DÜZCE ÜNİVERSİTESİ | LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

ELEKTRİKLİ ARAÇLARDA KULLANILAN BATARYALARIN SAĞLIK VE ŞARJ DURUMLARININ MAKİNE ÖĞRENMESİ İLE TAHMİNİ

ZEYNEP TUĞBA CEM

YÜKSEK LİSANS
ELEKTRİK ELEKTRONİK VE BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DANIŞMAN
DR. ÖĞR. Ü. M. MUSTAFA ERTAY

2023
DÜZCE

DÜZCE ÜNİVERSİTESİ | LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

ELEKTRİKLİ ARAÇLARDA KULLANILAN BATARYALARIN SAĞLIK VE ŞARJ DURUMLARININ MAKİNE ÖĞRENMESİ İLE TAHMİNİ

ZEYNEP TUĞBA CEM

YÜKSEK LİSANS
ELEKTRİK ELEKTRONİK VE BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DANIŞMAN
DR. ÖĞR. Ü. M. MUSTAFA ERTAY

DÜZCE, 2023

T.C.
DÜZCE ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

ELEKTRİKLİ ARAÇLARDA KULLANILAN BATARYALARIN SAĞLIK VE ŞARJ DURUMLARININ MAKİNE ÖĞRENMESİ İLE TAHMİNİ

Zeynep Tuğba CEM tarafından hazırlanan tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından Düzce Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Elektrik Elektronik Ve Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Dr. Öğr. Ü. M. Mustafa ERTAY

Düzce Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Dr. Öğr. Ü. M. Mustafa ERTAY

Düzce Üniversitesi _____

Prof. Dr. Ahmet ZENGİN
Sakarya Üniversitesi _____

Dr. Öğr. Ü. Furkan AKAR
Düzce Üniversitesi _____

Tez Savunma Tarihi: 28.07.2023

BEYAN

Bu tez çalışmasının kendi çalışmam olduğunu, tezin planlanmasından yazımına kadar bütün aşamalarda etik dışı davranışımın olmadığını, bu tezdeki bütün bilgileri akademik ve etik kurallar içinde elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara kaynak gösterdiğimi ve bu kaynakları da kaynaklar listesine aldığımı, yine bu tezin çalışılması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını beyan ederim.

28.07.2023

Zeynep Tuğba CEM

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans öğrenimimde ve bu tezin hazırlanmasında gösterdiği her türlü destek ve yardımdan dolayı çok değerli hocam Dr. Öğr. Ü. M. Mustafa ERTAY'a en içten dileklerimle teşekkür ederim.

Çalışmada analizi yapılan elektrikli araç verilerinin kullanlmasına izin veren İnovasyon Mühendislik firmasına da çok teşekkür ederim

Bu çalışma boyunca yardımlarını ve desteklerini esirgemeyen sevgili aileme ve çalışma arkadaşlarıma sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

28 Temmuz 2023 **Adı SOYADI**
Zeynep Tuğba CEM

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ŞEKİL LİSTESİ vii

TABLO LİSTESİ ix

KISALTMALAR x

ÖZET iv

ABSTRACT v

1. GİRİŞ 1

2. ELEKTRİKLİ ARAÇLARIN TARİHSEL GELİŞİMİ VE SINIFLANDIRILMASI 6

2.1. ELEKTRİKLİ ARAÇLARIN SINIFLANDIRILMASI 9

2.1.1. Otonom Elektrikli Araçlar 13

3. ELEKTRİKLİ ARAÇ ŞARJ SİSTEMİ DEVRELERİ 15

3.1. ELEKTRİKLİ ARAÇLARDA KULLANILAN İZOLESİZ DC-DC DÖNÜŞTÜRÜCÜ ÇEŞİTLERİ 18

3.1.1. Geleneksel Dc-Dc Yükseltici Dönüştürücü 18

3.1.2. Aralıklı Yükseltici Dönüştürücü 19

3.1.3. Aralıklı DC-DC Düşürücü Dönüştürücü 19

3.1.4. İzolesiz İki Bölgeli Düşürücü-Yükseltici Dönüştürücü 20

3.1.5. Köprüsüz ve Yarı Köprüsüz Yükseltici Dönüştürücü 20

3.2. EA'LARDA KULLANILAN İZOLELİ DC-DC DÖNÜŞTÜRÜCÜ TÜRLERİ 22

3.2.1. Geleneksel Tam Köprü Dönüştürücü 22

3.2.2. Tam Köprü LLC Rezonant Dönüştürücü 22

3.2.3. Sıfır Gerilim Anahtarlamalı Çift Yarım Köprü PWM Dönüştürücü 23

3.2.4. İzoleli Faz Kaydırmalı Tam Köprü Dönüştürücü 23

3.2.5. İzoleli Dual Aktif Köprü Dönüştürücü 24

3.2.6. İzoleli Çok Portlu Dönüştürücü Topolojisi 25

3.3. AC-DC DÖNÜŞTÜRÜCÜ TOPOLOJİLERİ 25

3.3.1. Üç Fazlı Köprüsüz Yükseltici Dönüştürücü 25

3.3.2. Üç Fazlı LCL Aktif Doğrultucu 26

3.3.3. Matris Dönüştürücü Topolojisi 27

3.3.4. Üç Fazlı Üç Seviyeli Diyot Kenetlemeli Dönüştürücü (DKD) 27

3.3.5. Üç Fazlı Vienna Doğrultucusu 28

4. EA ŞARJ STANDARTLARI VE YÖNTEMLERİ 30

5. ELEKTRİKLİ ARAÇLARDA SEÇİLEN ELEKTRİKLİ MOTOR VE BATARYA TÜRLERİ 34

5.1. EA MOTOR TÜRLERİ 34

5.2. EA BATARYA TÜRLERİ 36

5.2.1. Otonom Elektrikli Araçlarin Batarya Yönetimi 37

6. ELEKTRİKLİ ARAÇLARIN GÜÇ SİSTEMLERİNE ETKİSİ, UYUM SAĞLAMASI VE ŞARJ ÇÖZÜMLERİ 39
6.1. ELEKTRİKLİ ARAÇLARIN GERİLİM KARARLILIĞINDAKİ ROLÜ .. 40
6.2. ELEKTRİKLİ ARAÇLARIN GÜVENİLİRLİK ÜZERİNDEKİ ROLÜ 40
6.3. ELEKTRİKLİ ARAÇLARIN GÜÇ KAYBI ÜZERİNDEKİ ROLÜ 41
6.4. ELEKTRİKLİ ARAÇLARIN GÜÇ KALİTESİNE ETKİSİ..... 41
6.5. ELEKTRİKLİ ARAÇLARIN FREKANS DENGESİ ÜZERİNDEKİ ROLÜ 41
6.6. ELEKTRİKLİ ARAÇLARIN ŞEBEKE GERİLİMİ VE REAKTİF GÜCÜ ÜZERİNDEKİ ROLÜ 42
7. KULLANILAN YÖNTEMLER..... 43
7.1. LİNEER REGRESYON YÖNTEMİ..... 43
7.2. RASTGELE ORMAN REGRESYON YÖNTEMİ..... 44
7.2.1. Torbalama (Bagging) Regresyon Yöntemi 45
7.2.2. Ada Yükseltici Regresyon Yöntemi..... 46
7.3. KARAR AĞACI REGRESYON YÖNTEMİ 47
7.3.1. Tamamen Rastgele Ağaç Regresyon Yöntemi..... 48
7.3.2. Gradyan Yükseltici Regresyon Yöntemi..... 49
7.4. K-EN YAKIN KOMŞU REGRESYON YÖNTEMİ..... 50
7.5. DESTEK VEKTÖR MAKİNELERİ REGRESYON YÖNTEMİ 51
7.6. UZUN KISA SÜRELİ BELLEK REGRESYON YÖNTEMİ 53
8. MAKİNE ÖĞRENMESİ İLE BATARYA TAHMİN ALGORİTMASI 55
8.1. BATARYA VERİ SETİ..... 57
8.2. BATARYA SOH TAHMİNİ 57
8.3. BATARYA SOC TAHMİNİ 61
8.4. ELDE EDİLEN SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ..... 63
9. SONUÇ VE ÖNERİLER 65
KAYNAKÇA 67
ÖZGEÇMİŞ..... 78

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1. Piyasada Olan Elektrikli Araç Sayısı (TEA: Tam EA, FHEA: Fişli Hibrit EA) -(International Energy Reviews, 2022) 7
Şekil 2.2. Elektrikli Araç Çeşitleri 9
Şekil 2.3. Elektrikli Araç Çeşitlerinin İç Tasarımları: a) HEA b) FHEA c)TEA (Arrgo, 2022) 9
Şekil 2.4. a) Seri HEA b) Paralel HEA c) Seri-Paralel HEA (Hybrid Ev Types, 2022) 10
Şekil 2.5. Taşıyıcı Otonom Elektrikli Araç (İnovasyon Mühendislik, 2023) 13
Şekil 3.1. Elektrikli Araçların Şarj Devresi (Türksoy vd., 2018; Yılmaz ve Krein,2013). 16
Şekil 3.2. TYTK Seri Rezonant Dönüştürücü Şarj Devresi (Khalid vd., 2022; Yılmaz ve Krein,2013). 16
Şekil 3.3. (a) Çift Yönlü Yalıtımsız iki bölgeli Şarj Edici (b) Çift Yönlü Yalıtımlı Dual Aktif Köprü Şarj Devresi (Khalid vd., 2022; Yılmaz ve Krein,2013). 17
Şekil 3.4. EA Dönüştürücü Çeşitlerinin Sınıflandırılması 17
Şekil 3.5. (a) Rezonant GFD Yükseltici Dönüştürücü (b) Standart Yükseltici Dönüştürücü Devresi (Khalid vd., 2022) 18
Şekil 3.6. (a) Aralıklı Düşürücü Dönüştürücü (b) Aralıklı Yükseltici Dönüştürücü (Khalid vd., 2022) 19
Şekil 3.7. Çift Yönlü Düşürücü-Yükseltici İki Bölgeli Dönüştürücü (Yılmaz ve Krein, 2013) 20
Şekil 3.8. (a) Köprüsüz Yükseltici Dönüştürücü (b) Dual Yükseltici Dönüştürücü (c) Yarı köprüsüz Yükseltici dönüştürücü (Khalid vd., 2022) 21
Şekil 3.9. (a) Köprüsüz Aralıklı Yükseltici Devresi (b) Faz Kaydırmalı Yarı Köprüsüz Yükseltici Devresi (Musavi vd., 2013; Musavi vd., 2011). 21
Şekil 3.10. İzoleli Tam Köprü Dönüştürücü (Khalid vd., 2022) 22
Şekil 3.11. Tam Köprü LLC Rezonant Dönüştürücü (Khalid vd., 2022) 23
Şekil 3.12. İzoleli SGA Yarım Köprü PWM Dönüştürücü Devresi(Khalid vd., 2022; Zhang vd., 2020). 23
Şekil 3.13. İzoleli Faz Kaydırmalı Tam Köprü Dönüştürücü (Khalid vd., 2022) 24
Şekil 3.14. İzoleli Dual Aktif Köprü Dönüştürücü (Yılmaz ve Krein, 2013). 24
Şekil 3.15. Tek Giriş Çok Çıkışlı İzoleli Çok Portlu (Multiport) Şarj Devresi (Khalid vd., 2022; Lipu vd., 2021) 25
Şekil 3.16. Tek Yönlü DC Bara İçin Üç Fazlı Köprüsüz Yükseltici Dönüştürücü Devresi (Khalid vd., 2022) 26
Şekil 3.17. Üç Fazlı LCL Aktif Doğrultucu (Brenna vd., 2020) 26
Şekil 3.18. AC-DC Matris Dönüştürücü (Khalid vd., 2022) 27
Şekil 3.19. Üç Fazlı Üç Seviyeli Diyot Kenetlemeli Dönüştürücü (DKE) Dönüştürücü (Khalid vd., 2022) 28
Şekil 3.20. Üç fazlı Vienna Doğrultucu Devre Şeması (Khalid Vd., 2022; Brenna vd., 2020) 28
Şekil 4.1. EA Batarya Şarj Yöntemlerinin Sınıflandırılması Sınıflandırılması 30
Şekil 4.2. (a) On-board Şarj Yapısı (b) Off-board Şarj Yapısı (T. Delf., 2022) 31
Şekil 5.1. Elektrikli Motor Türlerinin Mukayesesi (Bhatt vd., 2019). 35
Şekil 7.1. Lineer Regrasyon Grafiği (Malı, 2023) 43

Şekil 7.2. Rastgele Orman Algoritması (Chakure, 2023) 44
Şekil 7.3. Torbalama Yöntemi 45
Şekil 7.4. AdaBoost Yöntemi 46
Şekil 7.5. Karar Ağacı Regrasyon Algoritması (Saini, 2023) 47
Şekil 7.6. Tamamen Rastgele Ağaç Regresyon Yöntemi (Chu, 2021) 48
Şekil 7.7. Gradyan Yükseltme Regresyon Yöntemi 49
Şekil 7.8. K En Yakın Komşu (T., 2021) 51
Şekil 7.9. Destek Vektör Algoritması (Sethi, 2018) 52
Şekil 8.1. Algoritma Şeması 56
Şekil 8.2. Batarya Veri Seti 57
Şekil 8.3. Batarya Verilerinin Sıcaklık Haritası 58
Şekil 8.4. Batarya Sağlık Grafiği 59
Şekil 8.5. SOH Makine Öğrenmesi ile Tahmin Sonuçları 60
Şekil 8.6. SOC Makine Öğrenmesi ile Tahmin Sonuçları 62

TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 2.1. Elektrikli Araçların Tarihi ve Özellikleri 7
Tablo 2.2. Ülkemizdeki Elektrikli Araç Pazar Payları ve Satışları (Erce, 2022) 8
Tablo 2.3. 2023 Yılında Elektrikli Araçların Marketi ve Özellikleri (Electric Vehicle Database, 2022) 12
Tablo 3.1. EA Dönüştürücü Çeşitlerinin Şarj Sistemleri Açısından Değerlendirilmesi ... 29
Tablo 4.1. Elektrikli Araç Şarj Standartları 31
Tablo 4.2. AC Şarj Özellikleri ve Standartları (Rivera vd., 2021) 31
Tablo 4.3. DC Şarj Özellikleri ve Standartları (Rivera vd., 2021) 32
Tablo 5.1. Piyasadaki EA'ların Kullandığı Motorlar ve Nitelikleri (Wahid vd., 2021).... 35
Tablo 5.2. EA'larda Kullanılan Batarya Çeşitleri 36
Tablo 8.1. Tahmin Sonuçlarının Analizi 63

KISALTMALAR

AFPM	Aksiyal-Akı Demirsiz Sabit Mıknatıslı Motor
AFIM	Aksiyal Akı İndüksiyon Makinesi
ARM	Anahtarlamalı Relüktans Motor
ÇEK	Çin Elektrik Konseyi
DKE	Diyot Kenetlemeli Dönüştürücü
EA	Elektrikli Araçlar
FHEA	Fişli Hibrit EA
G2V	Şebekeden Araca
GFD	Güç Faktörü Düzeltme
HEA	Hibrit Elektrikli Araçlar
AYD	Aralıklı Yükseltici Dönüştürücü
IEC	International Electrotechnical Commission
İM	İndüksiyon Motoru
İYM	İçten Yanmalı Motor
JEK	Japonya Elektroteknik Komitesi
JEVS	Japonya EA Derneği
KA	Kurşun Asit
KGK	Kesintisiz Güç Kaynakları
Li-ion	Lityum İyon
Li-Po	Lityum Polimer
LSTM	Uzun Kısa Süreli Bellek
NiMH	Nikel Metal Hidrit
OEA	Otonom Elektrikli Araçlar
OMT	Otomotiv Mühendisleri Topluluğu
PM-PLDC	Sabit Mıknatıslı Fırçasız DC Motor
PMSM	Sabit Mıknatıslı Senkron Motor
RNN	Recurrent Neural Networks
RMSE	Root Mean Square Error
SAE	Society of Automotive Engineers
SGA	Sıfır Gerilim Anahtarlama
SOC	State of Charge
SOH	State of Health
SVM	Destek Vektör Makinaları
SVR	Support Vector Regression
SynRM	Senkron Relüktans Motor
TEA	Tam EA
TEHAD	Türkiye Elektrikli ve Hibrit Araçlar Derneği
TOGG	Türkiye'nin Otomobili Girişim Grubu
UEK	Uluslararası Elektroteknik Komisyonu
V2D	Vehicle To Device
V2G	Vehicle to Grid
YHEA	Yakıt Hücreli EA

ÖZET

ELEKTRİKLİ ARAÇLARDA KULLANILAN BATARYALARIN SAĞLIK VE ŞARJ DURUMLARININ MAKİNE ÖĞRENMESİ İLE TAHMİNİ

Zeynep Tuğba CEM

Düzce Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Elektrik-Elektronik ve Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi
Danışman: Dr. Öğr. Ü. M. Mustafa ERTAY
Temmuz 2023, 78 sayfa

Günümüzde gerek fosil yakıtların azalması ve gerekse çevresel, ekonomik ve şebeke açısından faydaları sebebiyle elektrikli araçlara (EA) olan ilgi artmıştır. EA'lar üzerine halen birçok araştırma çalışmaları gerçekleştirilmektedir. Bu tezin amacı öncelikle ülkemizde EA'ların gelişimi ve teknolojik yenilikler konularında Türkçe literatüre katkıda bulunmaktır. Bu nedenle çalışmada elektrikli araçların günümüze kadar olan tarihsel ilerleyişi, EA'larda kullanılan batarya sistemleri, elektrikli motor tipleri ve dönüştürücü topolojileri ile ilgili bilgiler verilmiştir. Aynı zamanda, EA'ların şarj istasyonlarının ülkemizde ki durumu, şarj teknolojileri, şarj yöntemleri ve şarj modları hakkında detaylı bir inceleme içermektedir. Bununla birlikte özellikle EA'ların şebeke entegrasyonu konusu ve bu kapsamda şarj teknolojilerinden Araçtan şebekeye (V2G, Vehicle to Grid) teknolojisine yönelik incelemeler yapılmıştır. Bunların yanı sıra tez bulgusal olarak elektrikli araçların en önemli sorunlarından biri olan batarya sağlık (SOH) ve şarj (SOC) durumları ile makine öğrenmesi ile tahmin algoritmaları üzerinde geniş bir analiz sunmaktadır. Herhangi bir sanal veri seti kullanılmadan gerçek ortamda çalışan elektrikli araç olan otonom mobil robotlardan veri sağlanarak, bu verileri işleyip, makine öğrenme algoritmalarına sokularak testler alınmış bu testlerin karşılaştırılması yapılmıştır. Yapılan analizler ile gelecekteki batarya sağlık ve şarj tahmin yöntemlerinin gelişmesine katkıda bulunmak amaçlanmıştır. Ayrıca ülkemizde üretimi ve gelişimi devam eden yerli elektrikli araç çalışmaları için de farkındalık oluşturmak çalışmanın hedeflerinden biridir.

Anahtar Sözcükler Makine öğrenmesi, SOH, SOC, Regresyon, Elektrikli Araçlar, V2G, Elektrikli Motor

ABSTRACT

PREDICTION OF THE HEALTH AND CHARGE STATUS OF BATTERIES USED IN ELECTRIC VEHICLES THROUGH MACHINE LEARNING

Zeynep Tuğba CEM
Düzce University
Graduate School of Education, Department of Electrical-Electronics and Computer Engineering
Master's Thesis
Supervisor: Asstant Prof. Dr. M. Mustafa ERTAY

July 2023, 78 pages

Globally, the interest in electric vehicles (EVs) has increased due to the reduction of fossil fuels and the environmental, economic, and grid-related benefits they offer. Numerous research studies are currently being conducted on EVs. The aim of this thesis is to contribute to the Turkish literature on the development and technological advancements of EVs in our country. Therefore, this study provides information about the historical progression of electric vehicles, battery systems used in EVs, types of electric motors, and converter topologies. Additionally, a detailed examination is conducted on the status of EV charging stations in our country, charging technologies, charging methods, and charging modes. Furthermore, a focused investigation is carried out on the grid integration of EVs, specifically exploring the Vehicle-to-Grid (V2G) technology within the context of charging technologies. In addition, the thesis extensively analyzes the crucial issues of EVs, such as battery health (SOH) and charging (SOC) state, along with machine learning predictive algorithms. Real-world data is collected from autonomous mobile robots functioning as electric vehicles, without employing any simulated datasets. These collected data are processed, subjected to machine learning algorithms, and tests are conducted, followed by a comparative analysis of these tests. The objective is to contribute to the development of future battery health and charging prediction methods through these analyses. Furthermore, raising awareness for ongoing indigenous electric vehicle projects and their development in our country is also one of the objectives of this study.

Keywords: Machine learning, SOH, SOC, Regression, Electric Vehicles, V2G, Electric Motor

1. GİRİŞ

Enerji kullanımı, sanayileşme ve enerji talebinin artmasıyla son yıllarda büyük bir yükseliş göstermiştir. Bu durum, alternatif enerji kaynaklarının ve elektrikli araç (EA) teknolojisinin gelişimini zorlamıştır. Çünkü geleneksel fosil yakıtlara dayalı enerji kaynaklarının rezervleri tükenmektedir. Ayrıca, fosil yakıtların çevreye verdiği zararlar da göz önüne alındığında, elektrikli araçların kullanımının çevresel faydaları da büyüktür (Demirok vd., 2021; Arif vd., 2021). Bu sebeple, çevresel etkileri azaltmak için yapılan çalışmalar, alternatif enerji kaynaklarına ve elektrikli araçlara ilgiyi artırmaktadır. Ancak, elektrikli araçların yaygınlaşması için bazı engeller de bulunmaktadır. Bu engeller arasında, batarya sistemlerinin pahalılığı, şarj sürelerinin uzunluğu ve şarj istasyonlarının yetersizliği gibi konular sayılabilir (Demirok vd., 2021; Arif vd., 2021). Bu sorunları çözmek için hem dünyada hem de ülkemizde çalışmalar sürdürülmekte ve elektrikli araçların yaygınlaşması amaçlanmaktadır.

Elektrikli araçların çevresel faydalarının yanında, elektrik şebekesine de katkıları vardır. Bu katkılar, Araçtan Şebekeye (V2G) gibi şarj teknolojileri ile sağlanabilir (Arif vd., 2021; Patil ve Kalkhambkar, 2021). Elektrikli araçlar enerji şebekesine bağlanabilir ancak bu durum, şebekenin dinamik yüklenmesine neden olur ve gerilim dalgalanmaları ve çökme gibi bazı problemlere sebep olabilir. Bu yüzden, elektrikli araç şarj istasyonları, V2G gibi gelişmiş şarj teknolojileri ile birlikte mikro şebeke olarak işlev görebilir (Rani ve Raju, 2022). Elektrikli araçlar genelde günün büyük bir kısmında park edilmiştir. V2G teknolojisi ile, elektrikli araçlar park edildiğinde enerji biriktirebilir (Grid to Vehicle- G2V) ve bu enerjiyi şebeke gereksinimleri doğrultusunda (Vehicle to Grid- V2G) geri verebilir (Shumei vd., 2011). Bu sayede, elektrikli araçlar örneğin elektrik şebekesinde gerilim ve frekans regülasyonuna destek olabilir (Naik vd., 2021).

Ülkemizin yerli ve milli girişimi olan Türkiye'nin Otomobili Girişim Grubu (TOGG) tarafından 2019 yılında geliştirilen elektrikli araçlar 2022 yılında Bursa/Gemlik'te kurulan bir fabrikada seri üretime başlamış çevreci ve yenilikçi teknolojilerdir. 29 Ekim 2022'de ilk TOGG elektrikli aracı üretim bandından indirilmiştir (Çalışkan, 2023). Bu başarı, ülkemizde elektrikli araçlarla ilgili çalışmaların geliştirilmesi ve üniversite-sanayi iş birliğinin desteklenmesi için bir motivasyon kaynağı olmuştur.

EA alanında yapılan çalışmaların güncel literatürünü takip etmek ve incelemek çok önemlidir. Bu alanda yapılan çalışmalara baktığımızda, (İşen ve Tarlak, 2018) elektrikli araçların çeşitleri, şarj sistemleri ve dönüştürücüler hakkında bilgiler vermişlerdir. Fakat, daha çok hibrit elektrikli araçlara yoğunlaşmışlar ve V2G gibi şarj teknolojilerine değinmemişlerdir. (Balcı vd., 2020) elektrikli araçların mekanik güç aktarma organları, elektrik motorları, motor sürücü sistemleri, bataryalar ve şarj sistemleri gibi konuları ele almışlar ve bilgiler sunmuşlardır. Fakat, V2G gibi şarj teknolojilerine yer vermemişlerdir. (Ateş, 2022) ise genel olarak şarj istasyonu standartları, şarj sistemleri ve Türkiye'deki şarj istasyonları hakkında bilgiler aktarmıştır. (Kuşdoğan vd., 2017), elektrikli araçların akıllı şebeke ile bütünleşmesi ve V2G uygulamaları üzerine bir çalışma yapmışlardır. (Yapıcı vd., 2020), elektrikli araç şarj istasyonlarının güç dağıtım şebekesine etkilerini yük akış analizleriyle değerlendirmişlerdir. (Tıng vd., 2018), elektrikli araç şarj devrelerinde kullanılan güç faktörü düzeltmeli dönüştürücülerin karşılaştırılmasını gerçekleştirmiş ve aralıklıyükseltici türü güç faktörü düzeltmeli dönüştürücünün geleneksel yönteme göre daha verimli olduğunu ifade etmişlerdir. (Zhang vd., 2019), güç dengelemesi ve gerilim düşümü kompanzasyonu gibi özellikleri sağlayan çok portlu bir dönüştürücü tabanlı elektrikli araç şarj istasyonu tasarlamışlardır.

(Acharige vd., 2021), EA batarya depolama sistemi için V2G özelliğine sahip fotovoltaik tabanlı akıllı şarj sistemi tasarlamışlardır. Bu çalışmada, fotovoltaik sistem çıkışında tek uçlu primer indüktör dc-dc dönüştürücü, EA şarjı için çift yönlü dc-dc dönüştürücü ve şebeke bağlantısı ve arayüzü için LCL filtreli üç seviyeli inverter kullanılmıştır. Ayrıca, çalışmada V2G güç transferinin dağıtım şebekesinin arıza sürme kabiliyetini artırma potansiyeline sahip olduğu belirtilmiştir (Misra vd., 2020). V2G tabanlı bir akıllı şarj sistemi için akıllı batarya yönetim şeması öneren (Malik vd., 2019), mikro şebeke ortamında

V2G-G2V sistemi uygulamak için bir test sistemi tasarlamışlardır. Bu çalışma kapsamında, şarj istasyonu tasarımının düşük harmonik bozulma sağladığı ve denetleyicinin DC gerilim kararlılığı açısından etkili bir dinamik performans sergilediği ifade edilmektedir. Türkçe literatürde yapılan çalışmaların gözden geçirilmesi sonucunda, (İşen ve Tarlak, 2018) çalışmasının sadece hibrit araçlara odaklandığı, (Balcı vd., 2020) çalışmasında ise V2G gibi teknolojilere yer verilmediği tespit edilmiştir. (Ateş, 2022; Yapıcı, 2020) ise sadece şarj istasyonları ve standartları üzerine yoğunlaşmışlardır.

Bu bilgiler, elektrikli araçlar ve akıllı şarj sistemleri alanında önemli bir dönüşüm olan V2G teknolojisine yönelik çalışmaların durumunu anlamamızı sağlar. (Malik vd., 2019)'in önerdiği akıllı batarya yönetim şeması ve mikro şebeke ortamında uygulanan V2G-G2V sistemi tasarımı, elektrikli araçların batarya sağlığını ve şarj durumunu tahmin etmek için makine öğrenmesi gibi yenilikçi yöntemleri kullanarak önemli adımlar atıldığını gösterir. Bu tür çalışmalar, gelecekte elektrikli araçların daha verimli, güvenli ve sürdürülebilir bir şekilde şebekeye entegre edilmesine yardımcı olabilir. Ayrıca, Türkçe literatürdeki V2G odaklı çalışmaların eksikliği, bu alanda daha fazla araştırma ve geliştirme fırsatlarının olduğunu gösterir. Bu bilgiler, elektrikli araç teknolojisi ve akıllı şarj sistemlerinin gelecekteki potansiyelini anlamamıza ve daha ileriye taşımamıza katkı sağlar. Bu analizler, batarya kullanımının kolaylığı ve performans değerlendirmesi gibi konularda daha kesin tahminler yapma imkânı sağlamaktadır.

Elektrikli araçlarla ilgili bu araştırmaların en önemli bölümlerinden biri, batarya analizleridir. Bataryaların sağlık durumu (SOH) ve şarj tahminleriyle (SOC) uzun menzilli araçlar üretilmektedir. (Sui vd., 2021) 'çalışmalarında belirtildiği gibi daha uzun süreli ve düzenli veri toplama ile batarya güvenilirliğinin artırılması batarya tahminlerinin güçlendirilmesinde önemlidir. Veri toplama işleminde çerçevenin ilk aşamasında, özellikler, şarj-deşarj süreçleri sırasında gerilim, kapasite, sıcaklık ve IR gibi bilgi veren parametrelerin değişim desenlerini analiz ederek elde ediliyor (Fei vd., 2021). Bu sayede SOH, SOC tahmin algoritmalarının farklı alanlarda kullanılan batarya verileri ile de çalışması beklenir.

(Widodo vd., 2021) deşarj geriliminin örnekleme entropi (SampEn) özelliğini kullanarak bir pil SOH tahmin yaklaşımı önerdi. SampEn, bir zaman serisinin öngörülebilirliğini hesaplamak ve bir veri kümesinin düzenliliğini ölçmek için algoritmaları kullanarak bir pil SOH göstergesi olarak kullanılabilir. İki ML algoritması geliştirildi, bunlar destek vektör makinesi (SVM) ve ilgili vektör makinesiydi (RVM), burada SampEn girdi ve SOH tahmin edilmesi gereken hedef vektördü. Hem SVM hem de RVM'nin SOH tahmini açısından iyi performans sergilediği bulundu.

(Tran vd., 2021) çalışması incelendiğinde ise SOH ve SOC tahmini için dört regrasyon yöntemi kullanılıp sonuçları analiz edilmiştir. Bunlar yardımcı vektör makine (SVM), rastgele orman regrasyonu (ROR), K- en yakın komşu (KNN) ve karar ağacı regrasyon (KAR) yöntemleridir.

Yapılan SOH, SOC batarya tahmin çalışmaları gelecekte, önerilen yöntem, gerçek zamanlı pratik işletmede gerçek bozulmaya etki eden fizik tabanlı denklemlerin iç parametrelerini adaptif olarak güncelleyen bir çevrimiçi yöntem düşünülerek genişletilebilir (Choi vd., 2019). Aynı zamanda, (Venugopal vd., 2021) çalışması gösteriyorki SOH, SOC tahminleri için genel bir çalışma ortamı ya da büyük çaplı uygulamalar yapmadan makine öğrenmesi entegresi çok basit ve kullanışlıdır. Başka bir kullanım alanı olan BMS kullanarak makine öğrenmesi ile bataryayı optimize bir stratejiyle şarj etme yöntemi, bataryanın performansını etkilemeden ne kadar süreyle şarj edilip deşarj edilebileceğini tahmin edebilir (Thomas, 2021).

Daha farklı bir çalışma olan (Huang vd., 2017) ise hesaplamalar için birim zamandaki gerilim düşüş hesapları değiştirmiş ve bu parametrelerin SOHve SOC için daha iyi bir sonuç verdiği gözlemlenildiği bahsedilmektedir. (Chemali vd., 2017) çalışmasında ise sadece derin öğrenme modelleri üzerinde çalışmalar yapılıp bu çalışmaların daha iyi sonuçlar verdiği sonucu çıkarılmıştır.

(Chandran vd., 2021) çalışmasında ise önerilen makine öğrenimi modelleri ile gerilim ve akım gibi giriş özelliklerinin SOC tahminine olan non-lineer haritalanması analiz edilmektedir. Makine öğrenimi algoritmaları, non-lineer verileri daha iyi işlemeleri nedeniyle batarya SOC'unun tahmin edilmesi için seçilmiştir. İncelenen çalışmalar aynı zamanda algoritmaları eğitmek ve doğrulamak için kullanılan verilerin toplanması ve hazırlanmasının önemini ve zorluğunu vurgulamıştır; veri tabanlı algoritmalar kullanılırken bu kritik ve zorlayıcı bir görevdir. Veri toplama süreci, özellikle SOH tahmini amaçlandığında, aylar veya yıllar sürebilir (Carlos vd., 2020).

