T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ELEKTRİKLİ ARAÇ SİSTEMLERİNİN İNCELENMESİ

YİĞİTCAN BORA

YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ELEKTRİK TESİSLERİ PROGRAMI

DANIŞMAN
PROF. DR. NURETTİN UMURKAN

İSTANBUL, 2017

T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ELEKTRİKLİ ARAÇ SİSTEMLERİNİN İNCELENMESİ

Yiğitcan BORA tarafından hazırlanan tez çalışması 22.12.2017 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Prof. Dr. Nurettin UMURKAN

Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Nurettin UMURKAN

Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Doç.Dr. Recep YUMURTACI

Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Yrd.Doç.Dr. Nazmi EKREN

Marmara Üniversitesi _____

ÖNSÖZ

Artan nüfus ve gelişen teknolojilerin beraberinde getirdiği enerji ihtiyacı, dünyamızın en önemli sorunlarından biri olarak öne çıkmaktadır. Endüstri ve sanayinin gelişmesi, insanların günlük enerji tüketimini doğal olarak arttırmanın yanı sıra, mevcut enerji kaynaklarının üzerinden bir taleple karşı karşıya bırakmaktadır. Bu taleplere bir cevap verilmesi amacıyla yeni enerji kaynaklarından enerji üretimine veya mevcut sistemi daha verimli kullanılması gereği üzerinde durulmaktadır. Artan enerji tüketimi, sadece talepleri karşılama gibi sorunların oluşmasına sebebiyet vermeyip, ayrıca enerjinin daha çok kullanılması, beraberinde küresel kaygıları da doğurmuştur. Bu gibi sebeplerden dolayı yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı ve mevcut kullanılmakta olan enerjiye bağımlı sistemlerin daha verimli yeni sistemler ile geliştirilmesi gerekmektedir.

Çalışmamda, enerji taleplerinin ve çevresel kaygıların önüne geçilebilmesi için elektrikli araç sistemlerini inceledim. Mevcut konvansiyonel araçların yerini elektrikli araçların almasının çevreye, şebeke sistemlerine etkisini içermektedir. Bunun yanı sıra yapılacak yeni yatırımların geri dönüşüm süresi hakkında da detaylı bilgiler bulunmaktadır.

Yaptığım çalışmanın daha kolay bir şekilde anlaşılması amacıyla tablolardan, görsel ve rakamsal verilerden faydalanarak incelemiş olduğum sistemi anlattım. Çalışma boyunca, her türlü desteğini eksik etmeyen, yeni fikirler vererek çalışmamı daha ileri taşımamı sağlayan ve motive eden değerli hocam Prof. Dr. Nurettin Umurkan ‘a binlerce teşekkür eder, bundan sonra ki süreçte de kendisi ile çalışmayı isterim.

Aralık, 2017

Yiğitcan BORA

İÇİNDEKİLER

Sayfa

SİMGE LİSTESİ vii

KISALTMA LİSTESİ viii

ŞEKİL LİSTESİ x

ÇİZELGE LİSTESİ xii

ÖZET xiii

ABSTRACT xiv

BÖLÜM 1

GİRİŞ 1

1.1 Literatür Özeti 1
1.2 Tezin Amacı 2
1.3 Hipotez 2

BÖLÜM 2

OTOMOBİL 3

BÖLÜM 3

ELEKTRİKLİ ARAÇLAR 6

3.1 Fişsiz Hibrit Elektrikli Araçlar 6
3.1.1 Çalışma Prensibi 7
3.1.2 Bataryalar 9
3.2 Fişli Hibrit Elektrikli Araçlar 12

3.2.1 Çalışma Prensibi 12
3.2.2 Bataryalar 14

BÖLÜM 4

BATARYALI ELEKTRİKLİ ARAÇLAR 18

4.1 Çalışma Prensibi 18
4.1.1 W-T-W (Kuyudan Tekerlere) 19
4.1.2 W-T-T (Kuyudan Yakıt Deposuna) 22
4.1.3 T-T-W (Yakıt Deposundan Tekerlere) 23
4.2 Elektrik Motorları 23
4.2.1 Alternatif Akım Motorları 24
4.2.2 Doğru Akım Motorları 26
4.2.3 Üniversal Motorlar 33
4.2.4 Bataryalı Elektikli Araçlarda Kullanılan Motorların Karşılaştırılması 35
4.3 Batarya Grupları 36
4.3.1 Batarya Tipleri 37
4.3.1.1 Birincil Bataryalar (Şarj Edilmeyen) 37
4.3.1.2 İkincil Bataryalar (Şarj Edilebilir) 38
4.3.2 Batarya Parametreleri 38
4.3.3 Batarya Performansına Etkiyen Faktörler 42
4.3.3.1 Gerilim Seviyesi 43
4.3.3.2 Deşarj Akımı Boşalması 44
4.3.3.3 Deşarj Modu 45
4.3.3.4 Deşarj Esnasında Batarya Sıcaklığı 47
4.3.3.5 Çalışma Ömrü 48
4.3.3.6 Deşarj Tipi 49
4.3.3.7 Gerilim Regülasyonu 50
4.3.3.8 Batarya Tasarımının Etkisi 51
4.3.3.9 Batarya Yaşı ve Depolama Koşulları 51
4.3.3.10 Şarj Gerilimi 52
4.3.3.11 Hücre ve Batarya Tasarımının Etkisi 53
4.4 Kontrol Sistemleri 60

BÖLÜM 5

BATARYA ŞARJ METODLARI 63

5.1 Sabit Gerilim 63
5.2 Sabit Akım 64
5.3 Sabit Akım ve Sabit Gerilim Yöntemlerinin Kombinasyonu 64
5.4 Darbeli ve Negatif Darbeli Şarj 65
5.5 Konik Şarj 65
5.6 Tampon Şarj 66
5.7 İç Gerilim Kontrollü Şarj 66
5.8 Elektrikli Araçlar Şarj Dönüştürücü Çeşitleri 66

BÖLÜM 6

ŞARJ İSTASYONLARI 69

BÖLÜM 7

ELEKTRİKLİ ARAÇLARIN ETKİLERİ 76

7.1 Ekonomik Etkiler 76
7.2 Çevresel Etkiler 77
7.3 Şebeke Üzerindeki Etkiler 77
7.3.1 Yük Profilinin Etkisi 77
7.3.2 Sistem Bileşenleri Üzerindeki Etkiler 78
7.3.3 Sistem Kayıpları Üzerindeki Etkiler 80
7.3.4 Gerilim Profili ve Faz Dengesizliğine Etki 80
7.3.5 Harmonik Etki 82
7.3.6 Kararlılık Etkisi 83

BÖLÜM 8

AKILLI ŞEBEKELER 84

8.1 Akıllı Şebekeler 84
8.2 Akıllı Şebekelerde EA Yayılımı Beklentisi 87
8.2.1 Akıllı Şebekelerde V2G Teknolojisi 87

BÖLÜM 9

SENARYO 92

9.1 Metrobüs 92
9.2 Metrobüs Sisteminin Temel Elemanları 93
9.3 Metrobüs Sisteminin Temel Performans Göstergeleri 94
9.4 Metrobüs Sistemindeki Kullanılan Araçlar 94
9.5 Metrobüs Hat Sefer Bilgileri 96
9.6 Dizel ve Elektrikli Otobüslerin Karşılaştırılması 97

BÖLÜM 10

SONUÇ VE ÖNERİLER 106

KAYNAKLAR 108

ÖZGEÇMİŞ 117

SİMGE LİSTESİ

a	Aracın Hızlanma İvmesi (m/s^2)
A	Aracın Ön Cephe Alanı (m^2)
Ah	Amper-saat
cc	Cubic Centimeter (Santimetre Küp)
C_D	Aracın Sürtünme Katsayısı
C_r	Yuvarlanma Direnç Katsayısı
CO_2	Karbondioksit
F_a	Sürtünme Direnci
F_1	Doğrusal Hızlanma Kuvveti (Newton)
F_r	Yuvarlanma Direnci
g	Yer Çekimi İvmesi (m/s^2)
kHz	Kiloherz
kg	Kilogram
km/h	Kilometre/saat
kW	Kilo-watt
kWh	Kilo-watt-saat
lt	Litre
M	Aracın Kütlesi (kg)
m	Metre
m^2	Metrekare
mm	Milimetre
m/s	Rüzgar hızı
MW	Megawatt
n	Verim
Nm	Newton-Metre
W/kg	Özgül Güç
P	Güç
Ps	Power Speed (Beygir Gücü)
R	İç Direnç
sn	Saniye
V	Volt (Gerilim)
v	Aracın Hızı (m/s)
V_{ad}	Açık Devre Gerilimini
W	Watt
€	Avro (Euro)
ρ	Havanın Yoğunluğu

KISALTMA LİSTESİ

AC	Alternatif Akım
BEA	Bataryalı Elektrikli Araç
CAPEX	Capital Expenditures (Sermaye Harcamaları)
CNG	Compressed Natural Gas (Sıkıştırılmış Doğalgaz)
DC	Doğru Akım
DOD	Depth of Discharge (Derin Deşarj)
EA	Elektrikli Araç
HEA	Hibrit Elektrikli Araç
H_2SO_4	Sülfürik Asit
IEC	International Electrotechnical Commission(Uluslararası Elektroteknik Komisyonu)
İETT	İstanbul Elektrik Tramvay ve Tünel İşletmeleri Umum Müdürlüğü
İYM	İçten Yanmalı Motorlar
LCD	Liquid Crystal Display (Sıvı Kristal Ekran)
$LiCoO$	Lityum Kobalt Oksit
$LiFePO_4$	Lityum Demir Fosfat
Li-ion	Lityum İyon
$LiMn_2O_4$	Lityum Manganez Dioksit
$LiSO_2$	Lityum Sülfür Dioksit
$Li - SOCl_2$	Lityum Tiyonil Klorür
LPG	Liquified Petroluem Gas (Sıvılaştırılmış Petrol Gazı)
LiTiO	Nano Yapılı Lityum Titanat
Ni-Zn	Nikel Çinko
Ni-Fe	Nikel Demir
NiCd	Nikel Kadmiyum
NiMH	Nikel Metal Hidrat
NOx	Nitrogen Oxides (Azot Oksit)
OPEX	Operational Expenditures (Operasyon Giderleri)
Pb	Kurşun
PbO_2	Kurşun Dioksit
PWO	Particle Swarm Optimization
PWM	Pulse Width Modulation (Sinyal Genişlik Modülasyonu)
SCADA	Denetimsel Kontrol ve Veri Toplama
SOC	State of Charge (Batarya Doluluk Oranı)
SOH	State of Health (Performans Durumu)
TCO	Total Cost of Ownership (Toplam Sahip Olma Maliyeti)
TL	Türk Lirası

TOU	Time of Use (Zamanı Kullanım)
TTW	Tank-to-Wheels (Yakıt Deposundan Tekerlere)
TYS	Termal Yönetim Sistemi
V2G	Vehicle-to-Grid (Arabadan Şebekeye)
VRLA	Gelişmiş Valfla Ayarlanan Kurşun Asit Batarya
WTT	Well-to-Tank (Kuyudan Yakıt Deposuna)
WTW	Well-to-Wheels (Kuyudan Tekerlere)

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 Eski Yıllarda Otomobil Dizaynları 4
Şekil 3.1 Seri Fişsiz HEA 8
Şekil 3.2 Paralel Fişsiz HEA 8
Şekil 3.3 Seri-Paralel Fişsiz HEA 9
Şekil 3.4 Seri Fişli HEA 13
Şekil 3.5 Paralel Fişli HEA 13
Şekil 3.6 Seri-Paralel Fişli HEA 14
Şekil 4.1 BEA Yapısı 19
Şekil 4.2 Enerji Sistemi Verimliliği 22
Şekil 4.3 Altenatif Akım Motor Yapısı 24
Şekil 4.4 Sincap Kafesli Rotor 26
Şekil 4.5 DC Motor Yapısında Tork Üretimi 27
Şekil 4.6 Fırçalı DC Motor 28
Şekil 4.7 Fırçasız DC Motor 29
Şekil 4.8 Üç Fazlı Anahtarlamalı Relüktans Motoru 30
Şekil 4.9 Basit Yapılı Sabit Mıknatıslı DC Motor 31
Şekil 4.10 Gerçek Motorlardaki Rotor Yapısı 32
Şekil 4.11 Stator ve Rotor Yapısı 32
Şekil 4.12 Seri Sargılı DC Motor Devresi 33
Şekil 4.13 Üniversal Motor 34
Şekil 4.14 Üniversal Motor Yapısı 34
Şekil 4.15 Karakteristik Deşarj Eğrileri 44
Şekil 4.16 Akım, Gerilim ve Güç Değerlerine Göre Deşarj Süreleri 47
Şekil 4.17 Sıcaklık Değişiminin Batarya Kapasitesine Etkisi (T1 – T4 ‘e yükselen sıcaklık) 48
Şekil 4.18 Farklı Deşarj Yükleri ve Sıcaklıkları Altında Batarya Servis Süreleri (T1 – T4 ‘e yükselen sıcaklık) 48
Şekil 4.19 Kesintili Deşarjın Batarya Kapasitesine Etkisi 49
Şekil 4.20 Yatık Deşarj Eğrisi (1) ve Eğimli Deşarj Eğrisi’nin (2) Karşılaştırılması 50
Şekil 4.21 Batarya Enerji Yoğunluğu ve Maliyetinin Yıllara Göre Değişimi 59
Şekil 5.1 Sabit Akım ve Sabit Gerilim Şarj Profili 64
Şekil 5.2 Darbeli ve Negatif Darbeli Şarj 65
Şekil 6.1 Küresel Elektrikli Araç Stoğu 2010-2015 72
Şekil 6.2 Küresel Şarj Cihazlarının 2010-2015 Yılları Arasındaki Değişimi 74
Şekil 6.3 Şarj Cihazlarına Göre 2015 Yılı Genel Şarj Cihazlarının Ülkere Göre Dağılımı .. 75
Şekil 8.1 Akıllı Şebekelerde V2G Yapısı 88

Şekil 9.1 Metrobüs Sisteminde Yer Alan Duraklarda Kullanılacak Olan Flash Şarj Yönteminin Konumları 104

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 1990-2015 Yılları Arası Otomobillerden Kaynaklanan CO2 Salınımı 5
Çizelge 3.1 EA ‘ın Motor Tipleri ve Şarj Edilme Durumları 6
Çizelge 3.2 Güncel Fişsiz Hibrit Elektrikli Araçlar Modelleri ile Onların Konvansiyonel Modelleri Arasındaki Karşılaştırmalı Örnek 11
Çizelge 3.3 Güncel Fişli Hibrit Elektrikli Araçlar Modelleri ile Onların Konvansiyonel Modelleri Arasındaki Karşılaştırmalı Örnek 16
Çizelge 4.1 WTT Aşamasında Açığa Çıkan Emisyon Değerleri 23
Çizelge 4.2 Elektrikli Araçlarda Kullanılan Batarya Karakteristiklerinin Karşılaştırılması 58
Çizelge 6.1 SAE J1772 70
Çizelge 6.2 IEC 61851 71
Çizelge 6.3 Ülkeler Bazından Elektrikli Araç Stoğu 2020 Hedefi 73
Çizelge 8.1 Geleneksel Şebekeler ile Akıllı Şebekelerin Kıyaslanması 85
Çizelge 8.2 Tek Yönlü V2G ile Çift Yönlü V2G ‘in Kıyaslanması 90
Çizelge 9.1 Metrobüs Sisteminin Sahip Olduğu Araç Sayısı 93
Çizelge 9.2 Capacity ve Conecto Modellerinin Karşılaştırılması 95
Çizelge 9.3 Sileo S18 Modelinin Karakteristik Özellikleri 96
Çizelge 9.4 Metrobüs Sistemindeki Hatların Genel Sefer Bilgileri 97
Çizelge 9.5 Dizel ve Elektrikli Otobüslerin Metrobüs Sistemindeki Adetleri 97
Çizelge 9.6 Dizel ve Elektrikli Otobüs Durumunları Halinde Olması Beklenen Maliyet ve Geri Dönüşüm Süreleri 98
Çizelge 9.7 Dizel ve Elektrikli Otobüs Durumunları Halinde Olması Beklenen Maliyet ve Geri Dönüşüm Süreleri (Şarj İstasyonu dahil) 99
Çizelge 9.8 Dizel ve Elektrikli Otobüs Durumunları Halinde Olması Beklenen Maliyet ve Geri Dönüşüm Süreleri (Şarj İstasyonu ve Flash Şarj Yöntemi dahil) 100
Çizelge 9.9 Hatlar Bazında Geri Dönüş Sürelerinin Kıyaslanması 101
Çizelge 9.10 Hatların Günlük Sefer Bilgileri 101
Çizelge 9.11 Şarj İstasyonlarının Merkezi ve Gereksinim Adetleri 102
Çizelge 9.12 Metrobüs Sistemindeki Hatların Yıllık Olarak Emisyon Salınımları 103

ÖZET

ELEKTRİKLİ ARAÇ SİSTEMLERİNİN İNCELENMESİ

Yiğitcan BORA

Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Nurettin UMURKAN

Günümüzde artan nüfus ile birlikte ulaşım ağına katılan bireysel araç ve toplu taşımacılığın kullanım oranı hızla artmaktadır. Buna paralel olarak fosil yakıt kullanım oranı oldukça yükselmektedir. Fosil yakıtlar ulaştırma sektöründeki kullanımının yanı sıra, enerji üretimi, binalarda ve endüstri sektöründe de yoğun bir şekilde kullanılmaktadır. Bu kaynakların etkin bir şekilde kullanılması çevreye zararlı gaz salınımına sebep olur. Ayrıca tükenebilir olması benimsenen sürdürülebilir enerji politikasının önünde teşkil etmektedir. Yakın zamanda konvansiyonel içten yanmalı motorlara karşı duyulan bu tarz endişelerin önüne geçebilmek için elektrik araçlar ön plana çıkmıştır. Çevreci elektrikli araçların içten yanmalı motora sahip araçların yerini alabilmesi için araştırmalar kullanılan bataryaların daha uzun menzile sahip olması, şarj sürelerinin en optimum çekilebilmesi ve şebeke üzerindeki olumsuz etkilerini minimize üzere yoğunlaşmıştır. Güncel ve gelecekte kullanılması planlanan batarya çeşitlerinin, şarj istasyonlarının ve elektrikli araçların akıllı şebeke sistemleri ile olan ilişkisi incelenmiştir. Bu çalışmada ayrıca İstanbul'da bulunan mevcut metrobüs sisteminde dizel otobüslerin yerine elektrikli otobüslerin ve şarj istasyonlarının alması durumunda oluşacak sonuçların analizleri yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Elektrikli araçlar, bataryalar, şarj istasyonları, akıllı şebekeler

ABSTRACT

A REVIEW OF ELECTRIC VEHICLES

Yiğitcan BORA

Electrical Engineering

MSc. Thesis

Adviser: Prof. Dr. Nurettin UMURKAN

Nowadays with the population growth, utilization of public transport and individual vehicles in transportation network is increasing rapidly. Concordantly the usage of fossil fuel rates is going up. Fossil fuels are not only used in transportation sector in the same breath they are intensely used in energy production, buildings and industry sector. Effectively use of these resources cause harmful gases. Besides, adopted sustainable energy policy is obstructed by the reason of these resources' exhaustable nature. More recently electric vehicles (EV) come into prominence in order to preclude such concerns of conventional internal combustion engines (ICE). In order for environmentally friendly EVs to be able to replace vehicles which has ICE, researches are focused on maximising the range of batteries, optimizing the charging times and minimizing the negative effects on system. The relationship between EVs and smart grids, battery types and charging stations are examined. In this study present metrobus system, which locates in Istanbul, is replaced with electric buses and charging stations and this replacement scenario is analyzed by the factor of CAPEX, OPEX and TCO.

Keywords: Electric vehicles, batteries, charging stations, smart grids

YILDIZ TECHNICAL UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

BÖLÜM 1

GİRİŞ

1.1 Literatür Özeti

Dünyada hızla artan nüfusu ve gelişen teknolojiyle birlikte gerekli olan mobilitenin sağlanması adına bireysel ve toplu araç kullanımı artmıştır. Baz alınan Avrupa'daki araç kullanım verilerine göre 2015 yılında trafiğe kayıtlı 251 milyonu bireysel olmak üzere 287 milyon araç bulunmaktadır [1]. Avrupa'daki bahsedilen araç miktarının çevreye verdiği CO_2 salınımı 1210 milyon ton/yıl olup genel CO_2 salınımının %27'sine denk gelmektedir [1,2]. Bu veriler dikkate alındığında ulaştırma sektöründeki karbon salınımının büyük bir paya sahip olması, bu konunun üzerinde durulması gerektiğini göstermektedir. Dünya genelinde bu konuya çözüm önerisi olarak ortak düşünce elektrikli araçlar şeklinde gelişmiştir. Elektrikli araçlar fikri oldukça eski yıllara dayanmaktadır. Fakat içten yanmalı motora sahip araçların o çağın teknolojisi ile birlikte maliyet ve kullanılabilirlik açısından daha uygun olması sebebiyle elektrikli araçlara olan ilgi yeterli seviyeye ulaşmamıştır. Fosil yakıt rezervlerinin tükenmesi ve dünyada meydana gelen petrol krizi ile birlikte elektrikli araç konsepti tekrar ön plana çıkmıştır. İlk olarak elektrik motoru ve içten yanmalı motorların bir arada kullanılmasıyla başlayan bu ilerleme, batarya teknolojilerinin maliyet ve enerji kapasitelerindeki gelişmelerle birlikte araçların tamamen elektrikli olarak üretilmesine olanak tanımıştır. Elektrikli araçların, içten yanmalı motora sahip olan araçlarla rekabet edebilmesi için; tam şarjda menzil miktarlarının istenilen seviyeye gelebilmesi, batarya maliyetlerinin düşmesi ve hızlı şarj olması gerekmektedir. Ayrıca EA sayısının artmasıyla şarj anında şebekeden önemli bir miktarda güç çekileceği için şebeke üzerinde bazı olumsuz etkilere sebep olmaktadır. Bu çalışmada, sırasıyla hibrit araçlar, EA ve bataryaları, şarj istasyonları, akıllı şebekelerle etkileşimleri hakkında araştırmalar yapılmıştır.

1.2 Tezin Amacı

Bu çalışmanın temel amacı, konvansiyonel araçların yerini elektrikli araçların alması ile birlikte şebeke üzerinde yaratacağı etkileri minimize etmek ve bu dönüşümün gerçekleşmesi esnasında doğacak yatırım maliyet, şarj istasyonu gerekliliği ve yenilenebilir enerji kaynaklarından yararlanarak küresel açısından sisteme verim sağlamaktır.

1.3 Hipotez

Elektrik enerjisinin üretim biçimi fosil yakıtlardan veya yenilebilir enerji kaynaklarından olması, beraberinde çevresel ve maddi faktörleri doğurur. Bu denkleme bağlı olarak metrobüs sistemlerinin değiştirilmesi planlanmaktadır. Mevcut konvansiyonel sisteme sahip metrobüslerin elektrikli metrobüslerin yerlerini alması sekiz farklı hatta sahip olan sistemde incelenmiştir. Bu duruma bağlı olarak bütün hatlarda elektrikli otobüsler kullanılması durumunda sistem daha karlı ve çevreci bir proje olacağı bu çalışmanın hipotezidir.

BÖLÜM 2

OTOMOBİL

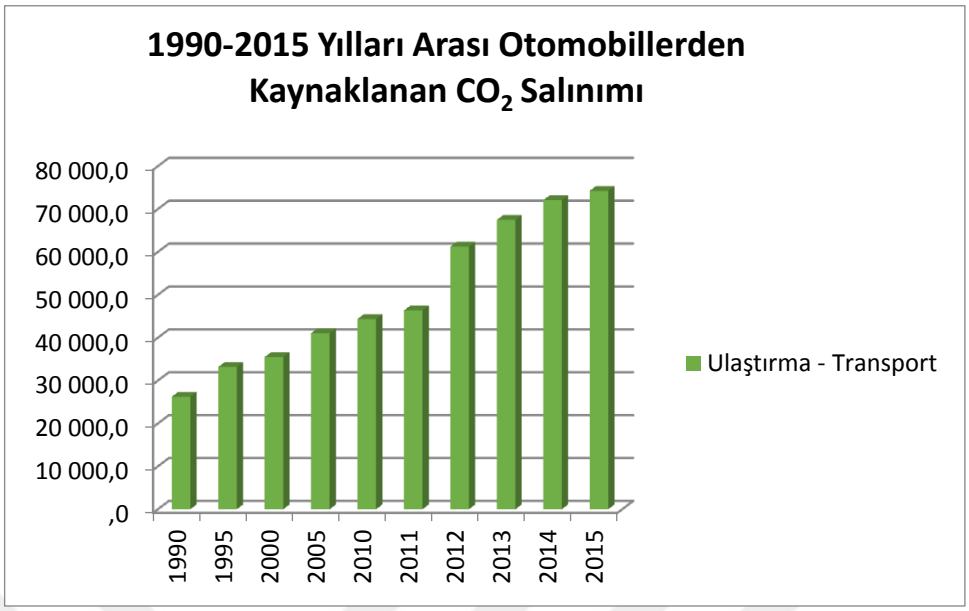
Yıllar boyunca uzun mesafeler arasında insan ve yük taşımacılığı önemli derecede iş ve zaman kayıplarına sebep olmuştur. Bu gibi kayıpları en aza indirmek, 1679-1681 yılları arasında Ferdinand Verbiest tarafından icat edilen küçük buharlı araç vasıtasıyla gerçekleşme ihtimali doğmuştur. Otomobiller kısaca; karada ulaşımı sağlamak amacıyla yolcu veya yük taşımak için tasarlanan, motora ve tekerleklere sahip olan araçlardır [3]. Küçük buharlı bir araç olarak başlayan bu serüven daha sonra gelişen teknolojilerle birlikte dizel ve benzin şeklinde olan içten yanmalı motorlar ile devam etmiştir. İçten yanmalı motorlar, buhar makinelerinden farklı olarak yapısında bulunan yanma odalarında tedarik ettiği optimum miktarda yakıt hava ile karışır ve kullanılan motor tipine kendiliğinden veya dışarıdan ateşleme ile tutuşur. Bu işlem sonucunda yanma işlemi gerçekleşmiş olur ve açığa çıkan enerji ile aracın hareketi sağlanır. Optimum yakıt ve hava karışımı bu süreç boyunca ciddi derecede önemlidir. Gereken miktarlardan fazla veya az değerlerde karışımlar olması durumunda yanma süreci tam olarak gerçeklememiş olacağından verim değerlerinde ciddi düşmeler gözlenir. Ayrıca çevreye kirli gaz salınımlarıda meydana gelir[4]. İçten yanmalı motorlar genellikle benzin ve dizel yakıt kullanırken hidrojen, propan, metan da yakıt olarak tercih edilebilir.



Şekil 2.1 Eski Yıllarda Otomobil Dizaynları

İçten yanmalı motorların ciddi dezavantajlarından biri de son derece verimsiz bir yapıya sahip olmasıdır. Bu tip araçlar fosil yakıtlardan elde ettikleri enerjinin sürüş koşullarına göre %14-30 'unu kullanabilmektedir. Geri kalan enerji büyük oranda motor ve güç aktarma süreçlerinde kaybolur. Normal bir araç kaybettiğinin enerjinin %68-72 'sini motor kayıpları, %18-25 'ini tekerlere güç aktarma kayıpları, yaklaşık %3 'ünü boşta çalışma kayıpları ve %5-6 'sını da güç aktarma kayıpları olarak gerçekleştirir [6]. Özellikle düşük hızlarda yeterli torka sahip olmamaları trafik içinde kullanıldıklarında bu kayıpları daha da tetiklemektedir. Buna ek olarak önemli değerlerde CO_2 emisyonuna ve enerji tüketimine de yol açarlar. Çizelge 2.1 'de de görüleceği üzere Türkiye İstatistik Kurumu'nun 1990-2015 yılları arasındaki verileri incelediğimizde her geçen yıl ulaştırma sektörü bazlı çevreye salınan CO_2 ve enerji tüketiminde artışlar gözlemlenmektedir. Bu yıllar arasından bir örnek vermek gerekirse; 2014 yılı ulaştırma sektörü verilerinde CO_2 emisyon değeri 72084,3 bin ton iken toplam enerji tüketimi (benzin, CNG, elektrik, sıvı yakıt, LPG, motorin) ise 5660889 ton petroldür [7].

Çizelge 2.1 1990-2015 Yılları Arası Otomobillerden Kaynaklanan CO_2 Salınımı



Yukarıdaki tabloyu daha da özelleştirmek istendiğinde 2002 model BMW 320i benzinli bir araç 226 g CO_2/km emisyon değerlerine sahipken aynı aracın 2017 modeli 128 g CO_2/km emisyon değeri mevcuttur [8, 9]. Bu örnekten de anlaşılacağı üzere teknolojinin gelişmesi ile birlikte araç bazında karbon salınımı yaklaşık %40 azalmasına rağmen mevcut otomobil sayısının 2002 yılında 8,6 milyon iken 2017 yılında 21,2 milyon olması dolayısıyla ulaştırma sektöründeki toplam CO_2 salınımı yaklaşık olarak iki katına çıkmıştır. İklim değişikliğinin en büyük etkenlerinden olan karbon salınımının ulaşım sektöründeki hızlı artışı içten yanmalı motora sahip araçların yerini alacak diğer teknolojilerin önüne açmıştır. Bu anlamda uluslararası platformda birçok anlaşma imzalanmış olup karbon salınımının düşürülmesi ile ilgili çalışmalar yapılmaktadır. Ekonomik boyutta da fosil kaynakların hızla tükenmesiyle birlikte otomobiller için yeni yakıt kaynakları kullanılması ön plandadır. Bu bağlamda elektrikli araçlar ve hidrojen ile çalışan araçlar gibi alternatif çözümler geleceğin umut vaad edici teknolojilerindendir.

BÖLÜM 3

ELEKTRİKLİ ARAÇLAR

Günümüzde tanıtım aşamasını geçip üretilen üç ana elektrikli araç (EA) tipi mevcuttur. Fişsiz hibrit elektrikli araçlar, fişli hibrit elektrikli araçlar (FHEA) ve bataryalı elektrikli araçlar (BEA) bu üç elektrikli araç tipidir. Bu kısımda fişsiz hibrit elektrikli araçlar ve FHEA incelenecektir. Bundan sonraki bölümde BEA günümüzde de sıkça kullanılmaya başlandığından ve gelişen teknoloji ile daha da ön plana çıkması beklendiğinden daha kapsamlı bir şekilde incelenecektir. Bu üç EA tipinin; sahip oldukları motor yapısı ve batarya şarj edilme durumları Çizelge 3.1 'de ifade edilmiştir.

Çizelge 3.1 EA 'ın Motor Tipleri ve Şarj Edilme Durumları

Araç Tipleri	Motor Tipi	Batarya Şarj Edilme Durumu
HEA	İçten Yanmalı Motor Elektrik Motoru	Dahili olarak
FHEA	İçten Yanmalı Motor Elektrik Motoru	Dahili ve/veya Harici
BEA	Elektrik Motoru	Harici

3.1 Fişsiz Hibrit Elektrikli Araçlar

Fişsiz hibrit elektrikli araçlar tahrik gücünü sağlamak için Çizelge 3.1'de de gösterildiği üzere iki ayrı motor yapısından yararlanır. Bu iki motor yapısı sırasıyla; konvansiyonel içten yanmalı motor ve elektrik motorudur. İki farklı motor yapısının bir arada bulunmasının temel nedeni konvansiyonel araçlara kıyasla daha iyi bir performans ve yakıt ekonomisi sağlamaktadır.

Elektrik motorundan tedarik edilecek maksimum güç ile güç aktarma sisteminin maksimum

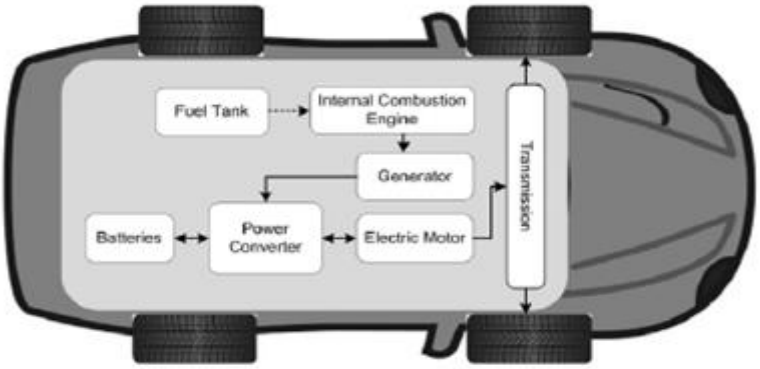
gücü arasındaki oran, hibritizasyon oranı olarak adlandırılır. Yüksek bir hibritizasyon oranı büyük güçte bir elektrik sistemi ve küçük bir içten yanmalı motor yapısı gerektirirken, tam tersi olarak küçük bir hibritizasyon oranı ise düşük güçte bir elektrik motoru ve yüksek güç sağlayan içten yanmalı motoru yapısı gerektirir [10]. Bundan dolayı kullanılacak bileşenlerin gücü ve hacmi fişsiz hibrit elektrikli araçların kontrol stratejisini doğrudan etkilemektedir. Fişsiz hibrit elektrikli araçların temel özelliği elektrik motoru/ generatör sistemidir. Bu sistem generatör olarak kullanıldığında bataryaları şarj etmek için elektrik enerjisi üretilir ve gerektiğinde içten yanmalı motor vasıtasıyla araç çalıştırılır. Tam tersi motor olarak kullanıldığında ise, bataryalarda depo edilen kimyasal enerji elektrik enerjisine çevrilerek tekerlerin dönmesi için gerekli olan tahrik kuvveti sağlanır [11]. Genel olarak konvansiyonel fişsiz hibrit elektrikli araçlar şarj koruma modunda çalışarak şarj doluluk oranlarını belli değerlerin altına indirmezler. Deşarj olan bataryalarını; motor/generatör yapısıyla akuple olmuş içten yanmalı motor veya rejeneratif frenleme esnasındaki kinetik enerjiden faydalanarak tekrar dolu hale getirirler.

3.1.1 Çalışma Prensibi

Fişsiz hibrit elektrikli araçlar tipik olarak elektrik modunda çalışması esnasında elektrik/generatör yapısı bataryalarda depo edilen enerjiden yararlanarak aracı kalkış anında, düşük hızlı sürüşlerde ve yüksek tork gereken ivmelenme esnasında tahrik eder [12]. İçten yanmalı motor ise aracın hızı yüksek değerlere ulaştığında, daha hızlı bir ivmelenme gerektiğinde veya bataryaları şarj etmek için daha çok güç gereksinimi olduğunda devreye girer[13]. Böylece içten yanmalı motorlar yüksek verimlilik periyotları çerçevesinde kullanılır. Yoğun trafiğin olduğu bir konuma gelindiğinde içten yanmalı motor devreden çıkar. Bunun nedeni dur kalk sayısının artması ve düşük hızlı sürüşlerde son derece verimsiz bir yapıya sahip olmalarıdır. İçten yanmalı motorlarda uygulanacak bu gibi kısıtlamalar sonucunda fişsiz hibrit elektrikli araçlar, konvansiyonel araçlarla kıyaslandığında sadece daha verimli değil, aynı zamanda düşük emisyon değerlerine de sahiptirler [14, 15].

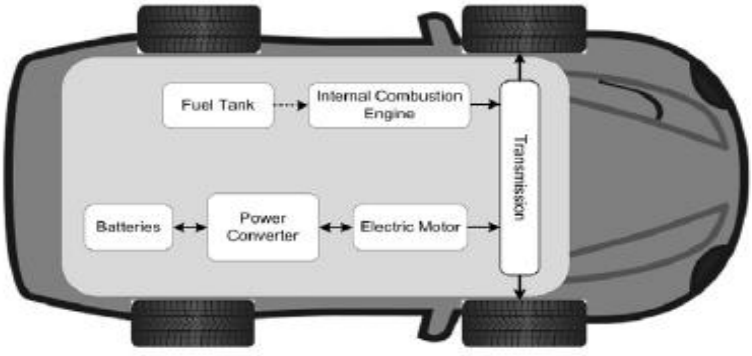
Fişsiz hibrit elektrikli araçlar yapısında üç farklı tasarım söz konusudur. Bunlar sırasıyla; seri, paralel ve seri-paralel tasarımdır. Genellikle fişsiz hibrit elektrikli araçlarda ve FHEA ‘da içten yanmalı motor ve elektrik motoru aynı anda çalışarak aracı tahrik eder. Ama yukarıda da belirtildiği gibi bazı farklı tasarımlar söz konusu olduğunda bu durum değişiklik gösterebilir.

Şekil 3.1 ‘de gösterilen seri fişsiz hibrit elektrikli araçlarda tekerler ile bağlantılı olan kısım sadece elektrik motorlarıdır. Elektrik motoruna sağlana enerji, bataryanın şarj durumu zayıfladığında içten yanmalı motorun araç yapısında bulunan generatörü çalıştırması ve rejeneratif frenleme ile gerçekleşir. İçten yanmalı motorun iletim ve tekerlekler ile bağlantılı olmadığı bu tasarımda araç yaklaşık %25 daha verimlidir. Bu yapısı nedeniyle dur kalkın çok olduğu yani şehir içinde kullanımı daha uygundur.



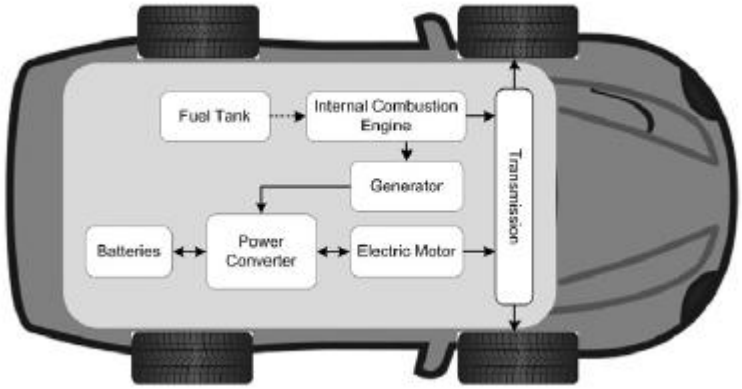
Şekil 3.1 Seri Fişsiz HEA

Paralel fişsiz hibrit elektrikli araç yapısında Şekil 3.2 ‘te de görüleceği üzere elektrik motoru ve içten yanmalı motor mekanik olarak iletim ve tekerlere bağlanmıştır. Aracın tahriki için gerekli olan enerjiyi eş zamanlı olarak çalışarak tekerlere aktarırlar. İki tane tahrik kaynağının aynı anda mekanik olarak akuple olması sebebiyle sadece konvansiyonel araçlardan değil, aynı zamanda seri fişsiz hibrit elektrikli araçlardan da daha verimlidir. [16]. Paralel yapıdaki iki farklı motor grubunun eş zamanlı çalışabilmesi sebebiyle sadece şehir içi kullanım için değil, otobanlarda da sürüş için uygundur. Honda Insight, Ford Escape Honda's Insight, Civic ve Accord paralel fişsiz hibrit elektrikli araçlara örnektir.



Şekil 3.2 Paralel Fişsiz HEA

Seri-paralel fişsiz hibrit elektrikli araçlar hem seri hem de paralel fişsiz hibrit elektrikli araçların özelliklerine sahiptir. Şekil 3.3 'te de görüldüğü üzere hem elektrik motoru hem de içten yanmalı motor iletime kısmına ve tekerlere mekanik olarak bağlıdır. Her iki tasarımın da özelliklerini barındırmasını yanı sıra karmaşık yapısından dolayı seri-paralel fişsiz hibrit elektrikli araçlar maliyetlidir. Toyota Prius seri-paralel fişsiz hibrit elektrikli araçlara örnektir.



Şekil 3.3 Seri-Paralel Fişsiz HEA

3.1.2 Bataryalar

Fişsiz hibrit elektrikli araç bataryaları motor/generatör yapısının generatör olarak çalışma durumunda hem aracın sürüş hem de hareketsiz halde iken şarj edilebilir. Her iki durumda da araçların sahip olduğu akıllı yapılar içten yanmalı motoru çalıştırarak generatör sisteminin ürettiği elektrik enerjisini bataryalarda depo etmesine olanak sağlar. Aynı zamanda bataryalar regeneratif frenleme vasıtasıyla da şarj edilir. Bu teknolojide, aracın frenleme esnasında açığa çıkan enerji bataryaları doldurmak için kullanılır[17]. Frenleme esnasında, regeneratif frenler aracın elektrik motorunu tersine çevirerek tekerlerin yavaşlatır. Terse çalışma modunda motor, generatör olarak çalışarak elektrik enerjisi üretir ve bunu bataryalara aktarır. Regeneratif frenleme sistemi, düşük hızlarda ve dur kalk durumlarında daha verimlidir. Üreticiler tarafından aynı zamanda regeneratif frenlemenin yeterli olmayacağı durumlar da göz önünde bulundurularak aracın tamamen durması için hibrit araçlarda ekstra olarak sürtünmeli fren yapısını da bulundurur [18].

Günümüze kadar olan fişsiz hibrit elektrikli araç yapısında büyük çoğunlukla NiMH batarya tipi üzerinde durulmuş ve kullanılmıştır. Örnek vermek gerekirse fişsiz hibrit elektrikli

araçların öncülerinden Toyota Prius Hybrid ve Toyota Yaris Hybrid modellerinde NiMH bataryalar tercih edilmiş iken son yıllarda piyasada sürülen Range Rover Hybrid modelinde ise lityum iyon bataryalar kullanılmıştır [19, 20].

Genel olarak bu tip araç yapılarında harici bir şarj işlemi olmadığından dolayı küçük güçlü bir batarya tercih edilir. Aracın batarya kaynaklı ortaya koyacağı menzil genellikle bataryanın sahip olduğu potansiyel, kullanma şekli, hava ve yol koşullarına göre değişkenlik gösterebilir. Fakat içten yanmalı motorun yedek güç olarak devamlı sistem içinde bulunması ve fişsiz elektrikli araçların şarj koruma modunda olması gibi sebeplerden dolayı elektrikli bataryanın sağlayacağı menzil ve maksimum araç hızı FHEA ve BEA 'a kıyasla kritik derecede değildir.

