

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



**ELEKTRİKLİ ARAÇ ŞARJ İSTASYONLARININ DAĞITIM
ŞEBEKESİNE ETKİLERİNİN İNCELENMESİ**

Rıdvan COŞKUN

Yüksek Lisans Tezi

ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Elektrik Tesisleri Bilim Dalı

TEMMUZ 2024

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

ELEKTRİKLİ ARAÇ ŞARJ İSTASYONLARININ DAĞITIM
ŞEBEKESİNE ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

Tez Yazarı
Rıdvan COŞKUN

Danışman
Prof. Dr. Muhsin Tunay GENÇOĞLU

TEMMUZ 2024
ELAZIĞ

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Başlığı:	Elektrikli Araç Şarj İstasyonlarının Dağıtım Şebekesine Etkilerinin İncelenmesi
Yazarı:	Rıdvan COŞKUN
İlk Teslim Tarihi:	06.06.2024
Savunma Tarihi:	10.07.2024

TEZ ONAYI

Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına göre hazırlanan bu tez aşağıda imzaları bulunan jüri üyeleri tarafından değerlendirilmiş ve akademik dinleyicilere açık yapılan savunma sonucunda OYBİRLİĞİ ile kabul edilmiştir.

Danışman:	Prof. Dr. Muhsin Tunay GENÇOĞLU Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi	<i>İmza</i> Onayladım
Başkan:	Doç. Dr. Mahmut Temel ÖZDEMİR Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi	Onayladım
Üye:	Dr. Öğr. Üyesi Harun GÜLAN Munzur Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi	Onayladım

Bu tez, Enstitü Yönetim Kurulunun/...../20..... tarihli toplantısında tescillenmiştir.

İmza

Prof. Dr. Burhan ERGEN
Enstitü Müdürü

BEYAN

Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım “Elektrikli Araç Şarj İstasyonlarının Dağıtım Şebekesine Etkilerinin İncelenmesi ” Başlıklı Yüksek Lisans Tezimin içindeki bütün bilgilerin doğru olduğunu, bilgilerin üretilmesi ve sunulmasında bilimsel etik kurallarına uygun davrandığımı, kullandığım bütün kaynakları atıf yaparak belirttiğimi, maddi ve manevi desteği olan tüm kurum/kuruluş ve kişileri belirttiğimi, burada sunduğum veri ve bilgileri unvan almak amacıyla daha önce hiçbir şekilde kullanmadığımı beyan ederim.

10.07.2024

Rıdvan COŞKUN



ÖNSÖZ

Bu tez çalışması, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Programı'nda hazırlanmıştır.

Tez çalışmasını yöneten, tezin hazırlanması ve yazımı süresince bana daima yardımcı olan saygıdeğer danışman hocam Prof. Dr. Muhsin Tunay GENÇOĞLU'na, tez çalışmamda kullandığım programın kullanılmasında desteklerini esirgemeyen değerli hocam Dr. Öğr. Üyesi Buğra YILMAZ'a ve her koşulda destekleriyle yanımda olan çok kıymetli aileme teşekkürlerimi sunarım.

Rıdvan COŞKUN

ELAZIĞ, 2024



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	iv
İÇİNDEKİLER	v
ÖZET	vii
ABSTRACT	viii
ŞEKİLLER LİSTESİ	ix
TABLolar LİSTESİ	xiii
SİMGELER	xiv
KISALTMALAR	xv
1. GİRİŞ	1
1.1. Literatür Taraması	3
1.2. Tezin Amacı	6
1.3. Tezin Yapısı.....	6
2. ELEKTRİKLİ ARAÇLAR	8
2.1. Elektrikli Araç Türleri	10
2.1.1. Yakıt Hücreli Elektrikli Araçlar	10
2.1.2. Hibrit Elektrikli Araçlar	12
2.1.3. Şarj Edilebilir Hibrit Elektrikli Araçlar	13
2.1.4. Tamamen Elektrikli Araçlar	14
2.2. Batarya Tipleri.....	16
2.2.1. Kurşun Asit Bataryalar	16
2.2.2. Nikel Metal Hidrür Bataryalar	17
2.2.3. Lityum İyon Bataryalar	17
2.2.4. Ultra Kapasitörler	17
2.3. Batarya Yönetim Sistemi.....	18
2.3.1. Batarya Yönetim Sistemi Mimarisi	19
2.4. Elektrikli Araçların Geniş Çapta Kullanımına Yönelik Zorluklar	21
3. ELEKTRİKLİ ARAÇ ŞARJ İSTASYONLARI	24
3.1. Kablolu Şarj.....	25
3.1.1. Kablolu Şarj Sistemi İçin Uluslararası Standartlar.....	27
3.1.2. İletken Şarj Sistemi İçin Konnektörler	30
3.2. Kablosuz Şarj.....	34
3.2.1. Yakın Alan Kullanarak Kablosuz Şarj	36
3.2.2. Uzak Alan Kullanarak Kablosuz Şarj.....	40
3.2.3. Statik Kablosuz Elektrikli Araç Şarj Sistemi	42
3.2.4. Dinamik Kablosuz Elektrikli Araç Şarj Sistemi	42
4. ELEKTRİKLİ ARAÇ ŞARJ İSTASYONLARININ DAĞITIM ŞEBEKESİNE ETKİLERİ.....	46
4.1. Şarj İstasyonlarının Şebekeye Olumsuz Etkileri.....	46
4.1.1. Harmonik Bozulmalar	47
4.1.2. Gerilim Kalitesi	48
4.1.3. Transformatör Güç Kaybı	49
4.1.4. Faz Dengesizliği.....	50
4.2. Şarj İstasyonlarının Şebekeye Olumlu Etkileri.....	50

4.3. Şarj İstasyonlarının Çevresel Etkileri	51
4.4. Şarj İstasyonlarının Ekonomik Etkileri.....	53
4.5. Çözüm Önerileri	54
5. ELEKTRİKLİ ARAÇ ŞARJ İSTASYONLARININ AKILLI ŞEBEKELER İLE ENTEGRASYONU	55
5.1. Elektrikli Araç Şarj İstasyonlarının Şebeke Etkileşimi.....	55
5.2. Yenilenebilir Enerji Üretiminin Elektrikli Araçlar ile Entegrasyonu	57
5.3. Elektrikli Araçlar ve Akıllı Şebeke Teknolojilerinin Kullanımı	59
6. DAĞITIM ŞEBEKESİ MODELLEME VE BENZETİMİ	62
6.1. Fırat Üniversitesi Orta Gerilim Tek Hat Şeması İncelemesi	62
6.2. Benzetim Sonuçları ve Analizi	64
6.2.1. Elektrikli Araç Şarj İstasyonlarının Olmadığı Durum.....	64
6.2.2. Elektrikli Araç Şarj İstasyonlarının Eklendiği Durum	77
6.2.3. Sonuçların Analizi.....	98
7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	100
KAYNAKLAR.....	101
ÖZGEÇMİŞ	

ÖZET

Elektrikli Araç Şarj İstasyonlarının Dağıtım Şebekesine Etkilerinin İncelenmesi

Rıdvan COŞKUN

Yüksek Lisans Tezi

FIRAT ÜNİVERSİTESİ
Fen Bilimleri Enstitüsü

Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Temmuz 2024, Sayfa: xv + 105

Elektrikli araç şarj istasyonları, çevre dostu ve sürdürülebilir bir ulaşım seçeneği olan elektrikli araçların yaygınlaşmasını destekleyen önemli bir altyapıdır. Ancak, elektrikli araç şarj istasyonlarının şebekeye etkileri de göz önünde bulundurulmalıdır. Elektrikli araç şarj istasyonlarının dağıtım sisteminde meydana getirdiği etkilerin sebebi, elektrikli araçların hızlı bir şekilde şarj edilmesi için yüksek güç gereksinimine ihtiyaç olmasıdır. Bu duruma ek olarak aynı bölgede birden fazla elektrikli araç şarj talebinde bulunduğu daha fazla güç talebinde bulunmaktadır. Bu, şarj istasyonlarının enerji ihtiyacının artmasına neden olur ve yerel elektrik şebekelerinin kapasitesini zorlar. Elektrikli araçların hızlı şarj ihtiyacı, şebeke üzerindeki yükü artırarak sistemde harmoniklerin oluşmasına, gerilim dalgalanmalarına ve aşırı yüklenmelere yol açabilir. Bu durum, enerji kayıpları ve şebeke kesintileri gibi sorunlara neden olabilir. Ayrıca, şarj istasyonlarının yoğun olduğu bölgelerde altyapı eksiklikleri ortaya çıkabilir ve ek maliyetler gerektirebilir.

Ayrıca, elektrikli araç şarj istasyonlarının aşırı yoğun olduğu bölgelerde, şebekeye yönelik altyapı eksikliği sorunları ortaya çıkabilir. Bu durumda, yeni şebeke yatırımları ve güç dağıtımı için ek maliyetler gerekebilir.

Sonuç olarak, elektrikli araç şarj istasyonlarının şebekeye olumsuz etkileri göz ardı edilemez. Ancak, uygun planlama, akıllı şebeke teknolojileri ve düzenlemelerle, elektrikli araçların yaygınlaşması için gereken altyapı sağlanabilir ve şebeke üzerindeki etkiler minimize edilebilir.

Bu çalışmada, elektrikli araçlar ve elektrikli araç şarj istasyonları incelenerek, PowerFactory DİgSILENT programında benzetim çalışmaları yapılmış ve elektrikli araç şarj istasyonlarının şebeke üzerindeki etkileri incelenmiştir. Uygulama çalışması için Fırat Üniversitesi yerleşkesine ait orta gerilim tek hat şeması kullanılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Elektrikli araçlar, şarj istasyonları, şebeke, harmonik, gerilim düşümü, akıllı şebeke.

ABSTRACT

Examination of the Impacts of Electric Vehicle Charging Stations on the Distribution Grid

Rıdvan COŞKUN

Master's Thesis

FIRAT UNIVERSITY

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Electrical and Electronics Engineering

July 2024, Pages: xv + 105

Electric vehicle charging stations are an essential infrastructure supporting the proliferation of electric vehicles, which are an environmentally friendly and sustainable transportation option. However, the impact of electric vehicle charging stations on the grid must also be considered. The reason for the impact of electric vehicle charging stations on the distribution system is the high power requirement for fast charging of electric vehicles. In addition, when multiple electric vehicle charging requests occur in the same area, there is an increased power demand. This leads to an increase in the energy needs of the charging stations, straining the capacity of local power grids. The fast charging requirements of electric vehicles increase the load on the grid, leading to harmonics, voltage fluctuations, and overloads in the system. This situation can cause problems such as energy losses and power outages. Additionally, infrastructure deficiencies may emerge in areas with a high density of charging stations, requiring additional costs.

Moreover, in regions where electric vehicle charging stations are excessively concentrated, infrastructure deficiency problems related to the grid may arise. In this case, new grid investments and additional costs for power distribution may be required.

In conclusion, the adverse effects of electric vehicle charging stations on the grid cannot be ignored. However, with proper planning, smart grid technologies, and regulations, the necessary infrastructure for the proliferation of electric vehicles can be provided, and the effects on the grid can be minimized.

In this study, electric vehicles and electric vehicle charging stations were examined, simulation studies were carried out in the PowerFactory DigSILENT program and the effects of electric vehicle charging stations on the grid were examined. For the application study, the medium voltage single line diagram of the Firat University campus was used.

Keywords: Electric vehicles, charging stations, grid, harmonic, voltage drop, smart grid.

ŞEKİLLER LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2.1.	Sektör bazında CO ₂ emisyonu 8
Şekil 2.2.	Küresel ölçekte yollardaki elektrikli otomobil sayısı (2010-2022)..... 9
Şekil 2.3.	Elektrikli araçların sınıflandırılması 10
Şekil 2.4.	Yakıt hücreli EA blok diyagramı 11
Şekil 2.5.	HEA blok diyagramı..... 12
Şekil 2.6.	Plug-in hibrit elektrikli aracın blok diyagramı..... 13
Şekil 2.7.	Tamamen elektrikli araç blok diyagramı 15
Şekil 2.8.	Tamamen elektrikli aracın temel yapısı 15
Şekil 2.9.	Farklı pillerin güç ve enerjileri 17
Şekil 2.10.	Batarya yönetim sistemi mimarisi 18
Şekil 2.11.	Elektrikli araçların yaygın şekilde benimsenmesinin önündeki başlıca zorluklar 21
Şekil 2.12.	Elektrikli araçla ilgili farklı zorluklar ve fırsatlar 23
Şekil 3.1.	Elektrikli araçlar için araç içi ve araç dışı şarj sisteminin blok şeması 24
Şekil 3.2.	EA'da şarj devresinin olası yerleşimi 25
Şekil 3.3.	Yerleşik AC şarj cihazının şematik diyagramı 26
Şekil 3.4.	Harici DA şarj cihazının şematik diyagramı..... 26
Şekil 3.5.	Mod 1 şarj modu 28
Şekil 3.6.	Mod 2 şarj modu 28
Şekil 3.7.	Mod 3 şarj modu 28
Şekil 3.8.	Mod4 şarj modu..... 29
Şekil 3.9.	EA şarjı için konnektörler a) Tip 1; b) Tip 2; c) Tek Fazlı Tip 3; d) Üç Fazlı Tip 3 31
Şekil 3.10.	EA şarjı için birleşik konnektörler CCS a) Combo1 veya CCS 1; b) Combo2 veya CCS 2 32
Şekil 3.11.	a) CHAdemo konnektörü; b) GB/T konnektörü; c) ABD'de Tesla konnektör kullanımı; d) Avrupa'da Tesla konnektör kullanımı 33
Şekil 3.12.	WPT sisteminin blok diyagramı 34
Şekil 3.13.	IPT, CPT ve HPT sistemi için karşılaştırmalı analiz 40
Şekil 3.14.	Statik kablosuz şarj sistemi konsepti 42
Şekil 3.15.	Dinamik kablosuz şarj konsepti 43
Şekil 3.16.	Birincil bobinden ikincil bobine güç aktarımı 44
Şekil 3.17.	(a) zamanla değişen elektrik alanı (b) zamanla değişen manyetik alan 45
Şekil 3.18.	İletken şarj ile kablosuz şarj arasındaki karşılaştırma 45

Şekil 4.1.	EA entegrasyon mimarisi.....	47
Şekil 4.2.	Şarj cihazı bağlanmadan önce giriş gerilimi	49
Şekil 4.3.	Şarj cihazını bağlandıktan sonra giriş gerilimi.....	49
Şekil 4.4.	Farklı şarj stratejileriyle yük talebindeki değişiklik.....	51
Şekil 5.1.	AA Seviye 1 ve 2 kurulumlarında yerleşik EA şarj yapılandırması	56
Şekil 5.2.	DC seviye 1 ve 2 EA şarj yapılandırması	56
Şekil 5.3.	Elektrikli araçları şebekeye bağlayan rüzgar ve fotovoltaik güneş panelleri	58
Şekil 5.4.	Otoparkta PV solar şarj istasyonu.....	58
Şekil 5.5.	Şebekeye bağlı PV solar şarj istasyonu.....	59
Şekil 5.6.	V2G bağlamında VPP gerçekleştirme ve kontrolü	60
Şekil 5.7.	Elektrikli araçların gelişmiş iletişim ve kontrol ağına entegrasyonu	61
Şekil 6.1.	Fırat Üniversitesi OG tek hat şeması	62
Şekil 6.2.	Dağıtım sisteminde EA şarj istasyonunun bulunmadığı durum için yük akış analizi	65
Şekil 6.3.	Mühendislik camii transformatörü OG-AG taraflarının p.u. cinsinden gerilim düşümleri	66
Şekil 6.4.	91. Şube Transformatörü AG p.u. Gerilim Düşümü.....	66
Şekil 6.5.	Rektörlük binası transformatörü OG-AG p.u. gerilim düşümleri	67
Şekil 6.6.	Dekanlık binası transformatörü OG-AG taraflarının p.u. gerilim düşümleri.....	68
Şekil 6.7.	Mühendislik Camii transformatörü AG tarafı faz-faz gerilim düşümleri	68
Şekil 6.8.	Mühendislik Camii transformatörü OG tarafı faz-faz gerilim düşümleri	69
Şekil 6.9.	91. Şube transformatörü AG faz-faz gerilim düşümü.....	69
Şekil 6.10.	Rektörlük binası transformatörünün AG tarafı faz-faz gerilim düşümü	70
Şekil 6.11.	Rektörlük binası transformatörü OG faz-faz gerilim düşümü	70
Şekil 6.12.	Dekanlık binası transformatörü OG-AG faz-faz gerilim düşümleri	71
Şekil 6.13.	Dekanlık transformatörü OG tarafı faz-faz gerilim düşümü.....	71
Şekil 6.14.	Rektörlük kampüsü FEDAŞ transformatörü AG tarafı faz-faz gerilim düşümü.....	72
Şekil 6.15.	(a) Mühendislik camii transformatörü AG harmonik analizi, (b) Rektörlük binası transformatörü AG harmonik analizi, (c) Dekanlık binası transformatörü AG harmonik analizi.....	73
Şekil 6.16.	Mühendislik Camii transformatörü AG tarafına ait faz gerilimi.....	73
Şekil 6.17.	Mühendislik Camii transformatörü OG tarafına ait faz gerilimi.....	74
Şekil 6.18.	91. Şube transformatörü AG tarafına ait faz gerilimi	74
Şekil 6.19.	Rektörlük binası transformatörü AG tarafına ait faz gerilimi	75
Şekil 6.20.	Rektörlük binası transformatörü OG tarafına ait faz gerilimi	75
Şekil 6.21.	Dekanlık transformatörü AG tarafına ait faz gerilimi.....	76

Şekil 6.22.	Dekanlık transformatörü OG tarafına ait faz gerilimi.....	76
Şekil 6.23.	FEDAŞ transformatörü AG tarafına ait faz gerilimi.....	77
Şekil 6.24.	FÜ OG tek hat şemasına EA hızlı şarj istasyonlarının eklenmesi.....	78
Şekil 6.25.	EA hızlı şarj istasyonlarının eklendiği durumda yük akış analizi	78
Şekil 6.26.	Mühendislik Camii transformatörü OG-AG p.u. cinsinden gerilim düşümleri.....	79
Şekil 6.27.	91. Şube transformatörü OG tarafı p.u. cinsinden gerilim düşümü	80
Şekil 6.28.	Rektörlük transformatörün OG-AG taraflarının p.u. cinsinden gerilim düşümleri.....	80
Şekil 6.29.	Dekanlık binası transformatörünün OG-AG taraflarının p.u. cinsinden gerilim düşümleri.....	81
Şekil 6.30.	FEDAŞ transformatörünün OG tarafı p.u. cinsinden gerilim düşümü.....	81
Şekil 6.31.	Mühendislik Camii transformatörü AG tarafı faz-faz gerilim düşümü.....	82
Şekil 6.32.	Mühendislik Camii transformatörü OG tarafı faz-faz gerilim düşümü.....	82
Şekil 6.33.	91. Şube transformatörünün OG tarafı faz-faz gerilim düşümü.....	83
Şekil 6.34.	Rektörlük bölgesindeki transformatörün AG tarafı faz-faz gerilim düşümü	83
Şekil 6.35.	Rektörlük bölgesindeki transformatörün OG tarafı faz-faz gerilim düşümü	84
Şekil 6.36.	Dekanlık bölgesi transformatörü AG tarafı faz-faz gerilim düşümü	84
Şekil 6.37.	Dekanlık transformatörü OG tarafı faz-faz gerilim düşümü	85
Şekil 6.38.	FEDAŞ transformatörü AG tarafı faz-faz gerilim düşümü	85
Şekil 6.39.	Mühendislik Camii transformatörü AG tarafında oluşan harmonikler	86
Şekil 6.40.	Mühendislik Camii transformatörü OG tarafında oluşan harmonikler	87
Şekil 6.41.	91. Şube transformatörü AG tarafında oluşan harmonikler	87
Şekil 6.42.	Rektörlük transformatörü AG tarafında oluşan harmonikler	88
Şekil 6.43.	Rektörlük binası transformatörünün OG tarafına ait harmonikler	88
Şekil 6.44.	Fen Edebiyat Fakültesi transformatörü OG tarafına ait harmonikler.....	89
Şekil 6.45.	Tıp Fakültesi transformatörü OG tarafına ait harmonikler	90
Şekil 6.46.	Dekanlık transformatörünün AG tarafına ait harmonikler.....	90
Şekil 6.47.	Dekanlık bölgesinde bulunan transformatörün OG tarafına ait harmonikler	91
Şekil 6.48.	FEDAŞ'a ait transformatörün OG tarafına ait harmonikler	91
Şekil 6.49.	Mühendislik kampüsüne ait THD değerleri.....	92
Şekil 6.50.	Rektörlük transformatörünün bağlı bulunduğu yerleşkeye ait THD değerleri.....	93
Şekil 6.51.	Dekanlık bölgesine ait THD değerleri	93
Şekil 6.52.	Mühendislik Camii bölgesindeki transformatörün AG tarafına ait faz gerilimi	94
Şekil 6.53.	Mühendislik Camii transformatörü OG tarafına ait faz gerilimi.....	95
Şekil 6.54.	91. Şube transformatörünün OG tarafına ait faz gerilimi.....	95
Şekil 6.55.	Rektörlük binası bölgesindeki transformatörün AG tarafına ait faz gerilimi.....	96

Şekil 6.56.	Rektörlük binası bölgesindeki transformatörün OG tarafına ait faz gerilimi.....	96
Şekil 6.57.	Dekanlık bölgesindeki transformatörün AG tarafına ait faz gerilimi.....	97
Şekil 6.58.	Dekanlık bölgesindeki transformatörün OG tarafına ait faz gerilimi.....	97
Şekil 6.59.	FEDAŞ'a ait transformatörün OG tarafına ait faz gerilimi.....	98



TABLÖLAR LİSTESİ

	Sayfa
Tablo 2.1. Yakıt hücreli EA'nın çeşitli özellikleri	11
Tablo 2.2. Hibrit elektrikli araçların farklı özellikleri	13
Tablo 2.3. PHEA'nın kapsamlı incelenmesi	14
Tablo 3.1. Uluslararası standartların teknik özellikleri	27
Tablo 3.2. CPT sistemleri ile IPT sistemleri arasındaki güç yoğunluğu karşılaştırması	39
Tablo 3.3. CPT sistemleri ve IPT sistemlerinin hizalama bilgileri	40
Tablo 6.1. Mühendislik kampüsü yerleşkesinde kullanılan transformatörlerin özellikleri	63
Tablo 6.2. Rektörlük kampüsü yerleşkesinde kullanılan transformatörlerin özellikleri	64

SİMGELER

A	: Amper
Hz	: hertz
V	: Volt
Khz	: Kilohertz
kV	: Kilovolt
kW	: Kilowatt
kW/m ²	: kilowatt/metrekaře
MVA	: Megavolt-amper
MW	: Megawatt
p.u.	: Per unit (birim sistem)
Wh/kg	: Enerji yoğunluğu



KISALTMALAR

AA	: Alternatif Akım
AG	: Alçak gerilim
AS	: Akıllı sayaç
BYS	: Batarya yönetim sistemi
CMR	: Birleştirilmiş manyetik rezonans
CPT	: Kapasitif güç aktarımı
DA	: Doğru akım
DSO	: Dağıtım Sistemi Operatörleri
EA	: Elektrikli araçlar
EDS	: Sabit enerji depolama sistemleri
EYS	: Enerji yönetim sistemi
HEA	: Hibrit elektrikli araçlar
HPT	: Hibrit güç aktarım sistemi
IEA	: International Energy Agency
İÖA	: İleri ölçüm altyapısı
İSO	: İletim sistemi operatörü
İYM	: İçten yanmalı motor
ICNIRP	: Uluslararası İyonlaştırıcı Olmayan Radyasyondan Korunma Komisyonu
IEC	: International Electrotechnical Commission
IPT	: Endüktif güç aktarımı
LPT	: Lazer güç aktarımı
MPT	: Mikrodalga güç transferi
OG	: Orta gerilim
PCB	: Printed Circuit Boards
PHEA	: Şarj edilebilir hibrit elektrikli araçlar
PV	: Fotovoltaik
PWM	: Darbe genişlik modülasyonu
RIPT	: Rezonans endüktif güç aktarımı
SAE	: Society of Automobile Engineering
THD	: Toplam harmonik distorsiyonu
TEPCO	: Tokyo Electric Power Company
V2G	: Araçtan şebekeye şarj
VPP	: Sanal güç santrali
YED	: Yenilenebilir Enerji Dağıtımı
WPT	: Kablosuz güç aktarımı

1. GİRİŞ

Ulaşım, dünya ekonomisinin stratejik ve gerekli bir sektörünü temsil eder ve doğrudan tüm insanların günlük yaşamını etkiler. Son birkaç on yılda Dünya genelinde taşınan mal ve yolcu miktarı önemli bir büyüme kaydetmiştir ve bu büyümenin devam etmesi beklenmektedir. Gerçekten de karayolu taşımacılığı, mal ve yolcu taşımının en popüler yöntemini temsil eder. Avrupa Komisyonu'nun tahminlerine göre, 2050 yılına kadar yolcu taşımacılığının, 2013 yılındaki büyüme seviyelerine göre %50'den, yük taşımacılığının ise %80'den fazla artması beklenmektedir [1].

Ülkenin ekonomik ve sosyal gelişimi, temel olarak mevcut ulaşım sektörüne bağlıdır. Şu anda, içten yanmalı motor (İYM) tabanlı araçlar bu sektörde hakimiyet sağlamıştır. Bu araçlardan kaynaklanan egzoz emisyonları doğrudan iklimi etkilemekte ve kirleticiler hava kalitesini düşürmektedir. Bu da insan sağlığı ve ekosistem üzerinde olumsuz sonuçlara neden olmaktadır [2].

Ülkeler çevreyi korumak için çeşitli önlemler almaktadır. Temiz bir çevrenin varlığı, insan hayatının varlığı için önemlidir ve bu koşullardan yoksun bir dünyayı hayal etmek mümkün değildir. Ayrıca, fosil yakıt rezervlerinin sınırlı olduğu ve günden güne azaldığı unutulmamalıdır. Elektrikli araçların (EA) kullanımı, fosil yakıtların tüketiminde önemli bir azalma sağlamaktadır. Dünya genelinde hükümetler, teşvikler ve yasalar uygulayarak EA endüstrisini aktif bir şekilde desteklemektedir. Bu, tüketicilerin geleneksel fosil yakıtlı araçlara alternatif olarak düşük emisyonlu ulaşım seçeneklerine taleplerine bir yanıttır. Bu geçişin ardındaki motivasyon, fosil yakıtlı ulaşımın çevre ve gezegen için önemli riskler oluşturduğunun kabul edilmesidir. EA'lar, güvenlikte artış, gelişmiş halk sağlığı, gelişen yerel ekonomi ve daha temiz ve güvenli bir çevre de dahil olmak üzere bir dizi olumlu toplumsal sonuç sunmaktadır. Birçok avantajı nedeniyle, bireyler arasında bu araçlarla ilişkilendirilen faydalar konusundaki farkındalığın artmasıyla, 2030 yılına kadar EA sayısının 100 milyonu aşacağı tahmin edilmektedir. Asya'daki EA endüstrisinin, birçok ülkenin EA'yı benimsemek, emisyonları azaltmak ve EA üretim tesislerine yatırımı teşvik etmek için önlemler aldığı büyük bir büyüme yaşaması beklenmektedir [3].

Geleceğe yönelik EA satış hedefini başarıyla gerçekleştirebilmek için önemli bir şarj altyapısı ve önemli bir elektrik enerjisi üretimi geliştirilmelidir. Ayrıca, EA şarjı için gereken elektriğin yalnızca temiz ve yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilmesi önemlidir. Çünkü, sadece fosil yakıtları yakarak elektrik üretmek, sadece araçlardan enerji santrallerine emisyon kaynağını değiştirir, emisyonlarda bir azalmaya neden olmaz. Bu nedenle, kirliliğin azaltılması ve sonrasında çevresel faydalar, elektrik üretimi için yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılmasıyla elde edilebilir. Fotovoltaik (PV), rüzgar, hidroenerji, yakıt hücresi vb. diğer yenilenebilir enerji

kaynakları, hem kırsal hem de kentsel alanlarda yaygın olarak bulunabilirliği nedeniyle EA şarjı için en uygun seçenek olarak kabul edilmektedir [3, 4].

Şarj altyapısının geliştirilmesi, bireylerin EA'lara erişimini kolaylaştırmak için kritik bir öneme sahiptir. Verimli ve uygun bir şarj altyapısı, EA'ların tam potansiyelinin farkına varmak için esastır. EA, elektrik motoru, batarya ve şarj tesisi de dahil olmak üzere çeşitli yeni imalat teknolojilerinden oluştuğundan, modern ulaşım sistemlerinin vazgeçilmez bir bileşeni haline gelmiştir. Bununla birlikte, EA'lara geçiş beklenen hızda ilerlememektedir. EA'ların sınırlı menzili ve uzun şarj süreleri, yaygın benimsenmelerini engelleyen ana engeller olarak kabul edilmektedir. EA'lar genellikle benzinli araçlara göre daha yüksek bir başlangıç maliyetine sahiptir. Ancak, işletme için önemli ölçüde daha az enerji gerektirir ve daha düşük emisyon üretir. EA'lara olan talebin önemli ölçüde artması ve buna bağlı olarak EA şarj altyapısındaki artış, yerel elektrik ağıları üzerindeki baskıyı hafifletme konusunda enerji araştırma kurumları ve enerji tedarik şirketleri arasında geniş çaplı tartışmalara yol açmıştır. Bu durum, artan sayıda EA şarj istasyonu nedeniyle meydana gelmektedir [3, 5].

EA'ların yaygın olarak kullanılması, enerji, ulaşım ve üretim alanlarında çeşitli zorluklara yol açmıştır. Şarj platformlarının ve altyapısının geliştirilmesi, EA'ların hem konut hem de umumi yerlerde şarj edilmesini kolaylaştırmak için kaynak tahsis etme konusunda acil bir gereksinim ortaya çıkarmaktadır. Dolaşımdaki EA'ların sayısının artmasıyla, güçlü bir şekilde büyüyen bir entellektüel şebeke altyapısına kaynak tahsis etme konusunda baskı oluşmaktadır. Mevcut literatür, EA şarjının dağıtım sistemi üzerindeki etkilerini azaltmak için çeşitli öneriler sunmaktadır. İki temel azaltma yöntemi kategorisi bulunmaktadır. İlk yaklaşım, elektrik şirketlerinin EA şarjını ayrı ayrı yönetmek için zaman kullanımı fiyatlandırması uygulamasını içerir. Bu yaklaşım, elektrik tarifelerini, zaman kullanımı fiyatlandırma çerçevesinde düşük talep saatlerinde elektrik tarifelerini düşürerek EA sahiplerini, araçlarını bu saatlerde şarj etmeye teşvik eder. Bu teknik, pik yük talebinde önemli bir azalmaya neden olarak transformatörlerin aşırı yüklenmesi ve ısınması ile ilgili endişeleri hafifletir. İkinci strateji, elektrik şirketlerinin EA şarj hızlarını ve başlangıç saatlerini aktif bir şekilde kontrol etmek için akıllı şarj algoritmalarını kullanmalarını içerir. Bir EA şarj sisteminin avantajları, EA şarjının off-peak yük saatlerinde stratejik bir şekilde planlanmasıyla müşteri avantajlarını optimize etme ve enerji şirketi avantajlarını artırma konularını içerir. EA'lar ve onların ilişkilendirilmiş şarj altyapısıyla ilgili araştırma alanı önemli bir büyüme ve gelişme yaşamaktadır [3].

EA'ların yaygın olarak kullanımı ile birlikte, araç şarj maliyetinin ne kadar olacağı ve geleneksel İYM'lerin yakıt ikmali uygulamasına benzer şekilde şarj maliyetlerini minimize etmenin yolları araştırılmaktadır. Öte yandan, enerji sahiplerinin veya EA filo operatörü/toplayıcısının araçtan şebekeye şarj (V2G) hizmetleri sağlama durumunda şebekeye elektrik satma maliyetini anında bilmeleri gerekmektedir. Ayrıca toplayıcının, birleştirilmiş EA'ların karakteristik

parametrelerini (sürüş desenleri, şarj durumu, toplam kapasite vb.) gerçek zamanlı olarak bilmeleri gerekmektedir. Bu bilgiler, talep yönetimi sorunları, frekans düzenleme ve diğer yan hizmetler gibi ağ yönetimi tepkileri için önemlidir. Elektriğin maliyeti, EA sahipleri veya enerji piyasası oyuncularının şebeke ile etkileşimde bulunmaları için hassas ve belirleyici bir faktör olacakken, yük profili şebeke işletmecisi tarafında belirleyici olacaktır [6].

Serbestleşmiş enerji piyasası ile gerçek zamanlı fiyatlandırma senaryosu oldukça sezgiseldir, ancak gelişmiş ölçme, bilgi ve iletişim kontrol sistemleri gerektirir. Bu, mevcut şebekeden EA'ları dinamik yükler ve potansiyel enerji tamponları olarak barındırabilen gelecekteki elektrik şebekesi ağı olarak adlandırılan akıllı şebekeye doğru bir geçiş sağlar. Akıllı şebeke altyapısında, gerçek zamanlı fiyatlandırma ve iletişim, akıllı sayaçlama ve gelişmiş bilgi ve iletişim teknolojisi aracılığıyla mümkündür. EA'ların şarjının akıllı bir şekilde zamanlanması, dağıtım şebekesi üzerindeki etkileri azaltmak için de mümkündür. EA'lar ile akıllı şebeke arasındaki bu karşılıklı ilişkiler, modern bir güç sistem modeli için mükemmel bir eşleşme oluşturur [6].

1.1. Literatür Taraması

EA şarj istasyonlarının şebekeye etkileri konusu, enerji sektöründe giderek artan bir öneme sahiptir. Bu konuda yapılan araştırmalar, elektrikli araçlar ve şarj istasyonlarının enerji şebekesine olan etkilerini anlamak ve yönetmek için önemli bilgiler sunmaktadır. EA'nın şarj edilmesi, elektrik şebekelerinin daha büyük yüklerle başa çıkabilme yeteneklerini zorlayabilir. Bu, enerji üretimi ve dağıtımını, şebekenin kapasitesi ve enerji talebinin yönetilmesi gibi bir dizi teknik ve stratejik zorlukları beraberinde getirir. EA, yakıt maliyetini azaltma ve çevre dostu olma özellikleriyle ulaşım sektörüne büyük bir katkı sağlar. Elektrikli araçların ticarileştirilmesi için, elektrikli araç şarj istasyonları, kolay erişim sağlamak amacıyla yerleşim alanlarına yakın bir konumda olmalıdır. EA'nın artan talebiyle birlikte, bu istasyonların etkileri belirlenmelidir. Şarj istasyonlarının konut şebekesine penetrasyonu, konut yüklerini etkileyen güç kalitesi sorunlarına yol açar. Şarj istasyonlarının artışıyla birlikte genel güç talebi de artacaktır [7, 8].

Farklı şarj uygulamaları için çeşitli tiplerde şarj cihazları geliştirilmiştir. Tip 1 ve tip 2 şarj cihazları düşük güçlü şarj cihazlarıdır ve daha uzun süre şarj etme gerektirir. Tip 3 veya seviye 3 şarj cihazı yüksek güçlü hızlı bir şarj cihazıdır ve bir EA'yı %20 ile %80 arasında dakikalar içinde şarj edebilir. Bu tür hızlı şarj cihazları daha fazla tercih edilir ve aracı beslemek için ayrı bir şarj istasyonuna ihtiyaç duyar. Bu tür seviye 3 hızlı şarj cihazlarının, şebekeye harmonik yük olarak etki eden bir non-lineer yük olarak davrandığı göz önüne alındığında, bu durum şebeke üzerinde güç kalitesi sorunlarına neden olur. Şarj için yüksek güce olan ihtiyaç, şebekede ek taleplere yol açar ve ağı gerilim profilini etkiler. Dağıtım ağına harmonik yük etki etmesi, dağıtım trafosunun sargılarını etkiler ve güç çıkışını azaltır. Bu nedenle, EA şarjının dağıtım şebekesine entegrasyonu güç kalitesi sorununu artırır [7, 9]. Literatürde, EA şarj istasyonlarının dağıtım şebekesi üzerine

etkilerini araştıran ve olumsuz etkilerini azaltmak için akıllı şebeke ile entegrasyonunu inceleyen birçok çalışma mevcuttur.

Enrico vd. tarafından yapılan çalışmanın amacı [1], EA'ların dağıtım ağları üzerindeki etkilerini anlamak ve ağ üzerindeki olumsuz sonuçları en aza indirecek akıllı stratejilerle müdahaleleri belirlemektir. Gerçekleştirilen simülasyonlar, şarj istasyonlarının potansiyel sorunlarının voltaj düşüşü kadar, hatların ve dağıtım transformatörlerinin olası güç aşırı yüklenmesinde olduğunu belirlemeyi mümkün kılmıştır. Analiz, DIgSILENT yazılımında çoğaltılan gerçek ağların kentsel ağ, kırsal ağ ve ticari ağ bölümlerinde gerçekleştirilmiştir. Analiz, hem küçük hem de büyük ölçekte EA yayılımının etkisini inceleyerek farklı yoğunluk seviyelerine göre senaryolar oluşturup simülasyonunu gerçekleştirmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, alçak gerilim ağındaki ev şarj sistemlerinin yayılması, yüksek penetrasyon seviyelerinde sadece bazı ikincil istasyonların transformatörleri üzerinde kritik sorunlara yol açarken, orta gerilim ağındaki önemli işletme sınırlarına ihlal olmamıştır. Hızlı şarj istasyonları da orta gerilim ağı için kısıtlamalarda değişikliklere neden olmamıştır. Ancak gelecekte, daha yoğun kurulumları, özellikle transformatör aşırı yüklenmesi ve beklenen voltaj sınırları ile ilgili sorunlara yol açabilir. Gözlemlenen kritik sorunlar, özellikle şebeke elemanlarının kırsal olanlardan daha fazla kullanıma maruz kaldığı tamamen kentsel bir ağda daha fazla ortaya çıkmıştır. Bu sonuç, gelecekte yüksek güçlü şarj istasyonlarının tam kullanılabilirliğini sağlamak için yatırımların gerekebileceği anlamına gelmektedir.

Sivaraman vd. tarafından yapılan çalışmada [7], EA şarj istasyonunun şebeke üzerindeki çeşitli etkileri, harmonik seviyesi, voltaj kararsızlığı ve trafo aşırı yüklenmesine göre MATLAB Simulink kullanılarak analiz edilmektedir. Bu etkileri incelemek için 5 aracın şarj edildiği EA şarj istasyonu kullanılarak MATLAB Simulink'de bir model oluşturulmuştur. EA şarj istasyonu doğrusal olmayan bir yük olduğundan, bir zaman diliminde şarj edilen EA sayısına bağlı olarak çeşitli düzeylerde harmonikler etki eder. Farklı sayıda EA şarj edildiğinde Toplam Harmonik Distorsiyon (THD) incelenir. Bu harmonik, dağıtım transformatörünü ve ona bağlı olan konut yükünü etkiler. Bir EA şarj edildiğinde şarj istasyonu kullanılarak elde edilen THD'nin % 4.67 olduğu görülmektedir. Bu değer IEEE 519 standardı tarafından belirlenen %5'in altındadır. Birden fazla EA sisteme bağlandığında, THD yüksektir ve şebekeye bağlı yükler üzerinde olumsuz etkiler yaratabilir. 3 EA, şarj istasyonuna bağlandığında elde edilen THD seviyesi % 14.07'dir. Bu değer ise standart tarafından belirlenen değer neredeyse üç katıdır. 5 EA, şarj istasyonuna bağlandığında sistemde elde edilen THD % 23.55'tir ve bu, transformatör sargılarının aşırı ısınmasına yol açar. Bu durum, EA şarj istasyonu için gereken filtre devresi kullanılarak azaltılmalıdır, ancak bu da EA şarj istasyonu için gereken maliyeti ve alanı artırır.

Kerem vd. tarafından yapılan çalışmada [10], tek fazlı ve üç fazlı elektrikli araç şarj istasyonlarının elektrik şebekesi üzerine etkileri MATLAB/Simulink ortamında simüle edilmiştir.

DA-DA buck-boost dönüştürücü, enerjiyi çift yönlü olarak transfer etmek için şarj durumunda artırma (boost) modunda çalışırken, deşarj durumunda düşürme (buck) modunda çalışır. Bu, pil şarj oranına göre PI (Proportional-Integral) kontrol sistemi ile gerçekleştirilir. Elektrikli araç şarj cihazı pilleri şarj etmeye başladığında, şebeke tarafında güç kalitesini bozan etkiler meydana gelir. Bu çalışmada, EA şarj istasyonu ve dağıtım ağı MATLAB programı ile modellenmiştir. Modelde AA-DA dönüştürücü, DA-DA Buck-Boost dönüştürücü ve PI kontrol sistemi kullanılmıştır. Bu çalışmada, EA şarj istasyonlarının sayısındaki artışın şebeke üzerindeki olumsuz etkileri araştırılmıştır. Ağ üzerindeki etkiler, 5 farklı senaryo tasarlanarak analiz edilmiştir. Senaryo 1'de, tek fazlı 230 V konut EA şarj istasyonu şebekeye bağlandığında, bağlı fazın voltaj profili üzerinde değişiklikler gözlemlenmiştir. Buna göre, THD değerinin % 2.75 seviyesinde kaldığı görülmüştür. Senaryo 2'de, 3 şarj istasyonunun THD değeri % 5'in üzerine çıkmış ve IEC standartlarına uygun olmadığı gözlemlenmiştir. Senaryo 3'te, 1 adet 3 fazlı şarj istasyonu bağlandığında, 3 fazlı dalga formunda eşit bozulmalar meydana gelmiş ve % 3.05 THD elde edilmiştir. Senaryo 4'te, bir şarj istasyonu grubunun tek fazlı bir kısa devre hatası modellenmiş, faz B ve C'nin voltajlarında ani artışlar gözlemlenmiş ve % 3.55 THD elde edilmiştir. Senaryo 5'te, 3 fazlı toprak kısa devre hatası tanımlanmış ve EA şarj istasyonunun etkisiyle faz voltajında ani bir artış meydana gelmiştir. Bu bozulmuş sinyalin harmonik kirliliğinin % 53.09 seviyesine yükseldiği gözlemlenmiştir.

Ünsal tarafından yapılan çalışmada [11], EA şarj istasyonlarının dağıtım şebekesine entegrasyonu ve güç akış analizleri hakkında çalışma yapılmıştır. Güç akış analizleri yapılırken şebeke modelleri için de "CYME Dist" güç sistem analiz programından yararlanılmıştır. Bu analiz yapılırken şebekeye sonradan eklenmesi muhtemel farklı tipteki EA şarj istasyonları eklenerek dağıtım şebekesine etkisi ve trafoya yük olarak ne kadar etki ettiği incelenmiştir. Önce kontrollü durum şarjının simülasyonu gerçekleştirilmiştir. Toplamda bölgeden beslenecek 25 adet EA'nın olduğu varsayımı yapılmıştır. İlk olarak lokal şebekenin EA olmadan kayıpları ve yüklenmeleri gözlemlenmiştir. Daha sonra kontrolsüz bir şekilde 25 adet EA'nın devrede olduğu bir şarj simülasyonu yapılmıştır. En son durumda kontrollü şarjın olduğu 24 saatlik zaman diliminde elektrik sağlayıcıyla yapılan anlaşmalar sonucu aynı anda en fazla 7 aracın bir arada şarj olduğu bir simülasyon modellenmiştir. Simülasyon sonuçlarına göre 7 adet EA'nın kontrollü bir şekilde dağıtım şebekesine şarja başlamaları bile % 3 anlık yüklenmeye yol açmaktadır. Kontrolsüz bir şekilde 25 adet aracın bağlandığı durumda ise trafolardaki anlık yüklenme yüzdesi çok yüksek değerlerde bir artış ile yüklenmelere sebep olmaktadır.

Doğan tarafından yapılan çalışmada [12], kaynak verileri trafo verileri, hat verileri ve yük verileri gibi dağıtım sistemindeki tüm parametreler Matlab/Simulink programı aracılığıyla modellenmiştir. Simülasyonlar sonucunda şebekeye bağlanan EA sayısı arttıkça gerilim düşmesi problemi meydana gelmiştir. Aynı zamanda THD değerinin de EA sayısına bağlı olarak arttığı, buna bağlı olarak harmonik etkilerin arttığı gözlemlenmiştir.

Pankaj vd. tarafından yapılan çalışmada [13], EA şarj istasyonlarında bulunan güç elektroniği dönüştürücülerinin şebeke güç kalitesine olan etkileri analiz edilmiştir. Burada, harmonikler ve gerilim dalgalanmaları gibi güç kalitesi sorunlarını analiz etmek için MATLAB/Simulink ortamı kullanılmıştır. Daha fazla EA şarj cihazının dahil edilmesinin daha fazla güç elektroniği dönüştürücüyü beraberinde getirdiği ve dolayısıyla şebeke beslemesinde daha fazla harmoniğe neden olduğu bulunmuştur.

Khan vd. tarafından yapılan çalışma [14], doğru görev döngüsünü geliştiren bir elektrik kontrol sistemi tasarlamayı amaçlamaktadır. Bu çalışmanın amacı, güç dönüşüm istasyonunda gerilimi stabilize etmek ve düzenlemektir. Önerilen kontrol sistemi tarafından enerji yönetiminin değerlendirilmesi için simülasyonlar gerçekleştirilmiştir. Önerilen sistem, elektrik enerjisini akılcıca yönetir. Bunu, talep saatlerinde pil gücünü kullanarak ve ekonomik saatlerde pilleri şarj ederek yapar. Bu, dönüştürücü üzerindeki yükü azaltır ve elektrikli araçların şarj süresini kısaltmaya olanak tanır. Yenilenebilir enerji üretimindeki dalgalanmalara ve yükteki değişikliklere bakılmaksızın şebekede sabit bir gerilim elde edilir.

1.2. Tezin Amacı

Günümüzde EA'lara olan talep hızla artmaktadır. Bu talep artışı, piyasadaki EA araç sayısının artmasına ve buna bağlı olarak şarj istasyonlarının yaygınlaşmasına sebep olmaktadır. EA şarj istasyonları dağıtım sisteminden enerji talebinde bulunmaktadır ve bu artan enerji talebinden dolayı sisteme etkisi söz konusudur. EA şarj istasyonlarının dağıtım sisteminde oluşturduğu etkilerin analiz edilmesi sistemin güvenilirliği ve verimliliği açısından büyük önem taşımaktadır.

Bu çalışmanın amacı, EA şarj istasyonlarının dağıtım sisteminde oluşturduğu etkileri tespit etmek ve bu etkileri azaltmanın yollarını araştırmaktır. İnceleme yapılan bölge Fırat Üniversitesi yerleşkesidir. Fırat Üniversitesi yerleşkesi içerisinde belirli bölgelere EA hızlı şarj istasyonları eklenerek sistemde oluşturacağı etkiler incelenmiştir. PowerFactory DlgSILENT programı yardımıyla, EA şarj istasyonunun olmadığı durum ve EA hızlı şarj istasyonlarının eklendiği durum için benzetimler yapılarak hızlı şarj istasyonlarının etkisi incelenmiştir. Şarj istasyonlarının dağıtım şebekesinde meydana getirdiği olumsuz etkilerin azaltılması için çözüm önerilerinden bahsedilmiştir.

1.3. Tezin Yapısı

Bu tez çalışması 7 ana bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde, elektrikli araçların günümüzdeki durumundan bahsedilmiştir. EA şarj istasyonlarının dağıtım sisteminde oluşturacağı etkiler ile ilgili yapılan çalışmalar incelenmiş, tezin amacı ve yapısı kısaca açıklanmıştır.

İkinci bölümde genel olarak EA türleri, batarya tipleri ve batarya yönetim sistemleri konuları ile ilgili bilgiler verilmiştir.

Üçüncü bölümde, EA şarj istasyonları konusu incelenmiştir. EA şarj tipleri ve şarj sistemlerinin uluslararası standartları ele alınmıştır. EA şarj istasyonlarında şarj işlemi için kullanılan konnektörlerin detaylı incelenmesi yapılmıştır.

Dördüncü bölümde EA şarj istasyonlarının dağıtım şebekesine etkileri konusunda ilgili detaylı incelemeler yapılmıştır. EA şarj istasyonlarının şebekeye etkileri dışında çevresel ve ekonomik etkileri de incelenmiştir. Şarj istasyonlarının dağıtım sistemi üzerinde oluşturduğu etkilerin azaltılması için çözüm önerileri sunulmuştur.

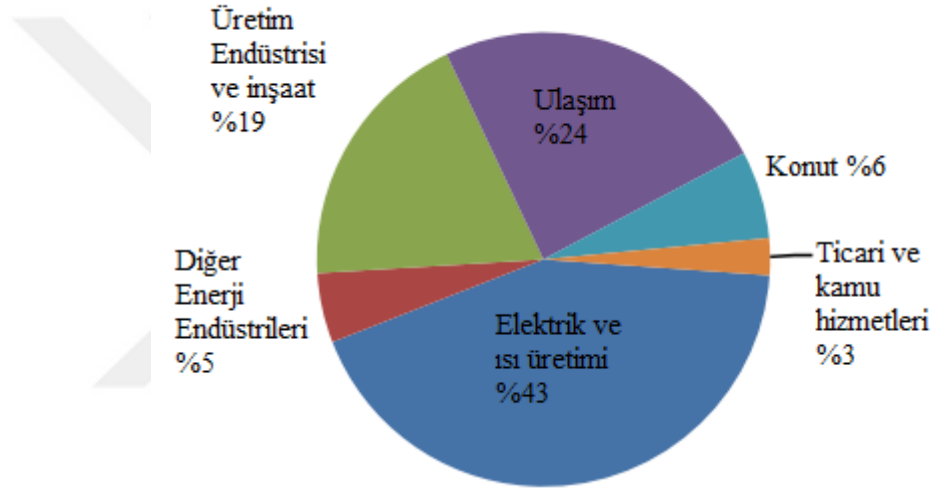
Beşinci bölümde, EA şarj istasyonlarının ve buna bağlı olarak şarj sıklığının artmasından dolayı, şarj işlemlerinin planlanması ve şebekede oluşturduğu etkilerin azaltılması için şarj istasyonlarının akıllı şebekeler ile entegrasyonu konusu incelenmiştir.

Altıncı bölümde, EA şarj istasyonlarının dağıtım sistemlerindeki etkilerini gözlemlemek için Fırat Üniversitesi yerleşkesinin orta gerilim tek hat şemasını ele alınarak, PowerFactory DIgSILENT programında benzetimler yapılmış ve sonuçlar alınmıştır. EA şarj istasyonlarının olmadığı durum ve eklendiği durumlar için benzetimler yapılarak sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Yedinci bölümde ise ele alınan konular ve gerçekleştirilen çalışmalar sonucunda elde edilen benzetim sonuçları değerlendirilmiştir.

2. ELEKTRİKLİ ARAÇLAR

Ülkelerin ekonomik ve sosyal gelişimi, temel olarak mevcut ulaşım sektörüne bağlıdır. Şu anda, İYM tabanlı araçlar bu sektörde hakimiyet sağlamıştır. Bu araçlardan kaynaklanan egzoz emisyonları doğrudan iklimi etkiler ve kirleticiler hava kalitesini düşürür. Bu durum insan sağlığı ve ekosistem üzerinde olumsuz sonuçlara neden olur. Ulaşım sektörü, fosil yakıtın yanması sonucu ortaya çıkan toplam CO₂'nin yaklaşık % 24'ünden sorumludur. Şekil 2.1, yakıtın yanması sonucu ortaya çıkan CO₂ emisyonunu sektörel olarak gösterir. Bu değerler gelecekteki kentleşme, sanayileşme ve araç sayısının artışı ile muhtemelen artacaktır. Yukarıdaki endişeleri azaltmak için, ulaşım sektörü için bir alternatif bulmak gereklidir [2].



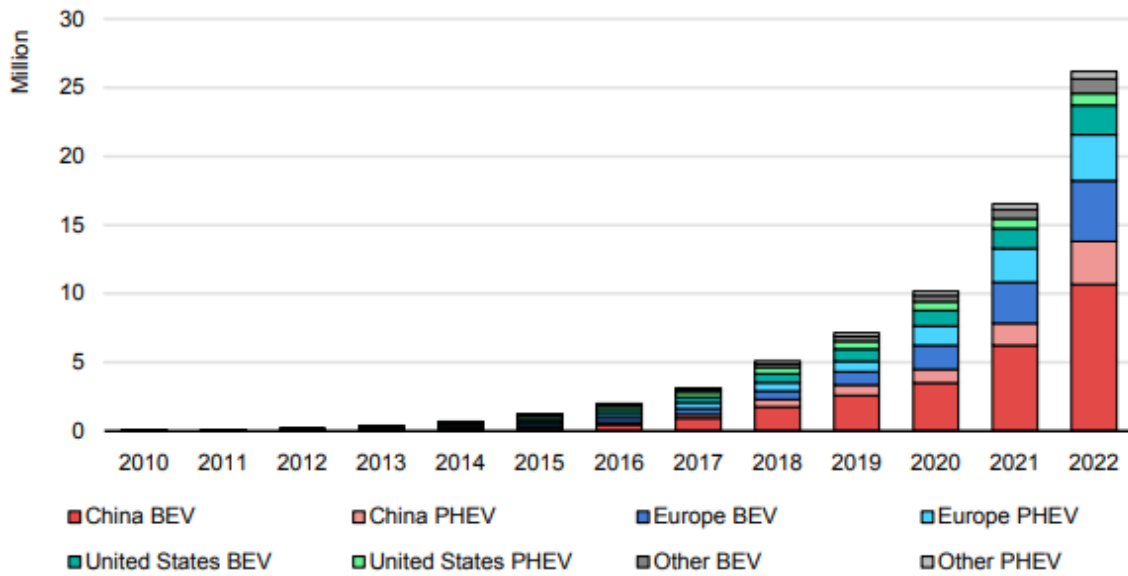
Şekil 2.1. Sektör bazında CO₂ emisyonu [2]

EA'ların ulaşım sektörüne dahil edilmesi, hava kalitesini iyileştirebilen egzoz emisyonlarını azaltma konusunda parlak bir seçenektir ve İYM tabanlı araçların olumsuz etkilerini azaltabilir. Bu nedenle, hava kirliliğini ve ulaşım sektöründeki petrol bağımlılığını azaltmak amacıyla, son yıllarda EA'nın benimsenmesinde önemli bir artış yaşanmıştır. EA'lar, fosil yakıtlara bağımlılığı olmayan ve kirli gaz emisyonu üretmeyen bataryaları, ultra kapasitörleri ve yakıt pillerini enerji kaynakları olarak kullanarak çevre dostu bir alternatif sunarlar. EA türüne bağlı olarak, bir EA'da bir veya birden fazla bu tür enerji kaynağı kullanılabilir. Ancak, EA'ların pazarda rekabetçi olmaları için bir dizi zorluğun çözülmesi gerekmektedir. Bu zorluklar arasında pil maliyeti, verimli şarj stratejileri, şarj istasyonlarının uyumluluğu ve EA entegrasyonunun şebekeye etkisi yer almaktadır [15].

EA'ların başarılı bir şekilde büyümesi, uluslararası standartların ve kodların geliştirilmesine, evrensel altyapılara, ilişkili çevre birimlerine ve kullanıcı dostu yazılımlara bağlıdır. Bu alanda Dünya çapında birçok araştırmacı çalışmaktadır. Ancak, EA şarj altyapısının

gelişiminin ve EA şarjının şebeke üzerindeki etkilerinin iyi bir şekilde özetlenmesi, EA pazarının genişlemesi için önemlidir. Bu gelişim, daha fazla kullanıcıyı çekmek ve elektrikli araç teknolojisinin sürdürülebilir bir şekilde büyümesini sağlamak için kritik bir unsurdur [15].

