



T.C.
KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



**ELEKTRİKLİ ARAÇLARIN AKILLI
ŞEBEKEYE ENTEGRASYONU VE
ŞEBEKEYE ETKİLERİNİN YAPAY ZEKÂ
YÖNTEMLERİYLE ANALİZİ**

KADİR OLCAY

DOKTORA TEZİ

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Şubat-2024
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Kadir OLCAY tarafından hazırlanan “Elektrikli Araçların Akıllı Şebekeye Entegrasyonu ve Yapay Zekâ Yöntemleriyle Analizi” adlı tez çalışması 14/02/2024 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı’nda DOKTORA TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Başkan

Prof. Dr. A. Afşin KULAKSIZ
(Konya Teknik Üniversitesi)

.....

Danışman

Doç. Dr. Nurettin ÇETİNKAYA
(Konya Teknik Üniversitesi)

.....

Üye

Dr. Öğr. Üyesi M. Murat TEZCAN
(Kütahya Dumlupınar Üniversitesi)

.....

Üye

Dr. Öğr. Üyesi Halil ÇİMEN
(Konya Teknik Üniversitesi)

.....

Üye

Dr. Öğr. Üyesi Seda KÜL
(Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi)

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Mevlüt UYAN
Enstitü Müdürü

Bu tez çalışması Konya Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Koordinatörlüğü tarafından 231102009 nolu proje ile desteklenmiştir.

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.

Kadir OLCAY

Tarih: 14.02.2024

ÖZET

DOKTORA TEZİ

ELEKTRİKLİ ARAÇLARIN AKILLI ŞEBEKEYE ENTEGRASYONU VE ŞEBEKEYE ETKİLERİNİN YAPAY ZEKÂ YÖNTEMLERİYLE ANALİZİ

Kadir OLCAY

Konya Teknik Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Nurettin ÇETİNKAYA

2024, 144 Sayfa

Jüri

Doç. Dr. Nurettin ÇETİNKAYA
Prof. Dr. A. Afşin KULAKSIZ
Dr. Öğr. Üyesi M. Murat TEZCAN
Dr. Öğr. Üyesi Halil ÇİMEN
Dr. Öğr. Üyesi Seda KÜL

Enerji çağımızın en önemli ihtiyaçları arasındadır. Elektrikli araçlar (EA) son yıllarda popülerliğini hızla arttırmaktadır. Bunun nedenlerinin başında fosil yakıtların tükenen olması ve elektrikli araçların sera gazı emisyonuna neden olmamaları söylenebilir. Sürdürülebilir ve temiz enerji günümüzdeki önemli amaçlardan biridir. Elektrikli araçların yaygınlaşması bu avantajları destekleyen başlıca girişimlerden biridir. Fakat bu artışın beraberinde birçok problemi getirmesi beklenmektedir. Bu araçlar yakıt olarak elektrik enerjisi kullanmaktadır. Bu nedenle elektrik enerjisinin üretim, iletim ve dağıtım bölümlerinin her birini bu artış etkileyecektir. Bunun yanında elektrik şebekelerine bağlı tüm tüketicilere çeşitli etkileri de olacaktır. Elektrik şebekesine olan etkiler hem altyapısal sorunlar oluşturacağı gibi hem de diğer tüketicilere de etki etmesi söz konusudur. Bu araçlar ise elektrik şebekesine şarj istasyonları (EAŞİ) üzerinden bağlanacaktır. Şarj istasyonları (Şİ) sayılarının elektrikli araçlardan daha hızlı arttırması gerekmektedir. Çünkü günümüzde elektrikli araçların yaygınlaşmasının önündeki engellerin başında menzil sorunu ve şarj süresi gelmektedir. Araç şarj istasyonları farklı modlarda ve tiplerde üretilmektedir. Ülkeden ülkeye üretim standartları değişiklik gösterebilmektedir. Farklı güçlerde EAŞİ üretimleri vardır. Kurulum ve kullanım şekilleri de farklılık göstermektedir. Bireysel kullanıcıların EAŞİ kurulumu yapabileceği gibi ticari olarak da kurulum yapılabilir. Bu nedenle birçok farklı kullanıcı tarafından kurulumlar yapılmaktadır ve sayıları da hızla artmaktadır. EAŞİ'ler ve EA'ların sayılarındaki yükselme elektrik şebekelerindeki yüklerin de bir o kadar arttığını göstermektedir. Bu nedenle EAŞİ'lerin elektrik şebekelerine etkilerinin analizi akademik çalışmalar arasında oldukça önem kazanmıştır. Bu tez çalışmasında da EAŞİ'lerin elektrik şebekesine etkilerini incelemek için Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) elektrik şebekesi test sistemleri kullanılarak çalışmalar yapılmıştır. Farklı bara sayılarına sahip IEEE güç test sistemlerinin Matlab Simulink modeli tasarlanarak EAŞİ'lerin bu şebekeler üzerine olan etkileri incelenmiştir. Ayrıca toplanan veriler ile derin öğrenme (DÖ) kullanılarak gelecekte meydana gelebilecek etkiler tahmin edilmiştir. Bu sayede şebekeler için altyapı planlamaları ve analizlerle bağlantılı oluşabilecek arızalar öngörülebilir hale gelmiştir.

EAŞİ ve EA'ların yaygınlaşmasının şebekeye bir diğer büyük etkisi ise ani yük artışları olacaktır. Özellikle gün içerisinde tam yükte çalışan şebekelere aynı anda toplu halde ve büyük güçlere yükler olarak dahil olma ihtimali bulunmaktadır. Bu nedenle bu yük artışına karşılık ortaya çıkacak kayıplar da yük akış analizi ile bulunmuştur. Mevcut şebekelerin kendi kayıpları bulunarak EAŞİ'lerin yük olarak şebekeye eklenmesi ile ortaya çıkan hat kayıplarının artışı Newton-Raphson yük akış analizi kullanılarak hesaplanmış ve gösterilmiştir. Kayıpları azaltmak için hem de sürdürülebilir enerji ve sera gazı

emisyenlarıyla mücadeleyi destekleyen güneş enerji santralleri (GES) enerjinin tüketildiği yerde üretilcek şekilde sisteme bağlanmış ve kayıpların ne kadar azaldığı gösterilmiştir. Bu modellemeler ve analizler için ise Electrical Transient Analyzer Program (ETAP) kullanılmıştır.

Son olarak EAşI kurulumu ve yatırımcılara planlama avantajı sağlamak açısından maliyet analizleri yapılmıştır. Çalışmanın bu aşamasında EAşI'lerin kurulum türleri ve ortaya çıkan maliyetler detaylı olarak anlatılmıştır. Kazanç fonksiyonları oluşturulmuş ve yapay sinir ağları (YSA) kullanılarak yatırımcıların harcadıkları maliyetleri geri kazanma süreleri tahmin edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Derin ğrenme, yapay sinir ağları, elektrikli araç şarj istasyonları, güç sistem analizi, elektrikli araçlar, güneş enerji santralleri, yük akışı, güç kaybı.



ABSTRACT

PhD THESIS

INTEGRATION OF ELECTRIC VEHICLES INTO THE SMART GRID AND ANALYSIS OF THEIR EFFECTS ON THE GRID WITH ARTIFICIAL INTELLIGENCE METHODS

Kadir OLCAY

**Konya Technical University
Institute of Graduate Studies
Department of Electrical - Electronic Engineering**

Advisor: Assoc. Prof. Dr. Nurettin ÇETİNKAYA

2024, 144 Pages

Jury

Assoc. Prof. Dr. Nurettin ÇETİNKAYA

Prof. Dr. A. Afşin KULAKSIZ

Asst. Prof. Dr. M. Murat TEZCAN

Asst. Prof. Dr. Halil ÇİMEN

Asst. Prof. Dr. Seda KÜL

Energy is among the most important needs of our age. Electric vehicles (EV) have been rapidly increasing in popularity in recent years. The main reasons for this can be said that fossil fuels will run out and electric vehicles do not cause greenhouse gas emissions. Sustainable and clean energy is one of the goals today. The widespread use of electric vehicles is one of the main initiatives that support these advantages. But this increase will bring with it many problems. These vehicles will use electricity as fuel. Therefore, this increase will affect each of the production, transmission and distribution sections of electrical energy. In addition, it will have various effects on all consumers connected to electricity networks. The effects on the electricity grid will not only create infrastructural problems but also affect other consumers. These vehicles will be connected to the electricity grid through charging stations (EACS). Charging stations (CS) need to increase their number faster than electric vehicles. Because nowadays, the main obstacles to the widespread use of electric vehicles are the range problem and charging time. Electric vehicle charging stations are produced in different modes and types. Production standards may vary from country to country. They are produced in different powers. Installation and usage methods also vary. While individual users can install EAC, it can also be installed commercially. For this reason, installations are made by many different users. For this reason, their numbers are increasing rapidly. The increase in the number of EACs and EVs shows that the loads on the electricity networks are also increasing. For this reason, analysis of the effects of ECOMs on electricity networks has gained great importance among academic studies. In this thesis study, the effects of EACs on the electricity network were examined using the Institute of Engineers and Everyone Else (IEEE) electrical network test systems. Matlab Simulink model of IEEE power test systems with different bus numbers was designed and the effects of ECOMs on these networks were examined. Additionally, future impacts were predicted using deep learning (DL) with the collected data. In this way, malfunctions that may occur in connection with infrastructure planning and analysis for networks have become predictable.

Another major impact of the widespread use of EACs and EVs on the grid will be sudden load increases. Especially in networks operating at full load during the day, it is possible that loads of greater than one power may be included. For this reason, the losses that will arise in response to this load increase are found by load flow analysis. By finding the existing networks' own losses, the increase in line losses resulting from the addition of EACs to the network as load is calculated and shown using Newton-Raphson load flow analysis. In order to reduce losses, solar power plants (SPPs), which support sustainable energy

and the fight against greenhouse gas emissions, have been connected to the system so that the energy is produced where it is consumed, and it has been shown how much the losses have been reduced. For these modeling and analysis, Electrical Transient Analyzer Program (ETAP) was used.

Finally, cost analyzes were carried out in order to provide EACS installation and planning advantage to investors. At this stage of the study, the installation types of EACS and the resulting costs are explained in detail. Earnings functions were created and the time spent by investors to recover their costs was estimated using artificial neural networks (ANN).

Keywords: Deep learning, artificial neural networks, electric vehicle charging stations, power system analysis, electric vehicles, solar power plants, load flow, power loss



ÖNSÖZ

Doktora sürecim boyunca yardımlarını esirgemeyen ve her zorlukta desteğini hissettiren danışman hocam, Konya Teknik Üniversitesi öğretim üyesi Doç. Dr. Nurettin ÇETİNKAYA'ya; tüm eğitim hayatım boyunca beni destekleyen sevgi ve şefkatini esirgemeyen teyzem Esme YILDIRIM'a, dayılarım Muzaffer KURT ve Mehmet KURT'a, kardeşim Abdullah OLCAY'a ve tüm aile üyelerime sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmalarımda destek veren Konya Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Koordinatörlüğü'ne desteklerinden ötürü teşekkür ederim.

Kadir OLCAY
KONYA-2024

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	vi
ÖNSÖZ	viii
İÇİNDEKİLER	ix
SİMGELER VE KISALTMALAR	xi
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	5
3. ELEKTRİK ŞEBEKELERİ VE GÜÇ TEST SİSTEMLERİ.....	15
3.1. IEEE 6 Baralı Şebeke Modeli	17
3.2. IEEE 14 Baralı Şebeke Modeli	18
3.3. IEEE 30 Baralı Şebeke Modeli	20
4. ELEKTRİKLİ ARAÇ ŞARJ İSTASYONLARI	24
4.1. Şarj Yöntemleri ve Güç Seviyeleri	25
4.2. EAŞİ Kurulum Çeşitleri.....	31
4.3. EAŞİ Saha Uygulama Örneği	32
5. GENEL DERİN ÖĞRENME TEORİSİ.....	36
5.1. Genel Derin Öğrenme Teorisi Yöntemleri	38
5.2. Genel Yapay Sinir Ağları Teorisi	39
5.2.1. YSA mimarisi	41
5.2.2. YSA elemanları.....	44
5.2.3. YSA öğrenme mantığı	52
6. YÜK (GÜÇ) AKIŞ ANALİZİ AMAÇ VE YÖNTEMLERİ	56
6.1. Yük Akış Analizi Verileri.....	57
6.2. Gauss-Seidel Yöntemi	63
6.3. Newton-Raphson Yöntemi	66
7. ELEKTRİKLİ ARAÇ ŞARJ İSTASYONLARININ ŞEBEKEYE ETKİLERİNİN YAPAY SİNİR AĞLARI İLE ANALİZİ	71
7.1. Elektrikli Araç Şarj İstasyonlarının Matlab Simulink Programı İle Modellenmesi	73
7.2. Toplam Harmonik Distorsiyon Hesapları ve Simülasyonlar	74
7.3. Yapay Sinir Ağları İle Elektrikli Araç Şarj İstasyonlarının Şebeke Etkleri Analizi	88

7.4. Yapay Sinir Ağları İle Elektrikli Araç Şarj İstasyonlarının Şebeke Etkeri Analiz Sonuçları	89
8. ETAP PROGRAMI İLE YÜK (GÜÇ) AKIŞ ANALİZİ VE ELEKTRİKLİ ARAÇ ŞARJ İSTASYONLARININ ELEKTRİK ŞEBEKESİNE ETKİLERİNİN İNCELENMESİ	95
8.1. Etap ile Yük Akış Analizi Şebeke Modellerinin Oluşturulması.....	96
8.2. Etap Programı ile Yük Akış Analizi Sonuçları.....	99
8.3. Açık Otoparklarda Elektrikli Araç Şarj İstasyonu Kurulumu ile Güneş Enerji Santrali Önerisi ve Sistemin Elektrik Şebekesi ile CO ₂ Emisyonu Üzerine Etkileri	102
9. ELEKTRİKLİ ARAÇ ŞARJ İSTASYONLARININ KURULUM ÇEŞİTLERİNİN YAPAY SİNİR AĞLARI İLE FAYDA TAHMİNLERİ.....	112
9.1. Elektrikli Araçlar ve Şarj İstasyonlarının Sektörel Analizi	113
9.2. Elektrikli Araç Şarj İstasyonlarının Maliyet Analizi Ve Matematiksel Model Oluşturulması.....	116
9.3. Kazanç Hesabı ve Geri Ödeme Süresinin Yapay Sinir Ağları İle Tahmini.....	119
10. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	125
KAYNAKLAR	129

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

$ V_k $	: k barasının gerilimi
$\hat{y}_i$	: Tahmin sınıf olasılığı
I_k	: k barasından şebekeye verilen akım değeri (A)
$P_{gi}^{min}, P_{gi}^{max}$	: i anında generetörün minimum ve maksimum ürettiği aktif güç
P_{gk}	: k barasında üretilen aktif güç (MW)
$P_{k,hes}$	: k barasından sisteme giren hesaplanan aktif güç (MW)
P_k	: k barasından şebekeye giren aktif güç (MW)
$P_{yük,i}$	: i anında yükün tükettiği aktif güç (MW)
$P_{yük}$	: Yükün tükettiği aktif güç (MW)
P_{yk}	: k barasındaki yükün talep ettiği aktif güç
$Q_{gi}^{min}, Q_{gi}^{max}$	: i anında generetörün minimum ve maksimum ürettiği reaktif güç
Q_{gk}	: k barasında üretilen reaktif güç (MW)
$Q_{k,hes}$	: k barasından sisteme giren hesaplanan reaktif güç (MW)
Q_k	: k barasından şebekeye giren reaktif güç (MVar)
$Q_{yük,i}$	: i anında yükün talep ettiği aktif güç (MVar)
$Q_{yük}$	: Yükün tükettiği reaktif güç (MVar)
Q_{yk}	: k barasındaki yükün talep ettiği reaktif güç (MVar)
THD_I	: Akım toplam harmonik distorsiyonu
THD_U	: Gerilim toplam harmonik distorsiyonu
V_i^{min}, V_i^{max}	: i anında maksimum ve minimum gerilim
t_i	: i. Zaman dilimi uzunluğu
y_i	: Gerçek sınıf olasılığı
δ_k	: k barasının gerilim açısı
ΔP_k	: Belirlenen aktif güç ile hesaplanan aktif arasındaki fark
ΔQ_k	: Belirlenen reaktif güç ile hesaplanan reaktif güç arasındaki fark
B	: Sapma (bias)
ÇEH	: Çapraz Entropi Hatası (Cross-Entropy Loss)
MAE	: Ortalama Mutlak Hata (Mean Absolute Error)
MSE	: Ortalama Kare Hatası (Mean Squared Error)
N	: Bara Sayısı
N_g	: Gerilim kontrollü bara sayısı
PQ	: Yük Barası
PV	: Gerilim kontrollü bara
Y	: Çıktı verisi
Y_{bara}	: Bara admitans matrisi
Z_{bara}	: Bara empedans matrisi
J	: Jacobian matrisi
X	: Girdi verisi
w	: Ağırlık

Kısaltmalar

AC	: Alternatif Akım
ACEA	: Avrupa Otomobil Üreticileri Derneği
AF	: Aktivasyon Fonksiyonu
AG	: Alçak Gerilim
ANN	: Artificial Neural Network (Yapay Sinir Ağı)
BORC	: İşletme Giderleri (Back Office Maintenance Cost)
CAPEX	: Sermaye Harcaması
CCS	: Combined Charging System
CNN	: Evrişimli Sinir Ağları
CO2	: Karbon Dioksit
CS	: Charging Station (Şarj İstasyonu)
DC	: Doğru Akım
DCHŞİ	: Doğru Akım Hızlı Şarj İstasyonu
DDB	: Doğrusal Düzeltilmiş Birim
DÖ	: Derin Öğrenme
EA	: Elektrikli Araç
EAŞİ	: Elektrikli Araç Şarj İstasyonu
EPDK	: Elektrik Piyasası Düzenleme Kurulu
EŞ	: Elektrik Şebekesi
ETAP	: Electrical Transient Analyzer Program
EÜAŞ	: Elektrik Üretim Anonim Şirketi
EVCS	: Electric Vehicle Charging Station (Elektrikli Araç Şarj İstasyonu)
FFT	: Hızlı Fourier Dönüşümü
G	: Generatör
GES	: Güneş Enerji Santrali
GSY	: Gauss-Seidel Yöntemi
HD	: Harmonik Distorsiyon
IEC	: The International Electrotechnical Commission
IEEE	: Institute of Engineers and Everyone Else
LSTM	: Uzun Kısa Süreli Bellek
MÖ	: Makine Öğrenmesi
NRN	: Newton-Raphson Yöntemi
OG	: Orta Gerilim
OPEX	: İşletme Harcamaları
PHEA	: Plug-in Hibrit Elektrikli Araç
PU	: Per-Unit
RNN	: Tekrarlayan Sinir Ağları
SOC	: State-Of-Charge (Şarj Durumu)
Şİ	: Şarj İstasyonu
TEDAŞ	: Türkiye Elektrik Dağıtım Anonim Şirketi
TEİAŞ	: Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi
THD	: Toplam Harmonik Distorsiyon
YG	: Yüksek Gerilim
YSA	: Yapay Sinir Ağları
YZ	: Yapay Zekâ

1. GİRİŞ

Yaşadığımız yüzyılda teknoloji, beklenilenin de üzerinde bir hızla gelişmektedir. Elektrik enerjisi, Bu gelişmelerin yaşandığı her sektör ve insanlık için artık ana kaynak ihtiyaçlarından biri haline gelmiştir. Elektrik tüketen sektörler ek olarak otomotiv sektörünün de yakıt olarak elektrik enerjisini kullanması hem üretim hem iletim hem de dağıtım aşamalarında büyük sorunlar ortaya çıkaracaktır.

Elektrikli araçlara (EA) olan talebin her geçen gün artmasıyla bu alandaki akademik çalışmaların yoğunluğu da aynı ivmede artmaktadır. Talepteki artışın nedenlerinin başında elektrikli araçların kullanım masraflarının içten yanmalı motora sahip araçlara göre daha düşük olması ve CO₂ emisyonunun azalmasına olan katkıları gösterilmektedir (Parker ve diğ., 2021). Bir diğer önemli neden olarak fosil yakıtların rezervlerinin her geçen gün önemli ölçüde azalması ve yakın gelecekte tükenecek olması da söylenebilir. Bundan dolayı içten yanmalı motorların yakıt maliyetlerinden sık görülen değişiklikler meydana gelmesi EA'ların ulaşım sektöründe öne çıkmasına neden olan diğer bir etkidir (Moradijoz ve diğ., 2013; Olcay ve Çetinkaya, 2021). Tüm itici etkilerle birlikte EA sayısı ve kullanıcı sayısındaki çoğalma hızlanarak devam edecektir. Otomotiv sektöründe fosil yakıtlı araçların kullanılmasından kaynaklı CO₂ emisyon miktarı göz ardı edilemeyecek seviyelerdedir. Avrupa Birliği'nin 2014 raporuna göre sera gazlarının %20'si ulaştırma sektörü kaynaklı oluşmaktadır (Sanchez ve diğ., 2022). Bu etkileri azaltmak için araştırmacılar sürekli bir arayış içindedir ve çeşitli stratejiler oluşturmaktadır (Granada ve diğ., 2019). Bu araçlara alternatif olarak üretilen EA'ların kullanımının artması ile sera gazı emisyon miktarını azaltacak hatta akademik çalışmalara göre bu azalma 2030 yılına kadar %28'lere ulaşacaktır (Özcan ve Öztürk, 2015; Adnan ve diğ., 2018). Artış hızının devam etmesi halinde 2050 yılında araç filolarının %60'dan fazlasının EA'lardan oluşacağı öngörülmektedir (Battapothula ve diğ., 2019). EA'lardaki bu talep EAŞİ'lerin de çok hızlı şekilde artmasına neden olmuştur (Olcay ve Çetinkaya, 2023; Ahmad ve diğ., 2022). Yapılan çalışmalardaki öngörülere göre EAŞİ piyasasının yaklaşık olarak %27 oranında yıllık büyüme ile 100 milyar doların üstüne çıkması beklenmektedir (Fareed ve diğ., 2022). EAŞİ artışı ile birlikte ortaya çeşitli sorunlar çıkmaktadır. Özellikle şarj istasyonlarının artmasıyla altyapı eksiklikleri ve mevcut altyapılarda olumsuz etkiler ortaya çıkacaktır (Olcay ve Çetinkaya, 2023; Robinson ve diğ., 2014). Bu durum ise EAŞİ sayılarının artmasına olumsuz etki etmekte ve EA'lara olan talebi yavaşlatmaktadır. EA'ların kullanıcılar arasında daha hızlı yaygınlaşması ve

fosil yakıtlı araçların yerini alabilmesi için olumsuz durumların iyileştirilmesine yönelik çalışılmalıdır (Mohammadi ve diğ., 2018). Mevcut elektriksel altyapıya olan olumsuz etkilerinin azaltılması ve ortadan kaldırılmasına yönelik çalışmalar altyapının yenilenmesi için zaman kazandıracak ve yenilenen altyapıda da aynı sorunların ortaya çıkmasını engelleyecektir. EAŞİ'lerin elektrik şebekesine bağlanması ile aktif güç kayıpları, reaktif güç kayıpları, şebeke geriliminde saptmaların oluşması, özellikle hızlı şarj istasyonlarının (HŞİ) neden olduğu harmonik etkiler gibi elektriksel sorunlar ortaya çıkmaktadır. Bunun yanında EAŞİ kurulum ve işletme maliyetleri de yatırımcılar tarafından bakıldığında diğer bir problem kolunu oluşturmaktadır. Bu nedenle mevcut elektrik şebekesine EVCS'lerin en uygun şekilde bağlanması gerekmektedir. Bunun için ise EAŞİ'lerin elektrik şebekelerine etkilerinin analizi büyük önem oluşturmakta ve bu alanda çalışmalar yapılmaktadır.

Elektrik enerjisi üretimine bakıldığında son yıllarda yenilenebilir enerji kaynaklarından enerji üretiminin arttığı söylenebilir. Elektrik şebekelerindeki altyapı eksiklikleri de yine yenilenebilir kaynaklardan elektrik enerjisi üretiminin şebekeye bağlantısı konularında büyük engellerden biridir.

EA öneminin vurgulandığı geçmiş ve gelecek yıllara ait raporlar ve tahmin çalışmaları yapılmıştır. Avrupa İklim Vakfı (ECF), Alman merkezli bir enerji politikaları düşünce kuruluşu olan Agora Energiewende (AE) ve Sabancı Üniversitesi tarafından kurulan SHURA Enerji Dönüşüm Merkezi, EA ve şebeke analizleri alanında Türkiye'nin ulaştırma sektörünün dönüşümünü konu alan bir rapor yayınlamışlardır (SHURA, 2023). EA'ların dağıtım şebekesine olan etkilerine vurgu yapılan raporda EA'ların Türkiye'deki artışı hakkında iki farklı senaryo sunulmuştur. Yüksek büyüme senaryosuna göre EA'ların 2030 yılındaki sayıları 2.5 milyon olacağı öngörülmektedir. Daha detaylı söylemek gerekirse 2030 yılında toplam binek araçların %55'inin EA olacağı ve toplam stok miktarının %10'unun EA olacağı öngörüsü yapılmıştır. Diğer bir senaryo olan orta büyüme senaryosuna göre de 2030 yılında EA sayısının 1 milyon olacağı düşünülmüştür. Geliştirilen iki senaryo da bu çalışmada referans olarak alınmıştır. Ayrıca yine görülmektedir ki EA'ların yakın gelecekteki sayılarının ulaşacağı seviyeler akademik çalışmalar için oldukça önemlidir.

Buraya kadar açıklanan EA gelişimi tez çalışmasının konusunun motivasyonu olmuştur. Tez kapsamında EA'ların günlük hayatta geniş kullanım sahasına sahip olması sonucunda ortaya çıkacak durumları tespit etmek ve etkilerini öngörmek için çalışmalar aşağıdaki çalışmalar yapılmıştır.

- Elektrikli araçların şebekeye olan etkileri açıklanmıştır.
- EA sayılarının ve kullanımının artmasıyla EAŞİ sayılarının çoğalmasına vurgu yapılarak EAŞİ'lerin dünyadaki farklı uygulamaları, ilgili üretim ve uygulama standartları, elektrik tüketim ve şarj seviyeleri, bağlantı çeşitleri gösterilmiştir.
- EAŞİ kurulumu gerçekleştirilerek uygulama çeşitleri gösterilmiştir.
- Farklı EAŞİ kurulum türleri açıklanmış ve sektörel uygulamalar anlatılmıştır.
- EA'ların karbon emisyonu üzerindeki olumlu etkileri anlatılmış ve buna ek olarak tüketilecekleri şebeke kaynaklı elektrik enerjisi kullanımı nedeniyle karbon emisyonunun artacağı tespit edilmiştir.
- Farklı fider sayılarına sahip elektrik şebekeleri modellenerek EAŞİ'lerin elektrik şebekelerine olan etkileri analiz edilmiştir.
- Şebeke etkileri analiz edilirken yapay zekâdan faydalanılmıştır. Elektrik şebeke modelleri ve EAŞİ modellerinin yapıldığı simülasyondan alınan veriler kullanılarak yapay sinir ağları ile gelecekte şebekede ortaya çıkacak etkiler öngörülmüştür. Bu sayede mevcut şebekelerin gelecekteki durumu gösterilmiştir.
- EAŞİ'lerin sayılarının hızlı şekilde çoğalması nedeniyle bu cihazların elektrik şebekesine bağlanması ve aynı anda çalışması durumunda ortaya çıkacak ani yüklerin elektrik şebekelerine olan etkileri gösterilmiştir. Mevcut yüklerin olduğu IEEE 6 baralı güç test sistemi modeli ETAP yazılımı kullanılarak modellenmiştir. Bu modelde üç farklı durum için yük akış analizi kullanılarak ortaya çıkan hat kayıpları tespit edilmiştir. EAŞİ yükleri olmadan, EAŞİ'lerin yük baralarına bağlanması ve EAŞİ'lerden kaynaklı ani yük artışlarının neden olduğu olumsuz etkileri azaltmak için önerilen güneş enerji santrallerinin elektrik şebekelerine bağlanması durumları üç farklı senaryoyu oluşturmaktadır.
- EAŞİ kurulum çeşitlerine göre maliyetler ve kazanç tahminleri yapılmıştır. Farklı maliyet parametreleri sınıflandırılmış ve tanımlanmıştır. Elde edilen kazanca ulaşmak için matematiksel modeller oluşturularak orta büyüme ve yüksek büyüme senaryolarına göre Türkiye'deki EA sayıları ve EAŞİ kazançları mevcut durumlar için

belirlenmiştir. Gelecek için ise yapay sinir ağları kullanılarak öngörü yapılmıştır.

Tez çalışmasında elde edilen sonuçlar ile EA kullanım sahasının genişlemesi ile yatırımcılara ve kullanıcılara karar desteği sağlanmıştır. EA ve EAŞİ alanında geniş bilgilendirme ve ekonomik analiz yapılarak altyapı planlaması için katkı sağlanmıştır. Maliyet ve getiri analizleri ile yatırımcıların etkinliği artırılabilir. Yöneticilere, kamu kurumlarına ve ticari girişimcilere tez çalışması sonuçlar ve analizler yardımcı bir kaynak olacaktır. Ayrıca düşük karbon emisyonugeçişine ve sürdürülebilirliğe destek sağlanmaktadır.

Literatüre bakıldığında EA'ların artması ile EAŞİ'lerin neden olacağı olumsuzlukların çözülmesi oldukça önemli ve güncel bir konudur.



2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Elektrik enerjisi üretiminde çoğunlukla fosil kaynaklar tercih edilmektedir. Ancak, bu kaynakların yaygın kullanımı, tükenmeye başlamış olmaları ve sera gazlarının neden olduğu küresel ısınma ile iklim değişikliği sorunlarını beraberinde getirmektedir. Bu nedenle, yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ilgi ve bu alandaki çalışmalar önemli bir ivme kazanmaktadır.

Fosil yakıtların meydana getirdiği sorunlar, otomotiv sektöründe alternatif yakıt arayışlarına sebep olmuş ve özellikle son yıllarda elektrikli araçlar büyük bir önem kazanmıştır. Elektrikli araçlar, ulaşım sektöründeki fosil yakıt kaynaklı sorunlara çözüm olabilecek potansiyele sahiptir. Ancak, bu araçların enerji ihtiyacını karşılamak, batarya dolum istasyonları oluşturmak ve şebeke ile altyapı sistemlerini revize etmek gibi büyük zorluklarla karşılaşmaktadır. Bu nedenle EA ve EAŞİ konularında akademik çalışmalar son yıllarda hız kazanmış ve güncel olarak devam etmektedir.

EA'ların enerji tüketimi hakkında çalışmalar yapılmaktadır (Quian ve ark, 2011). EA yük talebi modellenerek yapılan çalışmada Birleşik Krallık örneği verilmiştir. Dört önerilen elektrikli araç şarj stratejisi, gelecekteki elektrik tarife yapısındaki muhtemel değişiklikleri ve elektrikli araçların akü şarj taleplerine uygun düzenlemeleri göz önünde bulundurmaktadır (Quian ve ark, 2011). EA şarj işlemlerinin şebekenin yoğun olmadığı saatlerde yapılacağı düşünüldüğünden bir dönem elektrik şebekeleri altyapı eksikliğinin pek fazla hissedilmeyeceği düşünülüyordu. Fakat gerçekte EA kullanıcılarını belirli bir saat diliminde şarj işlemini gerçekleştirmelerine zorlanamayacaklarından kullanıcıların rastgele şarj etme durumlarında elektrik şebeke performansının anlayabilmek için analizler yapılması gerekmektedir (Hadley ve diğ., 2009; Richardson ve diğ., 2010). Şarj işleminin yapılacağı cihazın tipi de önem arz eden bir durumdur. EA kullanıcıları gün içerisinde araçlarını temel kullanım alışkanlıklarında olduğu gibi daha hızlı şarj etmek istemektedir. Bu nedenle DC hızlı şarj istasyonlarını (DCHŞİ) tercih etmektedir. Bu cihazların kullanımı elektrik şebekesinde enerji kalitesine de etki edecektir. Bir EA'nın şarj süresi boyunca toplam harmonik distorsiyon (THD) ölçümlerine bakılan çalışmalar da yapılmıştır (Lucas ve diğ., 2015; Fujun ve ark, 2017). Bu çalışma içerisinde EA şarj döngüsü içerisindeyken dört farklı ölçüm veri seti toplanmıştır. Ayrıca EAŞİ'ler, özellikle DCHŞİ'ler, iki çıkışlı olmaktadır. Ölçüm alınan bu istasyonda iki araç için de çeşitli ölçümler yapılarak THD hesaplamaları yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar ise IEEE519 ve IEC 61000/EN50160 standartları ile karşılaştırılmıştır. Analiz sonucunda ise şarj cihazı

şebekeden enerji çekerken IEEE519'daki THD sınırlarını aşmıştır. Bu durum da EAŞİ'lerin elektrik şebekelerindeki bozulmaları aşırı şekilde arttıracağını göstermektedir. Şebeke güç kalitesindeki bu kötü etkileri azaltmak için çalışılan yöntemlerden biri ise güç kalitesi kontrolüne sahip EAŞİ tasarımı olabilir. Çünkü teknoloji gelişirken elektrik tüketen cihazlar her geçen gün çeşitleniyor ve artıyor. Bu cihazların güç kalitesine etkisi de kaçınılmaz oluyor. Bu nedenle tasarımcıların cihazları tasarlarken güç kalitesine etkilerini dikkate almaları gerekmektedir. Bu düşünce ile yapılan çalışmalarda güç kalitesi kontrolünü yapan EAŞİ tasarımı yapılan çalışmalar mevcuttur (Basu ve diğ., 2004). DCHŞİ'lerin şebekedeki güç kalitesine olan etkilerini analiz etmek ve tespit etmek önemlidir. Başka bir yöntem ise bu bozulmayı takip edecek bir sistem tasarımı seçeneğidir. Bu doğrultuda yapılan çalışmada dönüştürücü harmonik modeli ile orta gerilim (OG) seviyesindeki harmonikleri takip etmek amaçlanmıştır (Sun ve diğ., 2017).

EA kullanıcılarının bireysel olarak konutlarında şarj etme tercihleri yüksektir. Çünkü bu durum daha ucuz ve daha konforlu olabilmektedir. Bu senaryoda da AC EAŞİ'lerin sayısı her kullanıcı başına bir adet olarak ortaya çıkmaktadır. Bu ise büyük miktarda bir ek yük ve şebeke güç kalitesini bozma potansiyeli olan bir durumdur. Bu dağınık olarak tek fazlı ve üç fazlı şarj cihazları elektrik şebekesinin alt kademelerine kadar yayılacak bir harmonik bozunmalara neden olacaktır. Bu durumun dağıtım sistemine olan etkilerini azaltmak ve kontrol altına almak için EA kullanıcılarının şebekenin yoğun saatleri dışında şarj işlemini gerçekleştirmesi önerilmektedir (Bass ve diğ., 2001). Kullanıcıların davranışlarını öngerek analizleri bu şekilde yapıp şebeke performansı düzenlenebilir (Cheng ve diğ., 2018).

EAŞİ şebeke etkileri üzerine yapılan çalışmalarda şarj etme davranışlarına sıklıkla vurgu yapılmaktadır. Çünkü bu davranışlar şebekede meydana gelecek etkileri arttırmakta veya az olarak göstermektedir. Bu talep profili modellemesi ile şarj seçeneklerine bağlı olarak çeşitli senaryolar oluşturulabilir. Ayrıca burada batarya şarj durumu da önemlidir. Çünkü şarj sırasına oluşacak etkiler lineer olabilir veya doğrusal olmayabilir. Yapılan çalışmalar batarya şarj durumunun %20 ile %80 arasında doğrusal bir bölge olduğu belirtilmektedir (Marra ve diğ., 2012).

Sharma ve diğ. (2016), elektrik iletim hatlarında güç talebinin artması ve elektrik şebekelerine yapılan çoklu bağlantılardan dolayı şebekede hatalarla çokça karşılaşıldığını dikkat çekerek hata sınıflandırılması üzerine çalışılmıştır. Denetimli öğrenme algoritması ile hata sınıflandırılması gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar MSE, RMSE, SSE ve MAE

performans ölçütleri ile değerlendirilmiştir. Jamil ve diğ. (2015), elektrik şebekelerindeki hata sınıflandırması üzerine çalışmıştır. Simülasyonlar ve modeller MATLAB kullanılarak yapılmıştır. Bu işlemler YSA kullanarak gerçekleştirilmiştir. Çalışmada oluşturulan sinir ağı modelini doğrulamak için farklı sayıda gizli katmanlar yapılmıştır. Simülasyon sonuçlarında hataların sınıflandırılması işleminde YSA'nın performans ölçütünün yüksek olduğu görülmüştür. Singh ve diğ. (2014), elektrik iletim hatlarının enerjinin tüketicileri ulaşmasındaki yüksek öneminden dolayı bu hatlardaki hataları 300 km hat uzunluğuna ve 25 kV şebeke gerilimine sahip bir elektrik şebekesi modeli oluşturmuş ve arıza tespiti yapılmıştır. Arıza tespiti için YSA kullanılmıştır. Geri yayılım algoritması ile eğitilen sinir ağı ile atmosfer etkilerinde kalan iletim hatlarında tek faz-toprak ve üç faz-toprak arızaları tespit edilmiştir. Simülasyonlar MATLAB Simulink ortamında yapılmıştır.

Barr ve Gosbell (2014), uluslararası harmonik standartları olan IEC 61000.3.6 ve IEEE 519 standartlarında tanımlanan değerleri revize etmek için çalışmışlardır. Çalışmalarında bireysel harmoniklerin üç yeni sınırla değiştirilmesi gerektiği sonucuna varmışlardır.

Bass ve diğ. (2013), EA'ların EAŞİ kullanımı neticesinde elektrik şebekesinde oluşacak harmonik distorsiyoyu, faz dengesizliği ve voltaj saptmaları gibi çeşitli olumsuz etkilere dikkat çekmişlerdir. Çalışmadaki amaç olarak özellikle dağıtım transformatörlerinin ömürlerini azaltıcı yönde etki eden HD'leri tespit etmektir. Bu etkileri araştırmak için bir proje geliştirilmiştir. Kampüslerinde belirli bir noktaya kurulumu yapılan 6 farklı şarj cihazı üzerinden ölçüm alınmıştır. Şİ'ler seviye 2 ve seviye 3 istasyonlardır. Bunlardan seviye 2 olan istasyonlar SAE J1772 soketine sahip 208 V ve 4-20 kW arası güç verebilen cihazlardır. Seviye 3 Şİ'ler ise üç fazlı AC elektrik girişi olan 20-50 kW arası çıkış gücüne sahip cihazlardır. Bu cihazlardan şarj edilen farklı marka araçların da olduğu akım ve gerilim verileri kaydedilmiştir. Şarj istasyonları için THD sonuçlarını belirlenmiştir. Bulgulara göre EAŞİ'ler şarj işlemi sırasında farklı mertebelerde harmonikler oluşturmaktadır. Toplanan veriler EAŞİ'lerin özellikle manyetik cihazlar üzerindeki etkilerinin çok yüksek olduğunu göstermektedir. Bunun yanı sıra şarj döngüsü içerisinde THD değerleri değişmektedir. Şarj döngüsü içerisinde yüksek akım çekildiği zamanlarda THD değerinin daha düşük ancak düşük akım değerlerinde THD değerinin daha yüksek olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Tek noktadan beslenen birden fazla şarj cihazının harmonik oranları oldukça yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Agah ve Abbasi (2012), EAŞİ'lerin elektrik şebekesi üzerine etkilerini araştırırken bireysel kullanıcılara odaklanmışlardır. EA kullanıcı sayısının artışının dağıtım transformatörlerinin üzerindeki etkilerine çalışılmıştır. EAŞİ yükünün %30 oranda yükü arttırdığı senaryosu bile dağıtım transformatörlerinin ömürlerinin %900 oranında azalttığı vurgulanmıştır. Sonuç olarak EA kullanıcılarının şarj işlemlerinin gece yapması dağıtım transformatörlerine en az zararı verdiği söylenmiştir.

Dyke ve diğ. (2010), elektrikli araçların kullanımı ve enerji depolanması, elektrikli taşımacılığın artan önemi bağlamında detaylı bir şekilde incelenmiştir. Bu kapsamda, belirli bir grup elektrikli araç belirlenmiş ve bu araçların elektrik enerjisi tüketimi ile enerji depolama kapasiteleri üzerinde durulmuştur. Bu gereksinimler, Avrupa Birliği'ne ait konut yük profiliyle ilişkilendirilerek, özel araçların elektrifikasyonunun yerel enerji talepleri üzerindeki etkisi ve araç-konut entegrasyonunun potansiyeli değerlendirilmiştir. Çalışma, elektrikli araçların elektrik şebekesi ile etkileşim içinde olmalarının önemini vurgulamaktadır. Bu etkileşim, konutlardan gelen taleplerin ve hızlı tepki gerektiren yüklerin elektrikli araçlar tarafından karşılanmasını mümkün kıldığı sonucuna varılmıştır. Buna karşılık olarak belirli enerji taleplerine uygun yük profilleri elde edilebilir ve bu profiller, büyük ve bilinen enerji üretim birimleriyle koordine edilebildiği belirtilmiştir.. Bu şekilde, enerji talepleri, düşük emisyonlu ve dağıtık enerji üretim teknolojileriyle uyumlu hale getirilebildiği söylenmiştir.

Pothinun ve Premrudeepreechacharn (2018), EAŞİ'nin elektrik dağıtım şebekesinde orta gerilim yük profili ve harmonik etkileri üzerine çalışılmıştır. Tayland'da 22 kV ve dört adet trafo merkezi içeren bir orta gerilim şebeke modeli üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Similasyon aracı olarak DiGSILENT kullanılmıştır. DCHŞİ 50 kW gücünde genel Şİ yükü olarak çalışma yapılmıştır. Şİ'lerin şebeke entegrasyonu sonucunda THD'lerin arttığı, %50 EAŞİ yük eklentisinde THD'nin %4'ün üzerine çıktığı sonucu elde edilmiştir.

Bosak ve diğ. (2019), EA'ların şarj edilirken şebekeye ek yük talebi olarak etki edeceği vurgulanmıştır. Çalışmada EAŞİ kullanılırken alçak gerilim şebekelerindeki akım ve gerilim harmonikleri araştırılmıştır. Çalışma sonucunda EA'ların şarj işlemleri neticesinde alçak gerilim şebekelerindeki güç kalitesine etkisinin %55 olduğu ortaya konulmuştur. Kütt ve diğ. (2013), EA şarj işlemlerinin dağıtım şebekesi üzerine etkilerini araştırmıştır. Yapılan çalışmalarda şarj işlemi sırasındaki harmonik analizler kaydedilmiştir. Elektrik şebekesinde alçak gerilimde EAŞİ nedeniyle 3. ve 5. harmoniklerin baskın olduğu söylenmiştir. Singh ve diğ. (2023), EAŞİ'lerin şebekedeki

baskınlığı azaltmak ve hem EV kullanıcılarına hem de elektrik şebekesine katkı sağlamak amacıyla EAŞİ'lerin konumlandırılması üzerine çalışmışlardır. Mazurek ve Chudy (2022), EAŞİ'lerin elektrik şebekesindeki harmonik bozulmalar ile etkileri ve elektronmanyetik bozunmalar üzerine çalışma yapmışlardır. Yapılan çalışmalarda AC ve DC EAŞİ harmonikleri de incelenmiştir. AC EAŞİ'lerin küçük güçlerde harmonik bozunma etkisinin az olduğu fakat DC EAŞİ'lerin şebekedeki güç kalitesini kötü etkilediği söylenmiştir.

Kersten ve diğ. (2021), EA şarj işlemlerinin elektrik şebekesine etkilerinin yanı sıra elektrik tesisat ekipmanlarının bu etkilere göre tasarlanması çalışılmıştır. Elektrik tesisat tasarımı, akım koruma şalteri ekipmanlarının seçimi anlatılmıştır. Bunun yanı sıra, iletken elektromanyetik emisyonların sınırları arasında düşük frekanslı harmonikler ve yüksek frekanslı (150 kHz ile 108 MHz arasındaki) emisyonlar da bulunmaktadır. Guo ve diğ. (2018), EAŞİ altyapılarını planlamayı amaçlayan bir çalışma yapmıştır. THD, ortalama şarj mesafesi ve yük tahmini kriterleri ile dağıtılmış Şİ'leri modeli oluşturulmuştur. Bu model ile EAŞİ'lerin etkilerini azaltacak şekilde Şİ'ler konumlandırılmıştır.

Sonali ve diğ. (2022), EAŞİ'lerin yük miktarının fazla olması günümüzde ve gelecekte sayılarının yüksek çoğalma göstereceği motivasyonu ile elektrik şebekesi üzerine etkileri araştırılmıştır. EAŞİ'lerin oluşturduğu harmonik akımdan kaynaklanan güç kalitesi sorunları ve ısınma ile ilgili endişeler detaylı bir şekilde analiz edilmiştir. Basta ve Morsi (2021) EAŞİ'lerin EŞ'de oluşturduğu düşük ve yüksek dereceli harmonikleri incelemiştir. Araştırma DCHŞİ EŞ üzerindeki harmonik etkilerine odaklanmıştır. Farklı EAŞİ üreticilerinin cihazları farklı harmonikler ürettiği gösterilmiştir. Sonuç olarak EAŞİ cihazlarının tümünün yüksek oranda harmonik ürettiği vurgulanmıştır.

Ahmad ve diğ. (2022), sera gazı emisyonları ve fosil yakıtların tükenecek olması nedeniyle EA'lara yönelimin hızla arttığı vurgulanarak EAŞİ'lerin kurulum lokasyonları optimize edilmesi için çalışılmıştır. EA maliyeti, kötü şebeke altyapısı, EAŞİ şarj ücretleri gibi kriterler ile çalışma yapılmıştır. Bu çalışmada ayrıca EAŞİ kurulum lokasyonlarının uygun tespiti için optimizasyon teknikleri incelenmiştir. EAŞİ'lerin dağıtım şebekesi üzerine olan etkileri, çevresel etkileri ve ekonomik etkileri analiz edilmiştir.

Khalid ve diğ. (2019), DC şarj cihazlarında kullanılan yüksek frekanslı güç elektroniği anahtarlar elemanları nedeniyle elektrik şebekelerinin güç kalitesindeki olumsuz etkiler IEEE-519 standardına göre incelenmiştir. Bu cihazların EŞ'ye harmonik

ileteceği söylenmiş ve bu durumun dağıtım transformatörlerinin elektriksel ve termal olarak aşırı yükleneyeceği belirtilmiştir. Khan ve diğ. (2019), DCHŞİ'lerin elektrik şebekesine entegrasyonunda ortaya çıkacak harmonik etkilere odaklanan bir çalışma yapmıştır. Harmonik etkileri azaltmak ve elektrik şebekesinin güç kalitesini iyileştirmek, dağıtım transformatörlerinin elektriksel ve termal ısınmalarına neden olan harmoniklerin etkilerini düşürmek için bir EAŞİ modeli tasarlanmıştır.

Serradilla ve diğ. (2017), EA'ların şarj istasyonu türlerinden hızlı şarj cihazlarının altyapısını yatırım olarak incelemiştir. Yapılan çalışmada gerçek maliyet verileri kullanılarak HŞİ yatırımcılarının, yatırımlarının ilk 10 yılı içerisinde %3.3 fiyat artışı ile elektrik satışı kazancı elde edebilecekleri söylenmiştir. Çalışmada yatırımcıların mod 3 ve mod 4 şarj cihazları için yapılacak yatırımlarının faydalı olacağı sonucuna varılmıştır.

Chen ve diğ. (2020), Birleşik Krallık 'da sera gazı emisyonunu düşürmek için büyük önem taşıdığını söylenen EA'ların kullanımını teşvik etmek için EAŞİ altyapısı geliştirilmesi üzerine çalışılmıştır. Birleşik Krallık'daki EA gelişimi, devlet destekleri, EAŞİ ekipmanlarının standartları incelenmiştir. Ayrıca Şİ topolojileri de çalışmada açıklanmıştır. Şİ altyapılarının yönetimi için farklı modeller geliştirilerek sunulmuştur.

Kim ve diğ. (2017), araç kullanıcı tercihlerini araştırmıştır. EA kullanımına yönelimde araç menzilin etkisi incelenmiştir. Çalışmada sunulan ekonometrik modelde araştırmacılar, EA'ların pazardaki payının araç menzili, içten yanmalı motorlara sahip araçlara göre fiyatları ve otomotiv pazarındaki mevcut model sayısı ile ilişkisinin olduğunu vurgulamaktadır. Sonuç olarak EA'ların piyasada yaygınlaşmasını sağlamak için devletlerin EA'ların mezilini yükseltmek için daha fazla kaynak ve teşvik sağlamaları gerekliliğini savunmaktadır.

Wu ve diğ. (2015), EA'ların enerji tüketimi araştırılmıştır. Çalışmada bir EA veri toplama sistemi geliştirilerek araca montajı yapılmıştır. Bu sayede EA'dan veriler toplanarak kaydedilmiştir. EA enerji tüketim tahmin modeli geliştirilmiştir. Geliştirilen modelin çalışma doğruluğu, EA'dan toplanan verileri ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma yapılırken, geliştirilen modelin EA'nın anlık güç tüketim tahmininin doğruluğu ve yapılacak bir yolculuğun enerji tüketim tahmininin doğruluğu olmak üzere iki ana soru üzerine odaklanılmıştır. Sonuç olarak oluşturulan modelin performansının yüksek olduğu belirtilmiştir.

Robinson ve diğ. (2014), EA'ların kullanımının teşvik edilmesi için EAŞİ'lerin kurumlarının genişletilmesi gerektiği söylenmektedir. Bunun için EAŞİ'lerin

otoparklara yerleşimi önerilmiş ve yatırımcıların güneş enerjisinden elektrik üretimi yapan santrallerle birlikte EAŞİ kurulumu yapmaları gerektiği vurgulanmıştır.

Fan ve diğ. (2019), EAŞİ'lerinin çalışma durumlarına göre fiyatları optimizasyonu sağlayan çevrimiçi bir algoritma geliştirmiştir. Buna göre EA kullanıcılarının hızlı şarj süresi ve düşük maliyet istekleri olacağı varsayımından yola çıkarak çevrimiçi algoritma oluşturulmuş ve çevrimiçi bir fiyatlandırma modeli uygulanmıştır. Bu sayede kullanıcıları arasında şarj işlemleri konusunda eşitlik sağlama, maliyetleri en aza indirme ve kullanıcıların esnekliklerine göre indirim sağlanması şeklindeki uygulamalar ile fayda sağlanacağı sonucuna varılmıştır.

Housseini ve Sarder (2019), EAŞİ kurulum lokasyonlarının en uygun şekilde belirlenmesi için Bayes ağ modeli önermişlerdir. Saha yerleşim analizleri üç farklı senaryo ile tanımlanmıştır. Araştırmacılar ilk olarak dört farklı yerleşim önerisi yapmıştır. Oluşturulan ağ modeli ile bunlar arasında iki durum seçilmiştir. Seçilen lokasyonlar yine teknik kriterler, çevresel etkiler, ekonomik faktörler ve sosyal kriterler göz önüne alınarak bir alternatif konum seçilmiştir. Yapılan çalışma neticesinde EAŞİ kurulum lokasyon tercihlerinin en büyük etkiye sahip tercih sebebinin teknik kriterler, en düşük etkiye sahip tercih sebebinin ise çevresel kriterler olduğu belirtilmektedir. Sun ve diğ. (2018), çalışmalarında araştırmacılar araç kullanıcılarının seyahatlerdeki davranışlarını temel alarak EAŞİ kurulum konumlarını öneren bir model geliştirmişlerdir. Bu modelde uzun yolculuklar ve kısa yolculuklar açısından genel bir değerlendirme yapılmıştır. Araştırma sonucunda seyahat mesafelerinin ve yerleştirme kapasitelerinin EAŞİ optimum lokasyon belirlemede nihai kararları etkilediği belirtilmiştir.

Yuan ve diğ. (2018), EA'ların yaygınlaştığı ve EAŞİ'lerin yoğun olduğu durumlar göz önüne alınarak şarj noktalarında oluşabilecek kalabalığı azaltmak için uygun fiyat teşvikleriyle EA kullanıcılarını yönlendirmeyi amaçlayan bir şarj stratejisi önermektedir. İki farklı senaryo oluşturulmuştur. İlk senaryoda gerçek zamanlı etkileşim söz konusudur. Buna etkileşime dayalı bir ücret oluşturma sistemi tasarlanmıştır. İkinci yaklaşımda ise başlangıç-varış noktası analizi yapılarak EAŞİ dinamik kalabalığını simüle etmek için bir yığın kuyruk modeli oluşturulmuştur. Burada EA kullanıcısı fiyat teşviki ile şarj kalabalığı olmayan lokasyonlardaki cihazlara yönlendirmek hedeflenmiştir.

Machura ve Li (2019), EA kablosuz şarj teknolojisine hakkında detaylı bir araştırma yapmışlardır. Kablosuz şarj teknolojisinin sağlık ve güvenlik etkilerini, yayınlanan standartları, kablosuz şarj işleminin gelecekteki konumunu ve ekonomik yönünü ele almaktadır. Çalışma sonucunda EA'ların kablosuz şarjının yüksek hızda güç

aktarımının zamanlaması problemi, cihaz başına en fazla bir EA'nın şarj edilebilmesi, şebeke etkileri, şarj cihazının ömrünün kısalığı ve gerçek dünyada dayanıklılık problemi olacağı, kurulum maliyetlerinin oldukça yüksek olması, kablosuz şarj teknolojisi kurulum yapıldığı ve şarj edebildiği konumlardan EA'ların sapması durumunda şarj işleminin yapılamayacağı gibi çeşitli dezavantajlara sahip olduğu söylenmektedir. Bunun yanında çeşitli faydaları da çalışmada verilmiştir.

Fethabadi (2017) tarafından yapılan çalışmada güneş ve rüzgar enerjisinden elektrik enerjisi üreten santrallerle destekli ve elektrik şebekesine bağlı EAŞİ uygulamaları çalışılmıştır. Bu sayede şebekeye bağlı yenilenebilir enerji kaynaklı Şİ'lerinin yük dengesini sağladığı vurgulanmıştır.

Wang ve diğ. (2021) tarafından yapılan çalışmada DCHŞİ'lerin kurulumundaki kısıtlamaların büyük şarj altyapıları ve bu cihazların elektrik şebekesindeki olumsuz etkileri olduğu vurgulanmıştır. Bu motivasyonla ilgili standartlar incelenmiş, sorunlar açıklanarak çözüm önerileri sunulmuştur. Voltaj kararlılığını sağlamak için EA kullanıcılarının belirli saatlerde şarj işlemlerini yapmalarının teşvik edilmesi önerilmiştir. Ayrıca DCHŞİ'lerin elektrik şebeke gerilimi üzerindeki etkileri azaltmak için cihazın çıkış gücünü şebeke durumuna göre değiştirmesi önerilmiştir.

Rajendran ve diğ. (2021) tarafından yapılan çalışmada EAŞİ donanımları ve standartlar incelenmiştir. AC ve DC şarj istasyonlarının kurulumu, maliyetleri ve kullanıcı tercihleri araştırmaların yapılmış ve şarj süresi tarafından bakıldığında DC şarj istasyonlarının tercih edilebileceği söylenmiştir. Maliyetler olarak ise AC cihazlar avantajlı olduğu belirtilmiştir. EA şarj güvenliği, Şİ'lerinin şebekeye olan etkileri hakkındaki standartlar incelenmiştir.

Domínguez-Navarro ve diğ. (2019) çalışmalarında EAŞİ'lerinin enerji alış ve satışı üzerine odaklanmışlardır. EAŞİ tasarımı yapılmış ve çalışma prensibi detaylı olarak açıklanmıştır. Teknik kriterler ve ekonomik faktörler kriterleri ile genetik algoritma kullanılarak EAŞİ tasarımı optimize edilmiştir. Simülasyonu yapılan üç durum neticesinde EAŞİ yatırımlarının karlı olabileceği sonucuna varılmıştır. Ek olarak yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik üretim santralleri kurularak karlılık oranının artırılabilirliği söylenmektedir. İlk yatırımların yüksekliğinin teknolojik gelişmelerin devam etmesiyle azalacağı düşünülmektedir.

Parker ve diğ. (2021) tarafından yapılan çalışmada EA'nın ekonomik olup olmadığı konusu tartışılmıştır. Maliyetler açısından içten yanmalı motorlu araçlarla kıyaslanmıştır. Kullanım süreleri, maliyetler ve sürüş mesafelerine göre belli bir bölgede

araç kullanıcılarının %17 si için ekonomik olabileceği belirtilmiş. Ancak şehir merkezi dışındaki bölgelerde ekonomik olabileceği anlatılmıştır.

