni-Cd), ve diğerleri gibi geleneksel bataryalarda sıvı elektrolitler kullanılır. Bu elektrolitler batarya türüne bağlı olarak hem asittik hem de alkalın olabilirler. Günümüzde elektrikli araç uygulamalarında kullanılan bataryalar gelişmeye bağlı olarak çeşitli avantajlara sahiptir. Batarya teknolojisindeki gelişmeye bağlı olarak elektrolitler jel, macun ya da reçine olarak bulunabilir. Bu tür bataryalara örnek olarak Pb-asit, Ni-MH ve lityum-ion bataryalar gösterilebilir[28]. Lityum polimer bataryaların elektrolitleri katı bir elektrolit olarak geliştirilme aşamasındadır.

Temel şartlar altında, bir batarya elektrik voltajını pozitif ve negatif elektrotlar arasındaki potansiyel fark tarafından batarya istasyonlarına dönüştüğü elektrokimyasal bir hücredir. Motor gibi bir elektriksel yük bağlandığında, elektriksel devre tamamlanır ve akım motordan geçerek tork oluşturur. Batarya dışında, akım motor boyunca pozitif istasyondan geçip ve negatif istasyona geri döner. Bu süreç devam ettikçe, batarya enerji depolamaya veya şarj edilmiş durumdan şarjı tüketmeye doğru devam eder. Elektriksel yük batarya boyunca akımın tersine yön değiştirmesi sonucunda iç güç kaynağı ile yer değiştirirse, batarya şarj edilebilir. Bu süreçte bataryaya kendi kimyasal gücü tekrar kazandırılmış olur yada batarya tam dolu olarak şarj edilmiştir.

1.3.2. Kurşun-Asit (Pb-Asit) Bataryalar

Saf suyun periyodik olarak tekrar doldurulmasıyla bakım gerektiren akışkan ya da ıslak bataryadır. Su bataryanın kapağı açılarak bataryanın her bir hücresine eklenir. Bazı büyük kesintisiz güç kaynağı uygulamalarında yedekleme işlemine çözüm olarak kurşun-asit bataryalar kullanılır. Kurşun-asit bataryalar 20 yıl gibi uzun servis ömrüne sahip olmasına rağmen, bataryaların daha uzun işletme zamanına (yaklaşık olarak 40 yıl) sahiptir[28].

Sıvı kurşun-asit bataryanın tasarımında, kalsiyum ya da ek katkı olarak antimon ile kurşun ya da alaşımından yapılmış pozitif yüklü plakalar arasında tabakalı olacak şekilde kurşundan yapılan negatif plakalardan oluşur. İzolatör olarak da bağlantı esnasında ve elektrotların aşınmasını korurken yer alacak kimyasal reaksiyonlara izin verdiği küçük gözeneklere sahip malzemedir[28].

Negatif ve pozitif plakalar bir aktif malzeme (kurşun oksit (PbO_2) ve kurşun sülfat ($PbSO_4$)) ile yapıştırılır. Aktif malzemeler elektrokimyasal enerjiyi depolamak için daha büyük yüzey alanı sağlar. Her bir pozitif plaka (+) kutuplu bir istasyona eklenir ve beraber kaynak yapılır. Her bir negatif plakanın kaynağı içinde aynı kaynak işlemi yapılır. Negatif plakalar için ise (-) kutuplu istasyon kullanılarak kaynak işlemi yapılır. Bir elektrik akımının bataryaya uygulanması ya da şarj edilmesiyle, sıvı kurşun-asit batarya elektrokimyasal reaksiyon gerçekleştirir[28].

Bataryaların özgül ağırlığı karşılaştırıldığında sıvı Pb-asit batarya için 1.215 ve VRLA bataryalar içinse 1.300 arasındadır. Uygun olan elektroliz hacmi ise batarya performansını belirlemede önemli bir faktördür. Böylece daha düşük Ahr oranına sahip sıvı batarya, daha büyük VRLA bataryadan daha uzun performans sunar. Çünkü onlar daha büyük asidik rezervuara sahiptir[28].

Buna ek olarak, AGM batarya tasarımı daha yüksek performansa sahiptir. Çünkü bu tür bataryalar onların yedek malzemeler ile karşılaştırıldığında daha düşük iç direnç ve daha yüksek özgül ağırlığına sahiptir. Son voltaj oranları ve Ahr ölçümleri VRLA batarya tasarımlarında ile sıvılaştırılmış bataryalar hakkında bir sonuca dayandırmak için yetersiz faktörlerdir[28]. Batarya seçimini etkileyen diğer faktörler olarak batarya havalandırması, gerekli boşluklar, asit dağılımı ve ekonomik olması bataryada olması gereken özelliklerdir. Aşağıdaki tablo 1.7’de üç çeşit bataryanın bakımı için harcanan maliyetler gösterilmektedir.

1.3.3. NiMH Bataryalar

Ni-Cd bataryaların uzun süre sahip olduğu piyasa değerlerine NiMH bataryalar sahip olmaya başlamıştır. Bu bataryalar batarya teknolojisinde çığır açmıştır. Ni-Cd bataryalar başlangıçta batarya kapasiteleri oldukça düşüktü, daha sonraki teknolojik gelişmelerle dört kat kadar geliştirildi. Şarj edilebilir batarya teknolojisinde çok hızlı büyüme

gerçekleştirilmiş olup dizüstü bilgisayarlarda, cep telefonlarında ve yüksek batarya performansı gerektiren uygulamalarda büyük rol aldı. Bu nedenle alternatif NiMH batarya sistemlerinin geliştirilmesi hızlanmış oldu. Bu bataryaların gelişimi 1980'li yılların başında başlamıştır. Daha sonra Ni-Cd batarya ile piyasada kullanılan şarj edilebilir batarya sistemleri için beraber kullanılmış ve yaygınlaşmıştır. NiMH bataryanın piyasada kullanımı yaklaşık olarak %35 ve özellikle bataryanın kapasitesi daha yüksektir[28].

Tablo 1.7. Üç çeşit bataryanın bakım maliyeti[28].

Özellik	Sıvı Batarya(\$)	AGM Batarya(\$)	Jel Batarya(\$)	Modül AGM(\$)
Başlangıç Maliyeti	30.000,00	31.000,00	27.000,00	22.000,00
Yıllık Maliyeti	2.500,00	2.000,00	2.000,00	1.500,00
20 Yıllık Maliyeti	14.400,00	7.200,00	7.200,00	7.200,00

AB5(LaNi5) ve AB2(TiN2) alaşım elementleri NiMH bataryaların tasarımında kullanılan malzemeler için önemlidir. Bu iki elementinde hemen hemen ağırlığı başına düşen enerji depolama miktarı yaklaşık olarak %1,5'dir. AB2 alaşımlarının teorik olarak maksimum hidrojen depolama kapasitesi daha büyüktür. AB2 alaşım elementi ile yapılmış bataryanın boyutu daha büyük olsa bile ağırlık başına depoladığı hidrojen miktarı AB5'e göre daha fazladır. Bu elektrikli araç batarya sistemi tasarımında arzu edilmeyen bir faktördür[28]. NiMH batarya katodunun temel konsepti hacmi başına binlerce kez hidrojeni depolayabilecek alaşımları bulmakla ilgilidir. Katot başlıca dört metal parçacığın sıkıştırılmış bir kütleden oluşur.

1.3.4. Li-İon Bataryalar

Li-ion bataryaların elektrikli araç uygulamalarında kullanılan ve ticarileştirilen en yaygın bataryaların üçüncüsüdür. Çünkü Lityum en yüksek negatif potansiyele ve daha düşük atomik ağırlığa sahip metaldir[28]. Bataryalarda kullanılan lityum, elektrikli aracın ivmelenmesi ve gidilebilecek menzil için batarya karakteristiklerinin performansını

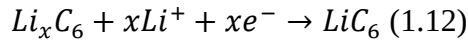
etkileyen en büyük potansiyele sahiptir. Ne yazık ki, lityum metal, hava ve çoğu sıvı elektroliz ile daha çok tepki gösterir.

Li-ion bataryalar tüketilmesi esnasında, lityum iyonlar (Li^+) anottan salınır ve katoda doğru doğal bir elektrolit boyunca hareket eder. Doğal elektrolitler lityum tarafından redüksiyona karşı durgundur. Katot oksidasyonu sulu elektrolizin suyu ile kimyasal reaksiyona giren lityum gereklidir. Lityum iyonlar katotta ulaştığında, iyonlar hızlı bir şekilde katot malzemesi ile birleşir. Bu süreç kolay bir şekilde tersine dönebilir. Hızlı bir şekilde tersine dönebilen lityum iyonlardan dolayı, Lityum-ion bataryalar Pb-Asit ve NiMH bataryalardan daha hızlı şarj edilebilir ve tüketilebilir. Bunu yanı sıra, Li-ion bataryalar, NiMH hücreler olarak aynı miktarda enerji üretebilirler. Fakat hücreler nispeten %40 daha küçüktür ve yarı ağırlığındadır. Böylece, enerji depolama miktarını iki katına çıkarır ve elektrikli aracın menzilini artırır. Bu bataryalar elektrikli araçlarda kullanılan en çok batarya olarak ikinci sıradadır[28].

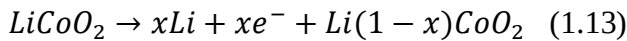
Lityum-ion bataryalarda kullanılan çok sayıda malzeme vardır. Genellikle, anod malzemeler karbonun özellikle grafit ve hidrojen içeren karbon malzemelerin değişik bileşenleridir. Katottan taşınan oksitten kobalt, nikel ve manganez olmak üzere üç türü vardır. Başlangıçta batarya gelişmelerinde teknik olarak ya nikel ya da manganez-oksit tercih edildiği kobalt oksitten oluşur. Yüksek enerji için bataryaların voltajının yanı sıra, Li-ion bataryalar aynı zamanda uzun yaşam ömrü için üstün bir özelliğe sahiptir. Normal süreçte, daha küçük lityum iyonların araya eklenmesi ve kaldırılması ile anot ve katot için farklı yapılar mevcuttur[28].

Pb-asit ve NiMH bataryalar gibi Li-ion Bataryalar aşırı şarj edildiğinde, elektrot bozulmasını önlemek için şarj esnasında daha dikkatli olunması gerekir. Çünkü lityum-ion bataryadaki elektrot suda çözülmez. İlerlemiş batarya kontrol sistemlerinin gelişmesiyle, araç kazalarından korumanın yanı sıra normal bir sürüş esnasında güvenli şekilde çalışmalıdır. Pb-Asit ve NiMH bataryalara nazaran, Li-ion bataryaları şarj sistemleri aşırı şarj etme durumunun meydana gelmemesi için şarj kontrol sistemleri geliştirilir. Ayrıca, Li-ion bataryalar NiMH batarya kimyasalları kullanan nikel bazlı bataryalar ile karşılaştırıldığında daha çevreci bir bataryadır[28].

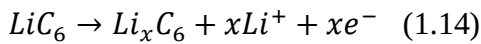
Katı hal lityum-ion bataryalar onların sıvı elektrolit olanları üzerine avantajlı olmasından dolayı tercih edilir. Şarj süreci boyunca, Lityum-ion batarya hücresinin anot denklemi aşağıdaki gibidir.



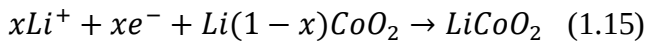
Lityum-ion batarya katot denklemi ise;



Bataryanın tüketilmesi esnasında, Lityum-ion batarya hücresinin anot denklemi;



Lityum-ion batarya hücresinin katot denklemi ise;



olur.

1.3.5. Lityum-Polimer Bataryalar

Lityum-polimer bataryalar elektrikli araç uygulamasında ticari olarak kullanılan dördüncü büyük bataryalardır. İyonların bağlı olduğu metalik olmayan katıların keşfi lityum-polimer bataryaların gelişmesine katkı sağlamıştır. Lityum-polimer bataryalar lityuma eklenmiş, ya lityum ya da karbondan yapılan anotta sahiptir. Örnek bir katot verilirse katot içerisinde vanadyum oksit(V6O13) içerir. Bu batarya için kullanılan kimyasal element daha yüksek enerji ve güç için en büyük potansiyel enerjiye sahiptir. Ne yazık ki, tasarım zorlukları, bataryanın elektrotlarının kinetiği, lityum iyonların absorbe etmek ve salı vermek için katot ve anottun kabiliyeti, daha düşük nihai güç meydana gelmesi ve lityum-polimer bataryaların sınırlı yaşam döngüsü ile ilişkilidir[28].

Lityum-polimer bataryalar için akım toplayıcı genellikle poliüretan gibi düşük ısı iletkenliğe sahip malzemeler ile çevrelenmiş ya bakır ya da alüminyum folyodan yapılır. Batarya şasesi polipropilen, polipropilenden güçlendirilmiş ya da polistiren (strafor)'dan yapılır. Lityum-polimer bataryalar, elektrotların bir katı olduğundan dolayı katı hal bataryalar dikkate alınmaya başladı. Polimerler yaklaşık 60 °C altındaki sıcaklıklarda iyonlar elektriği iletir. Bu polimerlerin iletkenlikleri düşük olduğundan dolayı, bataryalar 50 ile 200 mikron kalınlığındaki oranda ince filmler için elektrik iletmesi gerekir. Fakat

batarya yapısının bu en büyük avantajıdır. Çünkü batarya tasarımı, katı hal durumundadır. Malzemeler beraber akmayacak ve elektrikli araç uygulamalarında kullanılan batarya şasesinde bozulma ve çatlak olsa bile elektrotlar batarya şasesinden sızdırılmayacaktır[28]. Lityum polimer bataryaların diğer bir avantajı istenile boyut ve şekle dönüştürülebilir.

1.3.6. EA için Batarya Tipinin Belirlenmesi

VRLA bataryalarının tasarımı yapılırken kısmen kapalı devre olarak tasarlanmaktadır. Bu bataryalar, kurşun-asit bataryalara nazaran daha çok boş yer gerektirmemektedir. Ayrıca, bu bataryalar, daha fazla bakım maliyeti de gerektirmemektedir. Bu tür bataryaların boyutu azaldıkça, enerji yoğunluğu ve maliyeti yükselmektedir.

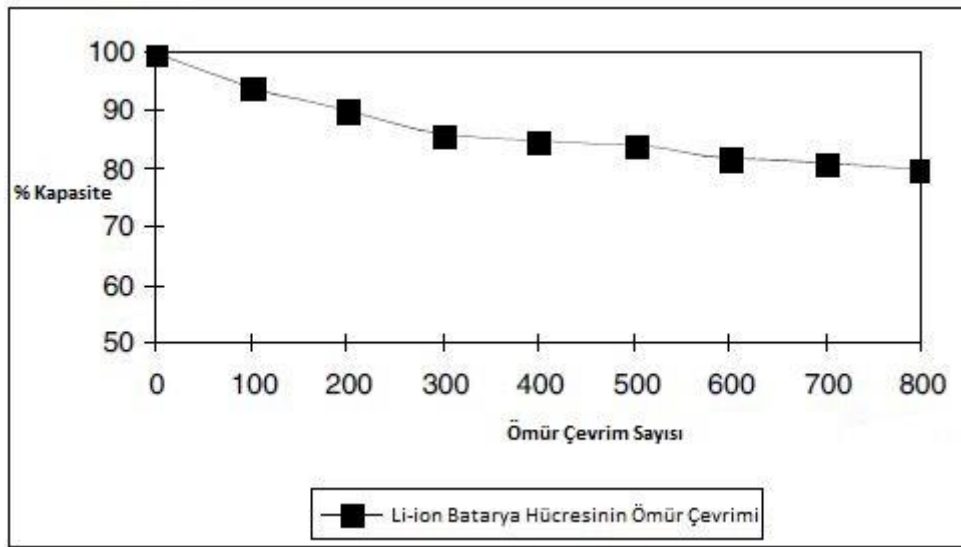
NiMH bataryalar çevre dostu bataryalar olması yanında enerji yoğunluğu ve maliyeti yüksektir. Lityum-ion bataryalar birim ağırlığa göre geleneksel Pb-Asit ve NiMH bataryalara ile karşılaştırıldığında üç kat daha fazla enerji depolar. Yüksek enerji depolama bilirliliğinden dolayı, Lityum-ion bataryalar roket, elektrikli araçlar ve hibrit elektrikli araç tasarımında yaygın olarak kullanılmaktadır[28].

Tablo 1.8. EA için kullanılan bataryaların özellikleri[28].

