



T.C.

BATMAN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

ELEKTRİKLİ ARAÇ ŞARJ
İSTASYONLARININ AKILLI ŞEBEKELERDE
BULANIK MANTIK YÖNTEMİYLE
OPTİMİZASYONU VE DAĞITIM
ŞEBEKESİNE ENTEGRASYONU

Ebru APAYDIN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Ağustos-2023
BATMAN
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Ebru APAYDIN tarafından hazırlanan “Elektrikli Araç Şarj İstasyonlarının Akıllı Şebekelerde Bulanık Mantık Yöntemiyle Optimizasyonu ve Dağıtım Şebekesine Entegrasyonu ” adlı tez çalışması 22/08/2023 Tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği / ile Batman Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Başkan

Prof. Dr. Ömer Faruk ERTUĞRUL

.....

Danışman

Doç.Dr. Mehmet Rıda TÜR

.....

Üye

Dr. Öğr. Üyesi Davut Özhan

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Osman PAKMA
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

İmza

Ebru APAYDIN

Tarih:22.08.2023

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ELEKTRİKLİ ARAÇ ŞARJ İSTASYONLARININ AKILLI ŞEBEKELERDE BULANIK MANTIK YÖNTEMİYLE OPTİMİZASYONU VE DAĞITIM ŞEBEKESİNE ENTEGRASYONU

Ebru APAYDIN

Batman Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Mehmet Rıda TÜR

2023, 89 Sayfa

Jüri

Doç. Dr. Mehmet Rıda TÜR
Prof. Dr. Ömer Faruk ERTUĞRUL
Dr. Öğr. Üyesi Davut Özhan

Ulaştırma sektörü tüm dünyada hızla büyümektedir. Bu büyüme bazı sorunları da beraberinde getirmektedir. Dünyada karbon emisyonunun ve enerji tüketiminin sürekli artması bu sorunlardan biridir. Günümüzde elektrikli araçlar, hava kirliliğini ve yakıt tüketimini azaltmak için en uygun çözüm olarak kabul edilmektedir. Dünyadaki kirliliği ve küresel ısınmayı azaltmak için enerji ihtiyacının karşılanmasında yenilenebilir enerjinin payının artırılması ve ulaşımda elektrikli araç sayısının artırılması büyük önem taşımaktadır.

Elektrikli araç sayısının önümüzdeki yıllarda önemli ölçüde artacağı tahmin edilmektedir. Elektrikli araçların gün geçtikçe yaygınlaşmasıyla birlikte bu araçların şarj sistemleri de dikkat çeken konulardan biri haline gelmektedir. Daha önce fosil yakıtlarla sağlanan enerjinin elektrik enerjisi ile karşılanmasının şebekeye olağanüstü bir yük getireceği açıktır. Elektrikli araç sayısının artmasıyla birlikte bu yükün doğrudan artacağı ve şebekenin zayıf olduğu alanlarda sorun yaratacağı söylenebilir.

Bu tez çalışmasında, elektrikli araç şarj istasyonu için bulanık mantık tabanlı enerji yönetimi algoritması önerilmiştir. Çalışmanın temel amacı bulanık mantık tabanlı elektrikli araç şarj istasyonunun güç talebi, şarj süresi ve şarj dönemi gibi çeşitli faktörlere bağlı olarak minimum şarj maliyetinin nasıl elde edileceğini ortaya koymaktır. Bulanık optimizasyon tekniği ile farklı koşullar için farklı şarj oranları ve buna paralel farklı maliyetler elde edilerek enerji tasarrufu sağlanmıştır. Ayrıca bu optimizasyon tekniği ile kullanıcıların elektrik tüketiminin yoğun olmadığı zaman dilimlerinde araçlarını şarj etmeleri sağlanarak şebekedeki yük durumunun dengelenmesi sağlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Akıllı şebeke, bulanık mantık, elektrikli araç, elektrikli araç şarj istasyonu, elektrikli araç şarj maliyeti, dağıtım şebekesi, fuzzy, şarj istasyonu.

ABSTRACT

MS THESIS

OPTIMIZATION OF ELECTRIC VEHICLE CHARGING STATIONS IN SMART GRIDS WITH FUZZY LOGIC AND INTEGRATION INTO THE DISTRIBUTION NETWORK

Ebru APAYDIN

THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF
BATMAN UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE
IN ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERING

Advisor: Assoc. Prof. Dr. Mehmet Rıda TÜR

2023, 89 Pages

Jury

Advisor: Doç. Dr. Mehmet Rıda TÜR
Prof. Dr. Ömer Faruk ERTUĞRUL
Dr. Davut Özhan

The transportation sector is experiencing rapid growth on a global scale. However, this expansion is accompanied by a range of issues. Among these issues, the persistent escalation of carbon emissions and energy consumption on a worldwide scale is particularly noteworthy. Presently, electric vehicles are acknowledged as the most viable solution for mitigating air pollution and curtailing fuel consumption. Enhancing the proportion of renewable energy in satisfying energy requisites, alongside augmenting the prevalence of electric vehicles in the realm of transportation, assumes a paramount role in abating global pollution and the phenomenon of global warming.

Projections indicate a substantial surge in the quantity of electric vehicles in the imminent years. As electric vehicles progressively pervade the landscape, the concomitant charging infrastructure is emerging as a salient concern. The transition from fossil fuel-driven energy sources to electric power sources is anticipated to exert considerable strain on the power grid. Correspondingly, with the surge in electric vehicle numbers, this burden is poised to escalate directly, potentially engendering challenges in regions characterized by frail power grid configurations.

In this research endeavor, an energy management algorithm grounded in fuzzy logic is postulated for electric vehicle charging stations. The principal aim of this study is to elucidate how a fuzzy logic-based framework can be harnessed to attain the optimal charging cost for electric vehicle charging stations, contingent upon diverse variables encompassing power demand, charging duration, and temporal charging patterns. The application of fuzzy optimization techniques yields distinct charging rates and attendant costs under varied conditions, thereby facilitating energy conservation. Moreover, this optimization approach serves to harmonize grid loads by incentivizing users to charge their vehicles during periods of reduced electricity consumption, consequently ameliorating grid stability.

Keywords: Charging station, electric vehicle, electric vehicle charging station, electric vehicle charging cost, distribution network, fuzzy, fuzzy logic, smart grid.

ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasının her aşamasında, kıymetli zamanını ayırıp değerli bilgilerini ve tecrübelerini benimle paylaşan, kendisine ne zaman danışsam büyük bir ilgiyle ve sabırla bana faydalı olabilmek için elinden gelenin fazlasını sunan kıymetli danışman hocam sayın Doç. Dr. Mehmet Rıda TÜR'e teşekkürü bir borç biliyor ve şükranlarımı sunuyorum.

Eğitim-öğretim hayatım ve tüm yaşantım boyunca her zaman yanımda olan, maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen ve aldığım her kararda arkamda durup beni cesaretlendiren sevgili aileme en samimi duygularıyla teşekkür ediyorum.

Ebru APAYDIN
BATMAN-2023

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ŞEKİL LİSTESİ.....	ix
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xi
SİMGELER.....	xii
1. GİRİŞ	1
1.1. Tezin Amacı	3
1.2. Literatür Araştırması	4
2. ELEKTRİKLİ ARAÇLAR.....	6
2.1. Elektrikli Araç Teknolojisinin Tarihi.....	6
2.1.1. Türkiye’de Elektrikli Araç Tarihi ve Gelişimi	8
2.2. Türkiye ve Dünyada Elektrikli Araçların Durumu ve Gelecek Projeksiyonu ...	8
2.3. Elektrikli Araç Çeşitleri.....	11
2.3.1. Hibrit elektrikli araçlar (HEV).....	11
2.3.1.1. Seri hibrit elektrikli araçlar	12
2.3.1.2. Paralel hibrit elektrikli araçlar.....	12
2.3.1.3. Seri-paralel hibrit elektrikli araçlar	13
2.3.2. Plug-in hibrit elektrikli araçlar (PHEV).....	13
2.3.3. Bataryalı Elektrikli Araçlar (BEV)	14
2.3.4. Yakıt Hücreli Elektrikli Araçlar (FCEV).....	15
3. ELEKTRİKLİ ARAÇ ŞARJ İSTASYONLARI VE ŞARJ METODLARI	17
3.1. Şarj İstasyon Tipleri	17
3.1.1. AC şarj istasyonları.....	17
3.1.2. DC şarj istasyonları.....	18
3.2. EA Batarya Şarj Yöntemleri ve Standartları	18
3.2.1. Kablolü şarj yöntemi (conductive charging methods)	19
3.2.1.1. Dâhili şarj yöntemi (on-board charging methods)	19
3.2.1.2. Harici şarj yöntemi (off-board charging methods).....	20
3.2.2. Kablosuz (endüktif) şarj yöntemi (wireless charging methods)	20
3.2.3. Batarya değiştirme yöntemi (quick drop methods).....	21
3.3. Elektrikli Araç Şarj Modları	21
3.3.1. Mod 1	22
3.3.2. Mod 2	22
3.3.3. Mod 3	22

3.3.4.	Mod 4.....	23
3.4.	Elektrikli Araç Şarj İstasyonu Standartları.....	24
3.5.	EA Şarj Bağlantı Soketleri	25
3.5.1.	Tip 1 konektör (SAE J1772).....	25
3.5.2.	Tip 2 konektör (IEC 62196-2)	26
3.5.3.	Kombine şarj sistemi (CCS) combo	26
3.5.4.	CHAdEMO.....	26
3.5.5.	Tesla supercharger	26
3.6.	Dünyada ve Türkiye’de Elektrikli Araç Şarj İstasyonlarının Güncel Durumu 27	
3.6.1.	Türkiye ve Dünyada EA şarj istasyonu gelecek projeksiyonu	30
4.	EA ŞARJ İSTASYONLARININ DAĞITIM ŞEBEKESİNE BAĞLANMASI	32
4.1.	Şebekeden Araç Beslenmesi.....	32
4.2.	Araçlardan Şebekenin Beslenmesi	32
4.3.	EA Şarj İstasyonlarının Dağıtım Şebekesine Etkisi	34
4.3.1.	EA’ ların şebekede oluşturacağı güç kalitesi problemleri ve harmonikler	35
4.3.2.	EA’ ların Şebekeye Entegrasyonu	39
5.	EA ŞARJ KURULUMU YAPILIRKEN KULLANILAN OPTİMİZASYON YÖNTEMLERİ.....	41
5.1.	Tabu Yöntemi	41
5.2.	Parçacık Sürüsü Optimizasyonu (PSO).....	41
5.3.	Genetik Algoritma (GA).....	43
5.4.	Bulanık Mantık (Fuzzy Logic)	43
5.4.1.	Bulanık mantık ile elektrikli araç optimizasyon uygulamaları.....	44
6.	MATERYAL VE YÖNTEM.....	47
6.1.	Giriş ve Çıkış Değişkenleri	53
6.1.1.	Güç talebi	53
6.1.2.	Şarj süresi.....	54
6.1.3.	Şarj zamanı (periyot)	55
6.1.4.	Şarj oranı (fiyatı).....	55
6.1.5.	Optimizasyon Algoritması ve Matematiksel model	56
7.	ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	61
8.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	65
	KAYNAKLAR	66
	ÖZGEÇMİŞ	77

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1. Dünyanın ilk trolleybüsü Elektromote.....	6
Şekil 2.2. Geçmişten günümüze elektrikli araç modelleri	7
Şekil 2.3. Dünya genelinde elektrikli otomobil satış rakamları (IEA,2023)	9
Şekil 2.4. Nisan-2023 Avrupa’da en çok satılan EA modelleri (EAFO, 2023).....	9
Şekil 2.5. Yıllara göre Türkiye’deki elektrikli araç satışları (TEHAD, 2022)	10
Şekil 2.6. 2020-2030 yılları arasındaki EA gelecek projeksiyonu (IEA, 2023)	11
Şekil 2.7. Seri HEV sistemi	12
Şekil 2.8. Paralel HEV sistemi.....	13
Şekil 2.9. Seri-paralel HEV sistemi	13
Şekil 2.10. Plug-in HEV sistemi	14
Şekil 2.11. Tamamen elektrikli bir aracın içyapısı	14
Şekil 2.12. Yakıt pilli bir elektrikli aracın içyapısı.....	15
Şekil 3.1. EA şarj yöntemleri.....	18
Şekil 3.2. Kablosuz şarj yöntemi	21
Şekil 3.3. Mod 1 şarj bağlantı gösterimi	22
Şekil 3.4. Mod 2 şarj bağlantı gösterimi	22
Şekil 3.5. Mod 3 şarj bağlantı gösterimi	22
Şekil 3.6. Mennekes tipi konektör	23
Şekil 3.7. Mod 4 şarj bağlantı gösterimi	24
Şekil 3.8. Soket tipleri.....	25
Şekil 3.9. Tesla supercharger	26
Şekil 3.10. Dünyada Güncel EA Şarj İstasyon Sayısı (IEA,2023).....	27
Şekil 3.11. Türkiye’nin 2022 elektrikli araç şarj istasyon haritası (TEHAD,2023)	28
Şekil 3.12. Türkiye’de yıllara göre şarj istasyonu sayıları (TEHAD, 2023)	28
Şekil 3.13. Güç sınıfına ve bölgelere göre 2015-2022 yılları arasındaki şarj istasyonu sayıları (IEA, 2023)	29
Şekil 3.14. Güç sınıfına ve bölgelere göre 2015-2022 yılları arasındaki şarj istasyonu sayıları (IEA, 2023)	29
Şekil 3.15. Güç sınıfına ve bölgelere göre 2015-2022 yılları arasındaki şarj istasyonu sayıları (IEA, 2023)	29
Şekil 3.16. 2020-2030 yılları arasında EA şarj istasyonu gelecek projeksiyonu (IEA, 2023).....	31
Şekil 4.1. V2G döngüsü.....	33
Şekil 4.2. Yıllara göre Elektrik Talep Tahmini	34
Şekil 4.3. Harmonik bileşenler ve nonlineer dalga formu	36
Şekil 4.4. EA’ nın dağıtım şebekesine etkileri.....	368
Şekil 5.1. PSO akış diyagramı	40
Şekil 6.1. Şehir Fideri FA’nın 2022 yılı aylık tüketim değerleri	47
Şekil 6.2. 2022 Yılı Saatlik Tüketim Değerleri	476
Şekil 6.3. TR-1 AVM trafosu yıllık tüketim değerleri	486
Şekil 6.4. TR-1 AVM trafosu 2022 yılı saatlik bazlı ortalama tüketim.....	497
Şekil 6.5. TR-1 AVM trafosu tarife bazlı tüketim verileri	497
Şekil 6.6. TR-2 hastane trafosu 2022 yılı saatlik tüketim eğrisi	498
Şekil 6.7. TR-2 Hastane trafosu 2022 yılı tarife bazlı tüketim eğrisi	498
Şekil 6.8. TR-3 benzin istasyonu trafosu 2022 saatlik bazlı en yüksek tüketim verisi	499
Şekil 6.9. Güç talebi üyelik fonksiyonları	52

Şekil 6.10. Şarj süresi üyelik fonksiyonları	553
Şekil 6.11. Şarj peryodu üyelik fonksiyonları	553
Şekil 6.12. Şarj oranı üyelik fonksiyonları Şarj peryodu üyelik fonksiyonları	554
Şekil 6.13. Fuzzy logic kontrolör.....	58
Şekil 6.14. Fuzzy logic kurallar	58
Şekil 6.15. Fuzzy kural sonuçları.....	60
Şekil 7.1. Güç talebine ve şarj süresine göre şarj oranı	62
Şekil 7.2. Güç talebine ve şarj peryotuna göre şarj oranı	59
Şekil 7.3. Güç talebi ile şarj oranının değişimi.....	62
Şekil 7.4. Şarj peryodu ile şarj oranının değişimi.....	62
Şekil 7.5. Şarj süresi ile şarj oranının değişimi.....	62
Şekil 7.6. Bulanık mantık sistemi ile konvansiyonel elektrik fiyatının karşılaştırılması	64



ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 2.1. Trafiğe kayıtlı elektrikli araç sayıları, 2010 – 2023 (TÜİK, 2023)	10
Çizelge 2.2. Elektrikli araç çeşitlerinin özellikleri bakımından kıyaslanması.....	16
Çizelge 3.1. Şarj istasyon tipleri ve özellikleri	20
Çizelge 3.2. SAE J1772 standardı gerilim-akım değerleri	25
Çizelge 3.3. Uluslararası elektrikli araç şarj tipi standartları (TEHAD,2023)	27
Çizelge 4.1. EA'nın şarj olması durumunda hat akımının harmonik bileşenleri.....	37
Çizelge 6.1. Transformatörlerde 2022 yılı maximum yük durumları.....	51
Çizelge 6.2. Transformatörde eş zamanlı 5 adet aracın şarj olması halinde yüklenme durumları.....	52
Çizelge 6.3. Transformatörde eş zamanlı 10 adet aracın şarj olması halinde yüklenme durumları.....	52
Çizelge 6.4. Transformatörde eş zamanlı 15 adet aracın şarj olması halinde yüklenme durumları.....	520
Çizelge 6.5. Transformatörde eş zamanlı 20 adet aracın şarj olması halinde yüklenme durumları.....	52

SİMGELER

Simgeler

P_{EA}	:elektrikli aracın talep ettiği güç
$C_{batarya}$:batarya kapasitesi
SOC_{max}	:maximum batarya seviyesi
SOC_{min}	:minimum batarya seviyesi
T_D	:şarj süresi
N_i	:EA bağlantı yuvalarının sayısı
F_{max}	:Aşırı yük faktörü
$Cos\phi$:güç faktörü
D_t	:EA'nın kalkış zamanı
A_t	:EA'nın varış zamanı

KISALTMALAR

İYM	: İçten Yanmalı Motor
EA	: Elektrikli Araç
HEV	: Hibrit Elektrikli Araç
PHEV	: Plug-in Hibrit Elektrikli Araç
BEV	: Bataryalı Elektrikli Araç
FCEV	: Yakıt Hücreli Elektrikli Araç
HEV	: Hibrit Elektrikli Araç
IEA	: Uluslararası Enerji Ajansı
AC	: Alternatif Akım
DC	: Doğru Akım
EACS	: Elektrikli Araç Şarj İstasyonu
THB	:Toplam Harmonik Bozulma
PWM	:Darbe Genişlik Modülasyonu

1. GİRİŞ

Günümüzde en yoğun şekilde kullanılan enerji kaynakları arasında fosil kaynaklar öncelikli bir konuma sahiptir. Fosil yakıtlar; ulaşım, ısınma ve elektrik üretimi gibi önemli alanlarda enerji kaynağı olarak yaygın bir biçimde kullanılmaktadır. Bununla birlikte, fosil yakıtların kullanımı sırasında gerçekleşen enerji dönüşüm aşamaları çevresel açıdan kirletici etkiler yaratarak küresel çapta sorunlara yol açmakta ve atmosfere birçok zararlı gazın salınımına neden olmaktadır.

Tüketimi giderek artan ve rezervleri sınırlı olan fosil kaynakların kullanımıyla ortaya çıkan çevresel kirlilik ve küresel iklim değişikliği gibi hususlar, alternatif ve sürdürülebilir enerji kaynaklarına olan ilgiyi artırmaktadır (Tur vd., 2019). Dünyadaki çevre kirliliğini, küresel ısınmayı, CO2 ve sera gazı emisyonlarını azaltmak için enerji ihtiyacının karşılanmasında yenilenebilir enerjinin payının artırılmasının yanı sıra ulaşımda elektrikli araçların payının artırılması büyük önem taşımaktadır (Perujo vd., 2010). Dünya ülkelerinin enerji yönetim politikalarında elektrikli araç (EA) teknolojisi yer edinmeye başlamış ve bu teknoloji ulaşım sektöründe fosil yakıtlı araçlara alternatif olmaya başlamıştır. Fakat elektrik enerjisinin depolanmasındaki zorluklar nedeniyle elektrikli araç teknolojisi yakıtlı araç teknolojisinin gerisinde kalmıştır. Elektrikli araçların yüksek maliyeti, sınırlı menzili ve yaygın şarj altyapısının olmaması elektrikli araçların yaygınlaşmasının önündeki başlıca engeller olarak sıralanabilir. Ancak batarya ve güç elektroniği alanındaki gelişmeler sayesinde son yıllarda elektrikli araçlar piyasada görünür hale gelmiştir. Batarya teknolojisindeki gelişmelerle birlikte batarya fiyatlarının düşmesi elektrikli araçların daha yaygın kullanılmasına olanak sağlayacaktır (Nykvist vd., 2015). Elektrikli araçlardaki batarya teknolojilerinin gelişmesi ve bu araçların kullanımının yaygınlaşmasıyla birlikte şarj istasyon ihtiyacı artacak ve bu araç şarj istasyonlarının mevcut otoparklara entegrasyonu gerekecektir. Bu nedenle hem yeni şarj istasyonları ve otoparklar yapılmadan önce hem de mevcut otoparklara şarj istasyonlarının kurulumu yapılırken, araç yoğunlukları, araç kullanım ve park süreleri, otopark kullanım istatistikleri, elektrikli aracın şarj olduğu noktadaki elektrik şebekesi altyapısı ve kurulacak şarj istasyonlarının elektrik şebekesine olası etkilerine dikkat edilmesi gerekmektedir (Steen vd., 2012).

- Araç Yoğunluğu ve Kullanım İstatistikleri: Elektrikli araçların kullanım yoğunluğu ve park süreleri, şarj istasyonlarının konumlandırılması için

dikkate alınması gereken temel parametrelerdir. Yoğun kullanımın ve uzun park sürelerinin olduğu bölgelerde daha fazla sayıda şarj istasyonu planlamak önemlidir.

- Elektrik Şebekesi Altyapısı: Elektrikli araçların aynı anda yüksek güçte şarj edilmesi, elektrik şebekesine ek bir yük getirebilir. Bu nedenle, şarj istasyonlarının yerleştirildiği bölgelerdeki elektrik altyapısının bu artan talebi karşılayabilecek kapasitede olması gerekmektedir.
- Şarj Teknolojileri ve Güç Yönetimi: Gelişmiş şarj teknolojileri ve güç yönetimi sistemleri, şebeke üzerindeki yükü daha dengeli bir şekilde dağıtarak aşırı yüklenme riskini azaltabilir. Dinamik güç yönetimi, enerjinin talebe göre akıllıca yönlendirilmesini sağlayarak şebeke kalitesini korur.
- Akıllı Şebeke Entegrasyonu: Akıllı şebeke (smart grid) teknolojileri, şarj istasyonlarının şebekeye olan etkisini yönetmede yardımcı olabilir. Araçların şarj saatleri ve güç talepleri, şebekenin belirli bölgelerindeki yükü dengelemek için optimize edilebilir.
- Yenilenebilir Enerji Entegrasyonu: Şarj istasyonlarının yenilenebilir enerji kaynaklarından beslenmesi, şebekeye olan yükü azaltabilir. Güneş enerjisi veya rüzgar enerjisi gibi kaynaklarla şarj istasyonlarının güç ihtiyacını karşılamak, hem çevresel etkiyi azaltabilir hem de şebekeyi destekleyebilir.
- Enerji Depolama Sistemleri: Enerji depolama sistemleri, şebeke üzerindeki ani yük değişikliklerine karşı tampon görevi görebilir. Şarj istasyonlarına entegre edilen enerji depolama sistemleri, talep zirvelerini düzleştirerek şebeke üzerindeki etkiyi yumuşatabilir.

Elektrikli araçların şarj esnasında şebekeden talep ettikleri yüksek miktardaki güç, elektrik dağıtım şebekeleri üzerinde büyük bir yük oluşturabileceğinden önlem alınmazsa elektrik şebekesi ve elektrik kalitesi üzerinde olumsuz etkileri olacaktır (Tur vd., 2017; Hossain vd.; 2018; Tur, 2020).

Sonuç olarak, elektrikli araçlar için şarj altyapısının planlanması ve yönetilmesi, sürdürülebilir ve istikrarlı bir elektrikli araç dönüşümünün temel yapı taşıdır. Teknolojik gelişmeler ve akıllı çözümlerle, elektrikli araçların şebekeye olan etkisi minimize edilebilir ve olumsuz etkiler engellenebilecektir.

1.1. Tezin Amacı

Bu tez çalışmasında Dünya üzerinde her geçen gün kullanımı artan elektrikli araçların şebekeye getireceği ilave yüklerin önlem alınmazsa büyük sorunlara yol açacağından yola çıkılarak şarj istasyonlarına bulanık mantık yöntemiyle bir çözüm önerisi getirilmiştir. Çalışma kapsamında Siirt ili şehir fiderine ait yük profil verileri ve buna ilaveten aynı fiderden beslenen farklı kriterlere sahip (konum, trafik yoğunluğu, araç yoğunluğu vb.) 3 ayrı trafo bölgesinin tüketim verileri ayrı ayrı incelenmiştir. Bu trafoların yıllık, aylık ve saatlik bazda tüketim verileri analiz edilerek ortalama tüketim değerleri hesaplanmış ve yoğun olan-yoğun olmayan zaman dilimleri bulunmuştur. Bu veriler ışığında her bir trafosformatöre 11 kW AC şarj istasyon bağlantısının yapıldığı ve eş zamanlı olarak sırasıyla 5, 10, 15, 20 adet aracın trafosformatörden çekilen gücün maksimum olduğu zaman diliminde şarj edildiği kabulü ile modellemeler gerçekleştirilmiştir. Bu modellemeler neticesinde; trafosformatörlerde oluşabilecek yüklenmeler elde edilerek trafo doluluk oranlarının elektrikli araç sayısı arttıkça artacağı ve şebekeye ciddi yük bineceği sonucuna varılmıştır. Bu yüklenmenin önüne geçebilmek adına 3 giriş parametresine ve 1 çıkış parametresine sahip bir fuzzy logic kontrolör devresi tasarlanmıştır.

Güç talebi, şarj süresi ve şarj peryodu giriş parametleri olarak kullanılırken şarj oranı çıkış parametresi olarak tanımlanmıştır. Tanımlanan çıkış parametresine bağlı olarak minimum şarj maliyeti hesaplanmıştır. Elektrikli araçların yoğun saatlerde şarj olması halinde şebekede meydana gelecek olumsuzlar sebebiyle yoğun olan saat aralıkları için yüksek şarj maliyeti alınması önerilmiştir. Optimizasyon için matematiksel modelleme yapılarak optimizasyon algoritması Mamdani bulanık mantık şemasında kullanılmış ve son olarak Mamdani' nin önerilen elektrikli araç şarj istasyonu optimizasyonu için verdiği değerler analiz edilmiştir.

Gerçekleştirilen optimizasyon yönteminde, EA kullanıcısının şarj maliyetinin minimize edilerek şebeke bileşenlerinin aşırı yüklenmesinin önlenmesi ve güç optimizasyonunun da başarıyla gerçekleştirildiği gözlenmiştir. Böylece daha uygun bir şarj planlaması ile kullanıcı alışkanlıkları koordine edilerek şebekenin daha fazla zorlanmasının engellenmesi hedeflenmiştir. Ayrıca şebekeye entegre edilen araçların optimum bir durum planlaması önerilerek harmonik bozuklukların önüne geçilmesi amaçlanmaktadır.

1.2. Literatür Araştırması

Araştırma literatürüne göz atıldığında, mevcut çalışmaların genel olarak şarj istasyonlarının yerleşimi ile ilgili olduğu ve bu istasyonların dağıtım şebekesine potansiyel etkileri üzerinde yoğunlaştığı görülmektedir.

Literatürdeki çeşitli araştırmalarda, şarj istasyonlarının konumlandırılması genellikle mali faktörler göz önünde bulundurularak ele alınmıştır (Wang, 2007; Phonrattanasak vd., 2012; Liu vd., 2013; Tang vd., 2013; Yang vd., 2017). Bu bağlamda, yıllık enerji iletim kayıpları, elektrikli araçların şarj istasyonlarına erişim maliyeti, şarj istasyonlarının yatırım maliyeti ve işletme bakım giderlerini azaltma hedefiyle, en uygun istasyon konumunun hesaplanmasına yönelik çalışmalar gerçekleştirilmiştir (Phonrattanasak vd., 2012).

Ayrıca, bazı çalışmalarla elektrikli araçların enerji tüketiminin coğrafi koşullardan etkilendiği ortaya konmuştur. Araçların farklı yükseklik seviyeleri arasında seyahat ederken tüketimdeki değişimler göz önünde bulundurulmuş ve coğrafi faktörler dikkate alınarak en uygun şarj istasyonu konumlarının belirlenmesi önerilmiştir (Tang vd., 2013; Raposo vd., 2015).

Literatürde ayrıca çevresel değişkenlerin de ele alındığı çalışmalar mevcuttur. Bu çalışmalar, çevre dostu bir yaklaşımın, şarj istasyonu konumunun seçiminde önemli olduğuna vurgu yaparak, elektrikli araçların şarjında kullanılan enerjinin çevre dostu bir üretim yöntemiyle elde edilmesinin gerekliliğini öne sürmüşlerdir (Liu vd., 2013; Guo vd., 2015; Wu vd., 2016; Zhao vd., 2016; Harighi vd., 2019).

Elektrikli araçlar ve şarj istasyonlarının elektrik dağıtım şebekesine etkileri üzerine de bir dizi çalışma bulunmaktadır (Phonrattanasak vd., 2014; Tang vd., 2013; Zhao vd., 2016; Suganya vd., 2017; Kong vd., 2019; Lin vd., 2019). Türkiye için gerçekleştirilen bir çalışmada, elektrikli araç şarj istasyonlarının elektrik dağıtım şebekesine potansiyel etkileri değerlendirilmiş ve analiz sonuçları, bu istasyonların şebeke istikrarını ciddi şekilde etkileyebileceğini ortaya koymuştur (Güneş vd., 2018).

Literatürde şarj istasyonlarının konumlandırma stratejileri üzerine yapılan çalışmalar da mevcuttur. Şarj istasyonlarının trafik yoğunluğu yüksek bölgelere konumlandırılması, istasyonların kullanımını arttıracığından yatırımın hızla amorti edilmesi sağlanmış olacaktır (Tang vd., 2013; Jordán vd., 2018; Kong vd., 2019).

Nüfus yoğunluğu da elektrikli araç kullanımını etkileyen bir faktör olarak öne çıkmış ve şarj istasyonu yerleşim optimizasyonunda nüfus yoğunluğunun dikkate alınması gerektiği vurgulanmıştır (Frade vd., 2011; Chen vd., 2013; Jordán vd., 2018).