Khandelwal ve diğ. (2023) tarafından yapılan çalışmada EAŞİ'lerin entegrasyonu sonucunda elektrik dağıtım şebekelerinin performansının iyileştirilmesi araştırılmıştır. Çalışmada, Orta Amerika'da 240 baralı elektrik şebekesi için 3000 EA'nın elektrik şebekesine olan etkileri, yük profili bozulmaları, hat kayıpları ve voltaj profili incelenmiştir. Batarya şarj durumu tabanlı EA şarj stratejileri önerilmiştir.

Fernandez ve diğ. (2011) çalışmasında, EA'ların içten yanmalı motora sahip araçlara göre avantajları ortaya konulmuştur. EA'ların şebekedeki farklı penetrasyonlarında enerji kayıpları incelenmiştir. Sonuçlar, şarj stratejilerine bağlı olarak yatırım maliyetlerinin, toplam dağıtım ağı yatırım maliyetinin %15'ine kadar çıkabileceğini ve enerji kayıplarının, toplam araçların %60'ının EA olduğu bir senaryoda düşük talep saatlerinde %40'a kadar artabileceğini ortaya koymaktadır. Paunili ve diğ. (2018), EA gelişiminin dağıtım şebekesine etkileri, şebeke istikrarı ve işletilmesi konusu araştırılmıştır.

Ruan ve diğ. (2020), EA şarjının etkilerini azaltmak ve EA kullanıcılarının gerçek şarj taleplerine göre şarj programını optimize etmek için bir çalışma yapılmıştır. Çalışma içerisinde iki seviyeli bir optimizasyon yöntemi önerilmiştir. Yüksek seviyeli optimizasyon, konut alanlarının seyahat alışkanlıkları ve tipik şarj senaryoları temel alınarak her zaman diliminde optimal şarj gücünü modelleyip çözen ve bu doğrultuda optimal şarj güç dağılım eğrisini sağlayan bir strateji sunmaktadır. Düşük seviyeli optimizasyon ise EV durumu bilgilerine göre şarj aciliyetini değerlendirerek güç dağılım eğrisiyle entegre edilir, böylece konut kullanıcılarına günlük şarj işlemlerini düzenli bir şekilde gerçekleştirmelerine rehberlik eder. Belirli bir hücre için tipik günlük yük verileri ve EV şarj özelliklerini kullanarak yapılan örnek simulasyon sonuçları, bu stratejinin yük dalgalanmalarını etkili bir şekilde kontrol edebildiğini, aynı zamanda kullanıcı ihtiyaçlarına daha etkili bir şekilde yanıt verebildiğini ve maliyeti azaltabildiğini göstermektedir.

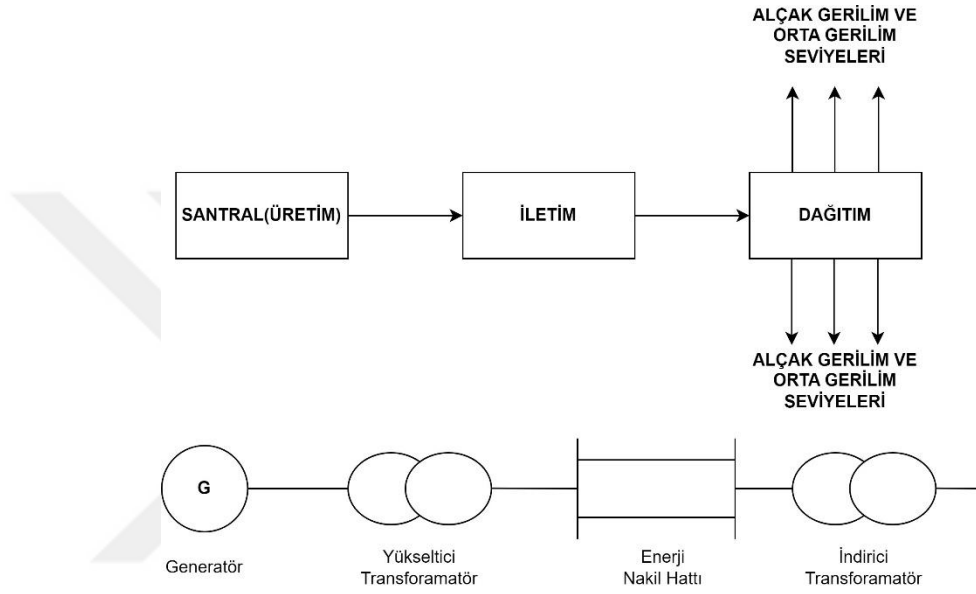
Cao ve diğ. (2012) yapılan çalışmada, EA kullanımının gelecekte beklenen büyük çaplı kullanımının şebekeye etkilerinin yoğun ve aralıklı şarj davranışları nedeniyle enerji arz kapasitesinde sorunlar ortaya çıktı söylenmiştir. Bu motivasyonla, EAŞİ şarj yüklerini optimize etmek amacıyla bir model önerilmiştir. Öncelikle, optimize edilmiş bir şarj modeli geliştirilerek şarj maliyeti en aza indirilmeye çalışılmaktadır. Ardından, EV bataryasının şarj gücü ile şarj durumu arasındaki ilişkiyi dikkate alan sezgisel bir yöntem

kullanılarak şarj maliyeti minimize edilmektedir. Son aşamada ise farklı zaman aralıklarında tipik ve optimize edilmiş şarj desenlerinin şarj maliyeti ve enerji talebi üzerindeki etkileri karşılaştırılmaktadır. Çalışma sonucunda şarj davranışlarının günlük yük periyotlarında uygun şekilde dağıtıldığında maliyetlerin azaltılabildiği ve yük eğrilerinin düzeltilmesinde fayda sağlandığı gösterilmiştir.

Tez çalışmasında literatürdeki verilerden de faydalanılarak farklı yaklaşımlar sunulmuştur. Farklı büyüklükteki elektrik şebekelerinde farklı modlardaki EAŞİ'lerin neden olduğu etkiler gerçek veriler ile desteklenerek gösterilmiştir. Ayrıca yapay zekâ destekli tahminler kullanılarak şebekelerde ortaya çıkan olumsuz etkilere, elektrik şebekesinin dayanma sınırları belirlenmiştir. Standartlarda belirtilen ve EA sektöründe kullanılan farklı modlardaki EAŞİ'lerin mod 4 grubundakilerin THD etkileri ve şebeke etki analizlerine odaklanılırken, uygulaması ve saha kurulumu gerçekleştirilerek analiz edilen mod 3 cihazların ise toplu yükler ile şebekeye olan etkileri çalışma içerisinde verilmiştir. Ayrıca sektörel gerçek veriler kullanılarak literatürdeki maliyet analizleri için kullanılan çeşitli denklemler ve kavramlar geliştirilmiştir. Çok yönlü, gerçeğe yakınlığı çok daha fazla ve detayları arttırılan denklemler ortaya konularak maliyet analizler yapılmış ve bu analizler kullanılarak yine yapay zekâ destekli gelecek kazanç tahminleri ile geri ödeme süreleri belirlenmiştir. Tüm bu çalışmaların sonuçları ile hem literatüre hem de ilgili sektörler, yatırımcılar, yatırım planlayıcıları ve politika üreticilerine destek sağlanmıştır.

3. ELEKTRİK ŞEBEKELERİ VE GÜÇ TEST SİSTEMLERİ

Elektrik enerjisi üretim santrallerinde üretildikten sonra tüketim bölgelerine iletim ve dağıtım hatlarıyla taşınmaktadır. Elektrik şebeke (EŞ) sistemi genel bir altyapı sistemine verilen isimdir. Bu sistem kendi içerisinde bölümlere ayrılmıştır. Bu ayrım hem bakım hem de işletme olarak da yapılmış ve kurumlara ayrılarak sorumluluklar paylaştırılmıştır. Elektrik enerji sistemi basitçe Şekil 3.1’de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Elektrik enerji sistemi

Şekil 3.1’de görüldüğü gibi elektrik enerji sistemi üretim, iletim ve dağıtım olmak üzere üç ana bölümden oluşmaktadır. Bu bölümler Elektrik Kuvvetli Akım Tesisleri Yönetmeliği’nde de bu şekilde tanımlanmaktadır. Santral, elektrik enerjisinin üretildiği yeri tanımlamaktadır. İletim şebekesi, İletim hattı, belirli coğrafi bölgelerde üretimi mümkün olan enerji kaynaklarına dayalı olarak organize edilen ve enerjinin en üst düzeyde toplandığı ağ şebekesinin bir parçasını oluşturan, kablo ve/veya hava hatları şebekelerini içeren bir altyapıdır. Bu hatlar, yerel koşullara bağlı olarak üretilen enerjiyi etkin bir şekilde tüketicilere iletmeyi amaçlayan kısımdır. Dağıtım hattı ise, iletim hattı üzerinden taşınan enerjinin, belirli bir bölgeden tüketicilere kadar olan kesimde etkin bir şekilde dağıtımını gerçekleştiren şebekedir. Burada iletim hattının tanımındaki ağ şebeke, enerji üretim santrallerinin birbirleri ile bağlantısını sağlayan enterkonnekte şebeke olarak da bilinen kısımdır. Dağıtım hattı, iletim hattına indirici transformatörler üzerinden bağlanmaktadır. Alçak gerilim (AG) ve orta gerilim (OG) gerilim seviyelerinde

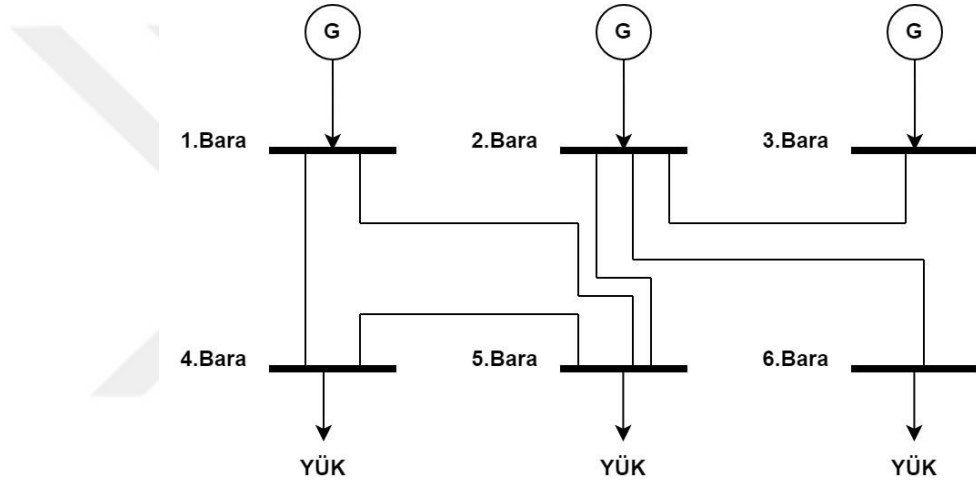
olabilmektedir. Ülkemizdeki orta gerilim seviyesi 34,5 kV kullanılmaktadır. Alçak gerilim seviyesi ise 0,4 kV olarak belirlenmiştir. Üretim, iletim ve dağıtım sırasıyla Elektrik Üretim Anonim Şirketi (EÜAŞ), Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi (TEİAŞ) ve Türkiye Elektrik Dağıtım Anonim Şirketi (TEDAŞ) olmak üzere işlevleri ve sorumlulukları bakımından ayırım yapılarak kontrol edilmektedir.

Elektrik enerjisi tüketen cihazlar dağıtım hatları üzerinden elektrik şebekesinden enerji almaktadır. Yüklerin çeşitlerine göre elektrik şebekesi üzerinde bazı olumsuz etkiler meydana gelmektedir. Bu olumsuz etkiler; güç faktörü sorunları, gerilim dalgalanmaları, akım dalgalanmaları, yük dengesizlikleri, harmonik bozulmalar ve ısı artışları şeklinde söylenebilir. Hâlihazırda elektrik şebekelerinin beslediği yüklerden kaynaklı oluşan bu etkiler, gelişen teknolojinin beraberinde getirdiği yeni enerji tüketen cihazların da şebekeye etkileri olacaktır. Bu etkileri analiz etmek ve mevcut şebekeleri geleceğe hazırlamak, altyapıları geliştirmek, enerji arz güvenliğini sağlamak çok önemlidir. Bunun için bu tezde farklı büyüklükteki elektrik şebekeleri incelenmiştir. Yüklerin etkilerinin analiz edildiği bu şebekeler Institute of Engineers and Everyone Else (IEEE) güç test sistemleridir. Bu test sistemleri IEEE tarafından verilen elektrik şebeke verilerinden oluşmaktadır. Güç sistemlerinde gerçekleşen olayların ve sorunların modellenmesi ve simülasyonu, özellikle laboratuvar ortamlarında maliyetli ve pratik olmayan olasılıklardan biridir. Referans güç sistemleri, farklı test senaryolarının uygulanmasına ve sistem davranışının incelenmesine yönelik uygulamalı test ve simülasyonlara olanak tanımaktadır. IEEE'nin oluşturduğu referans güç sistemleri, araştırmacılar, mühendisler ve öğrenciler için bir platform sağlar. Bu sistemler, güç sistemleri analizi, kontrol stratejileri, enerji yönetimi, koruma sistemleri gibi birçok alanda yapılan araştırmalar için bir temel oluşturur. Ayrıca, yeni teknolojilerin ve yöntemlerin test edilmesine ve geliştirilmesine olanak tanımaktadır. Bu tez çalışmasındaki şebeke analizleri IEEE 6 baralı, IEEE 14 baralı ve IEEE 30 baralı güç test sistemleri modelleri üzerinden yapılmıştır (Olcay ve Çetinkaya, 2023). Bölüm 3.1, 3.2 ve 3.3 de bu şebeke test modelleri anlatılmıştır. Modelde de bu şekilde kullanılmıştır. "Per Unit" (pu), bir ölçüm veya değeri standart bir referans değeriyle karşılaştırmak için kullanılan bir normalleştirme birimidir. Elektrik mühendisliği ve enerji sistemlerinde yaygın olarak kullanılır. Bu normalizasyon, farklı büyüklükteki değerleri karşılaştırmayı ve analiz etmeyi kolaylaştırır. "Per Unit" ifadesi, bir değer belirlili bir referans değerine (baz değer) bölünerek ifade edildiği bir oranı temsil eder. Sistemdeki gerçek değerleri

elde edebilmek için de bu baz değerler bilgisine ihtiyaç vardır. Baz değerler olarak S_{load} 100 MVA, V_{base} 230 kV ve Z_{base} 529 ohm olarak kullanılmıştır.

3.1. IEEE 6 Baralı Şebeke Modeli

IEEE güç test sistemleri sistemi 1961 Aralık ayı tarihinde Amerikan Elektrik Güç Sistemi'nin bir bölümünü temsil etmektedir. IEEE 6 baralı güç sisteminde 6 ana düğümden oluşmaktadır. 3 adet jeneratör ve 3 adet yük barası bulunmaktadır. Bu şebeke sistemi farklı türde ve büyüklükte yükleri simgeler. Bu yükler, güç sistemlerinde gerçekte bulunan endüstriyel, ticari veya evsel yükleri temsil edebilir.



Şekil 3.2. IEEE 6-Baralı test sistemi tek hat şeması

Test elektrik şebekesi için literatürde veriler paylaşılmıştır. Bu veriler hat empedansları, enerji üretim değerleri ve yük değerleridir. IEEE 6-baralı şebeke için bara gerilimleri, yükler ve enerji üretim verileri per-unit (p.u.) cinsinden değerleri Çizelge 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3.1. IEEE 6-baralı test sistemi bara gerilimi, yükler ve enerji üretimi

Bara Numarası	Bara Tipi	Bara Voltajı(p.u.)	Üretim		Yükler	
			MW(p.u.)	MVAr(p.u.)	MW(p.u.)	MVAr(p.u.)
1	Salınım	1.05	-	-	-	-
2	Gerilim Kontrollü	-	1.2	0.05	-	-
3	Gerilim Kontrollü	-	1.2	0.05	-	-
4		-	-	-	1.4	0.05
5		-	-	-	0.8	0.03
6		-	-	-	0.7	0.02

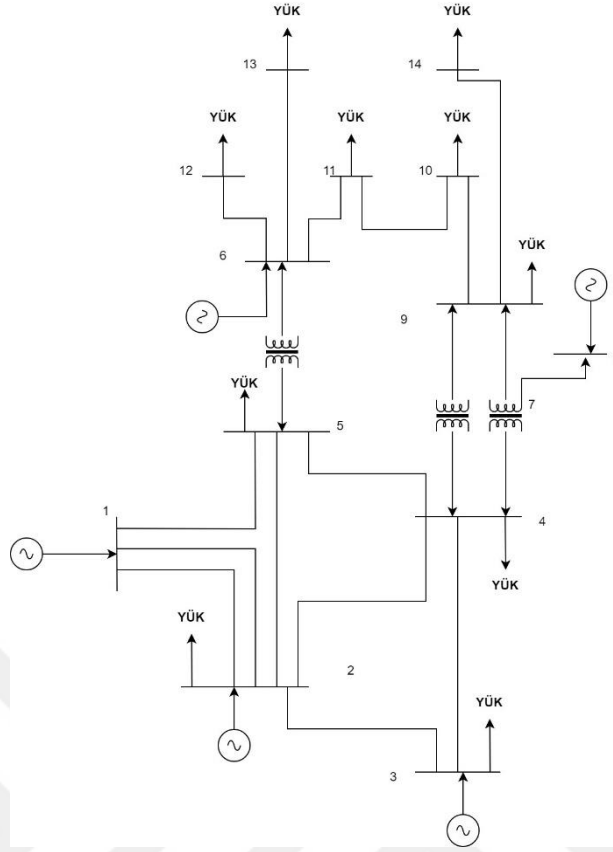
IEEE 6-baralı test şebekesinin modelinin oluşturulması için hat değerlerine de ihtiyaç vardır. Hat değerleri Çizelge 3.2’de gösterilmiştir. Değerler p.u. olarak verilmiştir.

Çizelge 3.2. IEEE 6-baralı hat değerleri (p.u)

İletim hatları	R(rezistans)	X(endüktans)	B(süseptans)
1-2	0.1	0.2	0.04
1-4	0.05	0.2	0.04
1-5	0.08	0.3	0.06
2-3	0.05	0.25	0.06
2-4	0.05	0.1	0.02
2-5	0.1	0.3	0.04
2-6	0.07	0.2	0.05
3-5	0.12	0.26	0.05
3-6	0.02	0.1	0.02
4-5	0.2	0.4	0.08
5-6	0.1	0.3	0.06

3.2. IEEE 14 Baralı Şebeke Modeli

Bu test şebekesi 14 adet baradan oluşmaktadır. Bu aralardan 5 tanesi üretim barası ve diğer 11 adet bara ise yük baralarıdır. IEEE 14-baralı test şebekesinin en önemli özelliği hat sınırlarının olmamasıdır. Bu, sistemin gerilim, akım veya diğer parametreler açısından belirli limitlere bağlı olmadığı anlamına gelir. Gerçek dünya uygulamalarında, enerji iletim hatları veya transformatörler belirli gerilim ve akım sınırlarına tabidir, ancak bu test sistemi için böyle bir sınırlama yapılmamıştır. Sistem, düşük taban gerilimlere sahiptir. Bu da, sistemin belirli bir düğüm veya bölge üzerindeki gerilim seviyelerinin genellikle düşük olduğu anlamına gelir. Düşük taban gerilimler, güç sistemlerindeki gerilim profillerini ve davranışlarını incelemek için kullanışlı olabilmektedir. Ayrıca test sistemi aşırı gerilim kontrol kapasitesine sahiptir. Yani sistemin aşırı gerilim durumlarını düzeltebilme veya kontrol edebilme yeteneğini ifade eder. Böylece 14 baralı şebekenin gerilim düzenleme stratejilerini ve bu tür durumlarla başa çıkma yeteneklerini test etmek amacıyla kullanılabilir olduğu anlamına gelir. IEEE 14-baralı test şebekesi Şekil 3.3’de gösterilmiştir.



Şekil 3.3. IEEE 14-Baralı test sistemi tek hat şeması

Test elektrik şebekesi için literatürde veriler paylaşılmıştır. Bu veriler hat empedansları, enerji üretim değerleri ve yük değerleridir. IEEE 14-baralı şebeke için bara gerilimleri, yükler ve enerji üretim verileri per-unit (p.u.) cinsinden değerleri Çizelge 3.3’de verilmiştir.

Çizelge 3.3. IEEE 14-baralı test sistemi bara gerilimi, yükler ve enerji üretimi

Bara Numarası	Bara Voltajı(p.u.)	Üretim		Yükler	
		MW(p.u.)	MVAr(p.u.)	MW(p.u.)	MVAr(p.u.)
1	1.06	-	-	-	-
2	-	-0.4	0.5	0.217	0.217
3	-	0	0.4	0.942	0.191
4	-	-	-	0.478	-0.039
5	-	-	-	0.076	0.016
6	-	-0.06	0.24	0.112	0.075
7	-	-	-	0	0
8	-	-0.06	0.24	0	0
9	-	-	-	0.295	0.166
10	-	-	-	0.09	0.166
11	-	-	-	0.035	0.018
12	-	-	-	0.061	0.016
13	-	-	-	0.135	0.058
14	-	-	-	0.149	0.050

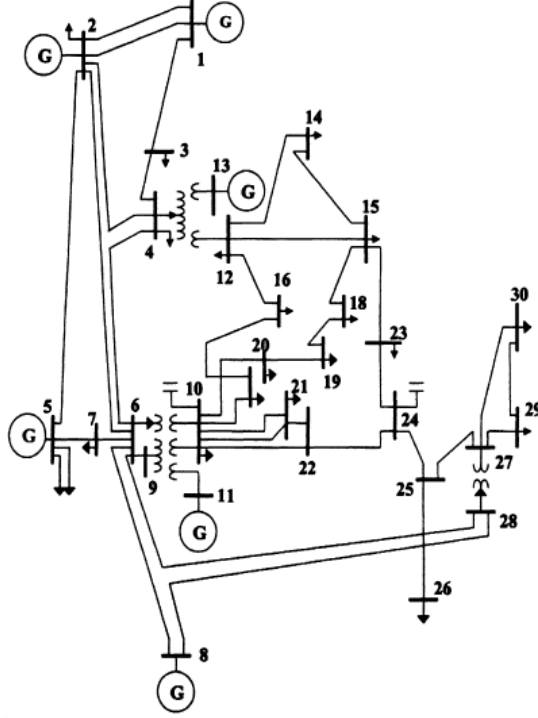
IEEE 14-baralı test şebekesinin modelinin oluşturulması için hat değerlerine de ihtiyaç vardır. Hat değerleri Çizelge 3.4’de gösterilmiştir. Değerler p.u. olarak verilmiştir.

Çizelge 3.4. IEEE 14-baralı hat değerleri (p.u)

İletim hatları	R(rezistans)	X(endüktans)	B(süseptans)
1-2	0.01938	0.05917	0.0528
1-5	0.05403	0.22304	0.0492
2-3	0.04699	0.19797	0.0438
2-4	0.05811	0.17632	0.034
2-5	0.05695	0.17388	0.0346
3-4	0.06701	0.17103	0.0128
4-5	0.013350	0.04211	0
4-7	0	0.20912	0
4-9	0	0.55618	0
5-6	0	0.25202	0
6-11	0.09498	0.1989	0
6-12	0.12291	0.25581	0
6-13	0.06615	0.13027	0
7-8	0	0.17615	0
7-9	0	0.11001	0
9-10	0.03181	0.0845	0
9-14	0.12711	0.27038	0
10-11	0.08205	0.19207	0
12-13	0.22095	0.19988	0
13-14	0.17093	0.34802	0

3.3. IEEE 30 Baralı Şebeke Modeli

IEEE 30 baralı test sisteminde altı generatör ve yirmi bir adet yük barası bulunmaktadır. Birinci bara salınım barası, diğer generatör bulunan baralar ise gerilim kontrollü baralardır. Bu test şebekesinin tek hat şeması Şekil 3.4’de gösterilmiştir.



Şekil 3.4. IEEE 30-Baralı test sistemi tek hat şeması

Test elektrik şebekesi için literatürde veriler paylaşılmıştır. Bu veriler hat empedansları, enerji üretim değerleri ve yük değerleridir. IEEE 30-baralı şebeke için bara gerilimleri, yükler ve enerji üretim verileri per-unit (p.u.) cinsinden değerleri Çizelge 3.5’de verilmiştir.

Çizelge 3.5. IEEE 30-baralı test sistemi bara gerilimi, yükler ve enerji üretimi

Bara Numarası	Bara Voltajı(p.u.)	Üretim		Yükler	
		MW(p.u.)	MVAr(p.u.)	MW(p.u.)	MVAr(p.u.)
1	1.06	-	-	-	-
2	-	0.8	0.3	0.217	0.127
3	-	-	-	0.024	0.012
4	-	-	-	0.076	0.016
5	-	0.5	0.2	0.942	0.19
6	-	-	-	0	0
7	-	-	-	0.228	0.109
8	-	0.2	0.2	0.3	0.3
9	-	-	-	0	0
10	-	-	-	0.058	0.02
11	-	0.2	0.4	0	0
12	-	-	-	0.112	0.075
13	-	0.2	0.4	0	0
14	-	-	-	0.062	0.016
15	-	-	-	0.082	0.025
16	-	-	-	0.035	0.018
17	-	-	-	0.09	0.058
18	-	-	-	0.032	0.009

19	-	-	-	0.095	0.034
20	-	-	-	0.022	0.007
21	-	-	-	0.175	0.112
22	-	-	-	0	0
23	-	-	-	0.032	0.016
24	-	-	-	0.087	0.067
25	-	-	-	0	0
26	-	-	-	0.035	0.023
27	-	-	-	0	0
28	-	-	-	0	0
29	-	-	-	0.024	0.009
30	-	-	-	0.106	0.019

IEEE 30-baralı test şebekesinin modelinin oluşturulması için hat değerlerine de ihtiyaç vardır. Hat değerleri Çizelge 3.6’da gösterilmiştir. Değerler p.u. olarak verilmiştir.

Çizelge 3.6. IEEE 30-baralı hat değerleri (p.u)

İletim hatları	R(rezistans)	X(endüktans)	B(süseptans)
1-2	0,0192	0,0575	0,0528
1-3	0,0452	0,1652	0,0408
2-4	0,057	0,1737	0,0368
2-5	0,0472	0,1983	0,0418
2-6	0,0581	0,1763	0,0374
3-4	0,0132	0,0379	0,0084
4-6	0,0119	0,0414	0,009
4-12	0	0,256	0
5-7	0,046	0,116	0,0204
6-7	0,0267	0,082	0,017
6-8	0,012	0,042	0,09
6-9	0	0,208	0
6-10	0	0,556	0
6-28	0,0169	0,0599	0,013
8-28	0,0636	0,2	0,0428
9-10	0	0,11	0
9-11	0	0,208	0
10-17	0,0324	0,0845	0
10-20	0,0936	0,209	0
10-21	0,0348	0,0749	0
10-22	0,0727	0,1499	0
12-13	0	0,14	0
12-14	0,1231	0,2559	0
12-15	0,0662	0,1304	0
12-16	0,0945	0,1987	0
14-15	0,221	0,1997	0
15-18	0,1073	0,2185	0
15-23	0,1	0,202	0
16-17	0,0524	0,1923	0
18-19	0,0639	0,1292	0
19-20	0,034	0,068	0

21-22	0,0116	0,0236	0
22-24	0,115	0,179	0
23-24	0,132	0,27	0
24-25	0,1885	0,3292	0
25-26	0,2544	0,38	0
25-27	0,1093	0,2087	0
27-28	0	0,396	0
27-29	0,2198	0,4153	0
27-30	0,3202	0,6027	0
29-30	0,2399	0,4533	0

IEEE 30-baralı test şebeke sisteminde hat sınırlaması yoktur. Bu durum, sistemde gerilim, akım veya diğer parametrelerin belirli sınırlamalara bağlı olmadığı anlamına gelir. Genellikle gerçek dünya uygulamalarında, enerji iletim hatları veya transformatörler belirli gerilim ve akım limitlerine tabidir, fakat bu test sistemi için bu tür bir sınırlama öngörülmemiştir.

Bu tez çalışmasında da gerekli modelleme IEEE'nin örnekleri üzerinden çalışılmıştır.

4. ELEKTRİKLİ ARAÇ ŞARJ İSTASYONLARI

Elektrik enerjisi tüm sektörler için ana hammaddelerden biri haline gelmiştir. İnsanlık da birçok temel ihtiyacını elektrik enerjisi sayesinde karşılamaktadır. Bu nedenle enerji hayati bir öneme sahiptir. Fosil yakıtlarla üretilen elektrik enerjisi, üretim kaynaklarından dolayı CO₂ emisyonuna da neden olmaktadır. Ayrıca yeni rezerv bulunamaması ve daha verimli ve elektrik üretiminde fosil yakıtların kaynak olarak kullanılmasına devam edilmesi durumunda bu santrallerde yapılan üretim tehlikeye girecektir. Çünkü fosil yakıtlar sınırlı rezervlere sahiptir ve tükenecektir. Çizelge 4.1’de elektrik kurulu gücü ve kaynaklara göre elektrik enerjisi üretim miktarları gösterilmiştir (EPDK Sektör Raporu, 2023) .

Çizelge 4.1. Türkiye 2022-2023 Temmuz kaynaklara göre elektrik enerjisi kurulu güç ve üretim miktarı

Kaynak Türleri	Toplam Kurulu Güç (MW)		Toplam Üretim (MWh)	
	2023 Temmuz	Oran (%)	2023 Ocak- Temmuz	Oran (%)
Hidrolik	31,591.94	30.05	39,669,180.68	21.52
Rüzgâr	11,579.85	11.01	18,799,462.31	10.20
Güneş	10,397.76	9.89	10,964,466.03	5.95
Biyokütle	2,039.61	1.94	5,559,723.31	3.02
Jeotermal	1,691.39	1.61	6,457,582.95	3.50
YENİLENEBİLİR TOPLAM	57,300.55	54.50	81,450,415.27	44.20
Doğal gaz	25,759.40	24.50	37,534,944.71	20.37
İthal kömür	10,373.80	9.87	38,636,589.07	20.96
Linyit	10,187.52	9.69	23,380,630.69	12.69
Taş kömürü	840.77	0.80	2,026,169.20	1.10
Asfaltit	405	0.39	885,530.87	0.48
Fuel oil	260.13	0.25	382,812.84	0.21
Nafta	4.74	0.00	0.00	0.00
LNG	1.95	0.00	0.00	0.00
Motorin	1.04	0.00	0.00	0.00
TERMİK TOPLAM	47,834.35	45.50	102,846,677.38	55.80
TOPLAM	105,134.90	100.00	184,297,092.66	100.00

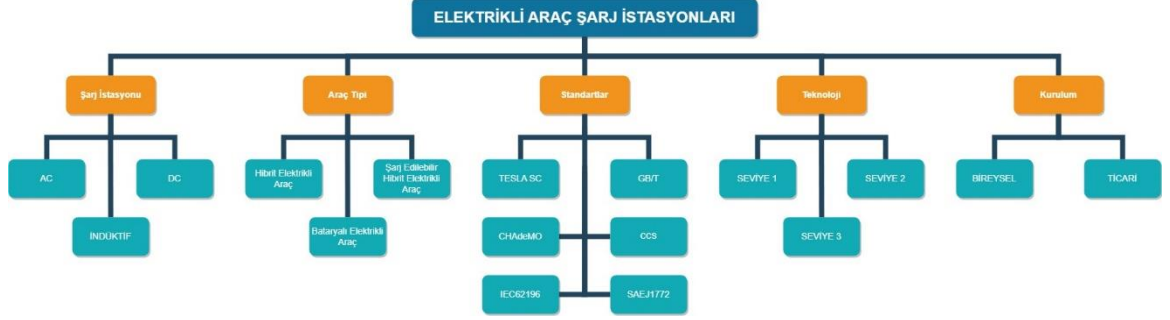
Çizelge 4.1’de görüldüğü gibi elektrik enerji üretiminde lisanslı ve lisanssız üretimler hariç kurulu gücün %45.5’i fosil yakıtlardan karşılanmaktadır. Temmuz 2023 için üretime bakıldığında toplam enerji üretiminin %55.8’i fosil yakıtlardan üretilmiştir. Mevcut elektrik tüketen yüklere ek olarak elektrikli araçların da yaygınlaşması enerji tüketimini hızlı bir şekilde arttıracaktır. Sektör raporlarına ve son yıllardaki elektrikli araç satışlarına bakıldığında elektrikli araçların (EA) gün geçtikçe yaygınlaşacağını kaçınılmaz olduğu görülmektedir. Fosil yakıtların bilinen sorunlarından dolayı otomotiv sektöründe de alternatif yakıtlar aranmış ve özellikle son yıllarda elektrikli araçlar büyük

önem kazanmıştır. Elektrikli araçların ulaşım alanının fosil yakıtlardan kaynaklı olan sorunları ortadan kaldıracığı öngörülmektedir. Fakat, bu araçlara elektrik enerjisi sağlamak, batarya dolum noktaları oluşturmak, şebeke ve altyapı sistemlerini revize etmek gibi büyük sorunlar ortaya çıkmaktadır (Huld ve diğ., 2012). EA'ların üretimi ve kullanımlarının artmasıyla ulaşım sektöründen kaynaklı sera gazı emisyonları da azalacaktır (Özcan ve Öztürk, 2015). Avrupa Otomobil Üreticileri Derneği (ACEA) 2022 ilerleme raporuna göre Avrupa'da elektrikli araç kaydı 2017 yılında 168.901 iken 2021 yılında 1.744.520 adede ulaşmıştır. Ayrıca Avrupa Birliği'nde 2021 yılında yeni tescillenen araçların %18'ini EA'ların oluşturduğu ve bu da satılan her yeni aracın beş tanesinden birinin EV olduğu anlamına gelmektedir (Erdoğan, 2020). Bu da EA'ların ne kadar hızlı yaygınlaştığının ve yakın gelecekte çok daha fazla sayıda kullanılacağına açık göstergesidir. EA kullanımının bu kadar hızlı artması şarj istasyonu ihtiyacının ve sayısının da hızla artacağını göstermektedir. Elektrikli araç şarj istasyonları (EAŞİ), günümüzde sürdürülebilir ulaşımın temel taşlarından biri olarak önem kazanmıştır. Hızla gelişen teknoloji ve çevresel duyarlılık, benzin ve dizel araçlardan elektrikli araçlara doğru bir kayışı tetiklemiştir. Bu kayış, elektrikli araçlar için gerekli altyapının oluşturulmasını zorunlu kılmış ve bu noktada elektrikli araç şarj istasyonları büyük bir öneme sahip olmuştur. Elektrikli araçların yaygınlaşması ve günlük yaşamın ayrılmaz bir parçası haline gelmesi, şarj istasyonlarının da daha erişilebilir ve verimli hale gelmesini sağlamıştır. EV çevre faktörü, ekonomik faydaları ve sosyal etkiler gibi nedenlerden dolayı yakın gelecekte sayılarının çok hızlı şekilde arttıracaktır. Uluslararası Enerji Ajansı (IEA)'nın raporlarına bakıldığında EV, 2025 yılında 70 milyon satışa ulaşması beklenmektedir (Sun ve diğ., 2018; Yuan ve diğ., 2018; Machura ve Li., 2019; Bryden ve diğ., 2018; Fathabadi, 2017). Bu bölümde, elektrikli araç şarj istasyonlarının evrimi, işleyişi ve günümüzdeki tipleri üzerine bir bakış sunulacaktır.

4.1. Şarj Yöntemleri ve Güç Seviyeleri

EA teknolojisi geliştikçe ve yaygınlaştıkça EAŞİ sayısı da artmaktadır. EA tercihinin artması için de en önemli sorunlardan biri şarj teknolojisidir. Bunun başında da şarj süresi gelmektedir. EA'ları şarj etmek için farklı yöntemler bulunmaktadır. Bunların her biri için şarj sürelerinin farklı olduğu söylenebilir. Aynı zamanda şarj teknolojisi alanında çeşitli standartlar da oluşturulmuştur. Tasarımlar ve üretimler bu standartlara

göre yapılmaktadır. Şekil 4.1’de EAŞİ için farklı açılardan sınıflandırma ve market bölümlendirmesi gösterilmiştir.

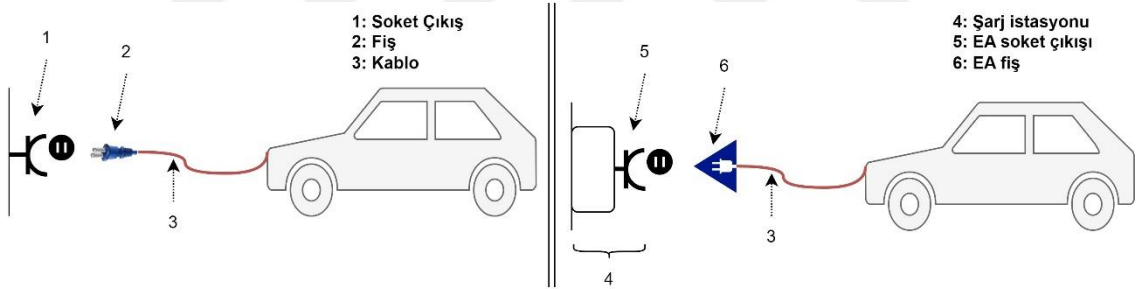


Şekil 4.1. EAŞİ sınıflandırması

Şarj istasyonlarının şarj akımlarına veya şekillerine bakıldığında alternatif akım (AC), doğru akım (DC) ve indüktif olarak şarj seçenekleri olduğu görülmektedir. Araç tiplerine göre bakıldığında EAŞİ kullanan araçlar hibrit EA’ların şarj edilebilir olanları ve tamamen elektrik ile çalışan bataryalı elektrikli araçlardır. Tüm EAŞİ’ler ülkelere göre değişen standartlara göre imal edilmektedirler. Bu standartlar şarj istasyonlarının tüm parçalarını, koruma devre elemanlarını, çalışma karakteristiklerini ve şartlarını olmak üzere tüm detayları tanımlayan standartlardır. Tesla, kendi özel şarj ağına sahiptir. Bu şarj ağı, sadece Tesla marka araçların kullanımına yöneliktir. Dünya genelindeki birçok ülkede, özellikle Amerika, Avrupa, Asya ve diğer pazarlarda Tesla araçlarının yaygın olarak kullanıldığı bölgelerde vardır. GB/T, Çin’de geliştirilen bir şarj standartıdır. GB/T, Çin’de elektrikli araç şarj altyapısının bir parçasıdır. CHAdeMO, Japonya’da geliştirilen bir hızlı şarj standartıdır. Özellikle Asya, Avrupa ve Kuzey Amerika’da birçok hızlı şarj istasyonu CHAdeMO standartlarını destekler. CCS (Combined Charging System), AC ve DC şarjı destekleyen bir standarttır ve birçok araç üreticisi tarafından benimsenmiştir. Avrupa, Kuzey Amerika ve diğer birçok bölgede yaygın olarak kullanılmaktadır. IEC 61851, elektrikli araçların şarj edilmesi için genel gereksinimleri belirlerken, IEC 62196, elektrikli araç konnektör standartlarını belirler. Uluslararası Elektroteknik Komisyonu (IEC) standartları olduğu için dünya genelinde kullanılmaktadır. SAEJ1772, Amerika Birleşik Devletleri’nde geliştirilen bir standarttır. SAE J1772, AC şarj bağlantısı için kullanılır. Her bir standart, kendi coğrafi bölgelerinde ve belirli elektrikli araç üreticileri tarafından desteklenmektedir. Elektrikli araç endüstrisindeki standartlar ve kullanım durumları sürekli olarak evrimleşse de, genel olarak standartlar arasında uyumluluk ve benzerlik aranmaktadır. Seviye 1 EAŞİ bireysel kullanımlar için uygun olup ev tipidir.

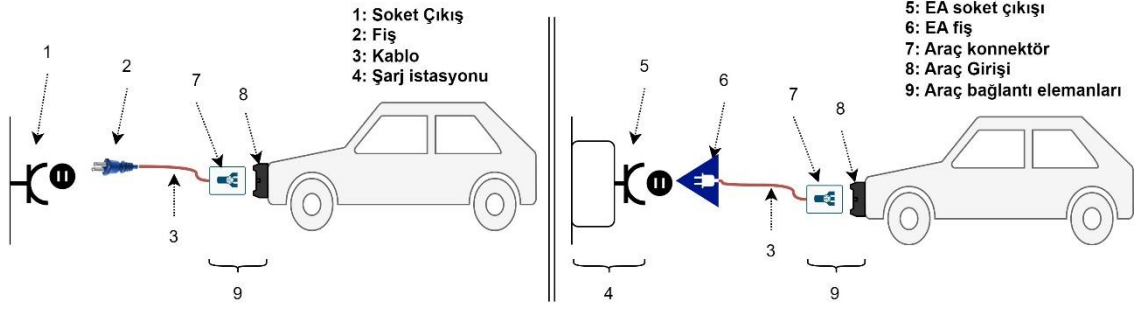
Ticari uygulamalarda Seviye 2 ve seviye 3 şarj istasyonları kullanılmaktadır. Seviye 1 ve seviye 2 şarj istasyonları doğrudan AC dağıtım hattına bağlı iken seviye 3 şarj istasyonları içerisinde DC dönüşüm yaparak araca enerji sağlamaktadır (Rajendran ve diğ., 2021; Huang ve diğ., 2016; Metais ve diğ., 2022). Son olarak şarj istasyonları kurulum veya kullanım tipi bakımından bireysel ve ticari kullanım olarak iki alt başlığa ayrılabilirler. Bireysel kullanım, EA sahiplerinin kendi öz ihtiyaçları için EAŞİ kurulumu yaptırarak şarj işlemlerini gerçekleştirmeleri anlamına gelmektedir. Ticari kullanım ise, ülkemizde son zamanlarda oldukça popülerlik kazanan bir girişim olan şarj ağı işletmeciliği lisansı alan firmaların bu lisans altında EAŞİ kurulumu yaparak EA kullanıcılarının bu istasyonlarda araçlarını şarj ederek ödeme yapması ile kazanç sağlayan yapıdır.

Literatürde ve standartlarda EA şarj edilmesi üç farklı durum ile gösterilmiştir. Bunlar durum 1, durum 2 ve durum 3 olarak gösterilecektir. Durum 1’de EA, elektrik şebekesine sürekli olarak bağlı durumda olan bir priz üzerinden şarj edilmesi senaryosudur. Bu şekilde şarj edilme durumunda herhangi bir kontrolcü ara eleman bulunmamaktadır. Tavsiye edilen bir durum değildir. Şekil 4.2’de gösterilmiştir.



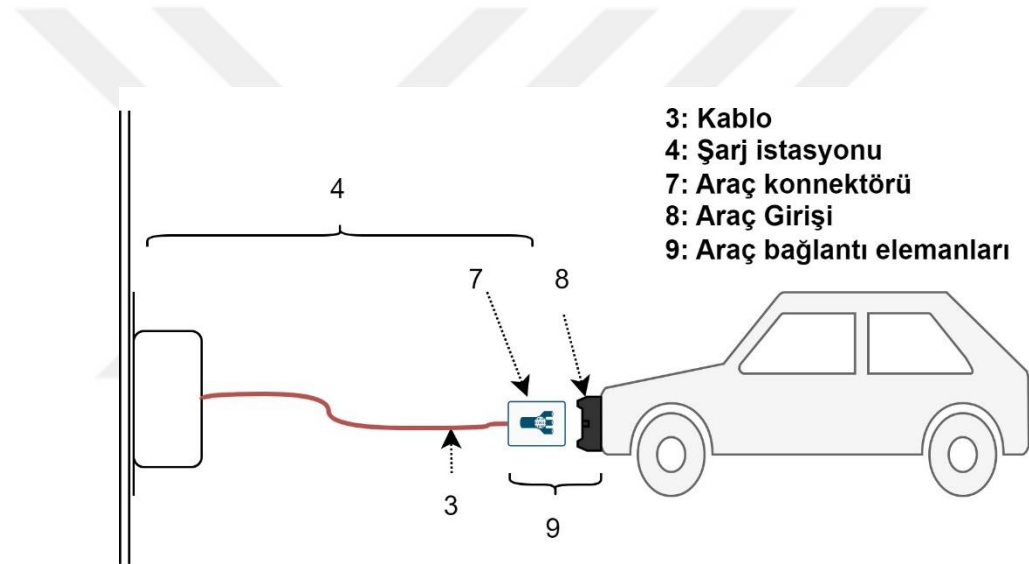
Şekil 4.2. EAŞİ şarj senaryosu durum 1

Şarj noktası tarafından ve EA bağlantısı tarafından yani her iki uçtan da sökülüp takılabilen bir iletken (uygun kesitte ve izolasyonda) ile şarj işlemi yapılması senaryosu durum 2 olarak belirlenmiştir. Bu senaryoda EA ile şarj noktası arasında bir kontrolcü bulunmaktadır. Ekipman olarak düşük maliyetli bir şarj etme yöntemidir. Şekil 4.3’de gösterilmiştir.



Şekil 4.3. EAŞİ şarj senaryosu durum 2

Son olarak, durum 3’de EA kalıcı olarak kendine irtibatı bulunan bir konnektör ile şarj işlemi yapan EAŞİ ile şarj edilmektedir. Üç durum içerisinde en güvenli, verimli ve hızlı çözümdür. Diğer durumlara göre maliyeti daha fazla olmakla birlikte tercih edilebilir düzeyde kalmaktadır. Şekil 4.4’de durum 3 olarak gösterilmiştir.



Şekil 4.4. EAŞİ şarj senaryosu durum 3

EAŞİ’ler AC ve DC modlar olarak kendi içlerinde mod 1, mod 2, mod 3 ve mod 4 olmak üzere dört farklı moda ayrılmaktadırlar. Bu grupta mod 1-3 AC EAŞİ’ler ile alakalı iken mod 4 ise DC EAŞİ’ler için tanımlanmaktadır.

Mod 1 AC şarj istasyonları, herhangi bir farklı ekipman olman EA’ların direk olarak tesisattaki prize bağlanması yöntemidir. Bu mod için literatürde belirli kısıtlamalar yapılmıştır. Akım kısıtlamalarına bakıldığında IEC 61851 standardında üç fazlı ve tek fazlı iki farklı uygulama için de 16 A olarak görülmektedir. Voltaj kısıtlaması ise tek fazlı uygulamalarında 250 V, üç fazlı uygulamalarında ise 480 V olarak belirtilmektedir. Mod

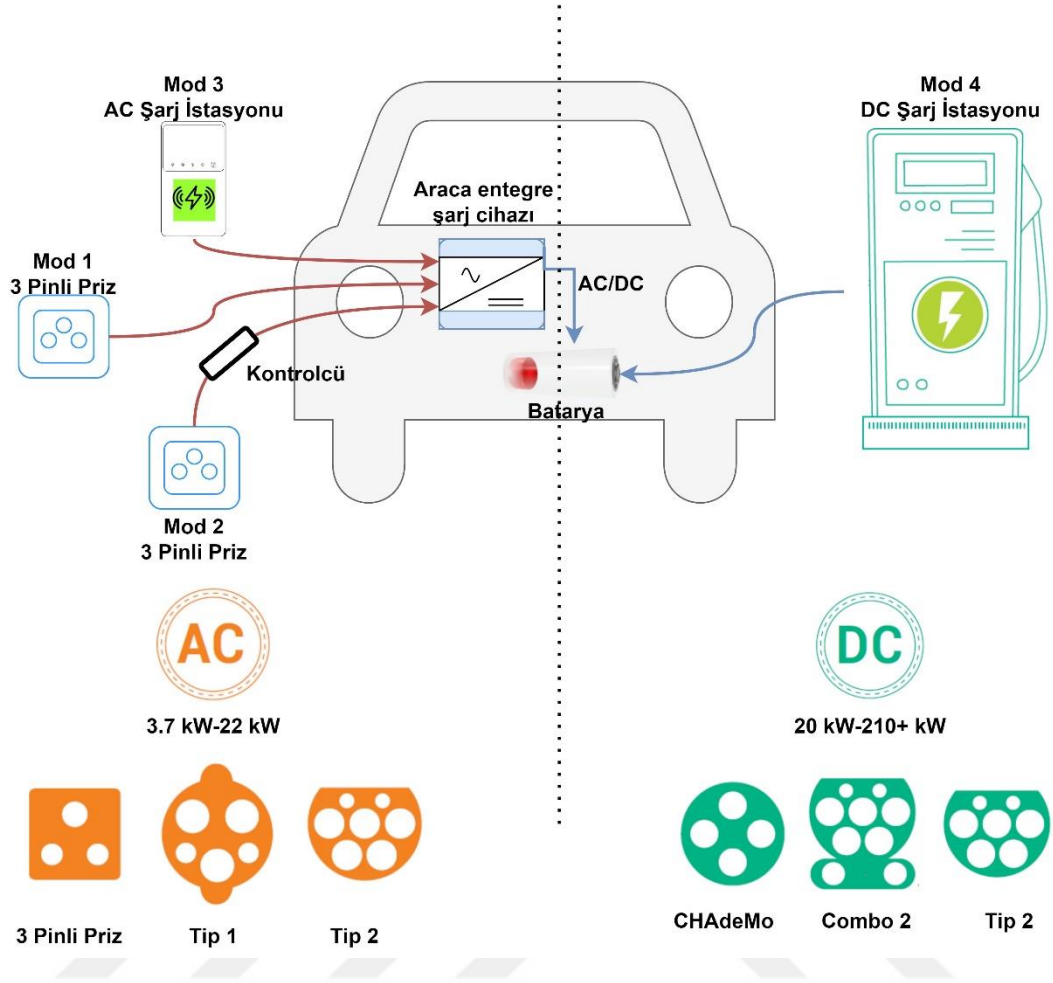
1 Amerika ve Birleşik Krallık gibi bazı ülkelerde kullanımı yasaklanmış, bazı ülkelerde ise kamuya açık alanlarda kullanımı yasaklanmıştır.

Mod 2 AC şarj istasyonları, Mod 1'e göre daha çok tercih edilen ve daha güvenli sistemlerdir. Bu modda EA'lar AC şebekeye bağlı standart bir priz ile şarj edilmektedir. Bu modda EA ve EAŞİ arasında bir kontrolcü vardır. Şarj kablosu ve enerji besleme noktası arasına bir koruma devre elemanı konulmuştur. Bu da elektrik çarpmasına karşı güvenlik sağlamaktadır. Tek fazlı AC uygulamalar için 32 A, 250 V ve üç fazlı AC uygulamaları için ise yine 32 A ve 480 kısıtlaması vardır. Amerika ve Kanada gibi bazı ülkelerde kullanımı kısıtlanmış, İtalya gibi bazı ülkelerde ise kamusal alanlarda kullanımı yasaklanmıştır.

Mod 3 AC şarj metodu ise, AC besleme ile çalışan, kablosu ve soketi ile birlikte sabit şekilde kullanılan şarj cihazı olan sistemlerdir. Bu sistemde EA ve EAŞİ bir kontrol protokolü ile haberleşmekte ve sistem güvenli çalışmaktadır. Cihaz topraklaması da ayrı şekilde yapılmaktadır. Cihaz içerisinde koruyucu devre elemanları ve acil durdurma butonu bulunmaktadır. Ticari ve bireysel kurulumları yapılabilmektedir.

Mod 4 şarj yöntemi ise DC cihazlar ile şarj yapılmayı kapsamaktadır. Bu modda EA, DC enerji ile şarj edilmektedir. Bunun için kullanılan EAŞİ cihazı AC veya DC besleme üzerinden enerji almaktadır.

Yukarıda anlatılan tüm modlar ve EAŞİ için farklı standartlarda kullanılan soketler ile AC veya DC olarak şarj eden istasyonlar Şekil 4.5'de gösterilmiştir.



Şekil 4.5. EAŞİ modları ile farklı standartlara göre güç ve soket tipleri

Tip 1 ve Tip 2 soketleri elektrikli araç şarj sistemlerinde kullanılan iki farklı bağlantı standardını temsil eder. Her standart, farklı coğrafyalarda ve araç üreticileri tarafından tercih edilir. Tip 1, özellikle Kuzey Amerika'da yaygın olarak kullanılan bir bağlantı standardıdır. J1772 standartlarına dayanır. Kuzey Amerika'da (ABD ve Kanada) popülerdir ve Asya'da da bazı bölgelerde kullanılmaktadır. Tip 2, özellikle Avrupa'da ve diğer birçok ülkede kullanılan bir bağlantı standardıdır. IEC 62196-2 standartlarına dayanır. Avrupa'da yaygın olarak kullanılır, ancak dünya genelinde birçok ülkede tercih edilmektedir. Hangi soketin tercih edildiği, genellikle coğrafi konum ve yerel düzenlemelere bağlıdır. Avrupa'da genel olarak Tip 2 tercih edilirken, Kuzey Amerika'da Tip1 daha yaygındır. Ancak, birçok modern elektrikli araç, hem Tip 1 hem de Tip 2 bağlantılarına uyumlu olarak üretilmektedir, böylece farklı pazarlarda kullanılabilir. Tip 2, özellikle Avrupa'da AC şarj bağlantısı için yaygın olarak kullanılan bir standarttır. DC şarj için de kullanılabilir, ancak genellikle CCS Combo 2 tercih edilmektedir. Elektrikli araç kullanıcıları ve şarj altyapı sağlayıcıları, standartların

benimsenme durumunu ve uyumlu şarj istasyonlarını göz önünde bulundurarak seçim yapmaktadır. CHAdeMO, Combo 2 (veya CCS Combo 2) ve Tip 2 (IEC 62196) elektrikli araç şarj bağlantı standartları, farklı coğrafi bölgelerde ve araç üreticileri arasında kullanılan üç farklı şarj protokolünü temsil eder. CHAdeMO, Japon Elektrikli Taşımacılık Standardı tarafından geliştirilmiş bir DC hızlı şarj standardıdır. CHAdeMO, genellikle Japon ve bazı Asya pazarlarında yaygındır. Combo 2, Combined Charging System'in bir parçasıdır ve hem AC şarj hem de DC hızlı şarjı destekleyen bir standarttır. CCS, bir Tip 2 konnektörü üzerine entegre edilmiş ek iki DC şarj pimine sahiptir. CCS Combo 2, özellikle Avrupa ve Kuzey Amerika'da tercih edilen bir standarttır. Birçok Avrupa ve Amerikan otomobil üreticisi, CCS Combo 2'yi benimsemektedir.