Batarya Türleri	Spesifik Enerji (Wh/kg)	Güç/Ağırlık (W/kg)	1 Batarya Seti için Devir Sayısı	Enerji Verimliliği (%)
Pb-Asit	30-40	180	500-800	82,5
Ni-Cd	60	150	1350	72,5
NiMH	30-80	250-1000	500-1000	70
Li-iyon	160	1800	1200	90
NaNiCl	90	150	1500-3000	92,5

Uygulamalarda batarya uygunluğunu değerlendirirken, bataryaların enerji/güç ilişkisini, sıcaklık etkisindeki batarya ve hücrenin etkisini, sıcaklık ve yükleme altında bataryanın deşarj olma kabiliyetini ve bataryanın şarj ve deşarj olma kabiliyetini karşılaştırılması gerekir. Katı Lityum-ion bataryaların kendi kendine deşarj olma oranı oldukça düşük olup yaklaşık olarak %5 olmaktadır. VRLA bataryaların deşarj olma oranı % 15 ve NiMH

bataryaların deşarj olma oranı %25 olmaktadır. Lityum-ion bataryaların yaşam döngüsü NiMH ve VRLA bataryalara göre daha üstündür. Lityum-ion bataryalar 1 saat şarj edildikten sonraki 1 saat içerisinde deşarj olması 500 kez tekrarlandığında enerji kapasitesi %80'e düşebilir. Normal şartlar altında şarj edilip deşarj edilmesi durumunda %80'e düşmesi için 1200 döngü içerisinde gerçekleşmektedir[28]. Lityum-ion batarya hücresinin yaşam döngüsü ile kapasitesinin karşılaştırılması aşağıdaki resimde verilmiştir.



Şekil 1.37. Li-ion EA batarya hücresinin yaşam ömrü[28].

Lityum-ion bataryaların özellikle katı formundaki lityum-ion bataryaların şarj ve deşarj olma oranı diğer bataryalara göre daha verimlidir. Katı lityum-ion bataryaların elektrikli araçlarda uygulamalarında daha uygunken, sıvı lityum-ion bataryaların güvenlik sebeplerinden dolayı EV uygulamalarında kullanılmaz[28]. Katı lityum-ion bataryaların hemen hemen her boyutta uygulamalar geliştirilmesine izin vermektedir. Ayrıca bu bataryalar çoklu hücre uygulamaları için daha uygundur.

Katı lityum-ion bataryaların üretilmesi, sıvı lityum-ion bataryalarının üretilmesinden daha güvenlidir. Çünkü katı polimer elektrotlar hem uçucu olmaz hem de sızdırmaya karşı dayanıklıdır. Lityum-ion bataryalarının özelliklerinden dolayı elektrikli araç uygulamalarında kullanılmaktadır[28]. Lityum-ion batarya özellikler şöyledir;

- 1- Ağırlıksal ve hacimsel olarak yüksek enerji yoğunluğuna sahip olmaları,
- 2- Ortam sıcaklığında çalışabilmesi,

- 3- Yüksek yaşam döngüsüne sahip olması,
- 4- Yüksek itiş gücüne sahip olması,

Lityum-ion bataryalardaki gelişmelerden dolayı gelecekte elektrikli araçlarda kullanılan bataryalar 10 yıllık yaşam döngüsüne ulaşabilecek ve batarya maliyeti önemli ölçüde azalacaktır.

1.3.7. Batarya Verimliliğini Etkileyen Etmenler

Uygun bir elektrikli araç geliştirmek için batarya paketi içindeki batarya hücrelerinin seri ve paralel bağlanması sonucunda bataryanın davranışları bilinmelidir. Batarya dönüşümü, deşarj oranı, bataryanın şarj ve deşarj frekansı, bataryanın şarj ve deşarj olma sıcaklığı gibi batarya özellikleri bataryanın verimliliğini etkilemektedir[22],[28].

2. BÖLÜM

ELEKTRİKLİ ARACIN MODELLENMESİ

2.1. Giriş

Hayatımıza büyük kolaylıklar getiren, ulaşım imkânı arttıran motorlu taşıtlar ve oluşan otomotiv sanayisi birçok teknik ve teknolojik gelişmenin öncülük etmiştir. Son yıllarda motorlu taşıtlara olan ilgi sayesinde birçok otomotiv firması her sene milyonlarca araç üretmekte ve dünyanın dört bir tarafında satılmaktadır. Sonuç olarak geline nokta, araçların ve kişisel ulaşım için kullanılan motorlu taşıtların çevremize ve dünyamıza verdikleri zararları olmuştur. Çevremize verilen zararları azaltmak için otomotiv sanayisinde çeşitli gelişmeler yaşanmıştır. Öncelikle gelişen batarya teknolojileri ve elektronik teknolojilerin gelişimi ile elektrikli ve hibrit elektrikli araçların gelişmesinde büyük adımlar atılmıştır. Bu gelişmeler ışığında, elektrikli araçların gelişmesine ve kullanılmasının yolu açılmıştır.

Gelişen yeni teknolojiler ile araçlar, hızları, tork değerleri, güvenlik standartları, konfor standartları ve yük taşıma kapasiteleri geliştirilmiştir. İYM'ların ve aktarma organlarının sahip oldukları bir verim değeri vardır. Bu verim değeri Carnot çevrimin verimi nedeniyle gelişen teknoloji ile çok fazla değişmemektedir. Bu durum, uzun zamandır geliştirilen ve bundan sonra da mutlaka gelişmelerin süreceği içten yanmalı motorların verimlerinin arttırılmasında, küçük gelişmelerin olmaktadır.

Elektrikli araçlardaki yeni gelişmeler ile eski yıllara göre daha verimli elektrik motorları ve bataryalar geliştirilmiştir. Elektrik motorlarının verimi, kullanım şartlarına göre değişkenlik göstermekte olup yükleme şartlarına göre değişmektedir. Her bir elektrik motorunun verimi sabit bir değer olmamaktadır. Çalışma şartına ve yükleme şartına bağlı olarak değişen elektrik motorlarının daha verimli kullanmak amacıyla bu çalışma gerçekleştirilmiştir. Günümüzde yaygın olarak kullanılan EA'lardaki elektrik motorları AC asenkron ve kalıcı mıknatıslı DC elektrik motorlarıdır. Bu iki motor türünün sabit bir

verim değeri yoktur. Her iki elektrik motorunun çalışma şartlarında ve farklı yükleme şartlarındaki verimi farklılık göstermektedir. Bu nedenle her iki motora ait verimlilik haritası mevcuttur. Bu çalışmada bu iki motor için verimlilik haritaları kullanılarak farklı yükleme şartlarındaki anlık harcanabilecek enerjiyi ve kullanılacak güç bulunacaktır. Örneğin elektrik motorunun %100 ile çalışmasındaki verimi ile % 50 ile çalışmasındaki verimi arasında farklılık olması nedeniyle her iki motor içinde farklı verimlilik haritasına ihtiyaç duyulmuştur.

Günümüzde gelişen teknolojilerle beraber araştırmalarda bilgisayar programlarının kullanımı ve gelişimi artmıştır. Bu sebeple çalışmamızda Matlab programı kullanılarak belirlenen bir rota için hız-zaman grafiği elde edilecek olup bu hız-zaman grafiği yardımıyla gerçek zamanlı harcanan güç ve enerji hesaplanabilecektir. Her iki motor türü için uygulanacak olan gerçek zamanlı simülasyon ile hangi motor türünün daha verimli olacağı elde edilmiş olacaktır. Bu kuvvetler yardımıyla elektrikli bir araca etki eden kuvvetlerin sayısal analizi yapılarak kent içi elektrikli aracın simülasyonu gerçekleştirilmiştir.

2.2. Kaynak Araştırması

Delphine, Gregory ve Yohan (2009), hibrit ve elektrikli araçlarda kullanılan elektrik motoru ile içten yanmalı motorun kullandığı aktarma organlarının boyutunun optimizasyonunu, EA'nın gerçek sürüş şartlarında ECMS(Equivalent Consumption Minimization Strategy) stratejisi geliştirilerek EA araçta kullanılması gereken aktarma organı ile İYM araçlarda kullanılan aktarma organları karşılaştırılmış olup uygun aktarma organının boyutu belirlenmiştir[29].

Wu, Cao ve Li (2010), hibrit ve elektrikli araçlarda kullanılan belirli parçaların tasarımını ve optimizasyonunu, EA'nın sürüş performansını sabit bir değer olarak aldığı ve iki farklı batarya tipi kullandığı PCOA (Paralel chaos optimization algorithm) algoritma kullanılarak belirli EA parçalarının tasarımını ve optimizasyonu yapılmıştır[30].

Kristoffersen, Capion ve Meibom (2010), hibrit ve elektrikli araçlarda kullanılan bataryaların daha verimli şarj olabilmesi ve şarj sisteminde kullanılan batarya çerçevesinin imalatındaki değişken şartları kullanılarak daha uygun ve verimli şarj olması sağlayan batarya sistemlerini gelişimi üzerinde araştırma yapılmıştır[31].

Li (2010), elektrikli aralar için taşınabilir şarj istasyon ağlarının tanımlanması ve optimum şarj istasyonlarının geliştirilme metodlarının açıklanmıştır. Tek yönlü ve çift yönlü otoyol ve otobanlar üzerinde istasyon ağlarının simülasyonu gerçekleştirilmiştir. Geliştirilen şarj istasyon ağlarının gerçek bir trafik modeli üzerinde testleri gerçekleştirilmiştir[32].

Kojima, Ishizu ve Horiba (2008), yakıt pilli hibrit elektrikli araç uygulamaları için lityum-iyon bataryasının geliştirilmesi, oval şeklinde tek batarya hücresi ve dört adet birleştirilmiş batarya hücresi üzerinde farklı denemeler sonucunda uygun batarya geliştirilmiştir. Başlangıçta batarya hücresine spesifik güç ve enerji harcanama yöntemiyle batarya göstergesindeki değışkenlikler gözlenmiştir[33].

Lam ve Louey (2006), hibrit elektrikli araç uygulamaları için üstün bir bataryanın geliştirilmesi için çalışma yapılmıştır. Geliştirilen bataryanın performansının artırılmış ve maliyeti azaltılmıştır. Bataryanın geliştirilmesinde asimetrik bir kapasitör ve kurşun-asid batarya hücresinin birleştirilmesiyle yeni batarya geliştirilmiştir. Fazladan bir elektronik kontrol ünitesine ihtiyaç duymaksızın bataryanın yaşam ömrü ve verimliliği yaklaşık olarak %50 oranında artış sağlanmıştır. Geliştirilen batarya geleneksel otomobiller, güç kaynakları ve yüksek güç gerektiren uygulamalar gibi çeşitli elektronik uygulamalarda kullanılarak performansı incelenmiştir[34].

Kohno, Koishikawa, Yagi ve Horiba (2008), hibrit ve elektrikli araç uygulamalarında yaprak aliminyum ile birleştirilmiş lityum-iyon bataryaların geliştirilmiştir. Lityum-iyon bataryaların her bir hücresinin yaşam ömrünün geliştirilmesi ve ısınan batarya güvenliğini yanmaya karşı korunması için farklı çalışma şartları altında bataryaların kullanımını incelenmiştir. Üretilen prototip lityum-iyon batarya hücre kapasitesinin spesifik enerjisi diğer tipik bir lityum-iyon batarya hücresinin enerji yoğunluğundan %30 daha yüksek olduğu bulunmuştur. Isınan bataryadaki enerji verimliliği daha düşüktür. Fakat üretilen prototip bataryanın aynı şartlar altında verimliliğinin daha yüksek olduğu belirlenmiştir[35].

Peng, Zhang, Yin ve Zhang (2008), paralel bağlı hibrit araçlarda hidrolik fren sistemi ve rejeneratif fren sistemi olmak üzere iki farklı fren sistemi kullanılmaktadır. Her iki fren sistemi LTCS(logic threshold control strategy) ve FCS(fuzzy logic control strategy) gibi iki farklı kontrol sistemi ile fren sistemleri karşılaştırılmış ve bu iki fren sisteminin

verimliliğini farklı kullanım şartları altında incelenmiştir. Fren verimlilikleri her iki kontrol sistemi içinde karşılaştırılmış olup uygun fren sistemi belirlenmiştir[36]

Xiao, Wang ve Zhuo(2008), hibrit ve elektrikli araçlarda kullanılan rejeneratif fren sisteminin tork optimizasyonuna dayanan fren algoritmasının oluşturulmuştur. Yakıt ekonomisini geliştirmek için fren enerjisinin verimli ve maksimum kullanımı için simülasyon geliştirilmiştir. Simülasyon sonucunda geleneksel kullanılan fren sisteminden daha çok fren diski yaşam ömrü uzatılmıştır[37].

Ahn, Jung, Kim, Jin ve Hwang(2009), hibrit ve elektrikli araçlarda kullanılan rejeneratif fren sisteminde elektro-manyetik frenleme kullanılarak veriminde artış sağlanmıştır. Kullanılan elektro-mekanik fren sistemi kullanılarak yakıt tasarrufunda yaklaşık %20-50 olmuştur. Kullanılan fren sisteminde, ESP(electronic stability program) ve VDC(vehicle dynamic control) programları ile kullanılarak elektronik kontrol sistemi geliştirilmiştir. Elektro-mekanik fren sistemi(EMB) yakıt tasarrufunda ve araç güvenliğinin geliştirilmesinde büyük öneme sahip olmuştur. Bu çalışmada, HEA için İYM, elektrik motor, batarya ve aktarma organları modellenmiş olup matlab/simulink kullanılarak rejeneratif fren sisteminin simülasyonu yapılmıştır[38].

Tsai ve Huang(2003), elektrikli araç uygulamalarında kullanılan yeni tasarımı yapılmış SRM(switched reluctance motor) elektrik motorunun sonlu elemanlar metodu kullanılarak farklı tasarım şartlarındaki verimlilik değerleri incelenmiştir[39]

Brisset ve Brochet(2006), elektrikli araç uygulamalarında kullanılan fırçasız DC elektrik motorunun uygun tasarımı için oluşturulan analitik model yardımıyla elektrikli araçlardaki yüksek şarj verimliliğini ve yeni bataryaların geliştirilmesi için yüksek verimli elektrik motorların geliştirilmiştir. Fırçasız DC elektrik motorunun verimliliği analitik model ile diğer elektrikli araçlarda kullanılan elektrik motoru ile karşılaştırılmıştır[40].

Kim, Lee ve Um(2008), hibrit ve elektrikli araçlarda kullanılan fırçasız DC elektrik motorlarının ısınma problemlerinin optimizasyonunun ve nümerik araştırması yapılmıştır. Elektrik motorlarındaki ısınmadan dolayı verimlilikleri düşmektedir. Bu nedenle soğutma sistemindeki şartlar geliştirilerek elektrik motorlarının verimlilikleri artırılmıştır[41].

Gosden, Chalmers ve Musaba (1994), hibrit ve elektrikli araçlarda kullanılan üç farklı elektrik motorları (kalıcı mıknatıslı elektrik motoru, asenkron motor ve birleştirilmiş elektrik motoru) torka ve hıza göre karşılaştırılmıştır. Üç farklı elektrik motoru için aynı stator kullanılmış ve tasarım şartları değiştirilmiş olup her motor için farklı olan verimlilik haritaları çıkartılmıştır[42].

Xue, Cheng ve Cheung (2008), hibrit ve elektrikli araçlarda kullanılan elektrik motor sürücü seçimi için, elektrik motor sürücüsünün güvenliği, verimliliği, ağırlığı, maliyeti, soğutma sistemi ve maksimum yapabileceği hızları açısından karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma yapılırken elektrik motor sürücüleri için dört farklı elektrik motoru (kalıcı mıknatıslı fırçalı ve fırçasız DC motorlar, asenkron motor ve senkron motor) kullanılmıştır[43].

Rahman ve Fellow (1996), hibrit ve elektrikli araç uygulamalarında kullanılan elektrik motorlarının (asenkon, senkon ve kalıcı mıknatıslı DC motor) performansları, tasarım şartlarına bağlı olarak farklı ağırlıktaki, boyuttaki, farklı tork ve hız değerlerine sahip elektrik motorlarının performans analizleri yapılmıştır. Her motor için aynı yükleme şartları altında performanslarındaki değişim gözlenmiştir[44].

Grilo ve Sousa (2012), hibrit ve elektrikli araçlarda yaygın şekilde kullanılan asenkron ve kalıcı mıknatıslı elektrik motorlarının performansı ve ticari olarak elektrikli araçlarda kullanımı açısından sonlu elemanlar metodu kullanılarak uygun elektrik motoru belirlenmiştir. Her iki elektrik motoru için çalışma şartları standart kabul edilerek bilgisayar programında sonlu elemanlar metodu ile motor performansları belirlenmiştir[45].

Fellow, Rahman ve Toliyat (1997), hibrit ve elektrikli araçlarda itiş sisteminin tasarımı, tork-hız profili ve araç dinamiği kullanılarak elektrik motorlarının performansları için uygun itiş sistemin tasarımı yapılmıştır. Hibrit ve elektrikli araçlarda kullanılan elektrik motorlarının standart şartlar altındaki davranışları gözlemlenerek uygun olan EA için itiş sistemi tasarımı karşılaştırılmıştır[46].

