

ÇANKIRI KARATEKİN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ELEKTRİKLİ ARAÇLARIN KABLOSUZ ŞARJI İÇİN MİKRO ŞEBEKE
İSTASYONUNUN PERFORMANS DEĞERLENDİRMESİ

Abubaker Milad Abdalla SHABAAN

ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ÇANKIRI
2024

Her hakkı saklıdır

TEZ ONAYI

Abubaker Milad Abdalla SHABAAN tarafından hazırlanan “**Elektrikli Araçların Kablosuz Şarjı İçin Mikro Şebeke İstasyonunun Performans Değerlendirmesi**” adlı tez çalışması 06/08/2024 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Çankırı Karatekin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında **Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Doç. Dr. Fatih KORKMAZ

Jüri Üyeleri :

Başkan : Prof. Dr. Murat ARI
Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı
Çankırı Karatekin Üniversitesi

Üye : Doç. Dr. Fatih KORKMAZ
Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı
Çankırı Karatekin Üniversitesi

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Göksu GÖREL
Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı
Manisa Celal Bayar Üniversitesi

Yukarıdaki sonucu onaylarım

Prof. Dr. Ersoy YILMAZ

Enstitü Müdürü

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Çankırı Karatekin Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğine göre hazırlamış olduğum “**Elektrikli Araçların Kablosuz Şarjı İçin Mikro Şebeke İstasyonunun Performans Değerlendirmesi**” konulu tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı, tezin içerdiği yenilik ve sonuçları başka bir yerden almadığımı, tezde kullandığım eserleri usulüne göre kaynak olarak gösterdiğimi, tezin Çankırı Karatekin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü’nden başka bir bilim kuruluna akademik amaç ve unvan almak amacıyla vermediğimi ve bu çalışmanın Çankırı Karatekin Üniversitesi tarafından kullanılan “Bilimsel İntihal Tespit Programı”yla tarandığını, “intihal içermediğini” beyan ederim. Çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması halinde ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçlara razı olduğumu bildiririm. Çankırı Karatekin Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca gereğinin yapılmasını arz ederim (06/08/2024).

Abubaker Milad Abdalla SHABAAN

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ELEKTRİKLİ ARAÇLARIN KABLOSUZ ŞARJI İÇİN MİKRO ŞEBEKE İSTASYONUNUN PERFORMANS DEĞERLENDİRMESİ

Abubaker Milad Abdalla SHABAAN

Çankırı Karatekin Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Fatih KORKMAZ

Son on yılda, elektrikli araçlar, sera gazı emisyonlarını azaltarak iklim değişikliğiyle mücadele etmeye yönelik küresel çabada niş bir üründen ana akım bir çözüme dönüşmüştür. Artan popüleritelerine rağmen, elektrikli araçların geniş çapta benimsenmesi, mevcut şarj altyapısının yetersizliği nedeniyle engellenmektedir. Bu sorunu ele almak için, elektrikli araçların kablosuz şarjı için mikro şebeke istasyonlarının uygulanması umut verici bir çözüm olarak ortaya çıkmaktadır. Bu tez, mikro şebeke istasyonlarının güvenilirlik, verimlilik ve yaygın uygulanabilirliğine odaklanarak kapsamlı bir değerlendirme yapmaktadır ve böylece sürdürülebilir ulaşımında kritik bir girişim olarak konumlandırılmaktadır. Bu çalışma, mevcut elektrikli araç şarj altyapısının zorluklarını değerlendirerek mikro şebeke istasyonlarının performansını incelemeyi amaçlamaktadır. Bu istasyonların, kullanıcı deneyimini basitleştirilmiş şarj süreçleri, bilgilendirilmiş politika kararları ve elektrikli araç altyapısına yapılan yatırımlarla artırma potansiyelini araştırmaktadır. Mikro şebekelerin kablosuz şarj teknolojisiyle entegrasyonu, teknolojik yenilikleri ve ekonomik fırsatları teşvik edebilmektedir. Araştırma, mikro şebeke istasyonlarının sürekli güç sağlamadaki güvenilirliğini, güç aktarımı ve enerji kullanımı açısından verimliliklerini değerlendirmekte ve büyük ölçekli dağıtım potansiyellerini incelemektedir. Anahtar bulgular arasında, maksimum güç noktası takibi (MPPT) DC-DC yükseltici konvertör ile donatılmış güneş enerjili bir mikro şebeke istasyonunun yüksek verimliliği yer almakta olup, yenilenebilir enerji sistemlerinde enerji kullanımını optimize etmenin önemini vurgulamaktadır. İndüktif ve kapasitif kablosuz şarj yöntemleri arasındaki karşılaştırmalı analiz, ilgili verimliliklerini ve operasyonel inceliklerini ortaya koymakta ve indüktif şarjın %91,17'lik daha yüksek bir verimlilik gösterdiğini belirtmektedir. Bu çalışma, mikro şebeke istasyonlarının fizibilitesi ve ölçeklenebilirliği konusunda önemli bilgiler sağlamakta ve sürdürülebilir ulaşım çözümlerinin ilerlemesine katkıda bulunmaktadır. Mikro şebeke istasyonlarının elektrikli araç şarj altyapısını devrim niteliğinde dönüştürme potansiyelini vurgulamakta, böylece elektrikli araçların daha geniş çapta benimsenmesini kolaylaştırmakta ve çevresel sürdürülebilirliğe katkıda bulunmaktadır.

2024, 74 sayfa

ANAHTAR KELİMELER: Mikro şebeke, Kablosuz güç aktarımı, Elektrikli araç, Şarj istasyonu

ABSTRACT

Master of Science Thesis

PERFORMANCE EVALUATION OF MICROGRID STATION FOR WIRELESS CHARGING OF ELECTRIC VEHICLES

Abubaker Milad Abdalla SHABAAN

Çankırı Karatekin University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Electrical and Electronics Engineering

Advisor: Assoc. Prof. Dr. Fatih KORKMAZ

Over the past decade, electric vehicles have transitioned from a niche product to a mainstream solution in the global effort to mitigate climate change by reducing greenhouse gas emissions. Despite their growing popularity, the broad adoption of electric vehicles is hindered by the inadequacy of the current charging infrastructure. Addressing this issue, the application of microgrid stations for wireless charging of electric vehicles emerges as a promising solution. This thesis conducts a comprehensive evaluation of microgrid stations for wireless charging, focusing on their reliability, efficiency, and feasibility for widespread implementation, thereby positioning them as a critical endeavor in sustainable transportation. The study aims to address the challenges of the current electric vehicle charging infrastructure by evaluating the performance of microgrid stations for wireless charging. It explores the potential of these stations in enhancing the user experience through simplified charging processes, informed policy decisions, and investment in electric vehicle infrastructure. The integration of microgrids with wireless charging technology is also expected to stimulate technological innovation and economic opportunities. The research investigates the reliability of microgrid stations for wireless charging in consistently supplying power, evaluates their efficiency in terms of power transfer and energy utilization, and explores their potential for large-scale deployment. Key findings include the high efficiency of a solar-powered microgrid station equipped with a maximum power point tracking DC-DC boost converter, underscoring the importance of optimizing energy usage in renewable energy systems. A comparative analysis between inductive and capacitive wireless charging methods reveals their respective efficiencies and operational nuances, with inductive charging showing a higher efficiency of 91.17%. This study provides significant insights into the feasibility and scalability of microgrid stations for wireless charging, contributing to the advancement of sustainable transportation solutions. It underscores the potential of these stations to revolutionize the electric vehicle charging infrastructure, thereby facilitating the broader adoption of electric vehicles and contributing to environmental sustainability.

2024, 74 pages

Keywords: Microgrid, Wireless power transfer, Electric vehicle, Charging station

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Bilgiyi soluyan, bilgi ve bilgelik yolunda yeşeren tüm insanlara, bu çalışmayı sunmaktan onur duyarım. Her adımda yolumuzu ve karanlıklarımızı aydınlatan bir ışık vardır. Bu tez, sırlarla dolu bir dünyada gerçeği arama yolculuğumun bir çalışmasıdır.

Bana sadece akademik bilgi değil, derin düşünme ve yapıcı eleştiri yeteneği kazandıran tüm insanlara teşekkür eder; Öncelikle, danışmanım Doç. Dr. Fatih KORKMAZ'a, bana karşı bilgeliği ve sabrıyla çalışmamın her anında yanımda olduğu için kendisine teşekkürlerimi sunuyorum. Ayrıca, Çankırı Karatekin Üniversitesi'nde değerli hocalarımın bana sağladıkları eğitim ve rehberlik alanında kendimi daha çok geliştirmeme ve güçlendirmeme imkan tanıdıkları için şükranlarımı sunuyorum.

Fikir ve düşünce alışverişlerimizin, fikirlerimi ve düşüncelerimi yeniden gözden geçirmemi ve değerlendirmemi sağladıkları meslektaşlarıma ve arkadaşlarıma sonsuz teşekkürlerimi borç bilir; Bize yol gösteren düşüncelerin ve kelimelerin ötesine geçen ve ışığını oluşturan o değerli anlar için ayrı ayrı hepsine teşekkür ederim.

İyi bir söz ve ya anlayışlı bir bakışla yanımdan geçen, bir fikir ve ya soru ile katkıda bulunan tüm seven dostlarıma şükranlarımı sunarım. Bu çalışma yolun sonu değil, keşif yolculuğumda uzun bir patikanın başlangıcıdır. Ulaşılması zor olan gerçeklere ulaşma ümidiyle, sürekli araştırmaya ve yenilenmeye devam etme arzusuyla.

Abubaker Milad Abdalla SHABAAN

Çankırı, Temmuz 2024

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT	ii
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER	iv
KISALTMALAR DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	ix
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Elektrikli Araç Aküleri	4
1.2 Elektrikli Araç Teknolojisi ve Altyapısı	5
1.3 Çevresel Etki ve Sürdürülebilirlik	6
1.4 Elektrikli Araçlar İçin Kablosuz Şarjın Faydaları	7
1.5 Elektrikli Araçlara Yönelik Kablosuz Şarj Sistemleri.....	9
1.5.1 Kablosuz şarj sistemlerinin prensibi.....	9
1.5.2 Kablosuz elektrikli araç şarj sistemlerinin uygulanması.....	12
1.6 Mikroşebekeler	14
1.6.1 Mikro şebekelerin tanımı ve önemi.....	14
1.6.2 Bir mikro şebekenin bileşenleri.....	14
1.6.3 Mikro şebeke türleri.....	16
1.6.4 Mikro şebekelerin avantajları ve zorlukları	17
1.6.5 Akıllı şebekelerin gelişimi	18
1.7 Tez Problemi	20
1.8 Tez Önemi	20
1.9 Amaç ve Kapsamlar	21
2. LİTERATÜR ÖZETİ.....	22
3. MATERYAL VE METOT	28
3.1 Fotovoltaik.....	28
3.2 DC-DC Güçlendirme Dönüştürücünün Tasarımı	32
3.3 Akü Depolama Sistemi	36
3.3.1 Tam köprü DC-AC	39

3.3.2 Yarım köprü AC-DC dönüştürücü	41
3.4 Kablosuz Enerji Transferi	43
3.4.1 Endüktif kablosuz güç şarj cihazı	43
3.4.2 Kapasitif güç aktarım şarj cihazı	44
3.4.3 Kablosuz şarj topoloji	45
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	50
4.1 Güç Üretimi Tarafı.....	50
4.2 Kablosuz Enerji Transferi	56
4.2.1 Endüktif kablosuz transfer şarjı kutusu (birinci durum).....	58
4.2.2 Kapasitif kablosuz transfer şarjı (ikinci durum).....	59
4.2.3 Endüktif ve kapasitif kablosuz arasındaki karşılaştırma	60
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	63
KAYNAKLAR	64
ÖZGEÇMİŞ.....	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.

KISALTMALAR DİZİNİ

SG	Akıllı şebeke
DWCS	Dinamik kablosuz şarj sistemi
ICE	İçten yanmalı motor
MGWC	Kablosuz şarj için mikro şebeke istasyonları
SOC	Şarj durumu
DSM	Talep tarafı yönetimi



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1 Elektrikli araç parçalarının basit şeması (Staff 2021).....	1
Şekil 1.2 Elektrikli araçlar için fişli şarj cihazı seçeneği a) DC şarjı b) AC şarjı (Dimitriadou <i>et al.</i> 2023).....	4
Şekil 1.3 Elektrikli araç akünün yaşam döngüsü (Alam and Krishnamurthy 2021)	5
Şekil 1.4 Elektromanyetik indüksiyon şeması (Yaclass 2024).....	9
Şekil 1.5 Elektrikli araçlar için endüktif kablosuz güç aktarım şeması sistemi.....	11
Şekil 1.6 Basit bir güç aktarım sisteminin bileşenleri (Mohamed <i>et al.</i> 2023).....	11
2) Dinamik Kablosuz Elektrikli Araçlar Şarj Sistemi	12
Şekil 1.7 Çoklu vericiyle dinamik kablosuz elektrikli araçlar şarjı (Momidi 2019).....	13
Şekil 1.8 Mikro şebekenin temel bileşeni	15
Şekil 1.9 Ana mikro şebeke türlerinin akış şeması	16
Şekil 2.1 2010'dan 2023'e kadar çeşitli bölgelerdeki küresel elektrikli araç stokunun analizini göstermekte olup, Elektrikli araçların yaygınlaşması hakkında önemli içgörüler sunmaktadır (EIA 2023)	27
Şekil 3.1 Önerilen ve modellenmiş diyagram	28
Şekil 3.2 Fotovoltaik dizinin modellenmesi	30
Şekil 3.3 PV'nin eşdeğer devresi	30
Şekil 3.4 DC-DC yükseltici dönüştürücü diyagramı	32
Şekil 3.5 Boost dönüştürücü blok diyagramı	35
Şekil 3.6 PO akış şeması (Reddy <i>et al.</i> 2018).....	35
Şekil 3.7 İki yönlü dc-dc dönüştürücü ile lityum-iyon batarya diyagramı	37
Şekil 3.8 Batarya devre diyagramı ve MATLAB/Simulink® parametreleri	37
Şekil 3.9 Batarya yönetim sistemi blok diyagramı ile MATLAB/Simulink®	38
Şekil 3.10 Batarya yönetim sisteminin (BMS) alt blokları: a) şarj modu, b) deşarj modu, c) kasa durumu, d) görev döngüsü anahtarı.....	38
Şekil 3.11 Tam köprü evirici şeması (Elprocus 2020).....	39
Şekil 3.12 MATLAB/Simulink®'te tam köprü.....	41
Şekil 3.13 AC-DC yarım köprü diyagramı (Kisacikoglu <i>et al.</i> 2013)	42
Şekil 3.14 Önerilen endüktif kablosuz güç aktarım sistemi.....	44
Şekil 3.15 Kapasitif kablosuz güç şarj cihazı.....	44
Şekil 3.16 Önerilen kapasitif kablosuz güç transfer sistemi	45
Şekil 3.17 Elektrikli araçlarda Kablosuz Güç Transferinin Popüler Topolojileri (a) seri- seri (SS); (b) seri-paralel (SP); (c) paralel-seri (PS); (d) paralel-paralel (PP) (Vishnuram <i>et al.</i> 2023).....	46
Şekil 3.18 MATLAB/Simulink®'ten endüktif model blok diyagramı.....	49
Şekil 3.19 MATLAB/Simulink®'ten kapasitif model blok diyagramı	49
Şekil 4.1 PV Işınımı	50
Şekil 4.2 Farklı hava koşullarında PV çıkış gerilimi	51
Şekil 4.3 Farklı hava koşullarında PV çıkış akımı	51

Şekil 4.4 Farklı hava koşullarında PV çıkış gücü	52
Şekil 4.5 Önerilen PV modülü için IV-PV karakteristikleri	52
Şekil 4.6 Yükseltici dönüştürücünün giriş ve çıkış voltajlarına dayalı MPPT	53
Şekil 4.7 MPPT'ye dayalı PO algoritması için çalışma çevrimi	54
Şekil 4.8 Batarya karakteristiğinin zamanla voltaj ve akımı.....	54
Şekil 4.9 Farklı hava koşullarına göre batarya voltaj performansı	55
Şekil 4.10 Farklı hava koşullarına göre batarya akım performansı	55
Şekil 4.11 Farklı hava koşullarına göre batarya şarj durumu.....	56
Şekil 4.12 Yüksek anahtarlama frekansı ve rezonans durumu parametreleri	56
Şekil 4.13 Voltaj ve akım arasındaki rezonans durumu.....	57
Şekil 4.14 Endüktif kablosuz transfer verici ve alıcı taraf gücü	58
Şekil 4.15 Endüktif kablosuz güç transferi verimliliği	58
Şekil 4.16 Kapasitif kablosuz aktarım vericisi ve alıcı tarafındaki güç	59
Şekil 4.17 Kapasitif kablosuz aktarım gücü verimliliği.....	59
Şekil 4.18 Verici ve alıcı güç tarafları	60

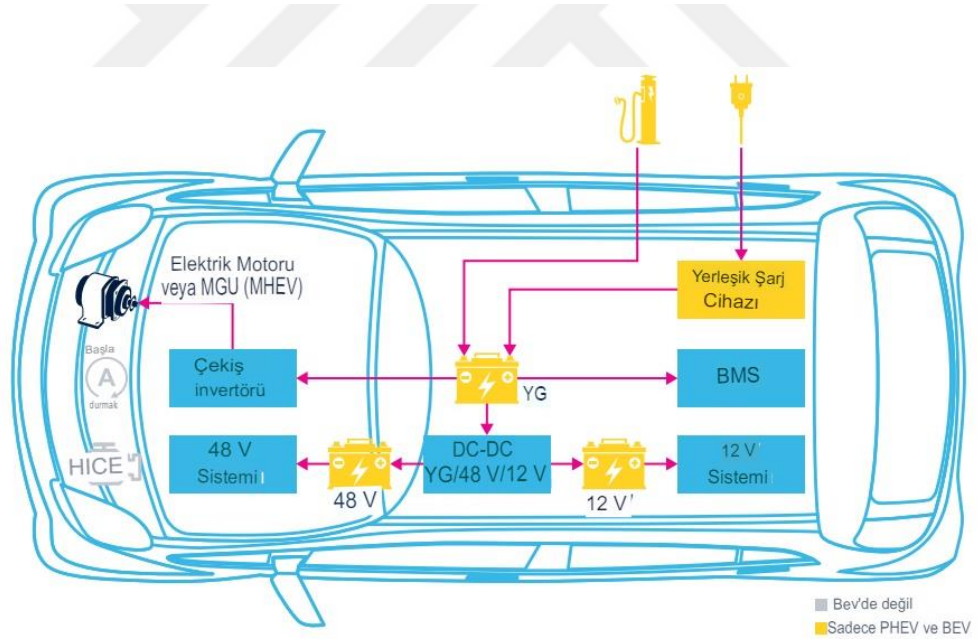
ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1 A10J-M60-230 güneş paneli parametreleri	29
Çizelge 5.1 Endüktif ve kapasitif kablosuz arasındaki karşılaştırma.....	60
Çizelge 5.2 Önerilen çalışma ile çeşitli çalışmaların karşılaştırması	61



1. GİRİŞ

Karbondioksit (CO₂) emisyonlarını azaltma konusundaki acil ihtiyaç, elektrikli araçlara geçişi önemli ölçüde etkilemektedir. Küresel organizasyonlar ve hükümetler, çeşitli ülkelerin önümüzdeki on yıllarda İçten Yanmalı Motor (Internal combustion engine - ICE) araçlarını aşamalı olarak kaldırmayı planladıkları Elektrikli araçları büyük yatırımlar yapmaktadır. Ancak, elektrikli araçların yaygın olarak benimsenmesi, artan talebi karşılayabilecek geniş kapsamlı bir şarj altyapısını gerektirmektedir. Hâlihazırda, elektrikli araçlar şarj istasyonları, güç sağlamak için çoğunlukla ana şebekeye bağımlıdır, bu da genellikle yoğun şarj zamanlarında ani yük artışı nedeniyle şebeke kararsızlığına yol açmaktadır. Bu dezavantaj, elektrikli araçlar şarj istasyonları için özerk, güvenilir ve verimli bir güç tedarik sisteminin gerekliliğini vurgulamaktadır, bu da bizi Mikro Şebeke kavramına getirmektedir (Zhang and Hanaoka 2021, Guo *et al.* 2022, Zhang *et al.* 2022). Şekil 1.1, elektrikli araçların basit bir diyagramını göstermektedir.



Şekil 1.1 Elektrikli araç parçalarının basit şeması (Staff 2021)

Elektrikli araçların tarihçesi, bazılarının düşündüğünden daha kapsamlıdır. İlk elektrikli taşıt yaklaşık 1832'de geliştirilmiş olup, 1890'larda ilk pratik üretim elektrikli arabalar üretilmiştir. 1900'lerin başlarında, elektrikli araçlar önemli bir pazar payına sahipti, ancak içten yanmalı motorlu araçların geliştirilmesi, daha hızlı yakıt ikmali ve uzun menzil

sağlamaları nedeniyle elektrikli tahrikin kullanımında bir düşüşe yol açmıştır. Artan petrol fiyatlarına ve sera gazı emisyonlarını azaltma ihtiyacına yönelik endişeler, elektrikli araçlara olan ilgiyi yeniden canlandırmıştır. 1990'larda, emisyonları azaltmaya yönelik düzenleyici eylemler, elektrikli araçların geliştirilmesine geri dönülmesini sağlamış ancak bu araçlar genellikle ticari olarak başarılı olamamıştır (Kirsch 2000). 21. yüzyılda önemli değişiklikler meydana gelmiştir. 2010'lara gelindiğinde, batarya teknolojisindeki ilerlemeler, yenilenebilir enerjiye ve sürdürülebilir taşımacılık potansiyeline karşı artan odaklanma nedeniyle elektrikli arabalar ekonomik ve yüksek performanslı bir seçenek haline gelmiştir. Tesla, Nissan ve Chevy gibi şirketler bu alanda öncülük yapmış et al. gibi hızla bu yolu takip etmiştir. Birçok ülke ve şehir, içten yanmalı motorlu araçları elektrikli ve hibrit araçlar lehine aşamalı olarak kaldırma hedefleri belirlemiştir. Örneğin; Çin, ABD ve Kaliforniya elektrikli araçların benimsenmesi için düzenlemeler ve teşvikler uygulamaktadır. Batarya teknolojisi, şarj altyapısı ve araç menzilineki ilerlemelerle elektrikli araçların arkasındaki ivme büyümeye devam etmektedir ve bu dünya genelinde birçok tüketici için daha geçerli bir seçenek haline gelmektedir (Fayziyev *et al.* 2022).

Elektrikli araçlar, enerjiyi dönüştürme, depolama, yönetme, dönüştürme ve son olarak uygulama süreçlerini sağlayan birkaç ana bileşenden oluşur. Elektrikli araçların standart bir tanımı yoktur. Yaygın olarak benimsenen paradigma, birleştirilmiş bir batarya ve diğer enerji kaynakları olan güneş veya yakıt hücrelerini içerebilir. Tek veya çift döner tahrik sistemi ile donatılmış elektrikli araçlar, yaya araçları olarak da kabul edilebilir. Bir aracın boyutuna ve uygulamasına bağlı olarak elektrikli bir araç tek veya hibrit bataryalı motor ile çalıştırılabilir. Elektrikli bir motor, bir batarya içeren bir elektrik sistemi ile yerleştirilmiş olabilir (Mishra *et al.* 2015).

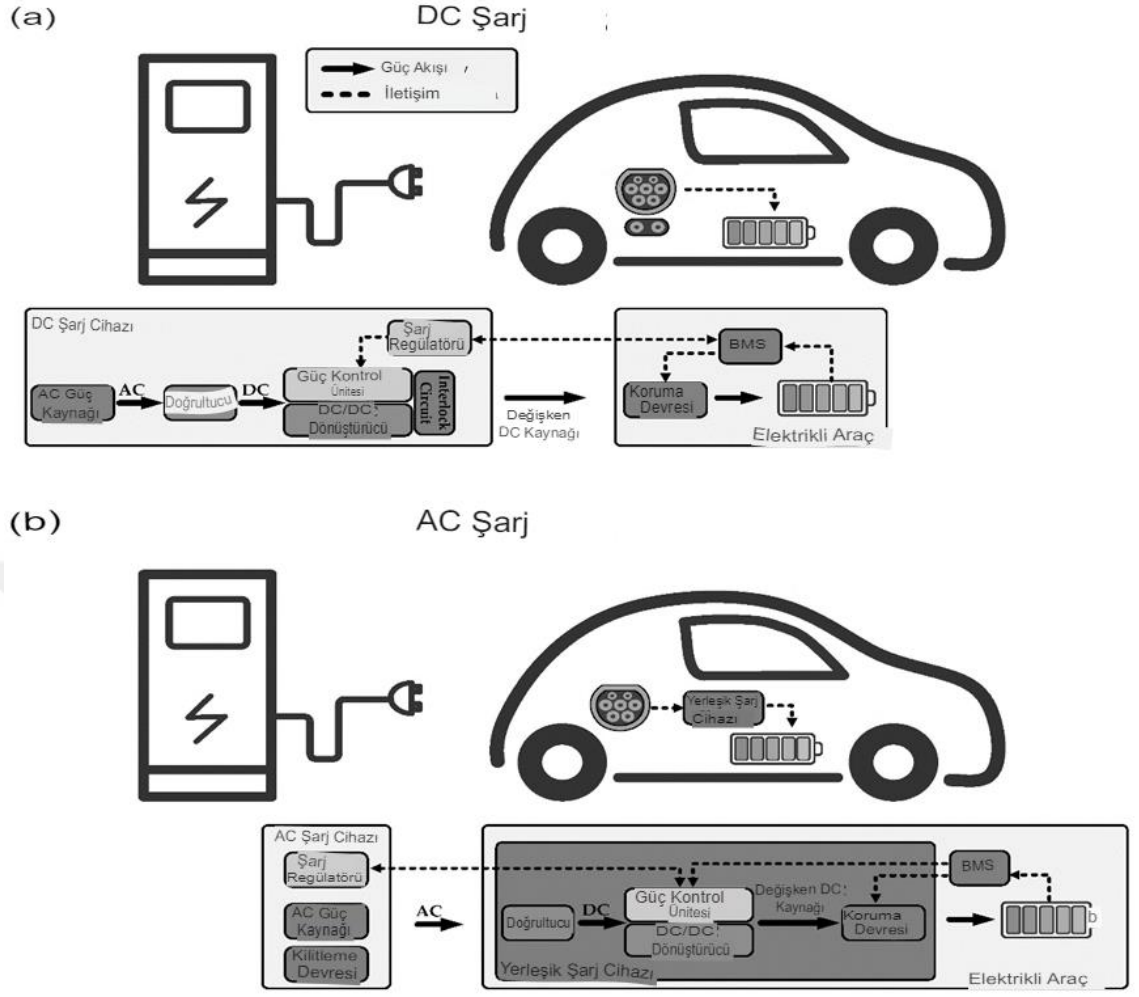
Elektrikli araçlar, ulaşım sektöründe CO₂ emisyonlarını azaltmak için umut verici bir çözüm sunmakta olup, 2030 yılına kadar emisyonları %29 oranında azaltma potansiyeline sahiptir (Pruckner and German 2016, Sharma and Chandel 2020). Ancak enerji sistemi ve elektrik sektöründeki CO₂ emisyonları üzerindeki etkileri karmaşıktır ve ek emisyon potansiyeli bulunmaktadır. Elektrikli araçların emisyonları azaltma konusundaki verimliliği, elektrik üretim karmasına bağlıdır ve düşük karbonlu elektrik kaynakları

kritik öneme sahiptir (Gibbins *et al.* 2007). Benzinli araçların elektrikli araçlarla değiştirilmesi yalnızca elektrik sektörünün agresif bir şekilde karbon azaltımı ile desteklenirse petrol bağımlılığını ve CO₂ emisyonlarını önemli ölçüde azaltabilir (Hofmann *et al.* 2016).