4.2. EAŞİ Kurulum Çeşitleri

EAŞİ'ler esasen kullanım temelinde ikiye ayrılmaktadır. Bunlar bireysel ve ticari kurulumlardır. Bireysel kurulum, EA kullanıcılarının tercihlerine göre EAŞİ güç ve tipleri belirlenmektedir. Kullanıcı şarj süresi, EAŞİ kurulum noktası altyapısı, maliyet gibi unsurları göz önüne alarak kendi tercihini yapmaktadır. Bireysel kullanımlar için herhangi bir lisans işlemi veya ücreti söz konusu değildir. EA kullanıcısı, kurulum yapılacak lokasyona göre EAŞİ seçimi yapması gerekmektedir. Yani seçimde elektrik altyapısı göz önünde bulundurulmalıdır. Günümüzde en çok tercih edilen bireysel cihazlar 3 fazlı altyapıya sahip lokasyonlarda mod 3 tip 2 ve 22 kW, tek fazlı elektrik altyapısına sahip lokasyonlarda ise 7,4 kW gücünde olan AC EAŞİ'lerdir. Bu cihazlar için maksimum çıkış akımı 32 A'dır. Tercih sebeplerine bakıldığında lokasyonun elektrik altyapısı, maliyet, kurulum kolaylığı, kullanım kolaylığı ve şarj süresinin mod 1 ve mod 2 ye göre daha hızlı olması söylenebilir. Ayrıca hem cihazı hem de kullanıcıları aşırı akımlara ve kaçak akımlara karşı korumak için devre elemanları da cihazlar içerisinde ve kurulumda mevcut elektrik altyapısına entegre edilmektedir. Buradaki kullanıcı tercihini kısıtlayan elektrik altyapısı elbette istenildiği takdirde revize edilebilir. Bunun için çeşitli işlemlerin yapılması gerekmektedir. Öncelikle EAŞİ kurulumu yapılacak lokasyona ait kurulu güç öğrenilmelidir. Bu değer, lokasyona ait elektrik aboneliği ve faturasında belirtilmektedir. Kurulu gücün şarj istasyonu tüketimini karşılayamaması durumunda mevcut elektrik projelerinde tadilat yapılması gerekmektedir. Tadilat ile yeni hazırlanacak projede EAŞİ'nin gücü de projelere eklenerek bu haliyle yeni kurulu güç belirlenerek yapı bağlantı hattının uygunluğu ve mevcut elektrik altyapısı uygunluğu

kontrol edilerek yeniden değerlendirilecektir. Yeniden hazırlanan proje ilgili elektrik dağıtım firmasına onaya sunulacaktır. Dağıtım firması on beş gün içerisinde projeyi inceleyerek projeyi uygun bulması durumunda onaylayarak sonraki aşamaya geçilecektir. Onaylanan proje ve dağıtım firmasından talep edilecek diğer evraklar ile enerji müsaadesi için yeni başvuru yapılarak elektrik şebekesine bağlantı şartları kontrol edilip gerekli revizeleri içeren yazı kullanıcıya verilecektir. Buna göre lokasyona ait elektrik aboneliğinin enerji alışıını sağlayan yapı bağlantı hattı ve elektrik altyapısı ile devre koruma elemanları projeye ve enerji müsaadesine uygun şekilde revize edilecektir. Bu aşamadan sonra ilgili elektrik dağıtım firmasına yeniden kabul dosyası hazırlanarak yetkili mühendislerce yerinde yapılan kontrollerden sonra işlem süreci tamamlanmış olacaktır. Tüm bu işlemler zaman alıcı ve maliyetli olduğundan EA kullanıcılarının bir kısmı da mevcut sadece mevcut elektrik altyapılarına uygun cihazları seçmektedirler. DC EAŞİ'lerin bireysel tüketimde tercih edilmemelerinin en büyük nedenlerinden biri yine bu işlemler olarak söylenebilir. Çünkü EA sektöründe kullanılan DC şarj istasyonlarının gücü 60 kW seviyesinden başlamaktadır. Bu durum da bireysel kullanıcıların altyapılarının uygunluğu çok da mümkün gözükmemektedir. Ayrıca AC şarj istasyonlar ile aralarında çok büyük maliyet farkı vardır. Cihaz maliyetinin yanı sıra altyapı revizesi maliyeti de eklenince EA kullanıcıları AC cihazları kullanmaya yönelmektedirler.

Ticari olarak EAŞİ kurulumları ise lisans işlemine tabiidir. Bu şekilde kurulum yapmak isteyen girişimciler kendi firmaları üzerinden şarj ağı işletmeciliği lisansı almak zorundadır. Bu işlemler için “Şarj Hizmetleri Yönetmeliği” dikkate alınmalıdır. Şarj ağı işletmeciliği lisansı alan firmalar EAŞİ'leri kendi ağına kaydederek EA kullanıcılarına şarj hizmeti sunmaktadırlar.

4.3. EAŞİ Saha Uygulama Örneği

Çalışmanın uygulama aşamasında 22 kW AC tip 3 fazlı bir şarj istasyonu kullanılmıştır. 22 kW istasyonun seçilmesinin nedeni EA kullanıcılarının ve birçok ticari EAŞİ girişimcisinin tercih ettiği EAŞİ tipi olmasıdır. Sektör araştırması yapıldığında 120 kW DC EAŞİ'lerin fiyatının yaklaşık %5'i kadar bir maliyeti bulunmaktadır. Gücü DC tiplere göre çok daha düşük olduğundan konutlarda da yaygın olarak kullanılmaktadır. Mevcut elektrik altyapılarına dahil etmek 22 kW cihazlar için çok daha kolaydır. Ayrıca fiyatının daha düşük olması ve mevcut altyapılara olan bağlantı kolaylığı nedeniyle sayıları çok daha hızlı artmakta ve toplu bir yük haline gelmektedir. Ticari olarak

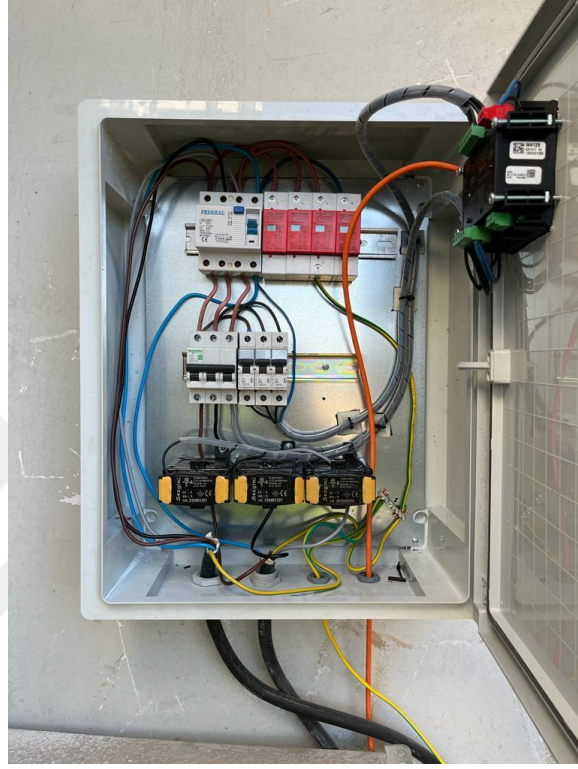
kullanılanlarda Ekim ayı verilerine göre Türkiye’de AC EAŞİ sayısı DC tiptekilerden yaklaşık 3 kat daha fazladır. Ticari olarak kullanılmayanlar da eklendiğinde büyük bir yük olarak ortaya çıkmaktadır. Bu şarj istasyonundan akım, gerilim, harmonik analiz ölçüm verileri alınmaktadır. Bunun için yapılan altyapı ve montaj çalışmaları bu bölümde anlatılmıştır. Öncelikle şarj istasyonunun mevcut elektrik sisteminden enerji alabilmesi ve hedeflenen ölçümlerin yapılabilmesi için ayrı bir pano içeriği tasarlanmıştır. Mevcut elektrik sisteminden bu panonun enerji alışı yapacağı nokta belirlenmiş ve aşırı akım devre kesici koruma elemanı üzerinden mevcut elektrik panosundan enerji alışı yapılarak şarj istasyonu panosu enerji beslemesi 4x10 mm² kablo ile yapılmıştır. Ayrıca 10 mm² tek damarlı bakır kablo ile elektrikli araç şarj istasyonu panosunun koruma topraklaması yapılarak mevcut topraklama sistemine bağlanmıştır. Mevcut elektrik sisteminden enerji alışı ve elektrikli araç şarj istasyonu panosunun montajı Şekil 4.6’da gösterilmiştir.



Şekil 4.6. Elektrikli araç şarj istasyonu panosu montaj görseli

Sac pano montajı ve mevcut sistemden enerji hattı çekildikten sonra bu panonun iç tasarımına geçilmiştir. Pano enerji girişinde her elektriksel faz için bir adet 40/5 A ve toplamda üç adet akım trafosu kullanılmıştır. Bu akım trafolarından şarj istasyonunun çekeceği akım bilgisi enerji analizörüne aktarılacaktır. Bunun için akım transformatörleri ve enerji analizörü arasındaki bağlantı da yapılmıştır. Akım transformatörlerinin içerisinden geçen iletkenler panonun ana giriş şalterine bağlanmıştır. Bu şalter ile aşırı akım koruması sağlanmış ve iletkenler koruma altına alınmıştır. Buradan sonra pano içerisinde enerji dağılımı yapılmış ve enerji analizörü elektrik beslemesi için tek fazlı devre kesicilerden üç adet kullanılarak enerji analizöründeki ilgili bağlantı noktalarına

montaj edilmiştir. Pano giriş şalterinden alınan çıkış ile üç fazlı kaçak akım koruma şalteri bağlantıları yapılmıştır. Bu sayede bu panodan beslenen veya pano metal aksamaları üzerinde oluşabilecek herhangi bir kaçak akıma karşı kullanıcı koruması sağlanmıştır. Kaçak akım koruma şalteri 30 mA seviyesinde devreyi açarak enerjiyi kesmektedir. Pano içi montajı Şekil 4.7’de gösterilmiştir.



Şekil 4.7. Elektrikli araç şarj istasyonu pano içi montaj görseli

Elektrikli araç şarj istasyonu akım, gerilim ve harmonik ölçümleri pano üzerine montajlanan enerji analizörü üzerinden sağlanacaktır. Enerji analizörünün RS485 haberleşme bağlantısı ve ethernet bağlantısı bulunmaktadır. Verilerin alınması anlık olarak uzaktan takibi ethernet bağlantısı kullanılarak yapılacaktır. Enerji analizörünün ilgili portundan alınan çıkış ile mevcut altyapıdaki data switch boş portuna bağlantı yapılması için CAT6 kablo montajı yapılarak izleme sağlanabilir. Enerji analizörü bağlantısı Şekil 4.8’de görülmektedir.



Şekil 4.8. Pano üzeri enerji analizörü montaj görseli

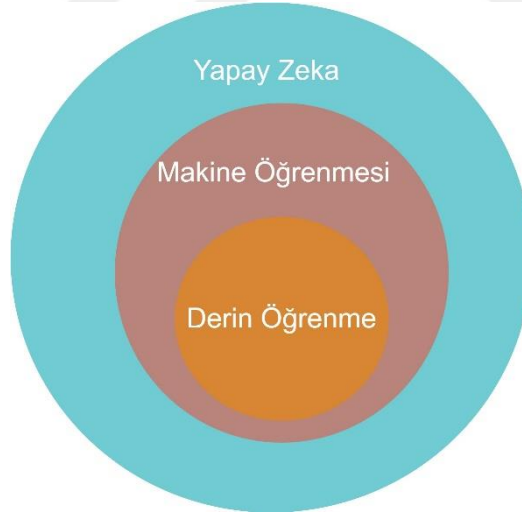
Bu aşamalardan sonra şarj istasyonu enerji kablosu seçilmiş ve enerji alışı noktasından şarj istasyonu montaj noktasına kadar yeraltı kablo kanalı açılmıştır. Bu kanal içerisine enerji kabloları plastik boru içerisinden çekilerek araç şarj istasyonu montaj noktasına kadar getirilmiştir. 4 damarlı 10 mm² enerji kablosu boru içerisinden çekilerek şarj istasyonu ile enerji aldığı elektrik panosu arası bağlantı yapılmıştır. Bu şekilde şarj istasyonu enerji hattı montajı tamamlanmıştır. Bu işlemin ardından şarj istasyonu metal gövdesi montajı gerçekleştirilmiş ve bu gövde üzerine 22 kW AC tip 2 soketli şarj istasyonu montajı yapılmıştır. Montajlanan şarj istasyonu Şekil 4.9’de görülmektedir.



Şekil 4.9. 22 kW AC tip 2 soketli şarj istasyonu montaj görseli

5. GENEL DERİN ÖĞRENME TEORİSİ

Teknolojik gelişim sürecinde bilim insanları doğadaki canlılardan ve işleyişten esinlenerek farklı algoritmalar ve modeller oluşturmuşlardır. Son zamanlarda insanın kendi öğrenme, kavrama ve problem çözme yeteneklerini makinelere aktarma konusunda çalışmalar yapılmış ve oldukça ileri seviyeye ulaşmıştır. Derin öğrenme (DÖ), makinenin karmaşık görevleri, temsilleri veya soyutlamaları daha iyi anlaması için makine öğreniminin bir alt dalıdır (Zadeh ve diğ., 2021). Makine öğrenmesi, geleneksel programlamadan farklıdır. Geleneksel programlamada, bilgisayar belirli bir görevi belirli bir algoritma üzerinden adım adım takip eder. Ancak makine öğrenmesinde, algoritma, belirli bir görevi veri üzerinde öğrenerek gerçekleştirir. Bu yaklaşım, varoluşsal gerçeklikleri daha iyi kavramak ve farklı kalıpları tanımlamak için tasarlanmıştır. Temelde, derin öğrenme, analiz ve tahminleri otomatikleştirmenin etkili bir yolunu sağlar (Joudaki ve diğ., 2020). Makine öğrenmesi de YZ'nin bir alt kümesi olarak tanımlanmaktadır. Derin öğrenme ise aslında yapay sinir ağları (YSA) kullanılarak tasarlanan bir yapay zekânın (YZ) üst katmanı olarak söylenebilir. Şekil 5.1'de YZ ve alt kümeleri gösterilmiştir.



Şekil 5.1. Yapay zekâ ve alt başlıkları

DÖ geliştirilmesi ile birlikte YZ daha hızlı bir gelişim sürecine girmiştir. Yeni versiyon olan DÖ ile daha eski MÖ kıyaslandığında DÖ modellerinin daha büyük ölçekli ve yüksek işlem gücü gereksinimi olduğu söylenmektedir (Wang ve diğ., 2020). DÖ, daha karmaşık öğrenme işlemlerini gerçekleştirmektedir ve dış müdahale ve manuel özellik seçme ihtiyaçları yerine otomatik öğrenme sürecini vurgulamaktadır. Bu hızlı

gelişim sürecinde DÖ, akademik çalışmalarda popüler hale gelmiş ve sıklıkla kullanılmaktadır. Literatüre bakıldığında EAŞİ'lerde yük algılı ve esnekliğin değerlendirilmesinde (Wang ve diğ., 2022), EAŞİ'lerde kullanımın olup olmadığının tahmin edilmesinde (Douaidi ve diğ., 2023), elektrik güç sistemlerinin analizinde (Wang ve diğ., 2020), EAŞİ'lerin enerji ihtiyaçlarının tahmini ve optimal dağıtımlarının yapılmasında (Jinil ve Reka, 2019) ve daha birçok uygulamada DÖ kullanımı oldukça yaygındır.

DÖ mimarilerinde sinir ağı kullanılmaktadır. Bu sinir ağı algoritmaları dört başlık altında anlatılabilir (Joudaki ve diğ., 2020). Bunlar denetimli öğrenme algoritması, denetimsiz öğrenme algoritması, yarı düzenleyici öğrenme algoritması ve takviyeli öğrenme algoritmasıdır. Denetimli öğrenme algoritması, girdiler ve bu girdilerin sonuçlarının analiz edilmesiyle öğrenme işlemi yapılması ve girdi ile sonuçlar arasında bir bağlantı kurulmasına dayanmaktadır. Bu algoritmada sonuç verileri ve oluşturulan modelde giriş verileri ile üretilen sonuç arasında oluşan fark, hatayı vermektedir. Bu hata ile YSA sürekli olarak kendini günceller ve hata oranı azalır. Denetimsiz sinir ağlarında ise yine giriş verileri bulunmaktadır fakat sonuç verileri çok az veya hiç yoktur. Yani hedef çıktı yoktur ve etiketlenmemiştir. Yarı düzenleyici algoritmada, denetimli ve denetimsiz algoritmanın ortasında yer almaktadır. Denetimli algoritma için giriş verilerinin etiketlenmesi gerekmektedir. Bu makine öğrenmesinde de böyledir. Fakat bu durum zor olabilmektedir. Bu durumda yarı düzenleyici öğrenme algoritması uygun çözüm olabilir. Son olarak takviyeli öğrenme algoritması ise, deneme yanılma yöntemi ile sonuç bulunmaktadır.

Sonuç olarak DÖ, büyük veri setleri ve güçlü analiz yeteneği ile tercih sebebidir. Derin öğrenmenin elektrikli araç şarj istasyonlarının elektrik şebekesine etkilerini tahmin etmek için kullanılmasının avantajları şu şekilde özetlenebilir:

- Karmaşık ve büyük veri setlerini analiz etme yeteneği oldukça yüksektir. EAŞİ'lerin elektrik şebekesine etkileri birçok değişken ve faktörden kaynaklanır. Derin öğrenme, karmaşık ilişkileri belirleme ve çözme yeteneği ile bu karmaşıklığı ele alabilir. EAŞİ'lerden elde edilecek veriler büyük miktarlarda olacaktır. Bu büyüklükteki verilerin analiz edilmesi için uygun bir algoritmadır.

- Mevcut modelleri daha da iyileştirmek ve daha hassas tahminler yapmak için kullanılabilir. Bu, enerji talepleri, şebekenin yük durumu ve diğer faktörlerle ilgili daha doğru sonuçlar elde edilmesini sağlar.
- Elektrikli araç şarj istasyonları ve şebeke etkileşimleri zaman içinde değişebilir. Derin öğrenme modelleri, zaman serileri analizi ile bu değişiklikleri anlama ve tahmin etme yeteneğine sahiptir.
- Derin öğrenme, anlık karar alma süreçlerinde etkili olabilir. Elektrik şebekelerindeki ani dalgalanmalar ve şarj istasyonlarının hızlı yanıtları, derin öğrenme modelleri tarafından ele alınabilir.
- Yenilikçi çözümler oluşturma özelliği vardır. Geleneksel yöntemlerle çözülemeyen veya görülemeyen ilişkileri keşfetme yeteneği ile yenilikçi çözümler üretebilir.
- Daha geniş kapsamlı enerji yönetimi stratejilerinin geliştirilmesine olanak tanır. Bu, şebeke yönetimi, enerji depolama sistemleri ve diğer sürdürülebilir enerji uygulamalarının daha etkili planlanmasını sağlar.
- Sistem performansını sürekli olarak değerlendirme ve iyileştirme yeteneği ile zamanla değişen şartlara uyum sağlayabilir.

Bu avantajlar, derin öğrenmenin elektrikli araç şarj istasyonları ve elektrik şebekeleri arasındaki etkileşimleri tahmin etmek ve optimize etmek için güçlü bir araç olmasını sağlar.

5.1. Genel Derin Öğrenme Teorisi Yöntemleri

Derin öğrenme yöntemleri denilince günümüzde akla birçok YSA temelli algoritma gelmektedir. Bunları şu şekilde özetleyebiliriz:

- Evrişimli Sinir Ağları (CNN): Görsel veri analizi gibi özellikle uzaysal yapıya sahip verilerle başarılıdır. Görüntü sınıflandırma, nesne tanıma, yüz tanıma gibi görevlerde yaygın olarak kullanılır.
- Tekrarlayan Sinir Ağları (RNN): Zamansal bağlantıları olan veri setleri üzerinde etkilidir. Zaman serisi analizi gibi görevlerde kullanılır.
- Uzun kısa süreli bellek (LSTM): RNN'lerin bellek problemine çözüm olarak geliştirilmiş bir türüdür. Zaman serisi verilerinde uzun vadeli bağlantıları daha etkili bir şekilde öğrenir.

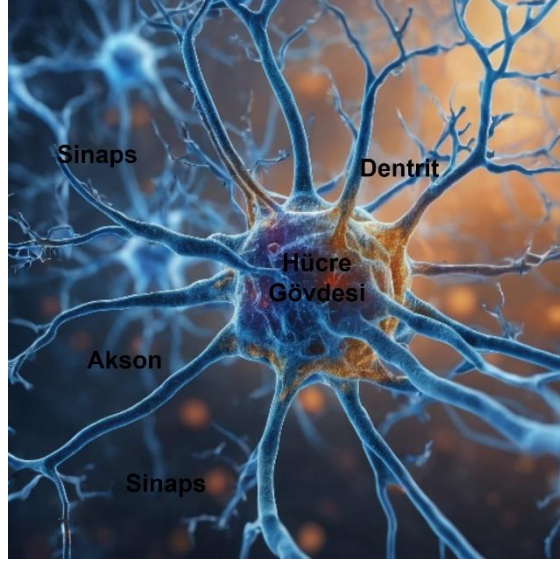
- Gelişmiş Otomatik Kodlayıcılar (VAEs): Veri setlerini sıkıştırma ve temsil etme yetenekleri üzerine odaklanır. Genellikle jeneratif modelleme ve veri üretme amacıyla kullanılır.
- Transfer Öğrenme (TL): Öğrenilmiş bilgileri bir görevden diğerine aktarma fikrine dayanır. Önceden eğitilmiş modeller, yeni görevleri daha az veri ile öğrenmekte kullanılabilir.
- Çoklu Görev Öğrenimi(MTL): Modelin birden fazla görevi aynı anda öğrenmesine izin verir. Ortak özellikleri paylaşarak daha genel ve esnek modeller elde edebilir.

YSA, DÖ'nün bir alt kategorisindedir ve DÖ'nün temel yapı taşlarından biridir. Derin öğrenme yöntemleri, genellikle daha karmaşık ve büyük veri setleri üzerinde otomatik öğrenme süreçleriyle başa çıkma amacını taşır. Tüm modellerin içeriğinde olduğu söylenebilir.

5.2. Genel Yapay Sinir Ağları Teorisi

Mühendislik alanında bir yapı veya uygulama incelenirken modellemesi yapılır ve bu model üzerinden sonuçların nasıl olacağı analiz edilir. Bu analizi en iyi insan beyninin gerçekleştirdiği söyleyebiliriz. İnsan beyninin analiz etme yönteminden etkilenecek yapay sinir ağları oluşturulmuştur. Dahası, YSA analizin başlangıcından herhangi bir kabul yapılmasını gerektirmez. İstatistik tabanlı yöntemler ile kıyaslandığında bu yöntemlerin hepsinde çeşitli kabullerin yapılması gerekmektedir. Fakat YSA'da buna ihtiyaç yoktur. Ayrıca güç sistemleri ile ilgili çalışmalara bakıldığında YSA tabanlı analizlerin yaygın olarak kullanıldığı görülmektedir (Romare ve Dahllöf, 2017; Emilsson ve Dahllöf, 2019).

YSA, insan beyninden etkilenecek oluşturulan bir algoritmadır. Biyolojik sinir sistemini taklit etme yöntemi üzerine kurulmuştur. Bir biyolojik sinir hücresi haber alma, değerlendirme ve değerlendirme sonuçlarını iletme şeklinde çalışan bir yapı gibidir. Biyolojik olarak hücrenin parçaları, sinaps (bağlantılar), giriş (dendrit), sinyalleri taşıyıcı çıkış (akson) ve sinyal değerlendirme merkezi olarak hücre gövdesinden oluşmaktadır.



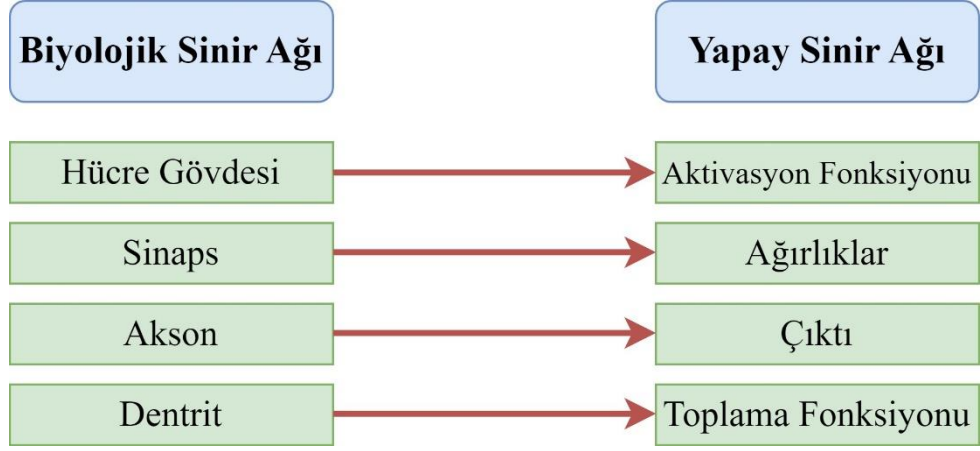
Şekil 5.2. Biyolojik sinir ağı

Şekil 5.2’ de de görüldüğü gibi bir sinir hücresinin uçlarında dentritler yani girişler vardır. Bu girişlerden vücudun çeşitli duyu organlarından veri sağlanmaktadır. Burada girişin yani dentritin görevi gelen sinyalleri hücre merkezine iletmektir. Hücre merkezinde yani çekirdekte gelen veriler değerlendirilir ve eşik değerini geçtiği anda oluşturulan çıktı aksonlar üzerinden diğer hücrelere iletilir. Bağlantılar üzerinden öğrenme ve çıkış alma düşüncesinden YSA oluşmuştur. YSA’da bu çalışma prensibinden esinlenerek oluşturulmuştur. Nöronların beyindeki çalışma şekli, ilk kez 1943’te McCulloch ve Pitts tarafından, temel bir elektrik devresi modeli kullanılarak ortaya konmuştur (McCulloch ve Pitts, 1943).

YSA’da öğrenme işlemindeki girdiler birbirine paraleldir. Bu sayede girdi verilerinin birbirinden izole yani bağımsız olması sağlanmış olur. Girdilerin bağımsızlığı ve aralarında zaman yönünden de bir bağ olmaması sayesinde tüm veriler eşzamanlı çalışabilmektedir. Sonuç olarak bu durum çalışma hızını arttıracaktır. Paralel girdilerin olmasının diğer bir avantajı ise girdilerden birinde hata oluşması sonucunda modelin tamamını etkileyecek seviyede hatalar ortaya çıkmayacaktır. Bu durum sadece girdilerin ağırlıkları üzerinde bir değişim meydana getirecektir.

YSA, sinir hücrelerindeki gibi girdi verileri ve bunların analizi şeklinde yani bir öğrenme prensibi ile çalışmaktadır. Burada eğitim sürecinde girdi verileri ile istenilen çıktı verileri elde edilirken girdilerin etkinliklerini belirlemek için ağırlıklar kullanılır ve bu ağırlıklar istenilen çıktı verilerine göre eğitilmektedir. Burada eğitim süreci tekrarlayan şekilde hedeflenen sonuca ulaşana kadar devam etmektedir. Şekil 5.3’de

biyolojik sinir sisteminden YSA'ya dönüşümde elemanların birbirine benzetimi gösterilmiştir.



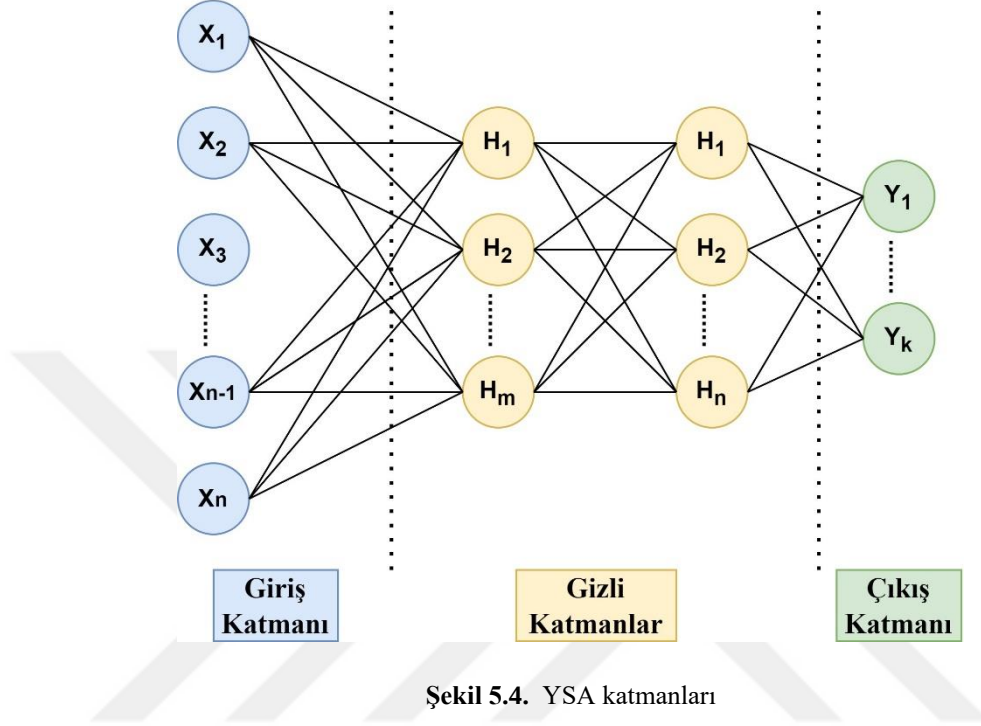
Şekil 5.3. Biyolojik sinir ağı-YSA benzetimi

5.2.1. YSA mimarisi

Bir yapay sinir ağı birçok nöronun birbiri ile bağlanması sonucu oluşmaktadır. Burada giriş verilerden çıkışa gelene kadar bir matematiksel süreç söz konusudur. Nöronlar arası iletilen veriler bu matematiksel işlemlerin sonuçlarıdır. Giriş nöronlarının her birinin önemini gösteren değerler vardır. Bunlar ile giriş verilerinin çarpımı diğer nöronlar ile birleştirilerek toplanır. Ardından bir aktivasyon fonksiyonundan geçirilir. Burada aktivasyon fonksiyonundan geçirilen genel toplam verisi normalizasyon işleminden geçirilmiş olur. Yani normalizasyon işlemi ile giriş verileri belirli bir standarda getirilerek sinir ağının öğrenimini kolaylaştırmaktadır. Normalize edilmiş verileri kullanarak farklı özellikteki giriş verilerini eşit seviyede öğrenebilir ve bu da YSA'ya daha iyi genelleme yapma imkanı tanıyabilir. Aynı zamanda normalize edilmiş verilerin kullanılması ile YSA'nın aşırı öğrenme eğilimi azaltabilir. Buradaki aşırı öğrenme kavramı makine öğreniminden gelen bir terimdir. Aşırı öğrenme, bir modelin eğitim verilerine aşırı derecede uyum sağlaması ve bu verilere özgü detayları öğrenmesi sonucu ortaya çıkar. Modelin eğitim verilerine çok iyi uyması, ancak yeni ve görülmemiş verilere genelleme yapma yeteneğinin düşük olması durumunu ifade eder. Bu aşamadan sonra tüm veriler sonraki nörona iletilmektedir. Bu işleme ise ileri besleme adı verilmektedir.

YSA katmanlardan oluşmaktadır. İleri besleme ile çalışan YSA mimarisinde ilerleme soldan sağa doğru olmaktadır. En soldaki kısım olan ve giriş verilerinin

bulunduğu nöronlara giriş katmanı, matematiksel işlemlerden sonra çıkışları veren nöronların bulunduğu en sağdaki katmana çıkış katmanı ve arada kalan nöronların bulunduğu katmanlara ise gizli katmanlar adı verilmektedir. Bu şekilde çalışan YSA Şekil 5.4’de gösterilmiştir.



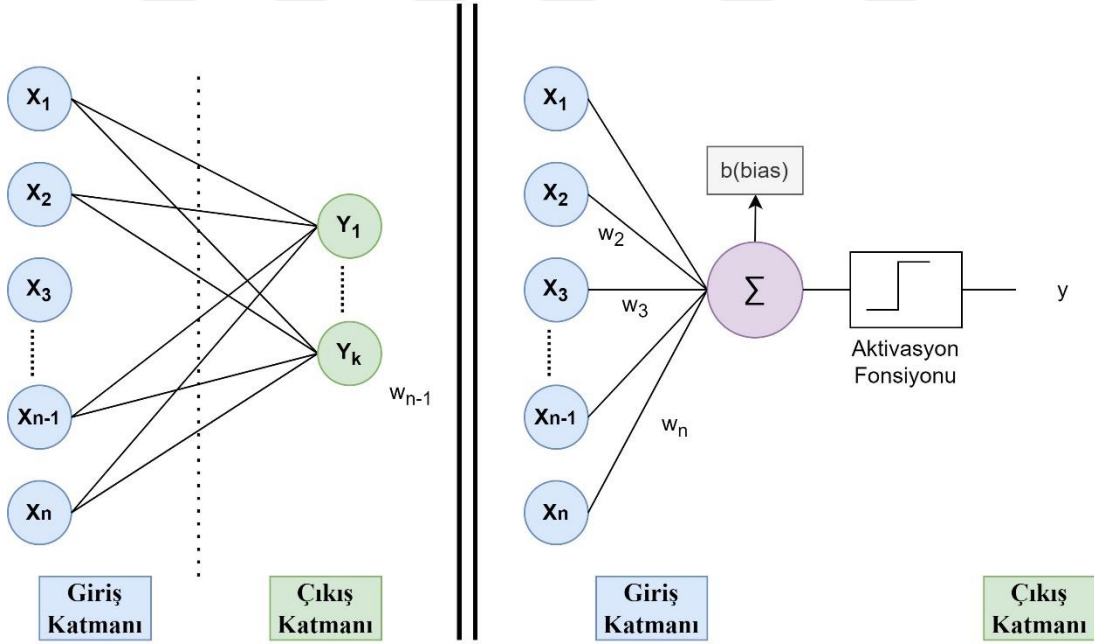
Şekil 5.4. YSA katmanları

Soldan sağa doğru bakıldığında YSA modelindeki ilk katman giriş katmanıdır. Giriş verileri bu katmanda bulunmaktadır. Bu verileri gizli katmanlardaki nöronlara ileterek ileri beslemeyi başlatır.

Gizli katmanlar giriş ve çıkış katmanları arasında kalan nöronlardır. YSA yapısına bakıldığında gizli katmanların birden fazla olduğu fakat giriş ve çıkış katmanlarının birer adet olduğu görülmektedir. Buradan anlaşılabileceği üzere giriş ve çıkış katmanları birer adet olabilir. Fakat gizli katmanlarda böyle bir şart yoktur. Sayıları bir veya birden fazla olabilmektedir. Yani gizli katmanlar giriş katmanından aldığı veriyi direk çıkış katmanına aktaracağı gibi başka bir gizli katmana da aktarabilir. Gizli katmanda sınır olmamasına rağmen belirtilmesi gerekir ki gizli katmanlardaki nöron sayısının artması buradaki işlemlerin daha uzun süreceği anlamına gelir ve öğrenme sürecini ve sonuç çıkarma sürecini yavaşlatabilir. Burada ortaya çıkan önemli konu gizli katmanlardaki nöron sayılarının belirlenmesidir. Bu durumun çözümü ise sezgisel olarak nöron sayıları belirlenebilir veya deneyerek de sonuca ulaşılabilir. Karmaşık problemlerde kullanılan YSA yapısında gizli katmanların sayısı ve buradaki nöronların sayısı fazla olacağı açıktır.

Basit uygulamalar için ise bir adet gizli katman da yeterli olabilir. Yani burada sezgisel yöntem ve deneme yanılma yöntemi ile sonuca ulaşılması gerekecektir. 5 adet gizli katmanlı 1500 nöronlu bir yapı ile bir adet gizli katmanlı ve 100 nöronlu bir uygulama aynı sonucu verebilir. Bu durumlar için gizli katman ve nöron sayısının azaltılması süreci hızlandıracaktır.

Katmanlar olarak bakıldığında YSA iki kısımda incelenebilir bunlar tek katmanlı ve çok katmanlı YSA modelleri olarak belirtilmektedir. Tek katmanlı YSA çok daha basit uygulamalarda kullanılır ve gizli katmak barındırmamaktadır. Günümüzde çok fazla tercih edilmemektedir. Tek katmanlı YSA modeli Şekil 5.5’de gösterilmiştir. Bu model basit bir uygulama için kullanılacaksa uygun bir seçim olabilir. Diğer YSA modellerine göre oldukça basit bir modeldir. İşlemler basit ve az zaman alacak şekilde tamamlanacaktır. Tek katmanlı YSA, doğrusal olarak ayrılabilen problemleri çözmek için kullanılır. Bu, veri kümesinin sınıflarının bir doğru veya düzlemle ayrılabilir olduğu durumları içerir. Ancak, tek katmanlı YSA, doğrusal olarak ayrılamayan problemlerle başa çıkamaz. Bu tür problemleri çözmek için genellikle çok katmanlı yapay sinir ağlarına ihtiyaç duyulur.



Şekil 5.5. Tek katmanlı YSA modeli

Tek katmanlı YSA’da çıkış verisi denklem 5.1’den elde edilmektedir.

$$\hat{Y} = b + \sum_{i=1}^N X_i * w_i \quad (5.1)$$

Denklem 5.1'deki değişkenlere bakıldığında, X_i ; girdi verilerini, w_i ; ağırlık değerlerini, b ; bias değerini, N ; girdi sayısını ve $\hat{Y}$ ise hesaplanan çıktı verisini göstermektedir.

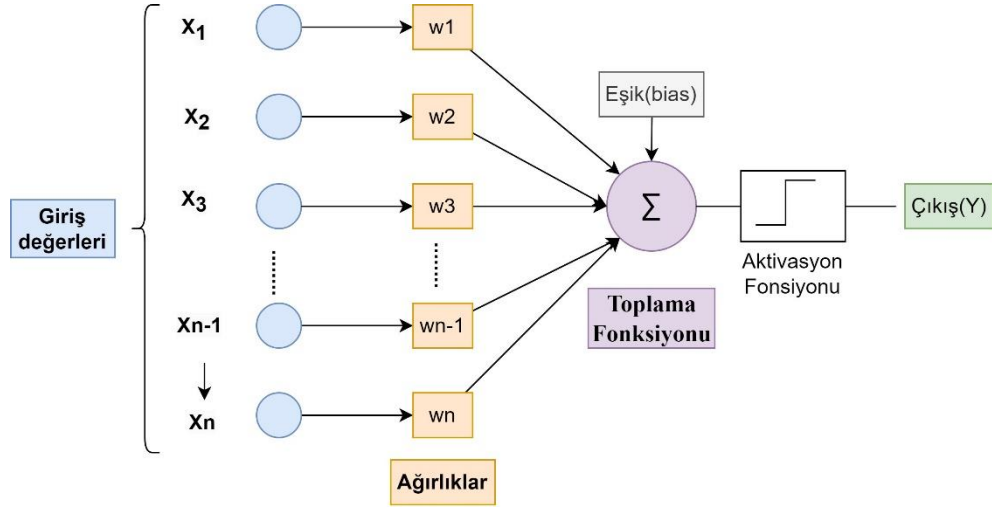
Çok katmanlı YSA aslında Şekil 5.4'e gösterilen yapı şeklindedir. Tek katmanlı YSA'dan önemli bir diğer farkı ise aktivasyon fonksiyonlarının kullanılmasıdır. Buradaki giriş verileri giriş katmanından sonra gizli katmana geçer ve sonrasında bir aktivasyon fonksiyonundan geçirilir. Burada aktivasyon fonksiyonu uygulanan verilerin her biri ayrı ayrı bu işleme tabi tutulur. Bu işlemden sonra veriler çıkış nöronuna iletilir. Nöronların birbirine bağlantıları biyolojik yapısındaki sinapslardır. Bu bağlantıda her bir sinaps üzerinde verinin kendine ait önemi belirten ağırlıkları vardır ve bu ağırlıklarla veri değerleri çarpılarak sonraki nörona geçmektedir. YSA ilk oluşturulduğunda bağlantılar üzerindeki bu ağırlık değerlerinin gerçek değerleri bilinmemektedir. Bu nedenle rastgele değerler ile sürece başlanır. Bunun yanında sapma değerleri de rastgele verilmektedir. İlk bulunan sonuç genellikle istenilene uzak bir sonuç olur. İleri besleme ile çalışan bu modelde ilk sonuç değerleri bulunduktan sonra bulunan sonuç değerleri ile olması gereken sonuç değerleri arasındaki fark değerlendirilir ve ağırlıklar yeniden oluşturularak güncellenir. Bu şekilde YSA sonucu iyileştirilir. Burada ağırlıkları ve sapma (bias) değerlerini olması gereken katsayılar haline getiren algoritmaya ise geri yayılım (backpropagation) algoritması denilmektedir.

5.2.2. YSA elemanları

YSA elemanları biyolojik sinir hücresi elemanlarına sahiptir. Bu nedenle YSA'nın 6 temel elemanı olduğunu söyleyebiliriz. Bu elemanlar aşağıda verilmiştir:

- Girdiler
- Ağırlıklar
- Sapma (bias)
- Toplama Fonksiyonu
- Aktivasyon Fonksiyonu
- Çıktılar

Şekil 5.6'da YSA elemanları ve sinir ağı içerisindeki sıralamaları gösterilmiştir.



Şekil 5.6. YSA elemanları ve sinir ağı içerisindeki konumları

Şekilde “X” ile gösterilen değerler girdi verileridir. Görüldüğü gibi bu veriler birbiri ile paraleldir ve her birinin kendine ait ağırlık değerleri vardır. Girdi değerlerinin her biri “w” ile gösterilen ve yine her bir girdi için bir adet olarak tanımlanan ağırlık değerleri ile çarpılmaktadır. İleri besleme şeklinde devam edeceğinden devamında bu bilgiler toplama fonksiyonunda birleştirilir ve elde edilen bilgiye eşik değeri (bias) eklenir. Burada elde edilen veri aktivasyon fonksiyonundan geçirilerek “Y” ile gösterilen çıkış elde edilmektedir. Burada modellenen YSA’nın becerisi, ağırlık değerlerinin yani her bir girdiye ait önem derecesinin doğru veya doğruya en yakın şekilde verilmesi ile belirlenir.

Giriş verileri, dış dünyadan veya daha önce eğitilmiş bir ağdan elde edilen verilerdir. Bu bilgiler ile sinir ağı eğitilir ve ağın öğrenmesi istenir.

5.2.2.1. Ağırlık verileri

YSA’daki girdi nöronlarının her biri için tanımlanan ağırlık değerleri, girdilerin önemini ve nöron üzerindeki vurgusunu gösteren değerlerdir. YSA modeli ileri besleme algoritması ile eğitim yaparken her bir sinaps geçişinde buradaki önem derecesi ile çarpılmaktadır. Bu şekilde ağırlık ve girdi verisinin çarpımı aktarılmış olur. Bu sayede girdi verilerinin çıkışın üzerindeki etkileri de belirlenmiş olacaktır. Ağırlık değerlerinin büyük olması, o girdi verisinin çıkışa etkisinin yani öneminin de büyük olduğu anlamına gelmektedir. Ağırlık değerinin daha küçük olması ile karşılık gelen girdi verisinin çıkışa etkisinin daha az yani öneminin de az olduğunu göstermektedir. Eğer ağırlık değeri sıfır

ise bu giriş değerinin çıkışa etkisinin olmadığı yani verinin önemsiz olduğu anlamını taşımaktadır. Şekil 5.6’da “w” ile gösterilen ağırlık değerleri, şekilde görüldüğü gibi her biri farklı bir giriş değerine karşılık gelerek bu değerler ile çarpılır ve girdi verilerinin önemini tayin eder. Şunu da belirtmek gerekir ki YSA oluştururken giriş nöronlarından hangilerinin önemli hangilerinin önemsiz veya daha az önemi olduğu bilinmemektedir. Bu nedenle başlangıçta bu değerler rastgele verilir. Çıkış elde edildikten sonra bulunan hata oranına göre ağırlık değerleri revize edilerek iyileştirilir.

5.2.2.2. Sapma (Bias) verileri

Bias, her bir nöronun giriş toplamına eklenen bir sabittir. Bu sabit, nöronun çıkışını etkiler ve genellikle nöronun aktivasyon fonksiyonuna katılır. Bias, nöronun belirli bir giriş toplamı durumunda ne kadar uyarılacağını veya inhibe edileceğini ayarlamak için kullanılır. Aktivasyon fonksiyonundan veriler geçirilmeden önce bias değeri de toplama fonksiyonunun sonucuna eklenir. Daha sonra aktivasyon fonksiyonundan geçirilerek bu şekilde çıkış verisi elde edilir. Denklem 5.1’de toplam fonksiyonuna eklenen “b” değeri sapma (bias) değeridir.

5.2.2.3. Toplama fonksiyonu

Bir nöronun girişlerine ve ağırlıklarına dayalı olarak bir toplama işlemi gerçekleştirilir. Bu toplama işlemi genellikle denklem 5.2’deki gibi ifade edilir.

$$NET = \sum_{i=1}^N X_i * w_i \quad (5.2)$$

Toplama fonksiyonları genellikle sadece çarpma ve toplama işlemlerini içeren basit bir doğrusal toplamayı ifade eder. Ancak, özellikle modern derin öğrenme ağlarında, toplama fonksiyonları farklı versiyonlara ve varyantlara sahip olabilir.

Genel kullanılan toplama fonksiyonu denklem 5.2’de gösterilmiştir. Bu işlem ağırlık toplama olarak da söylenmektedir. Bunun dışında ağırlık değerlerinin giriş verileri ile çarpılması ile elde edilen toplama fonksiyonu da bulunmaktadır. Fonksiyon denklemi 5.3 olarak verilmiştir.

$$NET = \prod_{i=1}^N X_i * w_i \quad (5.3)$$

Giriş verilerinin ağırlık değerleri ile çarpılması sonucunda elde edilen verilerin arasında kıyaslama yaparak en büyük olanı belirleyen farklı bir toplama fonksiyonu yöntemi de bulunmaktadır. Denklem 5.4'de gösterilmiştir.

$$NET = \max(X_i * w_i) \quad (5.4)$$

Giriş verilerinin ağırlık değerleri ile çarpılması sonucunda elde edilen verilerin arasında kıyaslama yaparak en küçük olanı belirleyen farklı bir toplama fonksiyonu yöntemi de bulunmaktadır. Denklem 5.5'de gösterilmiştir.

$$NET = \min(X_i * w_i) \quad (5.5)$$

Belirli bir giriş verisi sayısı için giriş verileri ile bunların ağırlık verilerinin çarpım sonuçlarını pozitif ve negatif şekilde ayıran ve toplamalarının çoğunluğunu seçen bir diğer toplama fonksiyonu Denklem 5.6'da gösterilmiştir.

$$NET = \sum_{i=1}^N Sgn(X_i * w_i) \quad (5.6)$$

Bir diğer toplama fonksiyonu ise kümülatif toplam olabilir. İlk verilen toplama fonksiyonu giriş verilerine uygulanır. Sonrasında yeni girdi verileri ile yine aynı toplama fonksiyonu kullanılır. Eski ve yeni veriler birbiri ile toplanarak hesaplama yapılır. Kümülatif toplama fonksiyonu Denklem 5.7'de gösterilmiştir.

$$NET = NET(eski) + \sum_{i=1}^N X_i * w_i \quad (5.7)$$

5.2.2.4. Aktivasyon fonksiyonu

Giriş verileri ile ağırlık değerlerinin çarpımlarının sonuçlarına toplama fonksiyonu uygulanmasından sonra veriler aktivasyon fonksiyonundan geçirilir. Bu fonksiyonlar verileri normalize eden fonksiyonlardır. Çünkü toplam sonucunda elde edilen sonuçlar YSA ileri beslemesinde ilerleme yapamayacak şekilde bulunabilir. Bu nedenle elde edilen veri setini belirli bir standart aralıkta değerlendirmek mantıklı olacaktır.

YSA'lar doğrusal olmayan problemlerin çözümünde de oldukça faydalıdır. Bu durum aktivasyon fonksiyonu(AF) sayesinde olmaktadır. Aktivasyon fonksiyonu ile zamanla değişen durumlarda toplama fonksiyonunun çıkışını revize etme şansı tanınmaktadır. Doğrusal olmayan bir problemin çözümü için YSA kullanılacaksa aktivasyon fonksiyonunun da doğrusal seçilmemesi gerekmektedir.

Doğrusal olmayan problemlerin çözümünde YSA kullanıldığında aktivasyon fonksiyonunu uygun seçimi önem arz eder. Seçim yapılırken fonksiyon türevi alınabilir şekilde olmalıdır. Çünkü YSA çıktı ürettiğinde hata hesabı yapılır ve sonrasında geri besleme ile ağırlık değerlerinde iyileştirme yapılır. Bu geri beslemenin yapılabilmesi için aktivasyon fonksiyonunun türevi alınabilir olması gerekir.

YSA modellerinde en çok kullanılan aktivasyon fonksiyonlarından bazıları şu şekildedir:

- Sigmoid fonksiyonu
- Hiperbolik tanjant (Tanh) fonksiyonu
- Softmax fonksiyonu
- Step fonksiyonu
- ELU fonksiyonu
- Swish fonksiyonu
- ReLU fonksiyonu
- Softplus fonksiyonu

Yukarıda bazı aktivasyon fonksiyonları verilmiştir. YSA modellerinde bunlar arasında en çok tercih edilenleri Sigmoid AF, Tanh AF, ReLU AF ve Softmax AF olarak söylenebilir. Bu fonksiyonlar kısaca anlatılacaktır.

Sigmoid AF, YSA da oldukça sık kullanılır. Lojistik fonksiyon olarak da adlandırılmaktadır. Türevinin alınması kolay olduğundan doğrusal olmayan problemlerin çözülmesinde sıklıkla tercih edilir ve sonuca ulaşmayı hızlandırır. Geriye yayılım (backpropagation) algoritmalarında modelin eğitimi sırasında gradient hesaplamayı kolaylaştırır. Sigmoid; giriş değerlerini 0 ile 1 arasına dönüştürmektedir. Gizli katmanlarda da kullanılabilir. Fakat özellikle çıkış katmanında kullanılır. Doğrusal olmayan bir AF'dir. Denklem 5.8'de sigmoid AF'nin denklemi verilmiştir.

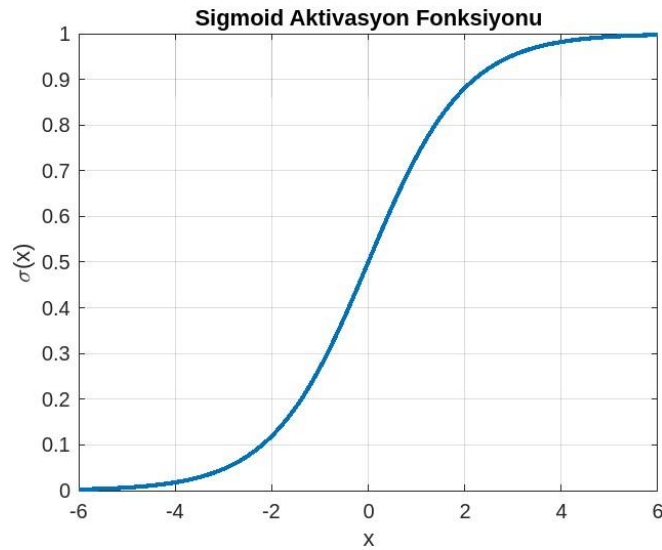
$$\sigma = \frac{e^x}{1+e^x} = \frac{1}{1+e^{-x}} \quad (5.8)$$

Ancak, sigmoid fonksiyonunun eğimi çok büyük veya çok küçük değerlerde çok küçüktür. Bu, "merkezi eğim problemi" olarak adlandırılır ve özellikle geriye yayılım sırasında bazı durumlarda eğitim sürecini yavaşlatabilir. Başka bir ifade ile nöron aktivasyonu sınırlarda ise gradyanti neredeyse sıfıra ulaşır ve bu da eğitim sürecini yavaşlatabilir (Glorot ve Bengio, 2010; Çimen, 2020). Sigmoid fonksiyonu sıfır merkezli değildir, bu da ağıdaki nöronların çıkışlarının sıfıra yaklaşması durumunda eğimi çok küçük olacağı anlamına gelir. Bu durum "vanishing gradient" sorununa yol açabilir

Sigmoid AF grafiği MATLAB’da oluşturulmuştur. Matlab kodları şu şekildedir:

```
% Sigmoid fonksiyonu tanımlanması
sigmoid = @(x) 1 ./ (1 + exp(-x));
% Grafiğin çizilmesi
x = linspace(-6, 6, 1000); % -6 ile 6 arasında 1000 adet nokta oluştur
y = sigmoid(x);
figure;
plot(x, y, 'LineWidth', 2);
title('Sigmoid Aktivasyon Fonksiyonu');
xlabel('x');
ylabel('\sigma(x)');
grid on;
```

Matlab’da oluşturulan sigmoid AF grafiği Şekil 5.7’de gösterilmiştir.



Şekil 5.7. Sigmoid aktivasyon fonksiyonu grafiği

YSA’da sıklıkla kullanılan bir diğer AF ise ReLU (rectified linear unit) AF’dir. ReLU, Düzeltilmiş Doğrusal Birim (DDB) olarak da ifade edilmektedir. Bu yarı doğrusal aktivasyon kodu ilk olarak Krizhevsky ve diğ. Tarafından 2012 yılında kullanımı düşünülmüş ve faydalı sonuçlar elde edilmiştir (Krizhevsky ve diğ., 2012). ReLU, giriş değeri pozitifse, girişi olduğu gibi çıkaran ve negatifse sıfır çıkaran basit bir matematiksel formülle ifade edilir. ReLU, denklem 5.9’da matematiksel ifadesi gösterilmiştir.

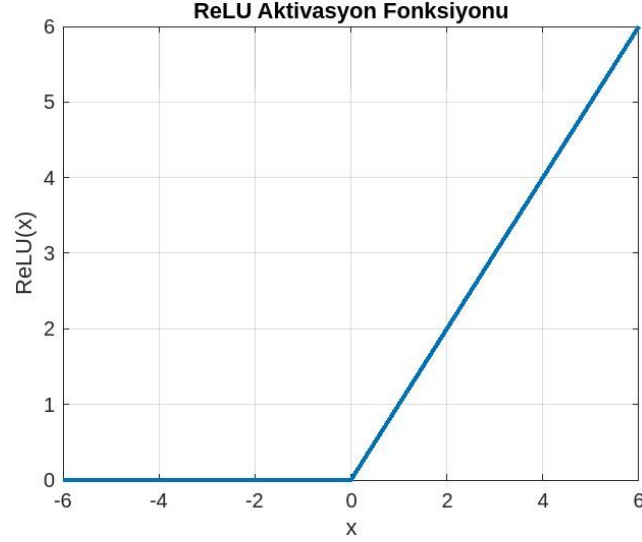
$$f(x) = \max(x, 0) \quad (5.9)$$

Burada verilen denklemde x ; giriş verilerini, $f(x)$; ReLU AF’nin çıkış değerini ve $\max(x, 0)$ ise x ve 0 arasındaki maksimum değeri alır. DDB, YSA modellerinde evrişimli YSA (CNN) modellerinde ve YSA’nın gizli katmanlarında sıklıkla kullanılmaktadır. DDB’nin diğer AF’lere göre avantajlarına bakıldığında aynı anda tüm nöronları aktif etmemesi gösterilebilir. Yani Hesaplama açısından oldukça basit bir fonksiyondur. Giriş değeri pozitifse, doğrudan girişi çıkarır; negatifse sıfır yapar. Bu sayede YSA daha hızlı çalışır. Türevi genellikle sıfır veya 1’dir, bu da geriye yayılım (backpropagation) algoritmalarının eğitim sürecini kolaylaştırır. Denklem 5.8’de gösterilen DDB formülünde görüldüğü gibi denklem içerisinde trigonometrik veya eksponansiyel bir ifade yoktur. Bu da AF’nin hızlı çalışmasını sağlamaktadır.

DDB (ReLU) AF’nin grafiği MATLAB’da oluşturulmuş. Matlab kodları şu şekildedir:

```
% ReLU fonksiyonu tanımlanması
relu = @(x) max(0, x);
% Grafiğin çizilmesi
x = linspace(-6, 6, 1000); % -6 ile 6 arasında 1000 adet nokta oluştur
y = relu(x);
figure;
plot(x, y, 'LineWidth', 2);
title('ReLU Aktivasyon Fonksiyonu');
xlabel('x');
ylabel('ReLU(x)');
grid on;
```

Matlab’da oluşturulan ReLU AF grafiği Şekil 5.8’de gösterilmiştir.



Şekil 5.8. DDB (ReLU) aktivasyon fonksiyonu grafiği

Şekil 5.7'deki sigmoid AF grafiğine bakıldığında çıktıların pozitif ve negatif tarafında belirli bir noktadan sonra X girdi verilerinin Y çıktı verilerine etkisinin çok azaldığı hatta sıfır olduğu görülebilir. Bu durumun anlamı ilgili bölgelerde sigmoid fonksiyonun türevinin sıfıra çok yaklaştığını göstermektedir. Literatürde gradyanların ölmesi (vanishing gradient) olarak bilinen bu olay YSA'nın geri yayılım ile öğrenmesi ve iyileştirilmesine kötü etki etmektedir. DDB'de ise böyle bir olay ile karşılaşılmaz. Yani DDB AF gradyanların ölmesine çözüm önerisi olarak ortaya çıkarılmıştır. Elbette DDB'nin de sorun çıkardığı durumlar vardır. En büyük dezavantajı ise tüm negatif çıktıları sıfır olarak kabul etmesidir. Bu dezavantajı ortadan kaldırmak için Sızıntı ReLU ve Parametrik ReLU önerilmiştir (Dubey ve Jain, 2019).

Hiperbolik tanjant (Tanh) AF, sigmoid fonksiyona benzemektedir. Tanımlı olduğu aralık $(-1, +1)$ şeklindedir. Yani sigmoid AF ile kıyaslandığında daha geniş bir tanım aralığı vardır.

Tanh AF'nin matematiksel formülü denklem 5.10'da gösterilmiştir.