2.3. Araç Dinamiği

Tüm araçların performansının nasıl olacağı önemlidir. Bilgisayar programları bize araçların performanslarının kolay bir şekilde hesaplanmasını sağlar. Elektrikli araçların

motor gücü, batarya boyutunu ve tipini, aracın ağırlığı gibi özelliklerini bilgisayar programları yardımıyla iyi analiz etmemizi sağlar. Gelişen bilgisayar programları sayesinde araç dinamiğinin kolay bir şekilde hesaplanmasına olanak sağlamıştır. Aracın yol tutuşu gibi karakteristik özelliklerini analiz edilmesine sağlamıştır. Öncelikle elektrikli aracın matlab programları yardımıyla matematik modelinin oluşturulmasına ve bu model üzerindeki kuvvetlerin kolay şekilde hesaplanmıştır.

Elektrikli araç modellenmesindeki en önemli faktör araç performansıdır. Elektrikli araçlardaki performans denildiğinde hızlanma ve en yüksek hız gelir. Hız konusunda elektrikli araçlar batarya teknolojisinden dolayı çok zayıftır. EA'ların performansını etkileyen önemli faktör bataryalardır. Bataryaların gelişmesiyle EA'ların gelecekte bu sorunların üstesinden gelecektir. EA'ların tek şarjla gidilebileceği menzil mesafesi olarak elektrikli aracın performansını etkileyen önemli faktördür. Bu menzil problemini matematiksel olarak modellenabilir ve bilgisayar programı ile oldukça basit şekilde elektrikli aracın menzili bulunabilir. Elektrikli araçların otomobil piyasasında yer alabilmesi için güncel İYM araçlar kadar iyi performansa sahip olmalıdır.

2.3.1. Elektrikli Aracın Çekiş Gücü

Elektrikli aracın modellenmesinde ilk adım elektrikli aracın çekiş gücü için oluşturulacak eşitlik bulunur. Çekiş gücü aracın ileriye doğru hareket ettiren kuvvettir.

m kütleli, v hızında ve θ derecelik açısal eğime sahip bir yolda hareket eden bir araca aşağıdaki kuvvetlerin üstesinden gelmelidir.

- 1- Yuvarlanma kuvveti
- 2- Aerodinamik dengeleme kuvveti
- 3- Tırmanma kuvveti
- 4- Hızlanma kuvveti

Hareket halindeki bir araçta bu kuvvetlerin her biri araç üzerinde meydana gelir.

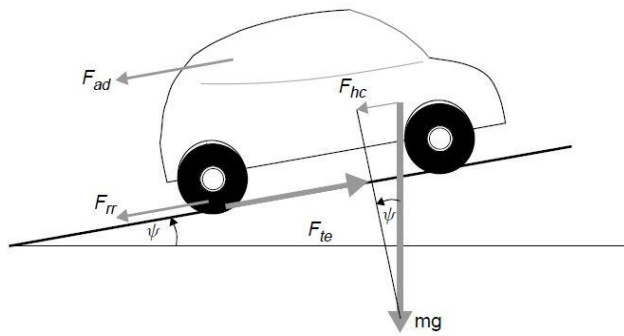
2.3.2. Yuvarlanma Direnç Kuvveti

Yuvarlanma kuvveti aracın tekerleği ile yol arasındaki sürtünmeden dolayı meydana gelir. Aynı zamanda tekerlek ekipmanlarından olan rulmanlar ve dişli sistemlerinde bu

kuvvet önemli rol oynar. Yuvarlanma direnç kuvveti hareket halindeki araçta yaklaşık olarak sabit değer olup hiç aracın hızına bağlı değildir. Aracın ağırlığı ile orantılı olarak değişir ve aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$F_{rr} = \mu_{rr} * m * g \quad (2.1)$$

Burada, μ_{rr} tekerlek ile yol arasındaki sürtünme kuvvetinin katsayısıdır. Bu değer yol ve tekerlek yapısına bağlı olarak değişir. Aracın hızıyla bu değer değişmez. Sürtünme katsayısının kontrol eden önemli faktör tekerlek tipi ve tekerlek basıncıdır. Tekerlek basıncı uygun değerde olursa hem sürüş konforu hem de aracın performansı çok daha iyidir. Hareket halindeki araca etki eden kuvvetlerin, bir araç üzerinde modellenmesi şekil 2,1'deki gibidir.



Şekil 2.1. Eğimli yüzeyde EA'a etki eden kuvvetler.

Sürtünme kuvvetinin katsayısı, durgun haldeki bir aracı çok düşük hızlarda hareket ettirilmesi için uygulanacak kuvvet ile bulunabilir. Aracın hareket etmesi için uygulanan kuvvet ölçülerek, aracın kütlesi yardımıyla pratik olarak sürtünme katsayısı belirlenir. Sürtünme kuvvetinin katsayısı tipik bir araç tekerleği için yaklaşık olarak 0,015 alınabilir. Özellikle elektrikli araçlar için sürtünme katsayısı 0,005'den daha aşağı olduğu kabul edilir.

2.3.3. Aerodinamik kuvvet

Hava içerisinde hareket eden her parçanın yüzey üzerindeki hava sürtünmesinden dolayı hava hareket eden aracın ters yönünde kuvvet uygular. Bu uygulanan kuvvet, aracın ön kesit alanı, aynalar, yüzey modeli ve başlıca diğer faktörlerin fonksiyonu olarak değişir. Aerodinamik kuvvet şu şekilde hesaplanabilir.

$$F_{ad} = \frac{1}{2} \rho * A * C_d * v^2 \quad (2.2)$$

Burada, ρ hava yoğunluğunu, A aracın ön kesit alanı ve V ise aracın hızını gösterir. C_d ise aracın hava içerisindeki sürüklenme katsayısıdır. Aracın hava içerisindeki sürüklenme katsayısı, araç tasarımının hava akışını çok az engelleyecek şekilde yapılmasıyla sürüklenme katsayısı azaltılabilir. Sedan bir aracın sürüklenme katsayısı yaklaşık olarak 0,3'dür. Fakat bazı elektrikli araç tasarımlarında bu değer yaklaşık olarak 0,19 olarak alınabilir. Sürüklenme katsayısı tamamen aracın tasarımına bağlı olarak değişir. Elektrikli araç tasarımında bu değerin azaltmak için normal bir İYM araçta bulunan büyük parçalara (soğutma parçaları, hava kanal parçaları ve egzoz çıkış sistem parçaları) ihtiyaç duyulmaması ve tasarımında esnek davranma bilinmesi nedeniyle İYM'lu araçlara göre elektrikli araçlarda sürüklenme katsayısı azaltılabilir. Ama motosiklet ve otobüsler gibi bazı araçlarda sürüklenme katsayısının büyük olması kaçınılmazdır.

Hareket eden araca etki aerodinamik kuvvetin değerini havanın yoğunluğuna çok büyük olmasa da önemli miktarda değiştirir. Havanın yoğunluğu ortam sıcaklığına, nemine ve yüksekliğine göre değişir. Hava yoğunluğu normal şartlar altında yani deniz seviyesinde $1,25 \text{ kg/m}^3$ olduğu kabul edilir.

2.3.4. Tırmanma Kuvveti

Eğimli bir yolda hareket eden aracın yukarı yöne doğru hareket edebilmesi için gerekli olan kuvvettir. Tırmanma kuvveti eğimli yol boyunca aracın kütlesine ve eğim açısına göre değişir. Tırmanma kuvveti aşağıdaki denklem 2.3'deki gibi bulunur.

$$F_{hc} = m * g * \sin(\theta) \quad (2.3)$$

Tırmanma kuvveti aracın yukarı doğru hareketinin tersi yönünde araca tesir eder ve aracın hızının yavaşlamasına ve durmasına neden olabilir. Aracın yokuş aşağı iniş yapması durumunda aracın yönünde tesir eder ve aracın kademeli olarak hızlanmasına yardımcı olur.

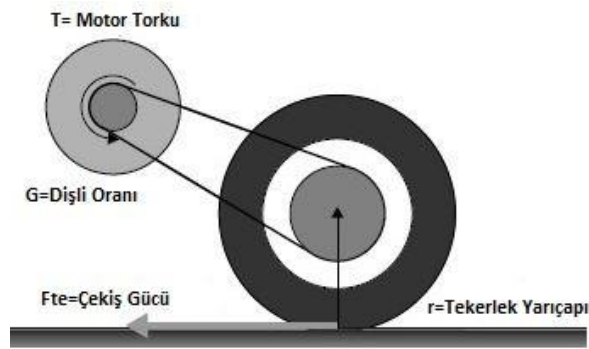
2.3.5. İvmelenme Kuvveti

Hareket halindeki ve durgun haldeki aracın hızını değiştirmek için uygulanması gereken bir kuvvete ihtiyaç duyulur. Bu kuvvet Newton'un ikinci hareket denkleminde çıkarılır.

Aracı hareket ettirmek için gerekli olan kuvvet aşağıdaki gibi bulunur. Bu aracın lineer olarak hızlanmasına yardımcı olur.

$$F_{la} = m * a \quad (2.4)$$

Ayrıca hareket eden aracı hızlandırmak için gerekli olan kuvvetin yanı sıra aracın tekerleğinin dönme hızlanmasına da ihtiyaç duyulur. Hızlanma kuvvetine etki eden önemli faktör aracın elektrik motorudur. Bu kuvvete etki eden özellikle atalet momenti zorunlu değildir. Ama çok yüksek açısal hızlar için atalet momentinin önemi vardır.



Şekil 2.2. Elektrik motoru ile tekerlek arasındaki bağlantı.

Yukarıdaki şekilden de anlaşılacağı üzere aracın tekerleği ile elektrik motoru arasında bağlantı böyle verilebilir. Buradan elektrik motorunun uyguladığı tork değeri hesaplanabilir. Daha sonra diğer araç dinamiği formülleri ile aracın açısal hızını hesaplayabiliriz.

$$T = \frac{F_{te} * r}{G} \quad (2.5)$$

$$F_{te} = \frac{G}{r} T \quad (2.6)$$

Yukarıdaki denklemler kullanılarak açısal hızın formülü elde edilir.

$$Açısal Hız = \frac{v}{r} \text{ rad. s}^{-1} \quad (2.7)$$

Elektrik motorunun açısal hızı;

$$\omega = G \frac{v}{r} \text{ rad. s}^{-1} \quad (2.8)$$

Benzer şekilde elektrik motorunun ivmelenmesi;

$$\dot{\omega} = G \frac{a}{r} \text{ rad. s}^{-2} \quad (2.9)$$

Bulunur. Böylece açısal hız için gerekli olan tork değeri;

$$T = I * G \frac{a}{r} \quad (2.10)$$

olur. Burada, I elektrik motorunun atalet momentini verir. Aracın tekerleklerinin açısal olarak hızlanmasını sağlayan kuvvet (F_{wa}), yukarıdaki denklemler kullanılarak bulunur.

$$F_{wa} = \frac{G}{r} I * G \frac{a}{r} \quad (2.11)$$

$$F_{wa} = I * \frac{G^2}{r^2} a \quad (2.12)$$

Bulunan denklemler araçta kullanılan dişli sisteminin %100 verimli olduğu düşünülerek bulunmuştur. Dişli sistemlerindeki ve diğer ekipmanların kayıpları göz önüne alınmadan düşünülmüştür. Elektrikli araçlarda sistem çok basit olduğundan dolayı, verimlilik genellikle yüksektir. Hiçbir zaman verimlilik değeri %100 olmaz ve bu yüzden yukarıdaki eşitlikler dişli sisteminin verimlilik değeri (η_g) dikkate alınarak belirlenir. Gerçek dişli verimlilik değeri dikkate alındığında aracın hareket ettirilmesi için gerekli olan kuvvetin daha büyük olduğu bulunur.

$$F_{wa} = I \frac{G^2}{\eta_g * r^2} a \quad (2.13)$$

Elektrikli motorunun atalet momenti bilinmiyor ise genellikle araç kütlelerinin %5 daha fazla olduğu düşünülerek işlem yapılır.

2.3.6. Toplam Çekiş Gücü

Hareket eden araç üzerinde meydana gelen bütün kuvvetler yukarıda belirlenmiş olup bu kuvvetlerin toplamı toplam çekiş kuvvetini verir. Toplam çekiş kuvveti (F_{te});

$$F_{te} = F_{rr} + F_{ad} + F_{hc} + F_{la} + F_{wa} \quad (2.14)$$

Burada;

F_{rr} , yuvarlanma direnç kuvvetini

F_{ad} , aerodinamik kuvvetini

F_{hc} , tırmanma kuvvetini

F_{la} , ivmelenme (hızlanma) kuvvetini

F_{wa} , elektrik motorunun açısal ivmelenmesini gerektiren açısal kuvvetini

Bu denklemde, ivmelenme kuvveti (F_{la}) ve Elektrik motorunun açısal ivmelenme kuvvetinin (F_{wa}) aracın yavaşlama esnasında negatif (-) olacaktır. Tırmanma kuvvetinin (F_{hc}) hareket eden aracın yokuş aşağı gitmesi durumunda tırmanma kuvvetinin yönü negatif (-) olacaktır.

Tez çalışması, prototip kentiçi elektrikli araç için uygulanacaktır. Bu nedenle özgün olarak tasarımı yapılan elektrikli araca ait tasarım parametreleri aşağıdaki tabloda verilmiştir. Simülasyon değerleri bu tablo 2.1’de bulunan sayısal değerler kullanılarak yapılacaktır.

Tablo 2.1. EA için simülasyon parametreleri.

EA için Parametreler		
m	650 kg	EA’nın kütlesi
A	$1.74 m^2$	EA’nın kesit alanı
C_d	0.29	EA’nın aerodinamik sürtünme katsayısı
w_r	0.25 m	EA’nın tekerlek yarıçapı
t_r	5	EA’nın redüktör oranı
n_t	0.95	EA’nın redüktör verimi
Pac	150 watt	EA’nın aksesuar için harcanan güç

EA’da kullanılacak iki farklı elektrik motoru için rejeneratif frenleme verimi 0,4 olarak alınmıştır. Yapılan kaynak araştırması sonucunda elektrikli araçlarda kullanılan elektrik motorlarının rejeneratif frenleme verimi 0.3-0.5 arasında olduğu belirlenmiştir. Bu çalışmada kullanılan elektrik motorları için rejeneratif frenleme verimi 0.4 olarak alınmıştır.

2.4. Kent İçi Bireysel Elektrikli Aracın Menzilinın Modellenmesi

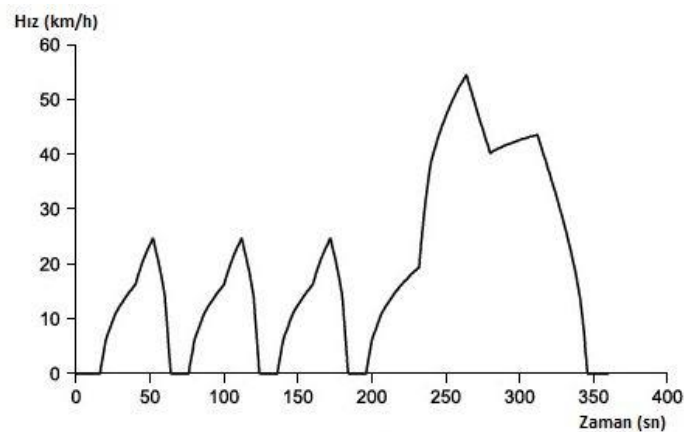
Elektrikli araçlar için en önemli sorun aracın menzildir. Bu sorun temel sebebi elektrik enerjisini verimli olarak depolayabilmek için gerekli olan bataryaların veriminin yetersiz olması ve uzun mesafe seyahat edecek elektrikli araç için gerekli olan batarya miktarının çok fazla olmasıdır. Batarya ve enerji depolama problemi elektrikli araç tasarımında

kesinlikle en önemli kriterdir. Elektrikli aracın menzilini hesaplamak için iki önemli test ve hesaplama yöntemi vardır.

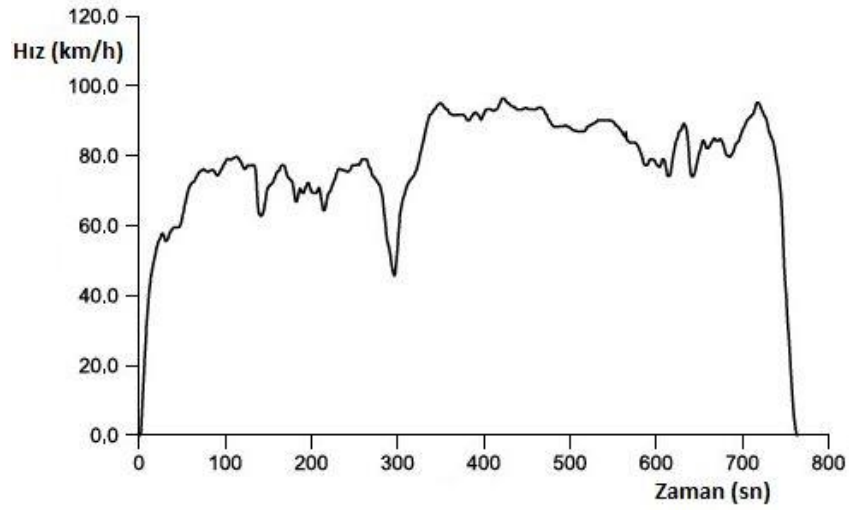
Birincisi, sabit hız testi oldukça basittir. Ama hiçbir araç sabit hızda sürülemez, özellikle yol seviyesi ve hava şartları aynı olmaz. Aracın test yapılırken bazı şartlar göz önüne alınmazsa bu testin gerçekçi olduğu düşünülemez. Bu şekilde yapılan testin vermiş olduğu değerler tartışılabilir.