Elektrikli araçların çevresel etkisi karmaşık bir konudur ve genel sürdürülebilirliklerini etkileyen çeşitli faktörler bulunmaktadır. Nęcka and Knaga (2021) bazı durumlarda elektrikli araçların işletilmesinin, batarya şarjı için fosil yakıtların kullanımı nedeniyle kirliliği artırabileceğini bulmuştur. Bu durum, elektrikli araçların çevresel etkisini değerlendirirken elektrik kaynağının dikkate alınmasının önemini vurgulamaktadır. Öte yandan, Kapustina and Izakova (2023), batarya teknolojisinin geliştirilmesinin üretim ve bertaraf süreçlerinde karbon ayak izinin azaltılması gerektiğini öne sürmüşlerdir. Bu çalışmalar, elektrikli araçların emisyonları azaltma potansiyeline sahip olduğunu ancak genel çevresel etkilerinin elektrik kaynağı ve batarya teknolojisinin sürdürülebilirliği gibi bir dizi faktöre bağlı olduğunu kolektif olarak önermektedir.

Mikro şebekeler, elektrikli araç şarj istasyonlarına güç sağlama konusunda şebeke kararlılığı ve güvenilirliği ile ilgili zorluklara çözüm olarak ortaya çıkmıştır. Mikro şebekelerin merkezi olmayan yapısı, ana şebekeden bağımsız olarak çalışabilmelerine olanak tanır ve böylece elektrikli araç şarj istasyonlarına sürekli bir güç kaynağı sağlar. Ayrıca, güneş ve rüzgar gibi yenilenebilir kaynakları bünyelerinde barındırır ve bu kaynaklar temiz ve sürdürülebilir alternatiflerdir. Mikro şebekelerin elektrikli araç şarjında kullanılması, yük yönetimine de yardımcı olur; çünkü yoğun olmayan zamanlarda üretilen fazla gücü depolayabilir ve yoğun yük dönemlerinde kullanabilir, böylece ana şebeke üzerindeki yükü azaltır (AbuElrub *et al.* 2020, Choudhury 2020).

Elektrikli araçlar için en yaygın şarj seçeneği olan fişli şarj cihazları (Şekil 1.2), fiziksel bir bağlantı gereksinimi gibi bir dizi zorlukla birlikte gelir; bu durum zahmetli ve zaman alıcı olabilir. Kablosuz şarj, fiziksel bağlantılar olmadan güç transferini mümkün kılan teknoloji devresine girmektedir. Şarj kablosunu takma ve çıkarma gerekliliğini ortadan kaldırarak kullanıcı deneyimini iyileştirmenin yanı sıra hareket halindeyken şarj edilebilen dinamik şarj gibi yeni olasılıklara da açar (Halvorson 2021, Amjad *et al.* 2022).



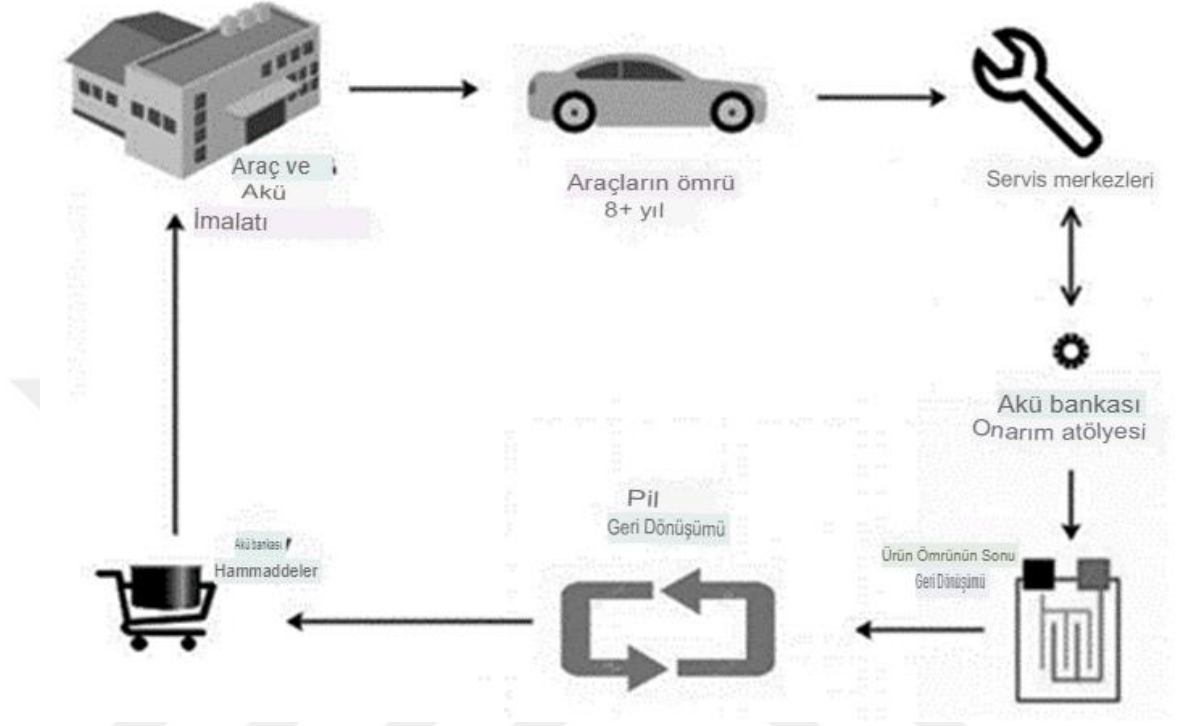
Şekil 1.2 Elektrikli araçlar için fişli şarj cihazı seçeneği a) DC şarjı b) AC şarjı (Dimitriadou *et al.* 2023)

Mikro şebekelerin kablosuz şarj ile entegrasyonu, elektrikli araç şarj altyapısının şu anda karşı karşıya olduğu zorluklar için umut verici bir çözüm sunmaktadır. Kablosuz Şarj için Mikro Şebeke İstasyonları (MGWC) konsepti, elektrikli araçları özerk, verimli ve kullanıcı dostu bir şekilde şarj etmeyi amaçlamaktadır (Dimitriadou *et al.* 2023). Bu çalışma, MGWC'lerin performansını değerlendirerek, büyük ölçekli uygulamalar için güvenilirlik, verimlilik ve genel fizibilitelerine odaklanmayı amaçlamaktadır.

1.1 Elektrikli Araç Aküleri

Elektrikli araç bataryalarının yeniden kullanılması, yeni batarya ihtiyacını potansiyel olarak azaltabilir ve kaynak kullanımını tasarruf edebilir. İkincil bataryaların

kullanımının ekolojik sonuçlarını değerlendirmek için elektrikli araç bataryalarının tüm yaşam döngüsü boyunca çevresel etkilerini ölçmek gerekmektedir (Şekil 1.3).



Şekil 1.3 Elektrikli araç akünün yaşam döngüsü (Alam and Krishnamurthy 2021)

Lityum-iyon bataryaların yenilenmesi, kurşun-asit bataryalarla karşılaştırıldığında küresel ısınma potansiyeli (GWP) etkilerini %12 ile %46 arasında azaltabilir. Batarya paketi üretim aşaması, tüketim ve yeniden kullanım aşamalarına kıyasla yaklaşık %40 daha yüksek seviyelerde sera gazı emisyonu üretmekte olup, toplam sera gazı emisyonlarına önemli bir katkı sağlamaktadır (Ahmadi *et al.* 2015).

1.2 Elektrikli Araç Teknolojisi ve Altyapısı

Elektrikli araçlar güç için bataryalara dayanmakta olup, içten yanmalı motorlara ICE göre daha verimli olan elektrik motorlarıyla çalışmaktadır. Katı hal batarya teknolojisindeki lityum-kükürt ve lityum-hava bataryalarındaki ilerlemeler umut verici olmasına rağmen hâlâ deneysel aşamadır. Batarya geri dönüşümü ve ikinci yaşam uygulamaları,

elektrikli araçlar bataryalarının çevresel etkilerini ve maliyetlerini azaltmak için giderek daha fazla ilgi görmektedir (Xia and Li 2022).

elektrikli araçların benimsenmesi için şarj altyapısı önemlidir ve üç ana türü bulunmaktadır: Seviye 1, Seviye 2 ve Seviye 3. 1.Seviye şarj cihazları yavaştır ve ev kullanımı için uygundur. 2.Seviye şarj cihazları ise evlere ve ya halka açık alanlar için daha hızlı alternatifler sunmaktadır (Lab 2023). DC hızlı şarj cihazı, 30 dakika içinde bir bataryanın kapasitesini %80'ine kadar doldurabilmektedir ve uzun mesafeli seyahatler için kritik öneme sahiptir ancak yüksek maliyetler ve önemli bir güç kaynağı gereksinimi nedeniyle önemli yatırımlar gerektirmektedir (Jason 2023).

Elektrikli araçların güç şebekesine entegrasyonu, zorluklar ve fırsatlar sunmaktadır. Artan benimseme mevcut şebeke altyapısını zorlayabilmekteyken, araçtan şebekeye (V2G) teknolojisi, elektrikli araçların mobil enerji depolama birimleri olarak hareket etmelerini ve talep zirvelerinde şebekeye güç sağlamalarını mümkün kılmaktadır. Bu faydaları elde etmek için akıllı şarj altyapısı gereklidir. Hükümet politikaları ve teşvikleri, sübvansiyonlar, vergi kredileri ve sıfır emisyonlu araç zorunlulukları gibi elektrikli araç peyzajını şekillendirmek için önemlidir. Kamu-özel ortaklıkları finansman açıklarını kapatabilmekteyken, uluslararası işbirliği tedarik zinciri zafiyetlerini ele alabilmekte ve şarj protokollerini standardize edebilmektedir (Vishnu *et al.* 2023).

1.3 Çevresel Etki ve Sürdürülebilirlik

Ulaşımın çevresel etkisini azaltma arzusu, elektrikli araçlara yönelik geçiş teşvik etmektedir ve bu geçiş, araçların tüm yaşam döngüsüne odaklanmaktadır. Elektrikli araçlar kullanım sırasında daha düşük emisyonlara sahip olmasına rağmen çevresel etkileri özellikle batarya üretimi aşamasında yoğunlaşmaktadır (Marín and Perales, 2020). Temiz enerji üretiminin yüzdesi ve kullanılan bataryaların geri dönüşümü, elektrikli araçların çevresel faydaları üzerinde etkili olmaktadır (Xia and Li 2022). Elektrikli araçların performansı, kullanım aşamasında tüketilen enerjiye de bağlıdır ve elektrik üretim karışımında yenilenebilir enerji kaynaklarının önemini vurgulamaktadır (Idris and Koestoer 2023).

Elektrikli araçların çevresel sürdürülebilirliği, batarya atıklarının etkili yönetimine dayanmaktadır. Elektrikli araçlarda yaygın olarak kullanılan lityum-iyon bataryalar, geri kazanılabilir ve yeniden kullanılabilir değerli metaller içermektedir. Geri dönüşüm, bakır malzemelere olan ihtiyacı azaltarak madenciliğin çevresel etkisini hafifletmektedir. Ancak sürecin karmaşıklığı ve maliyeti nedeniyle mevcut geri dönüşüm oranları düşüktür. Hükümetler ve sanayi oyuncuları, verimliliği ve karlılığı artırmak için ileri geri dönüşüm teknolojilerine yatırım yapmaktadır (Xia and Li 2022).

1.4 Elektrikli Araçlar İçin Kablosuz Şarjın Faydaları

Mikro şebeke istasyonlarındaki kablosuz şarj, sürdürülebilir ve dirençli enerji sistemleri hedefleriyle uyumlu ileriye dönük bir çözüm olarak öne çıkmaktadır (Sikandar *et al.* 2022). Bu yaklaşım, yalnızca şarj sürecini basitleştirmekle kalmamakta, aynı zamanda güvenliği artırmakta ve yenilenebilir enerji entegrasyonunu desteklemektedir.

1) Kullanım kolaylığı ve rahatlık

Kablosuz şarj sistemleri, fiziksel bağlantı ihtiyacını ortadan kaldırarak elektrikli araçların şarj pedinin üzerine park edildiğinde otomatik olarak şarj olmasını sağlamaktadır (Karthikeyan *et al.* 2023). Bu teknoloji, manuel fiş takma şarj yöntem ile ilgili zorlukları önemli ölçüde azaltmakta ve kullanıcı rahatlığını artırmaktadır. Sürücülerin şarj kablolarını fiziksel olarak bağlama ve çıkarma gereksinimini ortadan kaldırarak kablosuz şarj süreci basitleştirmekte ve aracı park etmek kadar kolay hale getirmektedir. Bu seviyede bir rahatlık, kullanım kolaylığına öncelik veren kullanıcılar arasında elektrikli araçların daha geniş çapta benimsenmesi için kritik öneme sahiptir (Gilbert and Barrett 2012).

2) Dinamik şarj potansiyeli

Kablosuz şarj, hem statik (durağan) hem de dinamik (hareket halinde) modlarda uygulanabilmektedir. Statik modda, elektrikli araçlar kablosuz şarj pedi üzerinde park

edildiğinde şarj olmaktadır. Ancak gerçek potansiyel, yol boyunca yerleştirilen şarj pedlerinin araçların hareket halindeyken şarj olmasını sağladığı dinamik şarjda yatmaktadır. Bu, sürekli güç yenilenmesini sağlayarak elektrikli araçların sürüş menzilini etkili bir şekilde uzatmakta ve batarya boyutu gereksinimlerini azaltmaktadır. Dinamik modda olan elektrikli araçların benimsenmesinin önündeki ana engellerden biri olan menzil kaygısını hafifletmek için yenilikçi bir çözüm sunmaktadır (Nguyen *et al.* 2024).

3) Güvenlik ve azalan aşınma

Kablosuz şarj, fiziksel bağlantıları ortadan kaldırarak çevresel faktörler gibi hava durumu ve ya korozyon nedeniyle oluşabilecek aşınma ve yıpranma riskini önemli ölçüde azaltmaktadır. Ayrıca kablosuz şarj sistemleri, katı güvenlik standartlarına uygun olarak tasarlanabilmekte ve elektriksel tehlikeleri en aza indirmektedir. Açık elektrik temaslarının olmaması, sistemin olumsuz koşullarda bile güvenli kalmasını sağlayarak hem araçlar hem de kullanıcılar için gelişmiş güvenlik sunmaktadır (Karthikeyan *et al.* 2023).

4) Yenilenebilir enerji kaynaklarıyla entegrasyon

Kablosuz şarj, güneş ve ya rüzgar gibi yenilenebilir enerji kaynaklarıyla çalışan mikro şebeke istasyonlarına entegre edildiğinde sürdürülebilir ulaşımı desteklemektedir (Hassan *et al.* 2014). Bu entegrasyon, birkaç avantaj sunmaktadır:

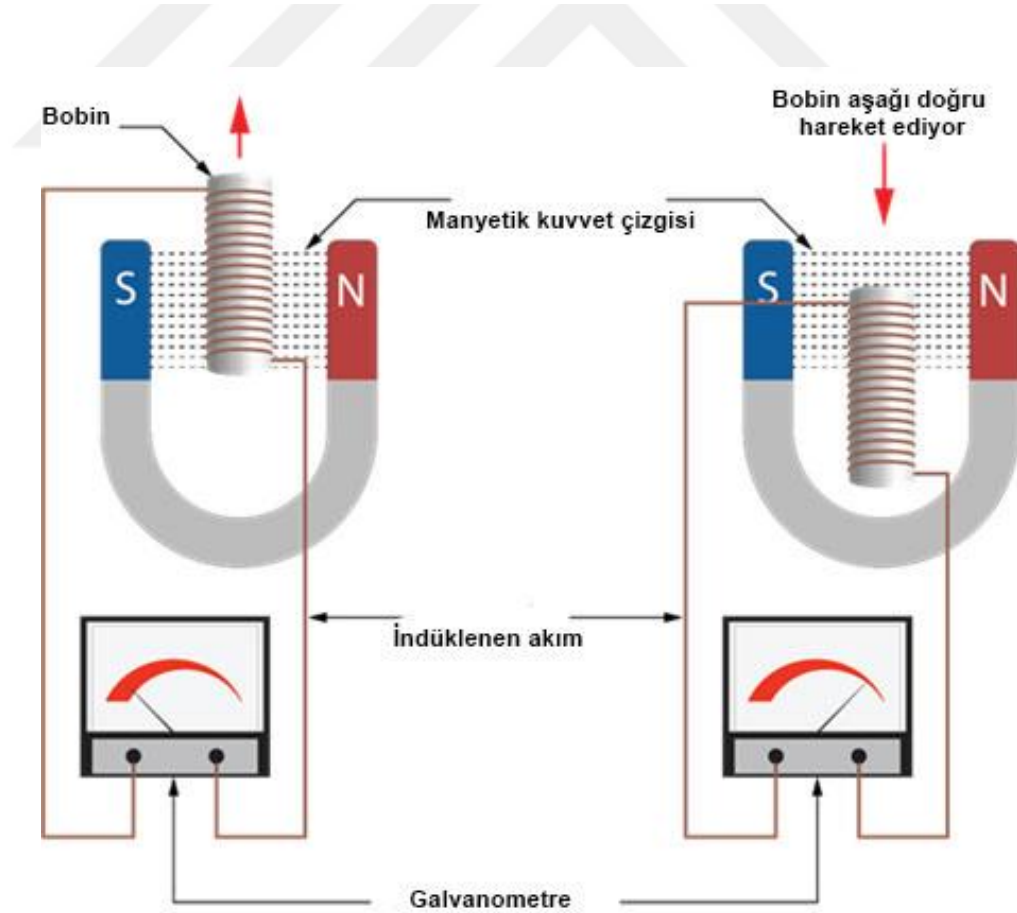
- Optimizasyonlu Enerji Yönetimi: Elektrikli araçlar için şarj talebi, temiz enerjinin verimli kullanımı sağlanarak yenilenebilir enerji arzıyla eşleştirilebilmektedir (Nunna *et al.* 2018).
- Şebeke Kararlılığı ve Yük Yönetimi: Araçtan şebekeye (V2G) teknolojisi ile elektrikli araçlar, bataryalarının dağıtılmış enerji depolama birimi olarak kullanılmasıyla mikro şebekelerin gelişmesine katkıda bulunabilir, böylece kararlılık ve daha iyi yük yönetimi avantajları sağlanabilir (Joseph *et al.* 2019).

1.5 Elektrikli Araçlara Yönelik Kablosuz Şarj Sistemleri

Elektrikli araçlar için kablosuz şarj sistemleri, ulaşımımızı güçlendiren önemli bir teknoloji atılımını temsil etmektedir. Bu teknoloji, enerjinin elektromanyetik indüksiyon prensibiyle kısa mesafeler üzerinden kablosuz olarak aktarılmasına olanak tanımaktadır. Amaç, şarj sürecini daha kolay ve sorunsuz hale getirerek fiziksel fişlere ve prizlere olan bağımlılığı azaltmaktır.

1.5.1 Kablosuz şarj sistemlerinin prensibi

Elektrikli araçlar için kullanılan kablosuz şarj sistemlerinin prensibi, elektromanyetik indüksiyon olarak bilimsel konseptte dayanmaktadır. Bu konsept ilk kez 1830'larda İngiliz bilim insanı Michael Faraday tarafından tanıtılmıştır (Faraday 1839). Şekil 1.4, elektromanyetik indüksiyonu göstermektedir.

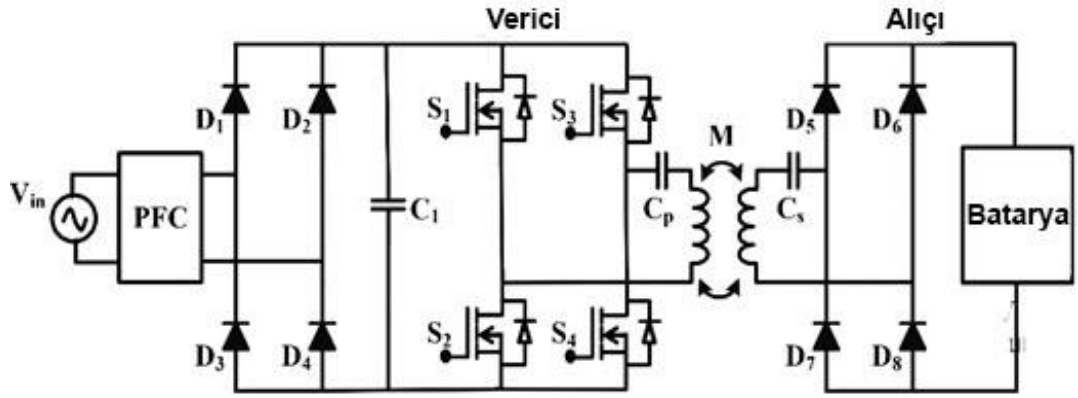


Şekil 1.4 Elektromanyetik indüksiyon şeması (Yaclass 2024)

Elektromanyetik indüksiyon bir iletkenin (genellikle bir tel bobini) değişen bir manyetik alan içine yerleştirildiğinde, elektromotor kuvvet ve ya voltaj üretmesine neden olan bir süreçtir. Bu voltaj, bir devrede elektrik akımını sürdürmek için kullanılabilir. Kablosuz şarj sistemi tipik olarak iki ana parçadan oluşmaktadır: bunlar verici ve alıcıdır (Yaclass 2024).

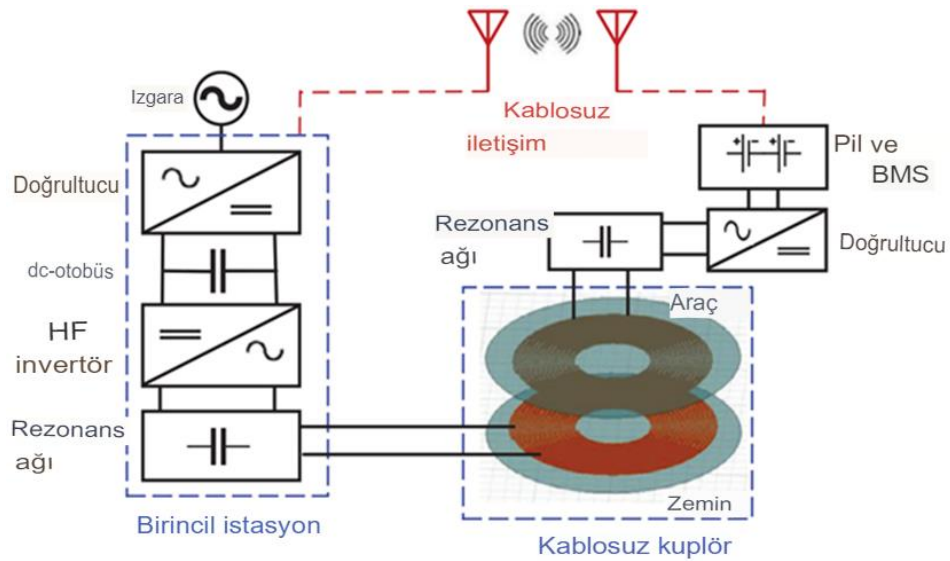
- 1) Verici: Bu, bir güç kaynağına bağlı olan bir primer bobinden oluşmaktadır. Bu bobin, AC formundaki elektrik akımıyla beslendiğinde etrafında değişen bir manyetik alan yaratır.
- 2) Alıcı: Bu parça, elektrikli araçların alt kısmında bulunan sekonder bobini içerir. Araç, vericinin üzerine park edildiğinde veya üzerinden geçtiğinde, primer bobinden gelen değişen manyetik alan sekonder bobinde bir voltaj indükler.