SOC tahmininin doğruluğunun, modelleme eksiklikleri, parametrik belirsizlikler, sensör hataları ve ölçüm gürültüsü gibi faktörlerden etkilenebileceği sonucuna varılabilir. Ayrıca, pil performansını etkileyen başka faktörler de vardır, bunlar arasında öz-deşarj, yaşlanma etkileri, hücreler arasındaki dengesizlik, kapasite azalması ve sıcaklık etkileri bulunur. Hangi yöntem olursa olsun, pil modellemesinde doğruluk ile hesaplama karmaşıklığı arasında her zaman bir denge bulunmalıdır (Barrera vd., 2017).

Bu çalışmada, elektrikli araçların tarihsel gelişimi, sınıflandırılması, şarj sistemleri, elektrik motorları, dönüştürücü yapıları, şarj teknolojileri, şarj standartları ve Türkiye'deki şarj istasyonlarının durumu gibi konular ayrıntılı bir şekilde incelenmiştir. Çalışmanın analiz kısmında ise PYTHON scikit-learn kütüphanesi kullanılarak makine öğrenmesi ile EA batarya verileri temel olarak altı ve türleri ile birlikte on regrasyon yöntemi kullanılarak SOH ve SOC tahminleri yapılmıştır. Sonuçları R-kare ve RMSE yöntemleri ile analiz edilmiştir.

TOGG aracının seri üretime geçmesiyle birlikte gerçekleştirilen bu çalışma, elektrikli araçlarla ilgili farkındalık oluşturmayı ve motivasyon sağlamayı amaçlamaktadır. Özellikle, yatırım maliyetlerini düşüren ve güç sistemine birçok açıdan fayda sağlayan V2G-G2V teknolojilerine geniş bir yer verilmeye çalışılmıştır. Bu çalışmanın yanı sıra, elektrikli araçların çevresel etkileri, enerji verimliliği, şebekeye entegrasyonu ve gelecekteki potansiyeli gibi konuların da ele alınması önemlidir. Elektrikli araçlar, sürdürülebilir ulaşım alanında önemli bir rol oynamaktadır ve enerji dönüşümü sürecinde büyük bir potansiyele sahiptir. Gelecekte, elektrikli araçların yaygınlaşmasıyla birlikte daha gelişmiş şarj altyapısı, batarya teknolojileri ve enerji yönetimi sistemleri gibi alanlarda ilerlemelerin yaşanması beklenmektedir. Bu çalışma, Türkiye'nin elektrikli araç sektöründeki gelişimine katkı sağlayacak bir kaynak olarak önemli bir yer tutmaktadır ve güncel literatür, son gelişmeler doğrultusunda elektrikli araçların tüm bileşenleri ve teknolojileriyle ilgili Türkçe kaynaklara katkı sağlamak amacıyla hazırlanmıştır.

2. ELEKTRİKLİ ARAÇLARIN TARİHSEL GELİŞİMİ VE SINIFLANDIRILMASI

Elektrikli araçlar, 1832-1839 yılları arasında Robert Andersen tarafından geliştirilen bir prototiple başlayarak, zaman içinde önemli bir evrim geçirmiştir. 1835 yılında, Prof. Stratingh tarafından New York'ta şehir taksileri olarak ticari olarak kullanılmaya başlanan ilk binek elektrikli araç, dönemin öncü bir başarısı olarak kaydedilmiştir (Chan, 2013; Muratoğlu, 2022).

Elektrikli araç teknolojisinin ilerlemesi, 1842 yılında Thomas Davenport ve Robert Davidson'ın bataryalı bir araç üretmeleriyle ivme kazanmıştır (Demirok vd., 2022). Daha sonra, 1859 yılında icat edilen şarj edilebilir bataryalar, elektrikli araçların gelişiminde önemli bir adım olmuştur. İlerleyen yıllarda, hibrit araçlar da ortaya çıkmıştır. Bu dönemde, elektrikli araçlar içten yanmalı motorlu araçlardan daha yaygın bir şekilde kullanılmıştır, özellikle ABD'de (Demirok vd., 2022).

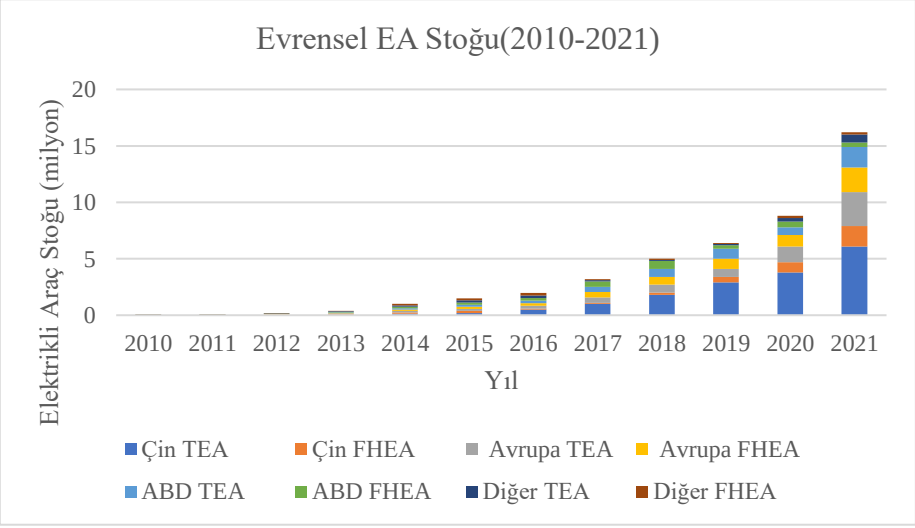
Ancak, 1920-1960 yılları arasında petrol fiyatlarının düşmesi, içten yanmalı motorlu araçlarda yapılan geliştirmeler, marş motorunun icadı ve araç maliyetlerinin düşmesi, elektrikli araçların popülerliğini azaltmıştır (Demirok vd., 2022). Elektrikli araçlar özellikle şehir içinde kısa mesafelerde konforlu ve güvenli bir sürüş deneyimi sunmuş olsada, uzun mesafelerde kullanılmaları ve zorlu yol koşullarında içten yanmalı motorlu araçlara kıyasla daha az etkili olmaları nedeniyle bu dönemde talep azalmıştır (Lambrecht, 2021; Matulka, 2014).

Sonraki yıllarda, elektrikli araç teknolojisi 1990'lara kadar önemli bir ilerleme kaydetmemiştir. Fakat 1960'ların sonları ve 1970'lerin başlarında artan petrol fiyatları, benzin sıkıntısı ve çevre koruma endişeleri, elektrikli araçlara olan ilgiyi artırmıştır (Chan, 2013). Bu dönemde devletler, petrol bağımlılığını azaltma ve yerli enerji kaynaklarını keşfetme konusunda adımlar atmaya başlamış ve teşvikler vermeye başlamıştır (Chan, 2013). Bu süreçte birçok otomobil üreticisi alternatif yakıtlı araçları, elektrikli araçlar da dahil olmak üzere araştırmaya başlamıştır (Matulka, 2014; Chan, 2013; Yong vd., 2015). 1990'lı yıllarda, yeni geliştirilen batarya teknolojileriyle birlikte elektrikli araçlar büyük bir dönüşüm yaşamıştır. 2000'li yıllara gelindiğinde seri hibrit elektrikli araçlar üretilmeye başlanmış ve bu alanda önemli bir adım atılmıştır.

Tesla markası, 2008-2009 yıllarında Roadster modeliyle elektrikli araç piyasasına girdi. Bu model, tek şarjla uzun mesafe kat edebiliyordu (Demirok vd., 2022). Tablo 2.1'de, günümüzde satılan çeşitli elektrikli araçların azami hız, model ve menzil bilgileri verilmiştir (Eğin ,2019).

Tablo 2.1. Elektrikli Araçların Tarihi ve Özellikleri

Yıl	**Menzil(km)**	**Azami Hız**	**Model /Marka**
1899–1915	80 km	23 km/s	Baker Electric
1902–1912	48- 128 km	33 km/s	Studebaker Electric
1907–1939	130 km	32 km/s	Detroit Electric
1958–1960	97–105 km	64 km/s	Henney Kilowatt
1974–1982	65 km	80 km/s	Sebring-Vanguard Citicar
1996–2003	255 km	129 km/s	General Motors EA1
1997–1999	130–175 km	130 km/s	Honda EA Plus
1997–2002	140 km	126 km/s	Toyota RAV4 EA
2001–2012	80 km	80 km/s	REVAi
2008–2012	355 km	201 km/s	Tesla Roadster
2009–	160 km	110 km/s	Mitsubishi i MiEA
2010–	175 km	150 km/s	Nissan Leaf
2011–	70 km	130 km/s	Renault Kangoo Z.E.
2012–	560km	249 km/s	Tesla Model S
2013–	160 km	145 km/s	Renault Zoe
2013–	130 -160 km	150 km/s	BMW i3
2017–	383 km	146 km/s	Chevrolet Bolt
2017–	335-500 km	209 km/s	Tesla Model 3
2019-	323 km	260 km/s	Porsche Taycan
2021-	547 km	412 km/s	Rimac Nevera
2021-	840 km	378 km/s	Lucid Air
2022-	400 km	320 km/s	Lotus Evija
2022-	785 km	220 km/s	Mercedes-Benz EQS



Şekil 2.1. Piyasada Olan Elektrikli Araç Sayısı (TEA: Tam EA, FHEA: Fişli Hibrit EA) -(International Energy Reviews, 2022)

Elektrikli araçlar, 2012 yılında dünya genelinde yaklaşık 120 bin adet satılırken, 2021 yılında bu sayı bir haftada yakalanmıştır. 2021 yılında ise dünya genelinde yaklaşık 6,6 milyon elektrikli araç satılmıştır. Elektrikli araçların dünya genelindeki toplam sayısı 2021 yılı itibarıyla 16,5 milyonu geçmiştir (International Energy Reviews, 2022). Covid-19 salgını nedeniyle 2020 yılında otomobil satışları %16 azalırken, elektrikli araç satışları %43 artmıştır (Demirok vd., 2022). Elektrikli araçlar, 2021 yılında dünya genelindeki araç satışlarının %9'unu oluşturmuştur. Elektrikli araç model sayısı ise 2021 yılı itibarıyla 450'yi aşmıştır (International Energy Reviews, 2022).

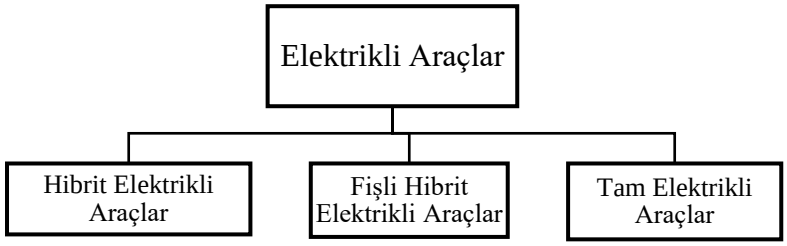
Türkiye'de ise elektrikli araç satışlarının pazar payı, 2021 yılı Ocak-Ekim döneminde %0,4 iken, 2022 yılı aynı döneminde %1,1'e çıkmıştır. Tablo 2.2'de bu veriler görülebilir. Türkiye'de satılan araçların %9'u 2021 yılında hibrit elektrikli araçlar ve tam elektrikli araçlardan oluşurken, bu oran 2022 yılında %10,9'a yükselmiştir. Türkiye'nin yerli elektrikli aracı TOGG'un üretim bandından inmesi ve 2023 yılında piyasaya sürülmesi planlanmaktadır. TOGG'un yerlilik oranı %51 iken, bu oranın 2025'ten sonra %68'e çıkması hedeflenmektedir (Demirok vd., 2022). TOGG'un öne çıkan özellikleri arasında şarj süresinin kısa olması, emisyon salınımının olmaması, internet bağlantısının sürekli olması ve otomatik sürüş yeteneği bulunmaktadır (Demirok vd., 2022). Ford Otosan'ın Kocaeli fabrikasında tam elektrikli araçlar için seri üretime geçeceği ve Koç Holding'in Volkswagen AG ile iş birliği yaparak Kocaeli/Gölcük tesislerinde yeni nesil ticari elektrikli araçlar üreteceği duyurulmuştur. TÜBİTAK da yerli elektrikli araçların geliştirilmesi ve üretilmesi için önemli bileşenler üzerinde çalışmalar yürütmektedir (Demirok vd., 2022).

Tablo 2.2. Ülkemizdeki Elektrikli Araç Pazar Payları ve Satışları (Erce, 2022)

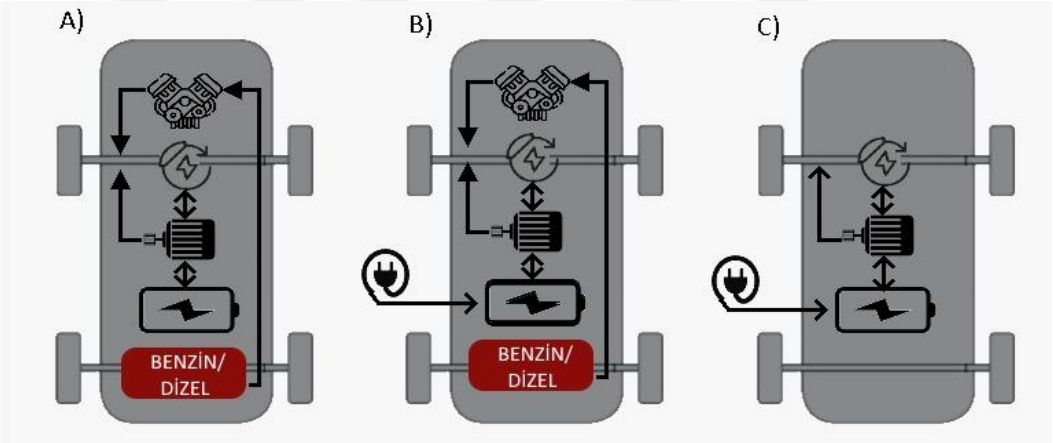
MOTOR TİPİ	**Ocak-Ekim 2021**		**Ocak-Ekim 2022**		**DEĞİŞİM**
	Pay	Adet	Pay	Adet	
Benzin	65,7%	312.193	70,8%	316.109	1,3%
Dizel	20,4%	97.110	16,7%	74.677	-23,1%
Gaz	4,9%	23.202	1,6%	7.042	-69,6%
Hibrit	8,6%	40.820	9,8%	43.897	7,5%
Elektrik	0,4%	1.987	1,1%	4.939	148,6%
Toplam	100%	475.312	100%	446.664	-6%

2.1. ELEKTRİKLİ ARAÇLARIN SINIFLANDIRILMASI

Elektrikli araç teknolojileri, Şekil 2.1'de de görülebileceği gibi, üç farklı tasarıma sahiptir. Bunlar hibrit elektrikli araçlar (HEA), Fişli HEA (FHEA) ve Tam elektrikli araçlardır (TEA). Elektrikli araç teknolojilerinin genel iç yapıları ise Şekil 2.2'te gösterilmiştir (Yong vd., 2015; Arrgo, 2022).



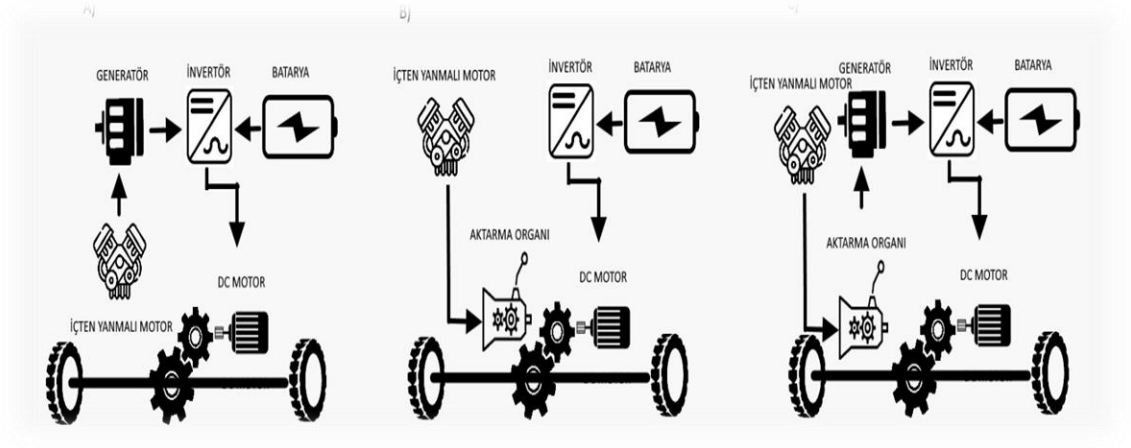
Şekil 2.2. Elektrikli Araç Çeşitleri



a) b) c)

Şekil 2.3. Elektrikli Araç Çeşitlerinin İç Tasarımları:
a) HEA b) FHEA c)TEA (Arrgo, 2022)

Bir hibrit elektrikli araç , Şekil 2.3 (a)'da da görüleceği üzere, iki farklı güç kaynağı ile çalışmaktadır. Bunlardan biri benzinli veya dizel yakıtlı bir içten yanmalı motor, diğeri ise kimyasal piller ile desteklenen bir elektrikli motorudur. HEA, içten yanmalı motordan yüksek çekiş gücü ve hızlı tepki süresi gibi avantajlar elde ederken, elektrikli motordan da hızlı ivmelenme ve sessiz çalışma gibi özellikler kazanmaktadır. Bu araçlar şebekeye doğrudan bağlanamazlar. HEA'taki batarya, içten yanmalı motordan gelen elektrik gücü ile şarj olmaktadır. HEA'ın ilk tasarımı, elektrik motorunun küçük boyutlu olduğu ve genellikle içten yanmalı motora destek vermek ve performansını arttırmak için kullanıldığı hafif HEA olarak adlandırılır (Arrgo, 2022; İşen ve Tarlak, 2018).



a) b) c)

Şekil 2.4. a) Seri HEA b) Paralel HEA c) Seri-Paralel HEA (Hybrid Ev Types, 2022)

Şekil 2.3 (b)'de Fişli Hibrit Elektrikli Araç (FHEA) teknolojisi görülmektedir. Bu teknoloji, araç bataryasının harici bir şarj cihazından şarj edilebilmesini sağlar. Bu teknolojinin amacı aracın menzilini uzatmak ve yakıtın daha verimli kullanılmasını sağlamaktır. FHEA'lar, standart araçlara göre daha az sera gazı salmaktadır. Ancak, FHEA'ların üretim maliyeti yüksek olabilir ve batarya yönetim sistemi için karmaşık yazılımlara gereksinim duyabilir (İşen ve Tarlak, 2018). FHEA'lar 120 V ev priziyle birkaç saatte şarj edilebilirken, 240 V ev şarj cihazı veya genel şarj cihazıyla bir ila dört saat arasında şarj edilebilir. Bugünün teknolojisi ile bataryanın 80%'ine kadar hızlı şarj otuz dakikadan daha kısa zamanda yapılabilir (Yong vd., 2015; International Energy Reviews, 2022). Şekil 2.3 (c)'de Tam Elektrikli Araç (TEA) bulunmaktadır. TEA, sadece elektrikle çalışan bir araçtır. TEA'nın içinde benzinli bir motor yoktur; bunun yerine dışarıdan bir kaynaktan şarj edilen yüksek kapasiteli şarj edilebilir batarya paketleri vardır. Şarj edilebilir piller, TEA'nın elektrik motorunu ve elektronik bileşenlerini çalıştırması için kimyasal enerji sağlar (International Energy Reviews, 2022). Aynı zamanda bir TEA olan otonom araçlar, elektrikli araç sektöründe en yeni ve üzerinde en çok çalışan teknolojidir. Otonom araçlar ile fabrikaların neredeyse insansız çalışma ortamlarına dönüşmesi sağlanmaktadır. Otonom araçlar batarya hızlı şarj sistemleri ile neredeyse aralıksız çalışma verimliliğine sahip TEA'lardır. Ayrıca elektrikli araç kategorisinde yakıt hücreli elektrikli araçlar (YHEA) da yer almaktadır. YHEA'lar hidrojen yakıtını kullanır ve elektrik motorunun çalışması için gerekli olan enerjiyi hidrojen depolarından alır. Bu araçlarda elektrik enerjisi, hidrojenin elektroliz işlemiyle üretilir.

YHEA'lar, yapısı itibarıyla seri hibrit elektrikli araçlara benzerler ve hidrojen tankı ile yakıt hücrelerini yakıt deposu ve içten yanmalı motor yerine kullanırlar (Muratoğlu vd., 2016; Yong vd., 2015; International Energy Reviews, 2022). HEA çeşitleri Şekil 2.4'te bahsedilmiştir. Paralel, seri ve seri-paralel olarak üç farklı HEA konfigürasyonu vardır. Şekil 2.4 (A)'da seri HEA görülmektedir, bu konfigürasyonda tüm tahrik gücü elektrik motorundan sağlanır. İçten yanmalı motor (İYM) sadece bataryaları şarj etmek için kullanılır ve yakıt ekonomisi ve en iyi verim için optimize edilir. Bu konfigürasyonda, aktarma organına gerek duyulmaz, çünkü sadece elektrik motoru çalışır (İşen ve Tarlak, 2018; Ateş, 2022).

Şekil 2.4 (B)'de paralel HEA dan bahsedilmiştir, bu konfigürasyonda tahrik gücü hem İYM hem de elektrik motorundan sağlanabilir veya sadece biri ile sağlanabilir. Bu yapı, maliyetli ve motor güç denetimi açısından karmaşıktır (İşen ve Tarlak, 2018; Ateş, 2022). Şekil 2.4 'de seri-paralel HEA görülmektedir, bu ayarlarda tahrik gücü hem yalnızca elektrik motoru ile sağlanabilir, hem de yalnızca İYM ile sağlanabilir.

Ayrıca, her iki güç kaynağı da birlikte çalışarak tahrik sağlayabilir. Seri ve paralel konfigürasyonların birleştirilmesiyle, iki yapının avantajları elde edilirken dezavantajları giderilmeye çalışılmıştır (İşen ve Tarlak, 2018; Ateş, 2022). Bu konfigürasyonların dışında, kompleks HEA olarak adlandırılan bir yapı da mevcuttur. Seri-paralel HEA, Kompleks HEA yapısına yakın bir yapıya sahiptir (Muratoğlu vd., 2016). Tablo 2.3'de 2023 yılında piyasada olan bazı elektrikli araç modelleri, batarya kapasitesi, menzil, 100 km/s sürat süresi, azami hız, motor gücü, şarj tipi ve şarj süresi gibi özellikleriyle listelenmiştir (Electric Vehicle Database, 2022).

Tablo 2.3. 2023 Yılında Elektrikli Araçların Marketi ve Özellikleri (Electric Vehicle Database, 2022)

EA MODEL	EA MARKA	0-100 km/s HIZLANMA (s)	MENZİL (KM)	AZAMİ HIZ (KM/s)	MOTOR GÜCÜ (kW)	BATARYA KAPASİTESİ (kWh)	ŞARJ SÜRESİ %10-80 (DK)	OFF - BOARD	ON - BOARD
U5	AİWAYS	7.5	410	150	150	63	36	DC 90 kW	AC 11 kW
OWL	ASPARK	1.8	400	400	1480	69	80	DC 44 kW	AC 11 kW
E TRON GT	AUDİ	4.1	488	245	390	83.7	22	DC 270 kW	AC 11 kW
Q4 E TRON	AUDİ	9.0	341	160	125	51.5	33	DC 110 kW	AC 7.2 kW
İ4	BMW	6.0	490	190	210	66	31	DC 180 kW	AC 11 kW
İ7	BMW	4.7	625	240	400	106	34	DC 195 kW	AC 11 kW
E BERLİNGO	CİTROEN	11.7	280	130	100	50	28	DC 100 kW	AC 11 kW
E-C4 X	CİTROEN	9.5	360	150	100	50	28	DC 100 kW	AC 11 kW
500E	FİAT	9.5	190	135	70	23.8	26	DC 50 kW	AC 11 kW
F-150	FORD	N/A	386	177	337	108	46	DC 150 kW	AC 11,3 kW
Mustang Mach-E	FORD	6.3	400	180	198	75.7	43	DC 115 kW	AC 11 kW
GV70	GENESIS	4.2	455	230	360	77.6	18	DC 230 kW	AC 11 kW
E	HONDA	9.0	222	145	100	35.5	34	DC 50 kW	AC 6.6 kW
IONİQ	HYUNDAİ	9.9	311	165	100	41	48	DC 50 kW	AC 7,4 kW
KONA	HYUNDAİ	9.9	305	155	100	42	49	DC 50 kW	AC 11 kW
I-PACE	JAGUAR	10.1	470	200	294	90	47	DC 100 kW	AC 11 kW
EV6	KİA	8.5	394	185	125	58	20	DC 175 kW	AC 11 kW
RZ 450E	LEXUS	5.6	400	160	230	71.4	31	DC 150 kW	AC 11 kW
0	LİGHTYEAR	10.0	625	160	130	63	44	DC 75 kW	AC 22 kW
ELETRE	LOTUS	4.5	600	N/A	450	112	26	DC 250 kW	AC 22 kW
AİR	LUCİD	4.2	635	200	358	88	30	DC 200 kW	AC 19,2 kW
GRANTTOURİSMO	MASERATİ	2.7	N/A	320	560	72	18	DC 270 kW	AC 22 kW
EQC	MERCEDES- BENZ	5.1	462	180	300	86	38	DC 110 kW	AC 11 kW
EQS	MERCEDES- BENZ	6.6	609	210	215	96	30	DC 175 kW	AC 22 kW
EQE	MERCEDES- BENZ	7.3	639	210	180	96	29	DC 175 kW	AC 22 kW
ARİYA	NİSSAN	7.5	403	160	160	65	31	DC 130 kW	AC 22 kW
LEAF	NİSSAN	7.9	285	144	110	40	40	DC 50 kW	AC 6.6 kW
E-2008	PEUGEOT	9.0	341	150	100	50	33	DC 100 kW	AC 11 kW
E-208	PEUGEOT	8.3	362	150	100	50	33	DC 100 kW	AC 11 kW
TAYCAN SPORT TOURİSMO	PORSCHE	5.4	492	230	350	93.3	19	DC 270 kW	AC 22 kW
ZOE	RENAULT	11.4	395	135	80	55	58	DC 50 kW	AC 22 kW
MODEL S	TESLA	3.2	652	250	500	100	27	DC 250 kW	AC 16,5 kW
MODEL Y	TESLA	6.9	455	217	220	60	33	DC 175 kW	AC 11 kW
ID5	VOLKSWAGEN	10.4	512	160	128	82	33	DC 130 kW	AC 11 kW
XC40 RECHARGE	VOLVO	7.4	423	160	170	69	33	DC 150 kW	AC 11 kW

2.1.1. Otonom Elektrikli Araçlar

Otonom elektrikli araçlar (OEA) birkaç yıldır var, ancak otomotiv endüstrisinde son zamanlarda önemli bir ilgi görmeye başladılar. Bu araçlar tamamen elektrikli ve herhangi bir insan müdahalesi olmadan kendi kendine hareket edebilmektedir. Otonom araç konsepti, radyo kontrollü bir arabanın tanıtıldığı 1920'lere kadar uzanmaktadır. Ancak, 1980'lere kadar bu alanda gerçek bir ilerleme kaydedilememiştir. OEA'lar başlangıçta keşif ve uzaktan kumandalı patlamalar için kullanıldıkları askeri amaçlar için tasarlanmıştı. İlk tam otonom elektrikli araç, 1990'larda Carnegie Mellon Üniversitesi'ndeki bir ekip tarafından geliştirildi. Navlab adı verilen araç, sensörler, kameralar ve bilgisayarlı görü teknolojisinin bir kombinasyonunu kullanarak açık yolda kendi kendini sürebilmekteydi (Gringer, 2020).

O zamandan beri, birkaç otomobil üreticisi otonom elektrikli araçlar geliştirmek için çalışmaktadır. Tesla, çoğu sürüş durumunun üstesinden gelebilen Otopilot sistemi ile bu alandaki en önde gelen şirketlerden biridir. Google'ın artık Waymo olarak bilinen sürücüsüz araba projesi on yılı aşkın bir süredir geliştirilmektedir ve şirket tamamen otonom bir araç yaratma konusunda önemli ilerleme kaydetmiştir. Uluslararası Enerji Ajansı'na göre, yollardaki elektrikli araç sayısının 2030 yılına kadar 145 milyona ulaşması bekleniyor (PWC, 2023).

Otonom elektrikli araçların geliştirilmesinin karşılaştığı ana zorluklardan biri, bu sensörlerden gelen verileri yorumlamak için gelişmiş sensör teknolojisine ve karmaşık algoritmalara duyulan ihtiyaçtır. NVIDIA ve Mobileye gibi şirketler, sürücüsüz arabaların çevrelerini algılamasını ve güvenli bir şekilde gezinmesini sağlamak için



Şekil 2.5. Taşıyıcı Otonom Elektrikli Araç (İnovasyon Mühendislik, 2023)

gelişmiş sensörler ve işlem birimleri geliştiriyor (Mo vd., 2022). Diğer bir zorluk da elektrikli araçlara güç sağlamak için güvenilir pil teknolojisinin geliştirilmesidir.

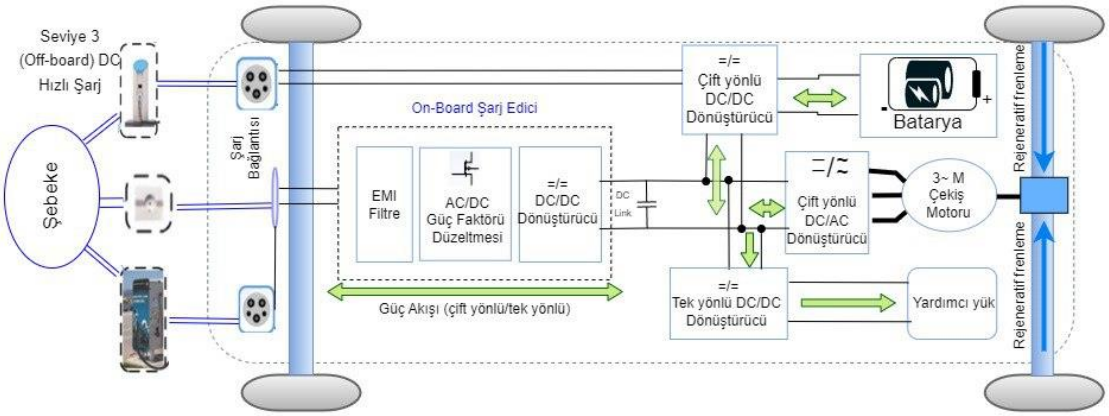
Pil teknolojisi, daha yüksek enerji yoğunluğu ve daha hızlı şarj süreleri ile hızla gelişiyor ve elektrikli araçları benzinle çalışan arabaların yerini almak için giderek daha uygun hale getiriyor. Bu ilerlemelere rağmen, otonom elektrikli araçların yollarımızda ortak bir görüş haline gelmesinden önce üstesinden gelinmesi gereken birçok zorluk var. Teknoloji rafine edilmeli ve kitlesel kabul için uygun hale getirilmeli ve güvenli çalışmalarını sağlamak için düzenleyici çerçeveler devreye sokulmalıdır.

Ek olarak, otonom elektrikli araçlara halkın kabulü ve güveni, eğitim ve bilinçlendirme kampanyaları yoluyla ele alınmalıdır. Sonuç olarak, daha temiz, daha güvenli ve daha verimli mobilite potansiyeli sunan otonom elektrikli araçlar, ulaşımın geleceğidir. Otonom elektrikli araçların tarihi, askeri uygulamalara dayanmaktadır, ancak artık günlük yaşamlarımızı dönüştürmeye hazırdırlar. Devam eden araştırma ve geliştirmelerle, yakında kendi kendine giden arabaların istisna değil norm haline geldiği bir dünya görülebilir. Son yıllarda, karbon emisyonlarını azaltma ve yol güvenliğini artırma potansiyelleri nedeniyle OEA'lara artan bir ilgi var. Teknolojideki gelişmelerle birlikte, otonom elektrikli araçların yakın gelecekte yollarımızda giderek yaygınlaşması muhtemeldir (Kyoungseok; Nguyen ve Kanghyun,2020).