İkinci test tekniği, elektrikli aracın değişen hız profili ile gerçekte ya da simülasyon ortamında sürülmesi ile yapılır ve oldukça yararlı ve karmaşıktır. Bu test tekniği bazı durumlar için geliştirilebilir. Bu test tekniği ile farklı şartlar altında gerçekçi bir sürüş gerçekleştirilmesi yapılır. Bu test tekniği boyunca elektrikli aracın hızı sabit şekilde değişir ve aynı zamanda sistemin tüm parçalarının performansı çok karmaşık olarak değişir. Ama modern bilgisayar programları yardımıyla bu karmaşık durumdan kurtularak testin başarılı şekilde çözümü yapılır.

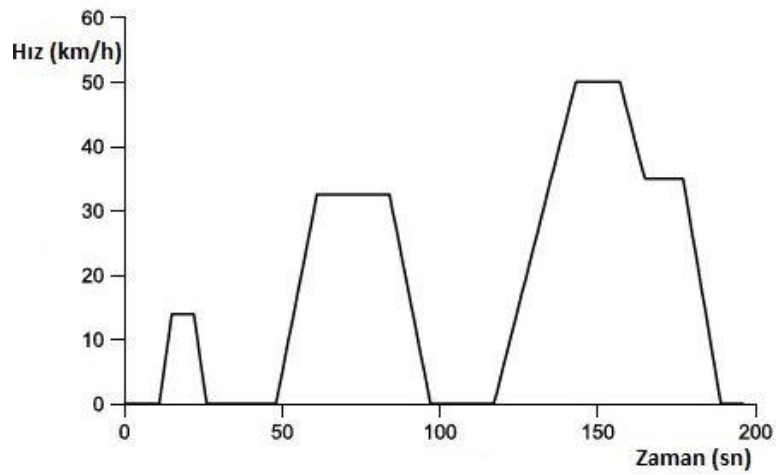
Bu test doğru ve gerçek değerler verebilmesi için elektrikli aracın hız profiline ihtiyaç vardır. Çok iyi bilinen karbon emisyonlarını en aza indirenmiş standart üç adet hız profili (ECE-15, FUDS ve SFUDS hız profilleri) mevcuttur. Bu standart hız profilleri modellenmiş araç üzerinde matlab programı yardımıyla uygulanarak aracın menzilin hesabı yapılabilir. Hız profilleri sonucunda elde edilen veriler değerlendirilerek hangi aracın ne kadar mesafe gidebileceği ve ne kadar enerji harcayacağı bilinmiş olur. Bu üç farklı hız profilinin hız değerleri her saniye için farklılık göstermektedir. Anlık olarak her saniyedeki aracın hızı bilinmekte olup aracın her saniyede harcadığı enerji ve gidebileceği mesafe bulunmuş olur.



Şekil 2.3. Şehir içi EA için standart sürüş profili (FUDS).



Şekil 2.4. Tramvay için standart sürüş profili (SFUDs).



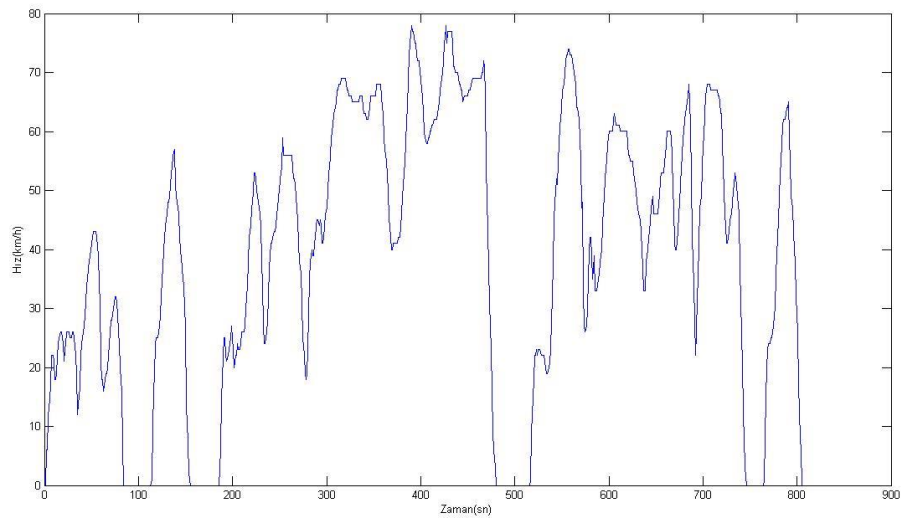
Şekil 2.5. Avrupa'da şehir içi EA için standart sürüş profili (ECE-15).

Yüksek lisans tezi kapsamında incelenen elektrikli araç için uygulanacak olan test, bir kişinin şehir içerisindeki günlük ev ve işyeri arasındaki mesafedeki hız profili elde edilmiştir. Bu hız profili iki farklı durum için elde edilmiştir. Birincisinde, aracın hızlanması normal şartlar altında gerçekleştirilmiş olup ani olarak hızlanmalardan kaçınılmıştır. Yani aracın bataryadan çekeceği akımın fazla olmaması ve elektrik motoruna ani yüklemeler olması için normal mod da araç sürülerek bir hız profili elde edilmiştir. İkincisinde, ani hızlanmalar yapılarak aracın durgun halden hareketli duruma geçmesi esnasında aracın hızında anlık yükselmeler olmuştur. Bu durumdaki hız profili aracın bataryadan harcayacağı enerjinin yüksek olması gerektiği düşünülmektedir. Bu durumun oluşmasına ise ani hızlanmalarda bataryadan çekilen akımın yüksek olması

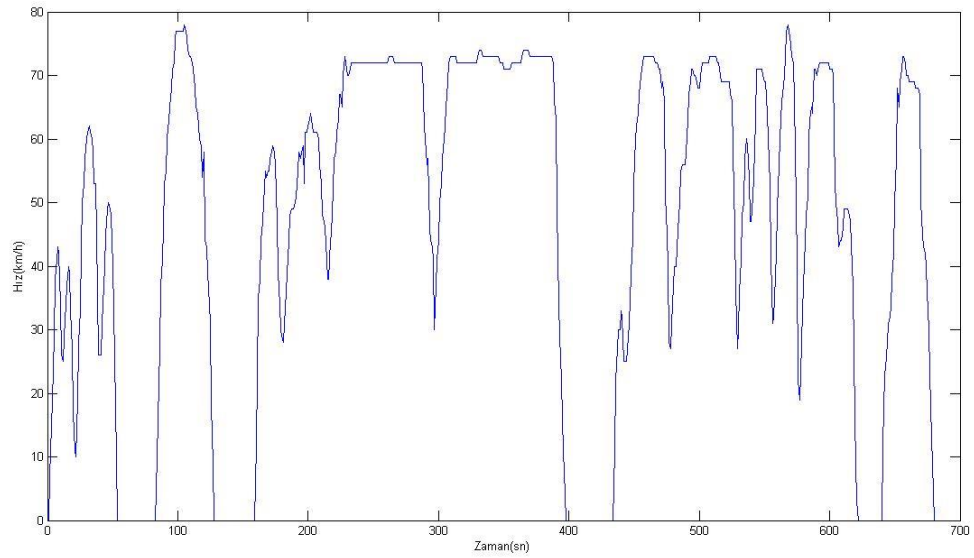
nedeniyle hem bataryadan harcanan enerji yüksek olur hem de bataryanın hızlı şekilde ısınmasına neden olduğu düşünülmektedir. Bu iki hız profili için matlab programı yardımıyla test gerçekleştirilmiştir. İki farklı hız profili için harcanan enerji ve gidilebilecek mesafe karşılaştırılacaktır. Aşağıda şekil 2.7 ve 2.8’de iki farklı hız profili belirlenen bir rota üzerinden araçla yaklaşık olarak kez her iki hız profili içinde yapılan hareket sonucunda oluşturulmuş hız profilleri vardır. Her iki hız profili için belirlenen rota üzerinden hız değerleri alınmıştır.



Şekil 2.6. EA simülasyonu için belirlenmiş rota.

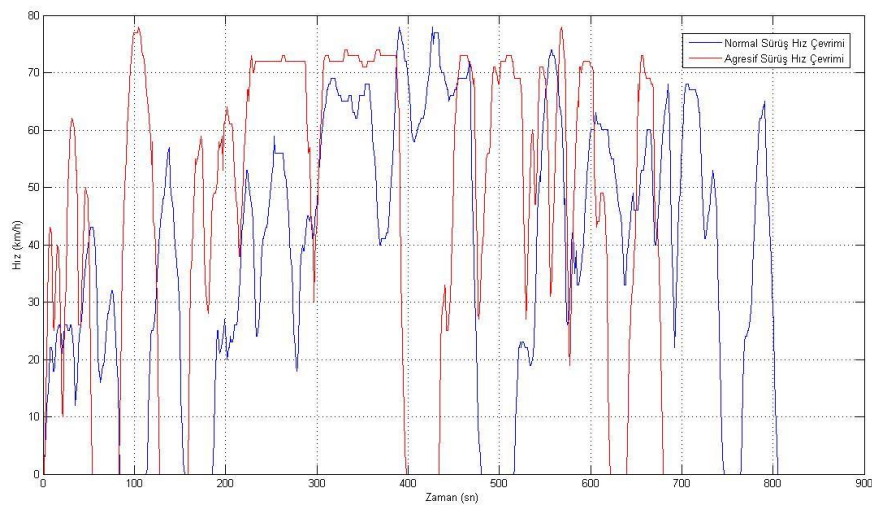


Şekil 2.7. Rota üzerindeki normal sürüş için elde edilen hız profili.

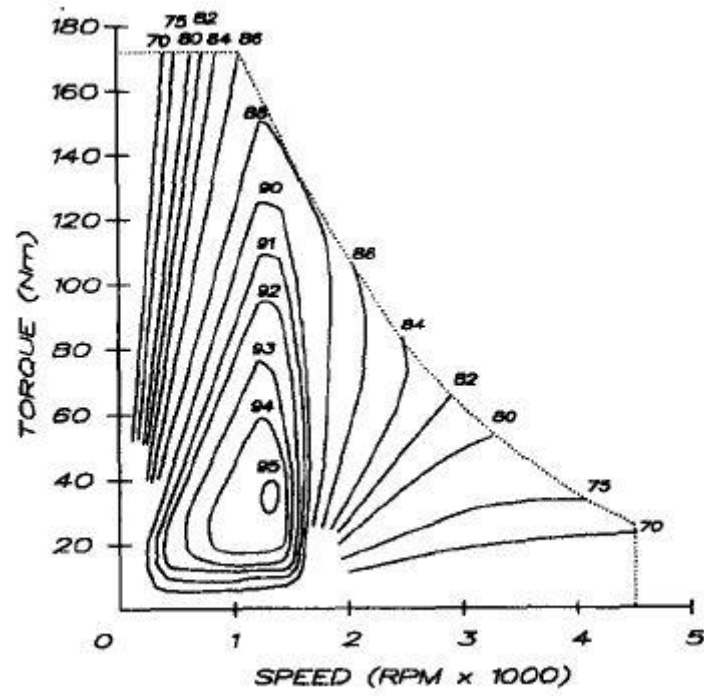


Şekil 2.8. Rota üzerindeki agresif sürüş için elde edilen hız profili.

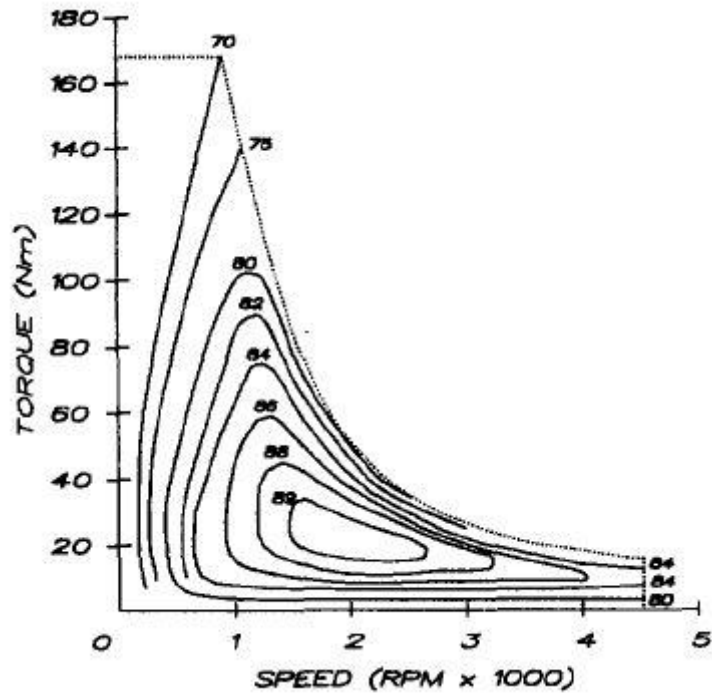
Elektrik motorlarının çalışma şartlarına bağlı olarak verimliliğinin değiştiği bilinmektedir. Bu nedenle EA'nın hızına ve yükleme şartlarına bağlı olarak kullanılacak olan her iki elektrik motoru için verimlilik değerleri her iki motorun verimlilik haritaları kullanılarak hesaplanacaktır. İki farklı elektrik motoruna ait verimlilik haritaları aşağıdaki gibidir. Verimlilik haritaları kullanılarak iki farklı elektrik motoru için rota üzerinden belirlenen iki farklı hız profili için elektrik motorunun veriminin anlık olarak verim değeri bulunmuştur.



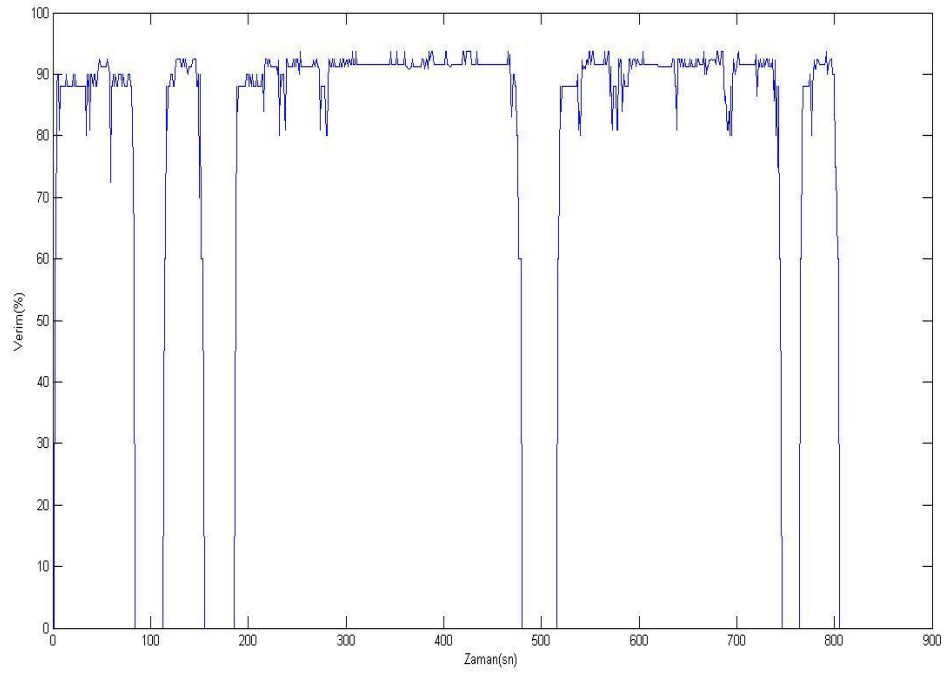
Şekil 2.9. Her iki hız profili için hız-zaman karakteristiği



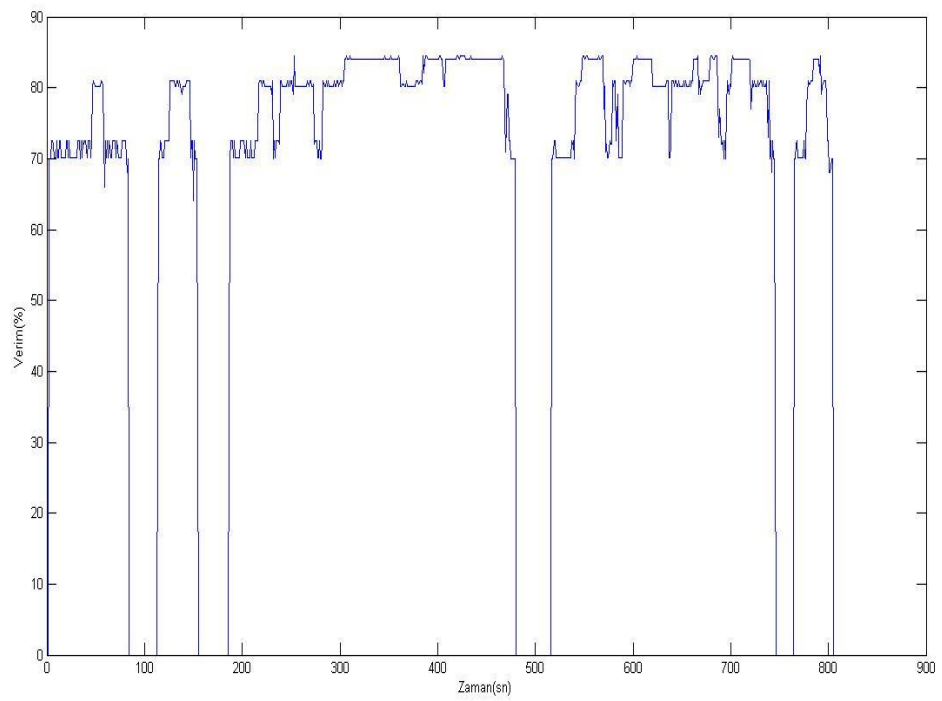
Şekil 2.10. Kalıcı mıknatıslı DC motor için standart verimlilik haritası[42].