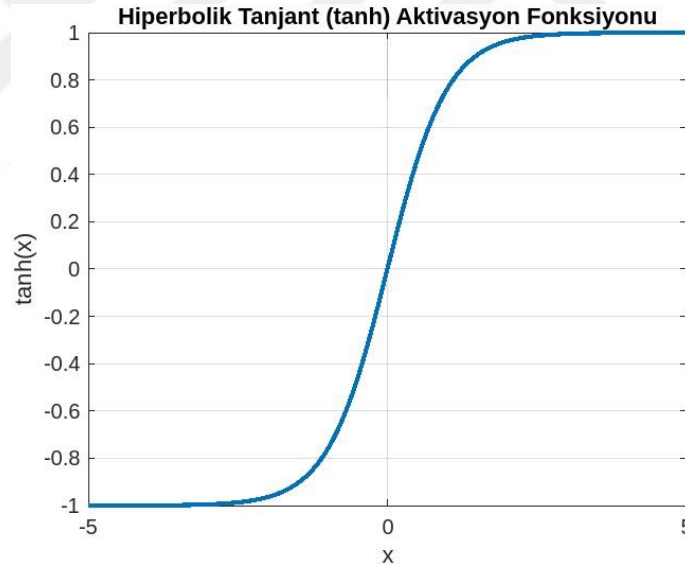
$$\tanh(x) = \frac{e^x - e^{-x}}{e^x + e^{-x}} = \frac{e^{2x} - 1}{e^{2x} + 1} \quad (5.10)$$

Buradaki ifadede e, Euler sayısıdır (yaklaşık olarak 2.71828), x, giriş değerini ve $\tanh(x)$, tanh fonksiyonunun çıkışını ifade eder. Fonksiyonunun türevi, sigmoid fonksiyonuna göre biraz daha büyük olduğu için gradient bazlı optimizasyon algoritmaları tarafından daha etkili bir şekilde kullanılabilir.

Tanh AF'nin grafiği MATLAB'da oluşturulmuş. Matlab kodları şu şekildedir:

```
% Tanh fonksiyonu tanımlanması
tanh_function = @(x) (exp(2*x) - 1) / (exp(2*x) + 1);
% Grafiğin çizilmesi
x = linspace(-5, 5, 1000); % -5 ile 5 arasında 1000 adet nokta oluştur
y = tanh_function(x);
figure;
plot(x, y, 'LineWidth', 2);
title('Hiperbolik Tanjant (tanh) Aktivasyon Fonksiyonu');
xlabel('x');
ylabel('tanh(x)');
grid on;
```

Matlab'da oluşturulan hiperbolik tanjant (tanh) AF grafiği şekil 5.9'de gōsterilmiřtir.



şekil 5.9. Tanh aktivasyon fonksiyonu grafiği

5.2.3. YSA ęęrenme mantığı

ōnceki bōlōmlerde anlatıldığı ęzere YSA, girdi verileri rastgele atanan ağırlık değerleri ile ęarpılarak toplam fonksiyonunda bias değerinin eklenmesi ve ardından aktivasyon fonksiyonundan geçirilerek sonuç elde edilmesi aşamaları ile ęalıřmaktadır. Buradan bir sonuç elde edilmesi ileri besleme algoritması olarak da tanımlanmaktadır.

YSA öğrenmesinin algoritması sözde kod (pseudocode) olarak Algoritma 5.1’de verilmiştir.

Algoritma 5.1: YSA öğrenmesi ve ileri

1. Algoritma YSA_Ogrenme(giris_verileri, hedef_cikislar, ogrenme_orani, iterasyon_sayisi):
2. Ağırlıkları rastgele başlat
3. İterasyon sayısınınca döngü:
4. for her giriş, hedef çıkış in zip(giris_verileri, hedef_cikislar):
 - a. İleri Yayılım:
 - b. Gizli katmandaki girişleri hesapla
 - c. Gizli katmandaki çıkışları hesapla (aktivasyon fonksiyonu kullan)
 - d. Çıkış katmanındaki girişleri hesapla
 - e. Çıkış katmanındaki çıkışları hesapla (aktivasyon fonksiyonu kullan)
 - f. Hata Hesaplama:
 - g. Çıkış hatasını hesapla
 - h. Geriye Yayılım:
 - i. Çıkış katmanındaki ağırlıkları güncelle
 - j. Gizli katmandaki ağırlıkları güncelle
5. Eğitim süreci tamamlandı

YSA hata hesabı genellikle bir kayıp fonksiyonu (loss function) veya maliyet fonksiyonu (cost function) kullanılarak gerçekleştirilir. Bu fonksiyonlar, ağın tahmin ettiği çıkış ile gerçek çıkış arasındaki farkı ölçer ve bu farkın minimize edilmesi hedeflenir. Kullanılan bazı hata hesaplama teknikleri şu şekildedir:

- Ortalama Kare Hatası (Mean Squared Error - MSE)
- Ortalama Mutlak Hata (Mean Absolute Error - MAE)
- Çapraz Entropi Hatası (Cross-Entropy Loss - ÇEH)

MSE, yaygın olarak kullanılan tekniklerden biridir. Denklem 5.11’de MSE matematiksel formülü görülmektedir.

$$MSE = \frac{1}{n} * \sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2 \quad (5.11)$$

Burada, n ; veri sayısını, Y_i ; gerçek çıktı değerlerini ve $\hat{Y}_i$ ise tahmin edilen çıktı değerlerini göstermektedir.

MAE ise gerçek değerler ile tahmin edilen değerler arasındaki mutlak farkların ortalamasını hesaplamaktadır. Denklem 5.12’de MAE matematiksel formülü görülmektedir.

$$MAE = \frac{1}{n} * \sum_{i=1}^n |Y_i - \hat{Y}_i| \quad (5.12)$$

ÇEH, sınıflandırma problemlerinde yaygın olarak kullanılır. İki olasılık dağılımı arasındaki uzaklığı ölçmektedir. Denklem 5.13’de ÇEH matematiksel formülü görülmektedir.

$$\text{ÇEH} = - \sum_{i=1}^n y_i * \log \hat{y}_i \quad (5.13)$$

Denklem 5.12’deki değişkenlerden y_i , gerçek sınıf olasılığı ve $\hat{y}_i$, tahmini sınıf olasılığıdır.

YSA öğrenmesinde karşılaşılan diğer bir kavram ise öğrenme oranıdır (learning rate). Bu oran geri besleme algoritmalarında kullanılan ve yukarıdaki denklemlerden bulunan hatanın YSA sonucunu etkileme oranını göstermektedir. İleri besleme ve geri besleme algoritmalarının uygulanarak sonucun iyileştirme işlemleri ve tüm bu eğitim süresince yapılan hata, maksimum tekrar sayısına (epoch) ulaşana dek tekrarlanmaktadır. Öğrenme oranı, ağırlıkların bir iterasyonda ne kadar değiştirileceğini belirleyen bir faktördür. Bu oran, ağırlıkların ne kadar hızlı veya yavaş öğrenileceğini etkiler.

Öğrenme oranı, genellikle 0 ile 1 arasında bir değer alır. Öğrenme oranı düşükse, ağırlıklar daha yavaş bir şekilde güncellenir ve öğrenme daha kararlı ve yavaş olur. Öğrenme oranı yüksekse, ağırlıklar daha hızlı bir şekilde güncellenir, ancak bu durumda ağırlıkların kararlılığı ve genelleme yeteneği etkilenebilir.

Öğrenme oranı seçimi problem ve veri setine bağlıdır. Genellikle ağırlıkların başlangıçtaki öğrenme oranı düşük bir değerle başlatılır, ardından modelin eğitimi sırasında bu değer dinamik olarak ayarlanabilir. Bu yöntem, eğitim başladığında hızlı öğrenme ile başlanmasını ve zamanla öğrenmenin daha yavaş bir hale gelmesini sağlar.

İyi bir öğrenme oranı seçimi, ağırlıkların daha hızlı ve daha etkili bir şekilde öğrenmesini sağlayabilir. Ancak, çok büyük bir öğrenme oranı, ağırlıkların salınımlı bir şekilde

güncellenmesine ve ağın yakınsamamasına neden olabilir. Çok küçük bir öğrenme oranı ise eğitim sürecini yavaşlatabilir veya lokal minimumlarda takılmalara yol açabilir. Bu nedenle, öğrenme oranı seçimi dikkatlice yapılarak model performansı üzerinde etkili bir kontrol sağlanmalıdır.

Son olarak karşımıza çıkan diğer bir kavram ise tekrar sayısıdır (epoch). Eğitim verilerinin tamamının YSA'dan kaç kere geçirileceğini gösteren değerdir.

Tekrar sayısının az olması YSA'nın yeteri kadar öğrenememesine (underfitting) ve tahmin sonuçlarının daha kötü olmasına neden olabilir. Aynı şekilde tekrar sayısının fazla olması da ezbercilik gibi aşırı öğrenmeye (overfitting) neden olabilir.



6. YÜK (GÜÇ) AKIŞ ANALİZİ AMAÇ VE YÖNTEMLERİ

Alternatif Akım (AC) güç akış analizi, bir elektrik güç sisteminin elemanları arasındaki gerilim, akım ve güç değerlerini belirleme işlemidir. Bu analiz, AC güç sistemlerinin belirli işletme koşulları altında nasıl davrandığını anlamak, gerilim düşüşlerini kontrol etmek ve enerji akışını optimize etmek için kullanılır.

Elektrik şebeke sistemlerinin kararlılığını bozmadan sürekli çalışması istenir. Zaman içerisinde mevcut elektrik şebekesi içerisinde birçok değişiklik olmaktadır. Gelişen teknoloji ve değişen ihtiyaçlarla birlikte bazı yükler devreden çıkmakta genellikle de yerlerini daha büyük yükler almaktadır. Buna karşılık şebekeye elektrik üretim santralleri de eklenmektedir. Tüm bu yükler ve elektrik üretim santralleri enterkonnekte sistem ile birbirine bağlı olarak çalışmaktadır. Sistemdeki tüketim ve üretimdeki bu değişikliklerin bara gerilimlerine etkileri, hatların kapasitelerinin analizi, hat kayıplarının belirlenmesi elektrik güç sistemlerinin tasarımında ve işletilmesinde oldukça önemlidir. Bunun için yük akış analizi kullanılmaktadır.

Çoğu yük akışı (güç akışı problemleri de denilmektedir) problemi çözülürken şebeke işletiminin dengeli olduğu varsayılmaktadır. Bu tezde yapılan çalışmalarda da bu varsayım uygulanmıştır.

Güç akış analizleri neticesinde bulunacak veriler tüm baralar için gerilimin genliği ve faz açısı, hatlardan geçen aktif güç ve reaktif güçler olarak söylenebilir.

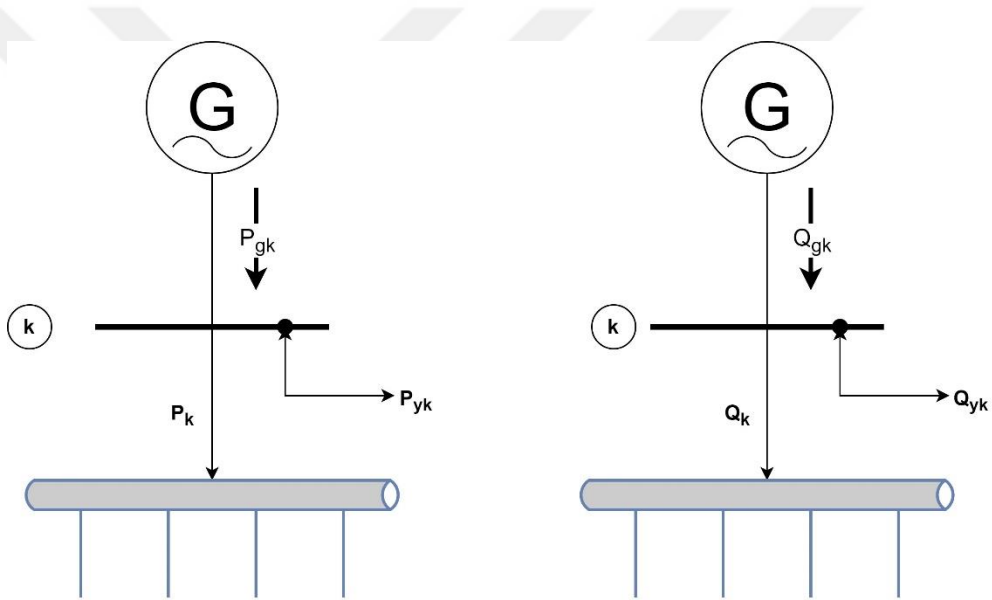
Güç akış analizi yapılırken izlenen adımlar şu şekilde özetlenebilir:

- Şebeke bileşenlerinin pasif elemanlarının değerlerini tespit et.
- Şebekedeki tüm yüklerin değerlerini ve konumlarını belirle.
- Şebekeye bağlı generatörler için üretim ile ilgili spesifik değerleri ve kısıtlamaları tespit et.
- Şebeke için güç akışı matematiksel modeli oluştur.
- Problem çözümünü yap ve şebekenin gerilim profilini belirleyen iterasyonlara başla.
- Şebekenin güç akışını ve sistem kayıplarını bul.
- Belirlenen kısıtlamaları kontrol et.

Bu bölümde anlatılan güç akış analizi AC şebekelerdeki problemlerin çözümü için kullanılan analiz biçimidir.

6.1. Yük Akış Analizi Verileri

Güç akış analizi, bir güç sistemini belirli bir işletme durumu altında incelemeyi amaçlar ve çeşitli verileri girdi olarak alırken, belirli çıktıları üretir. İşte güç akış analizi için belirli bir işletme durumu altında sistemdeki yüklerin karakteristikleri. Bu yüklerin aktif ve reaktif güç talepleri, jeneratörlerin nominal güçleri, gerilim düzeyleri, reaktansları, güç faktörler ve faz açıları, belirli bir işletme durumu altındaki gerilim düzeyleri ve faz açıları girdi verileri olarak kullanılırken, gerilim profili, akım değerleri, elemanlardaki aktif ve reaktif güç değerleri, güç kayıpları, reaktif güç akışları ve voltaj düşüşleri çıktı verileri olarak bulunur. Şekil 6.1’de güç akış analizi için k barasındaki aktif ve reaktif güçler gösterilmiştir.



Şekil 6.1. Güç akış analizi için k barasındaki aktif güç ve reaktif güçler

Şekil 6.1’de görülen aktif ve reaktif güç değerlerinden baraya gelen net güçler denklem 6.1 ve 6.2’de gösterilmiştir.

$$P_k = P_{gk} - P_{yk} \quad (6.1)$$

$$Q_k = Q_{gk} - Q_{yk} \quad (6.2)$$

Burada verilen P_k , k barasının aktif gücü, P_{gk} , k numaralı baraya generatörden sağlanan aktif gücü, P_{yk} , k numaralı baraya bağlı yükün çektiği aktif gücü göstermektedir. Reaktif güçlere bakıldığında Q_k , k numaralı baradaki net reaktif gücü,

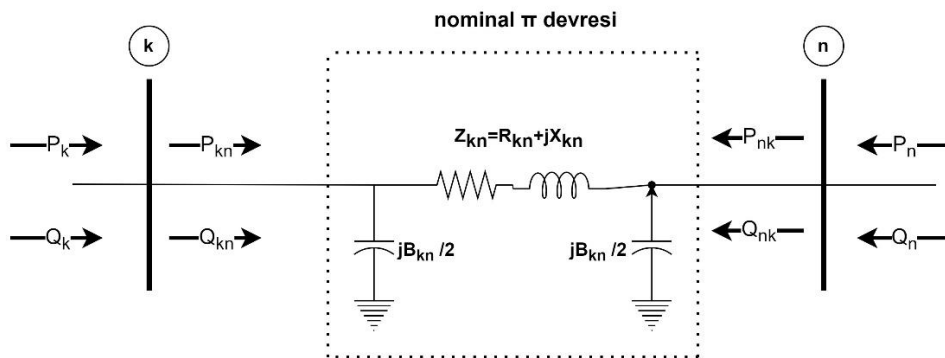
Q_{gk} , k numaralı baraya jeneratörden sağlanan reaktif gücü ve Q_{yk} , k numaralı baradan yükün çektiği reaktif gücü göstermektedir.

Güç akış analizinde problem çözümü yapılırken bara empedans matrisi (Z_{bara}) ve bara admitans matrisi (Y_{bara}) ifadelerinden birine ihtiyaç vardır. Her iki matris de analizde kullanılabilir. Fakat Z_{bara} genellikle arıza analizinde kullanıldığı söylenebilir. Bu tez çalışmasında güç akış analizi için Y_{bara} kullanılacaktır. Z_{bara} matrisinin inversi alındığında Y_{bara} matrisi bulunmaktadır. Bu matris örneği 6.3 ve 6.4’de gösterilmiştir.

$$\begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ \vdots \\ I_i \\ \vdots \\ I_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{12} & \cdots & Y_{1i} & \cdots & Y_{1n} \\ Y_{21} & Y_{22} & \cdots & Y_{2i} & \cdots & Y_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ Y_{i1} & Y_{i2} & \cdots & Y_{ii} & \cdots & Y_{in} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ Y_{n1} & Y_{n2} & \cdots & Y_{ni} & \cdots & Y_{nn} \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ \vdots \\ V_i \\ \vdots \\ V_n \end{bmatrix} \quad (6.3)$$

$$Y_{\text{bara}} = \begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{12} & \cdots & Y_{1i} & \cdots & Y_{1n} \\ Y_{21} & Y_{22} & \cdots & Y_{2i} & \cdots & Y_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ Y_{i1} & Y_{i2} & \cdots & Y_{ii} & \cdots & Y_{in} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ Y_{n1} & Y_{n2} & \cdots & Y_{ni} & \cdots & Y_{nn} \end{bmatrix} \quad (6.4)$$

Şekil 6.2’de nominal π eşdeğer devresi gösterilmiştir. Burada şönt admittanslar ve seri empedanslar gösterilmiştir.



Şekil 6.2. İki bara arasında nominal π eşdeğer devresi

Bara admitansı bu şekildeki eşdeğer devrelerden oluşturulmaktadır. Oluşturulan bara admitansında i ve j bara numaralarını temsil edecek şekilde bara admitansı oluşturulurken şu kurallar takip edilir:

- Köşegendeki elemanlar bulunurken i. köşegen eleman için Y_{ii} bulunurken i barasına gelen tüm admitanslar toplanır.
- Köşegenler haricindeki admitanslar bulunurken i. baradan j. baraya gelen hattın admitansı negatif değerlisi olarak yazılır. Yani $Y_{ij}=-Y_{ji}$ olarak yazılır.
- Eğer i. bara ile j. bara arasında herhangi bir hat yoksa $Y_{ij}=0$ olarak alınır.

Şekil 6.2’de Y_{bara} matrisinin matematiksel ifadesi denklem 6.5 ve 6.6’da gösterilmiştir. Denklem 6.6’nın düzenlenmiş hali ise 6.7’de açık şekilde gösterilmiştir.

$$Y_{kn} = \frac{-1}{Z_{kn}} = \frac{-1}{R_{kn} + jX_{kn}} = \frac{-R_{kn} + jX_{kn}}{R_{kn}^2 + jX_{kn}^2} \quad (6.5)$$

$$Y_{kk} = \sum \left(\frac{1}{Z_{kn}} + j \frac{B_{kn}}{2} \right) \quad (6.6)$$

$$Y_{kk} = \sum_{n=0}^N Y_{kn}, n \neq k \quad (6.7)$$

Denklem 6.5’de elde edilen Y_{kn} değeri köşegen haricindeki elemanlardır. Denklem 6.6 ve 6.7’de ise bara admitans matrisinin köşegenlerindeki admitans değerleri bulunmaktadır. Bu aşamada belirtmek gerekir ki oluşturulan bara admitans matrisindeki elemanlar matrisin diagonaline göre simetriktr. Bu durum bara empedans matrisi için de geçerlidir.

Köşegen haricindeki elemanların bulunduğu denklem 6.5 kutupsal gösterim olarak denklem 6.8 de verilmiştir.

$$Y_{kn} = |Y_{kn}| \angle \theta = |Y_{kn}| \cos \theta + j |Y_{kn}| \sin \theta \quad (6.8)$$

Denklem 6.7’de gösterilen ifadeden baranın kondüktansı (6.9) ve suseptansı (6.10) tanımlanarak Y_{kn} matrisi denklem 6.11’deki şekilde ifade edilebilir.

$$G_{kn} = |Y_{kn}| \cos \theta \quad (6.9)$$

$$B_{kn} = |Y_{kn}| \sin \theta \quad (6.10)$$

$$Y_{kn} = G_{kn} + jB_{kn} \quad (6.11)$$

Elektrik şebekelerinde güç akış analizi yapılırken bazı kabullerin yapılması gerekmektedir. Bu kabuller aşağıda verilmiştir.

- Jeneratörler, sistemdeki tüm yük taleplerini ve iletim hatlarındaki toplam güç kaybını karşılarlar, kendi aktif ve reaktif güç sınırlarını aşmazlar.
- Sistemdeki tüm bara noktalarındaki gerilim genlikleri, belirlenen nominal gerilim sınırları içindedir.
- İletim hatları ve transformatörler aşırı yüklenmeye maruz kalmazlar.

Şebekedeki k numaralı barayı da kutupsal gösterim olarak 6.12’de verilmiştir.

$$Y_{kn} = |V_k|^{\angle \delta_k} = |V_k| (\cos \delta_k + j \sin \delta_k) \quad (6.12)$$

Yukarıda 6.3’de verilen matris eşitliğini kullanarak k barasına injekte edilen akımı bulmak için denklem (6.13) kullanılır (Özyön,2009;Nur,2022).

$$I_k = Y_{k1}V_1 + Y_{k2}V_2 + \dots + Y_{kN}V_N = \sum_{n=1}^N Y_{kn}V_n \quad (6.13)$$

Yukarıdaki denklemde N bara sayısını ifade etmektedir. Bu ifadeden hareketle görünür güç denklemi yazılabilir. Görünür güç denklemi 6.14’de gösterilmiştir.

$$S_k = V_k (\sum_{n=1}^N Y_{kn}V_n)^* = V_k \sum_{n=1}^N Y_{kn}^* V_n^* \quad (6.14)$$

Görünür güç denkleminde 6.11’de gösterilen Y_{kn} , ve 6.12’deki V_k eşitlikleri yerine konulursa 6.15 elde edilir. Burada ek olarak euler açılımı da kullanılabilir. Bu açılıma göre fazör olarak tanımlanan bir büyüklük trigonometrik ifadeler ile gösterilebilir. Yani $|V_k|^{\angle \delta_k} = |V_k|(\cos \delta_k + j \sin \delta_k)$ olarak açılımı yapılabilir. Y_{kn} ve V_n değerlerinin eşleniklerinin alınacağı unutulmamalıdır. Euler denkleminde de faydalananarak 6.14 düzenlenirse;

$$S_k = \sum_{n=1}^N (|V_k| |V_n| \angle \delta_k - \delta_n) (G_{kn} - jB_{kn}) \quad (6.15)$$

$$S_k = P_k + jQ_k \quad (6.16)$$

$$P_k + jQ_k = \sum_{n=1}^N (|V_k| |V_n| (\cos(\delta_k - \delta_n) + j \sin(\delta_k - \delta_n)) (G_{kn} - jB_{kn}) \quad (6.17)$$

(6.11) ifadesi (6.17)'de yerine konulursa (6.18) elde edilir.

$$P_k + jQ_k = \sum_{n=1}^N |Y_{kn}| |V_k| |V_n| \angle \delta_k - \delta_n - \theta_{kn} \quad (6.18)$$

(6.18)'de bulunan denklemden aktif ve reaktif güçler ayrı ayrı yazılırsa (6.19) ve (6.20) elde edilir.

$$P_k = \sum_{n=1}^N |Y_{kn}| |V_k| |V_n| \cos(\delta_k - \delta_n - \theta_{kn}) \quad (6.19)$$

$$Q_k = \sum_{n=1}^N |Y_{kn}| |V_k| |V_n| \sin(\delta_k - \delta_n - \theta_{kn}) \quad (6.20)$$

Son olarak elde edilen k barası için aktif ve reaktif güç denklemleri lineer değildir. Bu denklemlerin çözümü için güç akış analizi yöntemleri kullanılır. Burada elde edilen ifadelerde k barasından şebekeye iletilen güçlerin bulunduğu görülür. Güç akış analizlerinin sonuca ulaşmasını belirlemek için tolerans değerlerine ihtiyaç duyulur. Bunlar denklem (6.21) ve (6.22)'de gösterilmiştir (Özyön,2009).

$$\Delta P_k = P_k - P_{k,hes} = (P_{gk} - P_{yk}) - P_{k,hes} \quad (6.21)$$

$$\Delta Q_k = Q_k - Q_{k,hes} = (Q_{gk} - Q_{yk}) - Q_{k,hes} \quad (6.22)$$

Burada, k numaralı bara için bazı değerlerin bilinmesi ve bunlardan diğer değerlerin bulunması gerekir. P_k , Q_k , δ_k ve δ_k değerleri k barasında bilinmeyen değerlerdir. Güç akış analizi sonuçlarında P_k , Q_k ile $P_{k,hes}$ ve $Q_{k,hes}$ arasındaki fark olan ΔP_k ve ΔQ_k arasındaki değerlerini bulmaktır. Bu sayede bilinmeyen iki değer bulunacaktır. İşlemler ΔP_k ve ΔQ_k değerleri istenilen toleransa gelince bitmiş olacaktır.

(Hawary ve diğ., 1989; Grainger ve Stevenson, 1996; Glover ve Sarma, 1994; Özyön, 2009)

Elektrik şebeke modellerinde güç akış analizi yapılırken baralar fonksiyonlarına göre farklı isimler almaktadır. Bu bara tipleri aşağıda verilmiştir.

- Salınım barası
- Yük barası (PQ)
- Üretim barası (PV)

Salınım barası, şebeke modellerinde bir adettir. Elektrik şebeke modellerinde analiz yapılırken elektrik üretim santrallerindeki aktif gücü bilmek pratikte pek mümkün değildir. Bunun nedeni ise sistemde oluşan kayıplardır. Bu nedenle şebeke modelindeki baralardan birindeki aktif güç bilinmeyen olarak seçilir ve bu seçilen baraya salınım barası adı verilmektedir. Yani burada anlatılmak istenen işlemlerin sonunda üretim baralarındaki aktif güç ve reaktif güç üretim miktarları bulunmaktadır. Burada salınım barası herhangi bir bara seçilebilir. Fakat genellikle üretim baralarından biri salınım barası olarak seçilmektedir. Bunun nedeni ise işlemlerin daha kolay yapılabilmesidir. Seçilen salınım barasının belirli bir aktif gücü yoktur, değerleri değişkendir. Diğer üretim baralarındaki aktif güçler ile yüklere ve kayıplara ait aktif güçlerin farkı salınım barasındaki aktif güç değerine eşittir. Salınım barasına ait bilinmesi gereken bazı değerler vardır. Bunlar salınım barasının gerilim genliği ve faz açısıdır.

Yük barası, genellikle herhangi bir üretim santralinin bağlı olmadığı baralardır. Bu baralar için bilinen değerler aktif güç ve reaktif güç değerleridir. Yani P_g ve Q_g değerleri sıfırdır. Gerçek dünyada, konutlar, sanayi tesisleri gibi yüklere karşılık olarak gösterilebilir. Bilinen güç değerleri ile gerilim ve faz açıları bulunmaya çalışılır (Glover ve diğ., 2012).

Bir diğer bara tipi ise üretim barasıdır. Gerilim kontrollü bara olarak da söylenebilir. Bu baralarda reaktif gücü absorbe eden baralardır. Limit değerlerine göre reaktif güç bu aralıkta tutulur ve gerilim de sabit tutulan diğer bir değerdir (Kundur, 1994). Gerilimi sabit tutmak için üretim barasına bağlı jeneratör ya reaktif güç tüketir veya üretir. Bu barada aktif güç üretim değerine ayarlanır. Reaktif güç değişimi ile de baranın gerilimi ve faz açısı hesaplanır.

Güç akış analizinde bazı kısıtlamalar yapılması gerekir. Bu kısıtlamalar aşağıdaki denklemlerde tanımlanmıştır.

$$P_{gi}^{min} \leq P_{gi} \leq P_{gi}^{max} \quad (6.23)$$

$$Q_{gi}^{min} \leq Q_{gi} \leq Q_{gi}^{max} \quad (6.24)$$

$$V_i^{min} \leq V_i \leq V_i^{max} \quad (6.25)$$

$$t_i^{min} \leq t_i \leq t_i^{max} \quad (6.26)$$

Güç akış analizlerinde k numaralı baranın gerilim ve açı değerleri giriş bilinmeyenleridir. Kendi değerlerine göre sistemde hesaplanan aktif güç, reaktif güç değerlerinin durumlarını belirlemektedir. Buna göre güç akışının amacına bakıldığında bu giriş verilerine göre diğer değerleri bulmak amaçlanır. Gerilim kontrollü bara sayısını salınım barası haricinde N_g , olarak tanımlanırsa, $2N-N_g-2$ adet durum değişkeni ve aynı sayıda denklem oluşturulur (Salami, 2017; Özyön,2009). Bara numarası k olan bir aranın denklemler (6.19) ve (6.20)'de tanımlanan aktif ve reaktif güç değerleri, k barasının gerilim genliği ($|V_k|$) ve faz açısı δ_k 'nın bir fonksiyonudur ve lineer değildir. Bu nedenle lineer olmayan çözüm yöntemleri çözüm yöntemleri olan Gauss–Seidel, Newton–Raphson ve Fast Decoupled yöntemleri kullanılır (Nur, 2022; Gautam ve diğ., 2015; Ali ve diğ., 2015). Çizelge 6.1’de güç akış analizi özetlenmiştir (Salami, 2017; Özyön,2009). Bölüm 6.1, 6.2 ve 6.3 de sırasıyla özetlenmiştir.

Çizelge 6.1. Güç akış analizi özet

Bara Tipi	Bara Sayısı	Giriş Değerleri	Hesaplanan Değer	Denklem Sayısı	$ V_k $ ve δ_k Durum Değişken Sayısı
Salınım (k=1)	1	$ V_1 $ ve δ_1	P_1, Q_1	0	0
Gerilim kontrollü bara(k=2,...,N _g +1)	N _g	$P_k, V_k $	Q_k, δ_k	N _g	N _g
Yük barası (k= N _g +2,..., N)	N- N _g -1	P_k, Q_k	$ V_k , \delta_k$	2(N- N _g -1)	2(N- N _g -1)
Toplam	N	2N	2N	2N- N_g-2	2N- N_g-2

6.2. Gauss-Seidel Yöntemi

Gauss-seidal yöntemi güç akış analizinde temel yöntemidir. Analiz yapılırken süreci zorlaştıran durum farklı baralar için verilerin de farklı olmasıdır. Bu yöntemde yük baraları ve üretim baraları için farklı yaklaşımlar sunulur. Yük barasında aktif güç ve

reaktif güç değerleri bilindiğinden bara gerilimleri hesaplanır. Salınım barasının gerilimini hesaplamaya gerek yoktur. Çünkü salınım barasının gerilim değeri bilinmektedir. Bu şekilde tanımlandığından salınım barasıdır. Bu nedenle ilk iterasyonda elde edilen V_1 değeri ikinci iterasyonda yerine konularak V_2 değeri bulunur. Sonraki iterasyonda yerine konularak da V_3 değeri bulunur. Gerilim bulma iterasyonlarında kullanılacak denklem yine bara admitans matrisi, akım ve gerilim matrisleri kullanılarak elde edilir. Denklem (6.13)'de gerilim değerleri sırayla yalnız bırakılarak denklemler oluşturulur. Buna göre iki gerilim değeri için oluşturulan Gauss-Seidal iterasyonları (6.27), (6.28) ve genel iterasyon denklemi (6.29)'da gösterilmiştir.

$$V_1^{(i+1)} = \frac{1}{Y_{11}} (I_1^{(i)} - Y_{12}V_2^{(i)} - \dots - Y_{1n}V_n^{(i)}) \quad (6.27)$$

$$V_2^{(i+1)} = \frac{1}{Y_{22}} (I_2^{(i)} - Y_{21}V_1^{(i)} - \dots - Y_{2n}V_n^{(i)}) \quad (6.28)$$

$$V_n^{(i+1)} = \frac{1}{Y_{nn}} (I_n^{(i)} - Y_{n1}V_1^{(i+1)} - \dots - Y_{nn-1}V_{n-1}^{(i+1)}) \quad (6.29)$$

Gerilim değerleri $i=0$ 'dan başlayarak sırasıyla hesaplanır. Yük baralarında bilinen değerler aktif güç ve reaktif güç değerleridir. Dolayısıyla denklemlerde bilinen verilerin kullanılması için denklem (6.30) kullanılacaktır.

$$I_n = \frac{P_n - jQ_n}{V_n^*} \quad (6.30)$$

Denklem (6.30)'da verilen akım değeri (6.27) ve (6.28)'de yerine konularak gerilim değerleri bulunur.

$$V_n^{(i+1)} = \frac{1}{Y_{nn}} \left(\frac{P_n - jQ_n}{V_n^*} - Y_{n1}V_1^{(i+1)} - \dots - Y_{nn-1}V_{n-1}^{(i+1)} \right) \quad (6.31)$$

Gerilim değerlerinin $i=0$ 'dan başlayarak son değere kadar bulunması gerekir. Belirli bir yakınsama sağlandıktan sonra iterasyonlar sonlandırılır. Bunun için bir sınır değeri tanımlanmalıdır. Bu tanımlama (6.32)'de yapılmıştır.

$$\left| V_n^{(i+1)} - V_n^{(i)} \right| < K_v \quad (6.32)$$

K_v , gerilim için yakınsama sınırıdır. Bu değer binde bir veya on binde bir olarak tanımlanmaktadır.

Yukarıda söylendiği gibi üretim baralarında bu analiz farklı yapılmaktadır. Çünkü üretim baralarında bilinen değer gerilim değeridir. Bu değer kullanılarak reaktif gücün hesaplanması gerekmektedir. Bara sayısı n olan ve k . baranın da jeneratör barası olduğu bir elektrik şebekesinde güçler aşağıdaki denklemler ile bulunur (Yeşilbudak ve diğ., 2017; Firuzabad ve diğ., 2015; Nur, 2022).

$$S_k = V_k I_k^* = P_k + jQ_k \quad (6.33)$$

$$I_k = \frac{P_k - jQ_k}{V_k^*} = Y_{k1}V_1 + Y_{k2}V_2 + Y_{k3}V_3 + \dots + Y_{kn}V_n \quad (6.34)$$

$$P_k - jQ_k = V_k^{(i)} * \left(\sum_{j=1}^n Y_{kj} V_j^{(i)} \right) \quad (6.35)$$

Yukarıdaki (6.33)'teki denklemde gerçek değerler ve sanal değerler birbirine eşit olacaktır. Buradan yola çıkarak sanal kısımlar birbirine eşitlenirse (6.36)'da baranın reaktif gücü bulunacaktır.

$$Q_k = -I_m \left(V_k^{(i)} * \left(\sum_{j=1}^n Y_{kj} V_j^{(i)} \right) \right) \quad (6.36)$$

Bu denklemlerin çözümünde iterasyonların sonucunda bulunan Q_k değerleri reaktif güç sınırlarına göre değerlendirmeye tabi tutulur. Eğer Q_k değeri minimum reaktif güçten küçük olursa $Q_k = Q_{min}$ olarak alınır. Eğer Q_k değeri maksimum reaktif güçten büyük bulunursa $Q_k = Q_{max}$ olarak değerlendirilir.

İlgili baranın gerilim değeri bulunurken hesaplanan Q_k değeri yerine konularak hesaplanır.

Daha basit ve hızlı olarak sonuca ulaştırır. Küçük sistemler için uygulanması uygundur. Çünkü Gauss-Seidel metodu, Newton-Raphson'dan daha basit bir yapıya sahiptir. Her iterasyonda sadece bir denklem çözülür ve bu çözüm diğer denklemlere etki eder.

6.3. Newton-Raphson Yöntemi

Bu yöntemin temelinde taylor serisi açılımı vardır. İki veya ikinden fazla değişkenli problemlerin çözümü için bu yöntem içinde kullanılmaktadır. Bu yöntemin faydalı sonuç vermesi için başlangıç değerlerini uygun belirlemek önem arz eder. Eğer başlangıç değerleri gerçek değerlere yakın seçilirse Newton-Raphson yöntemi (NRY) daha iyi sonuç verecektir. Bilindiği gibi güç akış analizindeki bu metotlar lineer olmayan denklemlerin çözümü için kullanılır. Aşağıdaki (6.37)'de bu matris tanımlanmıştır.

$$f(x) = [y] \quad (6.37)$$

Yukarıda verilen matris eşitliği açılımı x_0 civarında taylor serisine göre yapılır ve denklem (6.38) oluşturulur.

$$y = f(x_0) + \left. \frac{df}{dx} \right|_{x=x_0} (x - x_0) + \frac{1}{2} \left. \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} \right|_{x=x_0} (x - x_0)^2 + \dots \dots \quad (6.38)$$

Söylendiği gibi 2 ve daha yüksek derece olan kısmı türevler ihmal edilirse (6.39) bulunur.

$$y = f(x_0) + \left. \frac{df}{dx} \right|_{x=x_0} (x - x_0) \quad (6.39)$$

Bu denklemi bulduktan sonra x 'i yalnız bırakmak için aşağıdaki sıra ile aşağıdaki işlemler yapılır.

$$\left. \frac{df}{dx} \right|_{x=x_0} (x - x_0) = y - f(x_0) \quad (6.40)$$

$$x - x_0 = \left[\left. \frac{df}{dx} \right|_{x=x_0} \right]^{-1} [y - f(x_0)] \quad (6.41)$$

$$x = x_0 + \left[\left. \frac{df}{dx} \right|_{x=x_0} \right]^{-1} [y - f(x_0)] \quad (6.42)$$

Bu aşamadan sonra bazı tanımlamalar yapmak gerekir. Yapılacak tanımlamalarda $x_0 = x(i)$, $x = x(i + 1)$ ve $\frac{df}{dx}\bigg|_{x=x_0} = J(x)$ şeklindedir. Burada $J(x)$, Jacobian Matrisi olarak adlandırılır. $J(x)$ matrisi aşağıda açılmıştır. Bu matris $N \times N$ boyutlu bir matristir.

$$J(x) \frac{df}{dx}\bigg|_{x=x_1} = \begin{bmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial x_1} & \frac{\partial f_1}{\partial x_2} & \cdots & \frac{\partial f_1}{\partial x_n} \\ \frac{\partial f_2}{\partial x_1} & \frac{\partial f_2}{\partial x_2} & \cdots & \frac{\partial f_2}{\partial x_n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial f_n}{\partial x_1} & \frac{\partial f_n}{\partial x_2} & \cdots & \frac{\partial f_n}{\partial x_n} \end{bmatrix}_{x=x(i)} \quad (6.43)$$

Güç akış problemlerinin çözümü için x , y ve f vektörlerinin gerilim fazörü, gerilim genliği, aktif güç, reaktif güç cinsinden tanımlanması gerekir.

$$x = \begin{bmatrix} \delta_k \\ |V_k| \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \delta_1 \\ \vdots \\ \delta_N \\ V_2 \\ \vdots \\ V_N \end{bmatrix} \quad (6.44)$$

$$y = \begin{bmatrix} P \\ Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} P_1 \\ \vdots \\ P_N \\ Q_2 \\ \vdots \\ Q_N \end{bmatrix} \quad (6.45)$$

$$f(x) = \begin{bmatrix} P(x) \\ Q(x) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} P_2(x) \\ \vdots \\ P_N(x) \\ Q_2(x) \\ \vdots \\ Q_N(x) \end{bmatrix} \quad (6.46)$$

Denklemlerde kullanılan değişkenlerin cinsi hesap yaparken önemlidir. Gerilim, aktif güç ve reaktif güç değerleri per-unit cinsinden verilir. Salınım barasının gerilimi ve faz açısı başlangıç değeri olarak bilindiğinden işlemlerde yer verilmemiştir. Bu verilerle birlikte denklemler (6.19) ve (6.20) aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$$y_k = P_k = P_k(x) = \sum_{n=1}^N |Y_{kn}| |V_k| |V_n| \cos(\delta_k - \delta_n - \theta_{kn}) \quad k = 2, 3, 4 \dots N \quad (6.47)$$

$$y_{k+N} = Q_k = Q_k(x) = \sum_{n=1}^N |Y_{kn}| |V_k| |V_n| \sin(\delta_k - \delta_n - \theta_{kn}) \quad k = 2, 3, 4 \dots N \quad (6.48)$$

Jacobian matrisinde de değişkenler yerine konulursa (6.49)'deki denklem elde edilir.

$$J(x) = \begin{bmatrix} J_1 & J_2 \\ J_3 & J_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial P_2}{\partial \delta_2} & \dots & \frac{\partial P_2}{\partial \delta_N} & \frac{\partial P_2}{\partial |V_2|} & \dots & \frac{\partial P_2}{\partial |V_N|} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial P_N}{\partial \delta_2} & \dots & \frac{\partial P_N}{\partial \delta_N} & \frac{\partial P_N}{\partial |V_2|} & \dots & \frac{\partial P_N}{\partial |V_N|} \\ \frac{\partial Q_2}{\partial \delta_2} & \dots & \frac{\partial Q_2}{\partial \delta_N} & \frac{\partial Q_2}{\partial |V_2|} & \dots & \frac{\partial Q_2}{\partial |V_N|} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial Q_N}{\partial \delta_2} & \dots & \frac{\partial Q_N}{\partial \delta_N} & \frac{\partial Q_N}{\partial |V_2|} & \dots & \frac{\partial Q_N}{\partial |V_N|} \end{bmatrix} \quad (6.49)$$

Yukarıdaki jacobian matrisi J1, J2, J3 ve J4 olmak üzere dört bölüme bölünmüştür. Bu aşamadan sonra kısmi türevlerin açılımı tanımlanmıştır. Matrisin diagonal elemanları ve köşegen dışı elemanları olarak ayrılmıştır (Özyön, 2009).

$$n \neq k \begin{cases} J1_{kn} = \frac{\partial P_k}{\partial \delta_n} = |Y_{kn}| |V_k| |V_n| \sin(\delta_k - \delta_n - \theta_{kn}) \\ J2_{kn} = \frac{\partial P_k}{\partial |V_n|} = |Y_{kn}| |V_k| \cos(\delta_k - \delta_n - \theta_{kn}) \\ J3_{kn} = \frac{\partial Q_k}{\partial \delta_n} = -|Y_{kn}| |V_k| |V_n| \cos(\delta_k - \delta_n - \theta_{kn}) \\ J4_{kn} = \frac{\partial Q_k}{\partial |V_n|} = |Y_{kn}| |V_k| \sin(\delta_k - \delta_n - \theta_{kn}) \end{cases} \quad (6.50)$$

$$n = k \left\{ \begin{array}{l} J1_{kk} = \frac{\partial P_k}{\partial \delta_k} = - \sum_{n=1, n \neq k}^N |Y_{kk}| |V_k| |V_n| \sin(\delta_k - \delta_n - \theta_{kn}) \\ J2_{kk} = \frac{\partial P_k}{\partial |V_k|} = 2|Y_{kk}| |V_k| \cos(\theta_{kk}) + \sum_{n=1, n \neq k}^N |Y_{kn}| |V_k| \cos(\delta_k - \delta_n - \theta_{kn}) \\ J3_{kk} = \frac{\partial Q_k}{\partial \delta_k} = \sum_{n=1, n \neq k}^N |Y_{kn}| |V_k| |V_n| \cos(\delta_k - \delta_n - \theta_{kn}) \\ J4_{kk} = \frac{\partial Q_k}{\partial |V_k|} = 2|Y_{kk}| |V_k| \sin(-\theta_{kn}) + \sum_{n=1, n \neq k}^N |Y_{kn}| |V_k| \sin(\delta_k - \delta_n - \theta_{kn}) \end{array} \right. \quad (6.51)$$

NRV kullanılarak değerlerin bulunması için $x(i)$ değerleri ile $x(i+1)$ değerleri bulunacaktır. Bu akış aşağıda gösterilmiştir (Glover, 1994; Gringer ve Stevenson, 1996; Wood ve Wollenberg, 1996; Özyön, 2009)

$$\Delta y(i) = \begin{bmatrix} \Delta P(i) \\ \Delta Q(i) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} P - P[x(i)] \\ Q - Q[x(i)] \end{bmatrix} \quad (6.52)$$

Bu denklemin elemanları olan aktif güç ve reaktif güç değerleri (P ve Q) önceki denklemlerde verilen (6.1) ve (6.2) kullanılarak bulunur. $P[x(i)]$, $Q[x(i)]$ ve $Q_k(x)$ değerleri ise sırasıyla denklem (6.43) ve (6.44) kullanılarak elde edilir. Hesaplamaların devamında ise tüm gerilim kontrollü baralar için reaktif güç eşitliği yazılır. Denklem (6.53)'da gösterilmiştir.

$$Q_{gk} = Q_k(x) + Q_{Lk} \quad (6.53)$$

Eğer Q_{gk} değeri belirlenen sınıra ulaşırsa, ilgili bara tipi yük bara olarak dönüştürülür ve Q_{gk} değeri sabitlenir. Aynı zamanda, bara ile ilgili satır ve sütun bilgileri Jacobian matrisine yeniden eklenir, V_k 'nın güncellenmiş değeri yeni bir güç akışı ile hesaplanır. Hesaplamaların devamında (6.47) ve (6.48) kullanılarak Jacobian matrisi oluşturulur. Gauss eliminasyon yöntemi ile $\Delta \delta$ ve $\Delta |V|$ bulunur. (Glover, 1994; Gringer ve Stevenson, 1996; Wood ve Wollenberg, 1996; Özyön, 2009).

$$\begin{bmatrix} J1(i) & J2(i) \\ J3(i) & J4(i) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta\delta(i) \\ \Delta V(i) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta P(i) \\ \Delta Q(i) \end{bmatrix} \quad (6.54)$$

$$x(i+1) = \begin{bmatrix} \Delta\delta(i+1) \\ \Delta V(i+1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \delta(i) \\ V(i) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \Delta\delta(i) \\ \Delta V(i) \end{bmatrix} \quad (6.54)$$

Bu hesaplar sonucunda bulunan P_k ve Q_k güçlerinin yakınsama limitlerine bakılarak kontrol edilir. Yani, yakınsama tolerans değerine ε dersek $\Delta P_k(i), \Delta Q_k(i) \leq \varepsilon$ şeklinde kontrol yapılır. Burada k değerleri 2'den başlayarak N , bara sayısına kadar gider. Bu kriter sağlanıncaya kadar iterasyonlar devam eder.

Son olarak NRY hesaplarında aktif ve reaktif güç için bulunan ifadeler (6.55) ve (6.56)'de tanımlanmıştır. Bu denklemlerde gösterilen değerler k numaralı baradan n numaralı baraya aktarılan aktif güçler ve reaktif güçlerin k numaralı bara tarafındaki güçlerdir.

$$P_{kn} = |Y_{kn}| |V_k^2| \cos(\theta_{kn}) - |Y_{kn}| |V_k| |V_n| \cos(\delta_k - \delta_n - \theta_{kn}) \quad (6.55)$$

$$Q_{kn} = -|V_k^2| \left[|Y_{kn}| \cos(\theta_{kn}) - \frac{B_{kn}}{2} \right] - |Y_{kn}| |V_k| |V_n| \cos(\delta_k - \delta_n - \theta_{kn}) \quad (6.56)$$

7. ELEKTRİKLİ ARAÇ ŞARJ İSTASYONLARININ ŞEBEKEYE ETKİLERİNİN YAPAY SİNİR AĞLARI İLE ANALİZİ

Elektrik enerjisi günlük hayatın temel ihtiyaçlarından biri haline gelmiştir. Bunun sonucu olarak elektrikli araçlar üzerine çalışmalar yapılması ve bu araçların yaygınlaşması kaçınılmazdır. Sektör raporlarına ve son yıllardaki elektrikli araç satışlarına bakıldığında elektrikli araçların (EA) gün geçtikçe yaygınlaşacağını kaçınılmaz olduğu görülmektedir. Fosil yakıtların bilinen sorunlarından dolayı otomotiv sektöründe de alternatif yakıtlar aranmış ve özellikle son yıllarda elektrikli araçlar büyük önem kazanmıştır. Elektrikli araçların ulaşım alanının fosil yakıtlardan kaynaklı olan sorunları ortadan kaldıracağı öngörülmektedir. Fakat, bu araçlara elektrik enerjisi sağlamak, batarya dolum noktaları oluşturmak, şebeke ve altyapı sistemlerini revize etmek gibi büyük sorunlar ortaya çıkmaktadır. EA'lerin üretimi ve kullanımlarının artmasıyla ulaşım sektöründen kaynaklı sera gazı emisyonları da azalacaktır (Qian ve ark, 2010). ACEA 2022 ilerleme raporuna göre Avrupa'da elektrikli araç kaydı 2017 yılında 168.901 iken 2021 yılında 1.744.520 adede ulaşmıştır. Ayrıca Avrupa Birliği'nde 2021 yılında yeni tescillenen araçların %18'ini EA'lerin oluşturduğu ve bu da satılan her yeni aracın beş tanesinden birinin EA olduğu anlamına gelmektedir (ACEA Raporu, 2022). Bu da EV'lerin ne kadar hızlı yaygınlaştığının ve yakın gelecekte çok daha fazla sayıda kullanılacağını açık göstergesidir. EA kullanımının bu kadar hızlı artması şarj istasyonu ihtiyacının ve sayısının da hızla artacağını göstermektedir. Sonuç olarak, elektrik enerji ihtiyacı da aynı oranda artacaktır. Şarj istasyonu sayılarının artmasıyla bu şarj istasyonları öncelikle mevcut elektrik şebekesinden besleneceklerinden bölgelerin altyapı durumu büyük önem kazanacaktır. Mevcut şebekeler kullanıldığında hâlihazırda şebekeden beslenen sabit yükler ve bu yüklerin ihtiyacı olan elektrik enerjisinin kalitesi şarj istasyonlarının da sisteme ilave edilmesiyle etkilenecektir. EA yüklerine daha detaylı bakıldığında EA'lerden kaynaklı enerji talebi şarj edilen EA sayısına, şarj süresine ve batarya başlangıç şarj kapasitelerine bağlıdır. Batarya başlangıç şarj durumu ve şarj edilme süreleri kullanıcıların araç kullanım alışkanlıklarına göre rastgele değişmektedir. Teknolojinin geleceği ve enerji talebi konusunda büyük önem arz eden bu durumlar birçok araştırmacı tarafından farklı açılardan incelenmiştir. Hadley ve diğ., Plug-in Hibrit EA'lerin elektrik potansiyel enerjisi talebi ve 2020-2030 yıllarındaki CO₂ emisyonları öngörülmesi üzerine çalışılmıştır. Lucas ve diğ. bir Ea için şarj sırasında dört set olacak şekilde ölçümler alınarak harmonik analizler yapılmıştır. Harmonik etkiler ile ilgili

yapılan çalışmaların itici güç oluşturmasıyla Asu ve diğ., mevcut bir şarj cihazı için paralel güç devresi tasarlanarak bu sayede harmonik bozulmaların standartlar içerisinde kalmasını sağlayan bir tasarım yapılmıştır (Asu ve diğ.,2004). Ayrıca şarj istasyonlarının AG ve YG arasındaki etkileri konusunda da çalışmalar yapılmış, bir OG elektrik şebekesinde ultra hızlı Ea şarj istasyonlarının etkileri analiz edilmiştir (Sun ve diğ.,2017). EAŞİ'lerin farklı tipleri üzerinde de çalışmalar yapılarak AG tarafında genel kullanım amaçlı chargerların etkileri araştırılmıştır (Richardson ve diğ.,2010; Bassve diğ.,2001). Harmoniklerin oluşmasının yanı sıra oluşan harmonikler arasındaki farklılıklar da araştırılmıştır. Fujun ve diğ., Cheng ve diğ., farklı hızlardaki şarj istasyonları da dikkate alınarak oluşturulan şarj istasyonu modelleri üzerinde düşük dereceli harmonikler analiz edilmiştir (Fujun ve diğ.,2017; Cheng ve diğ.,2018) Bir batarya profili modellemesi yapılan çalışmada, Lucas ve diğ., EA bataryasının modellemesi, testi ve talep profili üzerinde çalışılmıştır (Lucas ve diğ.,2015). EAŞİ'ler ile lineer olmayan yüklerin artışıyla yük girişlerinde ve enerji bağlantı noktalarında harmonik distorsiyon artışları meydana gelecektir. Bu artışların analizi ANSI/IEEE C57.110' de belirtilen transformatörlerde doğrusal olmayan yükleri sıcaklık limitlerini aşmadan enerjilerini karşılamalarını belirten k faktörü belirlemede, iletken ömürlerinin hesaplanması ve uzatılmasında, iletken kesit seçimlerinde, akım ve gerilim transformatörleri seçimlerinde ve koruma ayarları gibi birçok konuda fayda sağlayacaktır. Bu bölümde, şarj istasyonlarının mevcut yükleri olan farklı büyüklüklerdeki şebekeler üzerindeki en önemli etkilerinden biri olan toplam harmonik distorsiyon (THD) etkisi ile elektrik enerjisi kalitesi üzerine etkileri incelenmiştir. IEEE 6 baralı, 14 baralı ve 30 bara güç sistemleri Simulink'te modellenmiştir. Mevcut yüklerin de olduğu bu sistemlere yine Simulink ortamında modellenen 50 kW gücünde bir electric vehicle DCHŞİ bağlanmıştır. Bu şebeke modellerinde EA DCHŞİ bağlanmadan önce baradaki akım ve gerilim sinyali ile DCHŞİ bağlandıktan sonra bu şarj cihazının enerji aldığı transformatörün sekonderindeki akım ve gerilim sinyalleri incelenmiştir. Bu sinyallerin harmonik distorsiyonları hızlı fourier dönüşümü (FFT) kullanılarak hesaplanmış ve harmonik spektrumu çıkarılmıştır. Buna ek olarak, EA'ların bugüne kadar olan artış oranlarına ve gelecekte öngörülen artış oranlarına bakılmıştır. EA şarj istasyonlarının da aynı oranda artacağı düşünülerek şarj istasyonu artış oranı, simülasyon sonuçlarında bulunan akım ve gerilim harmonik distorsiyonlarının giriş olarak kullanıldığı yapay sinir ağları oluşturularak gelecekteki toplam harmonik distorsiyonlar öngörülmüştür. Bu durum neticesinde şebeke üzerinde altyapı çalışmaları yapılmazsa elektrik şebekesinde oluşacak sorunlar gösterilmiş ve

EAŞİ'lerin yüksek güçlerde şebeke bağlantısı genellikle ticari uygulamalarda tercih edildiğinden altyapı ve cihaz için ilk yatırım maliyetleri oldukça yüksektir. Bu nedenle ortalama bir güç belirlenmiştir.

EAŞİ'lerin hızlı artışından dolayı şebekeye olumsuz etkilerinin belirlenebilmesi için ve bu etkilerin teknik açıdan ifade edilebilmesi için, toplam harmonik distorsiyon (THD) hesabının yapılması önemli ve gereklidir. Bu nedenle elektrik şebekelerinin altyapıları hazırlanırken ve şebekelerde revize yapılırken gelecek durumların öngörülebilmesi için EAŞİ etkilerinin analiz edilmesi gerekmektedir. Bundan sonraki bölümlerde genel THD analiz modelleri ve bu modellerin şebekeye etkileri üzerinde durulmuştur. Bu modeller yardımı ile özellikle mevcut elektrik şebekelerinin enerji kalitesi üzerine olacak olan etkilerinin incelenmesi sağlanmıştır.