3. ELEKTRİKLİ ARAÇ ŞARJ SİSTEMİ DEVRELERİ

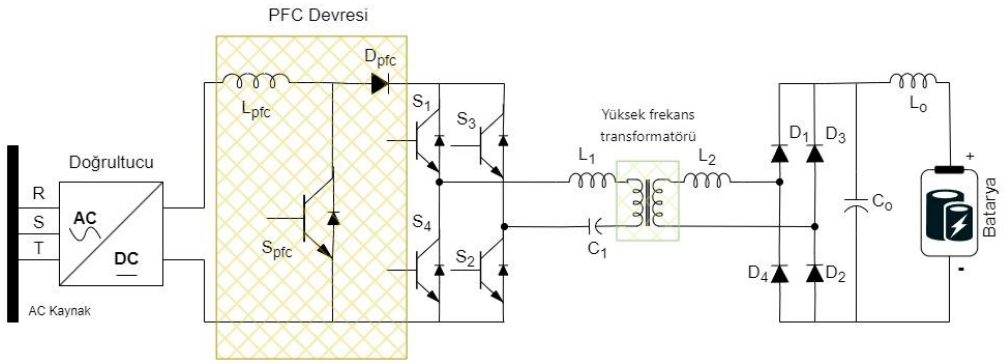
Elektrili araçların bataryalarının şarj edilmesi için tercih edilen dönüştürücüler, araçların gelişimine ve yaygınlaşmasına katkı sağlar. Dönüştürücülerin özellikleri, batarya ömrünü ve şarj süresini etkileyerek önemli bir rol oynar. EA'ların batarya tasarımında, yüksek verimlilik, düşük maliyet, düşük şebeke yükü ve düşük kayıplar gibi özelliklere özen gösterilmelidir (Goel vd., 2021; Türksoy vd., 2018). EA'larda şarjın on-board veya off-board yapılmasına göre batarya devreleri farklılık gösterebilir. Literatürde, on-board ve off-board şarj durumları için tek veya çift evreli şarj cihazlarının tasarlandığı görülmektedir (Türksoy vd., 2018). Standart Elektrikli araç şarj devreleri genellikle bir evreli AC-DC dönüştürücüsü vardır. Ancak hızlı DC şarj için arka uçta DC-DC dönüştürücü bulunmaktadır. Yüksek güç değerlerinde tek evreli şarj topolojisi yeterli olmayabilir, bu nedenle yüksek güç değerlerinde çift evreli şarj topolojileri daha uygun olabilir (Türksoy vd., 2018). Hızlı AC şarj, elektrik şebekesi üzerindeki alternatif akımın gücünün aracın içindeki bir çevirici aracılığıyla doğru akıma veya direkt akıma dönüştürülmesiyle gerçekleşen bir şarj yöntemini ifade eder Şarj topolojileri, güç akışının tek yönlü veya çift taraflı olmasına göre ayrılabilir. Eğer bir şarj devresinde güç akışı sadece EA'ya doğru ise, bu şarj devresine tek yönlü şarj edici denir. Ancak şarj edici devre, iki yönlü güç akışına ve dolayısıyla V2G kullanımı izin veriyorsa, bu şarj devresine çift taraflı şarj edici denir (Habip vd., 2018). Tek yönlü ve çift yönlü şarj edici devreler aynı zamanda izoleli veya izolesiz olarak da sınıflandırılabilir. İzoleli şarj edici devreler, düşük ve orta güçlü EA kullanımı için uygunken, yalıtımsız şarj edici devreler orta ve yüksek güçlü Elektrikli araç çalışmaları için daha uygundur. Bu çalışmada sunulan bilgiler, EA'ların batarya şarj süreçlerinde kullanılan dönüştürücülerin önemini ortaya koymakta ve farklı şarj topolojileri hakkında bilgi vermektedir. Kaynaklara referans verilerek sunulan bilgiler, ilgili alanda yapılan araştırmalardan derlenmiştir. Şekil 3.1'de, on-board şarj edicinin genel yapısı verilmektedir. Şekil 3.2'de ise tek taraflı şarj devresi bir örnek sunulmaktadır (Habip vd., 2018; Lu vd., 2017; Yılmaz ve Krein, 2013). Bu örnekte, tipik bir tek taraflı şarj devresi, güç faktörü düzeltme (GFD, PFC) devresine sahip bir doğrultucuyu içermektedir (Lu vd., 2017; Khalid vd., 2022).

Bu şarj edici devre, akımın faz açısının ayarlanmasıyla şebekenin yerel reaktif gücünü ayarlama yeteneği sağlar (Khalid vd., 2022). Şekil 3.3, çift yönlü şarj devresi için iki farklı devreyi göstermektedir. Şekil 3.3 (a)'da yalıtımsız çift taraflışarj edici devrede, AC-DC çift yönlü bir dönüştürücü, şebeke güç faktörünü ayarlamak için kullanılırken, DC-DC çift yönlü dönüştürücü, batarya şarjı için çıkış akımı ve gerilim değişkeni ayarlamak sebebi ile kullanılmaktadır. DC-DC dönüştürücü, batarya şarj ederken gerilim seviyesini düşürürken, şebekeye güç aktarırken gerilim seviyesini yükseltmek için kullanılır. Şekil 3.3 (b)'de ise çift yönlü izoleli ikili aktif köprü şarj devresi bulunmaktadır (Yılmaz ve Krein, 2013). EA şarj cihazlarının iki yönlü güç aktarımına izin vermesi günümüzde önemli bir ilgi odağıdır. Bu yöntemle, EA'lar mobil enerji kökeni olarak işlev görebilmektedir. Fakat, bu iki yönlü enerji aktarımını sağlamak için akıllı ve karmaşık dönüştürücü yapılarına sahip gelişmiş kontrol sistemleri ihtiyaçtır (Habte, 2020). Şekil 3.4'de ise Elektrikli araçlar için tercih edilen dönüştürücü çeşitleri sınıflandırılmasını gösteren bir çizelge verilmiştir.

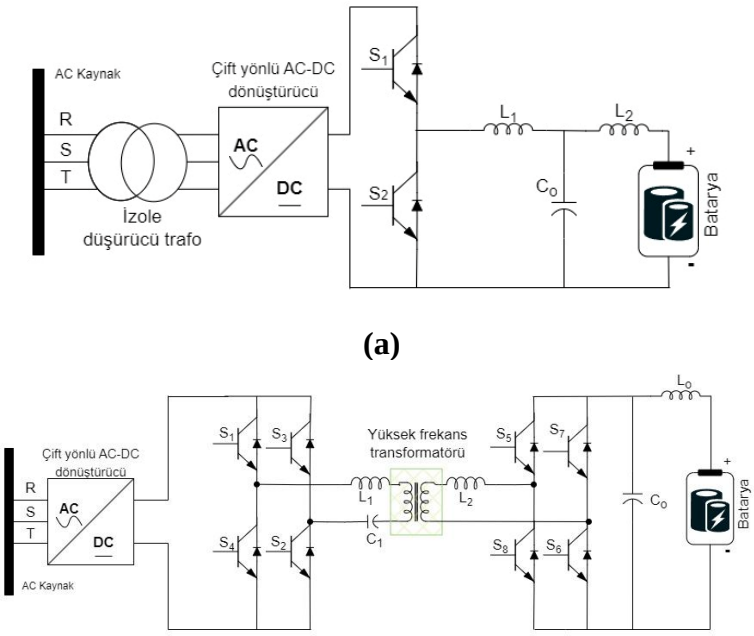


.

Şekil 3.1. Elektrikli Araçların Şarj Devresi (Türksoy vd., 2018; Yılmaz ve Krein,2013).



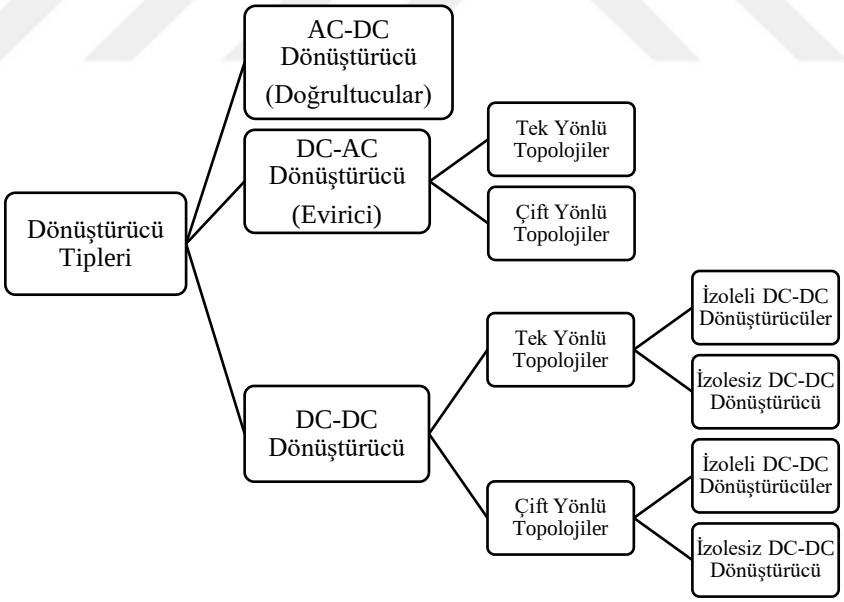
Şekil 3.2. TYTK Seri Rezonant Dönüştürücü Şarj Devresi (Khalid vd., 2022; Yılmaz ve Krein,2013).



(a)

(b)

Şekil 3.3. (a) Çift Yönlü Yalıtımsız iki bölgeli Şarj Edici (b) Çift Yönlü Yalıtımlı Dual Aktif Köprü Şarj Devresi (Khalid vd., 2022; Yılmaz ve Krein,2013).



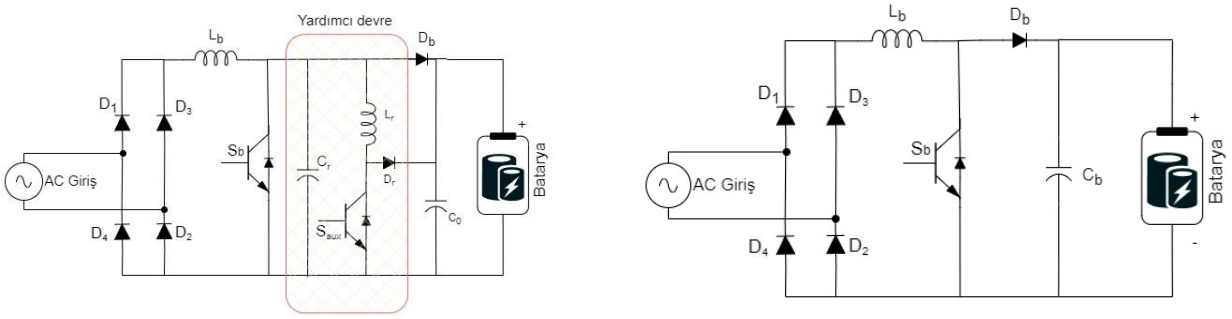
Şekil 3.4. EA Dönüştürücü Çeşitlerinin Sınıflandırılması

3.1. ELEKTRİKLİ ARAÇLARDA KULLANILAN İZOLESİZ DC-DC DÖNÜŞTÜRÜCÜ ÇEŞİTLERİ

Orta ve yüksek güç uygulamalarında izolesiz DC-DC dönüştürücüler sıkça tercih edilmektedir. Bu dönüştürücüler, basit yapısı, yüksek güç yoğunluğu ve kolay denetlenebilirlik gibi özellikleriyle dikkat çeker (Khalid vd., 2022; Patel vd., 2022). Standart DC-DC yükseltici dönüştürücüler ve aralıklı (interleaved) DC-DC dönüştürücüler, yüksek güç değerlerinde en yaygın kullanılan izolesiz DC-DC dönüştürücü çeşitleridir. Bu tür dönüştürücüler, kesintisiz güç kaynakları (KGK) ve hibrit elektrikli araçlar gibi teknolojilerde kullanılır. Devre şeması, batarya grubunun deşarj ve şarj işlemlerini kolaylaştırır (Patel vd., 2022).

3.1.1. Geleneksel Dc-Dc Yükseltici Dönüştürücü

Şekil 3.5 (b)'de standart yükseltici dönüştürücü topolojisi verilmiştir. Bu topoloji, güç faktörü düzeltme (GFD) uygulamalarında sıkça kullanılan basit bir tasarıma sahip bir dönüştürücüdür. Tek polariteli çıkış gerilimi, basit devre yapısı ve düşük maliyet gibi avantajları, bu devreyi FHEA ve EA şarj topolojileri için uygun bir alternatif yapmaktadır. Fakat, bu topolojinin bazı dezavantajları vardır. Yüksek elektrik gücü oluşmasında çıkış gerilimindeki bozulmayı azaltmak için büyük kapasitör ve büyük indüktör değerlerine gereksinim duyulması gibi faktörler bunlardan bazılarıdır (Khalid vd., 2022). Ayrıca, yüksek güç değerlerinde akım ve gerilimin kontrolü ve ölçümü engellemektedir. Geleneksel yapıda anahtarlamanın sıfır olmayan akım ve gerilim durumunda gerçekleşmesi, anahtarlama kayıplarını arttırmaktadır. Bu sorunları çözmek için Şekil 3.5 (a)'da gösterilen resonant dönüştürücü GFD devresidahil edilerek, dönüştürücünün hassas anahtarlaması sağlanır (Khalid vd., 2022; Aksoy vd., 2010).

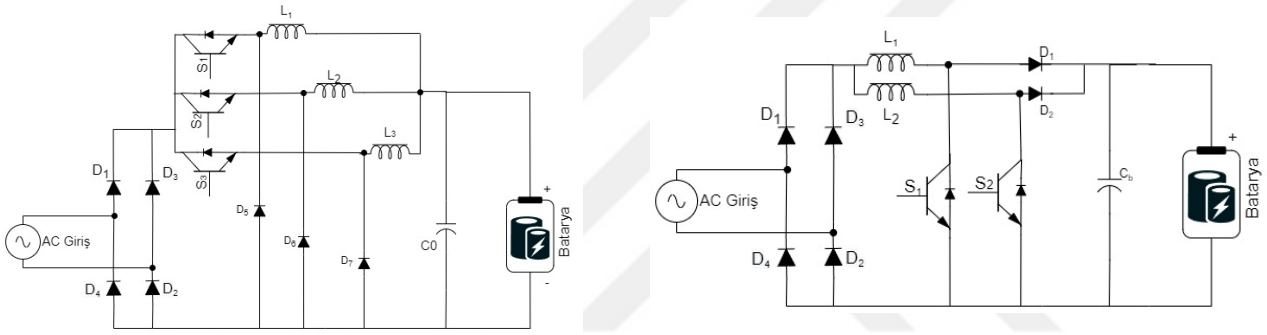


(a) **(b)**

Şekil 3.5. (a) Rezonant GFD Yükseltici Dönüştürücü (b) Standart Yükseltici Dönüştürücü Devresi (Khalid vd., 2022)

3.1.2. Aralıklı Yükseltici Dönüştürücü

Yüksek güç değerlerinde geleneksel yükseltici dönüştürücünün kısıtlamalarını ve dezavantajlarını ortadan kaldırmak ve performansını iyileştirmek için geliştirilen devre yapılarından biri de aralıklı yükseltici dönüştürücü (AYD)'dir. Bu devre yapısı Şekil 3.6 (b)'de görüldüğü gibi, iki yükseltici dönüştürücüyü 180 derece faz kayması ile paralel olarak çalıştırır. Aralıklı dönüştürücü n kanallı olarak tasarlanırsa, bu faz kayması dönüştürücü anahtarları arasında eşit olarak paylaştırılabilir. Bu sayede giriş akımının dalgalanması düşer ve çıkış geriliminin dalgalanması azalır (Khalid vd., 2022; Wu vd., 2016). Bu topoloji EA'larda Volt aracının on-board şarj edici devrelerinde General Motors firması tarafından tercihedilmektedir (Rivera vd., 2021).



(a) **(b)**

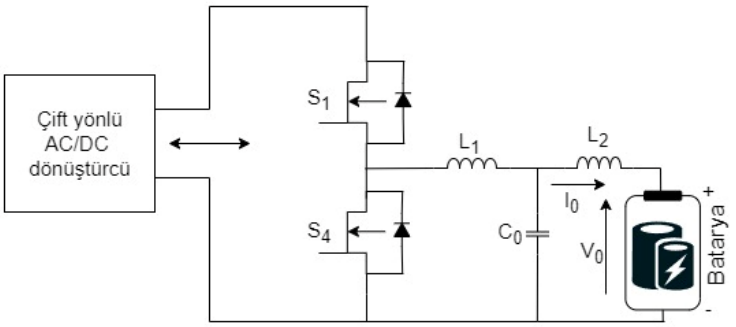
Şekil 3.6. (a) Aralıklı Düşürücü Dönüştürücü (b) Aralıklı Yükseltici Dönüştürücü (Khalid vd., 2022)

3.1.3. Aralıklı DC-DC Düşürücü Dönüştürücü

Bataryaları şarj etmek için kullanılan tek fazlı düşürücü dönüştürücüde DC bara gerilimi genellikle batarya gerilim aralığından yüksektir. Fakat yüksek akım uygulamalarında Alçaltıcı dönüştürücü büyük değerli bir indüktör gerektirir ki bu da indüktör akım dalgalanmalarını azaltmak için dönüştürücünün maliyetini ve boyutunu büyütür. Bu sebeple çok fazlı aralıklı alçaltıcı dönüştürücü Şekil 3.7 (a)'da görüldüğü gibi, farklı değerli indüktörler kullanarak dönüştürücü verimini yükseltebilir. Dönüştürücü çok faz modüllerini akım paylaşımı yapar (Kattel vd., 2020; Yodwong, 2019; Khalid vd., 2022)

3.1.4. İzolesiz İki Bölgeli Düşürücü-Yükseltici Dönüştürücü

Şekil 3.7'de izolesiz çift yönlü iki bölgeli Alçaltıcı-Yükseltici dönüştürücü topolojisi gösterilmiştir. Bu topoloji ile batarya hem şebekeden enerji çekerek şarj olabilir hem de V2G ilkesi ile bataryadaki enerjiyi şebekeye aktarabilir. Topoloji sadece iki anahtar içerdiğinden sistemin kontrolü kolaydır. Sistem batarya şarj ederken Alçaltıcı dönüştürücü modunda, batarya boşaltırken ise Yükseltici dönüştürücü modunda çalışır. Ancak topolojideki iki yüksek akım indüktörü ağır ve pahalı olabilir (Yılmaz ve Krein, 2013). Hyundai firması bu topolojiyi on-board şarj edicilerde kullanmaktadır. Buradaki amaç çift yönlü on-board şarj edicilerin araçtan cihaza (V2D) uygulamalarına olanak sağlamasıdır (Rivera vd., 2021; Kim vd., 2018).

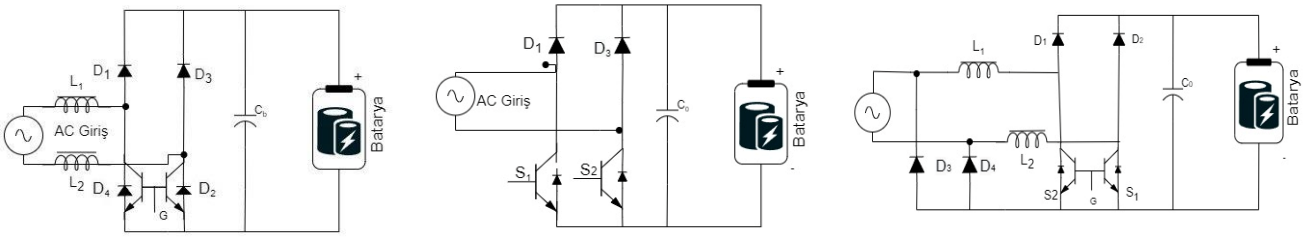


Şekil 3.7. Çift Yönlü Düşürücü-Yükseltici İki Bölgeli Dönüştürücü (Yılmaz ve Krein, 2013)

3.1.5. Köprüsüz ve Yarı Köprüsüz Yükseltici Dönüştürücü

Köprüsüz Yükseltici dönüştürücüler, giriş diyot devresinin neden olduğu ısı kaybı gibi problemleri çözerler. Bu dönüştürücülerde anahtarlar birbirine paralel bağlıdır (Khalid vd., 2022; Hu vd., 2019). Bu dönüştürücülerin dezavantajları başlangıç bozulmasının çok olması ve giriş geriliminin ölçülmesinin zor olmasıdır. Dual Yükseltici dönüştürücülerde ise anahtarlar birbirinden bağımsızdır. Bu yapı köprüsüz Yükseltici dönüştürücülerin bazı eksikliklerini giderir. Ancak giriş gerilimi ile ilgili ölçüm sorunu bu yapıda da devam eder (Khalid vd., 2022; Khan vd., 2020). Literatürde yarı köprüsüz Yükseltici dönüştürücüler hall etkili sensör ve rezistans yöntemi kullanarak akım ve gerilim ölçümünü hızlı bir şekilde yapabilmektedir (Khalid vd., 2022; Karpagavalli, 2017). Geleneksel Yükseltici dönüştürücüler FHEA ve EA çalışmalarında anahtarlama güç kaybına neden olmaktadır.

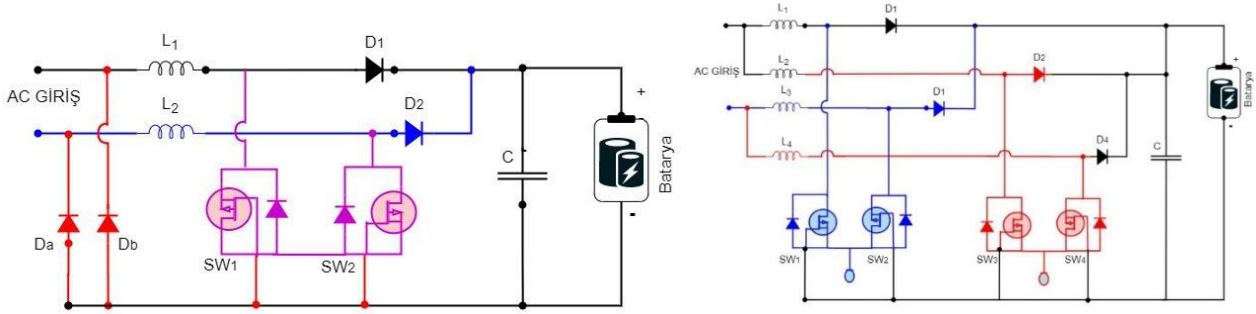
Anahtarlama kayıplarını azaltmak için yumuşak anahtarlama tekniği kullanıldığı daha önceki bölümlerde belirtilmişti. Bu teknik sayesinde anahtarlama frekansının yükseltilmesi bu topolojinin boyutunu ve soğutma ihtiyacını küçültür (Khalid vd., 2022; Karpagavalli, 2017).



(a) **(b)** **(c)**

Şekil 3.8. (a) Köprüsüz Yükseltici Dönüştürücü (b) Dual Yükseltici Dönüştürücü (c) Yarı köprüsüz Yükseltici dönüştürücü (Khalid vd., 2022)

Şekil 3.8 (a) ve (b)'de, köprü doğrultucu içermeyen ve yarı köprü doğrultucu içeren devrelerin hibrit çeşitleri sunulmaktadır (Musavi ve ark., 2013; Musavi ve ark., 2011). Şekil 3.9 (a)'da gösterilen köprüsüz aralıklı Yükseltici topolojisi, köprü doğrultucu kullanmamaktadır. Bu topoloji, akım dalgalanmasını azaltmakta ve indüktör boyutunu küçültmektedir. Şekil 3.9 (b) 'de gösterilen faz kaydırmalı yarı köprüsüz Yükseltici topolojisi ise, giriş akımındaki dalgalanmayı minimize etmektedir. Ayrıca, bu topoloji elektromanyetik girişim filtresi boyutunu da düşürmektedir (Musavi ve ark., 2013; Musavi ve ark., 2011).



(a) **(b)**

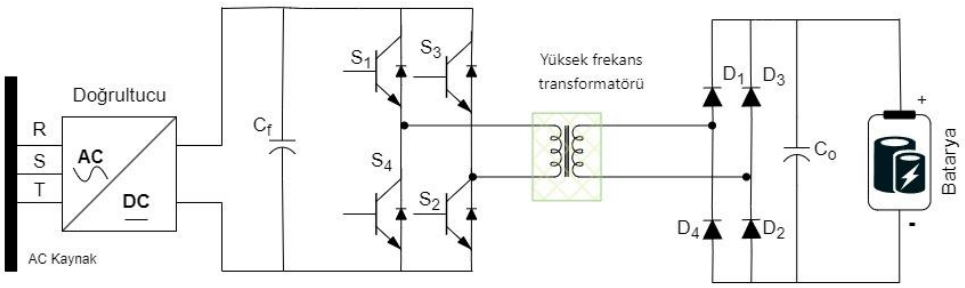
Şekil 3.9. (a) Köprüsüz Aralıklı Yükseltici Devresi (b) Faz Kaydırmalı Yarı Köprüsüz Yükseltici Devresi (Musavi vd., 2013; Musavi vd., 2011).

3.2. EA'LARDA KULLANILAN İZOLELİ DC-DC DÖNÜŞTÜRÜCÜ TÜRLERİ

Elektrikli araç (EA) uygulamalarında düşük ve orta güç seviyelerinde izole DC-DC dönüştürücüler sıkça kullanılırlar. Bu dönüştürücüler genellikle üç aşamadan oluşur: DC-AC, AC-DC ve DC-DC (Khalid ve ark., 2022). Bu aşamalardan ilki ve ikincisi, giriş ile çıkış arasında elektriksel bağlantıyı keserek izolasyon sağlar. Elektriksel izolasyon için ara AC kısmında bir yüksek frekanslı transformatör (YFT) kullanmak gerekir. YFT hem yüksek voltaj kazancı hem de galvanik izolasyon sunar (Patel, 2022). EA şarj çalışmalarında en çok tercih edilen izole DC-DC dönüştürücü çeşidi tam köprü izole DC-DC dönüştürücüdür (Khalid ve ark., 2022; Rivera ve ark., 2021).

3.2.1. Geleneksel Tam Köprü Dönüştürücü

Şekil 3.10'te izoleli tam köprü dönüştürücünün bir devresi gösterilmektedir. Bu topoloji, düşük ve orta güçlü EA uygulamalarında sıkça kullanılan izole DC-DC dönüştürücülerin bir örneğidir. Ayrıca, ara AC kısmında yer alan YFT sayesinde giriş voltajı yüksek oranda arttırılır ve galvanik izolasyon elde edilir. EA şarj uygulamalarında en yaygın kullanılan izole DC-DC dönüştürücülerden biri tam köprü izole DC-DC dönüştürücüdür (Brenna ve ark., 2020; Yılmaz ve Krein, 2013).

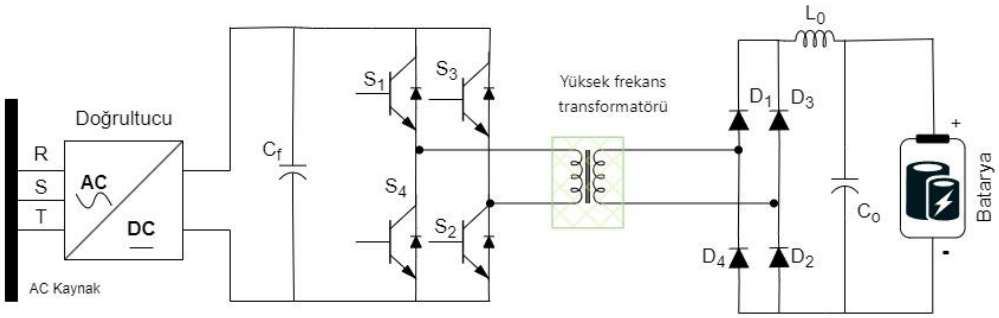


Şekil 3.10. İzoleli Tam Köprü Dönüştürücü (Khalid vd., 2022)

3.2.2. Tam Köprü LLC Rezonant Dönüştürücü

Şekil 3.11'te EA'ların şarj edici devrelerinde ticari olarak tercih edilen LLC rezonant dönüştürücünün bir topolojisi gösterilmektedir. Bu topoloji hem gerilim hem de akım kaynağı olarak kullanılabilir. Bunun yanında, yüksek gerilimlere uyum sağlayabilir ve anahtarlar için sıfır gerilim anahtarlama (SGA) olanağı sunabilir. LLC rezonant dönüştürücü, bataryaların sabit gerilim veya sabit akım ile şarj edilmesini sağlamak için faz kaydırma modülasyonu veya frekans modülasyonu gibi kontrol teknikleri kullanır.

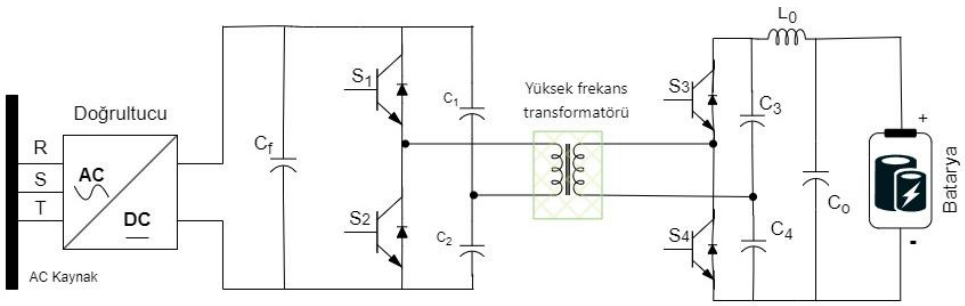
Bu topoloji, General Motors'un Volt modeli ve Tesla'nın Model 3/Y modeli gibi bazı EA'ların on-board şarj edici devrelerinde uygulanmaktadır (Khalid ve ark., 2022; Shen ve ark., 2018; Vu ve ark., 2018).



Şekil 3.11. Tam Köprü LLC Rezonant Dönüştürücü (Khalid vd., 2022)

3.2.3. Sıfır Gerilim Anahtarlamalı Çift Yarım Köprü PWM Dönüştürücü

Şekil 3.12'da izoleli yarım köprü dönüştürücünün bir devresi gösterilmektedir. Bu topoloji, basit yapısı, kolay kontrolü, ekstra donanım ihtiyacı olmadan yumuşak anahtarlama sağlaması ve geleneksel tam köprü Yükseltici dönüştürücülere göre daha yüksek verimlilik sunması nedeniyle tercih edilmektedir. Ayrıca, bu topoloji diğer köprü dönüştürücülerden daha yüksek güç yoğunluğuna sahiptir ve bu sayede donanım boyutu küçültmektedir (Khalid ve ark., 2022; Zhang ve ark., 2020).

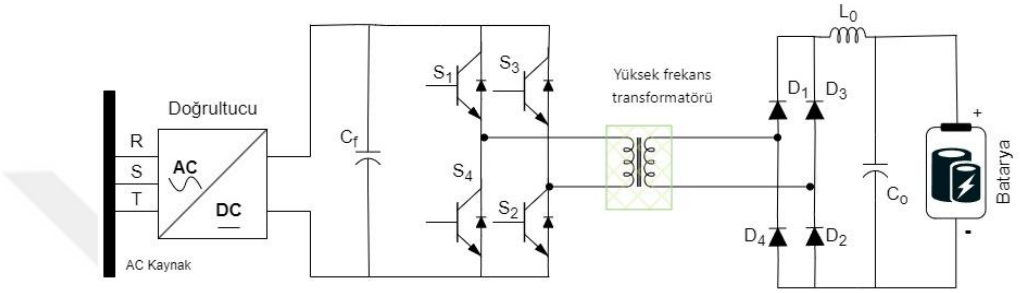


Şekil 3.12. İzoleli SGA Yarım Köprü PWM Dönüştürücü Devresi(Khalid vd., 2022; Zhang vd., 2020).

3.2.4. İzoleli Faz Kaydırmalı Tam Köprü Dönüştürücü

Faz kaydırmalı tam köprü dönüştürücü topolojisi, Şekil 3.13'de gösterildiği gibi, ek donanım olmaksızın SGA özelliklerine sahip yüksek güç uygulamaları için uygun bir dönüştürücü yapısıdır. Bu topoloji, geleneksel tam köprü dönüştürücülere göre daha yüksek bir toplam dönüştürme verimine sahiptir. Primer taraftaki anahtarlarda yumuşak anahtarlama sağlanması, denetimin kolay olması ve cihazlarda akım stresinin düşük olması bu topolojinin faydalarından bazılarıdır.