Ayrıca, elektrikli araçların yüksek güç çekme durumunun elektrik dağıtım şebekesine olası etkilerini inceleyen birçok analiz ve çalışma yapılmıştır (Tekdemir vd., 2017; Diaz vd., 2018; Güneş vd., 2018; Harighi vd., 2019; Liu vd., 2019). Geleceğe yönelik senaryo analizleri, şarj istasyonlarının elektrik dağıtım şebekelerinin güvenilirlik indislerine olası etkilerini değerlendirmiş ve istasyonların şebeke güvenilirliği üzerinde önemli bir etkiye sahip olabileceğini göstermiştir (Güneş vd., 2018).

Sonuç olarak, literatürde şarj istasyonlarının konumlandırılmasıyla ilgili birçok faktörün dikkate alındığı ve çeşitli optimizasyon algoritmalarının kullanıldığı çalışmaların yer aldığı görülmektedir. Elektrikli araç dönüşümüne yönelik sürdürülebilir ve etkili bir altyapının oluşturulması için, enerji ihtiyaçları, çevresel etkiler ve şebekeye olası etkiler gibi bir dizi parametrenin hassasiyetle ele alındığı bu tür çalışmaların önemi büyüktür.

2. ELEKTRİKLİ ARAÇLAR

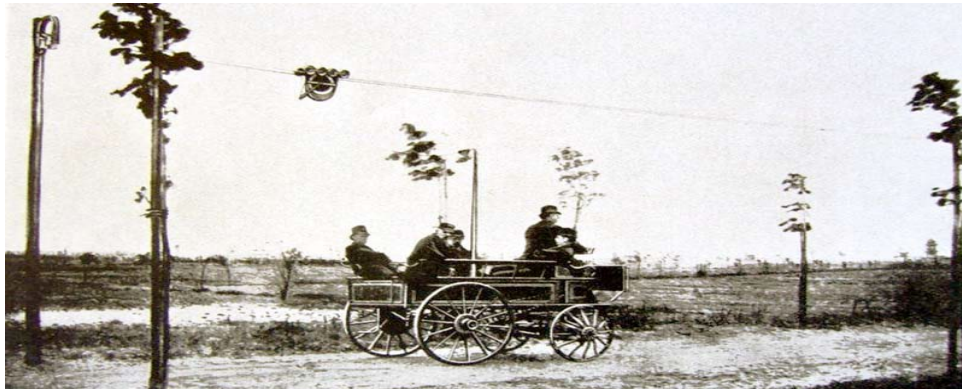
Elektrikli araçlar, içten yanmalı motorlu (İYM) araçlara kıyasla daha eski bir geçmişe sahip olmalarına rağmen daha sınırlı menzil performansları, uzun şarj süreleri ve elektrik enerjisinin depolanma zorlukları gibi nedenlerle çok az ilerleme göstermişlerdir. Performans ve menzil konusunda başarılı sonuçlar sergileyen içten yanmalı araçlar, günümüzde de en yaygın tercih edilen araç türü olma özelliğini sürdürmektedir. Ancak son yıllarda elektrikli araçlara olan ilgi tekrar artmaya başlamıştır. Bu yönelimin ana sebepleri başlıca şu şekilde sıralanabilir;

- Çevresel faktörler,
- Teknolojik gelişmeler ve teşvikler,
- Artan petrol fiyatları

2.1. Elektrikli Araç Teknolojisinin Tarihçesi

Tarihsel kaynaklar incelendiğinde, ilk bilinen elektrikle çalışan motor ve aracın Amerika'nın Vermont eyaletinde 1835 yılında Thomas Davenport tarafından icat edildiği görülmektedir. 1838 yılında ise Robert Davidson tarafından saatte 6.4 km/h hıza ulaşabilen elektrikli lokomotif üretilmiştir. 1859'da Gaston Planet tarafından şarj edilebilir batarya icat edilerek o dönemin en temel problemi olan elektrikli araçların sık batarya değiştirme sorununa çözüm getirilmiş ve maliyetler düşürülmüştür.

Siemens, 1882 yılında Elektromote olarak adlandırılan dünyanın ilk elektrikli trolleybüsünü Berlin'de üretmiştir. 12 km/h hıza ulaşabilen bu araç, 550 V DC ile beslenmekte ve iki tane 2.2 kW'lık motora sahipti. Şekil 2.1'de dünyanın ilk elektrikli trolleybüsü bulunmaktadır (Kerem, 2014).

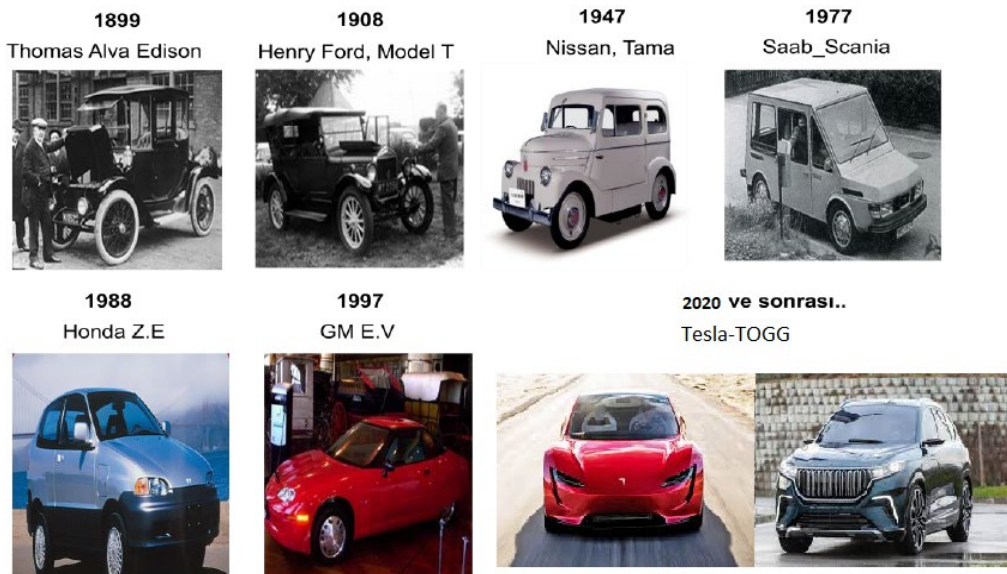


Şekil 2.1. Dünyanın ilk trolleybüsü Elektromote

Karl Benz'in 1886 yılında içten yanmalı motorla çalışan ilk otomobili olan Motorwagen'i üreterek piyasaya sunmasının ardından, 1895 yılında Morris ve Salomon tarafından iki koltuklu elektrikli araç üretildiği bilinmektedir. 1897 yılında Birleşik Krallık'ta faaliyet gösteren bir taksi şirketi, 15 adet elektrikli taksiyi hizmete alarak bu alandaki önemli adımlardan birini atmıştır; ayrıca 1901 yılında New York'taki taksi firmaları da elektrikli araçlarla hizmet sunmuşlardır (Özler, 2023; Kerem, 2014).

Bütün bu gelişmelerin ardından elektrikli araçlarla ilgili çalışmalar ivme kazanmış ve 1900' lerin başına kadar yoğun bir şekilde devam etmiştir. Petrolün enerji yoğunluğunun çok yüksek olması daha hafif ve küçük araçlar yapılmasına olanak sağladığından yavaş yavaş içten yanmalı motorlu araçlara geçiş başlamıştır ve 1930' lardan sonra otomotiv endüstrisinde EA sözcüğü çok az duyulmaya başlanmıştır.

1970' lerde ortaya çıkan petrol kriziyle birlikte elektrikli araç konusu yeniden gündeme gelmiştir ancak bu durum pek uzun sürmemiştir. 1990' lardan sonra elektrikli araçlar ekonomik ve ekolojik sebeplerden dolayı tekrar önem kazanmıştır. Günümüz dünyasında, EA' ların gelecekte yaygın olarak kullanılacağı ve otomotiv sektörünü domine edeceği beklentisi hakimdir (Yağcıtekin, 2014; Satılmış vd., 2011; Bozkurt, 2011). Şekil 2.2'de geçmişten günümüze üretilen EA modelleri gösterilmiştir.



Şekil 2.2. Geçmişten günümüze elektrikli araç modelleri

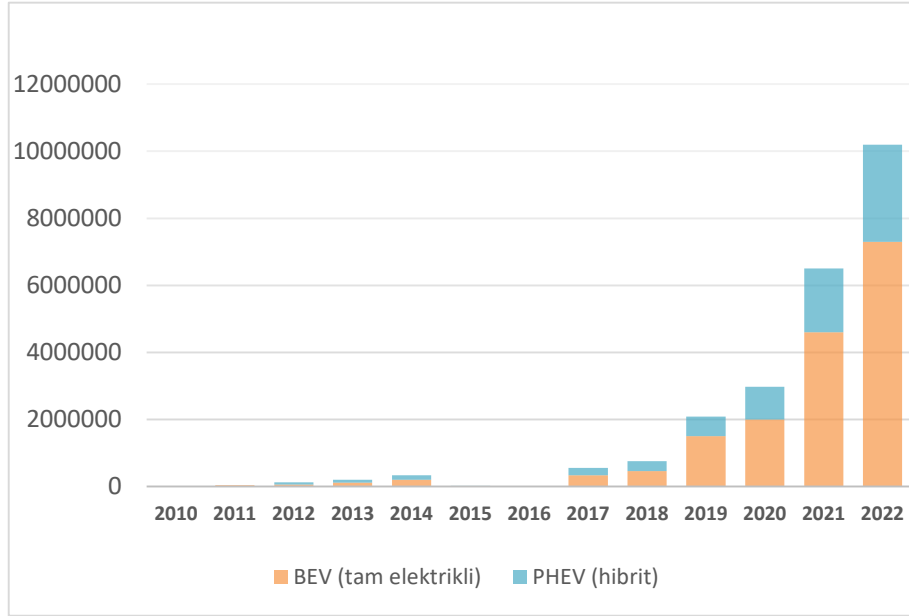
2.1.1. Türkiye’de Elektrikli Araç Tarihi ve Gelişimi

Türkiye’nin ilk elektrikli aracı 1888 yılında II. Abdülhamit tarafından Messrs Immisch & Co Şirketine sipariş edilen araçtır (Durmuş vd. 2020). 1960’lı yıllarda Türkiye’de yerli marka otomobiller üretilmeye çalışılsa da seri üretime geçilememiştir. Renault markasının Fluence ZE modeli 2009 yılında Türkiye’de üretilen ilk elektrikli araç modeli olmuştur. Bursa’da üretimi gerçekleştirilen bu araç 185 km menzile ve uzun bir şarj süresine sahiptir.

2 Kasım 2017 tarihinde, Türkiye Cumhurbaşkanlığı Külliyesi’nde Türkiye'nin Otomobil Ortak Girişim Grubu Tanıtım Toplantısı gerçekleşmiştir. İmzalanan protokol ile Anadolu Grubu, Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı'nın koordinasyonunda Türkiye Odalar ve Borsalar Birliği (TOBB), BMC, Kök Grup, Turkcell ve Zorlu Holding ile birlikte hareket ederek Türkiye'nin Otomobil Girişim Grubu'nu kurmuştur. 2017 yılında Türkiye'nin Otomobili Girişim Grubu (TOGG) tarafından geliştirilen ve yerli-milli otomobil olarak sunulan prototip, 5 Ağustos 2019 tarihinde yapılmıştır. Aralık 2019' da tanıtımı yapılan TOGG dünya markası lansmanını CES 2022'de yaparak dünya kamuoyuna tanıtılmıştır. 2022 yılının sonunda seri üretime geçen TOGG, 2023 yılının ilk çeyreğinde satışa sunulmuştur. 30 dakikadan kısa bir sürede %80 oranında şarj seviyesine ulaşma ve 500 km menzil ve 5G ile mobilite ekosistem deneyimi sunan TOGG’un büyümesiyle birlikte 2030 yılına kadar Türkiye'nin beş farklı modelde bir milyon araç üretmesi beklenmektedir (Şenyapar vd.,2023).

2.2. Türkiye ve Dünyada Elektrikli Araçların Durumu ve Gelecek Projeksiyonu

Uluslararası Enerji Ajansı'nın (IEA) hazırladığı rapora göre, 2021 yılında dünya genelinde 5.600.0000 adet elektrikli otomobil satışı olmuşken 2022 yılında %56.9’ luk bir artış oranıyla 10 milyonun üzerinde elektrikli otomobil satışı gerçekleşmiştir. Şekil 2.3. 2010-2022 yılları arasındaki satış rakamlarını göstermektedir.



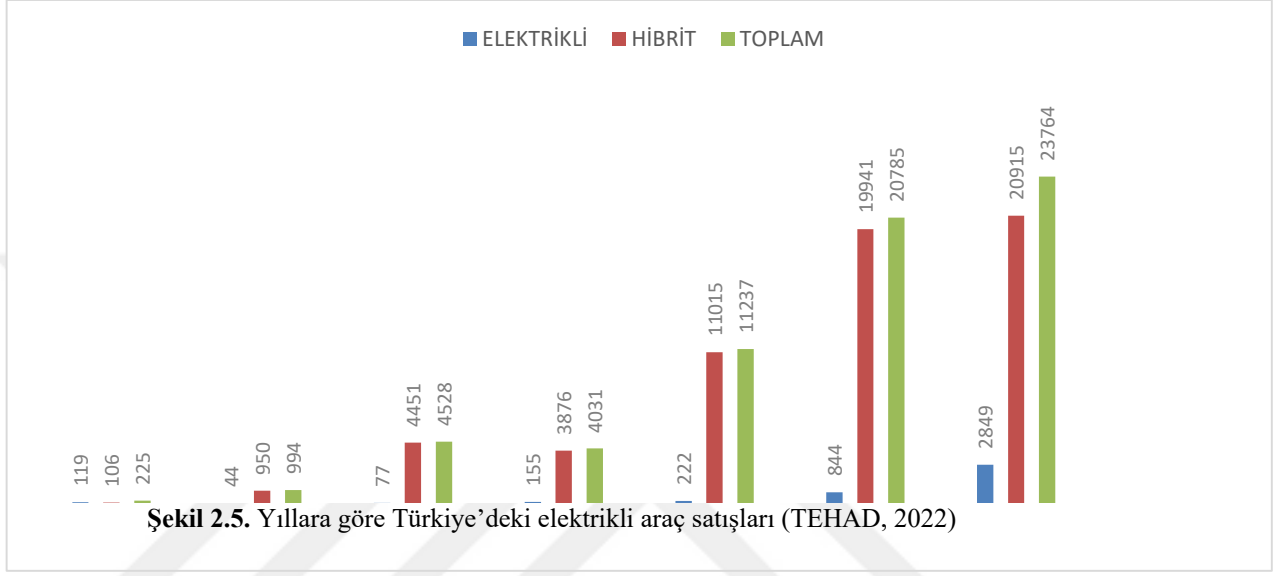
Şekil 2.3. Dünya genelinde elektrikli otomobil satış rakamları (IEA,2023)

EAFO 2023 raporuna göre Avrupa’da 2023 Nisan ayı itibariyle en çok satışı olan hibrit ve elektrikli araç marka modelleri Şekil 2.4’te gösterilmiştir. Bu rapora göre Tesla Model Y marka araç 10.778 adet satılarak Avrupa’da en çok satılan elektrikli araç olmuştur. Model Y’nin en büyük Avrupa pazarları arasında İngiltere (1.550 adet), Fransa (1.333 adet) ve Almanya (1.636 adet) yer almaktadır.



Şekil 2.4. Nisan-2023 Avrupa’da en çok satılan EA modelleri (EAFO, 2023)

Türkiye Elektrikli ve Hibrit Araçlar Platformu (TEHAD) tarafından oluşturulan rapor, Türkiye'de elektrikli otomobil satışlarına dair önemli veriler sunmaktadır. Rapora göre, 2020 yılında toplamda 20.785 adet, 2021 yılında 2.849 adet ve 2022 yılında ise 27.336 adet elektrikli otomobilin satıldığı belirtilmiştir (TEHAD, 2022). Şekil 2.5' te ise yıllara göre Türkiye'deki elektrikli araç satış rakamları grafiksel olarak ifade edilmiştir.

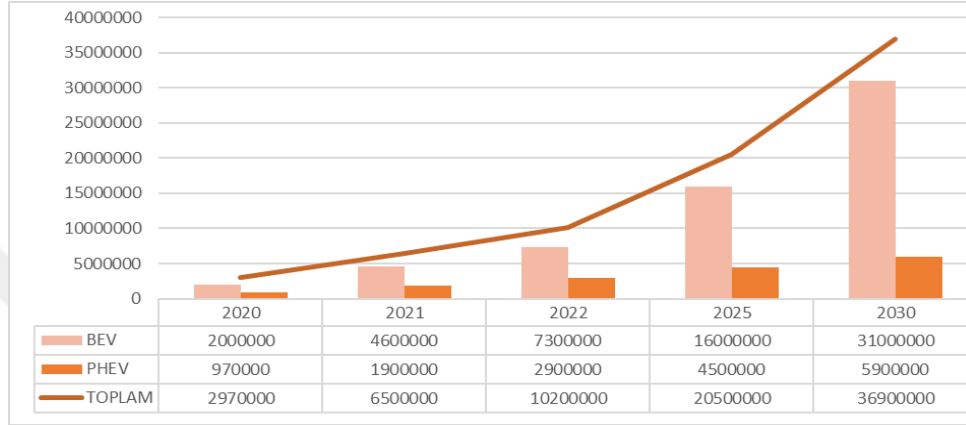


Çizelge 2.1'de verilen Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) Nisan 2023 Trafik Kayıtlı Otomobillerin Yakıt Cinsine Göre Dağılımı raporu incelendiğinde 2010-2023 yılları arasında elektrikli araç sayısında her geçen yıl ciddi bir artış olduğu görülmektedir. 2023 Nisan ayı itibariyle Türkiye'de trafiğe kayıtlı 171.558 adet elektrikli araç (hibrit + elektrikli) bulunmaktadır (Tük, 2023).

Çizelge 2.1. Trafik kayıtlı elektrikli araç sayıları, 2010 – 2023 (TÜİK, 2023)

Yıl	Toplam	Hibrit	Elektrik
			(%)
2010	0	0	0,0
2011	47	23	0,0
2012	228	53	0,0
2013	436	83	0,0
2014	525	113	0,0
2015	889	324	0,0
2016	1 160	517	0,0
2017	1 685	925	0,0
2018	5 367	4 415	0,0
2019	15 053	13 877	0,1
2020	36 487	33 690	0,3
2021	92 949	86 682	0,6
2022	149 214	134 662	0,9
2023 ⁽¹⁾	171 518	152 123	1,1

Hem dünyada hem ülkemizde EA kullanımının günden güne arttığı ve yakın gelecekte bu artışın ivme kazanacağı söylenebilir. IEA'nın yayımladığı rapora göre 2030 yılına kadar 37 milyona yakın elektrikli araç satışının olacağı öngörülmektedir. Şekil 2.6'da geçmiş dönem analizleri de göz önünde bulundurularak 2010-2030 yılları arasında elektrikli araçların gelecek projeksiyonu verilmiştir (IEA, 2023).



Şekil 2.6. 2020-2030 yılları arasındaki EA gelecek projeksiyonu (IEA, 2023)

2.3. Elektrikli Araç Çeşitleri

Elektrik motoruna sahip tüm araçlar elektrikli araç olarak adlandırılmaktadır. Elektrikli araçlarda enerji üretimi ve dağıtımını, taşıta entegre edilmiş olan tahrik sistemi bileşenleri aracılığıyla gerçekleştirilmektedir. Tahrik sistemi düzenlemeleri, sistemdeki elemanların birbirleriyle bağlantılarına ve enerji akışındaki tercihlere bağlı olarak belirlenmektedir (Özbay vd., 2020). Elektrikli araçlar, genel olarak dört ana kategoride incelenmektedir:

- Hibrit Elektrikli Araçlar (HEV)
- Plug-in Hibrit Elektrikli Araçlar (PHEV)
- Bataryalı Elektrikli Araçlar (BEV)
- Yakıt Hücreli Elektrikli Araçlar (FCEV)

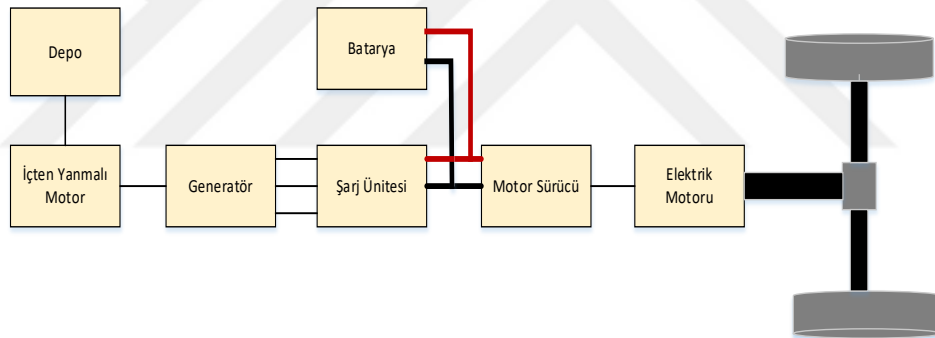
2.3.1. Hibrit elektrikli araçlar (HEV)

Hibrit elektrikli araçlar, bir elektrik motoruna ve bir içten yanmalı motora sahip olan araçlardır. Hibrit araçlardaki yakıt motoru ve elektrik motoru, araçtaki hareketi

sağlamak üzere birbirinden destek olarak çalışmaktadır. Araçta bulunan bataryalar sürüş esnasında şarj edilmektedir ve gerektiğinde elektrik motoru devreye girmektedir. Hibrit elektrikli araçların bataryaları, harici bir kaynak tarafından dışarıdan şarj edilememektedir (Çakmak, vd., 2018). Hibrit elektrikli araçlar seri hibrit elektrikli araç, paralel hibrit elektrikli araç ve seri-paralel hibrit elektrikli araç olmak üzere 3'e ayrılmaktadır.

2.3.1.1. Seri hibrit elektrikli araçlar

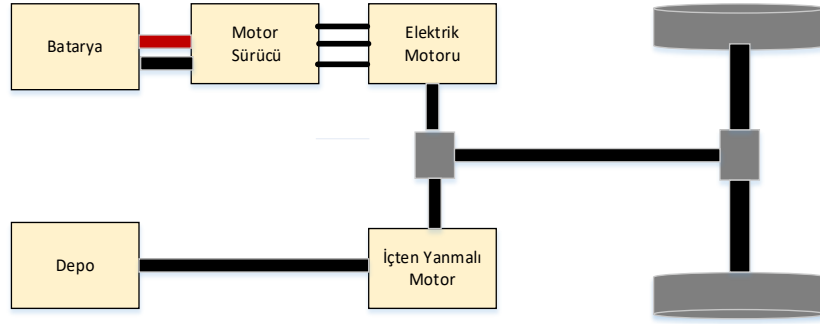
Söz konusu taşıtlarda, içten yanmalı motorun ürettiği elektrik enerjisi, jeneratör aracılığıyla elde edilir; bu enerji, hem batarya gruplarını şarj etmek amacıyla kullanılır hem de aracın tahrik sisteminde konumlanmış olan elektrik motoruna iletilir. Bu durum, HEV'in hareket kabiliyetinin elde edilmesi için gereken itici gücün yegane kaynağının elektrik motoru olduğunu göstermektedir (Çakmak, vd., 2018; Yağcıtekin, 2014).



Şekil 2.7. Seri HEV sistemi

2.3.1.2. Paralel hibrit elektrikli araçlar

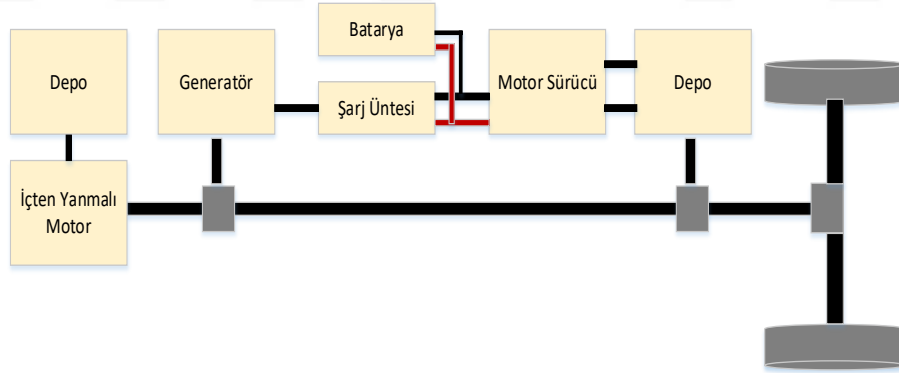
Bu tür sistemlerde bir elektrik motoru ve bir içten yanmalı motor gücü tekerleklere aktarmaktadır. Aracın hareket ettirilmesi için gerekli itici güç hem İYM'den hem de elektrik motorundan aynı anda sağlanmaktadır. Motor aynı zamanda araç hareket halindeyken aküleri şarj etmek ve elektrik üretmek için kullanılmaktadır (Çakmak, vd.,2018).



Şekil 2.8. Paralel HEV sistemi

2.3.1.3. Seri-paralel hibrit elektrikli araçlar

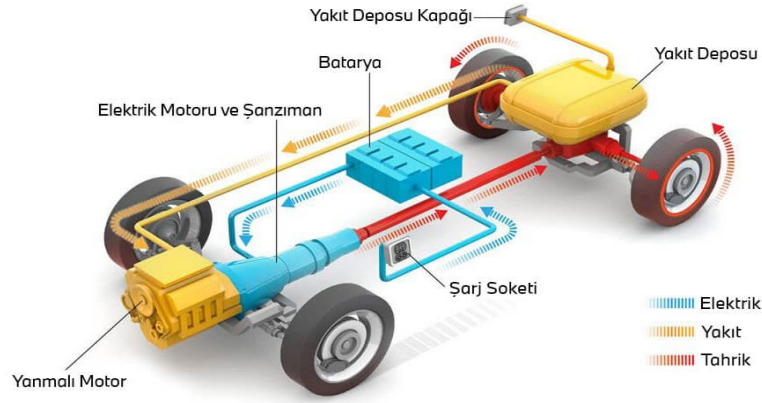
Seri hibrit ve paralel hibrit teknolojisinin birleşimi olan bu teknoloji, günümüzde en popüler hibrit teknolojisidir. Bu araçlar elektrik motorları ve İYM'den aldıkları gücü tekerleklere aktarmaktadır. Elektrik motoru kullanıldığında elektrik enerjisi üretilir. Bu araçlardaki sistem, araç hareket halindeyken optimum enerji verimliliği için İYM ve elektrikli motor güç kaynağını kontrol edebilmektedir (Yağcıtekin, 2014; Liu vd., 2008).



Şekil 2.9. Seri-paralel HEV sistemi

2.3.2. Plug-in hibrit elektrikli araçlar (PHEV)

Plug-in hibrit araçlar, hibrit elektrikli araçlar gibi hem elektrik motoruna hem de içten yanmalı motora sahiptirler. Bu araçları hibrit araçlardan ayıran en önemli husus ise kendi kendilerine şarj olmalarının yanı sıra şebekede bir şarj istasyonuna bağlanarak da şarj edilebiliyor olmalarıdır. Bu sebepten dolayı plug-in hibrit elektrikli araçlar elektrik dağıtım şebekesi üzerinde etkiye sahiptirler (İpek, 2022).

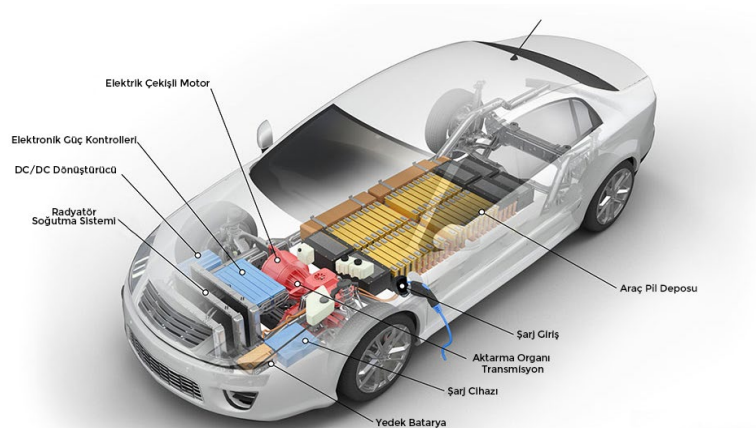


Şekil 2.10. Plug-in HEV sistemi

2.3.3. Bataryalı Elektrikli Araçlar (BEV)

Bataryalı elektrikli araçlar, tamamen elektrikle çalışan taşıtlar olarak sınıflandırılmaktadır ve bu araçların tasarımında içten yanmalı motor yerine yalnızca elektrik motoru bulunmaktadır. Elektrik motorunun enerji ihtiyacı, bataryalar vasıtasıyla sağlanmakta olup, motorun mekanik hareketi ise aktarma organları aracılığıyla tekerleklere iletilmektedir. Bu araçların menzilleri sahip oldukları bataryaların kapasitesiyle doğru orantılıdır. Bataryalı elektrikli araçlarda, temel bataryaya destek sağlamak amacı ile ek enerji kaynağı olarak süper kapasitör ya da ikinci bir batarya kullanılabilir. BEV'lerin tek enerji kaynağının elektrik oluşu ve menzillerinin sınırlı oluşundan ötürü EA şarj istasyonları BEV kullanıcıları açısından oldukça önemlidir (Sayın, vd., 2011; Öztürk, 2013; İpek, 2022).

Bu araçların, temel bileşenleri; elektrik motoru, dc dönüştürücü, motor sürücü devresi ve pildir. Tamamen elektrikli bir otomobilin içyapısı Şekil.2.11'de verilmiştir (Özler, 2023).