International Energy Agency (IEA) tarafından yayımlanan Global EV Outlook Raporu'ndaki verilere göre 2022 yılında elektrikli araba satışları bir kez daha rekor seviyeye ulaşmıştır. Tedarik zinciri aksamaları, makroekonomik ve jeopolitik belirsizlikler ve yüksek emtia ve enerji fiyatlarına rağmen elektrikli araba satışlarındaki büyüme, küresel olarak daralan otomobil pazarları bağlamında gerçekleşmiştir. Toplam otomobil satışları 2022 yılında 2021'e göre %3 düşmüştür. Şekil 2.2'de IEA tarafından yayınlanan grafiğe göre küresel ölçekte bataryalı EA ve plug-in hibrit EA dahil olmak üzere elektrikli araba satışları, 2022 yılında 10 milyonun üzerine çıkarak 2021'e göre %55 artış göstermiştir. Bu rakam Avrupa Birliği genelinde satılan toplam araba sayısını (yaklaşık 9,5 milyon araç) aşmaktadır ve 2022'de Çin'de satılan toplam araba sayısının neredeyse yarısına denk gelmektedir. Sadece 2017 ile 2022 yılları arasında, EA satışları 1 milyondan fazladır. 2012 ile 2017 yılları arasında EA satışlarının 100.000'den 1 milyona yükselmesi beş yıl sürmüştür. Bu durum elektrikli araç satışlarının üstel şekilde büyümesinin önemini vurgulamaktadır [16].

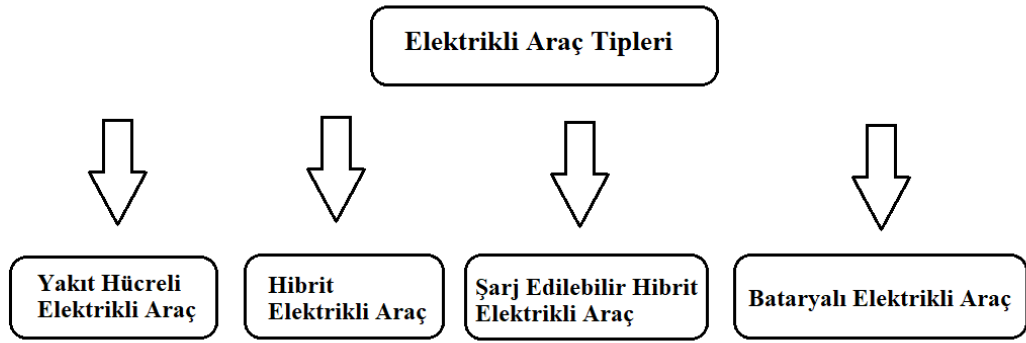


Şekil 2.2. Küresel ölçekte yollardaki elektrikli otomobil sayısı (2010-2022) [16]

EA'nın toplam araba satışları içindeki payı 2021'de %9'dan 2022'de %14'e yükselmiştir. Bu da 2017'deki paylarının 10 katından fazla olduğunu göstermektedir. Şekil 1.2'de 2010-2022 yıllarında küresel ölçekte yollardaki elektrikli otomobil sayısı verilmiştir. 2022 yılında, yollarda toplamda 26 milyon EA bulunurken , bu rakam, 2021'e göre %60 artış göstermiştir. [16].

2.1. Elektrikli Araç Türleri

İYM araçların temel sorunu, fosil yakıtlara bağımlılıklarıdır. Bu durum, enerji güvenliği endişelerine ve CO₂ emisyonlarında artışa neden olur. Fosil yakıtlara olan talebin ve CO₂ emisyonlarının artışının göz önüne alındığı düşünüldüğünde, EA'lar ham petrolle çalışan taşımacılığa olan ihtiyacı ve sera gazlarının emisyonunu azaltır. Şekil 2.3'te gösterildiği gibi, araç teknolojisi genellikle dört temel kategoriden oluşur ve elektrikleendirme soldan sağa doğru artar. [3, 17].

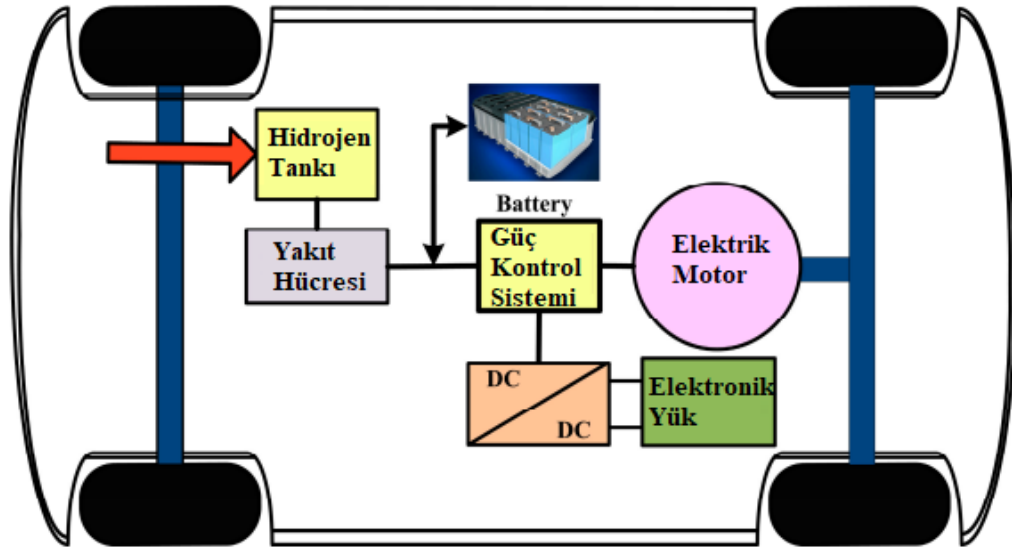


Şekil 2.3. Elektrikli araçların sınıflandırılması

Benzin ve dizel yakıtın yakılması, geleneksel araçların atmosferik karbondioksitinin en büyük tek üreticilerinden biridir. Bu nedenle hibrit araçlar, İYM araçlarla karşılaştırıldığında daha az karbon emisyonu üretir. Üçüncü ve dördüncü kategoriler, sırasıyla hidrojen yakıt hücreleri ve piller kullanan sıfır emisyonlu araçlardır [17].

2.1.1. Yakıt Hücreli Elektrikli Araçlar

Yakıt hücreli EA, elektrikli bir tahrik sistemine sahip bir EA gibidir, ancak elektrik yerine bir yakıt hücresinde depolanan hidrojeni kullanır. Egzoz dumanlarının olmaması, bu aracın zararlı emisyon üretmediği anlamına gelir. Yakıt hücreli elektrikli araçlar, iki farklı tahrik sistemine sahip olan yakıt hücreli EA ve yakıt hücreli hibrit EA olmak üzere iki kategoriye ayrılır [18]. Şekil 2.4, basit bir yakıt hücreli EA tasarım diyagramını gösterir.



Şekil 2.4. Yakıt hücreli EA blok diyagramı [3]

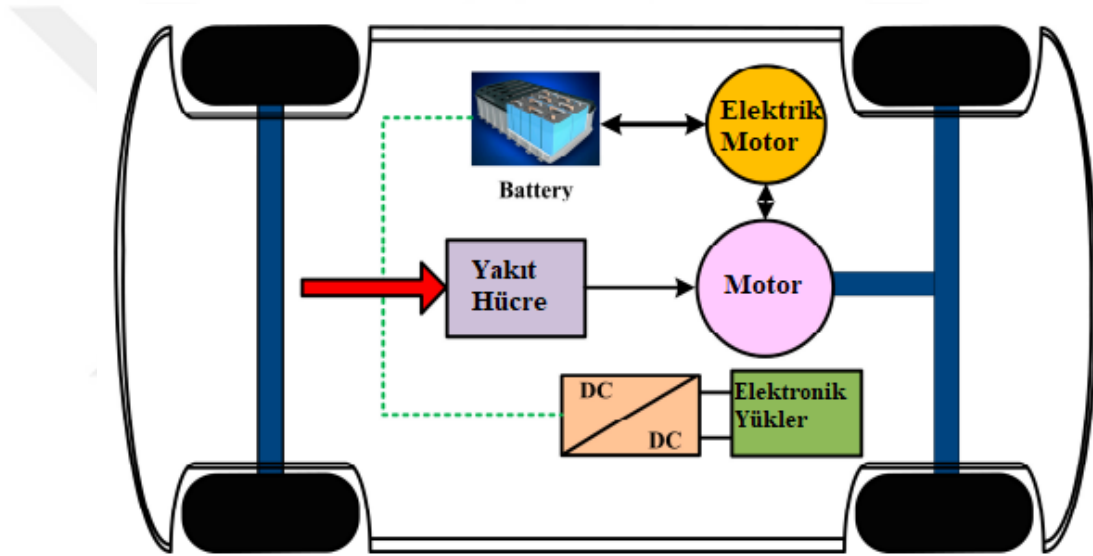
Yakıt hücreli EA, sürekli güç gerektiren düşük hızlı uygulamalarda (otobüs, forklift, tramvay vb.) parlak bir performans sergiler. Hyundai, Toyota ve Honda gibi akıt hücreli EA üreticileri, geniş bir enerji yönetimi stratejisi yelpazesi uygulayarak yakıt ekonomisi ve araç verimliliği açısından yüksek performanslı araçlar üretirler [18]. Tablo 2.1, Yakıt hücreli EA'nın çeşitli yönlerini özetlemektedir.

Tablo 2.1. Yakıt hücreli EA'nın çeşitli özellikleri

Yakıt Hücreli EA	
Güç aktarma organı	Motora elektrik üretmek için bir yakıt hücresi veya hidrojen yakıtı kullanır
Performans	İyi hızlanma ve azami hız ile mükemmel performans sunar, ancak hidrojen yakıtının mevcudiyeti ile sınırlıdır.
Maliyet	Daha karmaşık yakıt hücresi teknolojisi nedeniyle BEV'lerden daha yüksek maliyet.
Menzil	Yakıt hücresi teknolojisi nedeniyle BEV'lerden daha uzun menzil, ancak hidrojen yakıtının mevcudiyeti nedeniyle sınırlıdır.
Çevresel Etki	Yakıt hücresi ve hidrojen yakıtından kaynaklanan emisyonların azalması nedeniyle düşük çevresel etki.
Önemli konular	• Yakıt hücre fiyatı • Güvenilirlik ve yaşam döngüsü • Hidrojen yakıt ikmali ve iklimlendirme tesisleri

2.1.2. Hibrit Elektrikli Araçlar

Hibrit elektrikli araç (HEA), gücünü İYM veya bir pil paketinden alabilir. HEA, hem benzin hem de elektrikle çalışabilen çift güç kaynaklı bir araçtır. HEA'lar, şehir içinde sürüş için üstündür, çünkü pilleri frenleme sırasında şarj edilebilir. Şehir içinde sürüş, aracın sık sık durup kalkmasını gerektirir. Bu nedenle, HEA'lar şehir içinde sürüş için uygundur. Tamamen EA henüz emekleme aşamasında olduğundan, HEA'lar en azından önümüzdeki on yıl için en maliyet etkili alternatif gibi görünmektedir. HEA'nın İYM motoru ve elektrik motoru, atık enerjiyi ve kirliliği azaltmak için optimize edilmiştir. HEA'ların yakıt ekonomisi ve performansı büyük ölçüde artmış, onları çevre dostu ve finansal olarak daha uygun hale getirmiştir. Pillerin dezavantajı ise yüksek satın alma maliyetidir [19]. HEA'nın temel tasarımı Şekil 2.5'te gösterilmiştir.



Şekil 2.5. HEA blok diyagramı [3]

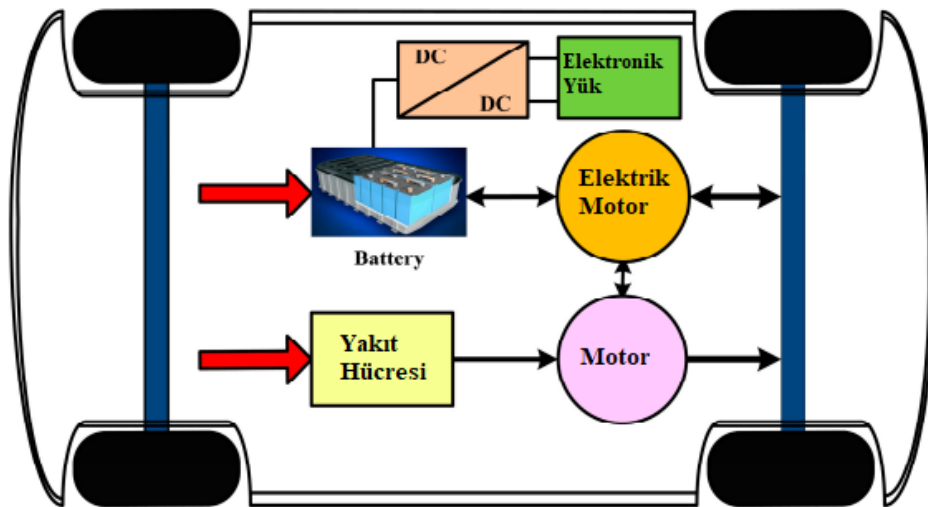
Aktarma organı, aracın kaynağından (pil veya motor) tekerleklerle güç transfer eder. Tam elektrikli araçlar, seri hibritler, paralel hibritler veya seri-paralel hibritler tarafından güçlendirilebilir. Elektrik motorları enerjilerini seri aktarma organlarından alır. Bir seri aktarma organı, İYM'yi sadece motora güç vermek için kullanırken, paralel bir aktarma organı aracı hareket ettirmek için hem İYM'yi hem de motoru kullanır. Ancak seri-paralel hibrit, her iki tahrik sisteminin de dezavantajlarını içermektedir. Toyota'nın Prius modeli, bir seri-paralel hibrit sistemine örnektir [19]. HEA'nın farklı özellikleri Tablo 2.2'de özetlenmiştir.

Tablo 2.2. Hibrit elektrikli araçların farklı özellikleri

Hibrit Elektrikli Araçlar (HEA)	
Güç aktarma organı	Benzinli veya dizel motoru bir elektrik motoru ve aküyle birleştirir.
Performans	İyi hızlanma ve maksimum hız ile tüm EA teknolojilerinin en iyi performansını sunar.
Maliyet	Tüm EA teknolojileri arasında en düşük maliyet.
Menzil	İlave menzil sağlayan hibrit motorlarla orta menzil.
Çevresel Etki	Hibrit motor kullanılarak emisyonların azaltılması nedeniyle orta düzeyde çevresel etki.
Önemli konular	• Çok girişli kaynaklar için güç yönetimi. • Pil paketi ve IYM boyutları ve ağırlığı • Genel fiyat ve karmaşıklık.

2.1.3. Şarj Edilebilir Hibrit Elektrikli Araçlar

Şarj edilebilir hibrit elektrikli araç (PHEA), elektrik motorunun bir batarya tarafından tahrik edildiği ve içten yanmalı motorun benzin veya dizel gibi farklı bir yakıtla güçlendirildiği bir araçtır. PHEA'lar genellikle geleneksel hibrit EA'lara göre daha büyük batarya paketlerine sahiptir. Daha büyük bir batarya paketi ile araç, kısa geziler için çoğunlukla elektrikle çalıştırılabilir. Uzun mesafe seyahatleri, bir takviye olarak depolanan sıvı benzinle çalışabilir, bu nedenle takviye edilebilir bir hibrit EA'nın bataryasını boşaltması gerekmez. Araçtaki sürüş moduna bağlı olarak, aracın entegre bilgisayarı ne zaman ve ne kadar yakıt kullanacağına karar verecektir [20]. Şekil 2.6'da gösterildiği gibi, temel bir takviye edilebilir PHEA düzeni tasvir edilmiştir. Tablo 2.3, PHEA'nın kapsamlı bir özetini sunmaktadır.



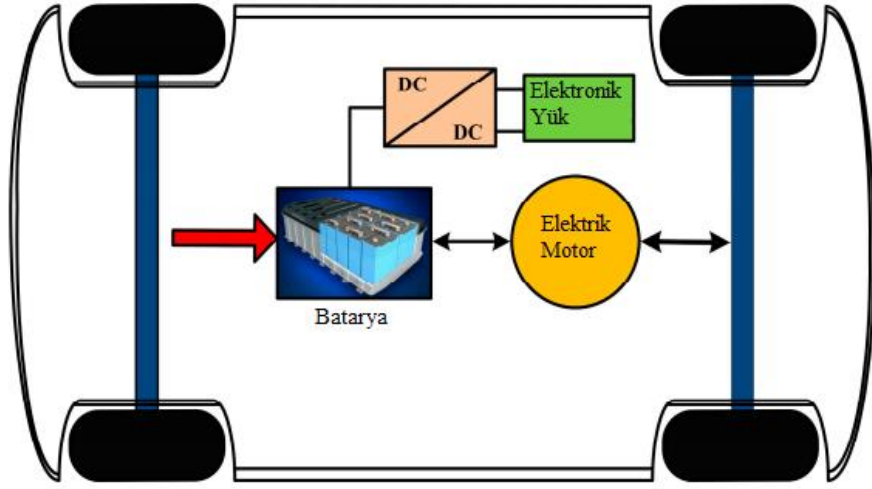
Şekil 2.6. Plug-in hibrit elektrikli aracın blok diyagramı [3]

Tablo 2.3. PHEA'nın kapsamlı incelenmesi

PHEA	
Güç aktarma organı	Benzinli veya dizel motoru bir elektrik motoruyla ve harici bir güç kaynağından şarj edilebilen daha büyük bir aküyle birleştirir.
Performans	İyi hızlanmayla birlikte iyi bir performans sunar, ancak azami hız daha düşüktür.
Maliyet	Daha büyük batarya nedeniyle HEA'lardan daha yüksek maliyet.
Menzil	Daha büyük pil ve harici bir güç kaynağından şarj edilebilmesi sayesinde daha geniş menzildir.
Çevresel Etki	Hibrit motordan kaynaklanan emisyonların azaltılması ve yenilenebilir enerji kaynaklarından şarj edilebilmesi nedeniyle düşük çevresel etki.
Önemli konular	• Pil paketini ve İYM'nin boyutlarını ve ağırlığını göz önünde bulundurun. • Şarj altyapısı ve şebekeye etkileri. • Güç akışının yönetimi ve kontrolü.

2.1.4. Tamamen Elektrikli Araçlar

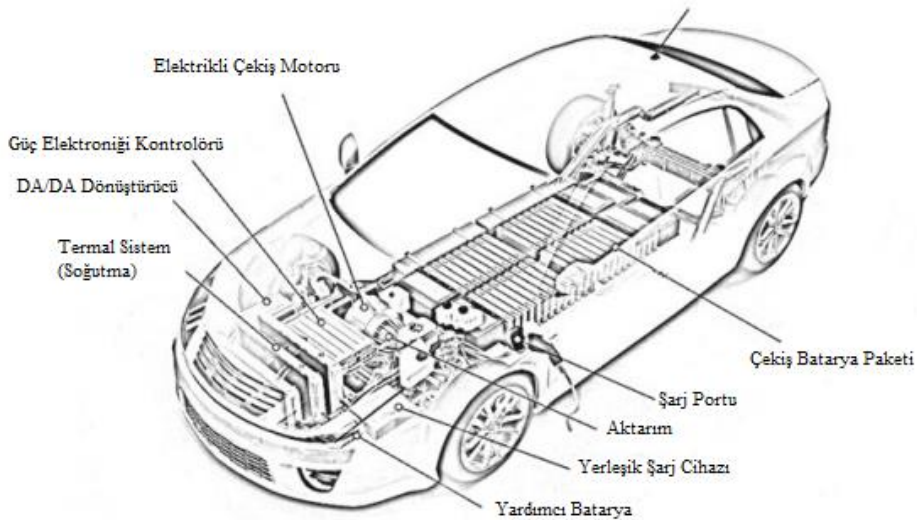
Tamamen elektrikli aracın tek elektrik kaynağı batarya paketidir. Başka bir deyişle, EA'lar, sera gazı emisyonlarını azaltma ve böylece küresel ısınmayla mücadele etme konusunda HEA'lara göre daha etkilidir. EA'nın gelecekteki pil teknolojisi gelişmeleri ve fiyat düşüşleri ile EA pazarında hâkim olması beklenmektedir. EA, yalnızca bir elektrikli motor içerir ve içten yanmalı motoru içermez. Elektrikli sürüş menzili, pil kapasitesine bağlıdır. Bu türün başlıca avantajı, yerel olarak hiç emisyon üretmemesidir. Bu türün farklı şirketlerin tasarımlarına bağlı olarak birçok yapılandırması bulunsa da temel yapı ve ana bileşenler Şekil 2.7'de gösterilmiştir. Pil, çeşitli EV şarj cihazları aracılığıyla şebeke üzerinden şarj edilir. Ayrıca, EA'nın yavaşlaması ve fren yapması sırasında motor, rejeneratif frenleme olarak adlandırılan bir işlemle çalışarak pili şarj eder. Bu, metrolar ve tramvaylar gibi diğer toplu elektrikli taşımalarda da kullanılır. Rejeneratif frenleme için çift yönlü DA/AA dönüştürücü kullanılır. Bu, sürüş modunda pil ile AA motora elektrik enerjisinin akmasına ve frenleme modunda AA motordan pil içine enerji akmasına izin verir. EA için ana zorluk, uzun şarj süresi ve genel şarj altyapısının sınırlamasıdır. Bu sorun, gelecekte pil teknolojisindeki ilerlemelerle ele alınacaktır, bu da şarj edilmeden önce EA'nın gidebileceği elektrikli menzili uzatacaktır. Ayrıca, geniş çapta kullanılan halka açık hızlı şarj istasyonlarının dağıtımı, EA sahiplerinin menzil endişesini azaltacaktır. Bu tür EA'lar en büyük pil kapasitesine sahiptir ve şarjı uygun şekilde yönetilmezse elektrik sistemine ciddi olumsuz etkileri olabilir. Ayrıca, elektriksel hizmet sağlama yeteneği diğer EA türlerinden daha yüksektir [21].



Şekil 2.7. Tamamen elektrikli araç blok diyagramı [3]

Batarya elektrikli araçlar, İYM'ye (benzin veya dizel) dayanmayan ve yalnızca elektrik enerjisi kullanarak çalışan araçlardır. Bu araçlar, enerjiyi taşıyan ve depolayan pillerle donatılmıştır. Bu piller, aracın çalışması için gereken elektriği depolar. En önemli avantajı, kullanılan enerjinin tamamen çevre dostu olmasıdır. Bu araçlar, işletildikleri süre boyunca herhangi bir zararlı emisyon salmazlar ve bu nedenle sıfır emisyonlu araçlardır [22].

Batarya elektrikli araçların şarjı oldukça kolaydır. Genellikle normal ev elektriğiyle şarj edilebilecek bir prizden veya özel şarj istasyonlarından şarj edilebilirler. Araç sahipleri, araçlarını gece boyunca evde şarj edebilir veya gün içinde şarj istasyonlarından hızlı şarj imkanından yararlanabilirler. Bu araçların çevre dostu olması, enerji maliyetlerinin düşük olması ve sıfır emisyon avantajları, batarya elektrikli araçların giderek daha popüler hale gelmesine neden olmaktadır. Bu, gelecekte otomotiv endüstrisinde ve ulaşım sektöründe önemli değişikliklere yol açabilir [22].



Şekil 2.8. Tamamen elektrikli aracın temel yapısı [22]

Şekil 2.8’de tamamen elektrikli aracın temel yapısı verilmiştir. Araç iletişimini sağlayan bir şarj portu bulunur, böylece aracın bataryası şarj edilebilir. Bu tür araçlar, DA kaynağından farklı seviyede DA kaynağına dönüştürebilen bir dönüştürücü içerir. Temel olarak yüksek DA gerilimi, aracın parçalarını çalıştırmak ve aynı zamanda bataryaya enerji sağlamak için düşük DA gerilime dönüştürülür. Bu tür bir aracın diğer önemli bir bileşeni çekiş motorudur. Bu motor, bataryadan güç alır ve tekerlekleri hareket ettirmeye yardımcı olarak aracın sürülmesine olanak tanır. Bu tür motorlar hem sürüş hem de geri kazanma için kullanılabilir. Bataryaların şarj edilmesi için kullanılan şarj cihazına araç içi şarj cihazı denir. Bu şarj cihazı, ev veya diğer enerji kaynaklarından AA güç kaynağını kullanarak bataryayı şarj etmek için bir DA kaynağına dönüştürür. Ayrıca bataryanın gerilimini, akımını, sıcaklığını ve diğer çeşitli faktörleri kontrol eder. Güç elektroniği kontrol cihazı adı verilen başka bir cihaz, bataryadan gelen güç kaynağını, aracın hızını ve torkunu kontrol etmeye yardımcı olur. Araçtaki belirli parçaların sıcaklığını yöneten bir sistem de diğer bileşenlerle birlikte kurulur, bu sistem termal sistem olarak bilinir. Bu sistem, motor vb. elemanların sıcaklığını korur. Araçların bir diğer anahtar bileşeni ise çekiş batarya paketidir. Bu paket, aracın motorunda kullanılan gücü depolamak için kullanılır. Ayrıca araçta bir de şanzıman bileşeni bulunmaktadır. Bu bileşenin rolü, mekanik kuvveti motordan tekerleklerle iletmektir, böylece aracı hareket ettirir [23, 24].

2.2. Batarya Tipleri

Bir pil en az iki elektrokimyasal hücreden oluşur. Pil, kimyasal enerjiyi elektrik enerjisine dönüştürür. Tek bir pil hücresi, pozitif bir katot ve negatif bir anot içerir, her ikisi de bir elektrolit ile bağlantılıdır. Elektrolit ile terminaller arasındaki kimyasal reaksiyon elektrik enerjisi üretir. Şarj edilebilir piller, akımı tersine çevirerek kimyasal reaksiyonu tersine çevirebilir. Elektrotlar ve elektrolit için kullanılan malzemeler pil özelliklerini belirler. EA’lar için uygun çeşitli piller bulunmaktadır. Bu piller aşağıda açıklanmıştır [22].

2.2.1. Kurşun Asit Bataryalar

Bu piller, batarya EA’da kullanılan en eski pillerden biridir. Pillerin pozitif ucu kurşun oksit ve negatif ucu kurşundur. Pilin her iki ucunda da sülfürik asit içeren bir elektrolit bulunur. Boşalma işlemi sırasında negatif terminaldeki kurşun ve pozitif terminaldeki kurşun oksit, sülfürik asitle reaksiyona girer. Bu reaksiyon sonucunda kurşun sülfat oluşur ve elektrolit suya dönüşür, kimyasal reaksiyon sırasında enerji açığa çıkar ve enerji harcandığında reaksiyon tersine döner. Kurşun asit pillerin belirli enerji maliyeti, diğer pil teknolojilerine kıyasla düşüktür. Tipik bir kurşun asit pilin belirli enerjisi yaklaşık 40 Wh/kg ve belirli gücü yaklaşık 240 W/kg’dır [22] .

2.2.2. Nikel Metal Hidrür Bataryalar

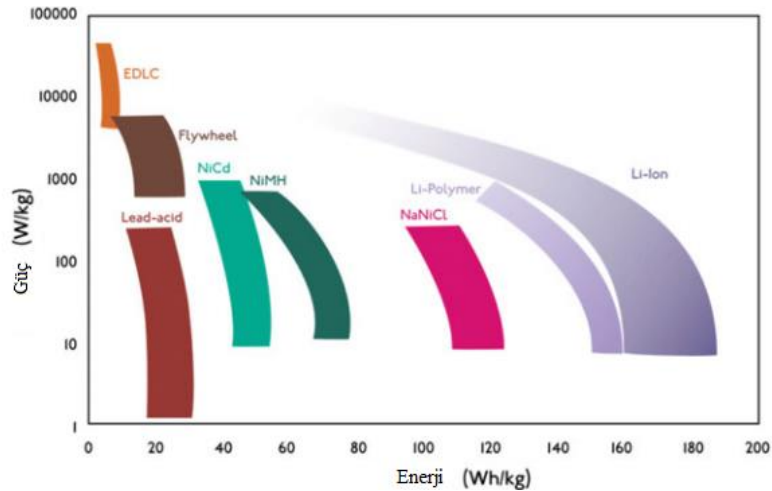
Bu tür piller, pilin pozitif terminalinde nikel kullanır. Bunlar dört türdedir: nikel-çinko (Ni-Zn), nikel-demir (Ni-Fe), nikel metal hidrür (Ni-MH) ve nikel kadmiyum (Ni-Ca). Ni-Zn ve Ni-Fe türündeki piller, ömrünün kısa olması ve düşük belirli güce sahip olmaları nedeniyle EA'lar için uygun değildir. En iyi buluş, kadmiyum içeren Ni-Ca pilleridir. Bu piller, Ni-MH pillerine göre daha hafif ve daha yüksek belirli güce sahiptir. Bu pillerin yüksek belirli güce (2000 W/kg'ye kadar) ve 45 ile 70 Wh/kg arasında belirli enerjiye sahip olduğu görülmektedir [22].

2.2.3. Lityum İyon Bataryalar

Bu tür piller, EA'lar için pil alanında en güvenilir ve baskın teknolojidir. Lityum iyon pillerin gelişimi son yıllarda artmaktadır. Gelecekte birçok EA, lityum iyon pillerle donatılmış olacaktır. Bu tür pilleri kullanan araç örnekleri arasında Tesla Roadster ve Mitsubishi i-Miev bulunmaktadır. Bu piller, metalin yüksek beklenen potansiyele sahip olması nedeniyle yüksek performanslı EA pilleri için uygun hale gelmiştir. Lityum iyon, mevcut tüm metal malzemeler arasında ağırlıktan tasarruf eden bir özelliğe sahiptir. Lityum iyon pilinin belirli enerjisi 60 ila 250 Wh/kg arasında değişirken, güç kapasitesi 2000 W/kg'ye kadar çıkabilir [22].

2.2.4. Ultra Kapasitörler

Ultra kapasitörler, enerjiyi kimyasal olarak değil, fiziksel olarak depoladıkları için pillerden tamamen farklıdır. Kapasitörün iki plağı, bir elektrolit içinde ayrılmış kollektörler olarak bilinir. Kapasitörlerin rolü, enerjiyi yüksek yüzeyli malzemelere depolamaktır. Ultra kapasitörler, pillerden çok daha hızlı şarj edilebilir, deşarj edilebilir ve enerjiyi yeniden kazanmak için oldukça uygunlardır. Ultra kapasitör, 5000 W/kg'ye kadar yüksek bir belirli güce sahiptir ancak 5 Wh/kg gibi düşük bir enerji kapasitesine sahiptir [22]. Şekil 2.9'da farklı tiplerdeki pillerin güç ve enerji değerleri gösterilmiştir.

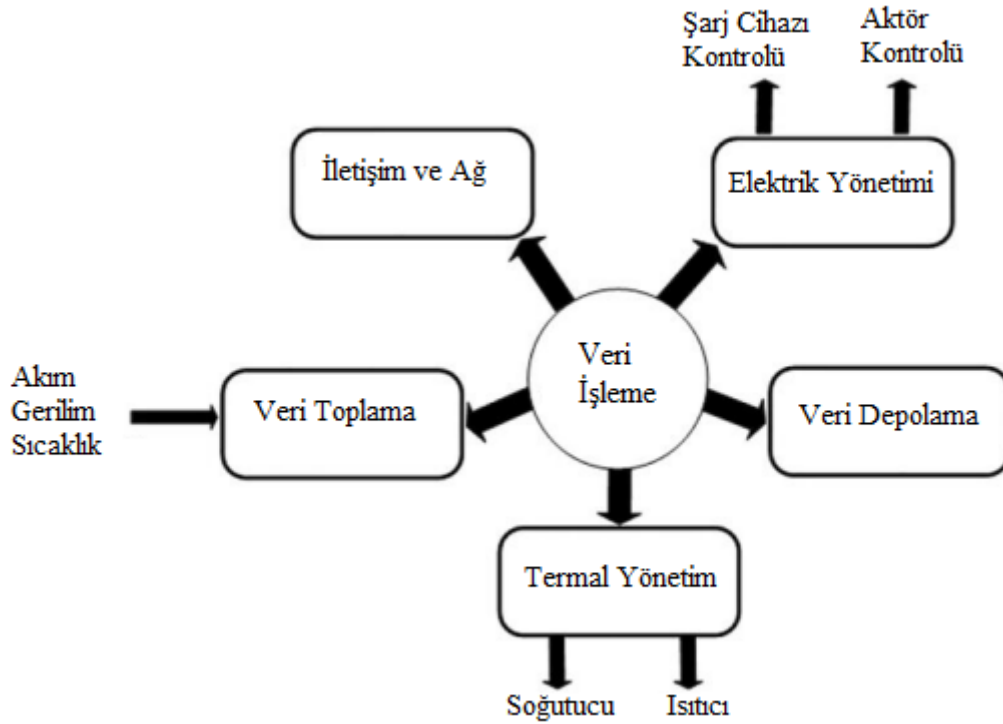


Şekil 2.9. Farklı pillerin güç ve enerjileri [22]

2.3. Batarya Yönetim Sistemi

Lityum iyon piller, en fazla tercih edilen elektrokimyasal pil teknolojisidir. Ancak, yaşlanma, yüksek sıcaklık, derin deşarjlar ve aşırı şarj gibi faktörlere oldukça duyarlıdırlar. Bu nedenle, belirlenen değerlerin dışında şarj veya deşarj edilmemeleri gerekmektedir [25].

Batarya Yönetim Sistemi (BYS), her batarya hücresini izlemek, kontrol etmek, korumak ve düzenlemek amacıyla kullanılan elektronik bir teknolojidir. Bu teknoloji sayesinde bataryaların belirlenen güvenlik sınırları içinde çalışmaları sağlanır ve güvenilirliği maksimize edilir [26]. BYS'nin mimarisi Şekil 2.10'da gösterilmiştir.



Şekil 2.10. Batarya yönetim sistemi mimarisi [5]

BYS'nin başlıca fonksiyonları şunlardır:

- **Şarj Durumu İzleme;** BYS, bataryadaki anlık enerji miktarını yaklaşık olarak verir. Şarj durumu, sürücüye mevcut şarj hakkında bilgi verir ve bataryanın şarj ve deşarj süreçlerini düzenler. Şarj durumunu belirleme teknikleri şunlardır: Voltmetre, coulomb sayımı ve hibrid teknik. Voltmetre ve coulomb teknikleri, bataryanın mevcut voltajına ve akım durumuna dayanır. Hibrid teknik, voltmetre ve coulomb sayım tekniklerini birleştirilerek bir batarya paketinde şarj durumunu ölçer [26].
- **Sağlık Durumu ve Kalan Kullanım Ömrü İzleme;** BYS, bataryanın sağlık durumunu değerlendirir ve kalan kullanım ömrünü tahmin eder. Sağlık durumu izleme, bataryanın mevcut durumunu başlangıç durumuyla karşılaştırır, kalan kullanım ömrü izleme ise bataryanın değiştirilmeden ne kadar süre daha çalışabileceğini tahmin eder. Bu bilgiler, önleyici bakım ve genel güvenilirlik için kritiktir [27].

- **Hücre Dengesi;** Tüm hücrelerin şarj ve deşarj döngülerinde aynı kapasitede tutulmasını sağlamak için BYS sistemi gereklidir. Tüm hücreleri aynı şarj kapasitesinde tutmak, batarya paketinin ömrünü artırır. Çünkü lityum iyon pillerin ömrü sıcaklık, aşırı şarj ve deşarj derinliğinden büyük ölçüde etkilenir. Hücre dengesizliği, batarya hücreleri arasında şarj farklılıklarına neden olur [27].
- **Batarya Kullanım Verimliliğinin Optimizasyonu;** BYS, bataryanın verimli bir şekilde nasıl kullanılacağını optimize etmeye çalışır, genel enerji verimliliğini artırır [27].
- **Arıza Teşhisi ve Sorun Giderme;** BYS, batarya sistemine ilişkin herhangi bir arızayı tanımlar ve çözer, bu da EA'nın güvenliği ve güvenilirliğini artırır [27].
- **Batarya Güvenilirliğini İyileştirme;** Arıza teşhisi, hücre dengeleme ve sağlık durumu izleme gibi işlevleri yerine getirerek BYS, bataryanın genel güvenilirliğini artırmaya katkıda bulunur [27].

Özetle BYS, özellikle lityum iyon pillerin kullanıldığı elektrikli araçlarda performans, güvenlik ve ömrün sağlanması açısından kritik bir bileşendir. Optimal çalışma koşullarını sürdürmek, hasarı önlemek ve batarya paketinin verimliliğini maksimize etmek için hayati bir rol oynar.

2.3.1. Batarya Yönetim Sistemi Mimarisi

Bir BYS, veri toplama, işleme, elektriksel yönetim ve kontrol, iletişim ve ağ, veri depolama ve kullanıcı arayüzü modüllerini içerir [27].

- **İletişim ve Ağ Modülü**

Bu modül, EA'nın mevcut durumunu kabul etmek veya veri sağlamak için bir kanal sağlar. BYS ile kullanıcı arayüzü gösterge paneli arasında veya BYS ile araç kontrol ünitesi gibi diğer yardımcı kontrol sistemleri arasında düşük voltajlı iletişim hatları üzerinden olabilir. İletişim modülü, Printed Circuit Boards (PCB), güç elektroniği, entegre devreler ve Enerji Yönetim Sistemleri (EYS) üzerinden EA'nın tamamına iletişim sağlar. Yaygın olarak kullanılan iletişim ağından biri, sağlamlık, güvenlik, güvenilirlik ve iletim hızını belirleyen şartları ve standartları oluşturan denetleyici alan ağıdır. BYS'deki iletişim modülü, batarya paketi bakım sorunlarına yardımcı olmak açısından da faydalıdır [28].

- **Veri Toplama Modülü**

Bir batarya paketinin çeşitli ilgi parametreleri olan voltaj, akım, çalışma sıcaklığı ve nem, dijital veya analog girişler aracılığıyla BYS'ye alınmalıdır. Yukarıdaki parametrelerin elde edilebilmesi için pil paketi üzerinde 10^{-3} saniye aralığında kısa örnekleme süreleri gerçekleştirilmelidir. Ölçüm sistemleri, elektromanyetik girişim sorunu üreten güç elektroniği

bileşenlerine yakın bir konumda bulundukları için elektromanyetik girişime karşı bağışık olmalıdır [27], [28].

- **Veri İşleme Modülü**

Veri işleme sistemi, giriş parametreleri ile batarya paketi üzerinde istenen kontrol hareketi arasındaki arabirimdir. Bu blokta, batarya parametrelerinin durumu, şarj durumu, aracın menzili ve sağlık durumu vb. karmaşık durum tahmini algoritmaları ve eğitilmiş modeller kullanılarak giriş parametrelerinden hesaplanabilir. Parametrelerin durumuna bağlı olarak, modeller, o enerji ile hangi menzilin kapsanabileceğini tahmin edebilir. Bu modül aynı zamanda belirli bir dönem içinde elde edilen verileri kaydeder ve daha yüksek doğruluk ve bakım amaçları için daha iyi bir gelecek modeli eğitir [29].

- **Elektriksel Yönetim ve Kontrol Modülü**

Bu modül, şarj ve deşarj döngüleri sırasında düzeltici işlemleri gerçekleştirir. Bu modül, deşarj döngüsü sırasında akımı düzenler ve şarj döngüsü sırasında akım ve voltaj miktarlarını kontrol eder. Ayrıca, hücre dengelemesi yapar, yani potansiyel tüm hücreler için pasif veya aktif yöntemle dengelenir. Aktif yöntemde, daha yüksek potansiyele sahip hücreler, dengeye ulaşmak için daha düşük potansiyele sahip hücrelere şarj yapar. Pasif yöntemde ise daha yüksek potansiyele sahip hücreler, potansiyelde denge sağlanana kadar bir yüke bağlanır [28].

- **Termal Yönetim Modülü**

Lityum iyon pillerin ömrü aşırı ısınma, kendiliğinden ısınma ve ekzotermik kimyasal reaksiyonlar nedeniyle kısalır; bu nedenle bir termal kontrol modülü bulunmaktadır. Termal yönetim modülünün görevi, bir batarya paketi içindeki hücreler arasında sıcaklığı uyumlu hale getirmektir. Bir soğutma sistemi bulunmalıdır. Bu, fanlar, sıvı soğutma veya ısı lavaboları şeklinde sağlanabilir [28].

- **Güvenlik Yönetim Modülü**

Batarya paketinin güvenlik sınırları içinde çalıştırılması öncelikli olmalıdır. Çünkü batarya paketi içinde aşırı ısınma, patlamalara ve yangınlara neden olabilir. Bu modül, şarj ve deşarj döngüleri sırasında voltaj, akım ve sıcaklık parametrelerinin belirtilen sınırlar içinde olup olmadığını kontrol eder. Ayrıca, acil bir kaza durumunda batarya paketinin aracın beslemesini kesmek için bir bağlantı rölesi gibi güvenlik koruma cihazlarını içerir. Son zamanlarda EA'nın yangın aldığına dair birçok iddia kaydedilmiştir. Bu nedenle, daha fazla arıza-duyarlı ve güvenilir güvenlik yönetim modülleri oluşturmak için derinlemesine araştırmalar devam etmektedir [28], [30].

2.4. Elektrikli Araçların Geniş Çapta Kullanımına Yönelik Zorluklar

EA'ların doğal avantajlarına ek olarak, kabul edilmesi gereken birkaç zorluk bulunmaktadır. Bunları ortadan kaldırmadan, EA'ları çoğu insanın günlük yaşamının bir parçası haline getirmek zor olacaktır. Günümüzde otomotiv endüstrisi, araştırmacılar ve kurumlar, EA'ların performansını, güvenilirliğini ve güvenliğini artırmak amacıyla büyük çaba sarf etmektedir. EA'ların tanıtılması nedeniyle mevcut elektrik altyapısının üzerindeki etkilerin analizi şu anda devam etmektedir. Ulaştırma sektöründe EA'ların popülerliğinin artmaya devam etmesiyle, mevcut şebeke sisteminin bu değişimi karşılamak için önemli gelişmeler geçirmesi beklenmektedir [31]. Şekil 2.11, EA benimsenmesine yönelik engelleri göstermektedir.



Şekil 2.11. Elektrikli araçların yaygın şekilde benimsenmesinin önündeki başlıca zorluklar [3]

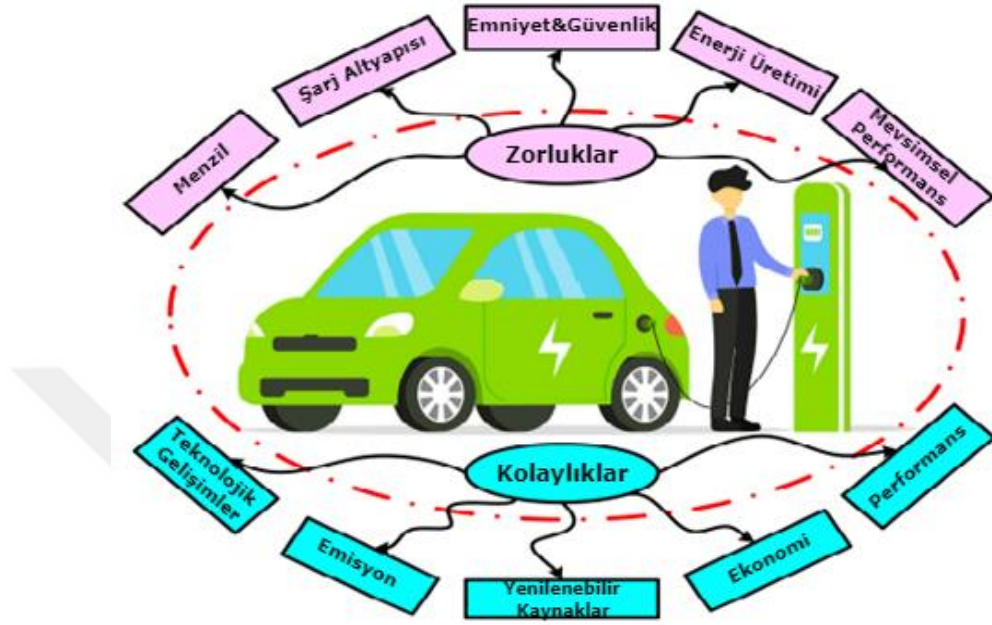
Zorluklara ek olarak, EA'ların taşımacılık için yetersiz kullanımına katkıda bulunan bir dizi başka engel bulunmaktadır. EA'ların geniş çapta benimsenmeden önce ele alınması gereken en önemli zorluklardan bazıları şunlardır:

- **Menzil Endişesi:** EA alıcıları arasında en önemli endişelerden biri, bu araçlar tarafından sunulan sınırlı sürüş menzildir. "Menzil endişesi" olarak bilinen bu durum, bir EA'nın hedeflenen varış noktasına ulaşmadan önce enerji rezervlerini tüketme korkusuyla ilgilidir. EA'lar, sınırlı sürüş menziline sahip olmaları açısından İYM araçlardan farklıdır. Bu nedenle, EA'lar uzun mesafe yolculuklarında sık sık şarj edilmeleri gerektiği için bu durum kullanıcılar için rahatsız edici olarak algılanabilir. Son zamanlarda menzili artıran pil

teknolojilerindeki ilerlemelere rağmen, EA'ların şarj seansları arasındaki seyahat mesafesi konusunda önemli zorluklar devam etmektedir. Ayrıca, bir EA'nın operasyonel menzili, enerji yoğun ekipmanla birlikte kullanıldığında veya olumsuz hava koşullarında kullanıldığında azalabilir [31].

- **Yüksek Başlangıç Maliyeti:** EA'ların edinim maliyeti ile ilgili önemli bir dezavantaj, daha pahalı pil teknolojisinin kullanılma zorunluluğundan kaynaklanmaktadır. Teknolojideki devam eden ilerlemelere ve ölçek ekonomilerine rağmen, EA'ların maliyeti potansiyel tüketiciler için bir engel olmaya devam etmektedir. Ayrıca, EA bataryalarının değiştirilmesi veya tamir edilmesi önemli giderlere neden olabilir, bu da genel sahiplik maliyetine katkıda bulunur [31].
- **Yetersiz Şarj Altyapısı:** Güvenilir bir şarj altyapısının olmaması, EA'lar için önemli bir engel oluşturmaktadır. Bu durum, özellikle şarj istasyonlarının az olduğu gelişmemiş bölgelerde veya ülkelerde belirgin hale gelir ve EA benimsemesini düşünenlere ciddi bir engel oluşturur. Şarj altyapısının olmaması, özellikle uzun mesafe yolculuklarına çıkarken EA sürücüler arasında menzil konusunda endişelere yol açabilir [31].
- **Pil Teknolojisi Kısıtlamaları:** Pil teknolojisinin seçimi, EA'ların pratiklik ve uygulanabilirlik açısından oynadığı kritik bir rolü belirler. Pil teknolojisinde önemli ilerlemeler kaydedilmiş olmasına rağmen, mevcut durumda önemli kısıtlamalar hala mevcuttur. Batarya teknolojisinin enerji yoğunluğu, içten yanmalı motorlu araçlarda kullanılan sıvı yakıtların enerji yoğunluğuna kıyasla önemli ölçüde düşüktür. Bir EA'nın menzili tahmin etmek için bu faktörü dikkate almak hayati öneme sahiptir. Ayrıca, bir bataryayı şarj etmek için gereken süre, bir içten yanmalı motora sahip bir aracın yakıtını doldurmak için gereken süreden önemli ölçüde daha uzundur. Bu kısıtlamaların varlığı, benzer düzeyde kolaylık ve çeşitliliğe ulaşmada bir zorluk oluşturur [31].
- **Aşırı Yüklenmiş Dağıtım Şebekeleri:** EA'ların geniş çapta benimsenmesine yönelik bir başka engel, artan kullanımın bir sonucu olarak enerji şebekelerini aşırı yüklemenin olasılığıdır. Elektrik tüketiminde ani artışlar olduğunda, enerji sistemi gerekli kapasiteyi karşılamakta zorluk yaşayabilir. Güç şebekesinin kullanımının artmasının nedeni, takılı EA'ların giderek daha popüler hale gelmesidir. Güç kesintileri ve diğer sorunlar, enerji sistemlerinin güvenilirliğinde bir azalmaya yol açabilir. Ayrıca, ortaya çıkabilecek çeşitli sorunlar olabilir [31].
- **Yetersiz Kritik Maden Arzı:** EA altyapısı için gereken minerallerin ve nadir toprak metallerinin yetersiz olması, EA'ların geniş çapta benimsenmesine yönelik önemli bir zorluk teşkil etmektedir. Bu minerallerin önemli miktarları, EA'lar için bataryaların ve diğer ilgili bileşenlerin üretiminde kritik bir rol oynamaktadır. Ancak, bu minerallerin Dünya çapında sınırlı bir bulunabilirliği olduğunu ve talebin hızla arttığını göz önünde

bulundurmak önemlidir. EA üreticilerinin karşılaşılabileceği tedarik zinciri sorunları ve bunun sonucunda maliyet artışları, bu araçların geniş çapta benimsenmesine yönelik önemli bir engel oluşturabilir [31].

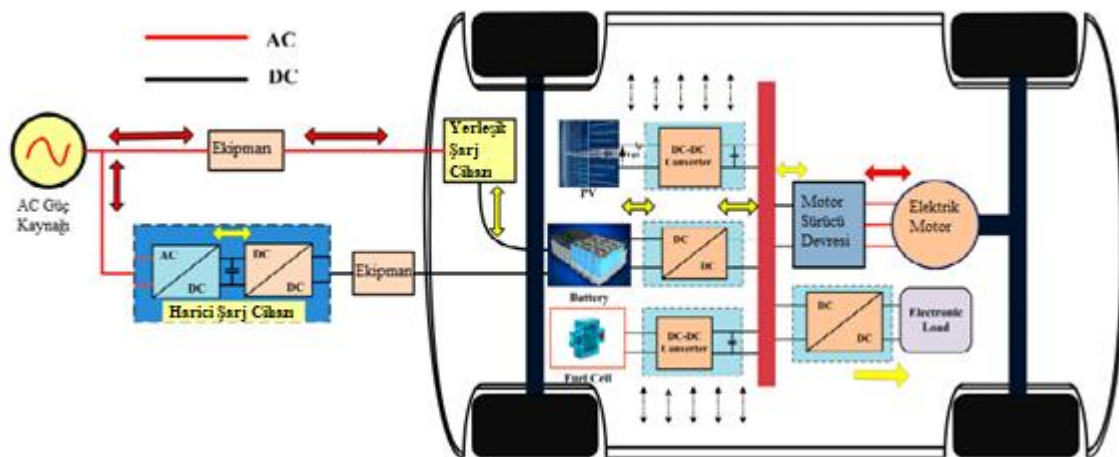


Şekil 2.12. Elektrikli araçla ilgili farklı zorluklar ve fırsatlar [3]

EA'lara olan talep arttıkça, bireyler tarafından aktif olarak ele alınan çeşitli zorluklar bulunmaktadır. EA'larla ilişkilendirilen zorlukların yanı sıra, herhangi bir ülkenin ilerlemesi için önemli olan ortaya çıkan fırsatlar da bulunmaktadır [32]. Şekil 2.12, EA'larla ilişkilendirilen zorlukları ve fırsatları göstermektedir. Bu zorluklara ek olarak, taşımacılık endüstrisinde EA'ların geleceğini ciddi bir şekilde kısıtlayabilecek bir dizi başka zorluklar bulunmaktadır.

3. ELEKTRİKLİ ARAÇ ŞARJ İSTASYONLARI

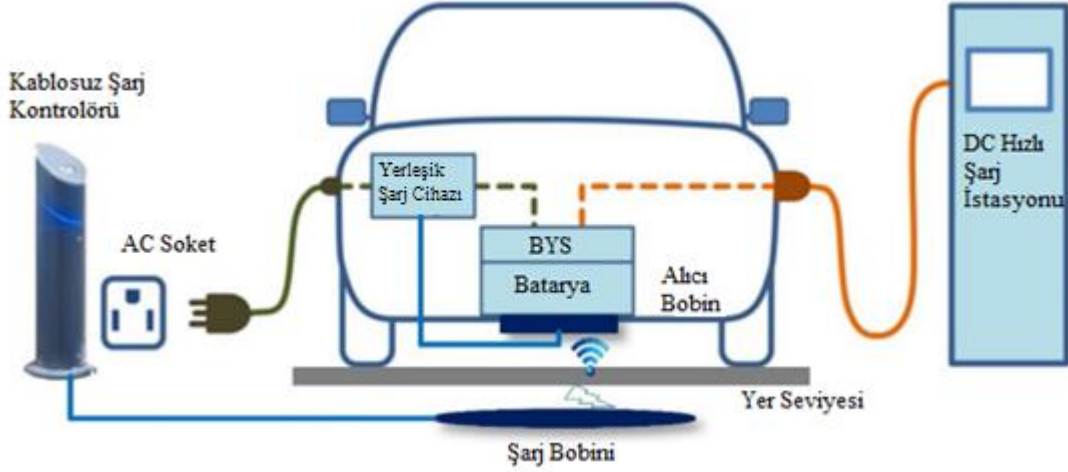
EA'ların benimsemesi için, menzil endişesi ve şarj altyapısı iki önemli kısıtlayıcı faktördür. Çeşitli çalışmalar, tüketicilerin genelde EA'ları benimsemekten kaçındıklarını, genelde kamu şarj istasyonlarının eksikliği konusunda endişe duyduklarını göstermiştir. EA'ların şarj yöntemleri, iletken şarj ve kablosuz şarj olmak üzere iki ana gruba ayrılabilir. İletken şarj, şu ana kadar en olgunlaşmış şarj yöntemidir. İletken şarj sistemi için birçok standart geliştirilmiştir. İletken şarj sistemi, araç içi şarj cihazları (yavaş şarj cihazları veya AA şarj cihazları) ve araç dışı şarj cihazları (hızlı şarj cihazları veya DA şarj cihazları) olmak üzere ikiye ayrılabilir. AA şarj cihazları, şarj soketine kolay erişim nedeniyle daha baskındır. Ancak AA şarj cihazlarının, bataryayı hızlı bir şekilde şarj etme yetenekleri olmadığından güç sınırlamaları vardır. DA şarj cihazları yüksek güç seviyelerine sahiptir ve menzil endişeleri konusunu ele alabilirler. Birçok ülke, EV kullanıcıları arasında menzil endişelerini ortadan kaldırmak için otoyollar boyunca DA hızlı şarj cihazları kurmaktadır, ancak bunlar hala yeterli değildir. Ayrıca, bir bataryayı sık sık DA şarj cihazlarıyla şarj etmek, batarya ömrünü kısaltabilir [33]. Şekil 3.1'de on-board ve off-board şarj cihazlarının temel yapısını gösteren blok diyagramı verilmiştir.