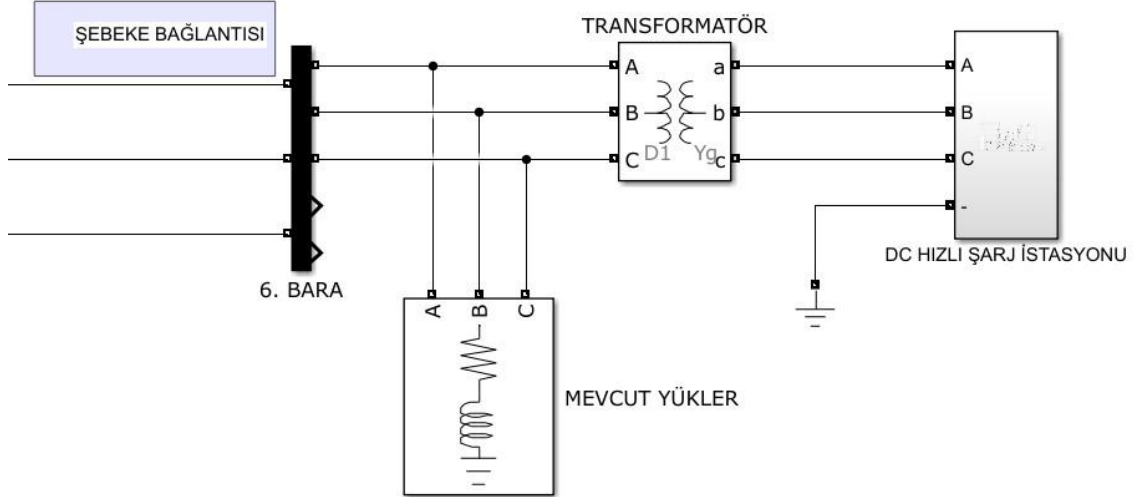
7.2. Toplam Harmonik Distorsiyon Hesapları ve Simülasyonlar

Elektrik güç sistemlerine teknolojik gelişmeler ve bunların getirdiği talepler neticesinde her geçen gün enerji ihtiyacı artmakta ve yeni yükler eklenmektedir. Bu çalışmada yukarıda anlatıldığı üzere yeni yükler olarak EA şarj istasyonları üzerine odaklanılmıştır. Bu yükler de güç elektroniği devrelerinden oluştuğundan lineer olmayan yüklerdir ve elektrik güç sistemlerinde enerji kalitesine büyük etkileri bulunmaktadır. Bu nedenle uluslararası standartlarda harmonik etkiler sınırlandırılmıştır (IEEE Std 519-2022; Barr ve Gosbell, 2014). İlgili standarttaki limitler sistem operatörü ve kullanıcılar arasındaki ortak bağlantı noktası olarak tanımlanmıştır. Güç sisteminde kullanıcıya en yakın olan nokta baz alınmaktadır. Bu çalışmada modellenen sistemin de dahil edildiği düşünülen ticari kullanıcılar için ortak bağlantı noktası genellikle servis transformatörlerinin alçak gerilim tarafındadır. Modellenen EA şarj istasyonları gibi lineer olmayan yükler sistem operatörüne ait enerji hatlarında akım harmoniklerine neden olacaktır. Bu durum da alt sistemlerde ve baralarda diğer kullanıcılara gerilim harmonikleri olarak yansıyacaktır (IEEE Std 519-2022). Bu çalışmada da servis transformatörünün alçak gerilim (AG) tarafında, şarj istasyonu doğrultucu girişindeki ve transformatörün yüksek gerilim (YG) tarafındaki akım ve gerilim sinyallerinde harmonik distorsiyonlar incelenmiştir.

Modellenen IEEE güç test sistemlerine EA şarj istasyonları bir transformatör üzerinden bağlanmıştır. Sistem incelenirken bazı araştır üç adet hipotez üzerinde durmaktadır.

- EA şarj istasyonları lineer olmayan yükler olarak şebekeye etki etmektedirler ve transformatörün alçak gerilim tarafında zararlı etkileri olmaktadır.
- Bir elektrikli araç şarj edilirken çekilen akım bir harmonik distorsiyon oluşturmaktadır ve toplam harmonik distorsiyon (HD) şarj istasyonu döngüsünde zamanın bir fonksiyonu şeklinde değişikliğe uğramaktadır.
- Son olarak birden fazla şarj istasyonu ortak bağlantı noktasından beslendiğinde toplam etkiler, bir adet şarj istasyonundan dolayı oluşacak etkilerden daha fazladır ve bu durum ilgili standartlara (IEEE Std 519-2022) göre ortak bağlantı noktasına bağlanabilecek şarj istasyonu sayısı için bir üst limit getirecektir. Bunun yanı sıra zaman içerisindeki artışlardan dolayı standartlardaki sınırlar aşılabilecek ve elektrik şebekesinde sorunlara neden olacaktır.

İlk olarak Şekil 7.2’de görülen IEEE 6 baralı güç test sisteminde 6. baraya bir transformatör üzerinden DC hızlı şarj istasyonu (DCHŞİ) bağlanmıştır.

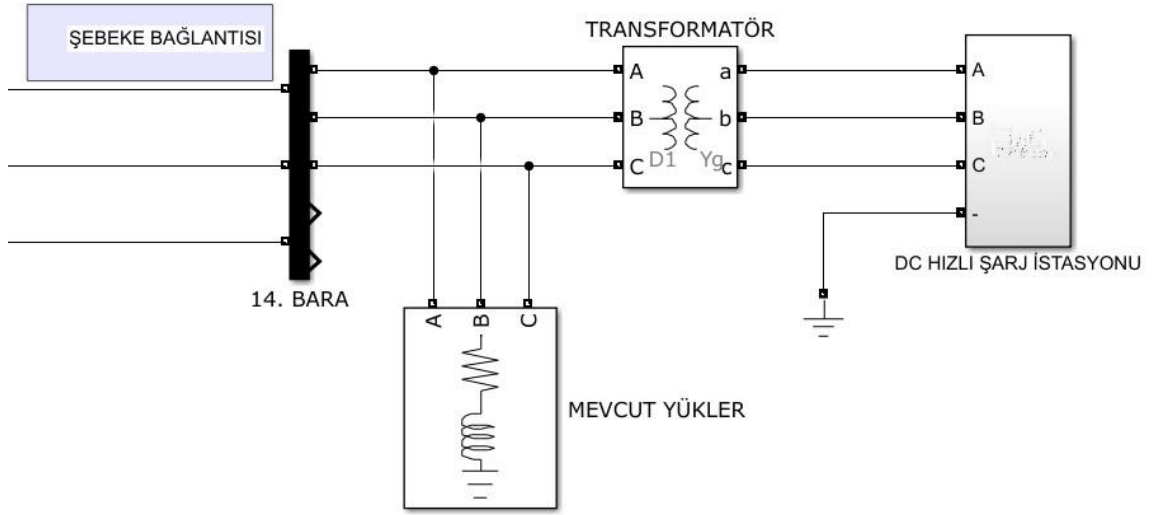


Şekil 7.2. 6 Baralı elektrik şebekesine DCHŞİ bağlantısı

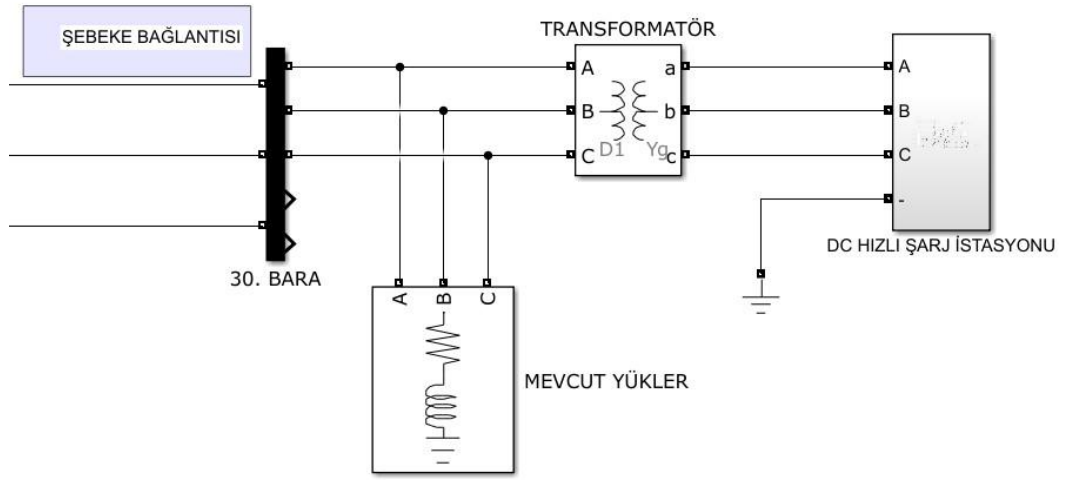
EA HŞİ’lerin enerji aldığı 6. Bara üzerinden mevcut yükler de beslenmektedir. Diğer bir ifade ile EAŞİ’ler hayatımıza çok hızlı bir şekilde dahil olmuştur. Elektrik şebekeleri ise bu değişikliğe adapte olmakta güçlük çekecektir. Bu nedenle vurgulanmak

istenilen zaten halihazırda elektrik şebekeleri üzerinde konutlar, sanayi tesisleri, kamulsa alanlar ve binalar gibi çok çeşitli yükler bulunmaktadır. EAŞİ'ler ise bu mevcut yüklerin etkisinin üzerine eklenecektir.

Farklı büyüklükteki şebekeye etkilerini de analiz edebilmek için bu çalışma içerisinde IEEE 14 baralı güç test sistemi ve 30 baralı güç test sistemlerine de EAŞİ'ler yük olarak uygulanmıştır. Bu sistemlerdeki kendilerinde mevcut olan yükler ve üretimler farklı olacaktır. Dolayısıyla ek yüklerle olan etkilerin de ayrıca analiz edilmesi faydalı olacaktır. Bu sistemlerde EA HŞİ'ler IEEE 14 baralı elektrik şebekesinde 14. baraya ve IEEE 14 baralı elektrik şebekesinde 30. baraya bağlanmıştır. Bağlantı yapılan baralar Şekil 7.3 ve Şekil 7.4'de gösterilmiştir.



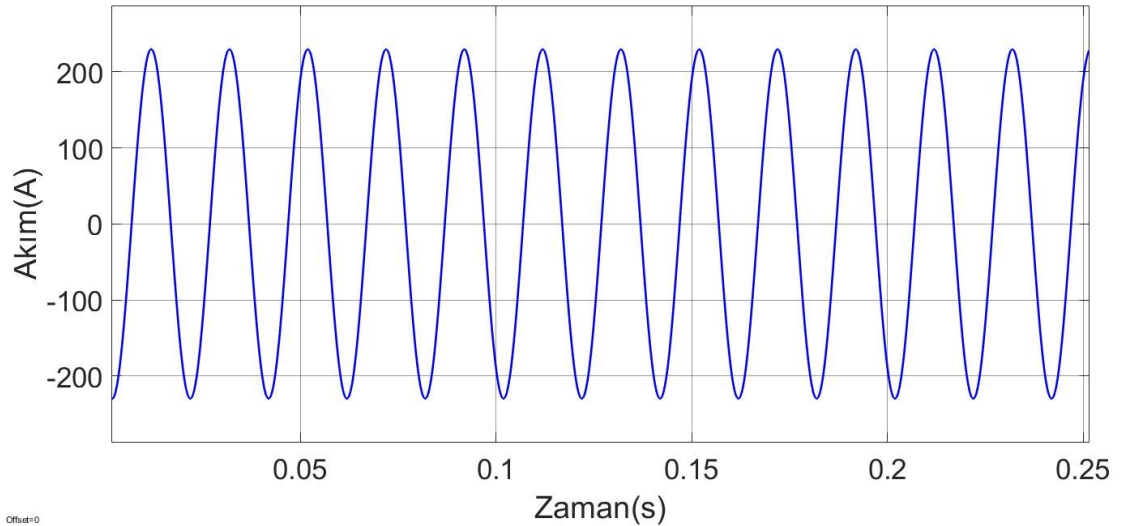
Şekil 7.3. 14 Baralı elektrik şebekesine DCHŞİ bağlantısı



Şekil 7.4. 30 Baralı elektrik şebekesine DCHŞİ bağlantısı

DCHŞİ'lerin girişi alçak gerilimden enerji almaktadır. Şebekelerdeki dağıtım baraları ise YG seviyesinde elektrik iletmektedir. Bu nedenle EAŞİ'ler bir transformatör üzerinden elektrik almaktadır. Aslında bu model uygulamaya yönelik gerçeklik avantajı da taşıyacaktı. Çünkü daha önce anlatıldığı gibi DCHŞİ'ler yüksek güç tüketen cihazlardır. Bu nedenle DCHŞİ kurulumu yaptıran tüketiciler genellikle bunu ticari amaç ile yapmaktadır. Tekil veya toplu EAŞİ montajlarında kurulu güç miktarı çok yüksek olacağından ilgili EDAŞ genellikle bu şekilde çoklu EAŞİ kurulumu yapmak isteyen tüketicileri OG'den elektrik şebekesine bağlamaktadır. Bu nedenle ilgili tüketicilerin kurulu güçlerini ve elektriksel altyapı detaylarını gösteren elektrik projelerini hazırlayarak ilgili EDAŞ'dan onay alıp sonrasında kabul işlemlerini yaptırması gerekecektir. Dolayısıyla bu çalışmada olduğu gibi transformatör üzerinden elektrik şebekesine bağlantılar yapılmış olacaktır. EAŞİ tüketici bağlantısının transformatör üzerinden yapılması ile burada oluşacak enerji kalitesine etkilerin direk elektrik şebekesine ve ilgili baraya etkileri olacaktır. Dolayısıyla bu tez çalışmasında transformatörün primer ve sokonder uçlarından yapılacak sinyal ölçümleri, EAŞİ'lerin elektrik şebekesine etkilerini analiz etmede büyük önem teşkil etmektedir.

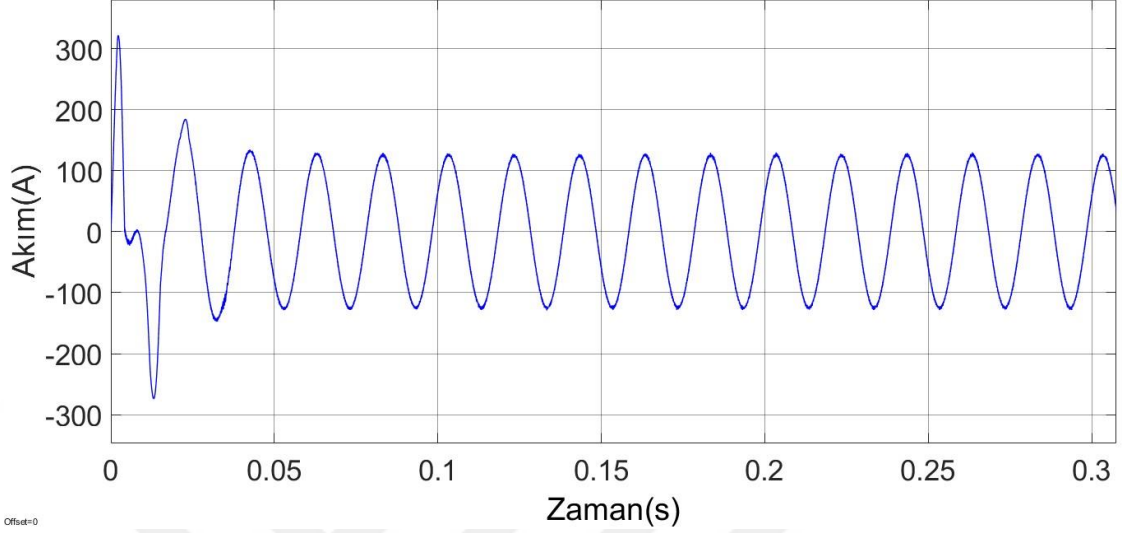
Simulink modeli çalıştırıldığında transformatörün YG tarafındaki 6. baradan ölçülen faz akımı sinyali Şekil 7.5'de görülmektedir.



Şekil 7.5. 1 EAŞİ bağlı 6 baralı şebekede 6. bara akım dalga şekli

Buradaki faz akımına mevcut yüklerin çektiği akım ve EAŞİ'nin çektiği akım da dahil olan akım sinyalidir. Burada şebekeye bir adet EAŞİ bağlıdır. EAŞİ'nin YG tarafında elektrik şebekesine yaptığı etkileri analiz etmek için alınan bir ölçümdür.

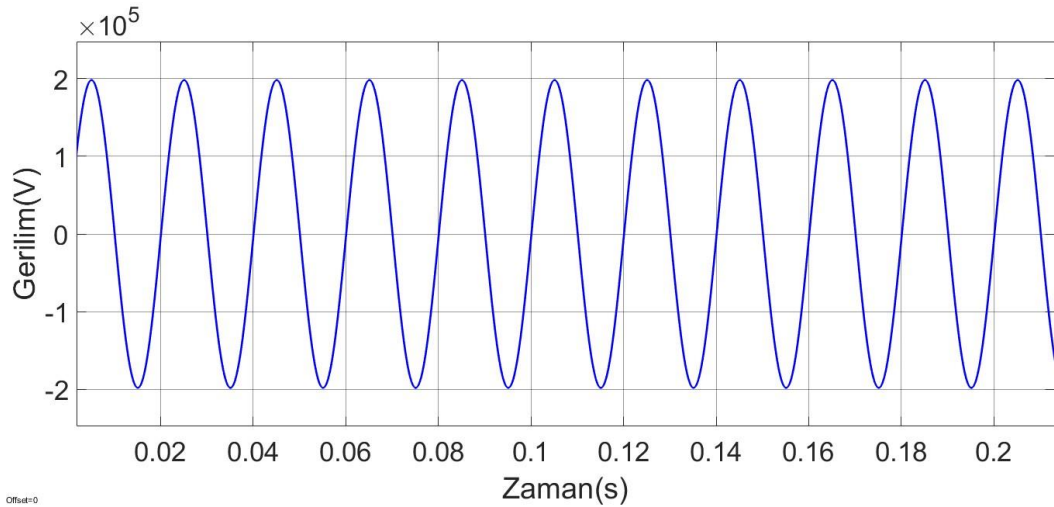
Transformatörün primer akımı ile sekonder akımı arasındaki farkları analiz etmek için akım transformatörünün sekonderinin yine aynı fazı olan A fazından ölçülmüş ve Şekil 7.6’da gösterilmiştir.



Şekil 7.6. 1 EAŞİ bağlı 6 baralı şebekede a fazı sekonder akım dalga şekli

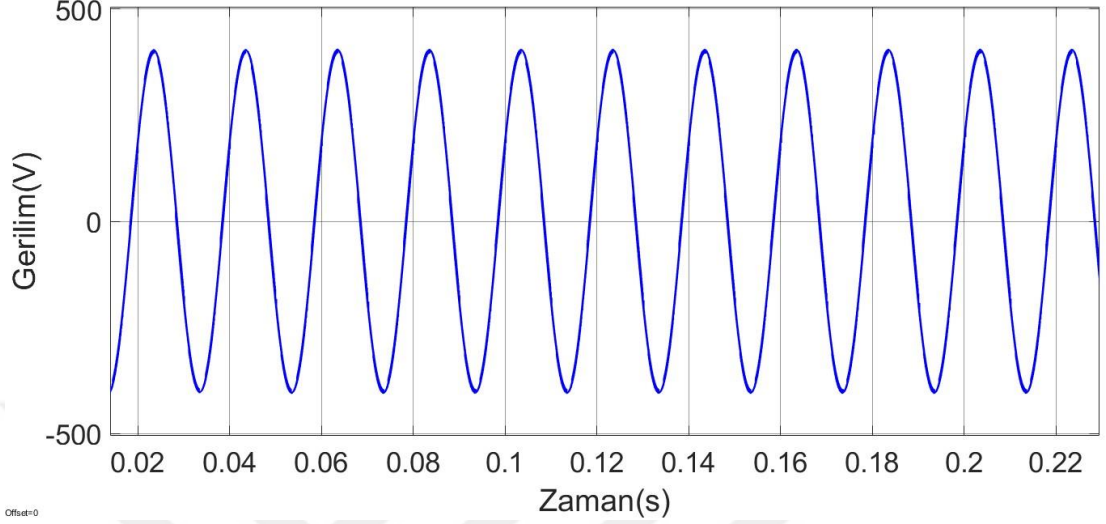
Burada gösterilen akım aynı zamanda EAŞİ'nin A fazına bağlanan yani EAŞİ tarafından çekilen akımdır.

Akım sinyalleriyle birlikte gerilimler de analiz edilmesi gerekmektedir. Bunun için önce transformatörün YG tarafındaki gerilim sinyalinin görüntüsü alınmıştır. Şekil 7.7’de bir EAŞİ bağlı 6 baralı elektrik şebekesinin transformatör A fazının primer gerilim sinyali gösterilmiştir.



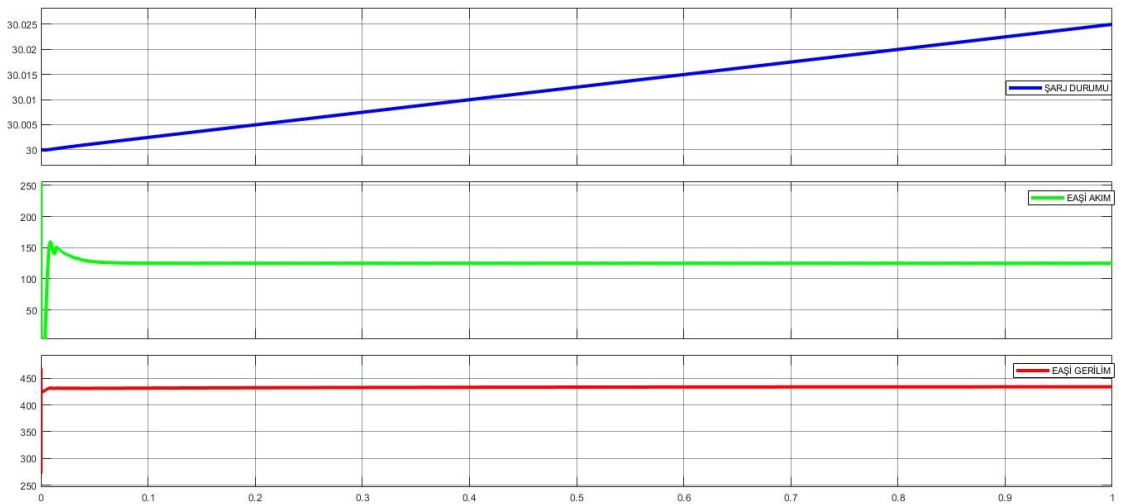
Şekil 7.7. 1 EAŞİ bağlı 6 baralı şebekede a fazı primer gerilim dalga şekli

Transformatörün sekonderi ve EAŞİ'nin AC enerji girişine bağlı A fazının gerilim sinyali görüntüsü Şekil 7.8'de gösterilmiştir.



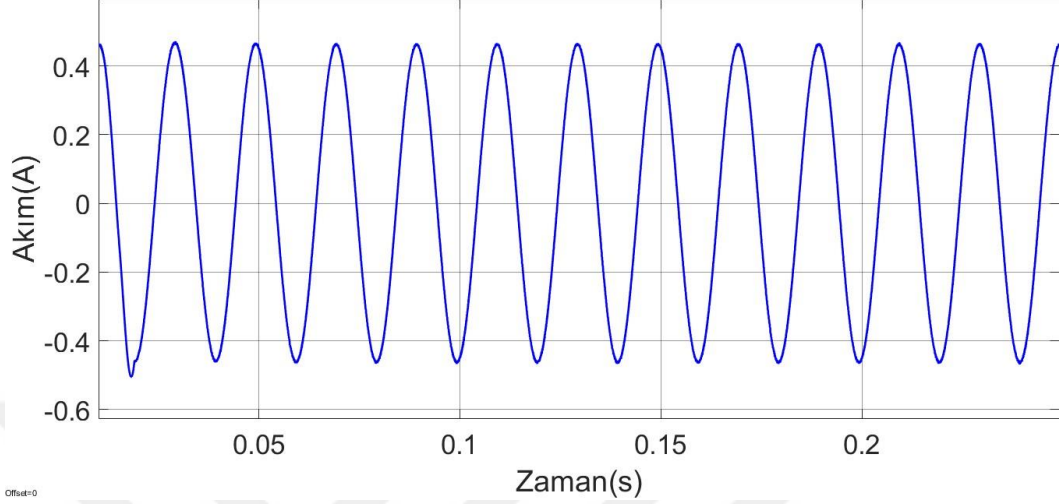
Şekil 7.8. 1 EAŞİ bağlı 6 baralı şebekede a fazı sekonder gerilim dalga şekli

EAŞİ'ler elektrik şebekesinden enerji çekmeye başladığında %30 batarya doluluk oranı belirlenmiştir. Modellenen senaryodan bataryanın sağlık döngüsünü sağlamak için %80'in üzerinde akım çekmesi yavaşlatılmaktadır. Burada da aynı senaryo gerçekleştiği için tam kapasite akım çektiği limitler içerisinde çalıştırılmıştır. Bataryanın şarj durumu, batarya DC barasına verilen DC akım ve gerilim değerleri de Şekil 7.9'da gösterilmiştir.

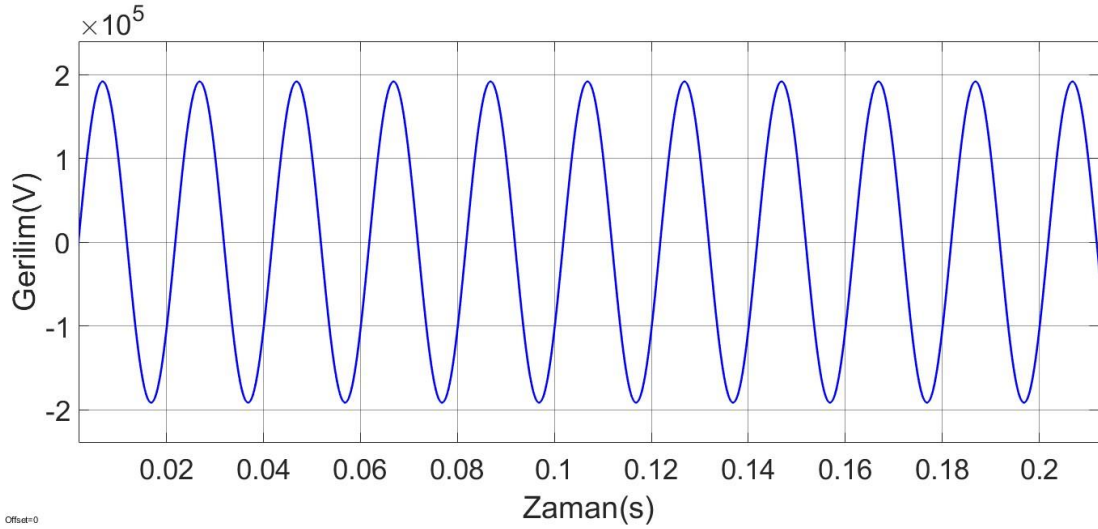


Şekil 7.9. EA Şarj durumu, DC şarj akımı ve DC şarj gerilim dalga şekli

Diğer bir şebeke modeli olan 14 baralı elektrik şebekesinde DCHŞİ 14. baraya bağlanarak akım ve gerilim sinyali ölçümleri alınmıştır. Şekil 7.10 ve 7.11’de transformatör primer A fazından alınan akım ve gerilim sinyalleri gösterilmiştir.

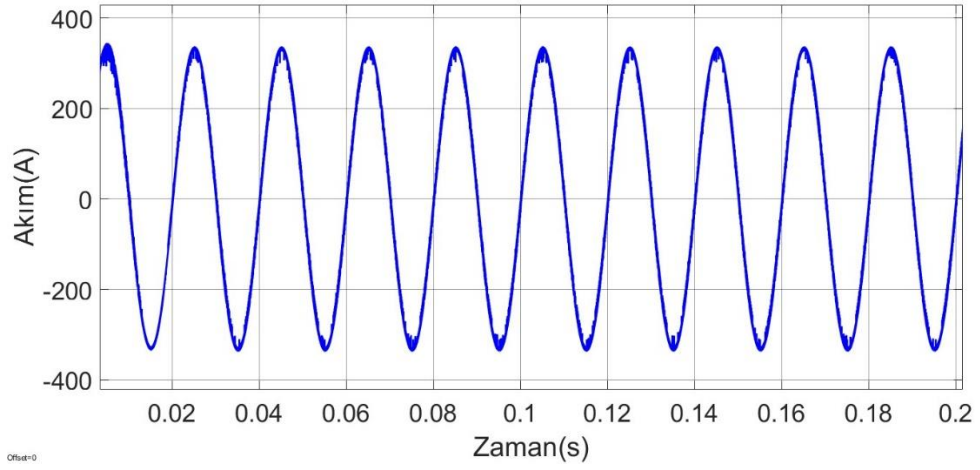


Şekil 7.10. 1 EAŞİ bağlı 14 baralı şebekede a fazı primer akım dalga şekli

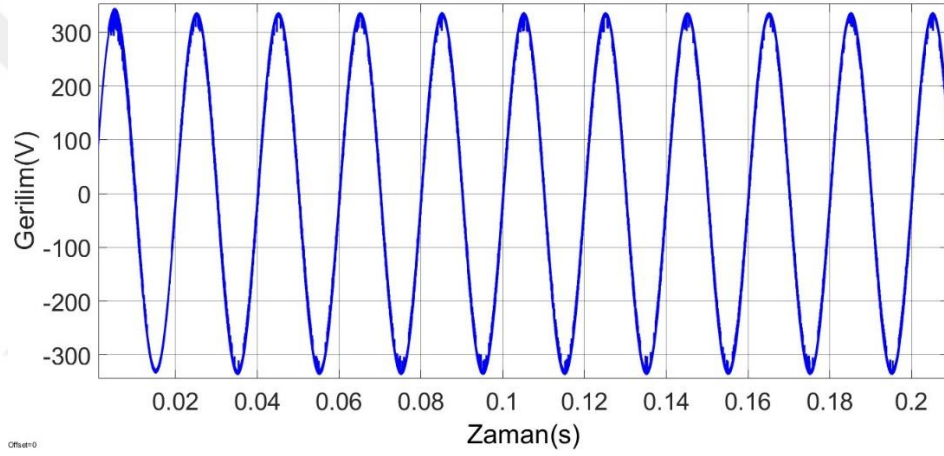


Şekil 7.11. 1 EAŞİ bağlı 14 baralı şebekede a fazı primer gerilim dalga şekli

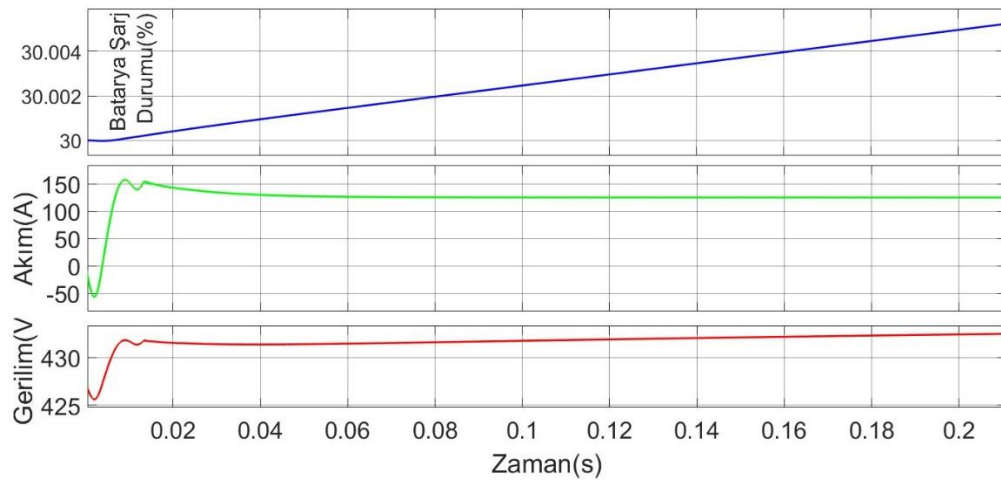
Primer ölçümleri alındıktan sonra transformatörün sekonder tarafı A fazından da ölçümler alınmıştır. Bu faz doğrudan AC EAŞİ'nin A fazına bağlıdır. Dolayısıyla bu sinyaller EAŞİ'nin giriş akım ve gerilim sinyali olarak da yorumlanabilir. Enerji kalitesindeki bozulmalar ilk olarak burada başlamaktadır. Şekil 7.12 ve 7.13’de EAŞİ'nin a fazında akım ve gerilim sinyalleri gösterilmiştir.



Şekil 7.12. 14 baralı şebekede EAŞİ a fazı primer akım dalga şekli

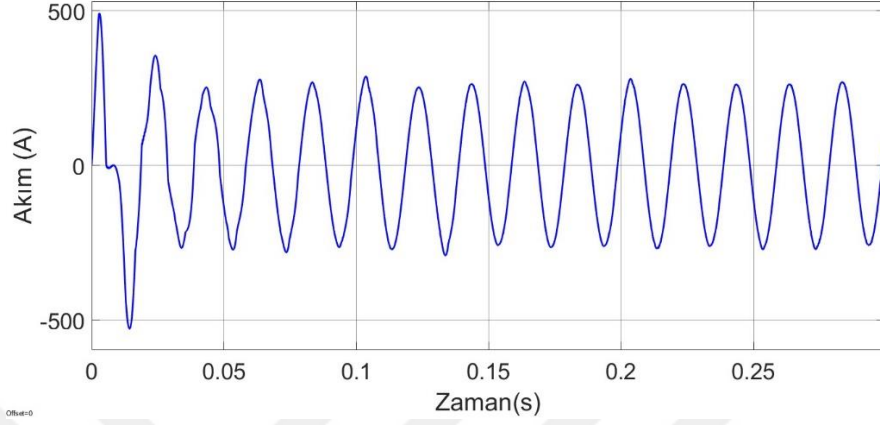


Şekil 7.13. 14 baralı şebekede EAŞİ a fazı primer gerilim dalga şekli

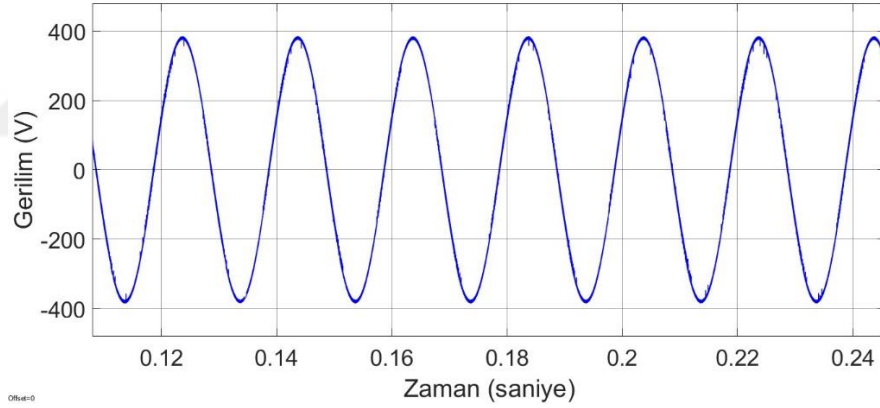


Şekil 7.14. EA Şarj durumu, EAŞİ DC şarj akımı ve DC şarj gerilim dalga şekli

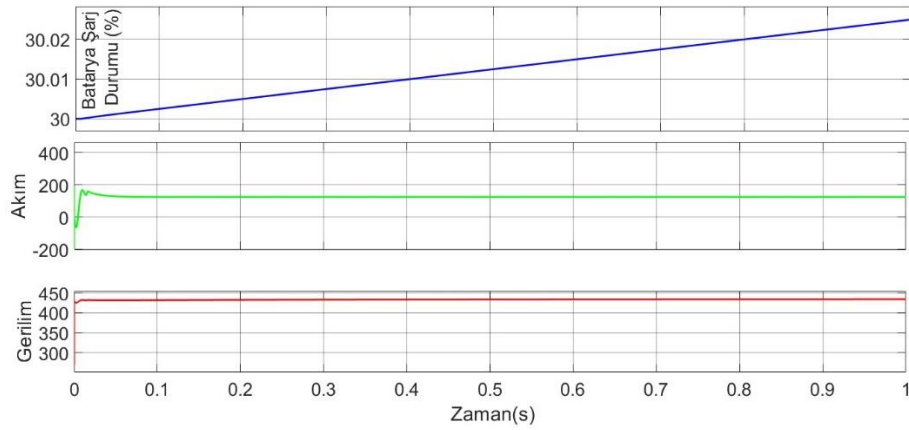
IEEE 6 baralı elektrik şebeke sistemi ve 14 baralı elektrik şebeke sisteminde yapılan işlemlerin aynısı 30 baralı elektrik şebekesine de uygulanmıştır. Bu şebekeye iki EAŞİ bağlı olduğu durumlar için yapılan ölçümler gösterilmiştir. Şekil 7.15 ve 7.16'de EAŞİ akım ve gerilimi gösterilmiştir.



Şekil 7.15. 1 EAŞİ bağlı 30 baralı şebekede 2 EAŞİ akım dalga şekli

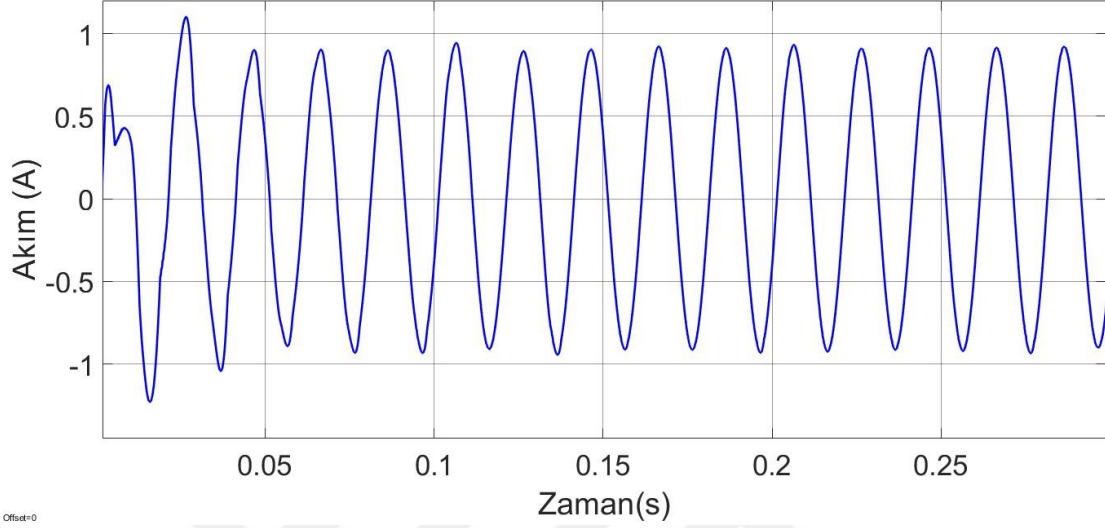


Şekil 7.16. 1 EAŞİ bağlı 30 baralı şebekede 2 EAŞİ gerilim dalga şekli

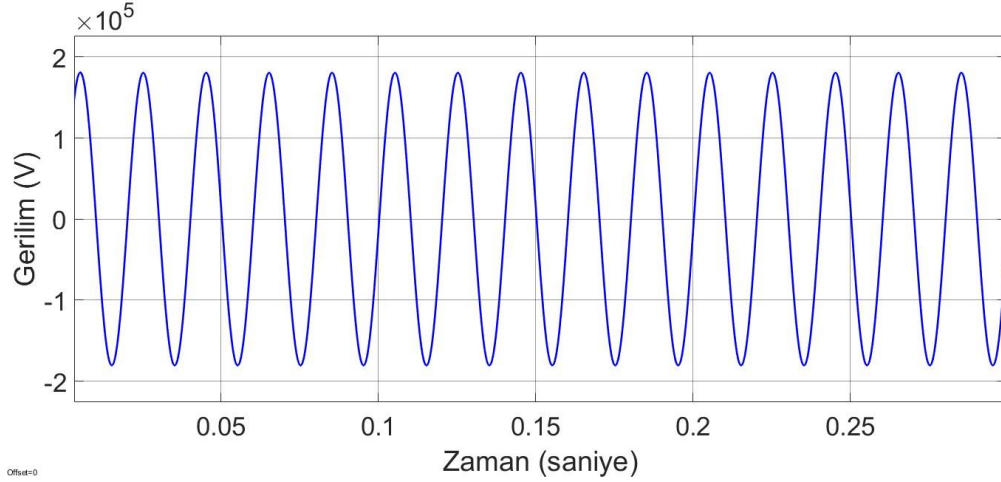


Şekil 7.17. EA Şarj durumu, EAŞİ DC şarj akımı ve DC şarj gerilim dalga şekli

Şarj istasyonlarının şebekeden bağlantısını sağlayan indirici transformatörün primerinin a fazından alınan akım ve gerilim değerleri Şekil 7.18 ve 7.19’de gösterilmiştir.



Şekil 7.18. 30 baralı şebekede EAŞİ transformatörü a fazı primer akım dalga şekli



Şekil 7.19. 30 baralı şebekede EAŞİ transformatörü a fazı primer gerilim dalga şekli

Şekillerde görüldüğü üzere EAŞİ’nin mevcut yüklere ek olarak kullanıldığı bir güç sisteminde akım verilir sinyallerinde bir distorsiyon oluşmaktadır. Toplanan veriler için bozulmanın hangi seviyelerde olduğunu hesaplamak gerekmektedir. Bunun için akım ve gerilim sinyallerinde toplam harmonik distorsiyonlar hesaplanacaktır. Bu hesaplamalarda gerilim için toplam harmonik distorsiyon şu şekilde hesaplanabilir;

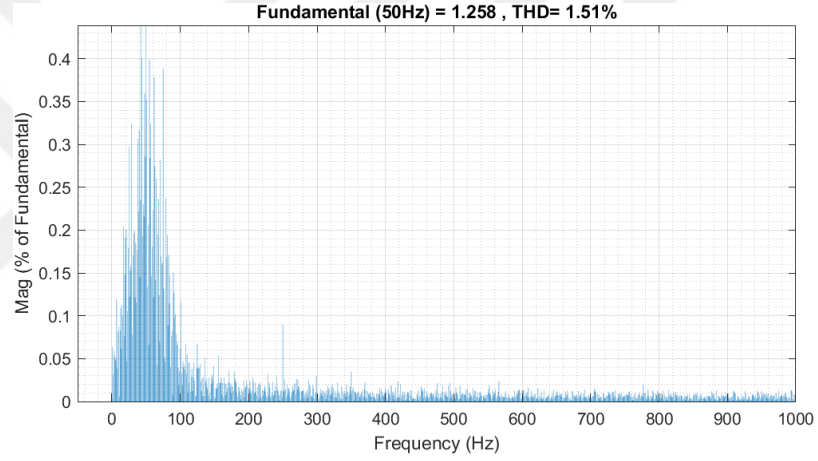
$$THD_U = \sqrt{\frac{\sum_{h=2}^H U_h^2}{U_1^2}} \quad (7.1)$$

Toplanan akım verileri için toplam harmonik distorsiyon ise şu şekilde hesaplanır;

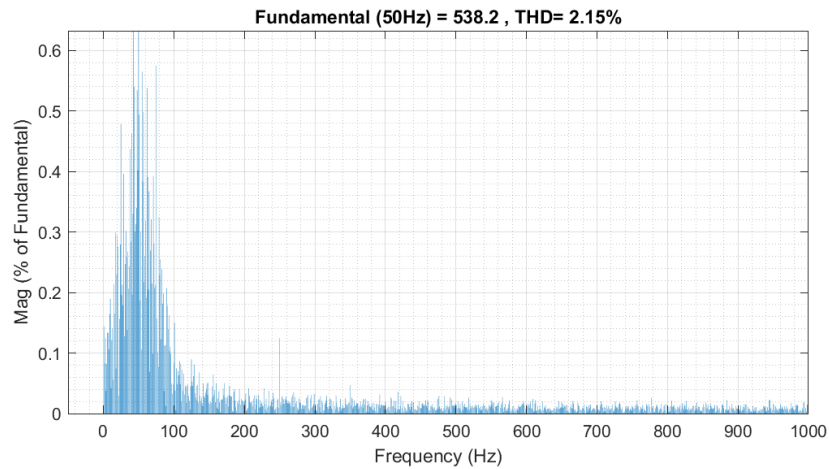
$$THD_I = \sqrt{\frac{\sum_{h=2}^H I_h^2}{I_1^2}} \quad (7.2)$$

Yukarıdaki (1) ve (2) numaralı denklemlerde, h -harmonic numarası, I_1 , U_1 - temel frekanstaki (50Hz) akım ve gerilim RMS (root mean square) değerlerini, I_h , U_h - root mean square (RMS) values of voltage and current h . harmonik anlamına gelmektedir.

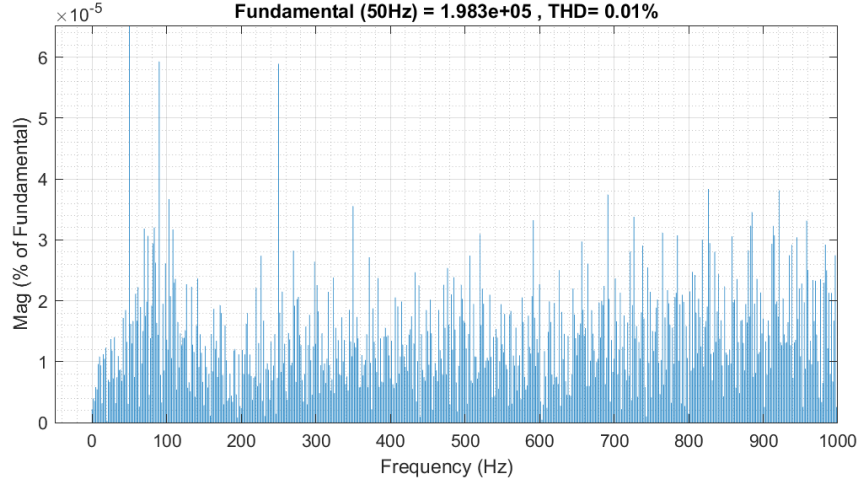
6 baralı elektrik şebekesindeki akım gerilim siyanlleri için THD değerleri hesaplanmış ve elde edilen sonuçlar Şekil 7.9-Şekil 7.22 arasında gösterilmiştir.



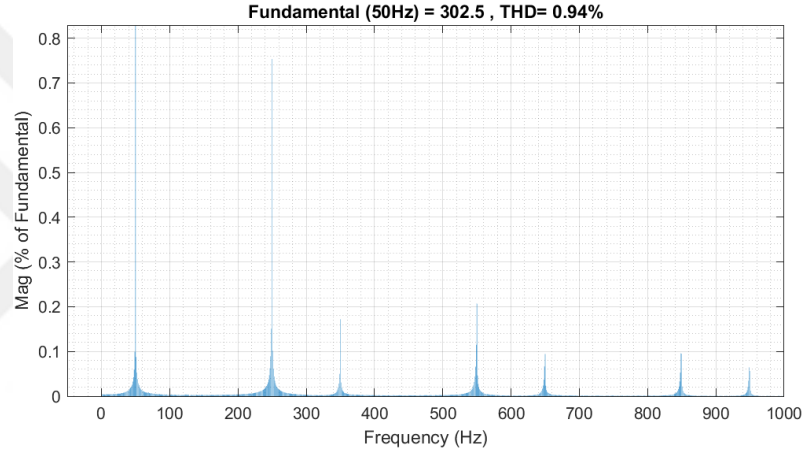
Şekil 7.20. 50 Hz 6 baralı şebeke frekansı için transformör primer akımı toplam harmonik distorsiyon görüntüsü



Şekil 7.21. 50 Hz 6 baralı şebeke frekansı için transformör sekonder/rectifier input akım toplam harmonik distorsiyon görüntüsü

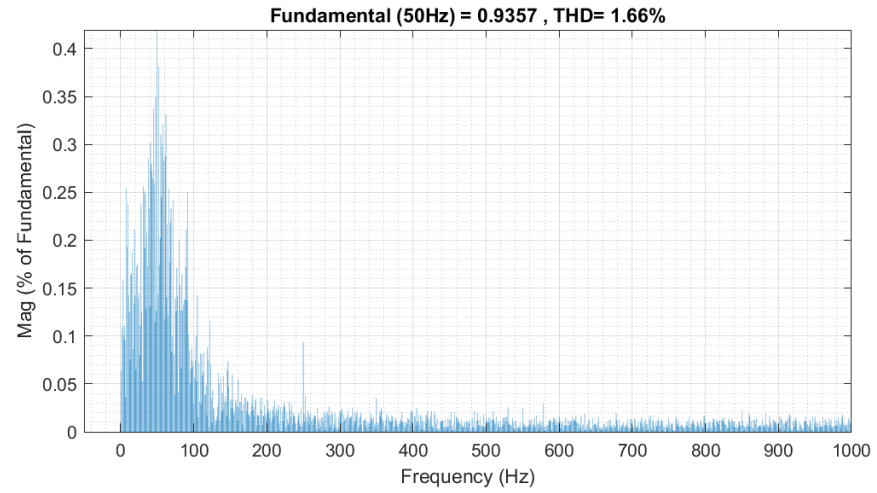


Şekil 7.22. 50 Hz 6 baralı şebeke frekansı için transformatör primer gerilim toplam harmonik distorsiyon

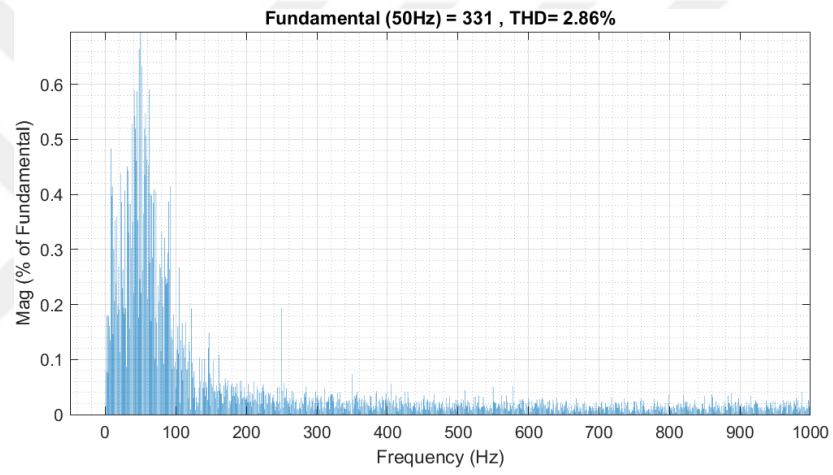


Şekil 7.23. 50 Hz 6 baralı şebeke frekansı için transformatör sekonder/rectifier input gerilim toplam harmonik distorsiyon

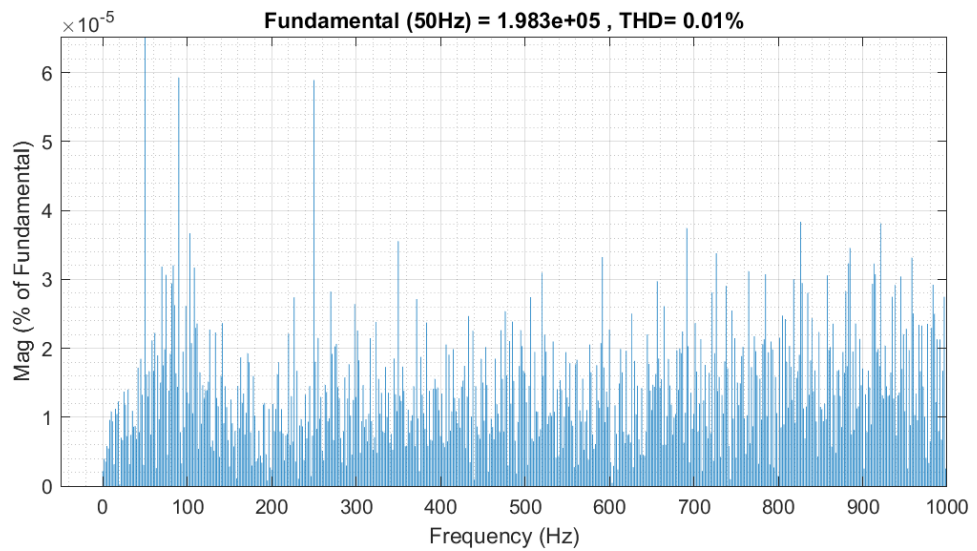
Görüldüğü üzere lineer olmayan yük olarak EAHŞİ bağlandığında ortak bağlantı noktasında yüksek bir akım harmonik distorsiyonu meydana getirmiştir. Bu durum da bulunduğu noktalardan itibaren transformatörün primer tarafında da bir gerilim harmonik distorsiyonlarına neden olmuştur. Bu veriler 6 baraya bir adet EAHŞİ bağlanarak elde edilmiştir. Sonrasında aynı enerji alış noktasına 3 adet şarj istasyonu bağlanarak yeniden verileri alınmış ve hızlı fourier dönüşümü (FFT) kullanılarak THD hesaplanmıştır. Hesaplanan THD'lar Şekil 7.23-Şekil 7.26 arasında gösterilmiştir.



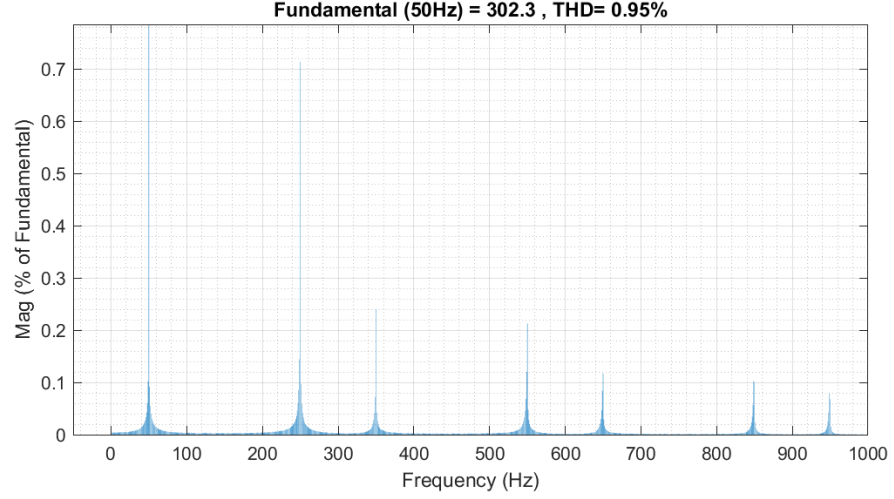
Şekil 7.24. 50 Hz 6 baralı şebeke frekansı için üç EAHŞİ için transformatör primer akım toplam harmonik distorsiyon



Şekil 7.25. 50 Hz 6 baralı şebeke frekansı için üç EAHŞİ için transformatör sekonder/rectifier input akım toplam harmonik distorsiyon



Şekil 7.26. 50 Hz 6 baralı şebeke frekansı için üç EAHŞİ için transformatör primer gerilim toplam harmonic distorsiyon



Şekil 7.27. 50 Hz 6 baralı şebeke frekansı için üç EAHŞİ için transformatör sekonder/rectifier input gerilim toplam harmonik distorsiyon

Sonuçlardan da anlaşılacağı üzere mevcut yüklere ek olarak lineer olmayan yükler sınıfındaki EAHŞİ ortak enerji alışı noktasına bağlandığında sayısı arttıkça THD değerleri de artmaktadır. Aynı işlemler IEEE 14 baralı güç test sistemi ve IEEE 30 baralı güç test sisteminde de yapılmıştır. Elde edilen değerler ise IEEE 6 baralı elektrik şebeke sistemi de dahil edilerek Çizelge 7.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 7.1. IEEE 6 bara, 14 bara ve 30 bara elektrik şebeke sistemlerinde EAHŞİ etkisi THD değerleri

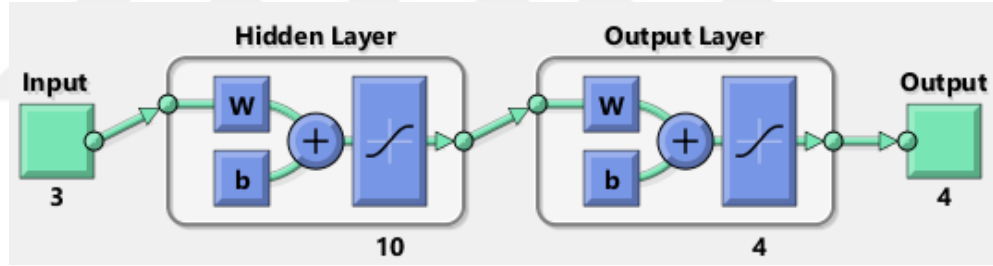
EAHŞİ Sayısı	IEEE 6 Bara			IEEE 14 Bara			IEEE 30 Bara		
	1	3	5	1	3	5	1	3	5
Transformatör primer akım THD	%1.51	%1.66	2.53%	0.53%	1.98%	2.76%	0.99%	2.65%	2.65%
Transformatör sekonder giriş akım THD	%2.15	%2.86	3.02%	1.58%	3.04%	3.20%	1.62%	3.12%	3.12%
Transformatör primer gerilim THD	%0.01	%0.01	0.01%	0.07%	0.07%	0.03%	0.16%	0.05%	0.05%
Transformatör sekonder giriş gerilim THD	%0.94	%0.95	1.02%	1.01%	1.18%	1.21%	4.29%	1.09%	1.10%

EAHŞİ’lerin hızlı artışı elektrik şebekelerinin bu artışa cevap verememesi sorunu nedeniyle kötü etkilenmektedir. Ayrıca elektrik şebekelerinin mevcut tüketicileri ve operatörlerin geleceğe yönelik tahmin analizleri yatırım planlaması ve oluşabilecek arıza durumlarına hazırlık planlarını oluşturmada fayda sağlayacaktır. Bölüm 4’de anlatılan

YSA, bu tahmin işlemi için çok uygun bir araçtır. Bu nedenle YSA ile şebeke etkileri analizi yapılmıştır.