Alıcıda indüklenen voltaj, bir doğrultucu kullanılarak AC'den doğru akıma (DC) dönüştürülür. Bu DC gücü, elektrikli araçlar'nın bataryasını şarj etmek için kullanılır. Bu süreç, güvenli ve etkili bir şarj sağlamak için hem verici hem de alıcıdaki elektronik sistemler tarafından verimli bir şekilde kontrol edilmekte ve yönetilmektedir. Bu sürecin kritik unsurlarından biri rezonans konseptidir. Maksimum verimlilik için hem verici hem de alıcı aynı frekansta ayarlanmalıdır ve bu da onları rezonansla bağlantılı hale getirir. Bu iki bobin mükemmel şekilde hizalanmasa ve ya birbirinden uzakta olsa bile enerji transferinin daha verimli olmasını sağlar (Tran *et al.* 2018). Şekil 1.5, elektrikli araçlarda kablosuz güç transferinin tüm diyagramını göstermektedir.



Şekil 1.5 Elektrikli araçlar için endüktif kablosuz güç aktarım şeması sistemi

Ayrıca, Şekil 1.6, basit bir güç transfer sistemi bileşenlerini göstermektedir. Endüktif güç transfer şarj sistemi, yer altı verici ped ve elektrikli araçlara monte edilmiş alıcı pedden oluşmaktadır. Verici ped, bir HF invertörü tarafından üretilen yüksek frekanslı güç ile enerjilendirilip, bu güç indüktörler, kapasitörler ve ya bir LC ağı gibi bileşenler kullanılarak ayarlanmaktadır. Bobin, bir elektromotor kuvveti üretir. Bu da alıcı pedin bobininde yüksek frekanslı akım ve voltajın üretilmesine neden olur. Voltaj, alıcıyı kompanzasyon ağı üzerinden iletip, bataryanın voltaj seviyesine uyacak şekilde dönüştürebilmektedir. IPT sistemleri genellikle 79 ila 90 kHz frekans aralığında çalışır; bu da daha küçük verici ve alıcı boyutlarının kullanılmasını sağlar (Jamakani *et al.* 2021).



Şekil 1.6 Basit bir güç aktarım sisteminin bileşenleri (Mohamed *et al.* 2023)

Kablosuz iletişim bağlantısı, verici ve alıcı kontrolörleri arasında bir bağlantı kurarak, ödeme işlemleri, hizalama ve batarya durumu bildirimleri gibi çeşitli işlevleri kolaylaştırmaktadır (Mohamed *et al.* 2023).

1.5.2 Kablosuz elektrikli araç şarj sistemlerinin uygulanması

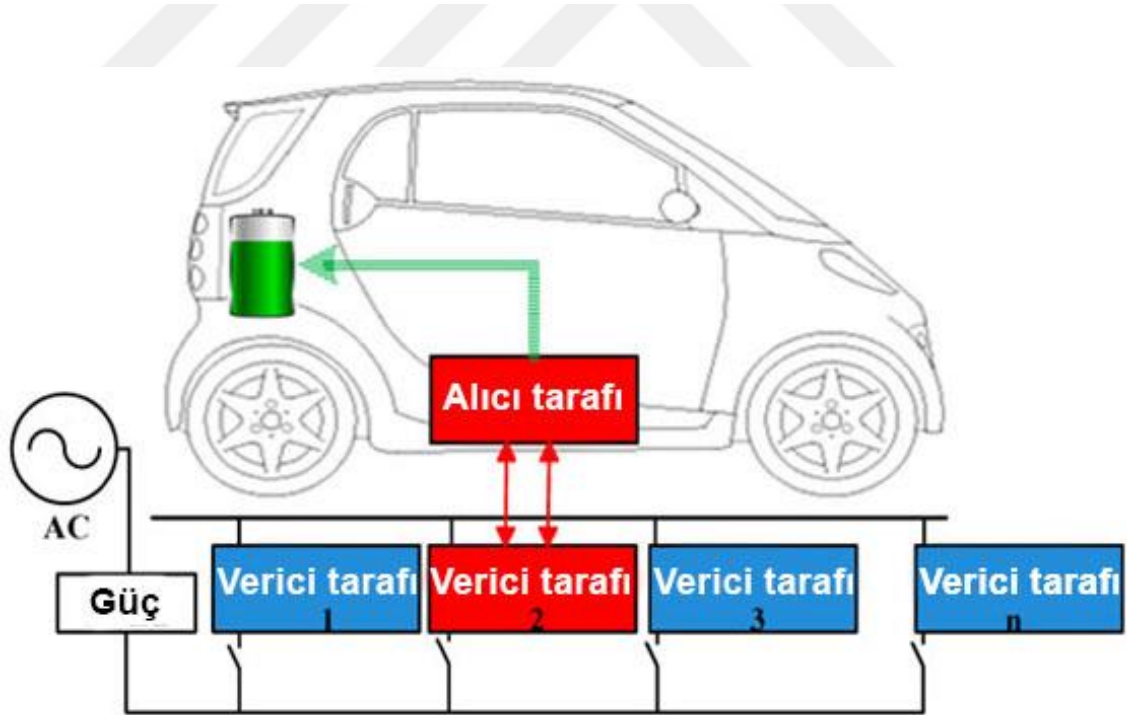
Kablosuz elektrikli araçlar Şarj Sistemleri (WECS), aynı zamanda elektrikli araçlar için kablosuz güç transferi olarak da bilinir, elektrikli araçlar şarj altyapısı alanında büyük bir yeniliği temsil etmektedir. Bu teknoloji, fiziksel bağlantı ihtiyacını ortadan kaldırarak, enerji transferi için iki nesne arasında manyetik alanlar kullanmaktadır. Uygulama açısından, WEVCS büyük bir potansiyele sahiptir.

1) Statik Kablosuz elektrikli araçlar Şarj Sistemi

Statik Kablosuz Elektrikli Araçlar Şarj Sistemi (Static Wireless Electric Vehicles Charging System - SWEVCS), elektromanyetik indüksiyon ve ya manyetik rezonans kullanarak yer tabanlı bir şarj padinden araca monte edilmiş bir alıcı padine kablosuz olarak enerji transferi yaparak elektrikli araçların durağan halde şarj edilmesini sağlamaktadır. Geleneksel kablolu şarj sistemlerinden farklı olarak, aracın şarj işlemine başlamak için sadece şarj padinin üzerine park edilmesi yeterlidir; bu da fiziksel bağlantı gereksinimini ortadan kaldırır. Bu, artan kullanım kolaylığı, elektriksel arızalardan kaynaklanan güvenlik, park alanlarında şarj pedlerinin sorunsuz entegrasyonu sayesinde gelişmiş estetik ve otomatik şarj potansiyeli gibi önemli avantajlar sunar. Özellikle filo operasyonları veya toplu taşıma için faydalıdır. Ancak hizalama sorunları, enerji transfer verimliliği, maliyet ve standardizasyon ihtiyacı gibi zorlukların hala ele alınması gerekmektedir. Yine de bu teknolojiye sürekli ilerlemeler, statik SWEVCS'yi elektrikli araçlar için giderek daha uygulanabilir ve çekici bir şarj çözümü haline getirmektedir (Panchal *et al.* 2018).

2) Dinamik Kablosuz Elektrikli Araçlar Şarj Sistemi

Dinamik Kablosuz Elektrikli Araçlar Şarj Sistemi (Dynamic Wireless Electric Vehicles Charging System - DWEVCS), yenilikçi bir çözüm olup, elektrikli araçların hareket halindeyken şarj olmasını sağlamaktadır. Yol yüzeyine gömülü bir dizi şarj pedi kullanarak, bu pedlerden araca monte edilmiş bir alıcıya manyetik alanlar aracılığıyla enerji kablosuz olarak aktarılmakta ve böylece batarya şarj edilmektedir. (Chowdary *et al.* 2023). Bu dönüşümsel teknoloji, durağan şarj ihtiyacını ortadan kaldırmakta ve elektrikli araçlarla ilişkili 'menzil kaygısını' önemli ölçüde azaltmaktadır. Ayrıca daha küçük batarya boyutlarına olanak tanıyarak aracın ağırlığını ve maliyetini azaltmakta ve sürekli araç kullanımını teşvik etmektedir. Bu, ticari ve toplu taşıma araçları için özellikle avantajlıdır. Umut verici avantajlarına rağmen, DWEVCS yüksek altyapı maliyeti, hassas araç hizalama gereksinimi, enerji transfer verimliliği ve şarj pedlerinin kamu yollarına entegrasyonu ile ilgili teknik karmaşıklıklar gibi zorluklarla karşı karşıyadır. Tüm bunlar, halen devam eden araştırma ve geliştirme konularıdır. (Liang and Muhammad 2018, Panchal *et al.* 2018). Şekil 1.7, çoklu verici ile dinamik kablosuz elektrikli araçlar şarjını göstermektedir.



Şekil 1.7 Çoklu vericiyle dinamik kablosuz elektrikli araçlar şarjı (Momidi 2019)

1.6 Mikroşebekeler

1.6.1 Mikro şebekelerin tanımı ve önemi

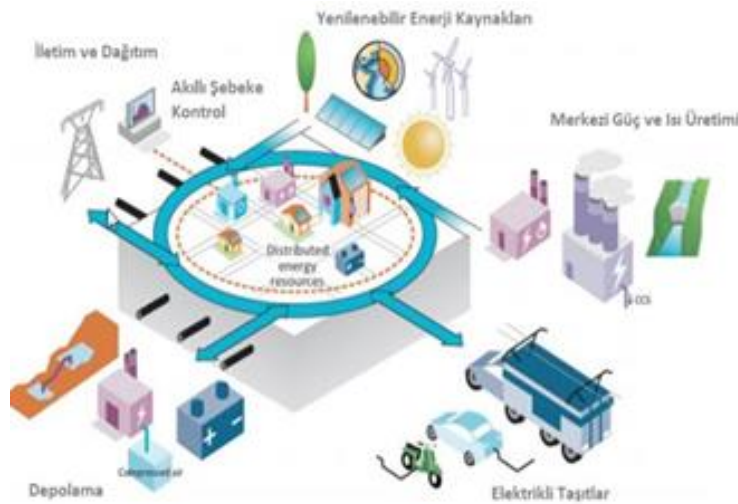
Mikro şebekeler (Microgrid), geleneksel merkezi şebekeden bağımsız olarak çalışabilen yerel enerji şebekeleridir. Bu şebekeler, belirli bir elektriksel sınır içinde enerji üretim kaynakları, enerji depolama sistemleri ve yükleri içermekte olup, hem mikro şebekeye bağlı hem de ada modunda (mikro şebekeden izole) çalışabilmektedir. Mikro şebekeler tipik olarak güneş panelleri, rüzgar türbinleri ve bazen fosil yakıt jeneratörleri gibi enerji kaynaklarının yanı sıra, sürekli ve güvenilir enerji sağlamak için enerji depolama (bataryalar gibi) kombinasyonunu kullanmaktadır. Ayrıca ileri kontrol sistemleri bu farklı unsurların uyum içinde çalışmasını ve enerji arz ve talebindeki değişikliklere gerçek zamanlı olarak yanıt vermesini sağlamaktadır (Pullins 2019, Tatiane *et al.* 2023).

1.6.2 Bir mikro şebekenin bileşenleri

Mikro şebeke, güvenilir ve verimli bir güç kaynağı sağlamak için birlikte çalışan çok sayıda birbirine bağlı bileşenden oluşan karmaşık bir sistemdir. Herhangi bir mikro şebekenin en kritik bileşenlerinden biri, güç üretim kaynağıdır. Bu kaynaklar, güneş panelleri, rüzgar türbinleri ve hidroelektrik sistemler gibi yenilenebilir enerji kaynaklarını ve ya dizel ve gaz jeneratörleri gibi daha geleneksel kaynakları içerebilmektedir. Bu üretim kaynaklarını tamamlayan enerji depolama sistemleri genellikle bataryalardır. Bu sistemler, mikro şebeke içinde arz ve talebi dengelemek için hayati bir rol oynamaktadır. Düşük talep zamanlarında üretilen fazla enerjiyi depolamakta ve yüksek talep dönemlerinde ve ya güç üretiminin yetersiz olduğu durumlarda bu enerjiyi kullanmaktadır. Mikro şebekedeki yük, bu şebekenin enerji sağladığı elektrikli cihazlar ve sistemlerdir. Bu yükler, binalar ve sokak lambalarından elektrikli araç şarj istasyonları ve endüstriyel ekipmanlara kadar geniş bir yelpazeyi kapsayabilmektedir. Değişken yük taleplerini yönetebilme yeteneği, iyi tasarlanmış bir mikro şebekenin anahtar özelliklerinden biridir. Mikro şebekenin işleyişinin merkezinde, mikro şebeke kontrolörü bulunmaktadır. Mikro şebekenin 'beyni' olarak kabul edilen kontrolör, tüm bileşenleri yönetmekte ve mevcut elektrik fiyatları, hava tahminleri, yük talepleri ve enerji depolama

sistemlerinin şarj durumu gibi faktörlere dayanarak ne zaman üretim, depolama ve ya tüketim yapılacağını optimize etmektedir. Elektriğin üretim kaynaklarından ve depolama sistemlerinden yüklere fiziksel olarak taşınması ise dağıtım ağı tarafından sağlanmaktadır. Bu ağ, elektrik telleri, transformatörler ve anahtarlardan oluşan bir sistemdir. Ortak bağlantı noktası (PCC), mikro şebeke ile ana şebeke arasındaki bağlantıyı sağlamaktadır. PCC, mikro şebekenin izole edilmesini sağlayan anahtarlar veya devre kesicileri içermekte ve gerektiğinde ‘ada modunda’ bağımsız olarak çalışmasına olanak tanımaktadır. Bu ağ, elektrik telleri, transformatörler ve anahtarlardan oluşan bir sistemdir. Ortak bağlantı noktası (PCC), mikro şebeke ile ana şebeke arasındaki bağlantıyı sağlamaktadır. PCC, mikro şebekenin izole edilmesini sağlayan anahtarlar veya devre kesicileri içermekte ve gerektiğinde ‘ada modunda’ bağımsız olarak çalışmasına olanak tanımaktadır.

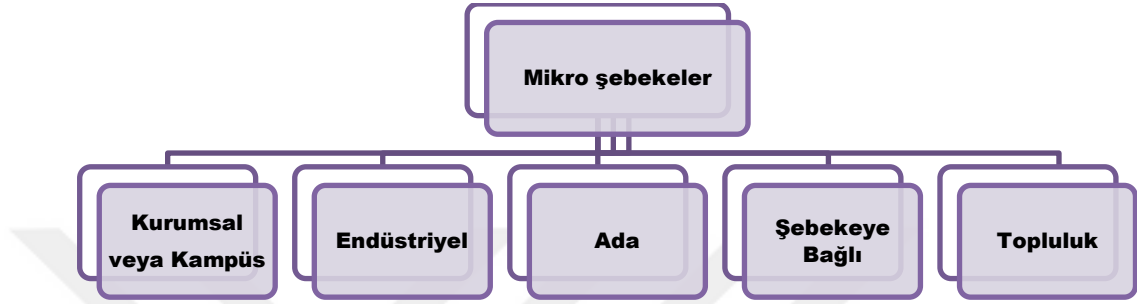
Ölçüm ve algılama cihazları, güç üretimi, tüketimi, depolaması ve diğer operasyonel parametreler hakkında mikro şebeke kontrolörünün optimizasyon için kullandığı gerçek zamanlı veriler sağlamaktadır. Devre kesiciler ve sigortalar gibi koruma ekipmanları, mikro şebeke bileşenlerini hatalardan koruyarak güvenli ve sorunsuz bir operasyon sağlamaktadır. Genel olarak, her bileşen, bir mikro şebekenin başarılı bir şekilde çalışmasında hayati bir rol oynamaktadır. Şekil 1.8, mikro şebekenin temel bileşenlerini göstermektedir (Shahgholian 2021, Jirdehi *et al.* 2020, Sen and Kumar 2018).



Şekil 1.8 Mikro şebekenin temel bileşeni

1.6.3 Mikro şebeke türleri

Mikro şebekeler, farklı ortamlar, enerji talepleri ve operasyonel hedeflere uygun olarak çeşitli şekillerde bulunabilir. Şekil 1.9, ana mikro şebeke türlerinin akış şemasını göstermektedir.



Şekil 1.9 Ana mikro şebeke türlerinin akış şeması

- 1) Topluluk Mikro Şebekeleri: Bu sistemler, genellikle bir mahalle ve ya küçük bir kasaba gibi belirli bir coğrafi alanı kapsamakta olup, birden fazla binayı içermektedir. Topluluk mikro şebekeleri tipik olarak güneş PV, rüzgar enerjisi, enerji depolama ve muhtemelen küçük ölçekli doğal gaz jeneratörleri gibi çeşitli dağıtılmış enerji kaynaklarını (DER'ler) bir araya getirmektedir. Ana amaçları, özellikle ana şebeke kesintileri sırasında yerel ve güvenilir güç sağlamaktır. Ayrıca, yerel enerji kullanımını optimize etmeye ve genel maliyetleri azaltmaya yardımcı olabilirler (Warneryd *et al.* 2020).
- 2) Kurumsal veya Kampüs Mikro Şebekeleri: Bir üniversite, askeri üs ve ya hastane kompleksi gibi kurumlara hizmet etmektedir. Genellikle farklı enerji taleplerine sahip birden fazla bina içermektedir. Buradaki hedef, özellikle kritik altyapıya sürekli ve kesintisiz güç sağlamak ve kampüs genelinde enerji kullanımını daha etkili bir şekilde yönetmektir (Huang *et al.* 2021).
- 3) Ticari veya Endüstriyel Mikro Şebekeler: Bu sistemler, güç güvenilirliğinin kritik olduğu ticari ve ya endüstriyel tesislere hizmet etmektedir. Örneğin, veri merkezleri, üretim tesisleri ve mikro şebekeleri kesintisiz güç sağlamak için kullanılabilir, çünkü

kısa süreli kesintiler bile önemli finansal sonuçlara yol açabilir. Bazı durumlarda bu mikro şebekeler, güç üretiminden kaynaklanan atık ısıyı endüstriyel süreçler ve ya bina ısıtması için kullanan kojenerasyon (birleşik ısı ve güç ve ya CHP) sistemlerini de içerebilir (Gutiérrez-Oliva *et al.* 2022).

- 4) Uzak ve ya Ada Mikro Şebekeleri: Ana şebekeye sınırlı ve ya hiç bağlantısı olmayan tesislere hizmet etmektedir. Bu uzak kırsal köyler, adalar ve ya aşırı çevrelerdeki araştırma istasyonlarını içerebilir. Bu tür durumlarda, mikro şebekeler genellikle yerel yenilenebilir kaynaklara (rüzgar veya güneş enerjisi gibi) ve muhtemelen dizel jeneratörlere dayanır. Yakıt sevkiyatlarının pahalı ve lojistik olarak zorlayıcı olduğu durumlarda, mikro şebekeler maliyet etkin ve güvenilir bir güç kaynağı sunar (Zhao *et al.* 2018).
- 5) Kamu Hizmeti veya Şebeke Bağlantılı Mikro Şebekeler: Birçok kamu hizmeti şirketi, genel güç dağıtım sistemlerinin bir parçası olarak mikro şebekeler işletmektedir. Bu mikro şebekeler, yoğun zamanlarda ana şebeke üzerindeki stresi hafifletebilir, kesintiler sırasında yedek güç sağlayabilir ve daha fazla yenilenebilir enerjiyi güç karışımına entegre etmeye yardımcı olabilir. Kamu hizmetleri, güç dağıtımını yönetmede daha fazla esneklik ve kontrol sağlamaktadır (Kumar *et al.* 2021).

1.6.4 Mikro şebekelerin avantajları ve zorlukları

Mikro şebekeler, aşırı hava koşulları, ekipman arızası veya diğer sorunlar nedeniyle ana şebeke devre dışı kalsa bile güç sağlamaya devam edebilmektedir. Bu durum, hastaneler, veri merkezleri veya askeri üsler gibi güç kesintilerinin ciddi sonuçlara yol açabileceği kritik altyapılar için onları vazgeçilmez hale getirmektedir. Ayrıca, mikro şebekeler gücü tüketim noktasına yakın ürettikleri için iletim ve dağıtım kayıplarını önemli ölçüde azaltmakta, böylece genel enerji verimliliğini artırmaktadır. Mikro şebekeler genellikle rüzgar ve ya güneş gibi yerel yenilenebilir enerji kaynaklarını içermekte olup, fosil yakıtlara olan bağımlılığı azaltmakta ve karbon emisyonlarını düşürmektedir. Yenilenebilir enerji üretiminin düşük olduğu dönemlerde kullanılmak üzere fazla enerjiyi bataryalarda ve ya diğer depolama teknolojilerinde depolayabilmektedir. Yerel güç

üretimi ve depolaması sağlamakta olan mikro şebekeler, şebeke istikrarını korumakta ve güç kesintilerini önlemeye yardımcı olabilmektedir. Hatta fazla gücü daha geniş şebekeye ihraç ederek diğer kullanıcılara fayda sağlayabilmektedir. Mikro şebekeler, pik dönemlerde talebi azaltarak ve talep yanıtı faaliyetleri yoluyla enerji maliyetlerinde önemli tasarruflar sunabilmekte, fiyatlarını düşürebilmekte ve pahalı pik enerji santrallerine duyulan ihtiyacı azaltabilmektedir (Shahzad *et al.* 2023).

Ancak mikro şebekelerin birçok zorluğu bulunmaktadır. Bir mikro şebeke kurmanın başlangıç maliyeti oldukça yüksektir. Özellikle yenilenebilir enerji kaynakları ve enerji depolama sistemleri dahil edildiğinde maliyet artmaktadır. Maliyetler düşse de, geniş çapta benimsenmenin önündeki önemli bir engel olmaktadır. Ana şebekeye bağlı ve bağımsız olarak çalışabilen bir mikro şebeke tasarlamak ve işletmek karmaşık bir iştir. Bu nedenle sofistike kontrol sistemleri ve güç mühendisliği derinlemesine anlamayı gerektirir. Mikro şebekeler için düzenleyici ortam, yerden yere büyük ölçüde değişmekte olup, genellikle belirsiz ve ya elverişsiz olmaktadır. Şebeke bağlantı kuralları, güç fiyatlandırması ve kamu hizmetlerinin yasal tanımları gibi konular, mikro şebeke gelişimi için engel oluşturmaktadır. Mikro şebeke teknolojisi hızla ilerlese de, hala ele alınması gereken zorluklar bulunmaktadır. Örneğin, çeşitli enerji kaynaklarını entegre ederken stabil operasyonu sürdürmek, güç kalitesi sorunlarıyla başa çıkmak veya şebeke bağlantısından ada moduna geçişi yönetmek gibi konular, daha fazla araştırma ve geliştirme gerektiren alanlar olmaktadır. Mikro şebekeler, diğer güç sistemi bileşenleri gibi fiziksel veya siber saldırılara karşı savunmasız olabilmektedir. Bunları korumak, hem teknoloji hem de operasyonel prosedürler açısından güvenliğe büyük önem verilmesini gerektirmektedir (Inamdar *et al.* 2019).

1.6.5 Akıllı şebekelerin gelişimi

Mikro şebekeler, genellikle güneş panelleri, rüzgar türbinleri ve hidroelektrik jeneratörler gibi çeşitli yenilenebilir enerji kaynaklarını içeren yerel güç üretimi ile karakterize edilmektedir. Bu yenilenebilir enerji kaynaklarının yerel şebeke yapılarıyla entegrasyonu, mikro şebekelerin geleneksel fosil yakıt bazlı enerjiye olan bağımlılığı önemli ölçüde

azaltmasına olanak tanımaktadır ve bu da sera gazı emisyonlarının azalmasına katkıda bulunmaktadır (Rahbar *et al.* 2018).

Ayrıca birçok mikro şebeke, bataryalar ve ya termal depolama mekanizmaları gibi enerji depolama sistemlerini içermektedir. Bu depolama sistemleri, yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen fazla enerjiyi düşük üretim dönemlerinde kullanılmak üzere depolayabilmektedir. Bu yetenek, yenilenebilir enerjinin güç sistemine daha düzgün bir şekilde entegrasyonunu sağlayarak, yenilenebilir enerji kaynaklarıyla sıklıkla ilişkilendirilen kesintiler sorununu etkili bir şekilde çözmektedir. Ayrıca gelişmiş izleme ve kontrol sistemleri aracılığıyla, mikro şebekeler yerel enerji üretimini tüketimle aktif olarak dengeleyebilmektedir. Arzı taleple eşleştirerek, mikro şebekeler yenilenebilir enerjinin daha fazla entegrasyonuna ve yenilenebilir kaynaklarla yaygın olan güç üretimindeki dalgalanmaların daha verimli yönetimine olanak tanımaktadır (Akhtar and Saqib 2016).

Mikro şebekeler ayrıca akıllı şebekelerin geliştirilmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Doğaları gereği mikro şebekeler, ana şebekede meydana gelen kesintiler sırasında bile güç sağlamaya devam edebildikleri için şebeke dayanıklılığını artırmaktadır. Ayrıca voltaj ve frekans düzenlemesi, reaktif güç desteği ve tıkanıklık yönetimi gibi yardımcı hizmetler sağlayarak şebeke kararlılığına katkıda bulunmaktadır (García Vera *et al.* 2019).

Mikro şebekelerin geliştirilmesi ve uygulanması genellikle ileri şebeke teknolojilerinin kullanımını içermektedir. Bu teknolojiler, gelişmiş ölçüm altyapısı, gerçek zamanlı izleme ve kontrol sistemleri ve öngörü analitiği gibi bileşenleri kapsamaktadır. Bu tür gelişmiş teknolojiler, elektriğin dağıtımının güvenilirliğini, verimliliğini ve sürdürülebilirliğini artırmak için dijital teknolojiyi kullanan akıllı şebekelerin geliştirilmesi için hayati öneme sahiptir. Mikro şebekelerin desteklediği akıllı şebeke gelişiminin bir diğer kritik yönü ise şebeke desantralizasyonudur. Mikro şebekede, enerji kaynağına yakın yerlerde üretilmekte ve tüketilmektedir; Bu da verimliliği önemli ölçüde artırmakta, iletim kayıplarını azaltmakta ve daha esnek ve dayanıklı güç sistemlerinin yolunu açmaktadır (Ustun *et al.* 2011).