Şekil 3.1. Elektrikli araçlar için araç içi ve araç dışı şarj sisteminin blok şeması [3]

Kablosuz güç transferi, EA'ların şarj edilmesi için kullanılan başka bir tekniktir. Kablosuz güç transferi, EA'ların otomatik olarak şarj edilmesini sağlar, bu da üç farklı yöntemle gerçekleştirilebilir: statik şarj, kısmi-dinamik şarj ve dinamik şarj. Statik şarj, büyük iletken tellerin neden olduğu elektrik şoku tehlikesini ortadan kaldırma, ev garajları veya park alanlarına kolay montaj gibi çeşitli avantajlara sahiptir. Kısmi-dinamik şarj sistemi, EA'ların kısa süreli duraklamalar sırasında, örneğin trafik ışıklarında şarj olmasını sağlar, bu da yolculuk sırasında EV menzilini artırır ve EA'nın enerji depolama gereksinimlerini azaltır. Dinamik sistem, EA'nın sürekli

olarak hareket halindeyken şarj edilmesini sağlar. Bu sistemin avantajları arasında menzil endişesinin ve EA'ların enerji depolama gereksinimlerinin azalması bulunmaktadır [33]. Şekil 3.2'de EA için tüm şarj tipleri araç ile entegre edilmiş şekilde verilmiştir.



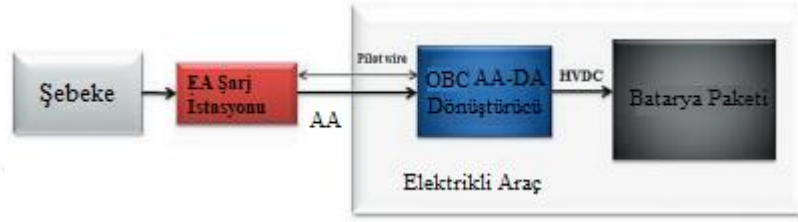
Şekil 3.2. EA'da şarj devresinin olası yerleşimi [34]

EA'ların penetrasyonu ile ilişkili başka bir endişe de elektrik şebekelerine olan şarj etkisidir. Bu konuda çeşitli teknik çalışmalar kapsamlı bir şekilde yapılmış olup, bu araştırmalara dayanarak, EA'ların elektrik şebekelerine entegrasyonu ile ilgili önemli zorluklar arasında trafo aşırı yüklenmesi, zirve saatlerde yüksek talep, sistemde harmonik enjeksiyonu, voltaj istikrarı ve çökme gibi, elektrik şebekesinin güç kalitesi ve istikrarını tehlikeye atan önemli sorunlar olduğu belirlenmiştir [33].

3.1. Kablolu Şarj

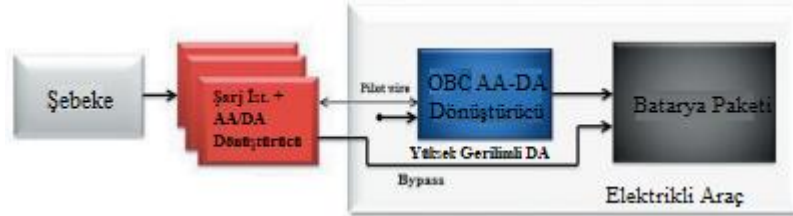
İletken şarj veya kablolu şarj, bir elektrikli araç konnektörü ile şarj giriş noktası arasında fiziksel bir bağlantı gerektirir. Bu teknik, enerjiyi EA'nın piline aktarmak için bir fişli kablo kullanır. Şimdiye kadar en gelişmiş ve ticari olarak kullanılan şarj tekniğidir. İletken şarj cihazları, yerleşik şarj cihazları ve kart dışı şarj cihazları olarak sınıflandırılır. Yerleşik şarj cihazları söz konusu olduğunda, şarj cihazı EA içine yerleştirilir. EA tüketicileri araçlarının pilini standart bir ev elektrik prizinden şarj edebildiğinden, bu şarj cihazlarına AA şarj cihazları da denir. Bu sistemde pil, şebeke AA beslemesini DA'ya çeviren bir araç içi invertör tarafından şarj edilir [35]. AA şarj cihazının fonksiyonel blok şeması Şekil 3.3'de gösterilmektedir. Basit tasarımı ve kontrol uygulaması nedeniyle, yerleşik EA şarj cihazları için geleneksel olarak iki aşamalı mimari kullanılır. Birinci aşamada güç faktörü düzeltme devresine sahip bir AA-DA yükseltici dönüştürücü kullanılır ve ikinci aşamada çıkış gerilimi regülasyonu için izole edilmiş bir DA-DA dönüştürücü uygulanır.

Yerleşik şarj cihazlarının en büyük dezavantajı, pili hızlı bir şekilde şarj edememelerinden dolayı güç sınırlamasıdır. Yerleşik şarj cihazları, işyerinde veya gece evde şarj etmek için uygundur. Ancak aracın nihai varış noktasına ulaşmak için yeterli menzili olmayabilir. Bu durum uzun yolculuklar için kabul edilebilir değildir. Ağırlık, alan endişeleri ve maliyet kısıtlamaları, yerleşik şarj cihazları için gücü sınırlayan ana faktörlerdir. Bu sorunun üstesinden gelmek için üreticiler harici veya DA şarj cihazlarına geçmişlerdir. Yerleşik olmayan şarj cihazlarında, şebeke AA gerilimi EA'ya girmeden önce DA'ya dönüştürülür [33].



Şekil 3.3. Yerleşik AC şarj cihazının şematik diyagramı [33]

Şekil 3.4'te gösterildiği gibi, harici şarj cihazlarının iki güç dönüştürme aşaması vardır: Güç faktörü düzeltmeli bir AA/DA doğrultma ve galvanik yalıtımlı bir DA/DA dönüştürücü. İlk aşamada, üç fazlı giriş AA gerilimi, bire yakın bir güç faktörüne sahip bir ara DA gerilimine dönüşür. İkinci aşamada, ara DA gerilimi, DA/DA dönüştürücü tarafından gerekli DA gerilimine dönüştürülür. Galvanik izolasyon ise EA ve şebeke arasında ayrım sağlar [33].



Şekil 3.4. Harici DA şarj cihazının şematik diyagramı [33]

DA hızlı şarj cihazları yaygın olarak kullanılmasına rağmen, insanların şarj cihazlarına, evlerine, işyerlerine ve özel şarj tesislerine daha kolay erişimi olduğundan, AA şarj seviyesi 1 ve seviye 2'nin 2030 yılına kadar baskın şarj yöntemi olarak kalacağını göstermektedir. DA hızlı şarj cihazları, otoyollar gibi zamanın önemli olduğu veya uzun mesafelerde seyahat edildiği durumlarda daha etkilidir. Ancak, bir pili sık sık yüksek güç seviyelerinde şarj etmek pil ömrünü kısaltabilir [33].

3.1.1. Kablolu Şarj Sistemi İçin Uluslararası Standartlar

Önümüzdeki on yılda, otomobillerin elektrifikasyonu, esas olarak uluslararası kabul görmüş EA şarj standartlarının getirilmesiyle bağlantılıdır. Avrupa Birliği tarafından kabul edilen International Electrotechnical Commission (IEC), Kuzey Amerika tarafından kabul edilen Society of Automobile Engineering (SAE) ve Çin'den GuoBiao (GB), güç kaynağı seviyelerine, fişlere/konektörlere ve korumaya dayalı olarak EA'ların iletken şarjı için uluslararası standartları belirleyen üç ana kuruluştur. Ayrıca CHAdemo, DA hızlı şarj için yaygın olarak kullanılan bir Japon standardıdır. Bu standartların teknik özellikleri Tablo 3.1'de listelenmiştir. [33].

Tablo 3.1. Uluslararası standartların teknik özellikleri

Standartlar	Maksimum Gerilim (V)	Maksimum Alım (A)	Maksimum Güç (kW)
IEC Standartları	250 1-Ø veya 450 3-Ø	16	4-7.5
AA Şarj	250 1-Ø veya 450 3-Ø	32	8-15
Mod 1	250 1-Ø veya 450 3-Ø	250	60-120
Mod 2	250-600	400	100-250
Mod 3			
DA Şarj			
Mod 4			
SAE Standartları	120	16	2
AA Şarjı	250	80	20
Seviye 1	500	80	40
Seviye 2	450	90	200
DA Şarj/Seviye 3	600	400	240
DA Seviye 1			
DA Seviye 2			
DA Seviye 3			
CHAdemo	500	125	62.5
Standartları			
Hızlı DA Şarj			

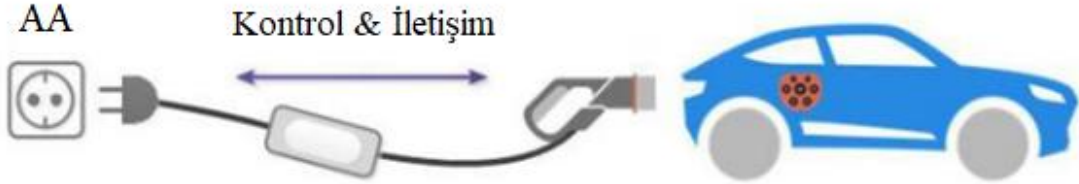
IEC Standartları

IEC 61851-1, Avrupa Birliği ve diğer ülkelerde kabul edilebilir uluslararası bir standarttır. IEC 61851-1 “EA iletken şarj sistemi” komitesi, EA'ya enjekte edilen güç (tek fazlı AA, üç fazlı AA veya DA), sistemin topraklanması ve korunması gibi birçok faktörü göz önünde bulundurarak, bir EA'nın dört şarj modunu belirlemiştir. Bu dört mod şu şekilde sınıflandırılır:



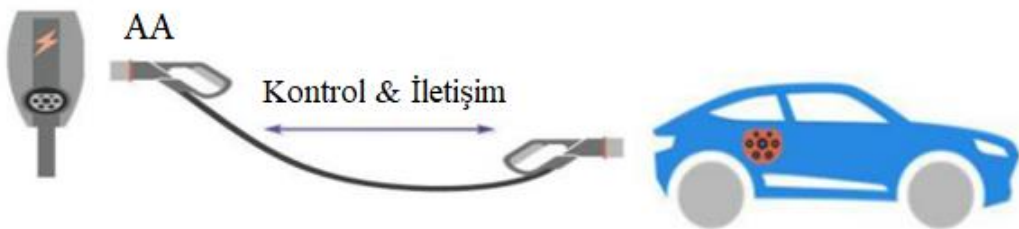
Şekil 3.5. Mod 1 şarj modu [33]

• **Mod 1:** Ev içi şarj modudur. Bu modda, bir EA'nın pili, Şekil 3.5'te gösterildiği gibi maksimum 16 A akım derecesine ve 450 V üç fazlı AA veya 250 V AA gerilim derecesine sahip standart bir ev prizi ile şarj edilebilir. Bu şarj modu, pili şarj durumunun %80'ine kadar şarj etmek için 7–9 saat sürer. Dolayısıyla bu mod, evde veya iş yerinde şarj etmek için daha uygundur [33].



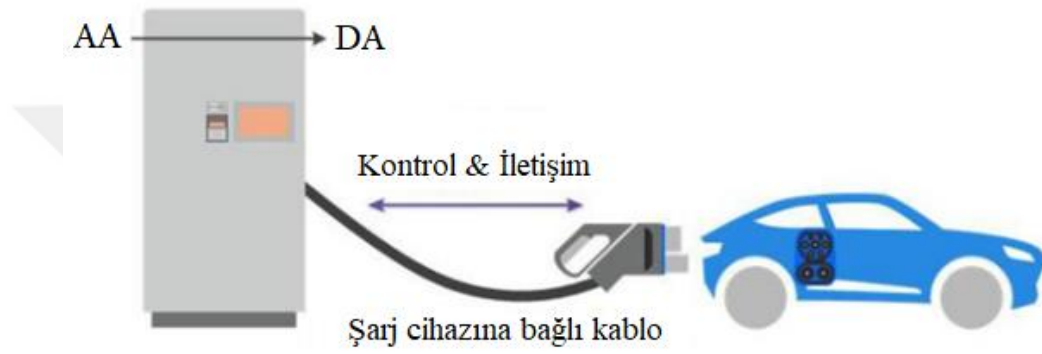
Şekil 3.6. Mod 2 şarj modu [33]

• **Mod 2:** Bu mod, maksimum 32 A akım derecesine ve 450 V üç fazlı AA veya 250 V AA besleme gerilim derecesine sahip özel tesisler için uygundur. Bataryanın %80'ine kadar şarj edilmesi normalde 5–8 saat sürer (araç tipine ve bataryanın önceki durumuna bağlıdır) [18]. Mod 1'e benzer şekilde, aynı zamanda ev içi şarj modudur. Ancak Şekil 3.6'da gösterildiği gibi bu modda şarj soketi ile EA arasına bir kontrol kutusu yerleştirilmiştir. Bu kontrol kutusunun temel amacı, kontrol pilotu işlevini sağlamaktır. Bu kontrol pilotu işlevi, bir pilot kabloya ve EA ile kontrol kutusu arasında darbe genişlik modülasyonu (PWM) iletişimine ihtiyaç duyar. PWM nedeniyle şarj istasyonu, frekans modülasyonlu bir sinyal aracılığıyla EA ile iletişim kurar. EA, gerilim değeri durumunu döndürerek yükü uyarlar. EA'larda PWM yoksa devre basitleştirilmiş bir şekilde çalışır, şarj istasyonu toprak direncini ölçerek akımı 16 A ile sınırlar [33].



Şekil 3.7. Mod 3 şarj modu [33]

• **Mod 3:** Maksimum 250 A akım derecesi ve 450 V üç fazlı AA besleme gerilim derecesi ile halka açık alanlarda en yaygın kullanılan şarj modudur. Bu modda, Şekil 3.7’de gösterildiği gibi elektrikli araç besleme ekipmanından EA'ya giden bir şarj kablosu, darbe genişlik modülasyon iletişimi ve kontrol pilotu işleviyle koruma sağlar. Kontrol pilotu işlevi, bağlantının, topraklamanın ve şarj cihazının akım sınırının doğruluğunu kontrol eder. Akım sınırına bağlı olarak, topraklama ile kontrol pilotunun kontağı arasına bir direnç eklenir. Bu modda, farklı güç seviyelerinde şarj işlemi yapılabilir (mevcut kapasiteye bağlıdır). Bu nedenle, hızlı şarj veya yavaş şarj olabilir. Pili %80'ine kadar şarj etmek normalde 1–2 saat sürer [36].



Şekil 3.8. Mod4 şarj modu [33]

• **Mod4:** DA hızlı şarj modu olarak da bilinen Şekil 3.8’de gösterilen Mod 4, maksimum akım değeri 400 A ve maksimum gerilim değeri 600 V DA seviyelerindedir. Bu mod, pili 15-45 dakika içinde batarya %80'ine kadar şarj edebildiği için ticari halka açık şarj istasyonlarında yaygın olarak kullanılır. Bu modda, AA kaynağı, şarj istasyonundaki yerleşik bir şarj cihazı tarafından EA'ya girmeden önce DA'ya dönüştürülür. Japon firması CHAdeMO, bu şarj modunun dünya çapında konuşlandırılması için diğer tüm şirketlerden daha fazla fon sağlamıştır. Hızlı şarj özelliğinden dolayı popüler hale gelmesine rağmen bu modun besleme ekipmanı, mod 3'ün besleme ekipmanlarına kıyasla çok daha maliyetlidir [37].

SAE Standartları

ABD'de dağıtım şebekesi, diğer ülkelere göre farklı gerilim ve frekans değerlerine sahiptir. Dolayısıyla IEC standartları orada uygulanamaz. Society of Automobile Engineering (SAE), uzun yıllardır J1772 standardı üzerinde çalışmaktadır. Bu standardın en son sürümü, Kuzey Amerika'da kullanılan EA'nın şarj edilmesini kolaylaştırmak için elektrikselsel, fiziksel ve performans özelliklerini tanımlar. Bu standarda göre, Kuzey Amerika'da EA'nın iletken şarjı aşağıdaki gibi üç seviyede sınıflandırılır [33].

• **Seviye 1 şarj:** Bu yöntem, tek fazlı 120 V gerilim derecesine ve maksimum 16 A akım derecesine sahip ev tipi ev prizlerini kullanır. Şarj için ekstra bir kurulum gerektirmez, bu nedenle

EA'yı normalde evde, gece yoğun olmayan bir zamanda şarj etmek çok uygundur. Ayrıca, 1. seviye şarjın kurulum maliyeti 500–880 ABD Doları civarında olduğu için çok pahalı değildir. Bununla birlikte, ağırlık ve termal kısıtlamalar nedeniyle şarj gücü çok yüksek değildir, bu nedenle bir EA'yı tamamen şarj etmek 13-16 saat sürebileceğinden en yavaş şarj seviyesidir [33].

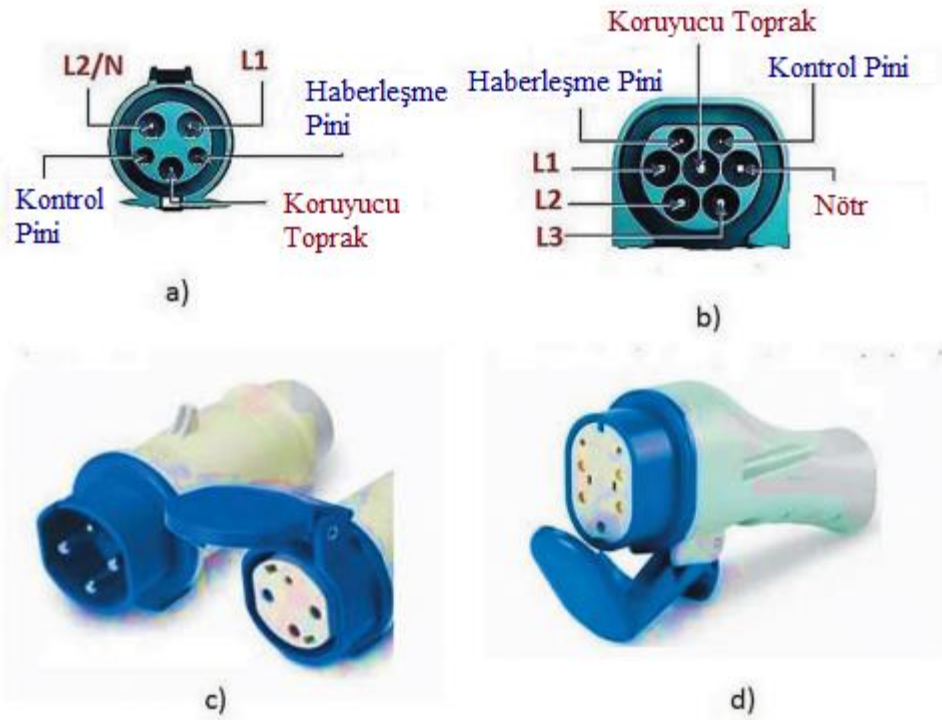
• **Seviye 2 şarj:** Bu seviye, 240 V tek fazlı AA gerilim derecesine ve maksimum 22 kW güç ile 80 A'ya kadar akım derecesine sahiptir. Kamuya açık şarj istasyonlarında ve bazı özel konumlarda hizmet sağlamaya yöneliktir. Konut birimleri için yalnızca 7,2 kW sağlar, çünkü konut tesisatlarında akım 30 A ile sınırlıdır. 1. seviye şarjın aksine, 2. seviye şarj, bağlantı kurulumu ile uygun ekipman gerektirir. Ayrıca, 1. seviyeye göre pahalıdır, kamusal şarj altyapısı için yaklaşık 1000-3000 USD ve bir yerleşim birimi için 2100 USD tutarındadır. Ancak, seviye 1'den 2-4 kat daha hızlıdır ve EA pilini 4-5 saatte tamamen şarj edebilir [38].

• **Seviye 3 şarj:** DA hızlı şarjı olarak da bilinen Seviye 3 şarj, EA pilini 1 saatten daha kısa sürede (yaklaşık 20–30 dakika) bataryayı %80'ine kadar şarj edebilir. Benzin pompalarına benzer şekilde, seviye 3 şarj, ticari kamusal şarj için kullanılır ve otoyollara veya özel kamu yakıt ikmal istasyonlarına kurulabilir. 480 V gerilimde çalışır ve 25 kW'tan 350 kW'a kadar güç sağlayabilir. Bu seviyede, besleme AA gerilimini DA'ya çeviren bir devre dışı şarj cihazı gereklidir. Yüksek güç gerektirdiğinden ve ABD'deki ortalama mahalleden daha fazla güç tüketebileceğinden evde şarj etmek için uygun değildir. Ayrıca, bu seviyedeki elektrikli araç besleme ekipmanları çok pahalıdır [39].

3.1.2. İletken Şarj Sistemi İçin Konnektörler

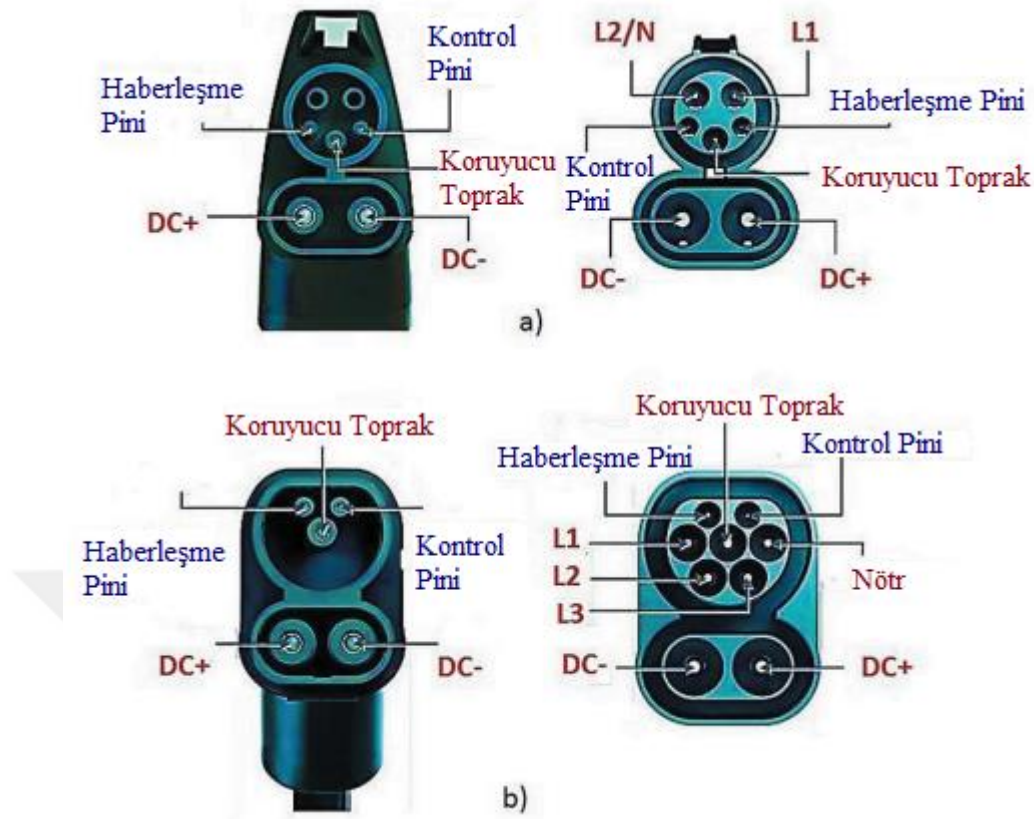
Tip 1 konnektör: Yazaki veya J-fişi olarak da bilinen Society of Automobile Engineering-j1772 konnektörü (IEC tip 1), Kuzey Amerika ve Japonya'da EA'ların 1. seviye şarjı için yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu konnektörler, ABD'de tek fazlı 120 V yavaş AA şarjı için tasarlanmıştır. Avrupa'da ve diğer ülkelerde, tip 1 konnektörler, 32 A akım derecesi ve maksimum 7,2 kW güç ile tek fazlı 240 V için kullanılır. Nissan, Volkswagen ve Audi gibi birçok EA üreticisi bu konnektörü kullanmaktadır. Ancak Tesla, müşterilerin EA'larını 1. seviye şarj ile şarj edebilmeleri için sattıkları her elektrikli otomobille birlikte bir adaptör sağlıyor. Bu konnektörün beş pini vardır: Şekil 2.8(a)'da gösterildiği gibi biri Hat1 için, biri Hat2/nötr için, biri koruyucu topraklama için, biri kontrol pilotu işlevi için, biri de yakınlık tespiti için kullanılır. Yakınlık algılama pini, EA'nın kontrol ünitesine bir sinyal verir, böylece EA, şarj istasyonuna bağlıyken hareketi kısıtlayabilir. Mandal serbest bırakma düğmesine mekanik olarak bağlıdır, bu nedenle şarj işlemi bittiğinde mandal serbest bırakma düğmesine sinyal verir. Kontrol pilot pini, şarj seviyesini ayarlamak, şarj işlemini başlatmak vb. EA ve EVSE arasındaki iletişim amaçları için kullanılır [33].

Tip 2 konnektör: Alman Menneks firması Avrupa Birliği ülkeleri içerisinde iletken şarj için bir konnektör önermiş ve buna Menneks konnektör veya Tip 2 konnektör olarak bilinen şirket adının adını vermiştir. Bu konnektörler, tek fazlı AA şarjın yanı sıra üç fazlı AA şarjı için tasarlanmıştır. Tip 2 konnektörler IEC 62916-2 standartlarına uygun, 3 kW – 43 kW tek/üç fazlı güç taşıyabilen ve IPXXB korumalıdır. Şekil 2.8(b)'de gösterildiği gibi, tip 2 girişinde 7 pin bulunur. Tek fazlı veya üç fazlı AA şarjı için 4 güç pini (Hat 1, Hat 2, Hat 3 ve Nötr); 2 sinyal pini (Yakınlık pilot pini ve Kontrol pilot pini); 1 adet topraklama koruma pini içermektedir. Tip 2 konnektörün, üç fazlı AA şebekelerini destekleyen tüm ülkelerde standart olması beklenmektedir. Bu nedenle, EA üretim şirketlerinin çoğu, özellikle BMW, Audi, Porsche ve Mercedes gibi Alman üreticiler, tüm yeni modelleri için Tip 2'yi standart olarak benimsemektedirler [33].



Şekil 3.9. EA şarjı için konnektörler a) Tip 1; b) Tip 2; c) Tek Fazlı Tip 3; d) Üç Fazlı Tip 3 [33]

Tip 3 konnektör: EA şarj altyapısı için yüksek güvenli konnektörler ve soketlerin teşvik edilmesi ve benimsenmesi amacıyla üç büyük endüstri tarafından oluşturulan EA fiş ittifakıdır. Bu ittifak, Tip 3 konnektör olarak bilinen, IEC standartlarına uygun başka bir konnektör önermiştir. Şekil 3.9 (c, d), Şekil 3.10'da gösterildiği gibi, bu konnektörün iletken olmayan kapalı bir kontakta vardır. Bu kontak görevi, kullanılmadığı zamanlarda konnektörün pinlerini fiziksel olarak örtmektir. Bu tip konnektör 32 A akım ile maksimum 22 kW güce sahiptir, Fransa ve İtalya'da yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu ittifak ayrıca tip 3 konnektörleri iki kategoride sınıflandırmıştır: Tip 3 A, motosiklet, scooter vb. gücü 3 kW'tan az olan hafif araçların tek fazlı şarjı için kullanılır. Tip 3 C, 3 kW'tan fazla güce sahip EA'lar için üç fazlı AA şarjı için kullanılır [33].



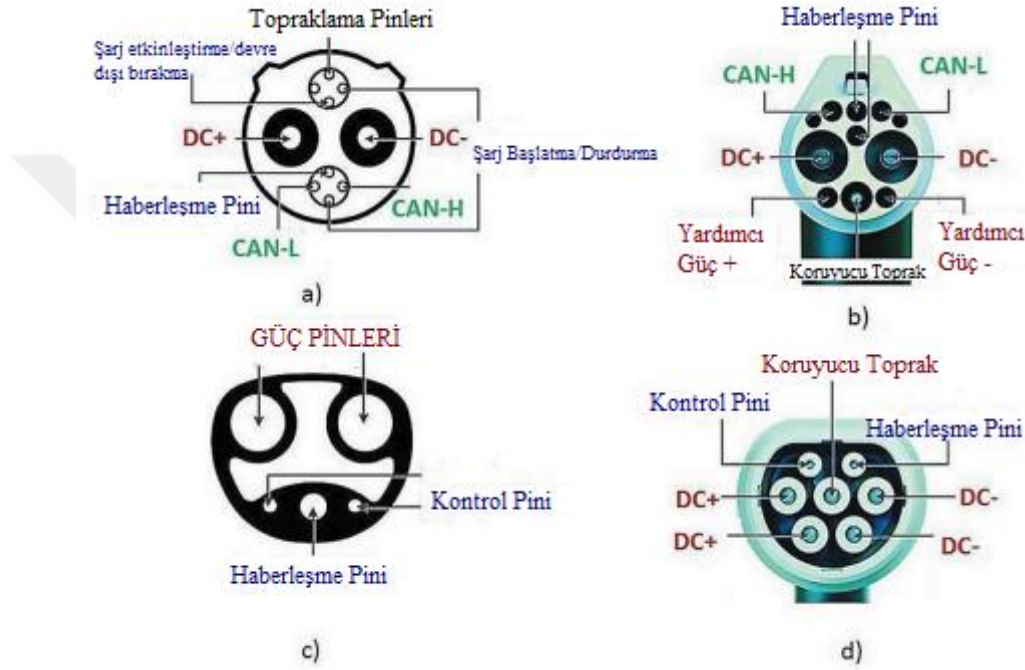
Şekil 3.10. EA şarjı için birleşik konnektörler CCS a) Combo1 veya CCS 1; b) Combo2 veya CCS 2 [33]

CHAdemo konnektörü: CHAdemo, Japon EA üreticileri ve Tokyo Electric Power Company (TEPCO) tarafından geliştirilen bir DA hızlı şarj konnektörüdür. Özellikle Asyalı EA üreticileri arasında yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Japon otomobili Mitsubishi-i-MiEV, bu konnektörü kullanarak seri üretimde DA hızlı şarjı gerçekleştiren ilk araç olmuştur ve şu anda Dünya genelinde birçok elektrikli araç tarafından kullanılmaktadır [33].

CHAdemo konnektörü toplamda dokuz pine sahiptir. Güç için üç pin bulunur: DA pozitif (+), DA negatif (-) ve topraklama kablosu. Ayrıca, sinyal amaçlı altı pin bulunur. Bu pinler, kontrol, yükleme ve sinyal iletişimi için kullanılır. Konnektör, denetleyici alan ağı protokolünü kullanarak kontrol, yükleme ve sinyal verme işlemlerini gerçekleştirir. Denetleyici alan ağı protokolü, elektronik kontrol üniteleri arasında iletişim sağlayan bir standarttır. İlk CHAdemo versiyonunda, konnektör 500 V DA gerilim ve 125 A akım derecesiyle maksimum 62,5 kW güç sağlayabilir. Daha sonra revize edilen CHAdemo 2.0 versiyonu, 1000 V DA gerilim ve 400 A akım derecesiyle maksimum 400 kW güç sağlayabilir. Bu bilgiler ışığında CHAdemo, elektrikli araçların hızlı DA şarjını destekleyen popüler bir şarj standardıdır [33].

CCS konnektörü: SAE ile işbirliği içinde, Avrupa Otomobil Üreticileri Birliği, kombine şarj sistemi (CCS) veya birleşik konnektör olarak bilinen başka bir konnektör türünü piyasaya sürmüştür. Bu konnektörün ana özelliği, tek bir konnektörle DA şarjın yanı sıra AA şarjı da destekleyebilmesidir. EA'ların AA ve DA şarjı için belirlenen IEC 62196–1, IEC 62196–2 ve IEC

62196–3 standartlarını karşılar [40]. ABD standart hane halkının priz gerilimi 120 V iken Avrupa'da 230 V'tur. Bu fark nedeniyle ABD CCS1 veya Combo1 kullanırken Avrupa CCS2 veya Combo2 kullanır. EA'nın CCS1 ve CCS2 konnektörü bir toprak pini ve iki iletişim pinini korumuştur. Sırasıyla Tip 1 konnektör ve Tip 2 konnektörleridir. Buna ek olarak DA şarj için 2 DA pin dahildir. EA'nın girişinde ise, CCS1 ve CCS2 için üst parçanın pin konfigürasyonları sırasıyla tip 1 konnektör ve tip 2 konnektör ile aynıdır. CCS, sırasıyla 200–1000 V ve 350 A gerilim ve akım değerleri ile 350 kW maksimum güç sağlayabilir ve EA ile EVSE arasındaki iletişim için güç hattı iletişim (PLC) protokolünü kullanır [41].



Şekil 3.11. a) CHAdemo konnektörü; b) GB/T konnektörü; c) ABD'de Tesla konnektör kullanımı; d) Avrupa'da Tesla konnektör kullanımı [33]

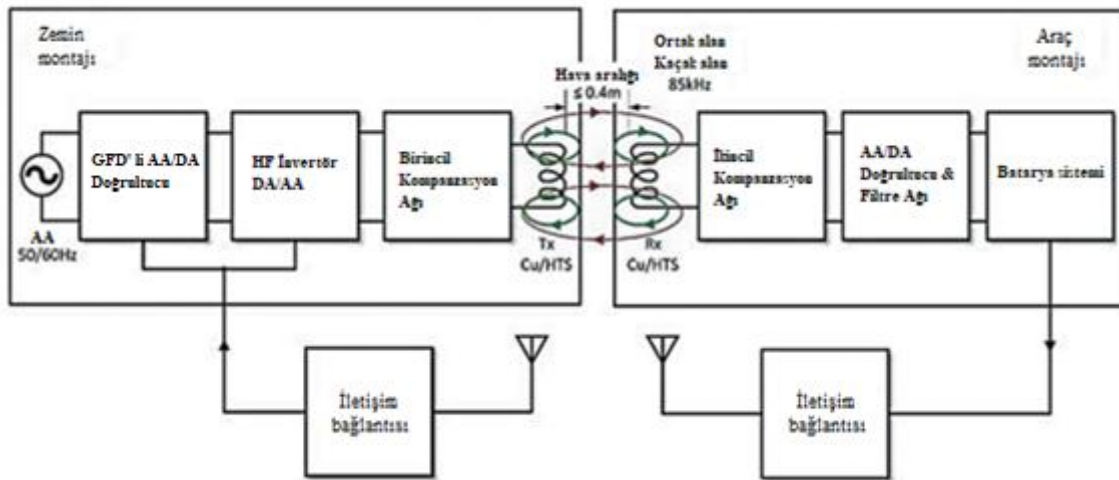
GB/T konnektörü: Çin Halk Cumhuriyeti'nin, EA'lerin DA şarjı için GuoBiao olarak bilinen kendi şarj konnektörü veya Çin ve Hindistan'da kullanılan GB/T konnektörü vardır. GB-20234.3–2015 standartlarına uygundur. Şekil 3.11(b)'de gösterildiği gibi dokuz pinlidir; Beş güç pini (ikisi DA için, ikisi düşük gerilimli güç için ve biri topraklama için); dört sinyal pini (ikisi yakınlık tespiti için ve ikisi kontrol pilotu işlevi için). CHAdemo'ya benzer şekilde, kontrol şarjını ve iletişimi başlatmak için denetleyici alan ağını da kullanır. Şu anda, sırasıyla 750 V, 1000 V ve 250 A gerilim ve akım değerleri ile 250 kW maksimum güce sahiptir [42].

Tesla süper şarj konnektörü: Kuzey Amerika'da Tesla, müşterilerinin bu istasyonlardan şarj yapmaları için süper şarj istasyonları inşa etmiştir. Tesla süper şarj konnektörü olarak bilinen tescilli şarj konnektörleri vardır. Avrupa ülkelerinde bulunan Tesla şarj istasyonları ise yerleşik DA şarj etme özelliğine sahip tip 2 konnektörü kullanır. Bu konnektörün yeni özelliği, aynı konnektör ve pinlerin EA'ların AA şarjı ve DA şarjı için kullanılmasıdır. Şekil 3.11(d)'de görüldüğü gibi 5

pinlidir; 3 güç pini (ikisi DA ve biri topraklama için) ve 2 sinyal pini (CAN tabanlı kontrol pilot pini ve yakınlık pilot pini). Sırasıyla 410 V ve 330 A gerilim ve akım derecesi ile maksimum 135 kW güce sahiptir [43].

3.2. Kablosuz Şarj

Soket ve EA arasındaki fiziksel bağlantı, özellikle kötü hava koşullarında çok tehlikeli olabilir. Ayrıca, benzin istasyonları veya havaalanları gibi yerlerde EA'ların girişini sınırlayan bir faktör olabilen şarj ve deşarj sırasında kıvılcıma neden olabilir. Daha yenilikçi ve kullanıcı dostu bir şarj tekniği olan kablosuz şarj yöntemi ise büyük ilgi çekmektedir. İletken şarjdan farklı olarak kablosuz şarj, EA konnektörü ile şarj giriş noktası arasında fiziksel bir bağlantı gerektirmez. Bu şarj yönteminde olduğu gibi, Kablosuz Güç Aktarımı (WPT) olarak da bilinir. Elektromanyetik kuplaj kullanılarak elektrik şebekesinden EA'ya kablosuz olarak güç aktarımı yapılır. WPT kavramı ilk olarak 1899'da Nikola Tesla tarafından tanıtılmıştır. ABD'de Colorado Spring de elektrik enerjisinin kablosuz olarak iletilmesi için deneyler yapmıştır. 1964'te başka bir araştırmacı William Brown, bir model uçağa güç vererek mikrodalga WPT'nin fizibilitesini onaylamıştır. Tipik olarak, bir iletken şarj sisteminin verimliliği %85-95 aralığındadır, ancak bazı durumlarda %80'e düşürülebilir. Bu nedenle, iletken bir şarj sistemiyle rekabet edebilmek için, kablosuz bir şarj sisteminin %90'dan fazla güç aktarım verimliliğine sahip olması gerekir. Qualcomm Halo kablosuz EA şarj cihazında, %90'ın üzerinde güç aktarım verimliliği elde etmek için sistemin güç derecesini 3,3 kW'tan 7 kW ve 20 kW'a çıkarmıştır. Gücün daha yüksek bir seviyede aktarılması sistemi daha etkili hale getirir, çünkü duran kayıpların sağlanan güce oranı iyileşir. Şekil 3.12, EA şarjı için kullanılan WPT teknolojisinin ana bileşenlerini göstermektedir [33].



Şekil 3.12. WPT sisteminin blok diyagramı [33]

WPT sisteminin iki alt sistemi vardır. Biri, otoparkın veya yolun altında bulunan zemin montajdır. Bu alt sistemde bir şebeke bağlantısı, güç faktörü düzeltmeli AA-DA doğrultucu, yüksek frekanslı DA/AA invertör, birincil kompanzasyon ağı ve bir verici bobin bulunur. İkinci alt sistem, EA gövdesinin altına takılan araç aksamıdır. Bir alıcı bobini, ikincil kompanzasyon ağı, AA-DA doğrultucu ve bir pil sistemi vardır. Zemin montaj alt sistemi ve araç montaj alt sistemi bir hava boşluğu ile ayrılır. Bu hava boşluğu genellikle araç tipi, yerden yükseklik vb. birçok faktöre bağlıdır. Ayrıca, bu iki alt sistem bir iletişim bağlantısı aracılığıyla bilgi paylaşır. Toprak tertibatı elektrik şebekesine bağlıdır. Elektrik şebekesinden beslenen AA gücü düşük bir frekansa sahiptir ve gücü aktarmak için hem birincil hem de ikincil bobinleri birbirine bağlamak yeterli değildir. Bu düşük frekanslı gücün tek bir dönüştürme aşamasında veya çift dönüştürme aşamasında yüksek frekanslı güce dönüştürülmesinin nedeni budur. Tek bir dönüştürme aşamasında, düşük frekanslı AA gücünün yüksek frekanslı AA gücüne doğrudan dönüştürülmesiyle verici/birincil bobine güç verilmesi mümkündür, ancak çoğu şarj sistemi iki aşamalı AA-DA ve DA-AA dönüştürmeyi tercih eder. İlk aşamada, bir şebekenin AA gücü, yüksek güç faktörü ve düşük harmonik içeriklere sahip olmak için güç faktörü düzeltmesiyle DA gücüne doğrultulur. İkinci aşamada, bir DA-AA invertörü, vericiye/birincil pede enerji vermek için DA gücünü yüksek frekanslı AA gücüne dönüştürür. Araç aksamı tarafında, AA-DA doğrultucu, bir alıcı/ikincil pedin yüksek frekanslı AA çıkışını DA'ya dönüştürür. Bir filtre ağı, EA'nın pilini şarj edebilen dalgasız bir akım üretir. Eviricilerin gerekli anahtarlama frekansları, kompanzasyon ağının rezonans frekansı tarafından belirlenir. Şu anda 20 Hz – 100 kHz aralığındaki rezonans frekansları kullanılmaktadır. Daha yüksek frekanslarda cilt etkisi, yakınlık etkisi gibi çeşitli kayıplar meydana gelir. Ayrıca dönüştürücü kayıpları da yüksek frekanslarda artmaktadır [33].

Çalışma prensibine göre, WPT üç kategoriye ayrılır: Elektriksel kuplaj, manyetik kuplaj ve elektromanyetik radyasyon. İlk iki mod radyoaktif değildir ve yakın alan bölgesinde çalışır. Manyetik bağlantı modu aynı zamanda endüktif güç aktarımı (IPT) olarak da bilinir. Bu mod transfer gücü için bir manyetik alan kullanır. Elektrik kuplaj modu, kapasitif güç aktarımı (CPT) olarak da bilinir, çünkü bu modda enerji, iki metal elektrot plakası arasında oluşturulan bir elektrik alanı aracılığıyla iletilir. Hem IPT hem de CPT modları radyoaktif olmamasına rağmen, elektrik alanları canlılara karşı manyetik alana göre daha hassas olduğundan, yine de elektrik eşleşmesi manyetik eşleşmeye göre çok fazla tercih edilmemiştir. Öte yandan, elektromanyetik radyasyon, gücü uzun bir mesafe boyunca kablosuz olarak iletmek için mikrodalgalar veya lazer kullanır. Ancak verimi düşüktür ve uzak alanda radyoaktif özelliğinden dolayı çok tehlikeli olabilir. Ayrıca, uygulamalara bağlı olarak WPT, statik kablosuz şarj, yarı kablosuz şarj sistemi ve dinamik kablosuz şarj sistemi olmak üzere üç farklı modda sınıflandırılır [33].

3.2.1. Yakın Alan Kullanarak Kablosuz Şarj

Endüktif Güç Aktarımı: Endüktif güç aktarımı (IPT), Faraday'ın indüksiyon yasası ve Lenz yasası ilkesini kullanır. Bu yasaya göre, bir iletkendeki zamanla değişen bir akım, zamanla değişen manyetik akı nedeniyle iletkenin etrafındaki manyetik alanı oluşturur; gerilim ikincil döngüde veya alıcı tarafında üretilir. Devreyi tamamlamak için alıcıya bir yük bağlanır ve herhangi bir kablo olmadan yüke güç aktarılır. IPT sisteminde, kablosuz güç iletimi, birincil/verici bobin ile ikincil/alıcı bobin arasında karşılıklı bir manyetik alanın indüksiyonu ile sağlanır. Bir şebekeden gelen AA giriş gerilimi, verici bobine beslendiğinde, alıcı bobindeki elektronları hareket halinde ve bu elektronların hareketinden dolayı getiren bir alıcı bobinden geçen bir manyetik alan oluşturur, böylece bir AA çıkış gücü üretilir. Bu AA gücü daha sonra EA pilini şarj etmek için düzeltilir ve filtrelendir. Vericiden alıcıya aktarılan gücün büyüklüğü karşılıklı endüksiyona, frekansa ve aralarındaki mesafeye bağlıdır. Gücü daha yüksek seviyelerde aktarmak için IPT sistemi, rezonans endüktif güç aktarımı (RIPT) veya birleştirilmiş manyetik rezonans (CMR) olarak da bilinen rezonans terimi ile yükseltilir. Yüksek kalite faktörü nedeniyle rezonatörler, gücü daha yüksek bir seviyede iletme yeteneğine sahiptir. Hem verici hem de alıcı bobinler rezonansta ayarlandığında maksimum güç aktarılabilir, yani her iki bobinin rezonans frekansı aynı olmalıdır. RIPT'nin çalışma frekansı genellikle 10–150 kHz aralığındadır. Rezonans frekansını elde etmek için, verici tarafında ve ayrıca alıcı tarafında kompanseör ağlarının seri-paralel kombinasyonları eklenir. Bu kompanzator ağları sadece rezonans frekansını iyileştirmekle kalmaz, aynı zamanda sistemdeki kayıpları da azaltır. Daha zayıf bir manyetik alanla bile, sistem rezonansta çalışıyorsa, IPT sistemindekiyle aynı miktarda güç kablosuz olarak aktarılabilir. IPT sistemlerinde, iletilen bir gücün verimliliği, verici ve alıcı bobinlerin dirençlerine bağlıdır. Kablosuz gücü uzun bir menzilde verimli bir şekilde iletme için, daha yüksek bir frekansta çalışırken hem verici hem de alıcı bobinlerinin dirençleri mümkün olduğunca düşük olmalıdır. Ancak, daha yüksek bir frekansta, cilt etkisi ve yakınlık etkisi oluşur ve sistemin genel performansını etkileyen bobinlerin eşdeğer dirençlerini artırır. IPT sistem performansını iyileştirmek için literatürde birçok tasarım şeması önerilmiştir. Geleneksel iki bobinli IPT sisteminde, iletim menzili arttıkça verimlilik önemli ölçüde azalır. Bu sorunun üstesinden gelmek için, verici ve alıcı bobinler arasına bir ara bobin (tekrarlayıcı veya rezonatör olarak da bilinir) yerleştirilir. Bu rezonatör, iletim aralığını ve sistemin verimliliğini artırmak için değerlendirilir. IPT sisteminin avantajlarından biri, çeşitli vericilerden tek bir alıcıya veya tam tersine güç akışını kontrol edebilmesidir. Buna bağlı olarak, literatürde çok verimli IPT sistemleri veya çok alıcılı IPT sistemleri önerilmiştir. Ahn ve Hong, IPT sistem performansını artırmak için, üç bobinli bir IPT sisteminin tasarım prosedürünü sunmuşlardır [44]. Önerilen sistemde verici, birbirine yakın yerleştirilmiş iki endüktif bobinden oluşmaktadır. Moon vd, üç bobinli IPT sisteminin uzun menzilli güç iletimi için daha verimli olduğunu doğrulamıştır [45]. Yazarlar, ara bobinin hem etkili mıknatıslanma endüktansını hem de öz endüktansı artırdığını ve

bunun da karşılıklı endüktansı artırabileceğini bildirmektedir. Zhang vd, üç bobinli IPT sisteminin iki bobinli bir sistemden daha yüksek verim elde etmesini sağlayan koşulları tanımlamıştır [46]. Üç bobinli bir IPT sisteminin temel özellikleri, verici rezonatör ile alıcı rezonatör arasındaki karşılıklı endüktansı arttırmak ve akım gerilimini kaynak bobinden verici rezonatöre aktarmaktır. Bu nedenle, sistem performansını artırır.

Geleneksel IPT sisteminde, gücün iletimi için yalnızca temel frekans bileşeni dikkate alınır ve harmonik bileşenler genellikle ihmal edilir. Bununla birlikte, giriş tarafında bir gerilim kaynağı olarak bir tam/yarım köprü inverter kullanıldığında, gücü kablosuz olarak da iletebilen tek harmonikler içerir. IPT sisteminin performansını iyileştirmek için literatürde çoklu çalışma frekansları veya çoklu frekanslı IPT sistemleri kavramı bildirilmiştir. Pantic vd. çok frekanslı IPT sisteminin incelemiştir [47]. Gücün kablosuz iletimi için hem temel frekansı hem de üçüncü harmonik bileşeni kullanmışlardır. Tek frekanslı IPT sisteminin aksine volt-ampere değerleri, verici ve alıcı bobin kayıpları ve eviricinin kayıpları azaltılır. Sonuçlar, çok frekanslı IPT sisteminin tipik bir tek frekanslı IPT sisteminden daha yüksek performansa sahip olduğunu göstermektedir. Tipik bir tek vericili çok alıcılı IPT sisteminde, alıcılar sabit bir rezonans frekansında ayarlanır, bu da alıcılar arasında bir geçiş olgusuna yol açar, dolayısıyla iletilen güçte kayıplar olur ve sistemin genel verimliliği düşer. Bu sorunu ele almak için Pantic vd, her alıcı rezonatörün bir kaynak tarafından üretilen farklı bir frekansa ayarlandığı çok frekanslı bir sistem kullanmışlardır [48]. Böylece çapraz kaplin ortadan kaldırılarak yüksek verim elde edilir. Gerçek hayattaki uygulamalarda, kaçınılmaz belirsizlikler IPT sistemlerinin parametrelerini değiştirir. Örneğin, EA'nın endüktif şarjında, karşılıklı endüktans EA'nın konumuna bağlıdır. Ayrıca EA bataryası, şarj etme ve boşaltma işlemi sırasında değişmeye devam eden dinamik eşdeğer empedansa sahiptir. Parametrelerdeki bu farklılıklar nedeniyle, IPT sistemlerinin verimliliği de değişmektedir.

Kapasitif Güç Aktarımı: Verici ve alıcı arasındaki gücün kablosuz aktarımı, bir elektrik alanının değişmesiyle üretilen yer değiştirme akımıyla da elde edilebilir. IPT'den farklı olarak, burada gücü kablosuz olarak aktarmak için mıknatıs veya verici-alıcı bobinler yerine kuplaj kapasitörleri kullanılır. Bu nedenle kapasitif güç aktarımı CPT olarak da bilinir [49]. IPT sisteminin, yüksek girdap akımı kayıpları, elektromanyetik etkisi ve gücü metalik bir bariyerden verimli bir şekilde iletme yeteneğinin olmaması gibi çeşitli dezavantajları vardır. Ayrıca bu sistemde kullanılan elektronik bileşenler de manyetik alandan etkilenmektedir. Bu şarj sisteminde, AA giriş gerilimi güç faktörü devrelerine verilir, bu da verimliliği artırır ve güç iletilirken sistemin kayıpları azalır. Ardından, H-köprüsü dönüştürücüler yüksek frekanslı AA gerilimi üretir ve bu yüksek frekanslı gerilim, değişen elektrik alanlarını oluşturan verici plakalarına uygulanır. Elektrostatik indüksiyon yoluyla, bu değişken elektrik alanları, alıcı plakalarda yer değiştirme akımını üretir. Alıcı tarafında, bu AA gerilimi DA'ya doğrultulur ve güç dönüştürücüler ve filtreler yardımıyla bir EA bataryasına

beslenir. CPT sistemi ile ilgili günümüzde çeşitli çalışmalar yapılmaktadır. Yapılan deneylerden, sistemin 1 MHz'de 2,4 kW'lık gücü 15 cm'lik bir hava aralığından %90,7 verimle iletebildiği doğrulanmıştır. Ancak, bu sistem yüksek kaçak elektrik alanlarından muzdariptir. Bu kaçak elektrik alanlarını en aza indirmek için Zhang vd. bir çözüm sunmuştur [50]. Bu çalışmada, 1 MHz'de 2,4 kW'lık gücü maksimum %91,6 verimle 15 cm hava aralığına iletmek için dört metal sac kullanılmıştır. Dai ve Ludois de uyumlu bir verici tamponu önermiştir [51]. Bu verici tamponu, araç vericiyle hizalanırken kendi kendine kalıplanacak şekilde tasarlanmıştır. Bu çalışmada, bağlantı plakaları arasındaki hava boşluğu azaltılarak ve böylece plakalar arasındaki elektrik alanları sınırlandırılarak yüksek bir bağlantı kapasitansı elde edilmiştir. Önerilen sistem, 530 kHz çalışma rezonans frekansında 1 kW güç iletmektedir. Başka bir çalışmada, CPT sisteminin 884 W'lık bir prototipi rapor edilmektedir [52]. Önerilen bu sistemde, güç 17 cm'lik bir hava aralığından %91,3 verimle iletilmiştir. Sistem 13,56 MHz frekansında çalıştırılmış ve 29,5 kW/m² güç aktarım yoğunluğuna ulaşmıştır. Regensburger vd, EA kablosuz şarj için yüksek güç yoğunluğuna sahip bir CPT sistemi önermiştir [53]. Bu sistemde kullanılan toroidal-interleaved-foil (TIF) çift sargılı indüktör temelli bir eşleştirme ağı, yüksek kendi rezonans frekansını gerçekleştirirken kayıpları azaltmak için kullanılmaktadır. Bu şekilde, sistemin genel performansı artırılmaktadır. 3.75 kW güce sahip, 12 cm hava boşluğu olan ve 13.56 MHz çalışma frekansına sahip bir prototip test edilmiştir. Deneylerden elde edilen sonuçlar, sistemin 49.4 kW/m² yüksek güç transfer yoğunluğuna sahip olduğunu ve %94.7 verimlilikle 3.75 kW güç iletimi yapabildiğini göstermektedir. Ayrıca, 3.1 kW güç iletimi sırasında %96.6 verimlilik gözlemlenmiştir.

CPT sisteminin muadili üzerindeki çeşitli avantajlarına rağmen, aşağıda tartışılan bazı sınırlamaları ve zorlukları vardır: Örneğin EA şarj sistemi gibi büyük hava aralığı uygulamaları için CPT sistemlerinin güç yoğunluğu, IPT sistemlerine kıyasla daha azdır. Bunun nedeni, CPT sistemlerinde kullanılan, tipik olarak gücü 10 cm'lik bir mesafeden iletmek için pF aralığında olan küçük boyutlu kuplaj kapasitörleridir. Tablo 3.2, CPT sistemleri ile IPT sistemleri arasındaki güç yoğunluğu karşılaştırmasını göstermektedir. Tablo 3.2'den, IPT sistemi için bildirilen en yüksek güç yoğunluğunun 160 kW/m² olduğu, CPT için en iyi bildirilen güç yoğunluğunun ise 51,6 kW/m² olduğu açıkça görülmektedir. Bununla birlikte, plaka gerilimlerini artırarak ve rezonans frekansını 10 MHz'e yükselterek güç yoğunluğu etkili bir şekilde iyileştirilebilir. Bu nedenle plaka gerilimini artırmak için kompanzasyon devre parametrelerini optimize edecek araştırmalar yapılmalıdır. Güç transferinin verimliliği ve CPT sisteminin performansı temel olarak kuplaj kapasitansına (C_c) bağlıdır. Bu C_c , plakalar arasındaki hava boşluğu ve yanlış hizalama ile değişen etkili bağlantı alanı ile sınırlıdır. Kapasitif plakalar arasındaki hava boşluğu, C_c ile ters orantılıdır. Hava aralığı arttıkça C_c azalır, bu nedenle plakalar arasında daha fazla gerilim düşüşü iletim sırasında güç kaybına neden olur. Bu nedenle, CPT sistemini küçük hava aralığı uygulamalarıyla sınırlandırır. Rozario, kompanzasyon indüktörünün anahtarlama frekansının veya boyutunun artırılmasıyla, büyük hava

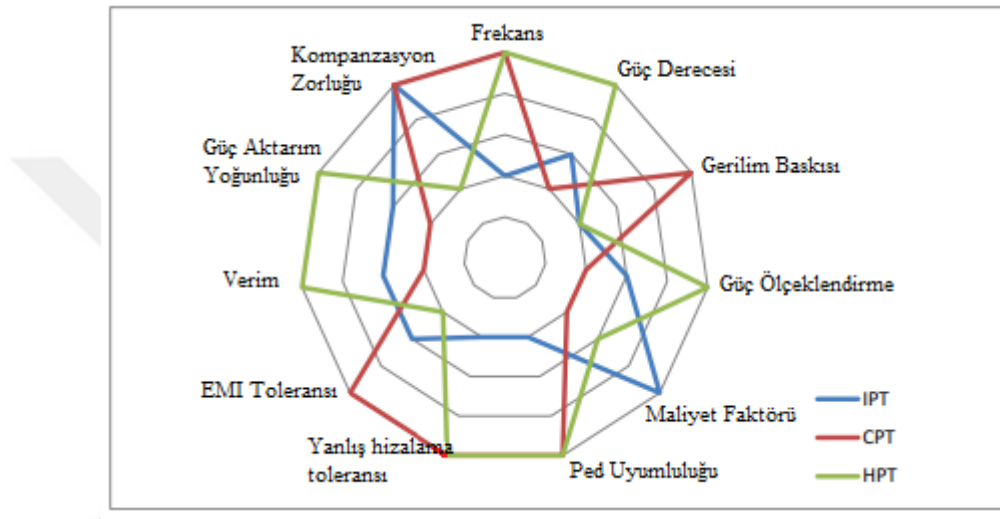
aralığına bağlı olarak C_c 'deki gerilim düşüşünün azaltılabileceğini öne sürmüştür [54]. Ayrıca kompanzasyon indüktörünün boyutunun artmasıyla sistemin ağırlığı ve maliyeti de artacaktır. Bununla birlikte, Vincent vd, hem verici hem de alıcı tarafına kompanzasyon topoloji devreleri ekleyerek, gücün alıcı tarafa daha yüksek bir frekansta etkili bir şekilde iletilebileceğini bildirmiştir [55]. Son zamanlarda elektrik alan tekrarlayıcıya dayalı başka bir konsept önerilmiştir. Zhang vd, verici ve alıcı arasına kısa devre edilmiş iki plakadan oluşan bir tekrarlayıcı eklenerek hava boşluğunun iki katına çıkarılabileceği belirtmiş ve 150 W çift LLC kompanzasyon tabanlı bir CPT prototipi önermiştir [56]. Güç 18 cm'lik bir hava aralığından iletildiğinde %74,7'lik bir verim gözlenir. Ancak aynı sistem 36 cm'lik bir hava aralığından 305 W'lık bir güç iletmek için kullanıldığında verim %55'e düşmektedir. Ancak, verici ve alıcı arasına kısa devre edilmiş iki plakadan oluşan bir tekrarlayıcı yerleştirildiğinde, aynı sistemin verimliliği %55'ten %66,9'a yükselmiştir. Verici ve alıcı arasındaki yanlış hizalama, C_c 'yi etkileyen başka bir faktördür. Hizasızlık arttıkça plakalar arasındaki etkin kuplaj alanı azalır, bunun sonucunda C_c ve çıkış gerilimi düşer. Dolayısıyla, güç iletim verimliliği azalır. EA şarj durumunda, park edilmiş EA'nın yanlış hizalanması güç kayıplarına neden olur ve şarj süresini artırır. Optimize edilmiş kompanzasyon devreleri ile geliştirilmiş kuplör tasarımları ile bu sorun çözülebilir ve yanlış hizalamaya karşı yüksek tolerans sağlanabilir [57].