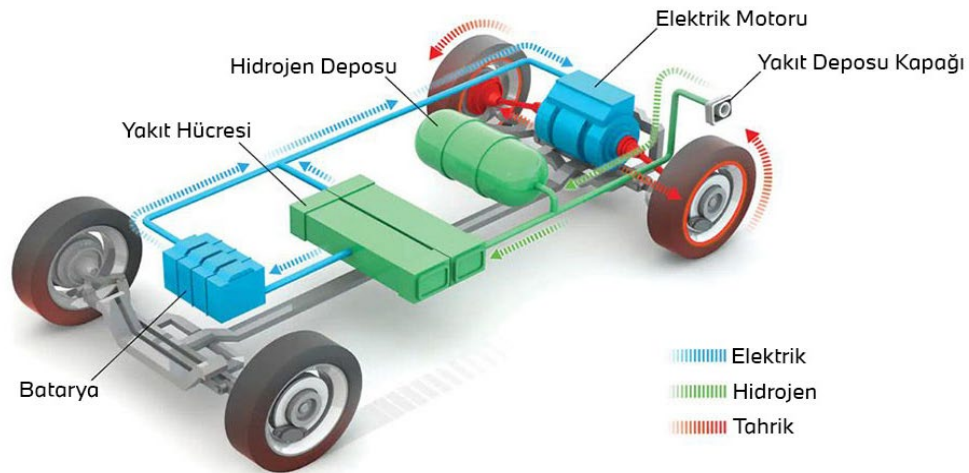


Şekil 2.11. Tamamen elektrikli bir aracın içyapısı

2.3.4. Yakıt Hücreli Elektrikli Araçlar (FCEV)

Yakıt hücreli elektrikli araçlar, enerji kaynağı dışında çalışma açısından BEV' lere benzer. FCEV' de BEV' den farklı olarak hidrojen dolu tanklarla beslenmiş yakıt hücreli sistemler bataryadan elektrik çekmek yerine elektrik enerjisi üretir. Hidrojen ve oksijenin kimyasal tepkimesi sonucu enerji elde edilir (Pollet, vd., 2022; Pramuanjaroenkij, vd., 2023).

Bu araçlarda; yakıt depolama sistemi, yakıt pili kontrol ünitesi, güç işlemci ünitesi ve tahrik sistemleri bulunur. Şekil 2.12'de FCEV' nin içyapısı verilmiştir. Ayrıca düşük emisyon ve gürültü seviyesi, yakıt pillerinin enerji tasarrufu sağlayan bir güç kaynağı gibi kullanılması, doğrudan enerji dönüşümü sağlaması, yüksek verimleri ve yakıt dolununun hızlı bir şekilde yapılabilmesi bu araçların en önemli özellikleri arasında sıralanabilir (Kuşdoğan, 2009; Ünlü vd., 2003).



Şekil 2.12. Yakıt pilli bir elektrikli aracın içyapısı

Elektrikli araç çeşitlerinin genel özellikleri, avantaj ve dezavantajları Çizelge 2.2'de incelenmiştir.

Çizelge 2.2. Elektrikli araç çeşitlerinin özellikleri bakımından kıyaslanması

EA Çeşitleri	BEV	HEV-PHEV	FECV
Özellik			
Tahrik	Elektrik motorlu tahrik	Elektrik motorlu İYM tahrik	Elektrik motorlu tahrik
Enerji Sistemi	Batarya Süperkapasitör	Batarya Süperkapasitör İYM üretim birimi	Yakıt pilleri
Enerji Kaynağı ve Altyapı	Elektrik Şarjı	Benzin Elektrik şarjı	Benzin Elektrik şarjı
Karakteristikler	Sıfır emisyon 100-200 km kısa menzil	Çok düşük emisyon Normal menzil	Çok düşük emisyon Hidrojen depolama
Ana Sorunlar	Batarya teknolojisi, Şarj özellikleri	Batarya teknolojisi Enerji yönetimi	Yakıt pili teknolojisi Hidrojen teknolojisi

Elektrikli araçlar, şanzıman gerekliliğinden bağımsız olmaları, sessiz çalışmaları, düşük emisyon değerleri ve daha düşük yakıt maliyeti gibi özellikleri ile fosil yakıtlı araçlara göre çeşitli avantajlar sunmaktadır. Bu avantajlar, elektrikli araçların kullanımının hızla artmasına neden olmaktadır. Bununla birlikte, elektrikli araçların fosil yakıtlı araçlara göre daha kısıtlı menzillere sahip olmaları, pil maliyetleri, uzun şarj süreleri ve elektrik şebekesine ek yük getirme potansiyeli gibi olumsuz özellikleri olarak sıralanabilir. Özellikle elektrikli araç kullanıcılarının araçlarını eş zamanlı olarak şarj etmesi durumunda kontrolsüz şarj durumu gerçekleşebilir ve yoğun zamanlarda büyük enerji akışları meydana geleceğinden şebekede kritik durumlar oluşabilir (Kaymaz, 2018; Kerem, 2014).

3. ELEKTRİKLİ ARAÇ ŞARJ İSTASYONLARI VE ŞARJ METODLARI

Elektrikli taşıtlarda, batarya teknolojileri büyük bir önem arz etmektedir. Günümüzde, değişik anma gerilimleri ve enerji yoğunluklarına sahip farklı batarya tipleri üretilmektedir. Elektrikli araçlardaki batarya paketleri, belirli zaman aralıklarında ve ihtiyaç duyulduğunda şarj edilmesi gereken temel bileşenlerdir. Bu bataryaların şarj ihtiyaçları genellikle özel şarj istasyonları vasıtasıyla karşılanmaktadır. Elektrikli taşıtların daha yaygın hale gelebilmesi ve işlevlerini yerine getirebilmesi için etkin bir şarj altyapısının varlığı gerekmektedir. Bu bakımdan, elektrikli taşıtlar ile şarj istasyonları birbirlerini tamamlayan bir ekosistem olarak kabul edilebilir; biri olmadan diğlerinin varlığı bir işlev teşkil etmemektedir.

Şarj istasyonu sistemleri, elektrik enerjisi altyapısı, kurulumu, üniteleri ve bu bileşenlerin iletişim altyapısından oluşmaktadır. Bu sistemler, elektrikli taşıtların uluslararası şarj standartlarına uygun bir şekilde şarj edilmesini sağlamak amacıyla tasarlanmalıdır. CHAdeMO, SAE J1772 ve IEC 62196 gibi bu standartlarda, farklı anma gerilimleri, maksimum akım değerleri ve en yüksek güç seviyeleri gibi çeşitli farklılıklar bulunmaktadır (Tür vd., 2022; Köksal vd., 2021; Özcan vd., 2019).

3.1. Şarj İstasyon Tipleri

Elektrikli taşıtların şarj işlemi, alternatif akım (Alternating Current - AC) ve doğru akım (Direct Current - DC) olmak üzere iki ayrı yöntemle gerçekleştirilmektedir.

3.1.1. AC şarj istasyonları

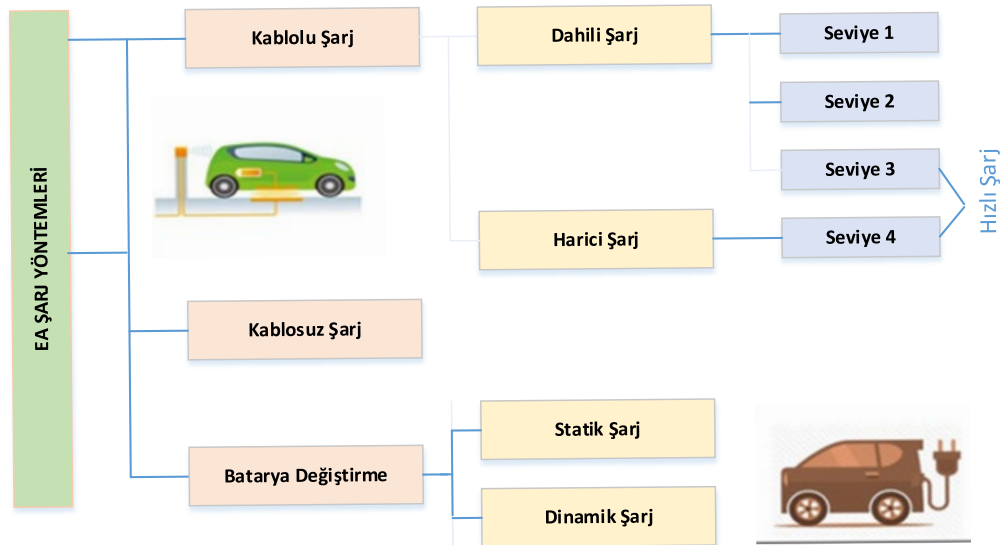
Alternatif akım (AC) enerjisiyle faaliyet gösteren şarj istasyonları, elektrik şebekesi ve elektrikli aracın enerji tesisatının sahip olduğu nitelikler doğrultusunda değişken hızlarda şarj olma imkanı sunmaktadır. Elektrikli araçlarda bulunan dönüştürücü (on-board charger), üretici firmaların belirlediği enerji sınırları dahilinde, alternatif akımı (AC) bataryalara iletmek üzere doğru akıma (DC) dönüştürme görevini üstlenir. Örneğin, 7.4 kW kapasiteli bir dönüştürücüye sahip bir araç, 22 kW kapasiteli bir AC şarj istasyonuna bağlandığında, on-board charger'ın kapasitesi olan 7.4 kW'ı aşmaması nedeniyle bataryalara en fazla 7.4 kW'lık enerji transfer edebilir (Nurmuhammed vd., 2021).

3.1.2. DC şarj istasyonları

Elektrikli taşıtlardaki bataryalar, mevcut yapıları gereği doğru akım ile şarj edilmektedir. Araç bünyesinde bulunan çevirici (on-board charger), AC enerjiyi DC enerjiye dönüştürerek taşıta iletmektedir. Ancak, on-board charger ile çevrilen güç yüksek akım seviyelerinden kaynaklanan ısınma sorunlarından dolayı üreticiler tarafından sınırlandırılır. AC-DC dönüşüm doğrudan taşıt dışından yapılarak, araca direkt olarak doğru akım gücü ile enerji aktarımı gerçekleştirilebilmektedir. Bu metot ile on-board charger cihazının işlevi devre dışı bırakıldığından, üretici tarafından belirlenmiş olan güç limitasyonu yerine doğru akım ile şarjın sınırlamaları geçerli olacaktır. Doğru akım ile şarjın avantajlarından biri, alternatif akıma kıyasla daha yüksek hızlı şarj imkanı sunmasıdır. Elektrikli taşıtların doğru akım ile şarjı, alternatif akımın sunduğu hız sınırlamalarının ötesinde yüksek hızları destekleyebilme kapasitesine sahiptir. Bu sayede, elektrikli taşıtlar doğru akım ile oldukça yüksek hızlarda şarj olabilirler ve bunun sonucunda da çok daha kısa süre içerisinde şarj olabilmektedir (Tan vd., 2016; Nurmammed vd.,2021).

3.2. EA Batarya Şarj Yöntemleri ve Standartları

Elektrikli araçlarda kablolu şarj, kablosuz (endüktif) şarj ve batarya değişimi olmak üzere üç farklı şarj yöntemi vardır (Sutopo vd., 2018). Bu yöntemler Şekil 3.1’de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. EA şarj yöntemleri

3.2.1. Kablolu şarj yöntemi (conductive charging methods)

Şarj cihazı, güç kaynağı ve araç arasında doğrudan temasın olduğu bir şarj sistemidir. Dâhili ve harici şarj yöntemleri olarak ikiye ayrılmaktadır.

3.2.1.1. Dâhili şarj yöntemi (on-board charging methods)

Araç içerisinde yer alan akümülatör grubu ve on-board şarj birimi olarak adlandırılan dönüştürücünün mevcut olduğu düzenek, şarj işleminin aracın dışında konumlanmış bir şarj ünitesi vasıtasıyla gerçekleştirildiği bir metottur. Bu yöntemdeki şarj seviyesi şarj çıkışının güç düzeyi olarak ifade edilmektedir. Bu güç seviyesi, şarj işleminin süresini belirleyen bir parametre olup, dört ayrı seviyede incelenmektedir: Seviye 1, Seviye 2, Seviye 3 ve Seviye 4. Şarj seviyesi, elektrikli araç ile şarj istasyonu arasındaki güvenli iletişim protokolünü ve taşıtlar ile şarj istasyonları arasındaki iletişim seviyesini belirlemede rol oynamaktadır.

Seviye 1 (Ev Tipi): Bu şarj stratejisinde, araç standart bir ev prizine bağlanarak şarj edilmektedir. Yavaş şarj olarak da bilinen Seviye 1 AC şarj, 120 Volt gerilim seviyesi ile gerçekleştirilmektedir. Bataryanın tamamen doldurulması süreci, aracın modeli ve markasına bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Bu yöntemle ulaşılan tam şarj süreleri genellikle 8 ila 10 saat arasında değişmektedir. Uzun süreli şarj gerekliliğinden dolayı, elektrikli araçların evlerde veya işyerlerinde park halindeyken şarj edilme olanağı bulunmaktadır. Seviye 1 şarj sürecinde herhangi bir dönüştürücü kullanılmamaktadır. Şarj ekipmanları genellikle araçla birlikte temin edilmektedir (Yazıcı vd., 2013; Karapınar vd., 2022).

Seviye 2 (Standart Tip): Bu yaklaşımda, araçlar 240V ila 400V arasında enerji transferi sağlayan bir güç prizine ihtiyaç duymaktadır. Batarya şarj süreleri Seviye 1'e göre daha kısadır ve şarj işlemi genellikle tek fazlı veya üç fazlı bir elektrik şebekesi ile topraklama hattı kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Seviye 2 şarj üniteleri genellikle şehir merkezlerinde, alışveriş merkezlerinde, benzin istasyonlarında ve dinlenme tesislerinde bulunmaktadır (Yazıcı vd., 2013; Karapınar vd., 2022).

Seviye 3 (Hızlı Tip): Seviye 2'ye kıyasla daha yüksek bir güç seviyesine sahip olan bu yöntem, bir AC şarj istasyonudur. Bu yöntemde özel bir batarya kontrol sistemi kullanılarak elektrikli araç, alternatif akım güç kaynağına bağlanmaktadır. Seviye 3 şarj yönteminde ekipmanlar araca AC modunda entegredir ve AC şebekeden

doğrultulmuş DC enerji üç fazlı sistemleri enerjilendirmek için kullanılır (Kerem vd. 2020; Yılmaz vd., 2012).

3.2.1.2. Harici şarj yöntemi (off-board charging methods)

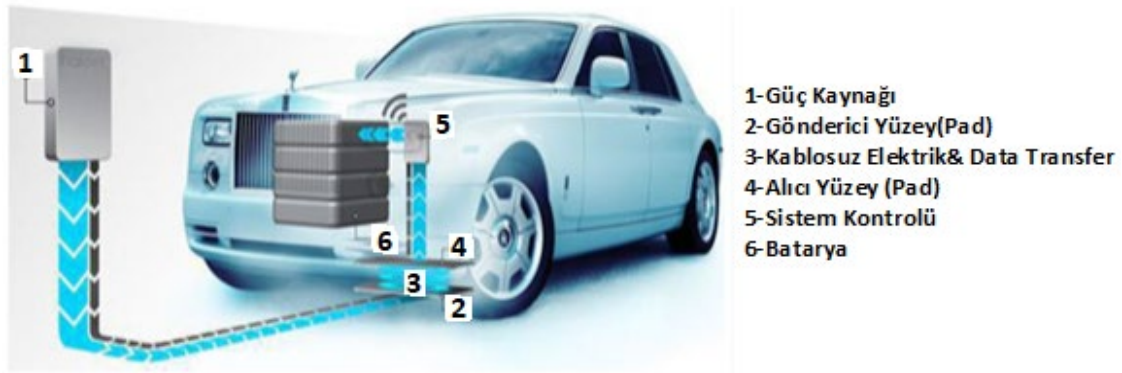
Seviye 4 olarak da bilinen bu yöntemde EA' lar harici bir şarj cihazı ile ana güç şebekesine bağlanmaktadır. Bu teknolojide AC-DC dönüşümü araç içerisinde değil, şarj ünitesinde gerçekleşir. Otoyollarda stratejik noktalarda konumlandırılan bu tip şarj üniteleri kullanıcılara 20-30 dakika içerisinde %80 şarj seviyesine ulaşma imkanı sunmaktadır (İpek, 2022; Angelov vd., 2018; Kerem vd., 2020). Şarj istasyonu tipleri ve teknik özellikleri Çizelge 3.1.'de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Şarj istasyon tipleri ve özellikleri

Parametre	ŞARJ İSTASYON TIPLERİ			
	Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3	Seviye4 (DC)
Gerilim Değeri	120-220 VAC	208-240 VAC	208-240 VAC	600 VDC
Güç Seviyesi, Kw	1.2-3.8	3.8-15	>15-96	>15-240
Akım Değeri, A	15-20	20-80	> 85	
Şarj Süresi, h	5-12	1-4	0.25-0.50	

3.2.2. Kablosuz (endüktif) şarj yöntemi (wireless charging methods)

Endüktif şarj olarak adlandırılan kablosuz şarj teknolojisi, EA bataryasına güç iletmek için elektromanyetik dalgaları kullanmaktadır. Araç, zemine yerleştirilmiş olan şarj yuvasının üzerine park edildiğinde şarj işlemi otomatik olarak başlamaktadır. Bu yöntemde, güç iletimi için şarj cihazındaki bir manyetik bobin ile araca entegre edilmiş ikincil bir manyetik bobin arasındaki hava aralığında değişken manyetik alan kullanılmaktadır. Araç doğru konumda park edildiğinde bobinler hizalanmakta ve şarj süreci başlamaktadır (Civlez vd., 2018; Karakitsios vd., 2014; Ahmad vd., 2018).



Şekil 3.2. Kablosuz şarj yöntemi

3.2.3. Batarya değiştirme yöntemi (quick drop methods)

Elektrikli araçların ulaşabileceği menzil, enerji depolama ünitelerinin doluluk oranıyla doğru orantılıdır. İçten yanmalı motorlara sahip araçlar, enerji ihtiyaçlarını elektrik destekli taşıtlara nazaran daha kısa bir süre içinde karşılayabilmektedirler. Bununla birlikte, elektrikli araçların batarya doluluk süreleri saatler alabildiğinden doluluk sırasındaki uzun bekleme süreleri kısıtlı zamana sahip kullanıcılar için sorun teşkil edebilmektedir. Bu husus, elektrikli araç kullanıcılarının batarya değiştirme gereksinimini gündeme getirmiştir. Elektrikli araç sahiplerinin, boşalmış bataryalarını tamamen şarj edilmiş bir batarya ile değiştirme imkânına sahip olduğu bu yöntem; uzun batarya ömrü, az kullanım süresi ve düşük işletme maliyeti gibi avantajlar sunmaktadır. Söz konusu yöntem sayesinde, boş bir bataryayı yenisiyle değiştirme işlemi yaklaşık olarak 1,5 dakika gibi kısa bir sürede tamamlanabilmektedir (Kerem vd., 2020; Karapınar vd., 2022).

3.3. Elektrikli Araç Şarj Modları

Elektrikli araçlar, yapılarından kaynaklı olarak bataryalarını sadece doğru akım ile doldurabilmektedirler. Mod 1, Mod 2 ve Mod 3 şarj protokollerinde, alternatif akım, taşıtın üzerinde bulunan yerleşik şarj sistemine entegre edilmiş mekanizma aracılığıyla doğru akıma dönüştürülürken, Mod 4 yönteminde ise bu dönüşüm işlemi şarj istasyonunda gerçekleştirilir. Bu şarj modlarının ayrıntılı analizi aşağıda sunulmuştur;

3.3.1. Mod 1

EA' nın standart prizden herhangi bir iletişim veya güvenlik bağlantısı olmaksızın şebekeden şarj edilmesi olarak tanımlanır. Akım 16 A, Gerilim ise tek fazda 250V, üç fazda ise 480V ile sınırlandırılmıştır. Bu mod için topraklama gerekmektedir. Güvenlik sebebiyle pek çok ülkede bu şarj modu yasaklanmıştır. Elektrikli bisiklet, Scooter gibi düşük kapasiteli araçların şarjı için daha uygundur (Tehad, 2023; Karapınar vd, 2022).



Şekil 3.3. Mod 1 şarj bağlantı gösterimi

3.3.2. Mod 2

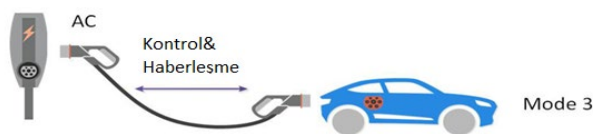
EA' nın standart bir prizden kablo üzerinde yer alan sınırlı iletişim veya güvenlik bağlantısı ile şarj edilmesi olarak tanımlanır. Akım 32 A, gerilim ise tek fazda 250V, üç fazda ise 480V ile sınırlandırılmıştır. Kablo üzerinde yer alan haberleşme adaptörü, akımı priz tarafında topraklama olduğu takdirde iletmektedir. Bu yönüyle güvenlik düşünülmüştür (Tehad, 2023; Durmuş vd., 2020).



Şekil 3.4. Mod 2 şarj bağlantı gösterimi

3.3.3. Mod 3

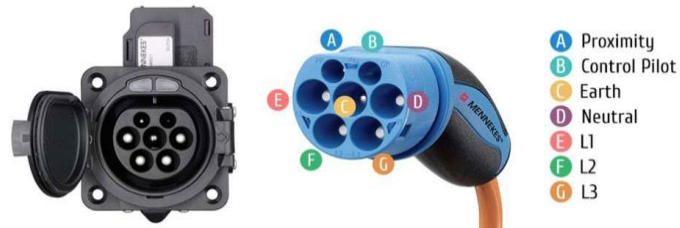
Bu şarj modunda, akım seviyesi 250A değerlerine çıktığı için standart AC priz yerine özel olarak belirlenmiş soket üzerinden tam iletişim ve güvenlik bağlantısı ile şarj işlemi olmaktadır. Şekil 3.6'da verilen Mennekes tipi konektörle bağlantı yapılmaktadır (Kızıltepe,2022).



Şekil 3.5. Mod 3 şarj bağlantı gösterimi

Mod 3'te, şarj gücüne göre 4 adet şarj sınıfı bulunmaktadır. Bu sınıflar şöyledir:

- 3.7 kVA (16A, Tek Faz – 230V AC)
- 7.4 kVA (32A, Tek Faz – 230V AC)
- 11 kVA (16A, Üç Faz – 400V AC)
- 22 kVA (32 A, Üç Faz – 400V AC)



Şekil 3.6. Mennekes tipi konektör

Şekil 3.6. da görülmekte olan bu 7 pinin farklı fonksiyonları bulunmaktadır. Bu 7 pin aşağıda sıralanmıştır;

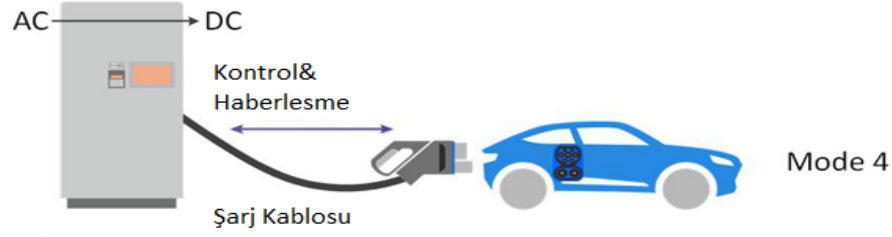
- Üç ayrı faz (L1, L2, L3),
- Nötr bağlantısı (D),
- Topraklama bağlantısı (C),
- Kontrol ve Haberleşme Pinleri (A, B).

Araç kabul edebileceği akım seviyesini şarj istasyonuna Mennekes sokette yer alan pimler ile iletmektedir. İstasyon ise kendi içerisinde akımı ayarlayarak araca enerjiyi aktarmaktadır.

3.3.4. Mod 4

Bu mod DC hızlı şarj olarak bilinmektedir. Mod 4, elektrik şebekesinden çekilen alternatif akım kaynağının, hızlı şarj istasyonu altyapısı içerisinde bulunan invertör aracılığıyla doğru akıma dönüştürülerek elektrikli aracın batarya birimine doğrudan iletilmesini amaçlamaktadır. Bu yaklaşım, yüksek akım değerlerine ve bu sayede elektrik destekli taşıtların hızlı bir şekilde şarj edilebilmesine olanak sağlamaktadır. Mod 4 protokolü, farklı şarj hızlarına yönelik çeşitli ayarlama seçeneklerini de sunmaktadır. Taşınabilir 5 kW ünitelerden 50 kW-150 kW'a, 350-

400 kW'lara ulaşan standartlar mevcuttur. Bu modun akım limiti 400 A'dir. Akım değerinin yüksek olması, gerilim değerinin diğer modlara göre yüksekliği ve DC dönüştürücüye ihtiyaç duyması sebebiyle diğer ekipmanlara göre çok daha pahalıdır (Kızıltepe, 2022; Tehad, 2023; Karapınar, 2022). Şekil 3.7.'de EA Mod 4 şarj istasyon bağlantısı gösterilmiştir.



Şekil 3.7. Mod 4 şarj bağlantı gösterimi

3.4. Elektrikli Araç Şarj İstasyonu Standartları

Elektrikli araçların dünya genelinde uluslararası standartlara uygun bir şekilde şarj edilmesi ve yasal altyapının oluşturulması amacıyla üç ana organizasyon faaliyet göstermektedir. Bu organizasyonlar şunlardır: Uluslararası Elektroteknik Komisyonu (International Electrotechnical Commission - IEC), CHAdeMO (Charge de Move) ve Otomotiv Mühendisleri Derneği (Society of Automotive Engineers – SAE). Ayrıca, Tesla Motors kendi özel şarj standardını kullanmaktadır (Tan vd., 2016; Nurmhammed vd., 2021).

Japonya, CHAdeMO standardını benimseyerek, araçların doğru akım ile şarj edilebildiği üniteleri geliştirmiştir. Bu yöntemde, şarj istasyonu içerisinde bulunan alternatif akım doğrultularak doğru akım elde edilir ve bu doğru akım ile araçların şarj işlemi gerçekleştirilir. Bu sayede araçlara 62,5 kW'a kadar enerji aktarımı mümkün olmaktadır.

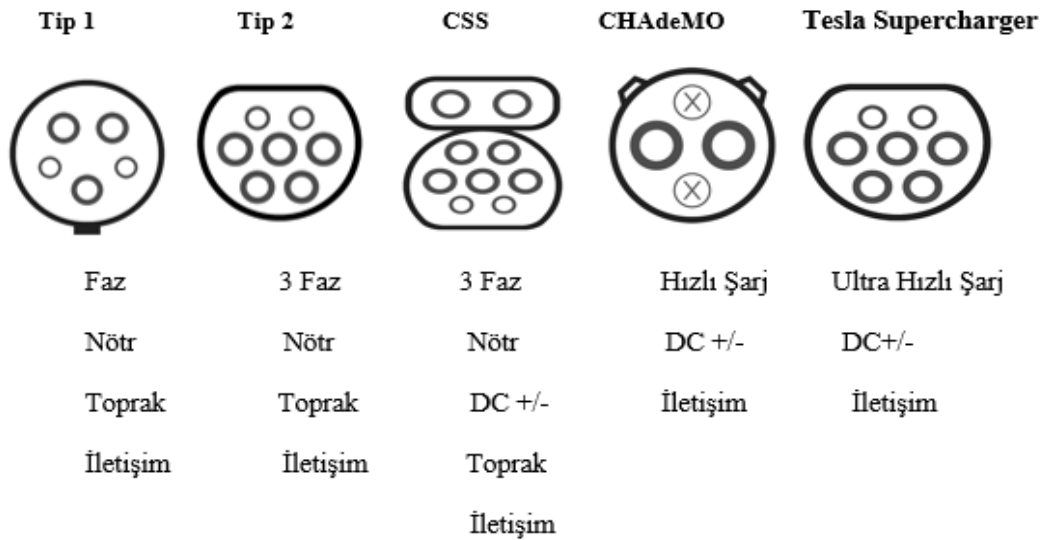
Avrupa'da kabul edilen IEC 62196 standardı ile AC şarjlı 3 fazlı sistemler ile 43,5 kW'a kadar enerji aktarımı sağlanabilir. Bu yöntemde de alternatif akım doğrultulmaktadır. Amerika ise SAE J1772 standardı ile araçların 19,2 kW'a kadar şarj edilmesini sağlamaktadır. SAE'nin uyguladığı normun gerilim seviyeleri Çizelge 3.2'de paylaşılmıştır.

Çizelge 3.2. SAE J1772 standardı gerilim-akım değerleri

SAE J1772		Gerilim (V)	Akım(A)	Güç (kW)
Seviye 1	AC	120	<16	<1.9
	DC	200-450	80	<36
Seviye 2	AC	240	<80	<19.2
	DC	200-450	200	<90
Seviye 3	DC	200-600	400	<240

3.5. EA Şarj Bağlantı Soketleri

Elektrikli araç şarj süreçlerini etkileyen temel faktörlerden biri, şarj istasyonlarında bulunan soket tipleridir. Şekil 2.5'te dünya genelinde kullanılan farklı soket tipleri listelenmektedir. Günümüzde, şarj istasyonlarında beş farklı soket tipi yaygın olarak kullanılmaktadır: Tip 1, Tip 2, CCS (Combined Charging System), CHAdeMO ve Tesla Supercharger (İpek, 2022; Mobilityhouse, 2021). Bu soket tipleri ve özellikleri Şekil 3.8'de gösterilmektedir.



Şekil 3.8. Soket tipleri

3.5.1. Tip 1 konektör (SAE J1772)

AC şarj istasyonları için kullanılmaktadır. 3 kW' tan 7.4 kW'a (230 V, 32 A) kadar güç seviyelerinin şarj edilmesini sağlayan tip 1 J1772 konektöründe üç geniş pin faz, nötr ve topraklama için kullanılırken, iki küçük pim şarj cihazı ile elektrikli araç arasındaki iletişim için kullanılmaktadır. Evde bulunan priz konektörüne

benzerdir. Çoğunlukla ABD ve Japonya'da kullanılsa da Avrupa'da da kabul edilmiştir.

3.5.2. Tip 2 konektör (IEC 62196-2)

AC şarj istasyonlarında kullanılmaktadır. Bu tip konektörler Avrupa standardı olarak onaylanmıştır. Kamusal şarj istasyonlarında 3 kw ile 43 kW arasında şarj gücü seviyelerinde kullanım imkânı sağlayan tip 2 soket 16 A'e kadar tek fazı ve 63 A'e kadar üç fazı desteklemektedir.

3.5.3. Kombine şarj sistemi (CCS) combo

Hızlı şarj amacıyla iki ek güç kontağı ile tip 2 soketin geliştirilmiş bir versiyonu olan ve 170 kW'a kadar AC ve DC şarj güç seviyelerini destekleyen soket tipidir.