1.7 Tez Problemi

Elektrikli araçlar son on yıl içinde olağanüstü bir dönüşüm geçirmiştir. Küresel sera gazı emisyonlarını azaltma ve iklim değişikliğinin etkilerini sınırlama çabalarının bir parçası olarak, bu araçlar niş bir üründen ana akım bir çözüme dönüşmüşlerdir. Ancak elektrikli araçların benimsenmesi kendi zorluklarıyla gelmektedir. Önemli bir engel olan mevcut şarj altyapısının yetersizliği elektrikli araçların hızlı, güvenilir ve verimli bir şekilde şarj edilmesini sağlamamaktadır. Bu sorunu çözmek amacıyla elektrikli araçlar için MGWC uygulaması son zamanlarda ilgi görmektedir. Bu tez, elektrikli araçların kablosuz şarjı için Mikro Şebeke istasyonlarının performans değerlendirmesine odaklanmakta, bu istasyonların güvenilirliğini, verimliliğini ve hızla gelişen ulaşım alanının taleplerini karşılayabilme potansiyelini değerlendirmektedir.

1.8 Tez Önemi

Bu tez, elektrikli araçların geniş çapta benimsenmesini engelleyen ana zorluklardan biri olan mevcut şarj altyapısının yetersizliğini ele almayı amaçladığı için bir öneme sahiptir. MGWC'lerin performansını değerlendirerek, bu araştırma sürdürülebilir ulaşım alanında ilerleme kaydedebilmekte, elektrikli araçların benimsenmesini kolaylaştırabilmekte ve dolayısıyla sera gazı emisyonlarının azaltılmasında katkıda bulunabilmektedir. MGWC'lerin verimli ve güvenilir çalışması, şarj sürecini basitleştirerek kullanıcı deneyimini büyük ölçüde artırabilmektedir; bu fayda, MGWC'lerin fizibilitesi ve ölçeklenebilirliği konusundaki çalışmanın içgörülerini, politika kararlarını bilgilendirebilmekte ve elektrikli araç altyapısına yapılacak yatırımları yönlendirebilmektedir. Ayrıca, mikro şebekelerin kablosuz şarj teknolojisi ile entegrasyonu, elektrikli araç şarj çözümlerinde yenilik ve teknolojik gelişmeyi teşvik edebilir; kablosuz şarj ekipmanlarının üretimi ve bakımıyla ilgili yeni ekonomik fırsatlar sunabilir ve bu şarj istasyonlarına odaklanan yeni iş modellerinin potansiyelini ortaya çıkarabilir.

1.9 Amaç ve Kapsamlar

Bu tezin genel amacı, elektrikli araçlar için MGWC'lerin performansını kapsamlı bir şekilde değerlendirerek, güvenilirlik ve verimliliklerine odaklanmaktır. Araştırmamız, MGWC'lerin elektrikli araçlara sürekli olarak güç sağlama güvenilirliğini araştırmayı, bu istasyonların güç transferi ve enerji kullanımı açısından verimliliğini değerlendirmeyi ve büyük ölçekli dağıtım potansiyellerini keşfetmeyi amaçlamaktadır. MGWC'lerin elektrikli araç şarjı için istikrarlı bir güç kaynağı sağlama güvenilirliğini, enerji kullanımı ve güç transferi açısından verimliliklerini ve büyük ölçekli uygulamalarının pratik sonuçlarını anlamaya yönelik önemli araştırma sorularına cevap arayacağız. Bu çalışmanın sonuçları, MGWC'lerin mevcut elektrikli araç şarj altyapısındaki zorluklara bir çözüm olarak potansiyelini anlamada önemli bir rol oynayacak ve sürdürülebilir ulaşım çözümleri üzerine daha geniş bir diyaloga önemli katkılarda bulunacaktır. Ayrıca, elektrikli araçlar için kablosuz şarj teknolojisi ile mikro şebekelerin entegrasyonunu araştırarak ve Kablosuz Şarj için Mikro Şebeke İstasyonlarının performansını değerlendirecektir. MGWC'lerin mevcut elektrikli araç şarj altyapısının karşılaştığı zorlukları ele almayı ve sürdürülebilir ulaşım çözümlerine katkıda bulunmayı amaçlamaktadır.

2. LİTERATÜR ÖZETİ

Güney Koreli bilim insanları, hareket halindeyken kablosuz olarak şarj olabilen çevrimiçi elektrikli araçlar (OLEV) geliştirmiştir. Mevcut faturalama şemaları, OLEV sahiplerinin gizliliğini koruyan bir faturalama sağlamayı önermekte ve serbest sürücülerin potansiyelini dikkate almamaktadır. Bu sorunu çözmek için (Zhao *et al.* 2017), kablosuz şarj özellikli bir yolda sürmeden önce her aracı doğrulamak için tazminat tokenleri sağlayan bir faturalama şeması önermektedir. Bu şema, her bir aracın konumlarını ve rotalarını açıklamadığı için gizliliği sağlamaktadır ve 5G ağı üzerinde ardışık veri teslimi hizmetleri için uygulanabilir. Verimli bir gizlilik korumalı faturalama sistemi için, tazminat ödemeli tokenlerin kullanılması ve batarya güç seviyelerinin periyodik olarak tespit edilmesi önerilmektedir. OLEV içinde batarya güç seviyesini dürüstçe raporlamak için kurcalamaya dayanıklı bir cihazın zorluklarını ele almak üzere daha fazla araştırma yapılması gerekmektedir.

Trung and Diep (2021), Elektrikli araçlar için dinamik kablosuz şarj sistemlerinin transfer verimliliğini artırmak amacıyla bir kontrol yöntemi önermiştir. Sistemin alıcı tarafındaki eşdeğer empedans, bataryanın şarj durumuna göre değişmekte olup, transfer verimliliğini azaltmaktadır. Bu durumu engellemek için, alıcı tarafında, bağlaşım katsayısına bağlı olarak optimum empedansı izlemek üzere bir empedans kontrol devresi oluşturmuşlardır. Önerilen kontrol yöntemi, %30 hizalama hatası durumunda transfer verimliliğini %6 artırarak %91 transfer verimliliği sağlamaktadır. Yazarlar, Elektrikli araçlar için güvenli ve verimli bir şarj deneyimi sağlamak açısından önemli olan sabit akım şarjı ve sabit voltaj şarjı gibi şarj süreçlerini ele almamaktadır. Bu, dinamik kablosuz şarj sistemleri için kapsamlı bir çözüm sağlamak üzere daha fazla araştırılması gereken önemli bir alandır.

Du *et al.* (2022), Elektrikli araçlar için Dinamik Kablosuz Şarj Sistemi (Dynamic wireless charging system - DWCS) konseptini önererek, DWC şeritlerinin sayısını, konumlarını ve uzunluklarını belirlemek için bir yaklaşım geliştirmiştir. Ayrıca karma tamsayı modeli ve doğrusal olmayan kısıtlama ile optimal DWCS tasarımı için iki aşamalı bir yaklaşım önermişlerdir. Yazarlar, önerilen modelin etkinliğini göstermek için Guangdong

otoyolundan bir sayısal örnek sunmakta ve elektrikli araçların dinamik ve stokastik talepleriyle entegre modeller, daha karmaşık çoklu şarj stratejileri ve kombinasyonları, kullanıcı dengesini dikkate alan daha fazla şarj ücreti ve teşvik kombinasyonları gibi gelecekteki araştırma yönlerini önermektedir. Yazarlar, önerdikleri modellerde mikro şebeke istasyonlarının entegrasyonunu araştırmamaktadır; ancak bu konunun gelecekteki araştırmalar için ilginç bir alan olabileceğini belirtmektedirler.

Detka and Górecki (2022), kablosuz güç transfer teknolojisinin mevcut durumunu ve çeşitli uygulamalarını tartışmıştır. Gerekli cihazların blok diyagramlarını, kısa ve uzun mesafeli güç transferi için kullanılan çeşitli teknolojileri tanımlamıştır. En popüler teknoloji olan elektromanyetik indüksiyon teknolojisi üzerinde detaylı bir şekilde durmakta ve bağlaşım faktörü, bobin şekli, ferromanyetik malzeme ve iletim ve alım bobinlerinin karşılıklı konumunun sistem performansı üzerindeki etkisini analiz etmişlerdir. Ayrıca kullanılan teknolojilerin avantajlarını ve dezavantajlarını tartışmış, elektrikli araçların bataryalarını şarj etmek için kablosuz güç transfer sistemi sunmuş, kablosuz güç transferi standartlarını tanımlamış ve gelişim trendlerini özetlemiştir. Bu çalışmada yazarlar, mikro şebeke istasyonlarında kablosuz güç transferi teknolojisinin uygulanmasını tartışmamıştır. Mikro şebeke istasyonları, verimli ve güvenilir güç iletimi sağlamak için giderek daha fazla kablosuz güç transferi teknolojisine dayanmaktadır. Bu nedenle bu makale, mikro şebeke istasyonlarındaki kablosuz güç transferinin potansiyel faydalarını ve uygulanmasıyla ilgili zorlukları tartışmaktadır.

Kashani *et al.* (2023), güneş enerjisiyle Elektrikli araçların kablosuz şarj edilmesi için mevcut teknolojilerin bir özetini sunmuştur. Elektrikli araçların şarj modlarını ve güneş enerjisinden elektrik üretme yöntemlerini keşfetmiştir. Ayrıca çeşitli depolama teknolojilerini, güç iletim elemanlarını ve WPT sistemleri için AI modellerini değerlendirmiştir. Bu makale, dinamik kablosuz şarj cihazlarının bir dağıtım ve iletişim hattı olarak potansiyelini tartışmakta ve kablosuz şarj cihazlarının etkinliğini değerlendirirken ekolojik, finansal ve performans faktörlerini dikkate almanın önemini vurgulamaktadır. Mikro şebeke istasyonları, Elektrikli araçlar için daha verimli ve güvenilir enerji çözümleri sunabilmekte, ayrıca enerji depolama kapasitesinin artırılması, güç kalitesinin iyileştirilmesi, akıllı şebeke entegrasyonu ve enerji güvenliğinin

artırılması gibi ek faydalar sağlayabilmektedir. Yazarlar, şarj sürecinde WPT sistemlerinin verimliliğini optimize etmek için mikro şebeke istasyonlarının potansiyelini tartışmamıştır. Mikro şebekelerle Elektrikli araçların kablosuz şarj edilmesi için mikro şebeke istasyonlarının tam potansiyelini anlamak için daha fazla araştırma yapılması gerekmektedir.

Vishnuram *et al.* (2023), elektrikli araçlar uygulamaları için WPT teknolojisinin bir genel görünümünü sunmuştur. Bu makale, sistem performansını iyileştirmek için telafi topolojileri, güç elektroniği dönüştürücüler ve kontrol tekniklerindeki en son gelişmeleri ve uygulamaları özetlemektedir. Ayrıca WPT teknolojisinin enerji, çevresel ve ekonomik faktörlerini, politika yönlendiricilerini ve sağlık ve güvenlik konularını incelemektedir. Son olarak, WPT Elektrikli araçların potansiyelini tam olarak kullanabilmek için doldurulması gereken araştırma boşluklarını vurgulamaktadır. Bu makalede belirlenen araştırma boşlukları arasında enerji şebekesinin yönetimi, büyük ölçekli şarj istasyonlarının optimizasyonu ve WPT teknolojisindeki ilerlemeleri diğer elektrikli araçlar teknolojilerindeki ilerlemelerle entegre eden politikalar yer almaktadır.

Dimitriadou *et al.* (2023), bir elektrikli araçlar bataryasının hem iletken hem de temassız (kablosuz) şarjının gerçekleştirilmesi için kullanılan mevcut altyapının durumunu özetlemiş, elektrikli araçlar entegrasyonunun geleneksel dağıtım ağlarında ve gelecekteki güç sistemi mimarilerinde karşılaştığı sorunları tartışmıştır. Makale, iletken ve kablosuz şarjın gerçekleştirilmesi için kullanılan çeşitli bileşenleri ve güç dönüştürme birimlerini ve ilgili şarj standartlarını gözden geçirmektedir. Son olarak, günümüz şebekesinden merkezi olmayan bir yapıya ve gelişmiş bir iletişim ağına geçişin Elektrikli araçların penetrasyonunu kolaylaştıracağını ve gelecekte değerli bir varlık oluşturacağını vurgulamaktadır.

Palani *et al.* (2023), elektrikli araçlar şarjı için kablosuz güç iletim sistemlerinin teorik çerçevesini incelemiş, yazılım-çevrim-analizi yapmakta ve manyetik rezonansa dayalı bir elektrikli araçlar şarj sisteminin performans analizini gerçekleştirmiştir. Yazarlar ayrıca güç ped tasarımlarını kapsamakta ve güç ped konumlandırma ve güç verimliliği sorunlarını ele almak için çözümler, ek olarak kablosuz şarj sistemlerinin güvenli çalışma

sağlamak için güvenlik özelliklerini analiz etmekte ve güvenliği sağlamak için çözümler önermektedir.

Kunjuramakurup *et al.* (2023), güneş fotovoltaik kaynaklardan biri olan iki girişli ve tek çıkışlı bir DC-DC dönüştürücü önermiştir. Bu sistem, önerilen kontrol stratejisi ile iyi performans göstermektedir. Ayrıca daha yüksek güç seviyelerinde daha iyi verimlilik ve daha az çıkış voltajı değişimi sağlamaktadır. Bu sonuçlar, elektrikli araç şarj uygulamaları için TISO dönüştürücü ile güneş PV modülünün entegrasyonunun fizibilitesini göstermektedir.

Wang *et al.* (2023), denge devresinde MOSFET görev döngüsünü kontrol etmek için iyileştirilmiş bir denge topolojisi ve model tahmin kontrolü tasarlamıştır. Bu, dengeleme süresinin 207 saniye azaltılmasına ve bataryanın kullanılabilir kapasitesinin 122.72 mAh artırılmasına neden olmaktadır. Ayrıca, yazarlar ortam sıcaklığı ve nem gibi dış faktörlerin denge bataryasının verimliliğini etkileyebileceğini, ancak batarya paketlerinin farklı çalışma koşullarında optimize edilmesi için daha fazla çalışma gerektiğini not etmektedir.

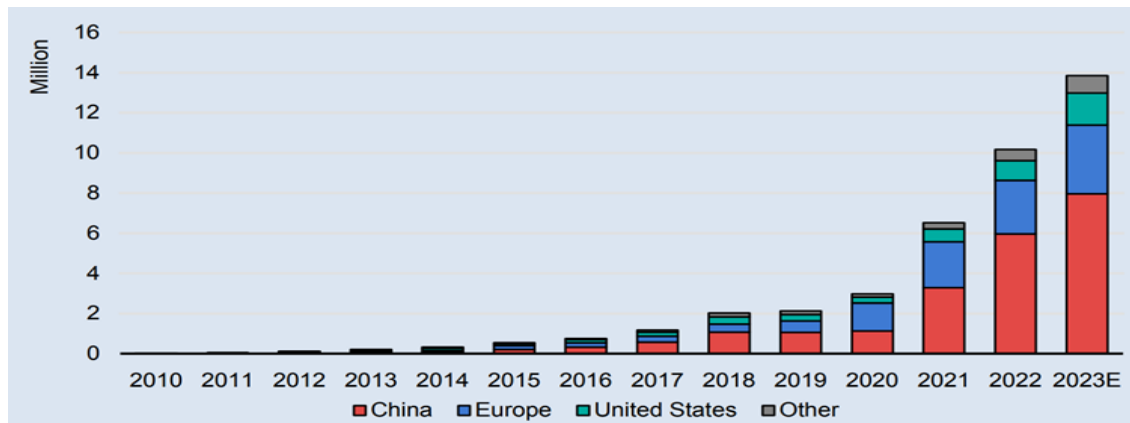
Wu *et al.* (2023), XFC şarj güç talebinin tahmini, yenilenebilir enerji kaynaklarına sahip çoklu XFC istasyonlarının tasarımı ve enerji depolama sisteminin (ESS) enerji kapasitesinin, ESS nominal gücünün ve fotovoltaik (PV) panellerin boyutunun optimizasyonu için kapsamlı bir yaklaşım sunmuştur. Önerilen Monte Carlo (MC) simülasyon aracı, XFC istasyonlarının şarj güç talebini doğru bir şekilde tahmin etmek için elektrikli araçlar varış zamanı ve şarj durumu (State of charge - SOC) dağılımlarını kullanmaktadır. ESS ve PV birimlerinin optimizasyonu, XFC, ESS, PV panelleri ve dağıtım ağı ile ilgili operasyonel kısıtlamaları karşılayan optimal çözümleri belirlemek için kullanılan optimal güç akışı tekniğine dayanmaktadır. Kullanım örneğinin sonuçları, önerilen MC simülasyonunun XFC şarj talebini doğru bir şekilde tahmin edebileceğini ve optimize edilmiş ESS ve PV birimlerinin toplam XFC istasyon maliyetini azaltabileceğini ve dağıtım ağının performansını artırabileceğini göstermektedir.

Filho *et al.* (2023), Elektrikli araçların şarj edilmesi için güvenilir enerji kaynaklarına duyulan ihtiyacı ele almıştır. Fotovoltaik sistemler ve batarya depolama kombinasyonunu kullanarak, bu çalışmada önerilen şarj çözümü, Elektrikli araçların şarj edilmesi için güvenilir, maliyeti etkin ve çevre dostu bir yöntem sağlayabilmiştir. Bu, ulaşım sektörüne bağlı emisyonları azaltmaya ve sistemin enerji verimliliğini artırmaya yardımcı olabilmektedir. Ancak bu şarj çözümünün güvenilir, maliyet etkin ve çevre dostu olduğundan emin olmak için daha fazla geliştirilmesi gerekmektedir. Belirli bir yer için en iyi fotovoltaik sistemleri ve batarya depolama çözümlerini keşfetmek ve enerji akışını en verimli şekilde yönetmek için araştırma yapılması, sistemin güvenilir ve maliyet etkin olduğundan emin olmak için test edilmesi ve değerlendirilmesi gerekmektedir.

Yenilenebilir enerji penetrasyonu Akıllı Şebeke (Smart grid - SG) kararsızlığını artırmakta olduğundan, talep tarafı yönetimi (Demand side management - DSM) stratejileriyle elektrikli araçların Bataryaları gibi depolama cihazlarını yönetmek için akıllı ve optimize teknolojiler kullanılabilmektedir. Jasim *et al.* (2023), adada SG bağlantılı elektrikli araçların Bataryaların performansını en üst düzeye çıkarmak için Yapay Sinir Ağları'na (YSA'ler) dayalı yeni bir enerji yönetim sistemi önermiştir. Önerilen YAS kontrolörü, talep eğrisi ve EVB şarj seviyesine göre belirli dönemlerde çalışabilmekte ve tepe yük azaltma (PLS) DSM stratejisini uygulamaktadır. Bu tepe talep azalması, yük faktörünü iyileştirmekte ve hem SG yatırımcılarına hem de son kullanıcılara fayda sağlamaktadır. Bu çalışma, güç paylaşımında eşitliği sağlamak için sanal empedansa dayalı uyarlanabilir bir birincil kontrol seviyesi kullanarak güç akışını dinamik olarak değiştirmektedir. Önerilen sistemin etkinliği MATLAB/Simulink® ve ThingSpeak platformundaki gerçek zamanlı veri analiziyle kanıtlanmaktadır.

Elektrikli araç satışları her yıl önemli bir artış göstermektedir. Çevresel endişelerin artması, daha sıkı emisyon düzenlemeleri, batarya maliyetlerinin azalması ve şarj altyapısındaki iyileştirmeler gibi çeşitli faktörler nedeniyle Elektrikli araçlar talebi hızla yükselmektedir (Ko and Shin 2023). Ayrıca çeşitli ülkeler ve şehirler, iklim değişikliğiyle mücadele etmek amacıyla Elektrikli araçları benimsemesi için iddialı hedefler belirlemektedir. 2021 yılı itibarıyla, Çin ve Norveç gibi ülkeler elektrikli araçları benimsemeye öncü konumdadır. Çin hükümetinin elektrikli araçlar için sağladığı

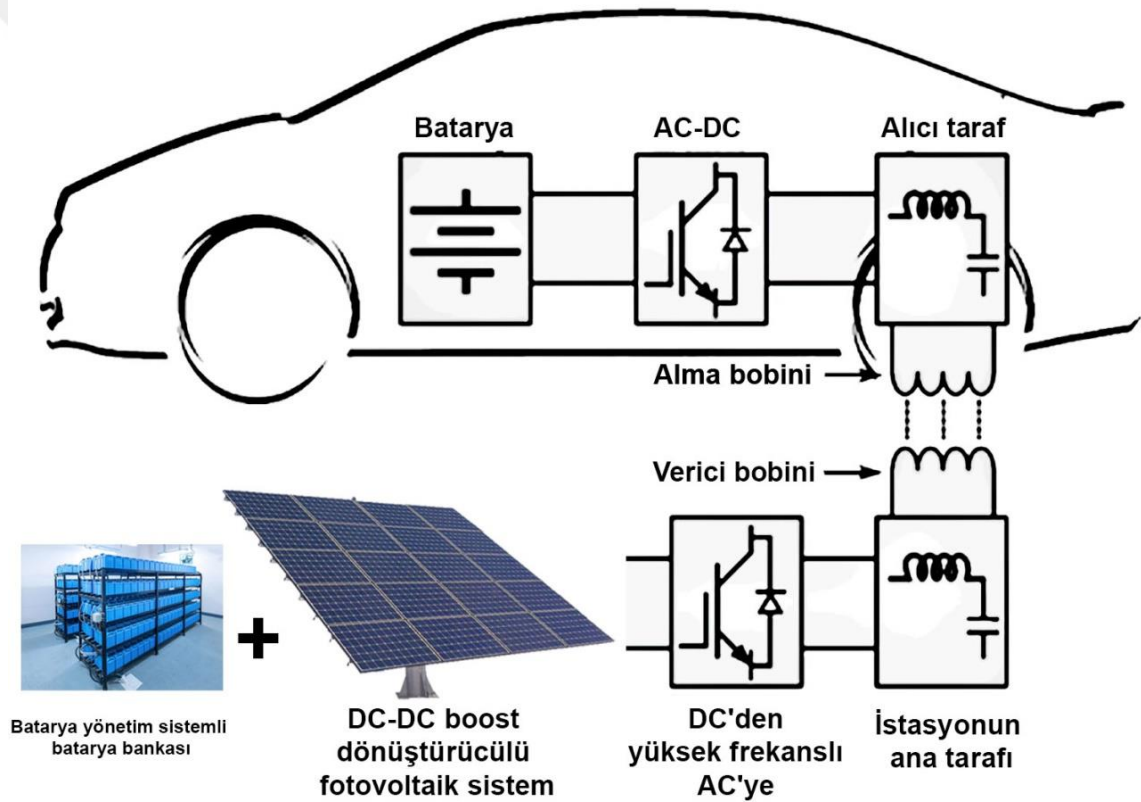
teşvikler, yerli ve uluslararası otomobil üreticilerinin bu pazar üzerinde büyük yatırımlar yapmasına neden olmaktadır. (Shi *et al.* 2023). Norveç, cömert hükümet teşvikleri ve gelişmiş şarj altyapısı sayesinde etkileyici bir oranda elektrikli araçlar benimsemektedir (Yang *et al.* 2023). Amerika Birleşik Devletleri, Almanya ve Hollanda gibi diğer ülkeler de elektrikli araçların benimsenmesinde önemli ilerlemeler kaydetmektedir. 2021 yılında Tesla, BYD ve BAIC gibi çeşitli otomotiv üreticileri dünyanın önde gelen elektrikli araç üreticileri arasında yer almaktadır (Mpoi *et al.* 2023). Ayrıca, General Motors, Ford, BMW ve Volkswagen gibi diğer geleneksel otomobil üreticileri de elektrikli araçlar konusunda önemli yatırımlar yapacaklarını duyurmuştur ve önümüzdeki yıllarda birçok yeni model piyasaya sürmeyi planlamaktadır. (IEA 2023)'e göre, 2023'ün ilk çeyreğindeki satış verilerinden elde edilen ön değerlendirmeler, maliyetlerdeki düşüşler ve Amerika Birleşik Devletleri gibi önde gelen bölgelerdeki güçlendirilmiş politika desteğiyle pazarda olumlu bir eğilim olduğunu önermektedir. Küresel olarak mevcut tahminimiz neredeyse 2023 yılında, 14 milyon elektrikli araçların satılacağı ve bu yılın ilk çeyreğinde yalnızca 2.3 milyon birim satışın gerçekleştirilmiş olması, mevcut satış sayısını daha da artıracığı yönündedir. Bu, 2022 yılına kıyasla 2023 yılında elektrikli araçlar satışlarında %35'lik bir artışa işaret etmektedir. Sonuç olarak, elektrikli araçlar satışlarının dünya genelindeki pazar payı, 2022 yılındaki %14'lük orandan yaklaşık %18'e yükselmiştir (Şekil 2.1).



Şekil 2.1 2010'dan 2023'e kadar çeşitli bölgelerdeki küresel elektrikli araç stokunun analizini göstermekte olup, Elektrikli araçların yaygınlaşması hakkında önemli içgörüler sunmaktadır (EIA 2023)

3. MATERYAL VE METOT

Bu çalışmanın araştırma uygulaması, kablosuz şarj istasyonu sistemlerinin tasarımı ve performans değerlendirmesini içerecektir. Deneysel yaklaşım, elektrikli araçların kablosuz şarjı için MATLAB/Simulink® kullanılarak bir mikro şebeke istasyonu prototipinin tasarlanmasını kapsayacaktır. Bu, PV paneller ve invertörler gibi istasyon için uygun bileşenlerin seçimini gerektirecektir. Ayrıca istasyon çeşitli çalışma koşulları altında test edilecek ve performansı değerlendirilecektir. Şekil 3.1, önerilen çalışmanın şemasını göstermektedir.