Tablo 3.2. CPT sistemleri ile IPT sistemleri arasındaki güç yoğunluğu karşılaştırması

WPT yöntemi	Güç Derecesi (kW)	Frekans (kHz)	Verimlilik	Verici Kuplör Boyutu (cm x cm)	Güç Yoğunluğu (kW/m ²)	Hava Aralığı (cm x cm)
IPT	7.7	85	95.2	50 x 50	30.8	15
	7.7	79	96	60 x 80	16	15
	50	85	90.8	41 x 76	160	16
CPT	2.4	1000	90.8	61 x 61 x 2	6.4	15
	0.58	6780	90.2	12.25 x 61 x 2	19.6	12
	0.88	13560	91.3	13.8 cm dairesel çap x2	29.5	12
	1.12	6780	85	13.8 cm dairesel çap x2	37.5	12
	1.2	7420	74.7	12.25 cm dairesel çap x 2	51.6	12
	3.1	13560	96.1	-/-	49.4	12

Tablo 3.3. CPT sistemleri ve IPT sistemlerinin hizalama bilgileri

WPT Yöntemi	Güç (kW)	Boyuna Yanlış Hizalama Toleransı (cm)	DA-DA Verimliliği	Verici Kuplörü	Boyuna Yanlış Hizalama Verimi (%)	Hava Aralığı (cm x cm)
IPT	3.5	15 X-yönü 15 Y-yönü	95.1%	45 x 45	56 X-yönü	15
CPT	2.4	30	90.8	61 x 61	89.4	15



Şekil 3.13. IPT, CPT ve HPT sistemi için karşılaştırmalı analiz [33]

Tablo 3.3, CPT'nin IPT sistemine kıyasla daha iyi hizalama toleransına sahip olduğunu göstermektedir. Tablo 3.3'ten ilgili boyutlar ve hizalama mesafesi için CPT sistemindeki güç aktarımının muadilinden %33 daha fazla olduğu görülebilir. Yukarıdaki tartışma, IPT sisteminin daha yüksek güç aktarım yoğunluğuna sahip olduğu ve gücü büyük bir hava boşluğu üzerinden daha verimli bir şekilde iletebildiği, buna karşın CPT sisteminin daha uygun maliyetli olduğu ve yüksek hizalama toleransına sahip olduğu sonucuna varmaktadır. Bu nedenle, IPT ve CPT sisteminin avantajları birleştirilerek, birleşik güç aktarım sistemi veya hibrit güç aktarım sistemi (HPT), Şekil 3.13'de gösterildiği gibi daha yüksek güç ölçekleme kapasitesi, daha yüksek güç aktarım yoğunluğu, gelişmiş yanlış hizalama toleransı ve azaltılmış kompanzasyon devreleri elde edilebilir [57].

3.2.2. Uzak Alan Kullanarak Kablosuz Şarj

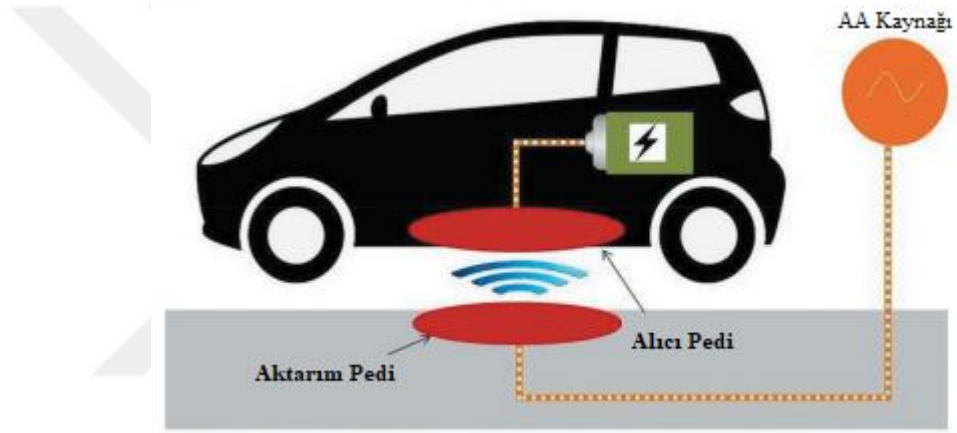
EA'ların büyük bir hava boşluğu üzerinden kablosuz olarak şarj edilmesi, uzak alan teknolojileri aracılığıyla yapılabilir. Mikrodalga/radyo dalgaları ve lazer, uzak alan teknolojileri kullanılarak kablosuz şarj için kullanılan iki ana yöntemdir. Bu yöntemlerle EA şarjı, çok yeni

oldukları ve çok fazla literatür bildirilmediği için kısaca tartışılmaktadır. Uzak alan teknolojilerini kullanan kablosuz şarjın üç önemli adımı vardır: Birincisi, elektrik gücünün bir radyo frekansına, mikrodalgaya veya lazere dönüştürülmesi, ikincisi dönüştürülen bu gücün bir hava ortamı aracılığıyla alıcı uca gönderilmesi, üçüncüsü ise alıcı uçta iletilen gücün toplanması ve tekrar elektrik gücüne dönüştürülmesidir [58]. Mikrodalgalar ve radyo dalgaları kullanarak güç iletmek kavramı, kablosuz iletişim için kullanılan en eski yöntemlerden biridir. Bu kavram ilk olarak radyo dalgalarını kullanarak 150 kHz frekansında güç aktaran Nikola Tesla tarafından kullanılmıştır. Yukarıda tartışılan tüm kablosuz şarj teknikleri, verici ve alıcı arasındaki bağlantıyı kullanır. Bu nedenle, mesafe ve kuplaj katsayısındaki değişiklik nedeniyle, verici ve alıcının empedansındaki bir değişiklik dikkate alınmaz. Çünkü mikrodalga güç transferinde (MPT), verici ve alıcı elektromanyetik olarak ayrılır, bu nedenle empedans değişimini dikkate almaya gerek yoktur. Ayrıca, çift yönlü olmaları nedeniyle, uzun mesafelerde güç iletmek için kullanılabilirler [59]. MPT sisteminde, gücü bir uçtan diğerine iletmek için verici ve alıcı antenler kullanılır. MPT sisteminin temel prensibi, bir vericinin DA gücü 2,45 GHz'de bir ışına dönüştürerek verici anteni aracılığıyla aracın altında bulunan araç alıcı antenine (doğrultucu anten olarak da bilinir) göndermesidir ve bu alıcı anten yakalanan ışını dönüştürür. Finansal fizibilite ve boyutsal esneklik nedeniyle, verici antenden bir mikrodalga ışını almak için açıklığa bağlı mikro şerit yama anteni yerleştirilir. Diğer WPT sistemlerinin aksine, MPT sistemi yüksek güç iletim verimliliğine sahip değildir. Bununla birlikte, antenlerin uygun şekilde tasarlanmasıyla sistemin verimliliği etkili bir şekilde artırılabilir. MPT sisteminin verici tarafı ve alıcı tarafı antenleri için temel prensipler ve tasarım hususları, belgelerde kapsamlı bir şekilde açıklanmaktadır. MPT sistemi, gücü büyük bir hava boşluğu üzerinden iletebilir; MPT sisteminde ışın yönlendirme teknolojisi kullanılarak, birçok EA tek bir verici antenden şarj edilebilir, statik ve dinamik şarj için aynı MPT sistemi kullanılabilir. Ekonomik açıdan bakıldığında, MPT sistemi büyük ölçekli dağıtım için çok etkileyicidir [60].

Lazer güç aktarımı (LPT), başka bir uzak alan kablosuz şarj tekniğidir ve gücü büyük bir hava boşluğu üzerinden aktarabilir. Gücün lazerle iletilmesi de, elektrik akımının bir lazer ışınına dönüştürüldüğü çok karmaşık bir olgudur. Daha sonra bu ışın, EA'nın altına yerleştirilmiş fotovoltaik (PV) hücrede birleştirilir. Rathod ve Hughes, LPT teknolojisi ile EA şarjı için Matlab simülasyonları yapmış [61], sistemin farklı giriş gücü seviyelerinde etkinliğini incelemişler ve mevcut teknoloji ile maksimum %10-%29 verim elde edilebileceği sonucuna varmışlardır. Karmaşık sistem yapıları, çok düşük verimlilik ve yüksek önlem talebi nedeniyle, LPT sistemi aracılığıyla EA şarjının uygulanabilirliği henüz kanıtlanmamıştır. LPT şu anda araştırmanın erken bir aşamasındadır. Birçok akademisyen bu teknolojinin diğer şarj yöntemleriyle rekabet edebilmesi için sınırlamaları üzerinde çalışmaktadır. Ancak EA şarjı için LPT sisteminin geniş ölçekli uygulamasının yakın zamanda tamamlanması beklenmemektedir.

3.2.3. Statik Kablosuz Elektrikli Araç Şarj Sistemi

Mevcut EA teknolojisi için kablosuz şarj sisteminin en çok tercih edilen şeklidir. Adından da anlaşılacağı gibi, bir EA'nın aküsü sabit kaldığında ve sürücü aracın içinde olmadığında şarj olur. Bu mod ile şarj etmek için EA, kablosuz şarj sistemi ile donatılmış park alanlarına veya garaja, ofislere, ticari binalara, alışveriş merkezlerine vb. park edebilir. Statik kablosuz şarj sistemi, iletken şarjı minimum sürücü yardımı ile kolayca değiştirebilir, hacimli kablolar ve elektrik çarpması güvenliği gibi ilgili sorunların üstesinden gelir. Bazı sabit park alanlarındaki bir statik kablosuz şarj sistemi yerleştirme şeması Şekil 3.14'de gösterilmektedir. Son on yılda, bu alanda çeşitli araştırmalar yapılmıştır. EA'ya etkili güç aktarımını garanti etmek için hem verici bobini hem de alıcı bobini için çeşitli bobin konfigürasyonu veya güç pedi incelenir.



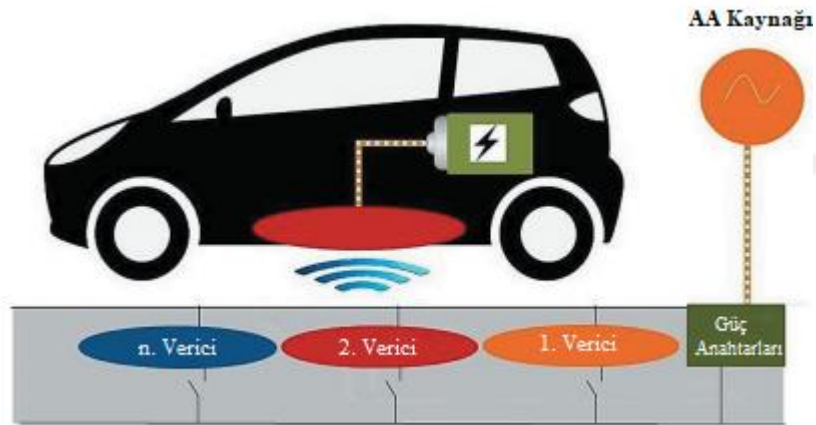
Şekil 3.14. Statik kablosuz şarj sistemi konsepti [33]

Karşılıklı indüktansı artırmak için DD bobinlerinin boyutları sonlu eleman analizine dayanarak optimize edilmiştir. Yazarlar, önerilen rezonatör ile eşleşme alanının dairesel rezonatöre göre dört kat daha fazla arttığını bildirmişlerdir. Ancak, bu DD rezonatörü, yatay yönde yaklaşık %35'lik bir hizalama hatası olduğunda manyetik akının iptal olması nedeniyle manyetik sıfır nokta olayından muzdarip olur [62]. Bunu ele almak için statik kablosuz şarj sistemi için bir DDQ rezonatörü önerilmiştir. Bu sistemde, bir kare dalga bobini DD bobinlerinin altına merkezde yerleştirilir. Manyetik akının x bileşeni ve y bileşeni tam olarak yakalanır. Önerilen DDQ rezonatörü, hem yatay hem de dikey yönde yüksek hizalama toleransına sahiptir.

3.2.4. Dinamik Kablosuz Elektrikli Araç Şarj Sistemi

Maliyet ve menzil kaygısı, EA'ların benimsenmesindeki iki ana engeldir. Menzili genişletmek için, EA'ların daha sık şarj edilmesi veya büyük kapasiteli bir pil takılması gerekir. Ancak pil paketinin ömrünü azaltacağı için özellikle yüksek akımlarda pillerin sık sık şarj edilmesi önerilmez. Ayrıca, bir EA'nın maliyetini ve ağırlığını artıracığından, büyük bir pil takımına sahip

bir EA da iyi bir çözüm değildir. Dinamik kablosuz şarj, bu sorunların üstesinden gelebilecek yükselen bir teknolojidir ve araştırmacılar, dinamik kablosuz şarj sistemi ile EA pilini atlayarak gücün aktarma organlarına doğrudan aktarılması yoluyla %90'dan fazla verimliliğin elde edilebileceğini kanıtladılar [63]. Bu yöntemde, EA'nın pili araç hareket halindeyken şarj olur. Aynı zamanda sürüş sırasında veya karayoluyla çalışırken şarj etme olarak da bilinir. Dinamik kablosuz şarj sistemi blok şeması Şekil 3.15'de gösterilmektedir. Yol üzerindeki bobinler, gücü sürekli olarak alıcı bobine iletir veya alıcı bobine ileten bir yol oluşturur. Alıcı bobinde alınan güç, filtrelendikten sonra EA pilini şarj eder. Dinamik kablosuz şarj sistemi için tasarlanmış iki tür yol vardır: Uzatılmış tek bobinli yol ve parçalı yol veya toplanmış yol. Her iki tip de şekil ile ayırt edilir. Uzatılmış tek bobin yolu, boyutları alıcı bobinden daha uzun olan bir verici bobinden oluşur. Segmentli yol bir dizi bobinden oluşurken, bu bobinlerin boyutları alıcı bobine benzer. Bağlanmış verici bobinin yalnızca bir kısmına sahiptir ve bu nedenle gücü alıcı bobine iletir. Uzatılmış tek bobin yoluna dayalı dinamik kablosuz şarj sistemi, basit bir mimariye sahip olduğu için kontrol edilmesi çok kolaydır. Ayrıca, bu sistemde, yol bobini ile alıcı bobin arasındaki karşılıklı endüktans hemen hemen aynı kalır.

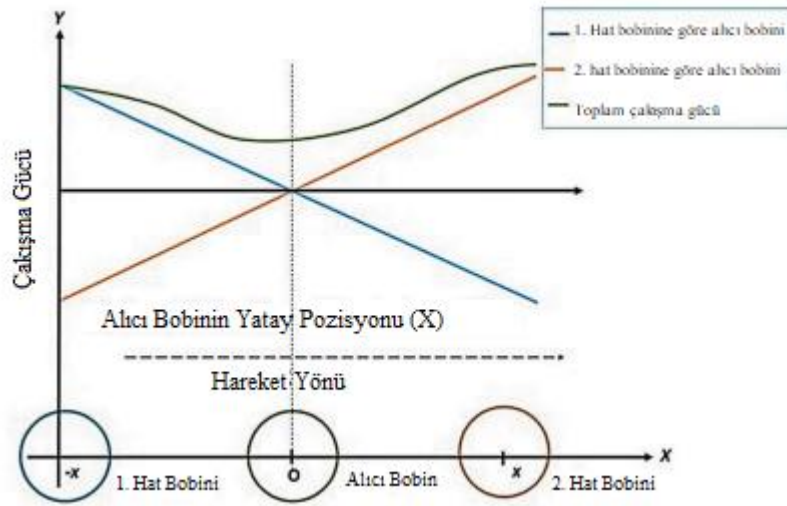


Şekil 3.15. Dinamik kablosuz şarj konsepti [33]

Çeşitli avantajlara rağmen verimsizlik, uzatılmış tek bobinli palet tasarımının en büyük dezavantajıdır. Bunun nedeni, alıcı bobinin yolun küçük bir bölümünü kullanmasıdır. Ayrıca, elektrikli araç çalışmadığında bile tüm yol enerjili kalır ve sonuç olarak sistemin genel verimliliği düşer. Ancak bu sınırlama, parçalı ray tasarımı ile aşılabılır. Bu düzende, her bir verici bobininin kendi telafi devresi olduğundan, EA'nın konumunu algılayarak bir yolun belirli bir bölümüne enerji verilebilir; araç hareket ettiğinde verici bobinlerinin enerjisi kesilebilir. Böylece, bu tasarımın benimsenmesiyle, sistemin genel verimliliği iyileştirilebilir ve bağlanmamış kısımlardan gelen elektromanyetik alan radyasyonları kontrol altına alınabilir.

Dinamik kablosuz şarj sistemi, muadili statik kablosuz şarj sistemine kıyasla çeşitli avantajlara sahip olmasına rağmen, bu sistem EA'ların hareketine dayandığından, bu nedenle EA

yol boyunca hareket ederken, verici bobini ile alıcı bobininin görelî konumu değışmeye devam eder. Görelî konumdaki bu değışimler nedeniyle akı da değışir ve sonuç olarak, dinamik kablosuz şarj sisteminin ana sınırlamalarından biri olan çıkış gücü dalgalanır [64]. Verici bobini ve alıcı bobini birbiriyle tamamen hizalandığında, iletim gücünün verimliliği maksimumdur. Bununla birlikte, EA hareket etmeye devam ettiğinde, alıcı bobini de başka bir verici bobinine doğru kayar. Alıcı bobinin iki verici bobin arasında bir ara durumda hizalandığı bir an gelir, bu sırada sistemin verimliliği yarıya düşer. Güç verimliliğindeki dalgalanmanın nedeni, tüm verici bobinlerin seri bir konumda birbirine bağlanmasıdır. Bu nedenle, alıcı bobin ara bir konumda olduğunda, uyarma akımı iki verici bobinin her birinden geçer ve verimin düşmesine neden olur. Şekil 3.16'da gösterilen grafik, bir verici bobininin pozisyonundaki değışiklikle birlikte güç aktarımındaki dalgalanmayı göstermektedir. Açık yeşil çizgi, araca iletilen toplam güçtür. Turuncu ve gök mavisi çizgiler, sırasıyla birinci verici izleme bobinine ve ikinci verici izleme bobinine göre alıcı bobininin hizalamasını gösterir.

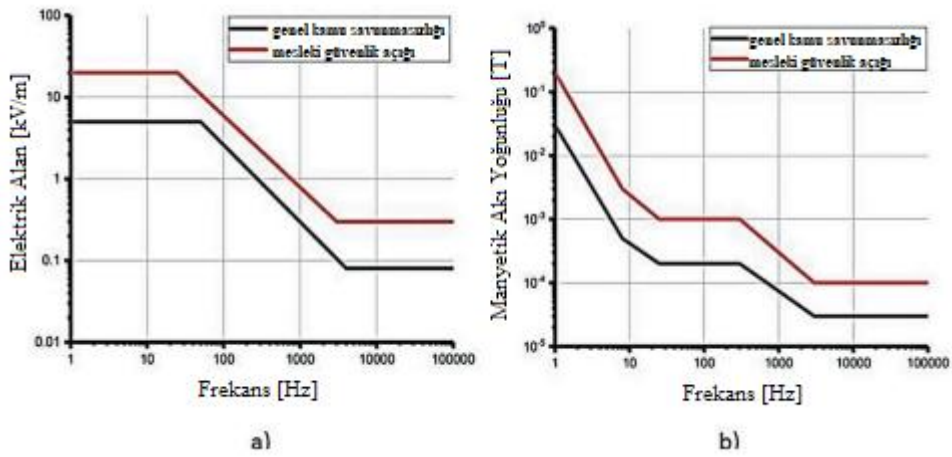


Şekil 3.16. Birincil bobinden ikincil bobine güç aktarımı [33]

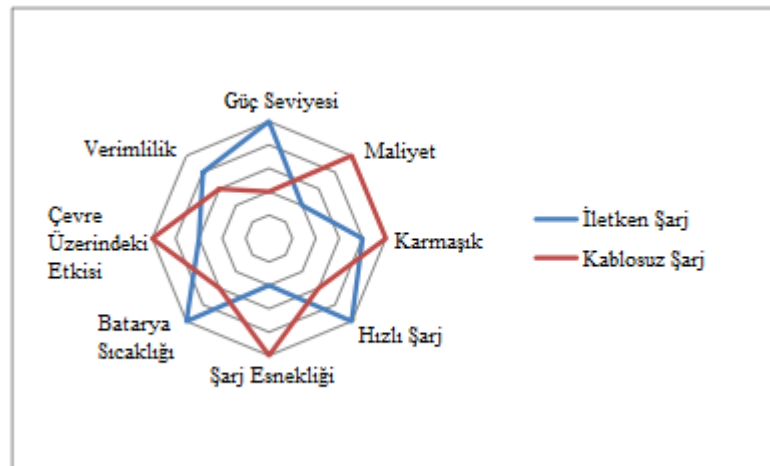
İletken şarjdan farklı olarak, WPT sistemi durumunda EA ile şarj cihazı arasında kablolu bağlantı olmaması, onu yüksek güçlü (50 kW'ın üzerinde) şarj uygulamaları için güvenli ve sağlam bir teknoloji haline getirecektir. WPT sistemi gelecek vaat eden bir teknolojidir, ancak şu anda gelişiminin ilk aşamasındadır ve yüksek güç değerlerine sahip değildir, öte yandan iletken şarj, EA şarjı için kullanılan en olgun şarj tekniğidir ve birçok uluslararası iletken şarj için şarj standartları geliştirilmiştir. İletken şarj sistemi ile karşılaştırıldığında, WPT sistemi daha az güç yoğunluğuna sahiptir ve bu sistemde enerjinin dönüştürülmesi gerektiğinden daha az verimlidir, bu da iletim verimliliğini sınırlar [64]. Ayrıca iletken şarj sisteminin aksine daha maliyetli ve karmaşık bir sistemdir. Ayrıca mesafe, frekans, hizalama, bobin tasarımı, sistemin verimliliğini doğrudan veya dolaylı olarak değıştiren çeşitli faktörlerdir ve endüstrilerin iletken şarjı kablosuz şarjla

değiştirmesinin önündeki en büyük engeldir. Sistemin verimini ve hava aralığını artırmak için çalışma frekansı ve güç seviyelerinin değiştirilmesi gerekmektedir. Çalışma frekansının artmasıyla verimlilik arttığından, çalışma frekansındaki değişiklik sistemi daha verimli ve kompakt hale getirebilir. Ancak, her güç seviyesinin bir frekans sınırı vardır [65].

Kablosuz şarj sisteminin konuşlandırılmasındaki diğer büyük engeller sağlık ve güvenlidir. Kablosuz güç iletimi sırasında elektromanyetik alanlar üretilir. Bu nedenle, elektromanyetik radyasyona çok fazla maruz kalmak olumsuz sağlık etkilerine neden olur. Elektromanyetik radyasyonun insanlar üzerindeki etkisini sınırlamak için Uluslararası İyonlaştırıcı Olmayan Radyasyondan Korunma Komisyonu (ICNIRP) ve IEEE sınırlamalar getirmiştir. İnsanların elektromanyetik radyasyona maruz kalmasına ilişkin güvenlik düzeyi için IEEE standartlarına göre, frekans aralığı 3-300 GHz arasındadır. Elektrik alanı ve manyetik alan için mesleki güvenlik açığı ve genel kamu savunmasızlığı için referans seviye sırasıyla Şekil 3.17 ve Şekil 3.18'de gösterilmektedir.



Şekil 3.17. (a) zamanla değişen elektrik alanı (b) zamanla değişen manyetik alan [33]



Şekil 3.18. İletken şarj ile kablosuz şarj arasındaki karşılaştırma [33]

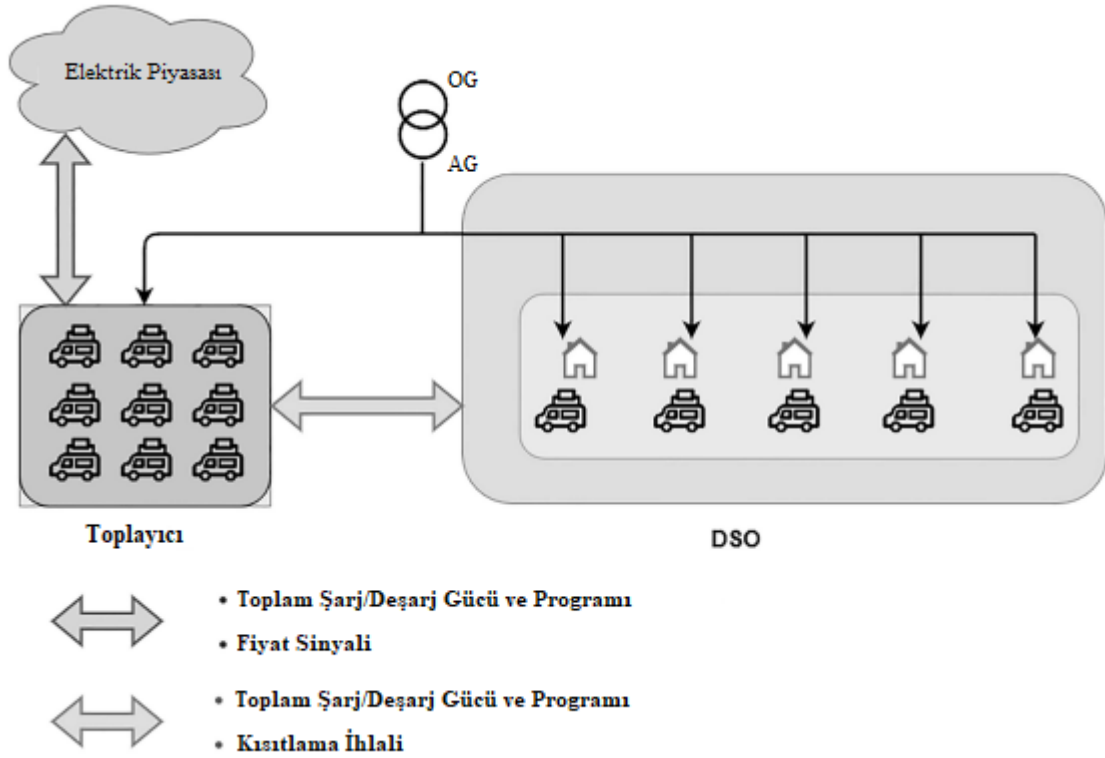
4. ELEKTRİKLİ ARAÇ ŞARJ İSTASYONLARININ DAĞITIM ŞEBEKESİNE ETKİLERİ

Son yıllarda, EA'ların ekonomik, sosyal ve çevresel etkileri üzerine birçok araştırma yapılmıştır. Ancak, mevcut senaryo etki çalışmalarındaki en son trend alanlarından biri, EA'ların şebeke ile entegrasyonudur. Bu bölüm, EA'ların dağıtım şebekesine çevresel, toplumsal ve ekonomik etkileri üzerinde durulacaktır. EA'ların şebekeye entegrasyonu kapsamlı bir etki değerlendirmesi gerektirir. Bu değerlendirmede, EA'ların elektrik şebekesi üzerindeki doğrudan ve dolaylı etkileri, çevresel ve finansal etkileri düşünülmelidir. Yabancı petrol bağımlılığını azaltma, enerji güvenliğini artırma, gürültü ve hava kirliliğini azaltma, sera gazı emisyonlarını düşürme gibi çevresel faydalar sadece birkaç tanesidir. Artan ekonomik fırsatlar, toplu taşıma erişiminde artış ve gelişmiş halk sağlığı, sosyal etkiler arasındadır. Düşük petrol fiyatları, EA altyapısına artan yatırım, ticaret dengesinin iyileştirilmesi ve daha hızlı ekonomik büyüme, ekonomik etkiler arasındadır [66].

4.1. Şarj İstasyonlarının Şebekeye Olumsuz Etkileri

EA'ların şebekeye entegrasyonunun potansiyel etkilerini anlamadan önce, EV'lerin dağıtılacağı kontrol mimarisi ve pazar çerçevesini anlamak önemlidir. Güç seviyelerini göz önünde bulundurarak, bireysel bir EA'nın özellikle düşük güçlü şarj cihazları için şebekede önemli bir etkisi olmayabilir. Ancak, EA'ların birikmiş etkisi önemli olabilir ve hatta elektrik piyasalarında bir rol oynayabilirler. EA'lar büyük ölçekte kullanıldığında, "Toplayıcı" adı verilen yeni bir varlık ortaya çıkmaktadır. Bir Toplayıcı, EA sahiplerinin gereksinimlerini dikkate alarak bir grup EA'nın şarjını yönetir ve kontrol eder. Aynı zamanda, dağıtım sistem operatörü tarafından belirlenen kısıtlamalara dayanarak EA pillerini elektrik piyasasında şarj etme ve deşarj etme esnekliğini kullanır [67]. Şekil 4.1, orta gerilimden düşük gerilime kadar olan EA entegrasyon mimarisini vurgulamaktadır.

Şekil 4.1'den, EA'ların bireysel evlerde şarj edilebileceği veya bir Toplayıcıda diğer EA'larla şarj edilebileceği gözlemlenebilir. Bireysel evlerde şarj/dış şarj yapan EA'lar genellikle yavaş şarj tesisatlarına sahip olacaktır. Dağıtım Sistemi Operatörleri (DSO) tarafından kontrol edilmeleri gerekebilir ve ideal olarak piyasada yer almamalıdır. Kontrolsüz EA'lar genellikle kendi isteklerine göre şarj olabilir ve yük talebinde, gerilim düşmesinde, hat akımında veya transformatör yüklenmesinde bir artışa yol açabilir. DSO, bu durumla başa çıkmak için hazır olmalıdır. Kontrol edilebilen EA'lar ise DSO'ya, şebekeye destek olmak adına şarjlarını veya deşarjlarını yönetme olanağı sağlayabilir. Literatürde EA'ların kontrol edilebilir ve kontrolsüz şarj yönü bazen sırasıyla akıllı şarj ve aptal şarj olarak adlandırılır.



Şekil 4.1. EA entegrasyon mimarisi [67]

Toplayıcıda şarj olan EA'ler genellikle kontrol edilebilir ve birikmiş güçleri nedeniyle elektrik piyasasında yer alabilir ve çeşitli yardımcı hizmetler için şebekeye destek olabilir [67]. Birçok EA entegrasyon çalışması, mevcut ve planlanan üretim kapasitesini mevcut ve gelecekteki elektrikli araç taleplerini karşılamak için analiz etmiştir. Bu çalışmalar, EA düşük yük saatlerinde şarj edilirse, EA şarj talebini karşılamak için yeni enerji santrallerine ihtiyaç olmayacağı sonucuna varmıştır. Araçların şarjı kontrol edilirse ve düşük yük saatlerine kaydırılırsa, EA şarjı sistem pik yük talebini artırmayacak ve bu nedenle enerji üretim yeterliliğini etkilemeyecektir. Ancak kontrolsüz şarj durumunda, büyük ölçekli EA dağıtımı arz yeterliliğini azaltabilir ve dolayısıyla ek enerji santrallerinin inşasını gerektirebilir. Özellikle, zaman ve araç eklemelerinin yerine bağlı olarak, EA şarjının ek güç üretimi gerektirebileceği veya mevcut kapasitenin kullanımını artırabileceği ve rezerv marjlarını azaltabileceği sonucuna ulaşılmıştır. Bu durumlarda, üretim güvenilirliği ciddi bir endişe olacaktır [68].

4.1.1. Harmonik Bozulmalar

EA'ların şarj edilmesi nedeniyle güç kalitesi sorunları ortaya çıkabilir. EA şarj cihazlarında güç elektroniği cihazları kullanıldığından, yüksek oranda EA entegrasyonu, güç ağının güç kalitesini etkileyebilir. EA şarj cihazları tarafından güç şebekesine enjekte edilen harmonikler, saf

sinüzoidal dalga formuyla beslenmek üzere tasarlanmış elektrik güç sistemi bileşenleri üzerinde olumsuz etkilere yol açacak ve sistem kayıplarını artıracaktır [21].

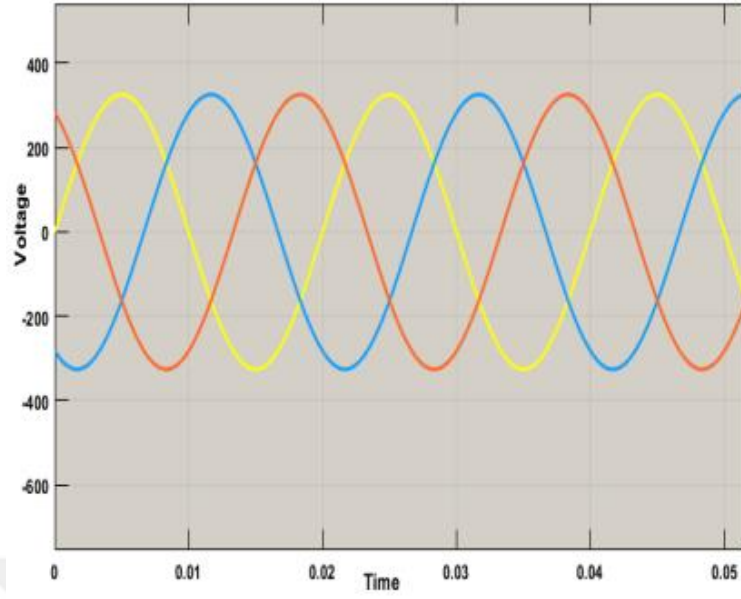
- Harmoniklerin şebekeye enjekte edilmesi, gerilim dalga formunun bozulmasına yol açar. Bu bozulma, hassas elektronik cihazların performansını olumsuz etkileyebilir ve ekipmanın ömrünü kısaltabilir.
- Harmonik akımlar, şebeke bileşenlerinde (örneğin transformatörler ve kablolar) ekstra ısınmaya neden olur. Bu ısınma, enerji kayıplarını artırır ve bileşenlerin verimliliğini düşürür.
- Harmoniklerin neden olduğu ek akımlar, dağıtım sisteminin kapasitesini düşürerek ek yükler için daha az rezerv kapasite bırakır. Bu durum, sistemin genel esnekliğini ve güvenilirliğini azaltır.

Bu yüksek harmonikler, dağıtım ağı bileşenlerinin (yani transformatörler ve kablolar) yaşam döngüsünü azaltacaktır. Ancak, EA şarj cihazı devrelerinin uygun tasarımı, kontrol stratejisi ve şarj cihazı devresine entegre edilen filtreler ile şarj cihazı harmonikleri önemli ölçüde hafifletilebilir [21].

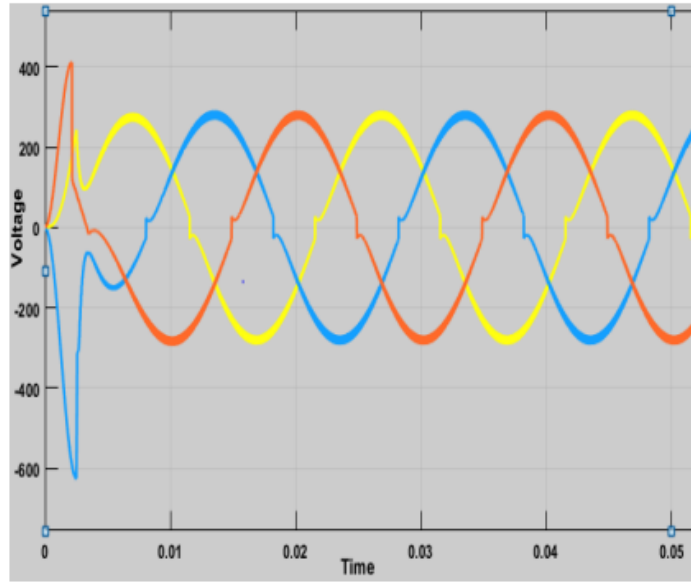
- EA şarj cihazlarına eklenen pasif ve aktif filtreler, harmonik akımların şebekeye enjekte edilmeden önce filtrelenmesini sağlar. Pasif filtreler, belirli harmonik frekanslarını hedef alarak bu frekansları baskılar. Aktif filtreler ise daha dinamik bir yaklaşım sunarak geniş bir frekans aralığında harmonikleri azaltabilir.
- Yüksek frekanslı Pulse Width Modulation (PWM) teknikleri, güç elektroniği devrelerinde kullanılarak harmoniklerin azaltılmasına yardımcı olur. Bu teknikler, harmonik spektrumunu yüksek frekanslara kaydırarak filtreleme işlemini kolaylaştırır.
- Modern EA şarj cihazları, gelişmiş doğrultucu tasarımları kullanarak harmonik üretimini azaltabilir. Özellikle, çok darbeli doğrultucular ve faz kaydırmalı doğrultucular, harmoniklerin azalmasına yardımcı olabilir.

4.1.2. Gerilim Kalitesi

EA şarj istasyonlarının aynı anda çok sayıda aracı şarj etmeye başlaması durumunda, şebeke üzerindeki akım ve gerilim değerlerinde dalgalanmalar artabilir. Bu durum, şebeke üzerindeki gerilim kalitesini düşürebilir ve diğer kullanıcılara da olumsuz etkiler yapabilir. Büyük sayıda EA'nın neden olduğu yüklenme bu soruna yol açar. EA şarj cihazı bağlanmadan önce ve bağlandıktan sonra gerilim profilindeki değişim Şekil 4.2 ve Şekil 4.3'te gösterilmektedir. Şekil 4.3, Şekil 4.2'deki EA şarj cihazları bağlı olmadan gerilimin etkilenmediğini gösteren gerilim profiline kıyasla harmonik bozulmalardan etkilenen gerilimi göstermektedir. Şekil 4.3'te, harmonik bozulmalarla birlikte gerilim düşmesi ve yükselmesi olduğu görülmektedir [68].



Şekil 4.2. Şarj cihazı bağlanmadan önce giriş gerilimi [68]



Şekil 4.3. Şarj cihazını bağlandıktan sonra giriş gerilimi [68]

4.1.3. Transformatör Güç Kaybı

EA şarj istasyonlarının kümelenmesi, yani bir alanda birden fazla şarj istasyonunun yoğun bir şekilde kullanılması, transformatörlerin aşırı yüklenmesine ve güç kaybının artmasına neden olabilir. Aşırı yüklenme senaryoları ve harmonik akımlar, transformatör çekirdeğinde ısı kayıplara ve genel güç kaybının artmasına yol açar. Bu durum aynı zamanda transformatörün kVA derecesini düşürebilir. Özellikle, EA'ların aynı anda yoğun bir şekilde şarj edildiği durumlarda, transformatör üzerinde aşırı yüklenme oluşabilir. Bu durumda, transformatörün nominal kapasitesi (kVA) aşılırsa, transformatörün sıcaklığı ve güç kaybı artar [69].

Harmonik akımlar da bir diğer önemli faktördür. EA'nın şarjı sırasında oluşan harmonik akımlar, transformatör çekirdeğinde ısı kayıplara neden olabilir. Harmonik akımların etkisi, transformatörün performansını olumsuz etkileyerek kVA derecesini düşürebilir ve güç kaybını artırabilir. Bu nedenle, kümelenmiş EA şarjı durumunda transformatörlerin kapasitesi ve güç kalitesi dikkate alınmalıdır. Transformatörlerin aşırı yüklenmesini önlemek için, transformatörlerin kapasitesi, harmonik filtreleme ve güç faktörü düzeltme gibi önlemler alınabilir. Ayrıca, dağıtım sistemlerinin planlanması ve yönetimi, kümelenmiş EA şarjı senaryolarını dikkate alacak şekilde optimize edilmelidir. Harmonik etkilerden kaynaklanan transformatör güç kaybı, daha yüksek bir k-faktöre sahip bir transformatör seçerek azaltılabilir. Dağıtım transformatörüne bağlı olan EA sayısı ne kadar fazla olursa, kayıplar o kadar artacak ve buna bağlı olarak güç sisteminin verimliliği azalacaktır [69].

4.1.4. Faz Dengesizliği

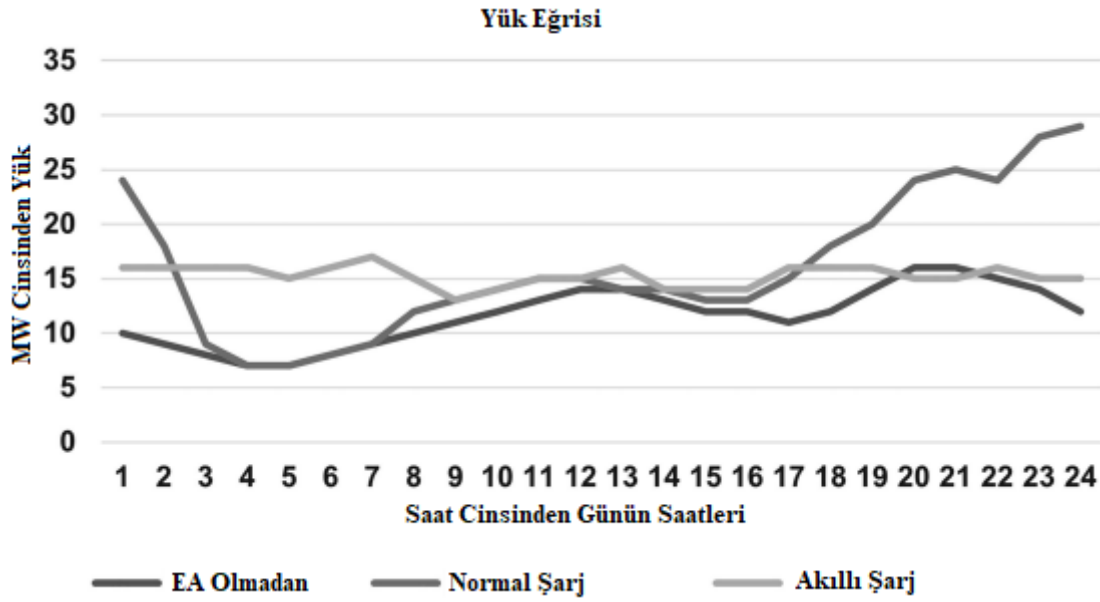
IEEE, faz dengesizliğini negatif veya sıfır sıra bileşenlerinin pozitif sıra bileşenine olan oranı olarak tanımlar. Üç fazlı bir sistemde bir veya daha fazla hat-hat geriliminin uyuşmadığı durumda faz dengesizliği oluşur. Yani, bir fazın diğerlerine göre gerilim seviyelerinin eşit olmaması durumunda faz dengesizliği meydana gelir. Bu tanım özellikle dağıtım sistemlerinde tek fazlı hatlara bağlı olan PHEA'larla ilgili bir endişe kaynağıdır [67].

PHEA'ların üç fazlı sistem besleyicisi boyunca eşit olmayan bir şekilde dağıtılması, farklı gerilim profillerine ve kapasitelere neden olabilir. Bu durumda, besleyicinin farklı fazları arasında gerilim dengesizlikleri ortaya çıkabilir. Bu, sistemin istenmeyen gerilim dalgalanmalarına ve dengesizliklere maruz kalmasına yol açabilir. Ancak, bu sorun, doğrudan üç fazlı bir sisteme bağlı olmayan veya DA hızlı şarj ve aşırı hızlı şarj altyapıları gibi özel altyapılar kullanılarak hafifletilebilir. Bu tür altyapılar, PHEA'ları daha dengeli bir şekilde besleyebilir ve sistemin genel gerilim dengesizliğini azaltabilir. Elektrikli araçların şebeke entegrasyonu sırasında faz dengesizlikleriyle ilgili sorunları ele almak için özel çözümler geliştirmenin önemini vurgular [67].

4.2. Şarj İstasyonlarının Şebekeye Olumlu Etkileri

Bu bölümde, EA'ların büyük ölçekli entegrasyonunun etkileri üzerinde odaklanılmıştır. Bireysel EA'ların şebekeye minimal bir etkisi olacağından daha önce bahsedilmiştir. DSO bunları kısmen kontrol ederek dağıtım sisteminin yönetimine dahil edebilir. Ancak, Toplayıcıda biriken EA'ların kümülatif etkisi önemli olabilir ve çeşitli yardımcı hizmetler sunarak piyasada rol alabilirler. Bu bölümde, bu yardımcı hizmetler, EA entegrasyonunun pozitif etkileri olarak kabul edilmiştir [67].

Talep Yanıtı: EA penetrasyonu arttıkça, sistem yük talebi, EA pillerinin şarj edilmesi gerektiği için artacaktır. Şarj stratejisi, yük yönetiminde önemli bir rol oynar. Şekil 4.4'te görüldüğü gibi, normal şarj senaryosu için gece boyunca pik yükün arttığı ve pik yük ile minimum yük arasındaki farkın yaklaşık 22.5 MW olduğu gözlemlenmiştir. Oysa, akıllı şarj stratejisi için bu fark 5 MW'a düşürülmüştür. Bu, DSO için çok avantajlıdır, çünkü pik yükü desteklemek için rezervlere bağlı olmak zorunda değildir. Burada, EA'ların birleşik yükü, pik yükü azaltmaya yardımcı olabilen bir rezerv gibi hareket edebilir. EA'ların V2G özelliği, iyi bir yük yönetimi/talep yanıtı stratejisi geliştirmekte önemli bir rol oynar [67].



Şekil 4.4. Farklı şarj stratejileriyle yük talebindeki değişiklik [67]

Düzenleme: Toplanmış EA'lar, sadece rezervlere olan bağımlılığı azaltmakla kalmaz, aynı zamanda rezervler gibi hareket ederek şebekeyi frekans ve gerilim düzenlemesinde destekleyebilir. Kontrol edilebilir yükler olarak EA'lar ve V2G özellikleri, aktif güç ilave ederek veya tüketerek şebekeye birincil, ikincil veya üçüncül frekans kontrolü sağlayabilir. Bu noktada, EA'ların birincil veya ikincil rezerv olarak kullanılması, sistemin şebekeye bağlı olup olmadığına bağlı olacaktır. Benzer şekilde, EA'lar reaktif güç sağlayarak veya tüketerek gerilim düzenlemesine destek olabilir. Bu tür bir yardımcı servis modu, DSO'nun Batarya Enerji Depolama Sistemlerine olan yatırımını azaltmasına ve sistemin performansını acil durumlar dahilinde bile iyileştirmesine yardımcı olur [67].

4.3. Şarj İstasyonlarının Çevresel Etkileri

Taşıma sektörü geniş çapta karbon emisyonlarının ikinci büyük katkı sağlayıcısı olarak kabul edilmektedir. Bu nedenle, küresel iklimdeki hızlı değişimlere acil bir çözüm bulma ihtiyacına yanıt

olarak hükümetler, giderek daha fazla önceliği EA'lara vermektedir. Yoğun nüfuslu şehirlerde EA'ların yaygın olarak kullanılması, taşıma sektörünün elektrikleştirilmesini gerçekleştirmek için kritik öneme sahiptir. Taşıma devrimi, CO₂ emisyonlarında önemli bir azalmaya neden olmuş, bu da olumlu çevresel sonuçlara yol açmıştır. EA'lar ile elektrik şebekeleri arasında bir bağlantı kurulması, bu bağlamda hayati bir öneme sahiptir. Ayrıca, EA'ların bir araçtan şebekeye (V2G) ekosistemi içinde benimsenmesi, temiz ve güvenilir enerji kaynaklarının kullanımıyla bir toplumun dayanıklılığını ve sürdürülebilirliğini artırır. EA teknolojisindeki gelişmeler, fosil yakıtlara olan bağımlılığı azaltma potansiyeline sahiptir, bu da daha sürdürülebilir bir küresel çevre oluşturmada önemli bir katkı sağlar. EA'ların yenilenebilir enerji kaynaklarıyla entegrasyonu birçok çevresel avantajı beraberinde getirir. V2G teknolojisi, sürdürülebilir bir enerji devriminin gerçekleştirilmesinde vazgeçilmez bir bileşen olarak kabul edilir [70], [71].

EA'ların çevresel etkisini değerlendirirken, CO₂ emisyonlarında önemli bir azalmanın olduğunu kabul etmek önemlidir. EA'ların içten yanmalı motorlu araçlara göre daha düşük sera gazı emisyonlarına katkıda bulunan başlıca faktörlerden biri, yüksek verimli elektrik motorlarının kullanımıdır. EA'lar, benzinle çalışanlara göre daha küçük bir çevresel etkiye sahip olduklarından tercih edilir. Bununla birlikte, EA'ların çevresel avantajları ve dezavantajları aşağıdaki gibi sıralanabilir [70, 71].

Pozitif Etkiler:

- EA'lar, egzoz borusundan herhangi bir hava kirliliği emisyonu üretmez, bu da atmosfere zararlı maddelerin salınımını azaltır.
- EA'lar düşük işletme sesi nedeniyle gürültü kirliliğine katkıda bulunmaz, özellikle şehirlerde yaşayan insanlar için daha sakin bir çevre sağlar.
- EA'lar, içten yanmalı motorlardaki gibi motor yağına ihtiyaç duymaz, bu da çevre üzerinde olumlu bir etki yaratır ve bakım maliyetlerini azaltır.
- EA fren balataları, paslanma, ufalanma ve erken arıza gibi sorunları önlemek amacıyla tasarlanmıştır, bu da daha uzun ömürlü ve düşük bakım maliyetli sistemler sunar.
- EA üreticileri, geri dönüştürülebilir ve biyolojik olarak parçalanabilir bileşenleri öncelikli olarak kullanarak ürünlerini çevre dostu hale getirme çabasıdadır.
- Yenilenebilir enerji kaynakları tarafından beslenen EA şarj istasyonları, benzin istasyonlarına kıyasla daha düşük emisyon salınımına sahiptir, bu da enerji tüketiminin çevresel etkisini azaltır.
- EA şarj istasyonları, benzin istasyonlarına kıyasla "yakıtı" yakınında tutabilir, bu da enerji tüketimini daha etkili bir şekilde planlamayı sağlar.

Negatif Etkiler:

- EA şarj istasyonları için kullanılan elektrik, hala fosil yakıtlardan elektrik üreten enerji santrallerinden gelirse, bu durum çevresel etkinin bir kısmını dengeleyebilir.
- EA pillerinin üretimi, nikel, lityum ve kobalt gibi çeşitli metallerin çıkarılmasıyla gerçekleşir ve bu süreç habitat tahribatına, kirliliğe ve su kıtlığına neden olabilir.
- EA pilleri, geri dönüşüm gözetilmeden üretilmiş olsa da, geri dönüşüm süreçlerini kolaylaştırmak için teknolojinin hızla geliştirilmesi gerekmektedir.
- EA'ların ağırlığı ve torku, lastiklerin erken aşınmasına neden olabilir, bu da daha sık lastik değişimi ve artan lastik atığına yol açabilir.

4.4. Şarj İstasyonlarının Ekonomik Etkileri

EA'lar, çevre dostu özellikleri ve geleneksel benzinle çalışan araçlara göre daha yüksek verimlilikleri nedeniyle popülerliklerinde önemli bir artış yaşamıştır. Son batarya teknolojilerindeki ilerlemeler, şarj altyapısının genişlemesi ve küresel müşteri talebinin artması, EA'ları önemli bir sürücü için pratik ve uygun bir seçenek haline getirmiştir. Söz konusu araçlar, tekerlekleri döndürmek için benzin kullanmak yerine pillerle güçlendirilmiş ve elektrik motorları kullanan araçlardır. Gelişmekte olan bu teknoloji, küresel düzeyde ekonomik avantajlar da sağlamaktadır. EA sahipleri ve enerji şebeke sistemi, EA'ların ekonomik etkilerine dair değerli perspektifler sunmaktadır [72].

EA'lar, günlük şarj taleplerini karşılamak için sürekli enerji ihtiyaçları nedeniyle elektrik şebekesine önemli bir yük getirir. Beklenen elektrik talebindeki artış, elektrik üretimi için daha yüksek yakıt ve kapasite giderlerine neden olacaktır. Ayrıca, talebin yoğun olduğu dönemlerde şebeke bakımı giderek zorlaşmaktadır. Ekonomik ve çevresel açıdan bir avantaj ise EA'ları yenilenebilir enerji kaynakları kullanarak şarj etme yeteneğidir [3].

EA'lar, sahiplerine, öncelikle elektrik motorlarının dikkate değer verimliliği ve nispeten uygun maliyetli güç kaynağı nedeniyle çok sayıda avantaj sunmaktadır. Sonuç olarak, bu araçların işletme giderleri azalmakta ve bu da onları tüketiciler için finansal açıdan verimli bir seçenek haline getirmektedir. EA teknolojisinin verimliliği, İYM araçlarla karşılaştırıldığında önemli ölçüde daha yüksektir. EA'nın verimi tipik olarak %60 ile %70 arasında değişir. EA'lar, geleneksel İYM araçlara kıyasla yüksek ilk yatırım maliyetleri gibi bir dezavantaja sahiptir. Bunun temel nedeni, elektrikli araçlarda pahalı pil teknolojisinin kullanılmasıdır [3].

4.5. Çözüm Önerileri

Akıllı Şarj: Bu yenilik, EA'ların şebekeyi aşırı yükten korumak için şarj edilme şeklini optimize eder. Yenilenebilir enerjinin kullanılabilirliğine veya dış saatlerde şarj yapılabilirliğine göre EV şarjını planlamaya izin verir.