Son yıllarda piyasaya sürülen Toyota Yaris Hybrid modelini incelediğimizde; 82g/km CO2 emisyon değerine ve karma 3,6 lt/km yakıt tüketimine sahiptir. Sabit mıktanıslı senkron motora sahip olan elektrik yapısı; 45 kW güce, 169 Nm torka ve 520 V 'tur. Daha öncede belirttiğimiz gibi NiMH batarya grubuna sahip olan Toyota Yaris Hybrid modeli 6,5 Ah 'lık bataryaya sahiptir. Bu gibi özelliklerinin yanı sıra 165 km/h maksimum hıza ve 0-100 km arasındaki değeri ise 12 saniyedir.

Çizelge 3.2 'te Toyota Yaris, Toyota Yaris Hybrid, Range Rover TDV6 ve Range Rover Hybrid modelleri bazı temel özelliklerine göre karşılaştırılmıştır.

Çizelge 3.2 Güncel Fişsiz Hibrit Elektrikli Araçlar Modelleri ile Onların Konvansiyonel Modelleri Arasındaki Karşılaştırmalı Örnek

	Yaris Hybrid	Yaris	Range Rover Hybrid	Range Rover TDV6
Elektrik Motor Gücü (kW)	45	-	35	-
Elektrik Motor Torku (Nm)	169	-	170	-
Batarya Tipi	NiMH 0,93 kWh	-	Lityum İyon 9,2 kWh	-
Maksimum Hız (km/s)	165	175	218	209
Hızlanma 0-100 km/s (sn)	12	11,2	6,9	7,9
Karma Yakıt Tüketimi (lt/100km)	3,6	4,8	6,2	6,9
CO2 emisyonu (g/km)	82	102	164	182
Toplam Beygir Gücü (PS/kW)	100/74	111/82	354/250	258/190
Motor Gücü (cc)	1497	1496	2993	2993
Yakıt Kapasitesi (lt)	36	42	86	86
Yakıt Tipi	Benzin + Hybrid	Benzin	Dizel + Hybrid	Dizel
Ağırlık (kg)	1165	1125	2394	2160
Fiyat (TL)	88000	72300	1347310	1162695

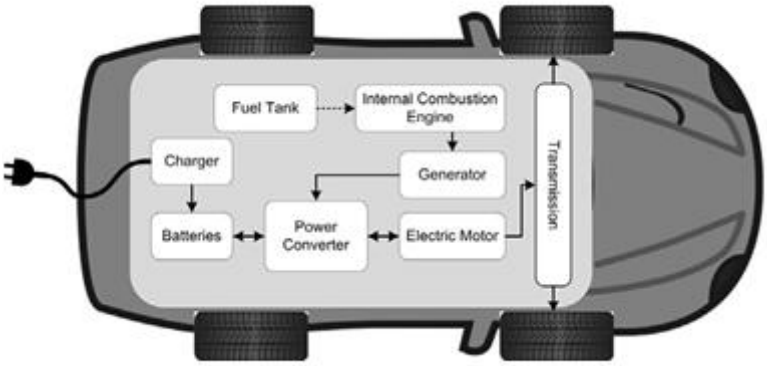
Range Rover modellerinin fiyatları hesaplanırken 1 Euro 4,15 TL olarak hesaplanmıştır. Çizelge 3.2 ‘den de anlaşılacağı üzere hibrit yapısının araçlar eklenmesiyle birlikte araçlarda bir ağırlık artışı gözlemlenmiştir. Elektrik motoru ile içten yanmalı motorun beraber çalışması durumunda Toyota modelinde yakıt tüketiminde %25 ve CO_2 emisyon değerlerinde ise yaklaşık olarak %20 ‘lık bir azalma söz konusudur. Bu durum diğer modelimiz Range Rover ise yakıt tüketimi ve CO_2 emisyon değerlerini göz önüne aldığımızda her ikisinde de yaklaşık olarak %10 gibi bir düşüş söz konusudur. Toyota Yaris modelinde sistem hibrit olduğunda ivmelenmede sürenin uzadığı gözlenirken Range Rover modelinde ise tam tersi olarak 0 ‘dan 100 km/s hıza araç daha kısa sürede ulaşmıştır. Kullanıcıların hibrit modelleri tercih ederken ilk olarak dikkat ettikleri kısım olan fiyat konusunda ise beklenildiği üzere %15 ila 20 gibi fiyat artışı olduğu görülmektedir. Araçların konvansiyonel ve hibrit modelleri arasındaki fiyat farkları ve yakıt tasarrufları değerlendirildiğinde fişsiz hibrit elektrikli araçların ekonomik anlamda kullanıcı açısından sağlayacağı faydalar sınırlıdır. Fişsiz hibrit elektrikli araçlar için yapılacak ekstra yatırımların geri dönüş süreçlerinin uzun olmasından dolayı bu tip modeller şarj edilebilir elektrikli araçlara geçişte bir basamak olarak karşımıza çıkmaktadır.

3.2 Fişli Hibrit Elektrikli Araçlar

Fişsiz hibrit elektrikli araçlara benzer olarak içten yanmalı motor ve elektrik motoru vasıtasıyla fişli hibrit elektrikli araçların (FHEA) tahriki sağlanır. Fişsiz hibrit elektrikli araçlara kıyasla daha büyük bir batarya grubuna sahip olması sebebiyle harici bir kaynaktan şarj olmaktadır. Bu tip araç yapısı, ayrı ayrı fosil yakıtlara bağlı olarak ve elektrik sistemine bağlı olarak veya her ikisini de aynı anda kullanma imkanına olanak tanıyarak genel yapıyı daha verimli hale getirir. Bununla birlikte; fosil yakıtlara bağlılık azalır, emisyon salınımları düşer ve V2G teknolojisine olanak tanır [22]. FHEA, fişsiz hibrit elektrikli araçlar ile kıyaslandığında içten yanmalı motor daha limitli ve en yüksek verim sağlayacağı durumlarda yararlanılarak sistemin kullanışlı hale getirir [12]. En önemli özelliği olan fişli yapısı sayesinde şebekeye doğrudan bağlanarak şarj işlemini gerçekleştirir. Bununla birlikte fişsiz hibrit elektrikli araçlarda olduğu gibi regeneratif frenleme sayesinde de bataryaya enerji akışı gerçekleşir. Böylelikle hem dahili hem de harici olarak şarj işlemi gerçekleştirilir. Yapılan bazı çalışmalara göre araçlar şebekeden şarj edilmesiyle birlikte CO_2 ve diğer zehirli gaz salınımlarında büyük oranda düşüş gözlenmiştir[23]. HEA ile kıyaslandığında FHEA; NOx salınımında %25-55, sera gazlarında %35-65 ve yakıt tüketiminde de %40-80 arasında azaldığı görülmektedir [12]. Fakat bunların yanında elektrik üretiminde kullanılan kaynakların rüzgar, güneş gibi yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlanması durumunda üretim sürecinde de çevreye salınan zehirli gazların azalmasına olanak tanınır. Böylelikle emisyon salınımları neredeyse sıfıra yaklaşmış olur [24, 25].

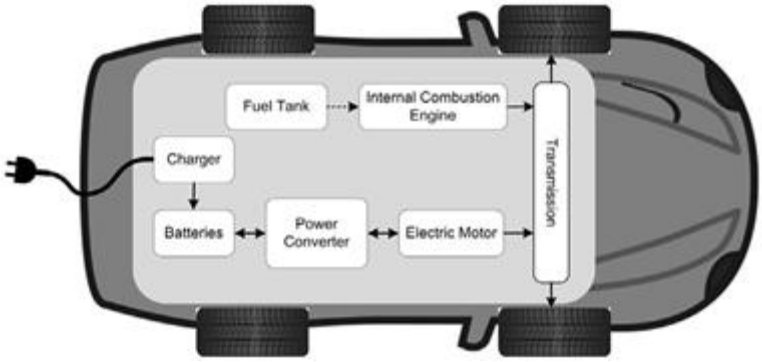
3.2.1 Çalışma Prensibi

Genellikle FHEA yapısında üç farklı tasarım söz konusudur. Bunlar sırasıyla; seri, paralel ve seri-paralel tasarımdır. Şekil 3.4’ de görüleceği üzere seri FHEA ‘da aracın tahriki sadece elektrik motoru aracılığıyla sağlanır. Elektrik motorunun enerjisi, içten yanmalı motorun generatör aracılığıyla ürettiği enerji ve bataryanın şarj edilmesiyle elde edilir. Elektrik motoru direk olarak iletim kısmına ve tekerleklerle mekanik olarak bağlantı halinde iken içten yanmalı motorun herhangi bir bağlantısı bulunmamaktadır.



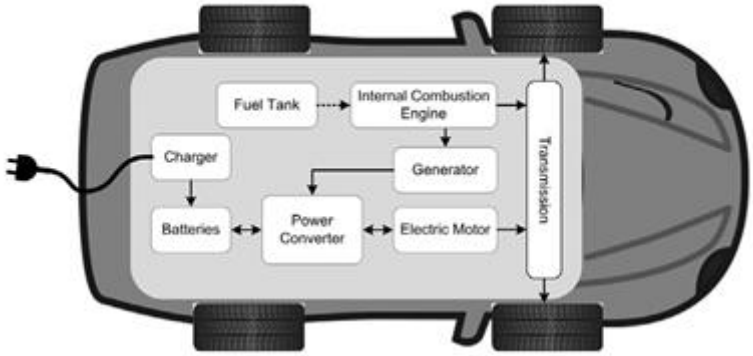
Şekil 3.4 Seri Fişli HEA

Paralel FHEA ‘da elektrik motoru ve içten yanmalı motor iletim kısmına ve tekerleklere mekanik olarak bağlanmıştır. Eş zamanlı olarak enerji akışı sağlayarak aracı tahrik edebilme yeteneğine sahiptir. Bu iki tahrik mekanizması sayesinde paralel FHEA ‘da seri FHEA ile kıyaslandığında daha verimli olduğu gözlemlenmiştir[26].



Şekil 3.5 Paralel Fişli HEA

Seri-paralel FHEA; seri FHEA ve paralel FHEA yapılarının özelliklerini tek bir yapıda barındırmaktadır. Her iki motor yapısı da mekanik olarak iletim kısmına ve tekerlere akuple edilmiştir. En önemli avantajı ise, içinde bulunulan koşullara göre seri tasarım olarak ve paralel dizayn olarak çalışmasıdır.



Şekil 3.6 Seri-Paralel Fişli HEA

Bu gibi farklı tasarım yapılarının yanı sıra FHEA 'ın şarj koruma ve şarjı tüketme gibi özelliklere sahiptir. Şarj edilebilme özelliğinden dolayı FHEA genellikle motoru çalışma esnasında şarj tüketme modundadır. Bataryanın şarj durumu azaldığında yani belirlenen eşik değere ulaşındığında şarj koruma moduna geçilerek içten yanmalı motordan enerji akışı sağlanır.

3.2.2 Bataryalar

Şebekenin AC, bataryaların ise DC yapıya sahip olmasından dolayı FHEA 'ın şarj işlemleri için araç içine dahili DC şarj cihazı yerleştirilmiştir. Yerleştirilen şarj cihazının güç değerleri ağırlık ve alan gibi sebeplerden dolayı limitlendirilmiştir. Pratikte FHEA yüksek güçlü şarj cihazlar ağırlığı arttıracağın dolayı araca monte halinde değildir [27].Buna binaen harici şarj cihazları geniş alan gerektirmeleri ve yüksek ağırlıkları dolayısıyla garaj veya şarj istasyonları gibi daha önceden belirlenmiş yerlerde konumlanmaktadır [28]. Sahip oldukları yüksek güç kapasiteleri sayesinden bataryaları daha kısa sürede doldururlar. Fakat bu tip şarj cihazlarının DC çıkış gerilimine sahip olmalarına rağmen batarya ile uygun gerilim değerine ulaşması için ayarlanır. Modern şarj istasyonlarında bulunan batarya gruplarının gerilim değerini tanımlama özelliği sayesinde şarj cihazlarının çıkış gerilimini uygun hale getirir [29].

FHEA şarj tüketme modunda çalıştıklarında dolayı şarj derinlikleri bazı durumlarda %95 seviyesine kadar ulaşmaktadır. Bu sebeple HEA ile kıyasladığımızda daha düşük bir çevrim sayısına sahiptirler. Bunlara ek olarak elektrikli kaynaklı daha uzun bir menzile sahip olmaları beraberinde daha büyük bir batarya potansiyeli ihtiyacı doğurmaktadır. FHEA 'daki en önemli husus batarya boyutu büyürken bununla birlikte artan maliyetini minimize etmektedir.

Elektrikli araçlardaki en büyük maliyet payına sahip olan bataryaların bu sorunun önüne geçilmek için çalışmalar devam etmektedir. FHEA 'da kullanılacak optimum batarya boyutları belirlenirken fosil yakıt tüketimi, batarya sürdürülebilir maliyeti veya emisyon değerleri göz önünde bulundurulur. Aynı zamanda diğer bir önemli husus ise batarya tekrar şarj edilinceye kadar ulaşılmak istenilen menzildir.

Günümüzde kadar kullanılan araçlarda NiMH ve Li-ion bataryalar ön plana çıkmıştır. NiMH bataryalar, Li-ion bataryalara kıyasla daha düşük değerlerde enerji ve güç yoğunluğuna sahiptir. Bu da daha az menzil ve daha düşük maksimum hız anlamına gelmektedir. Fakat NiMH bataryalar %80 deşarj derinliği için yaklaşık olarak 4000 çevrim sayısına sahip iken bu sayı Li-ion bataryalar yaklaşık olarak %50 deşarj derinliği ile sağlandığı tespit edilmiştir.

Bu gibi verilerin yanı sıra, günümüzde devam eden çalışmalar lityum bazlı bataryaların yüksek enerji ve güç yoğunlukları ve uzayan çevrim sayıları ile birlikte elektrikli araçlarda daha yoğun bir şekilde kullanılacağını göstermektedir [30].

Çizelge 3.3 Güncel Fişli Hibrit Elektrikli Araçlar Modelleri ile Onların Konvansiyonel Modelleri Arasındaki Karşılaştırmalı Örnek

	BMW 330e iPerformance	BMW 320i Sedan
Elektrik Motor Gücü (kW)	65	-
Elektrik Motor Torku (Nm)	250	-
Batarya Tipi	Lityum İyon 7,6 kWh	-
Elektrik Motoru ile Menzil (km)	39	-
Şarj Süresi (BMW iWallbox) (saat)	2,2	-
Elektrikli Motor ile Maksimum Hız (km/s)	120	-
Maksimum Hız (km/s)	225	235
Hızlanma 0-100 km/s (sn)	6,1	7,2-7,3
Elektrik Tüketimi (kWh/100km)	11-11,9	-
Karma Yakıt Tüketimi (lt/100km)	1,9-2,1	5,5-5,9
CO2 emisyonu (g/km)	44-49	128-138
Motor Gücü (cc)	1998	1998
Motor Beygir Gücü (PS/kW)	184/135	184/135
Toplam Sistem Beygir Gücü (PS/kW)	252/185	
Yakıt Tipi	Benzin + Elektrik	Benzin
Ağırlık (kg)	1735	1525
Fiyat (Euro)	45880	39710

Çizelge 3.3 'te sadece içten yanmalı motor vasıtasıyla tahrik edilen BMW 320i Sedan modeli ile fişli hibrit yapıya sahip BMW 330e iPerformance modeli karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir. İlk olarak dikkat çeken kısım FHEA 'ın CO_2 emisyon değerlerini ciddi oranda düşürdüğü gözlemlenmiştir. İçten yanmalı motor sahip araçta 128-138 aralığında olan CO_2 salınımı yaklaşık %65 gibi bir düşüş sonucunda FHEA yapısında 44-49 g/km değerlerine ulaşmıştır. Bu oran bir önceki incelediğimiz fişsiz hibrit elektrikli araçlarda %10-20 arasında değişmekteydi. Diğer göz çarpan husus ise karma yakıt tüketimindeki %65 'lık düşüş. Fakat unutmamak gerekir ki, araç şebekeden şarj edileceğinden aslında kullanıcıya yansıyan yakıt tasarrufu bu orandan daha az olacaktır. Örneğin; her iki aracında 100 km batarya ve depoları dolu halde yol aldıklarını varsayalım. FHEA 100 km 'lik bir mesafenin karma olarak elektrik motoru ve içten yanmalı motor tahriki ile km başına 15 kuruş yakıt masrafı olurken konvansiyonel araç ile aynı mesafe kat edildiğinde km başına 30 kuruş masraf olmaktadır.

(Bu değerler hesaplanırken elektrik enerjisi birim fiyatı 41 kuruş ve 1 lt benzinin fiyatı 5,20 TL olarak hesaplanmıştır.). Batarya gruplarının araçlara eklenmesiyle oluşan ağırlık artışını da Çizelge 3.3 'te görebiliriz. FHEA, fişsiz hibrit elektrikli araçlara göre elektrik motoru ile daha fazla yol kat edebileceğinden dolayı km başına maliyetleri daha düşük olacaktır. Bu sebeple iki ayrı elektrikli araç tipi karşılaştırıldığında FHEA 'da geri dönüş süresi daha kısa olacaktır.

Fişsiz hibrit elektrikli araçlar ve FHEA 'ı genel olarak değerlendirirsek, şebekeden şarj edilebilme yeteneği sayesinde FHEA çok daha az CO_2 salınımına ve daha az yakıt tüketimine sahiptir. Bu gibi özelliklerinin yanı sıra, daha büyük bir elektrik motoruna sahip olmaları elektrik motoru ile yapacakları menzili de arttırmıştır. Şehir içi günlük kullanımlarda ihtiyaçları karşılayabilmeye yönelik 30 ila 50 km 'lık elektrikle kazanılan menzil yeterli olabilmekle birlikte kullanım mesafelerinin uzaması FHEA 'ın yeterli seviyede olmadığı görülmektedir. Bundan dolayı sadece batarya gruplarından beslenen tipte araçların gelişimi önem kazanmıştır.

BÖLÜM 4

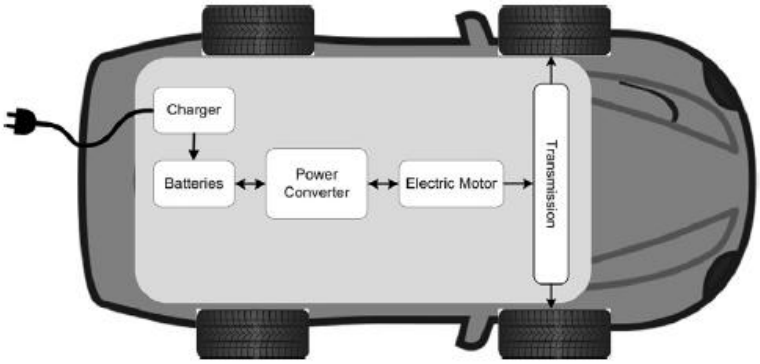
BATARYALI ELEKTRİKLİ ARAÇLAR

BEA ’ın prensibi; şarj edilebilir batarya gruplarında depolanan kimyasal enerjiyi elektrik enerjisine çevirmeye dayanır. İYM araçlar ve BEA araçlar arasındaki en büyük fark; İYM ‘a sahip araçlarda gerekli olan tahrik enerjisi fosil yakıtlarından yakılmasıyla elde edilirken BEA ‘da gerekli güç, bataryada depo edilen enerjiden tedarik edilir [32]. BEA ’da, geleneksel araçlarda bulunan benzin/dizel motor ve yakıt tankı yerine elektrik motoru, batarya grupları ve kontrol sistemi bulunur.

4.1 Çalışma Prensibi

BEA yapısında bulundurduğu elektrik motorları, batarya grupları ve elektrik motor kontrolörü gibi parçalar vasıtasıyla tekerleri döndürmek için gerekli olan gücün akışını sağlar. Konvansiyonel araçlar ve HEA gereksinim duyduğu enerjiyi fosil yakıtlar veya kısmi olarak elektrik enerjisinden elde edilir. Bu araç tiplerinden farklı olarak, BEA ‘da aracın tahriki için gerekli olan enerji, tamamiyle elektrik enerjisinden sağlanır. Yüksek enerji kapasiteli bataryaların şarj edilebilmesi için şebekeden sağlanan elektrik enerjisinin yanı sıra BEA ‘ın sahip olduğu rejeneratif frenleme yapısından da yararlanılır. Bu araçların bataryaları, hibrit araçların bataryalarına kıyasla onlarca kat daha fazla enerji kapasitesine sahip olduğu için birçok şarj yöntemi ortaya çıkmıştır. Alternatif akım ve doğru akım metodlarının farklı seviyelerde kullanılarak bataryanın en kısa sürede şarj edilip, BEA ‘ın tahriki için gereken güç elde edilir. Hibrit araç tiplerine göre daha yüksek enerji kapasiteli olan ve DC bataryalardan elde edilen güç, elektrik motorlarına aktarılmadan önce güç elektroniği devreleri aracılığıyla istenilen akım ve gerilim karakterlerine dönüştürülür. Normal koşullar altında motor kontrolörü batarya gruplarından aldığı gücü ayarlayarak aracı tahrik etmek üzere elektrik

motoruna aktarır. Aktarılacak güç seviyesini belirlemede gaz pedalıyla bağlantılı olan değişken dirençler sisteme yardımcı olur. Birçok kontrolör takriben 15 kHz frekansta çalışır. Elektrik motoru iletim ve tekerler ile mekanik olarak akuple olduğundan kendisine gelen gücü aracı tahriki için tekerlere aktararak aracı hareket ettirir.



Şekil 4.1 BEA Yapısı

4.1.1 W-T-W (Kuyudan Tekerlere)

Farklı teknolojilerin çevresel performansı son yıllarda hem akademik boyutta hem de servis sağlayıcılar tarafından büyük ilgiyle karşılandı. Elektrik güç aktarma organlarının çevresel faydaları BEA açısından büyük bir motivasyon kaynağı olmaktadır. Bundan dolayı BEA 'ın sera gazları salınımlarının WTW formu ele alınarak literatürde değerlendirilmesi yapılır. WTW formu ele alınarak değerlendirme yapılırken bu çalışmanın daha doğru ve anlaşılır olması için iki bölüme ayrılarak gerçekleştirilir. Bunlar kuyudan yakıt tankına (WTT) ve yakıt tankından tekere (TTW) şeklindedir. WTT aşamasında üretilen elektrik enerjisinin ya da içten yanmalı motorlar için gereken fosil yakıtların üretim esnasında çevreye etkileri (emisyon salınımları) ele alınır. TTW aşamasında ise yakıt deposuna veya batarya gruplarına gelen enerjinin araç kullanımı esnasında çevreye verdiği zarar gaz değerleri hesaplanarak değerlendirilir. Böylece genel sistem daha detaylı incelenmiş olur.

İçten yanmalı motorlar ile Bataryalı elektrikli araçlar arasındaki performans ve yaşam döngüsü maliyetleri, araç yakıtı kuyudan tekere zincir şeklinde detaylı incelenerek doğru bir analiz elde edilebilir. Bu çalışmada; binalarda, araçlarda ve santrallerde ortaya çıkan gömülü enerji (embodied energy) kayıplarını kapsamamaktadır. 2001 yılında yapılan bir çalışmaya göre gömülü enerji, toplam enerji döngüsünün %7-8'i kadardır.

Verimlilik ve Primer Enerji Tüketimi

W-T-W verimliliği aşağıda verilen formül üzerinden hesaplanmaktadır.

$$\eta_{\text{primer}} = \frac{\text{Tekerlerdeki Faydalı Enerji}}{\text{Primer Enerji}} \quad (4.1)$$

$$\eta_{\text{primer}} = \frac{\text{Tekerlerdeki Faydalı Enerji}}{\text{Araca Sağlanan Enerji}} \quad (4.2)$$

$$\eta_{\text{primer}} = \frac{\text{Tekerlerdeki Faydalı Enerji}}{\text{Güç Aktarım Mekanizmasına Sağlanan Enerji}} \quad (4.3)$$

Elektrik üretimi, şarj etme, aracı kullanma ve taşıma esnasında kaçınılmaz olarak enerji kayıpları meydana gelir. Rejeneratif frenleme, verimliliğe pozitif bir katkı sağlar. Şekil 4.2 'de verimlilik ile ilgili aşamalar gösterilmektedir.

Tekerlerdeki yararlı enerji, aracın toplam çekiş gücünü ifade eder. Çekiş gücü, sürtünme direncinin (F_a), yuvarlanma direncinin (F_r) ve ivme kuvvetinin (F_1) üstesinden gelmek için gereken mekanik gücün oluşumunu içerir.

Sürtünme ve yuvarlanma dirençleri aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$F_a = 0.5 \text{ x } C_D \text{ x } A \text{ x } \rho \text{ x } v^2 \quad (4.4)$$

$$F_r = C_R \text{ x } M \text{ x } g \quad (4.5)$$

Burada ifade edilen;

C_D= aracın sürtünme katsayısı

C_R= yuvarlanma direnç katsayısı

A= aracın ön cephe alanı (m^2)

ρ=havanın yoğunluğu

M=aracın kütlesi (kg)

g=yer çekimi ivmesi (m/s^2)

v=aracın hızı (m/s)

Aracın hızlanma kuvveti aşağıda formülde gösterildiği gibi aracın doğrusal hızlanmasından oluşur.

$$F_1 = M \times \alpha \quad (4.6)$$

Burada;

F_1= Doğrusal hızlanma kuvveti (Newton)

M=aracın kütlesi (kg)

α= aracın hızlanma ivmesi (m/s^2)

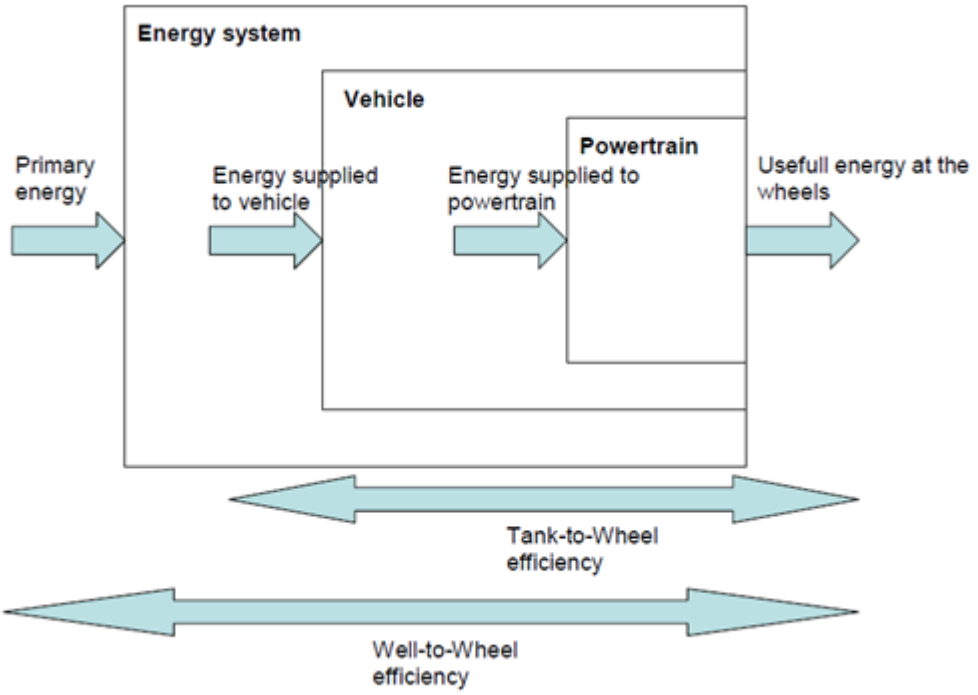
v=aracın hızı (m/s)

Hızlanma kuvveti, döner hızlanma bileşeninden oluşur. Bu kuvvet sayesinden aracın dönen parçalarının daha hızlı dönmesi sağlanır. Bu kuvvet yukarıdaki denklemde arabanın kütlesine %5 eklenerek uygulanabilir.

Aracın verimliliği, yukarıda formulize edilen üç kuvvetin bir arada tekerlerde oluşturduğu etkiden yararlanılarak elde edilir.

$$\eta_{araç} = \frac{(F_a + F_r + F_1) \times \Delta v \times \Delta t}{\text{Araca Sağlanan Enerji}} \quad (4.7)$$

Frenleme esnasında F_1'in negatif olduğu unutulmamalıdır. Normal içten yanmalı motora sahip bir araçta frenleme gücü kullanılamaz ve ısıya dönüşür. Fakat Bataryalı elektrikli araçlarda ise rejeneratif frenlemenin kullanılması mümkündür. Frenleme kuvvetinin %25'inden faydalanılarak elde edilen enerji, bataryalarda depo edilir. Bu elde edilen rejeneratif enerji araca sağlanan enerjinin bir kısmını meydana getirir. Eğer rejeneratif frenleme enerjisi kullanılmaz ise bataryalı elektrikli araçların sürüş esnasında tükettiği enerji daha fazla olacaktır.



Şekil 4.2 Enerji Sistemi Verimliliği

Araç verimlilikleri standart sürüş çevrimlerinden ve excel'den gelen verileri kullanarak simüle edilir. Toplam sürüş çevrimi boyunca olan araç verimliliğini hesaplamak için tekerleklerdeki yararlı enerji her saniye simüle edilir. Çevrim esnasındaki sürtünme, yuvarlanma dirençleri ve ivmelenme kuvvetinin üstesinden gelebilmek için ortalama güç, tekerleklerdeki yararlı enerjiyi temsil eder. Aracın verimliliği sürüş çevrimi esnasındaki yakıt tüketimi ve tekerleklerdeki güç ile kolayca hesaplanabilir [33].

4.1.2 W-T-T (Kuyudan Yakıt Deposuna)

WTT değerlendirmesi yapılırken enerji üretimi ve dağıtımı sırasında açığa çıkan emisyon salınımlarının sayısal olarak ölçülmesini sağlanır. Değerlendirme basit olarak, enerji üretim yöntemleri, beslenme stoğu ve dağıtım yollarının belirlenmesi yoluyla elde edilir. Enerji üretilirken fosil yakıtlar, yenilenebilir veya biyo yakıt gibi farklı yöntemlerin kullanılması ve dağıtım yollarındaki önemli farklılıklardan dolayı üretim esnasında açığa çıkan emisyon değerleri ciddi farklılıklar göstermektedir. Dolayısıyla kullanıcıların araçlarını şarj ederken faydalandıkları şarj istasyonuna aktarılan enerjinin üretim yöntemi de bu farklılıklar sebebiyle büyük önem kazanmaktadır. Emisyon değerlerinin hesaplanması için çeşitli modeller geliştirilmiştir. Bunlar; Amerika 'da kullanulan GREET Model, Kanada 'da kullanılan GHGenius

ve Avrupa ‘da kullanılan RED Model ‘dir.

Çizelge 4.1 WTT Aşamasında Açığa Çıkan Emisyon Değerleri

Yakıt / Enerji Türü	WTT Emisyon Değeri (gram)
Petrol (litre)	471
Dizel (litre)	624
Kirli Enerji (kWh)	526
Elektrik Enerjisi mix (kWh)	355
Güneş Enerjisi (kWh)	70
Rüzgar Enerjisi (kWh)	12
Hidroelektrik (kWh)	6

Çizelge 4.1 ‘de enerji üretimi esnasında açığa çıkan emisyon değerleri verilmiştir. Yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı üretim yöntemlerinin WTT emisyonlarını minimuma indirmek için en iyi araç olduğu gözükmektedir.

4.1.3 T-T-W (Yakıt Deposundan Tekerlere)

TTW değerlendirme sonuçları hesaplanırken yakıt deposu veya batarya gruplarından sağlanan enerji ile aracın hareketi sağlanırken açığa çıkan emisyon değerleri üzerinde durulur. Sürüş koşulları, ortalama hız değeri, dur kalk yoğunluğu gibi faktörler emisyon değerleri üzerinde etkisi büyüktür. Fakat BEA yapısı gereği TTW aşamasında çevreye emisyon salınımı sıfırdır.

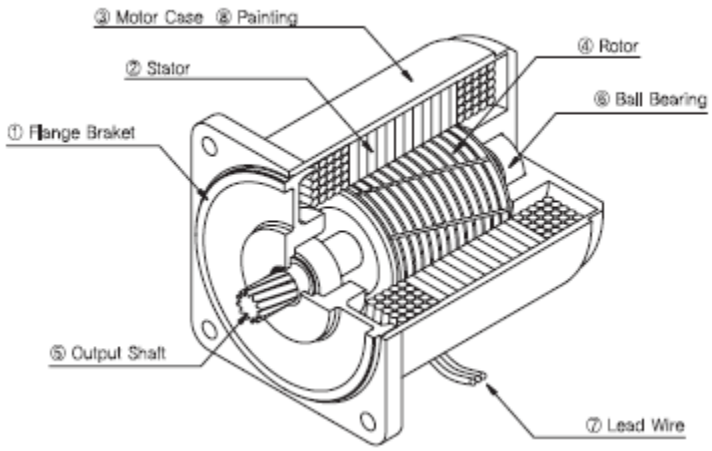
4.2 Elektrik Motorları

Elektrikli araçların iskeletinde en önemli parçalardan biri kullanılan elektrikli motorlardır. Tasarlanan hedefe uygun motor seçimi oldukça önemli olmakla birlikte hali hazırda kullanılan farklı motor tipleri bulunmaktadır. Örneğin, beygir gücü volt ve amper değerleri ile sürekli değiştiği için belirli bir beygir gücüne sahip motora atıfta bulunmak çok doğru değildir ve motorların pik beygir gücü bilindiği üzere her zaman sürekli nominal güç değerinden çok daha fazladır. Motorların isim veya model numaraları ile tanımlanmaları daha doğru tanımlama şeklidir. Günümüzde elektrikli araçlarda alternatif akım motorları (AC Motor) ve

doğru akım motorları (DC Motor) kullanılmakta olup asenkron indüksiyon motorları, anahtarlamalı relüktans motorları ve sabit mıknatıslı fırçasız dc motorlar daha çok kullanılanlar arasındandır. Kullanılacak motor seçiminde; araç tasarımına göre yerleştirilmesi planlanan motorun gücü, çalışma koşullarındaki termik ve buna bağlı olarak değişkenlik gösteren verimlilik karakteristikleri gibi kriterler önemli bir yer tutar.

4.2.1 Alternatif Akım Motorları

Alternatif akım motorları (AC Motor) genelde stator ve rotor olmak üzere iki temel kısımdan meydana gelir. Stator, dönen bir manyetik alan oluşturmak için alternatif akımla beslenen bobinlere sahip dış kısımda bulunan ve ince bakır tellerden oluşan sabit bir parçadır. İç kısımda bulunan rotor ise çıkış miline tutturulmuş ve dönen ikinci bir manyetik alan üreten parçadır.



Şekil 4.3 Altenatif Akım Motor Yapısı

Flanş Braketi: Dökme alüminyum braket motor kutusuna presle takılmıştır. Flanş ve muhafaza, motoru tek başına veya dişli kutusu ile kombine şekilde bağlamada önemli bir rol oynayan tek gövdeli bir tiptir.

Stator: Stator, lamine silikon /çelik plakalar, bir polyester kaplı bakır bobin ve izolasyon filminden yapılmış bir stator çekirdeğinden meydana gelmektedir.

Motor Kılıfı: Döküm alüminyum ile içe işlenmiş cilalı yapısı vardır.

Rotor: Rotor, dökme alüminyum ile lamine silikon /çelik plakalardan oluşur. Elektrik enerjisini kimyasal enerjiye dönüştürmek ve şaft vasıtasıyla dışarıya aktarmak gibi önemli

görevleri mevcuttur.

Çıkış Mili: Motor için kullanılan yuvarlak tip mil, D-kesme tip mil ve anahtar tip mil bulunurken dişli kutusu takmak için ise dişli tipi mil bulunmaktadır.

Bilyalı Rulman: Güvenirlilik ve hızlı dönme hareketi için rotorun doğru pozisyonda kalmasını sağlar.

Giriş veya Çıkış Kablosu: Isıya dayanıklı polietilen kaplamaya sahiptir.

Bir AC motorunda, dönen bir manyetik alan üretmek üzere tasarlanan dış çevresinde statoru oluşturan bir elektromıknatıs halkası vardır. Statorun içinde sağlam metal bir mil, bir tel kulbu, bir bobin, metal çubuklardan yapılmış bir sincap kafesi bulunur. DC motorun aksine, AC motorda statoru oluşturan dış bobinlere güç gönderilir. Enerjiyi alan bobinler, motorun etrafında dönen manyetik alan oluşturur.

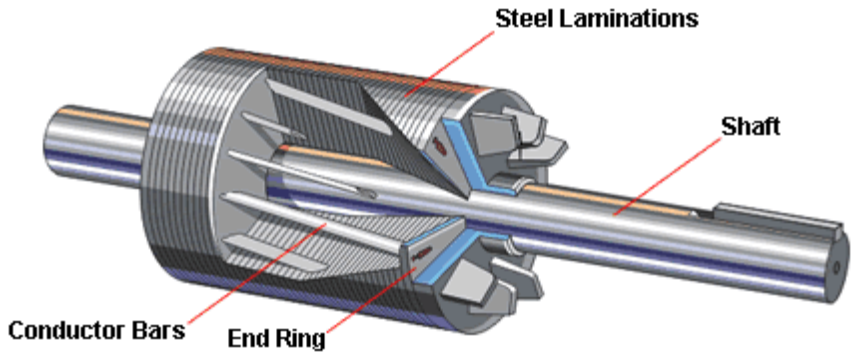
Manyetik alanın içine asılmış rotor aynı zamanda bir elektrik iletkenidir. Manyetik alan sürekli döndüğünden dolayı sürekli değişmektedir ve elektromanyetizma yasalarına göre (Faraday Yasası), manyetik alan rotorun içinde bir elektrik akımı üretir. İletken bir halka veya tel ise, akım bir döngü içinde etrafında akar. Eğer iletken basitçe sağlam bir metal parça ise, eddy akımı bu parçanın çevresinde girdap yaparak döner. Bu akım dış bobinlerdeki manyetik alana karşı çıkmaya çalışan kendi manyetik alanını üretir ve iki alan arasındaki etkileşim rotorun dönmesine neden olur [35, 36, 37].

Asenkron indüksiyon motorları endüstriyel uygulamalarda olduğu gibi elektrikli araçlarda yüksek oranda kullanıma sahiptir. Yüksek dayanıklılıkları, nispeten düşük maliyetleri ve başarılı dinamik performansları bu tip motorların elektrikli araç endüstrisinde etkin bir rol oynamasını sağlar. İndüksiyon ve senkron motorların her ikisinde de, motorun parçası olan statorunun AC güç ile beslenmesi sonucunda AC titreşimlerle dönen bir manyetik alan oluşur. Senkron motorda bu dönme işlemi stator ile aynı hızda gerçekleşirken, asenkron motorlarda rotor, statordan daha yavaş döner.

AC İndüksiyon Motoru

Fırçasız DC motorda olduğu gibi rotorda sabit bir mıknatıs kullanmak yerine, geçici bir mıknatıslanma oluşturmak için rotorda bir akım indüklemekte mümkündür. Bu da AC indüksiyon motoru ile gerçekleştirilir. Şekil 4.4 ‘de de görüldüğü gibi en yaygın kullanılan

indüksiyon motor tipi sincap kafesli olandır. Rotor, şaftın etrafında eşit aralıklarla yerleştirilmiş iletken çubuklar ile çelik laminasyon yığınından meydana gelir.



Şekil 4.4 Sincap Kafesli Rotor

İndüksiyon motorunun rotoru, sargılar 120 derece yer değiştiren birkaç bobinden oluşur. Rotora üç fazlı alternatif akım sağlandığında rotorun iletken çubuklarında bir akım indüklenir. Saat yönünün tersine dönen manyetik alanı peşinden döndürür. Rotorun açısal hızı, manyetik alanının altındadır. Bu kayma hızı, rotor hızı ve manyetik alan arasındaki bağıl hızdır. Halihazırda piyasada yer alan Th!nk City elektrikli araç ve Tesla Roadster üç fazlı AC indüksiyon motoruna sahiptir.

4.2.2 Doğru Akım Motorları

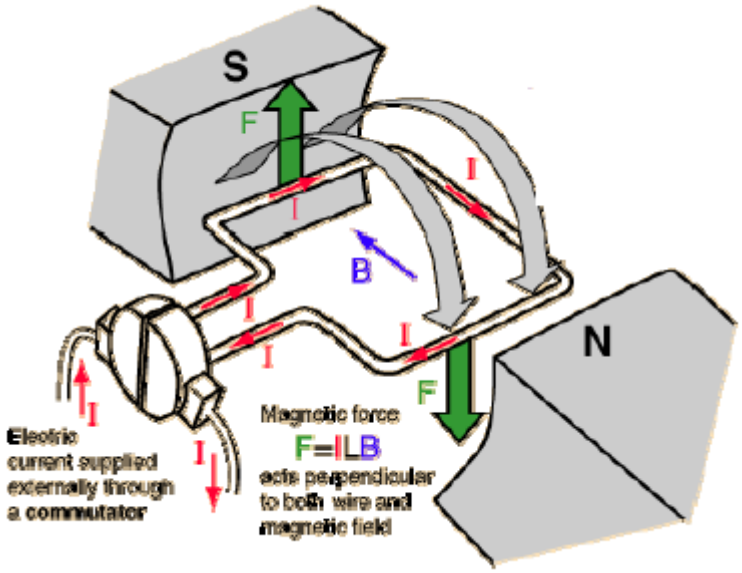
Doğru akım motorları (DC Motor), doğru akım elektrik enerjisini mekanik enerjiye dönüştüren döner elektrikli makinelerdir. En yaygın olarak tercih edileni manyetik alanlar tarafından üretilen kuvvetlere dayanmaktadır. DC motor çeşitlerinin birçoğunda akım akış yönünü değiştirmek için motorlarının bir kısmında elektromekanik veya elektronik bir iç mekanizmaları mevcuttur. Değişken bir besleme geriliminden faydalanarak veya alan sargılarındaki akım şiddetinde değişiklik yaparak DC motor hızı geniş bir aralık içerisinde kontrol edilebilir. [38] DC motorlar, endüvi sargıları olarak adlandırılan bir dizi bobinden ve iç kısımda stator olarak adlandırılan sabit mıktanıslar veya diğer bobinlerden meydana gelir. Bobinlere uygulanan gerilim ile rotorlarda bir tork üretilir ve sonuç olarak hareket sağlanır.