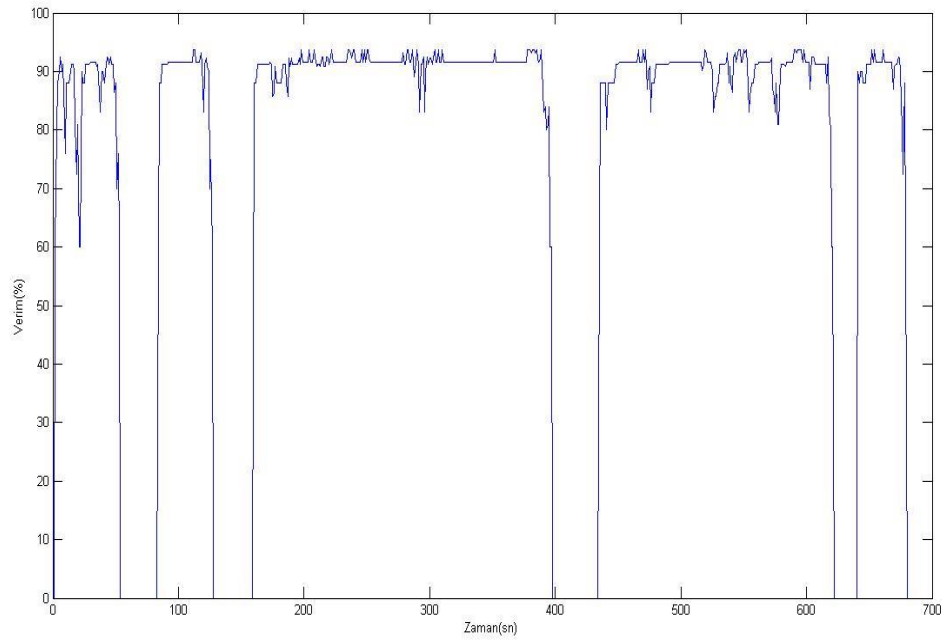
Şekil 2.11. Asenkron AC motor için standart verimlilik haritası[42].



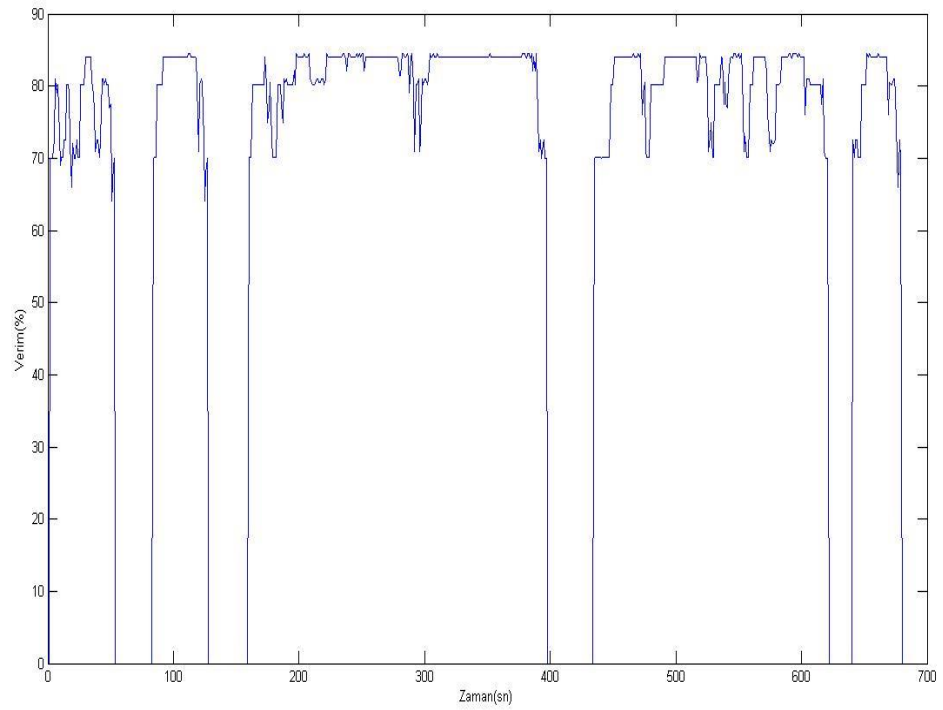
Şekil 2.12. Kalıcı mıknatıslı DC motorun normal sürüş için anlık verim karakteristiği.



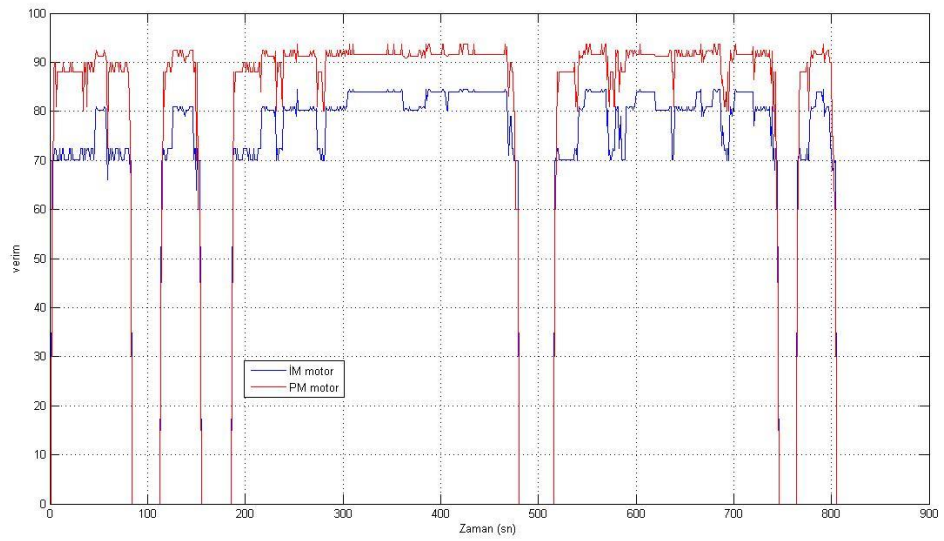
Şekil 2.13. Asenkron AC motorun normal sürüş için anlık verim karakteristiği.



Şekil 2.14. Kalıcı mıknatıslı DC motorun agresif sürüş için anlık verim karakteristiği.

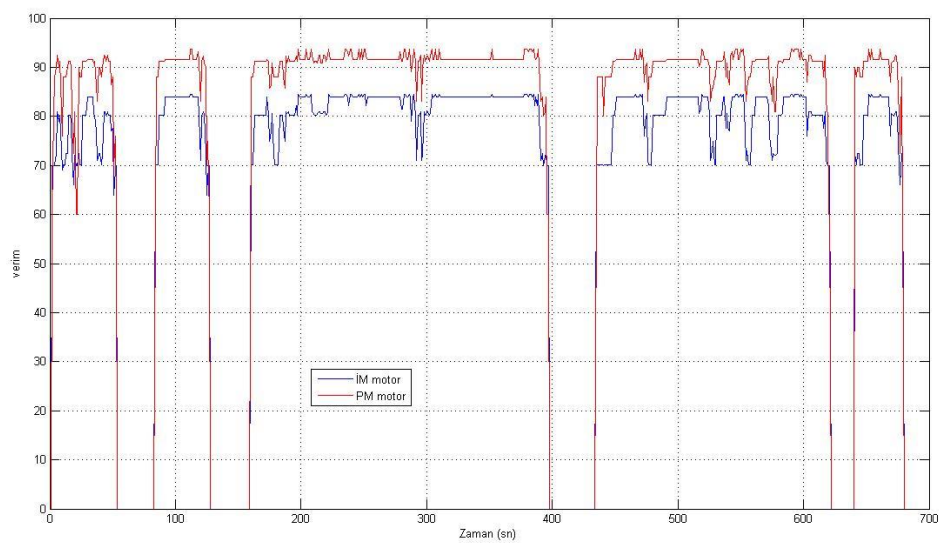


Şekil 2.15. Asenkron AC motorun agresif sürüş için anlık verim karakteristiği.



Şekil 2.16. Normal sürüş profilinde elektrik motorlarına ait verimlilik karakteristiği.

İki farklı hız profili (normal ve agresif sürüş) için elektrik motorlarının anlık verimlilik değerleri bulundu. Elde edilen verimlilik değerleri ile her iki motor için anlık olarak harcanan enerji, güç ve tork gibi EA'a ait değerler bulunacaktır. Belirlenmiş rota üzerinde kent içi EA'nın toplam harcadığı enerji, tork ve güç değerleri bulunacaktır. Elde edilen sonuçlar karşılaştırılarak hangi elektrik motorunun daha verimli ve daha az enerji harcadığı elde edilmiş olacaktır.



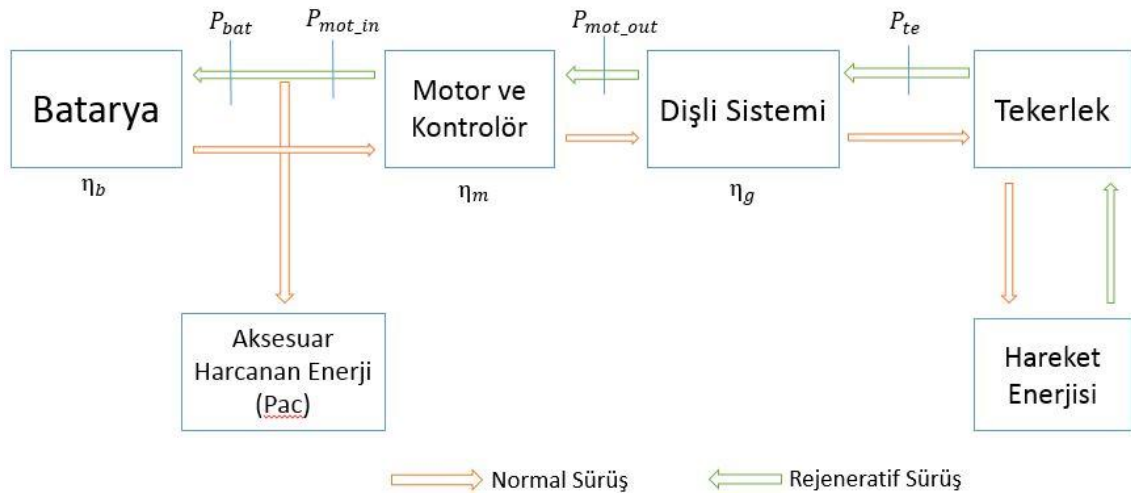
Şekil 2.17. Agresif sürüş profilinde elektrik motorlarına ait verimlilik karakteristiği.

2.5. Elektrikli Aracın Güç Sisteminin Modellenmesi

Klasik bir elektrikli araç ta enerji akışı aşağıda gösterildiği gibidir. Her iki hız profili içinde harcanacak enerjiyi ve gidilebilecek mesafeyi (menzil) tahmin etmek için enerji akışının iyi bilinmesi ve belirlenmesi gerekir. Enerji akışı batarya bitene kadar sürekli tekrar eder. Enerji akışının hesaplanabilmesi için EA'nın çekiş gücünün bulunması gerekir. EA'nın çekiş güç kuvvetinin nasıl bulunacağı yukarıda hesaplanmıştır. EA'nın çekiş gücü ise elde edilen kuvvet ile hızın çarpılmasıyla EA'nın çekiş gücü elde edilir. Böylece, enerji akışındaki verimlilik değerleri ile bir EA'nın hareket etmesi için gerekli olan güç ve her saniye için gerekli olan güç bulunur.

$$\text{Her saniyede gerekli Enerji} = \text{Güç} = P_{te} = F_{te} * v \quad (2.15)$$

EA'nın her saniye harcadığı güç ile enerji aynıdır. Hareket halinde her saniyede bataryadan harcanan enerjiyi bulmak için açıkçası enerji akışında gösterildiği gibi her noktadaki verimlilik değerleri dikkate alınmalıdır. Bulunmuş olan çekiş gücünün verimlilik değerleri hesaplanarak yeniden oluşturulmalıdır. Elektrik motorundaki kayıplar ve diğer elektronik sistemdeki kayıplar dikkate alınır.



Şekil 2.18. Rejeneratif frenlemeye sahip EA için enerji akışı.

EA'da kullanılan dişli sisteminin verimi (η_g) normalde sabit olarak kabul edilmiştir. Çünkü elektrikli araçlarda tek dişli sistemi kullanılır. Bu nedenle bizim EA içinde tek dişli sistemi kullanılmış olup dişli sistemi verimi sabit alınmıştır. Kullanılan dişli sistemi çok basit olmasından dolayı verimliliği çok yüksek olmuştur.

EA'da elektrik motorunun verimliliği (η_m) ve onun kontrolü beraber düşünülür. Çünkü elektrik motorunun verimliliği tüm sistemin verimliliğinin hesaplanması için çok uygundur. Motor verimliliğinin hesaplanması çok karmaşık olmaması nedeniyle hesaplamalar çok kolay şekilde yapılır. Elektrik motorunun verimliliği daha önce de bahsedildiği gibi uygulanacak güce, torka ve motorun boyutuna göre değişir. Bu şartlar dikkate alındığında elektrik motorunun verimliliği aşağıdaki eşitlikle bulunur.

$$\eta_m = \frac{Tw}{T*W+k_c*T^2+k_i*W+k_w*W^3+C} \quad (2.16)$$

Burada k_c elektrik motorundaki bakır kayıplarının katsayısı, k_i demir kayıplarının katsayısı, k_w hava sürtünme katsayısı ve C herhangi bir hızda meydana gelen sabit kayıplar katsayısıdır. Bu kayıpların değerleri iki elektrik motoru için şöyledir.

Tablo 2.2. İki farklı elektrik motoru için kayıp değerleri

Parametreler	BLDC Motor	Asenkron Motor
Kc	1,5	0,3
Ki	0,1	0,01
Kw	10^{-5}	$5,0 \times 10^{-6}$

EA'daki elektrik motorunun, kontrol sisteminin ve dişli sisteminin verim değeri olmaması, motor gücünün hareketi sağlayan itiş gücü yine de aynı olmaz ve motor tarafından gerek duyulan elektriksel güç, aşağıda gösterildiği gibi mekanik çıkış gücünden daha büyüktür.

$$P_{mot_giriş} = \frac{P_{mot_çıkış}}{\eta_m} \quad P_{mot_çıkış} = \frac{P_{te}}{\eta_g} \quad (2.17)$$

EA'da elektrik motoru aracı yavaşlatmak için kullanılırsa, verimlilik artı yönde bir etki oluşturur. Motorun elektriksel gücü azalır ve güç eşitliği aşağıdaki gibi olur. Regeneratif frenlemede motor gücünün hesaplanmasında aşağıdaki formüller kullanılır. Normal sürüşte aracın toplam gücünü bulmak için yukarıdaki formüller kullanılır. Aracın yavaşlamasında güç ve verim değeri değişkenlik göstermektedir. Aracın hızlanmasında verimlilik eksi değer katarken aracın yavaşlamasında verimlilik değeri artı değer oluşturur. Sonuçta regeneratif frenleme esnasında aracın güç sistemi aşağıdaki gibi olur.

$$P_{mot_giriş} = P_{mot_çıkış} * \eta_m \quad P_{mot_çıkış} = P_{te} * \eta_g \quad (2.18)$$

Bu eşitlikler elektrik motoru için elektriksel ve mekanik gücü elde etmek için kullanılır. Aynı zamanda elektrikli araçlarda harcanan enerji bulmak için aydınlatma sistemleri, aksesuarlar(radyo, müzik çalar vb.) ve göstergeler gibi diğer elektronik sistemler için harcanan enerjiyi de dikkate alınmalıdır. Ortalama bir güç değeri bu ekipmanlar için harcanmış kabul edilerek bataryadan harcanan enerji ve güç bulunur. Kabul edilen ortalama bir güç değeri elektrik motor gücüne eklenerek bataryadan harcanan toplam güç bulunmuş olur. Dikkat edilmesi gereken şey, frenleme yapılması esnasında yani rejeneratif frenleme olduğunda motor gücünün eksi yönde olacağı ve böylece toplam güç değerinin azalacak olmasıdır. Yani toplam güç değeri için aşağıda verilmiş olan formül değeri frenleme esnasında değişecek olup böylece frenleme olduğunda bataryadan enerji harcanması olmaz ve batarya ya enerji depolanması sağlanacaktır.

$$P_{bat} = P_{mot_giriş} + P_{ac} \quad (2.19)$$

EA bataryaları için akım denklemleri

$$I = \frac{E - \sqrt{E^2 - 4RP}}{2R} \quad (2.20)$$

$$I = \frac{-E + \sqrt{E^2 + 4RP}}{2R} \quad (2.21)$$

$$CR_{n+1} = CR_n - \frac{\delta t x I}{3600} Ah \quad (2.22)$$

$$DOD_n = \frac{CR_n}{C_p} \quad (2.23)$$

Bataryadan harcanan ve depolanan enerji akışının simülasyonu özetle şöyle açıklanabilir.