3.5.4. CHAdeMO

Japonya'da geliştirilen bu konektör tipi DC hızlı şarj için geliştirilmiş bir konektördür ve 50 kW güç değerine kadar desteklemektedir.

3.5.5. Tesla supercharger

Tesla, elektrikli araçları için özel olarak geliştirdiği "Supercharger" adını taşıyan şarj altyapısına sahiptir. Bu altyapı, Tesla araçlarını hızlı bir şekilde şarj etmeyi amaçlar. DC Seviye 1 ve Seviye 2 şarj için aynı konektörü kullanmaktadır. Bu şarj tipi yalnızca Tesla marka elektrikli araçlar için geliştirilmiş olup 30 dakika içerisinde %80 şarj oranı sağlayan bir sistemdir (Yapıcı vd., 2016).



Şekil 3.9. Tesla supercharger

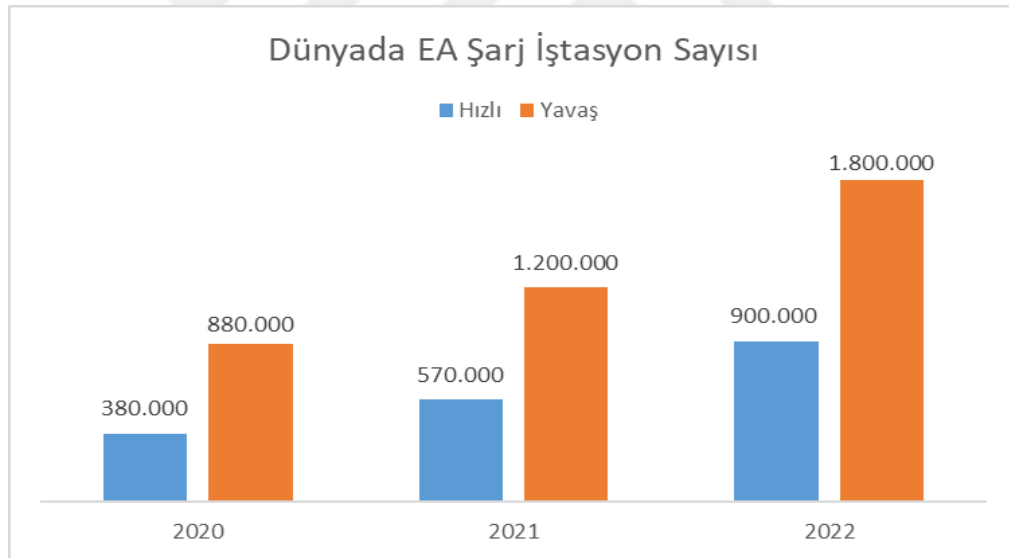
Uluslararası standartların ve soket tiplerinin detayları Çizelge 3.3'de verilmiştir.

Çizelge 3.3. Uluslararası elektrikli araç şarj tipi standartları (TEHAD,2023)

	Soket Tipi	Şarj Modu	Gerilim(AC-V)	Maksimum Akım (A)	Maksimum Güç (kW)
ABD	Tip-1 SAE J1772	AC-1	1 Faz/120V	≤16A	1.9kW
	Tip-1 SAE J1772	AC-2	1 Faz/240V	≤80A	19.2kW
Avrupa	Tesla Supercharger	DC-3	400V	≤300A	120kW
	Tip-2 Mennekes	AC-1	1 Faz/230V	≤32A	7.4kW
	Tip-2 Mennekes	AC-2	3 Faz/230V	≤32A	22kW
	Tip-4 CCS Combo	DC-1	200-450V	≤80A	36kW
	Tip-4 CCS Combo	DC-2	200-450V	≤200A	90kW
Asya Pasifik	Tip-4 CCS Combo	DC-3	200-600V	≤400A	240kW
	Tip-4 Chademo	DC-3	200-600V	≤125A	62.5kW

3.6. Dünyada ve Türkiye’de Elektrikli Araç Şarj İstasyonlarının Güncel Durumu

IEA’ nın 2023 raporuna göre 2022'nin sonunda dünya çapında 2,7 milyon halka açık şarj noktası bulunmaktadır ve bunların 900.000'den fazlası 2022'de kurulmuş olup 2021 stokuna göre yaklaşık %55'lik bir artış olmuştur. Şekil 3.10. Dünya geneli güncel şarj istasyon sayılarını göstermektedir.



Şekil 3.10. Dünyada Güncel EA Şarj İstasyon Sayısı (IEA,2023)

Şekil 3.11.’de 2022 yılında Türkiye’de bulunan elektrikli araç şarj istasyon haritasını gösterilmektedir.



Şekil 3.11. Türkiye'nin 2022 elektrikli araç şarj istasyon haritası (TEHAD,2023)

Ülkemizde çeşitli firmalar tarafından birçok elektrikli araç şarj istasyonu kurulumu gerçekleştirilmiştir ve bu yatırımlar hızla artarak devam etmektedir. TEHAD'ın yayımladığı 2023 raporuna göre; 2020 yılı öncesinde sadece 5 firmanın yer aldığı sektörde 2023 Mart ayı itibariyle 122 firma şarj ağı lisansı almıştır. Türkiye genelinde 2020 yılında 1354 adet olan şarj ağındaki ünite sayısı, günümüzde 6 bin 500'e kadar çıkmıştır. Türkiye yerli otomobili TOGG' un 28.501 adet olarak üretilmesi ve ön siparişte aldığı talebin 1 haftada 100 bin olduğu göz önünde bulundurulursa, çok daha fazla şarj istasyonuna ihtiyacı olacağı ve bu doğrultuda toplam şarj ağıımızın yakın zamanda oldukça hızlı artacağı söylenebilir. Şekil 3.12' de Türkiye'de kurulumu yapılan şarj istasyonlarının yıllara göre değişimi gösterilmiştir.

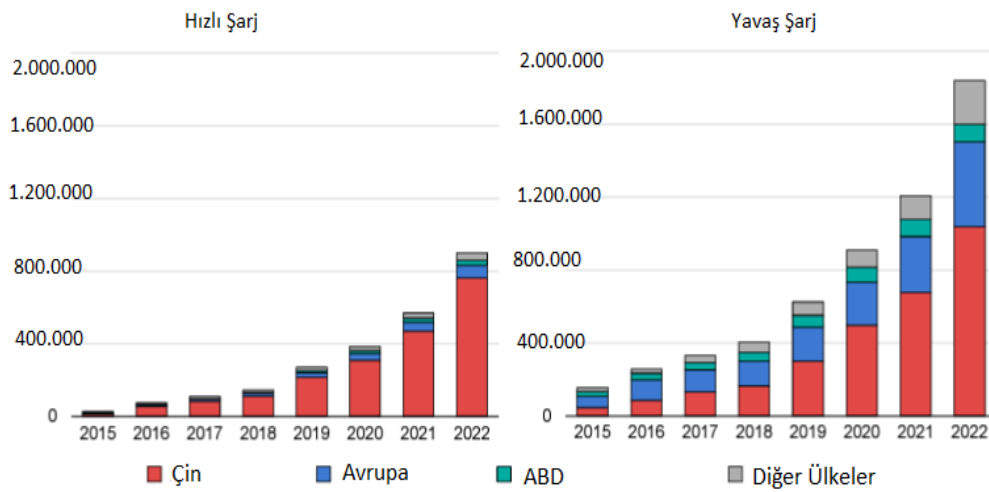


Şekil 3.12. Türkiye'de yıllara göre şarj istasyonu sayıları (TEHAD, 2023)

Küresel olarak, 2022'de 360.000'i Çin'de olmak üzere 600.000'den fazla halka açık yavaş şarj noktası kurulmuştur ve Çin ülkedeki yavaş şarj cihazı stokunu 1 milyonun üzerine çıkarmıştır. 2022'nin sonunda, halka açık yavaş şarj cihazlarının küresel stokunun yarısından fazlasına Çin ev sahipliği yapmaktadır. Avrupa, 2022' de toplam 460.000 yavaş şarj cihazı ile bir önceki yıla göre %50 artışla ikinci sırada yer almaktadır. Hollanda Avrupa'da başı çekerken, onu sırayla Fransa ve Almanya izlemektedir.

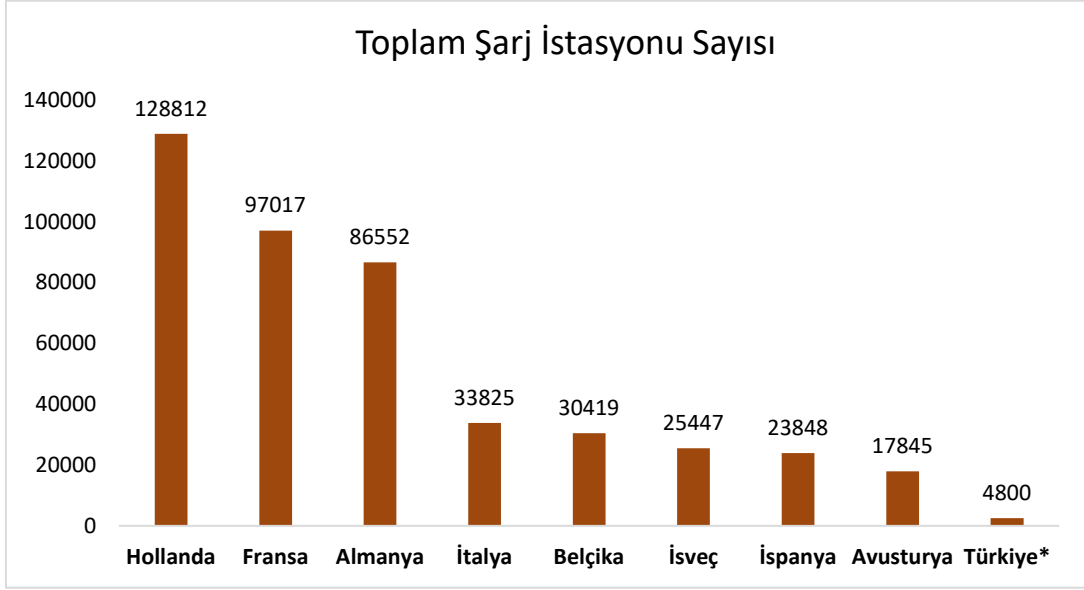
Hızlı şarj cihazlarının sayısı 2022' de dünya çapında 330.000 adet artmıştır. Ancak bu artışın neredeyse %90'ı Çin'de olmuştur ve Çin'de hızlı şarj cihazı sayısı toplamda 760.000 âdeti bulmuştur. Avrupa'da toplam hızlı şarj cihazı stoku, 2021 yılına kıyasla yaklaşık %55 artarak 2022'nin sonunda 70.000'in üzerine çıkmıştır. En büyük hızlı şarj cihazı stokuna sahip ülkeler Almanya, Fransa ve Norveç'tir (IEA,2023).

Şekil.3.13'te bölgelere ve yavaş-hızlı şarj durumuna göre 2015-2022 yılları arasındaki şarj istasyon sayıları verilmiştir.



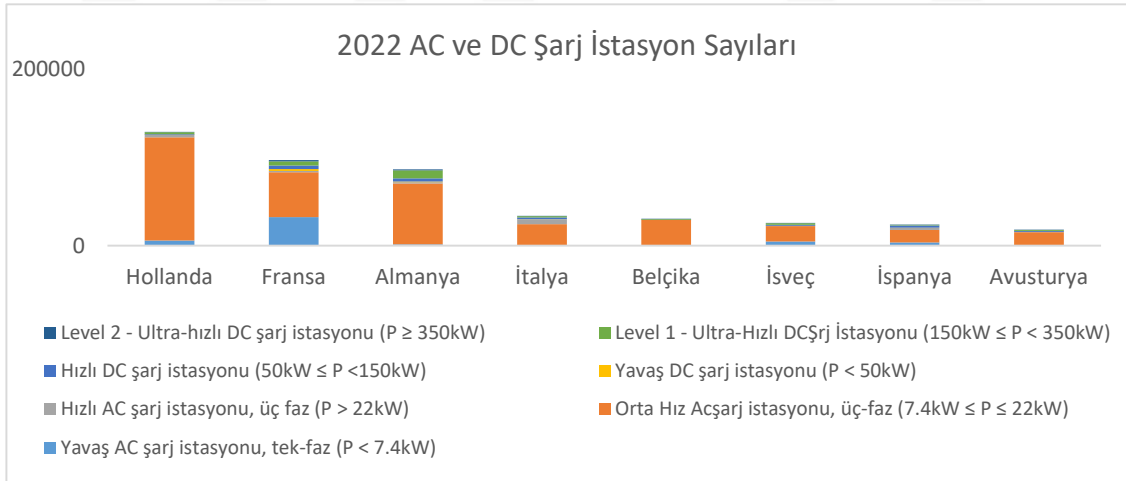
Şekil 3.13. Güç sınıfına ve bölgelere göre 2015-2022 yılları arasındaki şarj istasyonu sayıları (IEA, 2023)

Şekil 3.14. 2022 yılının sonuna kadar Avrupa'nın önde gelen ilk 8 ülkesindeki şarj istasyonu sayıları ile Türkiye'deki elektrikli araç şarj istasyonu verilerini karşılaştırmalı olarak sunmaktadır.



Şekil 3.14. Avrupa'daki ilk 8 ülkede ve Türkiye'de 2022 yılı sonu itibariyle şarj istasyonu sayıları (EAFO, 2023)

2022 yılı Aralık sonu itibariyle elektrikli araç kullanımında zirvede yer alan ilk 8 Avrupa ülkesinde toplamda 399.177 adet AC şarj istasyonu, 44.588 adet DC şarj istasyonu bulunmaktadır. Bu şarj istasyonlarının dağılımı Şekil 3.15'te verilmiştir.

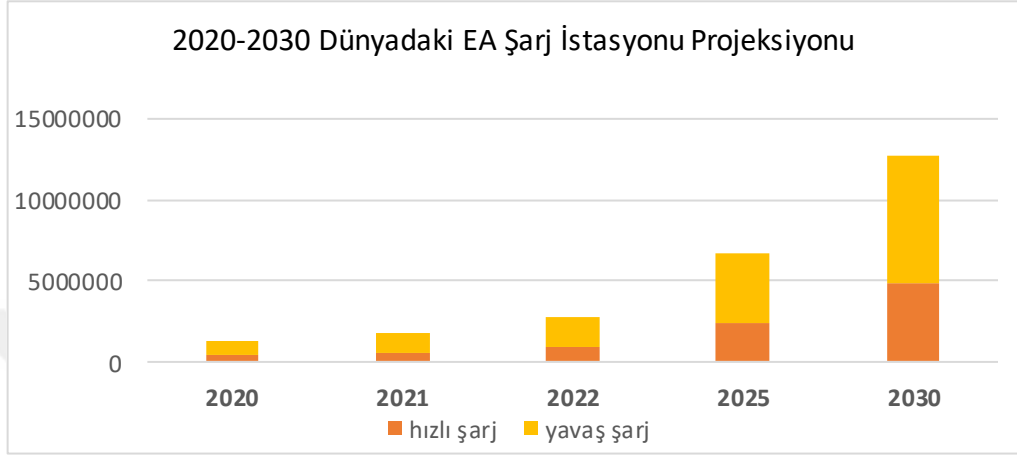


Şekil 3.15. Avrupa'daki ilk 8 ülkede 2022 yılı AC-DC şarj istasyonu sayıları (EAFO, 2023)

3.6.1. Türkiye ve Dünyada EA şarj istasyonu gelecek projeksiyonu

Dünya genelinde elektrikli araç sayısının artışına paralel olarak elektrikli araç şarj istasyon ihtiyacı artmakta ve bu ihtiyaca binaen tesis edilen şarj istasyon noktalarının da sayısı artmaktadır. IEA' nın 2023 yılında yayınladığı Global EV Data Explorer raporuna göre 2022 yılı sonu itibariyle dünyada 900.000 hızlı, 1.800.000 yavaş

şarj istasyonu olmak üzere toplamda 2.700.000 adet halka açık şarj istasyon noktası vardır. Bu sayının 2030 yılına kadar 5 katına yakın bir oranda artarak 13 milyona yaklaşacağı tahmin edilmektedir. Ülkemizde de benzer doğrultuda bir artış yaşanabileceği söylenebilir. Şekil 3.16'da 2020-2030 yılları arasında elektrikli araç şarj istasyon sayılarının gelecek projeksiyonu verilmiştir (IEA, 2023)



Şekil 13. 2020-2030 yılları arasında EA şarj istasyonu gelecek projeksiyonu (IEA, 2023)

4. EA ŞARJ İSTASYONLARININ DAĞITIM ŞEBEKESİNE BAĞLANMASI

Elektrikli araçlar şebekeye bağlanırken iki farklı yöntem kullanılmaktadır.

- Şebekeden Araç Beslenmesi
- Araçtan Şebeke Beslenmesi

4.1. Şebekeden Araç Beslenmesi

Tamamen elektrikli taşıtlar ve hibrit araçlar, yapılarına entegre edilen batarya sistemleri vasıtasıyla elektrik enerjisini şebeke kaynağından alarak depolarlar. Bu yöntem, elektrikli taşıtların ilk kullanılmaya başlandığı ailek günden bu yana tercih edilen bir yöntem olup, günümüzde de yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. DC gerilimini destekleyen elektrikli araç bataryalarının enerji beslemesi öncelikle AC şebeke kaynağından sağlanır ve bu amaçla AC/DC dönüştürücüler kullanılır. Ardından ise, elde edilen DC enerjisi DC/DC dönüştürücüler aracılığıyla istenilen gerilim seviyelerine indirilir ve bu enerji yüksek enerji yoğunluğuna sahip batarya hücrelerinde dengeli olarak depolanır. Bu yöntemde, enerjinin tek yönlü olarak şebekeden taşıtın batarya sistemine yapılmaktadır (Özler vd.).

4.2. Araçlardan Şebekenin Beslenmesi

Araçtan şebekeye enerji transfer metodu, şebekeye entegre edilebilen elektrikli taşıtları ifade eder. Yalnızca batarya buluduran tamamen elektrikli taşıtlar ve hibrit elektrikli taşıtlar, şebekeye enerji sağlayabilecek araçlar olarak sınıflandırılabilirler. Genellikle elektrikli taşıtlar, şebeke üzerinde bulunan 50-60 Hz AC elektriği, batarya hücrelerini şarj etmek amacıyla kullanılmaktadırlar. Önceden depolanmış olan enerjinin araçtan şebekeye geri verilmesi ise "araçtan şebekeye besleme" veya "araçtan şebekeye enerji transferi" (Vehicle to Grid - V2G) olarak adlandırılmaktadır. Bu işlem, araçtaki DC-DC dönüştürücüler aracılığıyla gerçekleştirilmektedir.

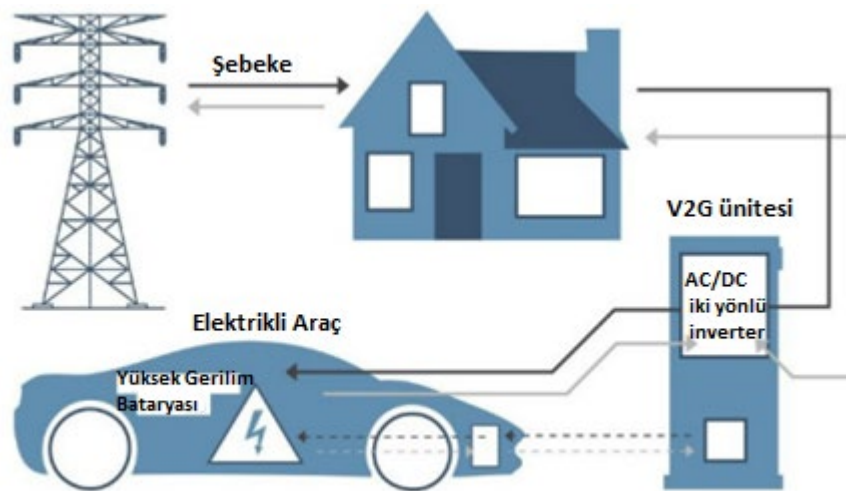
Elektrik şebekesinde köprü işlevi gören V2G kurulumları, düşük talep saatlerinde enerji depolarken yoğun talep saatlerinde şebekeye enerji aktarımı yaparak dengeleme sağlamaktadırlar. V2G döngüsü, elektrikli araçların yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen elektriği depolama veya boşaltmasına olanak tanımaktadır. Bu teknolojinin elektrik şebekeleri için olumlu bir fırsat sunabileceği düşünülmektedir (Durmuş, 2020).

Genel araç kullanım verileri göz önüne alındığında, araçlar genellikle ev ya da işe gidildikten sonra uzun saatler boyunca otopark veya park alanlarında bekletilmektedir. V2G enerji transfer yöntemi, bu tür durumlarda uygulanabilmektedir.

Önceden bataryalarda depo edilmiş olan güç gün içerisinde binalarda fazla miktarda güce ihtiyaç duyulduğu anlarda şebekeye geri basılarak enerji talebine karşılık verebilmektedir. Bu işlem için elektrikli araçların belirli özelliklere sahip olmaları gerekmektedir:

- Elektrikli taşıtların çift yönlü güç aktarımına olanak tanınması gerekmektedir.
- Elektrik şebekesi ile haberleşebilmesi gerekmektedir.
- Elektrikli araçlarda batarya kontrol mekanizmalarının bulunması gerekmektedir.

Elektrik şebekesine enerji verilmesi durumunda, genellikle hibrit araçlar yerine tamamen elektrikli taşıtlar tercih edilmektedir. Bu durum, hibrit araçlarda bulunan batarya kapasitelerinin yetersiz olmasından kaynaklanmaktadır. Elektrikli taşıtların sayısının artması, batarya döngülerinin artması ve batarya kapasitelerinin artması, V2G enerji transferlerinin daha yaygın hale gelmesine ve geniş bir uygulama yelpazesi kazanmasına olanak sağlamaktadır (Özcan vd.). Şekil 4.1, V2G döngüsünü göstermektedir.

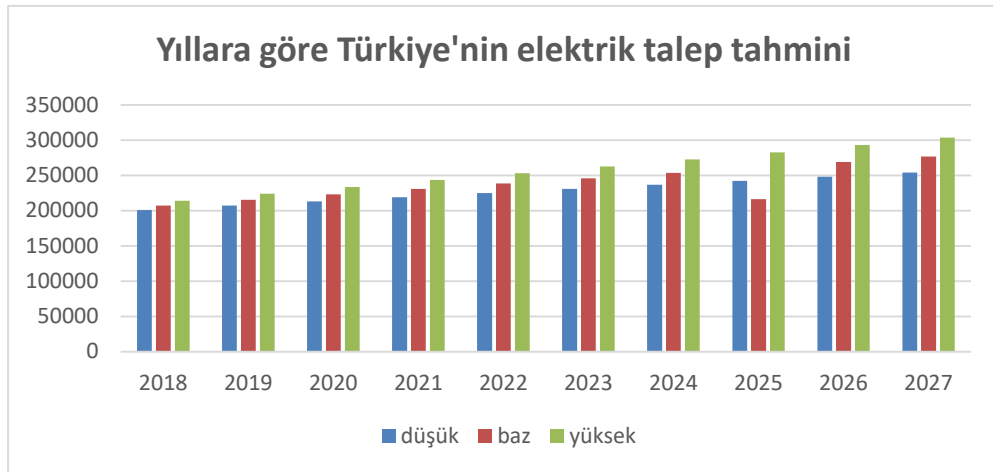


Şekil 4.1. V2G döngüsü

4.3. EA Şarj İstasyonlarının Dağıtım Şebekesine Etkisi

Gelişmekte olan ülkelerde, enerji talebi önemli bir yere sahiptir. Sürekli ve kesintisiz enerji arzı, ekonominin sürdürülebilirliği için de oldukça önemlidir. Enerji ihtiyacındaki artış göz önüne alındığında, enerji sektörüne yapılan yatırımlar sürekli olarak artmakta ve enerji üretim tesisleri planlanmaktadır (Haliloğlu vd., 2018).

Elektrik şebekesi yük tahmini çalışmaları yapılırken öngörülen değerler ile gerçek değerler arasındaki farklılık gelecekteki planlamaları etkileyebilmektedir. Planlanandan ve tahmin edilenden daha yüksek bir enerji talebinin ortaya çıkması durumunda, enerji dağıtım şirketleri enerji dengelemesi sağlamak için kesintilere başvurmak zorunda kalabilmektedir. Enerji kesintileri, özellikle büyük kapasiteli sanayi işletmeleri için üretim kayıplarına ve ek maliyetlere yol açmaktadır. Gerçek talep değerinden fazla enerji talebinin tahmin edilmesi ise, gereksiz altyapı yatırımlarının yapılmasına yol açmaktadır. Bu tür bir durum özellikle endüstriyel kuruluşlar için telafi edilmesi zor zararlar doğurmaktadır. Bu sebeple, doğru yük tahminlerinin yapılması ve gerçek değerlere yakın tahminlerin sağlanması büyük bir önem taşımaktadır. Bu hedefe ulaşmak için verilerin doğru bir şekilde toplanması ve etkili bir şekilde analiz edilmesi gerekmektedir (Tekin, 2019). Türkiye'de de elektrik talep tahminleri belirli aralıklarla yayınlanmaktadır. Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi (TEİAŞ) tarafından sunulan Türkiye elektrik talep tahmin verileri Şekil 4.2'de görülebilir.



Şekil 4.2. Yıllara göre Elektrik Talep Tahmini

Şekil 4.2'ye bakıldığında, Türkiye'nin 2018 ile 2027 yılları arasındaki düşük, orta ve yüksek enerji talep tahminleri sunulmuştur. Bu grafik incelendiğinde, her yıl elektrik

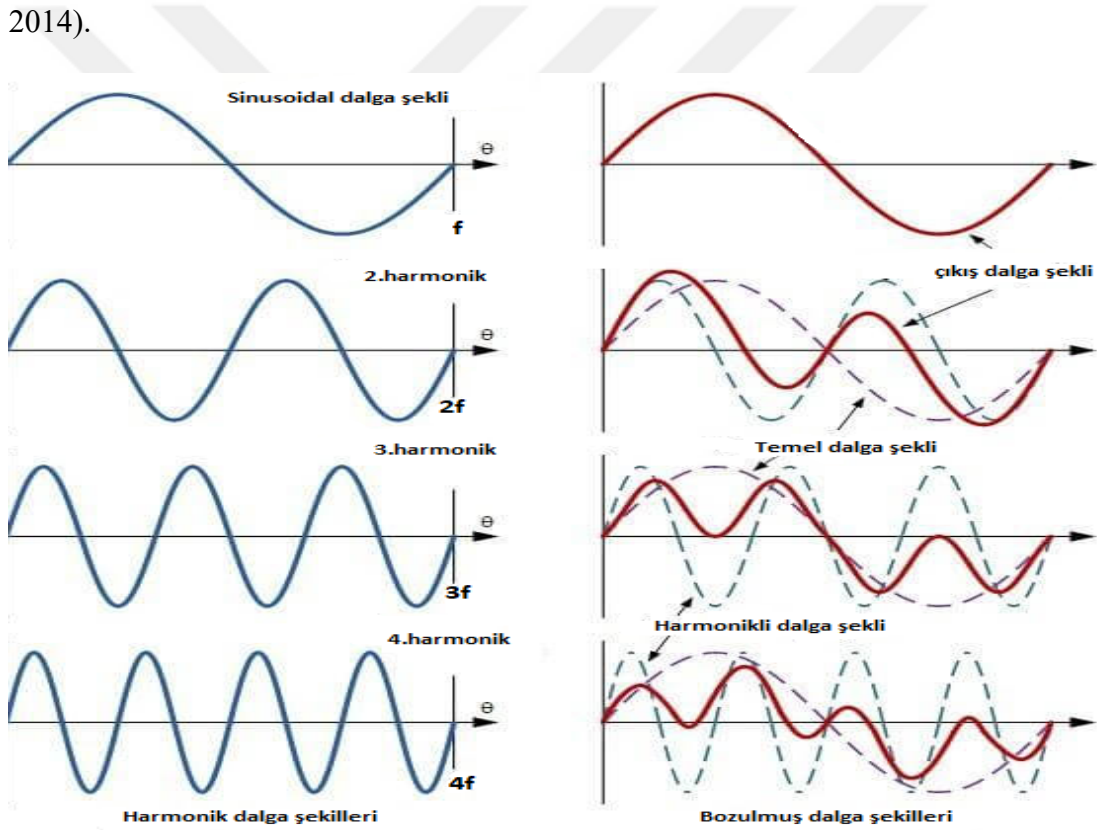
enerjisi talebinin arttığı görülmektedir. 2018 yılında 200.000 Megavat olan enerji talep tahmininin 2027 yılında 300.000 Megavat değerine ulaşacağı öngörülmektedir.

4.3.1. EA' ların şebekede oluşturacağı güç kalitesi problemleri ve harmonikler

Elektrikli araçlar, içten yanmalı motora sahip araçlara kıyasla daha sınırlı bir menzile sahiptir. Bu nedenle, bu araçların batarya seviyeleri düştükçe belirli aralıklarla şarj edilmeleri gerekmektedir. Elektrikli araçların sorunsuz bir şekilde kullanılması ve şarj problemleri yaşanmaması için geniş bir şarj altyapısının kurulması oldukça önemlidir. Elektrikli araç şarj altyapısının gelişmesiyle birlikte, mevcut enerji dağıtım sistemi birtakım zorluklarla karşı karşıya kalmaktadır. Elektrik dağıtım şebekesi, artan elektrikli araç kullanımı nedeniyle daha fazla yük taşımak zorunda kalmakta ve bunun sonucunda da güç dengeleme ve yük yönetimi gibi sorunlar ortaya çıkmaktadır. Ayrıca, şarj istasyonlarının yaygınlaştırılması ve bu istasyonlara yeterli elektrik gücünün sağlanması gerekmektedir. Bu bağlamda, enerji şebekesinin altyapısı ve yönetimi üzerine ciddi bir planlama yapılması gereklidir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı, enerji depolama teknolojilerinin geliştirilmesi, akıllı şebeke sistemlerinin uygulanması gibi çözümlerle, elektrikli araçların artan talebine uygun bir enerji altyapısı oluşturulabilir. Bu şekilde, elektrikli araçların yaygın kullanımı, enerji şebekesinin güvenilirliği ve sürdürülebilirliği ile uyumlu bir şekilde gerçekleştirilebilir.