7.3. Yapay Sinir Ağları İle Elektrikli Araç Şarj İstasyonlarının Şebeke Etkileri Analizi

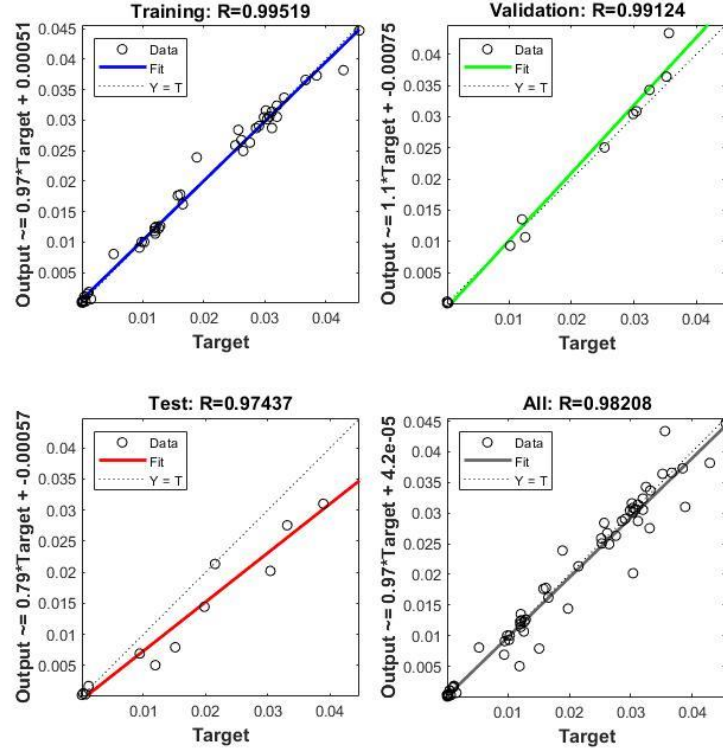
Mühendislik alanında bir yapı veya uygulama incelenirken modellemesi yapılır ve bu model üzerinden sonuçların nasıl olacağı analiz edilir. Bu analizi en iyi insan beyninin gerçekleştirdiği söyleyebiliriz. İnsan beyninin analiz etme yönteminden etkilenecek yapay sinir ağları oluşturulmuştur. Dahası, YSA analizin başlangıcından herhangi bir kabul yapılmasını gerektirmez. İstatistik tabanlı yöntemler ile kıyaslandığında bu yöntemlerin hepsinde çeşitli kabullerin yapılması gerekmektedir. Fakat YSA’da buna ihtiyaç yoktur. Ayrıca güç sistemleri ile ilgili çalışmalara bakıldığında YSA tabanlı analizlerin yaygın olarak kullanıldığı görülmektedir (Sharma ve diğ., 2016; Jamil ve diğ., 2015; Singh ve diğ., 2014).



Şekil 7.28. Çok katmanlı ve ileri akışlı YSA

Şekil 7.28’de görüldüğü üzere bir yapay sinir ağları mimarisi oluşturulmuştur. YSA, çeşitli katmanlardan oluşmaktadır. Şekil 7.28’ye bakılırsa giriş katmanı, çıkış katmanı ve sayısı YSA içerisinde belirlenecek gizli katmanlardan meydana gelmektedir. Burada oluşturulan yapıda girdi katmanında bulunan veriler; bara sayıları, EAHŞİ sayıları ve bu verilerin hangi yıllara ait olduğu bilgisidir. Çıkış katmanı ise transformatör primer akım THD, transformatör sekonder akımı THD, transformatör primer voltajının THD ve transformatör sekonder voltajının THD değerleri olarak alınmıştır. Bu bilgiler ile eğitilen nöronlar ile oluşturulan ağ yapısı ile sonraki yıllara yönelik EAHŞİ’lerin şebekeye etkisi üzerine tahminler yapılabilecektir. Eğitim yapılırken verilerin yüzde 75’i eğitim için kullanılmış ve yüzde 25’lik veri topluluğu ise doğrulama için kullanılmıştır. IEEE 6, 14 ve 30 bara sistemleri için aynı bağlantı noktalarına, bu noktalar 6 bara sistemde 6. bara,

14 baralı sistemde 14. bara ve 30 bara güç sisteminde ise 30. baradır, yıllara göre artan şekilde 50 adete varana kadar şarj istasyonları bağlanmış ve sistem çalıştırılarak FFT analizi ile spektrumlar oluşturulmuştur. Çıktı spektrumları ise transformatör YG primer THD_I, THD_U transformatör AG sekonder THD_I ve THD_U değerleridir.



Şekil 7.29. Elektrik şebekesi THD eğitimi YSA Sonuçları

Şekil 7.29’da oluşturulan yapay sinir ağına ait doğrusal regresyon analizi gösterilmektedir. Analize göre korelasyon katsayısının 0.98208 olduğu görülmektedir. Bu da oluşturulan network için tatmin edici bir sonuç ortaya çıkarmaktadır. Burada oluşturulan ağ ile ileriye yönelik şarj istasyonu şebeke etkisi tahminleri yapılabilmektedir.

7.4. Yapay Sinir Ağları İle Elektrikli Araç Şarj İstasyonlarının Şebeke Etkileri Analiz Sonuçları

Bu çalışmada elektrikli araç şarj istasyonlarının elektrik şebekesi üzerine olan etkileri araştırılmış ve üç hipotez üzerinde durulmuştur. Bu hipotezlere göre EA şarj istasyonları lineer olmayan yükler olarak değerlendirilerek transformatör üzerinde zararlı etkileri olacağı söylenmiştir. Diğer bir hipotez olarak EA şarj edilirken şarj istasyonunun yapısındaki güç elektroniği elemanlarından ve anahtarlamalardan dolayı akım çekerken

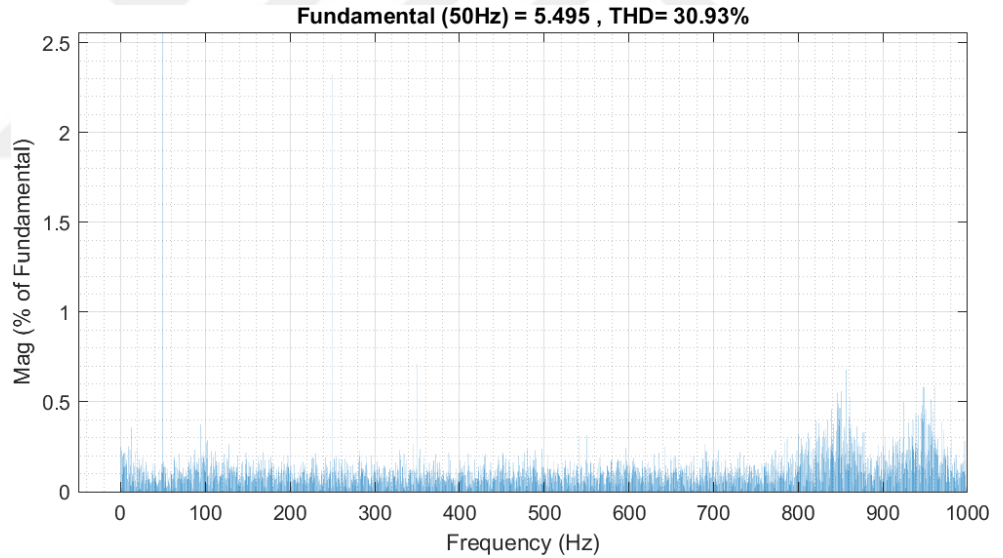
harmonik distorsiyon oluşturmaktadır. Son olarak elektrik şebekesinden enerji alınan ortak bağlantı noktasına birden fazla şarj istasyonu bağlandığında şebeke ve iletkenler üzerindeki artacaktır. Bu hipotezler analiz edilmiş ve IEEE 519.2022 standartlarındaki analiz yöntemleri uygulanmıştır. Farklı fiziksel büyüklükteki IEEE 6, 14 ve 30 baralı güç sistemlerine farklı sayılarda EA DC şarj istasyonu bağlanmış ve etkileri incelenmiştir.

Şekil 7.5-7.19 arasındaki gerilim ve akım sinyallerinin zamana bağlı periyodik değişimleri görülmektedir. Bu şekillere baktığımızda EA şarj istasyonu elektrikli aracı şarj ederken özellikle transformatörün sekonder tarafındaki akım sinyalinde bir bozulma olduğu görülmektedir. Bu bozulma transformatörün primer tarafına da yansımaktadır. Akım üzerinde meydana gelen harmonik distorsiyonlar alt baralara da yansımakta ve gerilim harmonikleri olarak kendilerini göstermektedirler. Harmonik etkilerin analizi için de Şekil 7.20-7.26 arasında temel frekans (50Hz) bileşenine göre harmonik spektrumlar oluşturulmuş ve frekans değerlerine karşılık gelen harmonik büyüklüklerin spektral çizimleri gösterilmiştir. Bu analizler de transformatörün sekonderindeki akım ve gerilim distorsiyonunun primer tarafındaki akım ve gerilim distorsiyonuna göre fazla olduğu görülmüştür. Ayrıca şebeke ortak bağlantı noktasına birden fazla şarj istasyonu bağlanması neticesinde oluşan THD'lar artış göstermiş ve şebeke enerji kalitesine ve dolayısıyla şebekeye ve yüklere olan zararların artacağı anlaşılmıştır. Şekil 10-17 arası spektral grafiklere bakıldığında enerji sisteminde oluşan harmonik bozulmanın dereceleri de görülmektedir. Temel frekansın tek katları şeklinde devam eden harmonik bozulmalar çalışma simülasyonlarında şebekeye bağlanan şarj istasyonu sayısı arttıkça farklı büyüklüklerde kendilerini göstermiştir. Verilen grafiklerde 3. harmonik ve 5. harmonik bileşenler baskın olarak görülmektedir. Özellikle 3. harmonik bileşenler aralarında faz farkı olmadığında nötr iletkenleri üzerinde faz iletkenleri üzerindeki akımdan daha fazla akım yükü oluşturabilir. Bu durum da hem sistemden beslenen cihazlara hem de iletkenlerin ömürlerine büyük zararlar verebilmektedir.

EA şarj istasyonlarının farklı büyüklükteki şebekelere etkilerine bakıldığında şebeke büyüklüğü arttıkça akım ve gerilim sinyallerindeki bozulmaların da nispeten arttığı görülmektedir. Bu durum değerlendirilirken şebekelere ait mevcut yüklerin niteliği de önemlidir. Modellenen şebekelerdeki mevcut yüklerden farklı karakterlere sahip yüklerin olduğu şebekelerdeki harmonik bozulmalar yük karakteristiğine göre daha fazla olabileceği gibi daha az da olabileceği unutulmamalıdır. Fakat görülmüştür ki ortak baralara olan etkiler şarj istasyonlarının ani enerji alışı ve birden fazla büyük güçteki enerji tüketimleri neticesinde baraya etkileri daha fazla olacaktır. Ayrıca farklı

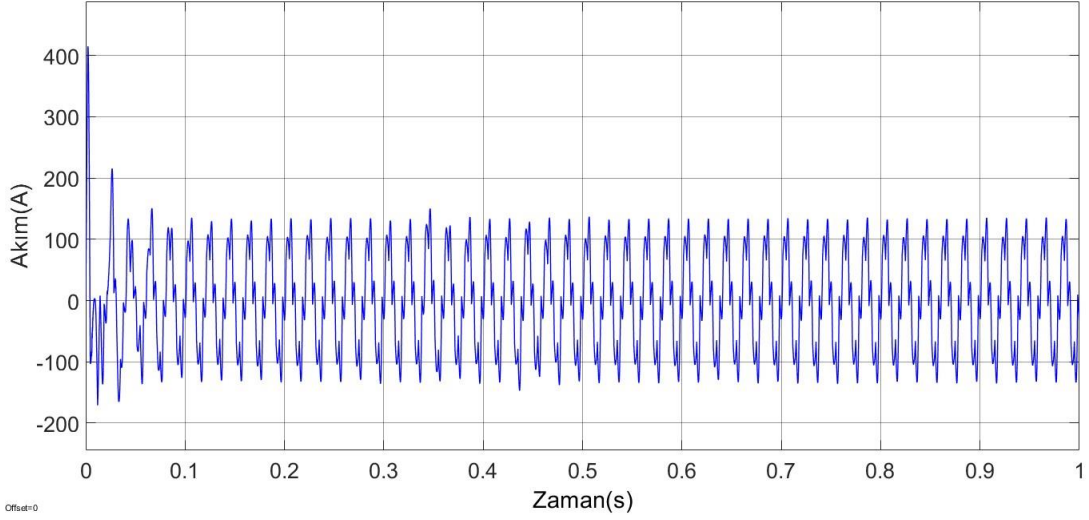
zamanlarda farklı sayılarda ve farklı güçlerdeki şarj istasyonlarının devreye girip çıkmasındaki güç elektroniği yarı iletkenleri anahtarlama elemanlarının etkisiyle ortaya çıkacak harmonik bozulmaların da sisteme büyük zararlı etkileri olacaktır.

Bu çalışmada dikkat çekilen bir diğer durum ise farklı doluluk oranlarında olan elektrikli araçların şarj edilirken şebekeden çekilen akım sinyali üzerindeki farklılıklardır. Bu çalışmada tasarlanan EAHŞİ’de de bir batarya şarj durumu kontrolü vardır. EA şarj döngüsü içerisinde yüksek akım zamanında oluşan harmonik distorsiyonların düşük akım zamanında yani batarya şarj durumunun %80’in üzerine çıktığı zamanlarda akım sinyali üzerinde oluşan bozulmaların daha fazla arttığı görülmektedir. Şekil 7.19’da görülen harmonik spektrum analizinde THD %1.51 olduğu görülmektedir. Bu analiz yapılırken elektrikli aracın batarya doluluk oranının %30 olarak ayarlanmıştır. Bu durumda 125 A akım ile şarj edilmektedir. Şekil 7.29’da görülen FFT spektrum ise batarya doluluk oranı %90 olarak ayarlanmıştır. Bu durumda EA şarj akımı 20 A değerine kadar düşmüştür. Bu durum batarya health management için uygulanan bir yöntemdir.



Şekil 7.30. Batarya şarj durumu %90 iken 6 baralı elektrik şebekesinde akım harmonik spektrumu

Şekil 7.30’da görüldüğü gibi harmonik bozulmalar artmıştır. Ayrıca bu durumdaki akım sinyali de Şekil 7.31’da gösterilmiştir. Burada da sinyal kalitesinin ne denli değiştiği görülmüştür.



Şekil 7.31. Elektrik 6 baralı şebeke transformatör sekonderi ve EAŞİ'lerin bağlantısında akım dalga şekli

Çalışmanın devamında elektrikli araç şarj istasyonlarının yıllar boyunca arttığı kabul edilerek bu artış neticesinde elektrik şebekesindeki enerji kalitesi üzerine etkileri tahmin edilmiştir. Bu doğrultuda yapay sinir ağları kullanılarak oluşturulan tahmin mimarisinde (ACEA Raporu,2022) de belirtilen elektrikli araç artış hızı dikkate alınarak ve ek olarak (ACEA Raporu,2022) hazırlanması için çalışma yapan Mckinsey&Company analizlerine göre 2030 yılında avrupadaki elektrikli araç artış hızı dikkate alındığında 3.4 milyon şarj istasyonu noktasına ihtiyaç duyulacaktır. 2021 yılı Avrupa'da elektrikli araç şarj istasyonu noktalarının 375.000 olduğu da söylenmektedir. Bu durumda ilk zamanlar için %90 civarında şarj istasyonu kurulumunda artış yaşanacak ve ilerleyen yıllarda bu artış azalacaktır. Fakat önümüzdeki 10 yıl içerisinde çok büyük sayıda şarj noktası kurulumu yapılacaktır ve enerji talebi de aynı oranda artacaktır. Bu durum göz önüne alınarak %90 olarak belirlenen artış miktarıyla şebekeye olan etkileri için bir yapay sinir ağı yapısı oluşturulmuştur. Bu sayede mevcut şebekelere olan etkiler tahmin edilerek altyapı planlaması ve yatırım analizleri açısından fayda sağlanmıştır.

Şarj istasyonlarının için bu noktada bahsedilmesi gereken bir diğer konu ise hayalet yükler durumudur. Şarj istasyonu çalışmaya dahi seviye 3 olan DC şarj istasyonları için güç devreleri ve LCD ekranları, göstergeler gibi sürekli çalışan devre elemanları için bir güç tüketimi olmaktadır. Bu güç tüketimi her 15 dakikalık periyotlar için 0,3 kWh ve bir saatlik tüketim ise 1,2 kWh enerjidir (Bass ve diğ., 2013). Bu durum da şarj istasyonlarının çalışmaları dahi şebekeden enerji çektikleri ve sisteme etkilerinin olabileceğini göstermektedir.

Son olarak IEEE harmonikler ile ilgili standartlar çerçevesinde değerlendirme yaptığımızda test edilen güç sistemlerinde bağlanan şarj istasyonu sayılarına göre yapılan harmonik analizlerin Çizelge 7.2’de gösterilen ilgili standart sınırları içerisinde kaldığı görülmektedir (IEEE Std-519 2022).

Çizelge 7.2. IEEE bara, 14 bara ve 30 baralı elektrik şebekesi test sistemlerinde EAHŞİ etkisi THD değerleri

Ortak bağlantı noktasındaki (OBN) bara gerilimi	Bireysel harmonik (%) $h \leq 50$	THD (%)
$V \leq 1$ kV	5	8
$1 \text{ kV} \leq 69 \text{ kV}$	3	5
$69 \text{ kV} \leq 161 \text{ kV}$	1.5	2.5
$69 \text{ kV} <$	1	1.5

Fakat ortak bağlantı noktasından beslenen şarj istasyonu sayısı arttıkça akım ve gerilim sinyallerinde harmonik bozulmaların arttığı ve yapay sinir ağı ile kullanılarak yapılan tahminleme çalışması neticesinde 2030 yıllarında mevcut şebekenin şarj istasyonu artış hızına cevap veremeyeceği görülmüştür. Bunun neticesinde benzer şebekelerde ve farklı büyüklükteki şebekelerde aynı yaklaşım uygulanıp tahminleme yapılabilir ve altyapı planlaması oluşturulabilir. Sonuçlardan da anlaşılabileceği üzere gelecek 10 yıl içerisinde elektrik şebekesi altyapısı geliştirilmeli, şarj istasyonu ve diğer teknolojik gelişmeler ile yenilenebilir teknolojilerin artışı için gereken çalışmalar yapılmalıdır.

EAŞİ’lerin oluşturacağı diğer büyük sorun ise ani ve büyük yük artışlarıdır. Bu yük artışları da elektrik şebekesindeki kayıpları fazlasıyla arttıracaktır. Bu nedenle bu durumun analiz edilmesi de oldukça önemlidir. Bölüm 8’de yük artışı sorunları analiz edilmiştir.

Harmonik bozulmalar akım ve gerilim dalgalarının olması gereken sinüs şeklinden saparak bozulmalarıdır. Doğrusal olmayan yüklerin bu duruma neden olduğu olaylar yaygın olarak gerçekleşmektedir. THD’lerin artışı elektrik şebekelerinde ve ekipmanlarda sorunlara neden olmaktadır. Dağıtım sistemine yayılarak elektriksel ekipmanlara zarar verebilir, iletkenlerin ve transformatörlerin ömürlerini kısaltabilir ve aşırı ısınmalara da neden olabilir. Bunu engellemek amacıyla IEEE 519-2022 standardı ve aynı standardın önceki yıllardaki versiyonları oluşturularak THD’lerin tolere edilebilecek sınırlar içerisinde kalması hedeflenmiştir. Akım harmonikleri dağıtım

şebekesindeki transformatörler için büyük sorunlar ortaya çıkarmaktadır. Harmonikler nedeniyle yük akımlarının ortalama karekök değeri artarsa bu durumda transformatörlerde meydana gelen bakır kayıplarını arttıracaktır. Ortaya çıkan sonuçta ise transformatör olması gerekenden daha fazla güç tüketecek ve verimliliği düşecektir. Ayrıca THD artışında transformatörlerde eddy akımları da artabilir. Bu nedenle sargılarda aşırı ısınma meydana gelecek ve transformatörlerin ömrü kısılacaktır. İletkenlerde harmonikler bakır kayıplarını arttıracak ve aşırı ısınacaktır. Bu da iletken ömrünü oldukça azaltacaktır. Elektrik şebekelerinde THD artışından büyük zarar görebilecek diğer elemanlar ise; koruma devre elemanları, ölçü ekipmanları ve anahtarlama elemanlarıdır. Aşırı ısınmalardan dolayı sigortalarda erken açma, yavaş çalışma ve bozulmalar oluşmaktadır. Akım taşıma kapasiteleri azalmaktadır ve izolasyonları zarar görerek ömürleri kısalmaktadır. Üç fazlı sistemlerde harmonikler dengesizlikler oluşturmaktadır. Özellikle üçüncü harmoniklerin bileşkesi sıfır olmadığından nötr iletkeni üzerinde aşırı ısınmalara ve faz akımından fazla akımlara neden olabilmektedir. Bu da bazı uygulamalarda nötr kesitinin faz iletkeni kesitinden dahi büyük seçilmesini gerektirmektedir.

Toplanan veriler ve yapılan analizler DCHŞİ'lerin tek bir OBN'den yapılan enerji alışlarında yüksek THD'lere neden olacağını ortaya koymuştur. Bu sonucun neden olacağı olumsuz etkiler de yukarıda açıklanmıştır. Aynı zamanda yapılan çalışmada şarj döngüsü içerisinde THD değerlerinin de değişiklik gösterdiği belirlenmiştir. Başlangıçta yani yüksek akım dönemlerinde daha düşük harmonikler görülebilmekte ve akım azaldıkça artabilmektedir.

8. ETAP PROGRAMI İLE YÜK (GÜÇ) AKIŞ ANALİZİ VE ELEKTRİKLİ ARAÇ ŞARJ İSTASYONLARININ ELEKTRİK ŞEBEKESİNE ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

Son birkaç yılda tüm dünyada kullanımını hızlı bir şekilde arttıran elektrikli araç şarj istasyonlarının elektrik şebekesindeki olumsuz etkileri analiz edilmiştir. Şarj istasyonu alınarak uygun bir alanda montajı yapılmıştır. Bu şarj istasyonu üzerinden enerji analizörü kullanılarak alınan ölçümler incelenmiştir. Bir elektrik şebekesi modeli hazırlanmıştır. Bu model için IEEE 6 baralı güç test sistemi verileri kullanılmıştır. Model Electrical Transient Analyzer Program (ETAP) kullanılarak yapılmıştır. Elektrik şebekesinde mevcut yüklere ek olarak elektrikli araç şarj istasyonunun artmasıyla oluşacak yükler de eklenmiştir. Bu durumda IEEE 6 baralı test sistemi şebekesinde bulunan generatörler, baralar mevcut yük verileri ve eklenen şarj istasyonu yüklerinin verileri ile Newton-Raphson yük akış algoritması kullanılarak bu elektrik şebekesi analiz edilmiştir. Her yük barası için bin adet ek şarj istasyonu yük olarak geldiği düşünülerek 22 MW yük eklenmiştir. Burada tespit edilen güç kayıplarını azaltmak için şebekeye bağlı güneş enerji santralleri önerisi yapılmıştır. Bu santraller eklenerek elektrikli araç şarj istasyonlarının neden olduğu yük artışının olumsuz etkilerini azaltmak hedeflenmiştir. Güneş enerji santrallerinin (GES) eklenmesi durumu için de yük akışı yapılarak sonuçlar incelenmiş ve şebeke kayıplarının azaldığı gösterilmiştir. Çalışma sonucunda mevcut yüklere ek olarak her yük barasına elektrikli araç şarj istasyonları yüklerinin eklenmesi sonucunda aktif güç kaybı iki katına ve reaktif güç kaybı ise üç katından fazla bir kayıp seviyesine ulaşmıştır. Önerilen tüketimin olduğu baralarda yük GES ile enerji üretimi ile artan bu kayıplar yarıdan fazla olacak şekilde azalma göstermiştir.

Bu kapsamlı çalışmada, elektrikli araç şarj istasyonlarının enerji şebekelerindeki olumsuz etkilerini detaylı bir şekilde analiz etmekte ve yenilikçi çözüm önerileri sunulmaktadır. Bir şarj istasyonu uygun bir konumda monte edilmiş ve enerji analizörü kullanılarak alınan ölçümler titizlikle incelenmiştir. Elektrik şebekesi modeli için IEEE 6 baralı güç test sistemi verileri kullanılarak ETAP (Electrical Transient Analyzer Program) programı kullanılarak bir model oluşturulmuştur.

Mevcut yüklerin yanı sıra elektrikli araç şarj istasyonlarının neden olduğu ek yükleri de içerecek şekilde analiz yapılmıştır. Bu bağlamda, Newton-Raphson yük akış algoritması kullanılarak, elektrik şebekesindeki jeneratörler, baralar, mevcut yük verileri

ve eklenen şarj istasyonu yüklerinin verileri bir araya getirilerek şebeke analizi gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışmanın temel hedefi, tespit edilen güç kayıplarını azaltmak ve enerji şebekesinin performansını optimize etmektir. Bu doğrultuda, şebekeye bağlı güneş enerji santrallerinin eklenmesi önerilmekte ve bu santrallerin elektrikli araç şarj istasyonlarının neden olduğu yük artışının olumsuz etkilerini azaltmaya yönelik bir çözüm sunulmaktadır. Elektrikli araç şarj istasyonlarına ek olarak güneş enerji santrallerinin (GES) eklenmesi durumu için yapılan yük akışı analizi sonuçları incelenerek, şebeke kayıplarının azaldığı gösterilmektedir. Ayrıca EAŞİ ile GES birlikte kullanımı yani EA'ları GES ile üretilen enerji ile şarj edilmesinin sağlanması sürdürülebilir bir sistem sağlayacaktır (Liang ve Tanyi, 2016; Bauer ve diğ.,2010; Ma, 2019).

Bu çalışma, elektrikli araçların sürdürülebilir entegrasyonuna katkıda bulunmakta ve şebeke performansını artırmayı amaçlamaktadır. Önerilen çözümler, akıllı şebeke geliştirme ve sürdürülebilir enerji yönetimi hedefleriyle uyumlu olarak, elektrikli araçların enerji peyzajımızdaki giderek artan önemine karşı çıkmak için ileriye yönelik bir yaklaşım sunmaktadır.

8.1. Etap ile Yük Akış Analizi Şebeke Modellerinin Oluşturulması

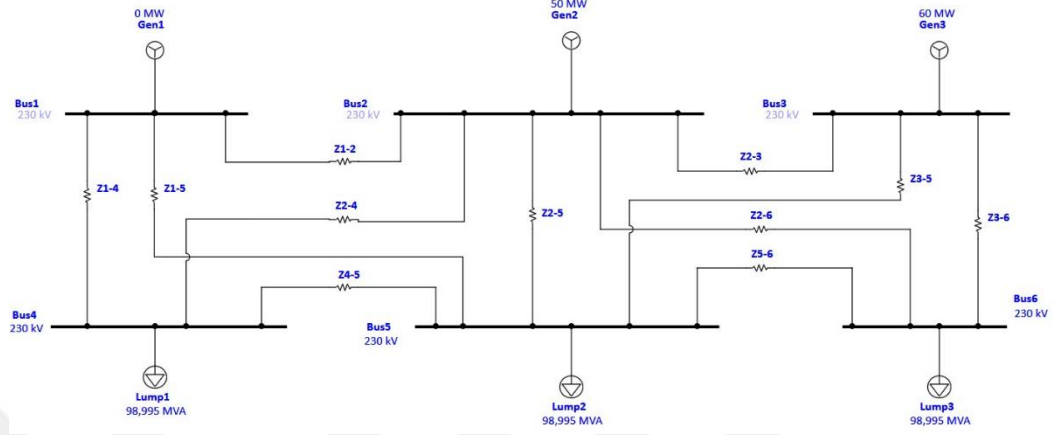
Elektrik enerjisinin günümüz dünyasında her alanda hayati öneme sahiptir. Bu nedenle elektrik sistemlerinin güvenliği, verimliliği ve performansı sürekli olarak izlenmeli ve analiz edilmelidir. Bu sistemler yapısı itibari ile karmaşık ve dinamik değişkenler içerebilmektedir. Bu noktada ETAP programı elektrik enerji sistemlerini analiz etme ve optimizasyon yapabilme imkânı sağlayan bir yazılımdır.

Bu bölümde ETAP programında modellenen IEEE 6 baralı güç test sisteminin EAŞİ yükleri eklenerek Newton-Raphson yöntemi ile yük akış analizi yapılmıştır. Analiz sonucunda hatlardaki aktif güç ve reaktif güç kayıpları tespit edilmiştir. Sonrasında sistemdeki üretim baralarına GES bağlanarak aktif güç ve reaktif güç kayıpları azaltılmıştır. En uygun üretim barası da belirlenmiştir.

Yük akış analizi yöntemleri çeşitlilik göstermektedir. En çok kullanılanlar arasında Fast Decoupled methodu, Gauss-Seidel metodu ve Newton-Raphson metodu olduğu söylenebilir. Literatürde yapılan çalışmalar (Yesilbudak ve diğ., 2017), Gauss-Seidel metodunun iterasyon sayısı arttıkça kayıplar artmaktadır. Fast Decoupled metodunda ise bara sayısının artması ile hesaplamada sonuç bulunamamasına neden

olmaktadır. Newton Raphson metodunda ise en uygun sonuçlar elde edilmektedir. Bu nedenle bu çalışmanın yük analizi metodu olarak tercih edilmiştir.

Öncelikle ETAP programında IEEE 6 baralı güç test sistemi modellenmiştir. Model Şekil 8.1’de gösterilmiştir.

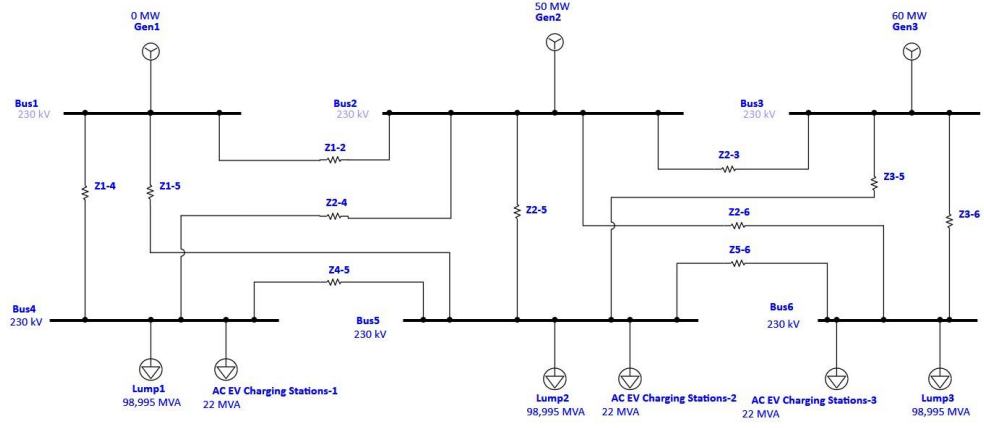


Şekil 8.1. IEEE 6 baralı elektrik şebeke sistemi ETAP modeli

Bu modelde mevcut yükler, hatlar ve üretimler ile yapılmıştır. Mevcut bir şebeke sistemini temsil etmektedir. Mevcut sistemlere entegre edilecek elektrikli araç şarj istasyonlarının (EAŞİ) şebeke üzerine etkileri bu model üzerinden analiz edilecektir. Bu çalışmadan özellikle güç kayıpları üzerinde durulacaktır. Mevcut sistemdeki kayıplar Newton-Rophson yük akış methodu ile belirlenmiştir. Sonrasında IEEE 6 baralı şebeke modeline EAŞİ’ler yük baralarına eklenmiştir. Eklenen EAŞİ özellikleri bölüm 2.2 de anlatılmış ve Şekil 5’de gösterilmiştir. Her yük barasına 1000 adet 22 kW AC tip 2 şarj istasyonu bireysel ve ticari olarak eklendiği düşünülmüştür. EAŞİ’lerin elektrik şebekesine etkisi tüm cihazların aynı anda çalışması durumunda oluşacak pik yük senaryosuna göre yapılmıştır.

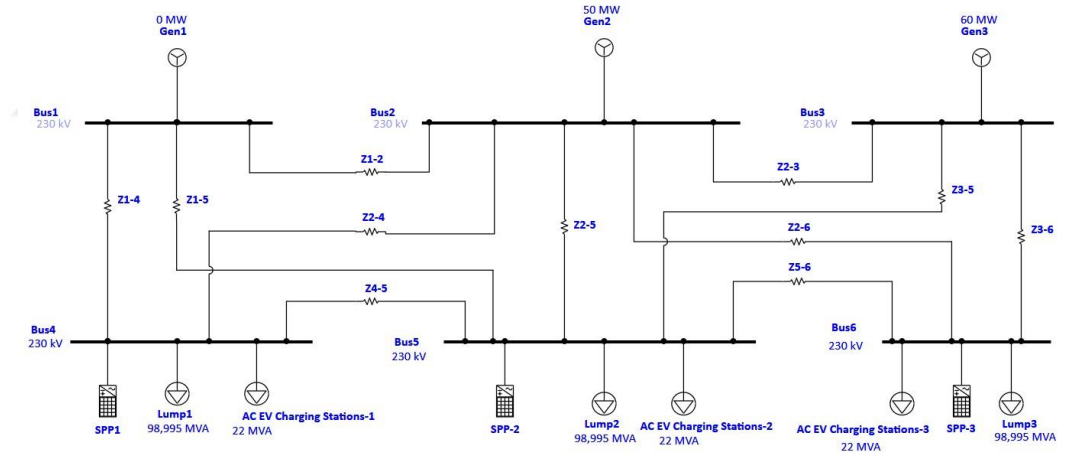
Şebekeye yük olarak düşünülen EAŞİ tipi özellikle bireysel kullanıcılar tarafından çok daha yaygın ve hızlı yayılmaktadır. Bu da senaryonun gerçekliğini ortaya koymaktadır.

EAŞİ yüklerinin eklendiği model Şekil 8.2’de gösterilmiştir.



Şekil 8.2. IEEE 6 baralı elektrik şebekesinde yeni eklenen EAŞİ yükleri ile ETAP modeli

Elektrikli araçların şebekeye olan etkilerini azaltmak ve enerji arz güvenliğini sağlamak için EAŞİ tüketimleri kadar GES'ler dağıtılmış üretim kaynakları olarak sisteme eklenmiştir. GES'ler eklenerek yapılan şebeke modeli Şekil 8.3'de gösterilmiştir.



Şekil 8.3. IEEE 6 baralı elektrik şebekesinde yeni eklenen EAŞİ yükleri ile GES'ler ETAP modeli

EAŞİ sayısının artışı ülkemizde orta büyüme ve yüksek büyüme olarak farklı senaryolara göre 1.5 milyon ve 2.5 milyon olacağı öngörülmektedir. Bu durum ise mevcut elektrik şebeke sistemleri için önemli bir altyapı problemi ve olumsuz etkilere neden olacaktır. Bu çalışmada gerçek bir EAŞİ saha montajı yapılmış ve enerji analizörü üzerinden değerler okunmuştur. Şarj sırasında EAŞİ enerji tüketimi nedeniyle AC cihazlar için şebekeye etki edecek bir harmonik oluşmadığı görülmüştür. Bu noktadan sonra diğer problemler üzerine odaklanılarak şebekeye yük olarak toplu etkisi araştırılmış ve bunun için bir şebeke modeli oluşturulmuştur. Oluşturulan şebeke modeli üretim

generatörleri, mevcut iletim hatları ve mevcut yüklerden oluşmaktadır. Çalışma içerisinde bunlara ait değerler verilmiştir.

8.2. Etap Programı ile Yük Akış Analizi Sonuçları

İlk olarak IEEE 6 baralı elektrik güç sistemi modeli ve Şekil 8.1'de gösterilen verilerle yük akış analizi yapılmıştır. Sonuçlar Çizelge 8.1'de görülmektedir.

Çizelge 8.1. IEEE 6 baralı Newton-Raphson yük akış analizi hat kayıpları sonuçları

Hat Numarası	Baradan baraya akış		Başlangıçtan baraya akış		Kayıplar		% Bara gerilimi	
	MW	MVAr	MW	MVAr	kW	kVAr	Baradan	Baraya
Z1-2	85,443	22,753	-77,539	-10,305	7.904,3	12.267,9	100	87,8
Z1-4	80,813	60,551	-75,592	-43,091	5.221,7	17.460,1	100	84,5
Z1-5	67,576	47,535	-61,880	-31,146	5.696,2	16.388,8	100	81,1
Z2-3	21,385	0,359	-21,083	-3,381	301,4	-3.022,4	87,8	86
Z2-4	4,206	26,220	-3,722	-26,735	484,3	-515,1	87,8	84,5
Z2-5	13,187	13,787	-12,657	-15,050	530,7	-1.263,1	87,8	81,1
Z2-6	38,760	22,117	-36,870	-20,222	1.890,4	1.895,3	87,8	79,5
Z3-5	-1,492	15,282	1,972	-17,734	479,8	-2.452,6	86	81,1
Z3-6	22,375	50,713	-21,721	-47,816	853,8	2.897,4	86	79,5
Z4-5	9,314	-0,174	-9,050	-4,782	263,3	-4.956,1	84,5	81,1
Z5-6	11,615	-1,288	-11,409	-1,963	206	-3.250,2	81,1	79,5

Çizelge 8.1'de görüldüğü gibi mevcut sistemdeki hat kayıpları 23.832 kW aktif güç kaybı ve 34.450 kVAr reaktif güç kaybını göstermektedir. Bu kayıplar mevcut sistemlerde kendi yüklerinden dolayı yüksektir. Şekil 8.2'de gösterildiği gibi EAŞİ kaynaklı yüklerin eklenmesiyle sistemde oluşacak hat kayıplarının analiz edilmesi için bu güçlerle yük akışı yapılmıştır. Sonuçlar Çizelge 8.2'de görülmektedir.

Çizelge 8.2'deki sonuçlardan da görülebileceği gibi mevcut yüklere ek olarak 4. bara, 5. bara ve 6. baraya EAŞİ yükleri de eklendiğinde hat kayıpları iki kattan fazla olmaktadır. Analiz sonucunda 46.427 kW aktif güç kaybı, 110.763 kVAr reaktif güç kaybı meydana gelmiştir.

Çizelge 8.2. . IEEE 6 baralı elektrik şebekesinde EAŞİ yükleri Newton-Raphson analizi hat kayıpları sonuçları

Hat Numarası	Baradan baraya akış		Başlangıçtan baraya akış		Kayıplar		% Bara gerilimi	
	MW	MVAr	MW	MVAr	kW	kVAr	Baradan	Baraya
Z1-2	118,764	44,197	-102,525	-15,037	16.239	29.160,3	100	81,2
Z1-4	111,137	88,759	-100,843	-50,808	10.294	37.950,5	100	78,3
Z1-5	92,526	73,016	-81,055	-34,600	11.471	38.416,3	100	73,1
Z2-3	28,812	4,317	-28,152	-4,815	660	-498	81,2	77,9
Z2-4	4,145	20,484	-3,792	-21,052	352,3	-567,7	81,2	78,3
Z2-5	17,922	14,991	-17,031	-14,703	891,2	287,6	81,2	73,1
Z2-6	51,645	27,423	-47,914	-19,644	3.731	7.778,7	81,2	70,3
Z3-5	-2,685	14,457	3,203	-16,187	518	-1.729,5	77,9	73,1
Z3-6	30,837	52,972	-29,578	-47,779	1.258,8	5.192,7	77,9	70,3
Z4-5	12,635	1,860	-12,054	-5,287	581,3	-3.427,2	78,3	73,1
Z5-6	14,936	0,777	-14,508	-2,577	428,3	-1.800,1	73,1	70,3

Bu kayıplar mevcut şebeke altyapıları için ciddi bir sorun oluşturmaktadır. Oluşan bu kayıplar enerji iletim ve dağıtım hatlarında enerji kaybına neden olacağından enerji verimliliğinin düşmesine neden olacaktır. Daha fazla enerji üretimi, iletimi ve dağıtım gereceğinden tüketiciler ve şirketler için maliyet artışına neden olabilir. Ayrıca artan hat kayıpları ile gerilim düşümlerini arttıracak ve enerji kalitesini düşürerek sistemdeki cihazlara zarar verme ihtimali oluşturacaktır. Voltaj regülasyonu sorunlarına neden olmaktadır. İletim hatları ve transformatörler gibi elektrik cihazlarının aşırı ısınmasına neden olarak malzeme ömürlerini kısaltacaktır. Ek olarak bakım ihtiyacını ve arıza potansiyelini arttıracaktır. Elektrik enerjisi üretiminde ve iletimindeki fazla kayıplar, çevresel etkileri artırabilir. Özellikle enerji üretimi için kullanılan yakıtların daha fazla tüketilmesi ve enerji kayıplarının artması, çevresel etkileri artırabilir. Tüm bu sorunları azaltmak ve sürdürülebilir enerjiye de destek olmak için EAŞİ tüketimlerine karşılık 22 MW gücünde GES'ler 4. yük barasına, 5. yük barasına ve 6. baraya eklenmiştir. Bu durumun hat kayıplarına etkisini görmek için yine Newton-Raphson yöntemi ile yük akış analizi yapılmış ve sonuçlar Çizelge 8.3'de gösterilmiştir.

Çizelge 8.3. IEEE 6 baralı EAŞİ yükleri ve GES şebekede Newton-Raphson analizi hat kayıpları sonuçları

Hat Numarası	Baradan baraya akış		Başlangıçtan baraya akış		Kayıplar		% Bara gerilimi	
	MW	MVAr	MW	MVAr	kW	kVAr	Baradan	Baraya
Z1-2	88,714	24,176	-80,159	-10,586	8,555	13.589,4	100	87,2
Z1-4	83,895	62,807	-78,276	-43,739	5,619	19.067,3	100	83,9
Z1-5	70,117	49,547	-63,975	-31,454	6,142	18.093,2	100	80,4
Z2-3	22,157	0,68	-21,829	-3,503	328,5	-2.823,4	87,2	85,3
Z2-4	4,225	25,720	-3,753	-26,240	472,7	-520	87,2	83,9
Z2-5	13,678	13,865	-13,120	-15,008	557,2	-1.142,8	87,2	80,4
Z2-6	40,099	22,500	-38,071	-20,158	2.027,7	2.341,9	87,2	78,7
Z3-5	-1,617	15,216	2,100	-17,607	482,7	-2.390,3	85,3	80,4
Z3-6	23,446	50,900	-22,562	-47,832	883,4	3.068,9	85,3	78,7
Z4-5	9,646	-0,021	-9,359	-4,811	286,3	-4.832,2	83,9	80,4
Z5-6	11,972	-1,120	-11,750	-2,011	222,7	-3.131,2	80,4	78,7

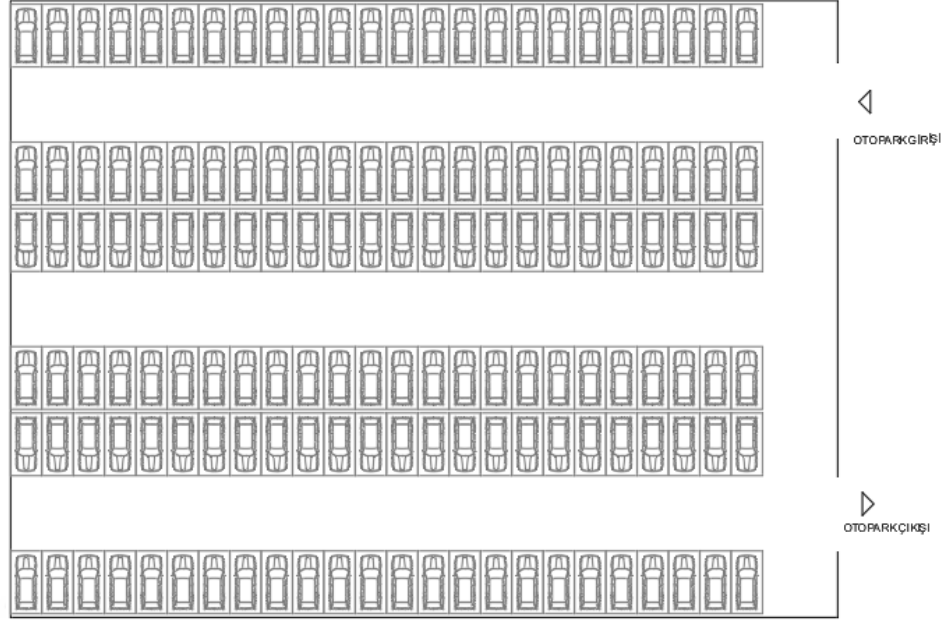
Sonuçlardan görüldüğü gibi EAŞİ kaynaklı fazla yüklenmelerin şebekeye etkileri oldukça büyüktür. Şebekeye olan hat kaybı artışlarını azaltmak için önerilen GES eklenmesi faydalı sonuçlar vermiştir. Aktif güç kayıpları 25.577 kW seviyesine düşerek yaklaşık 21 MW azalmıştır. Reaktif güç kayıpları ise 41.321 kW'a kadar düşerek yaklaşık 70 MW azalmıştır. Sonuçlardan da görüleceği gibi EAŞİ'lerin mevcut şebekelere olan etkilerini azaltmak için faydalı bir yöntemdir. Ayrıca güneş enerjisi kaynaklı elektrik üretimi karbon emisyonuna neden olmayacağından büyük çevresel katkılar sunmaktadır. EAŞİ'ler ile dağıtılmış üretim santralleri olarak GES'lerin kullanılması farklı başka avantajlar da sağlamaktadır. Bu santraller şebekeye bağlanacakları noktalarda gerilim dalgalanmalarını düzenleyerek gerilimi stabil tutmaya katkı sağlayacaklardır. Ayrıca bu çalışmada olduğu gibi tüketim noktalarına yakın üretimlerin olması da bir avantajdır ve hat kayıplarını azaltmaktadır. Enerji arzını çeşitlendirebilir ve güç kaynaklarını çeşitli yerlerde konumlandırarak enerji güvenliğini artırabilmektedir. Güneş panelleri, rüzgâr türbinleri veya hidroelektrik santraller gibi yenilenebilir kaynaklar, bu şekilde dağıtılmış üretim santralleri daha etkili bir şekilde kullanılabilir.

Belirtmek gerekir ki dağıtılmış santrallerin bağlantı noktalarının belirlenmesinde dikkat edilmelidir. Şebeke kapasitesi yeterli olması önemlidir. Bu santraller belirli bir gerilim seviyesi üzerinde şebekeye bağlanacaklarından bağlantı noktaları seçilirken şebeke gerilim seviyesi analiz edilmelidir. Şebeke topolojisine, çevresel ve toplumsal etkiler göz önüne alınmalıdır. Kısa devre analizleri, güç akış analizi, gerilim düşümü, reaktif güç dengesi, frekans, transformatörler ve iletim hatları, koruma ve koordinasyon analizleri yapılmalıdır.

8.3. Açık Otoparklarda Elektrikli Araç Şarj İstasyonu Kurulumu ile Güneş Enerji Santrali Önerisi ve Sistemin Elektrik Şebekesi ile CO₂ Emisyonu Üzerine Etkileri

Tüm dünyada hızla yayılan ve Türkiye’de de özellikle son yıllarda önemini hızla arttıran elektrikli araçların önümüzdeki yıllarda sayılarının hızla artacağı düşünülerek elektrik enerjisi kaynaklı çalışan bu araçlar için karşılaşılabilecek olan enerji arz sorununun çözümüne katkı sağlayabilecek açık otoparklarda uygulanacak güneş enerji sistemleri çeşitli tasarımlarla incelenmiştir. Bu inceleme neticesinde elektrikli araçlara enerji temini için düşünülebilecek bu uygulamanın avantajları ve dezavantajları ortaya konulmuştur. Bunun dışında Türkiye’de elektrik enerjisi üretiminde fosil yakıtların kullanım oranı yüksek olduğundan elektrik enerjisi ile çalışan bu araçlar için enerji üretiminin fosil yakıtlar yerine yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlanması neticesinde sera gazı oranlarının nasıl düşeceği ve ortaya çıkacak faydalar gösterilmiştir. Ayrıca elektrikli araçların sera gazı salınımı sadece elektrik motorunun üretimine göre değil de Türkiye’nin mevcut elektrik üretimi ve üretim için kullandığı kaynaklara göre de değerlendirilerek elektrikli araçların bu enerji tüketiminden kaynaklı sera gazı salınım miktarları incelenmiştir.

Konya İli Konya Teknik Üniversitesi içerisinde 38.026 kuzey enlemi 32.514 doğu boylamı koordinatlarında 144 araçlık bir açık otopark olduğu düşünülmüş ve bu otopark araç yerleşimine göre güneş enerji sistemi tasarlanmıştır. Otopark her sırada 24 adet araç olacak şekilde toplam 6 sıradan oluşmaktadır. Tasarlanan sistemde her 12 araç alanı için bir adet elektrikli araç şarj istasyonu olacağı planlanmıştır. Her 24 adet araçlık sıranın üzeri çelik kolon ve kirişlerden oluşan konstrüksiyon oluşturulmuştur. Bu çelik yapının çatısı ise güneş panelleri yerleştirilmiştir. Şekil 8.4’de bu çalışma için tasarlanan açık otopark araç yerleşimi gösterilmiştir.



Şekil 8.4. Açık otopark tasarımı ve araç yerleşim planı çizimi

Açık otoparkın eni 66 metre ve boyu 50 metredir. Her bir araç park alanı ölçüsü 2.5x5 metredir. 24 adet aracın bulunduğu bir sıranın genişliği 60 metredir. Bu genişlik 20'şer metre genişliği olan 3 adet çelik kolon üzerinde tasarlanan güneş panellerinin kapattığı çatı uygulaması ile kapatılacaktır. Bu çatılar otoparkın ortasındaki iki aracın karşılıklı park edebildiği alanlarda 20x11 metre olarak düşünülmüştür. Otoparkın en üst ve en alt noktalarındaki çatılar ise 20x5 metre olarak tasarlanmıştır. Bu alanların üstü güneş panelleri ile kapatılacaktır. Çatıların tamamı 13 derece eğimle güneye bakacak şekilde konumlandırılmıştır.

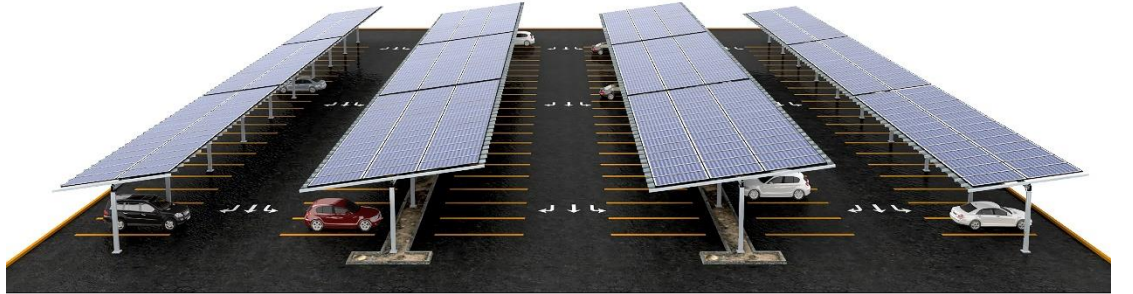
Çelik kolonlar üzerinde oluşturulacak güneş enerjisi sistemi için 400 W tip 72 hücreye sahip monokristal güneş paneli seçilmiştir. Yerli üretim, günümüz teknolojisine göre yüksek verimlilik özelliklerine sahip olduğundan ve ekonomik açıdan daha avantajlı görüldüğünden bu panel seçilmiştir. Sistem bu aşamada on-grid olarak düşünülmüş ve tasarım buna göre yapılmıştır.

Vaziyet planı çizimleri ve ölçülendirmelere göre tasarımın görselleştirmesi hazırlanmıştır. Üç boyutlu hazırlanan modeller Şekil 8.5 ve Şekil 8.6'da gösterilmiştir.



Şekil 8.5. Açık otopark araç yerleşimi ve çatı ges uygulaması tasarımı 3D modeli-1

Hazırlanan üç boyutlu görselleştirmeler 3Ds Max programı kullanılarak yapılmıştır. Tüm vaziyet planını ve açık otopark çatı GES uygulamasının üç boyutlu görseli Şekil 8.6’da verilmiştir.



Şekil 8.6. Açık otopark araç yerleşimi vaziyet planı ve çatı ges uygulaması tasarımı 3D modeli

Güneş panelleri çelik kolonlar üzerindeki çatı kısmına alüminyum profiller üzerine her 20x11 metrelik çatı alanına yatay olarak 10 adet ve düşeyde 11 adet olarak toplamda 110 adet olacak şekilde montajlanmıştır. 20x5 metrelik çatı alanına ise yine yatay olarak 10 adet ve düşeyde 5 sıra olacak şekilde toplamda 50 adet panel montajlanacaktır. Otopark alanında bu çatı paketlerinden 20x11 metrelik olarak otoparkın

orta kısmında karşılıklı park edilen araçların ortasında her sırada 3 adet ve toplamda 6 adet, 20x5 metrelik olarak otoparkın Şekil 8.5’de görüldüğü haliyle en üst ve en alt alanında 3’er adet ve toplamda 6 adet bulunmaktadır. Bu şekilde bakıldığında toplamda 960 adet güneş paneli kullanıldığı görülmektedir. Seçilen panelin elektriksel ve mekanik özellikleri Çizelge 8.4’de verilmiştir.

Çizelge 8.4. 400 W Güneş paneli elektriksel ve mekanik özellikleri

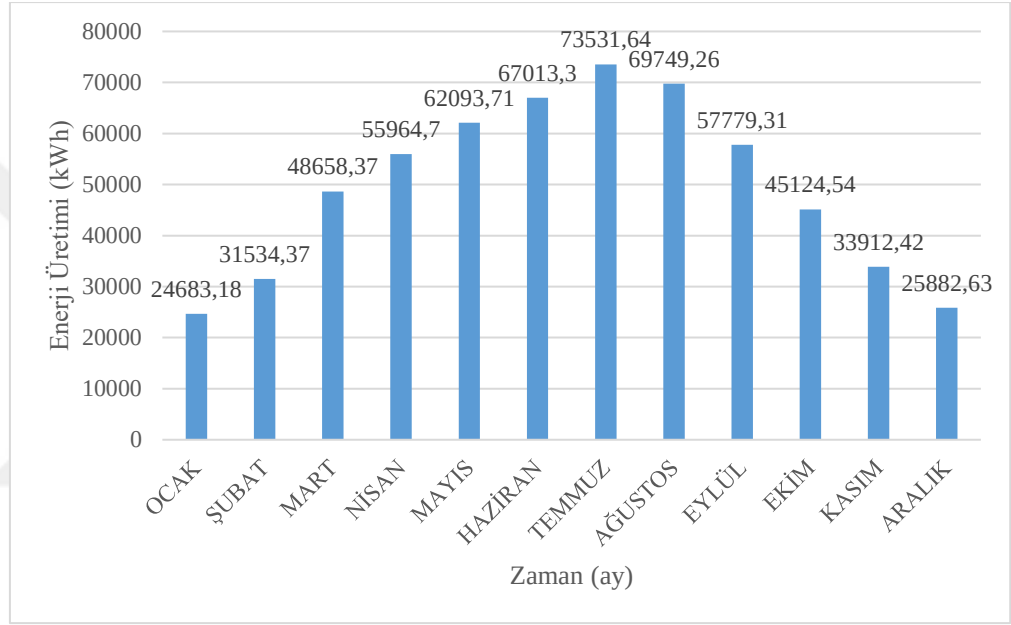
Ölçüm Alanları	Değerler
Nominal Güç P _{max} (W)	400 W
Nominal Güç Voltajı V _{mp} (V)	41,1 V
Nominal Güç Akımı I _{mp} (A)	9,75 A
Açık Devre Voltajı V _{oc} (V)	49,83 V
Kısa Devre Akımı I _{sc} (A)	10,38 A
Modül Verimliliği (%)	%20
Boyutlar (mm)	1990x1005x35 mm
Ağırlık (kg)	22 kg
Hücre Sayısı	76 (6*12)
Bağlantı Kutusu	IP 67 / 3 diyet

Güneş panelleri çelik kolonlar üzerindeki çatı kısmına alüminyum profiller üzerine her 20x11 metrelik çatı alanına yatay olarak 10 adet ve düşeyde 11 adet olarak toplamda 110 adet olacak şekilde montajlanmıştır. 20x5 metrelik çatı alanına ise yine yatay olarak 10 adet ve düşeyde 5 sıra olacak şekilde toplamda 50 adet panel montajlanacaktır. Otopark alanında bu çatı paketlerinden 20x11 metrelik olarak otoparkın orta kısmında karşılıklı park edilen araçların ortasında her sırada 3 adet ve toplamda 6 adet, 20x5 metrelik olarak otoparkın Şekil 1’de görüldüğü haliyle en üst ve en alt alanında 3’er adet ve toplamda 6 adet bulunmaktadır. Bu şekilde bakıldığında toplamda 960 adet güneş paneli kullanıldığı görülmektedir.