- 1- Bataryanın şarj durumuna bağlı olarak açık akım batarya voltajını hesaplamak
- 2- Batarya akımının belirlenmesinde denklem 2.20 kullanılır. Fakat P_{bat} eksi olmazsa, denklem 2.21 kullanılır.
- 3- Batarya gücü eksi ve batarya şarj oluyorsa, denklem 2.22 kullanılarak batarya akımı bulunur.
- 4- Batarya deşarj durumunda ve sonra şarj olacaksa denklem 2.23 kullanılarak batarya akımı kullanılır.

Batarya tamamen deşarj olmadığı durumda, tüm süreç daha sonra her saniye için tekrar etmesi gerekir.

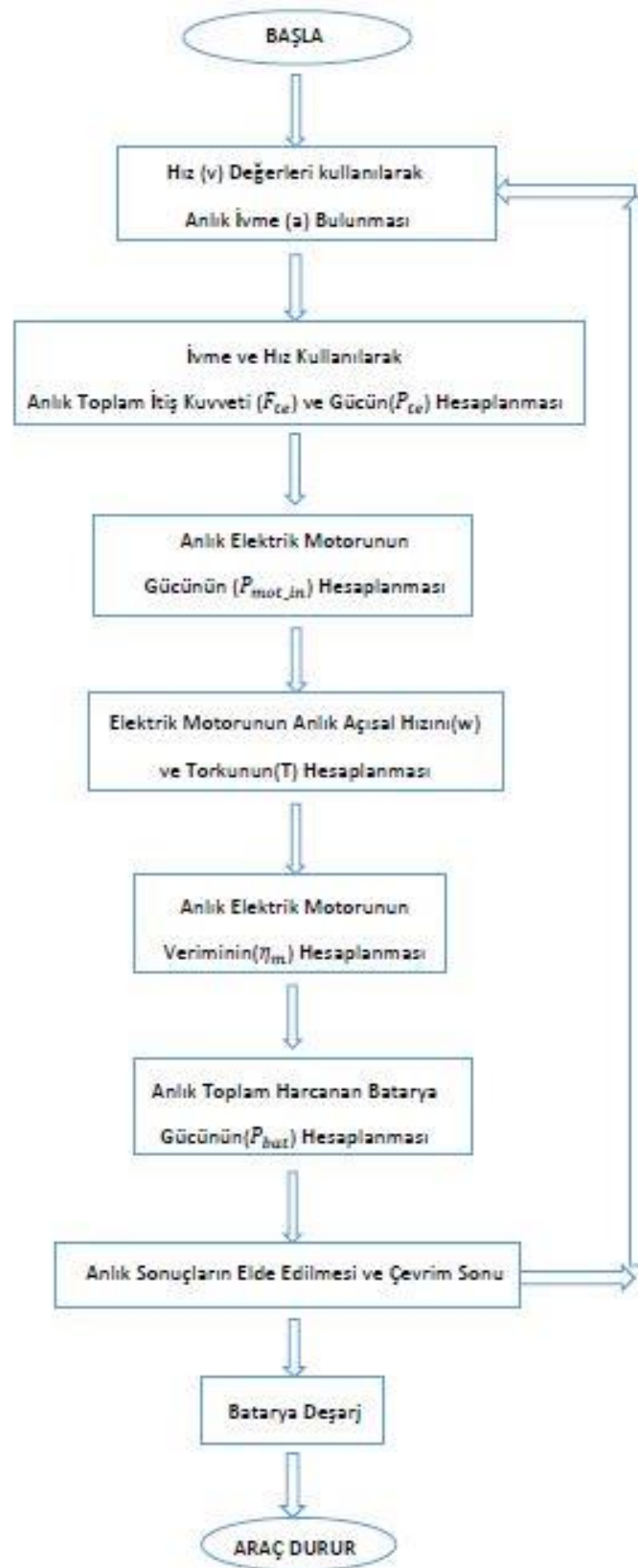
2.6. Elektrikli Aracın Matlab’de Simülasyonunun Yapılması

Kent içi bireysel taşıt projesi için tasarımı yapılması planlanan elektrikli araç için türetilen bütün denklemler elektrikli aracın devam edebilmesi için belirlenir. Bataryanın tamamen deşarj olmadan önce elektrikli araç için uygulanacak sürüş profillerini denklemler üzerinde adım adım uygulayarak bataryadan harcanan enerji ve aracın gidebileceği mesafe bulunacaktır. Matlab programında uygulanan adımlar şekil 2.19’daki gibi sıralanabilir.

İlk aşamada kullanılacak sürüş profili için hız verileri matlab programına yüklenir. Genellikle bu dosya ayrı matlab dosyası olarak kaydedilir. Devamında elektrikli araca ait kütle, batarya boyutu ve tipi gibi EA parametreleri yüklenir. Yukarıda verilmiş olan elektrikli araç parametreleri kent içi bireysel taşıt projesinde kullanılan EA tasarımı için oluşturulmuş ve simülasyonda kullanılmıştır. Elektrikli araçta aksesuarlar için harcanan elektriksel güç simülasyonda kullanılmıştır. Matlab programı ile her bir çevrim sonunda elde edilen saniyedeki harcanan gücü ve depolanan gücü veri olarak her saniye için depolanır.

Sonuçta elde edilen veriler kullanılarak bataryadan harcanan enerji toplamı, bataryanın deşarj olma miktarını ve seyahat edilen mesafe bulunur. Her bir çevrim için ayrı ayrı matlab programı ile hesaplanır. Aynı zamanda elde edilen veriler ile her saniyedeki ve her çevrim için toplam ve anlık olarak tork değeri, motor gücü ve batarya akımı gibi değerler bulunur. Her çevrim için elde edilecek veriler grafik üzerinden elde edilecektir. Elde edilen grafikler kullanılarak yorumlanacaktır.

Matlab programında simülasyon, araca ait iki farklı hız profili için çalıştırılırsa, aracın hızlanma ivmesi, çekiş gücü, motorunun gücü, tork ve hızı belirlenecektir. Böylece motora verilen elektriksel güç bulunarak motorun verimliliği bulunabilir. Aksesuar gücü motor gücüne eklenerek bataryanın gücü bulunabilir. Bataryanın şarj durumu hesaplanabilir.



Şekil 2.19. EA için simülasyon akış şeması.

2.7. EA Simülasyonunun Matlab de Kodlanması

EA'ın durgun halden hareket edebilmesi için gerekli olan bütün kuvvetler daha önce bulunmuştu. Bütün kuvvetlerin hız profili kullanılarak matlab programında m-file dosyasında simülasyon modeli oluşturulacaktır. Öncelikler rota üzerinden alınmış hız-zaman grafiğinin matlab programına yüklenmesi gerçekleştirilecektir. Ayrıca kent içi EA için tasarım parametreleri girdi olarak kullanılacaktır. Her saniye için elde edilen hız profili kullanılarak anlık ivme, güç ve tork değeri bulunacaktır. Motor verimliliği her motor çeşiti için ve motorun anlık yüklemelerine göre değişkenlik göstermektedir. Motor verimi için kalıcı mıknatıslı DC motor ve asenkron motor için standart verimlilik haritaları kullanılarak elde edilecek anlık verimlilik grafiği kullanılarak motorun anlık gücü bulunacaktır. Matlab m-file dosyası aşağıda verilmiştir.

% Kent içi EA projesi için simülasyon modeli,

Load V

T=linspace(0,15,lenght(v))

dT=0.1

for n=1:lenght(v)

if v(n)<19.8

v(n+1)=v(n)+dT*(3.11+(0.000137*(v(n)^2)));

elseif v(n)>35.8

v(n+1)=v(n);

else

v(n+1)=v(n)+dT*((62.1/v(n))-0.046-(0.000137*(v(n)^2)));

end;

end;

v=v.*3.6

plot(t,v)

```

xlabel('Zaman/saniye');

ylabel('hız(km/h)');

title('EA için hız-zaman grafiği');

n=length(v);

v=v./3.6;

% Bir çevrim için simülasyon modeli

For c=2:n

ivme=v(c)-v(c-1);

Fad=0.5*1.25*area*cd*v(c)^2;

Fhc=0;

Fla=1.05*m*ivme;

Pte=(Frr+Fad+Fhc+Fla)*v(c);

omega=gratio*v(c);

if omega==0

Pte=0;

Pmot_in=0;

T=0;

E_mot=0.5;

elseif omega>0;

if Pte<0

Pte=R_oran*Pte;

End;

If Pte>=0

Pmot_out=Pte/G_e;

```

```

elseif Pte<0

Pmot_out=Pte*G_e;

End;

T=Pmot_out/omega;

If T>0

E_mot=(T*omega)/((T*omega)+((T^2)*kc)+(omega*ki)+((omega^3)*kw)+Cc);

elseif T<0

E_mot=(-T*omega)/((-T*omega)+((T^2)*kc)+(omega*ki)+((omega^3)*kw)+Cc);

End;

If Pmot_out>=0

Pmot_in=Pmot_out/E_mot;

elseif Pmot_out*E_mot;

end;

end;

Pbat=Pmot_in+Pac;

If B_type=='Lit-ion'

E=O_cvL(Dod(c-1),ncs);

elseif B_type=='LA'

E=O_cvLa(Dod(c-1),ncs);

end;

if Pbat>0

I=(E-((E*E)-(4*Ri*Pbat))^0.5)/(2*Ri);

Cr(C)=Cr(c-1)+((I^k)/3600);

elseif Pbat==0

```

```

I=0;

elseif Pbat<0

Pbat=-1*Pbat;

I=(-E+(E*E+ (4*2*Ri*Pbat))^0.5)/(4*Ri);

Cr(c)=Cr(c-1)-(I/3600);

End;

Dod(c)=Cr(c)/Pcap;

If DoD(c)>1

DoD(c)=1;

End

D(c)=C(c-1)+(v(c)/1000);

Xdata(c)=c;

Ydata(c)=E_mot;

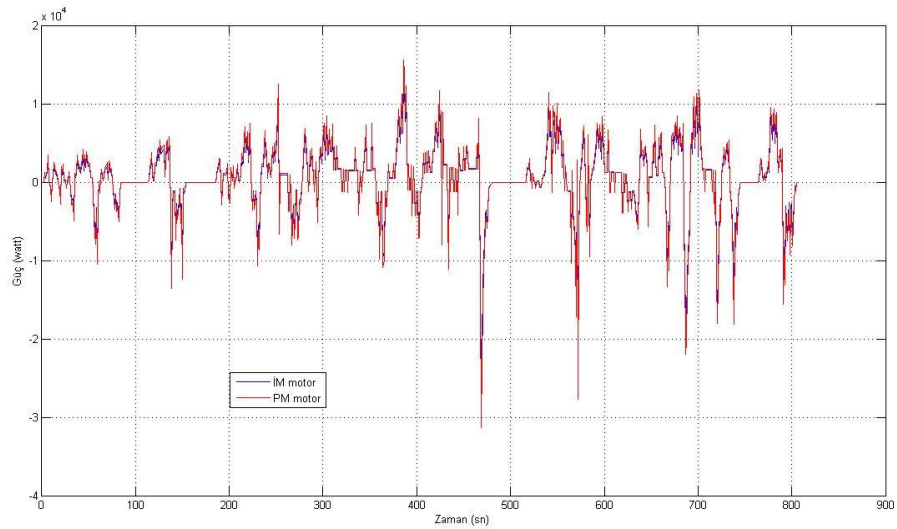
End

```

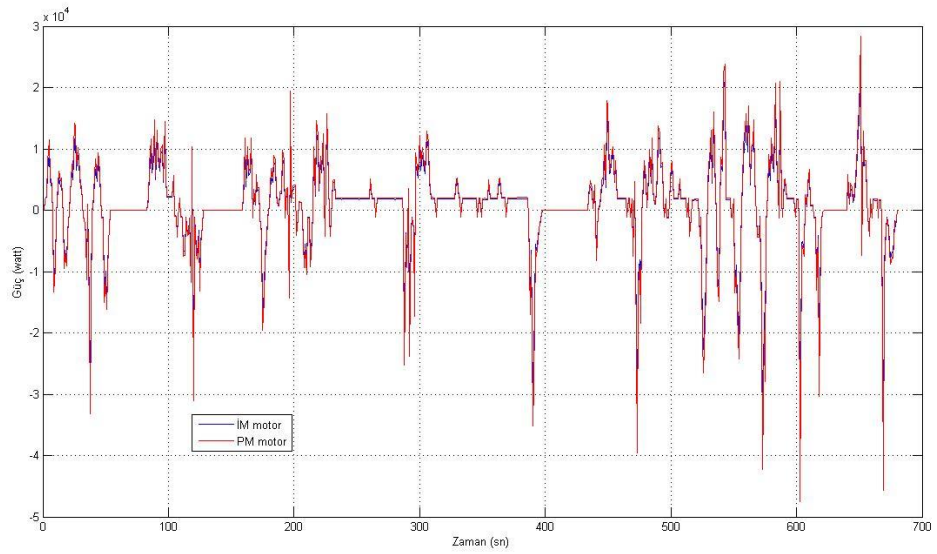
3. BÖLÜM

SİMÜLASYON ÇALIŞMASI

Kent içi EA simülasyonu yapılmış olup EA'a ait tork, güç ve harcanan batarya enerjisi gibi grafikler elde edilmiştir. Elde edilen grafikler aşağıda gösterilmiştir. İki sürüş cevrimi için ve iki farklı elektrik motoru (Kalıcı mıknatıslı DC motor ve asenkron AC motor) için tork, güç ve harcanan enerjiye ait grafikler yer almıştır. Bu veriler karşılaştırılarak projemizde prototipi yapılacak olan kent içi elektrikli aracımız için daha uygun olan elektrik motorunun kullanılması gerektiği bulunacaktır. Her iki elektrik motoru için elde edilen hız profilleri önceki bölümlerde elde edilmişti. Ayrıca her iki elektrik motoru için verimlilik haritaları kullanılarak EA'nın normal ve agresif sürüş profili için anlık verim karakteristik değerleri bulunmuştu. Elde edilen değerler kullanılarak EA'a ait tork, güç ve harcanan enerji miktarına ile ilgili değerler aşağıdaki şekil 3.1 ve 3.2'deki gibi bulunmuştur.



Şekil 3.1. Normal sürüş profilinde elektrik motorlarının harcadığı enerji.



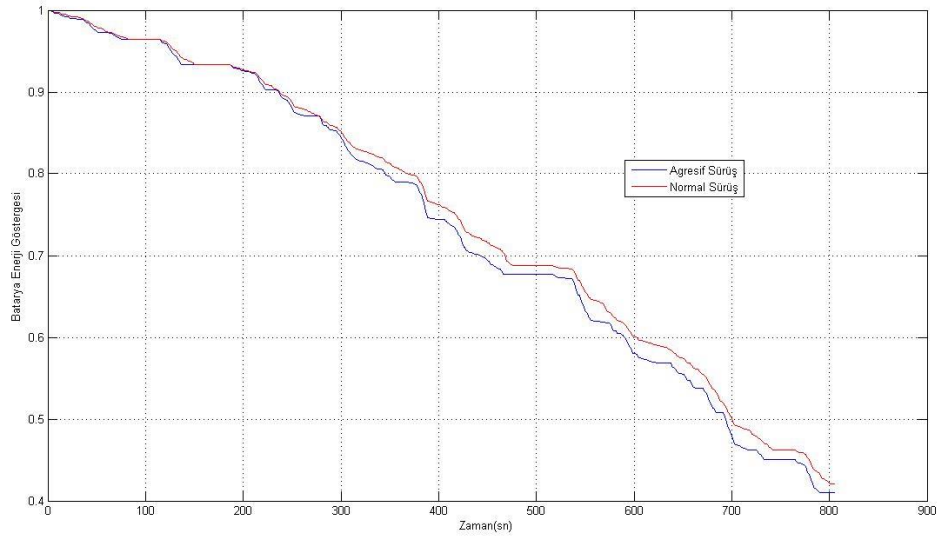
Şekil 3.2. Agresif sürüş profilinde elektrik motorlarının harcadığı enerji.

her iki motorun harcadığı toplam enerji, her saniyede harcanan enerji miktarı toplamı bulunmuştur. Her iki hız profili ve elektrik motoruna ait toplam harcanan enerji miktarı aşağıdaki tablo 3.1’de gösterilmiştir.