Stator; DC motorların hareketsiz olan dış kısmıdır. Sabit mıktanısa sahip olan DC motorun statoru iki veya daha fazla sabit mıktanıs kutup parçasından oluşur. Manyetik alan, alternatif olarak elektromıknatıs ile oluşturulabilir. Bu durumda, bir DC bobin statorun bir parçasını

oluşturan manyetik malzemenin etrafına sarılır.

Rotor; motorun dönen iç kısmıdır. Mekanik komütatör vasıtasıyla harici devrelere bağlanan endüvi sargıları olarak adlandırılan sargılardan meydana gelir. Stator ve rotor, ferromanyetik malzemeden yapılmıştır. Hava boşlukları ile birbirinden ayrılmıştır.

Sargılar; seri veya paralel bobin bağlantılarından oluşur. Gerilimin endüklendiği veya uygulandığı sargılar, endüvi sargıları olarak adlandırılır. Elektromıktanıs için akı üretim amacıyla bir akımın geçirildiği sargılar ise; alan sargılarıdır. Genellikle sargılar bakırdan oluşur.



Şekil 4.5 DC Motor Yapısında Tork Üretimi

Şekil 4.5 'te de görüleceği üzere akı yoğunluğu B olarak ifade edilen bir manyetik alanda bir bobin olduğu düşünülsün. Bobinin iki ucu bir DC gerilim kaynağına bağlandığında, akım üzerinden akar. Manyetik alanın ve elektrik akımının etkileşimi sonuucnda bobin üzerine bir kuvvet uygulanır. Bobinin iki yanında oluşan kuvvet, bobinin bu yönde hareketini sağlar.

Gerçek bir DC motorda, rotor üzerinde birkaç bobin sarılıdır ve bunların hepsi dönmeyi sağlayan kuvvet oluşumuna olanak sağlar. Sargılardaki akım değerinin büyüklüğü veya manyetik alanın büyüklüğü, oluşacak kuvvetin de büyüklüğü ile doğru orantılıdır. Bundan dolayı daha büyük akım değerleri doğal olarak daha hızlı harekete imkan tanıyacaktır[38].

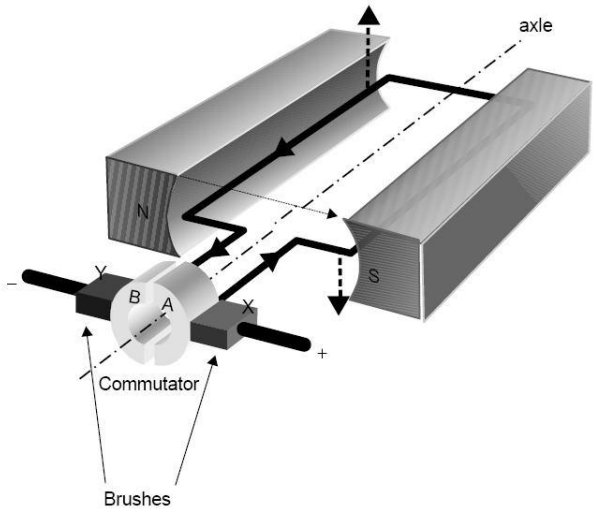
Küçük DC motorlar; aletler ve oyuncaklarda tercih edilirken evrensel motorlar hafif olduklarından taşınabilir elektrikli aletlerde kullanılmaktadır. Elektrikli araçların tahrik

edilmesi yüksek güç gereksinimi olduğu için kullanılan DC motorlar ise büyük DC motorlardır.

Elektrikli araçlarda en çok tercih edilen DC motorlar yapısının başında fırçasız DC motorlarda yer alır. Tipik fırçasız DC motorlar, bir veya daha fazla sabit mıknatısı rotor kısmında ve motor muhafaza amacıyla da statorunda elektromıknatıs kullanır. Bir motor kontrolörü doğru akımı alternatif akıma çevirir. Bu tasarım motorun dışından dönen rotora güç aktarma zorluklarını ortadan kaldırdığından dolayı fırçalı motorlara kıyasla mekanik olarak daha basittir. Motor kontrolörü, sensörler vasıtasıyla rotorun konumunu algılayıp torku optimize etmek, hızı düzenlemek, ters güç sağlamak ve frenleme uygulamak için rotor bobinlerindeki akımı, fazı ve zamanlamayı kontrol eder. Ömürlerinin uzun, bakımlarının az veya hiç olmaması, yüksek verimleri ve güç yoğunlukları fırçasız motorların avantajları arasındadır. Fakat başlangıç maliyetlerinin yüksek olması, doğada nadir olarak bulunan elementlerden meydana gelmesi, düşük yüksek hız performansları ve daha karmaşık motor hızı kontrolörleri bu makinelerin negatif yönlerindendir.

Fırçalı DC Motor

Otomotiv sektöründe kullanılabilecek en basit motor tiplerinin başında fırçalı DC motor yer alır. Genellikle bu tip motor, saç kurutma makinesi gibi evlerde yer alan elektrikli ev aletlerinin her çeşidinde ve fanlarda kullanılmaktadır.



Şekil 4.6 Fırçalı DC Motor

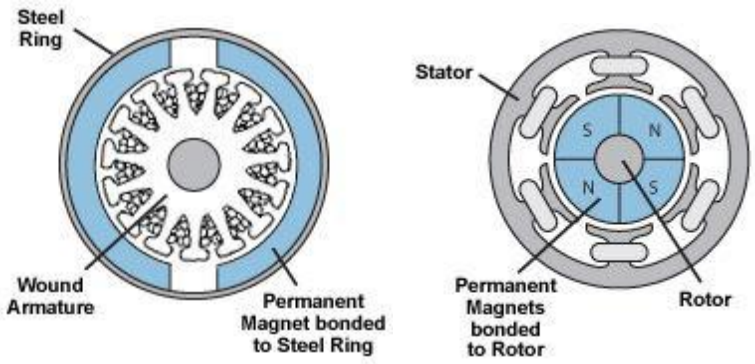
Şekil 4.6 ‘de iki kutuplu fırçalı DC motor bir bobin ile gösterilmiştir. Motor, iki sabit mıknatıs ve fırçalar içeren stator ile komütatör ve sargılar içeren rotordan meydana gelir. Sol taraftaki

kuvvet yukarı doğru iken sağ taraftaki kuvvet aşağı yönde olarak bobinin saat yönünde dönmesine sebebiyet verir. Komütatör ile bobin telleri manyetik etkiden kurtulduklarında momentum fırçalar tekrar bağlanana kadar rotoru taşır. Komütatör, kuvvetlerin bobini saat yönünde etki ettiğinden emin olmak için sürekli olarak akımın yönünü değiştirir. Gerçek bir DC motor uygulamasında rotor birçok bobinden ve statorda birçok mıknatıstan faydalanırken prensip yine aynıdır. Paralel, seri ve dıştan uyarılan olmak üzere üç ana fırçalı DC motor tipi mevcuttur. Elektrikli araçlar için dıştan uyarılan motor tipi tercih edilir. İstenen tork değeri, motora mükemmel bir esneklik kazandıran her açısal hızda kontrol edilebilir. Bu tip motorlarda karşılaşılan problem komütatör ve fırçalar ile ilgilidir. Sürtünmeye neden olmakla kalmaz aynı zamanda düzenli bakım gereksinimi ve hız aralığının sınırlanmasına da sebebiyet verirler [37].

Fırçasız DC Motor

Fırçasız DC motor adından belli olduğu üzere bir DC motor olmasına rağmen AC motor gibi davranır. Motorun alternatif akıma ihtiyacı vardır. Fakat değişken frekansa yapısı da gerekir. Dolayısıyla gereken akım bir DC güç kaynağından elde edilmelidir. Üreticiler tarafında farklı şekilde isimlendirilen fırçasız DC motorlar sırasıyla; sabit mıknatıslı senkron motor, kendinden senkron AC motor, değişken frekanslı senkron motor ve elektronik olarak yönü değiştirilen motordur.

Motor; birkaç tane bobine sahip üç fazlı stator ve yüzeyi sabit mıknatıslı olan rotor tarafından meydana gelir. Şekil 4.7 ‘de de görüleceği üzere stator ve rotor yapısı, sabit mıknatısın statorda olduğu fırçasız DC motor yapısına kıyasla terstir[37].



Şekil 4.7 Fırçasız DC Motor

Bir fırçasız DC motorun çalışması, rotorun saat yönünde döneceği şekilde statordaki

kutupların birbirini izlemesidir. Statordaki kutuplar, rotordaki kutupları çeker ve kutuplar birbirleri ile uyarınca akım kesilir. Daha sonra momentum rotoru taşır. Statordaki manyetik alan ve kutupların değişimi ile akım tersine çevrilir. Motorun döndüğünden emin olmak ve rotorun pozisyonunu belirlemek için sensörler gereklidir. Bu sensörler genellikle manyetik etkili kaptördür. (Hall Effect Sensors)

Verimli bir yapıya sahip olan fırçasız DC motorlarda tork, düşük hızlarda yüksektir ve hız seviyesi arttıkça azalır. Fırçasız bir DC motorun güçlü bir sabit mıknatıs gereksinimi, toplam maliyetine etki eden en önemli faktörlerden biridir [37].

Anahtarlamalı Relüktans Motoru

Anahtarlamalı relüktans motoru, demir rotor ve statora sahip oldukça basit bir motor. Stator manyetize edilerek rotor çeker. Stator ve rotor aynı hizaya geldiğinde (manyetik alan simetrik) akım kesilir. Rotoru ileri momentum taşır ve akım tekrardan akmaya başlar. Anahtarlamalı relüktans motorunun stator ve kontrol elektroniği, fırçasız DC motor ve indüksiyon motorunun stator ve kontrol elektroniklerine benzer.



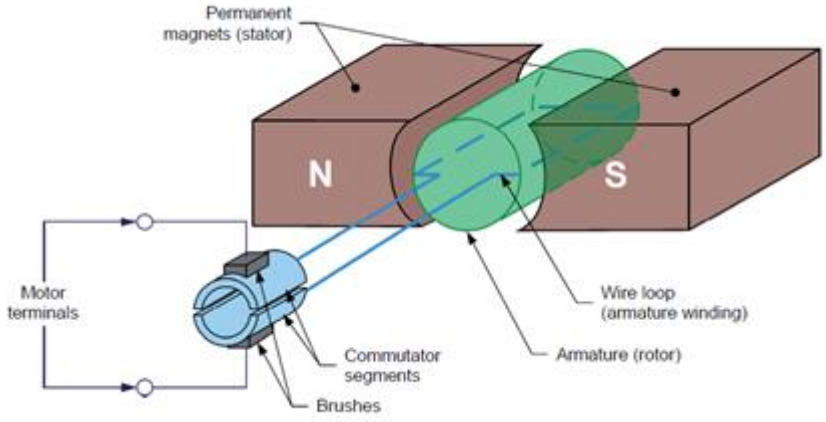
Şekil 4.8 Üç Fazlı Anahtarlamalı Relüktans Motoru

Anahtarlamalı relüktans motoru daha basit bir yapıya sahip olması onu fırçasız DC motor ve indüksiyon motoru ile kıyaslandığında maliyeti daha az ve daha dayanıklı hale getirir. Sabit mıknatıs bulundurmayan yapısı sayesinde anahtarlamalı relüktans motorları geri elektrik motif kuvvetleri oluşturmazlar. Bundan dolayı daha yüksek hızlara erişebilirler. Geri elektrik motif kuvveti, sabit mıknatıslı elektrik motoru dönerken üretilen gerilimdir. Fırçasız DC motorun hızı geri elektrik motif kuvveti sebebiyle sınırlıdır. Aynı zamanda anahtarlamalı relüktans motorunun bobinindeki akımın değişken olması gerekmez. Hızı ayarlamak ve akımın zamanında devreye girip çıkmasını sağlamak için gelişmiş kontrol sistemleri ve

sensörlere ihtiyaç duyar[37].

Sabit Mıktanıslı DC Motor

Bütün motor tiplerinde olduğu gibi sabit mıknatıslı motorlarda da bulunan stator yapısı, rotorun dönmesi için sabit olan kısımdır. Stator, zıt kutupların birbirine bakacak şekilde meydana gelen bir çift sabit-sürekli mıknatıstan oluşur. Böylece bir mıknatısın kuzey kutbu endüviye yakın iken, diğer mıknatısın güney kutbu endüviye yakındır. Bu nedenle manyetik alan hatları, metal bir rotor vasıtasıyla bir sabit mıktanıstan diğerine geçer. Motorunun dönen parçası olan rotor ise; döner bir metal rotora monte edilmiş tellerden oluşur. Tel halkanın uçları, komütatör ve bir çift fırça vasıtasıyla motorun statoru üzerinde bağlantı uçlarına bağlanmıştır. Komütatörün birbirinden izole edilmiş iki segmenti vardır ve her bir segment tellerin bağlantı ucuna bağlanır. Bu tip bir DC motora, sabit mıktanıslı DC motor adı verilir. Bunun nedeni, sabit mıknatıslar, çalışma süresi boyunca gerekli olan manyetik alanın üretimi için kullanılır.

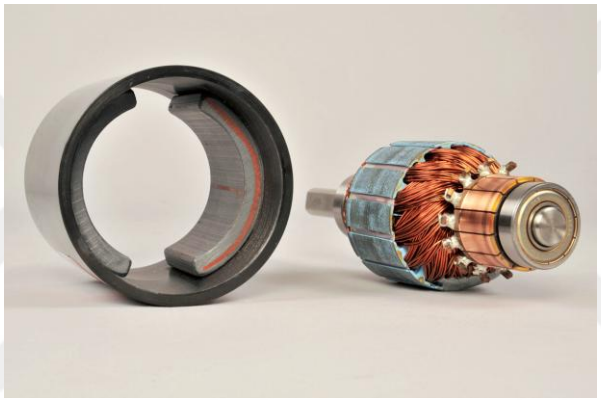


Şekil 4.9 Basit Yapılı Sabit Mıknatıslı DC Motor

Şekil 4.9 'deki diyagramda sabit mıktanıslı DC motorun en basit biçimde oluşturulmuş hali gösterilmektedir. Piyasada kullanılan gerçek DC motorlarda, rotor tek bir tel döngüsü yerine birkaç tel döngüsünden oluşur ve komütatör tek bir segment yerine birkaç segmentte sahiptir.



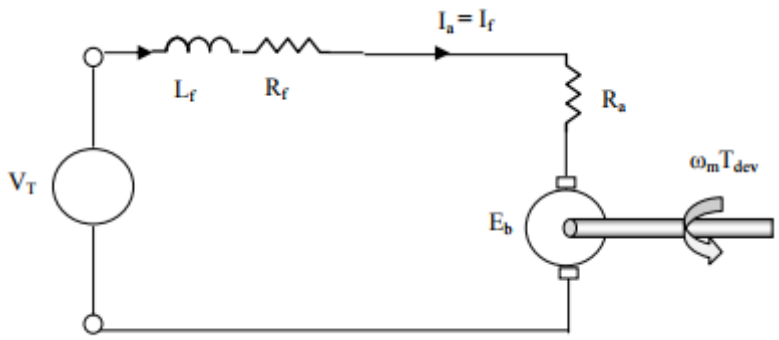
Şekil 4.10 Gerçek Motorlardaki Rotor Yapısı



Şekil 4.11 Stator ve Rotor Yapısı

Seri Sargılı DC Motor

Seri sargılı DC motorlarda kutup sargıları endüviye seri olarak bağlanmıştır. Bundan dolayı alan sargısı ile endüvi sargısı aynı akım değerini taşır. Bir seri sargılı DC motora, üniversal motor adı da verilebilir. Üniversal motor olarak da adlandırılmalarının sebebi, bir AC veya bir DC gerilim kaynağı kullanarak eşit oranda çalışabileceklerindendir. Stator ve rotorun polaritesini tersini çevirmek, sistemi dengeler. Böylece motor, gerilim polaritesine bakılmaksızın aynı yönde dönecektir [38].



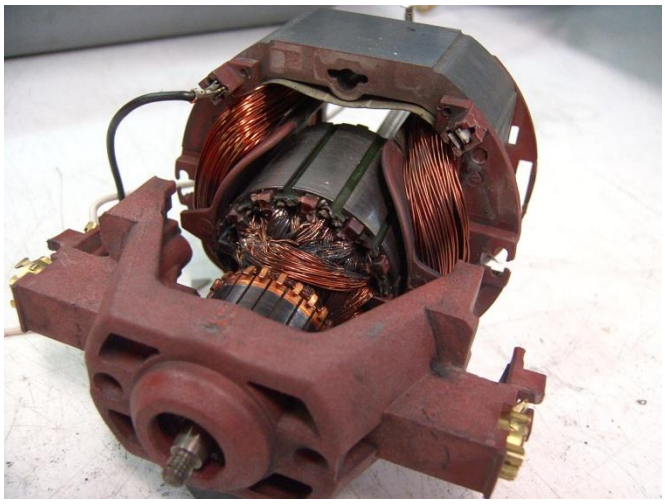
Şekil 4.12 Seri Sargılı DC Motor Devresi

Genellikle hız ayarı gerektirmeyen yüksek torklu yükler için kullanılmaktadır. Lokomotif, vinçler, otomobiller gibi yüksek başlangıç tork seviyesine sahip yükler için uygundur. Başlangıç torkunda, tam torkun %300 ila %800 'ü kadar yüksek tork sağlayabilir. Yük artışı hem rotor hem de alan akımlarının artmasına sebebiyet verir. Dolayısıyla tork, akım artışının karesiyle orantılı olarak artış gösterir. Hız ayarları, şönt motorlarından daha az hassastır. Azaltılmış yük, şönt motorlardan daha büyük bir hız artışı sağlayacak şekilde hem endüvi hem de alan akımını azaltır. Küçük seri DC motorlarda genellikle yük, arızayı hızlı bir şekilde önlemek için yeteri kadar iç sürtünme mevcuttur. Ancak motor boyutlarının artmasına paralel olarak, harici emniyet tertibatı gerektirir [39].

Seri sargılı DC motorunun kullanılmasının avantajı, büyük bir torka sahip olması ve düşük hızlarda çalıştırılabilmesidir. Sadece elektrikli araçlarda tercih edilmeyen bu tip motorlar; ağır yüklerin başlangıcı içinde çok uygundur. Endüstriyel uygulamalarda ve vinçlerde, ağır yüklerin yavaş bir şekilde hareketini ve tam tersi olarak da hafif yüklerin hızlı hareket ettirilmesinde sıklıkla tercih edilmektedir.

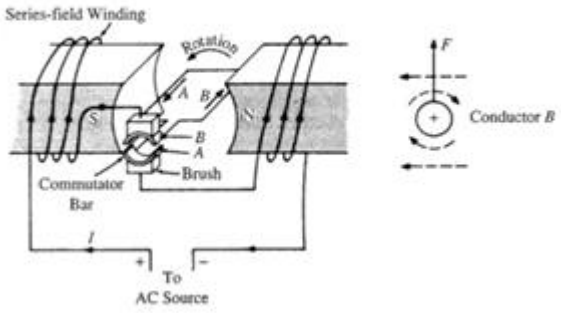
4.2.3 Üniversal Motorlar

Üniversal motorlar, DC veya tek fazlı AC beslemesi şeklinde çalışmak üzere tasarlanmış özel motor tipidir. Bu tip motorlar genellikle, seri sargılıdır ve bu sebepten dolayı da yüksek başlangıç torku üretirler. Üniversal motorlar, başka bir deyişle evrensel motorların birçoğu 3500 dk/devir sayısını aşan değerlere sahip ve dolayısıyla yüksek hızda çalışacak şekilde tasarlanmıştır. AC sistemde mevcut olan reaktans gerilim düşüşünden ötürü, AC gerilim, DC gerilim beslemesine göre daha düşük hızda çalışır[40].



Şekil 4.13 Üniversal Motor

Üniversal motorların yapısı, DC motor yapısına benzerlik gösterir. Alan kutuplarının üzerine konumlanmış statordan meydana gelir. Alan bobinleri, alan kutuplarına sarılı şekildedir. Bununla birlikte tüm manyetik yol lamine (ince tabaka haline getirmek) edilmiştir. Laminasyon, AC çalışma modunda indüklenen eddy akımlarını minimize etmek için gereklidir. Dönen endüvi; düz veya yamuk deliklere ve fırçalı komütatöre sahiptir. Endüvi bobinlerinin akım indüklenmesi sebebiyle AC çalışma modundaki komütasyon, DC çalışma moduna göre daha zayıftır. Bu yüzden kullanılan fırçalar yüksek dirençlidir.



Şekil 4.14 Üniversal Motor Yapısı

Hem DC hem de AC motor beslemesi olarak çalışabilen bir üniversal motor; DC gerilim ile beslendiğinde DC seri motor olarak çalışır. Alan sargısından akım aktığı zaman elektromanyetik alan oluşur. Aynı akım aynı zamanda endüvi iletkenlerinden de akar. Bir akım taşıyan iletken bir elektromanyetik alana konumlandığında, mekanik bir kuvvet maruz kalır. Bu mekanik kuvvet veya tork sebebiyle rotor dönmeye başlar. AC gerilim ile

beslendiğinde de yine tek yönlü tork üretir. Bunun sebebi bobin sargısı ve alan sarımları seri şekilde bağlanmış ve aynı fazda olmalarıdır. AC polaritesi periyodik olarak değiştiğinde, bobin ve alan sarımlarındaki akım yönü de aynı anda tersine döner. Böylece manyetik alan yönü ve bobin akım yönü tersine çevrilirken, bobin iletkenlerinin maruz kaldığı kuvvet yönü aynı kalır. Bundan dolayı, AC veya DC beslemeden bağımsız olarak, üniversal motorların çalışma prensibi DC seri motor çalışma prensibine benzerlik gösterir.

4.2.4 Bataryalı Elektikli Araçlarda Kullanılan Motor Tiplerinin Karşılaştırılması

BEA için bu bölümde de bahsedildiği gibi birçok elektrikli motor tipi bulunmaktadır. Fakat bu motor tiplerinden; seri sargılı DC motor, sabit mıktanıslı DC motor ve indüksiyon motorları genel olarak tercih edilmiştir. Üretim aşamasında motor seçimi için maliyet ve erişibilirlik önemli kriterlerdendir. DC motorlar genellikle AC motorlardan sadece maliyet açısıdan daha uygun değil, aynı zamanda daha da erişilebilirdir. Güncel piyasada BEA incelendiğinde elektrikli araç üreticileri tarafından tercih edilen motor tipleri genellikle DC motor tipleridir. Çünkü DC motor uygulamaları daha kolay ve bu uygulamaların maliyeti düşüktür. DC motora sahip olan BEA overdrive özelliği sayesinde kısa zamanda motora daha çok enerji girişi sağlanmasına olanak tanır ve bunun doğal sonucu olarak daha çok beygir gücü üretir. Fakat motor çok uzun süreler overdrive modunda çalışırsa aşırı ısınır ve arızalara sebep olabilir[32].

AC motor kullanan üreticilerin modelleri incelendiğinde performans açısından DC motorlara kıyasla daha iyi olduğu görülmektedir. Elektrikli araç piyasasında öncü konumda olan Tesla Motors araçlarında AC indüksiyon motorları kullanarak, konvansiyonel araçlarla rekabet edebilecek otomobiller üretmeyi başarmıştır.

AC motorların bu denli yüksek performanslarının olmasında; [43]

- Aynı nominal güç seviyesi için DC motorlara göre daha düşük ağırlığa sahip olmaları
- Nominal gerilimi 25 kV etiket değerine sahip motor üretimi
- 50000 devire varan ve daha yüksek güce sahip motorlar
- Aynı nominal güç seviyesi için daha düşük maliyet gereksinimi
- Yapıları gereği fırça ve kolektör bulunmaması ve daha az bakım gereksinimi

gibi sebepler etkin rol oynamaktadır [43].

Ayrıca AC motor uygulamalarında kullanılan üç fazlı AC motorlar rejeneratif frenlemeye olanak tanır. Kısacası frenleme esnasında motor, jeneratör gibi çalışarak bataryalara geri enerji aktarır. Aracın hızlanması esnasında kullanılan enerjinin yaklaşık olarak %15'lık kısmı rejeneratif frenleme ile geri kazanılabilir[32]. Bu değer bataryaları tam olarak doldurmaya yeterli olmasa da BEA 'ın sürüş menzili uzatır.

4.3 Batarya Grupları

Bataryalı elektrikli araçların konvansiyonel araçların yerini alabilmesi için gerekli olan en kritik bileşen batarya gruplarıdır. Bataryalar, aktif maddelerinde depoladıkları kimyasal enerjiyi elektrokimyasal redoks reaksiyonu vasıtasıyla doğrudan elektrik enerjisine dönüştürmeye yarayan bir işleyişe sahiptir. Şarj edilebilir bir sistem söz konusu olduğunda batarya tam tersi bir işlem ile şarj edilir. Bu tür bir reaksiyon, bir elektrik devresi vasıtasıyla elektronların bir maddeden diğerine aktarılmasını içerir. Paslanma veya yanma gibi tehlikelere sahip elektrokimyasal olmayan bir redoks reaksiyonunda elektron transferi doğrudan yapılır. Bataryalar kimyasal enerjiyi elektrokimyasal olarak elektrik enerjisine dönüştürdüğünden içten yanmalı motorlar gibi Carnot döngüsüne tabi değildirler. Bu sebepten dolayı bataryalar daha yüksek bir enerji dönüşüm verimliliğine sahiptir.

Basit olarak bir batarya istenilen çıkış gerilimi ve kapasiteyi elde etmek amacıyla seri, paralel veya hem seri hem de paralel şekilde birbirine bağlanmış bir veya daha çok hücreden meydana gelir. Her bir hücre ise; anot veya negatif elektrot, katot veya pozitif elektrot ve elektrolit olmak üzere üç ana bileşenden oluşur. Bu üç bileşenden anot elektrotu, elektrokimyasal reaksiyon sırasında elektronlarını vererek yükseltgenir. Diğer bir bileşen olan katot elektrotu ise elektrokimyasal reaksiyon boyunca yapısına elektron kabul ederek indirgenir. Son bileşen olan elektrolit (iyonsal iletken), katot ve anot arasında bulunan hücre içindeki şarj aktarımına ortam sağlar. Elektrolitler, iyonik iletkenlik katmak için çözünmüş tuzlar, asitler veya alkalilere sahip su veya diğer çözücüler gibi bir sıvıdır. Bazı bataryaları ise hücrenin çalışma sıcaklığında iyonik iletken olan katı elektrolitler kullanır.

Pratik bir sistemde anot elektrotu seçilirken; indirgeyici madde olarak verimli, yüksek coulomb çıkışı, iyi iletkenlik, kararlılık, üretimi uygunluk ve tabi ki de düşük maliyet gibi özellikler aranır. En hafif metal olan lityum, yüksek elektrokimyasal eşdeğerliliği ile cazip bir anot elektrotudur. Uygun elektrolitler ve hücre tasarımları, lityum aktivitesini kontrol etmek

geliştirilmiştir. Katot ise, etkili bir yükseltici madde olmasının dışında uygun bir çalışma gerilimi ve elektrolit ile temas halinde olduğu süre zarfında dengeli olması beklenmektedir. Oksijen, çinko hava bataryalarında olduğu gibi hücre içine çekilen ortam havasından da kullanılabilir. Fakat en yaygın olarak tercih edilen katot maddesi metalik oksittir. Halojenler, sülfür ve onun oksitleri gibi diğer katot maddeleri genellikle özel batarya sistemlerinde tercih edilir. Elektrolit, dahili kısa devrelere neden olacağından elektronik olarak iletken olmadan, iyi bir iyonik iletkenliğe sahip olmalıdır. Diğer önemli karakteristik özellikleri; elektrolit madde ile reaktif olmayan, sıcaklık değişimlerine karşı az etkilenen, taşıma güvenliği ve düşük maliyetidir. Genellikle elektrolitler sulu çözeltiler olmasına rağmen termal ve lityum anot bataryaları gibi erimiş tuz ve diğer sulu olmayan elektrolitlerin kullanıldığı yapılarda mevcuttur.

Fiziki olarak anot ve katot elektrotları kısa devreyi önlemek için elektronik olarak izole edilmelerine rağmen elektrolit ile çevrilidir. Fakat pratikte uygulanan hücre tasarımlarında anot ve katot elektrotlarını mekanik olarak birbirinden ayırmak için bir ayırıcı (separatör) madde kullanılır. Bunun yanı sıra ayırıcı istenilen iyonik iletkenliği sürdürmek için elektroliti de içerir.

Hücre kendini silindirik, düğmeli, düz ve prizmatik gibi birçok şekil ve konfigürasyonda inşa edebilir ve aynı zamanda hücre bileşenleri belirli hücre şeklini barındıracak şekilde tasarlanmıştır.

4.3.1 Batarya Tipleri

Elektrokimyasal hücreler ve bataryalar, elektrik ile şarj edilebilme kapasitesine göre birincil (şarj edilemez) ve ikincil (şarj edilebilir) bataryalar olarak ikiye ayrılır. Bununla birlikte, belirli yapıları veya tasarımları tanımlamak için başka sınıflandırmalarda yapılmıştır.

4.3.1.1 Birincil Bataryalar (Şarj Edilmeyen)

Bu tip bataryalar, şebekeden kolayca ve etkili bir şekilde şarj edilemediklerinden tek sefer kullanılırlar. Birincil bataryalar; taşınabilir elektronik ve elektrikli cihazlarda, aydınlatmada, fotoğraf ekipmanlarında, oyuncaklarda ve birçok uygulamada şebekeden bağımsız olarak kullanılan genellikle ucuz ve paketlenmiş bir güç kaynağıdır. Genel olarak uygun raf ömürleri, düşük ila orta deşarj oranlarında yüksek enerji yoğunluğu, yok denecek kadar bakım

gereksinimi ve kullanım kolaylığı avantajları arasındadır.

4.3.1.2 İkincil Bataryalar (Şarj Edilebilir)

İkincil bataryalar, deşarj olduktan sonra tekrar şarj edilerek kullanılan tipte bataryalardır. Aynı zamanda depolama bataryaları ve akümülatorler olarak da adlandırılır. İkincil pillerin uygulamaları iki ana kategoride incelenir.

- İkincil bataryalar enerji depolama aygıtı olarak kullanıldıklarında genel olarak enerji kaynağına elektrik ile bağlanarak şarj olur ve talep anında yüke enerji aktarımı yaparlar. Otomotiv ve uçak sistemleri, UPS güç kaynakları, HEA, enerji depolama sistemleri gibi uygulamalarda tercih edilirler.
- Aynı zamanda ikincil bataryalar, asıl olarak birincil bataryalar gibi kullanılır. Ancak atılmak yerine kullanımından sonra tekrar şarj edilerek kullanıma hazır hale getirilir. İkincil bataryalar; taşınabilir tüketici elektroniklerinde, elektrikli el aletlerinde ve elektrikli araçlarda tasarruf ve birincil bataryaların kapasitesinin üzerinde güç gereksinimi olduğu uygulamalarda kullanılır.

İkincil bataryalar; yüksek güç yoğunluğu, yüksek deşarj oranı, düz deşarj eğrileri ve uygun düşük sıcaklık performansı ile karakterize edilir [44].

4.3.2 Batarya Parametreleri

Bataryaların karakteristik özellikleri karşılaştırılırken bazı teknik terimler sıklıkla kullanılır. İstenilen duruma göre kullanılacak olan batarya tipinin belirlenmesinde bu teknik özellikler kritik bir yer tutar. Aşağıda sıklıkla kullanılan bu terimlerden birkaçının açıklaması yapılmıştır.

Hücre, Modül ve Batarya Grupları: Tek bir hücre, iki akım iletkeni ve ayırıcı ile tam bir bataryadır. Bir modul, fiziksel bağ veya hücreler arasındaki etkileşim yoluyla birkaç hücreden meydana gelir. Batarya grupları ise, modullerden oluşur ve termal yönetim için tek bir kutu içerisine yerleştirilir.

Özgül Enerji (Specitic Energy): Bataryanın belirli bir deşarj oranı için kütlesinin kilogram başına depolayabileceği toplam enerjinin Watt-saat (W-s) olarak ifade edilmiş haline özgül enerji adı verilir. Özgül enerji, bataryanın menzilini belirlemede önemli bir faktördür. Buradan da anlaşılacağı üzere BEA ‘ın daha uzun mesafe kat etmeleri için yüksek özgül enerjiye sahip olmaları gerekmektedir.

Enerji Yoğunluğu: Bataryadaki enerji değerinin, bataryanın boyutu ile olan ilişkisine enerji yoğunluğu adı verilir. Bataryanın belirli bir deşarj oranı için hacim başına belirli bir sistemde veya alanın içinde depolayabileceği toplam enerji değerine enerji yoğunluğu (Wh/L) denir. Yüksek enerji yoğunluğuna sahip bataryaların hacmi küçüktür.

Özgül Güç (Specific Power): Belirli bir boşaltma derinliği (DOD)(derin deşarj) durumunda kilogram başına bataryanın ortaya koyduğu maksimum güç sayısına (değerine) özgül güç adı verilir. Özgül güç, batarya tam dolu haldeyken en yüksek seviyesindedir. Batarya boşalmaya başladığında yani %100 dolu halde değilken, özgül güç azalır ve buna bağlı olarak hızlanmanın ivmesi de düşer. Özgül güç genellikle %80 boşalma derinliğinde ölçülür. Aynı zamanda özgül güç, BEA 'da hızlanmanın belirlenmesi açısından da önemli bir faktördür.

Güç Yoğunluğu: Güç yoğunluğu (W/m3) birim hacim başına olan güç miktarıdır. Özellikle ulaştırma sektöründe kullanılan bataryalarda alan sınırlandırması sebebiyle güç yoğunluğunun önemi daha da çok artmıştır. Buna ek olarak özgül güçte olduğu gibi güç yoğunluğu da, BEA 'ın hızlanmanın belirlenmesinde önemli bir faktördür.

İç Direnç: Batarya içindeki toplam eşdeğer dirençtir. Şarj ve deşarj durumlarında farklılık gösterir. Aynı zamanda çalışma koşullarına bağlı olarak değişiklik gösterebilir.

Pik Güç: ABD Gelişmiş Batarya Birliği 'nin tanımına göre pik güç (4.8) nolu denklemde olduğu gibi ifade edilir.

$$P = \frac{2 \times V_{ad}{}^{2}}{9 \times R} \tag{4.8}$$

(4.8) nolu denklemde yer alan V_{ad}açık devre gerilimini, R ise bataryanın iç direncidir. Aslında pik güç, uç gerilimin açık devre geriliminin 2/3 olduğu koşulda tanımlanır.

Kesme Gerilimi: Kesme gerilimi, üretici tarafından tanımlanan minimum izin verilen gerilim değeridir. Bataryanın boş durumu olarak da yorumlanabilir.

Performans Durumu (State of Health - SOH): SOH, kullanılan bataryanın maksimum şarj kapasitesinin yeni bataryanın maksimum şarj kapasitesine oranı olarak tanımlanabilir. Bir bataryanın performans düşüşünün derecesini ve bataryanın kalan yaşam süresini belirlemede önemli bir parametredir.

Bataryanın Tersine Çevrilmesi: Bataryanın negatif bir gerilim altında çalışması zorlandığında

oluşur. Bu durumda pozitif elektrotun gerilimi negatif elektrotun geriliminden daha düşük seviyededir. Seri olarak bağlanmış bir batarya dizisindeki nispeten zayıf olan bir hücrede gerçekleşebilir. Belirli zayıf hücrenin kullanılabilir kapasitesi bittiğinde, aynı dizide yer alan diğer bataryalar hala akım sağlamaya devam eder ve zayıf hücrenin gerilimi tersine çevrilmeye zorlanacaktır. Bataryanın tersine çevrilmesi sonucunda çevrim sayısı kısalmış veya arıza durumu söz konusu olur.

Batarya Yönetim Sistemi: Batarya yönetim sistemi, batarya gruplarının SOH ve batarya doluluk oranının tahmini ile maksimum şarj-deşarj akımı ve süresini belirlemek üzere tasarlanmış sensörler, kontrolörler, iletişim ve hesaplama donanımı ile yazılım algoritmalarından oluşur.

Termal Yönetim Sistemi (TYS): Termal yönetim sistemleri batarya gruplarının aşırı ısınmadan korumak ve yaşam sürelerini uzatmak için tasarlanmıştır. Basit hava akımı soğutma termal yönetim sistemi NiMH bataryaların için kullanılırken lityum iyon bataryaların birçoğunda daha sofistike ve güçlü sıvı soğutma sistemlerine ihtiyaç vardır.

Yaşam Döngüsü (Çevrim Sayısı): Çevrim sayısı, bataryanın yaşam süresi boyunca yaptığı şarj ve deşarj sayılarının toplam sayısıdır. Eğer bir batarya %80 seviyesine kadar şarj edilemiyorsa, bataryanın yaşam döngüsünün bittiği düşünülür. Genellikle bataryaların çevrim sayısı üreticileri tarafından belirlenmiştir. Bununla birlikte bataryaların çevrim sayısı belirlemek aslında çokta doğru bir yöntem değildir. Çünkü kullanılan bataryaların çevrim ömürlerine sıcaklık, basınç, gerilim, derin deşarj gibi faktörler doğrudan etki etmektedir.

Batarya Doluluk Oranı (SoC – State of Charge): Batarya doluluk oranı, batarya kapasitesinden bulunan kullanılacak bilecek deşarj oranı olarak ifade edilir. Örneğin, 100 Ah kapasiteye sahip bir bataryanın 30 Ah ‘lık kapasitesi kullanılmış durumda iken %70 SoC ‘ye sahip olduğu söylenir. Batarya doluluk oranı aşağıdaki formül ile gösterilir:

$$\mathrm{SoC} = \frac{\mathrm{E_{batarya}}}{\mathrm{C_{batarya}} \mathrm{x}\, \mathrm{V}} \tag{4.9}$$

Boşalma Derinliği (DoD): Boşaltılan batarya kapasitesinin yüzdelik olarak ifade edilmesidir. Örneğin, 100 Ah ‘lik bir bataryanın 30 Ah ‘lık kapasitesi kullanılmış ise %30 DoD ‘ye sahip olduğu söylenir. Boşalma derinliği aşağıdaki formül ile gösterilir:

$$\mathrm{DoD} = \frac{\mathrm{C_{batarya}} - \mathrm{E_{batarya}}}{\mathrm{C_{batarya}}} \quad (4.10)$$

Aynı zamanda bataryanın çevrim sayısı boşalma derinliği ile doğrudan bağlantılıdır. Boşalma derinliği oranının küçük olması daha çok çevrim sayısı anlamına gelirken boşalma derinliği oranının artması dolayısıyla bataryanın sahip olacağı çevrim sayısını azaltır.

Hücre ve Batarya Gerilimi: Batarya, bir veya daha fazla hücreden bir araya gelen bir sistemi belirtir. Bir hücre ise gerilim ve akım üretebilen belirli bir kimyasal bileşimi temsil eder. Farklı kimyasal bileşenler farklı değerlerde gerilim üretirler. Örneğin; NiCd ve NiMH 1,2V, kurşun asit 2V ve lityum bazlı bataryalar ise yaklaşık 3,6 V hücre gerilimine sahiptir. Tipik olarak tanışabilir elektronik cihazlar 24, 36, 48 V olarak tasarlanmıştır. Bu değerdeki bir gerilimi elde etmek amacıyla belirli sayıda hücre seri olarak bağlanır. Örnek vermek gerekirse 36 V değere sahip bir batarya grubu 10 lityum iyon hücresi veya 18 kurşun asit hücresi veya 30 NiMH hücresinden meydana gelir.

Batarya Kapasitesi: Batarya kapasitesi, bataryanın nominal gerilim değerinde verebileceği şarj miktarını ifade eder. Kapasite bataryadaki elektrot malzemesinin miktarı ile doğrudan orantılıdır. Bu da küçük bir hücrenin aynı kimyaya dayanan büyük bir hücreye kıyasla daha düşük bir kapasiteye sahip olduğu anlamına gelir. Bu nedenle hücre gerilimi daha çok kimyasal bazlı iken kapasite daha çok aktif madde miktarına dayanır. Amper-saat (Ah) olarak ifade edilir. Şarj işleminin genellikle C oranı olarak da belirtildiğini unutmamak gerekir. Fakat elektrik sektöründe enerji miktarı (W-sa /Wh) olarak ölçüldüğünden dolayı Amper-saat (Ah) ifade şeklinin daha kullanışlıdır. Bir bataryanın enerji kapasitesi Wh cinsinden hesaplanmak istendiğinde, bataryanın nominal gerilimi ile Amper-saat cinsinden batarya kapasitesi (4.11) ‘de de olduğu gibi çarpılır.

$$\mathrm{E_{batarya}} = \mathrm{C_{batarya}} \mathrm{x}\, \mathrm{V} \quad (4.11)$$

C-oranı: Pratikte pek çok faktöre bağlı olduğundan nadiren gerçekleşse de, teorik olarak 100 Ah kapasiteye sahip bir bataryanın 100 saat boyunca 1A akım sağlayabilir. Bu nedenle batarya kapasitesine göre boşalma oranının bir ölçümü olan C oranı kullanılır. Bataryanın bir saat boyunca sürdüreceği deşarj akımı üzerindeki çoklu akım olarak ifade edilir. Örneğin, 100 Ah ‘lık bir batarya için 1C oranı, 1 saatlik sürede 100 A ‘lık bir deşarj akımına karşılık gelir. Aynı batarya için C oranı 2 ise yarım saatte 200 A ‘lık bir deşarj akımına karşılık gelecektir.

Batarya Maliyeti: Maliyet kWh başına para cinsinden ifade edilir.