Şekil 3.1 Önerilen ve modellenmiş diyagram

3.1 Fotovoltaik

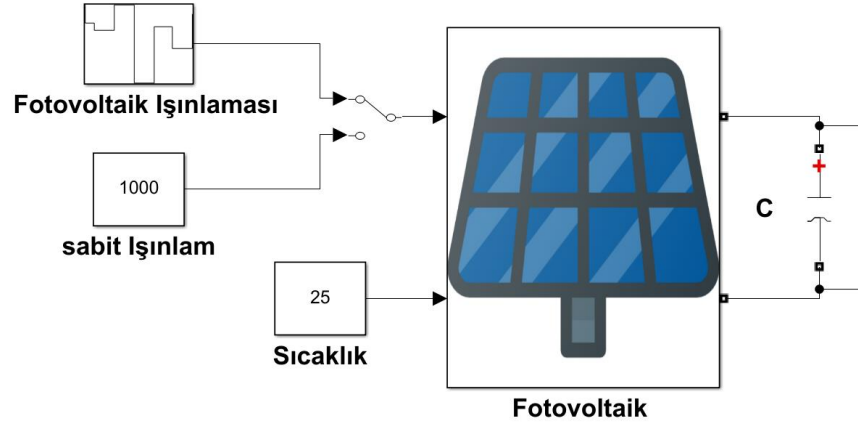
PV panelleri, güneş ışığını elektriğe dönüştüren cihazlardır. Güneş ışığını emen ve bunu DC elektriğe dönüştüren PV hücrelerinden oluşmaktadır. Bu çalışmada kullanılan A10J-M60-230 tipi PV paneli, A10Green Technology tarafından geliştirilen monokristalin bir

fotovoltaik modüldür. Bu modül, geniş bir çevresel yelpazede üstün performans ve güvenilirlik sunacak şekilde tasarlanmıştır ve maksimum 230W güç çıkışına sahiptir. Yüksek verimli monokristalin silikon hücrelerden yapılmış olan bu modül, çeşitli güneş kontrol sistemleriyle uyumludur. Ayrıca, anodize alüminyum çerçeve, modülün gücünü ve dayanıklılığını artırmaktadır.

A10J-M60-230, hem konut hem ticari hem de endüstriyel amaçlar için solar enerji sistemleri için mükemmel bir seçenektir ve parametreleri Çizelge 3.1'de gösterilmektedir. A10J-M60-230, konut, ticari ve endüstriyel uygulamalar için kullanılabilecek çok yönlü bir güneş paneli modülüdür. Yüksek verimlilik, dayanıklılık ve yüksek sıcaklık katsayısı sunar ve konut kullanımı, işletmeler ve endüstriyel uygulamalar için idealdir. Modül, zorlu hava koşullarına dayanacak şekilde üretilmiş olup, uzun vadeli performans ve güvenilirlik sağlamaktadır. Yüksek sıcaklıklarda verimliliğini ve çıkışını koruyarak iyi performans göstermektedir. Kalite güvencesi genellikle sertifikalar ve garantiler yoluyla sağlanmaktadır. Bu özellikleri, yüksek verimliliği, dayanıklılığı ve çok yönlülüğü sayesinde çeşitli güneş enerjisi ihtiyaçları için mükemmel bir seçim yapmasını sağlamaktadır (Solarhub 2024). Şekil 3.2'de fotovoltaik dizinin basit tasarımı gösterilmektedir.

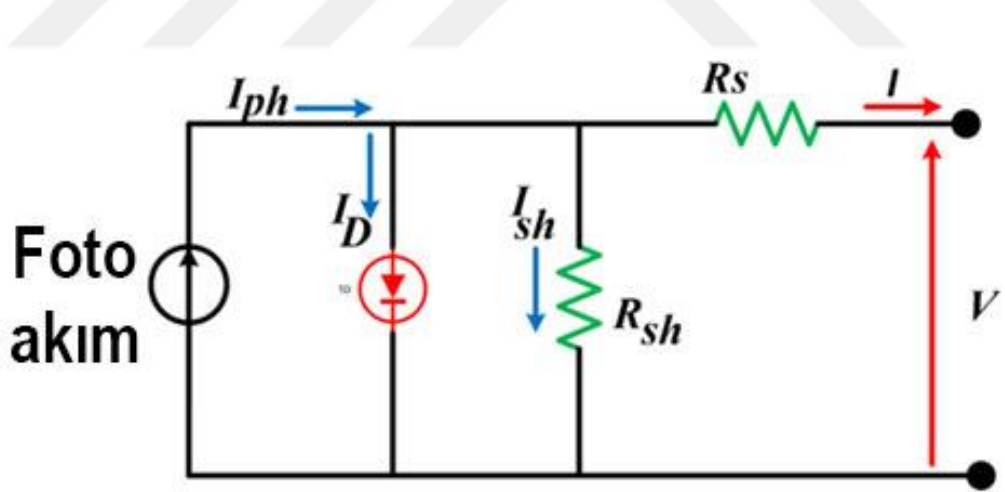
Çizelge 3.1 A10J-M60-230 güneş paneli parametreleri

Maksimum güç	230W
Modül başına hücre	60
Açık devre voltajı	36.5V
Kısa devre akımı	8.3 A
Maksimum güç noktasındaki voltaj	29.4V
Maksimum güç noktasında akım	7.82 A



Şekil 3.2 Fotovoltaik dizinin modellenmesi

Güneş panelinin modellenmesi, güneş hücrelerinin çeşitli çevresel ve fiziksel faktörlere nasıl tepki verdiğini anlamayı gerektirir. Bu süreç, performans tahminleri yapmayı, enerji yakalamayı optimize etmeyi ve verimli güneş sistemleri tasarlamayı mümkün kılar. PV hücresinin davranışını farklı koşullar altında anlamak ve tahmin etmek için matematiksel bir temsil kullanmak son derece önemlidir. Tek diyot modeli, hücreyi temsil etmek için en yaygın yöntemlerden biridir.



Şekil 3.3 PV'nin eşdeğer devresi

Tek diyot modelinin eşdeğer devresi, bir akım kaynağı I_{ph} (fotoğrafta üretilen akım gösterilmiştir), bir diyot, bir seri direnç R_s ve bir paralel direnç R_{sh} 'den oluşmaktadır. I-V (akım-gerilim) karakteristiği, tek diyot modeli için Denklem (3.1) ile ifade edilir.

$$I = I_{ph} - I_0 \left[\exp \left(\frac{q(V + IR_s)}{kT} \right) - 1 \right] - \frac{V + IR_s}{R_{sh}} \quad (3.1)$$

PV hücresinin matematiksel denkleminde, davranışını tanımlayan birkaç anahtar parametre bulunmaktadır. Hücreden çıkan net akım, I ile gösterilir. Güneş ışınlamı ile orantılı olan ve değeri hücrenin sıcaklığına bağlı olarak değişen fotoğraf tarafından üretilen akım, I_{ph} olarak simgelenmektedir. Bir diğer önemli faktör, diyotun ters doyma akımı olup I_0 ile ifade edilmesidir. Hücre üzerindeki voltaj V ile gösterilirken, R_s hücrenin seri direncini, R_{sh} ise şönt direncini ifade etmektedir. Atomik ölçekte, temel yük q ile tanımlanır ve yaklaşık olarak $1.602 \cdot 10^{-19}$ C değerindedir. Bir diğer sabit olan Boltzmann sabiti, k ile belirtilir ve yaklaşık olarak $1.38 \cdot 10^{-23}$ J/K değerine sahiptir. Son olarak, T hücre sıcaklığını ifade eder ve Kelvin cinsinden ölçülür.

Fotoakım I_{ph} , Denklem (3.2) ile ifade edilmektedir.

$$I_{ph} = \left(I_{sc,ref} + \alpha(T - T_{ref}) \right) \times \frac{G}{G_{ref}} \quad (3.2)$$

Kısa devre akımı, $I_{sc,ref}$ olarak belirtilip genellikle 25°C sıcaklık ve 1000 W/m^2 ışınlam altında referans koşulları altında ölçülmektedir. α değişkeni, bu akımın sıcaklık katsayısını $\text{A}/^\circ\text{C}$ cinsinden ifade etmektedir. Gerçek hücre sıcaklığı T , referans sıcaklık ise genellikle 25°C olarak ayarlanmış T_{ref} ile ifade edilir. Güneş ışınlamı açısından, G gerçek ışınlamı W/m^2 cinsinden ifade ederken, G_{ref} genellikle 1000 W/m^2 olarak alınan referans ışınlamı gösterir.

Sıcaklık kübik bir fonksiyon olarak temsil edildiğinde, ters doyma akımı Denklem (3.3) ile değişmektedir.

$$I_0 = I_{0_STC} \left(\frac{T_{STC}}{T} \right)^3 \exp \left[\frac{qE_g}{aK} \left(\frac{1}{T_{STC}} - \frac{1}{T} \right) \right] \quad (3.3)$$

I_{0_STC} , nominal doyma akımını, E_g yarı iletkenin bant aralığı enerjisini, T_{STC} , standart test koşulu sıcaklığını temsil ederken, q elektron yükünü ifade etmektedir.

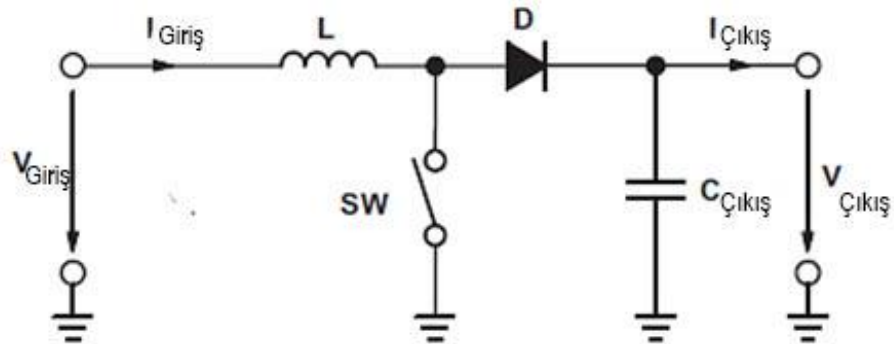
Denklemden (3.4) ters doyma akımının sıcaklıkla daha da artabileceği gösterilmektedir.

$$I_O = \frac{(I_{SC_STC} + K_I \Delta T)}{\exp \left[\frac{(V_{OC_STC} + K_V \Delta T)}{a V_T} \right] - 1} \quad (3.4)$$

K_V , standart test koşulları altında açık devre voltajı için sıcaklık katsayısını ifade etmektedir. I_{SC_STC} , bu koşullar altındaki kısa devre akımını, V_{OC_STC} ise bu koşullar altındaki açık devre voltajını ifade eder.

3.2 DC-DC Güçlendirme Dönüştürücünün Tasarımı

DC-DC yükseltici dönüştürücü, bir PV dizisi ile birlikte kullanılmakta ve standart test koşulları (STC) altında çalışmaktadır. Bu konfigürasyonda, yenilenebilir enerji kaynaklarından ve bataryadan elde edilen maksimum voltaj yaklaşık olarak 250 volt iken, elde edilebilecek en yüksek çıkış voltajı yaklaşık olarak 650 voltur. DC-DC yükseltici dönüştürücünün temel bileşenleri arasında bir anahtarlama cihazı, diyot, indüktör ve kapasitör bulunur. Simülasyon için, standart bir güç diyotu ve bir Power MOSFET anahtarlama cihazı gibi yaygın bileşenler seçilmiştir, çünkü bunlar nispeten düşük ila orta güç gereksinimlerine sahip uygulamalarda sıkça kullanılır (Hauke 2015).



Şekil 3.4 DC-DC yükseltici dönüştürücü diyagramı

Aşağıdaki Denklem (3.5), bir anahtarlama dönüştürücü için görev döngüsünü (D) hesaplar. Görev döngüsü, anahtarın açık olduğu zamanın oranını temsil eder ve şu şekilde tanımlanır:

$$D = 1 - \frac{V_{Giriş(min)} \times \eta}{V_{Çıkış}} \quad (3.5)$$

$V_{IN(min)}$, dönüştürücünün minimum giriş voltajını, $V_{Çıkış}$ ise çıkış voltajını ve η dönüştürücünün verimliliğini ifade etmektedir.

Aşağıdaki Denklem (3.6), bir anahtarlama dönüştürücüsünde indüktör akım dalgalanmasını (ΔI_L) hesaplar.

$$\Delta I_L = \frac{V_{Giriş(min)} \times D}{f_s \times L} \quad (3.6)$$

$V_{IN(min)}$, dönüştürücünün minimum giriş voltajını, D Denklem (3.5)'te hesaplanan görev döngüsünü, f_s dönüştürücünün anahtarlama frekansını ve L dönüştürücüde kullanılan indüktörün endüktans değerini ifade eder.

Denklem (3.7), maksimum çıkış akımını $I_{Çıkış mak}$ belirler. Bu, minimum akım sınır değeri $I_{LIM(min)}$ üzerinden türetilir ve dalgalanma akımı ΔI_L ve görev döngüsü (D) ile ayarlanır.

$$I_{Çıkış mak} = \left(I_{LIM(min)} - \frac{\Delta I_L}{2} \right) \times (1 - D) \quad (3.7)$$

$I_{LIM(min)}$, anahtarlama dönüştürücüsünün minimum akım sınırını ifade etmektedir.

Denklem (3.8), maksimum anahtar akımını $I_{SW(mak)}$ hesaplar. Bu denklem, indüktör akım dalgalanmasını ΔI_L , maksimum çıkış akımını $I_{Çıkış(mak)}$, ve görev döngüsünü (D) göz önünde bulundurur:

$$I_{SW(mak)} = \frac{\Delta I_L}{2} + \frac{I_{Çıkış(mak)}}{1-D} \quad (3.8)$$

$I_{OUT(mak)}$, maksimum çıkış akımını ifade etmektedir.

Denklem (3.9), gerekli anahtarlama dönüştürücü endüktansı L hesaplar. Bu hesaplama, anahtarlama frekansı f_s , giriş voltajı $V_{Giriş}$, çıkış voltajı $V_{Çıkış}$ ve dalgalanma akımı ΔI_L değerlerini dikkate alır.

$$L = \frac{V_{Giriş} \times (V_{Çıkış} - V_{Giriş})}{\Delta I_L \times f_s \times V_{Çıkış}} \quad (3.9)$$

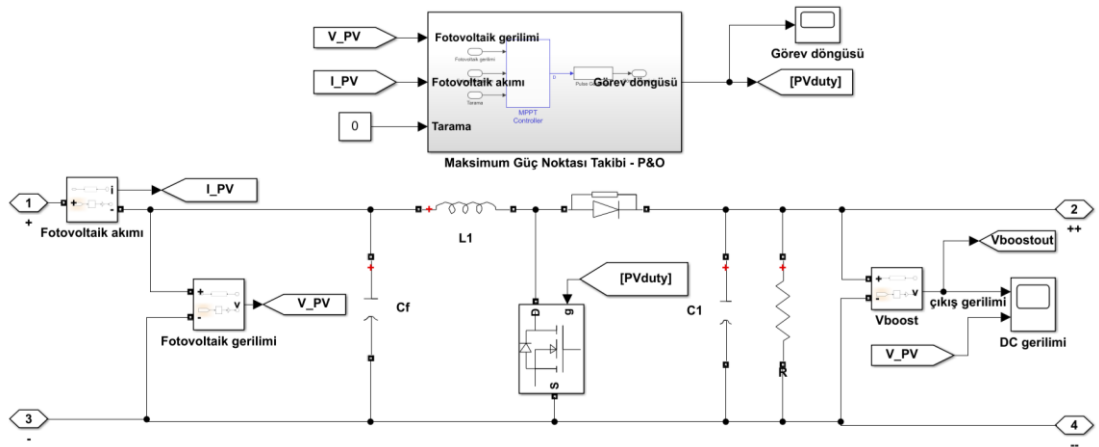
Denklem (3.10), indüktör akım dalgalanması ΔI_L için pratik bir aralık sunar ve bu aralık maksimum çıkış akımının $I_{Çıkış(max)}$ bir kesiri olarak ifade edilir.

$$\Delta I_L = (0.2 \text{ to } 0.4) \times I_{Çıkış(max)} \times \frac{V_{Çıkış}}{V_{Giriş}} \quad (3.10)$$

Denklem (3.11), istenen çıkış voltajı dalgalanmasını $C_{Çıkış(min)}$ korumak için gereken minimum çıkış kapasitansını $\Delta V_{Çıkış}$ hesaplar.

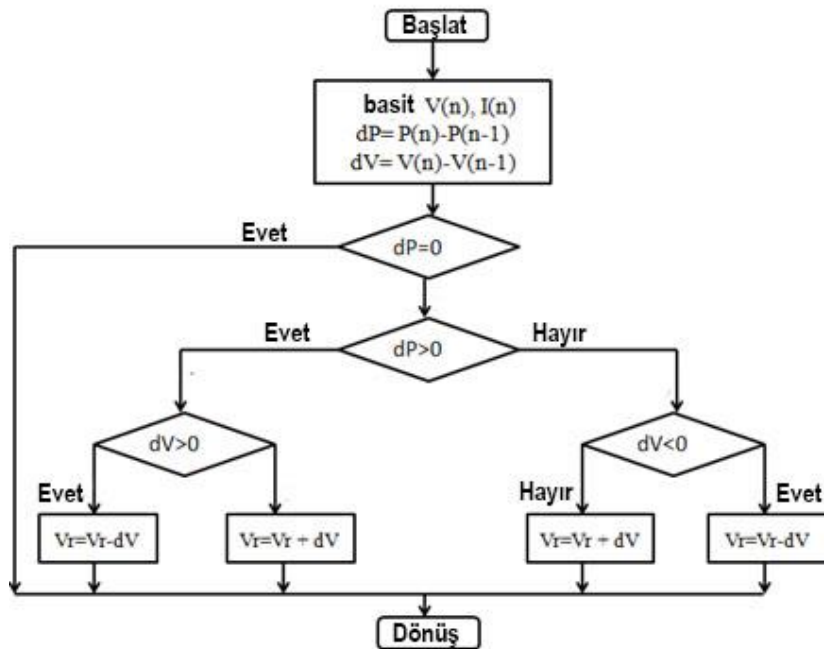
$$C_{Çıkış(min)} = \frac{I_{Çıkış(max)} \times D}{f_s \times \Delta V_{Çıkış}} \quad (3.11)$$

Boost dönüştürücü için indüktans ve kapasitans değerleri, istenen dalgalanma azaltımı, enerji depolama ve yanıt süresine göre seçilir. Bu parametreler, MPPT P&O DC-DC boost dönüştürücünün verimli ve kararlı çalışmasını sağlar. Bu nedenle, boost dönüştürücü için seçilen spesifik parametreler arasında 0.005 milihenri indüktans (L) ve 0.045 milifarad kapasitans (C) bulunmaktadır. Şekil 3.5, MATLAB/Simulink®'te MPPT P&O DC-DC boost dönüştürücünün tasarımının görsel bir tasvirini sunmaktadır.



Şekil 3.5 Boost dönüştürücü blok diyagramı

Boost dönüştürücünün kontrolü, MPPT P&O yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Şekil 3.6'da gösterildiği gibi, PV sisteminin güç çıkışını optimize etmek için P&O yöntemi kullanılarak MPPT uygulanmaktadır. Bu yöntem, güç (dP) ve voltajdaki (dV) değişikliklere dayanarak referans voltajının iteratif ayarlamalarını içerir. Süreç, başlat düğümü ile başlamakta olup, mevcut örnekleme aralığında n 'de $V(n)$ ve $I(n)$ 'in örneklenmesini içermektedir. Daha sonra, güç değişimi (dP) ve voltaj değişimi (dV) hesaplanmaktadır.

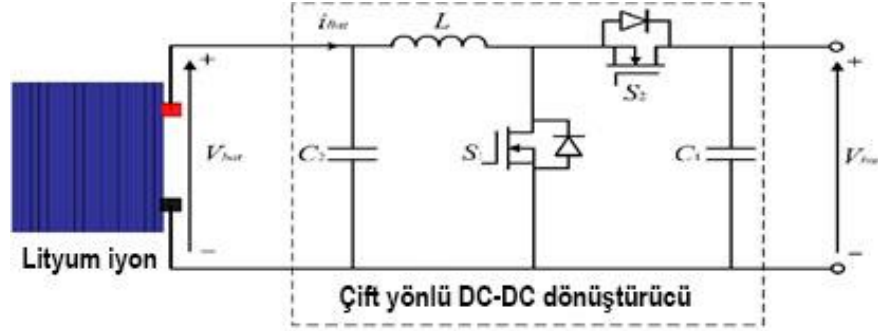


Şekil 3.6 PO akış şeması (Reddy et al. 2018)

Süreç, $dP = 0$ olduğunu kontrol eder; bu durumda güçte değişiklik olmadığını belirtir ve başa döner. $dP > 0$ ise, süreç gücün artıp artmadığını kontrol eder. $dV > 0$ ise, süreç voltajın artıp artmadığını kontrol eder. $dV > 0$ ise, süreç gücün azalıp azalmadığını veya değişip değişmediğini kontrol eder. $dV < 0$ ise, süreç gücün azalıp azalmadığını kontrol eder. $dV < 0$ ise, süreç voltajın artıp artmadığını ve ya değişip değişmediğini kontrol eder. Referans voltajı ayarlandıktan sonra süreç başa döner ve işlem tekrarlanır. P&O MPPT yöntemi, maksimum güç noktasının (MPP) elde edilmesini ve sürdürülmesini sağlamak için sürekli olarak voltajı ayarlamayı amaçlar. Bu yöntem, bir PV sisteminin güç çıkışını optimize etmek için faydalı olup, diğer PV sistemlerinde de uygulanabilir (Reddy *et al.* 2018).

3.3 Akü Depolama Sistemi

Bu çalışmada, batarya depolama sistemi iki yönlü bir dönüştürücüye bağlanmaktadır. İki yönlü dönüştürücü, elektrik enerjisinin iki yönde akmasına izin veren ve iki elektrik sistemi arasında güç transferini kolaylaştıran bir elektronik cihazdır. Genellikle geri dönüşümlü güç akışı gerektiren uygulamalarda, örneğin batarya yönetim sistemlerinde, yenilenebilir enerji sistemlerinde ve elektrikli araçlar şarj sistemlerinde kullanılmaktadır. Anahtar bileşenler arasında, güç akış yönünü kontrol eden anahtarlar ve voltaj ve akım dalgalanmalarını dengelemek için kullanılan indüktörler ve kapasitörler bulunmaktadır. Bir kontrol sistemi, verimli güç transferini sağlamak için voltajı, akımı ve güç akış yönünü izlemektedir. İki yönlü dönüştürücüler, DC-DC dönüştürücüler (örneğin, Buck-Boost, Cuk, Sepic) ve AC-DC dönüştürücüler olarak kategorize edilebilir. Bu dönüştürücüler, AC ve DC güç arasında dönüşüm yaparak güç akışını şebekeye geri besleyebilir (Şekil 3.7).

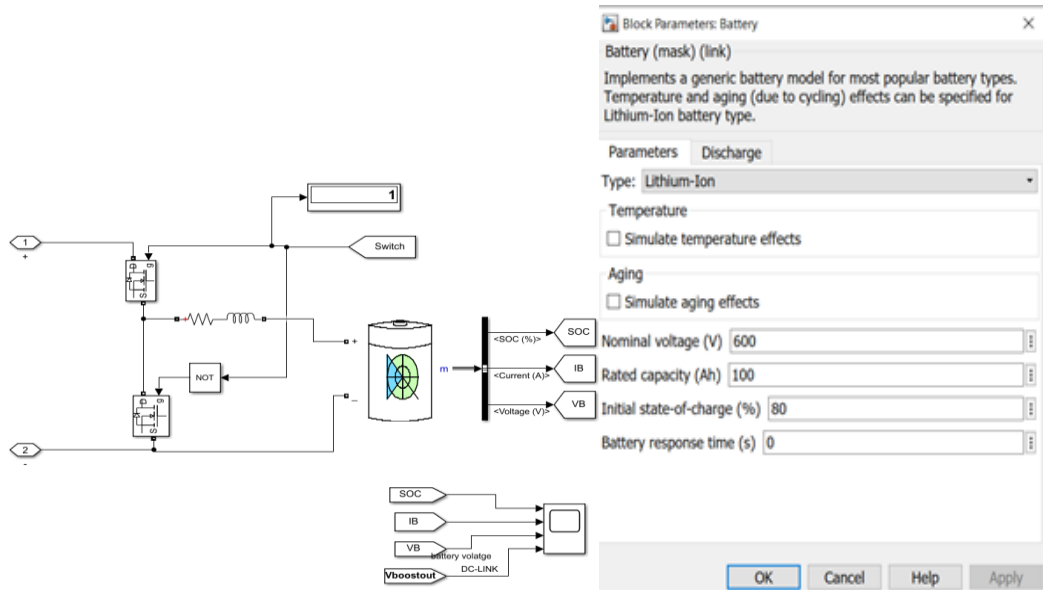


Şekil 3.7 İki yönlü dc-dc dönüştürücü ile lityum-iyon batarya diyagramı

Dikkate alınması gereken kritik faktörler arasında bataryanın çalışma süresi ile şarj ve deşarj yöntemleri bulunmaktadır. Bataryanın SOC (State of Charge) değeri 0 ile 1 arasında bir ölçeğe ölçülmektedir; bataryanın SOC değeri sıfıra ulaştığında batarya çalışmayı durdurur.