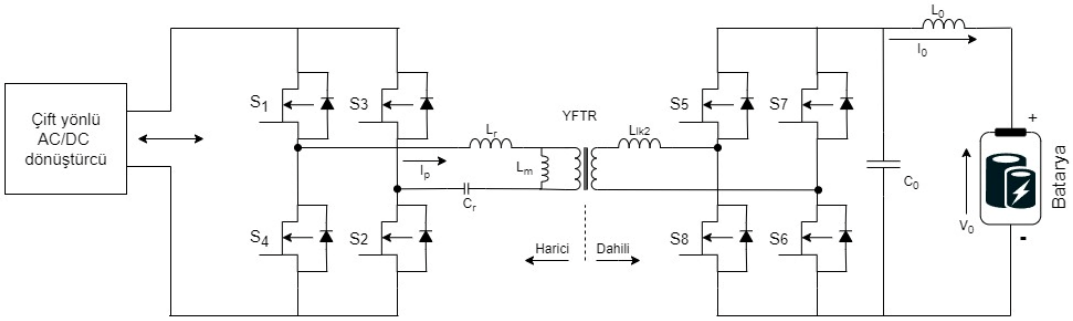
Ancak, primer tarafındaki sirkülasyon akımı nedeniyle ortaya çıkan iletim kayıpları ve görev peryodu kayıpları sebebiyle düşük güç transferi verimi bu topolojinin dezavantajları olarak sayılabilir (Khalid Vd., 2022; Zhang vd., 2020; Mira vd., 2017). Tesla V2 off-board şarj edici devrelerde kullanılan faz kaydırmalı tam köprü dönüştürücü topolojisi, Şekil 3.13'de verilmiştir. Bu topoloji, ek donanım gerektirmeden SGA özelliklerine sahip yüksek verimli bir dönüştürücü yapısıdır. Tesla'nın şarj istasyonlarında, bu topoloji sayesinde bir araç %92 verim ile 150kW güce kadar şarj edilebilir (Rivera vd., 2021)



Şekil 3.13. İzoleli Faz Kaydırmalı Tam Köprü Dönüştürücü (Khalid vd., 2022)

3.2.5. İzoleli Dual Aktif Köprü Dönüştürücü

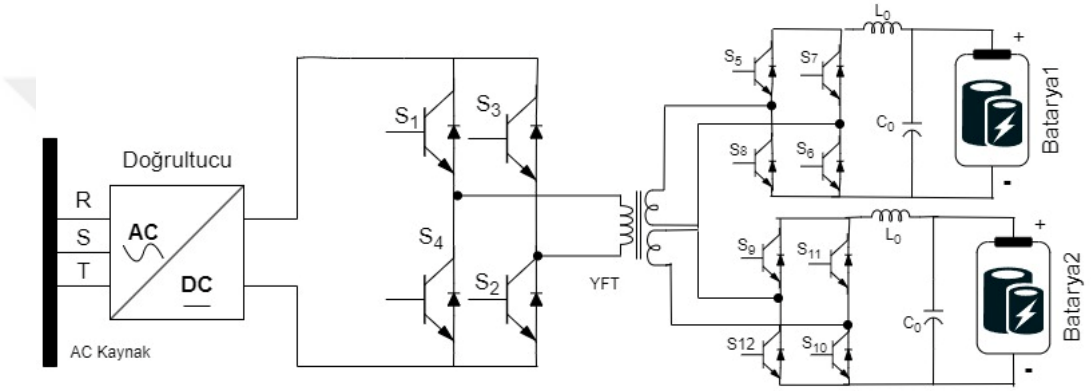
Dual aktif köprü dönüştürücü devresi, Şekil 3.14'de verilmiştir. Bu topoloji, EA'lar için çift yönlü şarj sağlayan en yaygın dönüştürücü topolojilerinden biridir. Aynı zamanda topoloji, yüksek güç yoğunluğu ve hızlı kontrol gibi avantajlara sahip olmakla birlikte, maliyeti artıran çok sayıda devre bileşeni içerir (Yılmaz ve Krein, 2013). Hyundai firması, bu topolojiyi kullanan on-board şarj edici devresinin patentini almıştır (Kim vd., 2018; Rivera vd., 2021)).



Şekil 3.14. İzoleli Dual Aktif Köprü Dönüştürücü (Yılmaz ve Krein, 2013).

3.2.6. İzoleli Çok Portlu Dönüştürücü Topolojisi

Şekil 3.15'de çok portlu DC-DC dönüştürücünün bir topolojisi gösterilmektedir. Bu topoloji, birden fazla giriş veya çıkışa ihtiyaç duyulan yük ve kaynak uygulamaları için uygun bir seçenektir. Bu topoloji, giriş veya çıkış sayısına göre tek girişli-çok çıkışlı veya çok girişli-çok çıkışlı şekilde tasarlanabilir. Şekil 3.15'deki örnekte, çok sargılı izoleli bir transformatör kullanılarak tek girişli-çok çıkışlı birçok portlu dönüştürücü elde edilmiştir. Bu yapıda, giriş kaynakları arasında paralel bağlantı sağlamak ve giriş akımının ve çıkış geriliminin dalgalanmalarını azaltmak için interleaving tekniği uygulanmıştır (Irfan vd., 2018; Karanayil vd., 2017; Lipu vd., 2021; Khalid Vd., 2022).



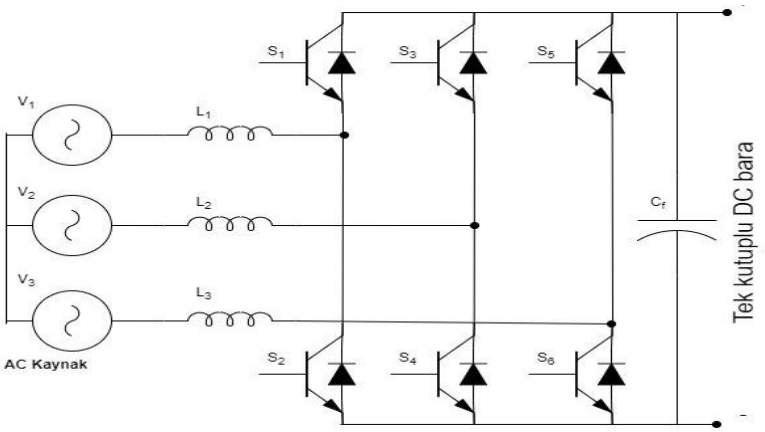
Şekil 3.15. Tek Giriş Çok Çıkışlı İzoleli Çok Portlu (Multiport) Şarj Devresi (Khalid vd., 2022; Lipu vd., 2021)

3.3. AC-DC DÖNÜŞTÜRÜCÜ TOPOLOJİLERİ

3.3.1. Üç Fazlı Köprüsüz Yükseltici Dönüştürücü

Şekil 3.16 'da çok girişli veya çok çıkışlı yük ve kaynak arasında bir ara bağlantı sağlayan çok portlu DC-DC dönüştürücü topolojisi verilmiştir. Bu topoloji, tek girişli-çok çıkışlı veya çok girişli-çok çıkışlı şekilde tasarlanabilir. Şekil 3.16 'da çok sargılı izoleli bir transformatör kullanılarak oluşturulan tek girişli-çok çıkışlı birçok portlu dönüştürücü örneği görülebilir. Bu yapıda, başlangıç kaynaklarının sağlanması ve giriş akımı ile çıkış gerilimi dalgalanmalarının azaltılması için interleaving tekniği kullanılabilir (Irfan vd., 2018; Karanayil vd., 2017; Lipu vd., 2021; Khalid Vd., 2022). Çok portlu DC-DC dönüştürücüler, farklı güç kaynakları ve yükleri birbirine bağlamak için esnek ve verimli bir çözüm sunarlar. Bu topolojiler, elektrikli araçlar, yenilenebilir enerji sistemleri, mikro şebekeler ve akıllı şebekeler gibi uygulamalarda kullanılabilir.

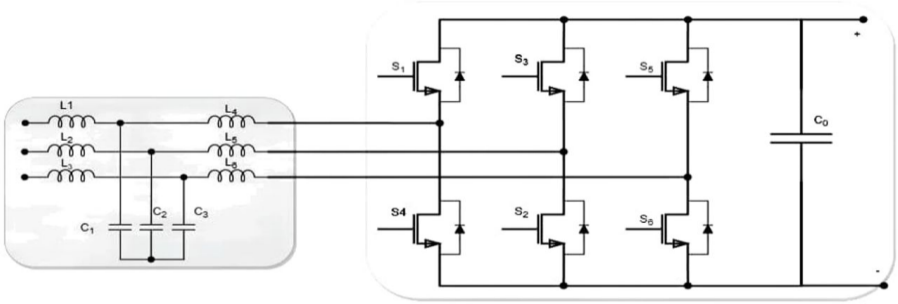
Çok portlu DC-DC dönüştürücülerin kontrolü için SVPWM, histerezis kontrol, SPWM ve kayma kipli kontrol gibi farklı yöntemler kullanılabilir. Bu yöntemler, anahtarlama frekansını, harmonik bozulmayı, güç aktarımını ve verimliliği etkiler.



Şekil 3.16. Tek Yönlü DC Bara İçin Üç Fazlı Köprüsüz Yükseltici Dönüştürücü Devresi (Khalid vd., 2022)

3.3.2. Üç Fazlı LCL Aktif Doğrultucu

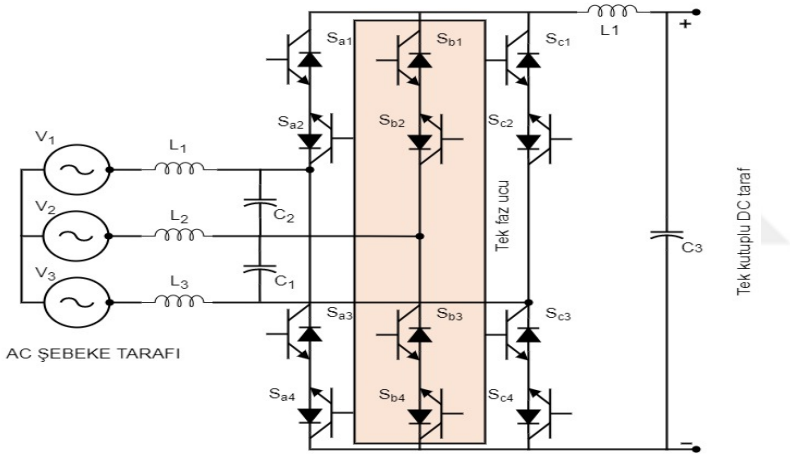
Şekil 3.17'de gösterilen üç fazlı aktif doğrultucu, AC/DC dönüştürücülerin yaygın bir türüdür. Bu topoloji, alternatif akımı doğru akıma dönüştürmek için üç fazlı bir kaynak ve altı adet anahtar (genellikle tristör veya IGBT) kullanır. Bu topolojinin avantajları şunlardır; şebekeden çekilen akımların harmonik seviyesi düşüktür, böylece güç kalitesi artar ve şebeke filtreleri gereksinimi azalır. Güç akışı çift yönlüdür, yani doğrultucu hem yükten şebekeye hem de şebekeye yükten güç aktarabilir.Bu topoloji, elektrikli araçların hızlı şarj edilmesi gibi yüksek güçlü uygulamalarda tercih edilmektedir. ABB firmasının Terra isimli 150 kW off-board şarj edici devrelerinde bu topoloji kullanılmaktadır. Bu devreler, elektrikli araçların bataryalarını 15 dakika gibi kısa bir sürede şarj edebilmektedir[1].



Şekil 3.17. Üç Fazlı LCL Aktif Doğrultucu (Brenna vd., 2020)

3.3.3. Matris Dönüştürücü Topolojisi

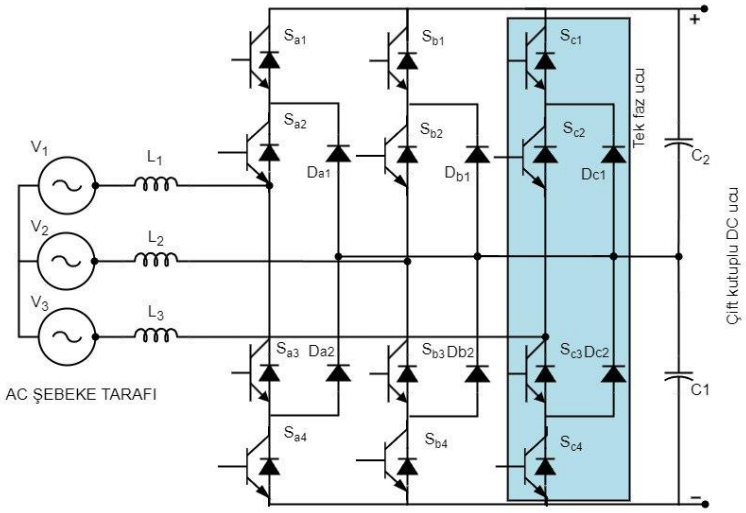
Şekil 3.18'de AC-DC matris dönüştürücünün yapısı verilmiştir. Bu yapı, başlangıçta AC-AC dönüştürme için tasarlanmış olan matris dönüştürücülerin AC-DC dönüştürme için uyarlanmış halidir. AC-DC matris dönüştürücüler doğrudan veya dolaylı olmak üzere iki tipe ayrılır. Elektrikli araçlarda dolaylı matris dönüştürücüler tercih edilmektedir. Çünkü bu tip dönüştürücüler çift yönlülük, enerji depolama bileşeni gerektirmeme, giriş güç faktörünün tam kontrol edilebilmesi ve düşük kayıp gibi avantajlar sunmaktadır. Bu sebeple, ticari elektrikli araç şarj devrelerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Şekil 3.18'deki AC-DC matris dönüştürücünün yapısı gerilim kaynaklı köprü tipi dönüştürücülere çok yakındır (Khalid vd., 2022; Saha vd., 2019; Ghoni vd., 2011). Bu topolojiyi kullanan bir örnek olarak Hella Electronics'in on-board şarj cihazı verilebilir. Bu cihaz tek fazlı olarak 7.2 kW güç ve %98 verimlilik sağlamaktadır.



Şekil 3.18. AC-DC Matris Dönüştürücü (Khalid vd., 2022)

3.3.4. Üç Fazlı Üç Seviyeli Diyot Kenetlemeli Dönüştürücü (DKD)

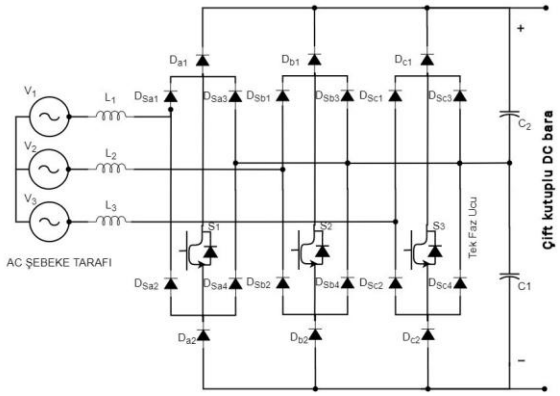
Şekil 3.19'te diyot kenetlemeli dönüştürücünün biçimi verilmiştir. Bu yapıda iki seviyeli dönüştürücülerden farklı olarak daha fazla bileşen ve daha karmaşık bir yapı kullanılmıştır. Bununla birlikte, bu yapı sayesinde gerilim davranışı iyileştirilmiş, filtre boyutu küçültülmüş, gürültü azaltılmış ve elektromanyetik girişim engellenmiştir. Ayrıca, bu yapı diğer üç seviyeli AC-DC dönüştürücülere kıyasla güvenlik, düşük harmonik ve yüksek güvenilirlik spektrumu gibi avantajlar sağlamaktadır (Khalid vd., 2022; Zhang vd., 2020; Habte, 2020).



Şekil 3.19. Üç Fazlı Üç Seviyeli Diyot Kenetlemeli Dönüştürücü (DKE) Dönüştürücü (Khalid vd., 2022)

3.3.5. Üç Fazlı Vienna Doğrultucusu

Şekil 3.20'de üç fazlı Vienna doğrultucu yapısı verilmiştir. Bu yapıda, köprüsüz Yükseltici dönüştürücüye benzer şekilde çalışan birkaç aktif anahtar vardır. Vienna doğrultucunun avantajları arasında yüksek verimlilik ve aktif anahtarların düşük gerilim stresi sayılabilir. Dezavantajları ise reaktif güç kontrolünün kısıtlı olması ve DC link kapasitörünün dengeleme sorunu olarak belirtilebilir (Brenna vd., 2020). Vienna doğrultucu, yüksek frekanslı PWM ile kontrol edilmektedir. Nötr noktanın kenetlenmesi sayesinde, elektrikli araçlarda DC bara için hızlı şarj sağlamak üzere tercih edilen bir yöntemdir (Khalid vd., 2022; Li vd., 2018). Vienna doğrultucu, genel olarak tek yönlü şarj devrelerinde kullanılmaktadır. Bu topolojiyi kullanan bir örnek olarak Porsche'nin off-board hızlı şarj cihazı verilebilir (Rivera vd., 2021).



Şekil 3.20. Üç fazlı Vienna Doğrultucu Devre Şeması (Khalid Vd., 2022; Brenna vd., 2020)

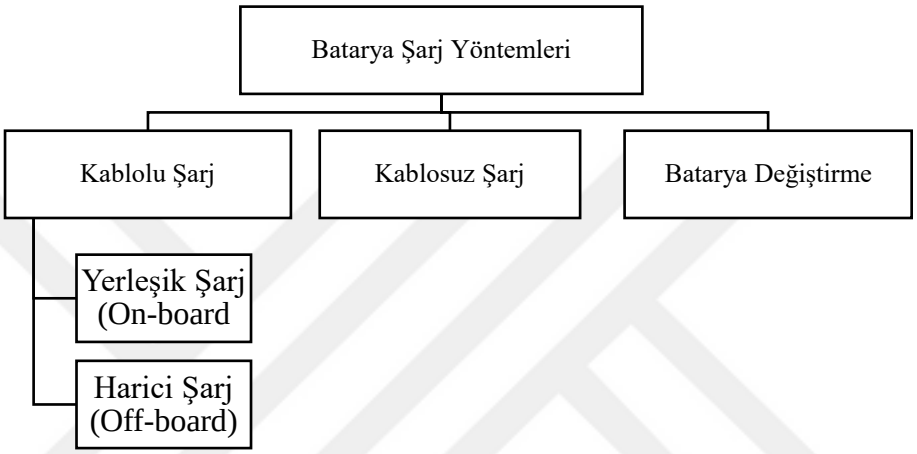
Tablo 3.1. EA Dönüştürücü Çeşitlerinin Şarj Sistemleri Açısından Değerlendirilmesi

Devre tipi	**Dönüştürücü topolojisi**	**Kullanıldığı sistem**	**Şarj yönü**	**Kullanıldığı şarj sistemi**	**Ticari /Patentli-Uygulama/Araştırma**
İzolesiz DC-DC Dönüştürücüler	Geleneksel Boost Dönüştürücü	Tek faz/Üç faz	Tek yönlü	On-board/Off-board	Tesla V2 Super charger, Model S (150 kW) (Srdic ve Lukic,2019; Krauer ,2015)
	Serpiştirilmiş Boost Dönüştürücü	Tek faz/Üç faz	Tek yönlü	On-board/Off-board	General Motors, Chevrolet Volt, 3.6 kW (Cesiel ve Zhu, 2017)
	Serpiştirilmiş Buck Dönüştürücü	Tek faz	Tek yönlü	On-board	(Phimphui ve Supatti, 2019)
	Buck-Boost Dönüştürücü	Tek faz	Çift yönlü	On-board	Hyundai On-board şarj edici konsepti (Bai vd., 2016)
	Köprüsüz Boost Dönüştürücü	Tek faz	Tek yönlü	On-board	(Merlin vd., 2021)
	Faz kaydırmalı yarı köprüsüz boost dönüştürücü	Tek faz	Tek yönlü	On-board	(Musavi vd., 2011)
İzole DC-DC Dönüştürücüler	Geleneksel Tam Köprü Dönüştürücü	Üç faz	Tek Yönlü	On-board	(Vu ve Choi, 2018)
	Tam Köprü Rezonant Dönüştürücü	Tek faz/Üç faz	Tek yönlü	On-board	General Motors, Chevrolet Volt, Tesla (Rivera vd., 2021)
	ZVS PWM Dönüştürücü (Dual yarım köprü)	Üç faz	Tek yönlü	On-board	(Mao vd., 2004)
	Faz Kaydırmalı Tam Köprü Dönüştürücü	Üç faz	Tek yönlü	Off-board	Tesla V2 Supercharger, Model S (150 kW) (Rivera vd., 2021; Krauer ,2015)
	Dual aktif köprü dönüştürücü	Tek faz	Çift yönlü	On-board	Hyundai On-Board şarj edici konsepti (Kim vd., 2018)
	Multiport izolesiz Dönüştürücü	Üç faz	Tek yönlü	On-board	(Karanayil vd., 2017)
AC-DC Dönüştürücüler	Üç fazlı köprüsüz Boost Dönüştürücü	Üç faz	Tek yönlü	On-board	(Seixas vd., 2017)
	Üç faz LCL aktif doğrultucu	Üç faz	Çift yönlü	On-board/Off-board	ABB Terra HP 150 kW charger (Rivera vd., 2021)
	Matris Dönüştürücü	Üç faz	Çift yönlü	On-board	Hella Electronics/GaN Systems (Bai vd., 2016)
	Diyot kenetlemeli dönüştürücü	Üç faz	Çift yönlü	Off-board	(Mortezaei vd, 2018)
	Üç fazlı Vienna Doğrultucu	Üç faz	Tek yönlü	Off-board	Porsche modular hızlı şarj (Götz ve Reber, 2018; Hahre vd., 2018)

Tablo 3.1'de EA'larda kullanılan farklı şarj topolojilerinin özellikleriyle birlikte ticari, patentli ve araştırma bazlı uygulamalarına da yer verilmiştir. Bu tablo, EA'lar için teorik ve araştırma temelli geliştirilen topoloji ve yeniliklerin pratikte nasıl hayata geçirildiğini ortaya koymayı hedeflemektedir. EA'larda izoleli veya izolesiz DC-DC dönüştürücülerin ve AC-DC dönüştürücülerin çeşitli amaçlarla kullanıldığı görülmektedir. Tablo 3.1'de de belirtildiği gibi hem izoleli hem de izolesiz DC-DC dönüştürücülerin ve AC-DC dönüştürücülerin birçok EA modelinde kullanım alanı bulunmaktadır. Ayrıca, EA'larda motor sürücü devresinin de yüksek güçlü entegre on-board şarj sistemleri geliştirmek için kullanıldığı bilinmektedir. Bu konuda örnek olarak Renault'nun Zoe modelindeki Chameleon şarj cihazı, Valeo'nun patentiyle korunan çift invertörlü şarj cihazı ve Continental'in on-board şarj cihazı verilebilir (Rivera vd., 2021).

4. EA ŞARJ STANDARTLARI VE YÖNTEMLERİ

Elektrikli araçlarda batarya şarj yöntemleri genellikle üç ana başlık altında incelenebilir: kablolu şarj, kablosuz şarj ve batarya değiştirme (Arif vd., 2021). Kablolu şarj, on-board ve off-board şarj olmak üzere iki farklı şekilde gerçekleştirilebilir. Şekil 4.1 'da bu dağılım incelenmektedir.



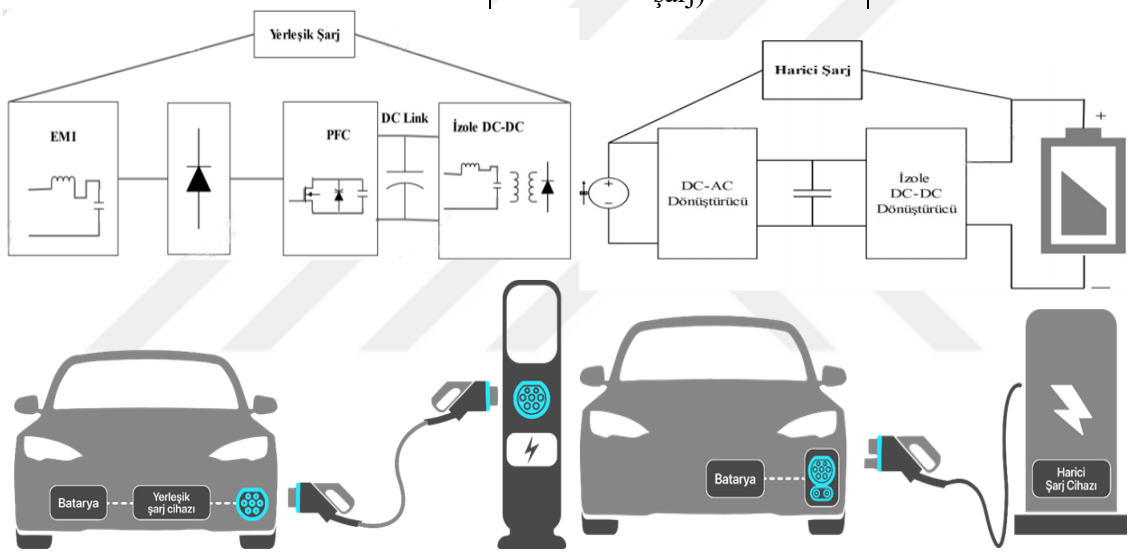
Şekil 4.1. EA Batarya Şarj Yöntemlerinin Sınıflandırılması

Şekil 4.2 (a)'da on-board şarj yöntemi gösterilmektedir. Bu yöntemde, aracın içindeki bazı devreler sayesinde araç kendini şarj edebilmektedir. On-board şarj genellikle tek fazlı AC ile yapılır ve ev veya iş yeri gibi yerlerde uzun süre park halindeyken yavaş ve düşük güçlü bir şarj sağlar. Orta güç seviyeleri için ise üç fazlı AC ile on-board şarj yapılabilir (Yılmaz ve Krein, 2013). Bu durumda araçtaki motor sürücüsü şarj cihazı görevi görür ve bu yönteme literatürde AC hızlı şarj denir. Off-board şarj yöntemi ise Şekil 4.2 (b)'de görüldüğü üzere aracın dışındaki bir cihazla hızlı DC şarj sağlar.

Tablo 4.1'te elektrikli araçların şarj standartlarını belirleyen kuruluşlar ve bu standartların özellikleri verilmiştir (Ng vd., 2011; Gürbak ve Kerem, 2020). SAE, ABD'de; International Electrotechnical Commission (IEC), Avrupa'da; JEC ve JEVS, Japonya'da; CEC ise Çin'de EA'ların şarj standartlarını yayınlayan kuruluşlardır. SAE'nin AC ve DC şarj standartları aynıdır ancak IEC, JEC ve CEC'nin AC ve DC şarj için farklı standartları vardır.

Tablo 4.1. Elektrikli Araç Şarj Standartları

EA Standart Kuruluşu	**EA Standartlar**	**Ülke**
Society of Automotive Engineers (SAE), (Otomotiv Mühendisleri Topluluğu, OMT)	SAE J1772-2017 (AC ve DC şarj)	ABD
International Electrotechnical Commission (IEC), (Uluslararası Elektroteknik Komisyonu (UEK))	IEC 61851-22/23 (AC şarj) IEC 62196-2 (AC şarj) IEC 61851-23/24 (DC şarj) IEC 62196-3 (DC şarj)	Avrupa
1.Japan Electric Vehicle Association Standards (JEVS, Japonya EA derneği) *2..Japanese Electrotechnical Committee (JEC), (Japonya Elektroteknik Komitesi (JEK))*	JEVS G105-1993 (DC şarj)	Japonya
China Electricity Council (CEC), (Çin Elektrik Konseyi, (ÇEK))	GB/T 20234-2 (AC şarj) GB/T 20234-3-2015 (DC şarj)	Çin



a) b)

Şekil 4.2. (a) On-board Şarj Yapısı (b) Off-board Şarj Yapısı (T. Delf., 2022)

Tablo 4.2. AC Şarj Özellikleri ve Standartları (Rivera vd., 2021)

AC Şarj standartları (On-board)	**Maksimum akım**	**Giriş gerilimi**	**Maksimum Güç**	**Araçtan aygıta şarj teknolojisi (V2D)**	**Ülke/Bölge**
SAE J1772-2017	16 A	120 V tek faz	AC Seviye 1: 1.9 kW	Geliştirme sürecinde	Amerika, Japonya, Güney Kore
	80 A	240 V ayrık faz	AC Seviye 2: 19.2 kW	-	-
IEC 61851	16 A	Tek faz:250 V Üç faz:480 V	Mode 1: 4 kW(13.3 kW)	Geliştirme sürecinde	Avrupa, Avustralya
	32 A	Tek faz:250 V Üç faz:480 V	Mode 2-3: 8 kW(22 kW)	-	-
GB/T 20234-2	32 A	Tek faz:250 V Tek faz:400 V	7 kW(12.8 kW)	Geliştirme sürecinde	Çin, Hindistan
TESLA (IEC 62196-2)	16A/32A	120 V tek faz 240 V tek faz	Mobil bağlantı: 1.9kW(7.7 kW)	Bulunmuyor	Dünya Genelinde
	48 A	208 V tek faz 250 V tek faz	Duvar bağlantısı: 2.8 kW(11.5 kW)	Bulunmuyor	Dünya Genelinde

Tablo 4.3. DC Şarj Özellikleri ve Standartları (Rivera vd., 2021)

DC şarj Standartı (Off-board)	**Tipik güç**	**Maksimum güç**	**Maksimum akım**	**Çıkış gerilimi**	**100 km için şarj süresi**	**Araçtan aygıta şarj teknolojisi (V2D)**	**Ülke/ Bölge**
CHAdeMO	50 kW	400 kW	400 A	50-1000 V	13.73 dk	Bulunmakta	Dünya genelinde
CCS1	312 kW	350 kW	500 A	200-1000 V	4.4 dk	Geliştirme sürecinde	ABD, Güney Kore
CCS2	350 kW	350 kW	500 A	200-1000 V	1.96 dk	Geliştirme sürecinde	Avrupa, Avustralya
GB/T 20234-3-2015	60 kW	237.5 kW	250-400 A	250-950 V	11.44 dk	Geliştirme sürecinde	Çin, Hindistan
TESLA	250 kW	350 kW	800 A	300-480 V	2.74 dk	Bulunmuyor	Dünya genelinde

Tablo 4.2'de AC on-board şarj standartları ülkelerine göre maksimum güç, gerilim ve maksimum akım değerleriyle birlikte verilmiştir (Rivera vd., 2021). Şarj süresi, güç seviyesinin büyüklüğüne göre farklılık gösterir. SAE standardında güç seviyeleri "seviye", IEC standardında ise "mode" şeklinde tanımlanır. Seviye 1 ve mode 1 yavaş şarj işlemi gerçekleştirmek için evlerde ve iş yerlerinde kullanılır. Seviye 2, mode 3 ve 2 ise kamu alanlarında veya spesifik şarj istasyonlarında kullanılır (Gürbak ve Kerem, 2020).

TESLA'nın AC şarj standardı, Tablo 4.2'de de görülebileceği gibi araçtan aygıta teknolojisine sahip değildir. AC şarj sistemlerinde SAE ve IEC standartları kullanılır. V2D (Vehicle-to-Device) teknolojisi ise henüz geliştirilmektedir. Tablo 4.3'de DC şarj standartları maksimum güç, maksimum akım, çıkış gerilimi, kullanıldıkları ülkeler ve 100 km için şarj süresi bakımından sunulmuştur. CHAdeMO DC hızlı şarj standardı, "Charge de Move" kelimelerinin kısaltmasıdır ve Japon bir standardıdır. Bu standart ilk kez 24 kWh bataryalı araçlar için yeterli olan 50 kW güçle ortaya çıkmıştır. Sonrasında 2017'de 100 kW'a, 2018'de ise CHAdeMO 2.0 ile 400 kW'a yükseltilmiştir (Rivera vd., 2021). CCS standardı ise "Combined Charging System" anlamına gelir ve IEC ve SAE standartlarının birleşimidir. CCS, tek fazlı ve üç fazlı şarj sistemleri için evrensel bir çözüm sunmak amacıyla geliştirilmiştir. CCS, 2016 yılı itibarıyla 200 kW'a kadar güç ve 200-1000 V arası gerilim sağlayabilen şarj cihazlarını desteklemekteydi. Bugün ise CCS, orta güçlü EA'lar için maksimum 400 kW'a kadar güç sağlayabilmekte ve ayrıca 1.5 kV ile 3 kA arasındaki ağır hizmet EA'ları için de kullanılabilmektedir. CCS standardının iki farklı versiyonu vardır: CCS1 ve CCS2. CCS1, SAE J1772'ye dayalıdır ve ABD ve Güney Kore'de kullanılır.