Bataryanın Verimliliği: Depolama sistemleri için genellikle toplam depolama çıktısının toplam depolama girdisine oranı şeklinde gösterilen (round-trip efficiency) geliş-gidiş verimliliği kullanılır.

$$\eta = \frac{E_{\text{çıkış}}}{E_{\text{giriş}}} \tag{4.12}$$

Bataryaların geliş-gidiş verimliliği iki verimlilik şekline ayrılabilir. Bunlardan birincisi ortalama deşarj geriliminin ortalama şarj gerilimine olan oranı yani galnavik verimliliktir.

$$\eta_v = \frac{V_{\text{deşarj}}}{V_{\text{şarj}}} \tag{4.13}$$

Bu verimlilik bataryada ters kimyasal reaksiyonların gerçekleşmesi için şarj geriliminin daima nominal gerilimin biraz üstünde olduğunu kapsar. İkinci verimlilik şekli ise, bataryadan çıkarılan toplam şarjın, tam şarj döngüsü boyunca bataryaya konan toplam şarja oranı tanımlanan coulombic verimliliğidir(Faraday verimliliği).

$$\eta_C = \frac{Q_{\text{deşarj}}}{Q_{\text{şarj}}} \tag{4.14}$$

Bunların sonucunda batarya verimliliği (4.15) numaralı denklemdeki gibi ifade edilir.

$$\eta_{\text{batarya}} = \eta_v x\, \eta_C \tag{4.15}$$

Boşta durma kaybı: Bataryaların kullanılmadığı zamanlar içerisinden kendi kendine boşalabilirler. Bu boşalma işlemi günlük boşalma kaybı veya aylık boşalma kaybı olarak incelenir. Batarya tercihi konusunda günlük veya aylık boşalma kaybı düşük bataryaların seçimi ön plandadır.

Çalışma sıcaklığı: Her bir batarya çeşidinin yapısı gereği bulunduğu ortam sıcaklığına göre çalışma performansında değişiklikler meydana gelmektedir. Bu sebeple bataryaların çeşidine göre çalışabileceği sıcaklıklar belirlenmiştir. Bataryaların sıcaklık değerlerine göre maksimum, optimum veya minimum çalışma durumu bilinirse, kullanılacak ortam için bu parametrede göz önünde bulundurularak seçim yapılır.

4.3.3 Batarya Performansına Etkiyen Faktörler

Bataryalar farklı teknik karakteristik özelliklere sahip oldukları için birbirlerinden farklıdırlar.

Fakat bataryaların sahip olduğu teknik özellikler tasarım, deşarj ve ortam koşullarına göre değişkenlik gösterir. Çizelge 4.2 'deki değerler her bir batarya sisteminin enerji çıktısını karakterize etmede yararlı olsa da, bataryanın çalıştığı koşulların farklılık göstermesi bataryaların değerlerinde önemli derecede farklılıklar yaratabilir.

Birçok faktör bataryanın çalışma özelliklerini, kapasitesini, enerji çıkışını ve performansını etkiler. Oluşabilecek birçok etkileşim sebebiyle bu etkiler genelleme yapılarak sunulabilir ve her bir faktörün etkisi çalışma koşulları zorlaştıkça buna paralel olarak artış gösterir. Bataryaların özellikleri ve standartları genellikle belirli test veya çalışma koşullarını listeler. Bu standartlarda tahmini ortam koşullarının batarya performansı üzerindeki etkisinden kaynaklanmaktadır.

Buna ek olarak, belirli bir hücrenin veya bataryanın tasarımında bile üreticiden üreticiye ve aynı bataryanın farklı versiyonları arasında performans farkı olabileceği kesinlikle unutulmamalıdır. Ayrıca üretim lotundan üretim lotuna da üretim sürecinin doğal yapısından dolayı performans değişiklikleri meydana gelebilir. Bu farklılık, proses kontrolünün yanı sıra uygulama ve bataryanın kullanımına da bağlıdır. Spesifik performans karakteristikleri elde etmek için üretici verilerine danışılmasında fayda vardır.

4.3.3.1 Gerilim Seviyesi

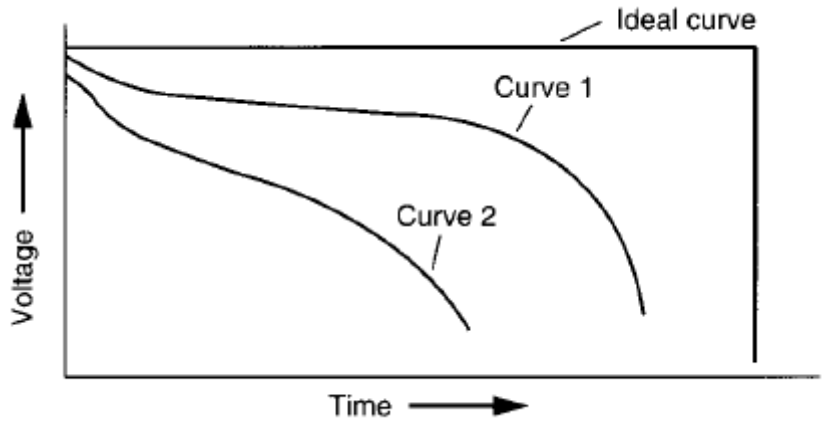
Bir hücre veya bataryanın gerilimi için farklı referanslar ele alınır.

- Teorik gerilim; anot ve katot maddelerinin, elektrolit bileşiminin ve sıcaklığın bir fonksiyonudur.
- Açık devre gerilimi; yüksüz koşullar altındaki gerilim değeridir ve teorik gerilim değerine yakın bir değerdir.
- Kapalı devre gerilimi, yüklü koşullardaki gerilimdir.
- Nominal gerilim, genel olarak bataryanın işletme geriliminin tipik olarak kabul edildiği değerdir.
- Çalışma gerilimi, yük altında bataryanın gerçek işletme gerilimini daha iyi temsil eden ve açık devre geriliminden daha düşük olan gerilimdir.
- Ortalama gerilim, deşarj sırasındaki ortalama gerilim değeridir.
- Orta nokta gerilimi, hücre veya bataryanın deşarj sırasındaki merkezi gerilimidir.

- Son veya kesme gerilimi, deşarjın sonu olarak belirlenmiştir. Genellikle çoğu hücre veya batarya kapasitesinin üstünde gerilime sahiptir. Son gerilim aynı zamanda uygulama gereksinimine bağlıdır.

Kurşun asit bataryalardan örnek vermek gerekirse; teorik ve açık devre gerilimi 2,1V, nominal gerilimi 2V, çalışma gerilimi 1,8 ile 2V arasında, tipik olarak orta veya düşük boşaltım deşarjlarında son gerilimi 1,75V ve motorun ilk hareket yükü altında ise 1,5 V 'tur. Şarj sırasında ise 2,3 ila 2,8 arasında değişkenlik gösterir.

Bir hücre veya batarya deşarj olurken gerilim değeri teorik gerilim değerinden daha düşüktür. Bunun sebebi batarya direnci ve deşarj esnasında aktif madde kutuplaşmasına bağlı olarak meydana gelen IR kayıplarıdır. İdealleştirilmiş durumda teorik gerilim değerinde bataryanın deşarj süreci, aktif maddeler tamamen tükeninceye ve kapasite tamamen kullanılıncaya kadar devam eder. Daha sonra gerilim sıfıra düşer. Gerçek koşullar altında deşarj eğrisi Şekil 4.15 'de gösterildiği gibidir.



Şekil 4.15 Karakteristik Deşarj Eğrileri

Aktivasyon ve konsantrasyon, deşarj ürünleri, kutuplaşma ve ilgili diğer bazı faktörlerin oluşumu nedeniyle hücre direnci artış gösterir ve deşarj sırasında gerilim düşmesi olur. Şekil 3 'de gördüğümüz 1. eğri ve 2. Eğri birbirine benzer olmasına rağmen 2. eğri, 1. eğri ile kıyaslandığında daha yüksek bir iç direnç, daha yüksek deşarj oranı veya her ikisini de aynı anda temsil eder [44].

4.3.3.2 Deşarj Akımı Boşalması

Bataryanın akım boşalması arttığında buna bağlı olarak ısı kayıpları ve kutuplaşma etkisi

artarken düşük gerilimlerde deşarj ve bataryanın çalışma ömrü azalacaktır. Son derece düşük akım boşaltımında deşarj, teorik gerilim ve teorik kapasite değerine yaklaşabilir. Unutulmamalıdır ki, çok uzun deşarj süreleri kimyasal bozulmalara sebebiyet verip kapasitenin düşmesine neden olabilir. Akım boşaltımının artmasıyla birlikte deşarj gerilimi düşer, deşarj eğrisinin açısı büyüyerek eğim belirginleşir. Aynı zamanda çalışma ömrünün yanı sıra, amper-saat ve coulomb kapasitesi de azalır. Verilen deşarj akımı altında belirli bir gerilim değerine (kesme gerilimi gibi) erişen batarya eğer düşük deşarj oranında, bataryanın gerilimi yükselir ve kesme gerilimi daha hafif yüklü duruma erişinceye kadar ekstra kapasite ve çalışma ömrü kazanılır.

4.3.3.3 Deşarj Modu

Diğer faktörlerinin yanı sıra, bataryanın deşarj modu batarya performansı üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Test veya değerlendirmeler sonucunda batarya tiplerinin deşarj moduna göre uygunluğu, kullanılan uygulamadaki deşarj modu ile uygunluk göstermesi gerekir. Belirli bir noktaya deşarj edilen bir batarya (aynı kapalı devre gerilimi, aynı deşarj akımı ve aynı sıcaklık gibi) deşarj moduna bakılmaksızın aynı amper-saat değerlerini yüke aktaracaktır. Fakat deşarj sırasında deşarj modu, çalışma ömrü ve deşarj süresine bağlı olarak deşarj akımında farklılıklar olacaktır.

Bataryanın deşarjı modunun batarya performansına etkisi incelenirken üç farklı mod baz alınmıştır. Bunlar sırasıyla;

- **Sabit Direnç:** Deşarj boyunca yük direnci sabit kalırken batarya gerilimi ile orantılı olarak akım düşer.
- **Sabit Akım:** Deşarj boyunca akım sabit kalır.
- **Sabit Güç:** Deşarj boyunca akım yükselirken bataryanın gerilimi düşer. Böylece sabit güç seviyesinde batarya deşarj olur. (Güç= Gerilim x Akım)

İlk Durumda; deşarj başlangıcında her bir deşarj modu için deşarj yükleri aynıdır. Deşarj sırasında hücre gerilimi düştükçe, Ohm yasasına yani (4.16) nolu denkleme göre sabit direnç deşarj modunda akımda bu düşüşten etkilenir. Sabit akım deşarj durumunda ise deşarj boyunca akım sabit kalır. Fakat deşarj süresi ve çalışma ömrü, ortalama akım değeri daha

yüksek olduğundan sabit direnç moduna kıyasla daha düşüktür. Son olarak sabit güç modunda,(4.17) nolu denkleme sebebiyle gerilimin azalmasından dolayı akım artar. Ortalama akım bu modda daha yükselirken deşarj süresi hala düşük seviyelerdedir.

$$I = \frac{V}{R} \tag{4.17}$$

$$I = \frac{P}{V} \tag{4.18}$$

Şekil 3.4c her şarj modu için güç seviyeleri gösterilmiştir.

İkinci Durumda; Şekil 3.5 'de deşarj süreleri ve hizmet süreleri her üç şarj modu için aynı olacak şekilde seçilen deşarj yükleri verilmiştir. Beklenildiği üzere deşarj eğrileri deşarj moduna bağlı olarak değişkenlik gösterir.

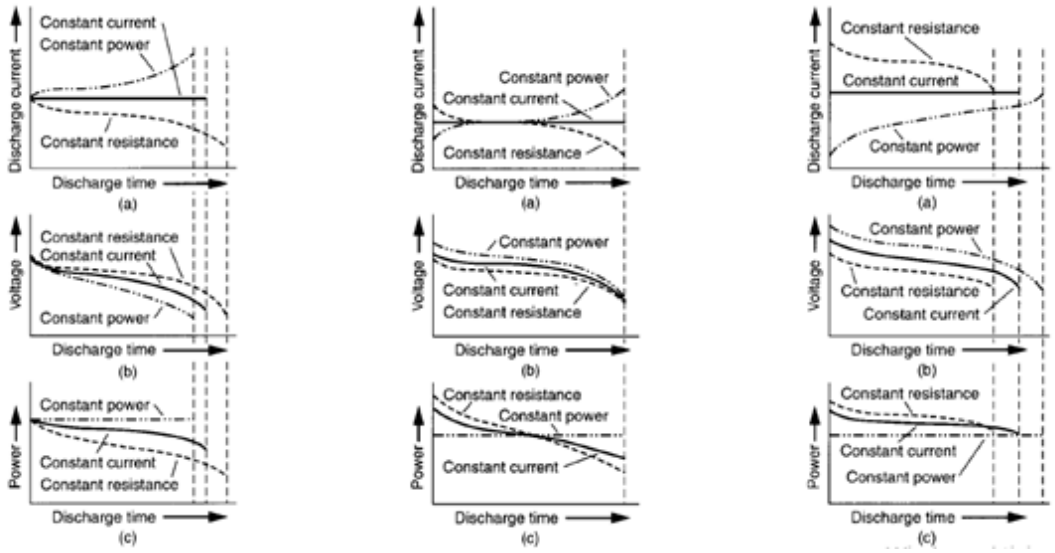
Üçüncü Durumda; uygulama açısından en gerçekli durum olan üçüncü durumda, deşarj işlemi sonunda her üç çalışma modundaki gücün aynı olduğu varsayılır. (Şekil 4.16a). Elektrik ve elektronik cihazlara belirtilen performans seviyesinde çalışabilmek için minimum giriş gücü gerektirir. Her durumda, deşarj yükleri, deşarj modlarında güç çıkışı deşarj sonunda aynı olacak ve kabul edilebilir ekipman performansı için yeterli seviyede olacak şekilde seçilir. Deşarj moduna bağlı olarak deşarj sırasında güç çıkışı, batarya kesme gerilimine erişinceye kadar ekipmanlar tarafından istenen güce eşit olur veya aşabilir.

Sabit direnç deşarj modunda deşarj esnasında batarya gerilimindeki düşüşü akımda izler (Şekil 4.16b). (4.18) ve (4.19) nolu denklemlerden de görüleceği üzere güç daha da hızlı bir düşüş gerçekleştirir.

$$P = I \text{ x } V \tag{4.19}$$

$$P = \frac{V^2}{R} \tag{4.20}$$

Bu deşarj modu altında kesme geriliminde istenen gücün sağlandığını farz ederek, deşarjın ilk bölümlerinde güç ve akım seviyeleri istenen asgari değerin üzerindedir. Gereken değerden daha yüksek bir akımda deşarj olan batarya, kapasitesini hızlı boşaltır. Bu da çalışma ömrünün kısalmasına sebebiyet verir.



Şekil 4.16 Akım, Gerilim ve Güç Değerlerine Göre Deşarj Süreleri

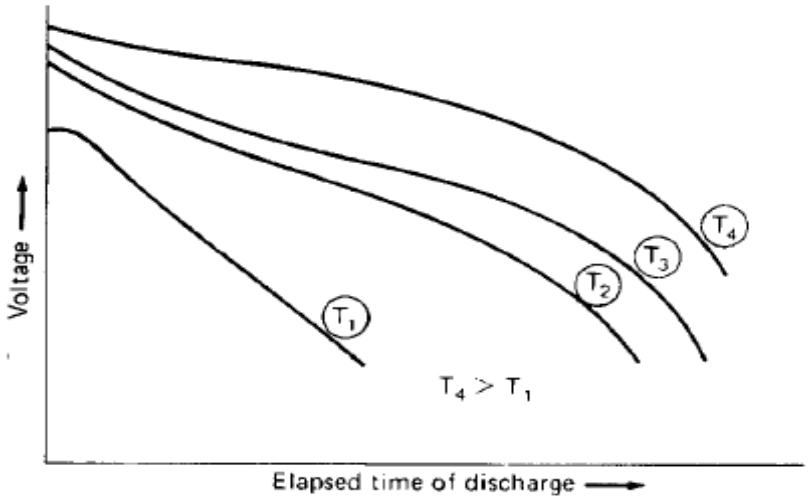
Sürekli akım modunda, akım, kesme gerilimindeki güç çıkışının kabul edilebilir ekipman performansı için gerekli olan seviyeye eşit olacak şekilde tutulur. Böylece deşarj boyunca hem akım hem de güç sabit direnç moduna kıyasla daha düşük seviyelerdedir. Bataryadaki ortalama akım boşalması daha düşük iken, deşarj süresi ve çalışma ömrü daha uzundur.

Sabit güç modunda deşarjın başlarında akım en düşük değerindedir. İstenilen sabit güç çıkışını sağlamak için batarya gerilimi düşünce artar. Bu deşarj modunda ortalama akım en düşük seviyesinde olduğundan en uzun çalışma ömrüne sahiptir. Unutulmamalıdır ki, sabit güç deşarj modu diğer modlara göre batarya karakteristiklerinin deşarjına bağlı olarak daha avantajlıdır. Tam kapasite çalışmak için geniş gerilim aralığına sahip batarya sistemlerinde avantajlar daha da yüksektir.

4.3.3.4 Deşarj Esnasında Batarya Sıcaklığı

Bataryanın deşarj sıcaklığının batarya yaşam ömrü ve gerilim karakteristikleri üzerinde etkisi vardır. Bunun nedeni düşük sıcaklık değerlerinde batarya iç direncinin yükselmesi ve kimyasal reaksiyonların azalmasıdır. Şekil 4.17 'de farklı sıcaklık değerine sahip ortamlarda bulunan bataryaların aynı akım boşaltım değerlerinde deşarj süresi boyunca gerilimdeki değişiklikler gösterilmiştir. Deşarj sıcaklığındaki azalma hem kapasitesinin azalmasına hem de deşarj eğrisinin eğiminde artışa sebebiyet verir. Her bir batarya sistemi, tasarımı ve deşarj oranı için spesifik karakteristikler ve deşarj profili farklılık gösterir. Fakat genellik olarak en iyi performans 20 ila 40 derece arasında elde edilir. Yüksek sıcaklık değerlerinde iç direnç

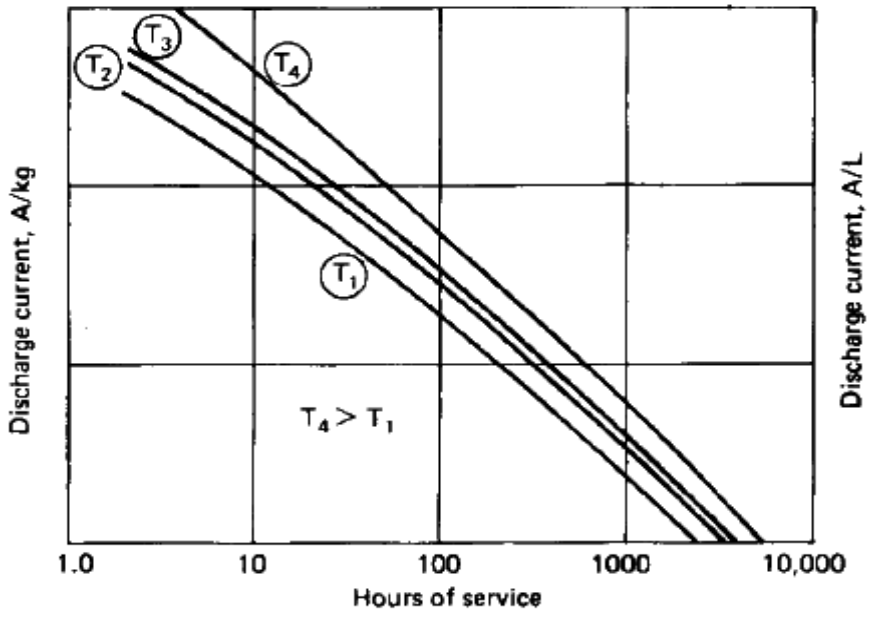
azalırken deşarj gerilimi artar. Buna bağlı olarak amper-saat kapasitesi ve enerji çıkış değeri artar. Diğer bir taraftan artan sıcaklık ile paralel olarak artar kimyasal aktiviteler dolayısıyla deşarj esnasında net kapasite kaybına sebebiyet verebilir.



Şekil 4.17 Sıcaklık Değişiminin Batarya Kapasitesine Etkisi
(T1 – T4 'e yükselen sıcaklık)

4.3.3.5 Çalışma Ömrü

Bataryaların çalışma ömrüne, deşarj yükleri ve sıcaklık kritik derecede etki eder.

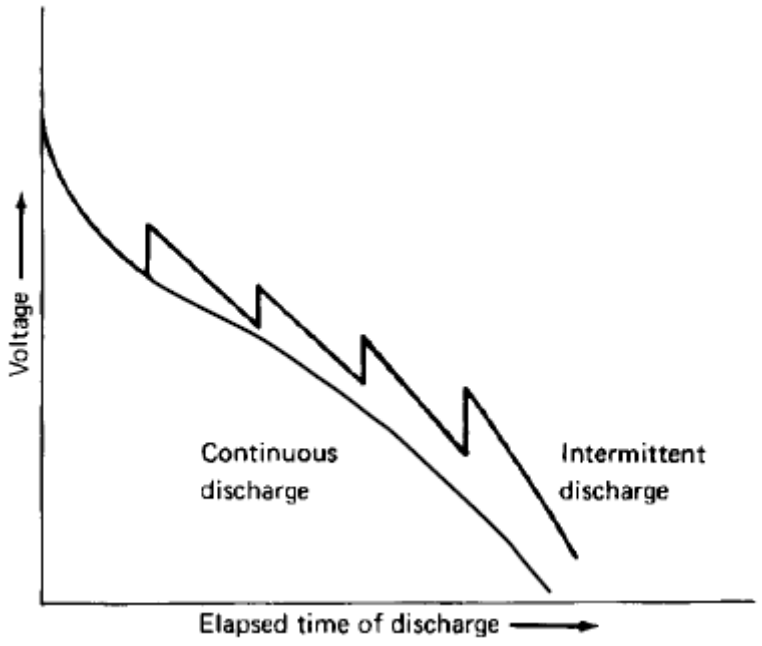


Şekil 4.18 Farklı Deşarj Yükleri ve Sıcaklıkları Altında Batarya Servis Süreleri
(T1 – T4 'e yükselen sıcaklık)

Bu tür veriler belirli bir deşarj koşulunda verilen bir bataryanın çalışma ömrünü yaklaşık olarak bulmak veya servis gereksinimini karşılamak için istenen batarya boyutunu veya ağırlığını tahmin etmekte kullanılır.

4.3.3.6 Deşarj Tipi

Deşarj sürecinden sonra bataryanın boşta kalması, bazı kimyasal ve fiziksel değişimlere sebebiyet vererek batarya geriliminin toparlanmasını sağlar. Böylece ağır deşarj esnasında düşen batarya gerilimi, dinlenme periyodunun ardından yükselerek testere dişli biçiminde deşarj olur. Bu da çalışma ömrünü arttırır. Fakat uzun deşarj sürelerinde kendiliğinden boşalma sebebiyle kapasite kayıpları meydana gelebilir. Kesintili deşarjdan kaynaklanan bu gelişme, yüksek akım boşalmalarından sonra genellikle daha da büyüktür. Akım boşalmasına ek olarak, toparlanma derecesi; belirli batarya sistemi ve yapısal özellikleri, deşarj sıcaklığı, son gerilim ve toparlanma periyodu uzunluğu gibi birçok faktöre bağlıdır.



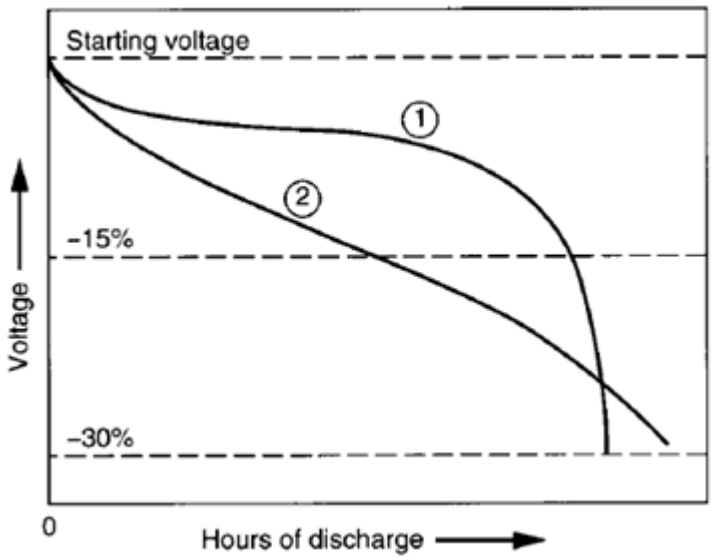
Şekil 4.19 Kesintili Deşarjın Batarya Kapasitesine Etkisi

Deşarj yükü ve kesintili genişliği sebebiyle kapasite üzerindeki etki Şekil 4.19 ‘de gösterilmiştir. Görev çevriminin bir fonksiyonu olarak batarya performansının düşük ve yüksek deşarj oranlarında önemli ölçüde değişebileceği görülmektedir. Benzer şekilde, deşarj oranının bir fonksiyonu olan performans, çalışma çevrimine bağlı olarak farklılık gösterir.

4.3.3.7 Gerilim Regülasyonu

Ekipman tarafından gereken gerilim regülasyonu bir bataryadan elde edilebilecek çalışma ömrü ve batarya kapasitesine etki açısından kritik derecede önem teşkil eder. Farklı deşarj eğrilerinden de görüleceği üzere, uygun en düşük son gerilimde çalışma ve en geniş gerilim aralığı için ekipman tasarımı, uzun çalışma ömrü ve yüksek kapasiteye sebebiyet verir. Benzer şekilde ekipman üst gerilim sınırı, batarya karakteristiklerinden tam olarak yararlanmak için belirlenmelidir.

Şekil 4.20 iki tipik batarya deşarj eğrisini karşılaştırır. Şekilden de görüleceği üzere ilk eğri düz deşarj eğrisine sahipken 2 numaralı eğri eğimli bir yapılan meydana gelmektedir. Ekipman geniş gerilim aralığına tolerans gösteremediği ve örneğin %15 seviyesi ile sınırlandırıldığı uygulamalarda düz deşarj eğrisine sahip batarya profili daha uzun süre hizmet verir. Diğer taraftan batarya deşarj olursa kesme gerilimini düşürmek için eğimli deşarj eğrisine sahip olan bataryanın hizmet ömrü uzar ve düz deşarj profili ile bataryanın ömrünü uzatabilir.



Şekil 4.20 Yatık Deşarj Eğrisi (1) ve Eğimli Deşarj Eğrisi'nin (2) Karşılaştırılması

Çok hücreli seri bağlı bataryaların çok düşük bir son gerilim ile deşarj olması genellikle güvenlik problemleri ile sonuçlanır. Bu durumda en zayıf (poorest) hücrenin gerilim değerleri terse çevrilmesi olasıdır. Bazı bataryalar ile havalandırma veya kopma şekilde sonuçlabilir. Yalnızca dar bir gerilim aralığının tolere edilebildiği uygulamalarda bataryanın seçimi düz bir deşarj profilini olanlarla sınırlandırılabilir. Alternatif olarak ise bataryanın değişken çıkış gerilimini ekipman gereksinimlerine uygun olan sabit bir çıkıl gerilimine dönüştürmek için

gerilim regülatorü kullanılır.

4.3.3.8 Batarya Tasarımının Etkisi

Çok hücreli bataryalardaki hücrelerin performansları genellikle tekil (individual) hücre performanslarından daha farklıdır. Hücreler aynı şekilde üretilmemelerine ve dengeli olarak seçilmelerine rağmen her bir hücre batarya grupları içinde az da olsa farklı koşullar altında çalışırlar.

Ambalajlama teknikleri, hücreler arasındaki mesafeler, muhafaza materyali, yalıtım, sigortalar ve diğer elektronik kontrolörler gibi kullanılan donanımlar ve çok hücreli batarya tasarımları performans üzerinde etkisi mevcuttur. Buna göre spesifik enerji gibi değerleri kıyaslarken bu değerlerin belirlendiği koşulların farkında olmanın yanı sıra verilen değerlerin hücreler, tek hücreli bataryalar veya çok hücreleri bataryalar için onaylanıp onaylanmadığı da belirlenmelidir.

Hücreler tarafından yayılan ısıyı koruyan batarya tasarımları düşük sıcaklıklarda performansını geliştirebilir. Buna karşın aşırı yükselen ısı değerleri bataryaların performansını, yaşam süresini ve güvenliğini tehdit eder. Mümkün olduğu kadar bataryalar, iç ısı dengesini sürdürmek ve aşırı ısı değerlerinden kaçınmak için termal olarak tasarlanmalıdır. Şarj edilebilir bataryalarda sürekli döngü durumunun olması, batarya pik değerinin dengesizleşmesine ve bataryanın gerilim, kapasite ve diğer karakteristiklerinde önemli derecede değişiklikler olmasına sebep olur. Bu gibi önemli değişiklikler batarya performansında azalmalara ve güvenlik sorunlarına yol açar. Bu negatif etkileri minimize etmek amacıyla son gerilim ve deşarj kontrolü uygulanabilir.

4.3.3.9 Batarya Yaşı ve Depolama Koşulları

Bataryalar bozulabilir cihazlardır ve depolama sırasında devam eden kimyasal işlemleri sonucunda bozulurlar. Tasarım, elektrokimyasal sistem, sıcaklık, depolama süreci uzunluğu gibi faktörler bataryaların raf ömrünü ve şarj tutma derecesini etkiler. Depolama süreci sonrasındaki deşarj tipi aynı zamanda bataryaların raf ömrüne de etki eder. Depolama sonrasında genellikle şarj tutma yüzdesi ne kadar düşük olursa deşarj koşulu daha sıkılaşır.

Kendiliğinden deşarj düşük oranlarda düşük sıcaklıklarda devam etse de, soğutulmuş veya düşük sıcaklık değerlerinde depolamada raf ömrünü artırır ve bu durum bazı batarya

sistemleri için tavsiye edilir. Soğutulmuş bataryalar maksimum kapasite elde etmek için deşarj olmadan önce ısıtılmalıdır. Özellikle uzun dönem deşarjlarda bu süreç boyunca kendiliğinden deşarj değeri önemli bir faktör olabilir ve kapasiteyi azaltan yönde bir etkiye sebebiyet verebilir. Ağır bir yüke kıyasla hafif yüklerde deşarj süresince daha çok kapasite elde edilir. Fakat uzun deşarj periyodu boyunca çok hafif bir yükte, kendiliğinden deşarj sebebiyle kapasitede azalma meydana gelebilir.

Bazı batarya sistemleri, depolama süresince bir veya iki elektrot yüzeyinde koruyucu veya pasifleştirici tabakalar geliştirirler. Bu tabakalar bataryaların önemli ölçüde raf ömrünü arttırabilir. Fakat depolama sonrasında batarya deşarj konumunda iken, tabakanın empedans karakteristikleri sebebiyle elektrokimyasal reaksiyon tarafından tamamen pasifleştirilene veya parçalanana kadar başlangıç gerilimi düşebilir. Bu duruma gerilim gecikmesi adı da verilir. Gerilim gecikme derecesi depolama süresi ve sıcaklığının artmasına bağlı olarak artış gösterir. Bu gecikme aynı zamanda deşarj akımı arttıkça ve deşarj sıcaklığı azaldıkça da artmasını eğilimini devam ettirir.

Boşaltılmış veya boşaltılmakta olan bir bataryanın kendiliğinden boşalma karakteristikleri, deşarj edilmeden depolanmış olan bataryalarda farklılık gösterebilir. Bunun nedeni; boşaltım hızı ve sıcaklık, deşarj ürünlerinin birikimi, deşarj derinliği, koruyucu tabakanın bazı kısımlarının tahrip edilmesi veya yeniden düzenlenmesi gibi bir takım faktörlerdir. Bataryaların bu koşullar altındaki performanslarını tahmin etmek için batarya depolama ve deşarj geçmişine ilişkin bilgiler gereklidir.

4.3.3.10 Şarj Gerilimi

Şarj edilebilir bir batarya, işletim devresine kalıcı olarak bağlanan başka enerji kaynağı ile birlikte kullanılırsa, batarya ve ekipmanların şarj halinde batarya gerilimini tolere etmesi için müsaade alınmalıdır. Şarj durumunda spesifik gerilim ve gerilim profili; batarya sistemi, şarj oranı, sıcaklık ve benzeri gibi faktörlere bağlıdır. Benzer bir devrede birincil batarya kullanılıyorsa, devrede bir izolasyon veya koruyucu diyot bulundurarak birincil bataryanın şarj edilmesini önlemek genellikle tavsiye edilir. Bir diyot yetersiz olduğunda veya arıza durumu söz konusu olduğunda iki diyot yedek olarak destek sağlar. Diyottaki arıza durumunda direnç, şarj akımının sınırlar. Çıkış akımı şarj esnasında batarya için gerekli şarj kontrolünü sağlamak üzere regüle edilirken aynı zamanda şarj kaynağı da tasarlanmalıdır.

4.3.3.11 Hücre ve Batarya Tasarımının Etkisi

Hücrenin ve bataryanın yapısal özellikleri bataryanın performansı üzerinde güçlü bir etkisi vardır.

a) Elektrolit Tasarımı: Nispeten düşük veya orta deşarj yüklerde optimum yaşam süresi ve kapasitesi için tasarlanan hücreler maksimum miktarda aktif madde içerir. Öte yandan, yüksek hızlı performansı yeteneğine sahip olan hücreler, geniş elektrot veya reaksiyon yüzeyleri ve özellikleri ile iç direnci minimize etmek ve akım yoğunluğunu arttırmak için sıkça yaşam ömrü ve kapasitesi pahasına tasarlanır.

Örnek vermek gerekirse, silindirik hücrelerde iki adet tasarım kullanılır. Bunlardan biri bobin yapı olarak bilinir ve çinko-karbon ve alkali-manganez dioksit hücreler için tipik bir uygulamadır. Bu tasarım ile elektrokimyasal reaksiyon için yüzey alanının pahasına silindirik yapıda aktif madde miktarı maksimum düzeye çıkar. İkinci tasarımda ise spiral olarak sarılmış elektrot yapıdadır. Tipik olarak taşınabilir sızdırmaz şarj edilebilir bataryalar, yüksek hızlı birincil bataryalar ve lityum bataryalarda kullanılır. Bu tasarımda elektrotlar ince şeritler halinde hazırlanıp aralarında bir ayırıcı bulunan jöle silindiri içine yuvalanır. Daha sonra da silindirik yapıya yerleştirilir. Bu tasarım ile yüksek hızlı performansı artırmak için yüzey alanı ön plana çıkartılır. Fakat bu esnasında aktif madde ve kapasiteden de feragat etmek gerekir. Düz plaka yapısı diğer bir popüler elektrot tasarımı olup genellikle kurşun ait SLI ve en büyük depolama bataryalarında kullanılır. Elektrokimyasal reaksiyonlar için kullanılan bu yapı aynı zamanda geniş bir yüzey alanı sağlar. Diğer tasarımlarda olduğu gibi istenilen performans karakteristiklerini elde etmek için üreticiler yüzey alanı ile aktif madde arasındaki ilişkiyi kontrol edebilir. Başka bir tasarım olan iki kutuplu plaka yapısında anot ve katot, elektronik olarak iletken olan zıt taraflarda katmanlar halinde üretilir.

Birçok batarya kimyası farklı elektrot tasarımlarına adapte edilebilir. Aslında bazıları farklı konfigürasyonlarda üretilir. Üreticiler, ilgilendikleri belirli uygulamalar ve pazarlar için performans seviyesini optimize etmek amacıyla kimya yapısını ve tasarım şeklini belirlerler. Eklemek gerekirse, yüksek hızdaki bataryaların kapasitesi daha düşüktür. Ancak deşarj oranı arttıkça daha sabit bir performans elde edilir.

b)Şekil ve Konfigürasyon: Hücrenin şekli veya konfigürasyonu iç direnç ve ısı dağılımı gibi faktörleri etkilediğinden doğal olarak batarya kapasitesini de etkileyecektir. Örneğin, bir

bobin tasarımında uzun, dar bir silindirik hücre aynı tasarımda geniş, kısa bir silindirik hücresine kıyasla daha düşük iç direnç değerine sahip olacaktır. Bunun yanı sıra özellikle de yüksek deşarj hızında hacmiyle orantılı olarak daha iyi bir performans gösterecektir. Isı dağılımı, aynı zamanda yüksek yüzey hacim oranı olan hücrelerden ve bataryanın dışına ısıyı iletebilecek dahili bileşenlerden daha iyi olması beklenir.

c) Hacimsel Verim ile Enerji Yoğunluğu: Bataryanın boyut ve şekli ile iç hacmini etkin bir şekilde kullanma yeteneği, hücrenin enerji çıktısını belirler. Hacimsel enerji yoğunluğu batarya hacminin azalması ile birlikte azalır. Hücrenin şekli (geniş veya dar çap gibi) hacimsel verimliliği de etkiler. Çünkü sızdırmazlık ve diğer hücre yapısındaki malzemeler için kaybolan alan da değerlendirmeye alınır.

d) Boyutların Kapasiteye Etkisi: Bataryanın boyutu, akım yoğunluğunu etkilediğinden dolayı gerilim karakteristiklerinde de farklılıklara sebebiyet verir. Genellikle akımın yoğunluğu düştükçe bataryanın boyutlarını arttırarak yaşam ömrünü orantılı olarak arttırmak mümkündür. Bu nedenle deşarj akımının mutlak değeri çok önemli bir etkiye sahip değildir. Bataryanın boyutu yani akım yoğunluğu kritik faktördür.

Bu bağlamda istenen yüksek gerilimi elde etmek için daha az ama büyük hücreler ve gerilim vasıtasıyla seri bağlı çok hücreli batarya ile daha düşük gerilimli batarya arasındaki alternatif düşünülmelidir. Önemli bir faktörde gerilim dönüştürücünün enerji kayıplarına karşın potansiyel olarak daha verimli ve daha büyük bataryanın göreceli avantajlarıdır. Ek olarak, az sayıda hücrelerin kullanımı ile birlikte sistemin güvenirliliği artar. Fakat batarya ve hücre tasarımları ve konfigürasyonları gibi etkiler ve güç ekipmanları gereksinimi nedeniyle karar aşamasında bütün ilgili faktörler göz önüne alınmalıdır.

Geçmişten günümüze en çok tercih edilen batarya tipleri;

Kurşun Asit Bataryalar; araçlarda kullanılan en eski ve olgun batarya tiplerinden biri kurşun asit bataryalardır. Kurşun asit bataryaların negatif elektrotu kurşun (Pb) elementi içerirken pozitif tabakada kurşun dioksit ($\mathrm{PbO_2}$) elementini içerir. Elektrotlar, sülfürik asit ($\mathrm{H_2SO_4}$) elektrolitine batırılır. Deşarj esnasında negatif elektrottaki kurşun ve Elektrotlarda kurşun sülfat meydana gelir. Elektrolit çözünmüş sülfürik asidi kaybeder ve su oluşur. Kimyasal reaksiyon sırasında enerji açığa çıkar ve enerji eklendiğinde bu süreç tersine döner. Toplam reaksiyon aşağıdaki gibidir;

$$Pb + PbO_2 + 2H_2SO_4 <--> 2PbSO_4 + 2H_2O \quad (4.21)$$

Genellikle içten yanmalı motora sahip araçlar SLI (başlama, aydınlatma, kontak/ateşleme) kurşun asit batarya kullanırlar. Kurşun asit bataryalar elektrikli araçlar için en olgun ve maliyeti en düşük olan batarya tipleridir. Fakat diğer batarya tipleri ile mukayese ettiğimizde özgül enerjileri (specific energy) daha düşük seviyede kalmaktadır. Elektrikli araçlarda kullanılabilecek tipik bir kurşun asit bataryanın 30-50 Wh/kg özgül enerjisi ve 75-300 W/kg özgül gücü vardır. Kurşun asit bataryanın çevrim ömrü ise yaklaşık olarak 100'dür. Bir SLI bataryasının kısa yaşam süresine sahip olmasının nedeni pozitif plakalardaki aktif madde korozyonudur (Anotsal korozyon). Mekanik sıkıştırma vasıtasıyla batarya plakalarında meydana gelen korozyonlar minimize edilebilir. Boru şeklindeki pozitif elektrotlarda gerçekleştirilen sıkıştırma vasıtasıyla kurşun asit bataryalar 1500 çevrime kadar ömrü sahip olabiliyorken, gelişmiş valfla ayarlanan kurşun asit batarya (VRLA) yaklaşık olarak 500-1000 çevrim ömrüne sahiptir (%50-60 DOD). SLI bataryalarının şarj edilmesi ve deşarj olması yavaşlar. Bundan dolayı bataryalı elektrikli araçlarda kullanılması uygun değildir. Bununla birlikte valf ayarlamalı kurşun asit bataryalar hızlı şarj için daha uygundur. Bu tarz bataryalar dakikalar mertebesinden şarj olabilme yeteneğine sahiptir.