Akıllı Şebeke: Akıllı şebekeler, enerji üreticileri ile kullanıcılar arasındaki enerji akışını bilgi ve iletişim teknolojisi kullanarak otomatik olarak tespit, izleme ve düzenleme yeteneğine sahip şebekelerdir. Akıllı şebekelerde EA'lar, koordineli bir şekilde şarj edilip deşarj edilebilir. Böylece güneş ve rüzgar gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının sisteme entegre edilmesine izin verilir.

EA Şarj Yönetim Sistemleri: Bu sistemler, EA'ların şebekeden çektikleri enerji miktarını maksimize etmeye yardımcı olabilir. Böylece dağıtım ağları ve dağıtım transformatörü üzerindeki yük azaltılabilir. Kullanım tabanlı veya dinamik tarifeler sunarak bu sistemler, EA şarj maliyetini de azaltmaya yardımcı olabilir.

Talep Tepkisi: Şirketler, EA sahiplerini arabalarını pik saatler dışında şarj etmeye teşvik ederek, pik talebi azaltabilir. Bu, sistemin üzerindeki yükü azaltır, daha iyi düzenleme hizmeti sağlar ve şebeke içinde sıkışıklık olasılığını azaltır.

Araçtan-Şebekeye Şarj Sistemi (V2G): EA'lar, V2G teknolojisine göre şebekeye elektrik sağlayabilir. Bu, pik saatlerde ek enerji sağlayarak şebeke frekansı düzenleme hizmetine yardımcı olur.

EA/Şebeke Uyumluluk Standartları: EA'ların şebekeye güvenli ve etkili bir şekilde entegrasyonu, EA/şebeke uyumluluk standartları sayesinde sağlanabilir. Bu standartlar, EV şarjı için kullanılan donanım ve yazılımın şebekeye uyumlu hale getirilmesini sağlar.

Yenilenebilir Enerji Kaynakları: EA'lar, güneş ve rüzgâr gibi yenilenebilir enerji kaynakları kullanarak şarj edilebilir. Bu, geleneksel enerji kaynaklarına olan bağımlılığı azaltır ve sera etkilerini düşürür.

Batarya Depolama: Büyük bir EA talebi olduğunda, batarya depolama teknolojisi EA'ları şarj etmek için kullanılabilir. Ayrıca, ekstra yenilenebilir enerjinin depolanmasına da olanak tanır. Bu, enerji maliyetlerinin azalmasına neden olur. Ek yük, batarya enerji depolamasını bir yardımcı hizmet cihazı olarak kullanarak sağlanabilir.

Elektrikli Araç Şarj Ekipmanı: EA şarj ekipmanı, EA şarjı için tüketilen enerji miktarını azaltarak şebeke üzerindeki yükü azaltmaya yardımcı olur.

Güç Elektroniği: Güç elektronik dönüştürücüler, EA'dan şebekeye enerji transferini kolaylaştırır, düzenler ve iyileştirir. Dönüştürücülerdeki ilerlemeler, uygun EA şebeke entegrasyonunu ve enerji akış yönetiminde gelişmeyi mümkün kılar.

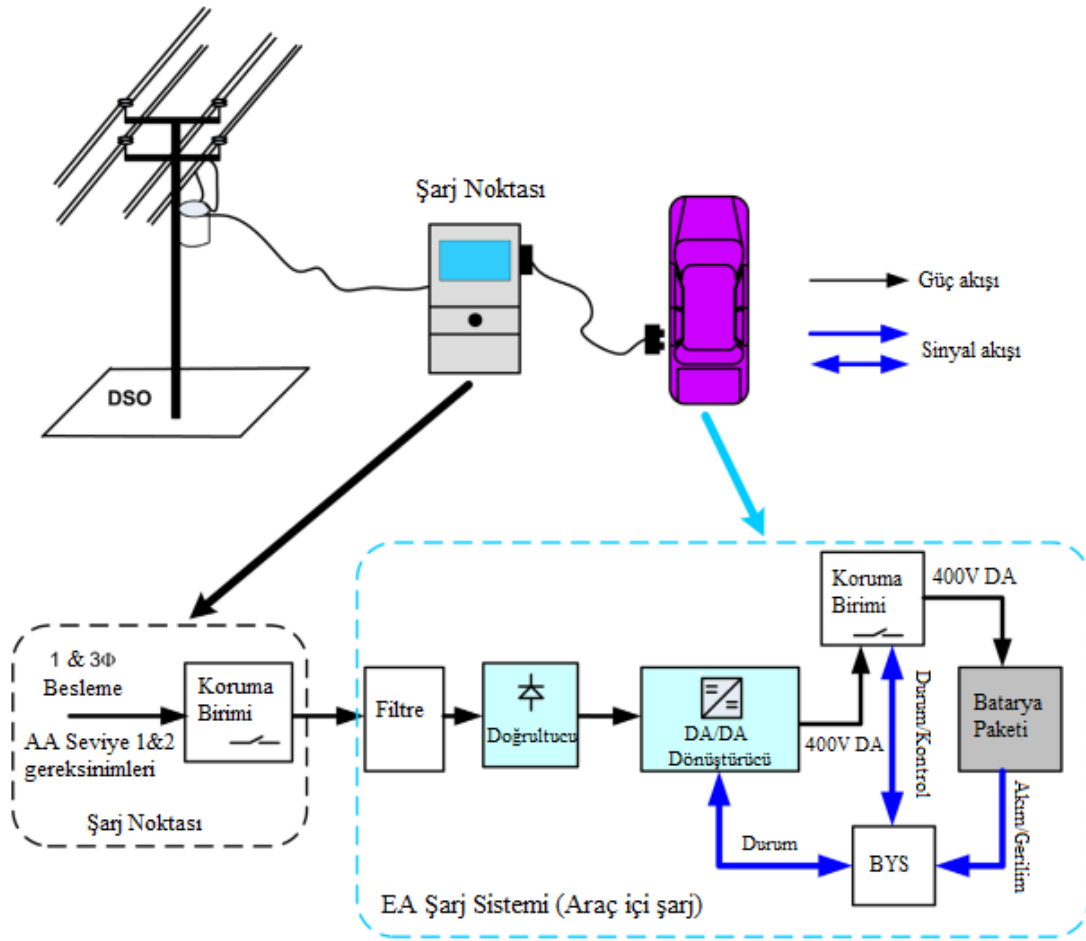
5. ELEKTRİKLİ ARAÇ ŞARJ İSTASYONLARININ AKILLI ŞEBEKELER İLE ENTEGRASYONU

Son zamanlarda, araç sahibinin sürüş alışkanlıkları ve mevcut şebeke modeli ile ilgili olarak farklı şarj şemaları tartışılmıştır. Bu şemalar, kontrolsüz şarj, çift tarife şarj ve akıllı şarjı içermektedir. Kontrolsüz şarj şemasında, bir EA, elektrik enerjisine bağlandığında hemen şarj olmaya başlar. Bu tip şarj yaklaşımının, enerji sistem ağları üzerindeki etkilerini değerlendirmek için birçok çalışma yapılmıştır. Neredeyse tüm çalışmalar, bu tür bir şarjın, enerji dağıtım sistemlerinin aşırı yüklenmesini ve yatırım maliyetini artırdığını göstermiştir. EA şarjı, mevcut enerji dağıtım şebekesine ek bir yük getirmektedir. Bu ek yük, uygun bir şekilde kontrol edilmezse, mevcut enerji sistemi ekipmanının daha fazla yaşlanmasına ve aşırı yük koşullarında rölelerin devreye girmesine neden olabilir [73].

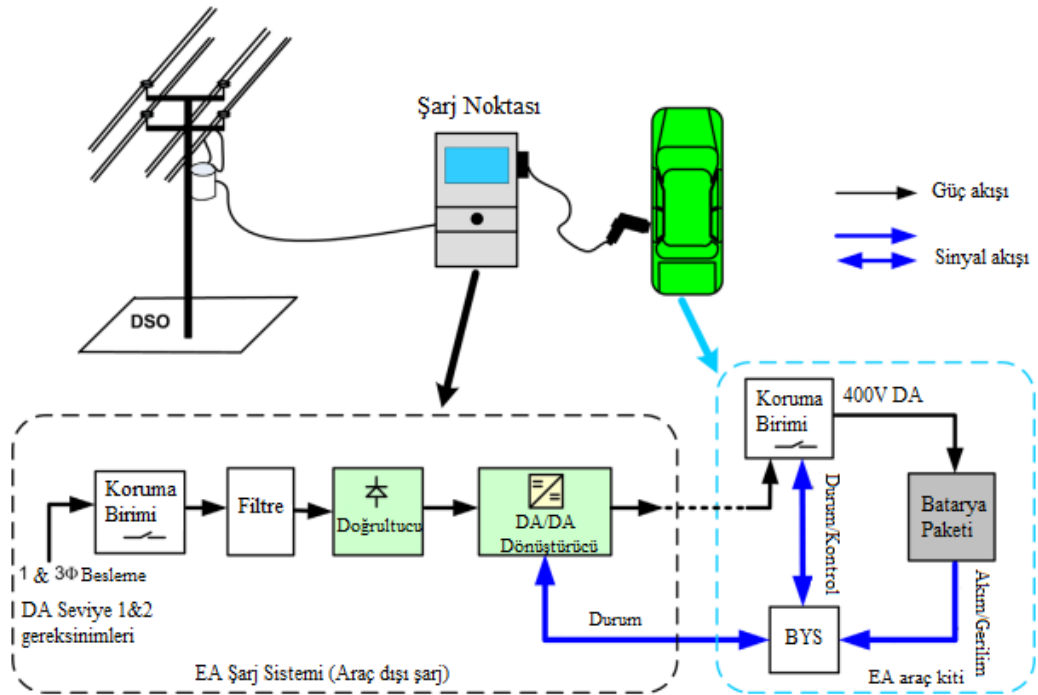
5.1. Elektrikli Araç Şarj İstasyonlarının Şebeke Etkileşimi

EA için birden fazla şarj gücü ve süresi seçeneği bulunmaktadır. EA pilini kısa sürede tamamen şarj etmek için hızlı şarj gereklidir. Standart AA şarj ve DA hızlı şarjı kolaylaştırmak için dünya çapındaki otomobil üreticileri, SAE ile iş birliği yaparak tek bir şarj istasyonu geliştirdiler. AA tek fazlı, AA üç fazlı (AA hızlı şarj) ve ultra hızlı DA şarj, tek bir birim konektörü tarafından desteklenmektedir.

Bir EA'nın pil paketi, doğrultucu güç devresi olmadan şarj edilemez. Ancak, maliyet ve termal sınırlamalar, doğrultucu devrelerin güç yeteneğini sınırlar. DA hızlı şarj sistemi için önemli bir elektrik kapasitesi (akım ve gerilim derecelendirmeleri açısından) gereklidir. Doğrultucu devrelerin boyutu ve hacmi, EA uygulamalarında kullanılacak devre boyutlarını doğrudan yansıtır. Bu nedenle, DC hızlı şarj altyapısı üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. DA hızlı şarj, bir alternatiftir, ancak kullanılabilirliği, sonuçları ve ekonomisi nadiren literatürde tartışılmaktadır. DC hızlı şarj, gelecek on yıl içinde elektrikli araçları şarj etmenin en uygun yolu olacaktır ve şarj istasyonları benzin istasyonları gibi görülecektir. Bu istasyonlardan kaynaklanan yüksek enerji tüketimi, ayrı bir güç kaynağı ve güç dönüşüm arayüzünün modellenmesini gerektirir ve kullanılan pillerin uzun ömürlü olması gerekir. Bu, V2G hizmetlerinin genişlemesi için önemli bir engeldir [73]. V2G hizmetleri için DA hızlı şarj altyapılarının özelliklerinin ve performansının tam olarak açıklığa kavuşması için fizibilite çalışmalarına tabi tutulması gerekmektedir. Yakın gelecekte, elektrikli şarj cihazları için çift yönlü güç dönüştürücüler, EA'larda V2G uyumluluğunu standart hale getirebilir. AA Seviye 1 ve 2 şarj kurulumları Şekil 5.1'de gösterilmiştir. Şekil 5.2' de ise DA Seviye 1 ve 2 şarj kurulumları gösterilmiştir.



Şekil 5.1. AA Seviye 1 ve 2 kurulumlarında yerleşik EA şarj yapılandırması [73]



Şekil 5.2. DC seviye 1 ve 2 EA şarj yapılandırması [73]

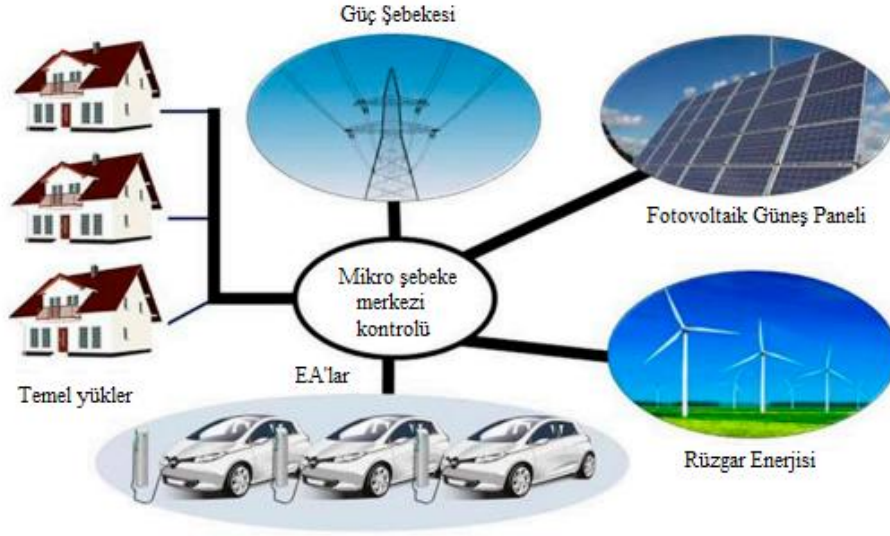
Mevcut EA pil teknolojisi ile bir EA'yı şarj etmek, bir evi bir gün boyunca beslemek için neredeyse aynı miktarda enerji gerektirir. Şarj devresine ek EA eklenmesi, enerji tüketimini orantılı olarak artırır. Bu, modern elektrik altyapısının üzerindeki etkiyi gösterir. Literatürde son zamanlarda farklı potansiyel şarj teknikleri tartışılmış, özellikle de bunların sahibinin sürüş davranışı ve mevcut şebeke modeli gibi faktörlerden nasıl etkileneceği üzerinde durulmuştur. Bu planlar, kontrolsüz (basit) şarj, çift-tarife şarj ve akıllı şarj gibi şemalardan oluşur. Bir EA denetlenmeyen bir güç kaynağına takıldığında, şarj süreci hemen başlar. Bu tür şarj, elektrik dağıtım sistemini daha da aşırı yüklemekte ve yatırım maliyetlerini artırmaktadır [73].

EA'nın şarj edilmesi elektrik şebekesinde ek yük oluşturur. Bu ek yük üzerinde yetersiz kontrol, güç sistem bileşenlerinin değer kaybını artırabilir ve aşırı yüklenme durumunda röle atlamasına neden olabilir. Bu artan talebi koordineli şarj planları aracılığıyla mevcut gücü optimize etmek gibi önlemler, EA'ların yaygın olarak benimsenmesine uyum sağlayarak dağıtım sisteminin sorunsuz ve güvenli bir şekilde çalışmasını sağlamak için kullanılır [73].

5.2. Yenilenebilir Enerji Üretiminin Elektrikli Araçlar ile Entegrasyonu

Yenilenebilir Enerji Dağıtımı (YED), özellikle rüzgar ve güneş enerjisi gibi kaynaklardan gelen elektriğin şebekeye entegrasyonu, önemli bir gelişme yaşamaktadır. Ancak, bu kaynakların doğası gereği öngörülemez ve değişken olması, elektrik sistemlerini zorlayabilir. Rüzgar hızı ve güneş ışığı gibi faktörlere bağlı olarak, bu tür kaynaklardan gelen elektrik üretimi beklenenden çok yüksek veya çok düşük olabilir [74]. Bu dalgalanmalar, YED'lerin güvenilirliğini ve sürekliliğini etkileyebilir. Ancak, araştırmalar, rüzgar enerjisi dönüşüm sistemleri ve PV sistemlerinin güvenli ve karlı bir şekilde şebekeye entegre edilebileceğini göstermektedir. Bununla birlikte, bu tür yenilenebilir enerji kaynaklarının şebekeye entegrasyonu için bazı önlemler alınmalıdır. Sabit enerji depolama sistemleri (EDS) veya kontrol edilen dağıtım yükleri gibi teknolojiler, bu dalgalanmaları dengelemek ve elektrik şebekesinin istikrarını sağlamak için kullanılabilir. Örneğin, güç üretiminde bir fazlalık veya eksiklik olduğunda, sabit enerji depolama sistemleri bu fazlalığı absorbe edebilir veya eksikliği karşılayabilir [75].

Bu teknolojilerin yüksek maliyetleri, elektrik şebekesine entegrasyon maliyetini artırabilir. Ancak, EA'lar bu dengelemeye yardımcı olabilir. Araştırmalar, EA'ların duyarlı bir şekilde planlanması durumunda, güç şebekesinin stabilitesini artırabileceğini ve maliyetleri düşürebileceğini göstermektedir. Özellikle, EA'ların V2G yeteneklerinin kullanılması durumunda, maliyetler daha da azalabilir ve emisyonlar azalabilir. Şekil 5.3, rüzgar ve güneş enerjisi gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının EA ile nasıl etkileşime girebileceğini göstermektedir. Örneğin, EA'ların V2G yetenekleri, rüzgar enerjisiyle entegre edilerek veya ofislerdeki şarj istasyonları kullanılarak güç dalgalanmaları hafifletilebilir [73], [76].

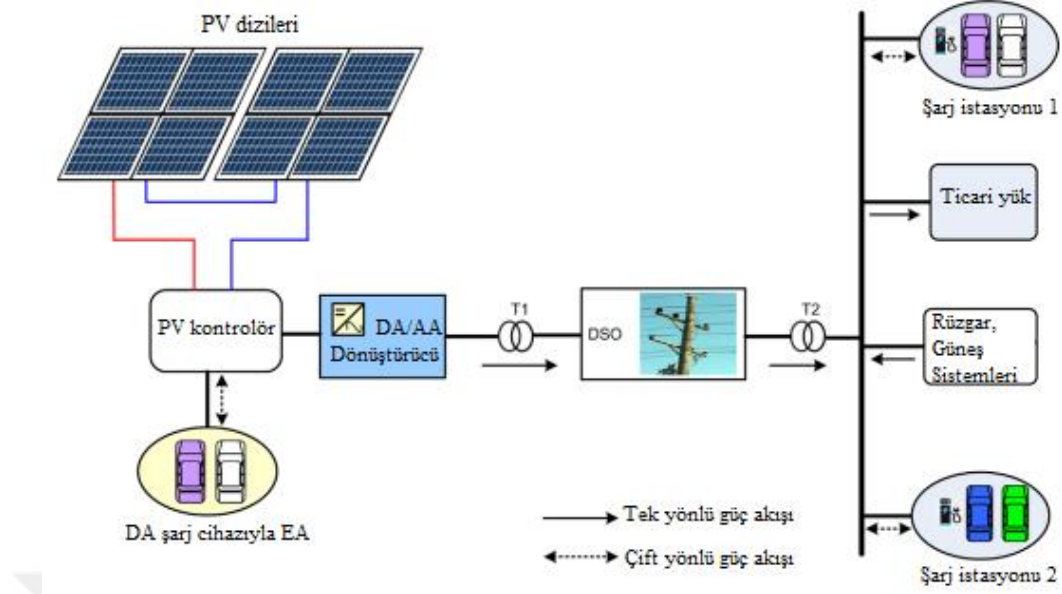


Şekil 5.3. Elektrikli araçları şebekeye bağlayan rüzgar ve fotovoltaik güneş panelleri [73]



Şekil 5.4. Otoparkta PV solar şarj istasyonu [73]

PV sistemlerinin güç çıkışı oldukça değişkendir, ancak bu değişkenlik basit iletişim ve kontrolle kolayca telafi edilebilir. Şekil 5.5'te görüldüğü gibi, bir yönlü DA/AA güç dönüştürücü kullanılarak, Şekil 5.4'teki güneşli otopark şarj istasyonu elektrik şebekesine bağlanabilir. Bu şematikte elektrik şebekesine bağlı bazı şarj noktalarını temsil eden 1 ve 2 numaralı iki şarj istasyonu bulunmaktadır. 1 ve 2 numaralı şarj istasyonlarındaki elektrikli araçlar DA/AA dönüştürücülerini paylaşarak şebekeye ek katkılarda bulunarak EDS olarak hareket edebilirler. PV kontrolcüsüne doğrudan bağlı olan yönlü bir DA şarj cihazı, fazla gücü elektrikli araçları şarj etmek için kullanabilir. Bu elektrikli model, tasarlanmış şarj portuna sahip olması sayesinde her iki şekilde de şarj edilebilir. Fotovoltaik güç üretimi en düşük seviyede olduğunda, yani talebin yüksek olduğu zamanlarda, pilde depolanan elektriği geri iletebilir [73].

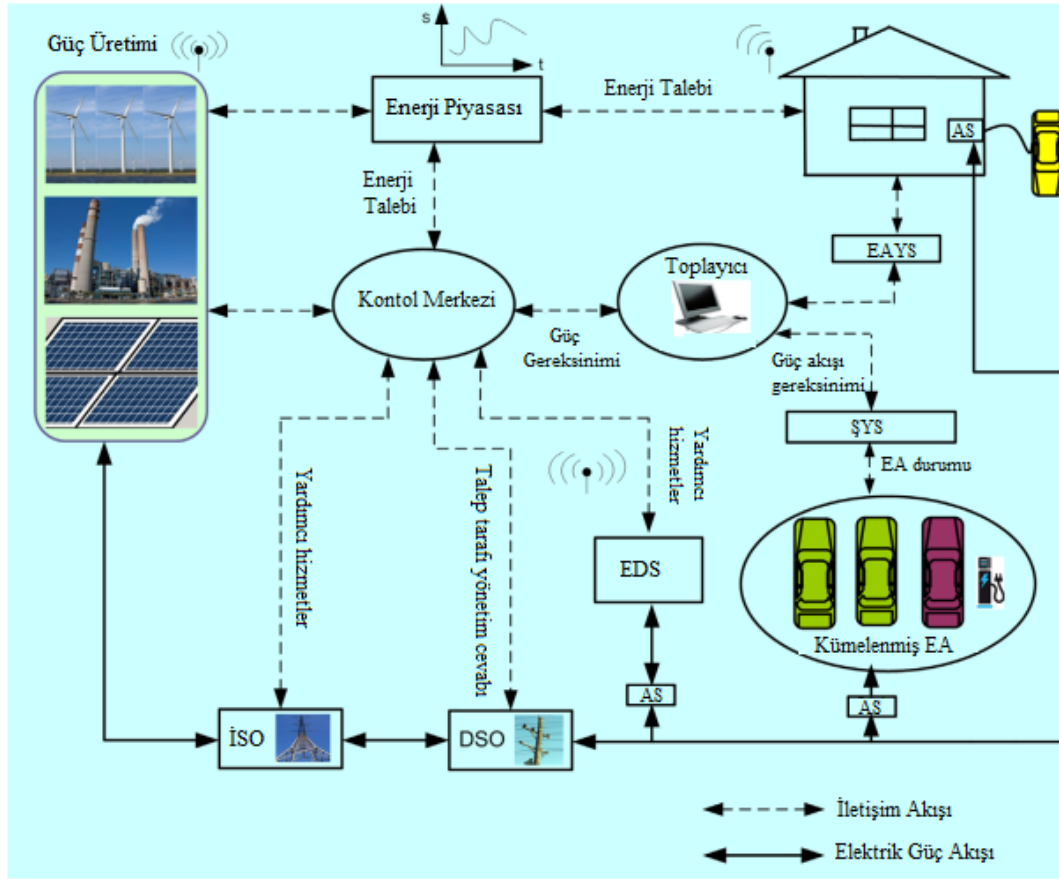


Şekil 5.5. Şebekeye bağlı PV solar şarj istasyonu [73]

PV güneş sistemlerinin ve EA'ların yaygın kullanımı üzerine yapılan bir çalışmada yaygın çatı üstü PV kurulumlarının EA şarjı ve gerilim dengeleme desteği ile birleştirilmesinin etkilerine odaklanılmaktadır [77]. Her iki taraf da bu ortaklık ilişkisinden faydalanır. Çünkü, EA'lar büyük ölçekli PV güneş kurulumlarına gerilim desteği sağlarken, V2G hizmetleri güç şebekesindeki yüklenmeleri hafifletir. Ancak, modern güç sistemlerindeki gerçek büyük güç akışı senaryoları, nispeten az mesafeli ve esnek olmayan durumundan çok farklı olabilir. Bu, büyük ölçekli PV enerjisinin şebekeye destek sağlamak ve EA'yı şarj etmek için kullanmanın etkileri ve sınırlamaları hakkında daha fazla çalışma yapma ihtiyacını ortaya koymaktadır [73].

5.3. Elektrikli Araçlar ve Akıllı Şebeke Teknolojilerinin Kullanımı

Sanal Güç Santrali (VPP)'nin yönetimi ve uygulanmasıyla ilgili olarak, Şekil 5.6'da, V2G'nin sisteme nasıl entegre edildiği gösterilmiştir. EA toplayıcı, enerji piyasası ve elektrik şebekesi açısından dijital bir enerji santraline benzer şekilde çalışacaktır. Şekil 5.6, mevcut statik kablosuz şarj sistemi ve mevcut güç gibi bilgiler de dahil olmak üzere, şarj istasyonundaki kümelenmiş EA filosunun durumu açısından kontrol merkezi ile toplayıcı-VPP kontrolü arasındaki iletişimi göstermektedir. DSO veya ISO ek güce ihtiyaç duyduğunda VPP kontrol merkezi toplam akü kapasitesini gönderebilir. VPP kontrol odası, çeşitli enerji piyasası katılımcıları (tüketiciler ve üreticiler dahil) ile şebeke operatörleri arasındaki veri ve güç alışverişini koordine edecektir [73].

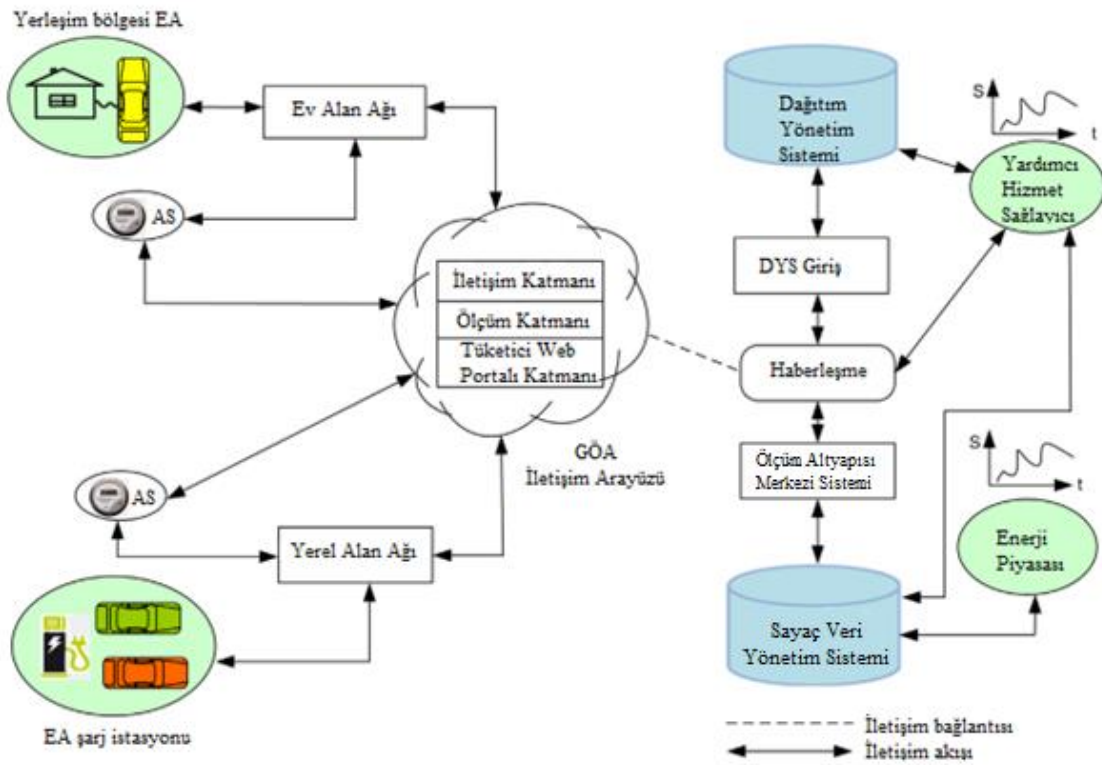


Şekil 5.6. V2G bağlamında VPP gerçekleştirme ve kontrolü [73]

Daha fazla dağıtılmış enerji kaynağının enerji piyasasına nüfuz etmesi, güç üretimi ve dağıtım endüstrilerini değiştirmektedir. Bu enerji kaynakları, enerji üretimi ve tüketiminin zaman ve mekân değişkenliğini içerir. Bu durum, geleneksel güç şebekesinin enerji yönetimini daha karmaşık ve zorlu hale getirir. Akıllı şebeke, elektrik şebekesinin genel olarak güvenilirliğini, verimliliğini ve güvenliğini artırır. "Akıllı şebeke" terimi, gelişmiş enerji sayaçları, sağlam kontrol sistemleri ve benzeri cihazları birbirine bağlamak için modern ağ teknolojisini kullanan bir ağı ifade eder. Yolda daha fazla EA olması, uzmanların araştırdığı akıllı şebeke mimarisinin daha iyi bir değerlendirilmesini ve uygulanmasını gerektirir. Elektrik güç dağıtım iletişim teknolojileri ve protokollerinin standartlaştırılması, akıllı şebekenin gerçekleşmesi için önemli bir adımdır [78]. Enerji tüketimini gerçek zamanlı olarak izlemek ve yönetmek için bir akıllı sayaç (AS), EYS sistemi içine dahil edilebilir. Akıllı şebeke ortamında akıllı programlama, elektrikli araç şarjının etkisine bağlı olarak sofistike çift yönlü veri transferi ile mümkün hale gelir [79].

Akıllı şebekelerde, enerji arzı ve tüketimi gerçek zamanlı olarak enerji yönetim sistemleri (EYS'ler) tarafından izlenir ve veriler analiz edilerek raporlar sunulur. Akıllı şebekelerde çevrimiçi EYS hizmetlerinin tam olarak gerçekleşebilmesi için akıllı sayaçların yaygın olarak benimsenmesi gerekmektedir. EA'ların güç şebekesine entegrasyonu, her bir EA tarafından kullanılan enerji

miktarıyla ilgili doğru, anlık verilere ağırlıklı bağlıdır ve bir akıllı sayaç (AS) bu verileri toplamada önemli bir rol oynar. Bu nedenle, AS'ler, gün öncesi ve anlık enerji tahmin tekniklerini, ayrıca enerji fiyatlandırmasını kolaylaştırır. Bunlar, akıllı şebekedeki AS'lerin başlıca işlevleridir. Dolayısıyla, EV'lerin ortaya koyduğu değişken gereksinimleri karşılamak için akıllı sayaçlarda bulunan son teknolojilerin kullanılması gerekmektedir. Bu nedenle, "ileri ölçüm altyapısı" (İÖA) terimi, iki yönlü iletişimi ve gerçek zamanlı akıllı sayaçları kolaylaştıran bir ağı tanımlamak için kullanılır. Birleştirildiğinde, İÖA sisteminin parçaları bir bütün oluşturur. Ev ağları, akıllı sayaçlar, bilgisayarlar, yazılımlar, gelişmiş sensör ağları gibi iletişim teknolojileri örnekleridir. İÖA çerçevesi, iki yönlü iletişimi mümkün kılmak için kablosuz veya elektrik hattı ile enerji hattı iletişimi (PLC) kullanabilir, böylece program, akıllı sayaçlar, çeşitli sensörler, bilgisayar ağ tesisleri ve elektrikli araç yönetim sistemi arasında iki yönlü iletişim sağlanır. Akıllı bir şebeke, İÖA'yı entegre ederse elektrikli araçların akıllı bir şekilde zamanlanmış şarjı mümkün olur. Şekil 5.7, EA ile akıllı şebeke arasındaki iletişim için mevcut İÖA yapılandırmalarının bir genel bakışını sunar [73].



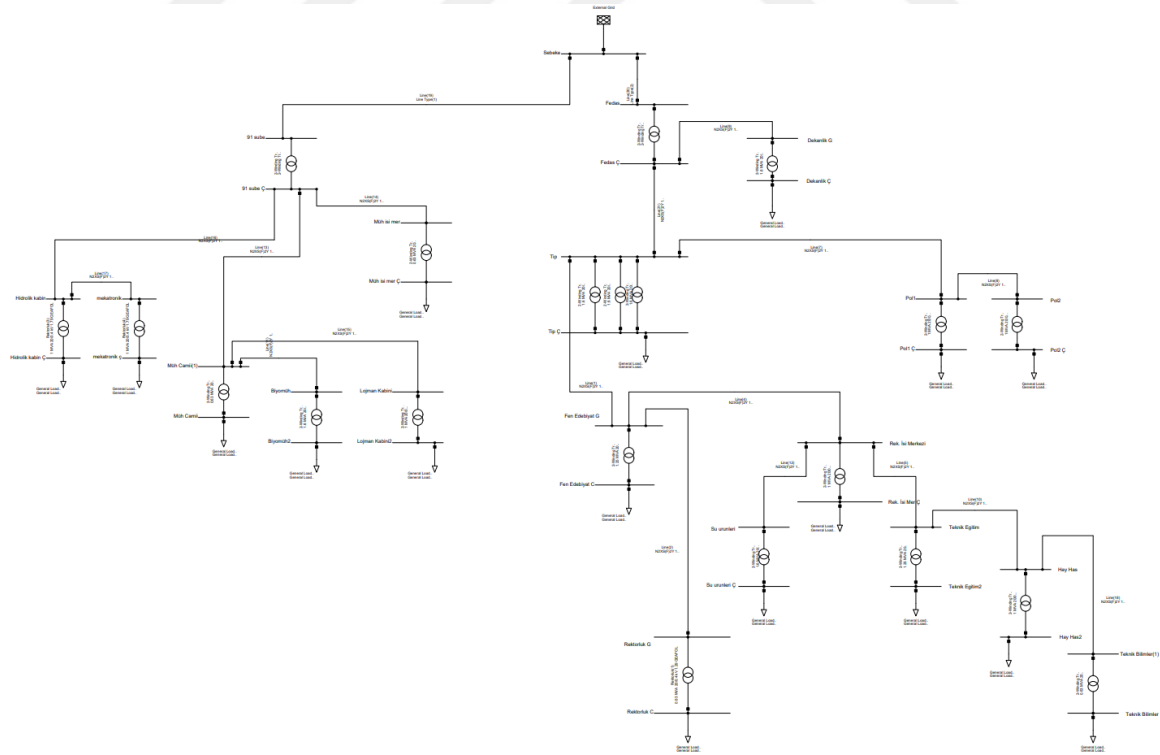
Şekil 5.7. Elektrikli araçların gelişmiş iletişim ve kontrol ağına entegrasyonu [73]

6. DAĞITIM ŞEBEKESİ MODELLEME VE BENZETİMİ

6.1. Fırat Üniversitesi Orta Gerilim Tek Hat Şeması İncelemesi

Günümüzde EA'lara olan talep artışlarından dolayı EA'nın dağıtım sisteminde meydana getireceği etkileri tespit etmek gerekmektedir. Bu çalışmada, EA'nın dağıtım sistemi üzerinde oluşturacağı etkileri incelemek amacıyla, Fırat Üniversitesi Kampüsü örnek bölge olarak seçilmiştir. Seçilen bölge içerisinde bazı önemli tespitler yapılmış ve elde edilen sonuçlar yardımıyla EA'ların dağıtım sistemleri üzerindeki etkileri incelenmiştir. Bu çalışmada, Fırat Üniversitesi (FÜ), Orta Gerilim (OG) dağıtım şebekesi ele alınarak, sisteme EA şarj istasyonu eklenmesi durumunda, şarj istasyonunun dağıtım sistemine etkileri üzerinde incelemeler yapılmıştır.

FÜ, OG tek hat şemasının DIgSILENT PowerFactory programına aktarılmış hali Şekil 6.1' de gösterilmiştir. OG tek hat şemasında kullanılan hat elemanları gerçek değerlerine yakın olarak seçilmiştir. FÜ, Mühendislik ve Rektörlük olmak üzere iki kampüsten oluşmaktadır. Bu kampüslerin beslemeleri birbirlerinden bağımsız olarak yapılmaktadır. Beslemelerde, kampüs içerisindeki tüm yükleri besleyebilecek güç kapasitelerine sahip transformatörler seçilmiştir.



Şekil 6.1. Fırat Üniversitesi OG tek hat şeması

F.Ü. Mühendislik kampüsüne bakıldığında, kampüsün beslemesinin D.S.İ. 91. Şube Müdürlüğü kısmından yapıldığı görülmektedir. Beslemenin yapıldığı transformatörün sekonder gerilimi 20 kV seviyesindedir. Kampüs içerisindeki farklı konumlarda bulunan diğer binaları beslemek için OG hattı kullanılmıştır. Bu hat için 3 faz XLPE kabloları kullanılmıştır. Kullanılan kabloların kesitleri beslenen yüke bağlı olarak değişmektedir. OG seviyesindeki bu hat ile kampüs içerisindeki diğer binalara yakın yerlere ulaşarak binaların beslemeleri alçaltıcı transformatörler kullanılarak yapılmıştır.

F.Ü. Rektörlük kampüsüne bakıldığında, kampüsün beslemesinin FEDAŞ'a ait transformatör ile yapıldığı görülmektedir. Aynı şekilde bu transformatörün çıkışından OG hattı 3 faz XLPE kablolarıyla sağlanmıştır. Kampüs içerisindeki diğer binaların beslemeleri için bu kablolarla hat taşınıp OG hat sonunda alçaltıcı transformatörler kullanılarak alçak gerilim (AG) seviyesine inilmiştir.

FÜ OG tek hat şemasında Mühendislik Kampüsü yerleşkesinde kullanılan transformatörlerin özellikleri Tablo 6.1' de verilmiştir.

Tablo 6.1. Mühendislik kampüsü yerleşkesinde kullanılan transformatörlerin özellikleri

Transformatör Adı	Güç (MVA)	Primer ve Sekonder Gerilimleri
D.S.İ. 91. Şube	2	34,5 / 20 kV
Mühendislik Isı Merkezi	0,63	20 / 0,4 kV
Hidrolik Kabin	1	20 / 0,4 kV
Mekatronik	1	20 / 0,4 kV
Mühendislik Camii	1	20 / 0,4 kV
Biyomühendislik	1,6	20 / 0,4 kV
Lojman Kabini	1	20 / 0,4 kV

Rektörlük kampüsü yerleşkesinde kullanılan transformatörlerin özellikleri Tablo 6.2'de verilmiştir.

Tablo 6.2. Rektörlük kampüsü yerleşkesinde kullanılan transformatörlerin özellikleri

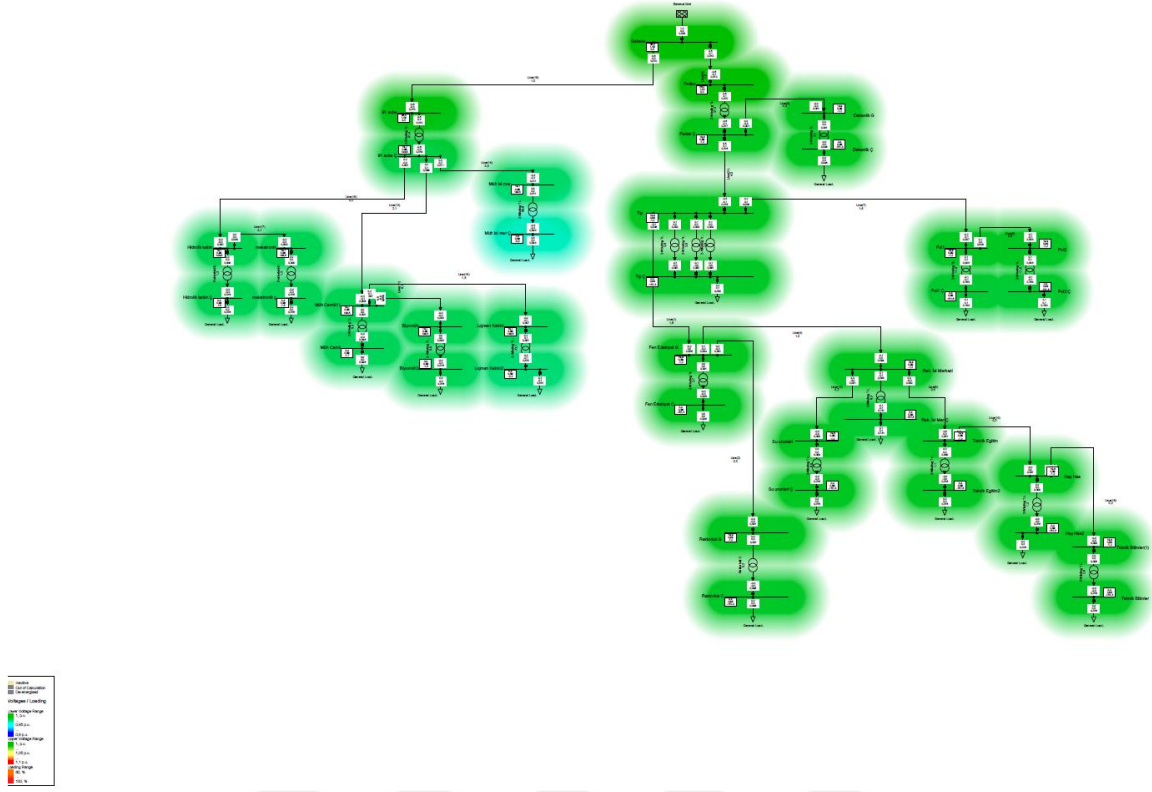
Transformatör Adı	Güç (MVA)	Primer ve Sekonder Gerilimleri
FEDAŞ	2	34,5 / 20 kV
Dekanlık	1,6	20 / 0,4 kV
Tıp	3 X 1,6	20 / 0,4 kV
Poliklinik	2 X 1	20 / 0,4 kV
Fen Edebiyat	1,25	20 / 0,4 kV
Rektörlük	1	20 / 0,4 kV
Rektörlük Isı Merkezi	1	20 / 0,4 kV
Su Ürünleri	1,6	20 / 0,4 kV
Teknik Eğitim	1,25	20 / 0,4 kV
Hayvan Hastanesi	1	20 / 0,4 kV
Teknik Bilimler	0,63	20 / 0,4 kV

6.2. Benzetim Sonuçları ve Analizi

FÜ dağıtım şebekesi tek hat şeması, DIGSILENT PowerFactory programında gerçek değerlere yakın elemanlar kullanılarak oluşturulmuştur. Tek hat şeması tamamlandıktan sonra simülasyon işlemi başlatılıp, sistemin yük akış analizi, gerilim düşümleri, harmonikler ve dalga şekilleri vb. sonuçlar alınarak EA şarj istasyonunun olmadığı durum ve EA hızlı şarj istasyonunun eklendiği durum şeklinde değişimlerin analizi yapılarak, EA'ların dağıtım şebekesi üzerindeki etkileri hem bölgesel olarak hem de genel bir sonuç çıkarılarak incelenmiştir. Ayrıca şu anda Fırat Üniversitesinde EA şarj istasyonu bulunmadığı için EA şarj istasyonu planlanması yapılacağı zaman bu çalışma sonuçları planlanmanın yapılmasında katkı sağlayacaktır.

6.2.1. Elektrikli Araç Şarj İstasyonlarının Olmadığı Durum

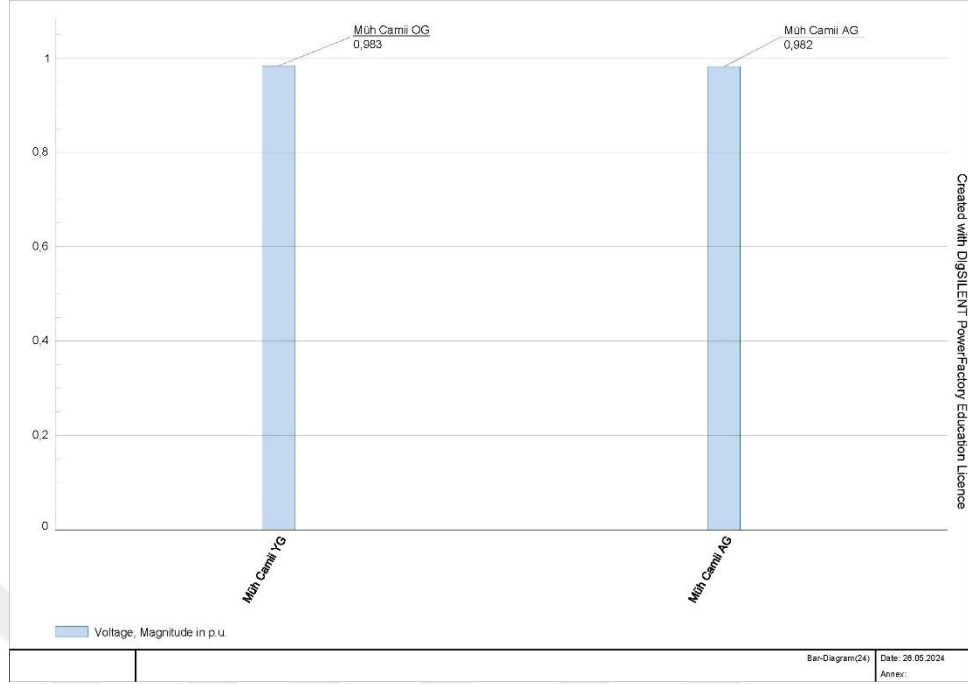
FÜ dağıtım sisteminde EA şarj istasyonunun olmadığı durum için simülasyon yapıldığında sistemin yüklenme durumu Şekil 6.2' de yük akış analizi sonucu elde edilen ısı haritasında görülmektedir. Yapılan yük akış analizinde, transformatör yüklenmelerinin ideal durumda olduğu ve sistemin sorunsuz bir şekilde çalıştığı görülmektedir.



Şekil 6.2. Dağıtım sisteminde EA şarj istasyonunun bulunmadığı durum için yük akış analizi

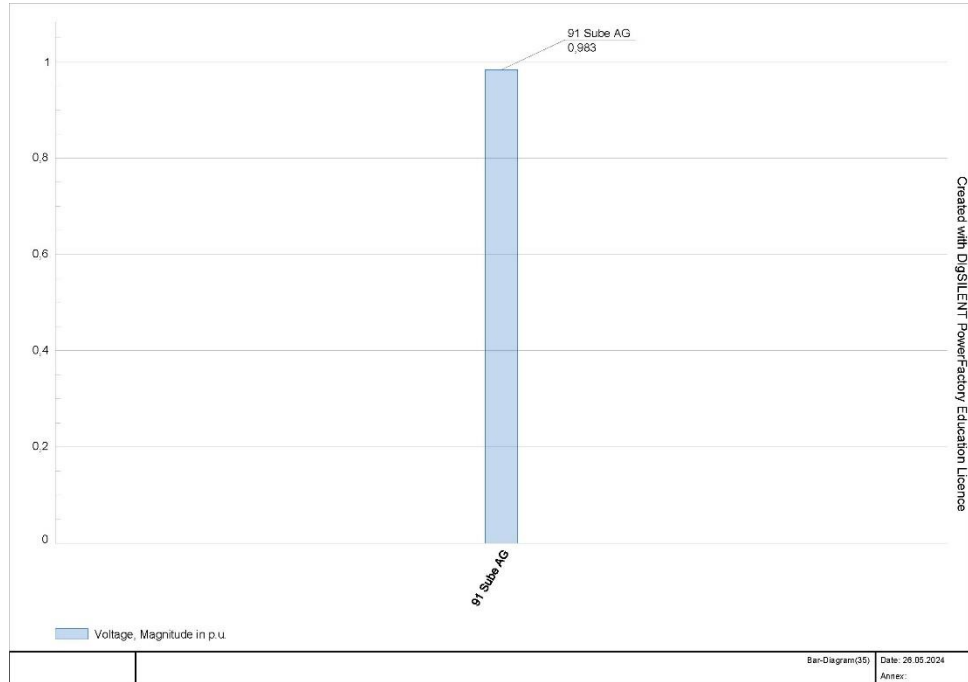
Yük akış analizini yapıldıktan sonra EA şarj istasyonu olmadığı durum için diğer simülasyonlar yapılarak gerekli sonuçlar çıkarılmıştır.

Mühendislik kampüsünde bulunan Mühendislik Camii yerleşkesinin bulunduğu alana EA şarj istasyonu eklenecektir. Bundan dolayı sistemin mühendislik kampüsü kısmının EA şarj istasyonu olmadığı durum için simülasyon sonuçları alınmıştır. Şekil 6.3’ te Mühendislik Camii bölgesine ait transformatörün primer-OG ve sekonder-AG tarafında oluşan gerilim düşümlerinin per-unit (p.u.) büyüklüğü cinsinden grafikleri elde edilmiştir. Sonuçlara göre Mühendislik Camii OG tarafı gerilim düşümü 0,983 p.u. ve AG tarafının gerilim düşümü 0,982 p.u. değerindedir.



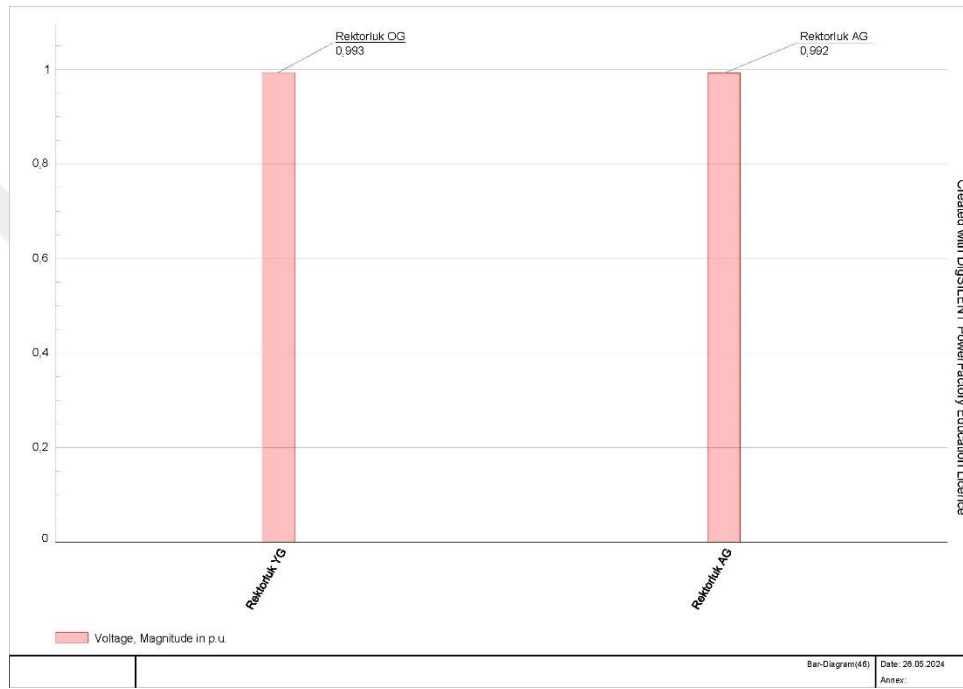
Şekil 6.3. Mühendislik camii transformatörü OG-AG taraflarının p.u. cinsinden gerilim düşümleri

Şekil 6.4'te Mühendislik Camii'nin de bağlı olduğu mühendislik kampüsünün beslemesinin yapıldığı 91. Şube transformatörünün AG tarafına ait p.u. cinsinden gerilim düşümü grafiği verilmiştir. Buna göre 91. Şube transformatörünün AG tarafı gerilim düşümü 0,983 p.u. seviyesindedir. Beslemenin yapıldığı 91. Şube transformatörü ile Mühendislik Camii transformatörünün OG taşıma hattı üzerinde çok küçük bir gerilim düşümü meydana geldiği için iki tarafa ait gerilim düşümü değerlerinin aynı olduğu görülmektedir.



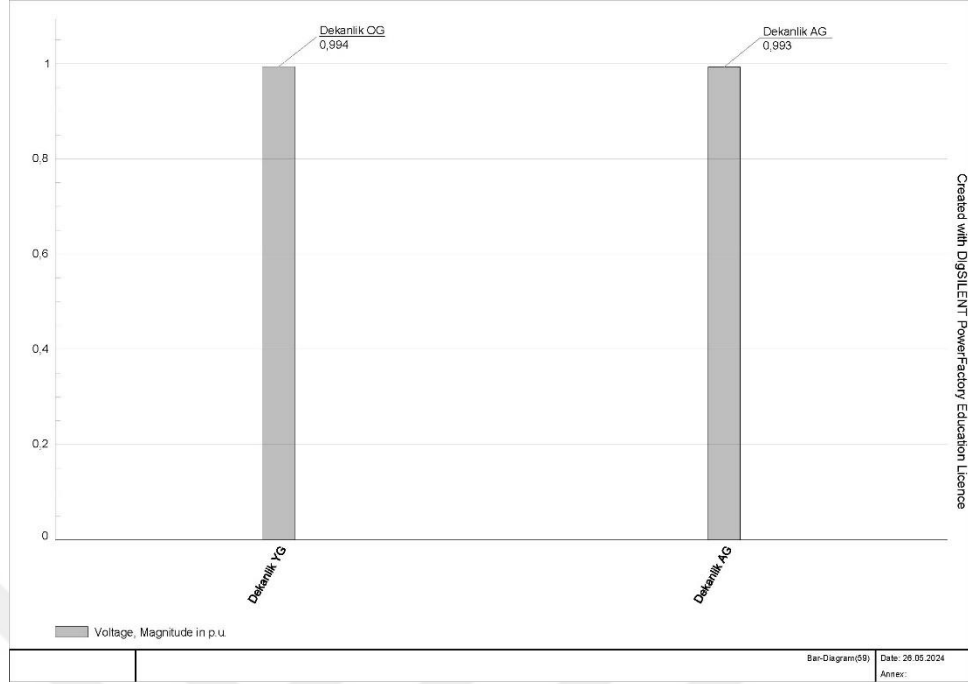
Şekil 6.4. 91. Şube Transformatörü AG p.u. Gerilim Düşümü

Rektörlük kampüsü yerleşkesinde, rektörlük ve dekanlık binasının bulunduğu alanlarda EA şarj istasyonları eklenerek simülasyon sonuçları alınmıştır. Bu alanlarda EA şarj istasyonunun olduğu ve olmadığı durumların da karşılaştırılması yapılacağı için, bu alanların EA şarj istasyonlarının olmadığı durum için de simülasyonu yapılarak sonuçlar alınmıştır. Şekil 6.5’ te rektörlük binasına ait transformatörün OG ve AG taraflarının gerilim düşümleri p.u. cinsinden elde edilmiştir. Rektörlük binası transformatörünün OG gerilim düşümü değeri 0,993 p.u. ve AG tarafı ise 0,992 p.u. seviyelerindedir.