Artan EA yük talebi, dağıtım trafolarını aşırı yüklenmesine neden olarak şebekeye ilave bir yük getirmekte ve güç kalitesi sorunlarının da ortaya çıkmasına sebep olmaktadır (Ahmad vd., 2022). Güç kalitesi kavramı enerjinin sürekli, frekans ve gerilimin sabit olduğu, güç faktörünün ($\cos\phi$) 1 değerine yakın olduğu, faz gerilimlerinin dengeli olduğu, yani akım gerilim dalga şeklinin saf sinüsoidal dalga halinde olmasını ifade etmektedir (Dugan, vd., 2004). Ancak, sistemde bulunan doğrusal olmayan yüklerin varlığı, akım ve gerilim dalgalarının sinüsoidal formundan sapmasına neden olur. Dağıtım sistemlerinde çeşitli frekans değerlerine sahip akım ve gerilim sinyallerinin oluşması, harmonik olarak ifade edilmektedir (Şahin, 2014). Harmonik ifadesi, Elektrik Dağıtım ve Perakende Satışına İlişkin Hizmet Kalitesi Yönetmeliği'nde; "Doğrusal olmayan yükler veya gerilim dalga şekli ideal olmayan jeneratörlerden dolayı bozulmaya uğramış bir alternatif akım veya gerilimde, ana bileşen frekansının tam katları frekanslarda oluşan sinüzoidal bileşenlerin her biri" şeklinde tanımlanmıştır.

Elektrik dağıtım şebekelerine, lineer olmayan yüklerin eklenmesi sonucunda meydana gelen harmonikler, güç kalitesini olumsuz etkileyen sorunların başında gelmektedir. Harmonikler, iletim ve dağıtım hatları boyunca yayıldıkları için sadece buldukları yerde değil, aynı zamanda diğer tesisleri de etkilemektedirler. Bu sebeple harmonikler, elektrik güç sisteminin kalitesinin düşmesine, cihazların bozulmasına, koruma cihazlarının düzgün çalışmamasına ve elektrik dağıtım sisteminde kayıplara yol açmaktadırlar. Elektrik güç sisteminde, sinüs dalgasının simetrisi nedeniyle tekli harmonikler meydana gelmektedir. Bunlar, 3., 5., 7. gibi tek harmonik bileşenlerdir. Harmonikler ve lineer olmayan dalga biçimi, Şekil 4.3'te gösterilmiştir. Harmonik değişikliklerin hesaplanması, analiz edilmesi ve önlenmesi genellikle temel frekans seviyelerinde Fourier Dönüşüm metodu kullanılarak gerçekleştirilmektedir (Habib, 2014).



Şekil 4.3. Harmonik bileşenler ve nonlineer dalga formu

EA şarj işleminde kullanılan batarya şarj cihazları alternatif gerilimi doğru gerilime çevirmek için güç elektroniği elemanlarını kullanmaktadırlar. Bu dönüşüm işlemi sırasında akım ve gerilimde harmonik bozulmalar gözlemlenmektedir. Özellikle, yüksek toplam harmonik bozulma (THB) seviyelerine, örneğin %101.81 gibi yüksek bir orana, tristör tabanlı redresör yönteminin neden olduğu tespit edilmiştir. Günümüzde

darbe genişlik modülasyonunun (PWM) kullanıldığı güç elektroniği cihazları tristör kontrollü cihazlara kıyasla daha az harmonik etkiler oluşturmaktadırlar. Tristör tabanlı dönüşüm yöntemi, toplam harmonik bozulma oranını %28.16 düzeyinde arttırırken, PWM tabanlı dönüşüm yöntemi %0.18 seviyesinde harmonik bozulma oluşturmaktadır. Bu harmonik bozulma seviyeleri, filtreleme uygulanarak daha düşük düzeylere indirilebilir.

Elektrikli araçların birer harmonik kaynak olduğundan yola çıkılarak 16 kW'lık bir bataryanın şarj işlemi sırasında şebekeye ilettiği harmonik akım değerleri incelenmiştir. " %" cinsinden ifade edilen harmonik akım değerleri Çizelge 4.1'de gösterilmiştir (Aydınöz,2021; Yapıcı, vd.).

Çizelge 4.1. EA'nın şarj olması durumunda hat akımının harmonik bileşenleri

Harmonik Sırası(h)	Büüklük
1	100
5	22
7	19
11	8.5
13	6.5
THD_i	31.90%

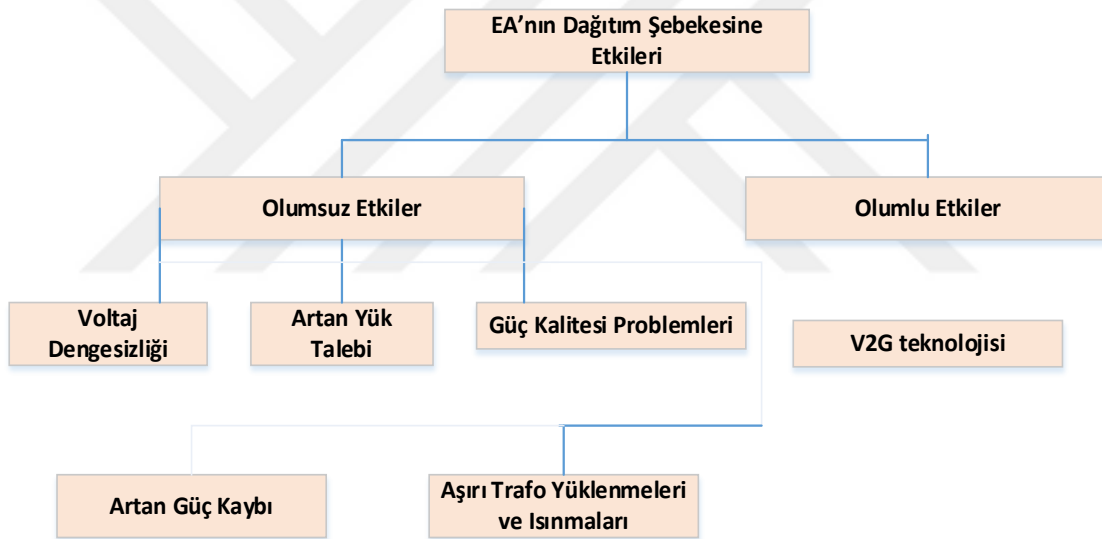
Elektrikli araçların şarj istasyonlarına bağlantısı sonucunda elektrik dağıtım şebekesinde meydana gelen harmonik yükler, şarj altyapısının işlevselliği üzerinde olumsuz etkiler yaratmakla birlikte, enerji kayıplarına neden olmakta ve eş zamanlı şarj işlemini gerçekleştirebilecek araç sayısını kısıtlamaktadır. Elektrikli araçlar, üretici firmalar tarafından değişik batarya kapasitelerinde ve farklı şarj sistemleriyle donatılmış bir şekilde üretilmektedirler. Bu sebeple, her bir aracın harmonik açıdan yarattığı etki farklılık göstermektedir (Özcan vd.).

Elektrikli araçların dağıtım şebekesine olan etkileri, teknik ve ekonomik olarak iki ana grupta incelenebilir. Teknik etkiler; voltaj düşmesi, gerilim dalgalanması, frekansta değişim, güç kalitesinin bozulması, harmonik etkiler, enerji kaybı, hatlarda ve trafolarında aşırı yüklenme ve kısa trafo ömrü olarak sıralanabilir. Ekonomik etkiler ise yatırım maliyetleri, bakım masrafları, arz-talep dengesi piyasası, ömür hesaplamaları şeklinde özetlenebilir (Yapıcı vd., 2016; Yağcıtekin, 2014; Marco, 2020). Yukarıdaki

etkilerin azaltılması veya elimine edilmesi için elektrikli araçların şebekeye bağlandığı yerlerde aşağıdaki adımların atılması gerekmektedir:

- Güç talep eğrilerinin toplanması ve analiz edilmesi gerekmektedir.
- Elektrikli araçların gelecekte yaygınlaşacağı öngörüsünden yola çıkılarak talep artışının analiz edilmesi gerekmektedir.
- Elektrikli araçların yaygınlaşması durumunda mevcut elektrik şebekesinin kapasitesinin yeterli olup olmadığını değerlendirilmesi gerekmektedir.
- Elektrikli araçların akıllı sistemlerle şarj edilmesi planlanmalı ve kontrol edilmelidir.

Şekil 4.4.'te dağıtım şebekesine bağlanan bir EA' nın olumlu ve olumsuz etkileri gösterilmiştir.



Şekil 4.4. EA' nın dağıtım şebekesine etkileri

Elektrikli araçların elektrik şebekesine olan etkilerinin incelenmesi sürecinde dikkate alınması gereken diğer kritik faktörler, araç yoğunluğu, şehir veya kırsal konum durumu ve elektrik altyapısı gibi unsurlardır. Dağıtım sisteminin en önemli elemanlarından olan transformatörler anlık yüklenmeler, ortam sıcaklıkları, aşırı ve uzun süreli yüklenme gibi faktörlerden olumsuz bir biçimde etkilenmektedirler (Hilshey vd., 2012; Razeghi vd., 2014; Zakariazadeh, 2014). Yüksek enerji talebinin olması elektrikli araçların dağıtım sistemine olumsuz etkilerini arttırmaktadır. Özellikle bazı bölgelerde birden çok elektrikli aracın aynı anda enerji talebinde bulunduğu

durumlarda, ciddi olumsuz etkilerin ortaya çıkma ihtimali oldukça yüksektir. Bu tür olumsuz etkilerin önlemek için gerekli tedbirlerin alınması gerekmektedir. Beklenmedik ve anlık yüklenmeler sonucu oluşabilecek gerilim dalgalanmaları, faz dengesizlikleri, harmonik bozulmalar gibi enerji kalitesi problemleri, hem enerji dağıtım operatörlerini hem de son kullanıcıları olumsuz etkileyecektir. Bu sorunun çözümü için, şarj altyapısının planlanmasının ve işletilmesinin titizlikle yapılması gerekmektedir (Andrade, vd., 2012; Yağcıtekin, 2014).

4.3.2. EA' ların Şebekeye Entegrasyonu

Ulaşım sektörünün elektrifikasyonu, azaltılmış CO₂ emisyonu, azalmış kirlilik ve daha az küresel ısınma gibi birçok olumlu etkiyi beraberinde getirmesine rağmen, EV şarj cihazlarının enerji dağıtım ağı üzerindeki olumsuz etkileri göz ardı edilemez. Ancak, şarj cihazlarının enerji dağıtım ağı üzerindeki olumlu etkileri, V2G kavramının uygulanmasıyla da elde edilebilmektedir. Şarj istasyonunun konumlandırılmasıyla etkilenen işletme parametreleri Şekil 4.4'de gösterilmiştir. V2G sistemlerinin enerji dağıtım sistemine yayılması, teknik etkilerini göstermektedir. V2G bağlantı gereksinimlerini yerine getirebilmek ve entegrasyonlarındaki teknik zorluklarla başa çıkmak için enerji dağıtım şirketlerinin düşük gerilim dağıtım güç şebekesine yatırım yapmaları gerekmektedir. Birçok V2G'nin şarj veya deşarj olduğunda tüm enerji sistemi etkilenmesine rağmen, V2G yayılımının bir besleme hattı yüklemesi perspektifinden görünürlüğü ele alınır ve alt istasyon seviyesinde analiz edilir. Bu etkiler, içinde (hem alt istasyon hem de hizmet seviyesi transformatörler) dönüştürücü seviyesinde analiz edilir. Elektronik cihazların doğrusal olmayan doğası, V2G şarj sistemlerinin özellikleri ve yayılan güç yükleri, V2G'lerin enerji dağıtım ağı üzerindeki etkilerini tanımlar. Yaklaşan bölümler, yerel güç ağlarını ve enerji dağıtım şebekesini bozan temel teknik sorunları tanımlanamaktadır.

Dağıtık enerji üretimi için güç elektroniği cihazlarının kullanımı, geliştirilmiş denetlenebilirlik, artan verimlilik ve artmış enerji tasarrufları sunar. Ancak, modern güç elektroniği ekipmanlarının aşırı kullanımı, genel sistem performansını tehlikeye atmaktadır, çünkü:

- Doğrusal olmayan yapıları, düşük gerilim (LV) ağlarında artan harmonik emisyonlara ve elektromanyetik girişimlere katkı sağlar;

- Esleme hatlarının ve dağıtım transformatörlerinin yükseltilmesini gerektirir,
- Güç dağıtım seviyesinde yer altı kablolarına iletilen geçici ısıya neden olur,

Aslında, dönüştürücü ve doğrultucu cihazların entegrasyonu, V2G pil şarj sistemleri çalışırken, enerji dağıtım parametrelerini zorlamaktadır. EV şarj cihazlarının harmonik özellikleri, ağ bileşenlerinin aşırı yüklenmesi ve güç kayıpları üzerinde olumsuz bir etkiye sahip olabilmektedir. Bu, koruma ve anahtarlama ekipmanlarının yanlış çalışması, güç hattı taşıyıcı sinyalleri ve diğer şebeke iletişimleriyle girişim, ayrıca filtreleme, reaktif güç telafisi ve gerilim profillerinin, dengesizliklerin ve parlamaların düzenlenmesi gibi ek gereksinimleri beraberinde getirmektedir. Ayrıca, kontrolsüz pil şarj/boşalma işlemi, transformatörlerin aşırı yüklenmesine ve sonuç olarak ömür beklentilerinin azalmasına neden olmaktadır. Konut güç hatlarının aşırı akım ve gerilim değerleri, yerel güç hatlarına yeni bir maksimum güç yüklemesine neden olmaktadır [34]. Bu nedenle, birçok aracın enerji dağıtım güç ağına bağlandığı durumlarda, dağıtım transformatörlerinin, iletkenlerin [28, 33] ve düşük gerilim dağıtım güç hatlarının termal sınırlarının ihlali meydana gelmektedir.

Kontrolsüz ve büyük çaplı V2G yayılımı, arz ve talep dengesizliğinden kaynaklanan bir güç sistem frekans dalgalanmasına sebep olmaktadır. Sağlanan gücün sistem yüküne uydurulabilmesi için jeneratörlerin sistem yüklenmesindeki değişimi tanınması beklenmeli, bu da bir frekans sapmasına yol açmaktadır. Daha sonra, valf tepkisi geçici olarak yük sapmasını karşılayacak ve bir denge frekans hatasına yol açacaktır. Önceki bölümde açıklandığı gibi, büyük miktarda V2G yayılımı aşırı yüklenmiş transformatörler ve aşırı ısınmış yer altı kablolarına neden olur ve bu durum gerilim kararlılık sorunlarını yansıtmaktadır. Dahası, sistem güç kayıpları artmakta ve gerilim sorunları ortaya çıkmaktadır. V2G'lerin yüksek güç talebi, düşük bir yayılım seviyesinde bile gerilim düzenlemesi ihlallerine neden olmaktadır.

5. EA ŞARJ KURULUMU YAPILIRKEN KULLANILAN OPTİMİZASYON YÖNTEMLERİ

Optimizasyon, belirli kısıtlamalar altında en uygun çözümün elde edilmesi amacını taşıyan bir süreci ifade eder. Optimizasyon problemlerinin çözümü, belirlenen kısıtlamaları yerine getiren matematiksel ifadeler veya kurallara dayalı algoritmalar aracılığıyla gerçekleştirilir. Herhangi bir optimizasyon problemi için kesin sonuçlar veren bir yöntem mevcut değildir ve kullanılan teknikler gerçek çözümü mutlak bir biçimde sağlama garantisi sunmaz. Ancak, kabul edilebilir hızda ve kabul edilebilir düzeyde en iyi sonuca yaklaşma konusunda genellikle başarılıdırlar (Coşkun, 2007). Elektrikli araç şarj istasyonlarına yönelik optimizasyon çalışmalarında genellikle Tabu Yöntemi, Parçacık Sürüsü Optimizasyonu ve Genetik Algoritma gibi yaklaşımlar tercih edilmiştir.

5.1. Tabu Yöntemi

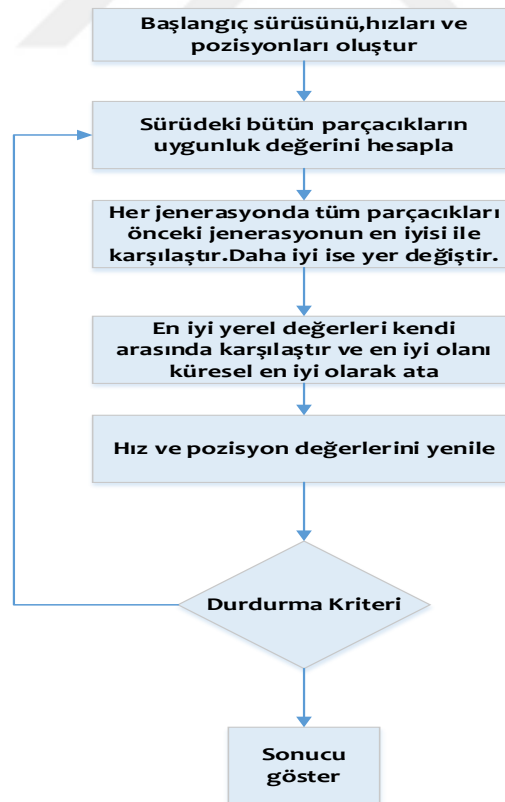
Tabu Arama Algoritması, optimizasyon problemlerinin çözümüne yönelik F. Glover tarafından geliştirilen bir araştırma yöntemidir.

Bu algoritmada, tabu listesi olarak adlandırılan bir liste kullanılır. İlk aday çözüm ve değişken komşu çözüm sayısı, adeta bir tabu işlevi görmektedir. Bu, zayıf sonuçlar elde edilen bölgelerde daha fazla işlem yapılmaması anlamına gelir. Böylelikle, istenen sonuca daha hızlı bir şekilde erişmek mümkün olmaktadır. İyi sonuçlar veren parametrelerin, bir sonraki iterasyonda komşu çözüm sayısı artmakta böylece algoritmanın etkinliğini artmaktadır. Mevcut tabu listesi, aday komşu çözümlerle karşılaştırıldıktan sonra sıralama ve karşılaştırma işlemleriyle yenilenebilir. Eğer bir aday komşu çözüm, tabu listesinde bulunan bir çözümle aynı özelliklere sahipse, bu çözümün değerlendirilmesi geçersiz sayılır. Tabu listesi oluşturulurken, her döngünün en iyi çözümü, liste içine dahil edilir. Liste kapasitesi dolduğunda, listenin en eski kayıtları çıkarılır ve son döngülerde elde edilen çözümler liste içine eklenir (Mori, 1998).

5.2. Parçacık Sürüsü Optimizasyonu (PSO)

1995 yılında Dr. Eberhart ve Dr. Kennedy tarafından ortaya konulmuş bir popülasyon tabanlı sezgisel optimizasyon tekniği olan Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO), özellikle kuş veya balık sürüleri gibi sosyal organizmaların davranışlarından esinlenmiştir. Bu yöntem, bireylerin birbirleriyle ve çevreleriyle etkileşimleri göz

önünde bulundurulmuş olarak geliştirilmiştir. Sürü halinde hareket eden canlıların yiyecek bulma veya güvenlik gibi hedeflere daha etkili ulaşabilmek için genellikle rastgele davranışlar sergiledikleri gözlemlenmiştir. PSO, bu tür davranışları temel alarak, bireyler arasındaki sosyal bilgi paylaşımını önemsemekte ve arama işlemini genetik algoritmaların aksine jenerasyon sayısı ile sınırlamadan gerçekleştirmektedir. Her birey "parçacık" olarak adlandırılmakta ve bu parçacıkların oluşturduğu topluluk ise "sürü" olarak adlandırılmaktadır. Her bir parçacık, kendi pozisyonunu, sürü içindeki en iyi pozisyona göre düzenlemek üzere önceki deneyimlerinden faydalanmaktadır. PSO, esasen sürü içerisindeki bireylerin pozisyonlarını sürünün en iyi pozisyonuna doğru yaklaştırmaya dayanmaktadır. Bu yaklaşım hızı genellikle rastgele bir şekilde gerçekleşir ve sürü içindeki bireyler çoğu zaman yeni hareketlerinde önceki pozisyonlarına göre daha iyi konumlara gelirler; bu süreç, hedefe ulaşılıncaya kadar devam eder. "Parçacık zekası" olarak da isimlendirilen bu fonksiyon optimizasyonu, çizelgeleme, yapay sinir ağlarının eğitimi, bulanık mantık sistemleri, görüntü işleme vb. pek çok alanda yaygın olarak kullanılmaktadır (Özsağlam vd., 2008). Şekil 5.1, PSO'nun akış diyagramını göstermektedir.



Şekil 5.1. PSO akış diyagramı

5.3. Genetik Algoritma (GA)

Yapay zekânın bir araştırma alanı olan genetik algoritmanın (GA) temelleri 1970'li yıllarda John Holland tarafından ortaya atılmıştır. Bu metodoloji, Darwin'in doğal seçim ve evrimsel teorisi ilkelerine dayanmaktadır ve arama ile optimizasyon işlemlerinde kullanılmaktadır. Bu yöntem, karmaşık ve çok boyutlu bir arama uzayında en iyi sonucu elde etmeyi amaçlamaktadır. Son dönemlerde, GA'lar ile ilgili çalışmalar ciddi ölçüde artmış ve bilgisayar teknolojisinin gelişimi ile paralel olarak bir dizi uygulama alanında etkili bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır. GA parametreleri, biyolojik genlere benzetilirken, parametre topluluğu kromozomu temsil etmektedir. GA'ların her bir bireyi veya potansiyel çözümleri, kromozomu oluştururken, çözüm kümesi ise popülasyon olarak adlandırılmaktadır. Popülasyonun uygunluğu, belirli kurallar altında maksimize veya minimize edilir. Her yeni nesil, hayatta kalan bireylerin rastgele bilgi değişimleri sonucu bir araya getirilmesiyle şekillendirilir.

Genetik algoritmada çaprazlama ve mutasyon olmak üzere iki genetik işlemci yer almaktadır. Çaprazlama adımında popülasyondan iki birey seçilmektedir. Bu bireylerde çaprazlama noktaları belirlenir ve bu noktadan itibaren bireylerin elemanları karşılıklı olarak yer değiştirilir, böylelikle iki yeni birey meydana gelmektedir. Mutasyon işlemcisi ile bireylerin genleri değiştirilmektedir. Bu tür değişiklikler genellikle popülasyonun %1-%5'ini etkilemektedir. Mutasyon, popülasyon içindeki çeşitliliği artırarak ve sonucun yerel çözümlere takılmasını engellemektedir. GA'nın çok amaçlı optimizasyon yöntemleri ile kullanılabilirliği, karmaşık ortamlara adapte edilebilmesi ve hızlı sonuçlar sağlayabilmesi en önemli avantajları iken; son kullanıcının modeli anlamasının zorluğu, problemi GA'ya uyarlama zorluğu, uygunluk fonksiyonunun belirlenme zorluğu ve çaprazlama/mutasyon tekniklerini seçme zorluğu gibi dezavantajlarıdır (Özsağlam vd., 2008; Baker vd., 2002; Pazouki vd., 2015; Mohsenzadeh vd., 2015).

5.4. Bulanık Mantık (Fuzzy Logic)

Bulanık Mantık, ilk defa 1965 yılında Lotfi A. Zadeh tarafından formüle edilmiştir. Bu metodolojinin ilk uygulama örneği ise 1973 yılında Mamdani tarafından bir buhar makinesinde yapılmıştır (Özdemir vd., 2019). Sonrasında hızla gelişen bulanık mantık, ekonomi, sağlık, mühendislik, eğitim gibi çeşitli alanlarda yaygın olarak kullanılmıştır. Özellikle denetim sistemleri ve yapay zekâ alanlarına olan katkıları, bu alanlardaki çalışmalarını büyük ölçüde hızlandırmıştır (Işıklı, 2008).

Klasik mantıkta bir ifade ya doğrudur ya da yanlıştır. Doğru ifade 1 değerini alırken, yanlış ifade 0 değerini almaktadır. Ancak günlük hayattaki belirsizlikleri anlamak ve ele almak için bu kesin yapının yetersiz kaldığı durumlar ortaya çıkmaktadır. İşte burada bulanık mantık devreye girmektedir. Bulanık mantık, belirsiz durumlarda karar vermek amacıyla kullanılmaktadır (Zadeh, 1965). Bu yöntem, tanımlaması zor bulanık kavramların değerlendirilmesini mümkün kılmaktadır (Türkşen, 1985). Klasik küme teorisinde bir eleman ya bir kümenin üyesidir ya da değildir. Fakat bulanık kümelerde, elemanın o kümeye ne kadar ait olduğunu ifade eden üyelik dereceleri bulunmaktadır. Bu üyelik dereceleri 0 ile 1 arasında değişmektedir ve bir elemanın bir kümeye ne kadar ait olduğunu göstermektedir. 0 ve 1 değerleri, elemanın kümeye hiç üye olmama veya tam üye olma durumlarını temsil etmektedir (Sarı vd., 2005).

Bulanık mantık, esnek yapısı sayesinde günlük yaşam problemlerinde daha gerçekçi çözümler üretebilme yeteneğine sahiptir. Klasik küme teorisine göre herhangi bir değer sıcak olabilir ya da olmayabilir. Ancak bulanık kümelerde, bu değer belirliliği bir üyelik derecesi bulunmaktadır. Örneğin, 5 °C sıcaklık değeri, "çok düşük" kümesine göre 0.5 üyelik derecesine sahipken "düşük" kümesine göre 0.667 üyelik derecesine sahip olabilir. Bulanık mantık yöntemi, girdi verilerini belirli adımlardan geçirerek çıktı verilerine dönüştürmektedir. Bu sistem öncelikle girdi verilerini bulanıklaştırır. Kesişim, birleşim ve tümlleme işlemleri gibi yaygın bulanık küme işlemleri kullanılmaktadır (Çobanoğlu, 2000). Bulanık mantık, belirsizlik taşıyan ve çok sayıda değişkeni içeren karmaşık problemlere daha gerçekçi çözümler sunabilme yeteneği nedeniyle, özellikle karar verme süreçlerini modellemek için uygundur. Birden fazla girdiye sahip karmaşık bir süreçte, bulanık mantığın kullanımı kaçınılmazdır. Bulanık mantık, hangi küme elemanının ne kadar üyeliği olduğunu belirterek belirsizliği ele almaktadır (Sıramkaya, 2006).

5.4.1. Bulanık mantık ile elektrikli araç optimizasyon uygulamaları

Literatürde yapılan incelemelerde elektrikli araçlarda bulanık mantık yöntemiyle optimizasyon uygulamaları yapıldığı görülmüştür. Örneğin, Schouten ve ekibi, paralel hibrit elektrikli araçlar için bulanık mantık tabanlı bir enerji yönetim stratejisi önermiştir. Bu çalışmanın temel hedefi, aracın tüm bileşenlerinin işletim verimliliğini artırarak yakıt tüketimini azaltmaktır. Bulanık mantık tabanlı denetleyici, içten yanmalı

motor ve elektrik motorunun güç çıkışını, araç hızını kullanarak optimize etmektedir. Elde edilen simülasyon sonuçları, bu bulanık mantık enerji yönetim stratejisinin yakıt ekonomisinde önemli bir gelişme sağladığını ortaya koymuştur (Schouten vd., 2003).

Tian ve diğer araştırmacılar, şarj edilebilir şehir içi elektrikli otobüsler için adaptif bulanık mantık tabanlı bir enerji yönetim stratejisi geliştirmişlerdir. Farklı sürüş durumlarına ait en iyi sonuçlar, Pontryagin'in minimum prensibi kullanılarak elde edilmiştir. Daha sonrasında, bir yapay sinir ağı modülü tasarlanmış ve eğitilmiştir; bu modül, bataryanın optimal şarj durumu (SoC) eğrilerini öğrenme amacını taşımaktadır. SoC referans eğrisini takip etmek için de, adaptif bulanık mantık tabanlı bir denetleyici geliştirilmiştir. Elde edilen simülasyon sonuçları, yapay sinir ağı ile eğitilmiş ve eğitilmemiş sürüşler arasında %4,61 ila %13,49 arasında yakıt tasarrufu sağlandığını belirtmektedir (Tian vd., 2018).

Naderi ve ekibi, paralel hibrit elektrikli bir aracın performansını incelemek amacıyla bulanık mantık enerji yönetimi algoritması kullanmışlardır. Yedi serbestlik dereceli bir dinamik model geliştirilmiş ve aracın dinamik davranışı simüle edilmiştir. Bu geliştirilen dinamik model, ADVISOR platformunda çalışan tek beş serbestlik dereceli model ile karşılaştırılmıştır (Naderi vd., 2008).

Bahar ve meslektaşları, paralel hibrit elektrikli araçlar için bulanık mantık tabanlı bir enerji yönetim stratejisi geliştirmişlerdir. Araç hızı ile motor devir sayısı arasındaki fark ve batarya şarj oranı değerleri, bulanık mantık denetleyicisinin girdi parametreleri olarak kullanılmıştır. Ancak bu uygulanan bulanık mantık denetim stratejisinin yakıt tasarrufu üzerindeki etkisi hakkında bilgi sunulmamıştır (Bahar vd., 2009).

Zhu ve arkadaşları, minimum yakıt tüketimi ve minimum egzoz emisyonu hedeflerini gözeterek, bir paralel hibrit elektrikli araç için bulanık mantık tabanlı bir denetim stratejisi geliştirmişlerdir (Zhu vd., 2012). Zhang ve diğer araştırmacılar, bir paralel hibrit elektrikli araç için "Adaptive Neuro Fuzzy Inference System" optimizasyon algoritması tabanlı bir bulanık mantık ağ denetim stratejisi önermişlerdir. Simülasyonlar ADVISOR platformunda, UDDS sürüş çevrimi için gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar, bulanık mantık ağ denetleyicisinin giriş parametreleri olarak belirlenen kavrama torku ve batarya SoC değerine göre tasarlanan üyelik fonksiyonlarının tatmin edici düzeyde etkili olduğunu göstermiştir (Zhang vd., 2017).

Dawei ve meslektaşları, genetik algoritma ile optimize edilmiş bulanık mantık yöntemi ile bir paralel hibrit elektrikli aracın denetim stratejisini geliştirmişlerdir.