CCS2, temeli IEC standardına dayanan ve Avrupa ile Avustralya'da yaygın olarak kullanılan bir şarj standardıdır (Boyd, 2019; Rivera vd., 2021; Gürbak ve Kerem, 2020). GB/T standardı ise CEC tarafından yayınlanan ve Çin ile Hindistan'da kullanılan bir şarj standardıdır (Boyd, 2019). TESLA ise kendi araçları için özel bir şarj standardı geliştirmiştir. 2019 yılında TESLA'nın dünya çapında 1500 hızlı şarj istasyonu bulunmaktaydı ve bu istasyonlar 250 kW tepe gücü sağlayabilmekteydi (Voelcker, 2019; Chou ve Fortin, 2018). Tablo 4.3'de görüldüğü gibi, V2D teknolojisini destekleyen tek şarj standardı CHAdeMO'dur (Rivera vd., 2021).

Batarya değiştirme yöntemi, bitmiş olan bataryanın dolmuş olan batarya ile yer değiştirmesi esasına dayanır. Bu yöntemde, aracın aylık bir ücret ödeyerek batarya değiştirme istasyonuna gitmesi gerekir. İstasyonda araç, otomatik olarak konumlandırılır ve bitmiş olan bataryası dolmuş olan batarya ile takas edilir. Bitmiş olan bataryalar ise istasyonda şarj edilerek saklanır. Bu yöntemin avantajları arasında, menzil kaygısı duyulmaması ve dolumun hızlı ve kolay olması sayılabilir. Dezavantajları ise, bataryaların standart bir arayüze sahip olması gerekliliği ve yakıt maliyetinin İYM araçlardan daha yüksek olmasıdır (Arif vd., 2021).

Elektrikli ve Hibrit Araçlar Derneği (TEHAD)'ın sağladığı verilere göre, Ülkemizde yedi bin kadar EA mevcuttur. Bunların 2413 tanesi 2022'nin başlangıcında satılmıştır. Türkiye'de ayrıca 2000'den fazla EA şarj istasyonu bulunduğu tespit edilmiştir. Bu istasyonların ikibinyediyüzondört tanesi AC kablolu, 267 tanesi DC hızlı şarj istasyonudur. İstanbul'da ise 600'den fazla şarj istasyonu mevcuttur. Yerli elektrikli otomobil TOGG'un piyasaya çıkmasıyla birlikte, 2023 yılında 1500 yeni hızlı şarj istasyonunun daha açılması planlanmaktadır. Elektrikli araçların şarj altyapısının geliştirilmesi için Türkiye'de çeşitli kurum ve şirketler yatırım yapmaktadır. Hızlı şarj istasyonları özellikle büyük şehirlerde ve otoyollarda kurulurken, alışveriş merkezleri, otoparklar ve oteller gibi yerlerde de normal şarj noktaları yer almaktadır (TEHAD, 2022).

5. ELEKTRİKLİ ARAÇLARDA SEÇİLEN ELEKTRİKLİ MOTOR VE BATARYA TÜRLERİ

5.1. EA MOTOR TÜRLERİ

Elektrikli araçlarda kullanılan motorlar arasında çeşitli seçenekler bulunmaktadır. Bu motorlar şunlardır: DC motorlar, indüksiyon motorları (IM), sabit mıknatıslı senkron motorlar (PMSM), sabit mıknatıslı fırçasız DC motorlar (PM-BLDC), anahtarlamalı relüktans motorları (SRM), senkron relüktans motorları (SynRM), aksiyal-akı demirsiz sabit mıknatıslı motorlar (AFPM) ve aksiyal akı indüksiyon makineleri (AFIM) (Xue vd., 2008; Lulhe vd., 2015; Rajashekara, 2013; Bhatt vd., 2019).

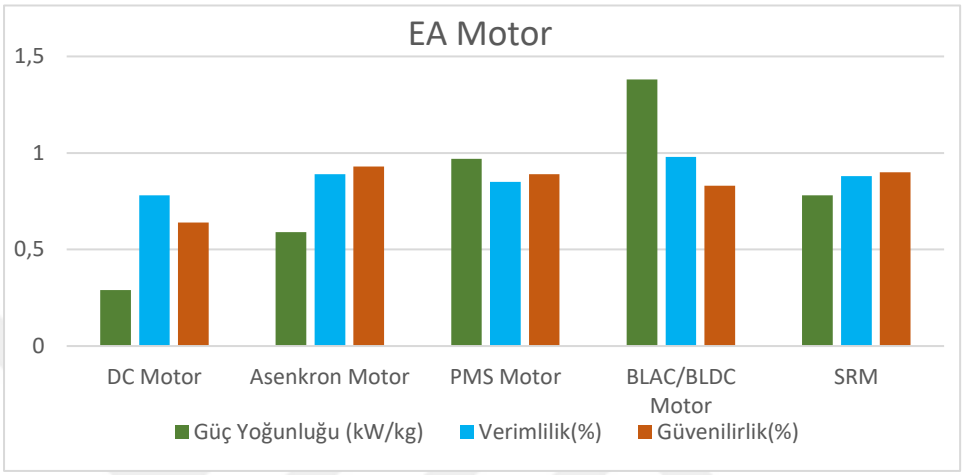
DC motorlar, kolay kontrol edilebilme özellikleri ile bilinir. Ancak fırça ve komütatör gibi parçalara sahip oldukları için bakıma ihtiyaç duyarlar. Komütatör ve fırça, motor emniyetini azaltır ve motor hızını sınırlar. Bu sebeple, genellikle yavaş hız çalışmalarında daha üretken bir şekilde kullanılırlar (Jose ve Meikandasiyam, 2017).

IM'ler, dayanıklı ve basit yapıları, düşük bakım gerektirmeleri, düşük maliyetleri, yüksek verimleri ve güvenilirlikleri nedeniyle elektrikli araçlar için tercih edilen motorlardır. Motorun enerji verimi, toplam kayıplara bağlıdır ve IM'ler kompleks kontrol sistemleri gerektirir (Bharadwai vd., 2020).

PMSM'ler, sabit tork üretimi, yüksek verimlilik, düşük enerji tüketimi ve yüksek güç yoğunluğu gibi avantajlar sunar. Bu motorlar, Toyota, Nissan, BMW gibi birçok ticari elektrikli araçta kullanılmaktadır (Ozpineci ve Oak, 2014; Papuççiyan, 2017). PMSM'lerde, aşınacak fırça ve sargı gibi parçalar bulunmadığı için sıcaklık düşüktür. Fakat, sabit mıknatıs kullanıldığından yatırım maliyeti yüksektir. Ayrıca enerji dönüşümü sırasındaki kayıp da önemli bir sorundur (Loganayaki vd., 2019). PM-BLDC motorlarda fırça bulunmaz, ancak inverter gerektirirler hatta yüksek güç yoğunluğu, yüksek verimlilik ve düşük ısı üretimi gibi avantajlara da sahiptirler.

Sabit mıknatıs kullanmaları ve sabit mıknatıs alanının sınırlayıcı etkisi dezavantajları arasında sayılabilir (Thakar ve Patel, 2019; Noor vd., 2017). SRM'ler, basit yapısı, hata tolere edebilme özelliği, yüksek verim ve geniş tork-hız karakteristikleri nedeniyle elektrikli araç uygulamalarında potansiyele sahiptir.

Geniş hız aralığında çalışabilmeleri, bazı bileşenlerin (örneğin dişli kutuları) kullanımının azaltılmasına olanak tanır. SRM'ler, basit yapısı ve düşük rotor ağırlığı sayesinde hızlı dinamiklere sahip olabilirler. Her bir motor tipinin özellikleri ve performansı, araç tasarımı ve kullanım gereksinimlerine bağlı olarak değerlendirilmelidir. Birkaç hibrit elektrikli araçlarda seçilir (Zeraoulia vd., 2006; Xue vd., 2008). Şekil 5.1 'de bu 5 motor, verimlilik, güvenilirlik ve güç yoğunluğu açısından karşılaştırılmıştır.



Şekil 5.1. Elektrikli Motor Türlerinin Mukayesesi (Bhatt vd., 2019).

Elektrikli araçlarda kullanılan motor çeşitleri arasında farklı özelliklere sahip motorlar bulunmaktadır. Elektrik güç yoğunluğu açısından, DC motor en az güç yoğunluğundayken, PM-BLDC motor en fazla elektrik güç yoğunluğuna sahiptir. Verimlilik açısından da PM-BLDC motor, PMSM'den daha yüksek verim sağlar. Güvenilirlik açısından ise SRM ve IM daha öne çıkar, DC motor ise güvenilirlik açısından en az seviyededir (Bhatt vd., 2019). Aşağıda Tablo 5.1'de birkaç ticari elektrikli araçlarda tercih edilen motor tipleri ve nitelikleri verilmiştir. (Wahid vd., 2021).

Tablo 5.1. Piyasadaki EA'ların Kullandığı Motorlar ve Nitelikleri (Wahid vd., 2021).

Sektördeki EA	Araç Tipi	Üretim Yılı	Batarya Kapasitesi	Motor Gücü	Motor Tipi	Kaynak
Audi A3 e-Tron	FHEA	2018	95	75	PM-SM	(Ronanki vd., 2019)
Audi Q5	HEA	2009	10	182	PM-SM	(Lopez vd., 2019)
Hyundai Ioniq, Kona	HEA, FHEA, TEA	2018–2021	28	88	PM-SM	(Suarez vd., 2019)
Smart FortoWo ED	TEA	2009	17.6	55	PM-BLDC	(Sanguesa, 2021)
Tesla Model 3	TEA	2016	75	192	PM-SM	(Karki vd., 2020)
Tesla Model S70D	TEA	2018	100	100	IM	(Sanguesa, 2021; Karki vd., 2020)
Tesla Model X	TEA	2016	100	193	IM	(Karki vd., 2020)
GM prototype	TEA	1990	-	-	SRM	(Karki vd., 2020)

5.2. EA BATARYA TÜRLERİ

Günümüzde EA üreticilerinin ve kullanıcıların en büyük sorunu batarya ömrü ve maliyetidir. Üretici firmalar için yeteri kadar uzun ömürlü ve maliyeti düşük bir batarya çeşidi yoktur. EA kullanıcıları açısından ise 8 ila 10 yıl içinde değiştirmeleri gereken bataryanın aracın maliyetinin 4'te 3 üne denk gelecek fiyatlara varması gibi sorunlar gözlemlenmektedir.

Tablo 5.2. EA'larda Kullanılan Batarya Çeşitleri

PİL ÇEŞİTLERİ	**ÇALIŞMA SICAKLIĞI**	**NOMİNAL VOLTAJ**	**HAFIZA ETKİSİ**	**ENERJİ YOĞUNLUĞU**	**ÇEVRİM ÖMRÜ**
Pb-acid	-15, +50	2	Yok	35	1000
NiCd	-20, +50	1.2	Var	50-80	2000
NiMH	-20, +60	1.2	Nadir	70-95	<3000
Zebra	+245, +350	2.6	Yok	90-120	>1200
Li-ion	-20, +60	3.6	Yok	118-250	2000
LiPo	-20, +60	3.7	Yok	130-225	>1200
LiFePO4	-45, +70	3.2	Yok	120	>2000
Zn-air	-10, +55	1.65	Yok	460	200
Li-S	-60, +60	2.5	Yok	350-650	300
Li-air	-10, +70	2.9	Yok	1300-2000	100

Bu yüzden çok fazla sayıda batarya çeşidi bulunmakta ve kullanılmaktadır. EA'larda kullanılmakta olan batarya çeşitlerine Tablo 5.2 de detaylandırılmıştır (Vedantu, 2023).

- Lityum İyon (Li-ion) Bataryalar: Otonom robotlar için en popüler batarya türlerinden biri lityum iyon bataryalardır. Bu bataryalar, yüksek enerji yoğunluğu, hafiflik ve uzun ömürleri nedeniyle tercih edilir. Ayrıca hızlı şarj olabilme özellikleri ve hafızada oluşabilecek etkilerin minimal olması avantaj sağlar. Lityum iyon bataryalar, otonom robotların enerji gereksinimlerini karşılamak için yaygın olarak kullanılır.
- Lityum Polimer (Li-Po) Bataryalar: Lityum polimer bataryalar, lityum iyon bataryalara benzer özelliklere sahiptir. Ancak daha düşük yoğunluğa sahip olmalarına rağmen daha esnek şekillerde üretilebilirler. Bu esneklik, otonom robotlar için farklı şekil ve boyutlarda batarya tasarımlarının oluşturulabilmesini sağlar. Ayrıca, lityum polimer bataryalar daha az şişme ve patlama riskine sahiptir.
- Nikel Metal Hidrit (NiMH) Bataryalar: NiMH bataryalar, EA'lar için bir diğer seçenektir. Bu bataryalar, nispeten daha düşük maliyetleri ve çevre dostu yapılarıyla bilinir. NiMH bataryalar aynı zamanda yüksek deşarj oranlarına ve

geniş bir sıcaklık aralığında çalışma yeteneğine sahiptir. Bununla birlikte, lityum iyon bataryalara kıyasla enerji yoğunluğu daha düşüktür ve şarj süresi daha uzun olabilir.

- Kurşun Asit (Pb-Acid) Bataryalar: Kurşun asit bataryalar, eski teknolojilerden biridir ve daha çok endüstriyel robotlar gibi büyük ölçekli uygulamalarda kullanılır. Bu bataryalar, düşük maliyetleri ve yüksek deşarj oranları nedeniyle bazı durumlarda tercih edilebilir. Ancak, ağırlık açısından diğer batarya türlerine kıyasla daha ağırdırlar ve daha az enerji yoğunluğuna sahiptirler.

5.2.1. Otonom Elektrikli Araçlarin Batarya Yönetimi

Batarya sorunları, elektrikli araçların performansını, menzilini, şarj edilebilirliğini ve maliyetini etkileyen önemli faktörlerdir. Pil teknolojisi, elektrikli araçların başarısı için kritik bir bileşendir. Akü teknolojisindeki gelişmeler, araçların menzilini artırırken maliyetlerini de azaltabilir. Ancak pil teknolojisi henüz tam olarak olgunlaşmadı ve hala bazı sorunlarla karşı karşıya. Bu sorunlardan bazıları şunlardır:

- Menzil: Pek çok elektrikli araç, pil teknolojisi henüz yeterince gelişmediği için yeterli menzile sahip değil. Araçların menzili akü kapasitesi, araç ağırlığı ve aerodinamik gibi faktörlere bağlıdır. Yeni nesil akülerin geliştirilmesiyle araçların menzili artırılsa da uzun yolculuklar için yine de zorluk teşkil edebiliyor.

- Şarj edilebilirlik: Pillerin şarj edilebilir olması elektrikli araçların kullanımını sınırlayan bir faktördür. Şarj edilebilirlik, pil kapasitesine, şarj hızına ve şarj istasyonlarının yaygınlığına bağlıdır. Şarj süreleri de benzin istasyonlarında depo dolan kadar hızlı değil ki bu durum hala birçok kullanıcıyı rahatsız ediyor.

- Maliyet: Pil teknolojisi, elektrikli araçların maliyetinin önemli bir bölümünü oluşturmaktadır. Akü maliyeti, aracın maliyetinin yanı sıra uzun vadede değiştirilmesi gereken akülerin maliyetini de içermektedir. Pil teknolojisindeki gelişmeler pillerin maliyetini düşürmüş olsa da, hala yeterince karşılanabilir değiller.

- Güvenlik: Pillerin güvenliği, elektrikli araçların güvenliği için kritik bir konudur. Pillerin patlama riski, özellikle yanlış kullanım veya hasar durumunda artabilir. Pil teknolojisindeki gelişmeler, pillerin güvenliğini artırma çabalarının bir sonucudur.

- Uzun Ömür: Pillerin ömrü, üretici tarafından belirtilen toplam şarj sayısına ve kullanım koşullarına bağlıdır. Ancak, piller şarj döngülerini tamamladıktan sonra bile, özellikle yüksek sıcaklıklara maruz kaldıklarında hızla bozulabilirler. Pil ömrünün elektrikli bir aracın menzili üzerinde önemli bir etkisi vardır ve pillerin değiştirilmesi oldukça pahalı olabilir.
- Ağırlık: Aküler aracın toplam ağırlığını artırarak aracın performansını ve menzilini olumsuz etkiler. Bu nedenle, araç üreticileri daha hafif piller üzerinde çalışmaktadır, ancak daha hafif piller genellikle daha az enerji depolar ve bu da menzil sorununu daha da kötüleştirebilir.
- Geri Dönüşüm ve Atık Yönetimi: Pil üretimi, özellikle nadir toprak elementlerinin çıkarılması, çevre dostu bir süreç değildir. Ayrıca, atık pillerin uygun olmayan şekilde atılması çevreye ciddi zararlar verebilir ve geri dönüşüm süreci çok zahmetli ve maliyetlidir.

Batarya teknolojisi, elektronik cihazlar, taşıtlar ve enerji depolama sistemlerinde önemli bir role sahiptir. Bu nedenle, bataryaların performansı ve kullanılabilirlikleri önemli bir konudur. Bataryaların sağlığı ve ömrü, üç önemli parametreyle değerlendirilir: Sağlık Durumu (SOH -State of Health) ve Şarj Durumu (SOC - State of Charge).

SOH, bataryanın genel sağlık durumunu ifade eder. Bir bataryanın SOH'si, zamanla performansının ve kapasitesinin nasıl değiştiğini gösterir. SOH, bataryanın ömrünü, kullanılabilir enerji miktarını ve şarj/deşarj hızını etkiler. SOH değeri düşük olan bir batarya, daha az enerji depolar ve daha hızlı boşalır. Bu durum, bataryanın performansının azalmasına ve kullanım ömrünün kısalmasına yol açabilir. Bu nedenle, bataryaların SOH değerleri düzenli olarak izlenmeli ve bakımı yapılmalıdır.

SOC, bataryanın mevcut şarj düzeyini ifade eder. SOC değeri, bataryanın kullanılabilir enerji miktarını gösterir. Bu bilgi, bataryanın ne kadar enerji depolayabileceğini ve ne zaman şarj edilmesi gerektiğini belirlemek için önemlidir. Yanlış bir SOC tahmini, bataryanın aniden boşalmasına veya gereğinden fazla şarj edilmesine neden olabilir. Bu durum bataryanın performansını etkiler ve ömrünü kısaltır. Bu yüzden, doğru SOC değeri elde etmek ve takip etmek önemlidir. Sonuç olarak, batarya SOH ve SOC değerleri, bataryaların performansını, kullanılabilirliğini ve ömrünü belirlemek için kritik öneme sahiptir. Bu parametrelerin izlenmesi ve doğru tahmin edilmesi, bataryaların güvenilir ve etkili bir şekilde kullanılmasını sağlar.

6. ELEKTRİKLİ ARAÇLARIN GÜÇ SİSTEMLERİNE ETKİSİ, UYUM SAĞLAMASI VE ŞARJ ÇÖZÜMLERİ

Elektrikli araçlar için kullanılan bir şarj teknolojisi olan araçtan şebekeye (V2G) teknolojisi, TEA'lar, FHEA'lar ve diğer elektrikli araçların şebekeyle çift yönlü güç alışverişi yaparak şebekeye güç göndermesini veya şarj olma hızını azaltmasını sağlar. V2G teknolojisinin başarılı bir şekilde uygulanabilmesi için üç temel bileşen gereklidir: şebeke bağlantısı, araçlarla şebeke arasında kontrol ve iletişim sağlayan sistemler ve araç içinde ve dışında gerçekleşen akıllı ölçüm yöntemleri (Yılmaz ve Krein, 2013; Tirunagari vd., 2022). Smart V2G teknolojisi hem şebeke operatörleri hem de elektrikli araç kullanıcıları için faydalı ve verimli bir stratejidir. En yüksek geri dönüş veya verimi elde etmek için araç sahipleriyle şebeke operatörleri arasındaki çalışma büyük önem taşır (Tirunagari vd., 2022; Yılmaz ve Krein, 2013). Araçtan şebekeye teknolojisi, elektrik şebekesinin kararlılık, verimlilik ve güvenilirlik performansını artırabilir (Noel vd., 2019; Irena, 2019). Elektrikli araçlar, V2G teknolojisi aracılığıyla şebekeye destek sağlayarak dinamik bir dağıtılmış enerji kaynağı olarak kullanılabilir (Virta Global, 2022).

Araçtan şebekeye teknolojisinde çalışan bir elektrikli araç, aktif güç regülasyonu, reaktif güç desteği, değişken yenilenebilir enerji kaynaklarının optimum kullanımı, yük dengeleme, akım harmonik filtreleme, frekans ve gerilim kontrolü gibi birçok olanağı sunar (Yılmaz ve Krein, 2013). Bununla birlikte, V2G teknolojisinin batarya enerji kapasitesini, verimini ve ömrünü azaltması, şebeke ve araç arasında haberleşme altyapısı ihtiyacı ve ekipman tarafında etkileri gibi bazı dezavantajları vardır. Bununla birlikte, V2G teknolojisinin hem şebeke operatörleri hem de elektrikli araç sahipleri için iktisadi yararlar sağlaması tahminedilmektedir (Noel vd., 2019; Zeng vd., 2017).

Yukarıda belirtilen faydaların yanı sıra, V2G teknolojisi enerji kayıplarını minimize edebilir, şebeke yük faktörünü artırabilir, üretim ve işletme maliyetlerini azaltabilir, ayrıca CO2 ve diğer gaz emisyonlarının azaltılmasına yardımcı olabilir (Zeng vd., 2017; Innovation Landscape Brief, 2019). V2G teknolojisi, elektrikli araçlarda kullanılan yenilenebilir enerji gücünün artmasına katkıda bulunabilir.

Bu sayede, enerji depolama sistemlerini kullanarak talebi düşük olduğu dönemlerde enerjiyi depolayabilir ve talep pikleri sırasında bu enerjiyi deşarj ederek talep yönetimine katkıda bulunabilir (Lopes vd., 2009; Jones vd., 2021). Araçtan şebekeye teknolojisi ile şarj etmek daha ucuz olabilir (Jones vd., 2021).

Güneş enerjisi gece olmaz ama elektrikli araçlar evlere elektrik sağlayabilir (Irena, 2019). Elektrikli araçlar V2G teknolojisi ile ihtiyaca göre şarj veya deşarj olabilir (IEEE Innovation, 2022). Japonya'daki deprem ve nükleer felaket sonrası Nissan firması 66 elektrikli aracıyla elektrik vermiştir (Virta Global, 2022). Araçtan şebekeye teknolojisini başka şekillerde de kullanmak mümkündür: araçtan binaya (V2B), araçtan eve (V2H) ve araçtan her yere (V2X) (K. K. Abhay Barnard Britto, 2022).

6.1. ELEKTRİKLİ ARAÇLARIN GERİLİM KARARLILIĞINDAKİ ROLÜ

Bir sistemin gerilimi kesildikten sonra normale dönmesi, güç şebekesinin ne kadar kararlı olduğunu gösterir. Elektrikli araçların çok güç çeken şarj cihazları, gerilimi düşürebilir. Gerilimdeki düşüşler sistemi bozabilir. Elektrikli araçlar normal yüklerden çok farklıdır. Şarj olmak için çok kısa sürede çok güç isterler. Sistemdeki bu güç artışı, gerilimin kararlı kalmasını zorlaştırabilir (Kuruvilla vd., 2022).).

6.2. ELEKTRİKLİ ARAÇLARIN GÜVENİLİRLİK ÜZERİNDEKİ ROLÜ

Güvenilirlik, bir sistemin ne kadar bozulmadan çalıştığını gösterir. Güvenilirlik düşükse, bunun nedeni kötü tasarım veya üretim olabilir. Sistem ve süreç hakkında yeterli bilgi olmaması, insan hataları ve başka şeyler de güvenilirliği azaltabilir (Ganesh ve Rao, 2020). Elektrikli araçlar çok kullanılırsa, şarj hizmetleri ve güç sistemi güvenilirliği değişebilir. Elektrikli araçlar V2G teknolojisi ile sisteme yardımcı olabilir ama aynı zamanda sistemi zorlayabilir. V2G teknolojisi ile elektrikli araçlar, sistemin gerilimini ve frekansını dengeleyerek güç sistemi güvenilirliğini yükseltebilir (Kuruvilla vd., 2022; Ganesh ve Rao, 2020).

6.3. ELEKTRİKLİ ARAÇLARIN GÜÇ KAYBI ÜZERİNDEKİ ROLÜ

Elektrikli araçlar çok güç tüketir ve bunun sonucunda güç sistemlerindeki kayıplar artar. Bu konu birçok çalışmada incelenmiştir. Kayıpları azaltmak için farklı optimizasyon yöntemleri kullanılmıştır (Kuruvilla vd., 2022). Elektrikli araçlar ayrıca şebekeyi zorlar ve gerilim ve verimlilik sorunlarına neden olabilir (Patil ve Kalkhambkar, 2021). Bazı çalışmalar, elektrikli araçların optimal şekilde şarj edilmesiyle kayıpların düşürülebileceğini göstermiştir (Elnozahy ve Salama, 2014; Dias vd., 2018).

6.4. ELEKTRİKLİ ARAÇLARIN GÜÇ KALİTESİNE ETKİSİ

EA yaygınlaşmasıyla birlikte, güç kalitesi konusu da önem kazanmıştır. EA, fosil yakıtlı araçlara kıyasla çevre dostu bir alternatif sunarken, enerji sistemlerine yeni zorluklar getirebilmektedir. EA güç kalitesine olan etkileri hem şebekelerin kararlılığı hem de diğer elektrik tüketicileri için önemli bir konudur. Bu etkiler arasında yüksek güç talebi, gerilim dalgalanmaları, harmonik bozulmaları, voltaj düşüşleri, güç faktörü ve enerji depolama entegrasyonu gibi faktörler yer almaktadır (Kuruvilla vd., 2022). Güç kalitesi sorunlarını azaltmak için pasif filtreler, DSTATCOM, DVR gibi cihazlar kullanılmaktadır. Bunlar, güç kalitesini iyileştirmek için yaygın olarak kullanılan teknolojiler arasındadır. Güç dönüştürücülü elektrikli araç tahrik sistemleri ise sistemin güç kalitesini olumsuz etkileyebilecek bileşenlerdir. Ancak, şarj istasyonları için yenilenebilir enerji kaynakları tercih edildiğinde bu sorun çözüme kavuşabilir (Rani vd., 2022). Güç sistemlerindeki pik yük sorununu çözmek için V2G teknolojisi ile tepe tıraşlama ve tepe kaydırma yöntemleri kullanılmıştır (Patil ve Kalkhambkar, 2021).

6.5. ELEKTRİKLİ ARAÇLARIN FREKANS DENGESİ ÜZERİNDEKİ ROLÜ

Elektrik güç sisteminde tüm donanımların düzgün çalışabilmesi için sistem frekansının çoğunlukla 60 Hz veya 50 Hz değerlerinde tutulması gerekmektedir. Ani yük artışları, iletim hatlarında arızalara yol açarak güç dengesizliklerine neden olabilir. Frekansın çok düşük olması durumunda elektrik kesintileri yaşanabilirken, frekansın çok yüksek olması durumunda ise birincil güç üretim istasyonlarında ani arızalar meydana gelebilir. Geleneksel güç şebekelerinde, frekans yönetimi için senkron generatörler kullanılmaktadır.

EA uyumu, güç sistemlerinde frekans idaresi için gereki görülmektedir (Kuruvilla vd., 2022; Patil ve Kalkhambkar, 2021). Elektrikli araç bataryaları, hızlı tepki verme yetenekleri sayesinde geleneksel üretim birimlerine göre üstün performans sergilerler. Elektrikli araçlar, V2G enerji akışıyla frekansın kontrol edilmesine ve ayarlanmasına yardımcı olabilirler (Rani vd., 2022; Kuruvilla vd., 2022).

6.6. ELEKTRİKLİ ARAÇLARIN ŞEBEKE GERİLİMİ VE REAKTİF GÜCÜ ÜZERİNDEKİ ROLÜ

Elektrik güç faktörünün düzeltilmesi aynı zamanda daha iyi bir gerilim profili elde edilmesi için reaktif güç değeri ayarlanabilir ve sistem kayıpları azaltılabilir. Bu şekilde güç sistemi rantabilitesi çoğaltılabilir. Genellikle reaktif güç, kapasitörler ve generatörler yoluyla sağlanır. Şarj cihazları aracılığıyla reaktif güç üretimi gerçekleştirilerek reaktif güç telafisi sağlanabilir ve elektrikli araç bataryasının ömrü (Rani vd., 2022; Kuruvilla vd., 2022)

7. KULLANILAN YÖNTEMLER

7.1. LİNEER REGRESYON YÖNTEMİ

Lineer regresyon (LR) analizi, bir değişkenin değerini başka bir değişkenin değerine dayanarak tahmin etmek için kullanılan istatistiksel bir yöntemdir. Analizde, tahmin etmek istediğimiz değişken bağımlı değişken olarak adlandırılırken, kullanılan diğer değişkenler bağımsız değişkenler olarak adlandırılır. Doğrusal regresyon analizi, en iyi tahmini yapabilmek için bağımlı değişkenin değerini en iyi açıklayan bağımsız değişkenlerin katsayılarını tahmin eder. Bu analiz yöntemi, tahmin edilen ve gerçek çıktı değerleri arasındaki farkları minimize ederek uygun bir doğru çizgi veya yüzey elde etmeyi amaçlar. Eşleştirilmiş bir veri seti için en iyi uyumlu çizgiyi bulmak için "en küçük kareler" yöntemini kullanan basit doğrusal regresyon hesaplayıcıları bulunmaktadır. Ardından, X'in (bağımlı değişken) değerini Y'den (bağımsız değişken) tahmin edersiniz (IBM, 2023). En iyi uyumlu çizgiyi hesaplamak için lineer regresyon, aşağıdaki geleneksel eğim-kesişim formülünü denklem 1 kullanır:

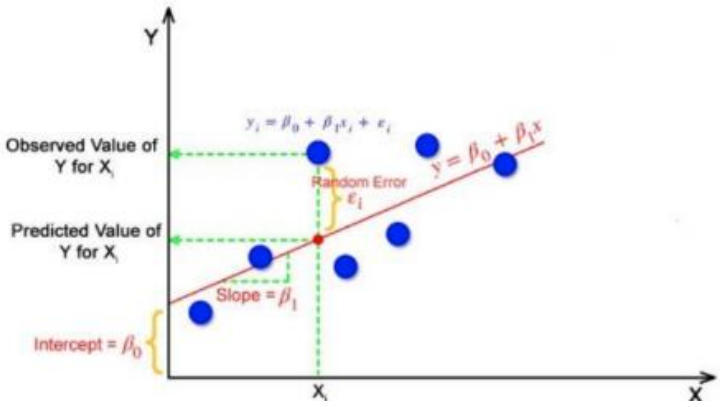
$$Y = B_0 + B_1 X \tag{1}$$

Y, bağımlı değişkenin tahmin edilen değeridir.

X, bağımsız değişkenin değeridir.

B_0, kesişim noktasını temsil eden sabittir.

B_1, eğimi temsil eden katsayıdır.

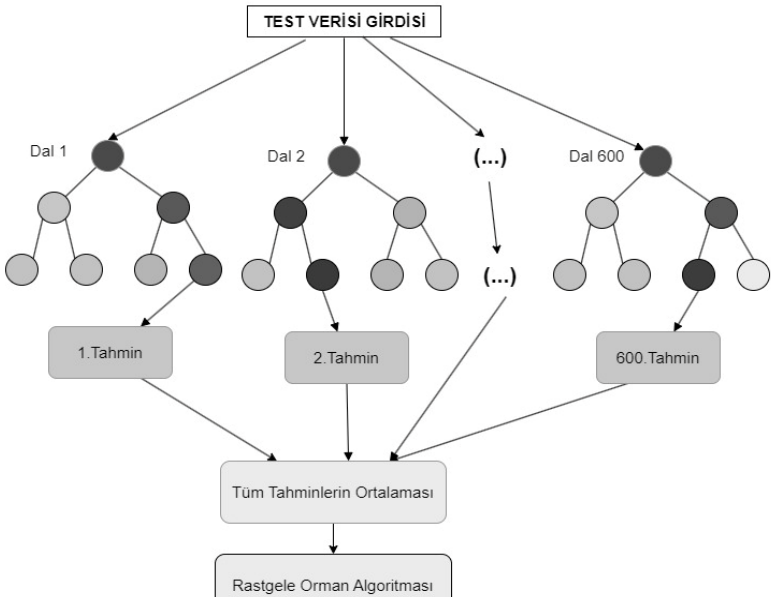


Şekil 7.1. Lineer Regrasyon Grafiği (Malı, 2023)

7.2. RASTGELE ORMAN REGRESYON YÖNTEMİ

Rastgele orman regrasyonu (ROR), veri bilimciler tarafından en popüler ve yaygın olarak kullanılan algoritmalardan biridir. Rastgele orman, sınıflandırma ve regresyon problemlerinde geniş çapta kullanılan bir gözetimli makine öğrenme (supervised machine learning) algoritmasıdır. Farklı örneklemeler üzerinde karar ağaçları oluşturur ve sınıflandırmada çoğunluk oyunu yapar, regresyon durumunda ise ortalama alır (R.S.E, 2023). RORalgoritmasının en önemli özelliklerinden biri, regresyon durumunda olduğu gibi sürekli değişkenler içeren veri kümesini ve sınıflandırma durumunda olduğu gibi kategorik değişkenleri işleyebilmesidir. Sınıflandırma ve regresyon görevleri için daha iyi performans gösterir. Buçalışmada, ROR çalışma prensibini anlayacak ve bir sınıflandırma görevinde rastgele ormanı uygulayacağız (R.S.E, 2023). Makine öğreniminde ROR algoritmasının çalışma prensibini anlamadan önce, enseble öğrenme tekniğine bakmamız gerekmektedir. Kollektif (topluluk), birden çok modelin bir araya getirilerek kullanılması demektir. Böylece tek bir model yerine bir model koleksiyonu kullanılarak tahminler yapılır (Chakure, 2023). Kollektif, iki tür yöntem kullanır:

- Torbalama (TR)- Eğitim verilerinden değişik eğitim alt kümeleri oluşturur ve son çıktı çoğunluk oylamasına dayanır. Örneğin, ROR ve tamamen rastgele ağaç (TRAR).
- Yükseltme (YR)- Zayıf öğrenicileri güçlü öğrenicilere dönüştürerek ardışık modeller oluşturur ve nihai modelin en yüksek doğruluğa sahip olmasını sağlar. Örneğin, ada yükseltme (AYR), xg Yükseltici (Chakure, 2023).