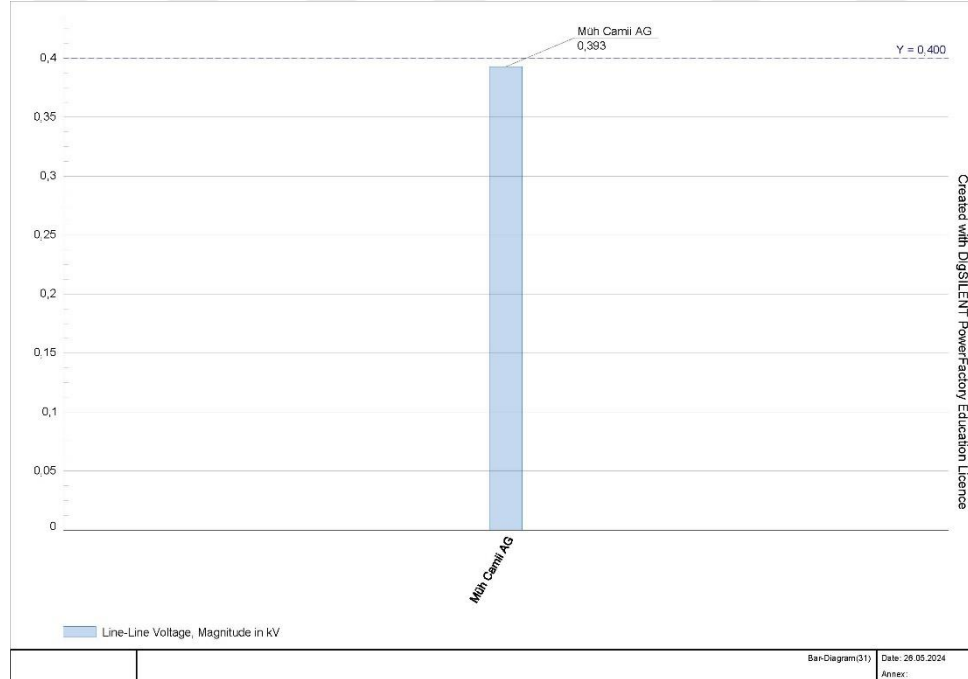
Şekil 6.5. Rektörlük binası transformatörü OG-AG p.u. gerilim düşümleri

Rektörlük kampüsündeki diğer EA şarj istasyonlarının bulunduğu alan Dekanlık bölgesindedir. Şekil 6.6’ da Dekanlık Yerleşkesine ait transformatörün OG ve AG taraflarının p.u. gerilim düşümü grafikleri gösterilmiştir. Dekanlık transformatörünün OG tarafı gerilim düşümü 0,994 p.u. ve AG tarafı 0,993 p.u. seviyelerindedir.



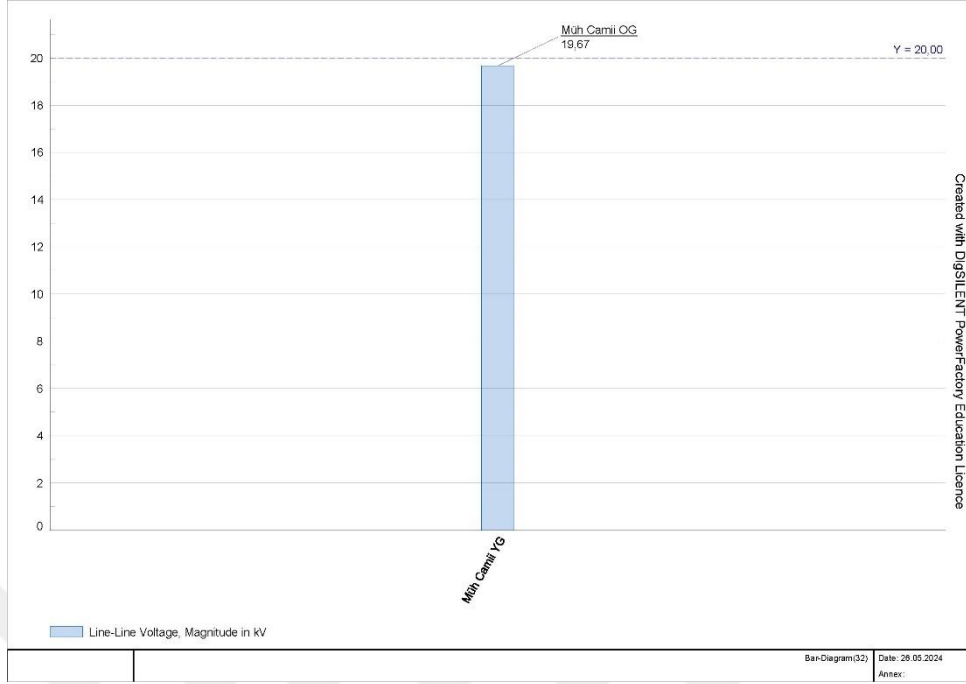
Şekil 6.6. Dekanlık binası transformatörü OG-AG taraflarının p.u. gerilim düşümleri

Şekil 6.7’de Mühendislik Kampüsü, Mühendislik Camii AG tarafı faz-faz gerilim düşümü kilovolt (kV) cinsinden elde edilmiştir. Transformör AG tarafı 0,393 kV değerindedir.



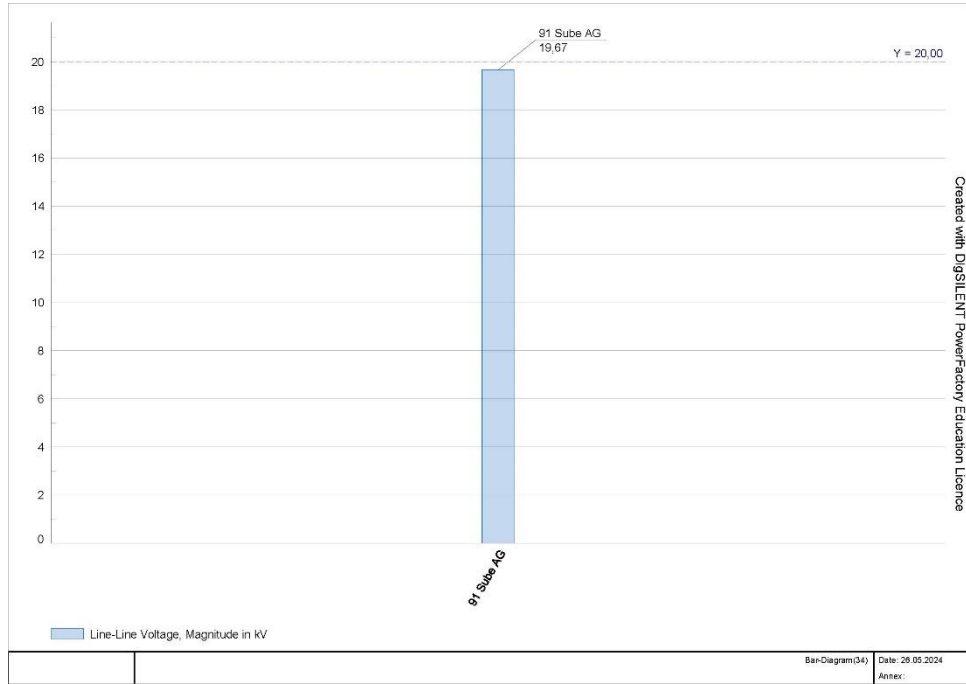
Şekil 6.7. Mühendislik Camii transformatörü AG tarafı faz-faz gerilim düşümleri

Mühendislik Camii Transformatörü OG tarafının faz-faz gerilim düşümü grafiği Şekil 6.8’de gösterilmiştir. OG tarafında faz-faz gerilimi 19,67 kV seviyesindedir.



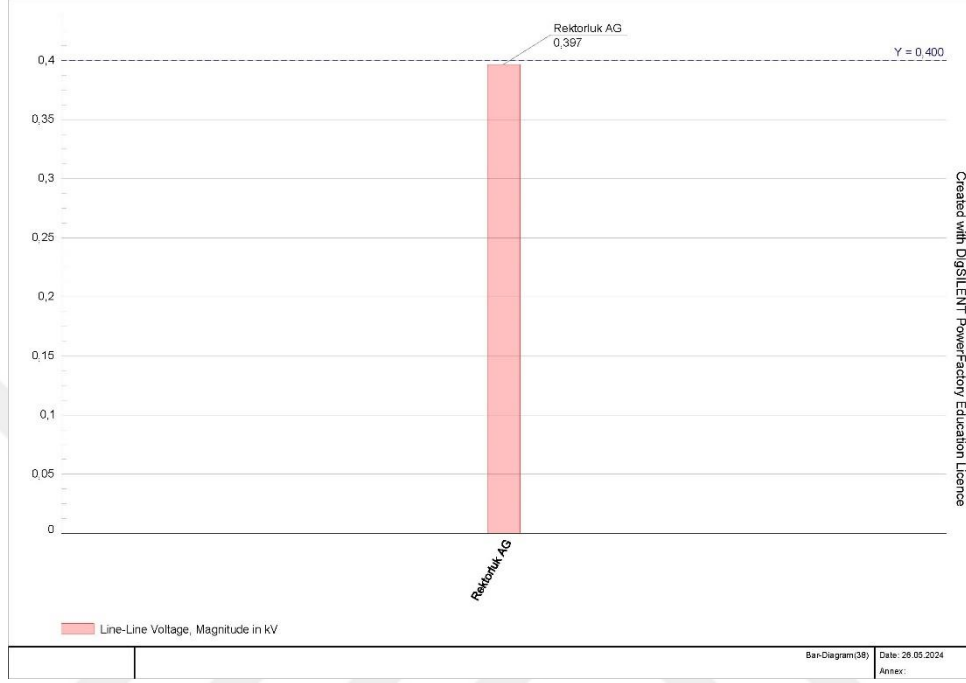
Şekil 6.8. Mühendislik Camii transformatörü OG tarafı faz-faz gerilim düşümleri

Mühendislik kampüsü yerleşkesinde, kampüsün beslemesinin yapıldığı 91. Şube giriş transformatörünün AG tarafına ait faz-faz gerilim düşümü Şekil 6.9’da gösterilmiştir. Şekil 6.9’dan gerilim düşümünün 19,67 kV olduğu görülmektedir.



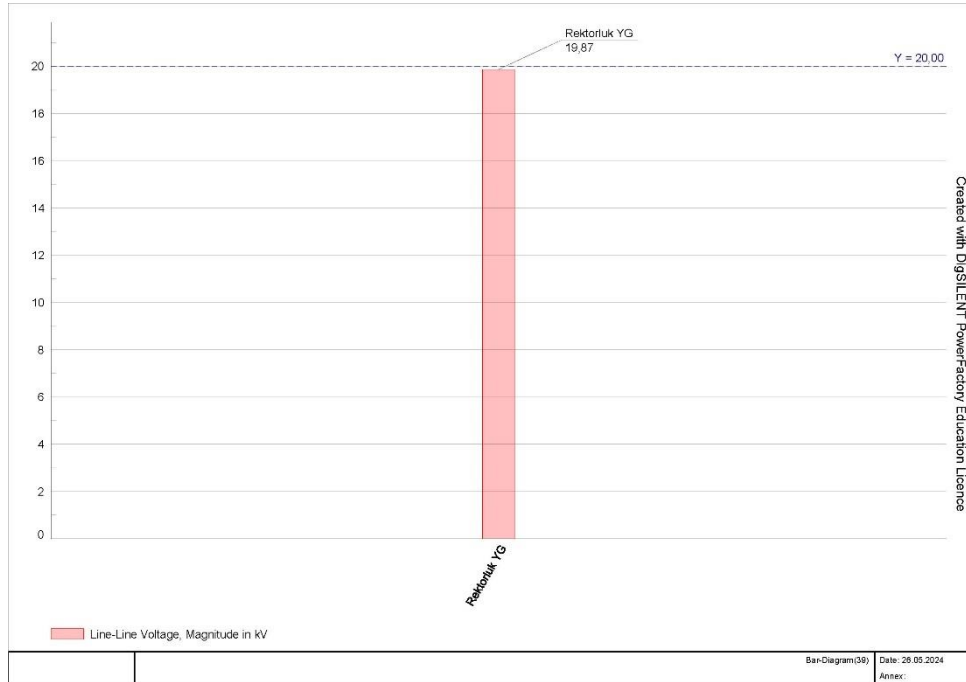
Şekil 6.9. 91. Şube transformatörü AG faz-faz gerilim düşümü

Rektörlük kampüsü tarafına bakıldığında, EA şarj istasyonlarının bulunacağı alanların şarj istasyonu olmadığı durum için rektörlük binası transformatörünün AG taraflarının faz-faz gerilim düşümü Şekil 6.10'da gösterildiği gibi elde edilmiştir. Rektörlük AG tarafı 0,397 kV seviyesindedir.



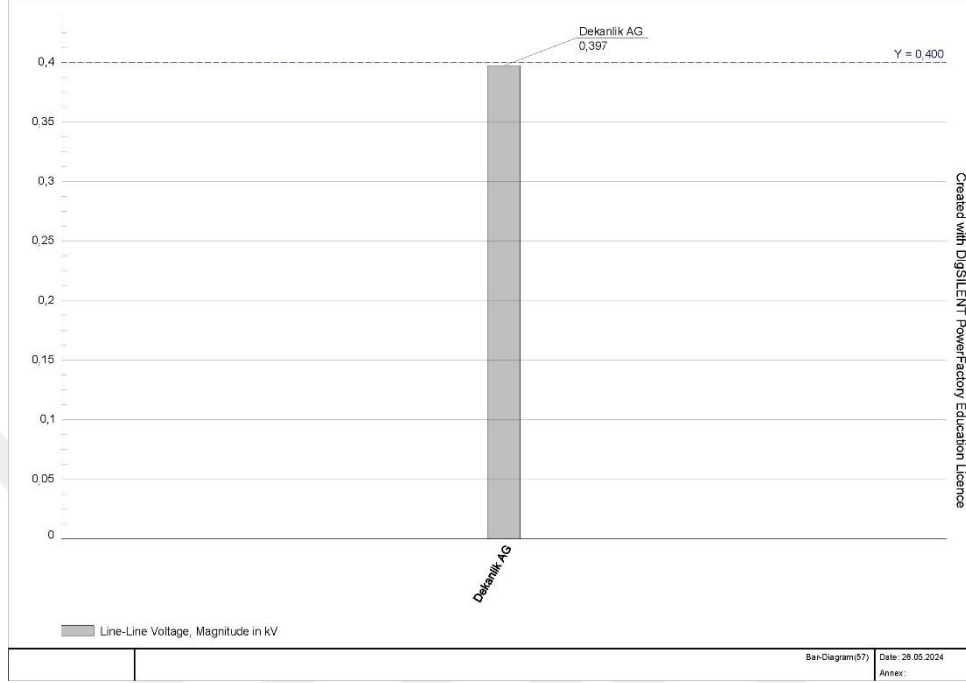
Şekil 6.10. Rektörlük binası transformatörünün AG tarafı faz-faz gerilim düşümü

Rektörlük binası transformatörünün OG tarafına ait faz-faz gerilim düşümü Şekil 6.11'de görüldüğü gibidir. Transformatörün OG tarafı faz-faz gerilimi 19,87 kV seviyesindedir.



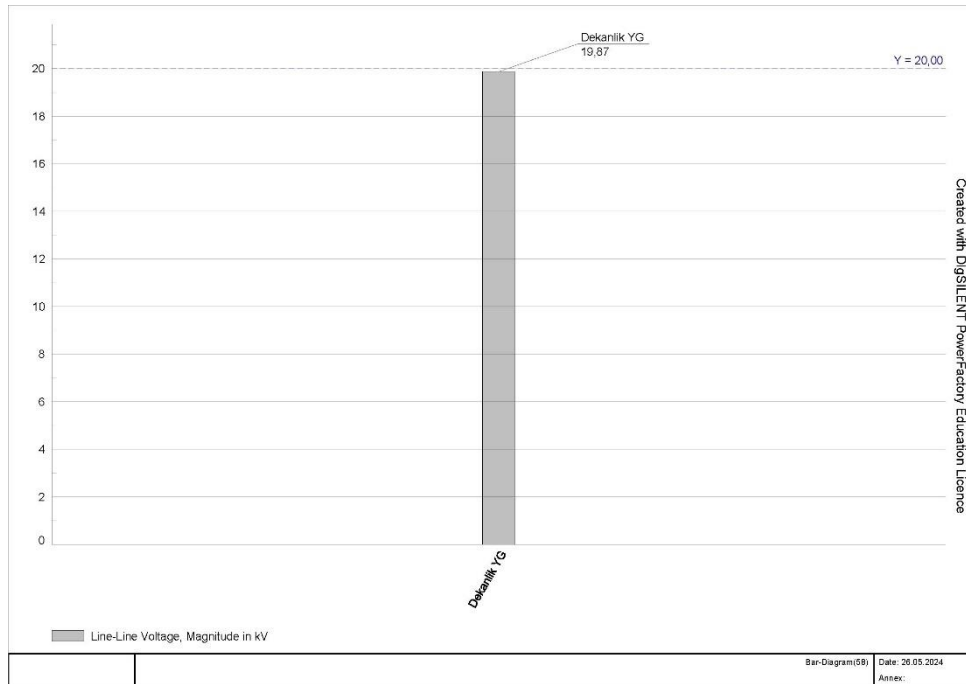
Şekil 6.11. Rektörlük binası transformatörü OG faz-faz gerilim düşümü

Rektörlük kampüsünde bulunan bir diğer EA şarj istasyonlarının bulunduğu Dekanlık transformatörünün AG faz-faz gerilim düşümü değerleri Şekil 6.12’de gösterilmiştir. AG tarafı faz-faz gerilim değeri 0,397 kV seviyesindedir.



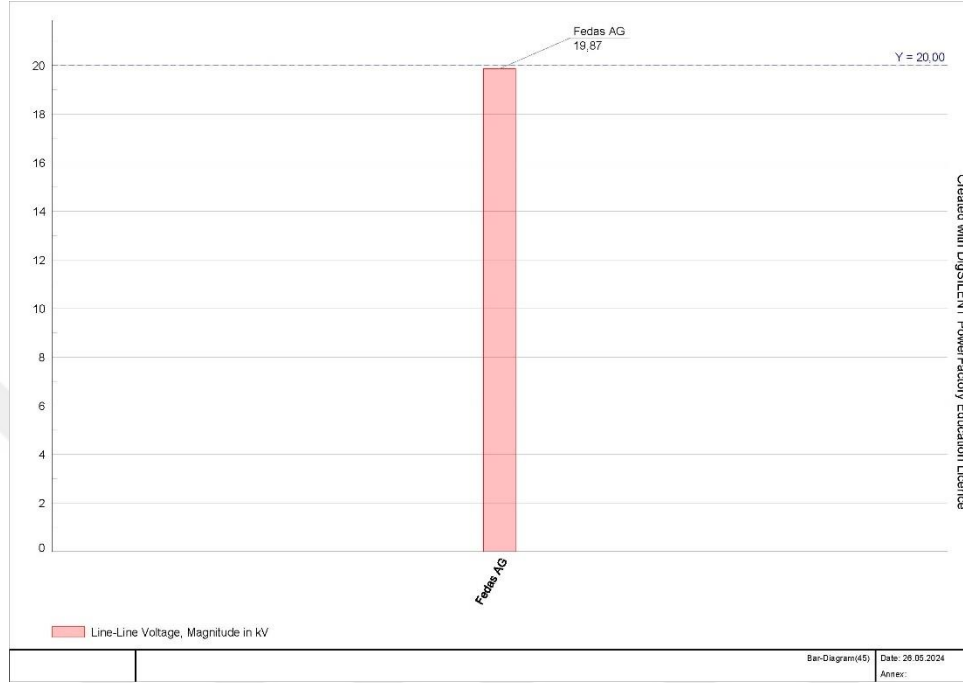
Şekil 6.12. Dekanlık binası transformatörü OG-AG faz-faz gerilim düşümleri

Dekanlık binası transformatörü OG tarafı faz-faz gerilim düşümü Şekil 6.13’ te verilmiştir. Transformatörün OG faz-faz gerilimi 19,87 kV değerindedir.



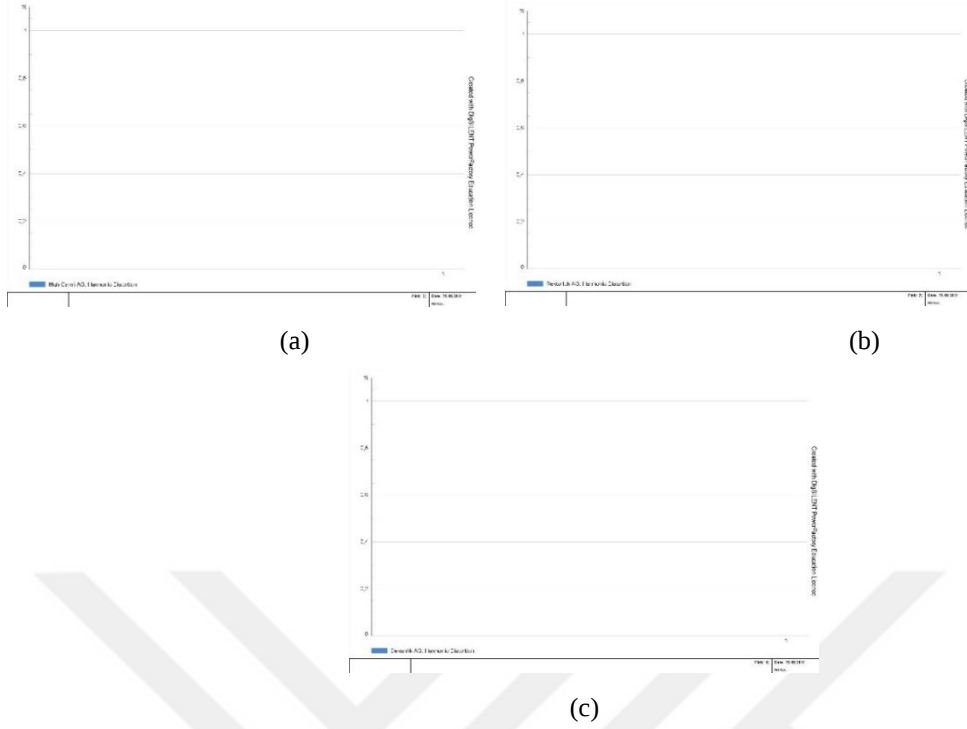
Şekil 6.13. Dekanlık transformatörü OG tarafı faz-faz gerilim düşümü

Rektörlük kampüsünün şehir şebekesinden beslendiği kısım olan FEDAŞ transformatörünün AG tarafına ait faz-faz gerilim düşümü Şekil 6.14'te verilmiştir. Transformatörün AG tarafı 19,87 kV seviyesindedir.



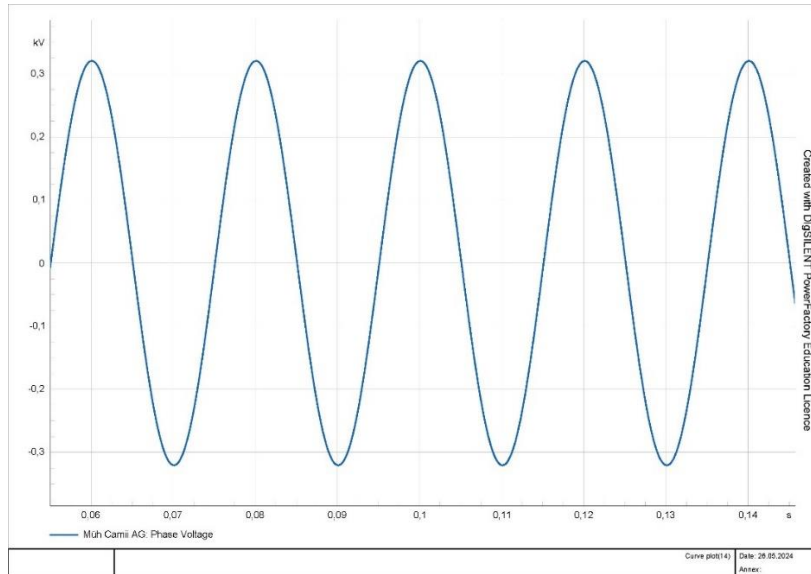
Şekil 6.14. Rektörlük kampüsü FEDAŞ transformatörü AG tarafı faz-faz gerilim düşümü

Gerilim düşümü değerleri elde edildikten sonra harmonik analizi simülasyonu yapılarak sistemde oluşan harmonik seviyeleri elde edilmiştir. Sistemde EA şarj istasyonu olmadığı durumda mühendislik kampüsünde bulunan Mühendislik Camii transformatörü AG tarafında oluşan harmonikler Şekil 6.15 (a)'da, rektörlük kampüsünde bulunan rektörlük binası transformatörü AG tarafında meydana gelen harmonikler Şekil 6.15 (b)'de ve rektörlük kampüsünde bulunan dekanlık binası transformatörü AG tarafında meydana gelen harmonikler de Şekil 6.15 (c)'de verilmiştir. Sistemde EA şarj istasyonu olmadığı durumda herhangi bir harmonik oluşmamıştır. Buna bağlı olarak herhangi bir THD oluşmadığı görülmüştür.



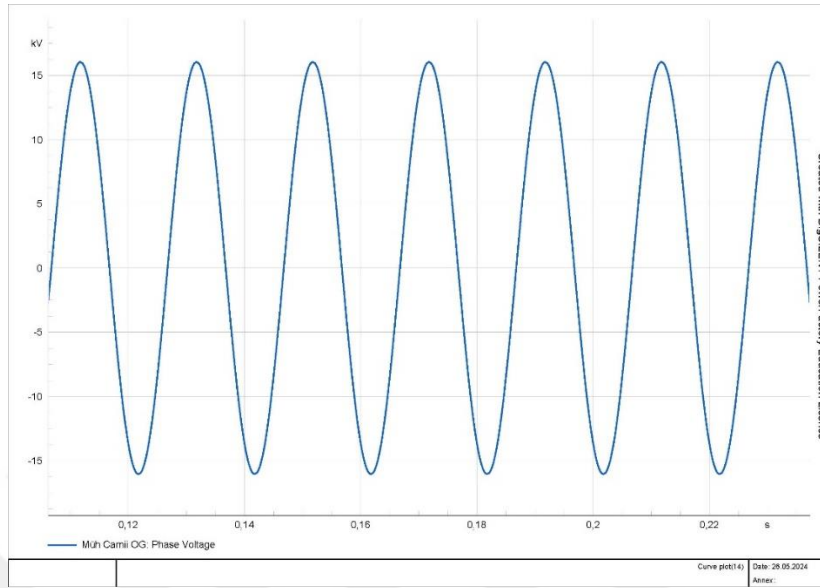
Şekil 6.15. (a) Mühendislik camii transformatörü AG harmonik analizi, (b) Rektörlük binası transformatörü AG harmonik analizi, (c) Dekanlık binası transformatörü AG harmonik analizi

Sistemin harmonik analizi sonuçları elde edildikten sonra EA şarj istasyonlarının ekleneceği alanlardaki transformatörlerin EA şarj istasyonları olmadığı durumda gerilim dalga şekilleri elde edilmiştir. Mühendislik Camii transformatörü AG tarafına ait faz gerilimi Şekil 6,16'da verilmiştir. Şekil 6.16'da gerilimin normal sinüs dalga şekli olduğu görülmektedir. Sistemde EA şarj istasyonu olmadığı için ve sistemdeki mevcut yükler transformörde aşırı yüklenmeye sebep olmadığı için harmonikler oluşmamıştır ve buna bağlı olarak gerilim dalga şeklinde de bir bozulma meydana gelmemiştir.



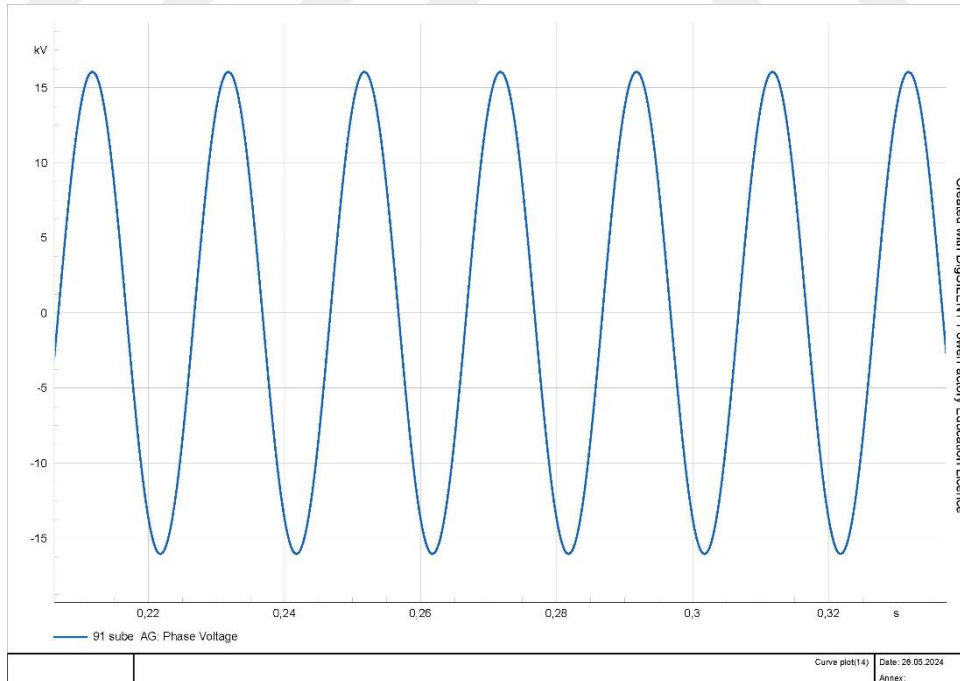
Şekil 6.16. Mühendislik Camii transformatörü AG tarafına ait faz gerilimi

Mühendislik Camii transformatörü OG tarafına ait faz gerilimi Şekil 6.17’de gösterilmiştir.



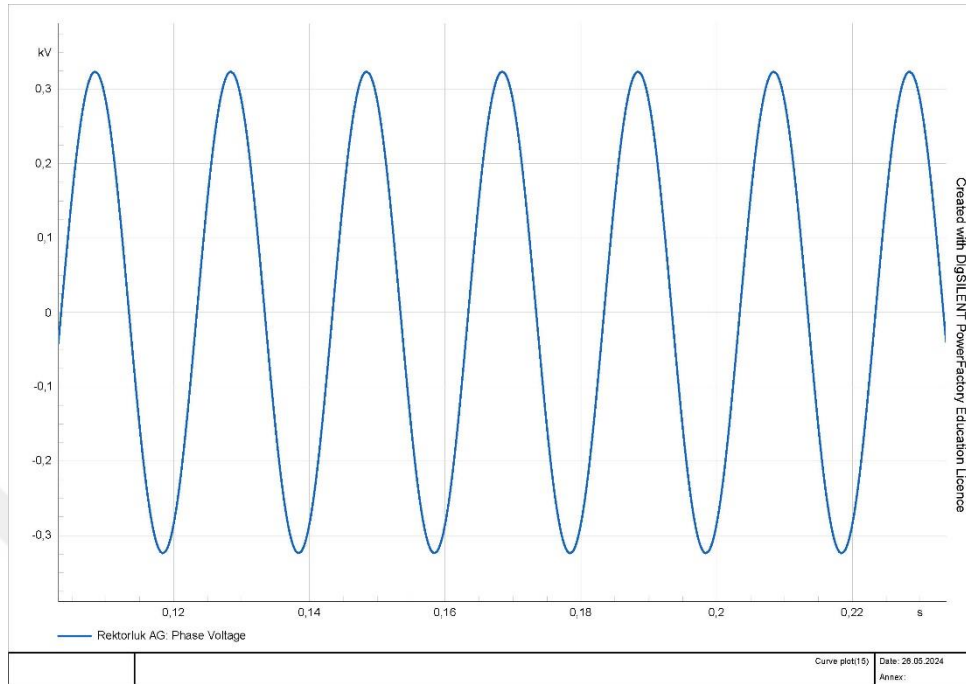
Şekil 6.17. Mühendislik Camii transformatörü OG tarafına ait faz gerilimi

Mühendislik kampüsünün beslemesinin yapıldığı 91. Şube transformatörünün sekonder-AG tarafına ait faz gerilimi Şekil 6,18’ de gösterilmiştir.



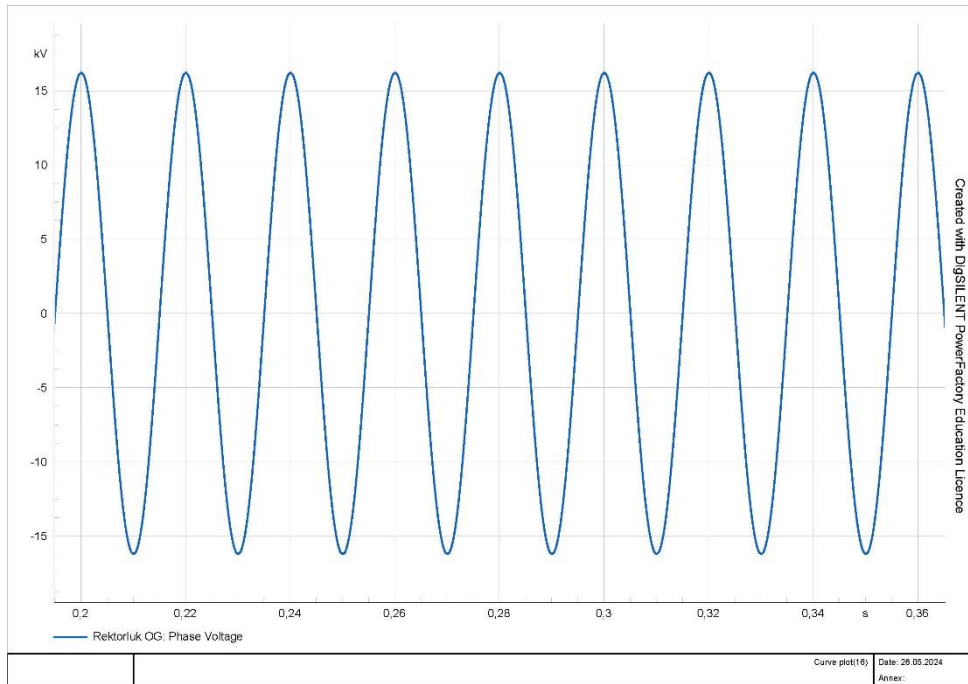
Şekil 6.18. 91. Şube transformatörü AG tarafına ait faz gerilimi

Rektörlük binası transformatörü AG tarafına ait faz gerilimi Şekil 6.19’da gösterilmiştir.



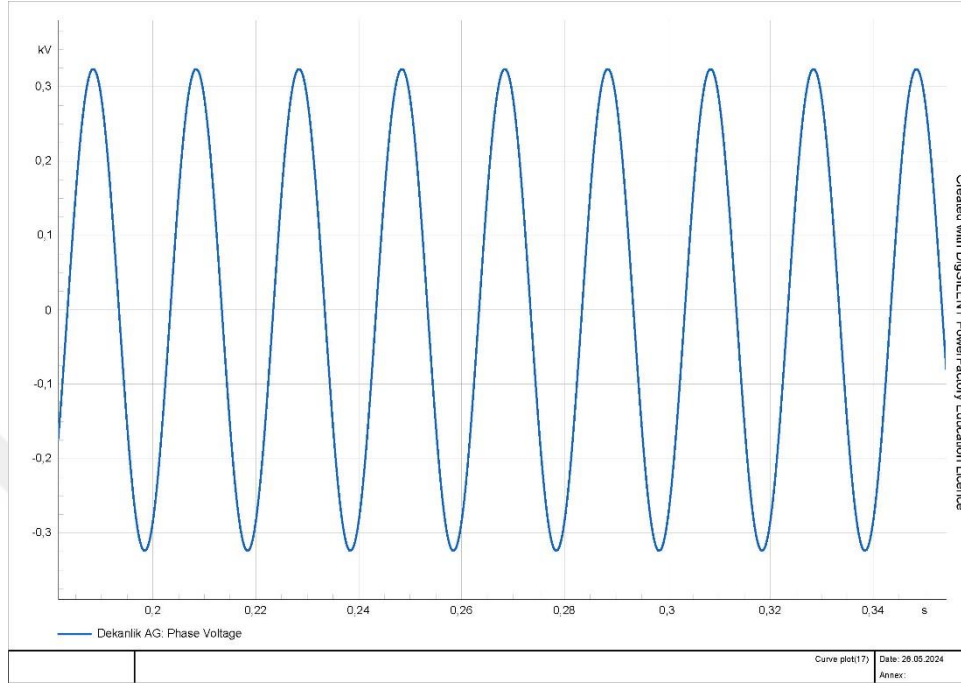
Şekil 6.19. Rektörlük binası transformatörü AG tarafına ait faz gerilimi

Rektörlük binası transformatörü OG tarafına ait faz gerilimi Şekil 6.20’ de gösterilmiştir.



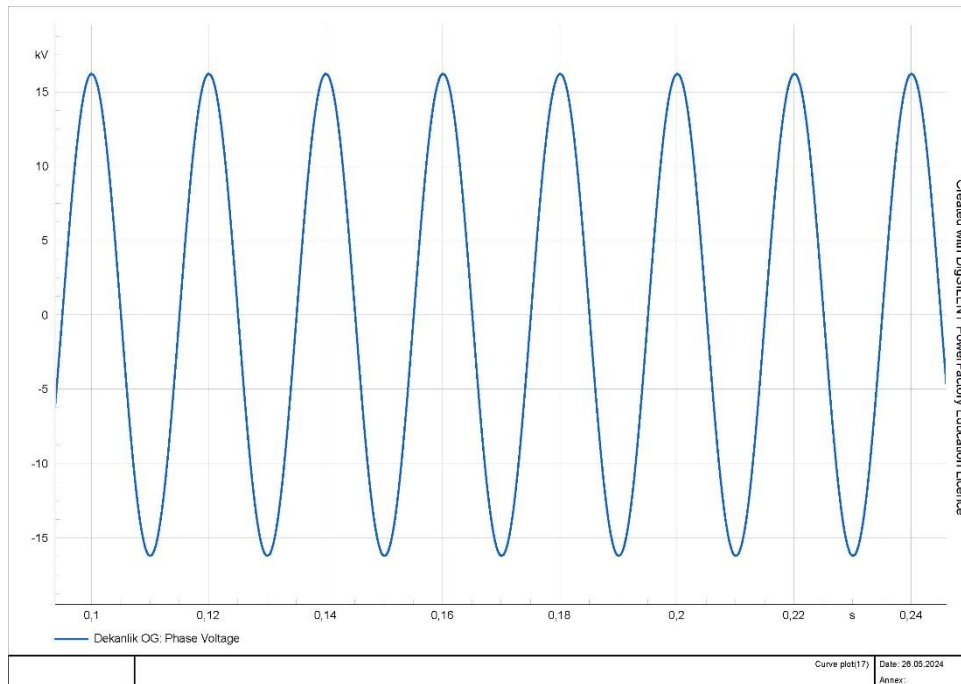
Şekil 6.20. Rektörlük binası transformatörü OG tarafına ait faz gerilimi

Rektörlük kampüsünde, analizi yapılan diğer bir kısım olan dekanlık transformatörünün AG tarafına ait faz gerilimi Şekil 6.21’de verilmiştir.



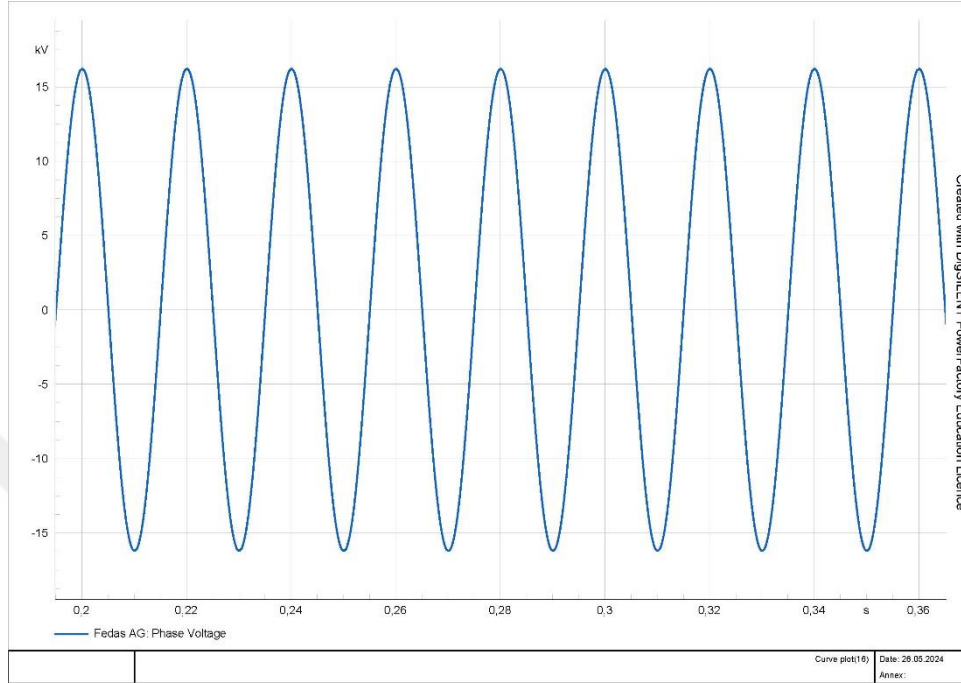
Şekil 6.21. Dekanlık transformatörü AG tarafına ait faz gerilimi

Dekanlık binası transformatörü OG tarafına ait faz gerilimi Şekil 6.22’de verilmiştir.



Şekil 6.22. Dekanlık transformatörü OG tarafına ait faz gerilimi

Rektörlük kampüsünün beslemesinin yapıldığı kısımda bulunan FEDAŞ transformatörünün AG tarafına ait faz gerilimi Şekil 6.23'te verilmiştir.



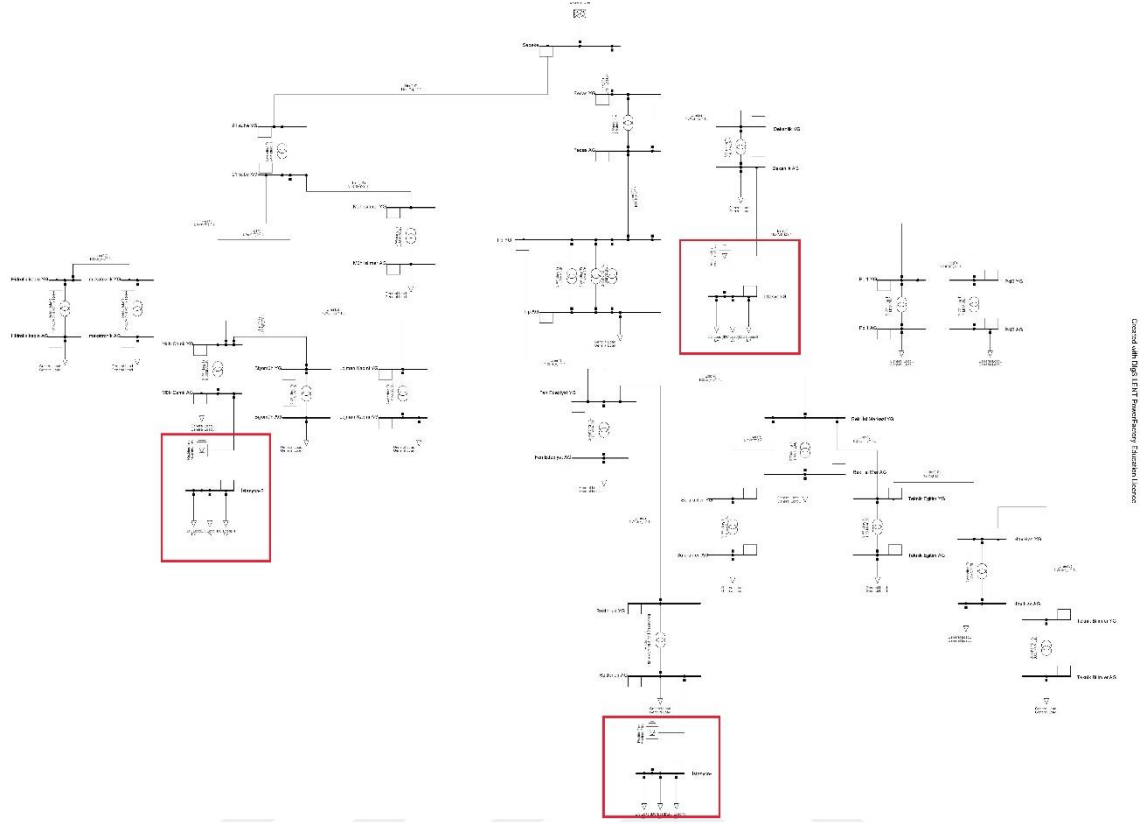
Şekil 6.23. FEDAŞ transformatörü AG tarafına ait faz gerilimi

EA şarj istasyonlarının olmadığı durumda sistemin simülasyonu yapılarak gerekli sonuçlar elde edilmiştir. Aynı simülasyonlar sisteme EA şarj istasyonlarının eklendiği durum için de yapılmıştır.

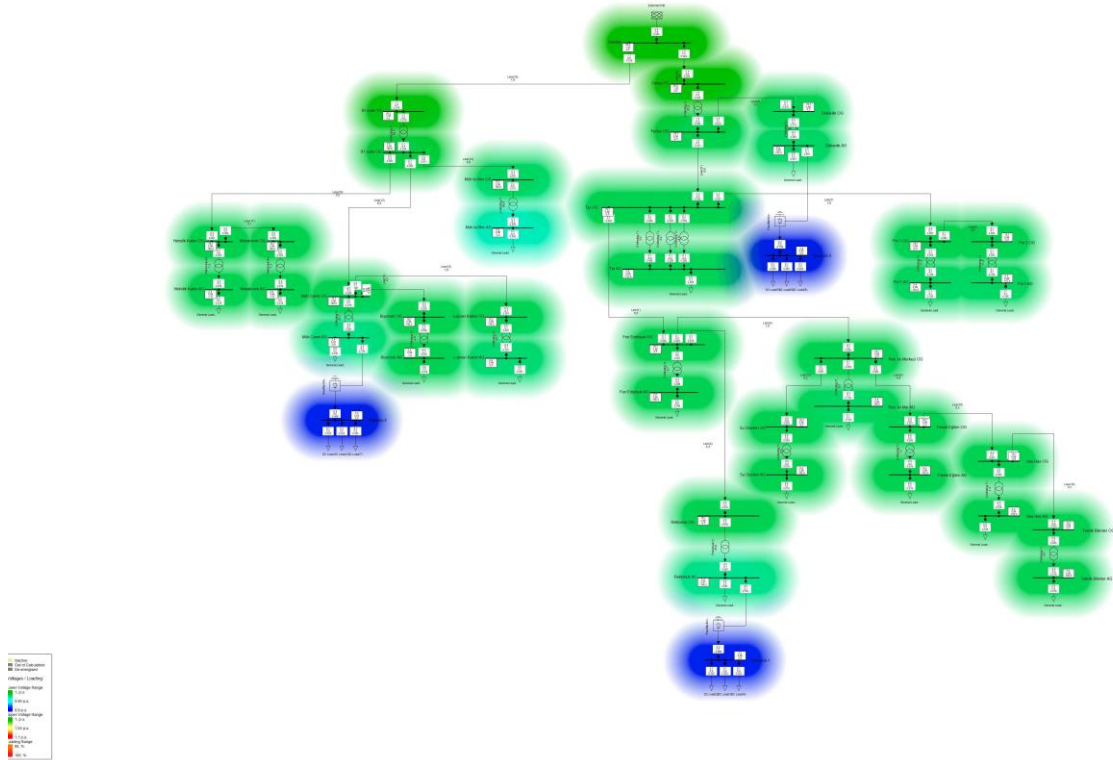
6.2.2. Elektrikli Araç Şarj İstasyonlarının Eklendiği Durum

Üniversite içerisinde EA'ların şarj edilebilmesi için mevcut OG tek hat şemasında belirli bölgelere EA şarj istasyonları eklenerek simülasyonlar ve bu durumun analizi yapılmıştır. Şekil 6.24'te üniversitenin OG tek hat şemasına EA şarj istasyonlarının eklenmiş halinin DIGSILENT PowerFactory çıktısı gösterilmektedir.

Mühendislik kampüsünde, Mühendislik Camii alanına 3 adet EA hızlı şarj istasyonu eklenmiştir. Rektörlük kampüsünde, rektörlük binasının bulunduğu alanda 3 adet EA hızlı şarj istasyonu ve dekanlık binasının olduğu alanda 3 adet EA hızlı şarj istasyonu olmak üzere iki alanda konumlandırılmıştır. Eklenen EA şarj istasyonları 100 kW kapasitesinde güçlere sahip ünitelerdir. Hızlı şarjın yapılmasıyla sistemde oluşturacağı olumsuz etkilerin daha fazla olması ve bundan dolayı daha iyi gözlem yapmak amacıyla hızlı şarj istasyonları kullanılmıştır.



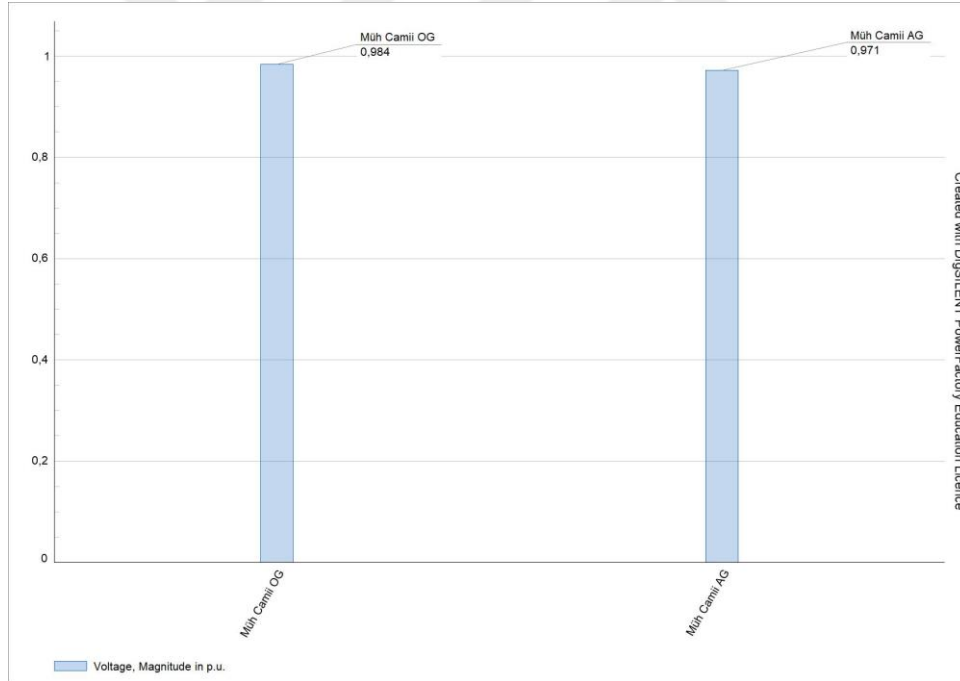
Şekil 6.24. FÜ OG tek hat şemasına EA hızlı şarj istasyonlarının eklenmesi



Şekil 6.25. EA hızlı şarj istasyonlarının eklendiği durumda yük akış analizi

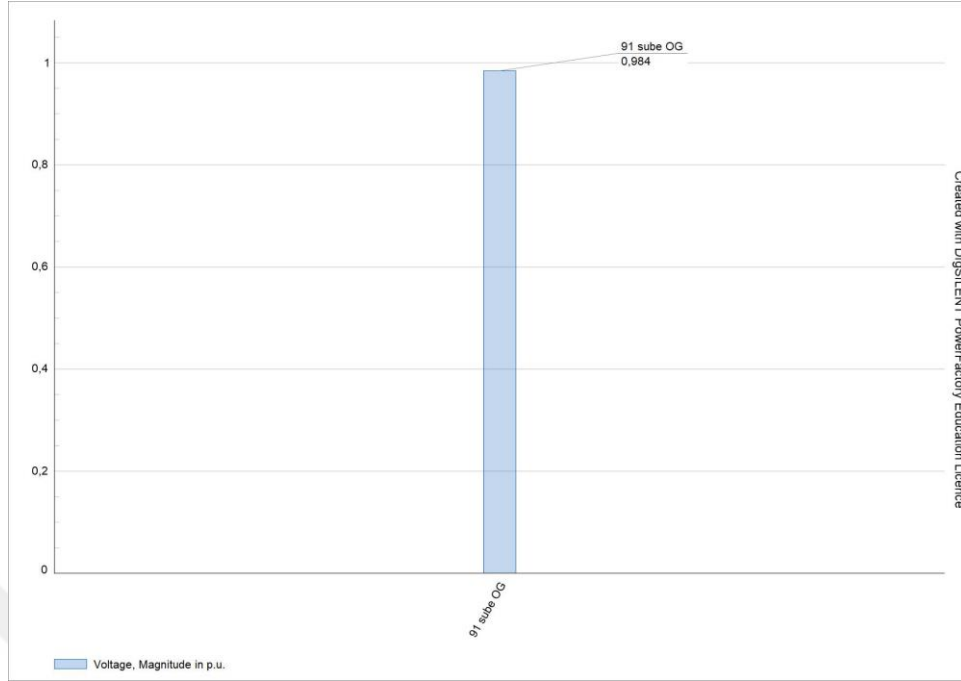
EA hızlı şarj istasyonlarının eklendiği durumda transformatörlerin yüklenme durumu yük akış analizi simülasyonu sonucunda Şekil 6.25’de görüldüğü gibi elde edilmiştir. Elde edilen bu sonuçlar 3 ayrı bölgede bulunan 9 EA hızlı şarj istasyonunun aynı anda şarj etme durumunda elde edilmiştir. Yük akış analizi sonucunda yüklenme durumunun fazla olduğu noktalar EA hızlı şarj istasyonlarının eklendiği bölgede bulunan transformatörler ve bu transformatörlerin beslendiği, kampüs beslemelerinin yapıldığı ana transformatörlerdir. Yük akış analizi sonucu elde edilen gerilim düşümü grafikleri (p.u. ve kV cinsinden), harmonik analizleri sonucu elde edilen grafikler ve gerilim dalga şekilleri her EA hızlı şarj istasyonunun bulunduğu bölge için elde edilmiştir.

Mühendislik kampüsü tarafında 3 EA şarj istasyonunun bağlı olduğu Mühendislik Camii transformatörünün OG ve AG tarafının p.u. gerilim düşümü Şekil 6.26’da gösterilmiştir. Mühendislik Camii transformatörü OG ve AG taraflarının gerilim düşümü değerlerinin sırasıyla 0,984 p.u. ve 0,971 p.u. seviyelerinde olduğu görülmüştür. Bu değerlere bakıldığında EA hızlı şarj istasyonlarının bağlı olduğu transformatörün sekonder tarafında daha fazla gerilim düşümü olduğu görülmektedir.