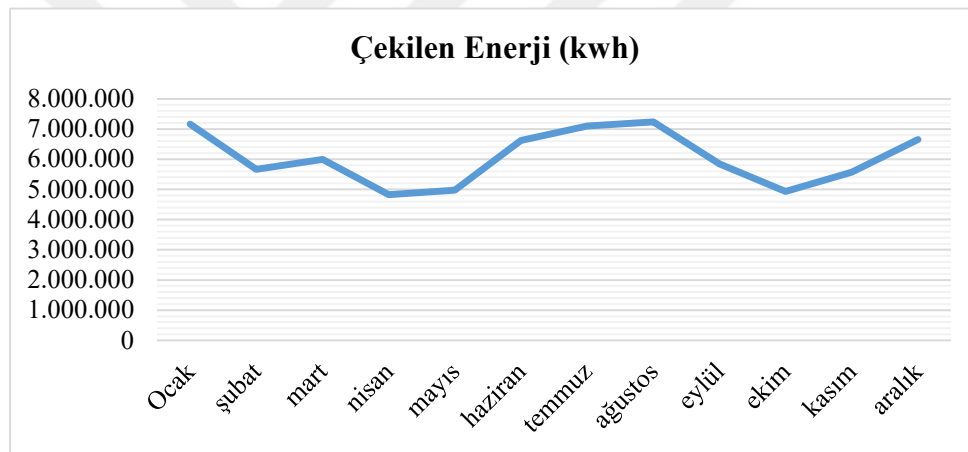
Geliştirilen denetim sisteminde motor torku ile ihtiyaç duyulan tahrik torku arasındaki kontrol en önemli giriş parametresi olarak kabul edilmiştir. İkinci önemli giriş parametresi ise batarya şarj durumudur. Bulanık mantık denetleyicisinin çıkışından, elektrik motoru ile içten yanmalı motor tork dağılım oranları elde edilmiştir. Farklı sürüş koşulları ve denetim stratejileri altında, paralel hibrit aracın emisyon ve yakıt tüketim değerlerine etkisi incelenmiştir (Dawei vd., 2017).



6. MATERYAL VE YÖNTEM

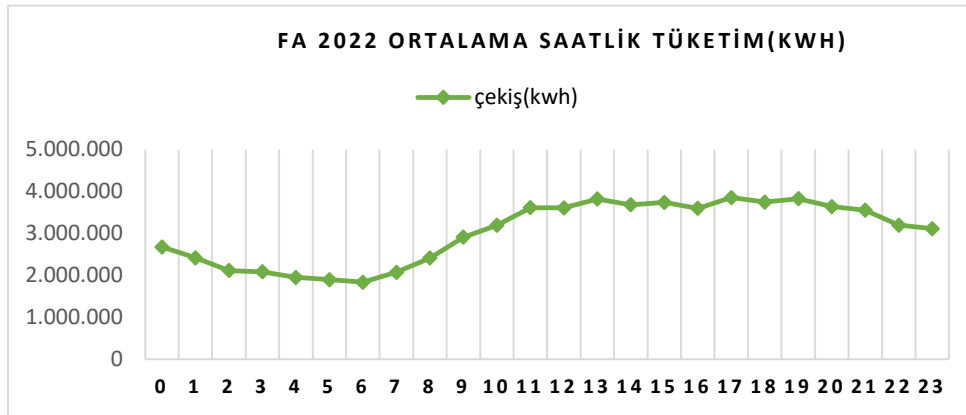
Siirt ilinde tüketimi en yüksek olan şehir fideri FA üzerinde bulunan 3 ayrı trafo noktası belirlenerek bu bölgelere 11 kW AC şarj noktası kurulumu yapıldığı varsayılmıştır. Enerjisini bu transformatörlerden alan şarj istasyonlarının şebekeye eklenerek şarj edilen elektrikli araç sayılarının eş zamanlı 5, 10,15 ve 20 adet olma durumlarına göre transformatörlere getireceği yüklerin incelemesi yapılmıştır.

Örnek alınan 1. Trafo bölgesinde (TR-1) dağıtım transformatörünün; nominal güç değeri '2.6 MVA', sekonder gerilimi '0,4 kV' tur. Örnek alınan 2. Trafo (TR-2) şehir merkezinde bulunan 100 kVA gücünde bir benzin istasyonu trafosudur. 3.trafo (TR-3) devlet hastanesine ait trafo olup kurulu gücü 3.2 MVA'dır. Trafoların sekonder gerilimi 0,4 kV'tur. Aşağıdaki şekilde Dicle Elektrik Dağıtım A.Ş.'den alınan verilere göre şehir fiderinin 2022 yılında aylık bazlı yük durumu gösterilmiştir.



Şekil 6.1. Şehir Fideri FA'nın 2022 yılı aylık tüketim değerleri

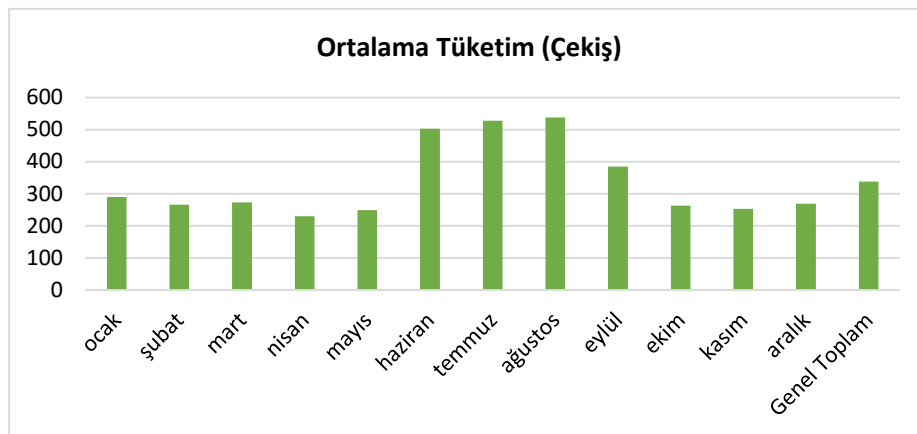
Siirt ilindeki şehir fideri FA'nın üstünde toplamda 184 adet trafo bulunmaktadır. Bu trafoların toplam kurulu gücü 91.250 kVA'dır. 2022 yılındaki aylık bazlı tüketim verileri incelendiğinde en yüksek tüketimin Ocak (7.163.750 kWh), Temmuz (7.099.187 kWh) ve Ağustos ayında (7.241.875); en düşük tüketimin ise Nisan (4.826.562 kWh), Mayıs (4.977.750 kWh), Ekim (4.932.750 kWh) aylarında olduğu görülmektedir. 2022 yılı içindeki ortalama saatlik tüketim verileri incelendiğinde Şekil 6.2'deki grafik elde edilmektedir.



Şekil 6.2. 2022 Yılı Saatlik Tüketim Değerleri

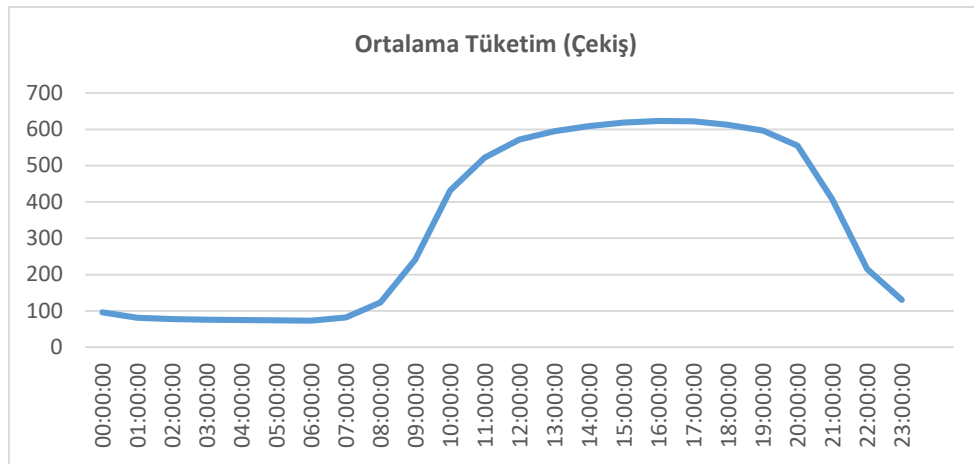
Grafik incelendiğinde yıl içindeki en yüksek tüketimin puant saati olan 17:00-22:00 arasında olduğu en düşük tüketimin ise gece saati 22:00-08:00 arasında olduğu söylenebilir. Mevcut pilot bölgede bulunan üç adet transformatörün yüklenme profilleri verisi Dicle Elektrik Dağıtım A.Ş. 'den temin edilerek tez çalışmasında kullanılmıştır. Transformatör'lerden çekilen güç değerleri 2022 yılını kapsamaktadır.

Örnek olarak alınan TR-1 (AVM) trafosunun 2022 yılı 12 aylık tüketimi aylık bazda incelendiğinde Şekil 6.3.'teki grafik elde edilir. Fiderin genel çekişine paralel olarak tüketimin Temmuz ve Ağustos aylarında en yüksek olduğu gözlemlenmektedir. Ortalama günlük tüketim 337,949 kWh iken en yüksek tüketimin 537,838 kWh olduğu görülmüştür.



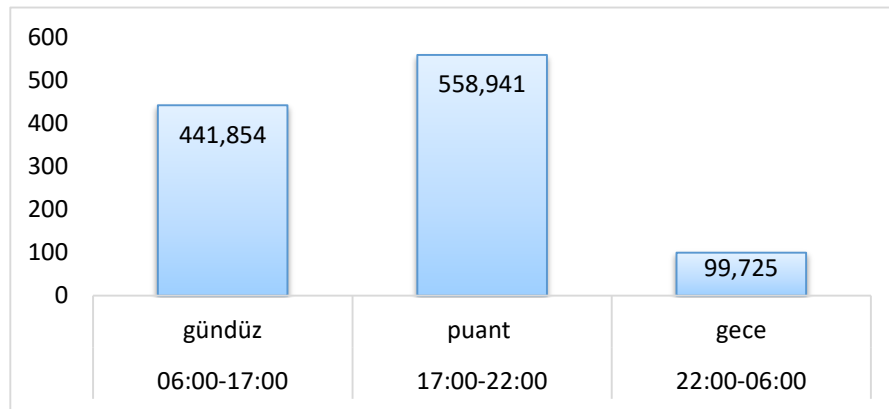
Şekil 6.3. TR-1 AVM trafosu yıllık tüketim değerleri

Aynı trafoda Şekil 6.4'te verilen 2022 yılı ortalama saatlik tüketim verileri incelendiğinde tüketimin saat 21:00'dan sonra düşmeye başladığı ve en düşük tüketimin saat 22:00-07:00 arasında olduğu görülmektedir.



Şekil 6.4. TR-1 AVM trafosu 2022 yılı saatlik bazlı ortalama tüketim

Veriler 12 aylık dönemde günlük olarak üç farklı tarife fiyatlandırmasına göre gruplanıp ortalaması hesaplanmıştır. Burada gece tarifesi saat 22:00-06:00 arası, gündüz tarifesi 06:00- 17:00 ve son olarak puant tarifesi 17:00- 22:00 olarak alınmıştır. Şekil 6.5’de verilen grafikte, 12 ay boyunca günlük tarifelere göre ortalama çekilen güç miktarı görülmektedir.

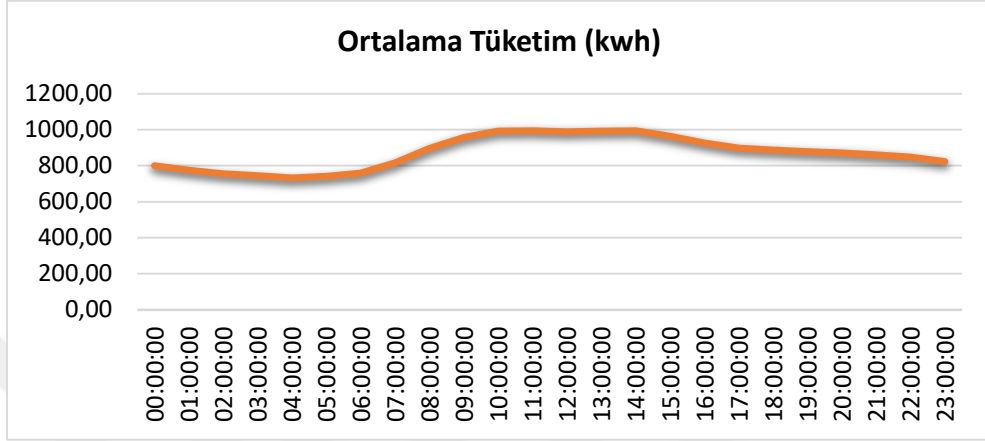


Şekil 6.5. TR-1 AVM trafosu tarife bazlı tüketim verileri

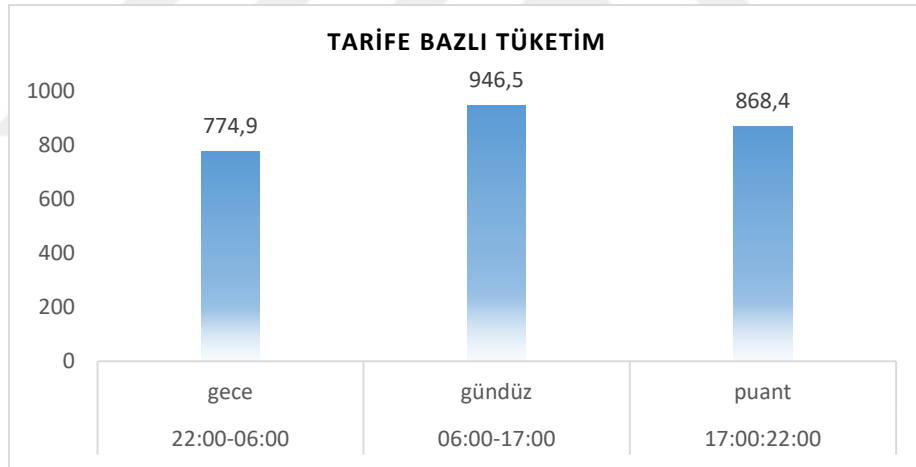
Şekil 6.5’deki grafikte görüldüğü üzere puant saatte tüketilen güç miktarının fazla olduğu gece saatinde ise en düşük olduğu gözlenmiştir.

Modelde incelenen TR-1 AVM transformatörünün 12 aylık zaman diliminde 1093,65 kW maksimum güç, ortalama 337,949 kW güç çektiği gözlenmiştir. Transformatörün $\cos\phi$ değeri bir olduğundan çekilen güçler aktif güç baz alınarak hesaplamalar yapılmıştır.

Yük profil verisi incelenen ikinci bölgedeki TR-2 hastane trafosunda 2022 yılı saatlik bazlı ortalama tüketiminin 870 kWh olduğu ve en düşük tüketimin 22:00-06:00 gece zaman diliminde olduğu görülmektedir. Şekil.5.6'da hastane trafosunun ortalama tüketim eğrisi; Şekil 6.6'da ise tarife bazlı tüketim değerleri gösterilmektedir.



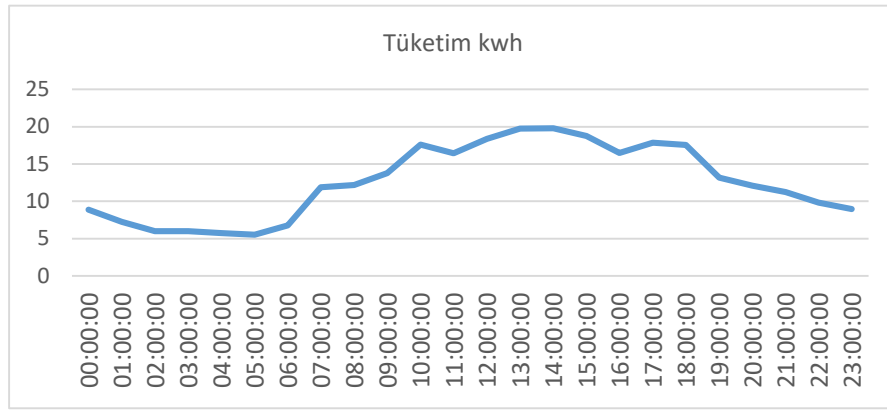
Şekil 6.6. TR-2 hastane trafosu 2022 yılı saatlik tüketim eğrisi



Şekil 6.7. TR-2 Hastane trafosu 2022 yılı tarife bazlı tüketim eğrisi

TR-2 Hastane trafosunun 2022 yılı yük profil verilerine göre trafonun çektiği maksimum güç 2304,6 kW, ortalama güç 870 kW ve minimum güç 400 kW'tır.

3.örnek trafo bölgesi 100 kVa gücünde bir benzin istasyonudur. Benzin istasyonunun yıl içindeki en yüksek tüketimleri saatlik bazda incelendiğinde diğer iki trafo bölgesinde olduğu gibi en düşük tüketimin gece saatlerinde olduğu analiz edilmiştir. Benzin istasyonuna ait trafo verileri Şekil 6.8'deki grafikte verilmiştir.



Şekil 6.8. TR-3 benzin istasyonu trafosu 2022 saatlik bazlı en yüksek tüketim verisi

TR-3 benzin istasyonu trafosunun 2022 yılı yük profil verilerine göre trafonun çektiği maksimum güç 19,28 kW, ortalama güç 12,5 kW ve minimum güç 5,5 kW'tır. Üç trafo bölgesinde de, yük profil verilerine dayanarak transformatörlerin mevcut durumdaki maksimum yüklenme durumu analiz edilmiştir. Bu çalışmada, 11 kW AC şarj istasyonunun bu transformatörlere bağlandığı ve aynı zamanda sırasıyla 5, 10, 15 ve 20 aracın transformatörden en fazla güç çektiği zaman dilimlerinde şarj edildiği varsayılmıştır. Bu varsayımlar doğrultusunda çeşitli modellemeler gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar, mevcut abone yükleri ve elektrikli araçların şarjı nedeniyle transformatörlerde oluşabilecek yüklenmeleri içermekte olup, bu veriler Çizelge 6.1 ile 6.5 arasında sunulmuştur. Modellemede; şebekeye 64 kW bataryaya sahip X marka elektrikli aracın 11 kw ac şarj istasyonunda eş zamanlı 5, 10,15 ve 20 adet şarj edilmesi durumunda oluşabilecek yüklenmeler elde edilmeye çalışılmıştır.

Çizelge 6.1. Transformatörlerde 2022 yılı maximum yük durumları

Ekipman Ad	Kapasite (kVA)	Primer Gerilimi (kV)	Sekonder Gerilimi (kV)	Toplam Aktif Güç (kW)	Toplam Görünür Güç (kVA)	Güç Faktörü (%)	Yüklenme Oranı (%)
TR-1	2600	34,5	0,4	1094	1094	99,99	42
TR-2	100	34,5	0,4	19	19	99,99	19
TR-3	3200	34,5	0,4	2304	2304	99,95	72

Çizelge 6.2'de, mevcut abonelere ek olarak transformatörlerden beslenen şarj istasyonlarındaki elektrikli araç 5 adet olması durumunda transformatörlerin toplam yük durumları verilmiştir.

Çizelge 6.2. Transformatörde eş zamanlı 5 adet aracın şarj olması halinde yüklenme durumları

Ekipman Ad	Kapasite (kVA)	Primer Gerilimi (kV)	Sekonder Gerilimi (kV)	Toplam Aktif Güç (kW)	Toplam Görünür Güç (kVA)	Güç Faktörü (%)	Yüklenme Oranı (%)
TR-1	2600	34,5	0,4	1149	1149	99,99	44
TR-2	100	34,5	0,4	74	74	99,99	74
TR-3	3200	34,5	0,4	2359	2359	99,95	73,7

Çizelge 6.3. Transformatörde eş zamanlı 10 adet aracın şarj olması halinde yüklenme durumları

Ekipman Ad	Kapasite (kVA)	Primer Gerilimi (kV)	Sekonder Gerilimi (kV)	Toplam Aktif Güç (kW)	Toplam Görünür Güç (kVA)	Güç Faktörü (%)	Yüklenme Oranı (%)
TR-1	2600	34,5	0,4	1204	1204	99,99	46,3
TR-2	100	34,5	0,4	129	129	99,99	129
TR-3	3200	34,5	0,4	2414	2414	99,95	75,43

Çizelge 6.4. Transformatörde eş zamanlı 15 adet aracın şarj olması halinde yüklenme durumları

Ekipman Ad	Kapasite (kVA)	Primer Gerilimi (kV)	Sekonder Gerilimi (kV)	Toplam Aktif Güç (kW)	Toplam Görünür Güç (kVA)	Güç Faktörü (%)	Yüklenme Oranı (%)
TR-1	2600	34,5	0,4	1259	1259	99,99	48,4
TR-2	100	34,5	0,4	184	184	99,99	184
TR-3	3200	34,5	0,4	2469	2469	99,95	77,15

Çizelge 4.5. Transformatörde eş zamanlı 20 adet aracın şarj olması halinde yüklenme durumları

Ekipman Ad	Kapasite (kVA)	Primer Gerilimi (kV)	Sekonder Gerilimi (kV)	Toplam Aktif Güç (kW)	Toplam Görünür Güç (kVA)	Güç Faktörü (%)	Yüklenme Oranı (%)
TR-1	2600	34,5	0,4	1314	1314	99,99	50,5
TR-2	100	34,5	0,4	239	239	99,99	239
TR-3	3200	34,5	0,4	2524	2524	99,95	78,9

Maksimum yüklenme durumu göz önüne alındığında eş zamanlı araçların şebekeyi ve trafoların doluluk oranını etkileyeceği açıktır. Gündüz ve puant saatlerinde yüklenmenin fider bazlı ve 3 trafo bölgesinin de verileri ayrı ayrı incelendiğinde gece saatlerine göre daha fazla olduğu görülmüştür. Şebekedeki etkileri azaltmak adına yük dengelemesinin yapılması gerekmekte bu sebeple elektrikli araçların şarjının yüklenmenin daha az olduğu gece saatlerinde yani 22:00-06:00 saat dilimlerinde yapılması daha uygun olacaktır.

64 kW bataryaya sahip bir aracın 11 kW ac şarjı destekleyen bir istasyonda şarj olma süresi (Batarya gücü / Şarj Gücü = Şarj Dolum Süresi) yaklaşık olarak 6 saat kadar sürecektir. Bu otomobilin şarj işlemi, ortalama 6 saatlik bir süre boyunca gerçekleştirildiğinde, örnek olarak, sabah saat 08:00'de şarja bağlandığında 14:00'e kadar; akşam saat 16:00'da şarja bağlandığında 22:00'ye kadar; ve gece saat 23:00'te şarja bağlandığında ise 05:00'e kadar tamamlanacaktır. Özellikle şebekenin yük durumu bakımından daha rahat olduğu gece saat diliminde araçlar park halinde beklerken şarj edilirse gündüz ve puant zaman dilimlerinde trafolarla elektrikli araçlar sebebiyle ilave yük binmeyecek, şebeke daha kontrollü bir şekilde yönetilebilecektir.

Elektrikli araç şarj istasyonu konumlandırması ve ölçeklendirmesi; doğrusal olmayan bir optimizasyon problemidir. Oluşturulan amaç fonksiyonuna dayalı olarak, bu tezde bulanık mantık tabanlı optimizasyon algoritması önerilmiştir. Bu optimizasyon modelinde MATLAB tabanlı bulanık mantık şeması kullanılmıştır. Önerilen her bir elektrikli araç şarj istasyonunda çeşitli girdi koşullarında optimize edilmiş şarj oranı elde etmek için Mamdani bulanık çıkarım modeli kullanılmıştır. Bu modelde merkez tabanlı durulaştırma tekniği kullanılmıştır.

6.1. Giriş ve Çıkış Değişkenleri

EA' talep gücü, şarj süresi ve şarj zamanı(periyot) bulanık modelin giriş parametreleri olarak alınırken şarj hızı çıkış parametresi olarak alınmıştır.

6.1.1. Güç talebi

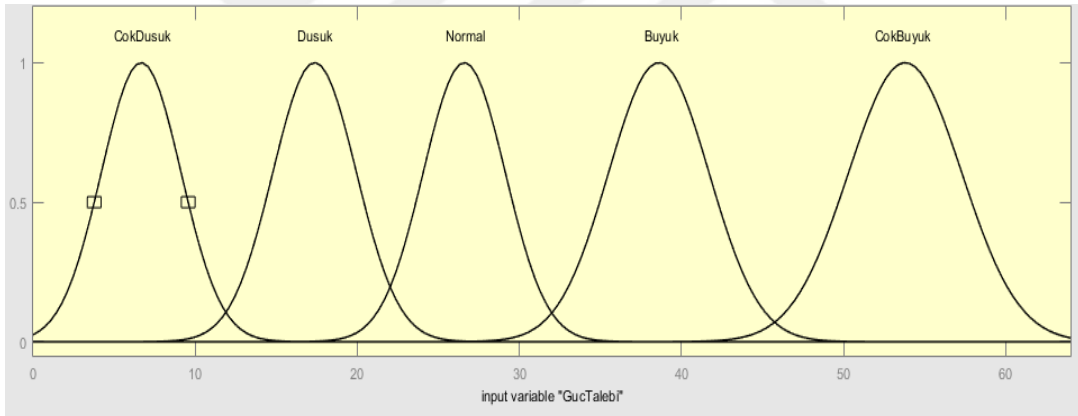
Bir EA tarafından talep edilen güç, pil kapasitesinden ve SOC (state of charge-batarya durumu)'den etkilenmektedir. Bu modelde ilk giriş değişkenimiz olan "GucTalebi" üyelik fonksiyonları "CokDusuk", "Dusuk", "Normal", "Yuksek" ve "CokYuksek" şeklindedir.

$$P_{EA} = \frac{C_{Batarya} * (SOC_{max} - SOC_{min})}{T_D} \quad (1)$$

P_{EA} elektrikli aracın talep ettiği gücü, $C_{batarya}$ batarya kapasitesini, SOC_{max} maximum batarya seviyesini, SOC_{min} minimum batarya seviyesini, T_D şarj süresini ifade etmektedir.

Şarj istasyonuna gelen EA'ların farklı pil kapasitesi ve SOC'si olduğundan, güç talebi de değişkenlik göstermektedir. Maximum batarya seviyesi SOC_{max} %80, istasyona gelen araçların minimum batarya seviyesinin de %20 olduğu kabul edilmiştir. T_D şarj süresi ise 6 saat olarak kabul edilmiştir.

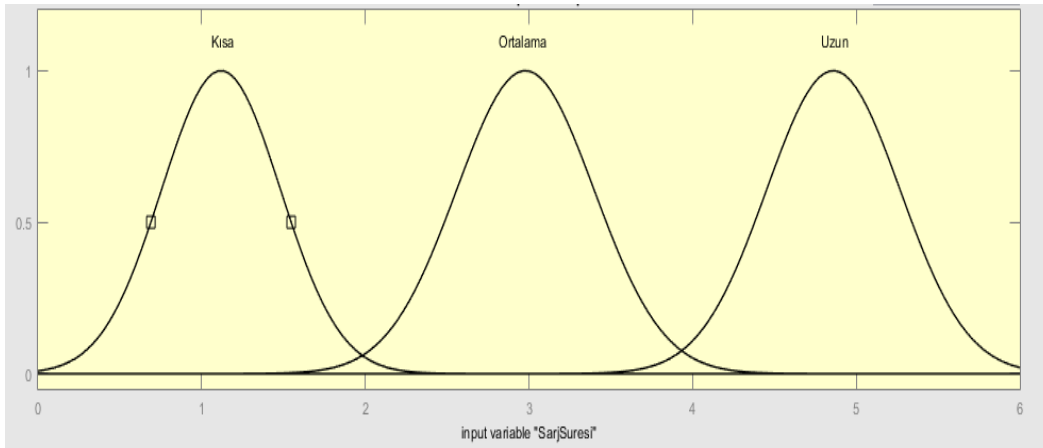
EA güç talebi için; üyelik fonksiyonu 0 - 12 kW için "CokDusuk", 12 - 25 kW "Dusuk", 25 - 32 kW "Normal", 32 - 44 kW "Buyuk" ve 44 - 64 kW "CokBuyuk" olarak tanımlanmıştır. Şekil 6.9'da güç talebinin üyelik fonksiyonları gösterilmiştir.



Şekil 6.9. Güç talebi üyelik fonksiyonları

6.1.2. Şarj süresi

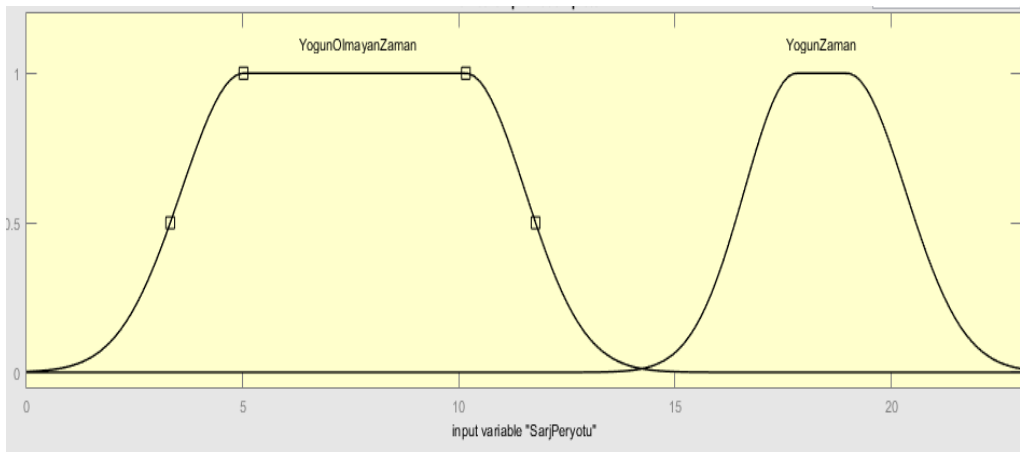
11 kw ac şarj istasyonuna bağlı 64 kw bataryaya sahip bir elektrikli araç pilinin tam şarj olması yaklaşık 6 saat sürer. Ancak EA'lar, şarj istasyonuna minimum SOC'nin üzerinde gelirse şarj için daha az zaman gerekir. Bu durumda "ŞarjSuresi", üyelik fonksiyonu 0-2 saat şarj için "Kısa", 2-4 saat için "Ortalama", 4-6 saat için "Uzun" olarak kabul edilmiştir. Şarj Suresi üyelik fonksiyonları Şekil 6.10.'da gösterilmiştir.