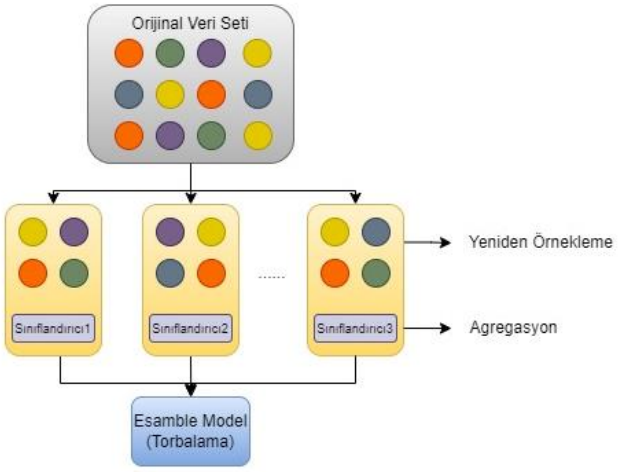
Şekil 7.2. Rastgele Orman Algoritması (Chakure, 2023)

7.2.1. Torbalama (Bagging) Regresyon Yöntemi

Torbalama, makine öğrenimi ve istatistiksel modellemede kullanılan bir kollektif yöntemidir. Kollektif yöntemleri, birden fazla modelin bir araya getirilmesiyle daha güçlü ve genelleştirilmiş bir model oluşturmayı amaçlar. Torbalama yöntemi, özellikle regresyon ve sınıflandırma problemlerinde başarılı sonuçlar elde etmek için kullanılır. Torbalama yönteminin adı, iki temel bileşeni olan "Yeniden Örnekleme (Bootstrap)" ve "Agregasyon" kelimelerinin birleşiminden gelir (Biswal, 2023):

- Yeniden örnekleme: Yeniden örnekleme örnekleme, veri kümesinden rastgele örnekler çekerek yeni örneklem setleri oluşturma işlemidir. Her yeni örneklem seti, veri kümesinin boyutuna eşit olabilir veya daha küçük bir boyuta sahip olabilir. Bu işlemle aynı veri noktaları bazen birden fazla örneklemde yer alabilirken, bazıları hiç seçilmeyebilir.
- Agregasyon: Agregasyon, çeşitli örneklem setlerinin oluşturulmasının ardından bu örneklem setlerini kullanarak birden fazla modeli eğitme sürecini ifade eder. Bu aşamada her bir örneklem seti üzerinde ayrı ayrı model eğitilir. Regresyon problemleri için genellikle bu modeller aynı algoritma kullanılarak oluşturulur ve farklı örneklem setleri üzerinde eğitilir.

Torbalama yöntemi, bu adımların ardından tahminlerin bir araya getirilmesiyle sonuç üretir: Tahminlerin Üretilmesi: Her eğitilmiş model, yeni girdi örnekleri için tahminlerde bulunur. Tahminlerin Agregasyonu: Sınıflandırma problemleri için genellikle tahminlerin modası alınırken, regresyon problemleri için tahminlerin ortalaması alınır. Bu sayede farklı modellerin tahminleri bir araya getirilir ve genellikle daha istikrarlı ve güvenilir bir sonuç elde edilir (Amrit, 2020).

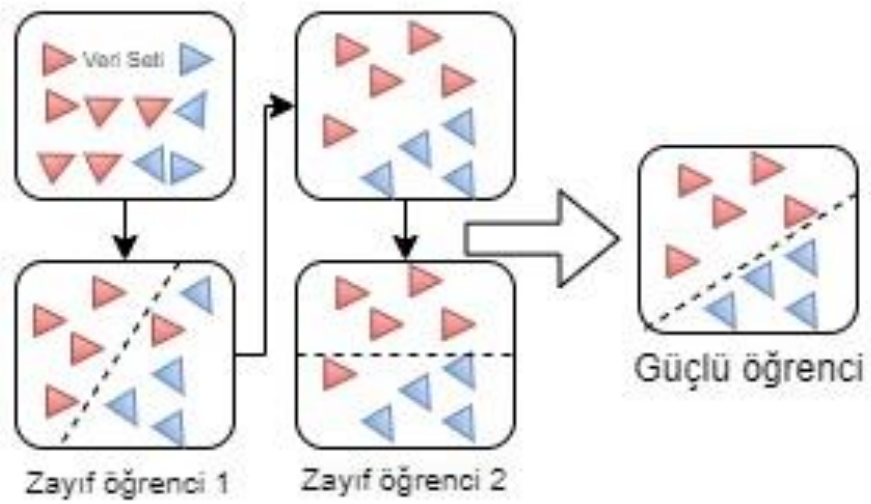


Şekil 7.3. Torbalama Yöntemi

7.2.2. Ada Yükseltici Regresyon Yöntemi

AdaBoost (Adaptif Yükseltici), Kolektif yöntemlerinden biridir ve özellikle zayıf öğrenicileri güçlü bir model haline getirmek için kullanılır. Adaboost, veri noktalarına ağırlıklar atayarak ve ardışık olarak çalışan bir algoritmadır. Her adımda, önceki adımlarda yanlış tahmin edilen örneklerin ağırlıkları arttırılarak yeni bir zayıf öğrenici (genellikle karar ağacı) oluşturulur. Adaboost algoritmasının çalışma adımları şunlardır:

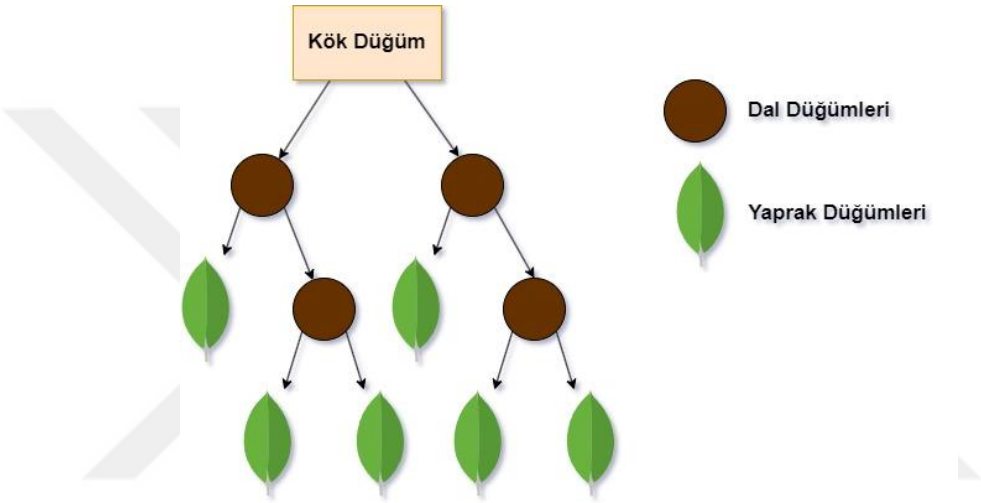
- Ağırlık Atama: İlk olarak, her veri noktasına eşit ağırlık atanır, yani tüm veri noktaları başlangıçta eşit derecede önemlidir.
- Zayıf Öğrenici Eğitimi: İlk zayıf öğrenici (örneğin, bir karar ağacı) eğitilir. Bu model, veri noktalarını baz alarak tahminlerde bulunur.
- Hata Hesaplama: İlk öğrenicinin tahminlerine göre, her veri noktasının gerçek sınıfı ile tahmin edilen sınıfı karşılaştırılır ve yanlış tahmin edilen noktaların ağırlıkları arttırılır.
- Yeni Öğrenici Oluşturma: Ağırlıkları güncellenen veri noktaları üzerinde yeni bir zayıf öğrenici daha eğitilir. Ancak bu sefer, ağırlıkları daha önce yanlış tahmin edilen veri noktaları daha fazla dikkate alınır.
- Ağırlık Güncelleme: Bu adım, her veri noktasının ağırlığını günceller. Yanlış tahmin edilen noktaların ağırlıkları arttırılırken, doğru tahmin edilen noktaların ağırlıkları azaltılır. Bu sayede sonraki öğreniciler daha çok yanlış tahmin edilen örnekleri odaklanarak daha iyi sonuçlar elde etmeye çalışır.
- Final Tahmin Üretimi: Oluşturulan tüm zayıf öğrenicilerin tahminleri, her bir öğrenicinin ağırlığına göre ağırlıklı olarak birleştirilir. Bu, güçlü bir modelin oluşturulmasını sağlar (Adıgüzel, 2020).



Şekil 7.4. AdaBoost Yöntemi

7.3. KARAR AĞACI REGRESYON YÖNTEMİ

Karar Ağacı (KAR), bir denetimli öğrenme algoritmasıdır. Tüm olası çözümlerin grafiksel bir temsilidir. Tüm kararlar belirli koşullara dayanarak alınır. Karar ağacında, verilen veri kümesinin sınıfını tahmin etmek için algoritma ağacın kök düğümünden başlar ve karar ağacı algoritması kök özniteliğin değerini kayıt (gerçek veri kümesi) özniteliğiyle karşılaştırır ve karşılaştırmaya bağlı olarak dalı takip eder ve bir sonraki düğüme atlar. Algoritma, bir sonraki düğüm için öznitelik değerini diğer alt düğümlerle karşılaştırır ve ilerlemeye devam eder. (Saini, 2023).



Şekil 7.5. Karar Ağacı Regrasyon Algoritması (Saini, 2023)

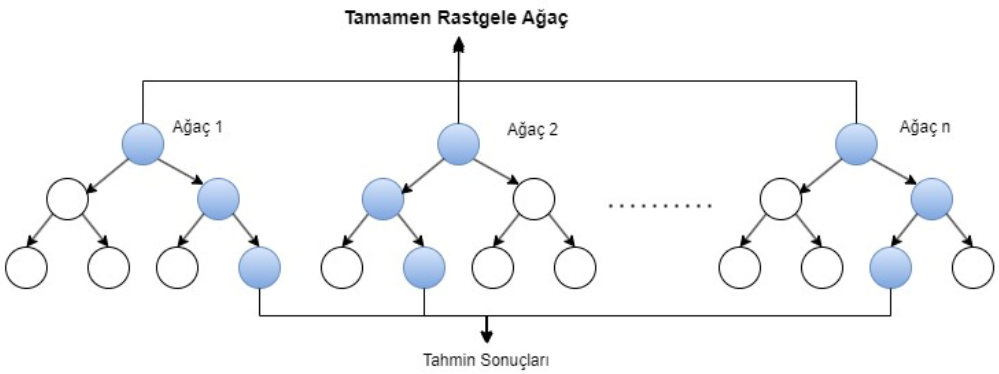
Kök Düğümler - Karar ağacının başında bulunan düğümdür, bu düğümden popülasyon farklı özelliklere göre bölünmeye başlar.

- Karar Düğümleri - Kök düğümleri böldükten sonra elde ettiğimiz düğümlere karar düğümleri denir.
- Yaprak Düğümleri - Daha fazla bölünme mümkün olmayan düğümlere yaprak düğümleri veya terminal düğümler denir.
- Alt-Ağaç - Küçük bir grafik parçasına alt-graf denildiği gibi, bu karar ağacının bir bölümüne alt-ağaç denir.
- Budama - Aşırı uydurmayı önlemek için bazı düğümleri kısmak anlamına gelir (Saini, 2023).

7.3.1. Tamamen Rastgele Ağaç Regresyon Yöntemi

Tamamen rastgele ağaç, makine öğrenimi alanında kullanılan bir regresyon algoritmasıdır. Temel olarak, karar ağaçları temelli bir kolektif yöntemi olan "Extremely Randomized Trees" veya kısaca "Extra Trees" olarak adlandırılır. Bu yöntem, veri analizinde ve tahmin yapmak için kullanılan birçok problemde etkili sonuçlar elde etmek için kullanılır. Temelde, tamamen rastgele ağaç, rastgele örneklemleme ve rastgele özellik seçimi gibi iki ana prensibi kullanır. Bu, her bir karar ağacının daha fazla varyasyona sahip olmasını ve böylece daha genelleştirilmiş bir model oluşturmasını sağlar. İşte tamamen rastgele ağaç 'ın detayları:

- Veri Örnekleme: Her bir karar ağacı oluşturulurken, veri kümesinden rastgele örnekler alınır. Bu, her bir ağacın farklı veri noktalarını kullanarak eğitilmesini sağlar.
- Özellik Seçimi: Her bir karar ağacı oluşturulurken, her ağaç düğümünde kullanılacak özellikler rastgele seçilir. Bu, her ağacın farklı özellikleri kullanarak kararlar almasını sağlar.
- Karar Ağaçları Oluşturma: Rastgele örneklemleme ve özellik seçimi kullanılarak birden fazla karar ağacı oluşturulur. Bu ağaçlar, bağımsız olarak veriye uygulanır ve her biri tahminlerde bulunur.
- Tahmin Yapma: Birden fazla karar ağacının ürettiği tahminler bir araya getirilir. Genellikle regresyon problemleri için ağaçların çıktıları ortalama alınarak tahminler üretilir.
- Sonuçlar Ortalaması veya Birleştirme: Elde edilen tahminlerin ortalaması alınabilir veya ağırlıklı bir ortalama kullanılabilir. Bu, daha istikrarlı ve genelleştirilmiş bir tahmin elde etmeye yardımcı olabilir (Roy, 2021).

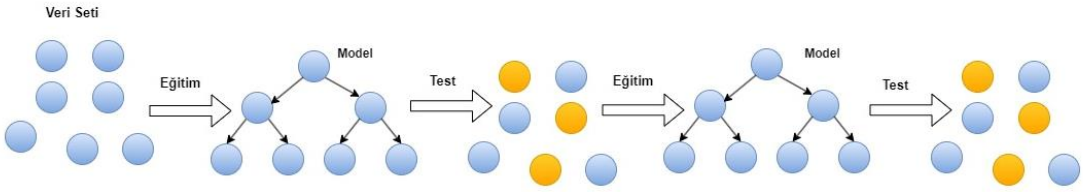


Şekil 7.6. Tamamen Rastgele Ağaç Regresyon Yöntemi (Chu, 2021)

7.3.2. Gradyan Yükseltici Regresyon Yöntemi

Gradient Boosting Regressor, bir makine öğrenimi algoritmasıdır ve özellikle regresyon problemlerinde kullanılır. Gradyan yükseltici regresyon, zayıf öğrenicileri (genellikle karar ağaçlarını) bir araya getirerek güçlü bir tahmin modeli oluşturmayı amaçlar. Gradyan yükseltici regresyon algoritmaları içinde en popüler olanlardan biri olan GradientBoostingRegressor, özellikle regresyon problemlerinde yüksek performans sağlayabilir. Gradyan yükseltici regresyonun detayları:

- Temel Fikir: Gradyan yükseltici regresyon, ardışık olarak oluşturulan zayıf tahmincileri (örneğin, karar ağaçları) bir araya getirerek, her bir aşamada önceki tahmincilerin hatalarını düzeltmeye çalışır. Böylece, her yeni tahminci, öncekilerin hatalarını azaltmaya odaklanır ve böylece daha güçlü bir tahmin modeli oluşturulur.
- Karar Ağaçları Kullanımı: Gradyan yükseltici regresyon, genellikle karar ağaçlarıyla çalışır. Ancak bu ağaçlar, tipik bir karar ağacından daha sığır (düşük derinlikli) ve düğüm sayısı daha azdır. Bu, ağaçların aşırı uymaya (overfitting) eğilimini azaltmaya yardımcı olur.
- Hata Fonksiyonu: Algoritma, her bir aşamada önceki tahmincilerin hatalarını düzeltmek için bir hata fonksiyonunu optimize eder. Genellikle regresyon problemlerinde ortalama kare hata (Mean Squared Error, MSE) veya mutlak hata (Mean Absolute Error, MAE) kullanılır.
- Gradyan İniş (Gradient Descent): Her bir aşamada, hata fonksiyonunun gradyanı hesaplanır. Bu gradyan, önceki tahmincilerin hatalarının en iyi nasıl düzeltilebileceğini gösterir. Yeni tahminci, bu gradyanı takip ederek daha iyi tahminler yapmaya çalışır.
- Öğrenme Oranı (Learning Rate): Gradyan yükseltici regresyon her yeni tahmincinin ne kadar büyük bir adım atacağını kontrol eden bir öğrenme oranı parametresi bulunur. Bu oran, aşamalı olarak küçültülerek daha istikrarlı bir model oluşturmaya yardımcı olabilir.
- Aşama Sayısı: Kaç adımda (kaç tahminci oluşturularak) Gradyan yükseltici regresyon sonlandırılacağı bir hiperparametredir. Çok fazla tahminci eklemek, overfitting'e yol açabilir; bu nedenle, aşama sayısı dikkatli bir şekilde seçilmelidir (Bayrakçı, 2021).



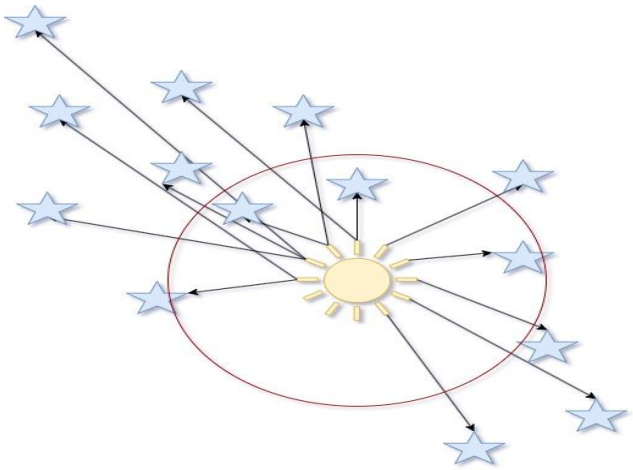
Şekil 7.7. Gradyan Yükseltme Regresyon Yöntemi

7.4. K-EN YAKIN KOMŞU REGRESYON YÖNTEMİ

K-En Yakın Komşu (KEYKR) algoritması kolayca öğrenilebilen en basit algoritmadır. Basitliğine rağmen, belirli görevlerde son derece etkili olduğunu kanıtlamıştır. Hem sınıflandırma hem de regresyon problemleri için kullanılabilir. K-En Yakın Komşu algoritması, veri noktalarını uzayda konumlarına göre gruplandırır ve tahmin yapmak istediğimiz nokta için en yakın komşularını belirler.

Tahmin yapmak için, K-En Yakın Komşu, k-en yakın komşuların hedef değişken değerlerini kullanarak ağırlıklı bir ortalama veya medyan değer hesaplar. K değeri, kaç komşunun kullanılacağını belirler ve genellikle kullanıcı tarafından belirlenen bir parametredir (Singh, 2023). K-En Yakın Komşu algoritmasının çalışma mantığı şu adımlarla açıklanabilir:

- Veri Seti ve K değeri belirlenir: İlk olarak, regresyon yapmak için kullanılacak veri seti belirlenir ve K değeri seçilir.
- Veri Noktalarının Konumlarına Göre Gruplandırma: Veri noktaları, uzayda konumlarına göre gruplandırılır. Genellikle Öklidyen mesafesi kullanılarak noktalar arasındaki uzaklık hesaplanır.
- Tahmin Yapılacak Noktanın Komşularının Belirlenmesi: Tahmin yapmak istediğimiz noktanın K en yakın komşusu belirlenir. Bu, Öklidyen mesafesine dayalı olarak yapılır.
- Tahmin Değerinin Hesaplanması: Belirlenen K en yakın komşunun hedef değişken değerleri kullanılarak tahmin değeri hesaplanır. Bu, ağırlıklı bir ortalama veya medyan değer olarak hesaplanabilir.
- K-En Yakın Komşu, veriye dayalı bir öğrenme algoritması olduğu için modelin eğitim aşamasında bir işlem yapmaz. Sadece tahmin yapmak istediğimiz nokta için en yakın komşuları kullanarak tahmin değerini hesaplar.
- K-En Yakın Komşu yönteminin avantajları arasında basitlik, esneklik ve iyi bir performans elde edebilme potansiyeli bulunur. Ancak, büyük veri setlerinde ve yüksek boyutlu uzaylarda hesaplama maliyeti artabilir. Ayrıca, K değerinin seçimi, modelin performansını etkileyebilir ve doğru bir K değeri seçimi önemlidir (T., 2021).



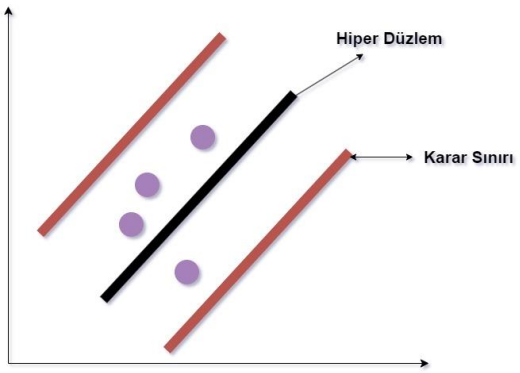
Şekil 7.8. K En Yakın Komşu (T., 2021)

7.5. DESTEK VEKTÖR MAKİNELERİ REGRESYON YÖNTEMİ

SVR (Support Vector Regression), destek vektör makineleri (SVM) temel alan bir regresyon algoritmasıdır. SVR, regresyon problemleri için kullanılır, yani hedef değişken sürekli bir değer alır. Amaç, veri noktalarını bir hiper düzlem üzerinde en iyi şekilde ayırmaktır. SVR'nin çalışma mantığı şu adımlarla açıklanabilir:

- Veri Seti ve Ölçeklendirme: İlk olarak, regresyon yapmak için kullanılacak veri seti belirlenir ve gerekiyorsa veriler ölçeklendirilir. Verilerin ölçeklendirilmesi, farklı özelliklerin farklı ölçeklere sahip olabileceği durumlarda önemlidir.
- Destek Vektörlerinin Belirlenmesi: SVR, veri noktalarını bir hiper düzlem üzerinde ayırmak için destek vektörleri kullanır. Destek vektörleri, veri noktaları ile hiper düzlem arasında yer alan noktalardır ve bu noktaların marjinal hatayı minimize etmeye çalışırlar.
- Hiper Düzlem Belirleme: Destek vektörleri kullanarak, veri noktalarını en iyi şekilde ayıran bir hiper düzlem belirlenir. Bu hiper düzlem, regresyon işlemini gerçekleştirmek için kullanılır.

- Marjinal Hata Minimizasyonu: SVR, marjinal hataları minimize etmeye çalışır. Marjinal hata, veri noktalarının hiper düzlemden ne kadar uzakta olduğunu gösterir. Hedef, bu marjinal hatayı belirli bir tolerans eşiği içinde tutmaktır.
- Çekirdek Fonksiyonu Seçimi: SVR'de kullanılan çekirdek fonksiyonu, veri noktalarını daha yüksek boyutlu uzaylara dönüştürmek için kullanılır. Bu, verilerin daha karmaşık bir yapıya sahip olabileceği durumlarda faydalı olabilir. Örneğin, RBF (Gaussian) çekirdeği sıkça kullanılan bir çekirdek fonksiyonudur.
- Optimizasyon: SVR, bir optimizasyon problemi olarak formulize edilir. Bu, destek vektörlerini belirlemek ve hiper düzlemi en iyi şekilde ayırmak için bir optimizasyon algoritması kullanılarak gerçekleştirilir.
- SVR'nin avantajları arasında etkili çalışması için daha az eğitim verisine ihtiyaç duyması, yüksek boyutlu veri setlerinde iyi performans gösterebilmesi ve marjinal hatalara dayalı esnek bir regresyon yapısı sunması bulunur. Ancak, modelin karmaşıklığını kontrol etmek için uygun bir C ve epsilon parametresi seçimi önemlidir (Sethi, 2018).



Şekil 7.9. Destek Vektör Algoritması (Sethi, 2018)

7.6. UZUN KISA SÜRELİ BELLEK REGRESYON YÖNTEMİ

Uzun Kısa Süreli Bellek (LSTM), recurrent neural networks (RNN)'lerin bir türüdür ve zaman serisi verileri gibi ardışık veri problemlerinde özellikle etkilidir. Standart RNN'lere kıyasla, LSTM daha uzun süreli bağımlılıkları ele alabilir ve kaybolan/gradiyan patlaması sorunlarıyla daha iyi başa çıkabilir. LSTM, hücre durumunu (cell state) kullanarak bilgiyi hafızasında taşır ve bu hafıza, çeşitli kapı mekanizmaları ile kontrol edilir. LSTM'nin ana bileşenleri şunlardır:

- Unutma Kapısı (Forget Gate): Önceki hücre durumunu dikkate alarak hangi bilgilerin unutulacağını belirler. Unutma kapısı, sigmoid aktivasyon fonksiyonu ile çalışır ve değerleri 0 ile 1 arasında bir aralığa sıkıştırır. Önceki hücre durumunu (C_{t-1}) ve mevcut girdiyi (X_t) kullanarak unutma vektörünü (f_t) hesaplar:

$$f_t = sigmoid(W_f * [C_\{t-1\}, X_t] + b_f) \quad (2)$$

- Giriş Kapısı (Input Gate): Hangi yeni bilgilerin hücre durumuna ekleneceğini belirler. Giriş kapısı, sigmoid aktivasyon fonksiyonu ile çalışır ve birinci adımda hesaplanan unutma vektörünü dikkate alır. Ayrıca, hiperbolik tanjant aktivasyon fonksiyonunu kullanarak aday hücre durumunu (C~t) hesaplar.

$$i_t = sigmoid(W_i * [C\{t-1\}, X_t] + b_i) \quad (2.1.)$$

$$C\sim t = tanh(W_c * [C\{t-1\}, X_t] + b_c) \quad (2.2.)$$

- Hücre Durumu Güncellemesi: Unutma kapısı ve giriş kapısının çıktılarını kullanarak hücre durumunu günceller. Önceki hücre durumunu unutmak için unutma vektörünü (f_t) kullanır ve aday hücre durumunu (C~t) yeni bilgilerle birleştirir.

$$C_t = f_t * C\{t-1\} + i_t * C\sim_t \quad (2.3.)$$

- Çıkış Kapısı (Output Gate): Güncellenmiş hücre durumunu kullanarak çıkışı belirler. Çıkış kapısı, sigmoid aktivasyon fonksiyonu ile çalışır ve hiperbolik tanjant aktivasyon fonksiyonunu kullanarak hücre durumunu çıktıya dönüştürür.

$$o_t = sigmoid(W_o * [C_t, X_t] + b_o) \quad (2.4.)$$

$$h_t = o_t * tanh(C_t) \quad (2.5.)$$

X_t: Mevcut zaman adımında gelen giriş verisi, C_{t-1}: Önceki hücre durumu, f_t: Unutma vektörü, i_t: Giriş vektörü, C~_t: Aday hücre durumu, C_t: Güncellenmiş hücre durumu, o_t: Çıkış vektörü, h_t: Gizli durum, W_f, W_i, W_c, W_o: Ağırlık matrisleri, b_f, b_i, b_c, b_o: Bias terimleri (Saini, 2023)

8. MAKİNE ÖĞRENMESİ İLE BATARYA TAHMİN ALGORİTMASI

Batarya tahmini, bataryaların enerji seviyelerini gelecekte tahmin etmek için kullanılan önemli bir alandır. Bu tahminler, bataryaların kullanım süresini ve performansını optimize etmek, enerji yönetimini iyileştirmek ve kullanıcı deneyimini geliştirmek amacıyla kullanılmaktadır. Bu nedenle, batarya tahmin algoritmaları, doğru ve güvenilir tahminler üretmek için geliştirilmekte ve araştırmalar bu alanda devam etmektedir. Batarya tahmin algoritmalarının temel amacı, bataryanın mevcut durumuna dayanarak gelecekteki enerji seviyelerini tahmin etmektir. Bu tahminler, bataryanın şarj ve deşarj hızını dikkate alarak yapılır ve gerçek zamanlı verileri analiz eden özel algoritmalar kullanır. Bu algoritmalar, geçmiş verilere dayanarak bataryanın davranışını modellemekte ve gelecekteki enerji seviyelerini tahmin etmek için istatistiksel ve makine öğrenmesi tekniklerini kullanmaktadır. Batarya tahmin algoritmalarının geliştirilmesi, bir dizi zorluk ve faktörü içerir. Bunlar arasında bataryanın özellikleri, çevresel faktörler, kullanım modelleri ve hatta bataryanın yaşlanma süreci gibi unsurlar yer almaktadır. Bu nedenle, batarya tahmini çalışmalarında, doğru veri toplama ve modelleme teknikleri kullanılarak güvenilir ve hassas tahminler üretmek önemlidir. Bu çalışmada kullanılan tüm makine öğrenme algoritmaları PYTHON yazılım dili kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Şekil 8.1'de PYTHON programlama dilindeki algoritma şeması verilmiştir.

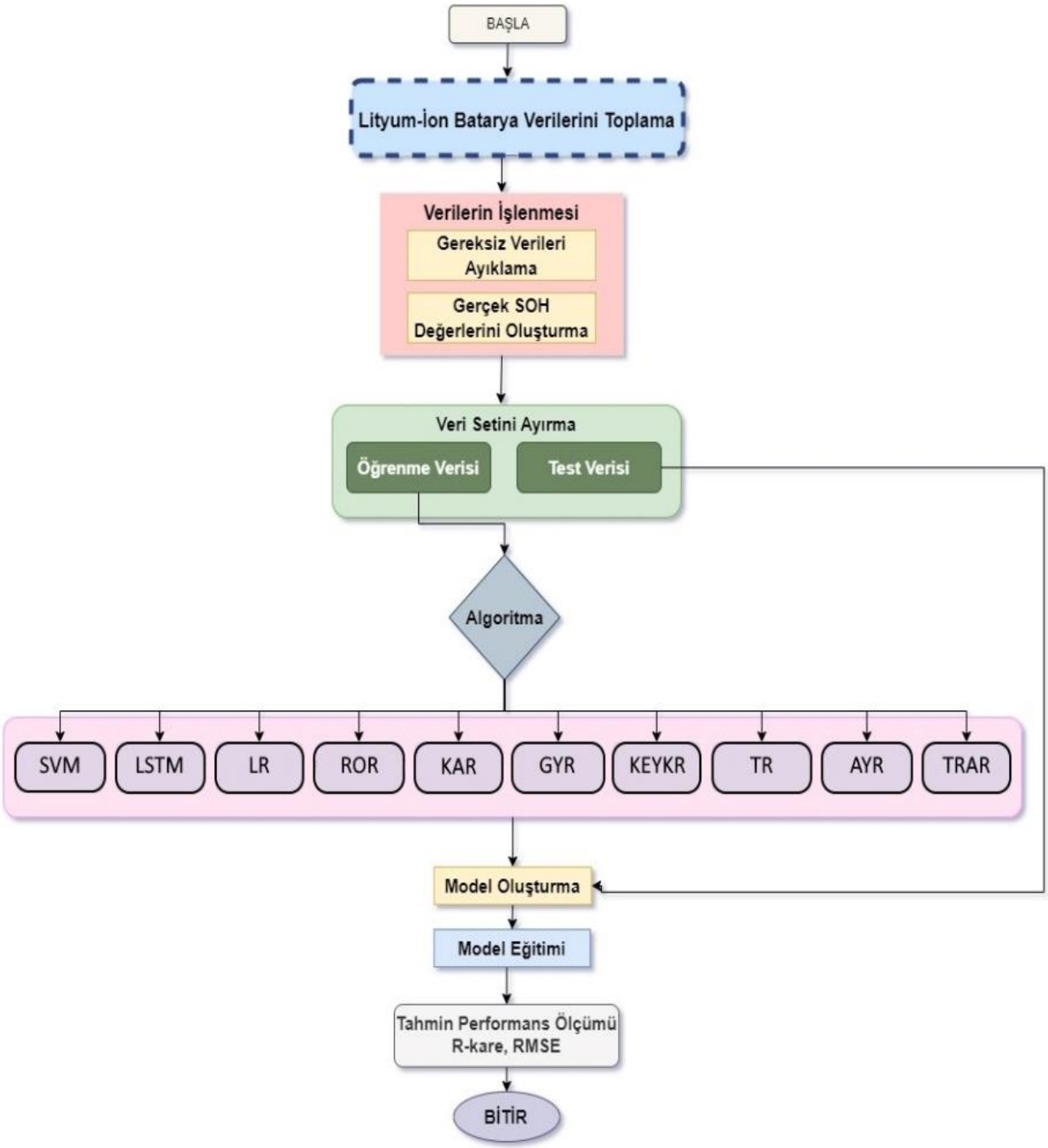
Batarya verilerinin toplanması: Makine öğrenmesi için gerekli olan verileri toplamada python dili kullanılarak, Ethernet protokolü ile MQTT üzerinden iletilen veriler .csv uzantılı dosyalara json formatında yazılmıştır.