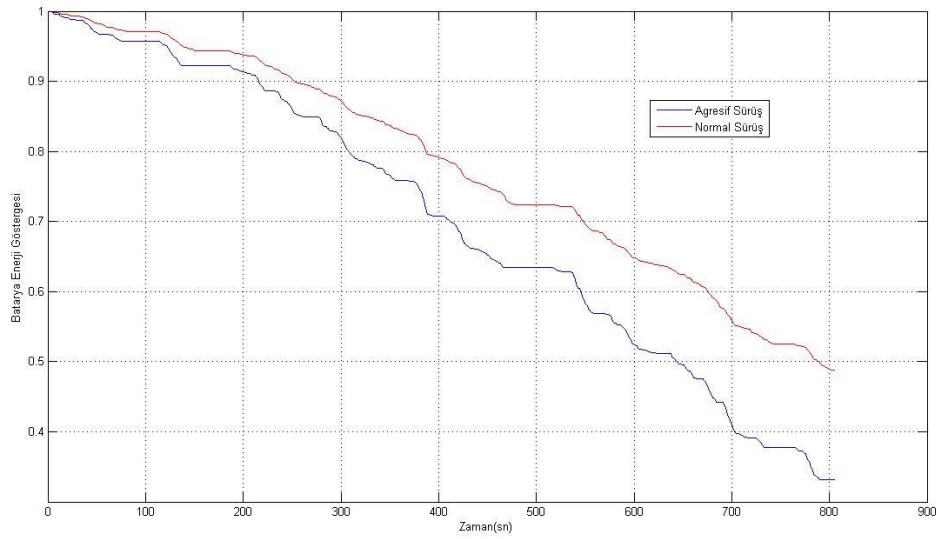
Tablo 3.1. Simülasyon sonunda her iki hız profili ve elektrik motoru için toplam harcanan enerji miktarı.

	Asenkron AC Motor $\sum P_{bat,AC\ motor}$	Kalıcı Mıknatıslı DC Motor $\sum P_{bat,DC\ motor}$
Normal Sürüş Hız Profili	4,40 kw	4,95 kw
Agresif Sürüş Hız Profili	4,96 kw	5,53 kw

Simülasyon sonucunda her iki hız profili ve elektrik motoru için bataryadaki kalan enerji miktarına ilişkin veriler elde edilmiştir. Bataryadan harcanan güç yardımıyla her iki motor için bataryanın kullanımı sonucunda kalan enerji miktarları bulunmuştur. Bataryadaki kalan enerji miktarları sürüş profillerine göre farklılık göstermektedir. Bulunan sonuçlar aşağıda şekil 3.3 ve 3.4’de gösterilmiştir.



Şekil 3.3. Kalıcı mıknatıslı DC motor için batarya göstergesi.



Şekil 3.4. Asenkron AC motor için batarya göstergesi.

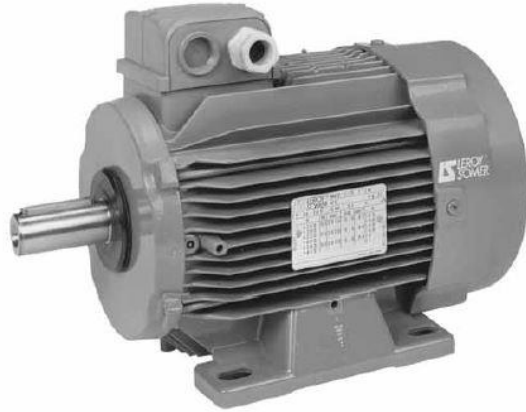
Sonraki bölümde simülasyon sonucunda her iki çevrim ve elektrik motoruna ait elde edilen veriler karşılatılarak, değerlendirilecektir. Sonuçta bu çalışmada kullanılan her iki elektrik motoru için elde edilen sonuçlar karşılaştırılarak hangi elektrik motorunun şehir içerisinde elektrikli araç kullanımına uygun olduğu belirlenecektir. Şehir içi elektrikli araç kullanımına uygun elektrik motoru san-tez projesi kapsamında üretilen EA için kullanılacaktır.

4. BÖLÜM

TARTIŞMA, SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında, Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı tarafından yürütülen San-Tez projesi kapsamındaki “Kentiçi Bireysel Elektrikli Taşıt” projesi için prototipi üretilen elektrikli aracın motor tipinin belirlenmesi için matlab programında EA’nın simülasyon modeli oluşturulmuştur. Simülasyon modelinde iki çeşit hız profili kullanılmıştır. İki farklı hız profili için belirlenen rota üzerinden hız değerleri alınmıştır. Her hız değerleri için oluşturulmuş olan hız-zaman grafiği simülasyon modelinde sayısal ve deneysel çalışmalar yapılmış olup EA için uygun motor tipi belirlenmiş ve EA’nın bataryadan harcadığı gücü ve gidilebileceği mesafe ölçülmüştür. Üzerinde çalışılan her iki motor tipi için elde edilen sonuçlara göre;

- Asenkron AC elektrik motoru her iki sürüş profili içinde kalıcı mıknatıslı DC motordan daha iyi olduğu sonucuna ulaşıldı.
- EA’nın frenlemesi esnasında Asenkron AC motorun batarya’ya geri dönüştürdüğü enerji miktarı, kalıcı mıknatıslı DC motora göre daha fazla olduğu sonucuna ulaşıldı.
- EA’larda asenkron AC motorun kullanımının gidilebilecek mesafe ve harcanabilecek enerji miktarı açısından daha uygun olduğu sonucuna ulaşıldı.



Şekil 4.1. Kent içi bireysel taşıt projesinde kullanılan asenkron AC motor.



Şekil 4.2. Kent içi bireysel taşıt projesi için prototipi üretilen elektrikli araç.



Şekil 4.3. Kent içi bireysel taşıt projesi için prototipi üretilen elektrikli araç.

Sonuç olarak asenkron AC motorun, şehir içerisinde kullanılacak bir elektrikli araç için kalıcı mıknatıslı DC motora göre daha verimli olduğu ve uygun olduğu sonucu elde edildi. Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı tarafından yürütülen, San-tez projesi kapsamında üretilen elektrikli araç prototipinde Asenkron AC motorun kullanılmasına karar verilmiştir.

KAYNAKLAR

1. Kirsch, David A. (2000), The Electric Vehicle and the Burden of History, Rutgers University Press. Ss. 153-162. ISBN 978-0-8135-2809-0.
2. <http://bp.com/statisticalreview>, Erişim tarihi: Aralık 2014.
3. <http://www.reuters.com/article/2011/01/11/retire-us-autoshow-toyotaaidUSTRE70A4QY20110111>, Erişim tarihi: Eylöl 2014.
4. <http://www.businessweek.com/news/2010-12-08/toyota-adopts-tesla-laptop-strategy-for-electric-cars.html>, Erişim tarihi: Agustos 2014.
5. [http://green.autoblog.com/2010/12/30/report-tesla-model-s-will-be-profitable-thank s-to-cheaper-batte/](http://green.autoblog.com/2010/12/30/report-tesla-model-s-will-be-profitable-thank-s-to-cheaper-batte/), Erişim tarihi: Agustos 2014.
6. http://wheels.blogs.nytimes.com/2012/06/25/tesla-model-s-offers-a-lesson-in-electric-vehicle-economics/?ref=automobiles&_r=1, Erişim tarihi: Eylöl 2014).
7. http://belfercenter.ksg.harvard.edu/publication/21216/will_electric_cars_transform_the_us_vehicle_market.html?hq_e=el&hq_m=1303999&hq_l=5&hq_v=4613decb42, Erişim tarihi: Eylöl 2014.
8. [http://www.thinkev.com/Press/Press-releases/THINK-marks-Earth-Day-2010-with-the-release-of-CEO-Richard-Canny-s-Top-10-myths-about-electric-vehicles-bu sted!](http://www.thinkev.com/Press/Press-releases/THINK-marks-Earth-Day-2010-with-the-release-of-CEO-Richard-Canny-s-Top-10-myths-about-electric-vehicles-bu-sted!), Erişim tarihi: Eylöl 2014.
9. http://www1.eere.energy.gov/vehiclesandfuels/avta/pdfs/fsev/eva_results/ev1_eva.pdf, Erişim tarihi: Ekim 2014.
10. <http://www.fueleconomy.gov/feg/extremeMPG.jsp>, Erişim tarihi: Eylöl 2014.
11. <http://green.autoblog.com/2010/08/27/better-place-expands-tokyo-battery-swap-trials-taxis-have-chang/0>, Erişim tarihi: Agustos 2014.
12. <http://www.blinknetwork.com/pdf/Blink-DC-Fast-Charger.pdf>, Erişim tarihi: Eylöl 2014.
13. <http://www.theguardian.com/environment/2009/jul/17/realtime-carbon-counter>, Erişim tarihi: Eylöl 2014.
14. http://www.ucsusa.org/sites/default/files/legacy/assets/documents/clean_vehicles/electric-car-global-warming-emissions-report.pdf, Erişim tarihi: Ekim 2014.
15. http://www.nytimes.com/2012/04/15/automobiles/how-green-are-electric-cars-depends-on-where-you-plug-in.html?pagewanted=all&_r=0, Erişim tarihi: Ekim 2014.
16. http://www.ukerc.ac.uk/support/Electric_Vehicles, Erişim tarihi: Ekim 2014.
17. http://www.rec.org.tr/dyn_files/32/351-Oguz-Can-ISTAC.pdf, Erişim tarihi: Eylöl 2014.
18. <http://www.greencarcongress.com/2011/06/lowcvp-20110608.html>, Erişim tarihi: Ekim 2014.
19. <http://avt.inl.gov/fsev.shtml>, Erişim tarihi: Eylöl 2014.
20. <http://www.teslamotors.com/goelectric/efficiency>, Erişim tarihi: Eylöl 2014.
21. Hollembeak B., 2010, Automotive Electricity and Electronics, Delmar Cengage Learning, USA, 1298 s.

22. Leitman S., Brant B., 2009, Build Your Own Electric Vehicle, The McGraw-hill Companies, New York, 357 s.
23. Stephen L. Herman, 2009, Electric Motor Control, The McGraw-hill Companies, New York, 473 s.
24. Larminie J. ve Lowry J., 2003, Electric Vehicle Technology Explained, John Wiley Sons Ltd., İngiltere, 303 s.
25. Sarıoglu K., 1983, Elektrik Makinalerinin Temelleri, Çağlayan Basımevi, İstanbul, 342 s.
26. Ehsani M, Gao Y., Emadi A., 2010, Modern Electric, Hybrid Electric and Fuel Cell Vehicle, Taylor and Francis Group, Teksas, 558 s.
27. Fuhs A. E., 2009, Hibrid Vehicles, Taylor and Francis Group, Teksas, 505 s.
28. Dhameja S., 2002, Electric Vehicle Battery Systems, Newnes, New Delhi, 240 s.
29. Sinoquet, D., Rousseau, G., Milhau, Y. (2011), Design optimization and optimal control for hybrid vehicles, **Optimization and Engineering**, **12**, pp199-213.
30. Wu, X., Cao, B., Li, X., Xu, J., Ren, X. (2011) Component sizing optimization of plug-in hybrid electric vehicles, **Applied Energy**, **88**, pp.799-804.
31. Trine, T., Kristoffersen, K., Capion, K., Meibom, P. (2011), Optimal charging of electric drive vehicles in a market environment, **Applied Energy**, **88**, pp.1940-1948.
32. Li; Z., Sahinoglu, Z., Tao Z., Teo, 2010, Electric Vehicles Network with Nomadic Portable Charging Stations, *Vehicular Technology Conference Fall*, pp.1-5, 6-9.
33. Kojima, T., Ishizu, T., Horiba, T., Yoshikawa, M., 2009, Development of lithium-ion battery for fuel cell hybrid electric vehicle application, **Journal of Power Sources**, **189**, pp.859-863.
34. Lam, L.T., Louey, R., 2006, Development of ultra-battery for hybrid-electric vehicle applications, **Journal of Power Sources**, **158**, pp.1140-1148.
35. Kohno, K., Koishikawa, Y., Yagi, Y., Horiba, T., 2008, Development of an Aluminum-laminated Lithium-ion battery for Hybrid electric vehicle application, **Journal of Power Sources**, **185**, pp.554-558.
36. Peng, D., Zhang, Y., Yin, C., Zhang, J., 2008, Combined control of a regenerative braking and antilock braking system for hybrid electric vehicles, **International Journal of Automotive Technology**, **9**, pp. 749-757.
37. Xiao, W., Wang, F., Zhuo, B., 2008, Regenerative braking algorithm for an ISG HEV based on regenerative torque optimization, **Journal of Shanghai Jiaotong University**, **13**, pp.193-200.
38. Ahn, J., Jung, K., Kim, D., Jin, H., Kim, H., Hwang, S, 2009, Analysis Of A Regenerative Braking System For Hybrid Electric Vehicles Using An Electro-Mechanical Brake, **International Journal of Automotive Technology**, **10**, pp.229 – 234.
39. Tsai, M.C., Huang, C.C., Huang, Z.Y., 2003, A new two-phase homopolar switched reluctance motor for electric vehicle applications, **Journal of Magnetism and Magnetic Materials**, **267**, pp.173-181.
40. S. Brisset, P. Brochet, 2005, Analytical model for the optimal design of a brushless DC wheel motor, **COMPEL: The International Journal for Computation and Mathematics in Electrical and Electronic Engineering**, **24**, pp.829 – 848.
41. Kim, M.S., Lee, K.S., Um, S., 2009, Numerical investigation and optimization of the thermal performance of a brushless DC motor, **International Journal of Heat and Mass Transfer**, **52**, pp.1589-1599.

42. D.F. Gosden, B.J. Chalmers, L. Musaba, 1994, Drive system design for an electric vehicle based on alternative motor types, *Power Electronics and Variable Speed Drives*, UMIST, UK.
43. X. D. Xue, K. W. E. Cheng ve N. C. Cheung, 2008, Selection of electric motor drives for electric vehicles, *Australasian Universiteis Power Engineering Conference*, Hong Kong, p-170 s.
44. K.M. Rahman, M. Ehsani, 1996, Performance analysis of electric motor drives for electric and hybrid electric vehicle applications, *IEEE*, Texas.
45. N. Grilo, D. M. Sousa, A. Roque, 2012, AC motors for application in a commercial electric vehicle: designing aspects, *IEEE*, Lizbon, Portekiz.
46. M. Ehsani, K. M. Rahman, H. A. Toliyat, 1997, Propulsion system design of electric and hybrid vehicles, *IEEE*, Texas, USA.

EKLER

EK-1. Elektrikli Araçta Kullanılan Motor ve Batarya Özellikleri

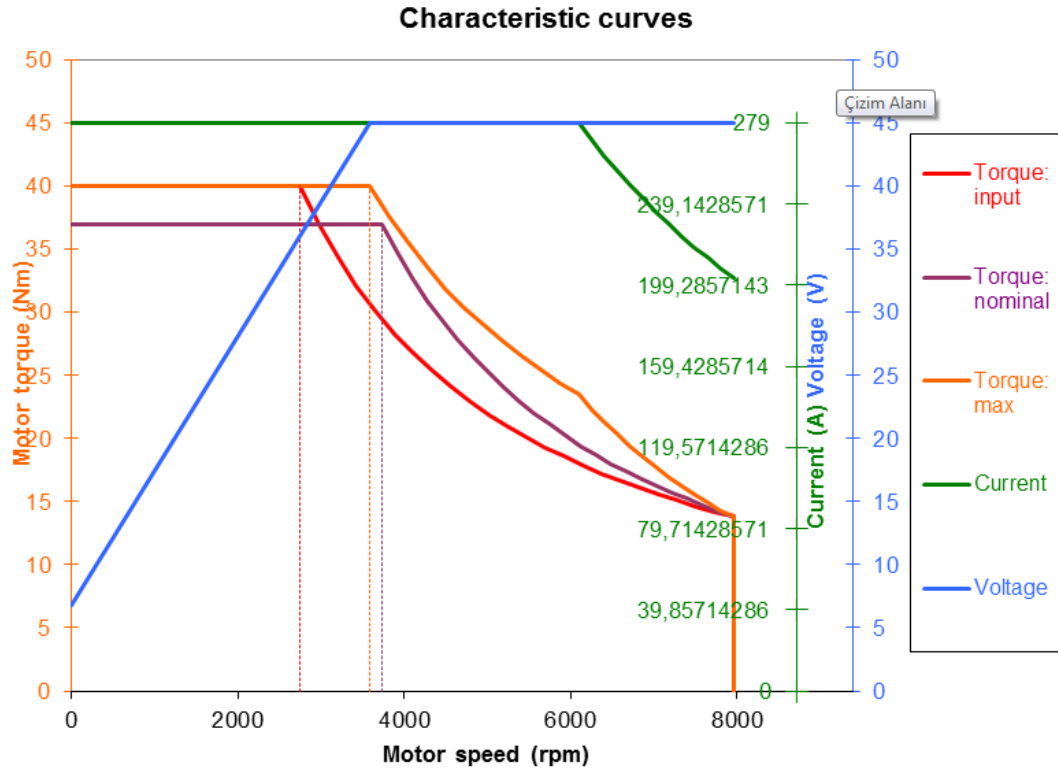
Bilim, Teknoloji ve Sanayi Bakanlığı tarafından yürütülen San-Tez programı kapsamında desteklenen “Kentiçi Bireysel Elektrikli Taşıt” projesi için prototipi üretilen elektrikli araçta kullanılan elektrik motorunun ve batarya özellikleri aşağıdaki verilmiştir.