Şekil 6.10. Şarj süresi üyelik fonksiyonları

6.1.3. Şarj zamanı (periyot)

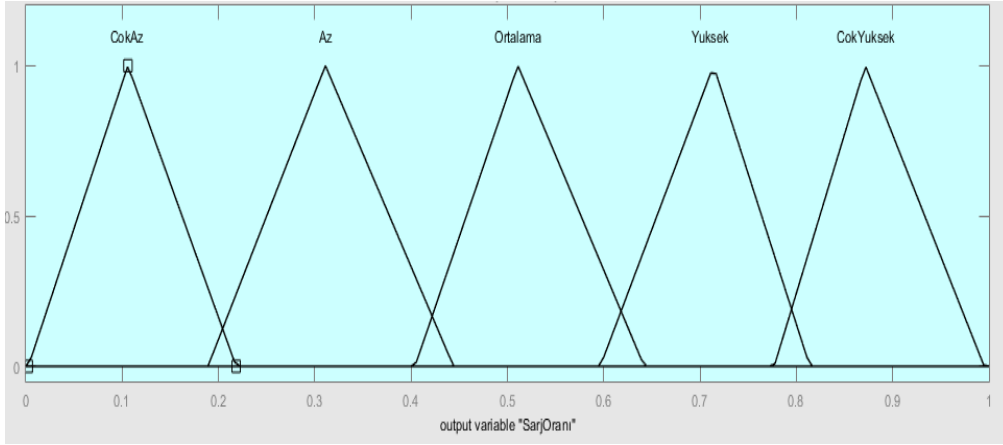
FA fideri ve 3 ayrı trafo bölgesi için yük profil verilerine göre yaptığımız analizler neticesinde; tüketimin puant saatler arasında (17:00-23:00) en yüksek değerlerde olduğu ve gece (23:00-06:00) saatlerinde ise en düşük olduğu görülmüştür. Bu durumda şarj zamanı üyelik fonksiyonları “YogunZaman” 17:00-23:00 zaman dilimi “YogunOlmayanZaman” ise 23:00-06:00 olarak alınmıştır. Şekil 6.11.’de şarj zamanının üyelik fonksiyonları gösterilmiştir.



Şekil 6.11. Şarj periyodu üyelik fonksiyonları

6.1.4. Şarj oranı (fiyatı)

Şarj Oranı/fiyatı, bulanık sistem tasarımında kullanılan çıkış değişkenidir. Üyelik fonksiyonları %0-%20 için “CokAz”, %20-%40 için “Az”, %40-%60 için “Ortalama”, %60-%80 için “Yuksek” ve % 80-%100 için “CokYuksek” olarak alınmıştır. Şekil 6.12.’de şarj oranının üyelik fonksiyonları gösterilmiştir.



Şekil 6.12. Şarj oranı üyelik fonksiyonları

6.1.5. Optimizasyon Algoritması ve Matematiksel model

Elektrikli araçların yaygınlaşmasının çeşitli olumlu etkileri olmasına rağmen, elektrik şebekesi üzerindeki zararlı etkileri günümüzde endişe konusudur. EAcs (Elektrikli Araç Şarj İstasyonu), transformatör, doğrultucu ve dönüştürücü olmak üzere üç temel bölümden oluşur. Gerilim seviyesi trafo tarafından düşürülür. Doğrultucu, AC elektriğini DC'ye dönüştürürken, DC-DC dönüştürücü EA aküsüne iletilen DC gücünü kontrol eder. EAcs'nin ihtiyaç duyduğu toplam güç, aşağıdaki denklem (2) ile ortaya çıkarılabilir.

$$P_{EAcs} = \frac{P_{EA} * N_i * F_{max}}{\cos \theta} \quad (2)$$

P_{EA} bir EA tarafından tüketilen maksimum gücü,

N_i EA bağlantı yuvalarının sayısını,

F_{max} aşırı yük faktörünü,

$\cos \theta$ güç faktörünü gösterir.

EA' ların artan güç talebi, güç kalitesi sorunlarını daha önemli hale getirmektedir. Güç talebi, denklem (3)'de gösterilen pil kapasitesinin, SOC'nin ve şarj süresinin bir fonksiyonu olarak ele alınmıştır.

$$P_{EA} = \frac{B_C * (SOC_{max} - SOC_{min})}{D_t * A_t} \quad ; \quad (3)$$

B_C batarya kapasitesi iken, D_t ve A_t sırasıyla EA' nın kalkış ve varış zamanıdır.

SOC, EA pilinin daha yüksek veya daha düşük enerji seviyesine sahip olduğunu ifade eden bir parametredir. EA pili için minimum SOC (State of Charge) %20, maksimum SOC ise %80 olarak kabul edilmiştir.

$$P_{TOPLAM} = \sum_{N=1}^N PEA; \quad (3)$$

Denklem (3)'te verilen EA' ların toplam güç talebi, tüm EV'lerin bireysel güç talebinin toplamı olarak ifade edilebilir.

Şarj süresi denklem (4) ile ifade edilebilir.

$$T_D = T_{departure} - T_{arrival} - T_{waiting} ; \quad (4)$$

T_D Batarya şarj süresini; $T_{departure}$ EA'nın kalkış süresini, $T_{arrival}$ EA'nın varış süresini, $T_{waiting}$ EA'nın bekleme süresini ifade etmektedir.

Şarj zamanı/dönemi yoğun_saat ve yoğun_olmayan_saat olarak ikiye ayrılmıştır. Denklem (5), EA 'nın şarj olma zamanını/dönemini gösterir.

$$T_C = T_{off_peak} (23:00-06:00) ; \quad (5)$$

$$T_C = T_{peak} (17:00-23:00) ;$$

Optimizasyon algoritmasının temel amacı, elektrik kaynağının uygun kullanımı ile şarj maliyetini azaltmaktır. Önerilen modelin amaç fonksiyonu aşağıdaki gibidir:

$$\text{Minimize}\{C_{charging}\} ; \quad (6)$$

Bu amaç fonksiyonu, aşağıdaki sınırlar arasında çalışır:

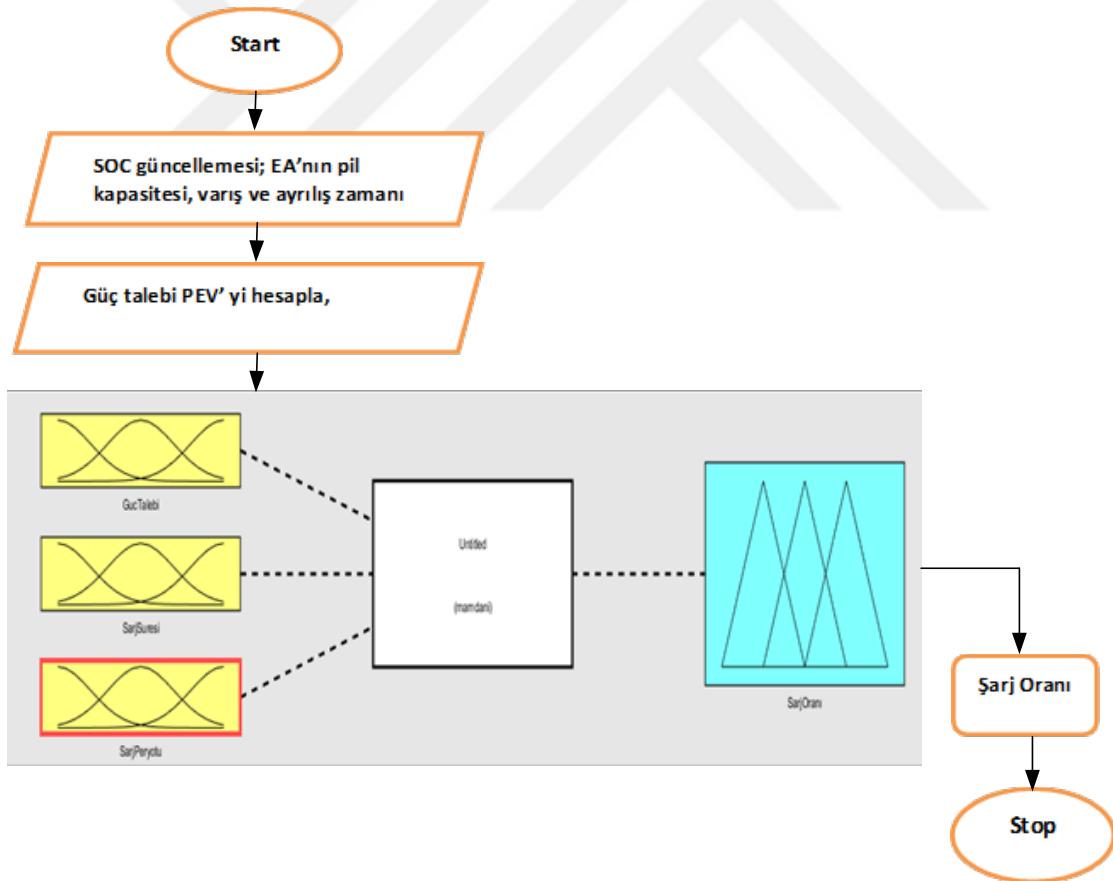
$$SOC_{min} \leq SOC_i \leq SOC_{max} ; \quad (7)$$

$$t_1 \leq t \leq t_2 ;$$

Minimum pil seviyesi SOC %20 olarak kabul edilir. Burada maksimum SOC %80'dir. Şarj süresi/periody t_1 ve t_2 arasında olmalıdır. Minimum şarj süresi t_1 , maksimum şarj süresi t_2 saat olarak alınmıştır EA' ların talep ettiği güç P_{EA} , denklem (3) kullanılarak belirlenebilmektedir. Genel şarj maliyeti F_c ; güç talebi, şarj süresi ve periyodu gibi üç giriş parametresinin fonksiyonudur. Bu nedenle, şarj maliyeti aşağıdaki denklem (8) ile gösterilebilir.

$$F_C = \int_{t=t_1}^{t_2} P_{EA}(i, t)r(t)dt \quad (8)$$

Burada $r(t)$, bir EA için gerçek şarj oranıdır. Şarj süresi t_1 ile t_2 arasında değişir. $r(t)$ 'nin belirli integrali, t_1 ve t_2 arasındaki zaman boyunca sabittir. Mamdani tipi bulanık çıkarım modeli, önerilen bu EAcs'de çeşitli koşullarda optimize edilmiş şarj maliyeti elde etmek için kullanılacaktır. Bu modellemede merkez tabanlı durulaştırma tekniği kullanılacaktır. EV'ler tarafından talep edilen güç, şarj süresi ve şarj zamanı bulanık modelin giriş parametreleri iken, şarj maliyeti çıkış parametresi olacaktır. Şekil 6.13. kullanacağımız üç giriş değişkenine ve bir çıkış değişkenine sahip Mamdani bulanık sistemini göstermektedir.



Şekil 6.13. Fuzzy logic kontrolör

Aşağıda Şekil 6.14 ve 6.15'te optimize edilmiş şarj oranını elde etmek için eğer-o zaman (if-else) kurallarının kullanıldığı bulanık kural görüntüleyici diyagramını

göstermektedir. Uzman deneyimlerden oluşturulan ve tüm olasılıkları barındıran, Mamdani tabanlı bu bulanık algoritmada 150 kural kullanılmıştır ve buna karşılık gelen çıktı yani şarj oranı burada her bir kural için görülmektedir. Kural tabanında, Güç Talebi, Şarj Süresi ve Şarj Peryodu birer giriş parametresi olarak tanımlanmıştır. Benzer şekilde çıkış fonksiyonu Şarj Oranı olarak sınıflandırılmıştır.

The screenshot displays a Fuzzy Logic Rule Editor interface. At the top, a list of 15 rules is shown, each starting with 'If' followed by conditions and ending with 'Then' and a result. The first rule is highlighted in blue:

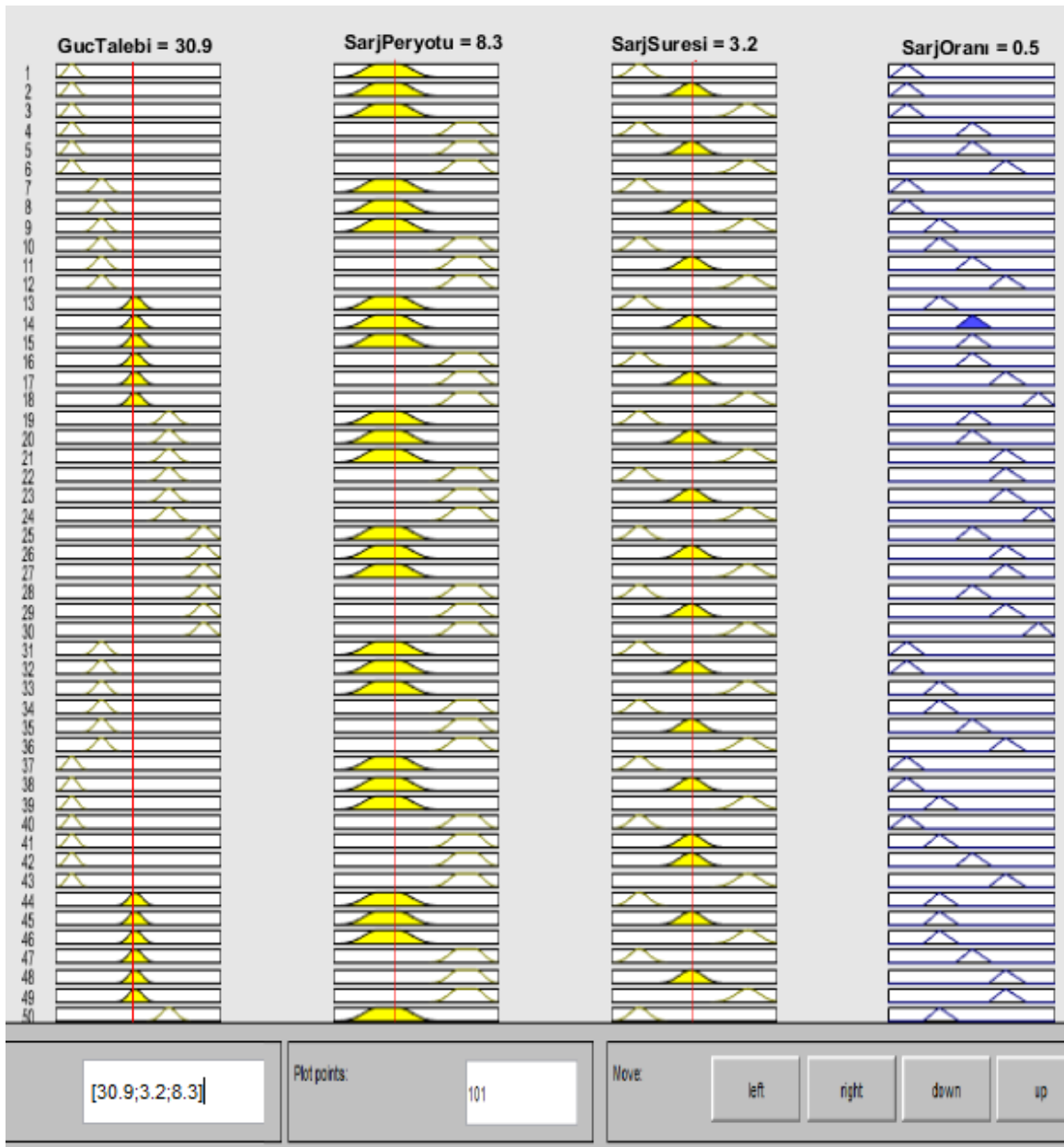
```
1. If (GucTalebi is CokDusuk) and (SarjSuresi is Kisa) and (SarjPeryodu is YogunOlmayanZaman) then (SarjOrani is CokAz) (1)
```

Below the list, the editor shows the details for the selected rule. It is structured as follows:

If	and	and	Then
GucTalebi is	SarjSuresi is	SarjPeryodu is	SarjOrani is
CokDusuk	Kisa	YogunOlmayanZaman	CokAz
Dusuk	Ortalama	YogunZaman	Ortalama
Normal	Uzun	none	Yukse
Buyuk	none		CokYukse
CokBuyuk			Az
none			none

Below the rule details, there are checkboxes for 'not' under each condition and 'Then'. The 'Connection' section has radio buttons for 'or' and 'and', with 'and' selected. The 'Weight' is set to 1. Buttons for 'Delete rule', 'Add rule', and 'Change rule' are present. At the bottom, there are 'FIS Name: son giriş 07.08.2023', 'Help', and 'Close' buttons.

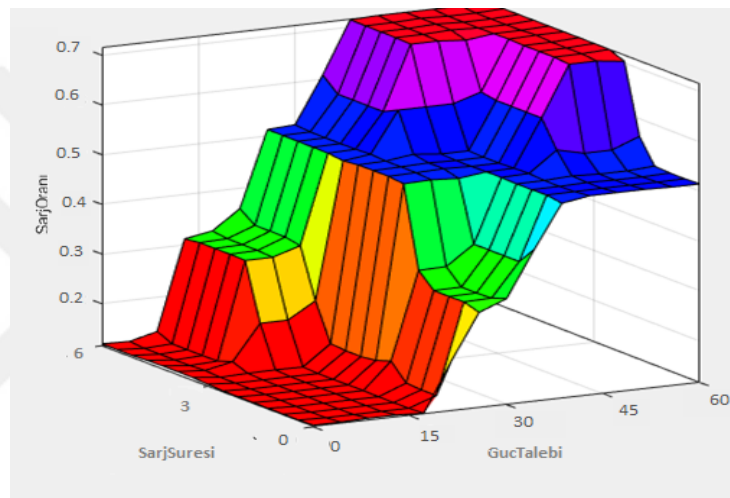
Şekil 6.14. Fuzzy Logic Kurallar



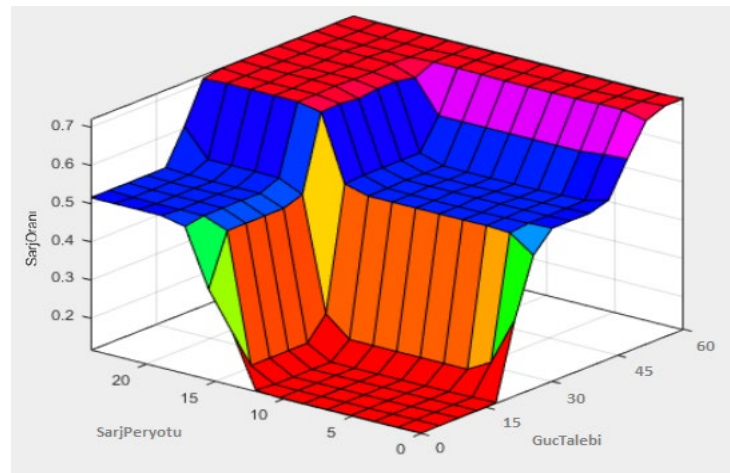
Şekil 6.15. Fuzzy kural sonuçları

7. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Elektrikli Araç Şarj İstasyonu optimizasyonu yapılırken şarj maliyetini en aza indirmek bu araştırmanın temel amacıdır. Dünya genelinde ve buna paralel olarak Türkiye’de de elektrikli araç sayısı artmakta ve bu durum artan sistem kaybıyla birlikte büyük bir tüketime yol açmaktadır. Elektrikli araçlar ticari hattan şarj edildiğinde şarj maliyeti çok yüksek olmaktadır. Bu problemlerin çözümü için bu çalışmada bulanık optimizasyon tekniği kullanılmıştır. Bu optimizasyon sisteminde bulanık "eğer-o zaman" kural tabanlı strateji kullanılmıştır. Güç talebi, şarj süresi ve şarj periyoduna bağlı şarj oranının yüzey görünümü Şekil 7.1 ve 7.2’de gösterilmiştir.

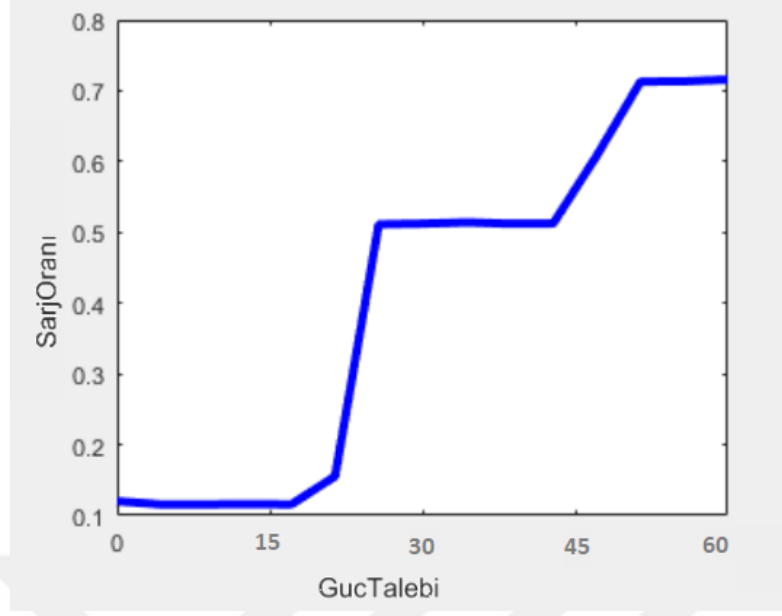


Şekil 7.1. Güç talebine ve şarj süresine göre şarj oranı



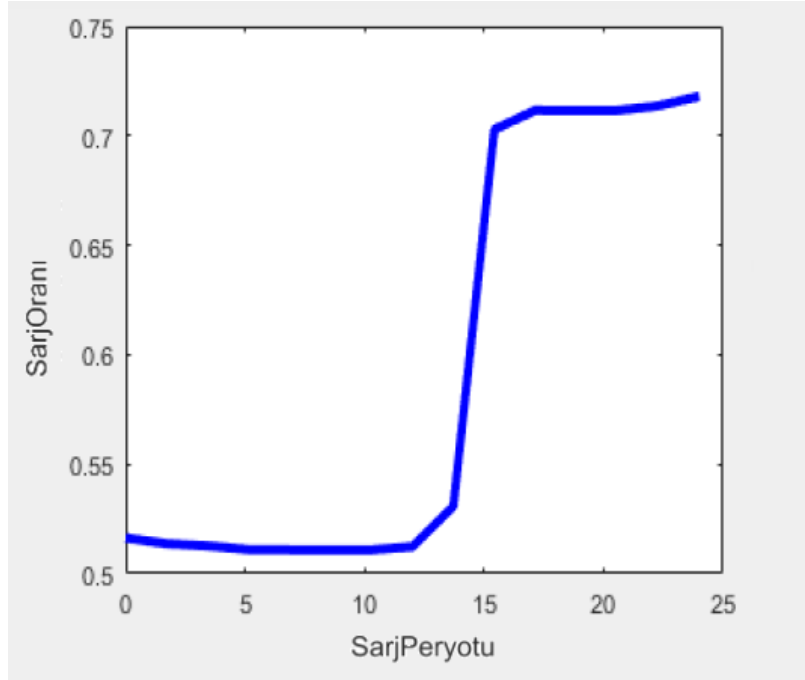
Şekil 7.2. Güç talebine ve şarj periyotuna göre şarj oranı

Şarj oranının güç talebi, şarj süresi ve şarj periyoduna göre değişimi Şekil 7.3, Şekil 7.8 ve Şekil 7.9’da ifade edilmiştir.



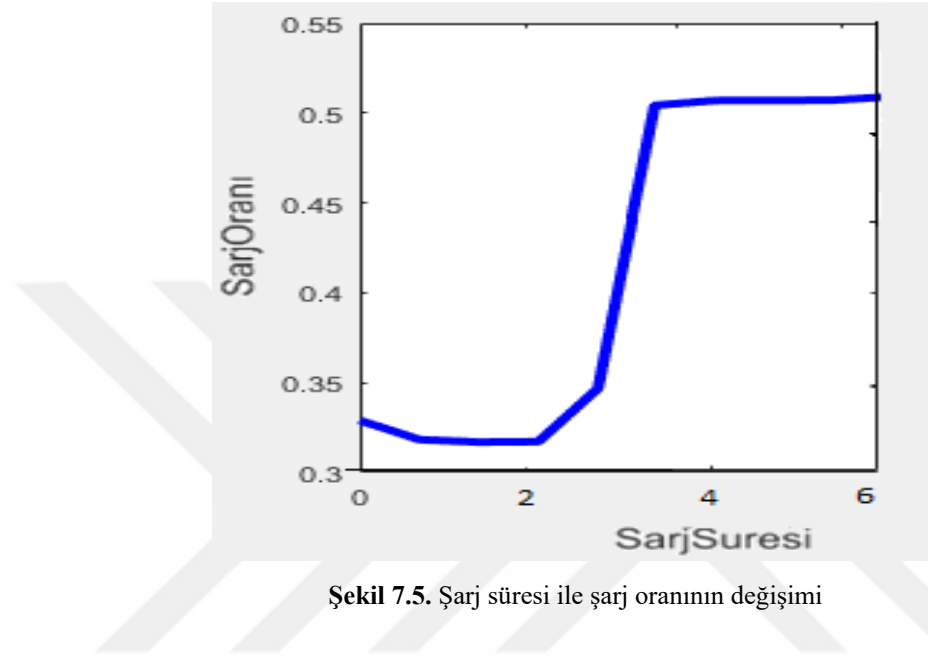
Şekil 7.3. Güç talebi ile şarj oranının değişimi

Güç talebi ile şarj oranının değişimi Şekil 7.3'de gösterilmiştir. Burada, güç talebinin çok düşük olduğu (0-15 kW) süre boyunca, şarj oranının 0,12 civarında olduğu görülmektedir. Bu durumda şarj maliyeti 0,034\$ gibi çok küçük bir değere eşit olacaktır. Bununla birlikte, yüksek güç talebi sırasında (45-60 kW), şarj oranı yaklaşık olarak 0,7'dir. Bu durumda şarj maliyeti 0,201\$ olacaktır.



Şekil 7.4. Şarj periyodu ile şarj oranının değişimi

Şekil 7.4. incelendiğinde şarj oranının yoğun saatler (17:00-23:00) arasındaki sürede yüksek, yoğun olmayan saatlerde ise daha düşük olduğu görülmektedir. Yoğun saatlerde şarj oranı yaklaşık olarak 0.230\$'dır. Yoğun saatlerde, daha fazla talep olması nedeniyle elektrik tarifi daha yüksektir. Elektrikli araç bu süre içinde şarj edilirse daha yüksek oranda şarj olacaktır.



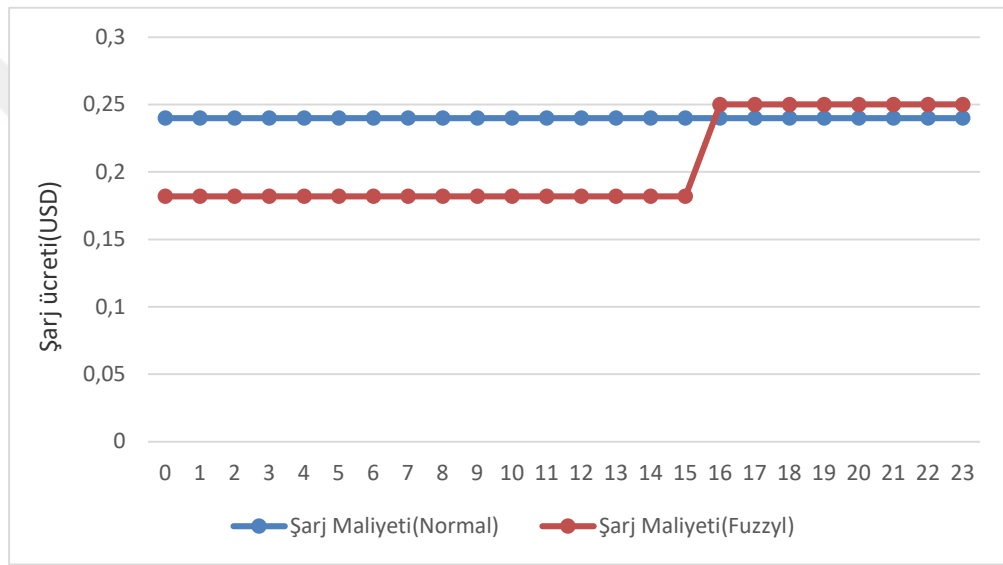
Şekil 7.5. Şarj süresi ile şarj oranının değişimi

Şarj süresi pil kapasitesi SOC'ye bağlıdır. Bulanık mantık kurallarına göre şarj süresi uzarsa, şarj maliyeti pahalı olacaktır. Ancak şarj işlemi yoğun olmayan saatlerde yapılırsa ücretlendirme maliyeti daha düşük olacaktır.

Şekil 7.5. şarj süresindeki farkla birlikte yoğun ve yoğun olmayan saatlerde şarj oranının değişimini göstermektedir.

Elektrikli araç şarjı elektrik dağıtım şebekesini etkilemekte ve ilerleyen süreçlerde yüksek tüketimler nedeniyle bu etkinin artacağı söylenebilir. EA şarjı yoğun saatlerde yapılırsa, güç sistemi üzerinde olumsuz etkileri kesinlikle daha fazla olacaktır. Ancak, elektrikli araçların yoğun olmayan saatlerde şarj edilmesi hem güç sistemi hem de tüketiciler için daha faydalı olacaktır. Örnek olarak aldığımız FA fider tüketimi ve trafo tüketimleri ayrı ayrı incelendiğinde yoğun olmayan dönemin 23:00 ile 17:00 arasında olduğu, çok yoğun dönemin ise 17:00 ile 23:00 saatleri arasında olduğu görülmüştür. Yoğun olmayan saatlerde daha az güç talebi olması nedeniyle, şarj oranı yoğun saat şarj oranından daha az olacaktır. Önerilen bulanık tabanlı EAc's'de, yoğun saat için şarj oranı, yoğun olmayan saatten daha yüksek alınmıştır.

11 kw ac gücü destekleyen bir EAcs, 64 KW kapasitedeki bir bataryaya sahip bir EV' yi şarj etmek için ortalama 0,22 ila 0,24 ABD Doları tutarındadır. EA şarj firmalarının 22 Kw' a kadar AC istasyonlar için uyguladığı elektrik tarifesine göre, batarya şarj oranı yaklaşık olarak 0,24 \$/kWh elektrik tüketimidir. Bununla birlikte, önerilen şarj istasyonunda; zaman, süre, güç talebi açısından farklı tarifeler sunulmaktadır. Önerilen bu yöntemde, şarj maliyeti optimize edilmiştir. Konvansiyonel şarj istasyonu, kWh başına 0,24 \$ başına maksimum şarj oranına sahipken, bulanık mantık tabanlı EAcs, yoğun saat koşullarında 0.252 \$ olmaktadır. Yoğun olmayan saatlerde önerilen EAcs'de, kWh başına (0.182 \$ -0.184 \$) alacaktır.