Nikel Metal Hidrit; Nikel elementini pozitif elektrotta kullanan dört batarya tipi vardır. Bunlar sırasıyla nikel demir (Ni-Fe), nikel çinko (Ni-Zn), nikel kadmiyum (Ni-Ca) ve nikel metaldir (Ni-MH). Düşük özgül gücü ve kısa yaşam çevrimleri sebebiyle Ni-Zn ve Ni-Fe batarya tipleri elektrikli araçlar için elverişli değildir. Nikel kadmiyum en olgun teknolojiye sahip kadmiyum bazlı bataryalardandır. Nikel metal ile kıyaslandığın benzer özelliklere sahip olduğu görülmektedir. Nikel metal bataryanın bileşenlerinde kadmiyum elementinin bulunmaması, onu daha çevre dostu haline getirir. Bu çalışma elektrikli araçlar için en uygun nikel bazlı batarya tipinin Nikel metal bataryalar olduğu üzerinde durulacaktır. Batarya, pozitif elektrotta metal hidrit tarafından hidrojeni kendine katar. Deşarj esnasında nikel oksihidroksit, nikel hidroksit haline gelir. Deşarj esnasında negatif elektrotta hidrojen, su üreten metalden ve elektronlardan açığa çıkar. Reaksiyon aşağıdaki verilmiştir.

$$\mathrm{MH} + \mathrm{NiOOH} <--> M + \mathrm{Ni(OH)_2} \quad (4.22)$$

1991 senesinden beri nikel metal bataryaları hızlı bir şekilde gelişmektedir. Yüksek özgül güçlerinden dolayı nikel metal bataryalar Honda Civic Hibrit ve Toyota Prius gibi hibrit araçlarda sıkça tercih edilmektedir. Aslında geliştirme aşamalarında 2000 W/kg seviyeleri

kadar yükselebilen özgül güç değeri, piyasaya sürülürken 90'ların başlarında 200 W/kg seviyesinin altında iken 1000 W/kg mertebesine erişmiştir. Özgül enerji değerleri ise 60 Wh/kg 'dan 120 Wh/kg 'a kadar yükselmiştir. Nikel metal hibrit bataryalar %20 ile %80 arasında şarj seviyeleri arasında şarj edilmesi durumunda yaşam süreleri yaklaşık olarak 1200 çevrime kadar ulaşabilmektedir ve çevrim sayısı ile tam fonksiyonlu bataryalı elektrikli araçlar ve fişli hibrit araçlar için yeterli seviyeyi sağlayabilmektedir. Derin şarj edilmesi durumunda ise ortaya çıkan döngü sayısı yaklaşık olarak 500 kadardır (%80 DOD). Nikel metal hibrit batarya gruplarının maliyeti çoğunlukla nikel elementinin fiyatına bağlıdır. Bataryalı elektrikli araçlarda kullanılan Ni-MH batarya gruplarının ağırlığının neredeyse üçte biri nikelin ağırlığından kaynaklanmaktadır.

Lityum İyon; bataryalı elektrikli araçlar ve hibrit araçlarda lityum iyon bataryaları dominant bir batarya olma potansiyeline sahiptir. Son yıllarda cep telefonları ve düz üstü bilgisayarlar gibi küçük elektronik aletlerde kullanım hızı gittikçe artmaktadır. Günümüzde kullanılmakta olan ve ilerleyen zamanda da piyasaya sürülecek olan araçların birçoğunda lityum iyon bataryasının bulunması beklenmektedir. Örnek vermek gerekirse Mitsubishi iMiev ve Tesla Roadster gibi araçlar lityum iyon bataryasına sahiptir. Lityum metalinin ana karakteristik yapısından dolayı lityum iyon bataryaları elektrikli araçlarda yüksek performansa sahiptirler. Tüm metaller arasında lityum metali en yüksek standart potansiyele ve elektrokimyasal eşdeğere sahiptir. Bu özellikleri, tüm metaller arasında alüminyum ve magnezyum hariç en yüksek özgül enerji potansiyeline (Wh/kg) ve hacimsel enerji temeline (Wh/l) sahip olduğunu gösterir. Lityum, tüm metalik malzemeler arasında en hafif metaldir. Anot ve katodunda kullanılan malzemenin çeşidine göre bataryalar farklı özeliklere sahip olurlar. Piyasada kullanılan bataryaların anot kısmında genellikle (lithiated carbon) dan oluşurken, bazı şirketler farklı malzemeler kullanarak deneyler gerçekleştirmektedir. Altairnano, anotunda lithiated karbon yerine nano yapılı bir lityum titanat (LiTiO) içeren bir batarya geliştirdi. Bu yapının bir avantajı da, elektronların nano yapılı şebekeden ayrılma veya doldurma hızlarıdır. LiTiO bataryaları hızlı bir şekilde şarj olabilir ve nerdeyse diğer bütün lityum bazlı bataryalarda daha uzun çevrim ömrü vardır.

Günümüzde anodunda lithiated karbon bulunan birçok batarya örneği piyasada karşımıza çıkmaktadır. En yaygın kullanılan bataryaların katodu lityum kobalt oksit (LiCoO), lityum manganez dioksit ($\mathrm{LiMn_2O_4}$) veya lityum demir fosfat ($\mathrm{LiFePO_4}$). Cep telefonları ve

laptoplarda lityum kobalt oksit bataryalar kullanılır. Fakat bataryalı elektrikli araçlar için manganez dioksit veya demir fosfat daha uygun bir seçimdir. Lityum sülfür dioksit ($LiSO_2$) veya lityum tiyonil klorür ($Li-SOCl_2$) gibi daha gelişmiş lityum bataryalar askeri uygulamalarda tercih edilir. Lityum iyon bataryalarının özgül enerji değeri 100 Wh/kg ile 250 Wh/kg arasında değişmektedir. Güç yoğunlukları ise 2000 W/kg değerine kadar ulaşmıştır. Lityum iyon bataryalar genellikle sıvı sulu olmayan organik elektrolitler kullanırlar. Fakat kuru lityum bataryalarda katı elektrolit tercih edilir. En yaygın elektrolit çözeltileri; $LiClO_4$, $LiBr$, $LiCF_3SO_3$ve $LiAlCl$ gibi lityum tuzlarıdır. Lityum iyon bataryaları gibi benzer özelliklere sahip olan lityum polimer bataryaları elektrolitlerinde polimer jel kullanılır. Yaygın bir lityum iyon bataryasına kıyasla lityum polimer bataryalar daha ince ve hafiftir. İnce biçim batarya gereken uygulamalarda kullanılır.

Kullanılan batarya çeşidi ve kapasitesine bağlı olarak değişen araç menzili, İYM araçlar ile rekabet edilebilmesi adına büyük önem taşımaktadır. Seçilecek bataryalar araçların üretim amacına göre değişiklikler göstermektedir. Örnek olarak 96-120 V aralığında sistem gerilimine sahip bir aracı besleyen 6 V değerindeki bataryalar yüksek menzil ve düşük performans sağlarken, aynı sistemi besleyen 12 V değerindeki bataryalar ise daha iyi bir performans fakat düşük bir menzile olanak tanır[8]. Bu sebep ile elektrikli araçların temel parçası olan bataryalar üzerinde yapılan çalışmalar; enerji ve güç yoğunlukları, çevrim sayısı, gerilim değerleri, yaşam süresi ve maliyet gibi parametreler üzerinde yoğunlaşmıştır. Elektrikli araç maliyetinin en yüksek payını oluşturan bataryalar için günümüzde kurşun asit, nikel metal hidrat, lityum iyon, lityum metal sülfat, lityum polimer, çinko hava, çinko bromit bataryalar ön plana çıkmıştır.

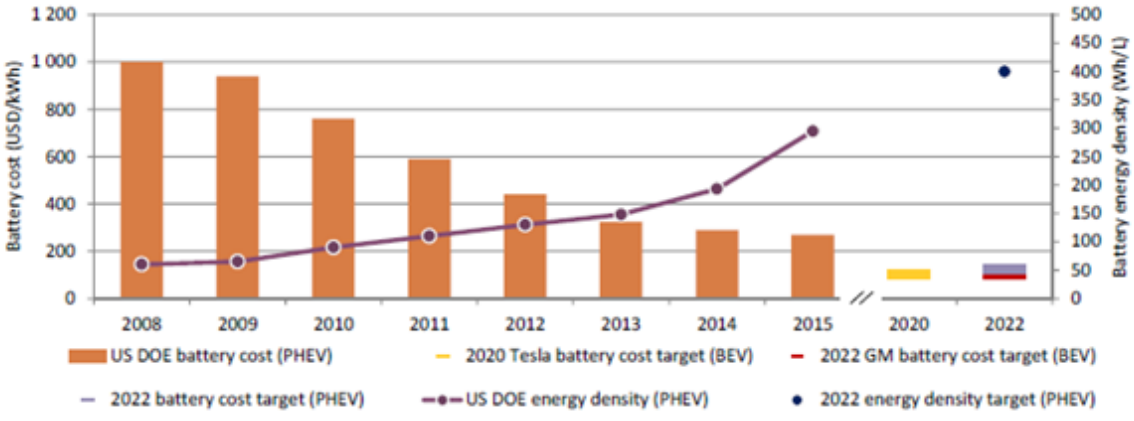
Çizelge 4.2 Elektrikli Araçlarda Kullanılan Batarya Karakteristiklerinin Karşılaştırılması

	Kurşun Asit	NiMH	Li-iyon	Li-iyon Polimer	Lityum Demir Fosfat	Zn-Air	Li-Air
Özgül Enerji (Wh/kg)	30-50	60-120	100-250	130-225	80-108	460	1300-2000
Özgül Güç (W/kg)	75-300	250-1000	250-2000	300-2000	2000-4500	80-140	-
Çevrim Sayısı	200-1500	300-1200	750-2000	1000-2000	2000	200	100
Gerilim (V)	1,2	1,2	3,6	3,7	3,2	1,65	2,9
Çalışma Sıcaklığı	-2050	-2060	-2060	-2060	-4570	-1055	-1070
Kendiliğinden Deşarj (%)	0.1-0.3	1	0.1-0.3	0.1-0.2	0.1-0.2	0.1-0.2	0.1-0.2
Bakım Gereksinimi	3 6 ay	60 90	-	-	-	-	-
Aşırı Şarj Dayanımı	yüksek	düşük	düşük	düşük	düşük	düşük	düşük
Hızlı Şarj Süresi (saat)	8 16	2 &4	<2	<2	<2		

Elektrikli araçlar için en önemli kompanent olan batarya grupları ve onlara ait parametreler Çizelge 4.2 ‘de verilmiştir. Bir bataryanın özgül enerjisi kg başına vereceği enerji ile doğru orantılı olduğu için yüksek özgül enerjili batarya seçimi kritik bir yer tutar. Bir bataryanın özgül enerjisi ne kadar yüksek ise buna bağlı olarak aracın menzili de o kadar artar. Fakat düşük özgül enerjiye sahip batarya hücrelerinden oluşmuş bir sistemin istenilen özgül güç değerlerini sağlamak için özgül enerjisi yüksek bataryalara kıyasla daha çok batarya hücrelerinden faydalanması sebebiyle sistem daha ağır, maliyeti yüksek ve nispeten düşük bir performansa sahip olur. Bu parametre için ön plana çıkan batarya grubu günümüzde lityum iyon polimer bataryalardır. Ancak gelecekte Li-Air bataryaların, lityum iyon polimer bataryaların yerini alması beklenmektedir. Özgül güç kavramı, elektrikli araçlarda motorlara verilebilecek maksimum gücün bataryalar tarafından özgül gücü en yüksek olanlar tarafından karşılanması gerekmektedir. Bunun sebebi olarak, özgül enerjide olduğu gibi aynı güç seviyesinde en düşük ağırlıkta en yüksek gücü sağlayabilecek batarya gruplarından faydalanarak araçlardaki bataryalardan kaynaklanan ağırlık probleminin önüne geçmektir. Günümüzde sıklıkla tercih edilen lityum iyon bataryalar, gelişen teknoloji ile birlikte yerini lityum demir fosfat bataryalara bırakması beklenmektedir. Araçların kullanım sıklığına göre değişkenlik gösteren şarj-deşarj sayıları, bataryanın çevrim sayısı ile limitlenmiştir. Bataryanın bu belirlenen çevrim sayısına erişmesi durumunda, performans ve kullanılabilirlik açısında önemli derecede düşüşler yaşanır. Bununla birlikte bataryanın deşarj derinliği ne kadar uzun

olursa çevrim sayısı da o derece azalması beklenir. Lityum iyon ve lityum iyon polimer bataryaların çevrim sayıları diğer batarya tiplerine göre daha fazladır. Gerilim seviyelerinde batarya seçimlerinde önemli bir kriterdir. Örnek vermek gerekirse; bir adet lityum iyon hücresinin gerilimini, 3 adet kurşun asit hücresi sağladığından aynı sistemde kurşun asit batarya grupları doğal olarak çok daha fazla yer kapladığından tasarım aşamasında önemli bir sorun teşkil eder.

Elektrikli araçların günümüze kadar olan gelişim sürecinde kullanılan batarya tercihi kurşun asit bataryalar ile başlayıp nikel metal hidrat ve lityum iyon şeklinde devam etmektedir. Batarya teknolojilerinin gelişimi ile elektrikli araçların en büyük sorunu olan menzil probleminin çözümü için daha yüksek enerji yoğunluğuna sahip bataryaların kullanılması gerektiği ortaya çıkmıştır. Son yıllarda lityum iyon bataryalarının hacimsel ve kütlesel enerji yoğunluklarının diğer bataryalara kıyasla daha yüksek olması EA 'da kullanım oranını arttırmıştır. Lityum bazlı bataryalar üzere yapılan çalışmalar ile ortaya çıkan lityum demir fosfat daha yüksek güç yoğunluğu, yüksek çevrim sayısı sağlarken daha düşük enerji yoğunluğuna sahip olması gelişimindeki en büyük handikaptır. Bunun dışında lityum bazlı bataryalar, yanma ve patlama risklerine sahiptirler. Bu yüzden henüz piyasayı domine edememiş olsalar bile ilerisi için büyük bir potansiyele sahip oldukları bilinmektedir. Yapılan araştırmalar ve çalışmalar sonucunda, metal-air 'ın özgül enerjisi 1700Wh/kg [45] olup gelecek için lityum bazlı bataryalara rakip olması kuvvetle muhtemeldir.



Şekil 4.21 Batarya Enerji Yoğunluğu ve Maliyetinin Yıllara Göre Değişimi

Sanayi, devletler ve ilk kullanıcılar, elektrikli arabaların onlardan beklenen pratiklik, sürdürülebilirlik, güvenlik ve erişilebilirlik özelliklerini sunabildiklerini göstermekte başarılı olmuşlardır, ancak EA pazarı halen yaygın kabulü ve devreye sokulması için politika desteğini

gerektirmektedir. Amerika Enerji Bakanlığının verilerine göre, Şekil 4.21 'te 2008 ile 2015 yılları arasındaki batarya maliyetleri (kWh başına) ve batarya enerji yoğunluklarının değişimi verilmiştir. 2008 yılından itibaren ciddi seviyede düşüş gösteren batarya maliyetlerine paralel olarak batarya enerji yoğunlukları artış göstermiştir. Elektrik araçlar maliyet paritesi açısından içten yanmalı motorlarla rekabet etmesi için en kritik faktörler teknolojik gelişmeler ve ekonomik skaladır.

Şekil 4.21' te ABD Enerji Bakanlığı 'nın verilerine göre batarya maliyetleri 2008 yılında 1000 $/kWh iken 2015 yılında 268$/kWh' e kadar düşerek yaklaşık %73 'lük bir maliyet düşüşü yaşanmıştır. ABD Enerji Bakanlığının 2022 yılı için belirlediği 125$/kWh maliyet hedefi ile birlikte elektrikli araçların konvansiyonel araçlarla rekabet edebilir hale gelmesi amaçlanmaktadır. Bu hedefin gerçekleştirme durumunda ek olarak gelecek 7 sene içerisinde %58 'lik maliyet düşüşü ile birlikte 2016 ile 2022 yılları arasında yıllık %10.3 'lük bir maliyet azalması öngörülmektedir. Ayrıca Şekil 4.21' te bu sektörde öncü olan bazı üreticilerin maliyet öngörülerine yer verilmiştir. Tesla Motors 2020 yılı için 100$/kWh barajının altına inmeyi hedeflemektedir.

4.4 Kontrol Sistemleri

Kontrol sistemleri, BEA tasarımlarının yüksek verimliliğe ve iyi bir dinamik performansa sahip olması adına büyük önem taşımaktadır. Konvansiyonel araçlarda parçalar arasındaki bağlantının mekanik olması durumu, elektikli araçlarda yerini çift yönlü ve dijital haberleşmeye bırakmıştır. BEA 'ın genel yapısını oluşturan elektrik motorları, batarya grupları ve şarj ekipmanları gibi ana ünitelerin birbirleriyle enterkonnekte çalışabilmeleri için hız kontrolörü, devre kesiciler, ana kontaktör, dönüştürücüler, inverterler gibi kontrol sistemlerine ihtiyaç duyulur. BEA sistemlerinde farklı görevler için birçok ünite kullanılmaktadır. Optimal control ve fuzzy kontrol gibi gelişmiş dijital kontrol teknikleri ile BEA'ların genel performansı arttırılır. Elektrikli araçların efektif ve smooth işletimi için hız kontrol devreleri kullanılmaktadır (Örn: DC Motor kontrolü için PWM kullanılır). Batarya ve elektrikli motorlar devrelerinde istenilen gerilim seviyelerinin elde edilmesi için ise DC-DC konvertörler ile DC-AC konvertörler (Frekans invertörleri) sistemde yer almaktadır. Güvenlik için ise bir devre kesici vasıtasıyla acil bir durumda, kontak anahtarı başarısız olsa bile veya araçta çalışırken sürücünün güç aktarma organlarını pil takımından elle izole etmesini sağlar.

Buna ek olarak, devre kesici, yüksek bir akım dalgalanması yaratan bir arıza durumunda otomatik olarak açılır ve arıza giderildiğinde kolayca sıfırlanabilir[33].

Hız Kontrolörü

Hız kontrolörü BEA 'ın verimliliği ve düzgün çalışması için son derece önemlidir. Gerilim ve amper aralıklarına göre sınıflandırılırlar. Darbe genişlik modülasyonu (PWM) DC motor kontrolörü darbeli olarak çalışarak gerekli olarak akımı motora aktarır. Bireysel darbelerde pistonlu su pompaları gibi sürekli bir akış sağlanması açısından düzeltilir [32].

Güç Dönüştürücüler

Güç dönüştürücüler, elektrikli araçlar için iki ana amaç için kullanılmaktadır. İlki, şebekeden ile batarya arasındaki enerji akışı için kullanılmasıdır. Şebekeden farklı seviyelerdeki AC veya DC gerilim evirici veya çeviriciler ile batarya için istenilen DC gerilim seviyesine dönüştürülür. Bu devreler sayesinde bataryalara gelen şebeke enerjisindeki dalgalanmalar azaltılarak, uygun hale getirilir. DC akıma çevrilen elektrik enerjisi, elektrik motorlarına sürülmeden önce onların karakteristiklerine bağlı olarak DC-AC ya da DC-DC ekipmanları sayesinde aracın tahrikine olanak sağlanır.

Devre Kesiciler

Tahrik sistemi arızası durumunda bir devre kesicinin görevi, batarya gücünü tedbirli olarak kesintiye uğramasını sağlamaktır. Bununla birlikte sistemin rutin bakım zamanlarında batarya gücünü keserek bakım için uygun ortamı sağlar. Devre kesiciler sürücü tarafından kullanılabilecek bir yerde konumlandırılmalıdır. Ateşleme anahtarı hata verse bile, acil bir durum veya araçta çalışır durumda iken sürücüye manuel olarak güç aktarma bileşenlerini izole etme olanağı tanır. Bunlara ek olarak devre kesici yüksek bir akım dalgalanması oluşturan arıza durumlarında otomatik olarak açılır ve arıza giderildiğinden kolayca tekrar eski konumunu alır. DC akımı kesmek, AC akıma göre daha zor olduğundan AC ve DC kesicilerin birbirinden farklı karakteristikleri bulunmaktadır. Bundan başka araç ortamındaki sertlik ve güçlüklerinden dolayı tasarlanırken bu konulara da dikkat edilmesi gerekir.

Ateşleme Anahtarı Ana Kontaktörü

Kontaktörler yüksek akımları düşük seviyeli bir kontrol gerilimi vasıtasıyla uzaktan

değiştirmek için kullanılır. Elektrikli araçlarda yüksek gerilimler, endüktif yükler ve aşırı yüksek akım yükleri ile karşılaşılır. Bu koşullar altında akımı değiştirmek için özel tasarlanmış ekipmanlar gerekir. Kontaktörler, elektrik arkını ortadan kaldıran kaynak işlemini ve manyetik patlamasını önlemek için sürekli görev bobinleri, gümüş kadmiyum oksit ile iletişim halindedir. Bir diyot, alan çöktüğü zaman sistemde bulunan diğer bileşenleri akım sıçramalarından korur. Ana kontaktörler, tek/çift kutuplu kontaktörler ve ters kontaktörler gibi birçok tipi mevcuttur. Acil durumlarda, şarj esnasından veya araç çalışır durumda iken ana kontaktör, batarya grupları ile güç aktarma bileşenlerini manuel olarak izole etmenin en kolay yoludur.

BÖLÜM 5

BATARYA ŞARJ METODLARI

Elektrikli araçların şarj olma sürecinde tekrardan elektrik enerjisi sağlayabilme yeteneğinde olan batarya gruplarının, kendi bünyesi içinde yüksek enerji seviyeli kimyasal enerji depolaması için doğru akım sağlanmalıdır. Şarj gerilimlerinin bataryanın yaşam süresi üzerinde kritik bir etkisi vardır. Bazı hücreler şarj süreci esnasında diğer hücrelere oranla daha çabuk bozulabilir.

Bozulmuş hücrelerin sadece bataryanın çıkış gerilimine negatif etki etmez aynı zamanda sistemin kullanılabilirlik ve güvenirlilik durumlarına da etkisi mevcuttur. Bu gibi olumsuz etkileri minimize etmek veya ortadan kaldırmak amacıyla farklı şarj methodları kullanılmaktadır. EA şarj istasyonlarında enerji transfer işleminin gerçekleşmesi esnasında kullanılan bazı yöntemler sabit gerilim, sabit akım, sabit akım ve sabit gerilim yöntemlerinin kombinasyonu, darbeli ve negatif darbeli şarj, konik şarj, tampon şarj ve iç gerilim kontrollü şarj gibi çeşitli şarj yöntemleri mevcuttur.

5.1 Sabit Gerilim

Her batarya için uygun ve basit bir şarj yöntemi olan sabit gerilim yönteminde, batarya sabit gerilimde şarj edilir. Sabit gerilim methodu bataryanın tamamen dolu şarj durumuna kısa süre içerisinde getirilmesi için kullanılır. Bu tip methodda dengeli bir gerilim değerine ve yüksek akım kapasitesine sahip olunmalıdır [47]. Şarj işlemi süresinde bataryadaki akım değeri sürekli değişkenlik gösterir. Başlangıç seviyesinde şarj akımı büyük bir değerde olabilirken, batarya olarak şarj edildiğinde aşamalı olarak sıfıra düşer [48]. Başlangıçtaki yüksek akım gereksinimi bu tür şarj işlemini pratik kılmamakla birlikte yüksek maliyet gereksinimine sebebiyet verir. Binalar ve park alanları için uygun olmayan başlangıçta yüksek

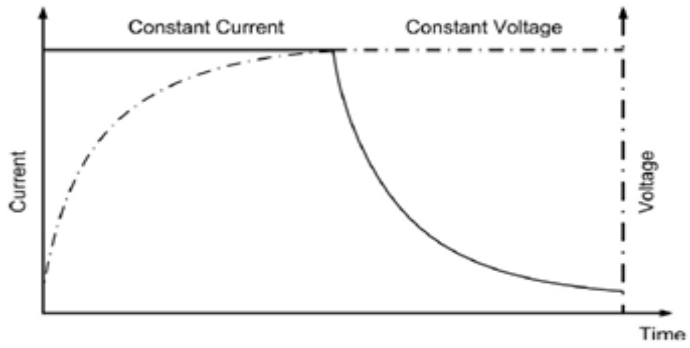
güç gereksinimi bu yöntemin önündeki en büyük engeldir. Bataryadaki yüksek akım akışı sadece bataryanın ömrünün kısalmasına sebep olmaz aynı zamanda bataryada ısı oluşumunu da tetikler. Genellikle sabit gerilim şarj cihazında başlangıç akımını limitleyen bir aygıt mevcuttur. Bu durum devrenin toplam empedansını tasarlayarak veya sabit akım regülatorü kullanarak gerçekleştirilir. Sabit gerilim şarj cihazı, şarj işleminin son bölümünde akımı otomatik olarak azaltıp su ayrışmasını minimize ederek kısa sürede ve etkili bir biçimde bataryayı şarj eder.

5.2 Sabit Akım

Sabit gerilim metodunun aksine, batarya sabit bir akım değerinde ve bataryanın gerilimi ise değişkenlik gösterir. Bu metottan yararlanmanın en önemli avantajı şarj süresince sağlanan kapasite miktarını belirlemenin kolay olmasıdır. Bunun yanı sıra sabit gerilim methodunda gerekli sıcaklık kompanzasyonuna gerek yoktur. Genellikle yüksek şarj hızında batarya gerilimini aşırı yükselir ve su ayrışır. Böylece şarjın son aşamasında ısı oluşumuna neden olarak bataryaya zarar verir. Fakat sabit akım methodunda nispeten şarj işlemi nispeten düşük oranlar tutulur ve şarj süresi çok önemli değildir.

5.3 Sabit Akım ve Sabit Gerilim Yöntemlerinin Kombinasyonu

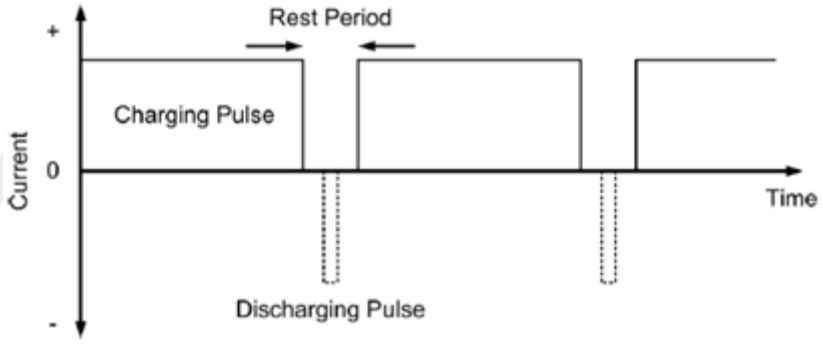
Batarya daha önce şarj edilmemişse düşük bir akım, eğer edilmişse daha yüksek bir akım ile bataryanın gerilimi belirlenen eşik değere ulaşıncaya kadar batarya şarj edilir. Gerilim belirlenen değeri ulaşınca, işlem sabit gerilim olarak değiştirilir. Bu sayede bataryanın gerilimi korunmuş olur.[49]. Lityum iyon bataryalarının hızlı şarjı için en çok tercih edilen metottur [50].



Şekil 5.1 Sabit Akım ve Sabit Gerilim Şarj Profili

5.4 Darbeli ve Negatif Darbeli Şarj

Darbeli şarj yöntemi ile bataryalar, darbe genişliği değiştirilerek şarj edilir ve doluluk oranları kontrol edilebilir. Darbeler arasında 20-30 milisaniyelik boşluklar bırakılarak batarya içindeki kimyasal reaksiyonlar dengede tutulur [52] . Darbeler arasındaki bu boşluk süreleri kimyasal reaksiyonların şarj işlemine ayak uydurmasına olanak tanır ve elektrot yüzeyindeki gaz oluşumlarının azalmasını sağlar. Yeni darbeli şarj yöntemi, şarj için uygun farklı darbe genişlikleri sayesinde bataryanın şarj edilme hızını ve verimliliğini arttırır. Bu sırada kullanılan negatif darbeli şarj yöntemi ile çok kısa deşarj darbeleri uygulanarak darbeler arasındaki boşluk sürelerinde oluşan gaz kabarcıkları ve batarya kutuplaşmasının önüne geçilir[52]. Negatif darbeli şarj methodunun, genel şarj işlemini arttırdığı ve batarya ömrünü uzattığı iddaa edilir. Darbeli ve negatif darbeli şarj methodu hızlı şarj istasyonlarında kullanılmak üzere uygun bir yöntem olacağı düşünülmektedir [52].



Şekil 5.2 Darbeli ve Negatif Darbeli Şarj

5.5 Konik Şarj

Basit ve nispeten ucuz bir şarj methodudur. Bu şarj methodunun gerçeklemesi için güç transformatörü, doğrultucu ve akımı sınırlamak için uygun dirençli bir devre ihtiyacı vardır. Şarj işlemi devam ederken şarj akımı kademeli olarak düşer. Devrenin empedansı düşük değerlerde ise kademeli bir akım eğrisi elde edilir. Bu tür bir şarj işleminin şarj akımının şebeke gerilimlerindeki dalgalanmalar ve batarya gerilimindeki değişiklikler ile farklılık göstermesi sebebiyle genellikle bataryaları şarj etmek için uygun olmadığı düşünülür. Fakat bu etkiler, batarya geriliminden daha yüksek ikincil bir gerilim ve akım sınırlamak için uygun yüksek dirençli bir güç transformatörü kullanılarak minimize edilir [47].

5.6 Tampon Şarj

Tampon şarj methodu veya başka bir deyişle düşük oranda şarj etme methodu bataryanın kendiliğinden boşalmasının önlemek amacıyla tamamen şarj edilmiş bir bataryayı küçük akım değeriyle şarj etmektedir. Örneğin lityum iyon bataryalarda hücre gerilimi yaklaşık olarak 3V değerinin altına düştüğünde hücre maksimum 0.1C 'lik sabit bir akımla şarj olur [53].

5.7 İç Gerilim Kontrollü Şarj

İç gerilim kontrollü şarj metodu, uç gerilimi yerine bataryanın iç geriliminin şarj ve deşarj sürecinin kontrol edilmesi ile sağlanır. Genellikle batarya şarj edilirken, gerilim yükselir ve tam tersi olarak deşarj edilirken gerilim azalır. Şarj döngüsünün sayısı arttıkça, bataryanın deşarj süresi kısalır. Bu da batarya iç geriliminin artması ve bataryanın bozulmasına sebebiyet vererek, batarya geriliminin hızlı bir şekilde 10,5 V 'a düşmesine neden olur. İç gerilim şarjının amacı, bataryaya yeterli miktarda akım akıtılarak, tamamen şarj etmektir. Şarj ve deşarj işlemlerini kontrol etmek için sayaç rölelerinden faydalanılır. Sayaç rölesi bataryaya bağlanır ve gerilim değeri 10,5 V olduğunda şarj başlatılır. Gerilim değeri 14,5 V olduğunda sistem deşarj işlemine geçmeye ayarlıdır. Yapılan çalışmalar sonucunda, bu yöntemin batarya ömrünü uzattığı kanıtlanmıştır. Bunun nedeni ise; bataryaların tam olarak şarj edildiklerinde röleler aracılığıyla tekrardan deşarj işlemine geçmesi, bataryalara fazladan akım sağlanmasını engellemesidir. Ek olarak, batarya şarjının üst limitini attırdığından bu metod ile bataryaların sadece etkinliği değil, aynı zamanda verimliliğide artar.

5.8 Elektrikli Araçlar Şarj Dönüştürücü Çeşitleri

BEA şarj konfigürasyonları üzerine yapılan geniş kapsamlı literatür çalışmaları sonucunda şebekeden alınan gerilim önce AC/DC ve ardında da DC/DC dönüştürücü aracılığıyla gerekli gerilim şekli ve büyüklüğüne dönüştürülür. Diğer bir konseptte ise önce AC/AC ve daha sonra AC/DC dönüşüm gerçekleşir.

Genellikle daha çok tercih edilen ilk konseptte, ilk dönüştürücü şebekeden alınan AC gerilimi DC formuna dönüştürürken, ikinci dönüştürücü ise BEA bataryasını şarj etmek için kullanılır. Ön uç AC/DC dönüştürücü filtre cihaz ile kombinasyon halinde iken genellikle aktif bir doğrultucudur. Kontrolü sağlanabilen bu dönüştürücü ile ayrılmış gerçek güç ve reaktif güç

kontrolü, DC gerilim regülasyonu, ünite güç faktörü düzeltme, akım harmonik eliminasyonu ve reaktif güç kompanzasyonu gibi farklı özellikler gerçekleştirilebilir [54, 55]. Ön uç AC/DC dönüştürücü, aktif doğrultucunun anahtarlama işlemi için istenilen darbeleri üreten kontrol sistem stratejisini kumanda ederek (yönlendirerek) birçok hedefi gerçekleştirebilir. Doğrudan güç kontrolü, akım kontrolü ve doğrudan gerilim kontrolü bazı sık kullanılan kontrol stratejilerindendir. Ön uç AC/DC dönüştürücünün aksine arka uç DC/DC dönüştürücünün birçok farklı dönüştürücü topolojisi mevcuttur. Bunlardan birisi, faz kaydırılmış ZVZCS 'li (sıfır gerilim sıfır akım anahtarlaması) tam köprü dönüştürücüdür[54, 56, 57]. Bu tip dönüştürücü topolojisi, leading-leg ve lagging-leg anahtarları için sıfır gerilim ve sıfır akım sağlayabilir. Dönüştürücü konfigürasyonunda transformatör kullanıldığından dolayı faz kaydırılmış ZVZCS 'li tam köprü dönüştürücü aynı zamanda giriş ve çıkış arasında galvanik izolasyon sağlar [56]. Bu tür dönüştürücü topolojisi, dolaşım iletim kaybını azaltmak için boşa dönme süresince birincil akımı sıfırlayabilir [57]. Faz kaydırılmış ZVZCS 'li tam köprü dönüştürücü farklı yükler koşulları ve çıkış gerilimi aralığı altında yüksek verim elde edebilir. Diğer dönüştürücü topolojisi ise iki etkin şalterin anahtarlamasına dayanarak düşük ve yüksek modda çalışabilen yarım köprü dönüştürücü tasarımıdır. Aktif komponentlerin düşük akım değerlerinden dolayı düşük iletim ve anahtarlama kayıplarına sahiptir. CUK dönüştürücü, düşük akım dalgalanmalarının ilginç özelliğine sahiptir. Fakat SEPIC/Luo dönüştürücü ile daha da geliştirilen transfer kapasitörü üzerinde yüksek gerilim değerlerine sahiptir. Bunlara ek olarak, kademeli arka uç DC/DC dönüştürücü, düşük elektriksel ve termal gerilmeye sebebiyet verirken, aralıklı (interleaved) dönüştürücü topolojisi akım dalgalanmalarını düşürür [58, 59].

İkinci en yaygın şarj konfigürasyonu ise AC/AC dönüştürücü ile arka uç AC/DC dönüştürücü yapısıdır. Bu tip şarj konfigürasyonunda şebekeden alınan gerilim değeri, bataryayı şarj etmek için arka uç AC/DC dönüştürücü ile DC gerilim formuna doğrultulmadan uygun AC seviyeye gelmesi amacıyla AC/AC dönüştürücü kullanılır. Literatürde ön uç AC/AC dönüştürücü, üç fazlı transformatör ve Z-kaynak şebeke (Z-source network) olmak üzere iki topolojiden oluşur. Giriş besleme gerilimini istenilen seviyeye getirmenin dışında, üç fazlı transformatör giriş ile BEA arasındaki galvanik izolasyonu sağlar. Bu sırada Z-kaynak şebekesi statik transformatör görevi görerek harmonik akımı ve ani akımı düşürür. Basit yapısı ve kontrolü sayesinde kolayca bir şekilde uygulanabilir. Diğer taraftan arka uç AC/DC dönüştürücü; üç fazlı üç seviyeli diyot bağlantılı dönüştürücü, aktif doğrultucu ve kontrolsüz

doğrultucu olmak üzere üç dönüştürücü topolojisi ile temsil edilir. Üç fazlı üç seviyeli diyot bağlantılı dönüştürücü, V2G işlemini gerçekleştirmek için çift yönlü güç akışına izin verir. Aynı zamanda şebekeye frekans ve gerilim kontrolü gibi yardımcı hizmetler de sağlar. Temel olarak kontrol edilebilir olan aktif doğrultucu topolojisi, güç faktörü ve BEA bataryasını hızlı şarj etmek için kullanılır. Bunun aksine kontrol edilemeyen doğrultucu, aktif kontrol özelliği içermeden basit bir doğrultma işlemi sağlayabilir.

Üçüncü şarj konfigürasyonu ise mevcut elektrik tahrik bileşenlerini kullanarak şarj cihazını temsil eden ilginç bir konsept olan entegre şarj cihazıdır. Elektrikli araç durağan haldeyken harici olarak şarj edildiğinden bu konsept pratik olarak uygulanabilir. Bu nedenle araç durduğunda elektrik tahrik bileşenleri şarj cihazı olarak işlev görebilir. Tam tersi çalışma durumunda ise, elektrikle hareket ettirme düzeninin inverteri doğrultucu olarak çalışabilir. Bundan dolayı elektrik hareket ettirme inverteri sıklıkla değiştirilir ve şarj cihazı olarak kullanılır. Buna benzer şekilde, BEA güç aktarımındaki elektrik motoru aynı zamanda indüktor olarak görev yapmakta ve filtre cihazı olarak kullanılmaktadır. Entegre şarj cihazının kullanımı sadece maliyet ve hacim açısından avantaj sağlamakta kalmaz aynı zamanda sistem ağırlığını da azaltabilir.

Bu kısıma kadar ki olan bölümde üç farklı şarj cihazı konfigürasyonlarından bahsedildi. Bu üç konfigürasyon, iletken şarj cihazları adı altında toplanır. İletken şarj cihazları, güç kaynağı ve BEA arasında fiziksel bir bağlantıya ihtiyaç duyar. Öte yandan, BEA ile güç kaynağı arasında hiçbir fiziksel bağlantı içermeyen ve yeni bir şarj cihazı konsepti olan yönteme de endüktif şarj cihazları adı verilir. İletken cihazlar ile kıyaslandığında daha düşük bir verimlilikleri olan endüktif şarj cihazları yeni ve olgunlaşmamış bir teknolojidir. Bunun yanı sıra, güvenli ve dayanıklı olmaları bazı önemli avantajlarındadır.

BÖLÜM 6

ŞARJ İSTASYONLARI

Bataryaların; güvenlilik, dayanıklılık ve performans gibi özellikleri bataryaların nasıl şarj veya deşarj edildiğine bağlı olarak değişkenlik gösterir[49]. Bir şarj istasyonunda şarj işleminin gerçekleşmesi için genellikle; şarj kablosu, şarj standı, bağlantı fişi, elektrik prizi, araç bağlantı elemanı ve koruma sistemi gibi ek ekipmanların bulunması EA 'ın gelişmesinde, şebeke entegrasyonunda ve günlük kullanımında önemli bir yer tutar [60]. Bilindiği üzere ülkeden ülkeye değişiklik gösteren frekans ve gerilim değerleri sebebiyle şarj istasyon yapıları farklılık gösterir. Buna bağlı olarak önde gelen ülkeler EA 'ın belirli kurallar altında şarj edilmesi ve bataryalarda oluşabilecek zararların önüne geçilmesi amacıyla belirli standartlar ortaya koymuşlardır. Bu standartlar sırasıyla; SAE (Society of Automotive Engineers)(Amerikada), IEC (Avrupada) (International Electromechanical Commission) and CHAdeMO (Japonyada)EV 'dır[61]. Çizelge 6.1 ve 6.2 'de sırasıyla SAE J1772 standardı ve IEC standardı tarafından oluşturulan şarj seviyeleri, gerilim, akım, güç değerleri gösterilmektedir. EA şarj edilirken kullanılan şarj seviyesi; şarj süresi, maliyet, ek ekipman gereksinimi ve şebekeye olan etkiye doğrudan bağlantılıdır. Off-board şarj sistemi daha yüksek güçte aracın şarj edilmesini sağlarken, on-board sistemi ise güç kaynağının olduğu her yerde araç sahibine şarj imkanı tanır. On-board şarj sistemi; ağırlık, alan ve maliyet gibi nedenlerden dolayı genellikle sınırlı bir güce sahiptir [60].

Çizelge 6.1 SAE J1772

	Şarj Seviyesi	Akım Değeri (A)	Gerilim Değeri (V)	Güç Değeri (kW)
AC		12	120	1,4
	Seviye 1	16	120	1,9
	Seviye 2	< 80	240	< 19,2
	Seviye 3	-	-	> 20 kW
DC	Seviye 1	80	200-450	< 36 kW
	Seviye 2	200	200-450	< 90 kW
	Seviye 3	400	200-600	< 240 kW

Araç üzerinde bulunan ekipmanlar vasıtasıyla daha düşük bir akım, gerilim ve güç değerlerine sahip olan seviye 1 'de yapılan şarj işlemi genellikle yavaş şarj işlemi olarak da adlandırılır. Şarj işleminin uzun süreceğinden ve gün içinde EA 'ın kullanılabileceğini de varsayarak gece şarj edilmesi daha uygundur. Bu sayede şebekeden güç aktarımı gece gerçekleşeceğinden şebeke olan etkileri de minimuma iner. AC seviye 2 'de kullanılan gerilim ve akım değerlerinin artması EA şarj sürelerinde ciddi derecede düşüşler meydana gelir. Örneğin; 30 kWh batarya kapasitesine sahip bir BEA 3,3 kW şarj cihazı ile şarj seviyesi %20 'den tam dolu hale kadar şarj edilmesi 7 saat kadar, 7 kW şarj cihazı ile 3,5 saat ve 20 kW şarj cihazı ile de yaklaşık 1,2 saat kadar sürer[62]. Şarj işleminin kısa olması, BEA kullanım oranında da ciddi artışlara sebebiyet verecektir.

DC olarak aracın şarj edilmesi off-board şarj cihazı vasıtasıyla gerçekleşir. Normalde şebekeden alınan AC gücün DC 'ye çevrilmesi için ekstra bir ekipman gerekmektedir. Yüksek gerilim ve akım değerlerine sahip bu şarj yöntemi için gerekli olan daha komplike olan sistem ile birlikte yatırım maliyeti yükselirken şarj süresi diğer yöntemlere göre ciddi şekilde düşmektedir.

Çizelge 6.2 IEC 61851

	Şarj Modları	Faz Sayısı	Gerilim Değeri (V)	Akım Değeri (A)
AC	Mod 1	1	< 250	< 16
		3	< 480	
	Mod 2	1	< 250	< 32
		3	< 480	
	Mod 3	1	< 250	< 250
		3	< 480	
DC	Mod 4	-	< 1000	< 400

Çizelge 6.2 'te şarj modları IEC standartlarına göre belirlenmiştir. İlk 3 modda AC ve diğer son mod DC olmak üzere dört adet şarj modu mevcuttur. 100 kWh 'lik bir batarya kapasitesine sahip BEA ele alındığında AC Mod 1 üç fazlı şarj ile boş halden tam doluluk oranına yaklaşık olarak 16 saatte ulaşırken, Mod 2 ve Mod 3 AC üç fazlı şarj yöntemleri ile sırasıyla 8 saat ve 1 saat kadar sürmektedir. DC Mod 4 'te ise şarj süresi oldukça kısalmakta birlikte 20 dakika kadar sürmektedir.