Verilerin işlenmesi: Sıcaklık haritasına göre en az ilişkili veriler seçilerek modellerin ezber yapmaları engellenmiştir. Aynı zamanda tahmin için kıyaslama yapılacak gerçek veriler oluşturulmuştur.

Veri setini ayırma: Bu aşamada model için test ve öğrenme verileri %30'a %70 olarak ayrılmıştır.

Algoritma: Algoritma aşamasında kullanılan regrasyon yöntemleri sıra ile eğitilmiştir.

Performans ölçümü: R_2 ve RMSE yöntemleri ile tahminlerin performansları ölçülmüştür.



Şekil 8.1. Algoritma Şeması

8.1. BATARYA VERİ SETİ

Bu çalışmada, İnovasyon Mühendislik bünyesinde üretilen otonom taşıyıcı robotlardan (INOTA100) toplanan batarya verileri kullanılmıştır. Veri alınan battarya, Lityum-ion bataryadır. 40 Amper 29,2-20 Volt arasında kullanım sağlamaktadır. İçerisinde 7 hücreden oluşur. Bir adet sıcaklık sensörü bulunur ve rs485 haberleşme protokolü kullanılmaktadır. Batarya veri seti bir tam günü içerir. Batarya şarjı, gücü, voltajı, akımı, sıcaklığı, kapasitesi, hücre durumları ve zaman verileri sağlanmaktadır Şekil 8.2' de tüm veri seti bulunmaktadır. Bir tam günü içeren veri seti yaklaşık olarak doksan bir bin datadan oluşmaktadır.

	SOH	TIME(s)	BATT_CURRENT	BATT_CHARGE	BATT_CAP	BATT_POWER(KwH)	BATT_VOLTAGE	MIN_CELL_VOLTAGE	MAX_CELL_VOLTAGE	AVG_TEMP	MIN_TEMP	MAX_TEMP
0	1.000000	0.0	-1.100000	93.500000	44880.000000	0.031570	28.700001	4097.000000	4102.000000	24.000000	24	24
1	1.000000	1.0	-1.200000	93.500000	44880.000000	0.034440	28.700001	4097.000000	4102.000000	24.000000	24	24
2	1.000000	2.0	-1.100000	93.500000	44880.000000	0.031570	28.700001	4097.000000	4102.000000	24.000000	24	24
3	1.000000	3.0	-1.200000	93.500000	44880.000000	0.034440	28.700001	4097.000000	4102.000000	24.000000	24	24
4	1.000000	4.0	-1.200000	93.500000	44880.000000	0.034440	28.700001	4096.000000	4102.000000	24.000000	24	24
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
91950	0.407487	91950.0	-1.100000	38.099998	18288.000000	0.025300	23.000000	3290.000000	3306.000000	27.000000	26	28
91951	0.407487	91951.0	-1.100000	38.099998	18288.000000	0.025300	23.000000	3290.000000	3307.000000	27.000000	26	28
91952	0.407487	91952.0	-1.100000	38.099998	18288.000000	0.025300	23.000000	3290.000000	3306.000000	27.000000	26	28
91953	0.407487	91953.0	-1.100000	38.099998	18288.000000	0.025300	23.000000	3290.000000	3307.000000	27.000000	26	28
91954	0.407487	91954.0	-1.200000	38.099998	18288.000000	0.027600	23.000000	3290.000000	3306.000000	27.000000	26	28

91955 rows × 12 columns

Şekil 8.2. Batarya Veri Seti

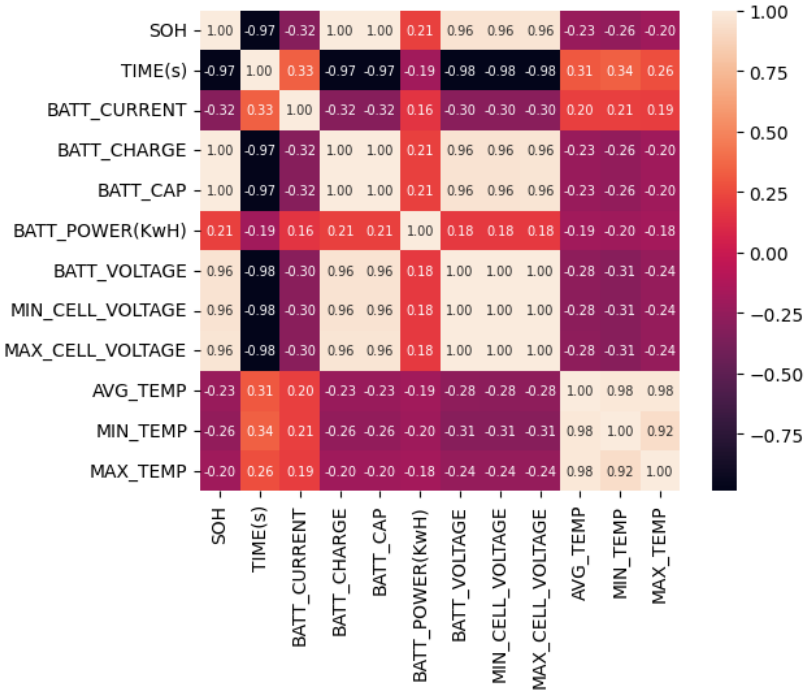
8.2. BATARYA SOH TAHMİNİ

Batarya SOH tahmini, bataryanın yaşlanma sürecini değerlendirmek ve bataryanın ne kadar sağlıklı olduğunu tahmin etmek için kullanılan önemli bir yöntemdir. Bu tahmin, bataryanın performansının zamanla nasıl değiştiğini anlamak ve bataryanın ömrünü optimize etmek için önemlidir. Bu bölümde, batarya SOH tahmini konusunda yapılan çalışmalara odaklanarak, farklı yöntemlerin ve algoritmaların kullanıldığı güncel araştırmaları inceleyeceğiz. Bu çalışma, batarya teknolojisinin geliştirilmesi ve sürdürülebilir enerji depolama çözümlerinin geliştirilmesi açısından önemli bir adım olacaktır.

Ayrıca, batarya SOH tahmininde kullanılan yöntemlerin doğruluğunu değerlendirecek ve gelecekteki batarya teknolojilerinin iyileştirilmesine katkıda bulunacak sonuçlar elde etmeyi amaçlamaktayız.

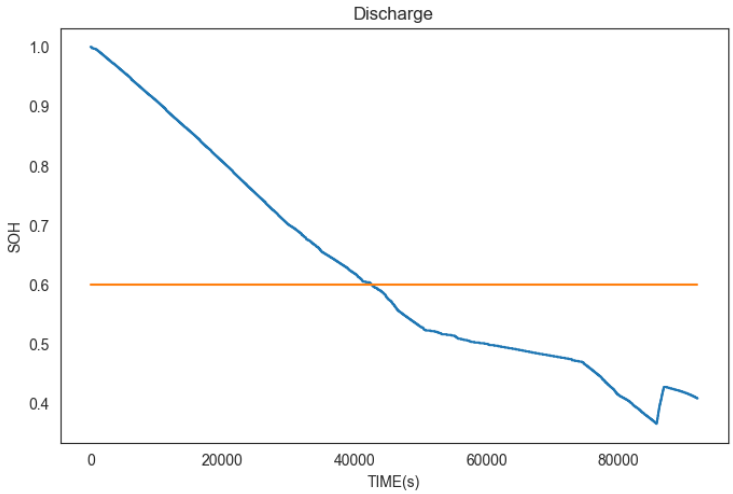
$$SOH = \frac{C_T}{C_0} \tag{3}$$

Denklem 6'da C_0, başlangıçta bataryanın kapasitesini temsil ederken, C_T bataryanın güncel kapasitesini ifade etmektedir. Dolayısıyla, bataryanın güncel kapasitesinin



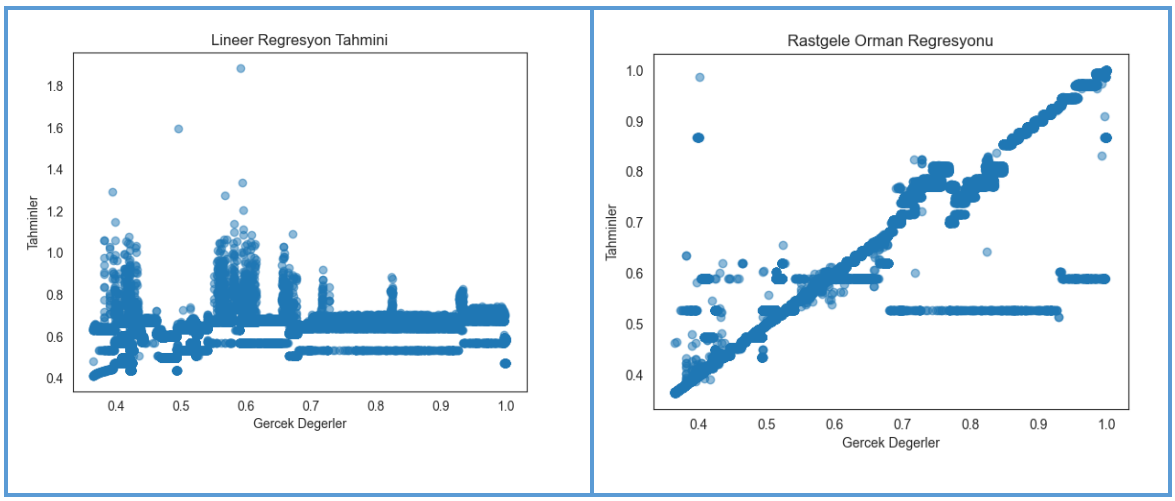
Şekil 8.3. Batarya Verilerinin Sıcaklık Haritası

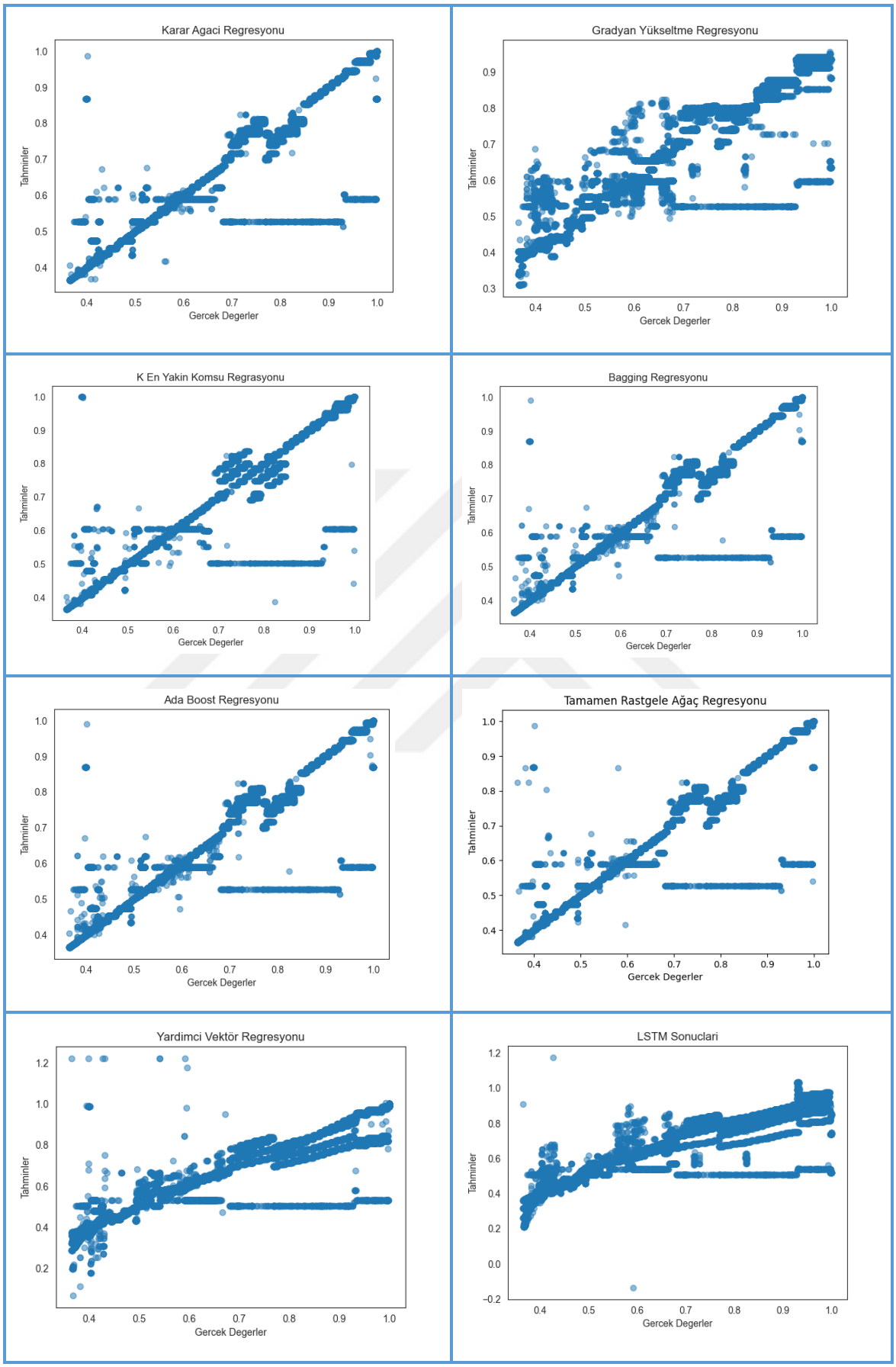
başlangıç kapasitesine oranı olarak tanımlanır. Bu formül, bataryanın sağlık durumunu değerlendirmek için yaygın olarak kullanılan bir metriktir. Eğer SOH değeri 1'e yakınsa, bu bataryanın sağlıklı olduğunu ve tam kapasitesini koruduğunu gösterir. Ancak, SOH değeri 1'den düşükse, bataryanın sağlık durumu azalmış ve kapasitesinin azaldığı anlamına gelir. Denklem 6 kullanılarak batarya verilerinde SOH değerleri elde edilir ve bu değerlerin diğer batarya verileri ile arasındaki ilişkiyi incelemek için Şekil 8.3'de bulunan sıcaklık haritasından yararlanılmaktadır. Bu haritaya göre her bir batarya verisinin birbirleri üzerindeki etkilerini incelememiz mümkündür. Sıcaklık haritasına göre SOH verisin 'zamana' bağlı olduğunu ve aynı zamanda ters yönde yüksek bir ilişkisi olduğunu söylenebilir. Karşımıza çıkan- 0.97' lik oran, 'zaman' ne kadar artarsa, bataryanın sağlığının o kadar azalacağı anlamına geldiğini belirtir.



. Şekil 8.4. Batarya Sağlık Grafiği

Batarya SOH-time ilişkisi için Şekil 8.4 incelenirse bir bataryanın zamana karşı kapasitesinin azalmasını Şekil 8.3'de bahsedilen sıcaklık haritasındaki zaman ve sağlık oranını daha net açıklamış olur, aynı zamanda yatay sarı çizgi, bataryanın ömrünü tamamladığı ve değişim yapmanın önerildiği %60 eşik değerini temsil etmektedir. Bu değerler bir bataryanın tüm çevrimlerinin detaylı bir şekilde toplanması ile daha güvenilir sonuçlar oluşturur. Şekil 8.4 temsili bir batarya tüketim örneğidir. Şekil 8.5 'de çalışmada kullanılan SOH regrasyon yöntemlerinin tahmin ve gerçek değerlerin karşılaşması lineer grafikler ile verilmiştir.





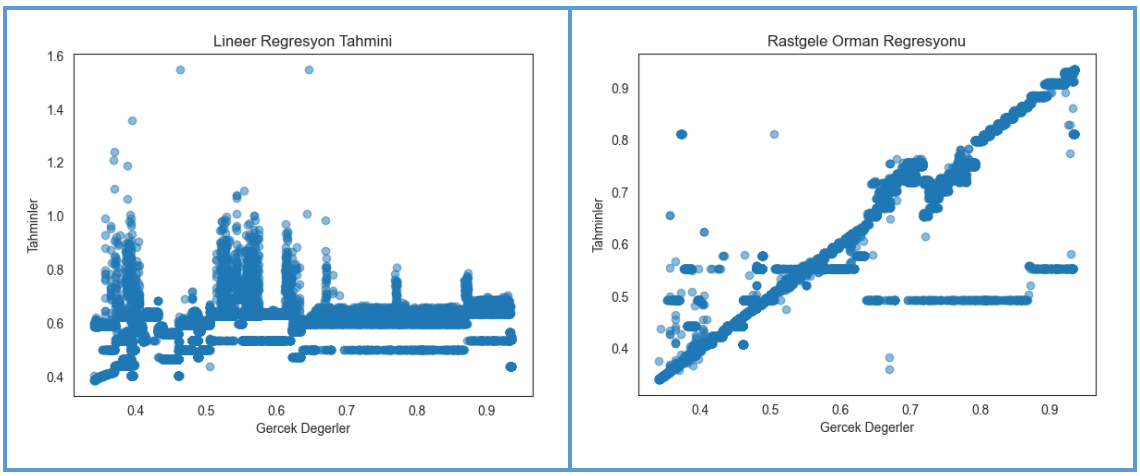
Şekil 8.5. SOH Makine Öğrenmesi ile Tahmin Sonuçları

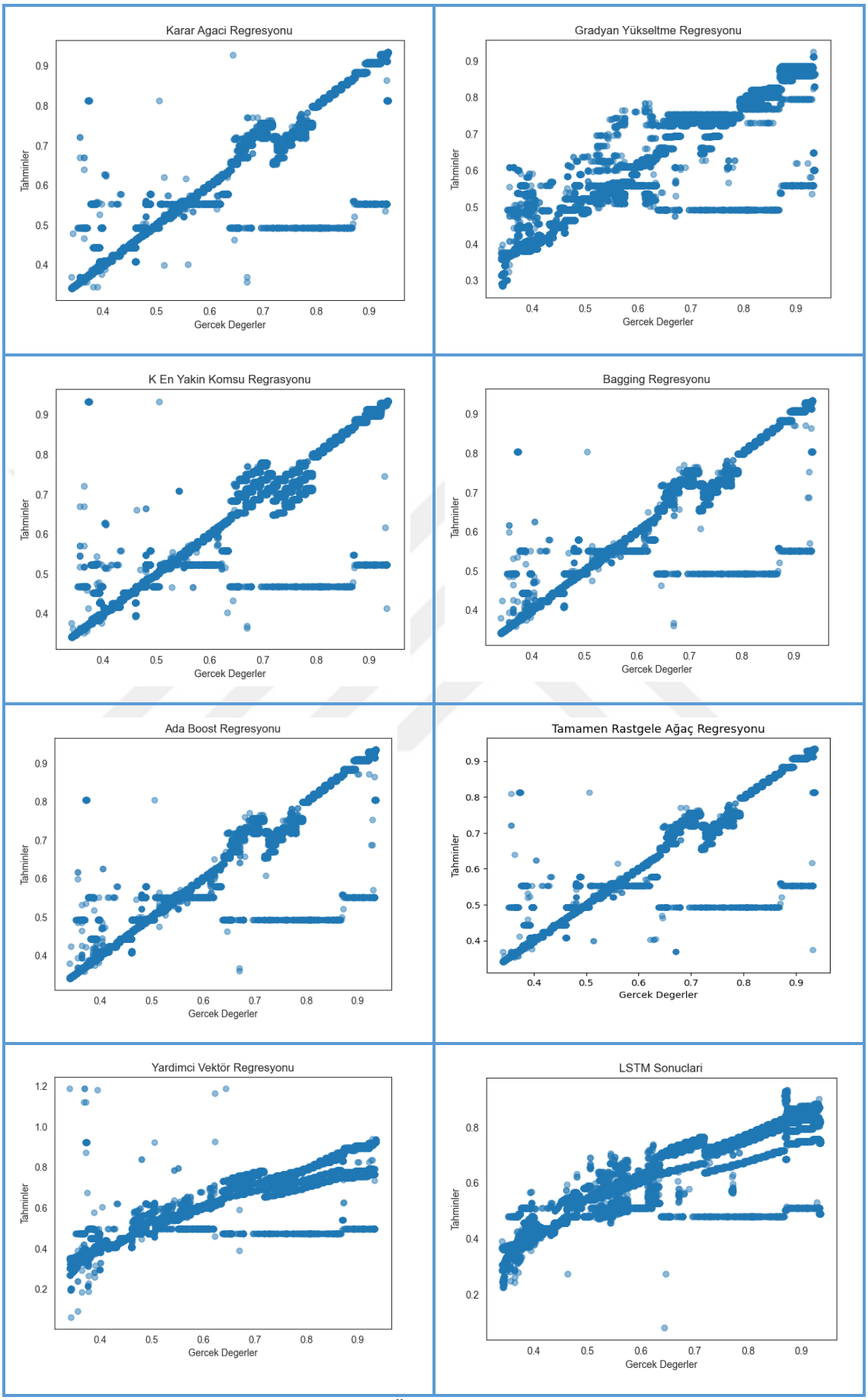
8.3. BATARYA SOC TAHMİNİ

Batarya SOC Tahmini başlığı altında, bataryanın Şarj Durumu tahminine odaklanılır. Bataryanın SOC'u, bataryanın mevcut enerji seviyesini yüzde olarak ifade eder. SOC tahmini, bataryanın ne kadar enerjiye sahip olduğunu belirlemek için önemli bir parametredir ve birçok uygulama alanında önemli bir rol oynar. Bataryaların SOC tahmini, enerji yönetimi, elektrikli araçlar, güneş enerjisi sistemleri gibi birçok alanda kullanılır. Bu tahmin, bataryanın kullanılabilir enerji miktarını belirlemek, batarya ömrünü optimize etmek ve batarya performansını izlemek için önemlidir. Bu başlık altında, farklı yöntemler ve algoritmalar kullanarak batarya SOC tahmini yapma yöntemlerini incelenir. SOC tahmininde kullanılan veri ve parametreler, model seçimi ve eğitimi gibi konuları ele alınmıştır. Ayrıca, SOC tahmini için kullanılan regresyon modellerinin performansını değerlendirilip ve en etkili sonuçları elde etmek için doğru yöntemleri belirlenir.

$$SOC = \frac{V - V_min}{V_max - V_min} * 100 \qquad (4)$$

Burada, SOC bataryanın Şarj Durumu'nu, V bataryanın anlık voltajını, V_min bataryanın minimum voltajını ve V_max bataryanın maksimum voltajını temsil eder. Bu formül, bataryanın voltaj değeri ile SOC arasındaki ilişkiyi kullanarak tahmin yapar. Şekil 8.6' da SOC verilerinin regrasyon tahmin değerleri ve gerçek değerlerinin kıyaslanması lineer grafik ile verilmiştir.





Şekil 8.6. SOC Makine Öğrenmesi ile Tahmin Sonuçları

8.4. ELDE EDİLEN SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

Tasarlanan makine öğrenmesi algoritmalarının başarı oranını ölmek için 2 farklı senaryo iki analiz yöntemi ile ölçülmüştür. Bunlar:

- R2 (R-squared), regresyon modellerinin performansını ölçmek için kullanılan bir doğruluk ölçme yöntemidir. R2 değeri, tahmin edilen değerlerin gerçek değerlerle ne kadar iyi eşleştiğini gösterir. R2 değeri genellikle 0 ile 1 arasında bir değer alır ve ne kadar yüksekse, modelin daha iyi bir uyum sağladığı anlamına gelir.

$$R2 = 1 - \frac{SSR}{SST} \tag{5}$$

$$SSR = \Sigma(y_pred - y_actual)^2 \tag{5.1}$$

$$SST = \Sigma(y_actual - y_mean)^2 \tag{5.2}$$

- RMSE (Root Mean Square Error), regresyon modellerinin performansını ölçmek için kullanılan bir hata ölçme yöntemidir. RMSE, modelin tahminlerinin gerçek değerlerden ne kadar sapma gösterdiğini hesaplar ve bu sapmaların karelerinin ortalamasının karekökünü alır. Daha düşük RMSE değeri, modelin tahminlerinin gerçek değerlere daha yakın olduğunu gösterir.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} * \Sigma(y_pred - y_actual)^2)} \tag{6}$$

Tablo 8.1. Tahmin Sonuçlarının Analizi

Yöntem	**R2_SOH**	**RMSE_SOH**	**R2_SOC**	**RMSE_SOC**
LR	20.22%	0.16	19.63%	0.15
ROR	91.58%	0.05	91.40%	0.05
KAR	91.60%	0.05	91.34%	0.05
GYR	88.20%	0.06	88.20%	0.05
KEYKR	90.80%	0.06	90.32%	0.05
TR	91.56%	0.05	91.39%	0.05

Tablo 8.1(Devamı). Tahmin Sonuçlarının Analizi

Yöntem	R2_SOH	RMSE_SOH	R2_SOC	RMSE_SOC
AYR	66.71%	0.05	65.74%	0.06
TRAR	91.47%	0.05	91.32%	0.05
SVM	86.63%	0.07	82.19%	0.06
LSTM	83.11%	0.08	82.33%	0.07

Tablo 8.1'de sonuçlar, farklı makine öğrenmesi yöntemleriyle EA bataryalarının SOH ve SOC değerlerinin tahmin edilmesi performansını göstermektedir.

- R2 ve RMSE değerleri, tahmin performansını ölçmek için kullanılan istatistiksel metriklerdir. R2, tahmin edilen değerlerin gerçek değerlere ne kadar yakın olduğunu gösterir. R2 değeri 1'e yaklaştıkça, tahmin performansı artar. RMSE ise tahmin edilen değerler ile gerçek değerler arasındaki ortalama hata miktarını gösterir. RMSE değeri 0'a yaklaştıkça, tahmin performansı artar.
- Sonuçlara göre, Rastgele Orman Regresyonu (RastgeleFR), Karar Ağacı Regresyonu (KararTR) ve Torbalama Regresyonu (BagginR) yöntemleri hem SOH hem de SOC tahmininde en yüksek R2 ve en düşük RMSE değerlerine sahip olan yöntemlerdir. Bu yöntemler, veri setindeki karmaşık ilişkileri yakalamakta ve aşırı uyuma karşı dirençli olmaktadır.
- Lineer Regresyon (LineerR) yöntemi ise hem SOH hem de SOC tahmininde en düşük R2 ve en yüksek RMSE değerlerine sahip olan yöntemdir. Bu yöntem, veri setindeki doğrusal olmayan ilişkileri yakalayamamakta ve yetersiz uyum problemi yaşamaktadır.
- AdaYükseltici Regresyonu (AdaBR) yöntemi ise, diğer yöntemlere göre daha düşük bir performans sergilemektedir. Bu yöntem, veri setindeki gürültüye ve aykırı değerlere karşı hassas olmakta ve aşırı uyum problemi yaşamaktadır.
- Gradyan Arttırma Regresyonu (GradyanR), K-Komşu Regresyonu (K-KomşuNR), TamamenRTR ve Destek Vektör Regresyonu (SVR) yöntemleri ise, orta seviyede bir performans sergilemektedir. Bu yöntemlerin bazıları parametre ayarlaması veya veri ön işleme gerektirebilir.
- Uzun Kısa Süreli Bellek (LSTM) yöntemi ise, bir derin öğrenme yöntemi olmasına rağmen, diğer yöntemlere göre daha düşük bir performans sergilemektedir. Bu yöntemin performansını artırmak için daha fazla veri veya daha iyi bir mimari gerekebilir

9. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada elektrikli araçların tarihsel gelişimi, sınıflandırması, şarj sistemlerinde kullanılan dönüştürücü yapılar, şarj standartları, elektrik motor çeşitleri, batarya çeşitleri ve kullanılan şarj teknolojileri ile batarya sağlık durumu ve şarj durumu tahmini incelenmiştir. Elektrikli araçların üretimi ve kullanımı hızla artmaktadır. Ancak, bu artışla birlikte EA'ların ihtiyaç duyduğu hizmet ve altyapının da göz önünde bulundurulması gerekmektedir. EA şarj istasyonlarının sayısını artırmak ve akıllı şarj sistemleriyle enerji verimliliğini sağlamak önemlidir. Böylece, elektrikli araçlar için daha fazla seçenek sunulabilir ve yenilenebilir enerji kaynaklarından daha fazla yararlanılabilir.

Elektrikli araçların, içten yanmalı motorlu araçlara kıyasla daha iyi ve tasarruflu bir kilometre maliyetine sahip olması, emisyon ve sera gazı salınımının azaltılmış veya hiç olmaması, üstün performans özellikleri, düşük bakım maliyetleri ve enerji güvenliği gibi nedenlerle dikkat çekmektedir. Ancak EA'ların yüksek maliyeti, şarj istasyonlarının yaygınlaşmamış olması, uzun şarj süreleri ve sınırlı menzilleri gibi bazı sorunlar da araştırma konusu olmaktadır.

Batarya teknolojisinin gelişmesiyle birlikte maliyetlerin azalması beklenmektedir. Ayrıca, şarj istasyonlarının dünya çapında yaygınlaşması da devam etmektedir. Ultra hızlı ve hızlı DC şarj ile şarj sürelerinde ciddi azalmalar görülmektedir. Akıllı enerji sistemlerinde, V2X teknolojisiyle enerjinin sabit bir konumda kalmaması, ihtiyaç duyulan her yere aktarılması hedeflenmektedir.

Yenilenebilir enerji, fosil yakıtlara bağımlılığı azaltmak ve iklim değişikliğiyle mücadele etmek için dünya için önemli bir enerji kaynağıdır. EA’lar, yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanarak hem ulaşım hem de elektrik sistemlerini sürdürülebilir hale getirebilir. Bunun için, EA’lar ile elektrik şebekesi arasında çift yönlü iletişim ve enerji transferi sağlayan V2X teknolojisi gerekir. V2X’in bir alt kategorisi olan V2G, EA’ların bataryalarını elektrik şebekesine bağlayarak, şebekeye esneklik ve stabilite kazandırır. V2G teknolojisi, EA’ların şarj sürelerini optimize eder, elektrik maliyetlerini düşürür ve karbon emisyonlarını azaltır. Türkiye’de de yenilenebilir enerji ve EA’lar konusunda ilerleme kaydedilmektedir.

Türkiye'nin Otomobili Girişim Grubu, 2022 yılında piyasaya sürmeyi planladığı ilk yerli elektrikli aracını tanıttı. Bu araç, V2G teknolojisine uyumlu olacak ve Türkiye'nin elektrik şebekesine katkıda bulunacak.

Bu sayede, Türkiye'nin yenilenebilir enerji potansiyelini artırmak ve EA'ların yaygınlaşmasını sağlamak için daha ileri adımlar atılacaktır. Bataryaların gelişmesiyle birlikte, şarj istasyonlarının yanı sıra en çok ihtiyaç duyulan alan, Batarya Yönetim Sistemlerine entegre edilen SOH ve SOC verilerinin doğru analizleridir. Bu analizler, gerçek ortam koşullarına uygun bir şekilde yapıldığında, uzun ömürlü batarya kullanımı mümkün olur.