Şekil 7.6. Bulanık mantık sistemi ile konvansiyonel elektrik fiyatının karşılaştırılması

Bu tür bir optimizasyon elektrikli araç kullanıcılarını EA pillerini yoğun olmayan saatlerde şarj etmeye teşvik ederek, yoğun saat dönemindeki talebi azaltır.

8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Elektrikli araçların popülaritesi her geçen gün artmaktadır. Kullanıcı ve çevre dostu olduğu için en büyük tercih sebebi olan elektrikli araçların yakın gelecekte trafiği domine edeceği aşikârdır. Ancak bu artış beraberinde elektrik dağıtım şebekesine ilave yük getirecek ve güç kalitesini olumsuz yönde etkileyecektir. Bunun önüne geçebilmek amacıyla şarj istasyonlarının optimum zamanlarda kullanılması sağlanması gereği hasıl olmuştur. Bu çalışmamızda, uzman deneyimleri tecrübeleri ile oluşturulan bulanık mantık optimizasyon yöntemi kullanılarak bir çözüm algoritması geliştirilmiştir. Oluşturulan algoritma, EA şarjı için optimum şarj oranını belirlediği, şebekede güç kalitesi ile birlikte optimal bir planlama yapan bir durum çalışması yapılmıştır.

Önerilen EAcs için optimizasyon algoritmasında, öncelikle güç talebi, şarj zamanı/periodu ve şarj süresi gibi üç girdi parametresi kullanılarak bulanık mantık tabanlı bir algoritma tasarlanmıştır. Tüm bu parametrelerin, üyelik fonksiyonlar tanımlanmış ve şarj oranına bağlı optimum şarj maliyeti hesaplanmıştır.

Baz aldığımız FA fider verilerinden yola çıkarak tüketimin yoğun/yoğun olmayan saat aralıkları belirlenmiştir. Elektrikli araçların yoğun saatlerde şarj olma durumunun şebekeye büyük zarar verdiği göz önünde bulundurularak yoğun olan saat aralıkları için yüksek şarj maliyeti alınması önerilmiştir. Optimizasyon için matematiksel modelleme yapılarak optimizasyon algoritması Mamdani bulanık mantık şemasında kullanılmış ve son olarak Mamdani' nin önerilen EAcs'nin optimizasyonu için verdiği değerler analiz edilmiştir.

Konvansiyonel bir şarj istasyonunun kWh başına maksimum şarj oranı 0,24\$ iken bulanık mantık tabanlı EAcs, yoğun saat diliminde 0.252 \$ önermektedir.

Ayrıca, yoğun olmayan saatler için geleneksel EAcs, kWh başına 0,24 \$ alırken, önerilen EAcs, yoğun olmayan saatlerde kWh başına (0.182 \$ -0.184 \$)önermektedir. Bu tür bir optimizasyon, EA sahibine pilleri yoğun olmayan saatlerde şarj etmeye yönlendirecektir ve dolayısıyla şebekede yük dengelemesi yapılarak puant saatlerdeki aşırı yüklenme azaltılmış olacaktır.

Mamdani denetleyiciden elde edilen optimizasyon sonuçlarının uygun maliyetli ve verimli olduğu bulunmuştur. Bu çalışma kısa vadede optimum çözüm önerisi sunarak hem şebeke için hem kullanıcılar için oldukça önemli katkı sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

- Ahmad, A., Khan, Z. A., Saad Alam, M., & Khateeb, S. (2018), A review of the electric vehicle charging techniques, standards, progression and evolution of EV technologies in Germany, *Smart Science*, 6(1), 36-53.
- Andrade F., Cárdenas J. J., Romeral L. ve Cusido J., (2012), Modeling and Studying of Power flow in a Parking Lot with Plug-in Vehicles and the Impact in the Public Utility, Innovative Smart Grid Technologies (ISGT), IEEE PES, 16-20 Jan. 2012, Washinton, DC, USA, 1–7
- Angelov, G., Andreev, M., & Hinov, N. (2018, May). Modelling of electric vehicle charging station for DC fast charging, *In 2018 41st International Spring Seminar on Electronics Technology (ISSE)*, (pp. 1- 5), IEEE.
- Awasthi, A., Venkitusamy, K., Padmanaban, S., Selvamuthukumar, R., Blaabjerg, F., & Singh, A. K. (2017). Optimal planning of electric vehicle charging station at the distribution system using hybrid optimization algorithm. *Energy*, 133, 70-78.
- Aydınöz, H. 2021, Fotovoltaik Güç Santrallerinin Elektrik Şebekesine Harmonik Etkisinin Modellenmesi ve Analizi, *EMO Bilimsel Dergi*, 56-63, Retrieved from <https://dergipark.org.tr/tr/pub/emobd/issue/63482/681450>
- Bahar, D., Çimen, M. A., Tuncay, R. N., Development of Control Strategy Based on Fuzzy Logic Control for a Parallel Hybrid Vehicle, *Proc. of IEEE, Electrical and Electronics Engineering*, pp. 342-346, 2009
- Baker B. M. ve Ayechev M. A., “A Genetic Algorithm For The Vehicle Routing Problem”, *Computers & Operations Research*, s. 1-14, 2002.
- Bentley, E.C. et al., 2010, The interactive effects of multiple EV chargers within a distribution network, 2010 IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference, Sept 2010, pp. 1-6.
- Berisha, S. H., G. G. Karady, R. Ahmad, R. Hobbs and D. Karner, 1996, Current harmonics generated by electric vehicle battery chargers, *Proceedings of International Conference on Power Electronics, Drives and Energy Systems for Industrial Growth*, vol.1., New Delhi, India, pp. 584-589.
- Bozkurt, E., 2011, Elektrikli araçlarda şarj durumuna bağlı optimum rota seçimi ,Doctoral dissertation, *İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü ,İstanbul*.

- Cakmak, R., Aydın, M., Yıldırım, S., 2018, Elektrikli Araç Şarj İstasyonlarının Elektrik Şebekesi, Elektrikli Araç Teknolojileri, Trafik ve Ulaşım Parametreleri Altında Değerlendirilmesi, *International Congress on Engineering and Architecture Conference*.
- Celli, G., Ghiani, E., Pilo, F., “Particle Swarm Optimization for Minimizing the Burden of Electric Vehicles in Active Distribution Networks”, *IEEE Conference Publications*, 2012.
- Chan, C.C. 2013, The rise & fall of electric vehicles in 1828–1930: lessons learned, *Proceedings of the IEEE*, 101(1), 206 – 212.
- Chen, T. D., Kockelman, K. M., & Khan, M. (2013). Locating Electric Vehicle Charging Stations: Parking Based Assignment Method for Seattle, Washington. *Transportation Research Record*, 2385(1), 28-36. doi:10.3141/2385-04
- Civlez, M., Kasımay, Z., 2018, Elektrikli Araçlar, *Başkent, Genele Açık*.
- Coşkun, A. (2007). Yapay Zeka Optimizasyon Teknikleri: Literatür Değerlendirmesi, *Fırat Üniversitesi Doğu Araştırmaları Dergisi*, 5 (2) , 142-146.
- Çakmak, R. & Turan, A., 2022, Türkiye’de İller Bazında Elektrikli Araç Şarj İstasyonu Altyapısı: Ölçevler Aracılığıyla Analizi . *Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi*, 12 (1) , 246-268 .
- Çelik, İ., 2019, Elektrikli Bir Araç İçin Elektronik Diferansiyel Simülatörünün Modellenmesi Ve Gerçek Zamanlı Uygulanması, *Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon*.
- Dawei, M., Yu, Z., Meilan, Z. and Risha, N. (2017). Intelligent fuzzy energy
- Diaz, C., Ruiz, F., & Patino, D. (2018). Smart Charge of an Electric Vehicles Station: A Model Predictive Control Approach. *In: Proceedings of the 2018 IEEE Conference on Control Technology and Applications (CCTA)*, 54-59.
- Dragičević, T., Sučić, S., Vasquez, J. C., & Guerrero, J. M. (2014). Flywheel-based distributed bus signalling strategy for the public fast charging station. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 5(6), 2825-2835.
- Dugan, R.C., Mcgranaghan, M.F., Beaty, H.W., Santoso S., 2004. *Electrical Power Systems Quality 2nd Edition*. McGraw-Hill, 521s, New York.

- Durmuş, F. S. & Kaymaz, H., 2020, Elektrikli Araç Şarj Yöntemleri, *Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Uygulamaları Dergisi* , 3(2) , 123-139.
- Eğitim, Sanat ve Teknoloji Dergisi (BEST Dergi), 3(1), 45-50.
- Frade, I., Ribeiro, A., Gonçaves, G., & Antunes, A. P. (2011). Optimal location of charging stations for electric vehicles in a neighborhood in Lisbon, Portugal. *Transportation Research Record*, 2252(1), 91-98. doi:10.3141/2252-12
- Gomez, J.C. & M. M.Morcós, 2003, Impact of EV battery chargers on the power quality of distribution systems, *IEEE Transactions on Power Delivery*, Jul 2003,vol.18, no.3,pp. 975-981.
- Guo, S., & Zhao, H. (2015). Optimal site selection of electric vehicle charging station by using fuzzy TOPSIS based on sustainability perspective. *Applied Energy*, 158, 390-402. doi:10.1016/j.apenergy.2015.08.082
- Güneş, D., Tekdemir, İ. G., Karaarslan, M. Ş., & Alboyacı, B. (2018). Elektrikli araç şarj istasyonu yüklerinin güvenilirlik indisleri üzerine etkilerinin incelenmesi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 33(3), 1073-1084. doi:10.17341/gazimmfd.416408
- Güneş, D., Tekdemir, İ. G., Şengül, M. & Alboyacı, B. (2018). Elektrikli araç şarj istasyonu yüklerinin güvenilirlik indisleri üzerine etkilerinin incelenmesi, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 33 (3) , 1073-1084 .
- Habib, S., Kamran, M., Rashid, U., 2014, Impact analysis of vehicle-to-grid technology and charging strategies of electric vehicles on distribution networks A review, *Journal of Power Sources*, 277 (2015).
- Harighi, T., Padmanaban, S., Bayindir, R., Hossain, E., & Holm-Nielsen, J. B. (2019). Electric vehicle charge stations location analysis and determination- Ankara (Turkey) case study. *Energies*, 12(18), 3472. doi:10.3390/en12183472
- Hilshey A. D., P. Rezaei, Hines P. D. H. ve Frolik J., (2012), Electric Vehicle Charging: Transformer Impacts and Smart , Decentralized Solutions, *IEEE Power and Energy Society General Meeting*, 22-26 July 2012, san Diego, CA, USA, 1-8.
- Hossain, E., Tur, M.R., Padmanaban, S., Ay, S., & Khan, I., 2018. Analysis and Mitigation of Power Quality Issues in Distributed Generation Systems Using Custom Power Devices. *IEEE Access*, 6, 16816-16833.

- Hu, D., Zhang, J., & Zhang, Q. (2019). Optimization design of electric vehicle charging stations based on the forecasting data with service balance consideration. *Applied Soft Computing*, 75,
- IEA, 2023, Global EV Data Explorer, IEA, Paris <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/global-ev-data-explorer>.
- İpek, B., 2022, Elektrikli Araçlar, Elektrikli Araç Şarj İstasyonları Ve Türkiye İçin Gelecek Dönem Elektrikli Araç Miktarı Tahmini, *Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü*, İstanbul.
- Jordán, J., Palanca, J., Del Val, E., Julian, V., & Botti, V. (2018). A multi-agent system for the dynamic emplacement of electric vehicle charging stations. *Applied Sciences*, 8(2), 313.
- Karakitsios, I., Karfopoulos, E. L., & Hatziargyriou, N. (2014), Static and dynamic fast inductive charging: *The FastInCharge project concept*.
- Karapınar, F. & Daldaban, F. (2022). Elektrikli Araçların Şarj Yöntemleri ve Şarj İstasyon Tipleri, *Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fen Bilimleri Dergisi*, 38(3), 549-556.
- Kaymaz, H., 2018, Hibrit ve Elektrikli Metrobüs Araçları İçin Sürüş Çevrimi Oluşturulması, *PhD Thesis, Marmara University FBE*, İstanbul.
- Kerem, A. & Gürbak, H. (2020). Elektrikli Araçlar İçin Hızlı Şarj İstasyonu Teknolojileri, *Gazi University Journal of Science Part C: Design and Technology*, 8 (3) , 644-661.
- Kerem, A., 2014, Elektrikli Araç Teknolojisinin Gelişimi ve Gelecek Beklentileri . *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 5 (1) , 1-13
- Khalkhali, K., Abapour, S., Moghaddas-Tafreshi, S. M., & Abapour, M. (2015). Application of data envelopment analysis theorem in plug-in hybrid electric vehicle charging station planning. *IET Generation, Transmission and Distribution*, 9(7), 666-676.
- Kong, W., Luo, Y., Feng, G., Li, K., & Peng, H. (2019). Optimal location planning method of fast charging station for electric vehicles considering operators, drivers, vehicles, traffic flow and power grid. *Energy*, 186, 115826.
- Kong, W., Luo, Y., Feng, G., Li, K., & Peng, H. (2019). Optimal location planning method of fast charging station for electric vehicles considering operators, drivers, vehicles, traffic flow and power grid. *Energy*, 186,

115826.

- Köksal, E., Ardiyok, S., Ikiler, B., 2021, Elektrikli Araçlar için Şarj Altyapısı–Türkiye için Fırsatlar ve Öneriler (Charging Infrastructure for Electric Vehicles–Opportunities and Suggestions for Turkey). *Baseak CORE Papers*, (11).
- Kuşdoğan, Ş., 2009, Elektrikli Otomobillerde Enerji Depolama Sistemlerindeki Gelişmeler, *Mühendis ve Makine Dergisi*, 50(596): 2-11.
- Li, S., Huang, Y., & Mason, S. J. (2016). A multi-period optimization model for the deployment of public electric vehicle charging stations on network. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 65, 128-143.
- Lin, R., Ye, Z., Guo, Z., & Wu, B. (2020). Hydrogen station location optimization based on multiple data sources. *International Journal of Hydrogen Energy*, 45(17), 10270-10279.
- Lin, Y., Zhang, K., Shen, Z. J. M., Ye, B., & Miao, L. (2019). Multistage large-scale charging station planning for electric buses considering transportation network and power grid. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 107, 423-443.
- Liu, J. & Peng, H., 2008, Modeling and Control of a Power-Split Hybrid Vehicle, *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, vol. 16, no. 6, pp. 1242-1251.
- Liu, Z., Wen, F., & Ledwich, G. (2013). Optimal planning of electric-vehicle charging stations in distribution systems. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 28(1), 102-110.
- Lund, H., & Kempton, W. (2008). Integration of renewable energy into the transport and electricity sectors through V2G. *Energy Policy*, 36(9), 3578-3587.
- M. E. Özcan, B. Oral, 2019, Elektrikli Araçların Dağıtım Şebekesine Entegrasyonu, *Marmara Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul*.
- M. R. Tür and E. Apaydin, Optimization Of Electric Vehicle Charging Stations, 2022, *Global Energy Conference (GEC)*, pp. 197-201, Batman, Turkey.
- management research for a uniaxial parallel hybrid electric vehicle. *Computers and Electrical Engineering*, 58, 447-464.

- Mobilityhouse,2021,https://www.mobilityhouse.com/int_en/knowledgecenter/charging-cable-andplug-types.
- Mohsenzadeh, A., Pang, C., Pazouki, S., “Optimal Siting and Sizing of Electric Vehicle Public Charging Stations Considering Smart Distribution Network Reliability”, *IEEE Conference Publications*, 2015.
- Mori,H., Usami, 'Unit Commitment Using Tabu search with Restricted Neighborhood', Proc. Of ISAP'96, No.0221, pp. 422-427, Orlando,Florida,USA, May 1998.
- Naderi, P., Farhadi, A., Bathaee, S., Forward Simulation of a Parallel Hybrid Vehicle and Fuzzy Controller Design for Driving/Regenerative Propose, *Journal of World Academy of Science, Engineering and Technology*, pp. 595- 602, 2008.
- Nurmuhammed, M. & Karadağ, T.,2021, Elektrikli Araç Şarj İstasyonlarının Konumlandırılması ve Enerji Şebekesi Üzerine Etkisi Konulu Derleme Çalışması, *Gazi University Journal of Science Part A: Engineering and Innovation*, 8 (2), 218-233 .
- Nykvist, B., & Nilsson, M., 2015, Rapidly falling costs of battery packs for electric vehicles. *Nature Climate Change*, 5, 329-332.
- Ödük, M. N. (2019). *Bulanık mantık yöntemi ve uygulamaları* (1. basım.). İksad Publishing House.
- Özbay, H., Közkurt, C., Dalgacı, A.& Tektaş, M., 2020, Geleceğin Ulaşım Tercih: Elektrikli Araçlar ,Vol. 3, *Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Uygulamaları Dergisi*.
- Özcan, M. E., & Oral, B. Elektrikli araçların elektrik dağıtım şebekesi üzerine etkilerinin incelenmesi.
- Özdemir, A., Alaybeyoğlu, A. & Balbal, K.F. (2019). Bulanık mantığın eğitim alanındaki uygulamaları. *Bilim*,
- Özler, M., (2023), Elektrikli araç teknolojisi ve Çankırı ilinde çatı tipi güneş paneli destekli elektrikli araç şarj istasyonu tasarımı ve maliyet analizi; *Yüksek Lisans Tezi, Çankırı Karatekin Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çankırı*.
- Özsağlam, M. Y. & Çunkaş, M. (2008). Optimizasyon Problemlerinin Çözümü için Parçaçık Sürü Optimizasyonu Algoritması. *Politeknik Dergisi*, 11 (4) , 299-305.
- Öztürk, T., 2013, Asenkron motor ile sürülen elektrikli aracın modellenmesi,

Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük.

- Paul S. Moses, Student Member, IEEE, Sara Deilami, Student Member, IEEE, Amir S. Masoum, Power Quality of Smart Grids with Plug-in Electric Vehicles Considering Battery Charging Profile.
- Pazouki, S., Mohsenzadeh, A., Haghifam, M., “Simultaneous Allocation of Charging Stations and Capacitors in Distribution Networks Improving Voltage and Power Loss”, *IEEE Journals & Magazines*, 2015.
- Perujo, A., & Ciuffo, B., 2010, The introduction of electric vehicles in the private fleet: Potential impact on the electric supply system and on the environment. A case study for the Province of Milan, Italy. *Energy Policy*, 38, 4549-4561.
- Phonrattanasak, P., & Leeprechanon, N. (2012). Optimal Location of Fast Charging Station on Residential Distribution Grid. *International Journal of Innovation, Management and Technology*, 3(6), 675-681. www.ijimt.org/show-40-537-1.html
- Phonrattanasak, P., & Leeprechanon, N. (2012). Optimal Location of Fast Charging Station on Residential Distribution Grid. *International Journal of Innovation, Management and Technology*, 3(6), 675-681. www.ijimt.org/show-40-537-1.html
- Phonrattanasak, P., & Leeprechanon, N. (2014). Optimal placement of EV fast charging stations considering the impact on electrical distribution and traffic condition. In: *Proceedings of the 2014 International Conference and Utility Exhibition on Green Energy for Sustainable Development (ICUE)*, 1-6.
- Pollet. G., Staffell, I., Shang, J.L., Molkov, V., 2022, Fuel-cell (hydrogen) electric hybrid vehicles, *Alternative Fuels and Advanced Vehicle Technologies for Improved Environmental Performance*, Woodhead Publishing, 685-735.
- Pramuanjaroenkij, A., & Kakaç, S., 2023, The fuel cell electric vehicles: The highlight review. *International Journal of Hydrogen Energy*, 48(25), 9401-9425.
- Raposo, J., Rodrigues, A., Silva, C., & Dentinho, T. (2015). A multi-criteria decision aid methodology to design electric vehicles public charging networks. *AIP Advances*, 5(5), 057123. doi:10.1063/1.4921087
- Razeghi G., Zhang L., Brown T. ve Samuelsen S., (2014), Impacts of Plug-In Hybrid Electric Vehicles on a Residential Transformer Using Stochastic and Empirical Analysis, *J. Power Sources*, 252:277–285.

- Rigas, E. S., Ramchurn, S. D., & Bassiliades, N. (2015). Managing Electric Vehicles in the Smart Grid Using Artificial Intelligence: A Survey. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 16(4), 1619-1635.
- Satılmış, O., & Meşe, E., 2011, Elektrikli ve hibrit elektrikli araçlar için batarya şarj cihazları. *Elektrik-Elektronik ve Bilgisayar Sempozyumu*, 137-142.
- Sayın, A.A., Yüksel, İ., 2011, Elektrikli Renault Fluence aracı, lityum-iyon bataryasının modellenmesi ve batarya yönetimi, *Mühendis ve Makine*, 52(616), 75-82.
- Schouten, N. J., Salman, M., Kheir, N.A., Energy Management Strategies for Parallel Hybrid Vehicles using Fuzzy Logic, *Control Engineering Practise*, pp. 171-177, 2003.
- Shi, R., & Lee, K. Y. (2015). Multi-Objective Optimization of Electric Vehicle Fast Charging Stations with SPEA-II. *IFAC-PapersOnLine*, 48(30), 535-540.
- Silva, V. & Ortega-Vazquez, M. & Marques, R. & Bergman, M. & Pettersson, F. & Neimane, Viktoria & Kieny, C. & Glorieux, Luc & Scuro, P. & Vidal, Narcis & Wiedermman, Thomas & Kieny, Christophe & Szczechowicz, E, (2011), Impacts of EV on Power Systems and minimal control solutions to mitigate these, pp. 108-115.
- Sortomme, E., & El-Sharkawi, M. A. (2011). Optimal charging strategies for unidirectional vehicle-to-grid. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 2(1), 131-138.
- Steen, D., Tuan, L.A., Carlson, O., & Tjernberg, L.B. (2012). Assessment of Electric Vehicle Charging Scenarios Based on Demographical Data. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 3, 1457-1468.
- Suganya, S., Raja, S. C., & Venkatesh, P. (2017). Simultaneous coordination of distinct plug-in Hybrid Electric Vehicle charging stations: A modified Particle Swarm Optimization approach. *Energy*, 138, 92-102.
- Sultana, U., Khairuddin, A. B., Sultana, B., Rasheed, N., Qazi, S. H., & Malik, N. R. (2018). Placement and sizing of multiple distributed generation and battery swapping stations using grasshopper optimizer algorithm. *Energy*, 165, 408-421.
- Sutopo, W., Nizam, M., Rahmawatie, B., & Fahma, F. (2018), A Review of Electric Vehicles Charging Standard Development: Study Case in Indonesia.

In 2018 5th International Conference on Electric Vehicular Technology (ICEVT), pp. 152-157, IEEE.

Şahin, M., 2014, Güç Sistemlerinde Enerji Kalitesini Etkileyen Harmoniklerin İncelenmesi, *Erzincan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 7. 199.

T.C. Resmi Gazete, Elektrik Dağıtım ve Perakende Satışına İlişkin Hizmet Kalitesi Yönetmeliği. (28504), 21 Aralık 2019,

Tan, K. M., Ramachandaramurthy, V. K., & Yong, J. Y. (2016), Integration of electric vehicles in smart grid: A review on vehicle to grid technologies and optimization techniques, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 53, 720-732.

Tang, Z., Guo, C., Hou, P., & Fan, Y. (2013). Optimal Siting of Electric Vehicle Charging Stations Based on Voronoi Diagram and FAHP Method. *Energy and Power Engineering*, 5, 1404-1409.

Tekdemir, I. G., Alboyaci, B., Gunes, D., & Sengul, M. (2017). A probabilistic approach for evaluation of electric vehicles' effects on distribution systems. *In: Proceedings of the 4th International Conference on Electrical and Electronics Engineering (ICEEE)*, 143-147.

Tekdemir, I. G., Alboyaci, B., Gunes, D., & Sengul, M. (2017). A probabilistic approach for evaluation of electric vehicles' effects on distribution systems. *In: Proceedings of the 4th International Conference on Electrical and Electronics Engineering (ICEEE)*, 143-147.

Tekin, H. (2019). Yeni bir metot olan geri beslemeli lineer regresyon ile akıllı şebekeye bağlı meskenlerde kısa dönem yük tahmini, Yüksek Lisans Tezi, Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Batman.

Tian, W., Wang, X., Lu, Z., Huang, Y., Tian, G., Adaptive Fuzzy Logic Energy Management Strategy Based on Reasonable SoC Reference Curve for Online Control of Plug-in Hybrid Electric City Bus, *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, pp. 1607-1617, 2018.

Tur, M. R., AY, S., Erduman, A., Shobole, A., & Wadi, M., 2017, Impact of Demand Side Management on Spinning Reserve Requirements Designation. *International Journal Of Renewable Energy Research*, vol.7, no.2, 946-953.

Tur, M.R., & Bayindir, R., 2019, Project Surveys for Determining and Defining Key Performance Indicators in the Development of Smart Grids in Energy

- Systems. *International Journal of Smart grid*, 103-104.
- Tur, M.R., 2020, Reliability Assessment of Distribution Power System When Considering Energy Storage Configuration Technique. *IEEE Access*, 8, 77962-77971.
- TÜİK, 2023, Trafiğe kayıtlı otomobillerin yakıt cinsine göre dağılımı, 2004 – 2023.
- Türkiye Elektrikli ve Hibrid Araçlar Platformu- TEHAD, 2022, Retrieved from <http://tehad.org/>.
- Ünlü, N., Karahan, Ş., Tür, O., Uçarol, H., Özsu, E., Yazar, A., Turhan, L., Akgün, F. and Tırıs, M., 2003, Elektrikli araçlar, *TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi Enerji Sistemleri ve Çevre Araştırma Enstitüsü*, Gebze.
- Wang, Y. W. (2007). An optimal location choice model for recreation-oriented scooter recharge stations. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 12(3), 231-237.
- Wang, Y. W. (2007). An optimal location choice model for recreation-oriented scooter recharge stations. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 12(3), 231-237.
- Wu, Y., Yang, M., Zhang, H., Chen, K., & Wang, Y. (2016). Optimal site selection of electric vehicle charging stations based on a cloud model and the PROMETHEE method. *Energies*, 9(3), 157.
- Yağcıtekin, B., 2014, Elektrikli araç şarj altyapısı tasarımı ve akıllı şarj sisteminin geliştirilmesi, *Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Yang, J., Dong, J., & Hu, L. (2017). A data-driven optimization-based approach for siting and sizing of electric taxi charging stations. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 77(2), 462-477.
- Yapıcı, R., Güneş, D., Yörükeren, N., Elektrikli Şarj İstasyonlarının Dağıtım Şebekesine Olası Etkileri”, *Kocaeli University, Faculty of Engineering, Department of Electrical Engineering*.
- Yazıcı, V., Özdemir, E., 2013, Elektrikli Araç Şarj Yöntemleri, *5. Enerji Verimliliği ve Kalitesi Sempozyumu*, 23-24 Mayıs, Kocaeli, 288-292.
- Yılmaz, M., & Krein, P. T. (2012). Review of battery charger topologies, charging power levels, and infrastructure for plug-in electric and hybrid vehicles. *IEEE transactions on Power Electronics*, 28(5), 2151-2169.

- You, P. S., & Hsieh, Y. C. (2014). A hybrid heuristic approach to the problem of the location of vehicle charging stations. *Computers & Industrial Engineering*, 70, 195-204.
- Yüksel Haliloğlu, E. & Tutu, B. E. ,2018, Türkiye İçin Kısa Vadeli Elektrik Enerjisi Talep Tahmini, Yaşar Üniversitesi E-Dergisi, 13 (51) , 243-255.
- Zakariazadeh A., Jadid S. ve Siano P., (2014), Multi-Objective Scheduling of Electric Vehicles in Smart Distribution System, *Energy Convers. Manag.*, 79:43–53.
- Zhang, X., Liu, Y., Zhang, J., Dai, W., Liu, Z., A Fuzzy Neural Network Energy Management Strategy for Parallel Hybrid Electric Vehicle, International Conference on Modelling, Identification and Control, Kunming, China, 2017.
- Zhao, H., & Li, N. (2016). Optimal siting of charging stations for electric vehicles based on fuzzy Delphi and hybrid multi-criteria decision making approaches from an extended sustainability perspective. *Energies*, 9(4), 270.
- Zhu, C., Yang, B., Energy Management in Parallel Hybrid Vehicle Using Fuzzy Control, International Conference on Information Science and Technology, 2012.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Ebru APAYDIN
Uyruğu : T.C.

EĞİTİM

Derece

Üniversite : Dicle Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği **2014**

Yüksek Lisans :

Doktora :

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2014-2017	Dicle Elektrik Dağıtım A.Ş.	Sistem İşletme Mühendisi
2017-2019	Dicle Elektrik Dağıtım A.Ş.	Tahakkuk Yöneticisi
2019-2023	Dicle Elektrik Dağıtım A.Ş.	Osos Saha Operasyonları Yöneticisi

UZMANLIK ALANI

YABANCI DİLLER: İngilizce (iyi seviye)

YAYINLAR

- M. R. Tür and **E. Apaydin**, "Optimization Of Electric Vehicle Charging Stations," 2022 Global Energy Conference (GEC), Batman, Turkey, 2022, pp. 197-201, doi: 10.1109/GEC55014.2022.9987046.
- M. R. Tür, **E. Apaydin**, N. Obut, R. Nar, R. Temiz and N. Mirkan, "Harmonic Analysis of A Grid-Connected Solar Power Plant in Batman Province and Investigation of Power Quality," 2022 11th International Conference on Renewable Energy Research and Application (ICRERA), Istanbul, Turkey, 2022, pp. 508-513, doi: 10.1109/ICRERA55966.2022.9922878.
- **İnceleme:** **E. Apaydin**, N., and M. R. Tür, "Integration and Optimization of Storage-Enabled Electric Vehicles in Smart Grids using Fuzzy Logic Method and their Integration into the Distribution System"- Journal of Modern Power Systems and Clean Energy