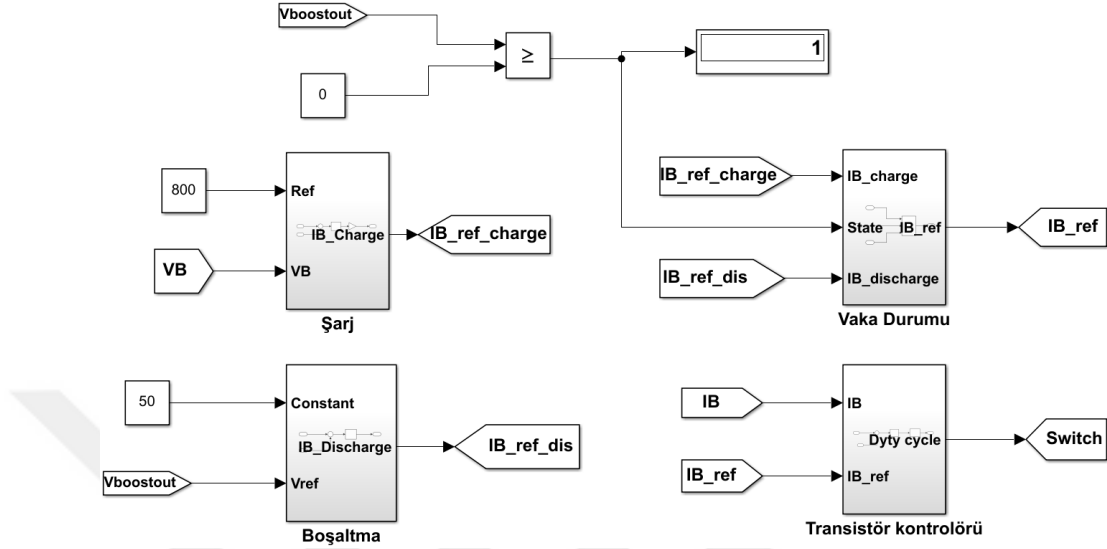
$$SOC = \frac{q}{q_{max}} \quad (3.12)$$

q , bataryanın mevcut şarj miktarını, q_{mak} ise bataryanın toplam kapasitesini ifade etmektedir. Şekil 3.8'de gösterildiği gibi, bu çalışmada kullanılan Lityum-iyon bataryanın voltajı 600V, kapasitesi 100Ah'dir ve başlangıç şarj durumu %80'dir.



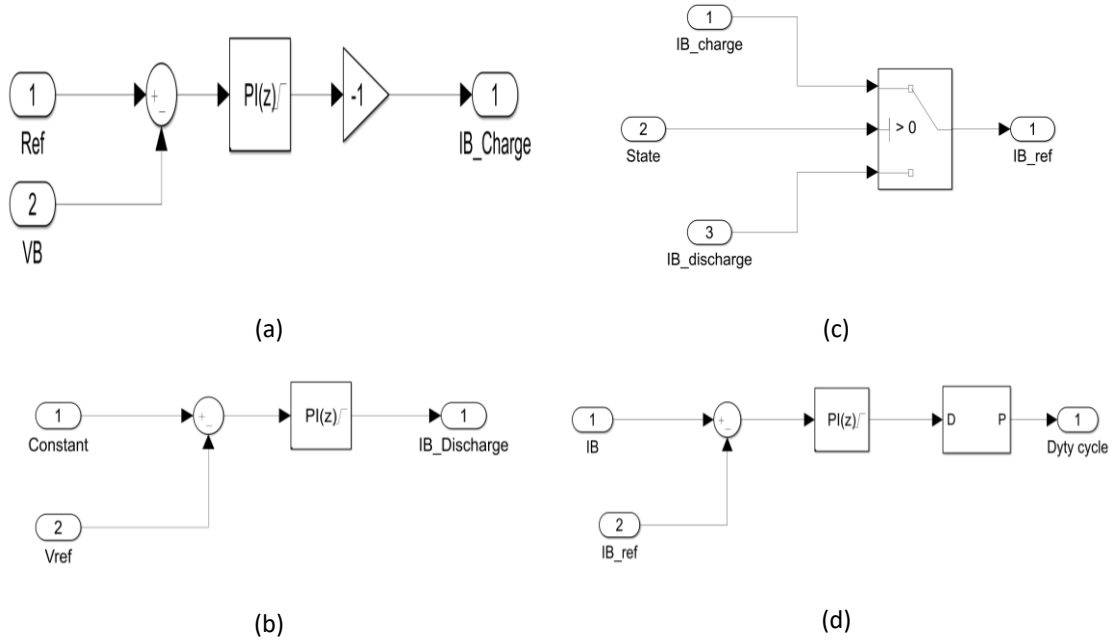
Şekil 3.8 Batarya devre diyagramı ve MATLAB/Simulink® parametreleri

Ayrıca bu batarya depolama sistemi, Şekil 3.9'da gösterildiği gibi batarya yönetim sistemi ile kontrol edilmektedir.



Şekil 3.9 Batarya yönetim sistemi blok diyagramı ile MATLAB/Simulink®

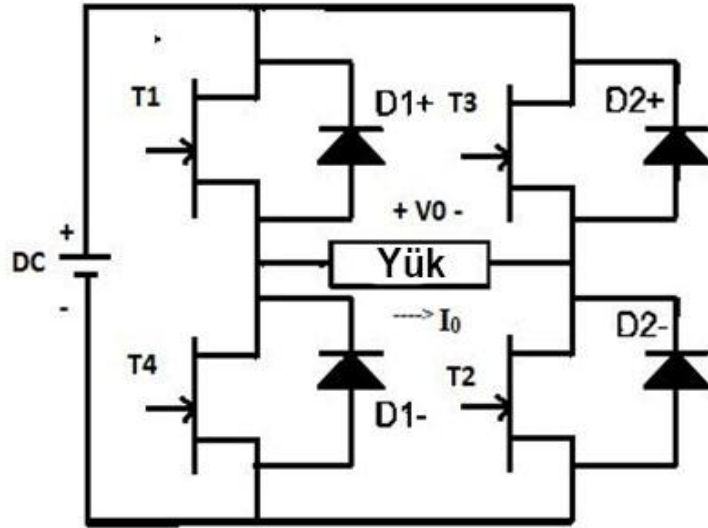
Şekil 3.10, batarya yönetim sistemi blok diyagramının detaylarını göstermektedir.



Şekil 3.10 Batarya yönetim sisteminin (BMS) alt blokları: a) şarj modu, b) deşarj modu, c) kasa durumu, d) görev döngüsü anahtarı

3.3.1 Tam köprü DC-AC

Kablosuz güç transfer sistemlerinde, DC'den AC'ye inverter, DC elektriğini bir voltajdan diğerine dönüştürmede hayati bir rol oynamaktadır. Bu dönüştürücüler, elektriği geniş mesafeler boyunca etkili bir şekilde iletmek ve AC gerektiren cihazlara güç sağlamak için önemlidir. Verici tarafından üretilen DC elektriği, alıcının ihtiyaç duyduğu AC formuna dönüştürülür. Bu dönüştürücüler, elektriğin voltajını ve akımını düzenlemenin yanı sıra, alıcının doğru miktarda güç almasını sağlar. Ayrıca elektriğin frekansını ayarlayabilirler, bu da daha fazla enerji taşıyan ve daha büyük mesafeler boyunca iletilebilen yüksek frekanslı sinyallerin transferini mümkün kılar (Elprocus 2020). Şekil 3.11, DC-AC tam köprü devresinin şemasını göstermektedir. Devre, anahtarlama kapasitör dönüştürücüsüne bağlı dört güç MOSFET anahtarına sahiptir. Bu cihazın birincil amacı, DC hat voltajını önceden belirlenmiş bir frekansta AC voltajına dönüştürmektir.



Şekil 3.11 Tam köprü evirici şeması (Elprocus 2020)

Tam köprü eviricisinin çıkış voltajını ($V_{\text{çıkış}}$) kontrol etmek için darbe genişlik modülasyonu (PWM) kullanılmaktadır. Bu teknik, köprüyü oluşturan transistörlerin hızlı bir şekilde çevrim yapmasını içerir. Çıkış voltajı dalga formunun sinüzoidal bir desene ne kadar benzediği, kullanılan modülasyon yöntemine bağlıdır. Aşağıdaki pasaj, oluşturulan elektriksel potansiyel farkın büyüklüğünü belirtmektedir. Denklem (3.13), çıkış voltajının hesaplamasını göstermektedir.

$$V_{\text{Çıkış}}(t) = V_{dc} \cdot m \cdot \sin(\omega t) \quad (3.13)$$

V_{dc} , doğru akım giriş voltajını; m , modülasyon indeksi olup referans sinyalin genliği ile taşıyıcı dalganın genliği arasındaki oran; ω , istenilen alternatif akım çıkışının açısal frekansını; t ise zamanı ifade etmektedir. Modülasyon indeksi aşağıdaki denklem (3.14) ile hesaplanmaktadır.

$$m = \frac{V_{ref}}{V_{taşıyıcı}} \quad (3.14)$$

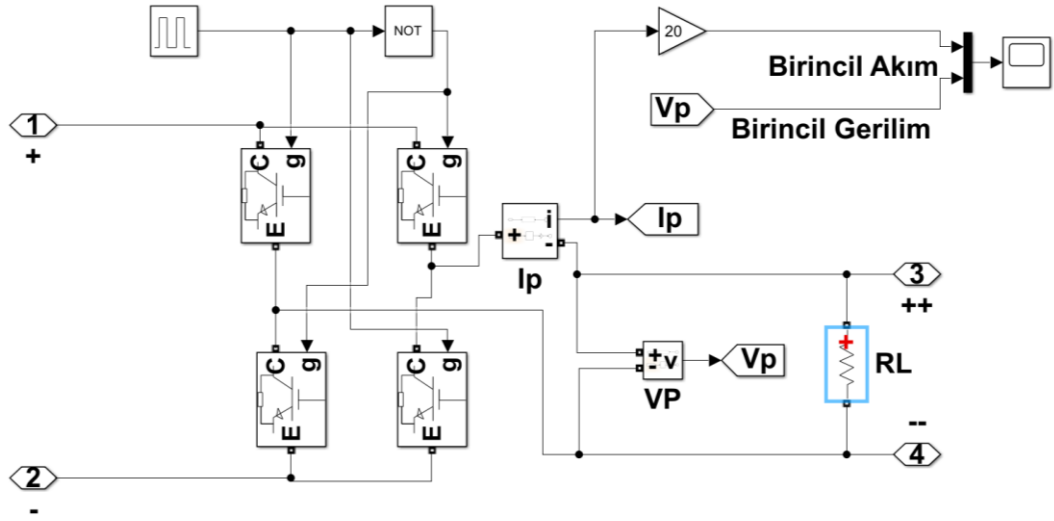
V_{ref} , referans dalga formunun genliğini, $V_{taşıyıcı}$ ise taşıyıcı dalga formunun genliğini ifade eder. AC sinyalinin çıkış frekansı f , modülasyon işlemi sırasında kullanılan referans sinyalinin dalga boyu ile tanımlanmaktadır. Çıkış frekansının hesaplanmasında Denklem (3.16) kullanılmaktadır.

$$f = \frac{\omega}{2\pi} \quad (3.15)$$

Denklem (3.16)'da olduğu gibi, dönüştürücünün güç çıkışı $P_{\text{Çıkış}}$, dönüşüm verimliliği η ve yükün güç faktörü PF dikkate alınarak tahmin edilmektedir.

$$P_{\text{Çıkış}} = \eta \cdot PF \cdot V_{\text{Çıkış}}^2 \cdot \frac{1}{R} \quad (3.16)$$

R , yük direncini ifade eder. Şekil 3.12, MATLAB/Simulink®'teki tam köprü DC-AC eviriciyi göstermektedir.



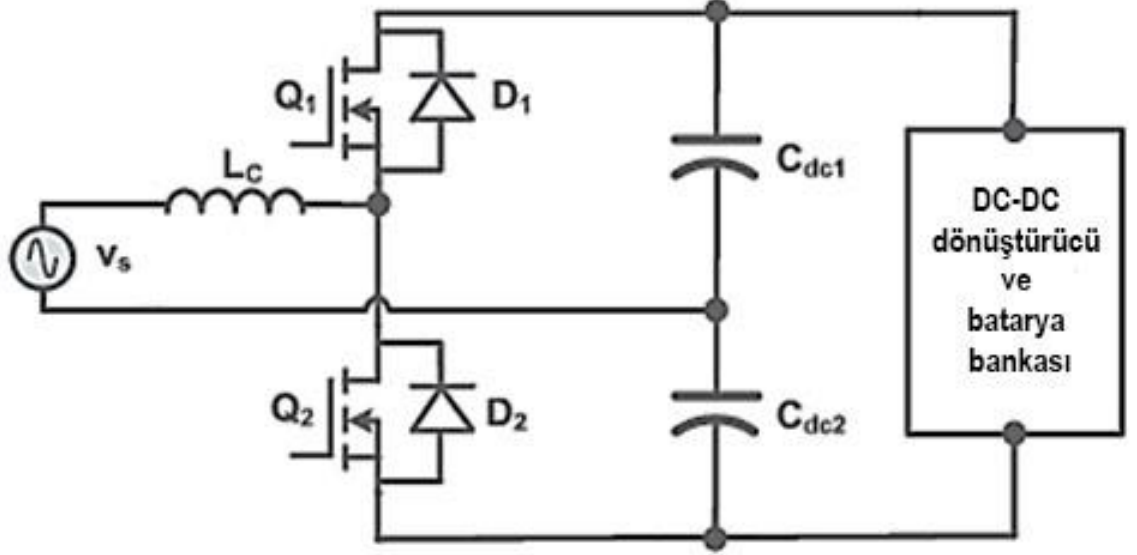
Şekil 3.12 MATLAB/Simulink®'te tam köprü

PV sistemi, güneş enerjisini güneş panelleri kullanarak DC elektrige dönüştürür. Bu DC elektrik, tam köprü evirici kullanılarak belirli bir frekansa sahip olabilen AC elektrige dönüştürülmektedir; bu frekans kablosuz güç aktarımı için uygundur. Eviriciden üretilen AC, birincil bir bobini sürmek için kullanılmaktadır ve bu bobin, elektromanyetik indüksiyon yoluyla aralarında güç aktarımının sağlandığı bir ikincil bobine bağlanmaktadır. Bu işlem, her iki bobinin de aynı rezonans frekansına ayarlandığı rezonant indüktif bağlantı yöntemiyle gerçekleştirilmektedir. AC güç, uygulamaya bağlı olarak tekrar DC'ye doğrultulmakta veya doğrudan AC olarak kullanılmaktadır. Tam köprü evirici, güneş panellerinden gelen DC gücünü kablosuz iletim için AC gücüne dönüştürmede kritik bir rol oynamaktadır ve bu, kablosuz elektrikli araçların şarjı ve uzaktan sensörlerin güçlendirilmesi gibi uygulamaları mümkün kılmaktadır.

3.3.2 Yarım köprü AC-DC dönüştürücü

Bir doğrultucu, AC'yi DC'ye dönüştüren kritik bir bileşendir. Göndericiden gelen AC'yi işleyerek alıcının sabit bir DC beslemesi almasını sağlar. Genellikle bir doğrultucu, dört diyottan oluşan bir diyot köprüsü ve voltaj dalgalanmalarını en aza indirmek için bir filtre kapasitörü içerir.

Şekil 3.13, elektrikli araçların kullanımında AC'yi DC'ye dönüştüren yarım köprüyü göstermektedir.



Şekil 3.13 AC-DC yarım köprü diyagramı (Kisacikoglu *et al.* 2013)

Bir yarım köprü AC-DC dönüştürücüsünde, çıkış voltajı $V_{\text{çıkış}}$, giriş voltajına, transformatörün sargı oranına ve anahtarların çalışma çevrimine bağlıdır. Çalışma çevrimi, Denklem (3.17) ile hesaplanmaktadır.

$$D = \frac{T_{\text{açık}}}{T_{\text{toplama}}} \quad (3.17)$$

Denklem (3.18)'de olduğu gibi, kapasitörün değeri, voltajı yeterince düzeltebilmekte, yük ve ya giriş gücündeki dalgalanmalara rağmen kararlı bir çıkış sağlayabilmektedir.

$$C \geq \frac{I_{\text{çıkış}}}{f \cdot \Delta V} \quad (3.18)$$

Çıkış gücü, Denklem (3.19) ile hesaplanabilmektedir.

$$P_{\text{çıkış}} = V_{\text{çıkış}} \cdot I_{\text{çıkış}} \quad (3.19)$$

Dönüştürücünün verimliliği Denklem (3.20) ile belirlenmektedir.

$$\eta = \frac{P_{Çıkış}}{P_{Giriş}} \quad (3.20)$$

Bir yarım köprü AC-DC dönüştürücü, yalnızca göndericiden gelen AC girişini alıcı için gerekli DC çıkışa dönüştürmekle kalmaz, aynı zamanda istenmeyen frekansları filtreleyerek sinyaldeki olası dalgalanmalara ve ya ani değişimlere karşı alıcıyı korur. Doğrultucunun varlığı, herhangi bir WPT sisteminin verimli çalışması için vazgeçilmezdir.

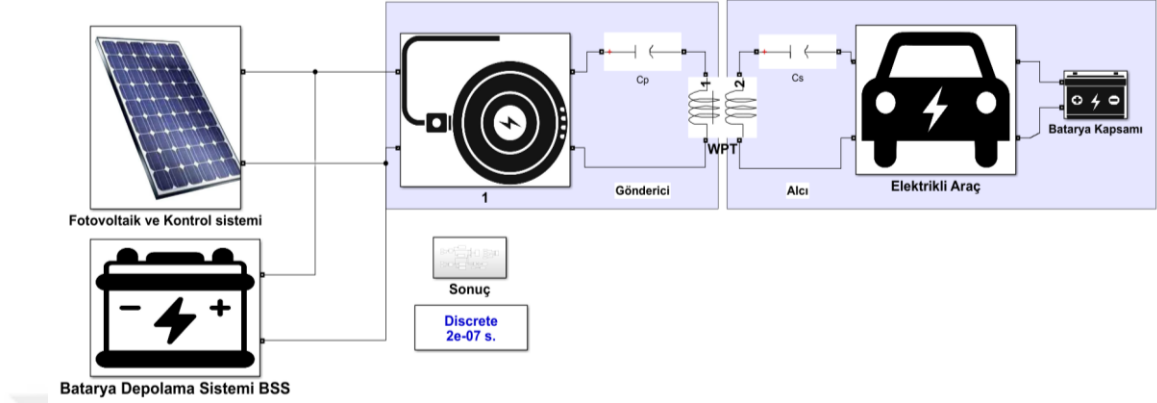
3.4 Kablosuz Enerji Transferi

3.4.1 Endüktif kablosuz güç şarj cihazı

WPT, bir vericinin elektromanyetik bir alan yayması ve bir alıcının anteninin bu alanı yakalamasıyla çalışmaktadır. Yakalandıktan sonra, bu enerji elektrik gücüne dönüştürülerek ya pilleri şarj etmek ya da cihazları çalıştırmak için kullanılmaktadır. WPT'nin önemli bir avantajı, kabloları ve telleri ortadan kaldırarak elektrikli araçların şarj edilme sürecini ve ev cihazlarının güçlendirilmesini kolaylaştırmasıdır. Ayrıca, enerjinin havadan iletilmesi, potansiyel olarak pahalı enerji altyapılarına olan talebi azaltabilir.

Araçları şarj etmek için kablosuz güç transferi, endüktif bağlaşım kavramına dayanmaktadır. Bu yöntem, iki halka arasında osilasyonlu bir manyetik alan kullanarak enerji iletimini sağlar. Güç kaynağına bağlı olan ilk bobin, manyetik alanı üretir ve araca bağlı olan ikinci bobin ise bu enerjiyi yakalar. Bu bobinlerin yakınlığı, boyutları ve alternatif akımın frekansı, kablosuz güç transferinin verimliliğini etkileyen kritik faktörlerdir. İdeal olarak, en yüksek verimliliği sağlamak için her iki bobin de boyut ve frekans açısından benzer şekilde tasarlanmalı ve mümkün olduğunca birbirine yakın yerleştirilmelidir. Araçlar için kablosuz güç transferinde yaygın bir tasarım, iki düz halkayı birbirine bağlayan düzlemsel yapıdadır; bir halka güç kaynağına, diğer halka ise aracın

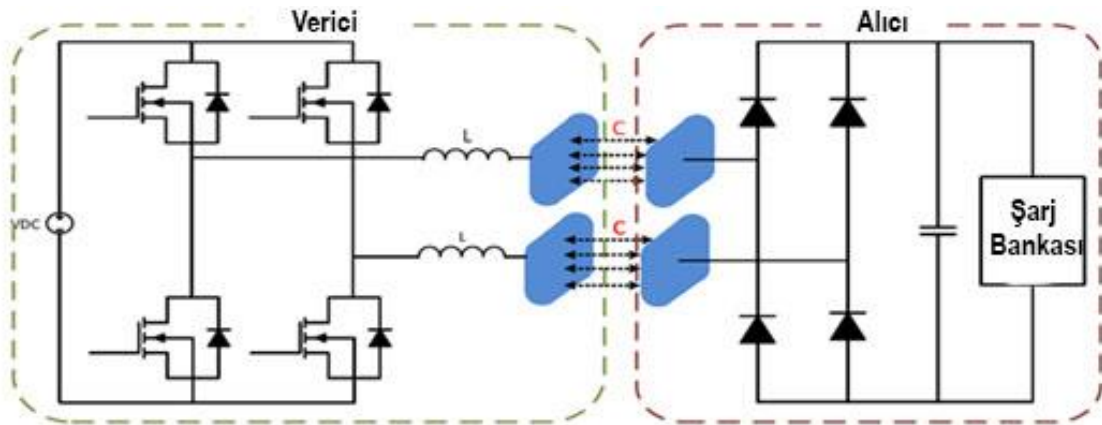
bataryasına bağlıdır. Bu tasarım, bobinler birbirine yakın olduğunda özellikle verimlilikte üstünlük sağlamaktadır (Şekil 3.14).



Şekil 3.14 Önerilen endüktif kablosuz güç aktarım sistemi

3.4.2 Kapasitif güç aktarım şarj cihazı

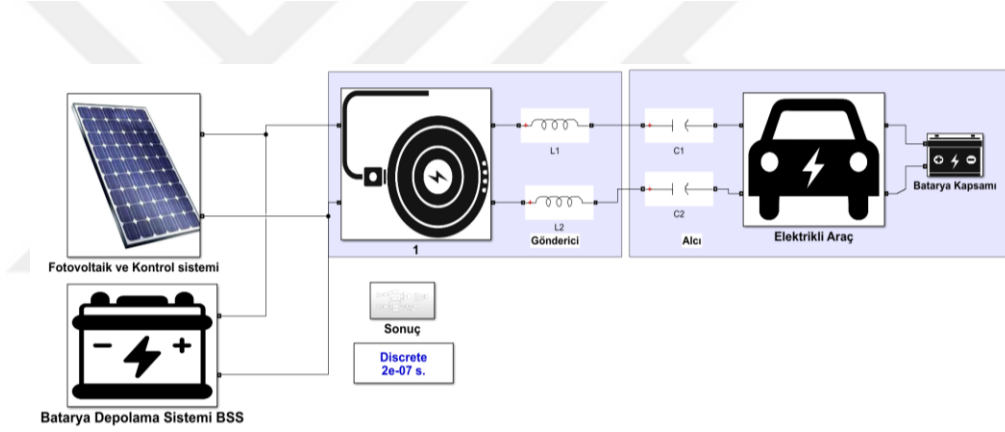
Kapasitif Kablosuz Güç Transferi (CWPT), özellikle düşük güçlü cihazlar için elektrik alanlarını kullanarak elektrik enerjisini kablosuz olarak ileten bir teknolojidir. Gelişmiş geometrik ve mekanik yapıları, kapasitif bağlaşım kapasitesini optimize ederek düşük güçlü uygulamalar için uygun hale getirmektedir (Şekil 3.15). Bu teknoloji, gücü iletmek için bir H-köprüsü dönüştürücü kullanır ve ana AC voltajı ile güç faktörü düzeltme devreleri tarafından beslenir. Böylece verimlilik artırılır ve kayıplar en aza indirilir.



Şekil 3.15 Kapasitif kablosuz güç şarj cihazı

H-köprüsü tarafından üretilen yüksek frekanslı AC voltajı, alıcı tarafındaki bağlaşım kapasitörleri aracılığıyla iletilerek yüksek frekanslarda verimli bir iletim sağlanmaktadır. CWPT sistemleri, tipik olarak güç aktarım verimliliğini optimize etmek için yüksek voltaj ve düşük akım koşulları altında çalışır. Sisteme eklenebilecek ilave indüktörler, empedansı en aza indirmek ve elektronik bileşenlerdeki anahtarlama kayıplarını ve gürültüyü azaltmak için kullanılır.

AC'den DC'ye dönüşüm, alınan yüksek frekanslı AC voltajını doğrultucu ve filtre devreleri kullanarak DC voltajına dönüştürme sürecidir. Bu süreç, bir batarya bankasına veya doğrudan yüke güç sağlar. CWPT teknolojisini geliştirmek için yenilikçi tasarımlar arasında hava boşluğu mesafesinin azaltılması ve güç aktarım yeteneklerini artırmak için yüksek kapasitanslı bağlaşım tasarımlarının kullanılması bulunmaktadır (Şekil 3.16).