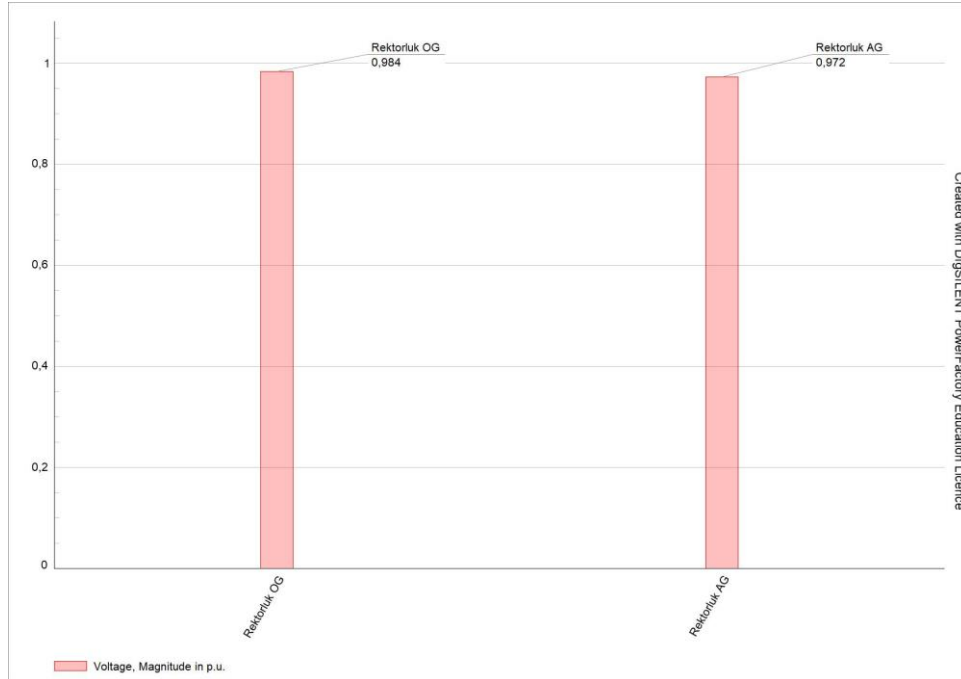
Şekil 6.26. Mühendislik Camii transformatörü OG-AG p.u. cinsinden gerilim düşümleri

Mühendislik Camii tarafının bağlı olduğu ve mühendislik kampüsünün şebeke ile bağlantısını sağlayan 91. Şube transformatörünün EA hızlı şarj istasyonu eklenmiş olan sistemdeki p.u. cinsinden gerilim düşümü Şekil 6.27’de gösterilmiştir.



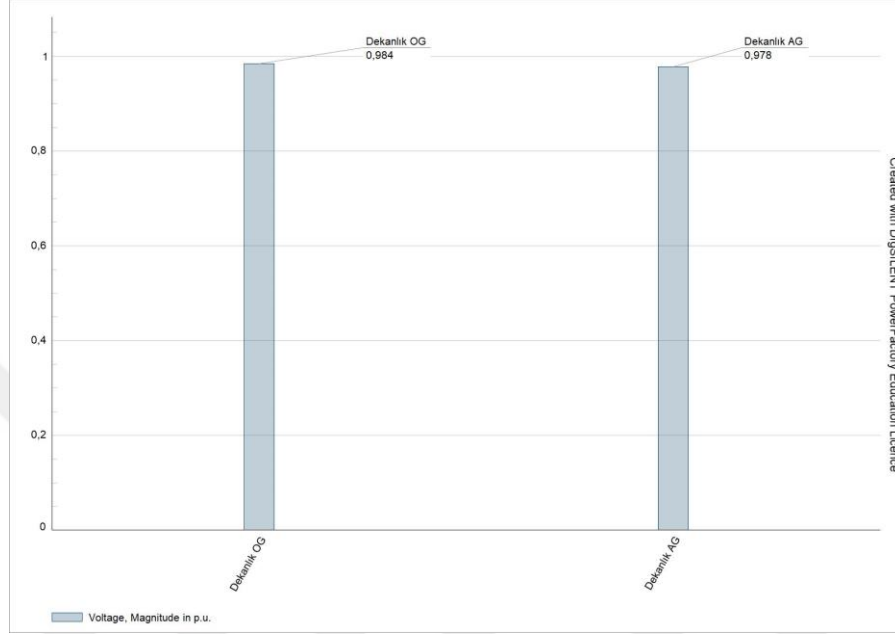
Şekil 6.27. 91. Şube transformatorü OG tarafı p.u. cinsinden gerilim düşümü

Rektörlük kampüsü yerleşkesinde iki farklı bölgede EA şarj istasyonları bulunmaktadır. Rektörlük binasında 3 EA hızlı şarj istasyonunun bağlı bulunduğu transformatorün OG-AG taraflarının p.u. cinsinden gerilim düşümleri Şekil 6.28’de görüldüğü gibi elde edilmiştir. Rektörlük transformatorünün OG ve AG tarafı sırasıyla 0,984 p.u. ve 0,972 p.u. seviyelerindedir.



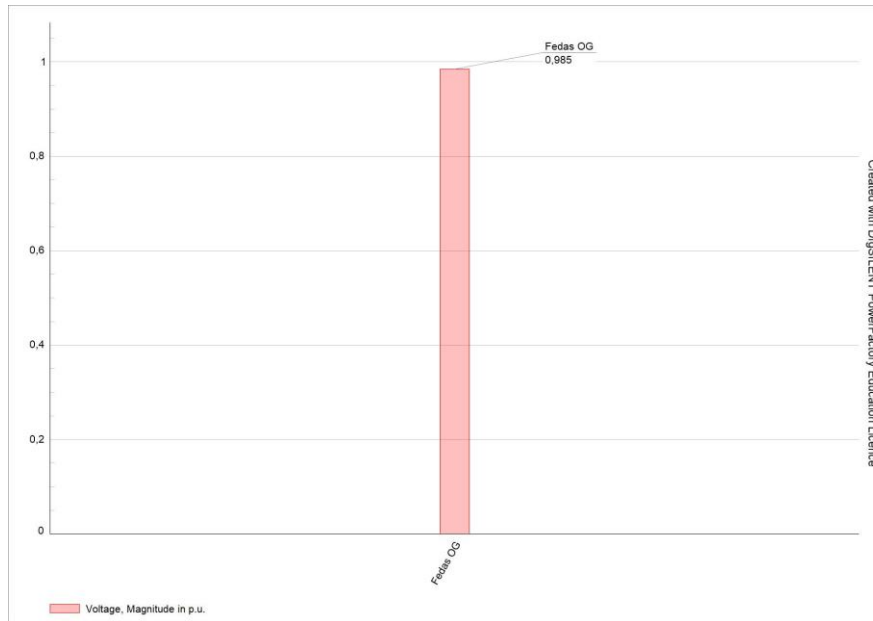
Şekil 6.28. Rektörlük transformatorün OG-AG taraflarının p.u. cinsinden gerilim düşümleri

Rektörlük kampüsü tarafında bir diğer şarj istasyonlarının bağlı olduğu bölge Dekanlık binasıdır. Bu binanın olduğu kısımda da 3 EA hızlı şarj istasyonu olacak şekilde simülasyonlar gerçekleştirilmiştir. Dekanlık transformatörünün OG-AG taraflarına ait p.u. cinsinden gerilim düşümleri Şekil 6.29’da gösterildiği gibidir. Dekanlık bölgesindeki transformatörün OG ve AG tarafı sırasıyla 0,984 p.u. ve 0,978 p.u. seviyelerindedir.



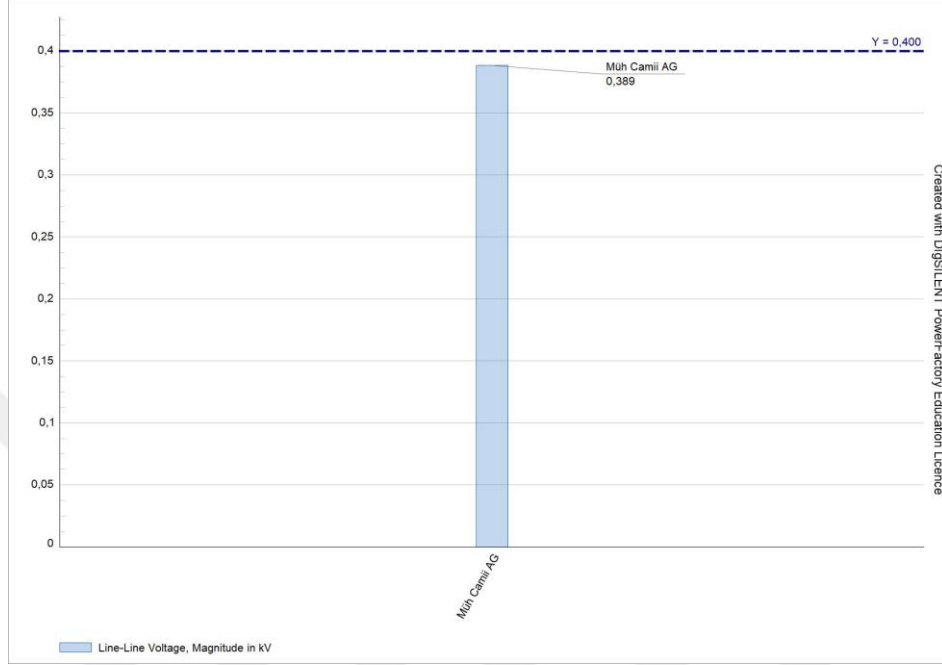
Şekil 6.29. Dekanlık binası transformatörünün OG-AG taraflarının p.u. cinsinden gerilim düşümleri

Rektörlük kampüsünün beslemesinin yapıldığı FEDAŞ transformatörünün p.u. cinsinden gerili düşümü Şekil 6.30’da gösterilmiştir. Gerilim düşümü değerlerine bakıldığında şarj istasyonunun bağlı olduğu transformatörden kampüsün beslemesinin yapıldığı transformatöre doğru gerilim düşümünün azalmakta olduğu görülmektedir.



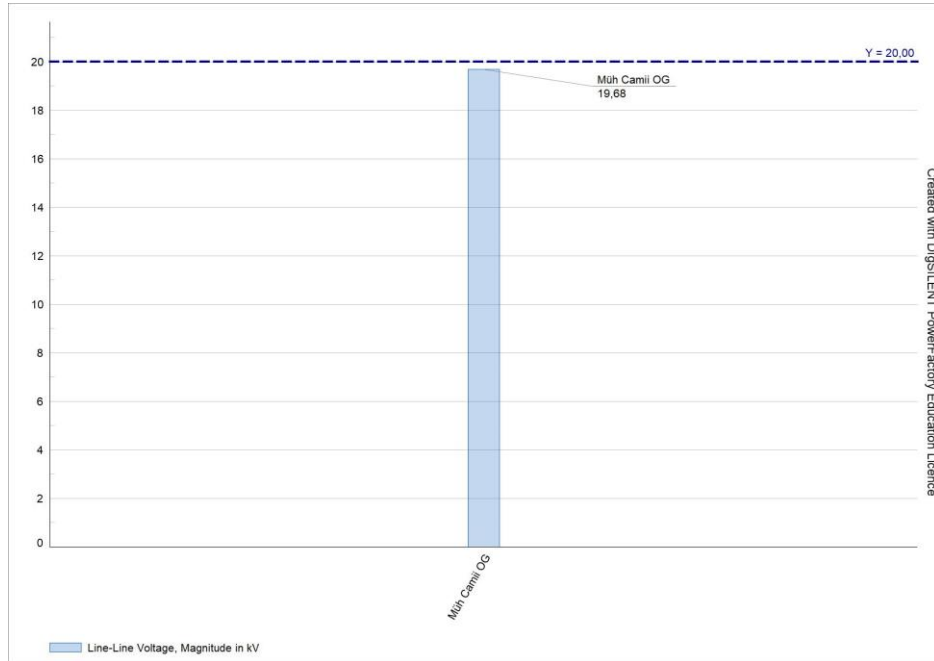
Şekil 6.30. FEDAŞ transformatörünün OG tarafı p.u. cinsinden gerilim düşümü

Gerilim düşümü grafikleri p.u. cinsinden elde edildikten sonra aynı transformatörlere ait faz-faz gerilim düşümü grafikleri de elde edilmiştir. Mühendislik kampüsü kısmında Mühendislik Camii transformatörü AG tarafına ait faz-faz gerilim düşümü grafiği Şekil 6.31’de gösterilmiştir.



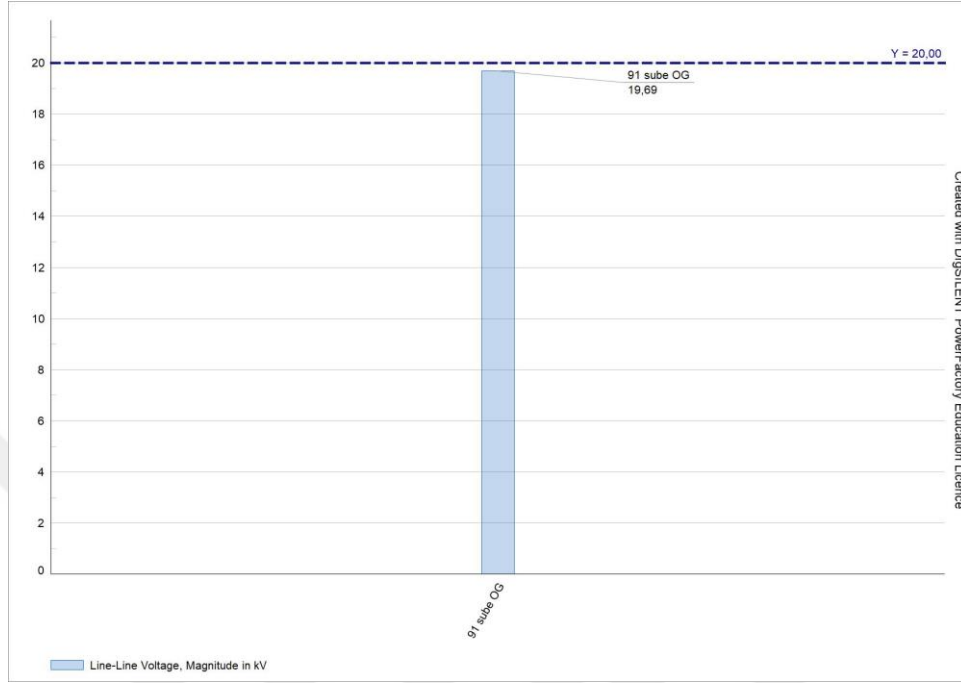
Şekil 6.31. Mühendislik Camii transformatörü AG tarafı faz-faz gerilim düşümü

Mühendislik Camii transformatörü YG tarafına ait faz-faz gerilim düşümü Şekil 6.32’de gösterildiği gibi elde edilmiştir.



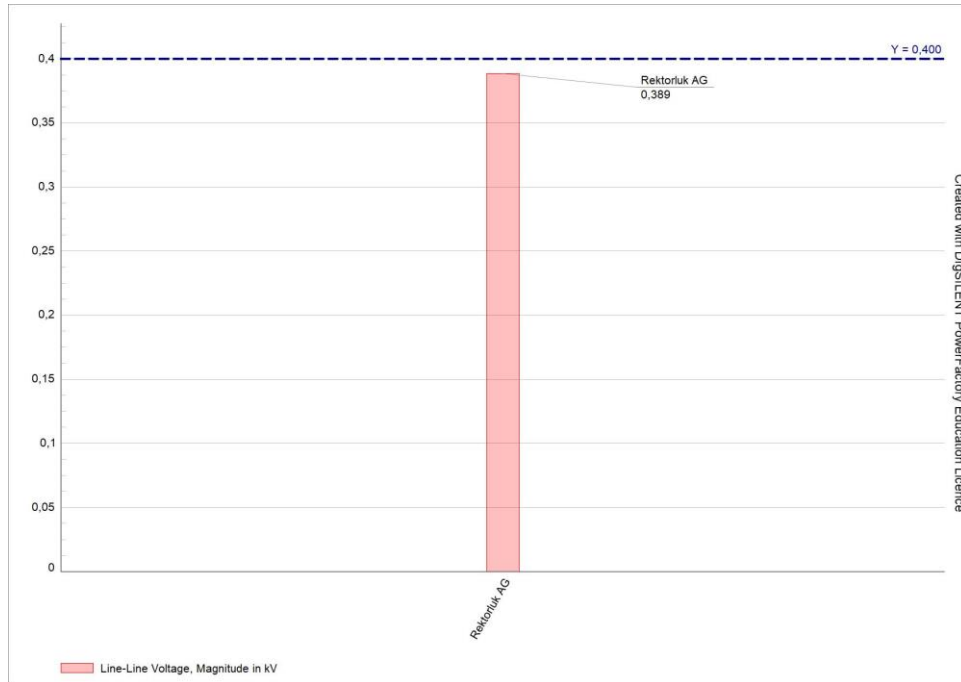
Şekil 6.32. Mühendislik Camii transformatörü OG tarafı faz-faz gerilim düşümü

Mühendislik kampüsünün şebeke ile bağlantısının yapıldığı bölgede bulunan 91. Şube transformatörünün OG tarafına ait faz-faz gerilim düşümü Şekil 6.33’de verilmiştir.



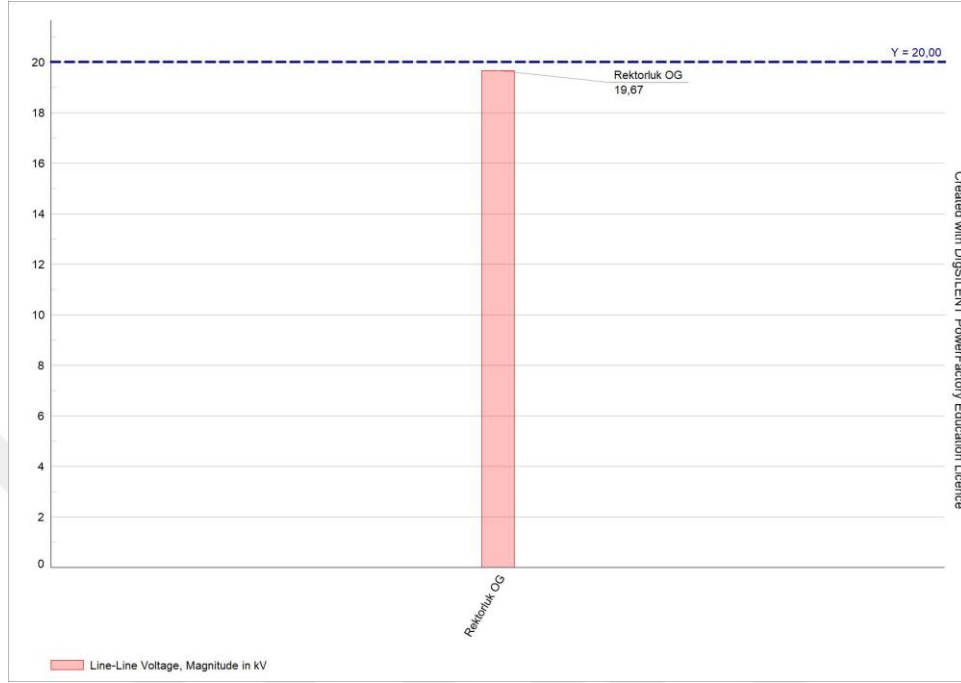
Şekil 6.33. 91. Şube transformatörünün OG tarafı faz-faz gerilim düşümü

Rektörlük kampüsü tarafında rektörlük bölgesinde bulunan transformatöre ait AG tarafı faz-faz gerilim düşümü Şekil 6.34’de gösterilmiştir.



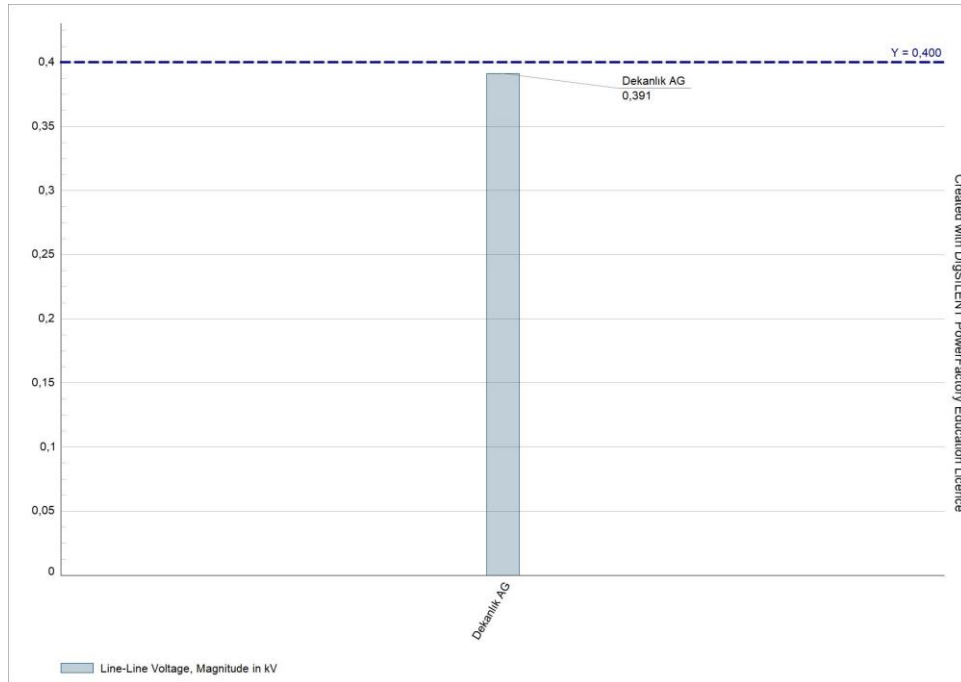
Şekil 6.34. Rektörlük bölgesindeki transformatörün AG tarafı faz-faz gerilim düşümü

Rektörlük bölgesindeki transformatörün OG tarafına ait faz-faz gerilim düşümü Şekil 6.35’de gösterildiği gibidir.



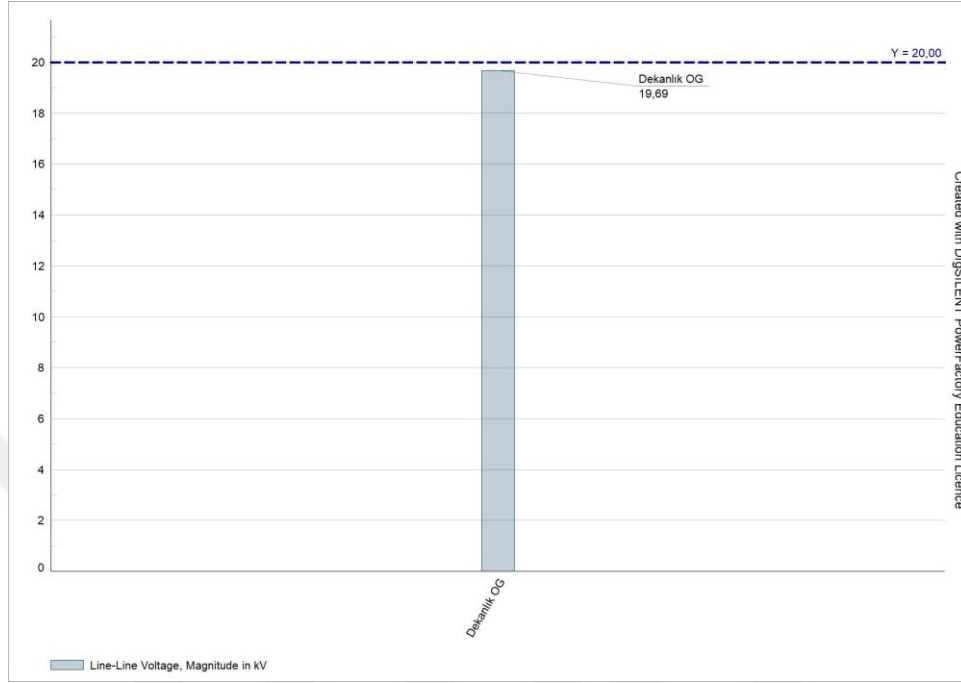
Şekil 6.35. Rektörlük bölgesindeki transformatörün OG tarafı faz-faz gerilim düşümü

Rektörlük kampüsünde EA hızlı şarj istasyonlarının eklendiği bir diğer bölge olan Dekanlık bölgesi transformatörünü AG tarafı faz-faz gerilim düşümü Şekil 6.36’ da gösterildiği elde edilmiştir.



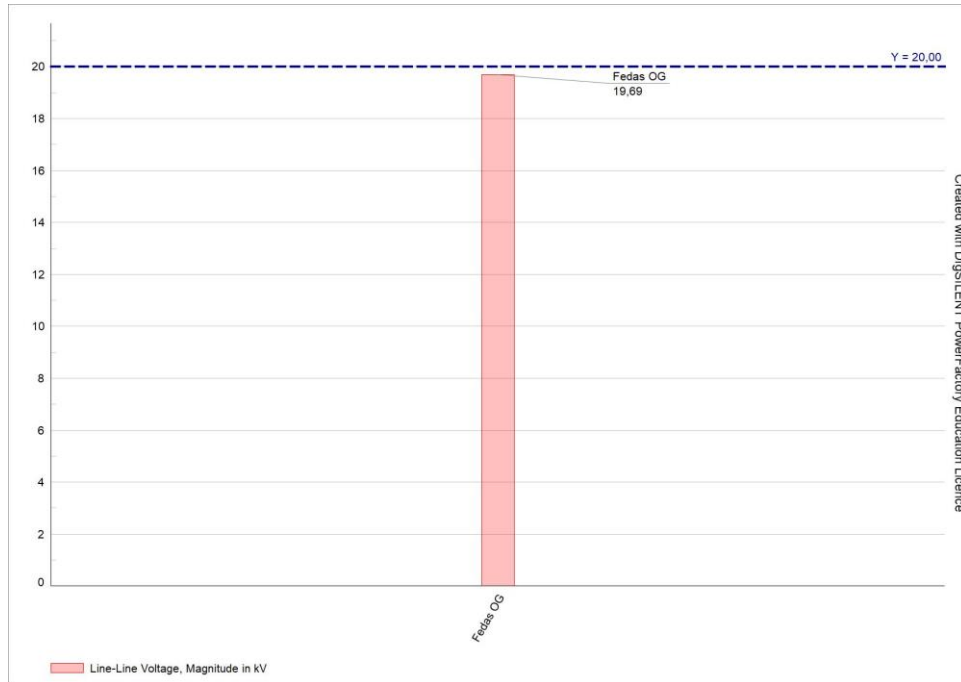
Şekil 6.36. Dekanlık bölgesi transformatörü AG tarafı faz-faz gerilim düşümü

Dekanlık bölgesindeki transformatörün EA hızlı şarj istasyonları eklendikten sonraki OG tarafına ait faz-faz gerilim düşümü Şekil 6.37’de gösterildiği gibi elde edilmiştir.



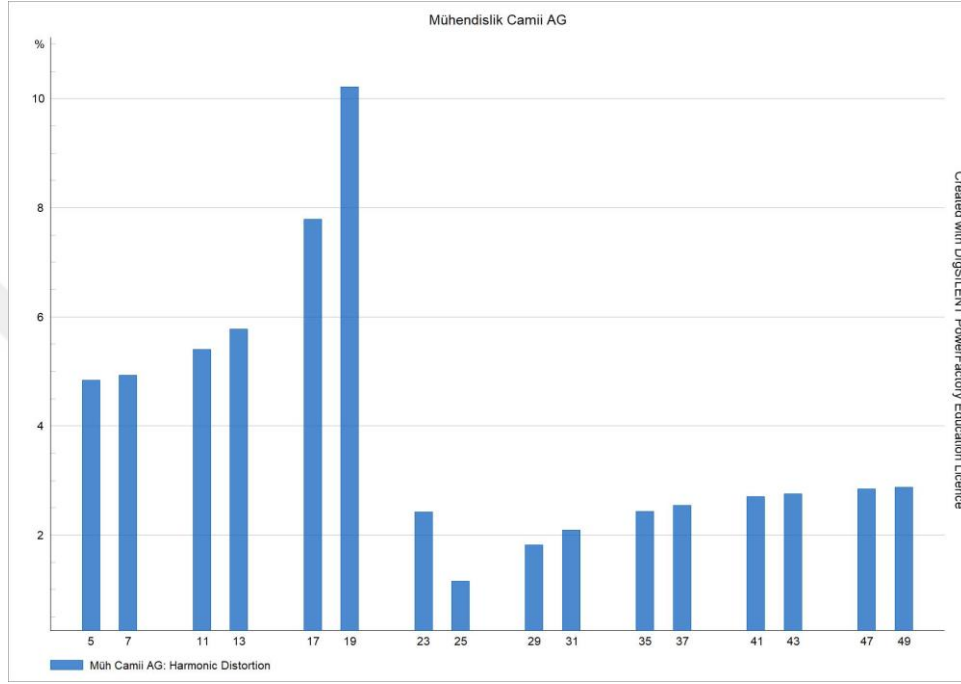
Şekil 6.37. Dekanlık transformatörü OG tarafı faz-faz gerilim düşümü

Rektörlük kampüsü beslemesinin yapıldığı bölgede bulunan FEDAŞ transformatörünün OG tarafına ait faz-faz gerilim düşümü Şekil 6.38’de gösterilmiştir.



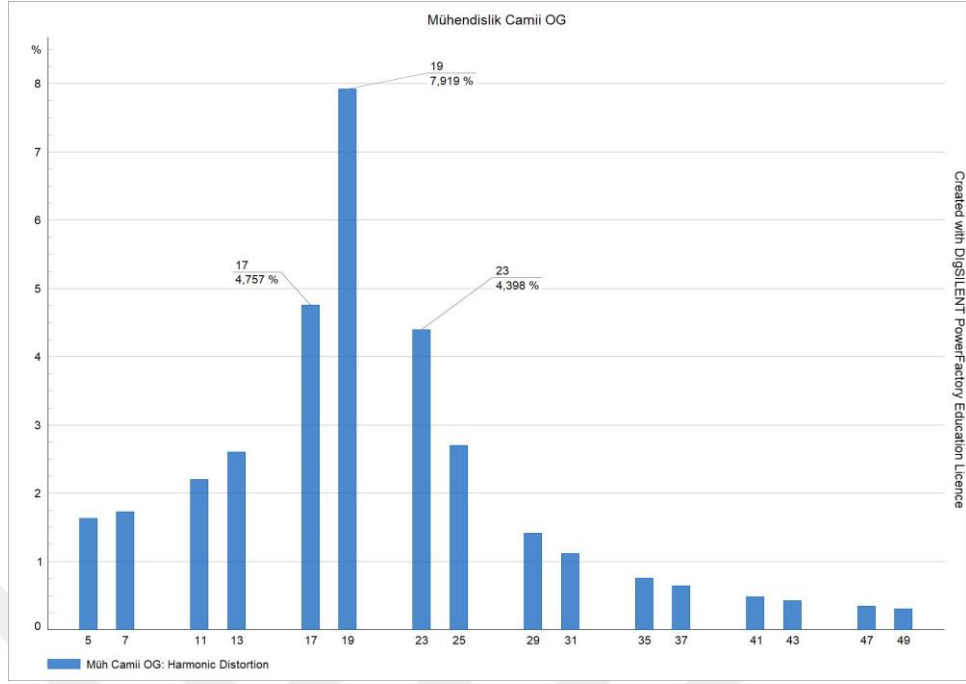
Şekil 6.38. FEDAŞ transformatörü AG tarafı faz-faz gerilim düşümü

EA hızlı şarj istasyonlarının eklendiği durum için gerilim düşümü grafikleri elde edildikten sonra harmonik analizi simülasyonu yapılarak sistemde oluşan harmonik seviyeleri elde edilmiştir. Sistemde EA hızlı şarj istasyonlarının eklendiği durumda mühendislik kampüsünde bulunan Mühendislik Camii transformatörüne 3 EA hızlı şarj istasyonu bağlı olduğu durumda, AG tarafında oluşan harmonikler Şekil 6.39’da gösterildiği gibi elde edilmiştir.

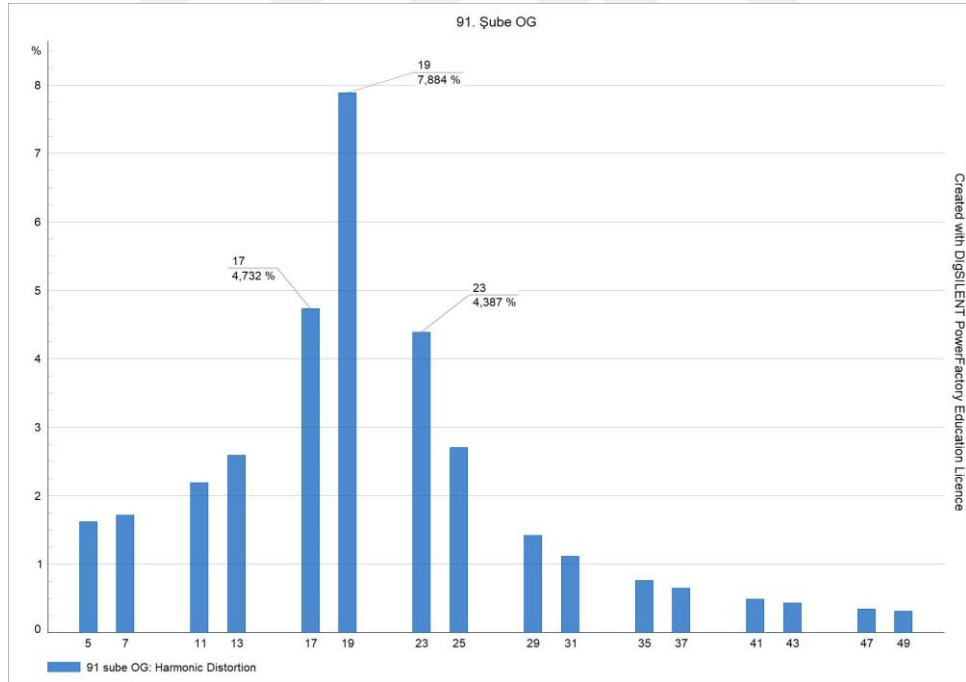


Şekil 6.39. Mühendislik Camii transformatörü AG tarafında oluşan harmonikler

Mühendislik Camii transformatörü OG tarafında oluşan harmonikler Şekil 6.40’da, Mühendislik kampüsünün beslemesinin yapıldığı bölgede bulunan 91. Şube transformatörünün OG tarafında oluşan harmonikler ise Şekil 6.41’de gösterilmiştir.



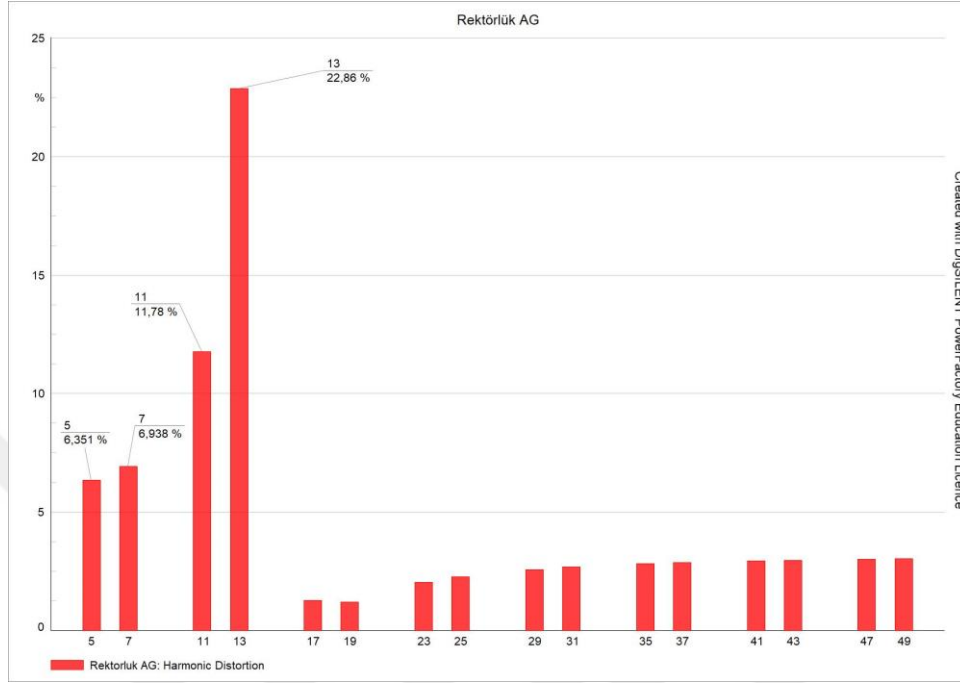
Şekil 6.40. Mühendislik Camii transformatörü OG tarafında oluşan harmonikler



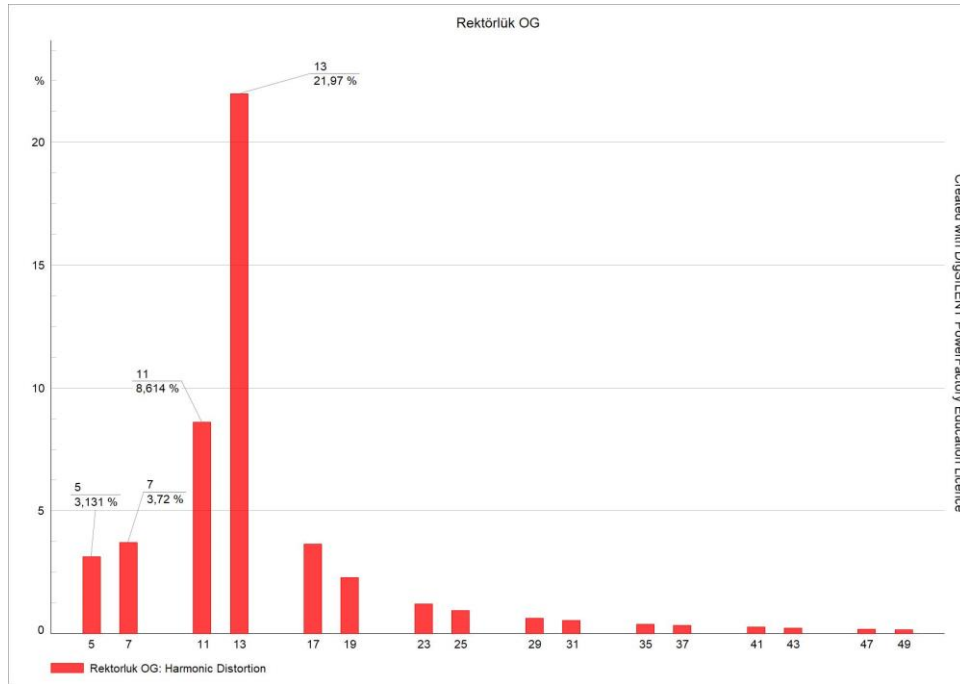
Şekil 6.41. 91. Şube transformatörü AG tarafında oluşan harmonikler

Rektörlük kampüsü yerleşkesinde EA hızlı şarj istasyonları rektörlük ve dekanlık bölgelerinde konumlandırılmıştır. Rektörlük binası bölgesinde bulunan transformatörün AG tarafında hızlı şarj istasyonları eklendikten sonra oluşan harmonikler Şekil 6.42'deki gibi,

Rektörlük binası transformatörünün OG tarafına ait harmonikler ise Şekil 6.43'deki gibi elde edilmiştir.

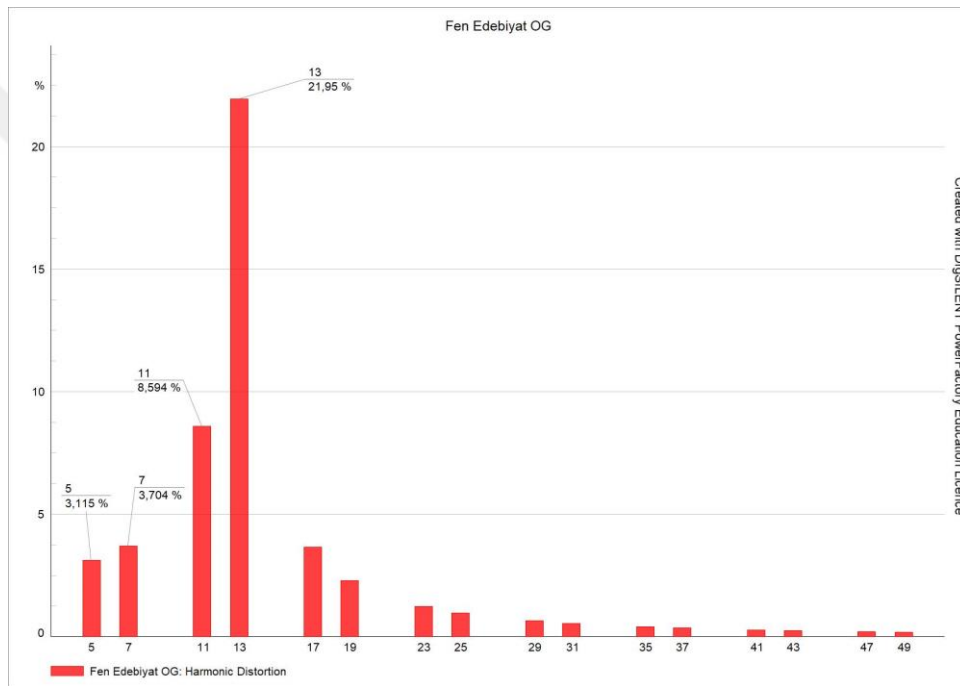


Şekil 6.42. Rektörlük transformatörü AG tarafında oluşan harmonikler



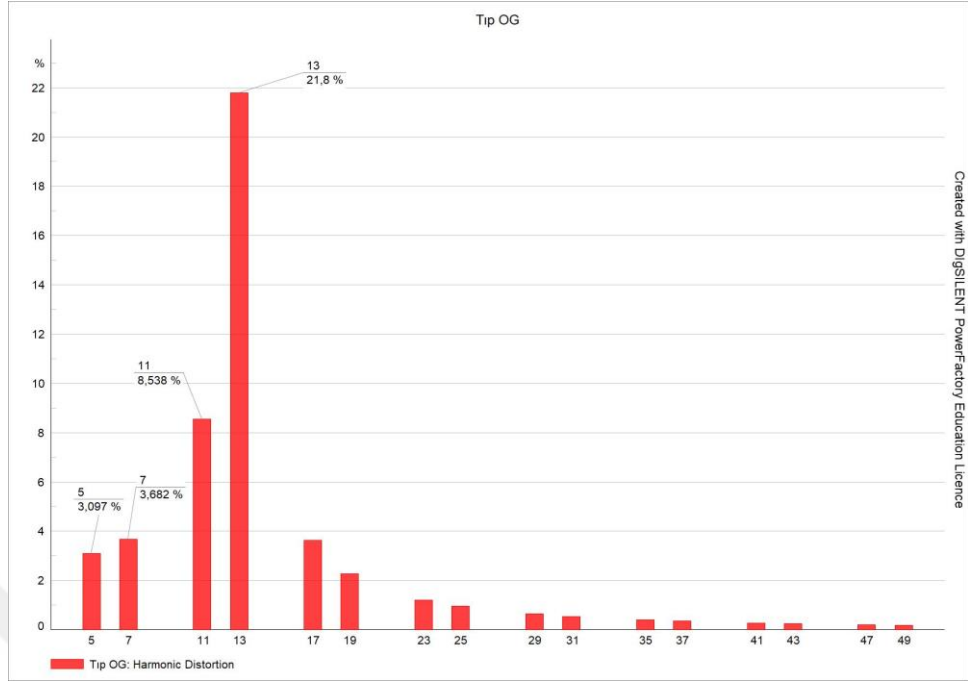
Şekil 6.43. Rektörlük binası transformatörünün OG tarafına ait harmonikler

FÜ OG tek hat şemasında harmoniklerin oluşmasına sebep olan şarj istasyonlarından beslemenin yapıldığı ana transformatöre doğru harmonik analizi yapılarak yük tarafından ana transformatöre doğru harmonik seviyelerindeki değişimler gözlemlenmiştir. Rektörlük transformatörü kısmının enerji akış yönü incelendiğinde, FEDAŞ'a ait transformatör ile kampüs beslemesi yapıldıktan sonra Tıp Fakültesi transformatörü, Fen Edebiyat Fakültesi transformatörü ve Rektörlük transformatörü şeklinde enerji akış yönü mevcuttur. Harmoniklerin bu akış yönündeki değişimini incelemek için rektörlük binasına ait transformatörün bağlı olduğu Fen Edebiyat transformatörünün harmonik analizi yapılmıştır. Fen Edebiyat Fakültesi transformatörü OG tarafına ait harmonikler Şekil 6.44'de gösterildiği gibi elde edilmiştir.

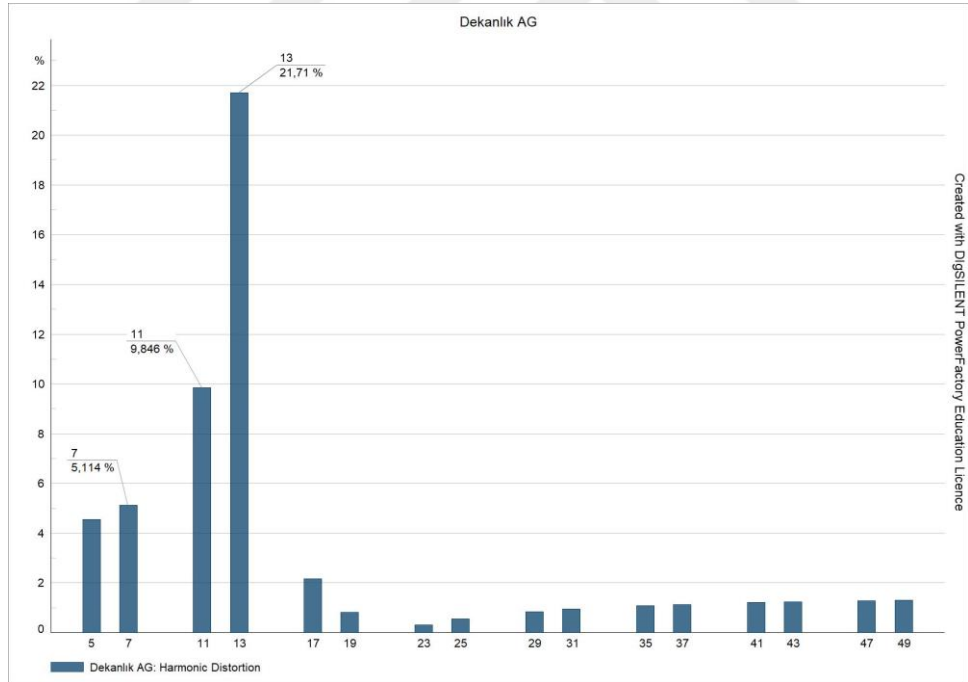


Şekil 6.44. Fen Edebiyat Fakültesi transformatörü OG tarafına ait harmonikler

Enerji akış yönünde Fen Edebiyat transformatörünün OG tarafının bağlantısı Tıp transformatöründen yapılmıştır. Tıp Fakültesi transformatörü OG tarafına ait harmonikler Şekil 6.45'de, Rektörlük kampüsü yerleşkesinde diğer EA hızlı şarj istasyonlarının bulunduğu bölge olan Dekanlık transformatörünün AG tarafına ait harmonikler ise Şekil 6.46'da gösterilmiştir.

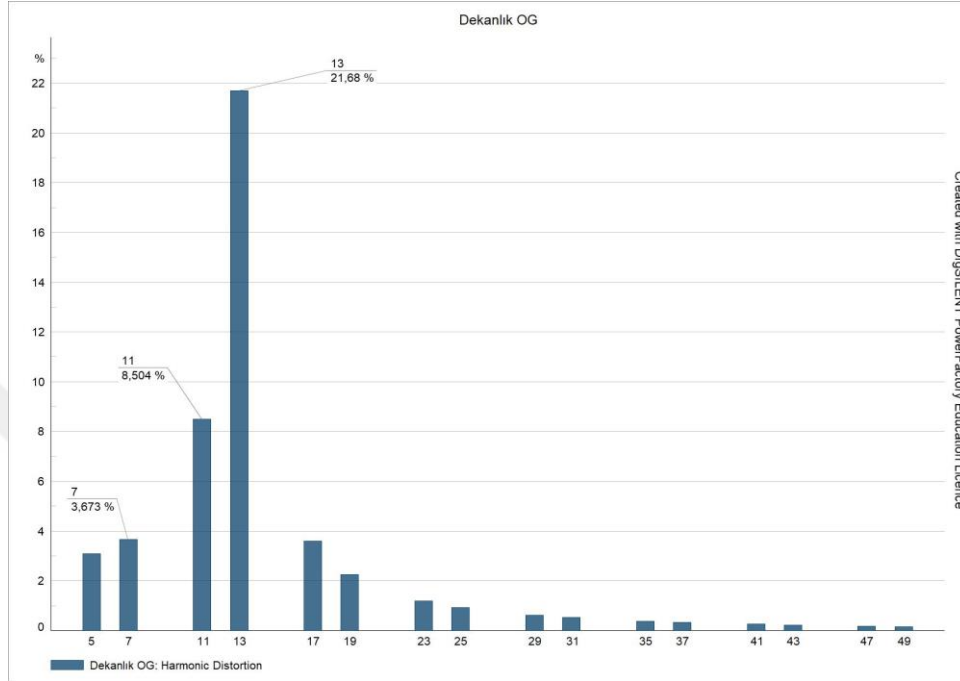


Şekil 6.45. Tıp Fakültesi transformatörü OG tarafına ait harmonikler

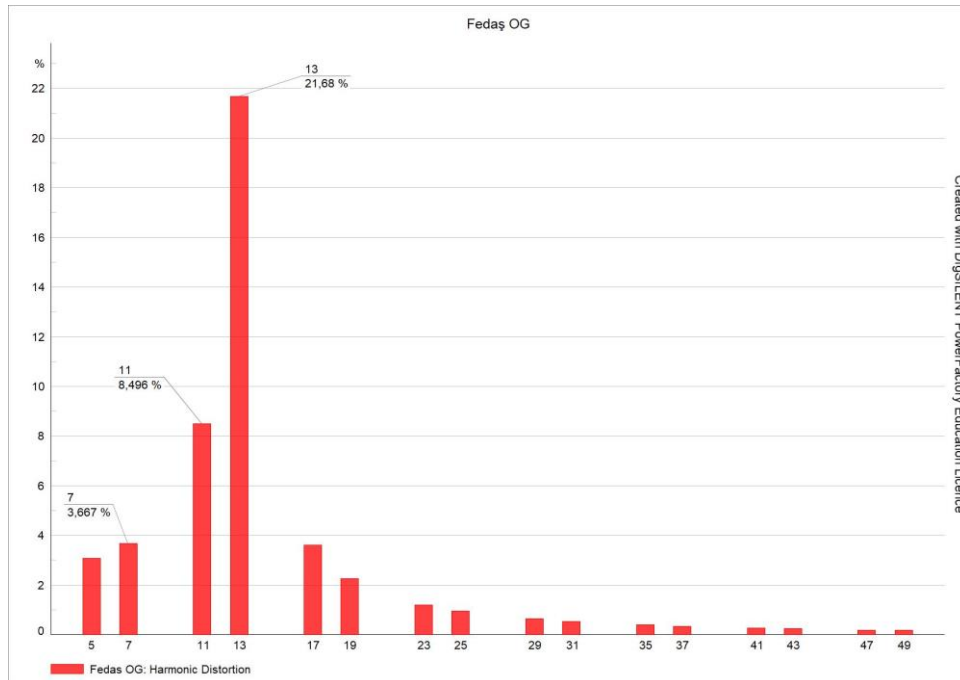


Şekil 6.46. Dekanlık transformatörünün AG tarafına ait harmonikler

Dekanlık bölgesinde bulunan transformatörün OG tarafına ait harmonikler Şekil 6.47’de, Rektörlük kampüsünün beslemesinin yapıldığı bölge olan FEDAŞ’a ait transformatörün OG tarafına ait harmonikler ise Şekil 6.48’de gösterilmiştir.

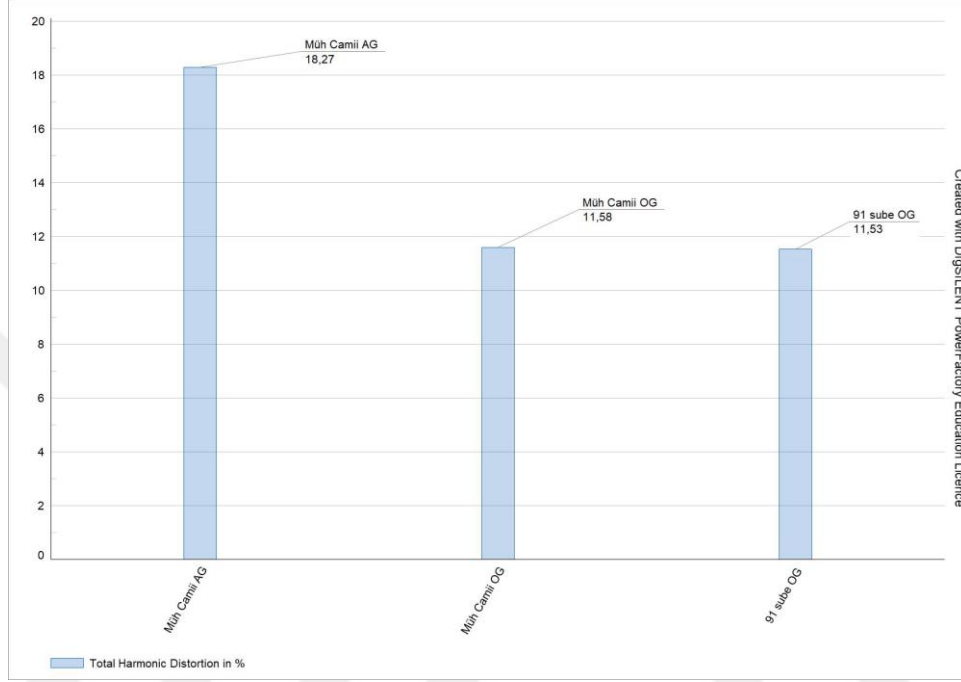


Şekil 6.47. Dekanlık bölgesinde bulunan transformatörün OG tarafına ait harmonikler



Şekil 6.48. FEDAŞ’a ait transformatörün OG tarafına ait harmonikler

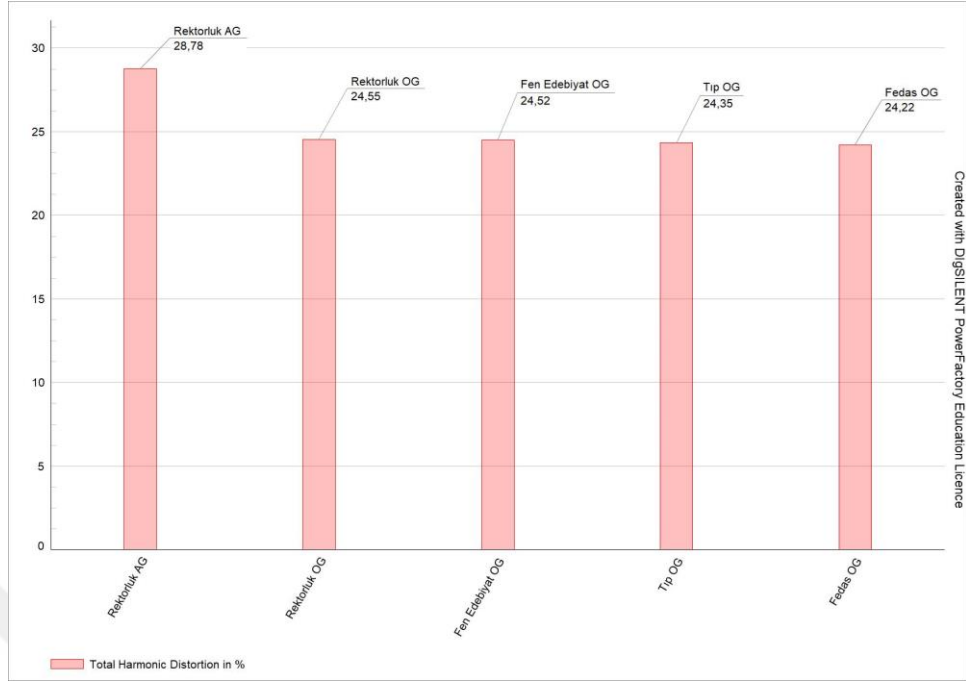
EA hızlı şarj istasyonlarının eklendiği durum için harmonik analiz sonuçları elde edildikten sonra THD sonuçları elde edilmiştir. İlk olarak mühendislik kampüsü tarafında EA şarj istasyonlarının eklenmiş olduğu Mühendislik Camii transformatorü ve mühendislik kampüsünün beslemesinin yapıldığı 91. Şube transformatorüne ait THD yüzdeleri elde edilmiştir (Şekil 6.49).