Bu şarj modlarının yanı sıra, günümüzde de çalışmaları devam eden 800 V, 350 kW'lık şarj teknolojisi Porsche firması tarafından ilerleyen süreçte piyasa sürülmesi düşünülmektedir [63, 64].

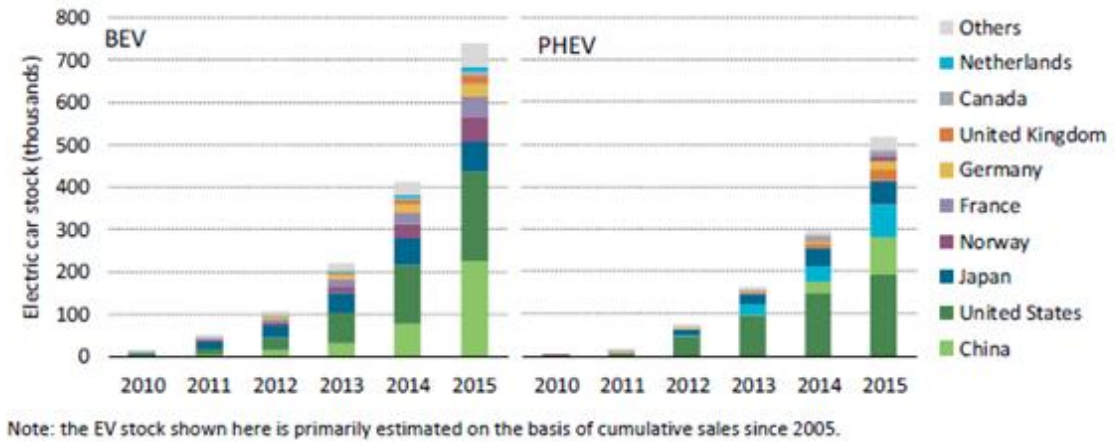
Aracın biten bataryasını doldurmak ve tekrardan aracı sürmek için başka bir yol daha vardı. Bu da aracın bataryasını çıkarıp yerine başka bir batarya takarak tahrik için gerekli olan enerji ihtiyacı sağlanabilir.

EA 'ın emisyon salınımlarının sıfır olması onları çevreci ve temiz bir ulaşım aracı yapmaktadır. Fakat bilindiği üzere aracın tahriki için gerekli olan elektrik enerjisi üretiminin hangi kaynak kullanılarak üretildiği ilerleyen günlerde daha da önem kazanacaktır. Örnek vermek gerekirse; aracın şarj edildiği istasyon kömür veya dizel santrallerden besleniyorsa çevreye olan salınım dolaylı yoldan yine devam edecektir. Fakat üretilen enerjinin rüzgar veya güneş gibi yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlanması durumunda hem daha ucuz hem de daha çevreci bir şekilde üretim gerçekleşmiş olur. Ancak bu şekilde araçlardaki salınım gerçek anlamıyla sıfır olabilir veya sıfır emisyona yaklaşabilir.

Üzerine çalışan diğer bir şarj şekli ise; araçlar hareket halinde iken yola döşenmiş kablosuz

şarj yöntemi ile de gerçekleştirilebilir. Qualcomm tarafında geliştirilen bu teknoloji için uzmanlar Fransa'nın Versay şehrinde kurulmuş prototip üzerinde çalışmalarını sürdürmektedir. Gelişim aşamasında olan bu teknoloji araç hareket halindeyken 20 kW'a kadar enerji desteği sağlamaktadır. Bu sistemin gelişmesi ve yaygınlaşması, EA 'ların önündeki en büyük engel olan şarj sorununun önüne geçileceği düşünülmektedir [65].

Sono Motors olarak bilinen ve Almanya, Berlin merkezli olarak piyasa giren şirket, elektrikli araçların üzerine konumlanmış güneş panelleri aracığıyla EA bataryasını şarj etmektedir. Prototip aşamasında olan bu çalışmada aracın günlük menzil ihtiyacını karşılamak için ortalama olarak 30 km menzil elde edilebiliyor. Sion diye tanımlanan bu araçta 80 ve 193 km 'lik menzillere erişebilen iki farklı batarya tipi mevcuttur. Tamamen elektrikli olan bu aracın 140 km/sa 'lik maksimum hıza erişeceği ve 107 beygirlik güç üreteceği dile getirilmektedir[66].



Şekil 6.1 Küresel Elektrikli Araç Stoğu 2010-2015

Şekil 6.1' deki yapılan çalışmada Dünya genelindeki elektrik araç sayısının çeşitli ülkelerdeki 2015 yılı verileri yer almaktadır. Bu kapsam içinde olan ülkeler baz alınarak hesaplanan elektrikli araç sayısı 2015 yılında 1.26 milyon değerine ulaşmıştı. 2015 yılında bu toplam elektrikli araç sayısının %34 'ü Kuzey Amerika 'da bulunmaktadır. Yaklaşık %33 'lük dilime sahip Avrupa 'da elektrikli araç sayısının öne çıkan ülkeler sırasıyla; Hollanda, Norveç, Fransa, Almanya ve İngiltere olarak göze çarpmaktadır. Avrupa 'daki elektrik araç sayısının %23 'ü Hollanda 'da ve %18 'i Norveç'te bulunmaktadır. Asya bulunan araç sayısı %36 'lük dilime sahiptir. Bu payın büyük çoğunluğunu Çin ve Japonya paylaşmaktadır.

Çizelge 6.3'teki veriler ise 2015 yılı elektrikli araç sayısının spesifik ülkelere göre karşılığı ve

aynı ülkeler için 2020 yılı elektrikli araç sayısı tahminleri verilmiştir. Ayrıca bu ülkelerin 2020 yılındaki elektrikli araç pazar payları yine Çizelge 6.3 'te gösterilmiştir.

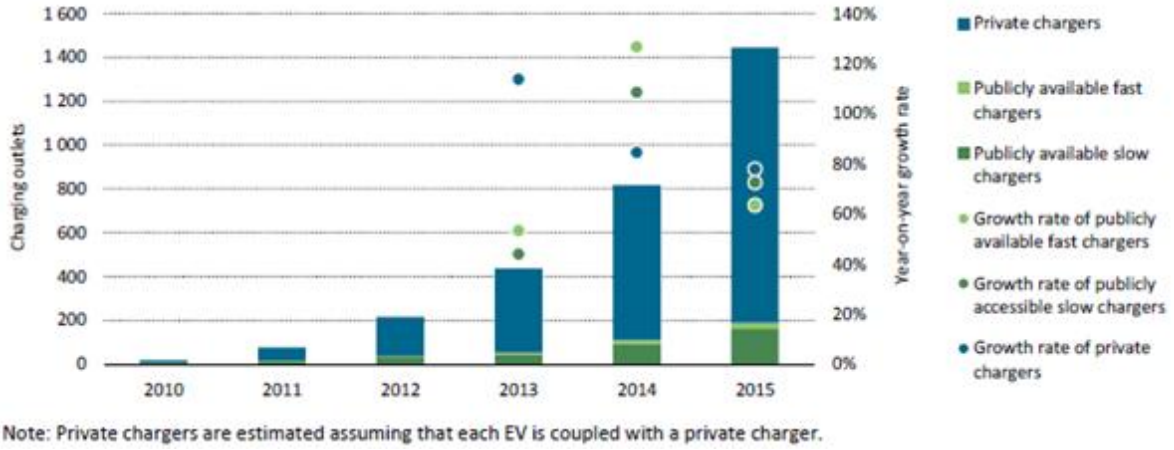
Çizelge 6.3 Ülkeler Bazından Elektrikli Araç Stoğu 2020 Hedefi

Ülkeler	2015 Elektrikli Araç Adedi (bin)	2020 Elektrikli Araç Hedefi (milyon)	Elektrikli Araç Satış Oranı (2016-2020)	Toplam Araç Satışında Elektrikli Araç Oranı (2020)
Avusturya	5,3	0,2	13%	4%
Çin	312,3	4,6	6%	3%
Danimarka	8,1	0,2	23%	9%
Fransa	54,3	2	20%	6%
Almanya	49,2	1	6%	2%
Hindistan	6	0,3	2%	1%
İrlanda	2	0,1	8%	3%
Japonya	126,4	1	4%	2%
Hollanda	87,5	0,3	10%	4%
Portekiz	2	0,2	22%	5%
Kuzey Kore	4,3	0,2	4%	1%
İspanya	6	0,2	3%	1%
Birleşik Krallık	49,7	1,6	14%	5%
ABD	101	1,2	6%	2%

Elektrikli araç sektöründeki hızlı gelişmeler ve umut vaat eden yeni uygulamalara rağmen, 2015 yılı verilerine göre dünya çapındaki toplam 1 milyarlık araç sayısına kıyasla elektrik araç kullanımı çok düşük seviyelerdedir(%0.1). [IEA, 2016b] Uluslararası Enerji Ajansı'nın ön görülerine göre 2020 yılında 20 milyon olması beklenen elektrikli araç sayısı ile birlikte global araç pazarındaki oranı %1.7 olacaktır. Bununla birlikte ülkelerin kendilerine ait hedefleri doğrultusunda 2020 yılına kadar elektrik araç satış sayısı ve toplam araç satışındaki payı verilmiştir. Buna göre Tablo 3 'te de görüleceği üzere 14 ülke 13 milyonluk elektrikli araç hedefiyle piyasayı domine etmesi beklenmektedir.

2016 ile 2020 yılları arasında Danimarka'da satılması hedeflenen araçların %23 'ünü elektrikli araçların oluşturması beklenmektedir. Danimarka'yı sırasıyla; Portekiz, Fransa ve İngiltere takip etmektedir. Ek olarak 2020 yılındaki pazar payların Danimarka %9 ile başı çekerken, onu sırasıyla; %6 ile Fransa, %5 ile Portekiz ve İngiltere'nin izlemesi beklenmektedir. Buradan da anlaşılacağı üzere hedeflenen elektrikli araç kullanımı Avrupa'da en yoğun şekilde gerçekleşecektir.

Şekil 6.1 ve Çizelge 6.3 ‘ün verileri incelendiğinde elektrikli araç sayısı 2015 yılından 2020 yılına kadar 5 yıllık süreç içerisinde yaklaşık olarak 1.2 milyondan 20 milyona çıkması öngörülmektedir. Neredeyse 20 kat olan bu artış ile birlikte bazı problemlerin ortaya çıkması kaçınılmazdır. EA kullanımının bu derece yaygınlaşmasında gerekli olan altyapının sağlanması büyük önem teşkil etmektedir. 20 milyon aracın şebeke üzerinde yaratacağı ekstra yüklenmenin önüne geçilmesi için kişisel şarj istasyonları ve kamuya açık alanlarda kullanılan şarj istasyonlarının itinayla planlanmalıdır. 2016 yılında Uluslararası Enerji Ajansı’nın yayımladığı raporda 2010-2015 yılları arasındaki şarj istasyonlarının sayılarının değişimi Şekil 6.2 ‘de verilmiştir.

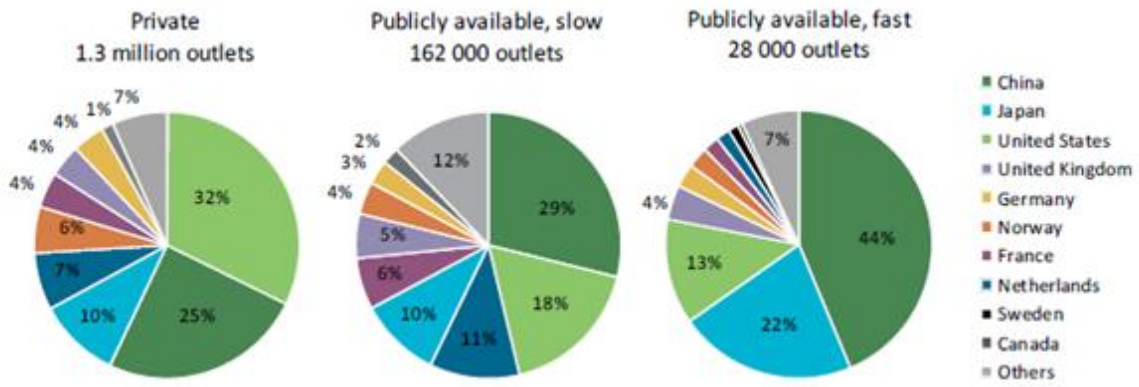


Şekil 6.2 Küresel Şarj Cihazlarının 2010-2015 Yılları Arasındaki Değişimi

Şekil 6.2 ‘deki grafikte toplam EVSE şarj cihazlarının yıllara göre değişim gösteren adetleri gösterilmiştir. 2010 yılında 20000 civarında olan bu sayı, 2014 yılında 0.82 milyona ve 2015 yılında ise 1.45 milyona ulaşmıştır. Devlet tarafından sağlanan halka açık şarj cihazları, 2013 yılında toplam EVSE cihazlarındaki payı %13 ‘tür. 2013 yılında 50 bin olan halka açık şarj cihazları, 2014 yılında 110 bin ve 2015 yılında ise 190 bine erişmiştir.

Halka açık erişilebilir şarj yapısının gelişimi (2015 yılında %71), küresel elektrikli araç stokunun (%78) ile rekabet edebilir seviyedeydi. Kamuya açık yavaş hızlı şarj %73 oranında artış gösterirken, hızlı şarj %63 civarında bir artışa sahiptir. Kamuya açık mevcut şarj çıkışlarının sayısının ortalama büyümesi, son beş yılda hem yavaş hem de hızlı şarj çıkışlarının yıllık bazda iki katından fazla arttığı gözlemlenmiştir.

Şekil 6.2 ‘de verilen toplam şarj istasyonu sayıları, Şekil 6.3 ‘de detaylı bir şekilde ele alınmıştır. Şekil 6.3 ‘de ülkeler baz alınarak sahip oldukları kişisel şarj istasyonları, hızlı ve yavaş kamuya ait şarj istasyonlarının nümerik değerleri verilmiştir.



Şekil 6.3 Şarj Cihazlarına Göre 2015 Yılı Genel Şarj Cihazlarının Ülkere Göre Dağılımı

2015 yılında dünya çapında 1.3 milyon kişisel şarj istasyonu, 162 bin kamuya açık alanda yavaş şarj istasyonu ve 28 bin kamuya açık alanda hızlı şarj istasyonu mevcuttur. Kişisel şarj istasyonu sayısında ABD ilk sırada yer alırken, kamuya açık alanlardaki hızlı ve yavaş şarj istasyonları sayısında Çin en yüksek değerlere sahiptir.

Artan EA sayısına paralel olarak şarj istasyonu sayıları da artış gösterecektir. EA 'ın şarj edilmesi küresel olarak enerji talebinde artışlara sebebiyet vermesi ve dolayısıyla mevcut şebeke sistemi üzerinde sürekliliği ve güvenirliliği olumsuz yönde etkileyecek problemlerin ortaya çıkması mümkündür.

BÖLÜM 7

ELEKTRİKLİ ARAÇLARIN ETKİLERİ

Elektrikli araçların kullanımının yaygınlaşması, doğal olarak insanların bulundukları yaşam koşulları üzerinde etkilere sebebiyet verecektir. Bu etkileri üçü ana başlık altınca incelediğimizde sırasıyla; ekonomik etkiler, çevresel etkiler ve EA 'ın şebekeden şarj edilmesi sonucunda ortaya çıkan etkiler olaraktır.

7.1 Ekonomik Etkiler

EA 'ın ekonomik etkileri değerlendirilirken bu konuya iki farklı açıdan bakmak sistemi daha iyi anlama için faydalı olacaktır. İlk olarak sisteme şebeke açısından baktığımızda elektrikli araçların şarj edilebilir yapıya sahip olmalarından ve hızlı şarj edilebilme gereksiniminden dolayı şebekeden yüksek güç ve akım değerleri çekilmesi söz konusudur. Şebekenin bu durumu karşılayabilmesi için mevcut olan yapının üzerine ek yük veya akıllı şebeke yapısına geçmesi gerekir. Yeni yatırımların gerekmesi maliyeti de arttırmaktadır. Daha çok enerji talebi, daha çok üretime sebebiyet vereceğinden özellikle rüzgar ve güneş enerjisi gibi yenilebilir enerji kaynaklarının kullanılması ve elektrikli araç şarj işleminin kontrollü olarak gerçekleşmesi sistemin maliyetini açısından önemli derecede tasarruf sağlayacaktır.

Elektrikli araç kullanıcıları açısından sistemi incelediğimizde ise verimli elektrik motor yapısı sayesinde araç düşük işletim maliyetine sahiptir. Fakat ilk yatırım maliyetlerinin yüksek olması ve aynı zamanda yapılan bu yatırımın geri dönüş süresinin de uzun olması elektrikli araçların negatif özellikleri arasındadır. Seri üretimin yaygınlaşması, kullanılan teknolojilerin gelişimi ve maliyetlerinin düşmesi gibi iyileştirmelerle EA maliyet açısından erişilebilir hale gelir.

Genel olarak EA ‘ın ekonomik etkilerini incelediğimizde ek yük gereksinimi ve yüksek ilk yatırım maliyeti gibi negatif etkenlerin olmasına rağmen kontrollü şarj yöntemleri, enerji kaydırma, akıllı şebeke yapısı ve teknolojilerin gelişmesine paralel olarak şebeke ve EA kullanıcıları açısından EA yayılımı kazançlı hale gelir.

7.2 Çevresel Etkiler

Elektrikli araçlar piyasaya sürüldüğünden beri çevre dostu olarak tabir edilip sıfır emisyon salınımlarına sahip olduğu belirtilmektedir. Fakat unutulmaması gereken bir durumda, EA ‘ın şarj edildikleri şarj istasyonlarının hangi enerji kaynaklarıyla beslendikleridir. Daha önceki bölümlerde de bahsettiğimiz WTW değerlendirme yöntemi üretim aşamasında emisyon değerlerini incelemede önemli yer tutar. WTT aşamasında kullanılacak enerji kaynaklarının kömür bazlı yakıtlar olması durumunda WTW değerleri bazı durumlarda konvansiyonel araçlara kıyasla daha çok kirli gaz salınımına sebebiyet verir. Bundan dolayı WTT aşamasında kullanılan enerji kaynağı ne kadar temiz ve çevreci olursa (yenilenebilir enerji kaynağı gibi) sistemin toplam emisyon salınımı da o derece azalır.

7.3 Şebeke Üzerindeki Etkiler

Elektrikli araçların yaygınlaşması, şebeke üzerinde oluşabilecek etkilere karşı endişeleri arttırmıştır. Çok sayıda EA ‘ın şarj edilmek üzere şebekeye entegrasyonu sonucunda harmonik oluşumu, sistem kayıpları, gerilim düşmesi, faz dengesizliği, güç talebinin artması, ekipmanların aşırı yüklenmesi ve kararlılık gibi negatif etkilerin ortaya çıkmasına sebebiyet verir.

7.3.1 Yük Profilinin Etkisi

Bu kısımda EV yayılımının yük profili üzerindeki etkisi ile ilgi dünya üzerinde yapılan bazı çalışmalardan örnekler verilecek ve değerlendirilmesi yapılacaktır. İlk olarak Birleşik Devletler ‘de EA ‘ın yük profiline saat bazında etkisi incelenmiştir. EA kullanıcıları araçlarını istedikleri yer ve zamanda şarj etmeleri sonucunda pik saatlerdeki yüklerde artış gözlenmiştir. Bu artışın önüne geçilmek için şarj kaydırılması uygulanmıştır. [67].

Diğer bir çalışma da ise 2030 yılında Almanya şebekesi üzerinde EA yayılımının yük

profilindeki etkileri araştırılmıştır. Kontrolsüz bir şekilde şarj edilen bir milyon araç şebeke üzerinde sadece %1,5 'lik bir artışa sebebiyet verdiği gözlemlenmiştir. Fakat Almanya sınırları içerisinde bulunan her bir aracın elektrikli araç olması durumunda (yaklaşık 42 milyon araç) şarj işleminde pik yük iki katına çıktığı görülmüştür. Aynı zamanda bir milyon EA 'ın şebeke kararlılık depolaması olarak kullanılması durumunda pik yüklerde %16 'lık bir azalması söz konusu olmaktadır.

Toplam yolcu araç sayısının %30 'unun EA olduğu Estonya 'da, şebeke üzerine geniş çaplı bir EA entegrasyonu incelendiğinde etkilerin az olduğu gözlemlenmiştir. Kontrolsüz bir şekilde EA 'ın şarj edilmesi pik yükleri %5 olarak arttırırken kontrollü olması durumunda ise %4 'lük bir artış gözlemlenmiştir. Kontrollü EA şarj işleminde EA gece boyunca şarj edilip yük profili düzgünleştirilecektir.

Son olarak 2020 yılında Kore şebekesi üzerinde EA yayılımının yük profiline etkisi incelenmiştir. Saatlik olarak incelenen bu şebekede temel olarak farklı EA özellikleri, EV kullanım şekilleri, şarj hızları ve şarj istasyonları ele alınmıştır. Bu araştırma ile ek EA yükleri beraberinde sadece yük profilinin artmasına sebep olmamış aynı zamanda şebeke güvenirliliğini de etkilemiştir. Fakat bu gibi problemler, zaman kullanımlı tarife sistemi sayesinde (time-of-use TOU tarif system) EA yüklerini pik saatler yerine talebin az olduğu saatlerde şarj etmesiyle çözülmüştür.

EA 'ın günlük ihtiyaçları karşılayacak kadar menzile sahip olması beraberinde EV yayılımının artmasına sebebiyet vermektedir. Buna paralel olarak da yük profilindeki etkilerde artmıştır. Günlük ihtiyacı sağlaması açısında EA 'ın genellikle tekrardan şarj işlemi kullanıcıların işten eve geldikten sonraki zaman diliminde gerçekleştiği ve gerçekleşeceği düşünüldüğünden pik yüklerin artması olasıdır. Doğal olarak yüksek sayıda aracın şebekeye bağlanmasıyla pik yük profilinde artışlar söz konusu olmaktadır. Bu gibi sorunları çözmek için zaman kullanımlı tarife sistemi ve uygun şarj işletim stratejileri gibi birçok yöntem uygulanmıştır.

7.3.2 Sistem Bileşenleri Üzerindeki Etkiler

Çok sayıda EA 'ın şarj işlemi yüksek değerlerde enerji talebine sebebiyet vermektedir. Bu enerji talebi karşılanırken, var olan sistem bileşenleri yeni ek yükleri karşılamak üzere tasarlanmadıklarından dolayı aşırı yüklenmeye maruz kalır. Transformatör ve kablo gibi

şebeke bileşenlerinin aşırı yüklenmesi daha geniş çaplı EA şarj işlemini sınırlandırmaktadır.

[96-98] numaralı çalışmalarda aşırı ısıya maruz kalan transformatörler üzerinde bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Çalışma [68] 'da AC seviye 1 ve AC seviye 2 'de şarj işlemleri sebebiyle transformatördeki yıpranma incelenmiştir. Kontrolsüz olarak şarj işlemi düşünüldüğünde, AC seviye 2 ile şarjda AC seviye 1 'e kıyasla ısınma daha çok olacağından transformatörün yıpranma payı da artmaktadır. AC seviye 1 'de transformatördeki yıpranma faktörü 3,24 iken AC seviye 2 'de bu oran 8,15 'e kadar çıkmaktadır. [69] numaralı çalışmada ise buna benzer bir sonuç çıkmakla beraber daha yüksek değerlerde EA penetrasyonu daha çok negatif etkiye sahip olacağı belirtilmiştir. Diğer bir taraftan [70] numaralı çalışmada ise büyük çoğunlukla mevcut transformatör yapısı ek EA talebini karşılayabildiği anlatılmaktadır. Fakat aşırı işletme sıcaklığı sebebiyle AC seviye 2 'de yüksek oranda EA penetrasyonu transformatörlerin arızalanmasına neden olabilmektedir. EA şarj işleminin transformatörler üzerindeki etkisi talebin az olduğu sürelerde araçlar şarj edilerek ve uygun yük yönetimi ile bertaraf edilebilir. Ayrıca talebin az olduğu sürelerde EA 'ın edilmesi ile transformatörler üzerindeki ısı dengesinin de sağlanmasına olanak tanınır. Böylelikle transformatörlerin arıza oranı da azalabilir.

Kanada 'da yapılan bir çalışmada pik saatlerde şarj işlemi esnasında sistemin bileşenlerinden kablolar üzerinde olan etkiler incelenmiştir. Mevcut kablo yapısı hızlı şarj yöntemi ile sadece %15 'lik EA penetrasyonuna olanak tanıyabilirken, normal şarj seviyesinde ise bu oranın %25 'e kadar çıktığı gözlemlenmiştir. Buradan da anlaşılacağı üzere Kanada 'da ki var olan kablo yapısı EA penetrasyonunu karşılayacak seviyede olmamaktadır. Başka bir çalışmada [71], EA hızlı şarj istasyonlarının 20 kV orta gerilim dağıtım şebekesinden güç çekeceği varsayımı yapılır. EV hızlı şarj istasyonlarını besleyen 400 V 'luk sekonder kablo yüklenmesi EA şarj işlemi sırasında olağanüstü düzeyde artmaktadır. Bu durumda kablo aşırı ısınır ve EA dengeleme için takviye gerekir.

EA şarj süresince sistem bileşenlerinden transformatör ve kablolar üzerinde olacak etkiler genellikle bulunduğu lokasyona göre farklılık göstermektedir. Fakat genelleme yapmak gerekirse yüksek EA penetrasyonu sistem bileşenleri üzerinde aşırı ısınma gibi negatif etkilere sebebiyet verirken uygun şebeke planlaması ve yük yönetimi gelecek EA dengeleme için tavsiye edilmektedir.

7.3.3 Sistem Kayıpları Üzerindeki Etkiler

EA ‘a sağlanan enerjinin üretildiği yerden şarj istasyonlarına ulaştırılması için enerji iletim sistemleri kullanılmaktadır. Şebeke bileşenlerine kıyasla iletim esnasında açığa çıkan kayıpları daha büyük seviyelerdedir. EA şarjı sebebiyle sistem daha çok enerji üretmek gereğinden olacağından enerji iletim sistemleri üzerindeki kayıplarda buna bağlı olarak artacaktır.

Danimarka dağıtım şebekesi üzerinde yapılan çalışmalarda, kontrolsüz şarj etmek işleminde EA entegrasyonu %50 oranında olduğu zaman sistem kayıpları %40 kadar artmaktadır. Aynı senaryo kontrollü olarak gerçekleştiğinde ise sistem kayıplarının %10 düştüğü görülmüştür[72]. Sistem enerji kayıpları üzerine yapılan diğer bir çalışmada ise EA ‘ın büyük çoğunluğunun gece şarj edildiği varsayıldığından talebin düşük olduğu saatler en kötü senaryo olarak değerlendirilir. EA dağıtım şebekesinden şarj edildiğinde sistemin enerji kayıpları ciddi derece artmaktadır. Elektrikli araç entegrasyonu olmadığı durumlardaki ana yük durumu ile kıyaslandığında maksimum sistem enerji kayıpları %40 ‘a kadar ulaştığı gözlemlenmiştir.

Elektrik şebekesi açısından, EA şarj edileceğinden buna paralel olarak güç akışı yükselir ve sistem kayıpları meydana gelir. EA şarj işlemi esnasındaki sistem kayıplarını düşürmek için koordineli EA şarj sistemi uygulanmıştır. Ayriyeten EA yüklerine sağlanan enerjinin yakın yerlerde kurulmuş santrallerden sağlanması da sistem kayıplarını azaltacaktır.

7.3.4 Gerilim Profili ve Faz Dengesizliğine Etki

Şebekeden EA şarjı gerilim düşmesine ve bağlantı noktasında gerilim sapmasına neden olur. Dolayısıyla çok sayıda EA şarjı işlemi şebeke geriliminin güvenli regülasyon gerilim gereksinimlerini ihlal edebilir. Diğer bir etki ise tekli fazlı AC şarj ile meydana gelen faz dengesizliğidir. Monte Carlo simülasyon metodu EA şarjı esnasında oluşan gerilim sapma etkisini değerlendirmek için benimsenmiştir. Koordinesiz şarj ve V2G stratejileri uygulanmıştır. Çin elektrik şebekesine ilişkin olarak 10 kV güç şebekesinde %7 ‘lik gerilim sapması kabul edilebilir bir orandır. Koordinesiz EA şarjı için EA penetrasyonu %60 veya daha fazla ise birkaç şebeke gerilimi %7 oranında gerilim sapma toleransını ihlal eder. V2G modu uygulandığı durumda tüm şebeke gerilimleri %90 ‘a kadar EA penetrasyon oranı ile kabul edilebilir gerilim standardını sürdürür. Bunun nedeni V2G modunun yük dengeleme işlemini

gerçekleştirebilmesi ve taleplerin yoğun ve yoğun olmadığı süreçler arasında daha küçük gerilim farkı üretmesidir. [74] numaralı çalışmaya benzer olarak EA penetrasyon oranı %50 veya daha yüksek olması, şebeke gerilimlerinin gerilim sapma toleransını %7 'yi aşmasına yol açacağını göstermektedir. Akıllı şarj stratejisinin uygulanmasıyla tüm şebeke gerilimleri kabul edilebilir gerilim sınırları dahilindedir.

Yapılan diğer çalışmaları [71,72] incelediğimizde EA şarjının şebeke gerilimi üzerinde önemli bir etkisi olmadığı iddaa edilmektedir. [71] numaralı çalışmanın sonucu olarak, EA şarjı sebebiyle oluşan şebeke gerilim düşüşlerinin kabul edilebilir seviyede olduğu ve gerilim sapmaları da %1 'den fazla olmadığını göstermektedir. EA 'ın geniş ölçekli kabulü için limitleyen faktör, gerilim sorunu yerine sistem bileşeni aşırı yüklenme sorunlarıdır. Aynı zamanda [72] numaralı çalışmada da herhangi bir gerilim sınırını aşılmadan sistem bileşenlerinin yüklenmesini nispeten artıracağı sonucuna varılmaktadır.

EA 'ın konutlarda yavaş bir şekilde şarj edilmesi durumunda eğer şarj işlemi üç faza eşit olarak dağılmamış ise ciddi faz dengesizliği problemlerine neden olabilir. [75] numaralı çalışmasında AC tek fazlı EA şarjının faz dengesizliği sorununa etkisini araştırmak için tüm EA 'a' fazına bağlanmıştır. Sonuç olarak ciddi faz dengesizliği sorununun meydana geldiğini ve gelecekte EA dağıtımı için ekstra ilgi ve çalışma olması gerektiği anlaşılmıştır. Yapılan bir başka çalışmada [76], birçok EA şarj cihazının dağıtım şebekesi üzerine entegrasyonunun akım ve gerilim dengesizliğinde nispeten az bir etkisi olduğu görülmüştür. Geniş test koşulları aralığında faz dengesizliği kabul edilebilir sınırlar dahilinde kalır. Bir gerilim dengesizlik analizi genetik algoritma kullanılarak yapılmıştır [77]. Bu çalışmanın temel amacı, önerilen genetik algoritmayı aşırı gerilim dengesizliğine neden olmadan her fazda bağlanabilen EA sayısını optimize etmek için kullanmaktır.

Görüldüğü üzere EA şarjının gerilim düşmesi, gerilim sapması ve faz dengesizliğine etkisini incelemek için çok sayıda araştırma yapılmıştır. Bazı araştırmalar etkilerin önemli boyutta olduğunu gösterirken bazılarında ise tam tersidir. Fakat bütün bu sonuçlar; test yapılan şebekenin gücü, EA bağlantı noktası, EA penetrasyon seviyesi, EA şarj karakteristikleri ve daha pek çok faktörden bağlantılıdır. Bu ve bunun gibi faktörlerin etkisi sistemin doğuracağı sonuçlara ciddi derecede etkilemektedir. EA dengeleme oranının yakın gelecekte hızlanması beklendiğinden dağıtım şebekesinin gerilim profilini kabul edilebilir sınırlar dahilinde sürdürmek için gerilim düzenleyici ekipman ve gerilim destek stratejileri uygulanabilir. EA

yüklerinin her üç faza eşit olarak dağıtılmasından dolayı EA yavaş şarj işlemi, uygun yük yönetimi vasıtasıyla faz dengesizlik problemini önleyebilir.

7.3.5 Harmonik Etki

Şarj işlemi esnasında EA şarj cihazları güç elektroniği bileşenlerini (power electronics) kullanır. Kullanılan bu güç elektroniği bileşenlerinin değiştirilmesi, güç kalitesi sorunlarını gündeme getirebilir. Yüksek harmonik bozulma gibi ana harmonik problemleri, sistem bileşenlerinin zarar görmesine yol açabilmesi ana endişelerdendir. Yapılan bir çalışmada [78] EA 'ın şarji sebebiyle toplam harmonik bozunması geriliminin %1 'den az olduğu gösterilmektedir. Başka bir deyişe, EA 'ın şarjı, harmonik sorunu boyunca şebeke güç kalitesini etkilemez. Harmonik etki üzerine daha detaylı yapılan bir çalışmada [79] ise, rastgele şarj zamanı, şarj süresi ve araç şarj istasyonları gibi EA 'ın şarj dinamik davranışlarını ele almaktadır. Sistem analizini gerçekleştirmek için Monte Carlo simülasyon tabanlı metot önerilmiştir. Çalışmada EA 'ın şarjı şebeke üzerinde göz ardı edilebilir harmonik etkileri sahip olduğu gözükmektedir. Öte yandan [80] numaralı makalenin yazarları, EA 'ın hızlı şarj sisteminin enerji şebekesinde önemli harmonik enjekte ettiğini göstermektedir. EN 50160 standardına referans alarak 40. harmoniğe kadar besleme geriliminin, toplam harmonik bozulma gerilimi %8 'i aşmamalıdır. Ancak bu çalışma sadece birkaç elektrikli aracın hızlı şarjı ile toplam harmonik bozulma geriliminin %11,4 'e ulaştığını ortaya koymaktadır. Aynı zamanda bu çalışmada EA 'ın şarjından kaynaklı harmonik problemini çözmek için PV inverter kontrolünü aktif filtre olarak kullanan benzersiz bir çözüm önermektedir. Diğer çalışmalarda da rastgele EA şarjının benzer sonuçlar ile kabul edilemez düzeyde toplam harmonik bozulma gerilimine neden olabileceği gösterilmiştir [81, 82]. Örnek vermek gerekirse [82], pik saatlerde 18 tane elektrikli aracın rastgele şarjı için yüksek penetrasyon, toplam harmonik bozulma geriliminin yaklaşık %45 'inde sonuç verir. Eşit oranda dağıtılan EA 'ın şarjı, sistem performansını belirgin bir şekilde arttırabilirken daha karmaşık koordineli şarj şemasına gerek duyulmaktadır.

Kısacası farklı çalışmalar farklı sonuçlar elde etmektedir. Bazı çalışmalar, elektrikli araç şarjının şebeke üzerinde önemli bir harmonik oluşumuna etkisi olmadığını gösterirken, bazı çalışmalar da tam tersi sonuç verdiği gözlemlenmiştir. Bu durumun meydana gelmesi, elektrikli araç şarj cihaz özelliklerinin nasıl modellendiğine ve sistemin nasıl

gerçekleştirildiğine bağlıdır. EA 'ın şarjı, şebekeye harmonik etki getirse de, filtreleme cihazlarının gibi birçok çözüm yöntemi bu sorunlarla başa çıkabilecek durumdadır.

7.3.6 Kararlılık Etkisi

Güç kararlılık sistemi, bir elektrik güç şebekesinin bozunma veya geçici oluşumdan sonra tekrardan işlemin sabit durum koşullarına getirme yeteneği olarak tanımlanır. Güvenilir güç kaynağı için istikrarlı bir güç şebekesi son derece önemlidir. EA, elektrik şebekesi açısından yeni yük olduğundan, EA 'ın şarjının dağıtım şebekesi kararlılığı üzerine etkisi halen bilinmemekte ve araştırılmalıdır. Çoğu araştırmanın temel bulgusu, elektrikli araç şarjının, güç şebekesi kararlılığını ciddi şekilde azalttığını belirtmektedir [83, 84, 85, 86]. [83] numaralı çalışma EA 'ın bütünleşmesiyle güç şebekesinin bozulaya daha duyarlı olduğunu ve kararlı durum koşuluna erişmek için istenen süre açısından daha az kararlı çalıştığı sonucuna varmaktadır. Bunun nedeni, akım harmoniklerini enjekte eden ve reaktif güç absorbe eden elektrikli araç şarj cihazlarının özel karakteristikleridir. Bu açıklama EA yük davranışlarının özel olduğunu ve sabit güç bileşeni ve negatif üstel bileşenin bir kombinasyonu tarafından temsil edildiğini savunan [86] numaralı çalışma tarafından desteklenmektedir. Bu çalışma elektrikli araç şarjının güç şebekesi gerilim kararlılığı üzerindeki etkisini araştırmakta ve aynı zamanda elektrikli araç şarjının basit durum gerilimi kararlılığını büyük ölçüde azalttığı hükmüne varmaktadır.

EA şarjının güç sistemi kararlılığı üzerindeki etkisini değerlenmek ve bu sorunlara çözüm öneri sunmak amacıyla [87] numaralı çalışma yapılmıştır. EA şarjı ve V2G süresince güç sistemindeki kararlılığın gelişimi için şebeke bileşenlerine yardımcı kontrol sinyalleri sağlayan geniş alan kontrolörü kullanılır. Particle Swarm Optimization (PWO), generatörlere azami sönümlendirme sağlamak amacıyla optimize edilmiş yardımcı kontrol sinyallari üretmek için kullanılır.

İncelenen çoğu çalışmalar EA şarjının sistem kararlılığı üzerinde negatif etkileri görülmüştür. Fakat [88] numaralı çalışmada EA 'ın şebekeye entegrasyonu ile geçici olarak şebekenin kararlılığını arttırabileceği gösterilmiştir. Yapılan bütün bu çalışmalarla EA şarjının genel olarak sistem kararlılığında sorunlara yol açabileceği anlaşılmıştır. Fakat diğer bir taraftan, EA deşarjının veya V2G çalışma modunun şebeke kararlılığına pozitif etkisi olacağına da değinilmiştir.

BÖLÜM 8

AKILLI ŞEBEKELER

Elektrikli araçların geniş ölçekli olarak şebekeye bağlanması sebebiyle ortaya çıkan akıllı şebekeler fikri, EA yayılımına paralel olarak ortaya birçok fırsat çıkarmaktadır. Bu yayılım ile V2G teknolojisi ve rüzgar, güneş gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının entegrasyonu karşımıza çıkan en önemli imkanlardır.

8.1 Akıllı Şebekeler

Akıllı şebekeler, güç kaynaklarının verimliliğini, sürekliliğini ve güvenirliliğini artırmak için bilgisayar destekli kontrol ve otomasyon sistemlerinden yararlanan modern elektrikli güç sistemleri olarak tanımlanabilir. Bu sistemler temel olarak sırasıyla; akıllı sayaçlar, akıllı cihazlar ve enerji ölçü aleti şeklindedir. En belirgin özellikleri ise; elektronik güç koşullandırma, enerji üretimi ve dağıtımıdır. Bilgi ve iletişim teknolojilerinin elektrik güç şebekesine dahil edilmesiyle şebeke ve elektrikli araçlar arasında çift yönlü iletişim sağlanır [89]. Bu nedenle sistemin çeşitli bileşenleri, daha iyi karşılıklı çalışılabilirlik için enerji yolları ve çift yönlü iletişim ile birbirine bağlıdır. Gerçek zamanlı veri toplama için akıllı şebekeler boyunca sensörler ve akıllı sayaçlar yerleştirilir. Toplanan bilgiler ile beraber, akıllı şebekeler birbirine bağlanmış bileşenlerin genel işlemlerini optimize etmek ve denetlemek için özerk ve akıllı izleme kontrolünü kullanır. En ilginç özellikleri ise tüketicilerin şebeke işlemine aktif olarak katılabilmelerine olanak sağlamasıdır. Tüketiciler, gelişmiş ölçüm altyapısı vasıtasıyla gerçek zamanlı elektrik kullanım değerlerine, tarife ve teşviklere erişim sağlayabilir. Aynı zamanda kendi kararları ile elektrik kullanma tercihlerini uygulayabilirler. Enerji kullanım kalıplarında değişikliğe yol açarak, enerjinin arz ve talebini dengelemeye yardımcı olabilirler. Ek olarak, akıllı şebekeler saldırılara ve doğal etkenlere karşı olan riski azaltan ve daha iyi

güvenirlilik sağlayan yaygın üretim üniteleri kullanır. Sorunlarla karşılaşılması durumunda bile, kendini iyileştiren bir yapıya sahip olan akıllı şebekeler, arızalı hatları izole etmek gibi aksaklıklardan kendisini kurtarmak için acilen düzeltici tedbirleri alır. Çizelge 8.1 'te geleneksel şebekeler ile akıllı şebekeler arasındaki farklılıkları gösterilmiştir. Geleneksel şebekeler ile kıyaslandığında akıllı şebekelerin en göze çarpan özelliği, çift yönlü haberleşme hattına sahip olmasıdır. Bu çift yönlü haberleşme altyapısı ile gelişmiş ölçme altyapısı, ev otomasyon şebekesi, taleplere yanıt, dağıtılmış üretim ve V2G entegrasyonu gibi çeşitli uygulamalardan yararlanılmıştır.

Çizelge 8.1 Geleneksel Şebekeler ile Akıllı Şebekelerin Kıyaslanması

Karakteristikler	Geleneksel Şebeke	Akıllı Şebekeler
İletişim	Tek Yönlü	Çift Yönlü
İzleme Kontrolü	Manuel	Otomatik/Akıllı
Akıllı Sensör ve Sayaçların Dahil Edilmesi	Limitli	Süreç Boyunca
Tüketici Katılımı	Pasif	Aktif
Güç Üretimi	Merkezi	Dağıtılmış
Geri Kazanma / İyileşme	Manuel	Kendiliğinden

Gelişmiş Ölçüm Altyapısı: Gelişmiş ölçüm altyapısı veya akıllı sayaçlar, tüketicilerin gerçek zamanlı elektrik kullanım bilgilerini toparlayıp kayıt altına alan elektronik bir cihazdır. Gelişmiş ölçüm altyapısı, şebeke ile tüketiciler arasında çift yönlü iletişim sağlamasının yanı sıra, iletişim bağlantısı bilgi paylaşımına olanak tanır. Daha iyi izleme, yönetim ve elektrik faturalama için şebeke operatörleri toplanan bilgilerden yararlanabilir[90, 91, 92].