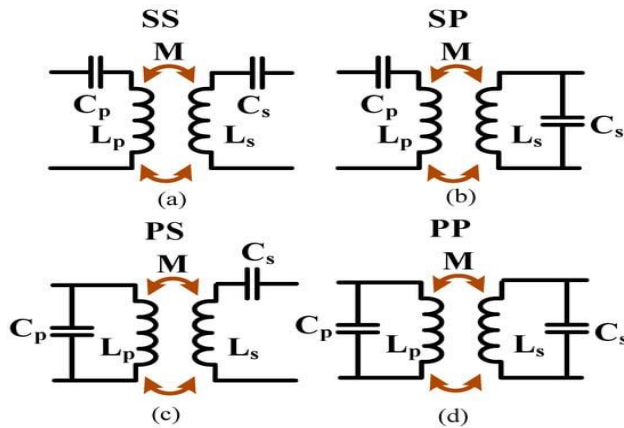
Şekil 3.16 Önerilen kapasitif kablosuz güç transfer sistemi

3.4.3 Kablosuz şarj topoloji

Araç şarjı için WPT'nin topolojisi, iki bobin arasında enerji aktarımı yapmak için alternatif bir manyetik alanın kullanıldığı endüktif bağlaşım ilkesine dayanmaktadır. Birincil bobin bir güç kaynağına ve ikincil bobin araç bataryasına bağlıdır. Bobinler yeterince yakın yerleştirildiğinde, alternatif manyetik alan ikincil bobinde bir elektrik akımı indükleyerek bataryayı şarj etmektedir. Kablosuz Güç Transferi'nin verimliliği, iki bobin arasındaki mesafeye, bobinlerin boyutuna ve alternatif akımın frekansına bağlıdır. Verimliliği maksimize etmek için birincil ve ikincil bobinlerin aynı boyutta ve frekansta olacak şekilde tasarlanması gerekmektedir. Ayrıca, bobinler arasındaki mesafe mümkün

olduğınca azaltılmalıdır. Araç şarjı için Kablosuz Güç Transferi'nde en yaygın topoloji, güç kaynağına ve araç bataryasına bağlı olan iki düz bobinden oluşan düzlemsel sistemdir (Park *et al.* 2016). Bu topoloji, bobinlerin birbirine yakın yerleştirilebildiği kısa mesafelerde en verimli olanıdır. Elektrikli araçlarda kablosuz güç transferi için kullanılan en popüler topolojiler şunlardır:

- 1) Seri-Seri (SS) Kompanzasyon Topolojisi: Bu, Elektrikli araçlarda kullanılan en yaygın WPT topolojilerinden biridir. Hem birincil hem de ikincil taraflar, seri kapasitörler kullanarak aynı frekansta rezonans olacak şekilde ayarlanarak güç transfer verimliliğini artırır.
- 2) Seri-Paralel (SP) Kompanzasyon Topolojisi: Bu tasarımda, birincil taraf seri ve ikincil taraf paralel olarak ayarlanır. SS topolojisinden daha az yaygın olsa da nispeten sabit çıkış voltajı sağlama yeteneği nedeniyle bazen tercih edilir.
- 3) Paralel-Seri (PS) Kompanzasyon Topolojisi: Bu, SP tasarımının tersidir. Birincil taraf paralel ve ikincil taraf seri olarak ayarlanır.
- 4) Paralel-Paralel (PP) Kompanzasyon Topolojisi: Bu tasarımda, hem birincil hem de ikincil taraflar paralel kapasitörler ile rezonansa getirilir. Daha yüksek dolaşım akımları nedeniyle SS ve ya SP topolojilerinden daha az kullanılır, ancak belirli senaryolarda etkili olabilir. Şekil 3.17, çeşitli kablosuz güç transfer kompanzasyon topolojilerini göstermektedir.



Şekil 3.17 Elektrikli araçlarda Kablosuz Güç Transferinin Popüler Topolojileri (a) seri-seri (SS); (b) seri-paralel (SP); (c) paralel-seri (PS); (d) paralel-paralel (PP) (Vishnuram *et al.* 2023)

WPT, elektromanyetizma, devre teorisi ve rezonans davranışlarına dayalı temel ilkeleri nedeniyle birkaç matematiksel kavram içermektedir. Temelinde, WPT'nin matematiksel açıklaması karmaşık olabilir. Bağlantılı indüktörler, birinin manyetik alanının diğerini etkilediği şekilde yerleştirilmiş bir çift (veya daha fazla) indüktörü ifade eder. Bu etki genellikle aralarındaki karşılıklı indüktanstan kaynaklanır. Birincil bobindeki akım değişimi nedeniyle ikincil bobinde indüklenen voltaj, Denklem (3.21) ile ifade edilir.

$$V_2 = M \frac{dI_p}{dt} \quad (3.21)$$

M , karşılıklı indüktans için kullanılan semboldür ve iki bobinin geometrik ve malzeme özelliklerine, ayrıca bunların göreceli konumlarına bağlı olarak değişir.

Bir indüktörden (bobinden) geçen akım değiştiğinde, yakındaki bir başka bobinde karşılıklı indüktans nedeniyle bir voltaj indüklenir. Bu indüklenen voltaj miktarı, akımın değişim hızı ile bobinler arasındaki karşılıklı indüktansa bağlıdır.

Benzer şekilde, ikincil bobindeki akım değişimi nedeniyle birincil bobinde indüklenen voltaj, Denklem (3.22)'de olduğu gibi ifade edilir.

$$V_1 = M \frac{dI_s}{dt} \quad (3.22)$$

İki indüktif olarak bağlanmış bobin için, her bir bobin üzerindeki voltaj Denklem (3.23) ve Denklem (3.24) ile ifade edilir.

$$V_1 = L_p \frac{dI_p}{dt} + M \frac{dI_s}{dt} \quad (3.23)$$

$$V_2 = L_s \frac{dI_s}{dt} + M \frac{dI_p}{dt} \quad (3.24)$$

V_1 ve V_2 sırasıyla birincil ve ikincil bobinler üzerindeki voltajları; I_1 ve I_2 , sırasıyla birincil ve ikincil bobinlerden akan akımları; Birincil ve ikincil bobinlerin kendi indüktansları sırasıyla L_p ve L_s ile ifade edilir. M ise iki bobin arasında paylaşılan karşılıklı indüktansı ifade eder.

Seri-seri endüktif sistem için, kablosuz transfer sistemindeki birincil ve ikincil tarafların kapasitansı, Denklem (3.25) ile hesaplanır.

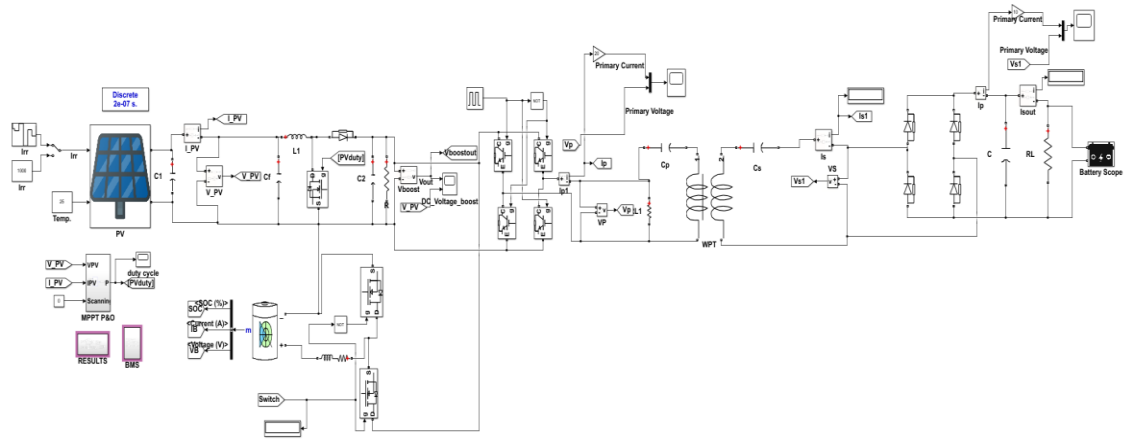
$$C_p = C_s = \frac{1}{\omega^2 \cdot L_1} \quad (3.25)$$

İki bobinin birbirine ne derece bağlı olduğu, Denklem (3.26)'da gösterilen bağlaşım katsayısı k ile belirlenir.

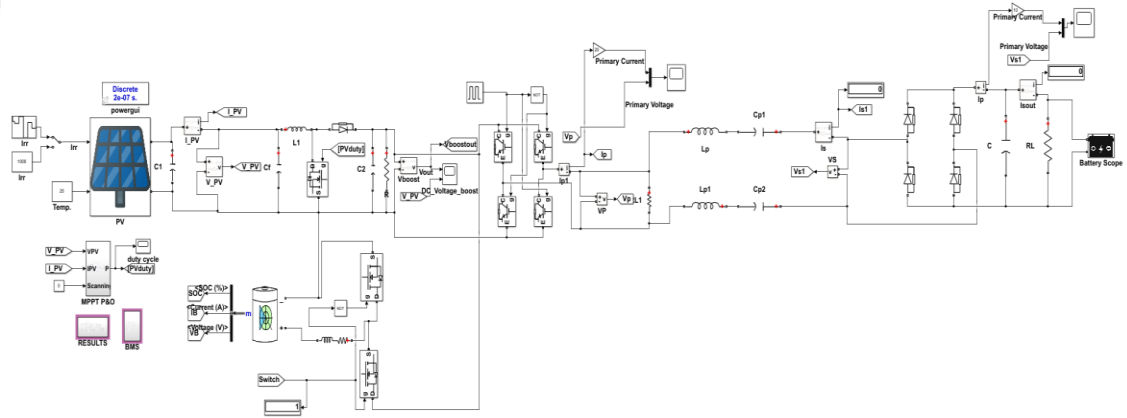
$$k = \frac{M}{\sqrt{L_1 L_2}} \quad (3.26)$$

Bağlaşım katsayısı k , 0 (bağlaşım yok) ile 1 (mükemmel bağlaşım) arasında değişebilir.

Bir elektrikli araç, ikincil bobin L_s ve ilgili bileşenlerle donatılmışken, yere yerleştirilen birincil bobin L_p ile donatılmış bir iletim pedinden güç alabilir. Aracın şarj olması için sadece pedin üzerine konumlandırılması yeterlidir. Bu sistem, elektrikli araçların şarj edilmesi için kullanışlı ve verimli bir yöntem sunarak fiziksel bağlantı ihtiyacını ortadan kaldırmaktadır. Şekil 3.18 ve Şekil 3.19, MATLAB/Simulink® ortamında önerilen modelleri göstermektedir.



Şekil 3.18 MATLAB/Simulink®'ten endüktif model blok diyagramı

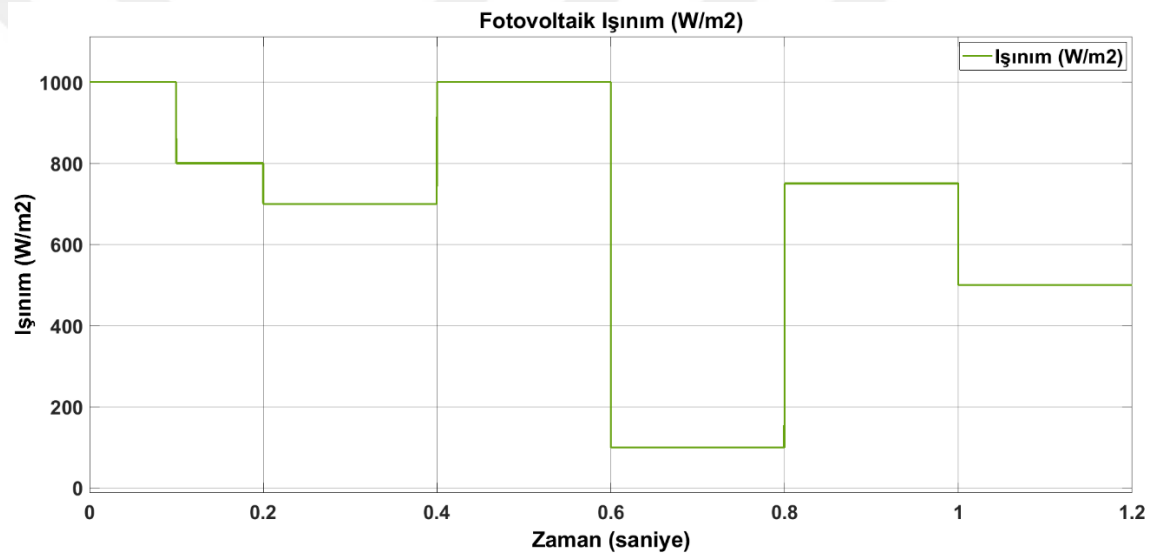


Şekil 3.19 MATLAB/Simulink®'ten kapasitif model blok diyagramı

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1 Güç Üretimi Tarafı

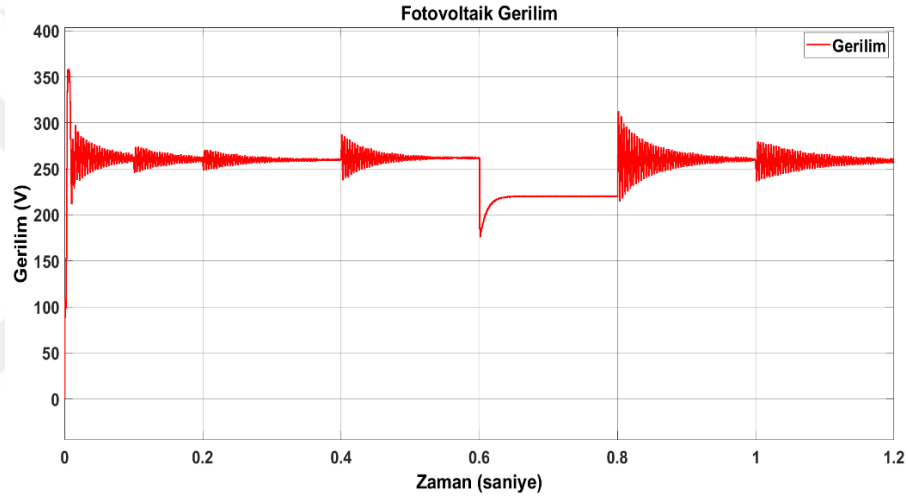
Bu çalışmada, indüktif ve kapasitif kablosuz güç transferi kullanılarak Elektrikli araçları şarj etmek için batarya depolama sistemi ile hibrit hale getirilmiş fotovoltaiik sistemlerden oluşan verimli bir mikro şebeke tasarımı sunulmaktadır. Mikro şebeke istasyonu, yenilenebilir enerji kaynağı olarak güneş fotovoltaiik gücünden faydalanmaktadır. Şekil 4.1, farklı hava koşullarına göre PV ışınlmını göstermektedir.



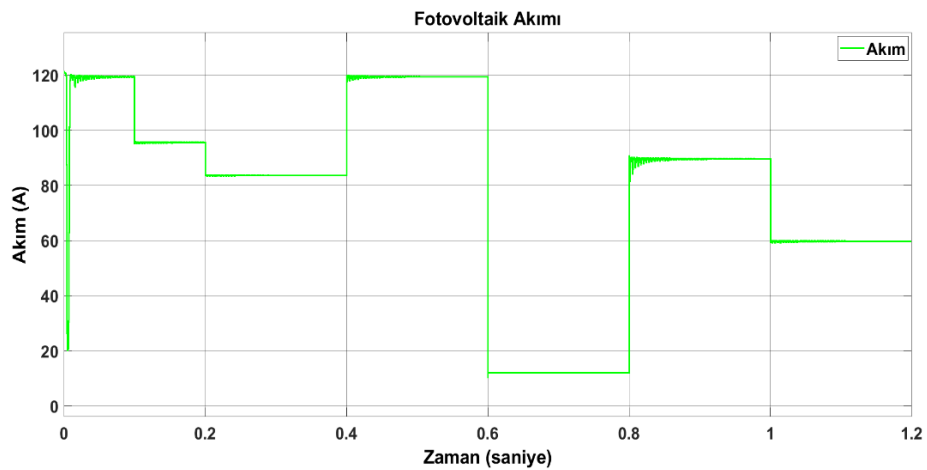
Şekil 4.1 PV Işınımı

Şekil 4.1, PV bir sistem üzerindeki ışınlm seviyelerinin belirli bir zaman diliminde nasıl değiştiğini ve farklı hava koşulları altında nasıl etkilendiğini anlatmaktadır. PV ışınlmı, farklı hava koşullarının PV performansına etkisini simüle ederek kademeli bir değişim göstermektedir. Yüksek ışınlm (1000 W/m^2), açık ve güneşli koşulları ifade ederken, ani bir düşüşle 800 W/m^2 'ye inmesi, hafif bulut örtüsü veya kısmi gölgelenme gibi olası hava değişikliklerini gösterir. 600 W/m^2 'ye düşüş ise daha fazla bulut örtüsü veya gölgelenmeyi ifade eder ve sistemin performansını önemli ölçüde etkiler. Yaklaşık 0.6 saniyede 100 W/m^2 'ye düşüş ise tam gölgelenme veya geçen kalın bir bulutun tüm güneş ışığını engellemesi durumunu belirtir ve bu dönemde hiçbir güç üretilmez. Hava koşullarının PV performansı üzerindeki etkisi önemlidir. Açık ve güneşli koşullar en

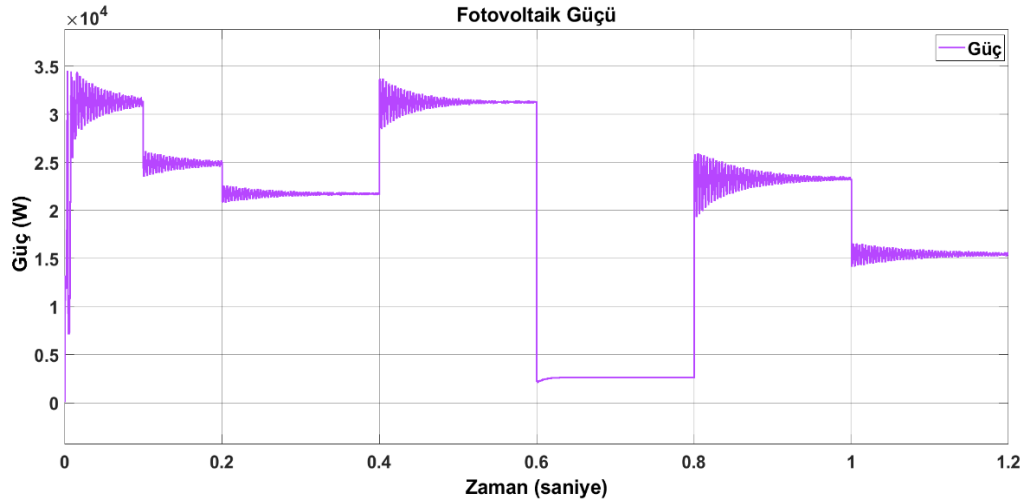
yüksek performansı sağlarken, kısmen bulutlu koşullar dalgalı güç çıkışına neden olurken, kapalı veya gölgeli koşullar ise güç çıkışını önemli ölçüde azaltmaktadır. Dinamik hava koşulları, tutarsız güç üretimine yol açarak enerji yönetimi ve depolama çözümlerini zorlaştırmaktadır. Bu nedenle, ışıyım seviyelerindeki değişiklikleri anlamak, PV sistem tasarımının, yerleştirilmesinin ve enerji depolama çözümlerinin optimize edilmesi, güvenilir ve verimli güç üretimini sağlamak açısından kritik öneme sahiptir. Hava tahmini ve gerçek zamanlı izleme uygulamak, olumsuz hava koşullarının PV performansı üzerindeki etkisini hafifletmeye yardımcı olabilir. Şekil 4.2'den Şekil 4.4'e kadar olan görseller, farklı hava koşullarına göre PV performansını göstermektedir.



Şekil 4.2 Farklı hava koşullarında PV çıkış gerilimi

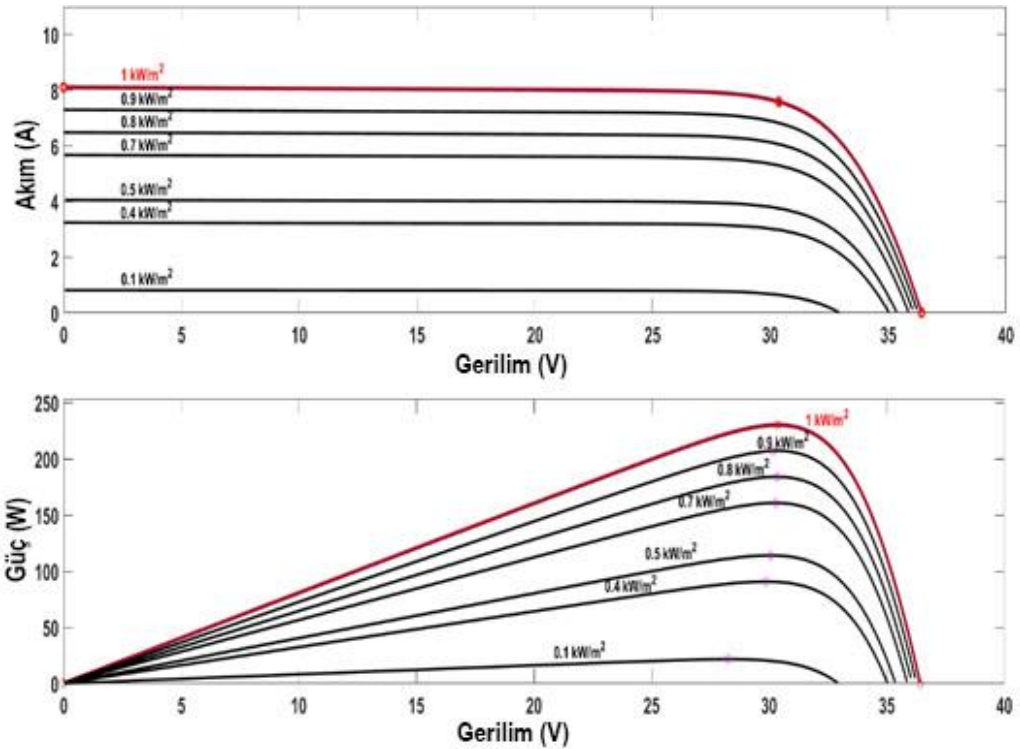


Şekil 4.3 Farklı hava koşullarında PV çıkış akımı



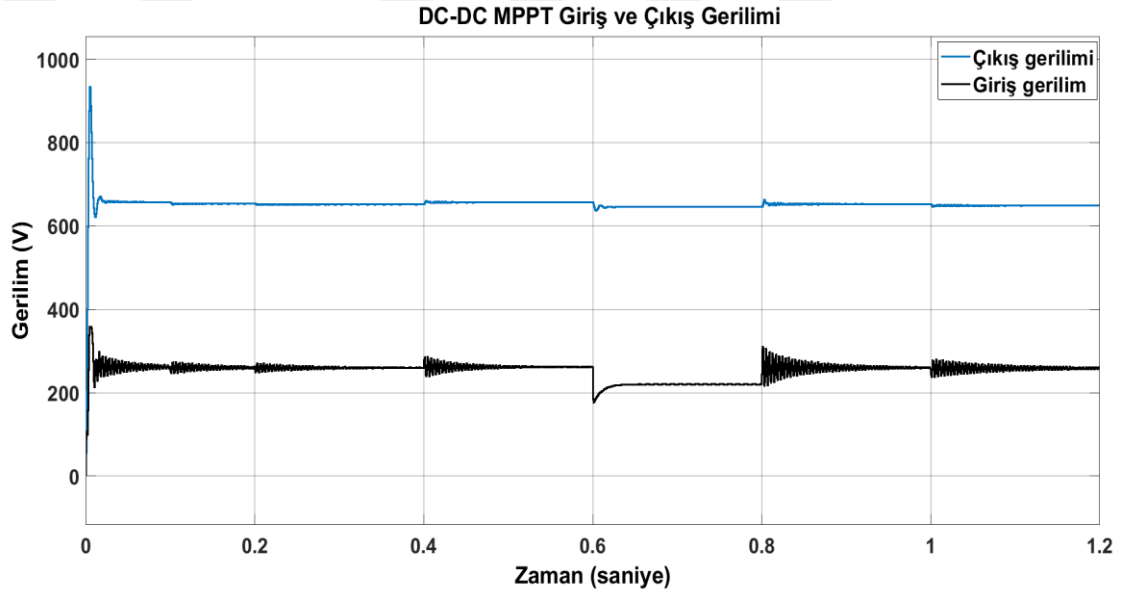
Şekil 4.4 Farklı hava koşullarında PV çıkış gücü

Sistem, paralel bağlanmış 15 modülden ve seri bağlanmış 10 modülden oluşan dizilerden oluşmaktadır. Yapılan çalışmada hücre sıcaklığı sabit tutulmuştur. Her panel, maksimum 230 watt güç çıkışı sağlayan ve 37 volt açık devre voltajı ile 8 amper kısa devre akımı ile karakterize edilmiştir. Şekil 4.5, PV modülünün IV-PV karakteristiklerini göstermektedir.