110 adet olan güneş panelleri 14 adet güneş panelinin seri bağlanması ile 6 grup oluşturulmuştur. Geriye kalan 20 panel 13’er adet güneş panelinin seri bağlanması ile 2 grup haline getirilmiştir. Yani toplamda 8 çıkış halinde paralel bağlanacaktır. Bu panellerin çıkışı da inverttere bağlanacaktır. 110 adet panel 8 giriş olarak inverttere bağlanacaktır. İnverterler bu giriş sayısına ve MPPT çalışma gerilim aralığına göre seçilmelidir. Ayrıca uygulamanın yapılacağı bölgenin iklim şartları da göz önüne alınmalıdır.

Tasarlanan otoparkta çatı yerleşimi olarak bakıldığında 20x11 metre ve 20x5 metre olmak üzere iki tür uygulama vardır. 20x11 metre çatı şeklinde orta kısımda

toplamda 6 adet bulunmaktadır ve bu çatılardan her biri üzerinde 110 adet güneş paneli bulunmaktadır ve 20x11 metre tüm çatıların üzerinde toplamda 660 güneş paneli montajlanmıştır. Otoparkın Şekil 1'e göre en üst ve en alt kısmında 20x5 metre olmak üzere toplamda yine 6 adet ve bu çatıların her biri üzerinde 50 adet güneş paneli montajlanmış ve toplamda bu alan için 300 adet güneş paneli bulunmaktadır. Otoparkın tamamında 960 adet güneş paneli çatı üzerine montajlandığı düşünülmüştür. Her bir güneş paneli 400 W gücünde olduğundan 960 güneş paneli ile 384 kWp kurulu güç elde edilmektedir. Kurulan güneş enerji santralinin yıllık üretimi Şekil 8.7'de gösterilmiştir.



Şekil 8.7. Güneş enerji sistemi aylık enerji üretim miktarı

Şekil 8.7'de görüldüğü gibi en yüksek elektrik enerjisi üretim miktarı ışınlama süresinin en yüksek olduğu Temmuz ayında olmaktadır. Tüm üretim miktarına bakıldığında bir yılda üretilen toplam elektrik enerjisi miktarı 595.927,45 kWh olarak bulunmaktadır.

Günümüzde elektrik enerjisi üretiminde çoğunluklar fosil yakıtlar kullanılmaktadır. Türkiye'de de elektrik üretiminin çoğu fosil yakıtlardan sağlanmaktadır. Sera gazı emisyonunun çoğunluğu enerji üretim sektöründen kaynaklanmaktadır. Bu durumda Türkiye'de sera gazı emisyonunun azaltılmasının etkili ve gerekli yöntemi enerji üretiminde fosil yakıtların kullanımını azaltmaktır. Aynı yöntemin tüm dünya için de geçerli olduğu söylenebilir.

Çizelge 8.5. 2021 Yılı toplam güvenilir üretim kapasitesinin enerji kaynağı türlerine göre dağılımı ve toplam güvenilir üretim kapasitesinin enerji kaynağı türlerine göre CO₂ emisyonu

Kaynak	2021 (GWh)	2021 (Ton-CO ₂)
Linyit	53.810	56.175.740
Taş Kömür+Asfaltit	5.801	5.151.288
İthal Kömür	38.311	34.020.168
Doğal Gaz	168.184	83.923.816
Jeotermal	1.402	53.276
Fuel Oil	9.034	6.621.922
Motorin	148	108.484
Nükleer	21.000	1.386.000
Diğer(Güneş Kaynaklı Kabul Edildi)	1.408	32.384
Biogaz+Atık	1.196	31.096
Hidrolik	69.386	1.804.036
Rüzgar	7.644	76.440
Toplam	377.324	189.924.650

Çizelge 8.5’de görüldüğü gibi enerji üretimi %40.1 oranında fosil yakıtlardan sağlanmaktadır. Tasarlanan açık otopark üzeri güneş enerjisi sisteminde fosil yakıtlar kullanılmadığından sera gazı salınımı olmamaktadır. Bu durumda güneş enerji santrali ile üretilen yıllık 595.927,45 kWh elektrik enerjisi fosil yakıtlar kullanılarak üretilseydi ne kadar sera gazı emisyonu olacağı Çizelge 8.6’daki değerlere göre hesaplanmıştır.

Çizelge 8.6. Farklı enerji kaynaklarına ait emisyon değerleri emisyonu (Özcan ve Öztürk, 2015)

Kaynak	Sera gazı emisyonu (Ton-CO ₂ /GWh)
Doğalgaz	499
Linyit	1054
Taş kömürü	888
İthal kömür	888
Fuel-Oil	733
Nükleer	66
Hidrolik	26
Rüzgar	10
Jeotermal	38
Biyokütle	26
Güneş	23

Tüm dünyada gün geçtikçe daha da yaygınlaşan elektrikli araçlar, yayınlanan teknik detaylarında CO₂ emisyon miktarı sıfır olarak açıklanmaktadır. Ancak elektrik enerjisi ile çalışan bu araçların kullandıkları enerjinin üretiminde CO₂ emisyonu ortaya

çıkılmaktadır. Bu başlık altında Türkiye için elektrikli araçların enerji üretiminden itibaren düşünülmüş CO₂ emisyon değerleri yaklaşım olarak hesaplanacaktır.

Çizelge 8.6'daki değerlere göre Türkiye'de 377.324 GWh enerji üretimi neticesinde 189.924.650 ton-CO₂ emisyonu oluşmaktadır. Buradan toplam CO₂ emisyonu toplam enerji üretim miktarına oranlanırsa ortalama olarak GWh başına CO₂ emisyonunu yaklaşık 503,35 ton-CO₂ bulunur. Bulunan 503,35 ton-CO₂/GWh değerinden 0,50335 kg/kWh değeri bulunabilir.

Çeşitli markalara ait elektrikli araçların 100 km'deki enerji tüketim miktarları Çizelge 8.7'de verilmiştir. Bu verilerle elektrikli araçların 100 km'deki CO₂ emisyon değerleri ve menzillerine göre CO₂ emisyon miktarları hesaplanabilir.

Çizelge 8.7. Bazı elektrikli araçların 100 km'de enerji tüketim miktarları (kWh/100 km)

Marka	Enerji tüketimi (kWh/100 km)
BMW ix3	18,6-19
Jaguar I PACE	22-25,2
Renault ZOE	17,2
Tesla Model S 60	18,1
Tesla Model S 75	18,5
Tesla Model 3 Standard Range	14,9
Tesla Model S Long Range	19
TOGG T10X	19,5

Türkiye'de enerji üretiminden kaynaklı CO₂ emisyonu için ortalama 0,50335 kg/kWh olarak hesaplanmıştır. Buna göre araçların 100 km'de enerji tüketimlerine göre üretim noktasından bakınca emisyon değerleri hesaplanarak Çizelge 8.8'de gösterilmiştir.

Çizelge 8.8. Bazı elektrikli araçların şebeke kaynaklı enerji tüketimine göre 100 km'de CO₂ emisyon miktarları (kg-CO₂/100 km)

Marka	Emisyon (kg-CO ₂ /100 km)
BMW ix3	9,36231- 9,56365
Jaguar I PACE	11,0737- 12,68442
Renault ZOE	8,65762
Tesla Model S 60	9,110635
Tesla Model S 75	9,311975
Tesla Model 3 Standard Range	7,499915
Tesla Model S Long Range	9,56365
TOGG T10X	9,815325

Çizelge 8.6'daki verilere göre güneş enerji santralleri elektrik üretiminde 23 ton-CO₂/GWh emisyon ortaya çıkmaktadır. Bu değer kWh olarak düzenlendiğinde, güneş enerji santralleri elektrik üretiminde 0,023 kg/kWh CO₂ emisyonu ortaya çıkmaktadır. Bu durumda tasarlanan açık otopark güneş enerji santralinden üretilen elektriğin elektrikli araçlarda kullanılması neticesinde ortaya çıkan CO₂ emisyon değerleri Çizelge 8.9'da verilmiştir.

Çizelge 8.9. Bazı Elektrikli Araçların Tasarlanan GES Kaynaklı Enerji Tüketimine 100 km'de CO₂ Emisyon Miktarları (kg-CO₂/100 km)

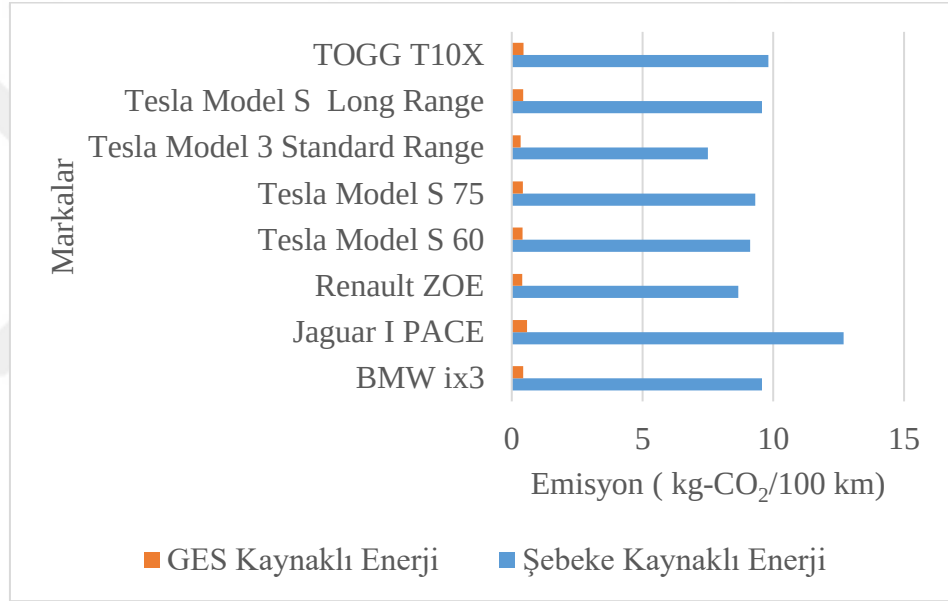
Marka	Emisyon (kg-CO ₂ /100 km)
BMW ix3	0,4278-0,437
Jaguar I PACE	0,506-0,5796
Renault ZOE	0,3956
Tesla Model S 60	0,4163
Tesla Model S 75	0,4255
Tesla Model 3 Standard Range	0,3427
Tesla Model S Long Range	0,437
TOGG T10X	0,4485

Yukarıda Türkiye'nin mevcut enerji üretimi ile ortaya çıkan kWh başına CO₂ emisyonu değeri 0,50335 kg/kWh olarak bulunmuştu. Tasarlanan açık otopark üzeri güneş enerji santrali ile yıllık 595.927,45 kWh elektrik enerji üretilmektedir. Açık otopark güneş enerjisi santrali ile üretilen bu üretim şebekeden çekilmiş olsaydı ortaya çıkacak olan emisyon değeri 299.960,082 kg hesaplanmıştır.

Yukarıdaki hesapta görüldüğü gibi açık otopark güneş enerjisi santrali ile üretilen 595.927,45 kWh elektrik enerjisi şebekeden çekilmiş olsaydı ortaya çıkacak olan CO₂ emisyon değeri yaklaşık 299,960 tondur. Bu elektrik enerjisi tasarlanan güneş enerji santrali ile üretildiği durumda ise ortaya çıkan CO₂ emisyon değeri aşağıda hesaplanmıştır. Birim CO₂ emisyon miktarı Çizelge 8.7'de verilen güneş enerjisi elektrik üretiminde 23 ton-CO₂/GWh değer kullanılmıştır. Bu değer 23 kg-CO₂/MWh olarak alınmıştır.

Tasarlanan açık otopark güneş enerji santrali ile 595.927,45 kWh elektrik enerjisi üretimi yapıldığında temelde bu üretimden kaynaklı CO₂ emisyon değeri yaklaşık olarak 13,706 ton olduğu bulunmuştur. 595.927,45 kWh elektrik enerjisinin elektrik şebekesinden çekilmesi ile bu güneş enerji santrali tarafından üretimi arasında CO₂ emisyon değeri olan 286,254 ton gibi çok büyük bir fark bulunmaktadır.

Bu çalışmada tasarlanan açık otopark için güneş enerji santrali sisteminde hesaplanan bir yıllık elektrik enerjisi üretimi 595.927,45 kWh neticesinde 13,706 ton CO₂ emisyonu ortaya çıkarken bu enerjinin şebekeden çekilmesi durumunda 299,960 ton CO₂ emisyonu ortaya çıkacağı gösterilmiştir. Bu değerler Türkiye'nin CO₂ emisyonu ve enerji üretiminde fosil yakıtlara olan bağımlılığı göz önüne alınarak incelendiğinde tasarlanan bu sistemin Türkiye'nin bu konudaki sorunlarına bir çözüm olabileceğini göstermektedir. Tasarlanan sistemin uygulanma kolaylığı da bir avantaj olarak görülebilir. Ayrıca bir bölge için değil ülke genelinde uygulanması mümkündür. EA'ların şebekeden elektrik kullanımı ile tasarlanan güneş enerji santrallerinden enerji kullanımlarında ortaya çıkan emisyon farklılıkları Şekil 8.8'de gösterilmiştir.



Şekil 8.8. Enerji kaynaklarına göre farklı markaların emisyon değerleri

Tasarlanan sistemin maliyet analizine bakıldığında en maliyetli olanın çelik kolonlar ve çatı uygulaması olduğu görülmektedir. Bu maliyet sistemin dezavantajları arasında gösterilebilir. Ancak sistem on-grid olarak tasarlandığında ve elektrikli araçlar için kurulacak şarj istasyonları ile enerji satışı yaptığında büyük bir gelir sağlayacağı açıktır. Ayrıca CO₂ emisyonu gibi tüm dünyayı ve gelecek yaşamları büyük ölçüde tehdit eden bu sorunu büyük oranda azaltacağı görüldüğünden maddi durumlar geri planda düşünülmelidir.

Güneş enerji santrali sisteminin on-grid ve off-grid olarak tasarlanmasının kendi içerisinde bazı avantajlarının ve dezavantajlarının olduğu söylenebilir. Çalışmada genellikle on-grid sistem üzerinde durulmuştur. Sistemin off-grid olması durumunda şarj

kontrol sistemi ve batarya paketi büyük bir maliyet getirecektir. PV sistem kurulu gücü 384 kWp olduğu düşünüldüğünde bu enerjinin depolanması ve kayıplar ile sistem eklentilerinin büyük maliyeti off-grid sistemin önemli dezavantajlarıdır. Ayrıca üretilen elektrik enerji tüketilemediğinde enerji depolamadan dolayı ortaya çıkacak kayıplar veya üretim fazlası enerjinin depolanamayacağı durumu enerji israfı olacaktır. On-grid güneş enerji santralinde ise bu eklentilere ihtiyaç duyulmaması ve enerji satışının şebekeye yapılabilmesi büyük bir avantaj sağlamaktadır. Ancak on-grid olarak tasarlanan sistemin bürokratik işlemleri ve bu alanda maliyetlerinin de olacağı göz önünde bulundurulmalıdır. Ayrıca şebekenin bu satışa ve sisteme uygun hale getirilmesinin de ek bir maliyet olarak ortaya çıkacağı görülmektedir.

Elektrikli araçların bataryaları boşaldığında bu araçların şarj istasyon noktalarının kolay ulaşılabilir olması önemlidir. Türkiye bu durum için çeşitli yasal zorunluluklar da getirmektedir. Tasarlanan açık otopark güneş enerji santral sistemi tam olarak bu durum için ideal bir çözüm olacaktır.

Çizelge 8.9’da görüldüğü gibi elektrikli araçlar elektrik enerji ihtiyacını şebekeden karşıladığında tasarlanan sisteme göre yaklaşık 22 kat daha fazla CO₂ emisyonuna neden olmaktadır. Buradan da görüleceği gibi açık otopark güneş enerji santrali ile elektrik üretimi yaparak elektrikli araçlara enerji sağlama fikri CO₂ emisyonunu azaltıcı yönde çok büyük etkisi olacaktır. Bunun yanında elektrikli araçların üretiminde de CO₂ emisyonu ortaya çıktığına çeşitli kaynaklarda değinilmektedir. İsveç Çevre Araştırma Enstitüsü (IVL) raporuna göre elektrikli araçların bataryalarının üretiminde kWh başına 61 ila 106 kg aralığında CO₂ emisyonu ortaya çıkmaktadır. Aynı kuruluşun 2017 yılındaki bir çalışmasında 100 kWh bataryası olan bir elektrikli araç daha trafiğe çıkmadan 15-20 ton CO₂ emisyonuna neden olduğu söylenmektedir. Elektrikli araçların yaygınlaşması çok büyük elektrik enerjisi ihtiyacı doğuracağından bu çalışmadaki çözüm önerisini daha da önemli kılmaktadır.

9. ELEKTRİKLİ ARAÇ ŞARJ İSTASYONLARININ KURULUM ÇEŞİTLERİNİN YAPAY SİNİR AĞLARI İLE FAYDA TAHMİNLERİ

Elektrikli araç şarj istasyonlarının mevcut sayıları ve literatürde öngörülen iki farklı senaryo için sayılarının önümüzdeki yıllardaki artışlarının, şarj istasyonlarının her çeşit maliyetleri düşünülerek geri ödeme süreleri analiz edilmiştir. Şarj istasyonlarının yüksek büyüme senaryosuna göre maliyet hesapları ve kazanç hesapları yapılarak geri ödeme süreleri belirlenmiştir. Elde edilen bu veriler kullanılarak YSA oluşturulmuş ve orta büyüme senaryosuna göre geri ödeme süreleri öngörülmüştür. Elektrikli araçların mevcut sayıları ve literatürde belirtilen artış hızlarına göre bir denklem çıkarılarak yakın gelecekteki elektrikli araç sayıları da belirlenmiştir. Elde edilen bu veriler ile birlikte otomotiv sektöründe şu anda kullanılan elektrikli araçların enerji tüketimleri belirlenmiştir. Tüm veriler yapay sinir ağlarının eğitiminde kullanılmıştır. Şarj istasyonları maliyetini karşılayan gelir kaynağı istasyonlarda yapılan elektrik satışlarıdır. Çalışma içerisinde verilen araç başına düşen şarj istasyonu sayılarına göre hesaplanan amortisman süreleri ve yapay sinir ağı ile yapılan öngörüler şarj istasyonlarının yatırımı geri kazandırma sürelerinin gelecekte çok daha kısalacağını ve başlangıç maliyetinde dikkate alınması gereken durumlar olduğunu göstermektedir.

Açıkça görülmektedir ki sera gazı emisyonuna yüksek oranda arttırıcı etkisi olan ulaşım sektöründe ve enerji üretimi alanında iyileştirici değişiklikler yapmak çevreye önemli katkılar sağlayacaktır (Chen ve diğ., 2021). Buna ek olarak fosil yakıtların yakın gelecekte tükenerek olması, iklim değişikliğine neden olan sera gazı emisyonlarının azaltılması gerekliliği, petrol ve türevlerine olan bağılıklar da ulaşım sektöründe bir revize gerekliliğini ortaya koymaktadır (Wu ve diğ., 2015). Sonuç olarak elektrikli araçlar (EA) çevresel ve ekonomik anlamda büyük bir katkı sağlayacağından bu sorunlara çözüm olarak ortaya çıkmış ve son yıllarda popülerliğini oldukça arttırmıştır. Elektrikli araçların üretimi ve kullanımı ile ulaşım sektöründe fosil yakıt kullanımından kaynaklı sorunların önüne geçeceği öngörülmektedir (Olçay ve Çetinkaya., 2023). Bununla birlikte elektrikli araçlara geçişte şarj istasyonlarının (Şİ) kurulması, altyapı eksiklikleri gibi önemli sorunlar da oluşmaktadır (Olçay ve Çetinkaya, 2023; Robinson ve diğ., 2014). Bu sorunlarının giderilmesi ile şarj istasyonlarının sayılarının artması ve çeşitli teşvikler ile kullanıcıların ilgilerinin arttırılması elektrikli araçlara yönelimi arttırabilir (Mahdiyeh ev diğ., 2019). Şİ'lerin artması ve EA kullanıcılarının erişimlerinin kolaylaşması EA pazarına faydalı şekilde etkileyeceği düşünülmektedir (Fan ve diğ., 2019). Başka bir

çalışmada yapılan anket ile katılımcıların %69 oranında Şİ'lere erişim kolaylığı olması durumunda EA'lara yönelimleri olacağını göstererek bu düşüncüyü desteklemektedir (Robinson ve diğ., 2014). EA sektörüne yönelimlerin hızlanması ve Şİ'lere erişilebilirlik durumunun artması için kamusal yatırımlar da önemlidir. Kamusal alanlarda Şİ'lerin olmaması EA pazarının büyümesi önündeki engellerden biridir ve bu pazardaki büyümeyi yavaşlatmaktadır (Sheng ve diğ., 2021). Türkiye'de 2023 yılı Mart ayı itibari ile trafiğe kayıtlı araç sayısı 14.475.191'dir (TÜİK, 2023). Bu araçların %0,134'ü kadar yani 19.395 adet elektrikli araçlardan oluşmaktadır (TÜİK, 2023).

Elektrikli araç şarj istasyonlarının doğru şekilde yerleştirilmesi ile ve sayılarının artması ile EA pazarı olumlu yönde etkilenecektir. Yani Şİ'lerin lokasyonlarının optimum planlanması da çözülmesi gereken diğer hususlar arasındadır (Hosseini ve Sarder, 2019). Bununla birlikte Şİ konumlandırılmasının yanlış olması da EA sürücülerini üzerinde olumsuz etki yaratacaktır.

Şİ'lerin altyapısının kurulması farklı değişkenleri içermektedir. Kurulacak Şİ modeli, konnektör sayısı, kurulum ve kiralama gibi maliyetler, mevcut elektrik şebekesi altyapı durumu, saha montaj işlemleri ve ekipmanları, sistem güvenliği vb. gibi birçok konu üzerinde durulması gerekmektedir. Her bir değişken farklı şarj tiplerine göre de değişiklik gösterecektir. Yapılan çalışmalar EA pazarının büyümesi ve kullanıcı talepleri doğrultusunda Şİ'lerin sayılarının artması gerektiği ortaya çıkmaktadır. Bu çalışmada analiz edilen elektrikli araç şarj istasyonlarının (EAŞİ) maliyetleri ve amortisman sürelerinin öngörülmesi potansiyel yatırımcılar ve bu alanda yasalar getiren, teşvikler üzerinde çalışan politikacılar için bilgilendirici bir çalışma niteliğinde olacaktır.

9.1. Elektrikli Araçlar ve Şarj İstasyonlarının Sektörel Analizi

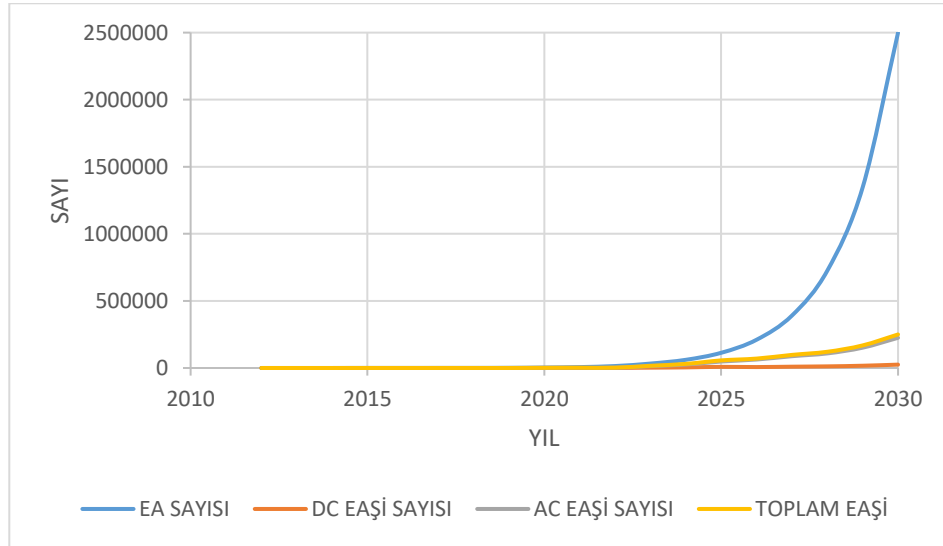
Maliyet analizi içerisindeki değişkenleri belirlemeye ilk olarak EA ve Şİ verileri tespit edilecektir. Bu çalışma içerisinde Türkiye verileri kullanılmıştır. Bu çalışmada EA denilerek bataryalı elektrikli araçlar kastedilmektedir.

EA çevre faktörü, ekonomik faydaları ve sosyal etkiler gibi nedenlerden dolayı yakın gelecekte sayılarının çok hızlı şekilde arttıracaktır. Uluslararası Enerji Ajansı (IEA)'nın raporlarına bakıldığında EA, 2025 yılında 70 milyon satışa ulaşması beklenmektedir (Sun ve diğ., 2018; Yuan ve diğ., 2018; Machura ve diğ., 2019; Bryden ve diğ., 2018; Fathabadi, 2017). EA en çok kullanılan pil türü ise li-ion pillerdir (Wang

ve diğ., 2021). EA'lar şarj edilmek zorundadır ve bu noktada Şİ farklı voltaj seviyelerine göre sınıflandırılmıştır. Üç farklı seviyede gösterilmiştir.

Seviye 1 EAŞİ bireysel kullanımlar için uygun olup ev tipidir. Ticari uygulamalarda Seviye 2 ve seviye 3 şarj istasyonları kullanılmaktadır. Seviye 1 ve seviye 2 şarj istasyonları doğrudan AC dağıtım hattına bağlı iken seviye 3 şarj istasyonları içerisinde DC dönüşüm yaparak araca enerji sağlamaktadır (Rajendran ve diğ., 2021; Huang ve diğ., 2016; Metais ve diğ., 2022). Bu çalışmada maliyet analizi yapılacak EAŞİ seviye 2 ve seviye 3 olarak belirlenmiştir.

Türkiye’de EA sayısı son yıllarda rekor artış göstermiştir. 2012 ve 2013 yıllarında 215 EA var iken 2022 yılında bu sayı 14.552’ye çıkmıştır (TÜİK,2023; SHURA Raporu,2023). 2023 yılının ilk çeyreğinde ise 19.395 sayısına ulaşarak trafiğe kayıtlı araçların %0,134’ünü oluşturmaktadır (TÜİK,2023). EA popülasyonunun çok hızlı bir şekilde arttığı görülmektedir. Türkiye EA sayısının yüksek büyüme senaryolarına göre 2030 yılında 2,5 milyona ulaşacağı öngörüsü yapılmıştır (SHURA, 2023). Ek olarak her türlü senaryo için 2025 yılında her bir şarj noktası için iki EA olacağı varsayımı yapılmıştır. 2030 yılı itibariyle ise şarj noktası başına 10 adet EA olacağı düşünülmüştür (SHURA, 2023). Bu çalışmada aynı veriler kullanılmış ve Şekil 3’de EA, EAŞİ sayılarının yıllara göre değişimi verilmiştir.



Şekil 9.1. EA ve EAŞİ sayılarının yıllara göre değişimi öngörüsü

EA sayısındaki artışı sağlamak için devlet desteği oldukça önemlidir. EA satışları devlet destekleriyle Avrupa ve Çin başta olmak üzere birçok ülkede artmaktadır (Pokharel ve diğ., 2021). Örneğin; Amerika Birleşik Devletleri elektrikli araçların

kullanımına teşvik için büyük fonlar ayırmıştır (Skerlos ve Winebrake, 2010). 2009 tarihinde çıkarılan bir yasa ile USA’de elektrikli araç ve pil teknolojilerini desteklemek için 2 milyar dolar destek sağlanmıştır (Wu ve diğ., 2015). Türkiye’de özel tüketim vergileri indirimleri, taşıt vergileri indirimleri ve muafiyetleri gibi elektrikli araçlara yönelik birçok teşvikler yapılmıştır (SHURA,2023). Bunun yanı sıra altyapı yatırımlarını hızlandırmak için de çeşitli düzenlemeler yaparak kamusal ve alışveriş merkezleri gibi otoparklar bulunan alanlarda her 50 araçlık park alanı için en az bir adet EAŞİ konulması gerekliliği getirilmiştir. Tüm bunlar çalışma içerisindeki EA ve EAŞİ artışını ve gelecek senaryolarının gerçekleşmesini destekleyici unsurlardır.

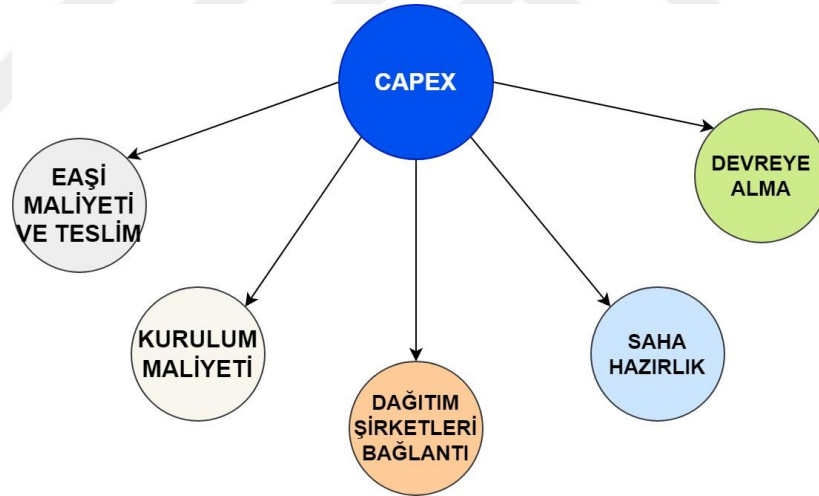
EA kullanımının yaygınlaşması için şarj altyapısının yanında araç menzillerinin de önemi büyüktür. Kullanıcı talebinin artırılması için EA menzilleri üzerine çalışmalar devam etmektedir ve günümüz koşullarında çözüme ulaştığı söylenebilir. EA kullanıcılarının menzil tercihleri konusunda araştırmalar yapılmış ve geçmiş çalışmalardaki sonuçlara göre şarj başına yaklaşık 160 km’lik bir menzilin ihtiyaçları karşılayabildiği söylenmiştir (Pearre ve diğ., 2011). Ancak belirtmek gerekir ki potansiyel EA müşterileri yüksek menzilli araçları tercih sebebi olarak görmektedir (Dimitropoulos ve diğ., 2011). Çünkü bilinen içten yanmalı motora sahip araçlar potansiyel kullanıcılar için bir referans olarak görülmektedir. Farklı ülkeler ve kullanma alışkanlıklarına göre de değişiklik göstermektedir. Örneğin; optimum menzil üzerine yapılan farklı çalışmalarda, Almanya’da 340 km, Avrupa için 308 km ve dünya genelinde ise 437 km seviyelerinde menzil tercihleri olduğu görülmektedir (Franke ve Krems, 2013). Günümüzdeki EA menzilleri ise 500 km’nin üzerine çıkarak bu talebi çoktan karşılar niteliktedir. Ek olarak belirtmek gerekir ki farklı hava koşulları, yol durumları, mevsimler ve markalar gibi durumlara göre menziller değişiklik göstermektedir. Bu çalışma içerisinde bir diğer önemli parametre de araç kullanıcılarının yıllık araç kullanım mesafeleridir. 2018 yılı Türkiye İstatistik Kurumu verilerine göre otomobiller için yıllık ortalama kullanım 13.776 km, 2019 yılı için 13.325 km olarak yayınlanmıştır (TÜİK,2023). Son yayınlanan veriler 2020 ve 2021 yılları için sırasıyla 12.474 km ve 13.048 km’dir (TÜİK,2023). Dünyayı etkileyen pandemiden dolayı ufak bir azalma olduğu bellidir. Bu çalışma içerisinde ise yıllık kullanım ortalama 15.000 km olarak belirlenmiştir.

Menzil ile birlikte ortaya çıkan diğer önemli parametre EA enerji tüketimidir. Bu çalışmadaki önemli değerlerden biridir. EAŞİ maliyet analizleri ve kazanç hesapları için enerji tüketim bilgileri gereklidir. Şarj planlarının çok değişken olması nedeniyle EA sürücülerinin şarj davranışlarına göre işlem yapmak yerine toplam enerji tüketimi

verilerinin kullanımı tercih edilmiştir. Burada belirlenmesi gereken iki unsur vardır. Birincisi EA km başına veya 100 km'deki elektrik tüketimidir. Farklı markalarda ve çalışmalarda bu değerler farklılık göstermektedir. Bir çalışmada 100 mil için enerji ihtiyacı yaklaşık olarak 30 kWh olarak kullanılmıştır (Sheng ve ark, 2021). Başka bir çalışmada ise ortalama bir EA için 2030 yılında 100 km için 15 kWh tüketim yapacağı söylenmiştir (Shura,2023). Menzilin çeşitli çevresel etkenlere göre değişmesi gibi EA enerji tüketimleri de bu etkenlerle değişmektedir. Bu çalışmada EA enerji tüketimi 100 km için ortalama 20 kWh olarak belirlenmiştir.

9.2. Elektrikli Araç Şarj İstasyonlarının Maliyet Analizi Ve Matematiksel Model Oluşturulması

EAŞİ maliyet analizlerinde bu çalışmada sermaye harcaması (CAPEX) ve işletme harcamaları (OPEX) üzerine odaklanılacaktır. Sermaye harcamaları Şekil 9.2'de özetlenmiştir.

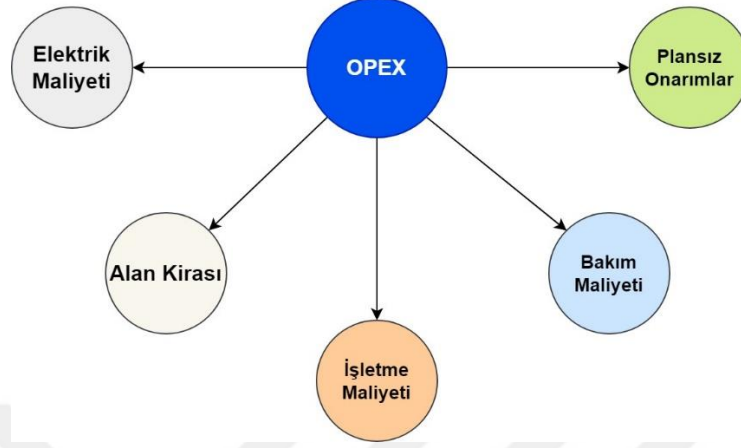


Şekil 9.2. CAPEX Parametreleri

Şekil 9.2'de belirtilen CAPEX maliyetlerinden bazıları her uygulama için geçerli olmayabilir. Uygulama içeriklerine göre, ülkeye veya bölgeye göre değişiklik gösterebilir ve farklı şekilde de yorumlanabilir. Burada cihaz ücreti EAŞİ seviyesine göre değişiklik göstermektedir. Bu çalışmada seviye 2 22 kW 3 fazlı AC EAŞİ ve seviye 3 DC 120 kW olmak üzere iki farklı ticari tip olarak düşünülerek hesaplamalar yapılacaktır. Kurulum yönetimi ve alan hazırlama tüm idari izinler, harçlar, mühendislik işleri, saha altyapı, malzeme ve işçilikleri kapsamaktadır. Devreye alma ise tüm işlemler tamamlanıp çalışır

halde teslim etme, testler ve güvenlik kontrollerini kapsamaktadır. CAPEX toplam maliyetin yaklaşık %80'lik kısmını oluşturmaktadır.

Literatürdeki bir diğer parametre ise OPEX'dir. OPEX Şekil 9.3'de özetlenmiştir.



Şekil 9.3. OPEX Parametreleri

OPEX maliyetleri de CAPEX gibi ülkeden ülkeye ve bölgeden bölgeye değişiklik göstermektedir. Elektrik masrafı, EAŞİ enerji tüketimi sayaçlarda ölçülerek dağıtım şirketine ödenen bedeldir. Bu masraf üzerine işletme karları eklenerek enerji satımı gerçekleştirilmektedir. Dolayısıyla kazanç hesabında kardan düşülerek dahil edilecektir. Alan kirası ise, CAPEX ve OPEX maliyetlerinin ortak noktalarının birleştirildiği maliyet denklemi içerisinde gösterilmekte ve sermaye kısmında düşünülmektedir. Bu çalışma içerisinde alan kirası ödemesi olmadığı düşünülmektedir. Çünkü şuan için Türkiye'de yatırımcılar şart istasyonunu satın almakta veya lokasyon avantajları bulunması halinde EAŞİ satıcı firmalardan ücretsiz olarak bu firmalarla imzalanan sözleşmede elektrik satışından daha fazla hisse vermektedir. Bu durum da işletme giderleri (BORC) arttırmaktadır. BORC, şarj istasyonu lisans işletme masrafları, müşteri hizmetleri desteği, yazılım destekleri gibi masrafları içermektedir. Bunun dışında onarım maliyetleri (MC) ve planlanmamış onarım maliyetleri bu çalışmada masraf oluşturmadığı düşünülecektir. Çünkü EAŞİ satıcısı ve şarj ağı işletmecisi olan firma ile yer sahibi müşteri arasında imzalanan sözleşmelerde bu durum belirtilmektedir.

Literatürde farklı çalışmalarda ön geliştirme maliyeti olarak formüller oluşturulmuştur (Sadeghi-Barzani ve diğ., 2014). Bu çalışmada denklem geliştirilerek şarj istasyonu konnektör gücü başına altyapı maliyeti eklemiştir ve kullanılacak başlangıç sermaye maliyeti (C_{ce}) denklemi şu şekildedir:

$$C_{ce} = C_s + 12,5 \times C_{rc} \times N_i + P_{cs} \times C_{cd}(N_i - 1) + P_{cs} \times N_i \times C_{inf} \quad (9.1)$$

Burada, C_s şarj istasyonu satın alma ve teslim maliyetini, C_{rc} alan kiralama bedelini, N_i ; i numaralı şarj istasyonundaki konnektör sayısını, P_{cs} şarj istasyonu konnektör gücünü, C_{cd} bir şarj istasyonundaki her bir konnektör için eklenti maliyeti, C_{inf} ise şarj istasyonu için Installation management ve site preparation maliyetlerine karşılık gelmektedir. Her bir araç için 2,5x5 metre park alanı düşünülerek konnektör başına 12,5 m² alan düşünülmüştür. Benzer çalışmalarda maliyet formüllerinde kullanılan N_i , tek bir şarj istasyonunun şarj çıkışı sayısı olarak düşünülmüştür. Bu durumun ek bir maliyet getirdiği düşünülerek buna göre maliyet hesabı yapılmıştır. Fakat yapılan geniş piyasa araştırmasında aynı şarj istasyonundaki şarj çıkış tabanca sayısının birden fazla olması durumu şarj istasyonlarının maliyetini hesaplara etki edecek şekilde arttırmamaktadır. Bu nedenle bu çalışmada, N_i , şarj istasyonunun kendisinin sayısını belirtmek amacıyla kullanılmıştır. Ayrıca yine piyasa araştırması neticesinde, C_s ; 120 kW DCHŞİ için 25.000 dolar, AC 22 kW EAŞİ için ise 1100 dolar olarak kabul edilmiştir. Ek olarak C_{inf} , kW başına 50 dolar olarak alınmıştır. C_{rc} , ülkelere ve ülkeler içindeki bölgelere, şehirlere göre değişmektedir. Bu çalışma içerisinde EAŞİ piyasasındaki senaryolara göre yer sahibinin EAŞİ satın alması veya Şİ firmalarının yer sahibinin lokasyon avantajından dolayı EAŞİ'yi ücretsiz vererek yer sahibi ile yapılan sözleşme şarjlarındaki OPEX maliyetinin değişmesi senaryolar baz alındığından C_{rc} ödenmediği düşünülmüştür.

$$C_{OC} = (C_E \times E_C) + (C_{BORC} \times P_{TCS} \times t_{op}) + (C_{tad} \times E_C) \quad (9.2)$$

Burada, E_C ; kWh olarak şarj istasyonundan yapılan enerji satışını (kWh), C_E ; elektrik idaresine ödenen elektrik satın alma bedelini, C_{BORC} ; işletme maliyeti, C_{tad} ; kWh başına iletim ve dağıtım vergi oranını, P_{TCS} ; şarj istasyonları toplam kurulu gücünü, t_{op} ; işletme süresi göstermektedir. C_E ; mevcut duruma göre piyasa için ortalama 0,1 dolar/kWh, C_{tad} ; ortalama olarak 0,0004 dolar/kWh, C_{BORC} ; yaklaşık 0,01 dolar/kWh, P_{TCS} ; bu çalışmada AC level 2 için 22 kW ve DC level 3 için 120 kW, t_{op} ; yıllık işletme süresi 365 gün olarak kabul edilmiştir.

EAŞİ maliyet analizi ve kazanç hesapları yapılırken toplam maliyet (C_T) dikkate alınacaktır. Yukarıda anlatılan CAPEX ve OPEX denklemlerinden elde edilecektir ve şu şekildedir:

$$C_T = C_{ce} \times C_{OC} \quad (9.3)$$

9.3. Kazanç Hesabı ve Geri Ödeme Süresinin Yapay Sinir Ağları İle Tahmini

Şarj istasyonlarının yıllık kazancı EA sayısı ve EAŞİ sayısı ile ilişkilidir. Öncelikle elektrikli araçların yıllık enerji tüketiminin (E_{EV}) hesaplanması şu şekildedir:

$$E_{EV} = N_{EV_i} \times R_{EV} \times E_{EVC} \quad (9.4)$$

(9.4) numaralı denklemde, N_{EV_i} ; i yıldaki EA sayısı, R_{EV} ; yıllık araç kullanım menzili, E_{EVC} ; km başına EA enerji tüketimini ifade etmektedir. Bu aşamadan sonra kazanç hesabı yapılacaktır. Bu hesaplama neticesinde şarj istasyonlarının elektrik satışından sağladığı yıllık maddi kazanç bulunmuş olacaktır. Bir şarj istasyonunun yıllık kazancı (G_{EVCS}) şu şekilde hesaplanmıştır:

$$G_{EVCS} = (E_{EV}/N_{EVCS_T}) \times C_{ES} \quad (9.5)$$

Yukarıdaki denklemde, C_{ES} ; şarj istasyonundan elektrik satış fiyatını, N_{EVCS_T} ; toplam EAŞİ sayısını ifade etmektedir. C_{ES} ; bu çalışmada kullanılan HŞİ için 0,37 dolar/kWh, AC şarj istasyonu için 0,29 dolar/kWh olarak belirlenmiştir.

Buraya kadar verilen denklemler sonucunda bir EAŞİ için gelir ve gider hesapları yapılabilmektedir. Bu hesaplar neticesinde net kâr belirlenerek EAŞİ'nin o yılki verilere göre geri ödeme süreleri hesaplanabilmektedir. Bu hesaplardaki gelir ve maliyet analizleri EAŞİ seviyesine göre değiştiğinden her bir seviye için aynı iterasyonlar farklı maliyet rakamları ile ayrı ayrı yapılması gerekmektedir. Sonuç olarak bir EAŞİ için göre ödeme süresi (T_{RF}) hesaplanmadan önce net kazanç hesaplanmalıdır. EAŞİ enerji satışından elde edilen gelir ile OPEX ve CAPEX maliyetlerinden ortaya çıkan giderler neticesinde ortaya çıkan net kazanç (G_N) şu şekildedir:

$$G_N = [(C_{ES} \times E_C) - (C_E \times E_C) - (C_{BORC} \times P_{TCS} \times t_{op}) - (C_{tad} \times E_C)] \times R_{cont} \quad (9.6)$$

Yukarıdaki denklemde, R_{cont} ; EAŞİ firması ve yer sahibi arasındaki sözleşmede cihaz maliyetini ödeme senaryolarına göre sözleşme net kazanç paylaşım oranını göstermektedir. Bu çalışmada EAŞİ maliyetini yer sahibinin karşıladığı düşünülerek analizler yapılmıştır. Sektörde yaygın olan durum da budur. Şunu da söylemek gerekir ki bu çalışmada net kazanç paylaşım oranı %80 olarak kullanılacaktır. Hesapların yıllık

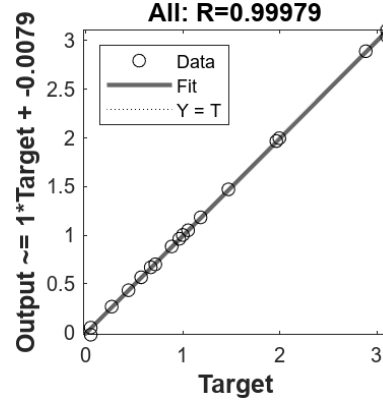
bazda yapılabilmesi için yukarıdaki denklemde (9.6) verilen E_C değerinin yıllık enerji satışı olarak kullanılması gerekmektedir. Buna göre denklem (9.6) düzenlenirse yıllık net kazanç aşağıdaki şekilde olacaktır:

$$G_N = [(C_{ES} \times E_{EV}/N_{EVCS_T}) - (C_E \times E_{EV}/N_{EVCS_T}) - (C_{BORC} \times P_{TCS} \times t_{op}) - (C_{tad} \times E_{EV}/N_{EVCS_T})] \times R_{cont} \quad (9.7)$$

Son aşamada artık EAŞİ geri ödeme süresi hesaplanacaktır. Geri ödeme süresi (T_{RF}) denklemi yıl olarak aşağıda gösterilmiştir:

$$T_{RF} = C_{ce}/G_N \quad (9.8)$$

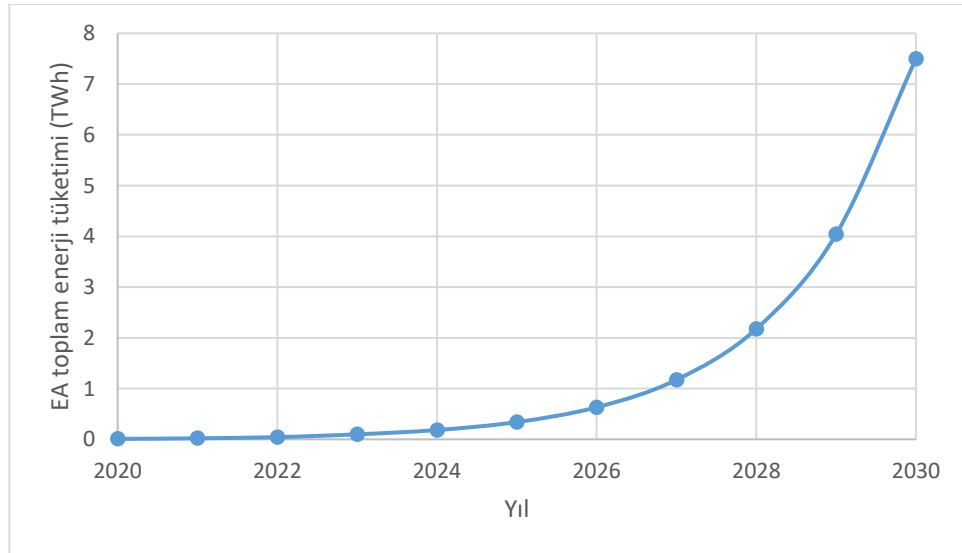
YSA, level 2 ve level 3 olarak iki farklı tipteki şarj istasyonlarının maliyetlerinin geri kazanım sürelerini tahmin etmen için oluşturulmuştur. Her iki seviyedeki şarj istasyonu için 12 farklı input verisi, 20 adet gizli katmanlar ve 2 adet çıkış verisi bulunmaktadır. Tüm giriş verilerinin %70'i ANN eğitimi için, %15'lik kısmı doğrulama ve %15'lik kalan kısım ise test verileri olarak kullanılmıştır. Giriş verileri olarak; yıllar, EA sayıları, seviye 2 EAŞİ sayısı, seviye 3 EAŞİ sayısı, toplam EAŞİ sayısı, toplam EA enerji tüketimi (kWh/yıl), seviye 2 EAŞİ enerji tüketimdeki payı, seviye 3 EAŞİ enerji tüketimdeki payı, her seviye 2 EAŞİ başına günlük ortalama enerji tüketimi, her seviye 3 EAŞİ başına günlük ortalama enerji tüketimi, her seviye 2 EAŞİ başına yıllık enerji tüketimi ve her seviye 3 EAŞİ başına yıllık enerji tüketimi kullanılmıştır. Çıkış verisi olarak level 2 ve level 3 EAŞİ'ler için geri ödeme süresi (yıl) elde edilmiştir. YSA eğitim sürecinin tamamlanması ile çıkış verilerinin analizi için MSE ve regresyon parametreleri kullanılmıştır. Sonuç verileri analizinde MSE 0,0028 olarak bulunmuştur. Ek olarak "R" değeri 0,99979 olarak elde edilmiştir ve Şekil 6'da gösterilmiştir. Bu sonuç YSA tahmin işlemleri için yeterli olacaktır.



Şekil 9.4. YSA sonuç analizi

Buradaki giriş verileri daha önce bahsedilen yüksek büyüme senaryosuna göre oluşturulmuştur. Elde edilen veriler ile eğitilen yapay sinir ağları modeli sayesinde yine bu çalışma içerisinde orta büyüme senaryosuna göre de geri ödeme süreleri tahmini yapılmış ve sonuçlar yorumlanmıştır.

Öncelikle yüksek büyüme senaryosuna göre EA sayısının 2030 yılı öngörüsü 2,5 milyon olacağı söylenmiş ve bu yıl içerisinde her EA başına 10 EAŞİ olacağı düşünülmüştür. İlk hesaplamalar bu senaryoya göre yapılmıştır. Şekil 9.5'e bakılırsa EA artışı ile birlikte yıllık olarak EA'ların enerji tüketimi görülebilir. Bu hesaplama bugünün koşullarındaki yıllık araç kullanım mesafesi ve elektrikli araç enerji tüketimi değerlerine göre yapılmıştır.

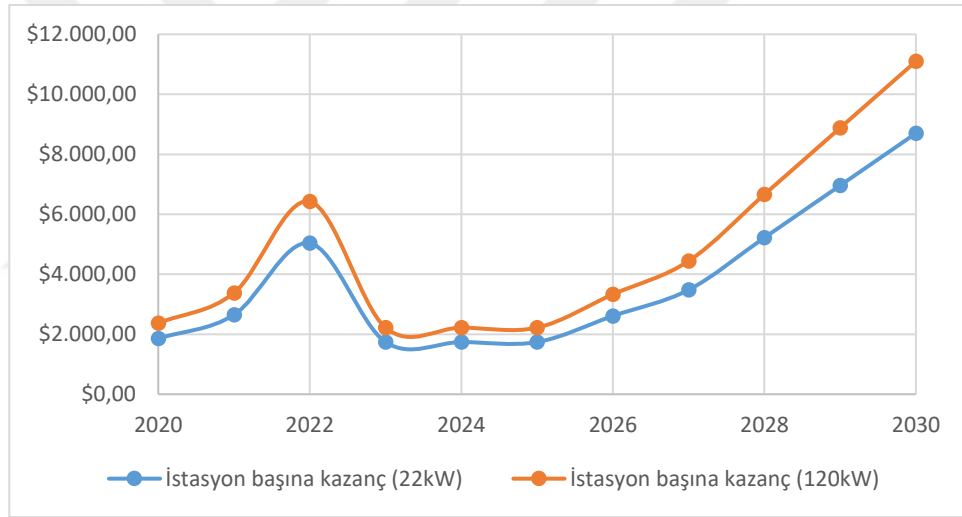


Şekil 9.5. Türkiye için EA yıllık toplam enerji tüketimi tahmini

Gelecekte elektrikli araçların bu senaryo doğrultusunda artması neticesinde 2030 yılı itibarıyla EA kaynaklı enerji ihtiyacı 7,5 TWh mertebelerine ulaşacaktır. Bu tüketim

enerji altyapısının ve üretim kapasitelerinin hızlı bir şekilde geliştirilmesi ve artırılması gerekliliğini ortaya koymaktadır. Şunu belirtmek gerekir ki bu senaryo içerisindeki EA enerji tüketimi, EA kullanıcılarının yıllık sürüş mesafelerinin sabit kaldığı kabul edilerek yapılmıştır. Fakat bu değerlerin artış göstereceği düşünüldüğünde enerji ihtiyacının da daha fazla artacağı durumu unutulmamalıdır. Bu noktada vurgulamak gerekir ki diğer sektörlerin enerji ihtiyacına ek olarak EA enerji tüketiminin de eklenmesi sonucunda enerji üretiminden kaynaklı CO₂ emisyon oranları oldukça artacaktır. Bu nedenle bu çalışma için otomotiv sektöründe yenilenebilir enerji kaynaklarından faydalanma payının artırılması ile düşük emisyon değerleri sağlanacak ve şehirlerdeki hava kalitesi artacaktır.

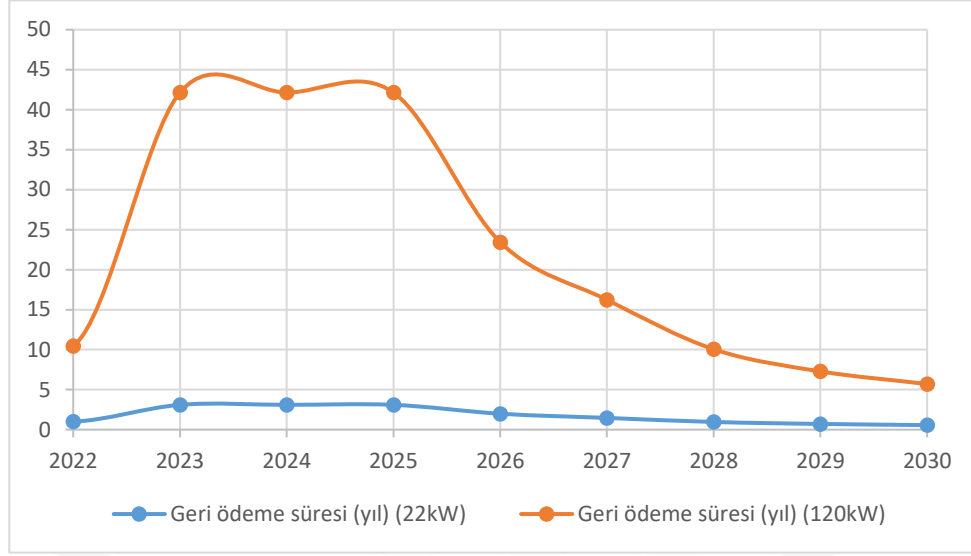
EA sayıları ve çalışma içerisinde verilen değişkenlerin değerleri baz alınarak denklem (9.5) kullanılarak hesaplanan kazanç değerleri Şekil 9.6’da gösterilmiştir.



Şekil 9.6. AC 22 kW, DC 120 kW EAŞİ’ler için yıllık kazanç grafiği

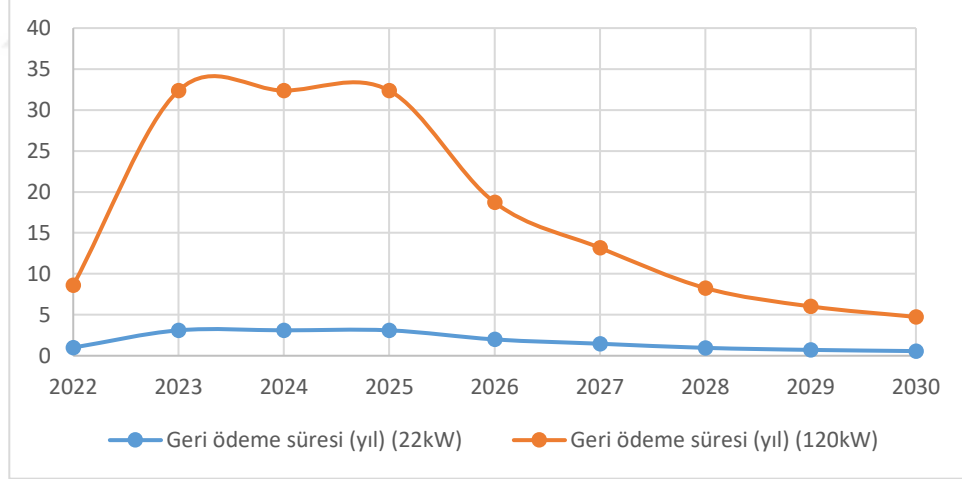
CAPEX harcamaları sadece başlangıçta yapıldığından sabit kalmıştır. OPEX ise yıllık olarak sürekli olduğundan istasyondaki enerji satışı artışı ile birlikte artış göstermektedir. Fakat bu artış gelirlere nazaran çok daha küçüktür. Her sene üstüne koyarak masraf oluşturduğundan yine de net kazanca önemli şekilde etki etmektedir.