Şekil 6.49. Mühendislik kampüsüne ait THD değerleri

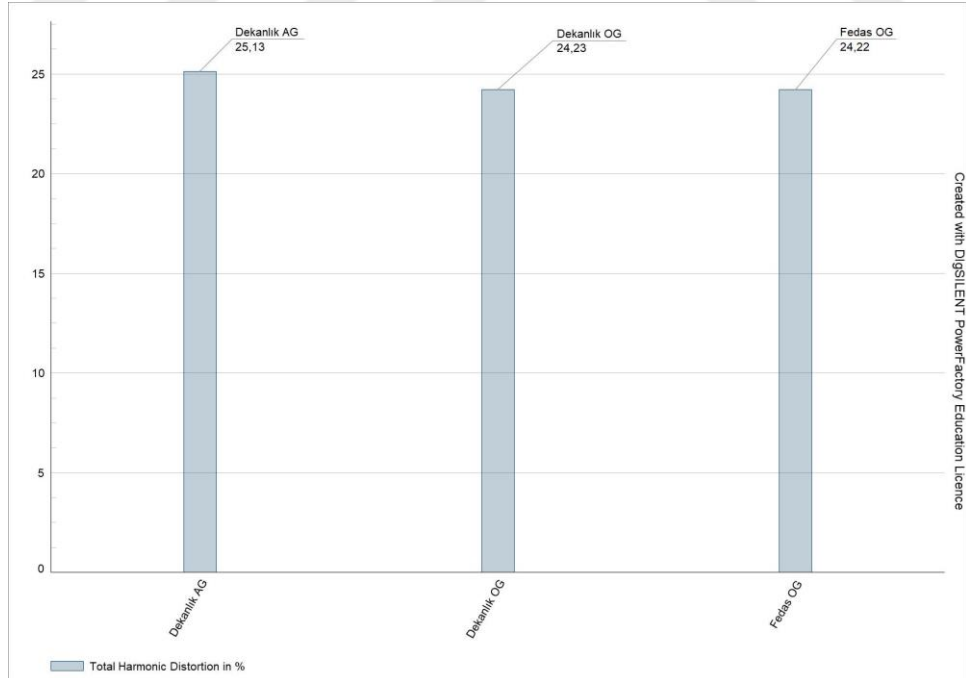
Şekil 6.49'dan, EA şarj istasyonlarının olmadığı durumda THD oluşmamakta ancak EA hızlı şarj istasyonları sisteme dahil edildiğinde Mühendislik Camii transformatorünün sekonder tarafına ait THD %18 seviyelerinde iken, yükten uzaklaşıp beslemenin yapıldığı transformatöre doğru sonuçlar alındığında THD değerinin %11 seviyelerine kadar gerilediği görülmektedir. THD seviyelerinin bu seviyelere çıkmış olması gerilim dalga şekillerinde de bozulmalara sebep olmaktadır.

EA hızlı şarj istasyonlarının sisteme bağlandığı diğer noktalar için de sırasıyla THD analizleri yapıp sonuçlar elde edilmiştir. Şekil 6.50'de EA hızlı şarj istasyonlarının bulunduğu rektörlük transformatorüne ait THD yüzdeleri elde edilmiştir. Değerler Mühendislik yerleşkesine göre daha yüksek seviyelerdedir. Bunun sebebi rektörlük kampüsünde iki farklı bölgede hızlı şarj istasyonlarının bulunmasıdır. Her iki bölgede bulunan hızlı şarj istasyonları ortak transformatörlerde yük oluşturdıkları için transformatörlerde daha fazla yüklenme olmaktadır ve bundan dolayı daha fazla THD meydana gelmektedir.



Şekil 6.50. Rektörlük transformatörünün bağlı bulunduğu yerleşkeye ait THD değerleri

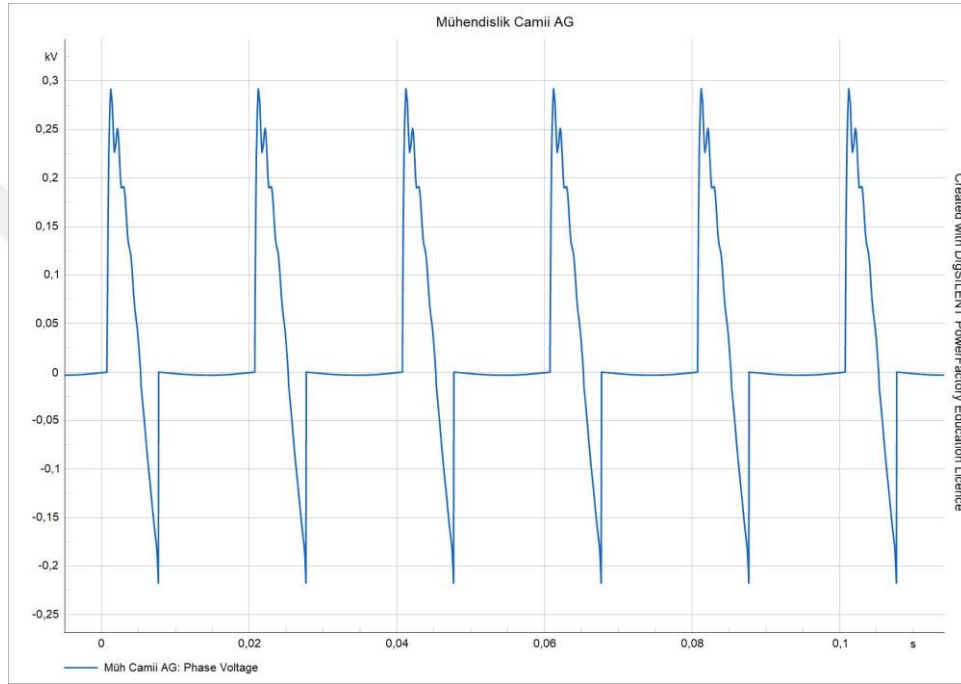
Rektörlük kampüsünde diğer hızlı şarj istasyonlarının bulunduğu dekanlık bölgesindeki THD değerleri Şekil 6.51’de gösterilmiştir.



Şekil 6.51. Dekanlık bölgesine ait THD değerleri

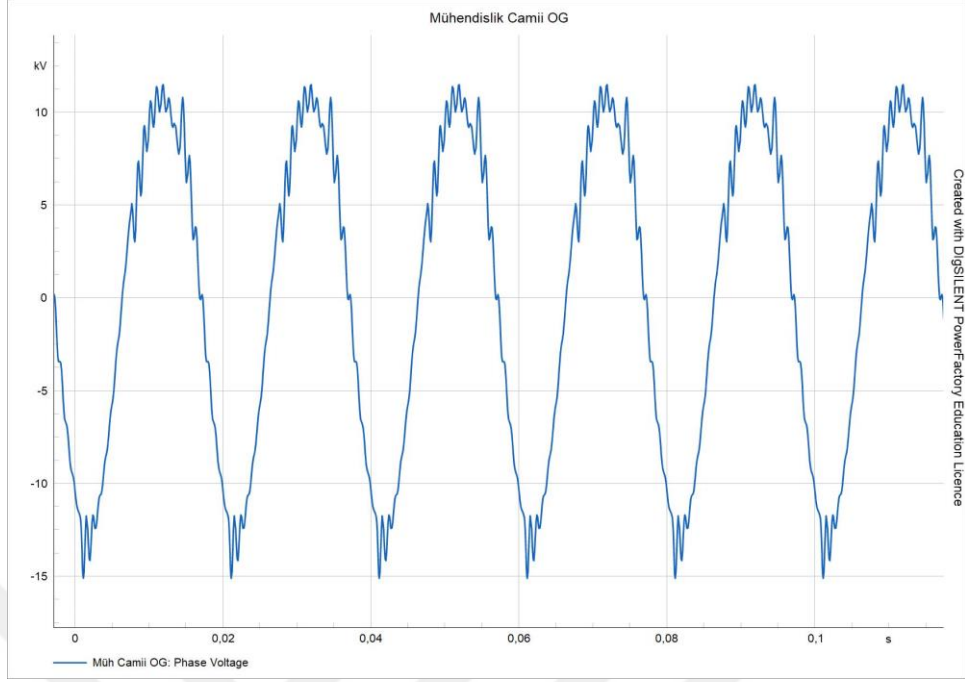
EA hızlı şarj istasyonlarının eklendiği durum için harmonik analizi sonuçları ve THD sonuçları elde edilmiştir. EA şarj istasyonlarının eklenmesi sonucu gerilim dalga şekillerindeki değişimlerin gözlemlenebilmesi için şarj istasyonlarının bağlı olduğu bölgelere ait gerilim dalga şekilleri elde edilmiştir.

Mühendislik kampüsü yerleşkesinde hızlı şarj istasyonlarının eklendiği Mühendislik Camii bölgesindeki transformatörün AG tarafına ait faz gerilimi Şekil 6.52’de gösterildiği gibi elde edilmiştir.



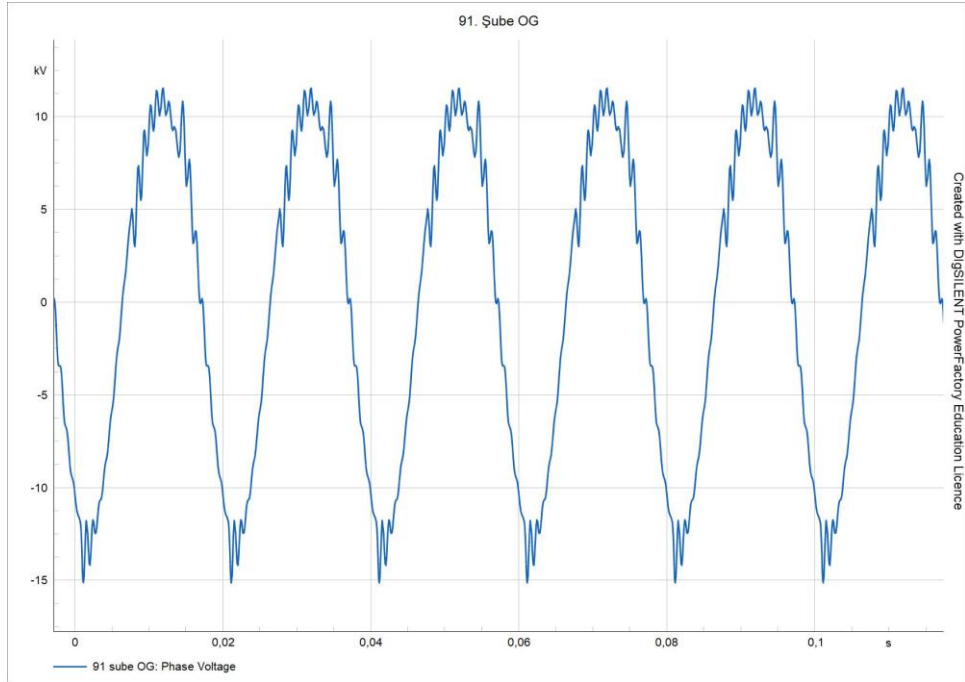
Şekil 6.52. Mühendislik Camii bölgesindeki transformatörün AG tarafına ait faz gerilimi

Mühendislik Camii transformatörü OG tarafına ait faz gerilimi Şekil 6.53’te gösterildiği gibi elde edilmiştir. Primer ve sekonder taraflarına ait dalga şekillerine bakıldığında yükün bağlanmış olduğu tarafın gerilim dalga şeklinde daha fazla bozulma meydana geldiği görülmektedir. Bunun sebebi yükten kaynaklı gerilim düşümünün sekonder tarafta fazla olması ve harmoniklerin etkisinin daha fazla görülmesidir.



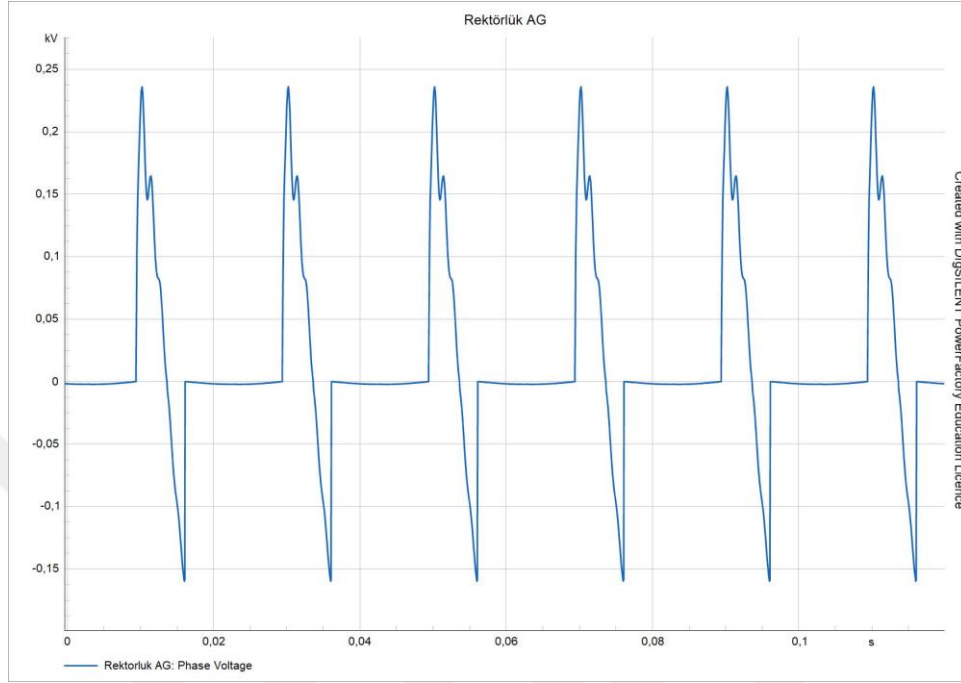
Şekil 6.53. Mühendislik Camii transformatörü OG tarafına ait faz gerilimi

Mühendislik kampüsü yerleşkesinin şehir şebekesi ile bağlantısının yapıldığı bölgede bulunan 91. Şube transformatörünün OG tarafına ait faz gerilimi Şekil 6.54'te gösterildiği gibi elde edilmiştir.



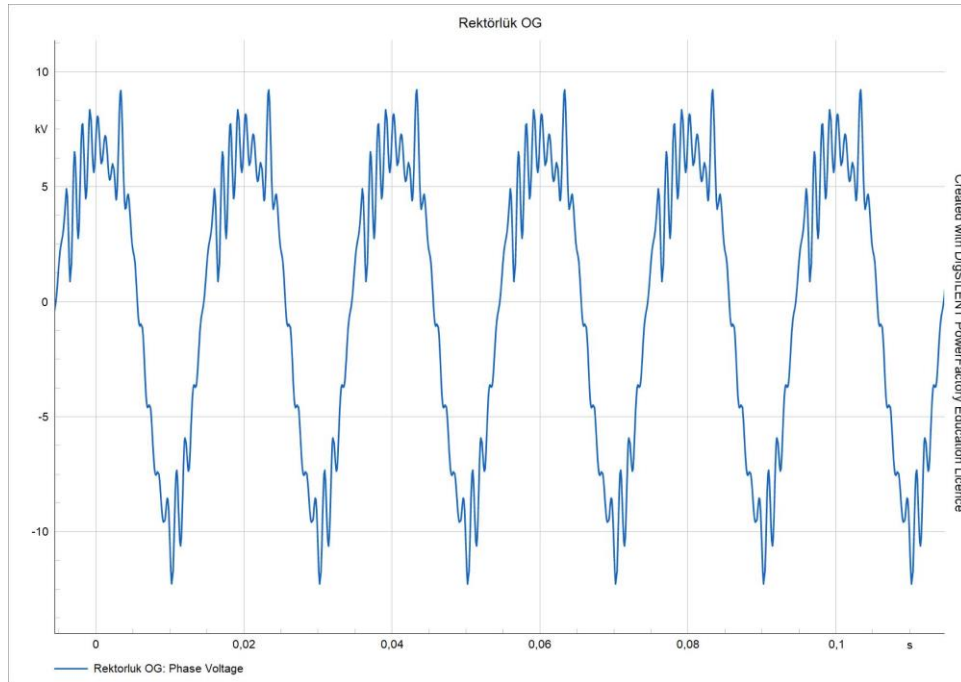
Şekil 6.54. 91. Şube transformatörünün OG tarafına ait faz gerilimi

Rektörlük kampüsü yerleşkesinde şarj istasyonlarının bulunduğu bölgelerden Rektörlük binası bölgesinde bulunan transformatörün AG tarafına ait faz gerilimi Şekil 6.55'te gösterilmiştir.



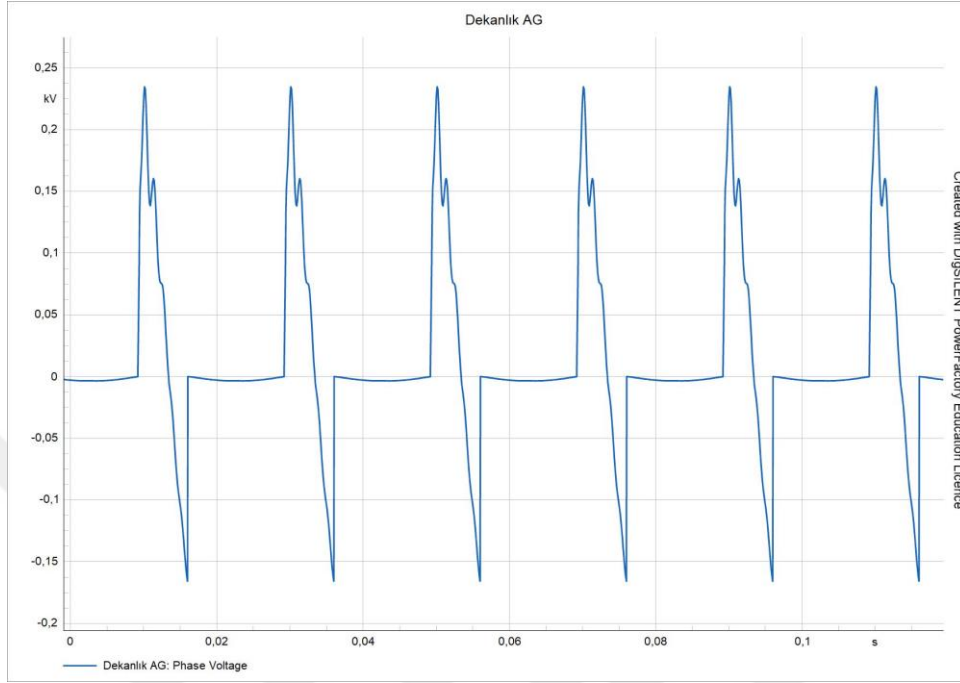
Şekil 6.55. Rektörlük binası bölgesindeki transformatörün AG tarafına ait faz gerilimi

Rektörlük binası bölgesindeki transformatörün OG tarafına ait faz gerilimi Şekil 6.56'da gösterildiği gibi elde edilmiştir.



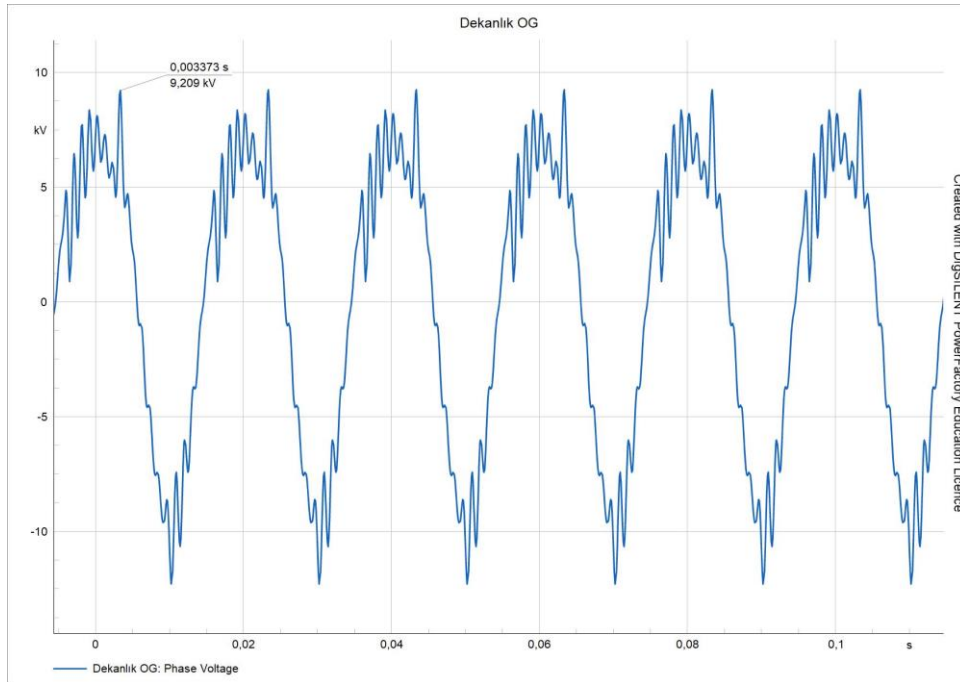
Şekil 6.56. Rektörlük binası bölgesindeki transformatörün OG tarafına ait faz gerilimi

Rektörlük kampüsü yerleşkesinde şarj istasyonlarının bulunduğu diğer bölge olan Dekanlık bölgesinde bulunan transformatörün AG tarafına ait faz gerilimi Şekil 6.57’de gösterilmiştir.



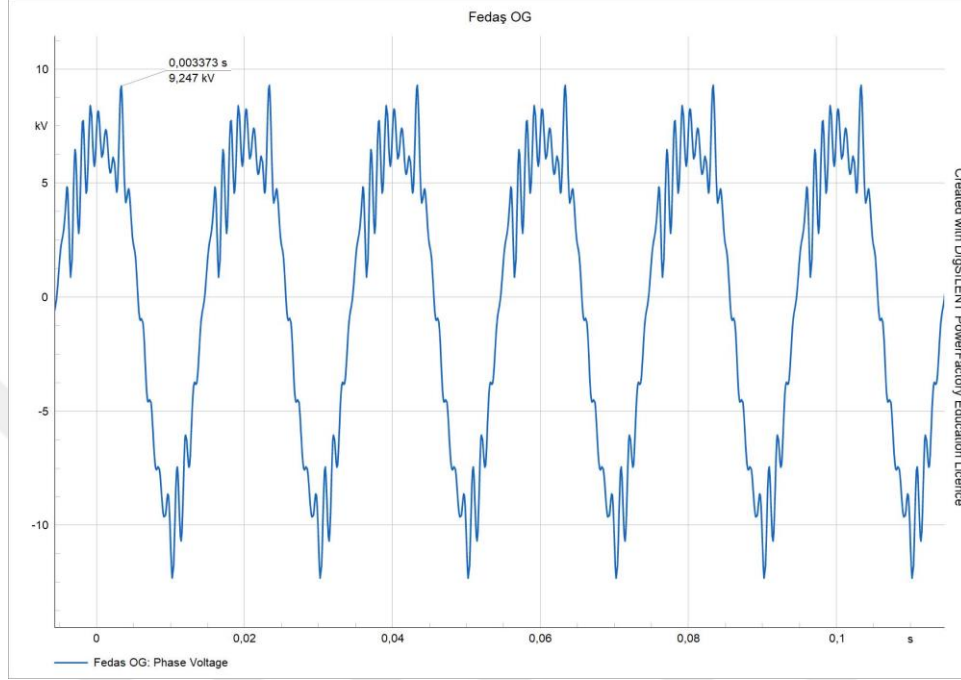
Şekil 6.57. Dekanlık bölgesindeki transformatörün AG tarafına ait faz gerilimi

Dekanlık bölgesinde bulunan transformatörün OG tarafına ait faz gerilimi Şekil 6.58’de gösterildiği gibi elde edilmiştir.



Şekil 6.58. Dekanlık bölgesindeki transformatörün OG tarafına ait faz gerilimi

Rektörlük kampüsü yerleşkesinin dağıtım şebekesi ile bağlantısının yapıldığı bölgede bulunan FEDAŞ'a ait transformatörün OG tarafına ait faz gerilimi Şekil 6.59'da gösterildiği gibi elde edilmiştir.



Şekil 6.59. FEDAŞ'a ait transformatörün OG tarafına ait faz gerilimi

6.2.3. Sonuçların Analizi

Elde edilen sonuçlarda, FÜ yerleşkesine EA hızlı şarj istasyonlarının eklenmediği durum için ve eklendiği durum için ilk olarak yük akış analizi yapılarak p.u. cinsinden ve faz-faz cinsinden gerilim düşümleri elde edilmiştir. Benzetim sonuçlarından, hızlı şarj istasyonlarının eklenmediği durum için transformatörlerin yüklenmelerinin ideal seviyede olduğu, buna bağlı olarak gerilim düşümlerinin normal seviyelerde meydana geldiği görülmüştür. EA hızlı şarj istasyonlarının FÜ yerleşkesine yerleştirilmesinden sonra tekrar yük akış analizi yapılarak transformatörlerin yüklenme durumu, p.u. ve faz-faz gerilimleri cinsinden gerilim düşümleri elde edilmiştir. EA hızlı şarj istasyonlarının eklendiği durumda transformatörlerdeki yüklenme oranının %90 seviyelerine çıktığı görülmüştür. Bu nedenle transformatörlerde oluşan gerilim düşümleri EA şarj istasyonlarının olmadığı duruma göre daha fazla olmuştur.

Sistemde oluşan harmoniklerin gözlemlenmesi için harmonik analizi benzetimi yapılmıştır. Benzetim sonuçlarında EA hızlı şarj istasyonlarının olmadığı durumlarda sistemde herhangi bir harmonik oluşmadığı gözlemlenmiştir. FÜ yerleşkesine EA hızlı şarj istasyonlarının eklendiği durumda, EA hızlı şarj istasyonlarının eklendiği bölgelere yakın olan taraflarda oluşan harmonik seviyelerinin %20'lere kadar çıktığı görülmüştür. EA hızlı şarj istasyonlarından beslemenin

yapıldığı ana transformatöre doğru ilerledikçe oluşan harmonik seviyelerinin giderek azaldığı tespit edilmiştir.

EA hızlı şarj istasyonlarının eklenmediği durum ve eklendiği durumda sistemde oluşan gerilim dalga şekillerini de elde etmek için benzetim yapılmıştır. Benzetim sonuçlarına göre hızlı şarj istasyonlarının sisteme eklenmediği durumda, transformatörlerin yüklenme seviyelerinin nominal seviyelerde olduğu, gerilim düşümlerinin fazla olmadığı ve harmoniklerin oluşmamasından dolayı gerilim dalga şekillerinde bir bozulma meydana gelmediği görülmüştür. EA hızlı şarj istasyonlarının bölgelere yerleştirildikleri durumlarda gerilim dalga şekilleri incelendiğinde transformatörlerin aşırı yüklenmesi, gerilim düşümlerinin artması ve harmoniklerin çok yüksek seviyelerde olmasından dolayı gerilim dalga şekillerinde bozulmalar meydana geldiği görülmüştür. Bu bozulmaların EA hızlı şarj istasyonlarının eklendiği bölgelerde çok daha fazla olduğu, bu bölgelerden beslemelerin yapıldığı bölgeye doğru gidildikçe gerilim dalga şekillerinde oluşan bozulmaların giderek azaldığı görülmüştür.

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

EA'lara olan talep artışlarından dolayı EA şarj istasyonlarının dağıtım şebekesine entegrasyonu hızla artış göstermektedir. EA sayısının artmasıyla tüketiciler bu istasyonlara daha fazla ihtiyaç duymaktadır. EA şarj istasyonlarında yapılan şarj işlemleri, şebekede mevcut yükler dışında ekstra yüklenmeler meydana getirmektedir. Ayrıca EA sahipleri şarj işlemlerini belirli bir saat aralıklarında daha fazla yapınca şebekeden enerji talebi daha fazla olmakta ve bu talebi karşılamak için daha fazla yüklenme söz konusu olmaktadır. Artan yüklerden kaynaklı EA şarj istasyonları dağıtım şebekesinde daha fazla etkiye sebep olmaktadır.

EA şarj istasyonlarının etkilerini incelemek için bu çalışmada PowerFactory DIGSILENT programı kullanılarak bazı benzetimler yapılmıştır. Çalışma yapılan bölge Fırat Üniversitesi yerleşkesidir. Bu bölgenin OG tek hat şeması kullanılarak EA şarj istasyonlarının olmadığı durumda mevcut yüklerle benzetim sonuçları alınmıştır. Sonuçlarda yük akış analizi, transformatör yüklenme seviyeleri, gerilim düşümleri (p.u. cinsinden), faz-faz gerilim seviyeleri, harmonik analizi ve gerilim dalga şekilleri elde edilmiştir. Mevcut yüklerin bulunduğu durumda sonuçlar alındığında sistemin nominal düzeyde yüklendiği tespit edilmiştir. Sonuçlarda herhangi bir olumsuz durumun olmadığı ve sistemin stabil bir şekilde çalıştığı görülmüştür.

EA hızlı şarj istasyonları FÜ yerleşkesinde belirli bölgelere yerleştirilerek, OG tek hat şemasına dahil edilip yeni durum için benzetimler yapılmıştır. Sonuçlar incelendiğinde EA hızlı şarj istasyonlarının dağıtım sisteminde olumsuz etkilere sebep olduğu görülmüştür. Sistemde transformatörlerin aşırı yüklenmesine, gerilim düşümlerinin artmasına, harmonik seviyelerinin artmasına ve bu olumsuz etkilerden dolayı gerilim dalga şekillerinin bozulmasına sebep olmuştur.

Bu etkiler, sistemin kararlılığını ve güvenilirliğini olumsuz yönde etkileyebilir. Ancak, uygun planlama ve teknolojik çözümlerle bu olumsuz etkiler minimize edilebilir. Akıllı şebeke teknolojilerinin kullanımı, yük yönetimi ve enerji dağıtımını daha verimli hale getirerek dalgalanmaları ve aşırı yüklenmeleri dengeleyebilir. Ayrıca, mevcut altyapıların kapasitesinin artırılması ve yeni yatırımlar, aşırı yüklenme ve gerilim dalgalanmalarını azaltabilir. Regülasyonlar ve uygun planlamalar ile EA şarj istasyonlarının yerleşimi optimize edilerek, şebeke üzerindeki yük dengeli bir şekilde dağıtılabilir. Sonuç olarak, EA şarj istasyonlarının dağıtım sistemine olan olumsuz etkileri göz ardı edilemez, ancak uygun teknolojik çözümler ve planlamalar ile bu etkiler minimize edilebilir, böylece EA'nın yaygınlaşması desteklenebilir.

KAYNAKLAR

- [1] E. Mancini, M. Longo, W. Yaici, ve D. Zaninelli, "Assessment of the Impact of Electric Vehicles on the Design and Effectiveness of Electric Distribution Grid with Distributed Generation", *Appl. Sci.*, c. 10, sy 15, s. 5125, Tem. 2020, doi: 10.3390/app10155125.
- [2] M. R. Khalid, I. A. Khan, S. Hameed, M. S. J. Asghar, ve J.-S. Ro, "A Comprehensive Review on Structural Topologies, Power Levels, Energy Storage Systems, and Standards for Electric Vehicle Charging Stations and Their Impacts on Grid", *IEEE Access*, c. 9, ss. 128069-128094, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3112189.
- [3] M. Kumar, K. P. Panda, R. T. Naayagi, R. Thakur, ve G. Panda, "Comprehensive Review of Electric Vehicle Technology and Its Impacts: Detailed Investigation of Charging Infrastructure, Power Management, and Control Techniques", *Appl. Sci.*, c. 13, sy 15, s. 8919, Ağu. 2023, doi: 10.3390/app13158919.
- [4] M. Kumar, K. P. Panda, J. C. Rosas-Caro, A. Valderrabano-Gonzalez, ve G. Panda, "Comprehensive Review of Conventional and Emerging Maximum Power Point Tracking Algorithms for Uniformly and Partially Shaded Solar Photovoltaic Systems", *IEEE Access*, c. 11, ss. 31778-31812, 2023, doi: 10.1109/ACCESS.2023.3262502.
- [5] V. M. Macharia, V. K. Garg, ve D. Kumar, "A review of electric vehicle technology: Architectures, battery technology and its management system, relevant standards, application of artificial intelligence, cyber security, and interoperability challenges", *IET Electr. Syst. Transp.*, c. 13, sy 2, s. e12083, Haz. 2023, doi: 10.1049/els2.12083.
- [6] F. Mwasilu, J. J. Justo, E.-K. Kim, T. D. Do, ve J.-W. Jung, "Electric vehicles and smart grid interaction: A review on vehicle to grid and renewable energy sources integration", *Renew. Sustain. Energy Rev.*, c. 34, ss. 501-516, Haz. 2014, doi: 10.1016/j.rser.2014.03.031.
- [7] P. Sivaraman, J. S. S. S. Raj, ve P. A. Kumar, "Power quality impact of electric vehicle charging station on utility grid", içinde *2021 IEEE Madras Section Conference (MASCON)*, Ağu. 2021, ss. 1-4, doi: 10.1109/MASCON51689.2021.9563528.
- [8] L. Wang, Z. Qin, T. Slangen, P. Bauer, ve T. van Wijk, "Grid Impact of Electric Vehicle Fast Charging Stations: Trends, Standards, Issues and Mitigation Measures - An Overview", *IEEE Open J. Power Electron.*, c. 2, ss. 56-74, 2021, doi: 10.1109/OJPEL.2021.3054601.
- [9] J. Y. Yong, V. K. Ramachandaramurthy, K. M. Tan, ve J. Selvaraj, "Experimental Validation of a Three-Phase Off-Board Electric Vehicle Charger With New Power Grid Voltage Control", *IEEE Trans. Smart Grid*, c. 9, sy 4, ss. 2703-2713, Tem. 2018, doi: 10.1109/TSG.2016.2617400.
- [10] A. Kerem, N. Doğan, ve A. S. Yılmaz, "Scenario-based modeling of the effects of electric vehicle charging station on the grid", içinde *2021 5th International Symposium on Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies (ISMSIT)*, Eki. 2021, ss. 31-36, doi: 10.1109/ISMSIT52890.2021.9604670.
- [11] A.B. Ünsal, "Elektrikli Araç Şarj İstasyonlarının Şebekeye Entegrasyonu, Modellemesi ve Güç Akış Analizi", Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, 2018.
- [12] N. Doğan, "Elektrikli Araç Şarj İstasyonlarının Dağıtım Şebekelerinin Gerilim Kalitesine Etkisinin İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, 2021.
- [13] S. Pankaj, M. R. Khalid, M. Saad Alam, M. S. Jamil Asghar, ve S. Hameed, "Electric Vehicle Charging Stations and their Impact on the Power Quality of Utility Grid", içinde *2022 International Conference on Decision Aid Sciences and Applications (DASA)*, Mar. 2022, ss. 816-821, doi: 10.1109/DASA54658.2022.9765054.
- [14] A. Khan, S. Memon, ve T. P. Sattar, "Analyzing Integrated Renewable Energy and Smart-Grid Systems to Improve Voltage Quality and Harmonic Distortion Losses at Electric-Vehicle Charging Stations", *IEEE Access*, c. 6, ss. 26404-26415, 2018, doi: 10.1109/ACCESS.2018.2830187.
- [15] H. S. Das, M. M. Rahman, S. Li, ve C. W. Tan, "Electric vehicles standards, charging infrastructure, and impact on grid integration: A technological review", *Renew. Sustain. Energy Rev.*, c. 120, s. 109618, Mar. 2020, doi: 10.1016/j.rser.2019.109618.

- [16] International Energy Agency, *Global EV Outlook 2023: Catching up with Climate Ambitions*. içinde Global EV Outlook. OECD, 2023. doi: 10.1787/cbe724e8-en.
- [17] F. Alanazi, "Electric Vehicles: Benefits, Challenges, and Potential Solutions for Widespread Adaptation", *Appl. Sci.*, c. 13, sy 10, Art. sy 10, Oca. 2023, doi: 10.3390/app13106016.
- [18] M. Muthukumar, N. Rengarajan, B. Velliyangiri, M. A. Omprakas, C. B. Rohit, ve U. Kartheek Raja, "The development of fuel cell electric vehicles – A review", *Mater. Today Proc.*, c. 45, ss. 1181-1187, Oca. 2021, doi: 10.1016/j.matpr.2020.03.679.
- [19] K. V. Singh, H. O. Bansal, ve D. Singh, "A comprehensive review on hybrid electric vehicles: architectures and components", *J. Mod. Transp.*, c. 27, sy 2, ss. 77-107, Haz. 2019, doi: 10.1007/s40534-019-0184-3.
- [20] X. Wang, H. He, F. Sun, X. Sun, ve H. Tang, "Comparative Study on Different Energy Management Strategies for Plug-In Hybrid Electric Vehicles", *Energies*, c. 6, sy 11, Art. sy 11, Kas. 2013, doi: 10.3390/en6115656.
- [21] M. Nour, J. P. Chaves-Ávila, G. Magdy, ve Á. Sánchez-Miralles, "Review of Positive and Negative Impacts of Electric Vehicles Charging on Electric Power Systems", *Energies*, c. 13, sy 18, s. 4675, Eyl. 2020, doi: 10.3390/en13184675.
- [22] A. Faraz, A. Ambikapathy, S. Thangavel, K. Logavani, ve G. Arun Prasad, "Battery Electric Vehicles (BEVs)", içinde *Electric Vehicles: Modern Technologies and Trends*, N. Patel, A. K. Bhoi, S. Padmanaban, ve J. B. Holm-Nielsen, Ed., içinde Green Energy and Technology. , Singapore: Springer, 2021, ss. 137-160. doi: 10.1007/978-981-15-9251-5_8.
- [23] A. Anand, D. Ghose, S. Pradhan, S. Uddin, ve A. K. Bhoi, "Optimal Selection of Electric Motor for E-Rickshaw Application Using MCDM Tools", 2020, ss. 501-509. doi: 10.1007/978-981-15-1451-7_52.
- [24] M. cp, K. Manjunatha, A. K. Bhoi, ve K. Sherpa, "Design and Development of Buck-Boost Regulator for DC Motor Used in Electric Vehicle for the Application of Renewable Energy", 2018, ss. 33-37. doi: 10.1007/978-981-10-4286-7_4.
- [25] T. Kim, W. Song, D.-Y. Son, L. K. Ono, ve Y. Qi, "Lithium-ion batteries: outlook on present, future, and hybridized technologies", *J. Mater. Chem. A*, c. 7, sy 7, ss. 2942-2964, Şub. 2019, doi: 10.1039/C8TA10513H.
- [26] M. S. Hossain Lipu vd., "Intelligent algorithms and control strategies for battery management system in electric vehicles: Progress, challenges and future outlook", *J. Clean. Prod.*, c. 292, s. 126044, Nis. 2021, doi: 10.1016/j.jclepro.2021.126044.
- [27] K. Liu, K. Li, Q. Peng, ve C. Zhang, "A brief review on key technologies in the battery management system of electric vehicles", *Front. Mech. Eng.*, c. 14, sy 1, ss. 47-64, Mar. 2019, doi: 10.1007/s11465-018-0516-8.
- [28] M. Lelie vd., "Battery Management System Hardware Concepts: An Overview", *Appl. Sci.*, c. 8, sy 4, Art. sy 4, Nis. 2018, doi: 10.3390/app8040534.
- [29] Y. Wang vd., "A comprehensive review of battery modeling and state estimation approaches for advanced battery management systems", *Renew. Sustain. Energy Rev.*, c. 131, s. 110015, Eki. 2020, doi: 10.1016/j.rser.2020.110015.
- [30] A. Hauser ve R. Kuhn, "High-voltage battery management systems (BMS) for electric vehicles", içinde *Advances in Battery Technologies for Electric Vehicles*, B. Scrosati, J. Garche, ve W. Tillmetz, Ed., içinde Woodhead Publishing Series in Energy. , Woodhead Publishing, 2015, ss. 265-282. doi: 10.1016/B978-1-78242-377-5.00011-X.
- [31] N. Panossian, M. Muratori, B. Palmintier, A. Meintz, T. Lipman, ve K. Moffat, "Challenges and Opportunities of Integrating Electric Vehicles in Electricity Distribution Systems", *Curr. Sustain. Energy Rep.*, c. 9, sy 2, ss. 27-40, Haz. 2022, doi: 10.1007/s40518-022-00201-2.
- [32] B. E. Lebrouhi, Y. Khattari, B. Lamrani, M. Maaroufi, Y. Zeraouli, ve T. Kousksou, "Key challenges for a large-scale development of battery electric vehicles: A comprehensive review", *J. Energy Storage*, c. 44, s. 103273, Ara. 2021, doi: 10.1016/j.est.2021.103273.

- [33] M. Ashfaq, O. Butt, J. Selvaraj, ve N. Rahim, "Assessment of electric vehicle charging infrastructure and its impact on the electric grid: A review", *Int. J. Green Energy*, c. 18, sy 7, ss. 657-686, May. 2021, doi: 10.1080/15435075.2021.1875471.
- [34] M. S. Mastoi vd., "An in-depth analysis of electric vehicle charging station infrastructure, policy implications, and future trends", *Energy Rep.*, c. 8, ss. 11504-11529, Kas. 2022, doi: 10.1016/j.egy.2022.09.011.
- [35] A. Ahmad, Z. A. Khan, M. Saad Alam, ve S. Khateeb, "A Review of the Electric Vehicle Charging Techniques, Standards, Progression and Evolution of EV Technologies in Germany", *Smart Sci.*, c. 6, sy 1, ss. 36-53, Oca. 2018, doi: 10.1080/23080477.2017.1420132.
- [36] M. Rata vd., "The Electrical Vehicle Simulator for Charging Station in Mode 3 of IEC 61851-1 Standard", *Energies*, c. 13, sy 1, Art. sy 1, Oca. 2020, doi: 10.3390/en13010176.
- [37] S. Srdic ve S. Lukic, "Toward Extreme Fast Charging: Challenges and Opportunities in Directly Connecting to Medium-Voltage Line", *IEEE Electrification Mag.*, c. 7, ss. 22-31, Mar. 2019, doi: 10.1109/MELE.2018.2889547.
- [38] Y. He, K. M. Kockelman, ve K. A. Perrine, "Optimal locations of U.S. fast charging stations for long-distance trip completion by battery electric vehicles", *J. Clean. Prod.*, c. 214, ss. 452-461, Mar. 2019, doi: 10.1016/j.jclepro.2018.12.188.
- [39] J. Lee ve S. Madanat, "Optimal design of electric vehicle public charging system in an urban network for Greenhouse Gas Emission and cost minimization", *Transp. Res. Part C Emerg. Technol.*, c. 85, ss. 494-508, Ara. 2017, doi: 10.1016/j.trc.2017.10.008.
- [40] M. Aziz ve T. Oda, "Advanced Battery-Assisted Quick Charger for Electric Vehicles", içinde *Green Energy and Technology*, 2018, ss. 201-224. doi: 10.1007/978-3-319-69950-9_9.
- [41] M. Obrecht ve M. Knez, "A review of available chargers for electric vehicles: United States of America, European Union, and Asia", *Renew. Sustain. Energy Rev.*, c. 109, ss. 284-293, Haz. 2019, doi: 10.1016/j.rser.2019.04.013.
- [42] W. Sun, X. Li, J. Wang, ve X. Huang, "The evaluation and analysis for the interoperability of EV charging coupler", *2018 13th World Congr. Intell. Control Autom. WCICA*, ss. 1020-1025, Tem. 2018, doi: 10.1109/WCICA.2018.8630583.
- [43] P. Jain, "Smart Integration of Large-Scale Electric Vehicle Storage into the Grid: Challenges and Opportunities".
- [44] D. Ahn ve S. Hong, "A Transmitter or a Receiver Consisting of Two Strongly Coupled Resonators for Enhanced Resonant Coupling in Wireless Power Transfer", *IEEE Trans. Ind. Electron.*, c. 61, sy 3, ss. 1193-1203, Mar. 2014, doi: 10.1109/TIE.2013.2257151.
- [45] S. Moon, B.-C. Kim, S.-Y. Cho, ve G.-W. Moon, *Analysis and Design of a Wireless Power Transfer System With an Intermediate Coil for High Efficiency*, c. 61. 2013, s. 1040. doi: 10.1109/ECCE-Asia.2013.6579235.
- [46] J. Zhang, X. Yuan, C. Wang, ve Y. He, "Comparative Analysis of Two-Coil and Three-Coil Structures for Wireless Power Transfer", *IEEE Trans. Power Electron.*, c. 32, ss. 1-1, Oca. 2017, doi: 10.1109/TPEL.2016.2526780.
- [47] Z. Pantic, K. Lee, ve S. M. Lukic, "Multifrequency Inductive Power Transfer", *IEEE Trans. Power Electron.*, c. 29, sy 11, ss. 5995-6005, Kas. 2014, doi: 10.1109/TPEL.2014.2298213.
- [48] Z. Pantic, K. Lee, ve S. Lukic, "Receivers for Multifrequency Wireless Power Transfer: Design for Minimum Interference", *Emerg. Sel. Top. Power Electron. IEEE J. Of*, c. 3, ss. 234-241, Mar. 2015, doi: 10.1109/JESTPE.2014.2356853.
- [49] T. Samanchuen, K. Jirasereeamornkul, C. Ekkaravarodome, ve T. Singhavilai, *A Review of Wireless Power Transfer for Electric Vehicles: Technologies and Standards*. 2019, s. 5. doi: 10.1109/TIMES-iCON47539.2019.9024667.
- [50] H. Zhang, F. Lu, H. Hofmann, W. Liu, ve C. Mi, "A Six-Plate Capacitive Coupler to Reduce Electric Field Emission in Large Air-Gap Capacitive Power Transfer", *IEEE Trans. Power Electron.*, c. PP, ss. 1-1, Şub. 2017, doi: 10.1109/TPEL.2017.2662583.

- [51] J. Dai ve D. Ludois, *Wireless electric vehicle charging via capacitive power transfer through a conformal bumper*. 2015, s. 3313.
- [52] B. Regensburger vd., *High-performance large air-gap capacitive wireless power transfer system for electric vehicle charging*. 2017, s. 643. doi: 10.1109/ITEC.2017.7993344.
- [53] B. Regensburger, S. Sinha, A. Kumar, ve K. K. Afridi, "A 3.75-kW High-Power-Transfer-Density Capacitive Wireless Charging System for EVs Utilizing Toroidal-Interleaved-Foil Coupled Inductors", içinde *2020 IEEE Transportation Electrification Conference & Expo (ITEC)*, Haz. 2020, ss. 839-843. doi: 10.1109/ITEC48692.2020.9161735.
- [54] D. Rozario, "Design of contactless capacitive power transfer systems for battery charging applications", Thesis, 2016. Erişim: 27 Şubat 2024. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: <https://ir.library.ontariotechu.ca/handle/10155/652>
- [55] D. Vincent, P. H. Sang, ve S. S. Williamson, "Feasibility study of hybrid inductive and capacitive wireless power transfer for future transportation", içinde *2017 IEEE Transportation Electrification Conference and Expo (ITEC)*, Haz. 2017, ss. 229-233. doi: 10.1109/ITEC.2017.7993276.
- [56] H. Zhang, F. Lu, H. Hofmann, W. Liu, ve C. C. Mi, "An LC-Compensated Electric Field Repeater for Long-Distance Capacitive Power Transfer", *IEEE Trans. Ind. Appl.*, c. 53, sy 5, ss. 4914-4922, Eyl. 2017, doi: 10.1109/TIA.2017.2697846.
- [57] M. Al-Saadi, A. Al-Gizi, S. Ahmed, S. Al-Chlahawi, ve A. Craciunescu, "Analysis of Charge Plate Configurations in Unipolar Capacitive Power Transfer System for the Electric Vehicles Batteries Charging", *Procedia Manuf.*, c. 32, ss. 418-425, Oca. 2019, doi: 10.1016/j.promfg.2019.02.235.
- [58] K. Jin ve W. Zhou, "Wireless Laser Power Transmission: A Review of Recent Progress", *IEEE Trans. Power Electron.*, c. 34, sy 4, ss. 3842-3859, Nis. 2019, doi: 10.1109/TPEL.2018.2853156.
- [59] P. Shanbhag ve B. Sabarish Narayanan, "Coir Composite Based Electronics for Microwave Charging of Electric Vehicles", *Mater. Today Proc.*, c. 24, ss. 177-183, Oca. 2020, doi: 10.1016/j.matpr.2020.04.265.
- [60] I. Ahmed, E. A. ElGhanam, M. S. Hassan, ve A. Osman, "Study of the Feasibility of Using Microwave Power Transfer for Dynamic Wireless Electric Vehicle Charging", içinde *2020 IEEE Transportation Electrification Conference & Expo (ITEC)*, Haz. 2020, ss. 365-370. doi: 10.1109/ITEC48692.2020.9161475.
- [61] Y. Rathod ve L. Hughes, "Simulating the charging of electric vehicles by laser", *Procedia Comput. Sci.*, c. 155, ss. 527-534, Oca. 2019, doi: 10.1016/j.procs.2019.08.073.
- [62] D. D. Marco, A. Dolara, ve M. Longo, "A Review on Dynamic Wireless Charging Systems", içinde *2019 IEEE Milan PowerTech*, Haz. 2019, ss. 1-5. doi: 10.1109/PTC.2019.8810831.
- [63] R. Tavakoli ve Z. Pantic, "Analysis, Design, and Demonstration of a 25-kW Dynamic Wireless Charging System for Roadway Electric Vehicles", *IEEE J. Emerg. Sel. Top. Power Electron.*, c. 6, sy 3, ss. 1378-1393, Eyl. 2018, doi: 10.1109/JESTPE.2017.2761763.
- [64] A. Ahmad, M. S. Alam, ve R. Chabaan, "A Comprehensive Review of Wireless Charging Technologies for Electric Vehicles", *IEEE Trans. Transp. Electrification*, c. 4, sy 1, ss. 38-63, Mar. 2018, doi: 10.1109/TTE.2017.2771619.
- [65] P. K. Joseph ve D. Elangovan, "A review on renewable energy powered wireless power transmission techniques for light electric vehicle charging applications", *J. Energy Storage*, c. 16, ss. 145-155, Nis. 2018, doi: 10.1016/j.est.2017.12.019.
- [66] C. Aichberger ve G. Jungmeier, "Environmental Life Cycle Impacts of Automotive Batteries Based on a Literature Review", *Energies*, c. 13, sy 23, Art. sy 23, Oca. 2020, doi: 10.3390/en13236345.
- [67] A. K. Rathore ve A. K. Verma, *Advanced Concepts and Technologies for Electric Vehicles*, 1. bs. Boca Raton: CRC Press, 2023. doi: 10.1201/9781003330134.
- [68] A. Dubey ve S. Santoso, "Electric Vehicle Charging on Residential Distribution Systems: Impacts and Mitigations", *IEEE Access*, c. 3, ss. 1871-1893, 2015, doi: 10.1109/ACCESS.2015.2476996.

- [69] A. K. Karmaker, S. Roy, ve Md. R. Ahmed, "Analysis of the Impact of Electric Vehicle Charging Station on Power Quality Issues", içinde *2019 International Conference on Electrical, Computer and Communication Engineering (ECCE)*, Şub. 2019, ss. 1-6. doi: 10.1109/ECACE.2019.8679164.
- [70] Y. Balali ve S. Stegen, "Review of energy storage systems for vehicles based on technology, environmental impacts, and costs", *Renew. Sustain. Energy Rev.*, c. 135, s. 110185, Oca. 2021, doi: 10.1016/j.rser.2020.110185.
- [71] E. Pipitone, S. Caltabellotta, ve L. Occhipinti, "A Life Cycle Environmental Impact Comparison between Traditional, Hybrid, and Electric Vehicles in the European Context", *Sustainability*, c. 13, sy 19, Art. sy 19, Oca. 2021, doi: 10.3390/su131910992.
- [72] H. Rallo, G. Benveniste, I. Gestoso, ve B. Amante, "Economic analysis of the disassembling activities to the reuse of electric vehicles Li-ion batteries", *Resour. Conserv. Recycl.*, c. 159, s. 104785, Ağu. 2020, doi: 10.1016/j.resconrec.2020.104785.
- [73] M. Ntombela, K. Musasa, ve K. Moloi, "A Comprehensive Review of the Incorporation of Electric Vehicles and Renewable Energy Distributed Generation Regarding Smart Grids", *World Electr. Veh. J.*, c. 14, sy 7, s. 176, Tem. 2023, doi: 10.3390/wevj14070176.
- [74] I. Rahman, P. M. Vasant, B. S. M. Singh, M. Abdullah-Al-Wadud, ve N. Adnan, "Review of recent trends in optimization techniques for plug-in hybrid, and electric vehicle charging infrastructures", *Renew. Sustain. Energy Rev.*, c. 58, ss. 1039-1047, May. 2016, doi: 10.1016/j.rser.2015.12.353.
- [75] A. S. Al-Ogaili, T. J. Tengku Hashim, N. A. Rahmat, A. K. Ramasamy, M. B. Marsadek, M. Faisal ve M. A. Hannan, "Review on Scheduling, Clustering, and Forecasting Strategies for Controlling Electric Vehicle Charging: Challenges and Recommendations", *IEEE Access*, c. 7, ss. 128353-128371, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2939595.
- [76] S. Chung ve O. Trescases, "Hybrid Energy Storage System With Active Power-Mix Control in a Dual-Chemistry Battery Pack for Light Electric Vehicles", *IEEE Trans. Transp. Electrification*, c. 3, sy 3, ss. 600-617, Eyl. 2017, doi: 10.1109/TTE.2017.2710628.
- [77] K. Salah ve N. Kama, "Unification Requirements of Electric Vehicle Charging Infrastructure", *Int. J. Power Electron. Drive Syst. IJPEDS*, c. 7, sy 1, Art. sy 1, Mar. 2016, doi: 10.11591/ijpeds.v7.i1.pp246-253.
- [78] A. Ali, R. Shakoor, A. Raheem, H. Abd ul Muqeet, Q. Awais, A. A. Khan ve M. Jamil, "Latest Energy Storage Trends in Multi-Energy Standalone Electric Vehicle Charging Stations: A Comprehensive Study", *Energies*, c. 15, sy 13, Art. sy 13, Oca. 2022, doi: 10.3390/en15134727.
- [79] S. Habib, M. M. Khan, F. Abbas, L. Sang, M. U. Shahid, ve H. Tang, "A Comprehensive Study of Implemented International Standards, Technical Challenges, Impacts and Prospects for Electric Vehicles", *IEEE Access*, c. 6, ss. 13866-13890, 2018, doi: 10.1109/ACCESS.2018.2812303.

ÖZGEÇMİŞ

Rıdvan COŞKUN

Page 10 of 10

██████████ ██████████

114

██████████

██████████

████████████████████

© 2006 The Authors
Journal compilation © 2006 Blackwell Publishing Ltd

114

114

11/11/2016

5

© 2006 The Authors

AKADEMİK FAALİYETLER

Bildiriler:

1. The Using of Wireless Communication Systems for Energy Efficiency in Smart Agriculture Applications (IHTEC 2023)

Projeler:

1. Tarımda Akıllı Sulama Yöntemleri ve Optimum Su Kullanımı (TÜBİTAK-2209A)
2. LORA Ağı ile Güvenlik Sistemleri (Bitirme Projesi, Fırat Üniversitesi Proje Pazarında Sergilenmiştir.)