Bu çalışmada, 90 binden fazla toplanan batarya verisiyle batarya sıcaklığı, kapasitesi, voltaj ve akım gibi değerler üzerinde makine öğrenmesi algoritmalarının test edildiği bir veri seti kullanılmıştır. Test sonuçlarına göre, batarya SOH ve SOC tahminleri için en başarılı algoritma karar ağacı regresyon yöntemi olarak belirlenmiştir. Aynı zamanda rastgele orman, Torbalama ve ekstra regresyon yöntemleri de yüksek performans sergileyen diğer algoritmalar arasında yer almıştır. Diğer öğrenme algoritmalarında ise detaylandırılmış verilerle farklı sonuçlar elde edilebilmektedir. Bu çalışmanın sonuçları, bataryaların daha etkin bir şekilde kullanılmasına ve enerji kaynaklarının daha verimli bir şekilde yönetilmesine yardımcı olacaktır. Ayrıca, batarya tahmin modellerinin güvenilirlik ve doğruluk seviyelerini artırmak için optimize edilmiş algoritmaların geliştirilmesine yönelik ileri çalışmalara temel oluşturacaktır.

KAYNAKÇA

Acharige, S. S. (2021, Eylül). A Solar PV Based Smart EV Charging System with V2G Operation for Grid Support. *Australasian Universities Power Engineering Conference* (s. 1-6). Perth, Australia: IEEE.

Adıgüzel, K. (2020, 10 28). *AdaBoost Algoritması*. Medium: https://kadirguzel.medium.com/boosting-nedir-ad%C4%B1m-ad%C4%B1m-adaboost-algoritmas%C4%B1-439cce20ab9a#:~:text=AdaBoost%2C%20ilk%20boosting%20algoritmas%C4%B1%20olarak,%C3%B6rnekler%20bu%20algoritma%20i%C3%A7in%20%C3%B6nemlidir. adresinden alındı

Aksoy, H. B. (2010). A New Zvt-Zct-Pwm Dc-Dc Converter. *IEEE Transactions on Power Electronics, 19* (3), 676 - 684.

Amrit, A. (2020, 10 13). *Bagging on Low Variance Models*. Medium: https://towardsdatascience.com/bagging-on-low-variance-models-38d3c70259db adresinden alındı

Arif, S. M. (2021). Review of Electric Vehicle Technologies, Charging Methods, Standards and Optimization Techniques. *Electronics, 10*(16), 1910.

ARRGO. (2022, 11 01). *What are the types of Electric Vehicles?* 07 04, 2023 tarihinde https://aargoev.com/what-are-the-types-of-electric-vehicles/, adresinden alındı

Ateş, S. B. (2022, ekim 20). *Elektrikli Araçlara Genel Bakış.* 07 04, 2023 tarihinde Https://Www.Emo.Org.Tr/: https://www.emo.org.tr/ekler/e63f636ff73d655_ek.pdf?dergi=1278 adresinden alındı

Bai, H. M. (2016). Design And Optimization Of A 98%-Efficiency On-Board Level-2 Battery Charger Using E-Mode Gan Hemts For Electric Vehicles. *SAE International, 5*(1), 205-213 .

Balcı, M. E. (2020). Elektrikli araçlar: mekanik güç aktarma yapıları, elektrik güç sistemleri ve şarj yaklaşımları. *Journal of Intelligent Transportation Systems and Applications, 3*(2), 176.

Barrera , J., Galeano, N., & Maldonado, H. (2017). SoC Estimation for Lithium-ion Batteries: Review and Future Challenges. *Electronics*, 102.

Bayrakçı, H. C., ÇİÇEKDEMİR, R. S., & ÖZKAHRAMAN, M. (2021). Tarım Arazilerinde Harcanan Su Miktarını Yapay Zekâ Teknikleri Kullanarak Belirlenmesi1. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 237-250.

Bharadwaj, N., Chandrasekhar, P., & Sivakumar, M. (2020). Induction Motor Design Analysis For Electric Vehicle Application. Haydarabad, Hindistan: AIP Conference Proceedings.

Bhatt, P. M. (2019). Electrical Motors For Electric Vehicle – A Comparative Study. Proceedings of Recent Advances in Interdisciplinary Trends in Engineering & Applications (RAITEA) 2019.

Biswal, A. (2023, 08 10). *Bagging in Machine Learning: Step to Perform And Its Advantages*. Simplilearn: https://www.simplilearn.com/tutorials/machine-learning-tutorial/bagging-in-machine-learning adresinden alındı

Boyd, J. (2019). China And Japan Drive A Global Ev Charging Effort: The New Standard Will Be Backward Compatible With Select Charging Stations. *IEEE Spectrum , 56*(2), 12 - 13.

Brenna, M. F. (2020). Electric Vehicles Charging Technology Review and Optimal Size Estimation. J. Electr. Eng. Technol. *Journal of Electrical Engineering & Technology, 15*, , pages2539–2552. https://doi.org/10.1007/s42835-020-00547-x adresinden alındı

Cesiel D., A. Z. (2017). A Closer Look At The Onboard Charger: The Development Of The Second-Generation Module For The Chevrolet Volt. *IEEE Electrification Magazine , 5*(1), 36-42.

Chakure, A. (2023). *Random Forest Regression in Python Explained*. 07 04, 2023 tarihinde https://builtin.com/data-science/random-forest-python adresinden alındı

Chan, C. C. (2013, 101). The Rise & Fall of Electric Vehicles in 1828–1930: Lessons Learned. *Proceedings of the IEEE, 101*(1), 206 - 212.

Chandran , V., Patil, C., Karthick, A., Ganeshaperumal, D., Rahim, R., & Ghosh, A. (2021). State of Charge Estimation of Lithium-Ion Battery for Electric Vehicles Using Machine Learning Algorithms. *World Electric Vehicle Journal*, 38.

Chemali, E., Kollmeyer, P., Preindl, M., Ahmed, R., & Emadi, A. (2017). Long Short-Term Memory-Networks for Accurate State of Charge Estimation of Li-ion Batteries. *IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRIAL ELECTRONICS*, 6730 - 6739.

Choi, Y., Ryu, S., Park, K., & Kim, H. (2019). Machine Learning-Based Lithium-Ion Battery Capacity Estimation Exploiting Multi-Channel Charging Profiles. *IEEE Access*, 75143 - 75152.

Chou, C., & Fortin, P.-A. (2018). *France Patent No. WO2019180622A1*.

Chu, Z., Yu, J., & Hamdulla, A. (2021). Throughput prediction based on ExtraTree for stream processing tasks. *Computer Science and Information Systems*, 1-22.

Çalışkan, B. D. (2023, 07 31). *Togg Hakkında Bilmeniz Gerekenler*. OGGUSTO: https://www.oggusto.com/gentlemen/otomobil/togg-hakkinda-bilmeniz-gerekenler adresinden alındı

Demirok, Ç., Yanık, D. Ö., Yeşil, D., Özel, F., Yıldızca, O., & Şentürk, Z. (2021, Temmuz 1). *Elektrikli Araçlar ve Depolama Teknolojileri Bilgilendirme Notu.*

07 04, 2023 tarihinde tskb: https://www.tskb.com.tr/uploads/file/elektrikli-araclar-ve-depolama-teknolojileri-bilgilendirme-notu-120721.pdf adresinden alındı

Dias, F. M. (2018). Impact of controlled and uncontrolled charging of electrical vehicles on a residential distribution grid. Boise, ID, USA: IEEE International Conference on Probabilistic Methods Applied to Power Systems (PMAPS).

EĞİN, G. (2019, 07 17). *Elektrikli Araçların Batarya Sistemlerinde Isı Yönetimi.* 07 04, 2023 tarihinde https://acikerisim.uludag.edu.tr/bitstream/11452/19476/1/590826.pdf adresinden alındı

Electric Vehicle Database. (2022, 11 01). *Current and Upcoming Electric Vehicles*. 07 04, 2023 tarihinde https://ev-database.org/#sort:path~type~order=.rank~number~desc|range-slider-range:prev~next=0~1200|range-slider-acceleration:prev~next=2~23|range-slider-topspeed:prev~next=110~350|range-slider-battery:prev~next=10~200|range-slider-towweight:prev~next=0~2 adresinden alındı

Elnozahy M., a. S. (2014). A Comprehensive Study of the Impacts of PHEVs on Residential Distribution Networks. *IEEE Transactions on Sustainable Energy , 5*(1), 332 - 342.

Erce., D. H. (2022, 12 02). *Otomotiv Distribütörleri ve Mobilite Derneği.* 07 04, 2023 tarihinde https://www.odd.org.tr/folders/2837/categorial1docs/3325/ODMD%20Bas%C4%B1n%20Bulteni%202%20Aral%C4%B1k%202022.pdf adresinden alındı

Fei, Z., Yang, F., Tsui , K.-L., Li, L., & Zhang, Z. (2021). Early prediction of battery lifetime via a machine learning based. *ELSEVIER*, 120205.

Ganesh, T. S. (2020). "Performance Analysis of Plug-in Electric Vehicle Supported DVR for Power-Quality Improvement and Energy Back-Up Strategy",. *International Journal of Recent Technology and Engineering (IJRTE), 8*(6), 945-952.

Ghoni, R. A. (2011). Issues of matrix converters: Technical review. *International Journal of the Physical Sciences, 6*(15), 3576-3588.

Goel, S. S. (2021). A review on barrier and challenges of electric vehicle in India and vehicle to grid optimisation. *Transportation Engineering, 4*.

Götz S., A. R. (2018). Modular Power Electronics System For Charging An Electrically Operated Vehicle. U.S. Patent Appl.

Gringer, B. (2020). *History of the Autonomous Car*. Titlemax: https://www.titlemax.com/resources/history-of-the-autonomous-car/#:~:text=History%20of%20Autonomous%20Cars,made%20this%20concept%20a%20reality adresinden alındı

Gürbak, H. K. (2020). Fast Charging Station Technologies For Electric Vehicles. *Fen Bilimleri Dergisi, 8*(3), 644-661.

Habte, O. K. (2020). *Bidirectional Power Transfer between Grid and Electric Vehicle Batteries.* Master's thesis, University of South-Eastern Norway.

Hähre, K., Heyne, R., Jankovic,, M., & Metzger,, C. (2018). *United States Patent No. 20190190390.*

Han, K. N. (2020, 08 09). Battery energy management of autonomous electric vehicles using computationally inexpensive model predictive control. *Electronics*, s. 1277.

Hu S., L. X. (2019). Operation Of A Bidirectional Series-Resonant Converter With Minimized Tank Current And Wide Zvs Range. *IEEE Transactions on Power Electronics , 34*(1), 904 - 915.

Hu, W. K. (2019). A Zero-Voltage Transition Semi Bridgeless Boost Pfc Converter With Lcd Clamp Circuit. *Zhongguo Dianji Gongcheng Xuebao/Proceedings of the Chinese Society of Electrical Engineering , 39*(3), 803-811.

Huang , S.-C., Tseng, K.-H., Liang , J.-W., Chang, C.-L., & Pecht, M. (2017). An Online SOC and SOH Estimation Model for Lithium-Ion Batteries. *Energies*, 512.

Hybrid EV types,. (2022, 11 01). https://www.linkedin.com/pulse/hybrid-electric-vehicle-types-shradha-jadhavEA tablosu, adresinden alındı

IBM. (2023). *What is linear regression?* 07 04, 2023 tarihinde https://www.ibm.com/topics/linear-regression adresinden alındı

IEEE innovation. (2022). *Vehicle to Grid (V2G) Technology.* 07 04, 2023 tarihinde https://innovationatwork.ieee.org/vehicle-to-grid-v2g-technology/. adresinden alındı

Innovation Landscape Brief, International Renewable Energy Agency. (2019, 01 11). *ELECTRIC-VEHICLE.* 07 04, 2023 tarihinde Electric-Vehicle Smart Charging: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Sep/IRENA_EV_Smart_Charging_2019.pdf?rev=ce97a59bf5314e1dafce7bdcaa72fa88 adresinden alındı

İnovasyon Mühendislik. (2023, 02 19). İnovasyon Mühendislik: https://www.inovasyonmuhendislik.com/assets/pdf/AGVvsAMR.pdf adresinden alındı

International Energy Reviews. (2022). *Global EV Outlook 2022.* 07 04, 2023 tarihinde https://iea.blob.core.windows.net/assets/ad8fb04c-4f75-42fc-973a-6e54c8a4449a/GlobalElectricVehicleOutlook2022.pdf adresinden alındı

IRENA. (2019, 11 2022). *Smart Charging for Electric Vehicles*. 07 04, 2023 tarihinde https://www.irena.org//media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/May/IRENA_Innovation_Outlook_EV_smart_charging_2019.pdf' adresinden alındı

Irfan M.S., A. A. (2018). Power-Decoupling Of A Multiport Isolated Converter For An Electrolytic-Capacitorless Multilevel Inverter. *Journal of Power Electronics, 21*, 321–341.

İşen, E. &. (2018). Elektrikli araçlar ve akü şarj sistemleri. *Kirklareli University Journal of Engineering and Science, 4*(1), 124 - 141.

J. Lu, A. M. (2017). Dynamic Strategy For Efficiency Estimation İn A Ccm-Operated Front-End Pfc Converter For Electric Vehicle Onboard Charger. *IEEE Transactions on Vehicular Technology, 67*(9), 8100 - 8109.

Jo, S. J. (2021). Battery state-of-health estimation using machine learning and preprocessing with relative state-of-charge. *Energies, 14*(21), 7206.

Jones, L. L.-H. (2021, 01). *The A to Z of V2G A comprehensive analysis of vehicle-to-grid technology worldwide.* 07 04, 2023 tarihinde https://arena.gov.au/assets/2021/01/revs-the-a-to-z-of-v2g.pdf adresinden alındı

Jose, C., & Meikandasivam, S. (2017). A Review On The Trends And Developments İn Hybrid Electric Vehicles. In Innovative Design And Development Practices İn Aerospace And Automotive Engineering; Springe. *Innovative Design and Development Practices in Aerospace and Automotive Engineering* (s. 20). içinde 11-229.

K. K. Abhay Barnard Britto. (2022). *Why do we need vehicle to grid technology?* https://www.elektrobit.com/trends/vehicle-to-grid-technology adresinden alındı

Karanayil, B. C. (2017). Power Flow Management Of Isolated Multiport Converter For More Electric Aircraft,. *IEEE Transactions on Power Electronics , 32*(7), 5850 - 5861.

Karki, A. P. (2020). Status Of Pure Electric Vehicle Power Train Technology And Future Prospects. *Appl. Syst. Innov, 3*(3), 35.

Karpagavalli, P. (2017). Semi Bridgeless Phase Shifted Boost Converter Fed Four Quadrant Dc Drive With Power Factor Correction,. *Asian Journal of Research in Social Sciences and Humanities, 7*(1), 554-564.

Kattel, B. M. (2020). Four-Phase Interleaved Dc–Dc Step-Down Converter Using Coupled Inductor For High Power Application. *Circuit Theory Appl., 48*(10), 1696-1723.

Khalid, M. A.-F. (2022). A Comprehensive Review On Advanced Charging Topologies And Methodologies For Electric Vehicle Battery. *Journal of Energy Storage, 53*, 105084.

Khan, U. C. (2020). A Family Of Improved Dual-Buck Dc-Ac Inverters And Dual-Boost Ac-Dc Converters,. *IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics , 8*(3), 2930 - 2942.

Kim, J. H. (2018).

Krauer, J. (2015). *US Patent No. US9225197B2.*

Kuruvilla, V. K. (2022). Challenges And Impacts of V2g Integration -A Review,. Coimbatore, India: IEEE.

Kuşdoğan, Ş. (2017). Akıllı Şebekelere Elektrikli Araçların Entegrasyonu ve Taşıttan Şebekeye V2g Uygulamaları. *Güç ve Enerji Sistemleri Sempozyumu Elektrik Tesisat Ulusal Kongre Ve Sergisi.* Türkiye: Https://Www.Emo.Org.Tr/Ekler/F13bc4c9.

Lambrecht, A. (2022, nisan 17). *https://insideevs.com/features/549726/electric-car-history/*. 07 04, 2023 tarihinde https://insideevs.com/features/549726/electric-car-history/ adresinden alındı

Li, X. S. (2018). A Hybrid Control Scheme For Three-Phase Vienna Rectifiers. *IEEE Transactions on Power Electronics, 33*(1), 629 - 640.

Lipu, M. F. (2021). Review Of Electric Vehicle Converter Configurations, Control Schemes And Optimizations:. *Electronics , 10*(4), 477.

Loganayaki, A., & Bharani Kumar, R. (2019). Permanent Magnet Synchronous Motor For Electric Vehicle Applications. Coimbatore, India: IEEE.

Lopes, A. P. (2009). Smart Charging Strategies for Electric Vehicles: Enhancing Grid Performance and Maximizing the Use of Variable Renewable Energy Resources. Energy.

López, I., Ibarra, E., Matallana, A., Andreu, J., & Kortabarria, I. (2019). Next generation electric drives for HEV/EV propulsion systems: Technology, trends and challenges. *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 114*, 109336.

Lulhe, A., & Date, T. (2015). A Technology Review Paper For Drives Used İn Electrical Vehicle (Ev) & Hybrid Electrical Vehicles (Hev). Kumaracoil, India: IEEE.

M., S. F., & Malik, O. P. (2019). Vehicle-To-Grid Technology İn A Micro-Grid Using Dc Fast Charging Architecture. Edmonton, AB, Canada: IEEE.

MALI, K. (2023). *https://www.analyticsvidhya.com/blog/2021/10/everything-you-need-to-know-about-linear-regression/*. 07 04, 2023 tarihinde https://www.analyticsvidhya.com/blog/2021/10/everything-you-need-to-know-about-linear-regression/ adresinden alındı

Mao, H. A.-Q. (2004). Zero-Voltage-Switching Half-Bridge Dc-Dc Converter With Modified Pwm Control Method. I. *IEEE Transactions on Power Electronics , 19*(4), 947 - 958.

Matulka, R. (2022, 04 17). *The History of the Electric Car*. 07 04, 2023 tarihinde https://www.energy.gov/articles/history-electric-car adresinden alındı

Merlin N.J., M. S. (2021). Design and controller implementation of 3.3 kW bridgeless boost-fed three-level resonant converter for EV battery charging. *Electrical Engineering*, 1 - 15.

Mira, M. Z. (2017). Analysis, Design, Modeling, And Control Of An Interleaved Boost Full Bridge Three Port Converter For Hybrid Renewable Energy Systems,. *IEEE Transactions on Power Electronics, 32*(2), 1138 - 1155.

Misra, S. P. (2020). Smart Battery Management Scheme for V2G Based EV Smart Charger–A Better approach of Allocation of EV Based Distributed Generation. Gunupur Odisha, India: IEEE.

Mo, T., Li, Y., Lau, K.-t., Poon, C., Wu , Y., & Lu, Y. (2022, 09 01). *Autonomous Driving Technologies in Electric Vehicles.* 07 04, 2023 tarihinde https://encyclopedia.pub/entry/26731 adresinden alındı

Mortezaei, A., Abdul-Hak, M., & Godoy Si, M. (2018). A Bidirectional NPC-based Level 3 EV Charging System with Added Active Filter Functionality in Smart Grid Applications. Long Beach, CA, USA: IEEE Transportation Electrification Conference and Expo (ITEC).

Muratoğlu, A. Y. (2022, aralık 1). *ELEKTRİKLİ ARAÇ TEKNOLOJİSİ ve PİL YÖNETİM SİSTEMİ-İNCELEME.* 07 04, 2023 tarihinde https://www.emo.org.tr/ekler/929157f3f9ab67a_ek.pdf?dergi=10 adresinden alındı

Musavi F., E. W. (2011). A High-Performance Single-Phase Bridgeless Interleaved Pfc Converter For Plug-İn Hybrid Electric Vehicle Battery Chargers,. *IEEE Transactions on Industry Applications, 47*(4), 1833 - 1843.

Musavi F., E. W. (2013). A Phase-Shifted Gating Technique With Simpli_Ed Current Sensing For The Semi-Bridgeless Ac-Dc Converter,. *IEEE Transactions on Vehicular Technology , 62*(4), 1568 - 1576.

Naik, N. &. (2021, kasım). Optimization of Vehicle-to-Grid (V2G) Services for Development of Smart Electric Grid. Pune, India: IEEE.

Ng, T. W. (2011). A Review Of İnternational Charging Coupler Standards And İts Availability İn Hong Kong. Hong Kong, China: IEEE.

Noel, L. d. (2019). History, definition, and status of V2G,'' in Vehicle-to-Grid. *Switzerland: Springer*.

Noel, L. P. (2019). Willingness to pay for electric vehicles and vehicleto-grid applications: A Nordic choice experiment,'. *Energy Economics, 78*, 525-534.

Ozpineci, B. O. (2014). Ridge National Laboratory Annual Progress Report For The Power Electronics And Electric Motors Program. *Energy and Transportation Science Division*.

Papuççiyan, A. (2017, 09 06). *Tamamen elektrikli 2018 Nissan Leaf tanıtıldı*. webrazzi: https://webrazzi.com/2017/09/06/nissan-leaf-2018-ozellikleri/ adresinden alındı

Patel, M. R. (2022). A Review of EV Converters Performance during V2G/G2V mode of Operation. Belgaum, India: IEEE.

Patil, H. &. (2020). Grid Integration of Electric Vehicles for Economic Benefits: A Review. *Journal of Modern Power Systems and Clean Energy, 9*(1), 13 - 26.

Phimphui, A. S. (2019). V2G and G2V Using Interleaved Converter for a Single-Phase Onboard Bidirectional Charger. Seogwipo, Korea (South): IEEE.

PWC. (2023). *Can Autonomous Electric Vehicles accelerate the low carbon transition?* 07 04, 2023 tarihinde https://www.pwc.co.uk/services/sustainability-climate-change/insights/autonomous-electric-vehicles.html adresinden alındı

R, S. E. (2023). *Understand Random Forest Algorithms With Examples (Updated 2023).* 07 04, 2023 tarihinde https://www.analyticsvidhya.com/blog/2021/06/understanding-random-forest/ adresinden alındı

Rajashekara, K. (2013). Present Status And Future Trends İn Electric Vehicle Propulsion Technologies. *IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics, 1*(1), 3 - 10.

Rani, S. L. (2020, mart). V2G and G2V Technology in Micro-Grid Using Bidirectional Charger: A Review. Raipur, India: IEEE.

Rivera, S. K. (2021). From Grid To Battery Electric Vehicle Charging Infrastructure. *IEEE Industrial Electronics Magazine , 15*(2), 37 - 51.

Ronanki, D., Kelkar, A., & Williamson, S. E. (2019). Fast Charging Technology—Prospects To Enhance Sustainable Electric Transportaion. Energies. *Energies , 19*(2), 3721.

Roy, R. (. (2021, 06 27). *Extra Trees Classifier / Regressor*. Medium: https://bobrupakroy.medium.com/extra-trees-classifier-regressor-5b5f6abe8228 adresinden alındı

S. Habib, M. K. (2018). Assessment Of Electric Vehicles Concerning İmpacts, Charging İnfrastructure With Unidirectional And Bidirectional Chargers, And Power Flow Comparison. *Energy Research, 42*(11), 3416-3441.

Saha, J. B. (2019). A Review On Bidirectional Matrix-Based Ac-Dc Conversion For Modular Solid State Transformers. Singapore: IEEE.

Saini, A. (2022). *An Introduction to Long Short-Term Memory (LSTMs)*. 07 04, 2023 tarihinde https://www.analyticsvidhya.com/blog/2022/05/an-introduction-to-lstms/ adresinden alındı

Saini, A. (2023). *Decision Tree Algorithm – A Complete Guide*. 07 04, 2023 tarihinde https://www.analyticsvidhya.com/blog/2021/08/decision-tree-algorithm/ adresinden alındı

Sanguesa, J. T.-S.-B. (2021). A Review On Electric Vehicles: Technologies And Challenges. *Smart Cities, 4*(1), 372-404.

Seixas, M. D. (2017). Three-Phase Bridgeless Boost Pfc Converter With Variable Duty Cycle Control, 14th Brazilian Power Electron. Brazilia.

Sethi, A. (2023). *Support Vector Regression Tutorial for Machine Learning*. 07 04, 2023 tarihinde https://www.analyticsvidhya.com/blog/2020/03/support-vector-regression-tutorial-for-machine-learning/ adresinden alındı

Shen Y., Z. W. (2018). Full Bridge Llc Resonant Converter With Series-Parallel Connected Transformers For Electric Vehicle On-Board Charger. *IEEE Acces, 6*, 13490 - 13500.

Shumei, C. X. (2011, Ağustos). The construction and simulation of V2G system in micro-grid. Beijing, China: IEEE.

Singh, A. (2023). *KNN algorithm: Introduction to K-Nearest Neighbors Algorithm for Regression*. 07 04, 2023 tarihinde https://www.analyticsvidhya.com/blog/2018/08/k-nearest-neighbor-introduction-regression-python/ adresinden alındı

Srdic S., A. L. (2019). Toward Extreme Fast Charging: Challenges And Opportunities İn Directly Connecting To Medium-Voltage Line,". *IEEE Electrification Magazine , 7*(1), 22 - 31.

Suarez, C., & Martinez, W. (2019). Fast And Ultra-Fast Charging For Battery Electric Vehicles. Baltimore, MD, USA: IEEE.

Sui, X. H. (2021). A review of non-probabilistic machine learning-based state of health estimation techniques for Lithium-ion battery. *Applied Energy*, 117346.

T. Delf. (2022, 11 1). *Electric cars: Technology*. 07 04, 2023 tarihinde https://ocw.tudelft.nl/wp-content/uploads/eCARS2x_Lecture_Notes_L3-/ adresinden alındı

T., B. (2021). *Intro to Scikit-learn's k-Nearest-Neighbors Classifier And Regressor*. 07 04, 2023 tarihinde https://towardsdatascience.com/intro-to-scikit-learns-k-nearest-neighbors-classifier-and-regressor-4228d8d1cba6 adresinden alındı

TEHAD. (2022, 01 12). *2022 yılı ilk 6 ayında satılan Elektrikli ve Hibrid otomobil satış rakamları*. 07 04, 2023 tarihinde https://www.tehad.org/2022/07/08/2022-yili-ilk-6-ayinda-satilan-elektrikli-ve-hibrid-otomobil-satis-rakamlari/ adresinden alındı

Thakar, D., & Patel, R. (2019). Comparison Of Advance And Conventional Motors For Electric Vehicle Application. In Proceedings Of The 2019 3rd International Conference On Recent Developments in Control, Automation & Power Engineering.

Thomas, J., Crasta, H., Kausthubha, K., Gowda, C., & Rao, A. (2021). Battery monitoring system using machine learning. *Journal of Energy Storage*, 102741.

TING, N. S., AKSOY, İ., & ŞAHİN, Y. (2018). *Elektrikli Araçların Batarya Şarjında Kullanılan Güç Faktörü Düzeltmeli Klasik Ve Interleaved Yükseltici Türü Dönüştürücülerin Karşılaştırılması.* 07 04, 2023 tarihinde https://www.emo.org.tr/ekler/bc8f657d1ed18ab_ek.pdf adresinden alındı

TIRUNAGARI, S. G. (2022). Reaping the Benefits of Smart Electric Vehicle Charging and Vehicle-to-Grid Technologies: Regulatory, Policy and Technical Aspects. *IEEE Access, 10*, 114657 - 114672.

Turksoy, O. Y. (2018). OVERVIEW OF BATTERY CHARGER TOPOLOGIES IN PLUG-IN ELECTRIC AND HYBRID ELECTRIC VEHICLES. Famagusta, N. Cyprus.

Türksoy, K. B. (2018). Compact & Comprehensive Canonical Appearances Discovered Autonomously. *2018 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, 1118-1128.

Un-Noor F., P. S.-P. (2017). A Comprehensive Study of Key Electric Vehicle (EV) Components, Technologies, Challenges, Impacts, and Future Direction of Development. *Energies, 10*(8), 1217.

Vedantu. (2023). *Battery Types*. 07 04, 2023 tarihinde https://www.vedantu.com/chemistry/battery-types adresinden alındı

VENUGOPAL , P., SHANKAR, S., JEBAKUMAR, C., AGARWAL, R., ALHELOU, H., REKA, S., & GOLSHAN, M. (2021). Analysis of Optimal Machine Learning Approach for Battery Life Estimation of Li-Ion Cell. *IEEE*, 1109.

Videal, C., MALYSZ, P., KOLLMEYER, P., & EMADI, A. (52796 - 52814). Machine Learning Applied to Electrified Vehicle Battery State of Charge and State of Health Estimation: State-of-the-Art. *IEEE*, 2020.

Virta Global,. (2022). *Vehicle to grid (V2G): Everything you need to know.* 07 04, 2023 tarihinde https://www.virta.global/vehicle-to-grid-v2g, adresinden alındı

Voelcker, J. (2019). Porsche’s Fast-Charge Power Play: The New, All-Electric Taycan Will Come With A Mighty Thirst. This Charging Technology Will Slake İt. *IEEE Spectrum, 56*(9), 30 - 37.

Vu, H. C. (2018). A Novel Dual Full-Bridge Llc Resonant Converter For Cc And Cv Charges Of Batteries For Electric Vehicles. *IEEE Transactions on Industrial Electronics , 65*(3), 2212 - 2225.

Wahid, M. B. (2021). Review on Drive Train Technologies for Passenger Electric Vehicles. *Energies, 14*(20), 6742.

Widodo , A., Shim , M.-C., Caesarendr, W., & Yang, B.-S. (2011). Intelligent prognostics for battery health monitoring based on sample entropy. *Expert Systems with Applications*, 11763-11769.

Wu, H. M. (2016). Full Range Soft Switching Isolated Buck-Boost Converters With Integrated Interleaved Boost Converter And Phase-Shifted Control,. *IEEE Transactions on Power Electronics , 31*(2), 987 - 999.

Xue, X. C. (2008). Selection Of Electric Motor Drives For Electric Vehicles. Sydney, NSW, Australia: IEEE.

YAPICI, R., & Güneş, D. (tarih yok). *ELEKTRİKLİ ŞARJ İSTASYONLARININ DAĞITIM ŞEBEKESİNE OLASI ETKİLERİ.* 07 04, 2023 tarihinde https://www.emo.org.tr/ekler/3d19f986f385e23_ek.pdf adresinden alındı

Yılmaz, M. K. (2013). Review Of Battery Charger Topologies, Charging Power Levels, And Infrastructure For Plug-İn Electric And Hybrid Vehicles. *IEEE Transactions on Power Electronics , 28*(5), 2151 - 2169.

Yodwong, B. G. (2019). Energy Efficiency Based Control Strategy of a Three-Level Interleaved DC-DC Buck Converter Supplying a Proton Exchange Membrane Electrolyzer. *Electronics , 8*(9), 933.

Yong, J. Y., & Vigna K. Ramachandaramurthy, K. M. (2015). A review on the state-of-the-art technologies of electric vehicle, its impacts and prospects. *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 49*, 365-385.

Zeng, B. F. (2017). An optimal integrated planning method for supporting growing penetration of electric vehicles in distribution systems. *Energy, 126*, 273-284.

Zeraoulia, M. B. (2006). Electric Motor Drive Selection Issues For Hev Propulsion Systems: A Comparative Study. I. *IEEE Transactions on Vehicular Technology, 55*(6), 1756 - 1764.

Zhang Z., X. S. (2020). Soft-Switching And Low Conduction Loss Current-Fed Isolated Bidirectional Dc–Dc Converter With Pwm Plus Dual Phase-Shift Control,. Baltimore, MD, USA: IEEE.

Zhang, Y. H. (2019). Modeling and control of a multiport converter based EV charging station with PV and battery. Detroit, MI, USA: IEEE.

Zhang, Z. Z. (2020). Uniform carrier-based PWM method for three-phase three-level three-wire and four-wire converter system with neutral-point balancing. *Iet Power Electronics, 13*(14), 3081-3089.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı :Zeynep Tuğba CEM

Yabancı Dili :İngilizce

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Y. Lisans	Elektrik Elektronik Müh.	Düzce Üniversitesi	2023
Lisans	Elektrik Elektronik Müh.	Düzce Üniversitesi	2020
Lise	Bilgisayar Teknolojileri	Antalya Ticaret Borsası Ticaret Meslek Lisesi	2014

YAYINLAR

ERTAY, M. Mustafa, CEM, Zeynep Tuğba, (2022), Elektrikli Araçlar: Tarihsel Gelişimi, Şarj Sistemleri, Şarj Teknolojileri, Şebeke Entegrasyonu Ve Son Gelişmeler, *Mühendislik Alanında Uluslararası Araştırmalar*-3, sf 53