Tüm bu verilerin elde edilmesi neticesinde geri ödeme süresi denklem (9.7) ve denklem (9.8) kullanılarak hesaplanabilecektir. Buna göre yüksek büyüme senaryosuna göre geri ödeme süresi Şekil 9.7’de gösterilmiştir.



Şekil 9.7. AC 22 kW, DC 120 kW EAŞİ'ler için maliyet geri ödeme süresi

Yapılan hesaplamalar ve eldeki veriler ile bulunan ve Şekil 9.7'de gösterilen yüksek büyüme senaryosuna göre EAŞİ geri ödeme süresi verileri kullanılarak eğitilen yapay sinir ağları ile orta büyüme senaryosu tahminleri yapılmıştır.



Şekil 9.8. AC 22 kW, DC 120 kW EAŞİ'ler için maliyet geri ödeme süresi YSA analizi

Burada elde edilen tahmin sonuçları beklenen durumu göstermektedir. Sonuçlar göstermektedir ki AC şarj istasyonları ilk yatırım maliyetlerinin düşüklüğü ve sayılarının özellikle bu nedenden kaynaklı DC istasyonlara göre fazlalığı yatırımcıya maliyetinin geri ödeme süresini kısaltmaktadır. DC level 3 şarj istasyonları ise özellikle ilk yatırım maliyetinden ötürü yatırımcılar tarafından daha az tercih edilmektedir ve maliyetini geri ödeme süreleri başlangıçta çok daha uzundur. Ancak 2030 yılına kadar beklenen elektrikli

araçların sayılarının artışının gerçekleşmesi ile geri ödeme süreleri oldukça kısalmaktadır. Ayrıca belirtmek gerekir ki şarj istasyonlarının lokasyonları oldukça önemlidir. Araç sayılarının artması ve lokasyon avantajıyla bu çalışmada yapılan kabuller dışında daha da kısa sürede maliyetlerini geri kazandırma ihtimalleri vardır.



10. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada; IEEE 6 baralı, 14 baralı ve 30-baralı elektrik şebekeleri kullanarak EAŞİ'lerin etkileri analiz edilmiştir. Bu analiz ile şebekede enerji kalitesi açısından oluşacak bozulmalar öngörülmüştür. Elektrikli araç şarj istasyonlarının şebekeye olan etkilerini öngörmek için yapay sinir ağları kullanılmıştır. Elektrikli araç şarj istasyonlarının şebekeye olan etkilerinin analizi, sürdürülebilir enerji altyapısının geliştirilmesine katkıda bulunur. Bu, elektrikli araç kullanımının yaygınlaşması ve enerji verimliliğinin artırılması açısından önemlidir. YSA ile elde edilen veriler, şarj istasyonlarının şebeke entegrasyonu için optimize edilmiş çözümlerin geliştirilmesine olanak tanımaktadır. Bu da enerji kaynaklarının daha verimli kullanılmasını sağlayacaktır. Çalışma sonuçları, elektrik şebekesinin güvenilirliği üzerindeki etkileri değerlendirerek şebeke kapasite planlamasına rehberlik etmektedir. Bu, şebeke üzerinde olası aşırı yüklenmelerin önlenmesine ve enerji talebinin etkin bir şekilde karşılanmasına yardımcı olmaktadır. Elektrikli araç şarj altyapısının şebekeye uyumlu bir şekilde entegre edilmesi, sürdürülebilir ulaşımı teşvik eder. Bu da hava kalitesinin artırılması ve karbon ayak izinin azaltılması gibi çevresel faydalar sağlar. Çalışmanın sonuçları, enerji sektöründeki karar alıcıları, planlamacıları ve politika oluşturucularını bilgilendirir. Bu bilgiler, altyapının etkin bir şekilde yönetilmesi ve gelecekteki enerji talebinin karşılanması için stratejik planlamalara rehberlik eder. Analizler, şarj istasyonlarının şebekeye olan etkilerini değerlendirerek yatırım getirisi ve maliyet tahminlerine ışık tutacaktır. Bu, finansal planlama ve stratejik yatırım kararlarının daha sağlam temellere dayanmasını sağlar. Elektrikli araç şarj istasyonlarının şebekeye entegrasyonunun etkilerinin analizi, çevresel etkilerin minimize edilmesine yardımcı olur. Bu, sürdürülebilir ulaşım ve enerji kullanımının teşvik edilmesine katkıda bulunur.

EAŞİ'lerin elektrik şebekelerine getireceği ek yükler de çalışmada gösterilmiştir. Büyük güçlerdeki yüklerin ani eklenmesi ile ortaya çıkacak olumsuz durumlar anlatılmıştır. Çalışma sonucu göstermiştir ki öztüketimlere yönelik hem de yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlanacak elektrik üretimi hem ani yükler için üretim desteği sağlayacak, hem kayıpları azaltacak hem de sera gazı emisyonlarını azaltarak büyük katkı sağlayacaktır. Elektrikli araç şarj istasyonlarının artan kullanımının şebeke üzerinde oluşturacağı ek yüklerin analizi, mevcut güç kayıplarının iki katına çıkabileceğini ve reaktif güç kayıplarının üç katından fazla artabileceğini göstermiştir. Bu durum, şebeke performansını ve güvenilirliğini olumsuz etkileyebilir. Ancak, önerilen çözüm olarak

güneş enerji santrallerinin eklenmesi ile kayıpların yarıdan fazla azaldığı gözlemlenmiştir. Şebeke kayıplarını azaltmak ve enerji talebini sürdürülebilir bir şekilde karşılamak için güneş enerji santralleri (GES) eklenmesi ile çevresel etkileri azaltmanın yanı sıra, şebeke performansını da artıracaktır. GES'lerin EAŞİ yüklerine karşılık eklenmesi şebeke üzerindeki enerji yönetimini daha etkili kılabilir.

Kurulum analizi için EA ve EAŞİ yaygınlaşmasına yönelik saha ve maliyet analizleri yapılmıştır. Çalışma içerisindeki senaryolar ve veriler esnekler. Farklı bilgiler kullanılarak tahminler yapılabilir ve bu makaleden elde edilecek faydalar sağlanabilir. Ayrıca bu çalışmanın sonucu olarak aşağıdaki faydalar da söylenebilir:

-Yatırımcılar için Karar Destek: Elektrikli araç şarj istasyonlarına yatırım yapmak isteyen şirketler ve bireyler için geri ödeme sürelerinin belirlenmesi, yatırımın getirisi ve riski hakkında bilgi sağlayarak daha bilinçli kararlar almalarına yardımcı olur. Sürdürülebilir yatırım konularında ise ekonomik döngünün sağlanmasının önemi de akademik çalışmalarda gösterilmiştir.

-Ekonomik Analiz ve Planlama: Şarj istasyonlarının geri ödeme sürelerinin incelenmesi, bölgeler ve ülkeler arasında elektrikli araç altyapısının yaygınlaşmasının ekonomik etkilerini anlamak için kullanılabilir. Bu, enerji politikalarının ve altyapı planlamalarının şekillenmesine katkıda bulunabilir. Analizlerin yapılmasında geri ödeme sürelerinin tahmin edilmesi, fiyatların öngörülmesi de planlamada avantaj sağlayacaktır. Fiyat tahminleri için sinir ağları uygulaması kullanımı olumlu sonuç vermektedir (Nikolaev ve Petrove, 2021).

-Düşük Karbon Geçişine Destek: Elektrikli araçlar, fosil yakıtlı araçlara kıyasla daha düşük karbon salınımı sağlar. Şarj istasyonlarının geri ödeme süreleri hakkında bilgi, elektrikli araç kullanımını teşvik ederek daha sürdürülebilir bir ulaşım sistemi oluşturulmasına katkı sağlayabilir.

-Altyapı Yatırımlarının Etkinliği: Şarj istasyonu yatırımlarının geri ödeme sürelerinin belirlenmesi, mevcut altyapının ve gelecekteki yatırımların etkinliğini değerlendirmeye yardımcı olur. Bu, altyapının geliştirilmesi ve optimize edilmesi için kılavuz olabilir.

-Maliyet ve Getiri Analizleri: Geri ödeme sürelerinin belirlenmesi, şarj istasyonu işletmecilerinin maliyet ve getiri analizlerini yapmalarına olanak tanır. Bu, işletmelerin rekabetçi fiyatlandırma ve sürdürülebilir bir iş modeli oluşturmaya yardımcı olabilir.

-Daha Geniş Kullanım ve Kabul: Şarj istasyonlarına yapılan yatırımların geri ödeme sürelerinin makul düzeyde olması, elektrikli araç kullanımını teşvik edebilir ve

halkın daha fazla elektrikli araç kullanımına geçişini sağlayabilir. Ayrıca kriz durumları için akıllı şehirler planlamasında katkı sağlayacak, doğru yatırımlar ile kullanım alanı artarak kriz zamanlarında daha hızlı ve yeterli hizmet sağlanacaktır (Petrove ve Tairov, 2022).

-Yöneticilere Veri Sağlanması: Politika yapıcılara öngörüler ile yatırım ve planlama çalışmalarında katkı sağlayabilir.

EAŞİ yatırımları farklı iş kollarına faydalı olabilir. Bu faydalar kısaca şu şekilde özetlenebilir;

-Ticari Gayrimenkul Sahipleri: Elektrikli araç şarj istasyonları, ticari gayrimenkullerin değerini artırabilir ve çekiciliğini artırarak kiracı çekme potansiyelini artırabilir. Şarj istasyonları, alışveriş merkezleri, restoranlar ve oteller gibi ticari alanlara müşteri trafiği çekebilir ve müşteri sadakatini artırabilir.

-Akaryakıt İstasyonları ve Petrol Şirketleri: Petrol şirketleri, benzin istasyonlarında elektrikli araç şarj hizmetleri sunarak alternatif enerji segmentine giriş yapabilir ve müşteri tabanını genişletebilir. Dönüşüm sürecinde olan akaryakıt istasyonları, elektrikli araç şarj hizmetleri sunarak gelir çeşitliliği sağlayabilir ve rekabet avantajı elde edebilir.

-Elektrikli Araç Üreticileri ve Satıcıları: Elektrikli araç üreticileri, şarj istasyonlarına yatırım yaparak araçlarının satın alınmasını ve kullanımını kolaylaştırabilir, böylece satışlarını artırabilir. Elektrikli araç satıcıları, şarj istasyonlarıyla ortaklık yaparak müşterilere daha kapsamlı bir hizmet sunabilir ve müşteri memnuniyetini artırabilir.

-Şarj İstasyonu İşletmecileri: Şarj istasyonu işletmecileri, elektrikli araç kullanıcılarından gelir elde edebilir ve abonelik veya üyelik modelleriyle düzenli müşteri tabanı oluşturabilir. Şarj istasyonu işletmecileri, markalaşma ve hizmet kalitesiyle öne çıkarak müşteri sadakatini artırabilir.

-Belediyeler ve Kamu Kurumları: Belediyeler ve kamu kurumları, şarj istasyonları kurarak sürdürülebilir ulaşımı teşvik edebilir, hava kirliliğini azaltabilir ve çevresel faydalar sağlayabilir. Şarj istasyonları, kamu alanlarında konumlandırılarak elektrikli araç kullanımını teşvik edebilir ve toplu taşıma ağlarıyla entegrasyonu kolaylaştırabilir.

-Teknoloji ve Altyapı Sağlayıcıları: Elektrikli araç şarj istasyonu altyapısı sağlayıcıları, donanım ve yazılım çözümleri sunarak pazarda önemli bir rol oynayabilir

ve büyüyebilir. Teknoloji sağlayıcıları, gelişmiş şarj istasyonu yönetim sistemleriyle daha verimli ve akıllı bir şarj altyapısı oluşturabilir.



KAYNAKLAR

- A Aljanad and A. Mohamed, 2016, Harmonic Impact of Plug-In Hybrid Electric Vehicle on Electric Distribution System, *Model. Simul. Eng.*, pp. 1-7, Aug. <https://doi.org/10.1155/2016/5968943>.
- A. Bosak, A. Bosak, L. Kulakovskiy and T. Oboronov, 2019, Impact of EV Chargers on Total Harmonic Distortion in the Distribution System Network, 2019 IEEE 6th International Conference on Energy Smart Systems (ESS), pp. 329-333, doi: 10.1109/ESS.2019.8764244.
- Abhishek Awasthi, Karthikeyan Venkitusamy, Sanjeevikumar Padmanaban, Rajasekar Selvamuthukumaran, Frede Blaabjerg, Asheesh K. Singh, 2017, Optimal planning of electric vehicle charging station at the distribution system using hybrid optimization algorithm, *Energy*, Volume 133, Pages 70-78, ISSN 0360-5442, <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.05.094>.
- Adnan, N., Md Nordin, S., bin Bahrudin, M.A., Ali, M., 2018, How trust can drive forward the user acceptance to the technology in-vehicle technology for autonomous vehicle, *Transp. Res. A* 118 (October), 819–836.
- Ahmed Aljanad, Azah Mohamed, Hussain Shareef, Tamer Khatib, 2018, A novel method for optimal placement of vehicle-to-grid charging stations in distribution power system using a quantum binary lightning search algorithm, *Sustainable Cities and Society*, Volume 38, Pages 174-183, ISSN 2210-6707, <https://doi.org/10.1016/j.scs.2017.12.035>.
- Ahmed M. Othman, Hossam A. Gabbar, Francesco Pino, Maurizio Repetto, 2020, Optimal electrical fast charging stations by enhanced descent gradient and Voronoi diagram, *Computers & Electrical Engineering*, Volume 83, 106574, ISSN 0045-7906, <https://doi.org/10.1016/j.compeleceng.2020.106574>.
- Alexandre Lucas, Fausto Bonavitacola, Evangelos Kotsakis, 2015, Gianluca Fulli, Grid harmonic impact of multiple electric vehicle fast charging, *Electric Power Systems Research*, Volume 127, Pages 13-21, ISSN 0378-7796, <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2015.05.012>.
- Ali R. Al-Roomi, 2015, Power Flow Test Systems Repository [<https://al-roomi.org/power-flow>]. Halifax, Nova Scotia, Canada: Dalhousie University, Electrical and Computer Engineering.
- Ali, W. H., Cofie, P., Fuller, J. ,2015, Analysis of the Load Flow Problem in Power System Planning Studies, *Energy and Power Engineering*, 7, 509-523.
- Asu M., Gaughan K., Coyle E. Basu, Malabika; Gaughan, Kevin; Coyle, Eugene, 2004, Harmonic distortion caused by EV battery chargers in the distribution systems network and its remedy, (2004) 39th International Universities Power Engineering Conference, UPEC 2004 - Conference Proceedings, 2, pp. 869 – 873.
- B. Basta, W.G. Morsi, 2021, Low and high order harmonic distortion in the presence of fast charging stations, *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*,

Volume 126, Part A, 106557, ISSN 0142-0615, <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2020.106557>.

- B. Faridpak, H. F. Gharibeh, M. Farrokhifar and D. Pozo, 2019, Two-Step LP Approach for Optimal Placement and Operation of EV Charging Stations," *2019 IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Europe (ISGT-Europe)*, Bucharest, Romania, pp. 1-5, doi: 10.1109/ISGTEurope.2019.8905469.
- B. Kulkarni, D. Patil and R. G. Suryavanshi, 2018, IOT Based PV assisted EV Charging Station for Confronting Duck Curve, *International Conference on Computational Techniques, Electronics and Mechanical Systems (CTEMS)*, Belgaum, India, 2018, pp. 36-39, 2018, doi: 10.1109/CTEMS.2018.8769145.
- B. Yıldız, E. Olcaytu, A. Şen, 2019, The urban recharging infrastructure design problem with stochastic demands and capacitated charging stations, *Transp. Res. Part B Methodol.*, 119, pp. 22-44.
- Bass, Robert, and Nicole Zimmerman, 2013, Impacts of Electric Vehicle Charging on Electric Power Distribution Systems, *OTREC-SS-731. Portland, OR: Transportation Research and Education Center (TREC)*. <http://dx.doi.org/10.15760/trec.145>.
- Battapothula, G., yammani, C. & Maheswarapu, 2019, S. Multi-objective simultaneous optimal planning of electrical vehicle fast charging stations and DGs in distribution system, *J. Mod. Power Syst. Clean Energy* 7, 923–934. <https://doi.org/10.1007/s40565-018-0493-2>
- C. T. Ma, 2019, System planning of grid-connected electric vehicle charging stations and key technologies: A review", *Energies*, vol. 12, no. 21. <https://doi.org/10.3390/en12214201>.
- Canis, B. (2011). Battery manufacturing for hybrid and electric vehicles: policy issues. Congressional research service. <http://nepinstitute.org/get/CRS_Reports/CRS_Energy/Energy_Efficiency_and_Conservation/Batteries_for_Hybrid_and_Elec_Vehicles.pdf> (Accessed May 10, 2013).
- Chen, T.; Zhang, X.P.; Wang, J.; Li, J.; Wu, C.; Hu, M.; Bian, H., 2020, A review on electric vehicle charging infrastructure development in the UK., *J. Mod. Power Syst. Clean Energy*, 8, 193–205.
- Company, M. McKinsey Electric Vehicle Index: Europe Cushions a Global Plunge in EV Sales [Online] (9 June 2023). Available online: <https://www.mckinsey.com/industries/automotive-and-assembly/our-insights/mckinsey-electric-vehicle-index-europe-cushions-a-global-plunge-in-ev-sales#>
- Çimen, H., (2020) Mikro Şebekelerde Derin Öğrenme Destekli Enerji Yönetimi, (yayımlanmış doktora tezi), Konya Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.

- D. Khandelwal, S. Painuli, S. Bhowmick and R. Saha, 2023, Comparison of Practical Electric Vehicle Charging Policies to Improve the Performance of Power Distribution Systems, *2023 International Conference on Recent Advances in Electrical, Electronics & Digital Healthcare Technologies (REEDCON)*, New Delhi, India, pp. 7-12. doi: 10.1109/REEDCON57544.2023.10151097.
- D. Nikolaev and M. Petrova, 2021, Application of Simple Convolutional Neural Networks in Equity Price Estimation, *2021 IEEE 8th International Conference on Problems of Infocommunications, Science and Technology (PIC S&T)*, Kharkiv, Ukraine, pp. 147-150, doi: 10.1109/PICST54195.2021.9772160.
- Dimitropoulos, A., Rietveld, P., van Ommeren, J.N., 2011, Consumer valuation of driving range: a meta-analysis, *Tinbergen Institute Discussion Paper*, vol. 133 (3), pp. 1–35. doi: 10.1109/KhPIWeek53812.2021.9570056.
- Dubey, A. K. ve Jain, V., 2019, Comparative Study of Convolution Neural Network's ReLu and Leaky-ReLu Activation Functions, *In: Applications of Computing Automation and Wireless Systems in Electrical Engineering*, Eds: Springer, p.873-880.
- Duvall M, Knipping E (2007) Environmental assessment of plug-inhybrid electric vehicles. EPRI, Palo Alto
- El-Hawary, M.E. and Christensen, G.S., (1989), "Optimal Economic Operation of Electric Power Systems", Academic Press, 278 p.
- EPDK SEKTÖR RAPORU TEMMUZ 2023 <https://www.epdk.gov.tr/detay/icerik/3-0-23/elektrikaylik-sektor-raporlar>
- Erik Emilsson, Lisbeth Dahllöf, IVL Swedish Environmental Research Institute, (Nov 2019). Report C 444 - Lithium-Ion Vehicle Battery Production – *Status 2019 on Energy Use, CO2 Emissions, Use of Metals, Products Environmental Footprint, and Recycling*, Swedish.
- Eslami Mahdihyeh, et al. A new formulation to reduce the number of variables and constraints to expedite SCUC in bulky power systems, *Proc. Natl. Acad. Sci. India A*, 89 (2) (2019), pp. 311-321.
- European CommissionEuropean Alternative Fuels Observatory, <https://alternative-fuels-observatory.ec.europa.eu/transport-mode/road/turkey>
- F. Marra, G. Y. Yang, C. Træholt, E. Larsen, 2012, C. N. Rasmussen and S. You, Demand profile study of battery electric vehicle under different charging options, *2012 IEEE Power and Energy Society General Meeting*, pp. 1-7, doi: 10.1109/PESGM.2012.6345063.
- Fan Xiaochao, et al., 2020, High voltage gain DC/DC converter using coupled inductor and VM techniques, *IEEE Access*, 8, pp. 131975-131987, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.3002902.

- Fan, H.; You, P.; Guo, Z.; Chen, S.; Yang, Z., 2019, Online pricing mechanism for electric vehicles charging based on operational condition of a charging station, *In Proceedings of the 2019 Chinese Control Conference (CCC)*, Guangzhou, China, 27–30 July 2019.
- Fareed Ahmad, Atif Iqbal, Imtiaz Ashraf, Mousa Marzband, Irfan khan, 2022, Optimal location of electric vehicle charging station and its impact on distribution network: A review, *Energy Reports*, Volume 8, Pages 2314-2333, 2022, ISSN 2352-4847, <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2022.01.180>.
- Fareed Ahmad, et al., 2023, Placement and capacity of ev charging stations by considering uncertainties with energy management strategies, *IEEE Trans. Ind. Appl.*, 59 pp. 3865-3874, 2023, doi: 10.1109/TIA.2023.3253817.
- Firuzabad, M. F., Aminifar, F., Safdarian, A. (2015). A Novel Efficient Model for the Power Flow Analysis of Power Systems, *Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences*, 23, 17-27.
- G. Pisano et al., 2023, Impact of Electrical Vehicle Private Charging Stations on the Quality of the Low Voltage Network Supply, *in IEEE Open Access Journal of Power and Energy*, vol. 10, pp. 351-362, 2023, doi: 10.1109/OAJPE.2023.3258254.
- Gautam, L. K., Mishra, M., Bisht, T. (2015). A Methodology for Power Flow & Voltage Stability Analysis, *International Research Journal of Engineering and Technology*, 18 (4), 321–326.
- Glorot, X. ve Bengio, Y., 2010, Understanding the difficulty of training deep feedforward neural networks, *Proceedings of the thirteenth international conference on artificial intelligence and statistics*, 249-256.
- Glover, J. D. and Sarma, M., (1994), “Power System Analysis and Design”, Second Edition, PWS Publishing Company, Boston, 583 p.
- Glover, J. D., Sarma, M. S., Overbye T. J. (2012). *Power System Analysis and Design*, Cengage Learning Press.
- Gowthamraj Rajendran, Chockalingam Aravind Vaithilingam, Norhisam Misron, Kanendra Naidu, Md Rishad Ahmed, 2021, A comprehensive review on system architecture and international standards for electric vehicle charging stations, *Journal of Energy Storage*, Volume 42, 103099, ISSN 2352-152X, <https://doi.org/10.1016/j.est.2021.103099>.
- Grainger, J.J. and Stevenson, W.D., (1996), *Power System Analysis*, Mc Graw-Hill, 561 p.
- Granada-Echeverri, M.; Toro, E.M.; Santa, J.J. A mixed integer linear programming formulation for the vehicle routing problem with backhauls. *Int. J. Ind. Eng. Comput.* 2019, 295–308.

- Guo, C.; Yang, J.; Yang, 2018, L. Planning of Electric Vehicle Charging Infrastructure for Urban Areas with Tight Land Supply. *Energies*, 11, 2314. <https://doi.org/10.3390/en11092314>.
- H. Fathabadi Novel grid-connected solar/wind powered electric vehicle charging station with vehicle-to-grid technology *Energy*, 132 (2017), pp. 1-11
- H. Wang, H. Ma, H. He, Z. Meng, X. Liu and S. Cai, "Application Resolution of Deep Learning in Electric Power System," 2020 7th International Forum on Electrical Engineering and Automation (IFEEA), Hefei, China, 2020, pp. 348-352, doi: 10.1109/IFEEA51475.2020.00079.
- H. Zhang, S. J. Moura, Z. Hu and Y. Song, 2018, "PEV Fast-Charging Station Siting and Sizing on Coupled Transportation and Power Networks, in *IEEE Transactions on Smart Grid*, vol. 9, no. 4, pp. 2595-2605, July 2018, doi: 10.1109/TSG.2016.2614939.
- H. Zhang, Z. Hu, Z. Xu and Y. Song, 2016, An Integrated Planning Framework for Different Types of PEV Charging Facilities in Urban Area," in *IEEE Transactions on Smart Grid*, vol. 7, no. 5, pp. 2273-2284, doi: 10.1109/TSG.2015.2436069.
- Hamian Melika, et al., 2018, A framework to expedite joint energy-reserve payment cost minimization using a custom-designed method based on mixed integer genetic algorithm, *Eng. Appl. Artif. Intell.*, 72, pp. 203-212
- Hao Zhang, Lei Tang, Chen Yang, Shulin Lan, 2019, Locating electric vehicle charging stations with service capacity using the improved whale optimization algorithm, *Advanced Engineering Informatics*, Volume 41, 100901, ISSN 1474-0346, <https://doi.org/10.1016/j.aei.2019.02.006>.
- Himabindu N., Santoshkumar Hampannavar, Deepa B., Omowunmi Mary Longe, Swapna Mansani, Vahini Komanapalli, 2023, Assessment of microgrid integrated biogas–photovoltaic powered Electric Vehicle Charging Station (EVCS) for sustainable future, *Energy Reports*, Volume 9, Supplement 12, Pages 139-143, 2023, ISSN 2352-4847, <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2023.09.098>.
- Hosseini, S., Sarder, 2019, M. Development of a Bayesian network model for optimal site selection of electric vehicle charging station. *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, 105, 110–122.
- Huld, T., Müller, R. ve Gambardella, A., 2012, A new solar radiation database for estimating PV performance in Europe and Africa, *Solar Energy*, Volume 86, Issue 6, Pages 1803-1815. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2012.03.006>.
- Hussain Shareef, Md Mainul Islam, Azah Mohamed, 2016, A review of the stage-of-the-art charging technologies, placement methodologies, and impacts of electric vehicles, *Renew. Sust. Energ. Rev.*, pp. 403-420, 2016, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.06.033>.

- IEEE Standard for Harmonic Control in Electric Power Systems, in IEEE Std 519-2022 (Revision of IEEE Std 519-2014), vol., no., pp.1-31, 5 Aug. 2022, doi: 10.1109/IEEESTD.2022.9848440.
- Iliev, N., Marinov, M., Milinov, V., Petrova, M. (2023). Is Investment Portfolio Construction Sustainable in the Circular Economy Paradigm—The Case of ESG Investment?. In: Koval, V., Kazancoglu, Y., Lakatos, ES. (eds) Circular Business Management in Sustainability. ISCMEE 2022. Lecture Notes in Management and Industrial Engineering. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-23463-7_2
- Injeti, S.K., Thunuguntla, V.K., 2020, Optimal integration of DGs into radial distribution network in the presence of plug-in electric vehicles to minimize daily active power losses and to improve the voltage profile of the system using bio-inspired optimization algorithms. *Prot Control Mod Power Syst* 5, 3. <https://doi.org/10.1186/s41601-019-0149-x>
- Islam, M.M., Shareef, H., Mohamed, A., 2018, Optimal location and sizing of fast charging stations for electric vehicles by incorporating traffic and power networks, *IET Intell. Transp. Syst.* 12 (8), 947–957.
- J. Domínguez-Navarro, R. Dufo-López, J. Yusta-Loyo, J. Artal-Sevil, J. Bernal-Agustín, 2019, Design of an electric vehicle fast-charging station with integration of renewable energy and storage systems *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, 105 pp., 46-58
- J. Wang, J. Deng, Y. Liu and Y. Wang, "Non-intrusive load perception and flexibility evaluation for electric vehicle charging station: a deep learning based approach," 2022 IEEE 5th International Electrical and Energy Conference (CIEEC), Nangjing, China, 2022, pp. 2570-2575, doi: 10.1109/CIEEC54735.2022.9845884.
- J. Zhenya and H. Xueliang, "Plug-in electric vehicle charging infrastructure deployment of China towards 2020: policies methodologies and challenges", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 90, pp. 710-727, 2018, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.04.011>.
- J.J. Jamian, M.W. Mustafa, H. Mokhlis, M.A. Baharudin, "Minimization of Power Losses in Distribution System via Sequential Placement of Distributed Generation and Charging Station", *Arab J. Sci. Eng.*, 39 (4), pp. 3023-3031, 2014, <https://doi.org/10.1007/s13369-013-0922-5>.
- Jamil, M., Sharma, S.K. & Singh, R., 2015, Fault detection and classification in electrical power transmission system using artificial neural network, *Springer Plus* 4, 334. <https://doi.org/10.1186/s40064-015-1080-x>.
- Jiang, C., Jing, Z., Ji, T. and Wu, Q. (2018), Optimal location of PEVCSs using MAS and ER approach. *IET Gener. Transm. Distrib.*, 12: 4377-4387. <https://doi.org/10.1049/iet-gtd.2017.1907>

- K. J. Dyke, N. Schofield and M. Barnes, 2010, The Impact of Transport Electrification on Electrical Networks, in *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 57, no. 12, pp. 3917-3926, Dec. 2010, doi: 10.1109/TIE.2010.2040563.
- K. Mohammed, H. K. Wolde and S. M. S. Alarefi, 2020, Optimal Space Utilisation for Solar Powered EV Charging Station, *2020 6th IEEE International Energy Conference (ENERGYCon)*, Gammarth, Tunisia, pp. 562-567, doi: 10.1109/ENERGYCon48941.2020.9236538.
- K. Olcay and N. Cetinkaya, 2023, Cost Analysis of Electric Vehicle Charging Stations and Estimation of Payback Periods with Artificial Neural Networks, *2023 4th International Conference on Communications, Information, Electronic and Energy Systems (CIEES)*, Plovdiv, Bulgaria, pp. 1-9, doi: 10.1109/CIEES58940.2023.10378772.
- K. Olcay and N. Cetinkaya, 2021, Solar Power Plant Suggestion for Charging Electric Vehicles and The Effects of The System on The Electric Network and CO2 Emission, *2021 IEEE 2nd KhPI Week on Advanced Technology (KhPIWeek)*, pp. 249-254, doi: 10.1109/KhPIWeek53812.2021.9570056.
- K. Olcay and N. Cetinkaya, 2021, Solar Power Plant Suggestion for Charging Electric Vehicles and The Effects of the System on The Electric Network and CO₂ Emission, *2021 IEEE 2nd KhPI Week on Advanced Technology (KhPIWeek)*, pp. 249-254, 2021, doi: 10.1109/KhPIWeek53812.2021.9570056.
- K. Olcay and N. Çetinkaya, 2023, Investigation of the effects of electric vehicle charging stations and solar energy integration on grid performance, *JSR-A*, no. 055, pp. 206–219, doi: 10.59313/jsr-a.1397996.
- K. Qian, C. Zhou, M. Allan and Y. Yuan, 2011, Modeling of Load Demand Due to EV Battery Charging in Distribution Systems, in *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 26, no. 2, pp. 802-810, May 2011, doi: 10.1109/TPWRS.2010.2057456.
- K. S. Sambaiah, 2023, Optimal distributed generation allocation in practical distribution system in the presence of plug-in electric vehicles, *Turk J Electr Power Energy Syst.*, 2023; 3(1), 2-11.
- K. Yuan, Y. Song, Y. Shao, C. Sun, Z. Wu , 2018, A charging strategy with the price stimulus considering the queue of charging station and EV fast charging demand, *Energy Procedia*, 145, pp. 400-405
- Kai Huang, Pavlos Kanaroglou, Xiaozhou Zhang, 2016, The design of electric vehicle charging network, *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, Volume 49, Pages 1-17, ISSN 1361-9209, <https://doi.org/10.1016/j.trd.2016.08.028>.
- Kersten, A.; Rodionov, A.; Kuder, M.; Hammarström, T.; Lesnicar, A.; Thiringer, T., 2021, Review of Technical Design and Safety Requirements for Vehicle Chargers and Their Infrastructure According to National Swedish and Harmonized European Standards. *Energies* 2021, 14, 3301. <https://doi.org/10.3390/en14113301>.

- Khalil Gholami, Shahram Karimi, Amjad Anvari-Moghaddam, 2022, Multi-objective Stochastic Planning of Electric Vehicle Charging Stations in Unbalanced Distribution Networks Supported by Smart Photovoltaic Inverters, *Sustainable Cities and Society*, Volume 84, 104029, ISSN 2210-6707, <https://doi.org/10.1016/j.scs.2022.104029>.
- Kim, S.; Lee, J.; Lee, C., 2017, Does Driving Range of Electric Vehicles Influence Electric Vehicle Adoption? *Sustainability*, 9, 1783. <https://doi.org/10.3390/su9101783>
- Krizhevsky, A., Sutskever, I. ve Hinton, G. E., 2012, Imagenet classification with deep convolutional neural networks, *Advances in neural information processing systems*, 1097-1105.
- Kundur, P. (1994). Power system Stability and Control, Mc. Graw-Hill Press.
- L. Cheng, B. Wu, H. Chen, W. Ma and G. Zhang, 2018, Load Forecasting and Harmonic Analysis for EV Charging Station, *2018 IEEE Innovative Smart Grid Technologies - Asia (ISGT Asia)*, Singapore, pp. 139-144, doi: 10.1109/ISGT-Asia.2018.8467908.
- L. Jia, Z. Hu, Y. Song and Z. Luo, 2012, Optimal siting and sizing of electric vehicle charging stations, *2012 IEEE International Electric Vehicle Conference*, Greenville, SC, USA, pp. 1-6, doi: 10.1109/IEVC.2012.6183283.
- L. Kütt, E. Saarijärvi, M. Lehtonen, H. Mölder and J. Niitsoo, 2013, Current harmonics of EV chargers and effects of diversity to charging load current distortions in distribution networks, *2013 International Conference on Connected Vehicles and Expo (ICCVE)*, pp. 726-731, doi: 10.1109/ICCVE.2013.6799884.
- L. Pieltain Fernández, T.G.S. Román, R. Cossent, C.M. Domingo and P. Frías, 2011, Assessment of the Impact of plug-in electric vehicles on distribution networks, *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 26, no. 1, pp. 206-213, doi: 10.1109/TPWRS.2010.2049133.
- L. Wang, Z. Qin, T. Slangen, P. Bauer, T. Van Wijk, 2021, Grid impact of electric vehicle fast charging stations: trends, standards, issues and mitigation measures-an overview *IEEE Open J. Power Electron.*, 2, pp. 56-74, 10.1109/OJPEL.2021.3054601
- Liang Chen, Chunxiang Xu, Heqing Song, Kittisak Jermsittiparsert, 2021, Optimal sizing and sitting of EVCS in the distribution system using metaheuristics: A case study, *Energy Reports*, Volume 7, Pages 208-217, ISSN 2352-4847,
- Liu Z., Wen F., Ledwich G., 2013, Optimal planning of electric-vehicle charging stations in distribution systems, *IEEE Transactions on Power Delivery*, 28 (1), art. no. 6362255, pp. 102 - 110, DOI: 10.1109/TPWRD.2012.2223489

- Luo, X.; Qiu, R. Electric Vehicle Charging Station Location towards Sustainable Cities. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 2020, 17, 2785. <https://doi.org/10.3390/ijerph17082785>.
- M. Joudaki, P. T. Zadeh, H. R. Olfati and S. Deris, 2020, A Survey on Deep Learning Methods for Security and Privacy in Smart Grid, *2020 15th International Conference on Protection and Automation of Power Systems (IPAPS)*, Shiraz, Iran, pp. 153-159, doi: 10.1109/IPAPS52181.2020.9375569.
- M. K. Gray and W. G. Morsi, 2015, Power Quality Assessment in Distribution Systems Embedded With Plug-In Hybrid and Battery Electric Vehicles”, *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 30, no. 2, pp. 663-671, Mar. 2015, doi: 10.1109/TPWRS.2014.2332058.
- M. Moradijoz, M. Parsa Moghaddam, M.R. Haghifam, E. Alishahi, 2013, A multi-objective optimization problem for allocating parking lots in a distribution network, *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, Volume 46, Pages 115-122, ISSN 0142-0615, <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2012.10.041>.
- M. Özcan And F. S. Öztürk, 2015, Türkiye nin Elektrik Enerjisi Üretimi Kaynaklı Sera Gazı Emisyonunda Beklenen Değişimler ve Karbon Vergisi Uygulaması," *EVK'2015 6. Enerji Verimliliği, Kalitesi Sempozyumu ve Sergisi*, Sakarya, Türkiye.
- M. Z. Zeb et al., 2020, Optimal Placement of Electric Vehicle Charging Stations in the Active Distribution Network, *in IEEE Access*, vol. 8, pp. 68124-68134, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.2984127.
- M.O. Metais, O. Jouini, Y. Perez, J. Berrada, E. Suomalainen, Too much or not enough? Planning electric vehicle charging infrastructure: A review of modeling options, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 153, 2022, 111719, ISSN 1364-0321, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111719>.
- Making The Transition To Zero-Emission Progress Report 2022, ACEA (The European Automobile Manufacturers' Association), 2022, <https://www.acea.auto/publication/2022-progress-report-making-the-transition-to-zero-emission-mobility/>
- Mazurek, P.; Chudy, 2022, A. An Analysis of Electromagnetic Disturbances from an Electric Vehicle Charging Station. *Energies*, 15, 244. <https://doi.org/10.3390/en15010244>.
- McCulloch, W. S. ve Pitts, W., 1943, A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity, *The bulletin of mathematical biophysics*, 5 (4), 115-133.
- Meng, Q., Liu, T., Su, C. et al., 2020, A Single-Phase Transformer-Less Grid-Tied Inverter Based on Switched Capacitor for PV Application, *J Control Autom Electr Syst* 31, 257–270. <https://doi.org/10.1007/s40313-019-00531-5>

- Mia Romare, Lisbeth Dahllöf, IVL Swedish Environmental Research Institute, (May 2017). Report U - The Life Cycle Energy Consumption and Greenhouse Gas Emissions from Lithium-Ion Batteries – A Study with Focus on Current Technology and Batteries for Light-duty Vehicles, Swedish.
- Mohammadi, M., Talebpour, F., Safaee, E. et al. 2018, Small-Scale Building Load Forecast based on Hybrid Forecast Engine, *Neural Process Lett* 48, 329–351 (2018). <https://doi.org/10.1007/s11063-017-9723-2>
- Mohd Rizwan Khalid, Mohammad Saad Alam, Adil Sarwar, M.S. Jamil Asghar, 2019, A Comprehensive review on electric vehicles charging infrastructures and their impacts on power-quality of the utility grid, *eTransportation*, Volume 1, 100006, ISSN 2590-1168, <https://doi.org/10.1016/j.etrans.2019.100006>.
- Mohsenzadeh A., Pazouki S., Ardalan S., Haghifam M.-R, 2018, Optimal placing and sizing of parking lots including different levels of charging stations in electric distribution networks, (2018) *International Journal of Ambient Energy*, 39 (7), pp. 743 - 750, DOI:10.1080/01430750.2017.1345010
- Moupuri Satish Kumar Reddy & Kamakshy Selvajyothi, 2020, Optimal placement of electric vehicle charging station for unbalanced radial distribution systems, *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, DOI: 10.1080/15567036.2020.1731017
- Muhammad Amjad, et al. 2018, A review of EVs charging: from the perspective of energy optimization, optimization approaches, and charging techniques, *Transp. Res. Part D: Transp. Environ.*, 62 (2018), pp. 386-417, <https://doi.org/10.1016/j.trd.2018.03.006>.
- N. Jinil and S. Reka, 2019, Deep Learning method to predict Electric Vehicle power requirements and optimizing power distribution, *2019 Fifth International Conference on Electrical Energy Systems (ICEES)*, Chennai, India, 2019, pp. 1-5, doi: 10.1109/ICEES.2019.8719243.
- N.S. Pearre, W. Kempton, R.L. Guensler, V.V. Elango, 2011, Electric vehicles: how much range is required for a day's driving? *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 19 (6), pp. 1171-1184
- Nathan Parker, Hanna L. Breetz, Deborah Salon, Matthew Wigginton Conway, Jeffrey Williams, Maxx Patterson, 2021, who saves money buying electric vehicles? Heterogeneity in total cost of ownership, *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, Volume 96, 102893, ISSN 1361-9209, <https://doi.org/10.1016/j.trd.2021.102893>.
- Nur, A., (2022) Akıllı Şebekelerde Ac/Dc Hibrit Enerji Sistemlerinin Güç Akış Analizi , (Yayımlanmış Doktora Tezi), İnönü Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Malatya
- Official Gazette, 2018b, parking regulation, <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2018/02/20180222-7.htm> , (Access, 9 June 2023).

- Ömer Kaya, Ahmet Tortum, Kadir Diler Alemdar, M. Yasin Çodur, 2020, Site selection for EVCS in Istanbul by GIS and multi-criteria decision-making, *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, Volume 80, 102271, ISSN 1361-9209, <https://doi.org/10.1016/j.trd.2020.102271>.
- Özyön, S., (2009). Genetik algoritmanın bazı çevresel ekonomik güç dağıtım problemlerine uygulanması (Yayımlanmış Yüksek Lisans Tezi), Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kütahya.
- P. Bauer, Y. Zhou, J. Doppler and N. Stembridge, 2010, Charging of electric vehicles and impact on the grid, *13th Mechatronika, Trencianske Teplice, Slovakia*, 2010, pp. 121-127, 2010.
- P. Machura, Q. Li A, 2019, critical review on wireless charging for electric vehicles *Renew. Sustain. Energy Rev.*, 104 (2019), pp. 209-234
- P. Richardson, D. Flynn and A. Keane, 2010, Impact assessment of varying penetrations of electric vehicles on low voltage distribution systems, *IEEE PES General Meeting, Minneapolis, MN, USA*, pp. 1-6, doi: 10.1109/PES.2010.5589940.
- P. T. Zadeh, M. Joudaki and A. Ansari, 2021, A Survey on Deep Learning Applications for Electric Vehicles in Micro Grids, *2021 5th International Conference on Internet of Things and Applications (IoT)*, Isfahan, Iran, pp. 1-6, doi: 10.1109/IoT52625.2021.9469715.
- Payam Sadeghi-Barzani, Abbas Rajabi-Ghahnavieh, Hosein Kazemi-Karegar, 2014, Optimal fast charging station placing and sizing, *Applied Energy*, Volume 125, Pages 289-299, ISSN 0306-2619, <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2014.03.077>.
- Petrova, M.; Tairov, I. Solutions to Manage Smart Cities' Risks in Times of Pandemic Crisis. *Risks* 2022, 10, 240. <https://doi.org/10.3390/risks10120240>
- Pokharel, S.; Sah, P.; Ganta, D., 2021, Improved Prediction of Total Energy Consumption and Feature Analysis in Electric Vehicles Using Machine Learning and Shapley Additive Explanations Method., *World Electr. Veh. J.*, 12, 94.
- R. A. Barr and V. J. Gosbell, 2014, Power system harmonic voltage limits for the future, *2014 16th International Conference on Harmonics and Quality of Power (ICHQP)*, pp. 483-487, doi: 10.1109/ICHQP.2014.6842902.
- R. Bass, R. Harley, F. Lambert, V. Rajasekaran and J. Pierce, 2001, Residential harmonic loads and EV charging, *2001 IEEE Power Engineering Society Winter Meeting. Conference Proceedings (Cat. No.01CH37194)*, Columbus, OH, USA, pp. 803-808 vol.2, doi: 10.1109/PESW.2001.916965.
- Robinson, J.; Brase, G.; Griswold, W.; Jackson, C.; Erickson, L., 2014, Business models for solar powered charging stations to develop infrastructure for electric vehicles. *Sustainability*, 6, 7358–7387.

- Rudraksh S. Gupta, Y. Anand, Arjun Tyagi, S. Anand, 2023, Sustainable charging station allocation in the distribution system for electric vehicles considering technical, economic, and societal factors, *Journal of Energy Storage*, Volume 73, Part C, 109052, ISSN 2352-152X, <https://doi.org/10.1016/j.est.2023.109052>.
- S. Erdoğan, 2020, Enerji, Çevre ve Sera Gazları, *Çankırı Karatekin Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, c. 10, sayı. 1, ss. 277-303.
- S. Haifeng and L. Zhirui, 2015, Orderly Charging Control Method for Residential Quarters of Household EVs Based on Peak-valley Electricity Price, *Power Automation Equipment*, vol. 35, no. 06, pp. 17-22.
- S. M. Mousavi Agah and A. Abbasi, 2012, The impact of charging plug-in hybrid electric vehicles on residential distribution transformers, *Iranian Conference on Smart Grids*, pp. 1-5.
- S. N. Hashemian, M. A. Latify and G. R. Yousefi, 2020, PEV Fast-Charging Station Sizing and Placement in Coupled Transportation-Distribution Networks Considering Power Line Conditioning Capability, in *IEEE Transactions on Smart Grid*, vol. 11, no. 6, pp. 4773-4783, Nov. 2020, doi: 10.1109/TSG.2020.3000113.
- S. Painuli, M. S. Rawat and D. R. Rayudu, 2018, A Comprehensive Review on Electric Vehicles Operation Development and Grid Stability, *2018 International Conference on Power Energy Environment and Intelligent Control (PEEIC)*, pp. 807-814, 2018, doi: 10.1109/PEEIC.2018.8665643.
- S. Pazouki, A. Mohsenzadeh and M. -R. Haghifam, 2013, Optimal planning of PEVs Charging Stations and Demand Response programs considering distribution and traffic networks, *2013 Smart Grid Conference (SGC)*, Tehran, Iran, pp. 90-95, doi: 10.1109/SGC.2013.6733806.
- S. Xiaoming, W. Wong, S. Su, J. Jiuchun, X. Lijie and He Xuanhu, 2013, Orderly Charging Control Strategy Design for EVs Based on Time-of-Use Electricity Price, *Energies*, vol. 37, no. 01, pp. 191-195.
- S.J. Skerlos, J.J., 2010, Winebrake Targeting plug-in hybrid electric vehicle policies to increase social benefits, *Energy Policy*, 38 (2), pp. 705-708
- Sadeghi-Barzani P., Rajabi-Ghahnavieh A., Kazemi-Karegar H., 2014, Optimal fast charging station placing and sizing, *Appl. Energy*, 125, pp. 289-299
- Salami, Y., (2017) Multiple Contingency Analysis of Power Systems,, Canada
- Sanchari Deb, Xiao-Zhi Gao, Kari Tammi, Karuna Kalita, Pinakeswar Mahanta, 2021, A novel chicken swarm and teaching learning based algorithm for electric vehicle charging station placement problem, *Energy*, Volume 220, 119645, ISSN 0360-5442, <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.119645>.

- Sánchez, D.G.; Tabares, A.; Faria, L.T.; Rivera, J.C.; Franco, J.F., 2022, A Clustering Approach for the Optimal Siting of Recharging Stations in the Electric Vehicle Routing Problem with Time Windows., *Energies*, 15, 2372. <https://doi.org/10.3390/en15072372>
- Seema Singh, Mamatha K R, Mamatha K R, 2014, Intelligent Fault Identification System for Transmission Lines Using Artificial Neural Network, *IOSR Journal of Computer Engineering (IOSR-JCE)*, e-ISSN: 2278-0661, p- ISSN: 2278-8727 Volume 16, Issue 1, Ver. I (Jan. 2014), PP 23-31, www.iosrjournals.org.
- Serradilla, J.; Wardle, J.; Blythe, P.; Gibbon, 2017, J. An evidence-based approach for investment in rapid-charging infrastructure, *Energy Policy*, 106, 514–524, 2017, <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2017.04.007>.
- Syedmohtsen Hosseini, MD Sarder, 2019, Development of a Bayesian network model for optimal site selection of electric vehicle charging station, *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, Volume 105, Pages 110-122, ISSN 0142-0615, <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2018.08.011>.
- Sharma, P., Saini, D., Saxena, A., 2016, Fault Detection and Classification in Transmission Line Using Wavelet Transform and ANN, *Bulletin of Electrical Engineering and Informatics* 5, 284–295. doi:10.11591/eei.v5i3.537.
- Sheng, K.; Dibaj, M.; Akrami, M., 2021, Analysing the Cost-Effectiveness of Charging Stations for Electric Vehicles in the U.K.'s Rural Areas. *World Electr. Veh. J.* 2021, 12, 232. <https://doi.org/10.3390/wevj12040232>
- Shukla, A., Verma, K. and Kumar, R., 2019, Multi-objective synergistic planning of EV fast-charging stations in the distribution system coupled with the transportation network, *IET Gener. Transm. Distrib.*, 13: 3421-3432. <https://doi.org/10.1049/iet-gtd.2019.0486>.
- SHURA, Türkiye ulaştırma sektörünün dönüşümü: Elektrikli araçların Türkiye dağıtım şebekesine etkileri, ISBN 978-605-2095-75-1
- Sigma Ray, Kumari Kasturi, Samarjit Patnaik, Manas Ranjan Nayak, 2023, Review of electric vehicles integration impacts in distribution networks: Placement, charging/discharging strategies, objectives and optimisation models, *Journal of Energy Storage*, Volume 72, Part D, 108672, ISSN 2352-152X, <https://doi.org/10.1016/j.est.2023.108672>.
- Singh, P.P.; Wen, F.; Palu, I.; Sachan, S.; Deb, S. 2023, Electric Vehicles Charging Infrastructure Demand and Deployment: Challenges and Solutions, *Energies* 2023, 16, 7. <https://doi.org/10.3390/en16010007>.
- Sonali Chadha, Vaibhav Jain, Hemant Raj Singh, 2022, A review on Smart Charging impacts of Electric Vehicles on Grid, *Materials Today: Proceedings*, Volume 63, Pages 751-755, ISSN 2214-7853, <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.05.122>.

- Srinivasa Rao Gampa, Kiran Jasthi, Preetham Goli, D. Das, R.C. Bansal, 2020, Grasshopper optimization algorithm based two stage fuzzy multiobjective approach for optimum sizing and placement of distributed generations, shunt capacitors and electric vehicle charging stations, *Journal of Energy Storage*, Volume 27, 2020, 101117, ISSN 2352-152X, <https://doi.org/10.1016/j.est.2019.101117>.
- Stanton W. Hadley, Alexandra A. Tsvetkova, 2009, Potential Impacts of Plug-in Hybrid Electric Vehicles on Regional Power Generation, *The Electricity Journal*, Volume 22, Issue 10, Pages 56-68, ISSN 1040-6190, <https://doi.org/10.1016/j.tej.2009.10.011>.
- Sun Y, De Jong E, Cuk V, Cobben JFG., 2017, Ultra-fast charging station harmonic resonance analysis in the Dutch MV grid: application of power converter harmonic model. *CIREN-Open Access Proc J* 2017;10(1):879–82.
- T. Fujun, X. Ruiheng, C. Dong, R. Lijia, Y. Quanning and Z. Yan, 2017, Research on the harmonic characteristics of electric vehicle fast charging stations, *2017 2nd International Conference on Power and Renewable Energy (ICPRE)*, Chengdu, China, 2017, pp. 805-809, doi: 10.1109/ICPRE.2017.8390645.
- T. Hoevenaars, K. LeDoux and M. Colosino, 2003, Interpreting IEEE STD 519 and meeting its harmonic limits in VFD applications, *IEEE Industry Applications Society 50th Annual Petroleum and Chemical Industry Conference*, Record of Conference Papers., 2003, pp. 145-150, doi: 10.1109/PCICON.2003.1242609.
- T. Pothinun and S. Premrudeepreechacharn, 2018, Power Quality Impact of Charging Station on MV Distribution Networks: A Case Study in PEA Electrical Power System, *2018 53rd International Universities Power Engineering Conference (UPEC)*, 2018, pp. 1-6, doi: 10.1109/UPEC.2018.8541921.
- T.S. Bryden, G. Hilton, A. Cruden, T. Holton Electric vehicle fast charging station usage and power requirements *Energy*, 152 (2018), pp. 322-332
- T.S. Bryden, G. Hilton, A. Cruden, 2019, T. Holton Electric vehicle fast charging station usage and power requirements, *Energy*, 152, pp. 322-332
- Thomas Franke, Josef F. Krems, 2013, What drives range preferences in electric vehicle users?, *Transport Policy*, Volume 30, Pages 56-62, ISSN 0967-070X, <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2013.07.005>.
- TÜİK, Turkish Statistical Institute, Increase in the number of electric vehicles in Türkiye over the years, RELEASE DATE: 25 April 2023, <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Motorlu-Kara-Tasitlari-Mart-2023-49425>, (Accessed June 10, 2023).
- TÜİK, Turkish Statistical Institute, Vehicle-mileage Statistics, RELEASE DATE: 13 April 2023, <https://l24.im/JbaCZNc>, (Accessed June 10, 2023).
- TÜİK, Turkish Statistical Institute, Vehicle-mileage Statistics, RELEASE DATE: 07 May 2021, <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Tasit-kilometre-Istatistikleri-2019-37409>, (Accessed June 10, 2023).

- TÜİK, Turkish Statistical Institute, Vehicle-mileage Statistics, RELEASE DATE: 13 April 2023, <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Tasit-kilometre-Istatistikleri-2019-37409>, (Accessed June 10, 2023).
- W. Ruan, X. Yu, W. Liu, Z. Liu, Y. Yu and C. Wu, 2023, Optimal Charging Strategy for EVs in Microgrid Considering Customer Urgency, *2020 12th IEEE PES Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference (APPEEC)*, Nanjing, China, 2020, pp. 1-5, doi: 10.1109/APPEEC48164.2020.9220439.
- W. Xifan, S. Chengcheng, W. Xiuli and Du Chao, 2013, Overview of EV Charging Load and Dispatching Control Strategy, *Journal of China Electrical Engineering*, vol. 33, no. 01, pp. 1-10.
- Wajahat Khan, Furkan Ahmad, Mohammad Saad Alam, 2019, Fast EV charging station integration with grid ensuring optimal and quality power exchange, *Engineering Science and Technology, an International Journal*, Volume 22, Issue 1, Pages 143-152, ISSN 2215-0986, <https://doi.org/10.1016/j.jestch.2018.08.005>.
- X. Liang and E. Tanyi, 2016, Charging electric cars from solar energy”, 2016.
- Xianqiang Ren, Huiming Zhang, Ruohan Hu, Yueming Qiu, 2019, Location of electric vehicle charging stations: A perspective using the grey decision-making model, *Energy*, Volume 173, Pages 548-553, ISSN 0360-5442, <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.02.015>.
- Xinkai Wu, David Freese, Alfredo Cabrera, William A. Kitch, 2015, Electric vehicles’ energy consumption measurement and estimation, *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, Volume 34, Pages 52-67, ISSN 1361-9209, <https://doi.org/10.1016/j.trd.2014.10.007>.
- Y. Cao, S Tang, C Li et al., 2012, An Optimized EV Charging Model Considering TOU Price and SOC Curve, *IEEE Transactions on Smart Grid*, vol. 3, no. 01, pp. 388-393, doi: 10.1109/TSG.2011.2159630.
- Y. Zhang, et al. Modeling of fast charging station equipped with energy storage Glob. Energy Interconnect., 1 (2) (2018), pp. 145-152
- Yammani, C., 2016, Optimal placement and sizing of distributed generations using shuffled bat algorithm with future load enhancement, *Int Trans Electr ENERGY Syst*, 274–292.
- Ye Haixiong, et al. 2020, High step-up interleaved dc/dc converter with high efficiency”, *Energy Sources A*, pp. 1-20. <https://doi.org/10.1080/15567036.2020.1716111>.
- Ye Haixiong, et al. High step-up interleaved dc/dc converter with high efficiency *Energy Sources A* (2020), pp. 1-20

- Yeşilbudak, M., Ermiş, S., Bayındır, R., 2017, Comparison of Load Flow Analysis Methods in Power Systems With Different Number of Buses, *Gazi University Journal of Science, Part C*, 5 (3), 237-246.
- Yunus Emre Yağan, Kadir Vardar, Artificial neural networks controllers for three-phase neutral point clamped inverters, 2023, *Engineering Science and Technology, an International Journal*, Volume 41, 101390, ISSN 2215-0986, <https://doi.org/10.1016/j.jestch.2023.101390>.
- Z. Sun, W. Gao, B. Li, L. Wang, 2018, Locating charging stations for electric vehicles *Transp.Policy*, 98 (2018), pp. 48-54, 10.1016/j.tranpol.2018.07.009