Denetimsel Kontrol ve Veri Toplama (SCADA): SCADA, izleme aygıtlarından gerçek zamanlı bilgi toplama ve çeşitli ekipmanları uzaktan kontrol etmek için akıllı şebekelerdeki çift yönlü iletişim yollarından faydalanan merkezi bir sistemdir. SCADA, gelişmiş kontrol teknolojilerinden biri olup, aynı zamanda birçok güç şebekesinde de uygulanmıştır [89]. SCADA; veri toplamak için veri tabanı sunucuları, sensörlere bağlanmış arayüz aygıtları, programlanabilir lojik kontrolörler, anahtarlar, röleler ve ayrıca veri ve kontrol sinyallerini aktarmak için çift yönlü iletişim sistemi gibi birkaç ana bileşenden meydana gelir [93].

Ev Otomasyon Şebekesi: Ev otomasyon şebekesi, ev içerisinde bulunan elektrikli ev aletlerin

iletişimini sağlayan akıllı bir altyapıdır. Ev otomasyon şebeke teknolojisi, güvenli, enerji açısından verimli ve ekonomik bir yaşam ortamı yaratmak amacıyla bağlı olan tüm elektrikli cihazların otomatik izlenmesi, yönetimi ve kontrolünü sağlayabilir. Ev otomasyon şebekesi, sistemin en güncel gerçek zamanlı bilgileri ve elektrik şebekesi koşullarını almasını sağlayan Gelişmiş ölçüm altyapısı ile işbirliği içerisinde çalışabilecek şekilde tasarlanmıştır. Bu fonksiyon, ev otomasyon şebekesi sisteminin kontrolü altında olan ev aletlerinin, tüketicinin tercihi ve gerçek zamanlı şebeke koşullarının durumuna göre yanıt verilmesine ve kontrol edilmesine yardımcı olur [94, 95, 96].

Talep Yanıtları: Talep yanıtları, tüketicinin elektrik şebekesinin iyileştirilmesine katkı sağlaması amacıyla teşvik eden akıllı bir şebeke teknolojisidir. Tüketiciler, elektrik şebekesinin yükünü azaltmak için acil durum veya pik yük periyodlarında elektrik kullanımını azaltabilir. Bu nedenle, talep yanıtları, güç şebekesi operasyonunu sürdürmek için uygun maliyetli bir alternatif olacak pik yük talebini veya acil durum sürecini karşılamak için ilave güç üretiminde kaçınabilir [97].

Dağıtılmış Üretimin Entegrasyonu: Akıllı bir şebekede, enerji üretim üniteleri üretim seviyesinde birkaç büyük enerji üretim santralini kullanmak yerine tüm şebeke genelinde yaygın olarak dağıtılır [93]. Dağıtılmış üretimin entegrasyonu, dağıtım seviyesindeki tüketicilerin yakınlarındaki yüklere güç ve ekipman tedarik edilmesini sağlar. Dağıtımın yakın kaynakların gerçekleştirilmesi ve büyük enerji üretim santrallerinden sağlanmaması, güç kayıplarını azaltabilir. Dağıtılmış üretimin kavramı, özellikle güneş enerjisi ve rüzgar türbinleri gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının yaygın şekilde benimsenmesini teşvik etmiştir. Yenilenebilir dağıtılmış üretim, yeşil ve sürdürülebilir elektrik güç şebekesine olanak sağlayabilir. Buna ek olarak, daha sonradan kullanılmak üzere akıllı şebeke sistemine entegre edilen depolama teknolojileri, yenilenebilir dağıtılmış üretim ile elde edilen aşırı enerjiyi depolamak için kullanılır.

V2G: Çift yönlü iletişim altyapısı ile V2G konseptinin uygulanması, EA bataryası ve şebeke arasındaki enerji değişimini kontrol etmek ve yönetmek süretiyle mümkün hale gelecektir. EA bataryasının şarj seviyesi düşük olduğunda araç şebekeden şarj edilir [89]. Fakat V2G çalışma şeklinde ise; EA bataryasının şarj seviyesi sürekli olarak izlenir ve akıllı şebekeye boşaltılmasına olanak sağlanır. EA, dinamik dağıtılmış enerji depoları olarak da düşünülebilir. Bu nedenle, etkin güç düzenlenmesi, reaktif güç düzenlenmesi ve yan servis desteği gibi

çeşitli avantajları elde etmek için çok sayıda EA uygun bir V2G yapısı ile yönetilmelidir[98].

8.2 Akıllı Şebekelerde EA Yayılımı Beklentisi

Akıllı şebekesinin özellikleri ve faydaları sebebiyle, dünya genelindeki kullanılmakta olan geleneksel şebekelerin yerini akıllı şebekelerin alması beklenmektedir. Akıllı şebeke teknolojilerinin gelişmesi beraberinde daha fazla fırsat yaratan ve yeni uygulamalar geliştiren belirli bir olgunluk seviyesine erişmiştir. Yakın zamanlı EA yayılımı ile birlikte geliştirilmiş akıllı şebeke teknolojileri V2G teknolojisinin ortaya çıkmasına olanak sağladı. Ayrıca akıllı şebeke sisteminde uygulanan V2G teknolojisi, karşılıklı menfaatler için yenilenebilir dağıtılmış üretimin yayılımını kolaylaştırır.

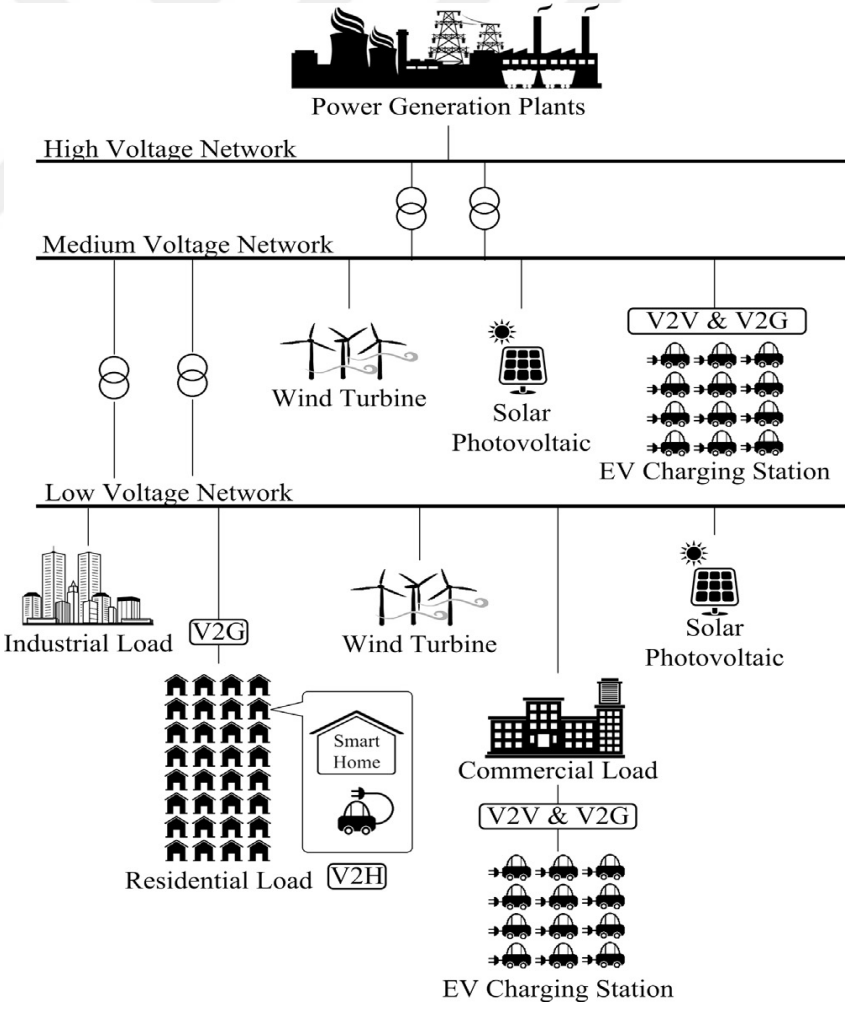
8.2.1 Akıllı Şebekelerde V2G Teknolojisi

V2G teknolojisinin gelişimi birkaç aşamadan oluşmuştur. Tek yönlü V2G, V2G teknolojisinin ilk aşaması olup ek iletişim özelliğine sahip mevcut standart EA şarj cihazları kullanılarak tek yönlü V2G sağlanır. İlaveten, tek yönlü V2G teknolojisinin gerçekleştirilmesi ucuzdur [99]. Belirli enerji planlaması ve teşvik sistemini baz alarak ve şarj hızını kontrol ederek EA şarj işleminin yönetir. Tek yönlü V2G teknolojisini gerçekleştirmek için enerji planlama politikasının tanıtımı ana kullanıcıdır. Elektrikli araç kullanıcıları, EA ‘ını pik saatler dışında şarj edip, pik saatlerde sınırlandırdıklarında teşvikler ile ödüllendirilecektir. Kontrollü EA şarjı, talebin düşük olduğu periyodlarda EA yüklerini dağıtacak ve maliyet tasarrufu ve güç kayıplarını azaltmak için yük profilini düzeltecektir. Bu yüzden tek yönlü V2G teknolojisinin uygulanması, elektrikli araç kullanıcıları ve güç şebekesi açısından karşılıklı yarar sağlayabilir [100, 101].

Son zamanlarda EA ve şebeke arasında enerji alışverişi ve çift yönlü iletişime olanak tanıyan çift yönlü EA şarj cihazlarının gelişmesi ile birlikte çift yönlü V2G teknolojisi daha fazla ilgi görmüştür. Çift yönlü V2G teknolojisi, kontrol şemaları ve önceden belirlenmiş hedeflere dayanan birçok faydayı sağlayabilir. V2G teknolojisi; V2H, V2V ve V2G şeklinde kategorilere ayrılabilir. V2H, tüm kategoriler arasında en küçük kapsam alanına sahip ev otomasyon şebekesi uygulamasıdır. Ev otomasyon şebekesinde, EA adeta bir enerji depolama ünitesi gibi davranarak, güneş fotovoltaik üniteden elde edilen aşırı enerjiyi depolar ve evin yenilenebilir üretim kapasitesi düştüğünde ise EA bataryasında depo edilen enerjiden faydanalarak ev için

gerekli olan talebi karşılar. Yenilenebilir dağıtılmış üretim ile işbirliği içerisinde, V2H teknolojisi güvenilir, enerji açısından verimli ve çevre dostu bir yaşam ortamı yaratabilir.

Park alanları ve ticari binalarda çok sayıda EA bulunabileceğinden, EA toplayıcısının rolü, belirli hedefleri karşılamak üzere tüm EA 'ın enerji alışverişini kontrol etmek ve yönetmek açısından önem kazanmaktadır. V2V teknolojisi ile EA arasında enerji transferine olanak sağlanır. Aynı zamanda V2G teknolojisi, elektrikli araçları şarj etmek için şebekeden enerji transferi sağlarken, EA bataryasındaki var olan enerjiyi talep anında şebekeyi güçlendirmek için de deşarj edebilir. Uygun optimizasyon kontrolü ve yönetim sistemi ile V2G teknolojisi, güç gereksiniminin arttığı saatlerde yedek sistemlerin devreye sokulması, yük dengeleme ve gerilim düzenlemesi gibi bağlı olduğu şebekeye çeşitli avantajlar sağlayabilir. Şekil 8.1 'de yenilenebilir dağıtılmış üretim entegrasyonu ile V2H, V2V ve V2G teknolojileri ifade edilmektedir.



Şekil 8.1 Akıllı Şebekelerde V2G Yapısı

Bununla birlikte, çok sayıda EA ‘ın şebekeye bağlanması, EA bataryasının farklı şarj seviyeleri ve elektrikli araç bağlantısının dinamik olasılığı gibi pek çok belirsiz kısıtlama sonucunu doğurur. Çok sayıda elektrik aracı yönetmek için EA ve şebeke arasında enerji akışını kontrol ve planlama amacıyla optimizasyon tekniği kullanılır. V2G algoritmasının optimizasyonu ile çeşitli şebeke faydaları önceden belirlenmiş hedefler baz alınarak başarılabilir.

V2G teknolojisinin sağladığı faydaların bazıları ise;

Yardımcı Servis – Spinning Reserve: Yardımcı servis, şebekenin güvenirliliğini ve sürdürülebilirliğini devam ettirmek amacıyla şebekeye sağlanan destekleme veya başka bir deyişle yardımcı hizmetleri ifade eder. V2G teknolojisi, üretim kesintisini telafi etmek için ilave üretim kapasitesi olarak şebekeye bağlı EA ‘da depolanan enerjinin döner-yedek vasıtasıyla şebekeye yardımcı servis sunmaktadır. V2G teknolojisi tarafından sağlana döner-yedek servisleri ile, yedek üretim kapasitesi ve arıza giderme sağlanabilir [102,103].

Aktif Güç Desteği – Yük Dengeleme ve Peak Load Shaving: Tipik bir ticari bina veya konut yük profilinin yalnızca kısa bir süre boyunca zirve yüküne sahip olduğu yaygın bir olgudur. Enerji verimliliği ve ekonomik faydalar elde edilmesinin yanı sıra, güç şebekesi ekipmanlarını ve şebeke aşırı yüklenmesini önlemek için yük profilini derecelendirmek istenir [104]. V2G teknolojisi de, talebin yoğun olduğu saatlerde EA ‘ın sahip olduğu fazla enerjiyi şebekeye vererek aktif güç desteği sağlarken, yoğun olmayan saatlerde ise bataryalarını şarj ederler. Bu teknikler sırasıyla; peak load shaving ve yük dengeleme olarak adlandırılır [105, 106].

Reaktif Güç Desteği – Güç Faktörü Düzeltme – Gerilim Regülasyonu: Geniş ölçekli elektrikli araç şarjı, şebeke açısından önemli bir zorluktur. Şebeke güvenliği için şebeke operasyonu boyunca, güç verimliliği ve gerilim kararlılığı düzeltilmesi gereken önemli güç kalitesidir. Geleneksel gerilim regülasyonu ve güç faktörü düzeltme yöntemi, statik voltamper reaktif kompansatörünün yerleştirilmesi ile güç şebekesine reaktif güç desteği sağlar. V2G teknolojisinin uygulanması ile, şebeke gerilim regülasyonu ve güç faktörü düzeltmesi için reaktif güç kompanzasyon hizmeti, şebekeye bağlı çift yönlü EA şarj cihazlarıyla gerçekleştirilebilir. Çift yönlü EA şarj cihazına bağlı DC-link kapasitörü, EA dönüştürücüsü için uygun bir anahtarlama kontrolü ile şebekeye reaktif güç desteği sağlayabilir [107, 108].

Harmonik Filtreleme: Modern güç şebekesi, elektrik şebekesinde önemli miktarda akım harmoniği oluşturan birçok yüksek güçlü doğrusal olmayan yükten oluşur. Anahtarlamalı

dönüştürücülerin kullanılmasından dolayı EA şarj cihazları harmonik kaynaklarından biridir. Bu nedenle herhangi bir düzenleyici önlem alınmaması durumunda V2G teknolojisinin uygulanması akıllı şebekenin güç kalitesini etkileyecektir. Harmonik probleminin çözümü için ilave filtre cihazlarının dışında, EA şarj cihazları ve diğer doğrusal olmayan yükler tarafından üretilen harmonikleri filtrelemek için uygun kontrollü EA şarj cihazları aktif filtre olarak kullanılabilir[109, 110]. Her bir özel harmonik frekans için EA şarj cihazının dönüştürücüsü değişken empedans olarak çalışabilir ve uygun filtreleme stratejisi ile harmonik problemler aşılabilir.

Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Yayılımına Destek: Uygun V2G kontrol stratejilerinin uygulanmasıyla birlikte elektrikli araçlar, yenilenebilir enerjinin kesintili yapısına bir çözüm olarak kullanılabilir [111, 112]. EA, yenilenebilir enerjinin üretim miktarı talepten fazla olduğunda şebekeden şarj edilip, tam tersi olarak yenilebilir enerji sistemlerinden sağlanan enerji ihtiyacı karşılayamadığında bataryadaki enerji şebekeye aktarılır. Aynı zamanda, EA bataryası, yenilebilir enerji entegrasyonu ile şebekenin gerilimini regüle edeceğinden enerji depolama sistemi olarak da kullanılabilir [113]. V2G teknolojisinden yararlanıldığından beri yenilebilir enerji kaynaklarının kesintili yapısına çözüm olabileceğinden dolayı bundan sonraki süreçte daha sürdürülebilir bir elektrik güç sistemi için daha çok yenilenebilir enerji kaynaklarının şebekeye entegre edilmesi kaçınılmazdır [114].

Çizelge 8.2 Tek Yönlü V2G ile Çift Yönlü V2G 'in Kıyaslanması

V2G Tipi	Tanım	Servis	Fayda	Negatiflikler
Tek Yönlü	Enerji çizelgeleme ve teşvik sistemini baz alarak EA şarj işlemini tek yönlü olarak gerçekleştirir.	Yardımcı Servis-Yük Dengeleme	Kayıpları azaltmak Emisyon salınımını azaltmak Maliyetleri azaltmak	Limitli Servis İmkanı
Çift Yönlü	EA ile şebeke arasında çift yönlü iletişim sağlar.	Yardımcı Servis-Döner Yedek Aktif Güç Desteği-Yük Dengeleme ve Peak Load Shaving Reaktif Güç Desteği-Güç Faktörü Düzeltimi/ Gerilim Regülasyonu Harmonik Filtreleme YEK 'nın Entegrasyonuna Destek	Kayıpları azaltmak Emisyon salınımını azaltmak Maliyetleri azaltmak Şebekenin aşırı yüklenmesini önlemek YEK üretimi maksimuma çekmek Gerilim Seviyesi Regülasyonu Yük Profilinde Gelişme Hataların Düzeltilmesi	Batarya Yozlaşması Karmaşık Donanım Yapısı Yüksek Yatırım Maliyeti Sosyal Engeller

Tek yönlü V2G sistemi ile çift yönlü V2G sistemi sağladığı servisler, faydaları, önündeki engeller başlıkları altında karşılaştırılmalı olarak Çizelge 8.3 ‘de incelenmiştir. Çevre dostu bir yapıya sahip yenilebilir enerji kaynaklarının entegrasyonun akıllı şebeke sistemlerinde yer alan V2G teknolojisi uygulamalarında önemli bir yer tutmaktadır.

BÖLÜM 9

SENARYO

Bu bölümde İstanbul'da bulunan metrobüs hakkındaki otobüslerin elektrikli otobüsleri çevrilmesi durumunda oluşacak etkilerin ekonomik ve çevresel analizleri yapılmıştır. Bu çalışmada 8 hattan oluşan 495 araçlı metrobüs sisteminin IETT 'den elde edilen verilere göre aynı performansı sağlayacak ve yolcu kapasitesini karşılayacak şekilde elektrikli araçların entegrasyonu sağlanmıştır. Bu çalışmada günümüzde kullanılan 193 kişi kapatesine sahip Mercedes Capacity ile 137 kişi kapasitesine sahip Sileo S18 modelleri karşılaştırılmıştır [115, 116]. İlk olarak sistemde aynı sayıda yolcu taşıma kapasitesine erişmek için arttırılan elektrikli otobüs sayısı, araç maliyeti, şarj istasyonu kurulum maliyeti ve diğer maliyet unsurları ile birlikte hesaplanarak yapılacak yatırım karlılığı ve ger dönüşüm süresi hesaplanmıştır. Ekonomik analizlerin yanı sıra sera gazı salınımı gibi çevresel analizlerde yapılmıştır.

9.1 Metrobüs

Metrobüs sistemi İstanbul Beylikdüzü ile Söğütlüçeşme arasında iki arasında hizmet eden ve günlük ortalama 620000 yolcu kapasitesine sahip (2011-2016 yılları arasındaki ortalama veri) önemli bir ulaşım organıdır. Kendine ait 52 kilometrelik hat uzunluğuna sahip metrobüs sistemi 495 araç ile hergün kesintisiz hizmet vermektedir. Raylı sistemlerde olduğu gibi belirli bir güzergahı olan ve bu güzergaha başka araçların giremediği hızlı ulaşım sistemi olarak tanımlanabilir. Otobüslerin sahip olduğu yüksek sayıda yolcu kapasitesi ile trafikten uzak bir alanda hizmet verme yeteneğine sahip olan metrobüs sistemi kullanıcılar tarafından zaman kaybını önlemek amacıyla sıklıkla tercih edilmektedir. Raylı sistemlerde olduğu gibi yüksek bir yatırım maliyeti gerektirmeyen ve hızlı bir şekilde uygulanabilmesi önemli avantajları arasında yer alır.

9.2 Metrobüs Sisteminin Temel Elemanları

Kullanıcılar tarafından yoğun bir şekilde tercih edilen metrobüs sisteminin temel elemanları sırasıyla [115];

- İstasyonlar
- Ayrılmış Şeritler
- Araçlar
- Turnikeler
- İşletim Planları
- Komuta Kontrol Merkezi
- Yolcu Bilgilendirme Sistemi

Ayrılmış Şeritler: Daha önce de belirttiğimi üzere metrobüs araçları kendilerine ait bağımsız şeritleri kullanmaktadır. Ayrılmış şeritler; araçların daha hızlı ulaşım sağlamasında ve güvenlik açısından en etkili faktörü olarak göze çarpmaktadır. Bunun yanı sıra, ek bir maliyet gereksinimine sahip değildir.

İstasyonlar: İstasyonlar, diğer bir adıyla duraklar, mevcut sistemin belirli aralıklarla yolcu indirip bindirdiği noktalara verilen isimdir. Şehrin ulaşım yükünün büyük bir kısmını çeken metrobüs sisteminin durak sayısı diğer toplu taşıma sistemlerine göre daha fazladır. Mevcut istasyonlar; anons sistemi, yönlendirme levhası, bilgilendirme panosu, büfeler, otomatik bilet satış makinesi, iade validatörleri, güvenlik sorumluları, asansör ve engelli platformu gibi yapılara sahiptir.

Araçlar: Metrobüs sisteminin en önemli parçalarından biri olan araçlar; hız, kapasite, çevre ile uyumluluk ve konfor bileşenlerinin bir arada toplandığı yapıdadır.

Çizelge 9.1 Metrobüs Sisteminin Sahip Olduğu Araç Sayısı

Araç Tipleri	Araç Sayısı	Yolcu Kapasitesi
Capacity	250	193
Conecto	295	150

Turnikeler: Metrobüs sisteminin sahip olduğu 45 istasyonda toplam 366 adet turnike ve 54 adet engelli turnikesi mevcuttur.

İşletim Planları: Metrobüs işletim planlamaları, yolcuların sistemi kullanım oranlarına göre yaz ve kış olarak hazırlanır. Bununla beraber değişen yolcu sayıları ve yeni istasyonları açılması, işletme planlarının revize edilmesine etkiyen faktörlerdendir.

Komuta Kontrol Merkezi: Temmuz 2007 'den beri çalışmakta olan komuta kontrol merkezi, araçların takibi ve yönetiminin yanı sıra yolcuları bilgilendirme sistemlerini etkin hale getirme gibi görevlere sahiptir. Komuta kontrol merkezi sayesinde, araçlar eş zamanlı olarak takip edilirken kriz anlarında yönetimi kolaylaştıran yapıya sahiptir. Herhangi bir bölgede kaza veya araçların arızası gibi durumlarda hattın tümünü dengeleyebilme kolaylığı sağlar.

Yolcu Bilgilendirme Sistemi: Metrobüs sisteminde yolcu bilgilendirme işlemi; metrobüslerde bulunan LCD ekranlar yardımı ile veya metrobüs güzergahını gösteren metrobüs hattı bilgilendirme çıkartmaları sayesinde gerçekleştirilir.

9.3 Metrobüs Sisteminin Temel Performans Göstergeleri

Metrobüs sistemi ile birlikte [115];

- Hızlı ulaşım
- Güvenli yolculuk
- Yüksek kapasite
- Alçak tabanlı, engelli erişimine uygun
- Ön ödeme sistemi
- Emisyon minimizasyonu
- 7/24 ulaşım hizmeti

sağlanmaktadır.

9.4 Metrobüs Sistemindeki Kullanılan Araçlar

Metrobüs sisteminde bulunan mevcut araçlar; Capacity, Conecto ve Sileo 'dur. Bu iki aracın; motor ve performans, yolcu kapasitesi, ölçüleri ve depo kapasiteleri kıyaslamalı olarak Çizelge 9.2 'de gösterilmiştir [118, 119].

Çizelge 9.2 Capacity ve Conecto Modellerinin Karşılaştırılması

	Araç Tipleri	Capacity	Conecto (Körüklü Dizel)
Motor ve Performans	Tip	Mercedes-Benz OM 457 hLA Turbo Intercooler	Mercedes-Benz OM 470 EVI
	Azami Güç	349 HP (260 kW)	355 HP (265 kW)
	Hacim	11967 cm3	10677 cm3
	Azami Tork	1600 Nm	1700 Nm
Yolcu Kapasitesi	Koltuk Adedi	43+1	34
	Ayakta Yolcu Adedi	150	116
	Toplam Yolcu Adedi	193	150
Ölçüler	Uzunluk	19540 mm	18124 mm
	Genişlik	2550 mm	2550 mm
	Yükseklik	3155 mm	3120 mm
Depo	Yakıt Deposu	300 lt	300 lt
	AdBlue Deposu	45 lt	27 lt

Mevcut metrobüs sisteminin özellikleri incelendiğinde bu sisteme adapte olacak en uygun elektrikli otobüs olarak Sileo S18 seçilmiştir. Benzer boyutlardaki Sileo S18 elektrikli otobüsünün özellikleri Çizelge 9.3 ’de gösterilmiştir.

Çizelge 9.3 Sileo S18 Modelinin Karakteristik Özellikleri

	Araç Tipleri	Sileo S18
Motor ve Batarya	Batarya Tipi	Lityum Demir Fosfat
	Batarya Kapasitesi	300 kWh
	Batarya Gerilimi	450 - 560 V
	Azami Güç	4 x 120 kW / 480 kW
	Azami Tork	42000 Nm
Yolcu Kapasitesi	Koltuk Adedi	51
	Ayakta Yolcu Adedi	86
	Toplam Yolcu Adedi	137
Ölçüler	Uzunluk	18000 mm
	Genişlik	2550 mm
	Yükseklik	3350 mm

9.5 Metrobüs Hat Sefer Bilgileri

Metrobüs sisteminde yer alan 8 tane hattın her birinin ayrı ayrı sahip olduğu araç sayısı, sefer süreleri, hat uzunlukları, durak sayısı, ortalama araç hızları, seferler arası ortalama süreler ve günlük hareket sayıları IETT ‘den elde edilen bilgiler çerçevesinde Çizelge 9.4’ de ifade edilmiştir.

Çizelge 9.4 Metrobüs Sistemindeki Hatların Genel Sefer Bilgileri

Hat	Güzergah	Araç Sayısı	Sefer Süreleri (Gidiş/Dönüş)	Hat Uzunluğu (km)	Durak Sayısı	Ortalama Araç Hızı	Seferler Arası Ortalama Süre (sn)	Günlük Hareket Sayısı
34	Avcılar-Zincirlikuyu	92	125	30	27	34	82	1296
34A	Cevizlibağ-Söğütlüçeşme	22	94	22	20	30	256	88
34 AS	Avcılar-Söğütlüçeşme	100	162	41,5	35	31	97	1188
34BZ	Beylikdüzü-Zincirlikuyu	128	154	40	39	31	72	1798
34C	Beylikdüzü-Cevizlibağ	70	115	29	26	35	99	872
34G	Beylikdüzü-Söğütlüçeşme	15	180	52	44	35	720	75
34U	Zincirlikuyu-Uzunçayır	38	40	11	6	38	63	110
34Z	Zincirlikuyu-Söğütlüçeşme	30	52	11,5	8	31	104	1827

9.6 Dizel ve Elektrikli Otobüslerin Karşılaştırılması

Yapılacak olan karşılaştırılmada Metrobüs hat sefer bilgileri tablosuna göre 8 ayrı hat için ayrı ayrı ve detaylı bir şekilde teknik analizler yapılmıştır.

Çizelge 9.5 Dizel ve Elektrikli Otobüslerin Metrobüs Sistemindeki Adetleri

Hat	Güzergah	Araç Sayısı Ebus	Dizel Araç Sayısı
34	Avcılar-Zincirlikuyu	130	92
34A	Cevizlibağ-Söğütlüçeşme	31	22
34 AS	Avcılar-Söğütlüçeşme	141	100
34BZ	Beylikdüzü-Zincirlikuyu	180	128
34C	Beylikdüzü-Cevizlibağ	99	70
34G	Beylikdüzü-Söğütlüçeşme	22	15
34U	Zincirlikuyu-Uzunçayır	53	38
34Z	Zincirlikuyu-Söğütlüçeşme	42	30

Çizelge 9.5’ da metrobüs sistemine ait her bir hat, hat numaraları ve güzergah isimleri şeklinde ifade edilmiştir. Mevcut yolcu yoğunluğu baz alınarak elektrikli otobüs sayısı hesaplanmıştır. Buna göre 495 dizel aracın karşılığı olarak 698 sayıda elektrikli araç olması gerekmektedir.

Çizelge 9.6 Dizel ve Elektrikli Otobüs Durumunları Halinde Olması Beklenen Maliyet ve Geri Dönüşüm Süreleri

Hat	Güzergah	Dizel Otobüs Günlük Maliyet	Dizel Otobüs Yıllık Maliyet	Dizel Otobüs Yatırım Maliyeti	E-Bus Günlük Maliyet	E-Bus Yıllık Maliyet	E-Bus Yatırım Maliyeti	Geri Dönüşüm Süresi
34	Avcılar-Zincirlikuyu	27.799 €	9.913.720 €	21.620.000 €	5.132 €	2.761.187 €	78.000.000 €	7,88
34A	Cevizlibağ-Söğütlüçeşme	1.384 €	528.484 €	5.170.000 €	256 €	137.491 €	18.600.000 €	34,35
34 AS	Avcılar-Söğütlüçeşme	35.251 €	12.537.826 €	23.500.000 €	6.508 €	3.501.338 €	84.600.000 €	6,76
34BZ	Beylikdüzü-Zincirlikuyu	51.423 €	18.253.980 €	30.080.000 €	9.493 €	5.107.628 €	108.000.000 €	5,93
34C	Beylikdüzü-Cevizlibağ	18.081 €	6.468.322 €	16.450.000 €	3.338 €	1.795.908 €	59.400.000 €	9,19
34G	Beylikdüzü-Söğütlüçeşme	2.789 €	1.005.975 €	3.525.000 €	515 €	276.971 €	13.200.000 €	13,27
34U	Zincirlikuyu-Uzunçayır	865 €	378.803 €	8.930.000 €	160 €	85.932 €	31.800.000 €	78,09
34Z	Zincirlikuyu-Söğütlüçeşme	15.023 €	5.317.878 €	7.050.000 €	2.773 €	1.504.971 €	25.200.000 €	4,76

Çizelge 9.6 ’da mevcut metrobüs sisteminde kullanılan dizel otobüslerin ayrı ayrı her bir hat için günlük ve yıllık maliyetleri hesaplanmıştır. Bu hesaplamalar yapılırken otobüslerin yakıt tüketimleri ve yıllık servis masrafları hesaplamaya dahil edilmiştir. Bunun yanı sıra dizel otobüslerin sahip olunma maliyetleri de Çizelge 9.6 ’da mevcuttur. Dizel otobüslerin yerini alacak olan elektrikli otobüslerin olması gereken toplam sayı, yolcu yoğunluğu baz alınarak belirlendikten sonra her bir km başına ihtiyaç duyacağı kWh enerji değeri elde edilmiştir. Bu enerji değeri ve birim enerji fiyatından yararlanılarak elektrikli otobüslerin her bir hat için günlük ve yıllık maliyetlerinin yanı sıra sahip olunma maliyetleri de tabloda yer almaktadır. Bütün bu işlemlerin daha mantıklı olması açısından sistemin elektrikli hale getirilmesi sonucunda yapılan yatırım maliyetlerinin geri dönüşüm süreleri hesaplanmıştır. Bu hesaplamalar yapılırken otobüsler yıllık 350 gün çalıştığı farz edilerek hesaplamalar gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 9.7 Dizel ve Elektrikli Otobüs Durumları Halinde Olması Beklenen Maliyet ve Geri Dönüşüm Süreleri (Şarj İstasyonu dahil)

Hat	Güzergah	Dizel Otobüs Yıllık Maliyet	Dizel Otobüs Yatırım Maliyeti	E-Bus Yıllık Maliyet	E-Bus Yatırım Maliyeti	Şarj İstasyonu Yatırım Maliyeti	Geri Dönüşüm Süresi
34	Avcılar-Zincirlikuyu	9.913.720 €	21.620.000 €	2.761.187 €	78.000.000 €	3.900.000 €	8,43
34A	Cevizlibağ-Söğütlüçeşme	528.484 €	5.170.000 €	137.491 €	18.600.000 €	930.000 €	36,73
34 AS	Avcılar-Söğütlüçeşme	12.537.826 €	23.500.000 €	3.501.338 €	84.600.000 €	4.230.000 €	7,23
34BZ	Beylikdüzü-Zincirlikuyu	18.253.980 €	30.080.000 €	5.107.628 €	108.000.000 €	5.400.000 €	6,34
34C	Beylikdüzü-Cevizlibağ	6.468.322 €	16.450.000 €	1.795.908 €	59.400.000 €	2.970.000 €	9,83
34G	Beylikdüzü-Söğütlüçeşme	1.005.975 €	3.525.000 €	276.971 €	13.200.000 €	660.000 €	14,18
34U	Zincirlikuyu-Uzunçayır	378.803 €	8.930.000 €	85.932 €	31.800.000 €	1.590.000 €	83,52
34Z	Zincirlikuyu-Söğütlüçeşme	5.317.878 €	7.050.000 €	1.504.971 €	25.200.000 €	1.260.000 €	5,09

Elektrikli araçların piyasaya sürülmesiyle birlikte bu araçların ihtiyaç duyduğu enerjinin sağlanması için gerekli şarj istasyonlarının kurulumuna önem verilmiştir. Metrobüs sisteminde de elektrikli otobüslerin kullanılması, şarj istasyonu gereksinimlerini ortaya koymuştur. Bu sisteme özel şarj istasyonlarının kurulması doğal olarak ek bir yatırım maliyetini ortaya çıkaracaktır. Fakat burada unutulmaması gerek durum, bu yatırımın sadece bir kere yapılacak olmasıdır. Elektrikli otobüslerin kullanım ömürleri dolduktan sonra tekrardan yenileri alınırken yeniden bir şarj sistemi kurmaya gerek kalmayacaktır. Düşünülen sistemde kullanılacak olan şarj istasyonları 100 kWh kapasiteye sahiptir ve gece şarj işlemi planlanmaktadır. Gece şarj işlemi ile elde edilen enerji vasıtasıyla tam bir günü tamamlayamayan elektrik otobüsler, gün içerisinde duraklarda Flash şarj yöntemi ile kısa süreli şarj edilerek otobüslerin tahriki sağlanacaktır. Çizelge 9.7 ’de yer alan geri dönüşüm süresi hesaplanırken, sadece gece şarj işlemi için gerekli olan şarj istasyonları maliyeti hesaba katılmıştır.

Çizelge 9.8 Dizel ve Elektrikli Otobüs Durumunları Halinde Olması Beklenen Maliyet ve Geri Dönüşüm Süreleri (Şarj İstasyonu ve Flash Şarj Yöntemi dahil)

Hat	Güzergah	Dizel Otobüs Yıllık Maliyet	Dizel Otobüs Yatırım Maliyeti	E-Bus Yıllık Maliyet	E-Bus Yatırım Maliyeti	Şarj İstasyonu Yatırım Maliyeti	Geri Dönüşüm Süresi
34	Avcılar-Zincirlikuyu	9.913.720 €	21.620.000 €	2.761.187 €	78.000.000 €	4.550.000 €	8,52
34A	Cevizlibağ-Söğütlüçeşme	528.484 €	5.170.000 €	137.491 €	18.600.000 €	1.085.000 €	37,12
34 AS	Avcılar-Söğütlüçeşme	12.537.826 €	23.500.000 €	3.501.338 €	84.600.000 €	4.935.000 €	7,31
34BZ	Beylikdüzü-Zincirlikuyu	18.253.980 €	30.080.000 €	5.107.628 €	108.000.000 €	6.300.000 €	6,41
34C	Beylikdüzü-Cevizlibağ	6.468.322 €	16.450.000 €	1.795.908 €	59.400.000 €	3.465.000 €	9,93
34G	Beylikdüzü-Söğütlüçeşme	1.005.975 €	3.525.000 €	276.971 €	13.200.000 €	770.000 €	14,33
34U	Zincirlikuyu-Uzunçayır	378.803 €	8.930.000 €	85.932 €	31.800.000 €	1.855.000 €	84,42
34Z	Zincirlikuyu-Söğütlüçeşme	5.317.878 €	7.050.000 €	1.504.971 €	25.200.000 €	1.470.000 €	5,15

Çizelge 9.8 ’de yer alan geri dönüşüm süresi belirlenirken Çizelge 9.7 ’deki şarj istasyonu maliyetlerine ek olarak otobüsler duraklar yolcu indirip bindirirken kısa süreli, yüksek güçte şarj istasyon maliyetleri de eklenmiştir. Böylece tek bir şarj ile günlük tur sayısını gerçekleştiremeyen otobüslere günlük seyahat süreleri boyunca belirli duraklara konumlandırılmış şarj istasyonları vasıtasıyla şarj işlemi gerçekleştirilecektir. ABB Tosa adı verilen bu flash şarj yöntemi ile 600 kWh’lık güce sahip şarj istasyonlarından otobüslere yaklaşık 15 saniye boyunca enerji akışı sağlanacaktır. Bunun sonucu olarak elektrikli otobüs 15 saniye sonunda kapasitesinin 2,5 kW’ını doldurmuş olacaktır [120, 121].

Çizelge 9.9 Hatlar Bazında Geri Dönüş Sürelerinin Kıyaslanması

Hat	Güzergah	Geri Dönüşüm Süresi (Şarj İstasyonsuz)	Geri Dönüşüm Süresi (Gece Şarj)	Geri Dönüşüm Süresi (Gece Şarj+ TOSA)
34	Avcılar-Zincirlikuyu	7,88	8,43	8,52
34A	Cevizlibağ-Söğütlüçeşme	34,35	36,73	37,12
34 AS	Avcılar-Söğütlüçeşme	6,76	7,23	7,31
34BZ	Beylikdüzü-Zincirlikuyu	5,93	6,34	6,41
34C	Beylikdüzü-Cevizlibağ	9,19	9,83	9,93
34G	Beylikdüzü-Söğütlüçeşme	13,27	14,18	14,33
34U	Zincirlikuyu-Uzunçayır	78,09	83,52	84,42
34Z	Zincirlikuyu-Söğütlüçeşme	4,76	5,09	5,15

Çizelge 9.9 'da elektrikli otobüs sisteminde yer alan 8 hattın geri dönüşüm süreleri sırasıyla; şarj istasyon maliyetleri dahil edilmeden, sadece gece şarj istasyonları dahil edilerek ve hem gece hem de flash şarj istasyonları dahil edilerek hesaplanmıştır. Hatlar ayrı ayrı incelendiğinde 34, 34AS, 34BZ,34C, 34Z hat numaralarına sahip otobüslerin geri dönüşüm süreleri yatırıma uygun olarak görülmektedir.

Çizelge 9.10 Hatların Günlük Sefer Bilgileri

Hat	Güzergah	Araç Sayısı Ebus	Dizel Araç Sayısı	Bir Tur (km)	Tek Şarj ile Yapacağı Tur Sayısı	Günde Yapacağı Tur Sayısı	Günde Gereken Şarj Sayısı	Yılda Gereken Şarj Sayısı	Batarya Değişim Süresi (Yıl) (Ç.S:2000)
34	Avcılar-Zincirlikuyu	130	92	60	4,58	4,98	1,088	380,64	5,25
34A	Cevizlibağ-Söğütlüçeşme	31	22	44	6,25	1,42	0,227	79,48	25,16
34 AS	Avcılar-Söğütlüçeşme	141	100	83	3,31	4,21	1,271	445,02	4,49
34BZ	Beylikdüzü-Zincirlikuyu	180	128	80	3,44	4,99	1,453	508,53	3,93
34C	Beylikdüzü-Cevizlibağ	99	70	58	4,74	4,40	0,929	325,10	6,15
34G	Beylikdüzü-Söğütlüçeşme	22	15	104	2,64	1,70	0,645	225,62	8,86
34U	Zincirlikuyu-Uzunçayır	53	38	22	12,50	1,04	0,083	29,06	68,83
34Z	Zincirlikuyu-Söğütlüçeşme	42	30	23	11,96	22,29	1,864	652,36	3,07

Çizelge 9.10 ’da hatlardaki elektrikli otobüslerin batarya kapasitesi ve rotasının uzunluğuna bağlı olarak tek bir şarj ile yapabileceği tur ve günde yapacağı tur sayısı verilmiştir. Yapılan hesaplamaların sonucunda genel olarak tek bir şarj ile bir günlük rotalarının tamamlandığı görülmüş olup, yılda gerekli olan şarj sayısı hesaplanmıştır. Bataryaların çevrim sayısı 2000 olarak alınmıştır. Bu değere göre her bir hatta çalışacak otobüslerin batarya değişim süresi yıl bazında verilmiştir. Batarya değişiminden dolayı ortaya çıkan maliyet Çizelge 9.6, 9.7, 9.8, 9.9 ‘da ifade edilmiştir.