1- Elektrik Motoru Özellikleri

Leroy Somer TRA 145 model hava soğutmalı elektrik motoru kullanılmıştır.

Tablo 1.1. TRA 145 Elektrik motorunun özellikleri.

			Data	Offer
Motor	Peak torque	Nm	40	40
	Peak power	Kw	11,5	15
	Nominal speed	rpm	2745	3584
	Torgue at max speed	Nm	14	14
	Power at max speed	Kw	11,5	11,5
	Max speed	rpm	7955	7955
Drive	Max inverter current	A	0	279
	Motor voltage	V	45	45
Size	Length	mm	0	243
	Width	mm	0	190
	Height	mm	0	210
	Weight	kg	0	13
Cooling	Flow	kPa	0	0
	Pressure drop	L/h	0	0



Şekil 1.1. TRA 145 elektrik motorunun tork-hız eğrisi.

2- Kontrolcü Özellikleri

Prototipi üretilen elektrik araçta kullanılan Curtis marka kontrolcüye ait özellikler şöyledir;

- 48-80 volt çalışma aralığı
- 550 A çıkış değeri(2 dakika için RMS değeri)
- 51.3 kVA(2 dakika için RMS değeri)
- 0-300 Hz frekans aralığında sessiz çalışma



Şekil 1.2. Kontrolcüye ait resimler.

3- Batarya Özellikleri

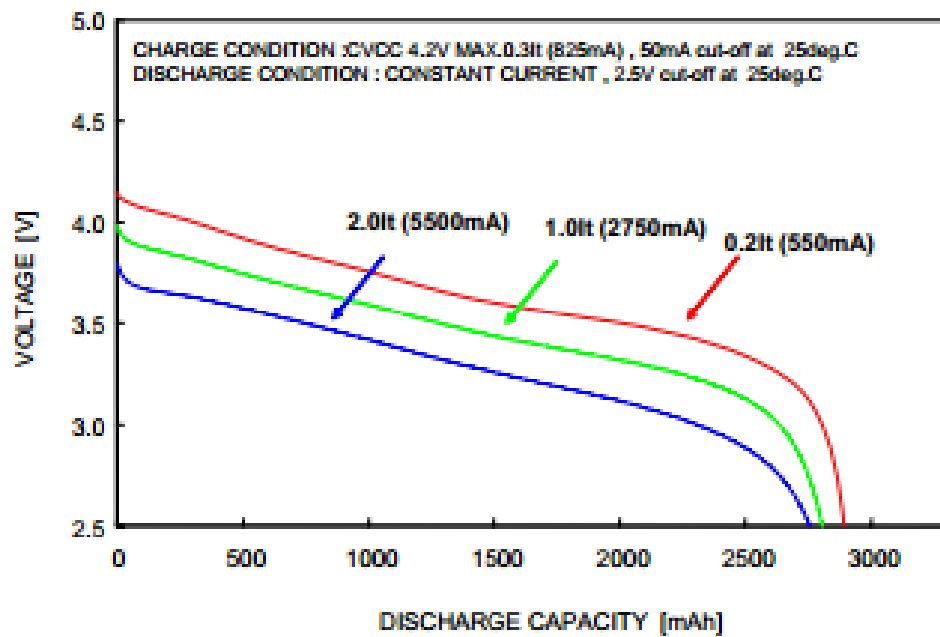
Prototipi üretilen elektrik araçta kullanılan Panasonic marka batarya ve batarya hücrelerine ait özellikler şöyledir;

Tablo 1.2. Batarya paketine ait özellikler.

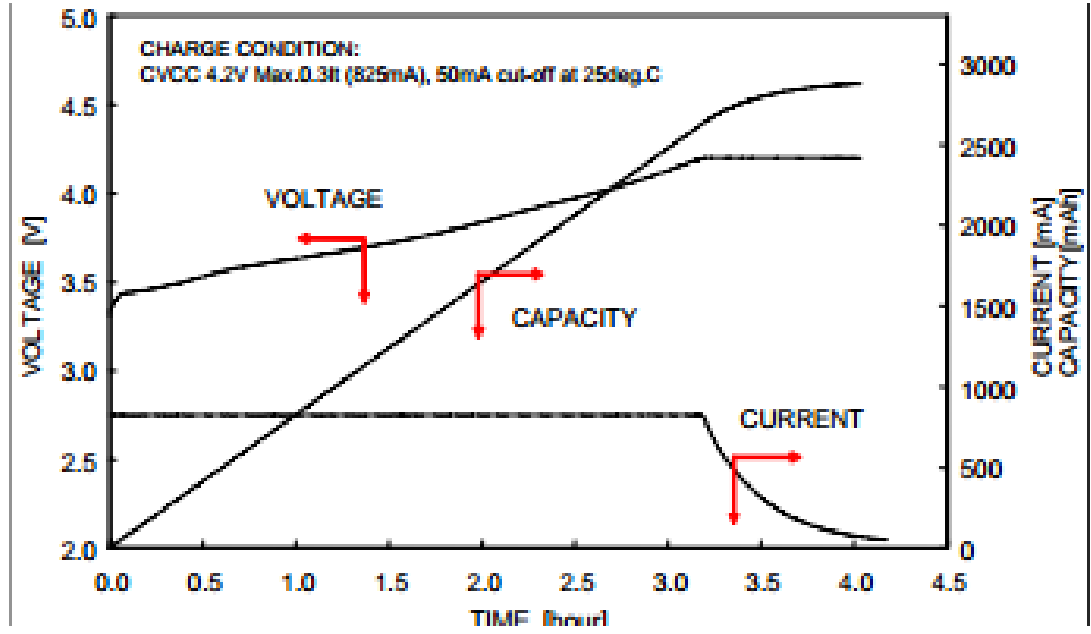
Gerilim	V	50,4
Enerji	Ah	174
Kullanılabilir Enerji	kWh	8,77
Maksimum Güç	kW	12
Hücre Kimyası		LCO
Hücre Sayısı		840
Çevrim Ömrü(%80 DOD)		1000
Batarya Ağırlığı	kg	70
Maksimum Şarj Gücü	kW	3
Şarj Süresi	h	3,5

Kullanılan batarya paketindeki her bir batarya hücrelerine ait özellikler;

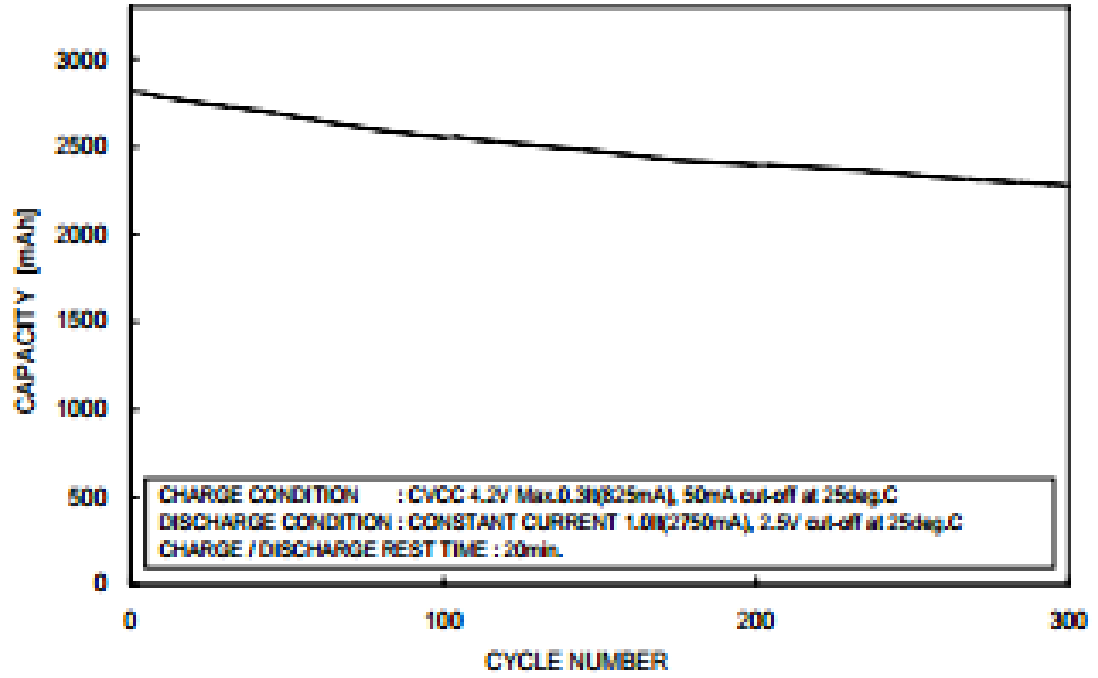
- Lityum-iyon
- 3.6 V nominal gerilim
- 2.5 V minimum voltaj
- 1000 çevrim ömrü(%80 deşarj derinliğinde)
- -20 C ile 50 C arası çalışma sıcaklığı



Şekil 1.4. Batarya paketine ait deşarj karakteristiği.



Şekil 1.5. Batarya paketine ait şarj karakteristiği.



Şekil 1.6. Batarya paketine ait çevrim ömrü.

EK-2. Elektrikli Araça Ait Örnek Simülasyon Verileri

Hız (m/s)	Araçın İvmesi	İtme Kuvveti (N)	Toplam İtiş Kuvveti (N)	Motor Giriş Gücü
0	0	0	0	0
6	16.667	1083,333333	1113,930081	91,14241618
6	0	0	31,17070633	3258,783742
12	16.667	1083,333333	1114,50404	851,0691264
13	0.2778	180,5555556	213,4481369	1665,766592
15	0.5556	361,1111111	394,4022746	1926,38937
17	0.5556	361,1111111	395,2950987	5756,153457
22	13.889	902,7777778	937,9821357	280,0679746
22	0	0	38,31329893	-1039,782578
21	-0.2778	-180,5555556	-142,2422566	-3517,018046
18	-0.8333	-541,6666667	-504,0389291	213,8897907
18	0	0	35,762373	1293,767515
19	0.2778	180,5555556	216,3179286	3649,109478
22	0.8333	541,6666667	578,0189413	2854,885322
24	0.5556	361,1111111	399,42441	1757,062495
25	0.2778	180,5555556	220,3356369	1836,762842
26	0.2778	180,5555556	221,116858	357,4344301
26	0	0	41,37441004	-1202,38895
25	-0.2778	-180,5555556	-139,1811455	-1162,897504
24	-0.2778	-180,5555556	-139,9942532	-4002,285369
21	-0.8333	-541,6666667	-501,8865853	2720,440488
23	0.5556	361,1111111	398,7388487	1678,124985
24	0.2778	180,5555556	219,5863024	3125,857251
26	0.5556	361,1111111	400,8911924	357,4344301
26	0	0	41,37441004	357,4344301
26	0	0	41,37441004	-1202,38895
25	-0.2778	-180,5555556	-139,1811455	336,9326688
25	0	0	40,5613024	336,9326688
25	0	0	40,5613024	1836,762842
26	0.2778	180,5555556	221,116858	357,4344301
26	0	0	41,37441004	-1202,38895
25	-0.2778	-180,5555556	-139,1811455	-4162,55785
22	-0.8333	-541,6666667	-501,1053643	-3679,483682
19	-0.8333	-541,6666667	-503,3533677	-8524,559821
12	-19.444	-1263,888889	-1227,536614	1536,076774
14	0.5556	361,1111111	394,0036924	996,7705441
15	0.2778	180,5555556	214,2771878	1926,38937
17	0.5556	361,1111111	395,2950987	5756,153457
22	13.889	902,7777778	937,9821357	2854,885322
24	0.5556	361,1111111	399,42441	3125,857251

26	0.5556	361,1111111	400,8911924	1917,25781
27	0.2778	180,5555556	221,9299656	3537,986977
29	0.5556	361,1111111	403,3305154	3816,883932
31	0.5556	361,1111111	405,1161635	6052,343274
34	0.8333	541,6666667	587,5849135	2593,638116
35	0.2778	180,5555556	229,5827434	4676,199968
37	0.5556	361,1111111	411,2383857	2762,224001
38	0.2778	180,5555556	232,9786635	4981,741328
40	0.5556	361,1111111	414,7299656	3033,393419
41	0.2778	180,5555556	236,6615628	3126,194579
42	0.2778	180,5555556	237,9529691	3220,252503
43	0.2778	180,5555556	239,2762619	827,7699548
43	0	0	60,07588573	827,7699548
43	0	0	60,07588573	827,7699548
43	0	0	60,07588573	-1660,057936
42	-0.2778	-180,5555556	-120,4796698	-6411,800327
39	-0.8333	-541,6666667	-482,9459603	-10637,39484
34	-13.889	-902,7777778	-847,9312902	-5441,761625
31	-0.8333	-541,6666667	-492,6394789	-21999,90182
21	-27.778	-1805,555556	-1759,637309	-3517,018046
18	-0.8333	-541,6666667	-504,0389291	213,8897907
18	0	0	35,762373	-1902,624199
16	-0.5556	-361,1111111	-325,3487381	1144,251914
17	0.2778	180,5555556	215,233785	2188,87686
19	0.5556	361,1111111	396,3154691	229,4966832
19	0	0	36,35227462	1369,367615
20	0.2778	180,5555556	216,9078302	2586,648304
22	0.5556	361,1111111	398,0851739	2854,885322
24	0.5556	361,1111111	399,42441	3125,857251
26	0.5556	361,1111111	400,8911924	3399,812719
28	0.5556	361,1111111	402,4855211	400,948957
28	0	0	43,09628504	3677,000355
30	0.5556	361,1111111	404,2073961	2247,819596
31	0.2778	180,5555556	225,5012619	2332,764445
32	0.2778	180,5555556	226,4738024	498,9120035
32	0	0	46,92267393	-1420,870618
31	-0.2778	-180,5555556	-133,6328816	-3174,457048
29	-0.5556	-361,1111111	-315,1928643	-4688,819628
26	-0.8333	-541,6666667	-497,6616143	-2700,829834
24	-0.5556	-361,1111111	-319,7367011	-5442,122336
20	-11.111	-722,2222222	-682,4421409	-4553,749066
16	-11.111	-722,2222222	-685,2481594	-9920,135801
7	-25.000	-1625	-1590,321771	-4204,471949
0	-19.444	-1263,888889	-1232,51092	0

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı, Soyadı: Mehmet UYAR
 Uyuğu: Türkiye (TC)
 Doğum Tarihi ve Yeri: 1990, Adana
 Medeni Durumu: Bekâr
 Tel: +90 541 562 70 62
 E-mail: mehmuyar@gmail.com
 Yazışma Adresi: Zahit Mah. Köşk Apart Evler 69000 / Merkez , Bayburt

EĞİTİM

Derece	Kurum	Mezuniyet Tarihi
Yüksek Lisans	EÜ Fen Bilimleri Enstitüsü	2014
Lisans	EÜ Müh. Fak. Makine Müh. Bölümü	2011
Lise	Adana Tepebağ Lisesi, Adana	2006

İŞ DENEYİMLERİ

2013-Halen	Bayburt Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü	Araştırma Görevlisi
2012-2014	Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı - Melikşah Üniversitesi SAN-TEZ Projesi	Proje Asistanlığı
2011-2012	Anda Makine Mühendislik Ltd. Şti.	Makine Mühendisi

YABANCI DİL

İngilizce

YAYINLAR

1. Uyar M., Akmermer S. ve Sedef K., "Kentiçi Elektrikli Araçlar İçin İndüksiyon (İM) ve Sabit Mıknatıslı (PM) Motorların Karşılaştırılması", Otekon2014, (2014).