Çizelge 9.11 Şarj İstasyonlarının Merkezi ve Gereksinim Adetleri

Şarj İstasyonu Merkezleri	Şarj Edilecek Otobüs Sayısı	Şarj Sayısı (Bir gecede)	Gereken Şarj İstasyonu Sayısı	Garaj Alanı (m2)	Gereken Alan (m2)
Edirnekapı	409	400	200	60000	12000
Hasanpaşa	289	195	100	37000	6000

Her aracın gerekli şarj sayısını karşılamak için belirlenen şarj istasyon sayısı Çizelge 9.11 ’de verilmiştir. Elektrikli otobüslerin hat planı doğrultusunda otobüs garajları incelendiğinde Edirnekapı ve Hasanpaşa garajlarının, kapasiteleri faktörleri sebebiyle tercih edilmiştir. Bu garajların alan hesabı ile şarj istasyonlarının kaplayacağı alanlar dikkate alındığında sistem uygundur.

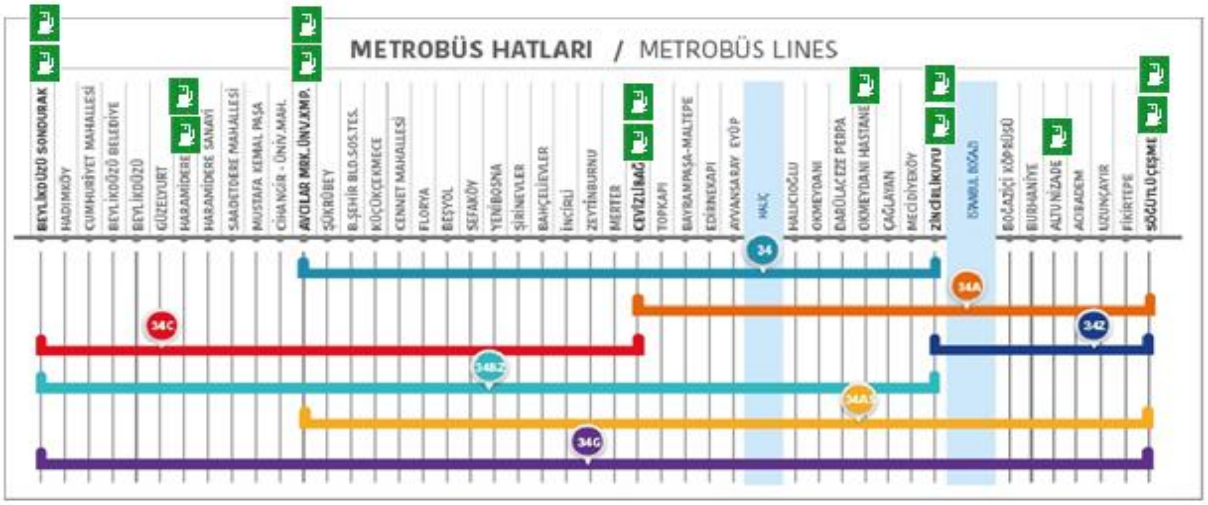
Flash şarj istasyonları daha önceden belirlenmiş duraklara yerleştirilerek kısa süreli şarj işlemi gerçekleştirir. Genellikle en yoğun istasyonların seçimi ile planlamış olup Söğütlüçeşme-Beylikdüzü güzargahında yedi adet istasyon kurulması düşünülmektedir. Bu istasyonları sırasıyla; Söğütlüçeşme, Zincirlikuyu, Okmeydanı, Cevizlibağ, Avcılar, Haramidere ve Beylikdüzü şeklindedir. Tam tersi güzergahda ise sırasıyla; Beylikdüzü, Haramidere, Cevizlibağ, Zincirlikuyu, Altunizade ve Söğütlüçeşme’de olmak üzere yedi tanedir. Yoğun istasyonların seçimindeki temel prensip, bu istasyonlardaki bekleme sürelerinin diğer istasyonlara göre daha uzun oluşudur.

Çizelge 9.12 Metrobüs Sistemindeki Hatların Yıllık Olarak Emisyon Salınımları

Hat	Güzergah	CO2 ton/yıl	Yenilenebilir Enerji ile Ebus CO2 ton/yıl	EU Ortalama Ebus CO2 ton/yıl
34	Avcılar-Zincirlikuyu	11594,85	272,16	4762,80
34A	Cevizlibağ-Söğütlüçeşme	578,98	13,55	237,16
34 AS	Avcılar-Söğütlüçeşme	14734,65	345,11	6039,50
34BZ	Beylikdüzü-Zincirlikuyu	21551,71	503,44	8810,20
34C	Beylikdüzü-Cevizlibağ	7534,80	177,02	3097,78
34G	Beylikdüzü-Söğütlüçeşme	1120,54	27,30	477,75
34U	Zincirlikuyu-Uzunçayır	365,58	8,47	148,23
34Z	Zincirlikuyu-Söğütlüçeşme	6479,93	150,70	2637,18

Dünya'da artan nufüs, gelişen sanayi ve bunlara bağlı olarakta hızla büyüyen ulaşım sektörü beraberinde CO_2 salınımlarının artmasına sebebiyet vermiştir. Bu artış beraberinde küresel ısınma ve iklim değişikliği gibi sorunları getirmiştir. Bu çalışma ile sadece ekonomik olarak değil, aynı zamanda çevresel olarakta katkılar sağlanabileceği gözükmektedir. Çizelge 9.12 'de her bir metrobüs hattında bulunan otobüslerin yıl içinde yaptıkları kilometreler baz alınarak yapılan hesaplamalar sonucunda CO_2 salınımları hesaplanmıştır. Elektrikli otobüslerin kullanım esnasında CO_2 salınımına sebebiyet vermemesine rağmen kullandıkları enerji kaynağına göre üretim esnasında çevreye salınımları olması kaçınılmazdır. Yenilenebilir enerji kaynakların elde edilen elektrik enerjisinin ortalama km başına 20 gr CO_2 salınımına sebebiyet verdiği hesaplanmıştır [126]. Fakat bilindiği üzere her bölgede veya her ülkede üretilen enerjinin tamamı yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlanamamaktadır. Bundan dolayı Avrupa'da elektrik enerjisi üretiminde bütün kaynakların açığa çıkardığı salınımlardan oluşan bir karma değer belirlenmiştir. 350 gr CO_2/km olan bu değerden hesaplamalar yapılırken yararlanılmıştır [126]. Böylece dizel otobüslerin, yenilenebilir enerji kaynaklarından beslenen elektrikli otobüslerin ve farklı enerji kaynaklarından beslenen

elektrikli otobüslerin çevreye verdikleri CO_2 gazları yıllık olarak hesaplanmıştır. Yapılan hesaplamalar sonucunda dizel otobüslerin yıl boyunca yaklaşık olarak toplam 64 bin ton CO_2 salınımına sebebiyet verdiği görülmektedir. Bu otobüslerin yanı sıra elektrikli otobüsler beslendikleri kaynaklara göre sırasıyla; 1497 ton ve 26210 ton CO_2 salınımı yapmıştır. Yenilenebilir enerji kaynaklarından beslediğimiz elektrikli otobüsler sayesinde metrobüs sisteminde yılda üretilen zararlı salınımlar %98 kadar düştüğü gözlemlenmiştir. Karma sistem ele alındığında ise bu oran %59 'dur. Türkiye İstatistik Kurumu'ndan elde edilen bilgilere göre, 2014 yılında ulaştırma sektöründen kaynaklı olarak 72 200 bin ton CO_2 salınımı meydana gelmiştir[7]. Metrobüs sistemine baktığımızda ve bu sistemin sadece yenilenebilir enerji kaynaklarından beslendiğini düşündüğümüzde sadece bu kadar ufak bir bölgede bile elektrikli otobüs kullanılması Türkiye'de ulaştırma sektöründe CO_2 salınımları neredeyse %1 oranında etkilediği görülmektedir. Başka bir açıdan bakarsak; bir ağaç bir yılda 22 kg CO_2 absorbe edebilir. Bir hektar alanda ise yaklaşık olarak 400 adet ağaç bulunmaktadır [122]. Basit olarak düşünüldüğünde yenilenebilir enerji kaynaklarıyla beslenen elektrikli otobüsler kullanılması durumunda her yıl 7100 hektarlık alanda bulunan ağacın absorbe edeceği kadar CO_2 'e denk gelmektedir. Karma elektrik enerjisi üretimine göre hesap yapıldığında ise bu rakam 4289 hektar alandır. Bu alanın büyüklüğünün daha anlaşılabilir olması açısından İstanbul'da konumlanmış olan Belgrad Ormanı yaklaşık olarak 5442 hektar alana sahiptir. Buradan da anlaşılacağı üzere dizel otobüs kullanarak çevreye her yıl İstanbul'da konumlanmış en büyük orman olan Belgrad Ormanı'nının absorbe edebileceğinden daha çok CO_2 salınımı gerçekleşmektedir [123].



Şekil 9.1 Metrobüs Sisteminde Yer Alan Duraklarda Kullanılacak Olan Flash Şarj Yönteminin Konumları

Şekil 9.1 ‘de metrobüs sistemi üzerinde bulunan duraklar gösterilmektedir. Flash şarj yönteminin uygulanması ile birlikte metrobüs sisteminde yer alan durakların bazılarında flash şarj cihazları konumlanacaktır. Yapılan hesaplamalar ve yolcu kapasitesi göz önüne alındığında Şekil 9.1 ‘de yeşil sembol ile işaretlenmiş duraklarda flash şarj cihazlarının konumlanması gerektiğine karar verilmiştir.

Yapılan bu çalışmada metrobüs hatlarının daha verimli, çevreci ve karlı olması için yapılan bu çalışmada elektrikli araçlar, dizel araçların yerini alması düşünülmüştür. Mali açıdan yapılan karşılaştırmalar üç farklı bakış açışı ile değerlendirilmiştir. Bunlar; CAPEX, OPEX ve TCO ‘dur. Elektrikli otobüslerin satın alınma değeri, dizel otobüslere kıyasla daha fazladır. Bunun yanı sıra, daha önceden varolmayan yüksek akım ve güç değerlerine sahip şarj istasyonlarının kurulması içinde belirli bir yatırım yapılması gerekmektedir. Bu yatırımlar göze alındığında dizel otobüs için yaklaşık olarak 116 milyon Avro gerekirken, elektrikli otobüsler için ise 418 milyon Avro satın alma bedelinin yanı sıra 25 milyon Avro’da şarj istasyonu bedeli bulunmaktadır. Bu iki seçeneği CAPEX açısından değerlendirildiğinde elektrikli otobüsler için yaklaşık %380 daha fazla yatırım maliyeti gerektiği belirlenmiştir. İlk olarak baktığımızda arada dilimin fazla olması, sistemin uygulanabilirliğini sınamaktadır. Fakat sisteme OPEX çerçevesinden baktığımızda dizel otobüs yıllık maliyeti yaklaşık 62 milyon Avro iken elektrikli otobüs yıllık maliyeti ise 18 milyon Avrodur. Operasyonel harcamalarda ise yatırım maliyetlerinin tam tersi olarak dizel otobüs işletme maliyeti, elektrikli otobüsün %337 ‘si kadar fazladır. Yatırım ve işletme maliyetleri beraber düşünüldüğünde yaklaşık olarak 9 ila 10 sene aralığında bu sistemin dengelenmesi beklenmektedir. Fakat TCO ‘nun daha sağlıklı ve anlaşılır olabilmesi için bütün gider kalemleri (bakım masrafları, batarya değişim maliyetleri vb.) göz önüne alınarak metrobüs sisteminde çalışan her hat birbirinden bağımsız olarak incelenmiştir. Metrobüs sisteminde yer alan 8 hat ayrı ayrı incelendiğinde; 34, 34AS, 34BZ, 34C, 34Z, 34G hatlarında elektrikli otobüs kullanılması uygundur. Diğer iki hat olan 34A ve 34U ‘da ise dizel otobüs kullanılması mali açıdan uygun olduğu görülmüştür.

BÖLÜM 10

SONUÇ VE ÖNERİLER

Dünya'da artan nüfus beraberinde farklı sebepler doğurmuştur. Artan popülasyona paralel olarak insanların yaşamlarını sürdürme gereksinimleri artmış ve sanayileşme ve seri üretimi meydana getirmiştir. Bu teknolojik gelişmelerin çevreye verdiği zararlı etkilerde kaçınılmazdır. Başta küresel ısınma olmak üzere zararlı gaz salınımları hem insanların sağlıklarını tehdit etmekte hem de yaşamın doğal dengesini bozmaktadır. Elektrikli araç sistemlerinin kullanımı ile, hem yakıt tüketiminin azaltılmasıyla maddi olarak kazanç sağlanmakta hem de emisyon salınımları minimum seviyeye çekilmektedir. Emisyon değerlerinin en düşük seviyede olması için en önemli husus, elektrik enerjisinin üretim kaynağıdır. Bilindiği üzere; kömür ve dizel gibi tükenebilir enerji kaynaklarından elektrik enerjisi üretimi hem maliyetli hem de çevreye zararlıdır. Fakat yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik enerjisi üretimi, tükenebilir enerji kaynaklarının aksine maliyeti ucuz ve çevrecidir. Neredeyse sıfıra yakın CO_2 salınımı sayesinde çevreye zehirli gaz salınımı minimize edilmiş olur.

Elektrikli araçların yaygınlaşmasında ve daha çok tercih edilmesindeki en büyük engellerden biri batarya sorunlarıdır. Elektrikli araçların sahip olduğu bataryalar ortalama 200-300 km menzile sahiptir. Piyasada bulunan bazı modellerde ise 500 km'ye kadar menzil uzunluğuna sahiptir. Fakat bataryanın şarjı esnasından karşılaşılan problemler ve uzun şarj süreleri, tüketicileri elektrikli araç sahibi olma konusunda düşündürmektedir. Nitekim gelişen teknoloji ve artan ar-ge çalışmaları ile birlikte hızlı şarj yöntemi ile elektrik araçların bataryalarının %80 doluluk oranına ulaşması 30 dakikanın altında gerçekleşmektedir (Batarya kapasitesi ve şarj istasyonuna göre bu süre değişkenlik göstermektedir) . Böylece elektrikli araçlar daha cezbedici hale gelmiştir. Şarj istasyonlarının kurulumu ile birlikte plansız şarj

işlemi gerçekleşmesi sonucunda; yük profiline, sistem bileşenlerine, sistemde kayıplara, gerilim profili ve faz dengesizliğine, harmoniklere ve kararlılık gibi çeşitli etkilere ile şebeke sistemine zararları bulunur. Bu gibi zararlı etkileri mnimize etmek amacıyla akıllı şebeke yapılarının kullanılması gerekmektedir. Akıllı şebeke yapıları ile beraber; araçların şarj zamanlarının belirlenmesi, araçtan şebekeye veya şebekeden araca enerji aktarımı, araçtan binalara veya araçlar arasında enerji aktarımı gibi çeşitli faydaları mevcuttur. Böylece şebeke üzerinde aşırı yüklenmelerin önüne geçilip, sistemin verimi arttırılmıştır. Senaryo olarak ise; İstanbul'da yer alan metrobüs sistemindeki araçların yerini elektrikli otobüslerin alması durumunda geri dönüş süreleri; batarya, servis, satın alma, yakıt maliyetleri gibi parametreler hesaplanarak elde edilmiştir. Yapılan incelemelerde; 34A ve 34U dışındaki diğer 6 metrobüs hattında elektrikli otobüs kullanılmasının uygun olduğu anlaşılmıştır. Bu altı metrobüs hattındaki geri dönüş süreleri kabul edilebilir rakamlardır. Ayrıca otobüslerin ömürleri dolup yerlerine yenileri alınması gerektiğinde tekrardan şarj istasyonu gibi bir yatırıma gereksinim olmayacağından ve gelişen teknoloji ile birlikte batarya fiyatları düşük, menzilleri uzayacağından geri dönüşüm sürelerinin ilerleyen süreçte daha da kısalacağı tahmin edilmektedir. Yapılan incelemelerde, elektrikli otobüslerin yıllık km sayısı arttıkta, geri dönüşüm sürelerininde buna bağlı olarak azaldığı gözlemlenmiştir.

KAYNAKLAR

[1] European Vehicle Market Statistics 2015-2016.

[2] Total greenhouse gas emissions by countries (including international aviation and indirect CO2, excluding LULUCF), 1990 - 2015 (million tonnes of CO2 equivalents) updated.png,http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/1990_-_2015_(million_tonnes_of_CO2_equivalents)_updated.png#file, 25.07.2017.

[3] Wikipedia, Otomobil, https://tr.wikipedia.org/wiki/Otomobil, 10.08.2017

[4] https://www.garajyeri.com/blog/genel/icten-yanmali-turbo-motor-nedir-nasil-calisir, 12.07.2017.

[5] Auto-Industry Pioneers: a Rich Source of Century Names?, http://buboblog.blogspot.co.at/2012/03/auto-industry-pioneers-rich-source-of.html, 20.08.2017.

[6] https://www.fueleconomy.gov/feg/atv.shtml

[7] Türkiye İstatistik Kurumu, Sera Gazı Emisyon İstatistikleri 1990-2015, http://www.tuik.gov.tr/PreHaberBultenleri.do?id=24588, 10.09.2017.

[8] 2002 model BMW 320i Teknik Bilgileri, http://www.autobook.ro/emisii-consum/bmw-3-series-e46-320i-saloon-35951.html, 05.07.2017.

[9] 2017 model BMW 320i Teknik Bilgileri, http://www.bmw.de/de/neufahrzeuge/3er/limousine/2015/technische-daten.html, 05.07.2017.

[10] Hamut HS, Dincer I. ve Naterer GF. Analysis and Optimization of Hybrid Electric Vehicle Thermal Management Systems. J. Power Sources 2014;(247):643–654.

[11] Maalej K, Kelouwani S, Agbossou K. ve Dubé Y. Enhanced Fuelcell Hybrid Electric Vehicle Power Sharing Method Based on Fuel Cost and Mass Estimation. J Power Sources 2014;(248):668–78.

[12] Amjad S, Neelakrishnan S. veRudramoorthy R., Review of Design Considerations and Technological Challenges for Successful Development and Deployment of Plug-in Hybrid Electric Vehicles. Renewable Sustainable Energy Rev 2010;(14):1104–1110.

[13] Pérez LV, deAngelo CH. ve Pereyra V. Determination of the Adjoint State Evolution for the Efficient Operation of a Hybrid Electric Vehicle. MathComput Modell 2013;(57): 2257–2266.

[14] Cipek M, Pavković D. ve Petrić J. A Control-Oriented Simulation Model of a Power-Split Hybrid Electric Vehicle. Appl. Energy 2013,(101):121–33.

[15] He Y, Chowdhury M, Ma Y. ve Pisu P. Merging Mobility and Energy Vision with Hybrid Electric Vehicles and Vehicle Infrastructure Integration. Energy Policy 2012,(41): 599–609.

[16] Tie SF. ve Tan CW. A Review of Energy Sources and Energy Management System in Electric Vehicles. Renew Sustain Energy Rev 2013,(20):82–102.

[17] Han S. ve Aki H. A Practical Battery Wear Model for Electric Vehicle Charging Applications. Appl. Energy2014,(113):1100–8.

[18] Zhang X, Mi CC. ve Yin C. Active-Charging Based Powertrain Control in Series Hybrid Electric Vehicles for Efficiency Improvement and Battery Lifetime Extension. J. Power Sources 2014,(245):292–300.

[19] https://www.toyota.com.tr/configure/yaris#carconfig/summary/09a6531a-c3f1-4d2d-b4d3-eb45cbb35478/d6ed99ff-ff75-47d3-8e28-bf0c075d348c/d6ed99ff-ff75-47d3-8e28-bf0c075d348c, 17.08.2017.

[20] http://www.landrover.com.tr/vehicles/range-rover/hybrid/index.html, 16.08.2017.

[21] https://www.motormag.com.au/reviews/1601/range-rover-hybrid-review, 19.08.2017.

[22] Borba BMSC, Szklo A. ve Schaeffer R. Plug-in Hybrid Electric Vehicles as a Way to Maximize the Integration of Variable Renewable Energy in Power Systems:The Case of Wind Generation in North Eastern Brazil. Energy 2012,(37):469–81.

[23] Davies J. ve Kurani KS. Moving From Assumption to Observation: Implications for Energy and Emissions Impacts of Plug-in Hybrid Electric Vehicles. Energy Policy 2013,(62):550–60.

[24] Galus DM, Zima M. ve Andersson G. On Integration of Plug-in Electric Vehicles into Existing Power System Structures. Energy Policy2010,(38):6736–45.

[25] Hennings W, Mischinger S. ve Linssen J. Utilization of Excess Wind Power in Electric Vehicles. Energy Policy 2013,(62):139–44.

[26] Hannan MA, Azidin FA ve Mohamed A. Hybrid Electric Vehicles and Their Challenges: A Review. Renewable Sustainable Energy Rev2014,(29):135–50.

[27] Sioshansi R. ve Miller J. Plug-in Hybrid Electric Vehicles Can Be Clean and Economical in Dirty Power Systems. Energy Policy 2011,(39):6151–61.

[28] Wood E, Alexander M. ve Bradley TH. Investigation of Battery End-of-Life Conditions for Plug-in Hybrid Electric Vehicles. J Power Sources 2011,(196):5147–54.

[29] Dong J. Ve Lin Z. With in-day Recharge of Plug-in Hybrid Electric Vehicles: Energy Impact of Public Charging Infrastructure. Transp. Res: PartD:Transport Environ. 2012,(17):405–12.

[30] Waraich RA, Galus MD, Dobler C, Balmer M, Andersson G. ve Axhausen KW. Plug-in Hybrid Electric Vehicles and Smart Grids: Investigations Based on a Micro Simulation. Transp. Res:Part C: Emerg. Technology 2013,(28):74–86.

[31] http://www.bmw.de/de/neufahrzeuge/3er/limousine/2015/technische-daten.html, 24.08.2017.

[32] Guðnadóttir Þ. B., Electric Vehicles - Research Paper, T-611-NYTI-21652 New Technology.

[33] Bakker D, Battery Electric Vehicles Performance, CO2 emissions, Lifecycle Costs and Advanced Battery Technology Development, Master thesis Sustainable Development, Energy and Resources Copernicus institute University of Utrecht, August 2010.

[34] AC Motors, Technical Data of AC Motors.

[35] http://www.explainthatstuff.com/induction-motors.html

[36] https://en.wikipedia.org/wiki/AC_motor

[37} Bansal R, Electric Vehicles, Birla Institute of Technology and Science, Pilani, India, 06.03.2014.

[38] 4.DC Motors.

[39] Electric Motors - Series Wounded DC Motor.

[40] http://www.electricaleasy.com/2014/02/universal-motor-construction-working.html

[41] http://www.bmw.de/de/neufahrzeuge/3er/limousine/2015/technische-daten.html, 24.08.2017

[42] https://www.slideshare.net/sanjeetkumar151/universal-motor-62071799

[43] Cuenca R M, Gaines L L. ve Vyas A D. Evaluation of Electric Vehicle Production and Operating Costs. Centre for Transportation Energy System Division Argonne National Laboratory Illinois; 2011.

[44] Linden D. ve Reddy TB, Handbook of Batteries Third Edition.

[45] Rahman MA, Wang X. ve Wen C. A Review of High Energy Density Lithium–air Battery Technology. J. Appl. Electrochem 2014,(44):5-22.

[46] Global EV Outlook 2016, International Energy Agency.

[47] Kadıran MSB, Charging and Discharging Methods of Lead Acid Battery, Faculty of Electrical&Electronics Engineering Universiti Malaysia Pahang, 21.06.2012.

[48] Dhameja S,Electric Vehicle Battery Systems. Newnes, Boston 2002.

[49] Young K, Wang C, Wang L. Y. ve Strunz K, Electric Vehicle Battery Technologies Chapter 2

[50] Dharmakeerthi C. H, Mithulananthan N. ve Saha T. K, Modelling and Planning of EV Fast Charging Station in Power Grid, Proceedings of the IEEE Power and Energy Society General Meeting 2012; July 22-26:1-8.

[51] Yong JY, Vigna KR, Tan KM, Mithulananthan N, A Review on the State-of-the-art Technologies of Electric Vehicle, its Impacts and Prospects, Renewable and Sustainable Energy Reviews2015,(49):365-385.

[52] Battery Chargers and Charging Methods,http://www.mpoweruk.com/chargers.htm,30.07.2017.

[53] Cleveland T, Dearborn S, Developing Affordable Mixed-Signal Power Systems for Battery Charger Applications.

[54] Yingchao Z, Jiangtao L,Wei G, Yang L. ve Bo Z. Implementation of High Efficiency Batteries Charger for EV Based on PWM Rectifier. In: Proceedings of the IEEE VPPC 2012: Vehicle Power and Propulsion Conference; 2012 Oct 9–12,1525–8.

[55] Falahi M, Chou HM, Ehsani M, Xie L. ve Butler-Purry KL. Potential Power Quality Benefits of Electric Vehicles. IEEE Trans Sustain Energy 2013;4(4):1016–23. [56] Miranda LM, Varajao D, dos Santos B, Araujo RE, Moreira CL, Lopes JAP.. Power Flow Control with Bidirectional Dual Active Bridge Battery Charger in Low-voltage Microgrids. In: Proceedings of the EPE 2013: 15th European Conference on Power Electronics and Applications; 2013 Sep 2–6, 1–10.

[57] Liu C, Gu B, Lai JS, Wang M, Ji Y. ve Cai G, et al. High-efficiency Hybrid Fullbridge-Half-Bridge Converter with Shared ZVS Lagging Leg and Dual Outputs in Series. IEEE Trans Power Electron 2013,(28):849–61.

[58] Du Y, Zhou X, Bai S, Lukic S. ve Huang A. Review of Non-isolated Bi-directional DC-DC Converters for Plug-in Hybrid Electric Vehicle Charge Station Application at Municipal Parking Decks. In: Proceedings of the IEEE APEC 2010: twenty-fifth annual applied power electronics conference and exposition; 2010 Feb 21–25,1145–51.

[59] Kuperman A, Levy U, Goren J, Zafransky A, Savernin A. Battery Charger for Electric Vehicle Traction Battery Switch Station. IEEE Trans Ind Electron 2013,(60):5391–9.

[60] Falvo M. C, Sbordone D, Bayram I. S. ve Devetsikiotis M, EV Charging Stations adn Modes: International Standarts.

[61] Foley A. M, Winning I. ve Gallachoir B. O, State-of-the-Art in Electric Vehicle Charging Infrastructure, Proceedings of the IEEE VPPC 2010: Vehicle Power and Propulsion Conference; 2010 Sep 1–3.1–6.

[62] SAE International - Charging Configurations and Rating Terminology 2011.

[63] https://newsroom.porsche.com/en/technology/porsche-engineering-e-power-electromobility-800-volt-charging-12720.html,30.07.2017.

[64] https://electrek.co/2017/07/14/porsche-350-kw-ev-charging-station/,30.07.2017.

[65] https://www.qualcomm.com/news/releases/2017/05/18/qualcomm-demonstrates-dynamic-electric-vehicle-charging,20.07.2017.

[66] http://www.log.com.tr/gunes-panelleriyle-kendi-kendini-sarj-edebilen-193-kilometre-menzilli-elektrikli-otomobil-sono-sion/, 12.07.2017.

[67] Weiller C. Plug-in Hybrid Electric Vehicle Impacts on Hourly Electricity Demand in the United States. Energy Policy 2011,(39): 3766–78.

[68] Hilshey AD, Rezaei P, Hines PDH. ve Frolik J. Electric Vehicle Charging: Transformer Impacts and Smart, Decentralized Solutions. In: Proceedings of the IEEE Power and Energy Society General Meeting; 2012 Jul 22–26,1–8.

[69] Qin Y. ve Kezunovic M. Impact Analysis of Electric Vehicle Charging on Distribution System. In: Proceedings of the NAPS 2012: North American Power Symposium; 2012 Sep 9–11,1–6.

[70] Razeghi G, Zhang L, Brown T. ve Samuelsen S. Impacts of Plug-in Hybrid Electric Vehicles on a Residential Transformer Using Stochastic and Empirical Analysis. J. Power Sources 2014,(252):277–85.

[71] Farkas C, Szucs G. ve Prikler L. Grid Impacts of Twin EV Fast Charging Stations Placed Alongside a Motorway. In: Proceedings of the IYCE 2013: 4th International Youth Conference on Energy; 2013 Jun 6–8,1–6.

[72] Rautiainen A., Mutanen A., Repo S., Jarventausta P., Tammi A. ve Ryymin R., et al. Case Studies on Impacts of Plug-in Vehicle Charging Load on the Planning of Urban Electricity Distribution Networks. In: Proceedings of the EVER 2013: 8th International Conference and Exhibition on Ecological Vehicles and Renewable Energies; 2013 Mar 27–30,1–7.

[73] Pillai JR. Ve Bak-Jensen B. Impacts of Electric Vehicle Loads on Power Distribution Systems. In: Proceedings of the IEEE VPPC 2010: Vehicle Power and Propulsion Conference; 2010 Sep 1–3,1–6.

[74] Li HL, Bai XM. ve Tan W. Impacts of Plug-in Hybrid Electric Vehicles Charging on Distribution Grid and Smart Charging. In: Proceedings of the IEEE POWERCON 2012: International Conference on Power System Technology; 2012 Oct 30– Nov 2,1–5.

[75] Richardson P, Flynn D. ve Keane A. Impact Assessment of Varying Penetrations of Electric Vehicles on Low Voltage Distribution Systems. In: Proceedings of the IEEE Power and Energy Society General Meeting; 2010 Jul 25–29,1–6.

[76] Liu R, Dow L. ve Liu E. A Survey of PEV Impacts on Electric Utilities. In: Proceedings of the IEEE PES ISGT 2011: Innovative Smart Grid Technologies; 2011 Jan 17–19,1–8.

[77] Jimenez A. ve Garcia N. Voltage Unbalance Analysis of Distribution Systems Using a Three-Phase Power Flow and a Genetic Algorithm for PEV Fleets Scheduling. In: Proceedings of the IEEE Power and Energy Society General Meeting; 2010,Jul 22–26,1–8.

[78] Bass R, Harley RG, Lambert F, Rajasekaran V. ve Pierce J. Residential Harmonic Loads and EV Charging. In: Proceedings of the IEEE Power Engineering Society Winter Meeting; 2001,803–8.

[79] Jiang C, Torquato R, Salles D. ve Xu W. Method to Assess the Power-Quality Impact of Plug-in Electric Vehicles. In: Proceedings of the IEEE Trans on Power Deliv (99):1–8.

[80] Nguyen V.L., Tuan T.Q.. ve Bacha S. Harmonic Distortion Mitigation for Electric Vehicle Fast Charging Systems. In: Proceedings of the IEEE Powertech; 2013 Jun 16–20,1–6.

[81] Moses PS, Deilami S. Ve Masoum AS, Power Quality of Smart Grids with Plug-in Electric Vehicles Considering Battery Charging Profile. In: Proceedings of the IEEE PES ISGT 2010: Innovative Smart Grid Technologies Conference Europe, 2010 Oct 11–13,1–7.

[82] Deilami S, Masoum AS, Moses PS. ve Masoum MAS. Voltage Profile and THD Distortion of Residential Network with High Penetration of Plug-in Electrical Vehicles. In: Proceedings of the IEEE PES ISGT 2010: Innovative Smart Grid Technologies Conference Europe, 2010 Oct 11–13,1–6.

[83] Onar OC. ve Khaligh A. Grid Interactions and Stability Analysis of Distribution Power Network with High Penetration of Plug-in Hybrid Electric Vehicles. In: Proceedings of the IEEE APEC 2010: Twenty-fifth Annual Applied Power Electronics Conference and Exposition; 2010 Feb 21–25,1755–62.

[84] Odun-Ayo T. Ve Crow M. An Analysis of the Impact of Plug-in Hybrid Electric Vehicles on Power System Stability. In: Proceedings of the NAPS 2009, North American Power Symposium; 2009 Oct 4–6,1–5.

[85] Shi R, Zhang XP, Kong DC, Deng N. ve Wang PY. Dynamic Impacts of Fast Charging Stations for Electric Vehicles on Active Distribution Networks. In: Proceedings of the IEEE PES ISGT 2012: Innovative Smart Grid Technologies Asia; 2012 May 21–24,1–6.

[86] Dharmakeerthi CH, Mithulananthan N. ve Saha TK. Impact of Electric Vehicle Fast Charging on Power System Voltage Stability. Int J Electr Power Energy Syst 2014;(57):241–249.

[87] Mitra P. ve Venayagamoorthy GK. Wide Area Control for Improving Stability of a Power System with Plug-in Electric Vehicles. IET Gen Transm Distrib 2010,4 (10):1151–63.

[88] Wu D, Chau KT, Liu C, Gao S. ve Li F. Transient Stability Analysis of SMES for Smart Grid with Vehicle-to-grid Operation. IEEE Trans Appl Supercond 2012;(22):701-705.

[89] Bhatt J, Shah V. ve Jani O. An Instrumentation Engineer's Review on Smart Grid: Critical Applications and Parameters. Renew Sustain Energy Rev 2014;(40):1217–39.

[90] Selvam C, Srinivas K, Ayyappan GS. ve Venkatachala Sarma M. Advanced Metering Infrastructure for Smart Grid Applications. In: Proceedings of the ICRTIT 2012: International Conference on Recent Trends in Information Technology, Apr 19–21 2012,145–50.

[91] Dan L. ve Bo H. Advanced Metering Standard Infrastructure for Smart Grid. In: Proceedings of the CICED 2012: China International Conference on Electricity Distribution; Sep 10–14 2012,1–4.

[92] López G, Moreno JI, Amarís H. ve Salazar F. Paving the Road Toward Smart Grids Through Large-Scale Advanced Metering Infrastructures. Electr Power Syst Res; 2014.

[93] Yan Y, Qian Y, Sharif H. ve Tipper D. A Survey on Smart Grid Communication Infrastructures: Motivations, Requirements and Challenges. IEEE Commun Surv Tutor 2013,(15):5–20.

[94] Li Z. ve Liang Q. Performance Analysis of Multiuser Selection Scheme in Dynamic Home Area Networks for Smart Grid Communications. IEEE Trans Smart Grid 2013,(4):13–20.

[95] Li Z.ve Liang Q, Cheng X. Emerging WiFi Direct Technique in Home Area Networks for Smart Grid: Power Consumption and Outage Performance. Ad Hoc Netw 2014,(22):61–8.

[96] Namboodiri V, Aravinthan V, Mohapatra SN, Karimi B.ve Jewell W. Toward a Secure Wireless-Based Home Area Network for Metering in Smart Grids. IEEE Syst J 2014,8(2):509–20.

[97] Rahimi F. ve Ipakchi A. Demand Response as a Market Resource Under the Smart Grid Paradigm. IEEE Trans Smart Grid 2010,1(1):82–8.

[98] Hota AR, Juvvanapudi M. ve Bajpai P. Issues and Solution Approaches in PHEV Integration to Smart Grid. Renew Sustain Energy Rev 2014,(30):217–29.

[99] Sortomme E. ve El-Sharkawi MA. Optimal Charging Strategies for Unidirectional Vehicle-to-grid. IEEE Trans Smart Grid 2011,2(1):131–8.

[100] Fasugba MA. ve Krein P.T. Cost Benefits and Vehicle-to-Grid Regulation Services of Unidirectional Charging of Electric Vehicles. In: Proceedings of the IEEE ECCE 2011: Energy Conversion Congress and Exposition; 2011 Sep 17–22,827– 834.

[101] O'Connell N, Wu Q, Østergaard J, Nielsen AH, Cha ST. ve Ding Y. Day-ahead Tariffs for the Alleviation of Distribution Grid Congestion from Electric Vehicles. Electr Power Syst Res 2012,(92):106–14.

[102] Ghanbarzadeh T, Goleijani S. ve Moghaddam MP. Reliability Constrained Unit Commitment with Electric Vehicle to Grid Using Hybrid Particle Swarm Optimization and Ant Colony Optimization. In: Proceedings of the IEEE Power and Energy Society General Meeting, Jul 24–29 2011,1–7.

[103] Soares J, Vale Z, Canizes B. ve Morais H. Multi-Objective Parallel Particle Swarm Optimization for Day-ahead Vehicle-to-Grid Scheduling. In: Proceedings of the IEEE CIASG 2013: Symposium on Computational Intelligence Applications in Smart Grid, Apr 16–19 2013,138–45.

[104] Wu D, Chau KT. ve Gao S. Multilayer Framework for Vehicle-to-grid Operation. In: Proceedings of the IEEE VPPC 2010: Vehicle Power and Propulsion Conference, Sep 1–3, 2010,1–6.

[105] Wang Z. ve Wang S. Grid Power Peak Shaving and Valley Filling Using Vehicle-to grid Systems. IEEE Trans Power Deliv 2013,28(3):1822–9.

[106] López MA, Torre S, de la, Martín S. ve Aguado JA. Demand-side Management in Smart Grid Operation Considering Electric Vehicles Load Shifting and Vehicle to- grid Support. Int J Electr Power Energy Syst 2015,(64):689–98.

[107] Kisacikoglu MC, Ozpineci B. ve Tolbert LM. Examination of a PHEV Bidirectional Charger System for V2G Reactive Power Compensation. In: Proceedings of the IEEE APEC 2010: Twenty-fifth Annual Applied Power Electronics Conference and Exposition, Feb 21–25 2010,458–65.

[108] Jiang B. ve Fei Y. Decentralized Scheduling of PEV on-Street Parking and Charging for Smart Grid Reactive Power Compensation. In: Proceedings of the IEEE PES ISGT 2013: Innovative Smart Grid Technologies, Feb 24–27 2013,1–6.

[109] Boynuegri AR, Uzunoglu M, Erdinc O. ve Gokalp E. A New Perspective in Grid Connection of Electric Vehicles: Different Operating Modes for Elimination of Energy Quality Problems. Appl Energy 2014,(132):435–51.

[110] Rauchfuss L, Foulquier J. ve Werner R. Charging Station as an Active Filter for Harmonics Compensation of Smart Grid. In: Proceedings of the IEEE ICHQP 2014: 16th International Conference on Harmonics and Quality of Power, May 25–28 2014,181–4.

[111] Jin C, Sheng X. ve Ghosh P. Energy Efficient Algorithms for Electric Vehicle Charging with Intermittent Renewable Energy Sources. In: Proceedings of the IEEE PES 2013: Power Energy Society General Meeting, Jul 21–25 2013,1–5.

[112] Fazelpour F, Vafaeipour M, Rahbari O. ve Rosen MA. Intelligent Optimization to Integrate a Plug-in Hybrid Electric Vehicle Smart Parking Lot with Renewable Energy Resources and Enhance Grid Characteristics. Energy Convers Manag 2014,(77):250–61.

[113] Marra F, Yang GY, Traeholt C, Larsen E, Ostergaard J. ve Blazic B, et al. EV Charging Facilities and Their Application in LV Feeders with Photovoltaics. IEEE Trans Smart Grid 2013,4(3):1533–40.

[114] Peas Lopes J.A., Almeida P.M.R. ve Soares F.J. Using Vehicle-to-grid to Maximize the Integration of Intermittent Renewable Energy Resources in Islanded Electric Grids. In: Proceedings International Conference on Clean Electrical Power; Jun 9–11 2009,290–5.

[115] http://metrobus.iett.istanbul/tr/metrobus/pages/metrobus-sistemi-temel-elemanlari/297,12.10.2017.

[116] http://www.sileo-ebus.com/e-busse/e-bus-s18/,18.09.2017.

[117] http://metrobus.iett.istanbul/tr/metrobus/pages/metrobus-hat-sefer-bilgileri/899, 12.10.2017.

[118] https://www.mercedes-benz.com.tr/content/turkey/mpc/mpc_turkey_website/tr/home_mpc/bus/home/new_buses/models/regular_service_busses/capacity_2_0/facts/technical_data.html, 10.10.2017

[119] https://www.mercedes-benz.com.tr/content/turkey/mpc/mpc_turkey_website/tr/home_mpc/bus/home/new_buses/models/regular_service_busses/Conecto_e6/fascination/tech_data.html, 12.10.2017

[120] http://new.abb.com/grid/technology/tosa,15.09.2017

[121] https://en.wikipedia.org/wiki/TOSA_Flash_Mobility,_Clean_City,_Smart_Bus

[122] http://www.ulasimpark.com/icerik/detay.aspx?Id=329,05.09.2017.

[123] https://tr.wikipedia.org/wiki/Belgrad_Orman%C4%B1, 04.10.2017.

[124] http://metrobus.iett.istanbul/tr/metrobus/pages/metrobus-guzargahlari/286,18.10.2017

[125] http://www.rayhaber.com/2013/02/toplu-tasimada-surdurulebilir-yenilikci-sistemler-ve-troleybus/, 29.09.2017.

[126] Mahmoud M, Garnett R, Ferguson M, Kanaraoglou P, Electric Buses: A Review of Alternative Powertrains, Renewable and Sustainable Energy Review 2016,(62):673-684.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı **:** Yiğitcan BORA

Doğum Tarihi ve Yeri **:** 26.03.1991-İstanbul

Yabancı Dili **:** İngilizce- Almanca

E-posta **:** yigitcanbora@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	**Alan**	**Okul/Üniversite**	**Mezuniyet Yılı**
Y. Lisans	Elektrik Tesisleri	Yıldız Teknik Üniversitesi	
Lisans	Elektrik Mühendisliği	Yıldız Teknik Üniversitesi	2013
Lise		Kartal Anadolu Lisesi	2009

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	**Firma/Kurum**	**Görevi**
2013-2015	Tesamel	Elektrik Mühendisi
2013-2015	HB Teknik	Elektrik Mühendisi

YAYINLARI

Bildiriler

[1] Onen U.B., Bora Y. ve Umurkan N.,(2017). '' A Review Of Energy Storage Systems for Wind Power Plants'', International Journal of Research and Engineering, April 2017, 119-124.

[2] Bora Y., Onen U.B. ve Umurkan N.,(2017). ''A Review of Electric Vehicles and Their Impacts on Grid'', International Journal of Scientific and Technology Research, October 2017, 251-256.