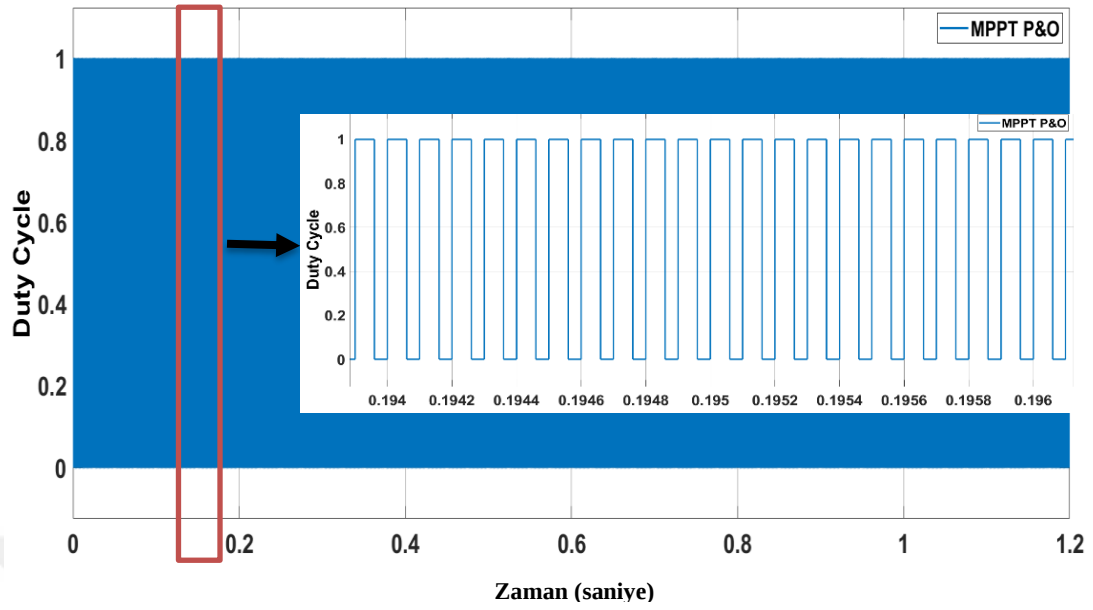
Şekil 4.5 Önerilen PV modülü için IV-PV karakteristikleri

Fotovoltaik sistemin performansı, değişen hava koşulları altında değerlendirilmiştir. Tam güneş ışığı altında ve açık bir gökyüzü ile en yüksek performans gözlemlenmiş olup, maksimum güç çıkışı 14 kW'a ulaşmıştır. MPPT DC-DC yükseltici dönüştürücü, fotovoltaik sistemden maksimum enerji hasadını sağlayarak optimal güç noktası takibini sürdürmüştür (Şekil 4.6). Standart test koşullarında, fotovoltaik gibi kaynaklardan gelen maksimum giriş voltajı yaklaşık 250 volt iken, elde edilebilecek maksimum çıkış voltajı yaklaşık 650 volttur. Bir DC-DC yükseltici dönüştürücünün temel bileşenleri arasında bir anahtarlama cihazı, bir diyot, bir indüktör ve bir kapasitör bulunmaktadır. Bu özel simülasyonda, düşük ve orta güç ayarlarında yaygın olarak kullanılan standart bir güç diyotu ve bir Power MOSFET anahtarlama cihazı olarak seçilmiştir.



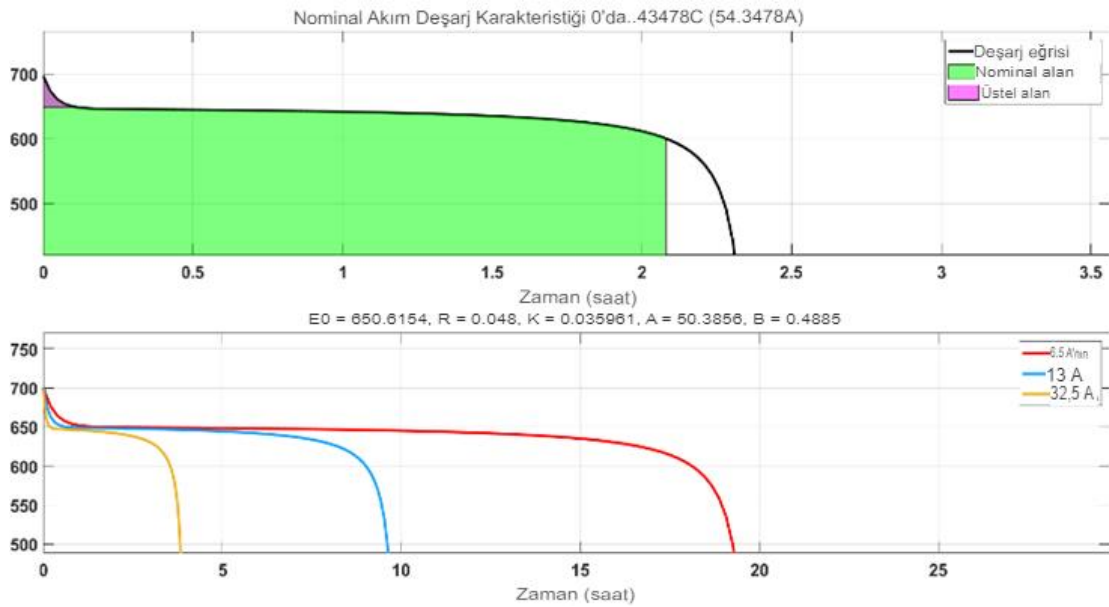
Şekil 4.6 Yükseltici dönüştürücünün giriş ve çıkış voltajlarına dayalı MPPT

Yükseltici dönüştürücünün çalışması, MPPT P&O yöntemi kullanılmaktadır. Yükseltici dönüştürücü için seçilen parametreler 0.5 mH'lik bir indüktans (L) ve 4.5 mF'lik bir kapasitans (C) olarak belirlenmiştir. Şekil 4.7, MPPT yükseltici dönüştürücüye dayalı PO algoritmasının çalışma çevrimini göstermektedir.



Şekil 4.7 MPPT'ye dayalı PO algoritması için çalışma çevrimi

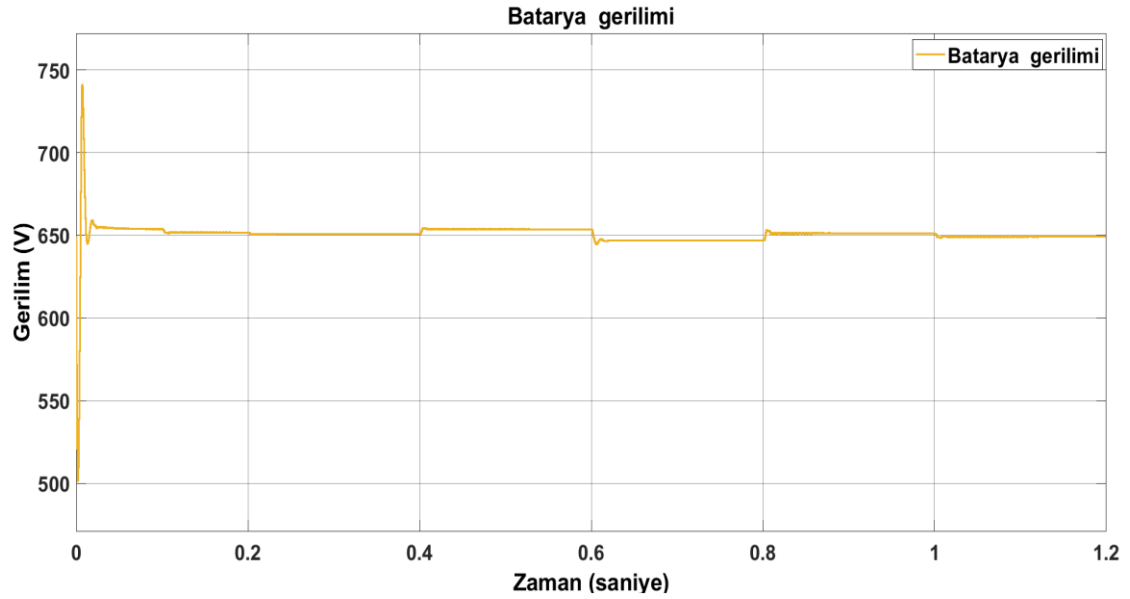
Batarya depolama sistemi sonuçları için, batarya karakteristiği Şekil 4.8'de gösterilmektedir.



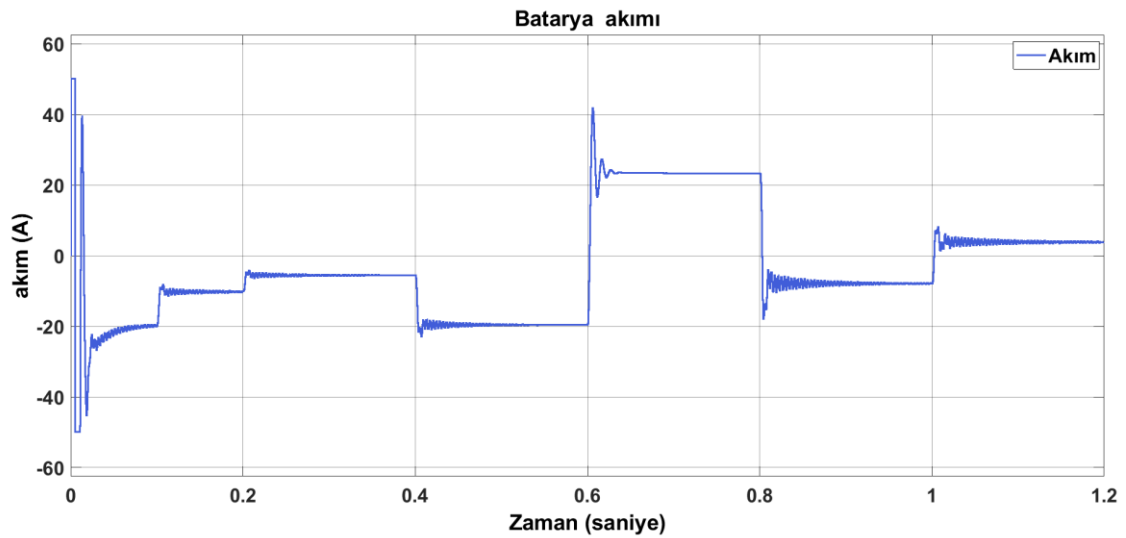
Şekil 4.8 Batarya karakteristiğinin zamanla voltaj ve akımı

Şekil 4.9 ile Şekil 4.11 arasındaki görseller, batarya depolama sisteminin farklı hava senaryoları altındaki işleyişini göstermektedir. Bataryanın çıkışı 650 volt ve 23 amper ile

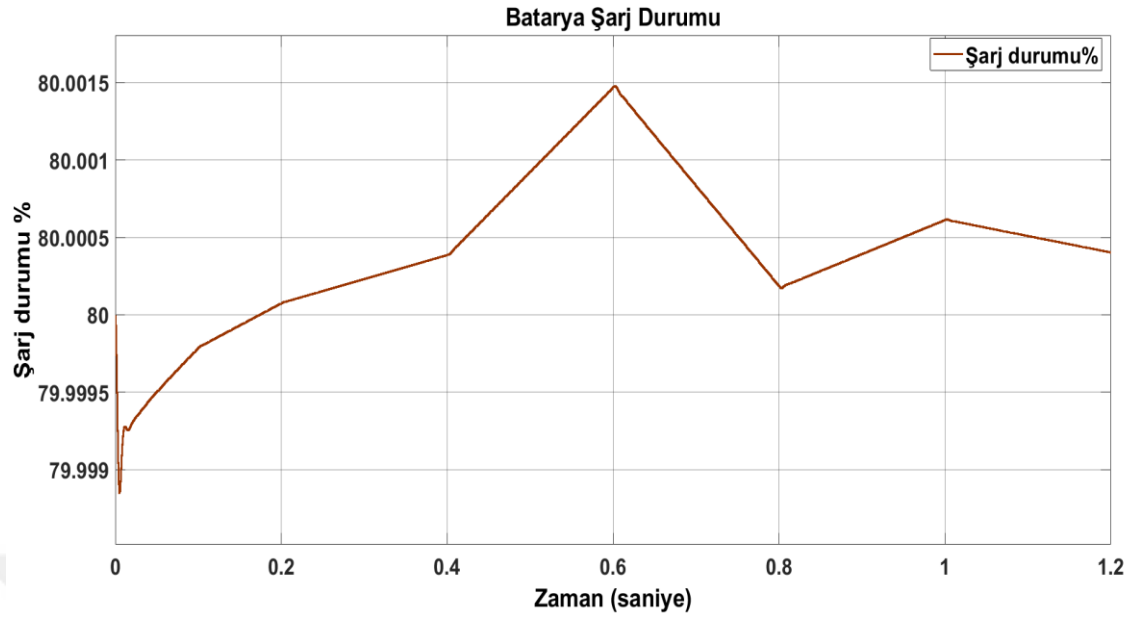
karakterize edilmiştir. Ayrıca, bataryanın şarj durumu, şarj ve deşarj aşamalarında stabilite sağlamaya katkıda bulunmaktadır. Yüksek güç üretim dönemlerinde batarya şarj modunda çalışırken, orta düzeyde PV üretim zamanlarında ise bu durum gözlemlenmektedir. PV sisteminden güç üretiminin olmadığı durumlarda ise batarya, elektrikli araçların şarj istasyonuna gerekli gücü sağlamak üzere devreye girer.



Şekil 4.9 Farklı hava koşullarına göre batarya voltaj performansı



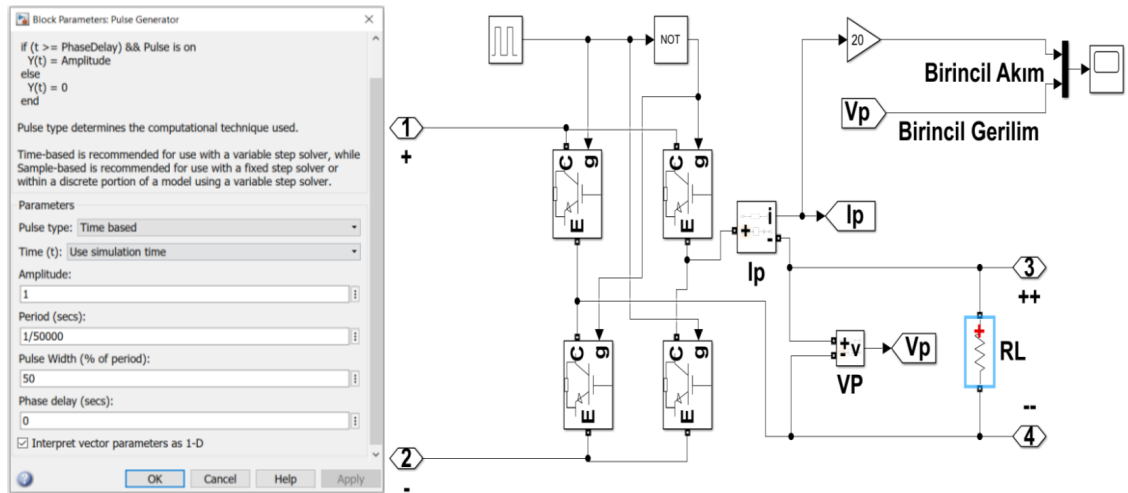
Şekil 4.10 Farklı hava koşullarına göre batarya akım performansı



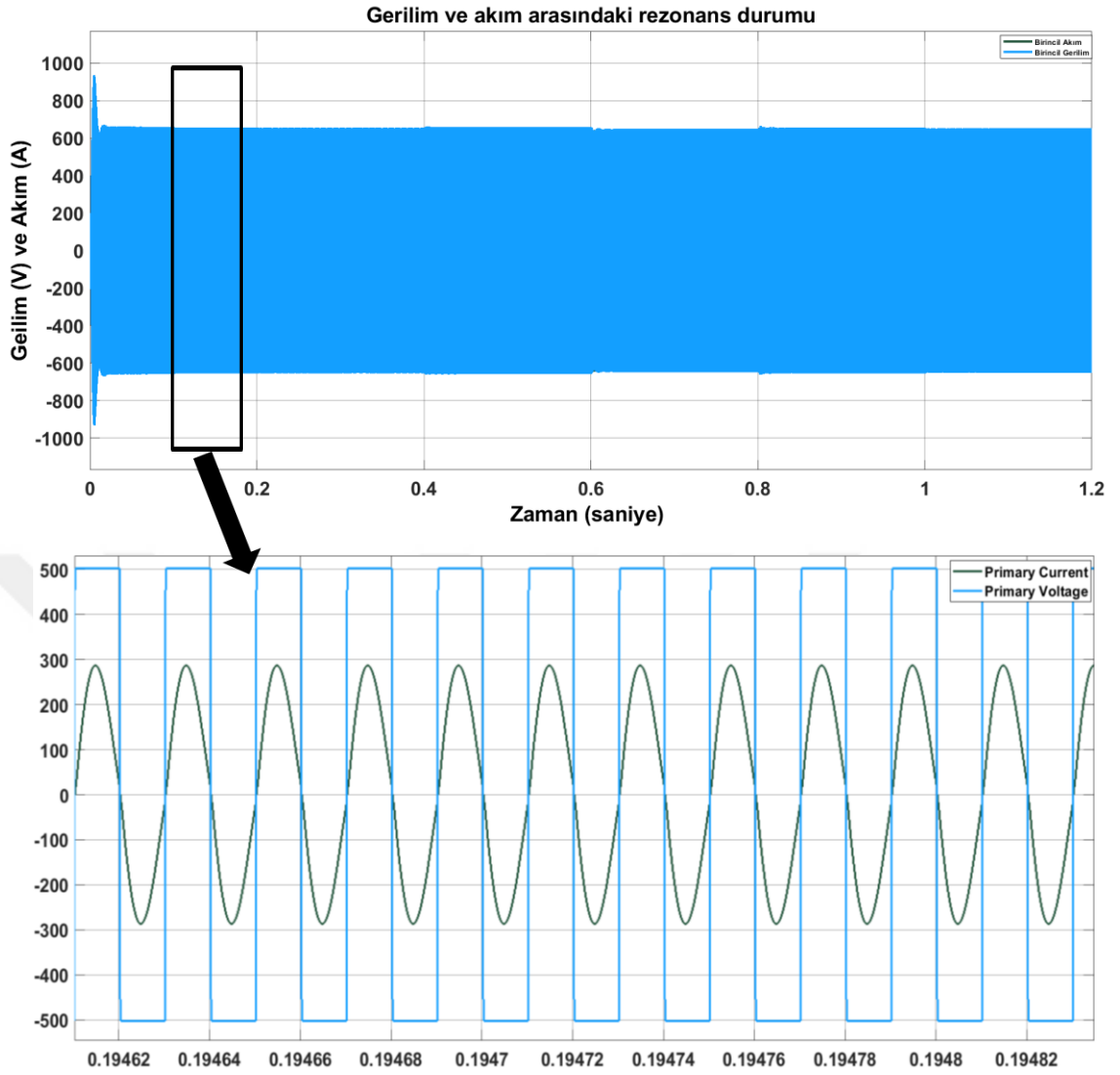
Şekil 4.11 Farklı hava koşullarına göre batarya şarj durumu

4.2 Kablosuz Enerji Transferi

50 kHz'e kadar yüksek frekanslı bir doğrultucu kullanarak, kablosuz güç aktarımı için akım ve voltaj arasında rezonans durumu sağladık. Bu durum, Şekil 4.12 ve Şekil 4.14'te gösterilmektedir.



Şekil 4.12 Yüksek anahtarlama frekansı ve rezonans durumu parametreleri

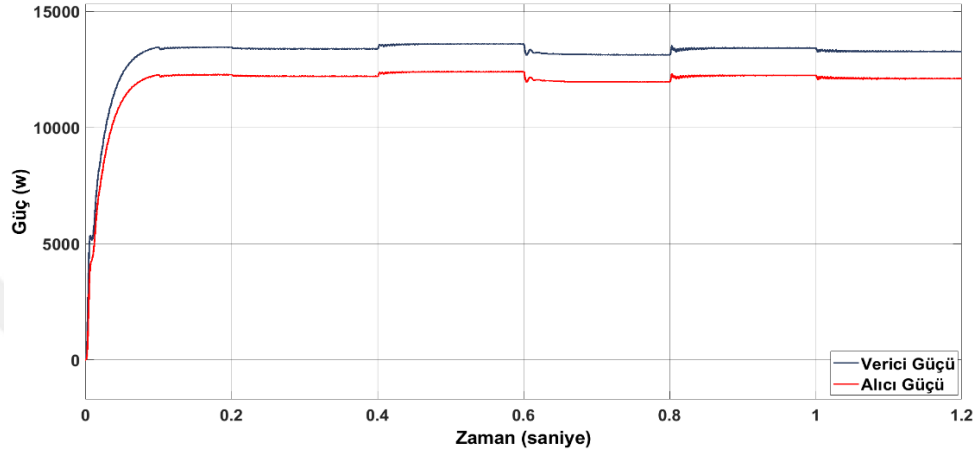


Şekil 4.13 Voltaj ve akım arasındaki rezonans durumu

Bulgularımız, voltaj ve akım arasında bir rezonans durumu göstermektedir. Bu durum, voltaj ve akım dalgalarının eşzamanlı olarak zirveye ulaştığı faz hizalamasını gösterir ve bu da optimal enerji transfer verimliliğine yol açar. Bu rezonans durumu, özellikle kablosuz güç transferi gibi uygulamalarda sistemimizin etkin çalışması için kritik öneme sahiptir. Çünkü bu tür senkronizasyon, performansı ve enerji verimliliğini önemli ölçüde artırabilir. Bu çalışmada, indüktif ve kapasitif kablosuz güç transfer sistemleri önerilmiştir.

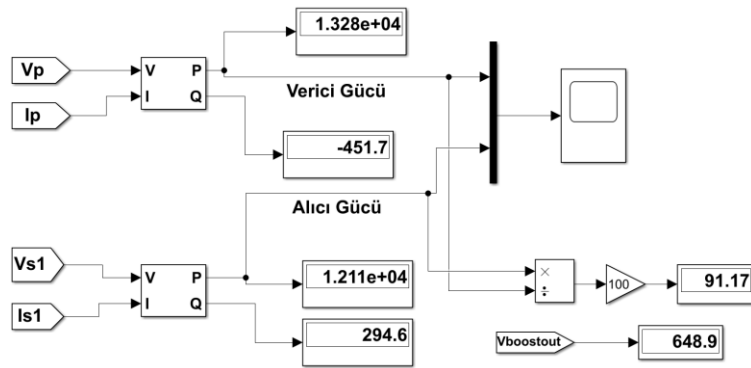
4.2.1 Endüktif kablosuz transfer şarj kutusu (birinci durum)

Endüktif kablosuz güç şarj cihazı, test süresi boyunca ortalama %91.17 verimlilik elde etmiştir. Güç transferi, 0.1 mm'ye kadar olan bir boşlukta kararlı kalmış, ancak boşluk arttıkça verimlilik sadece hafifçe düşmüştür (Şekil 4.14 ve Şekil 4.15).



Şekil 4.14 Endüktif kablosuz transfer verici ve alıcı taraf gücü

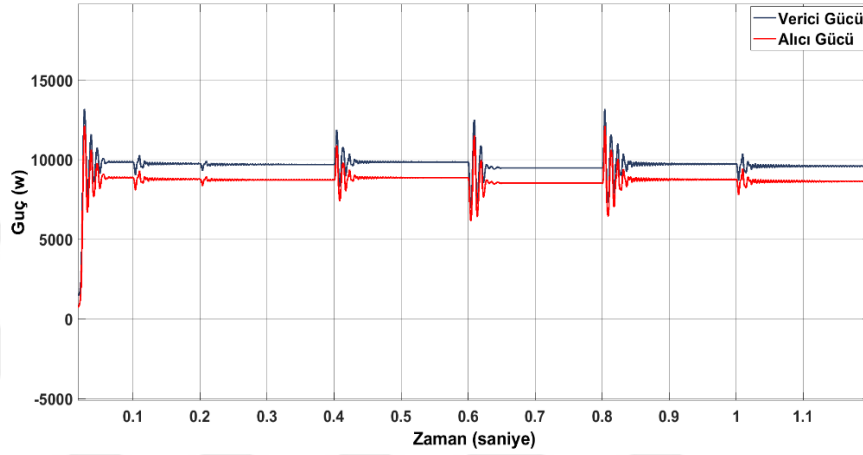
Endüktif WPT sistemi, özellikle kısa mesafeli güç transferi senaryolarında verimlilik açısından güçlü bir performans sergilemiştir. Bu tasarım, manyetik alanlar aracılığıyla etkin enerji transferini sağlayarak, sağlam ve tutarlı güç teslimi gerektiren uygulamalar için uygun hale getirilmiştir. Ancak, bu sistemin verimliliği, verici ve alıcı bobinler arasındaki mesafenin artmasıyla azalmaktadır, bu da bazı uygulamalar için bir kısıtlama oluşturabilir.



Şekil 4.15 Endüktif kablosuz güç transferi verimliliği

4.2.2 Kapasitif kablosuz transfer şarjı (ikinci durum)

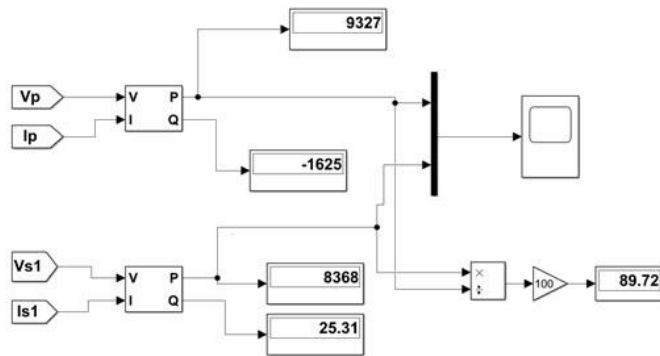
Kapasitif güç transfer şarj cihazı, karşılaştırıldığında ortalama %89.72 verimlilik göstermiştir. Şekil 4.16, farklı hava koşullarına dayalı olarak kapasitif kablosuz transfer verici ve alıcı taraf gücünün performansını göstermektedir.



Şekil 4.16 Kapasitif kablosuz aktarım vericisi ve alıcı tarafındaki güç

Kapasitif WPT sistemi ise farklı bir dizi özellik sergilemektedir; bu model, enerji transferi için elektrik alanlarını kullanır ve bu özellik, bileşenlerin fiziksel hizalanmasının daha değişken olduğu senaryolarda avantaj sağlayabilir. Bununla birlikte, kapasitif WPT sistemlerinin daha düşük verimliliği, benzer çıkış seviyelerine ulaşmak için daha yüksek giriş gücü gerektirebilir.

Also, the efficiency of capacitive wireless transfer is shown in Figure 4.17.



Şekil 4.17 Kapasitif kablosuz aktarım gücü verimliliği

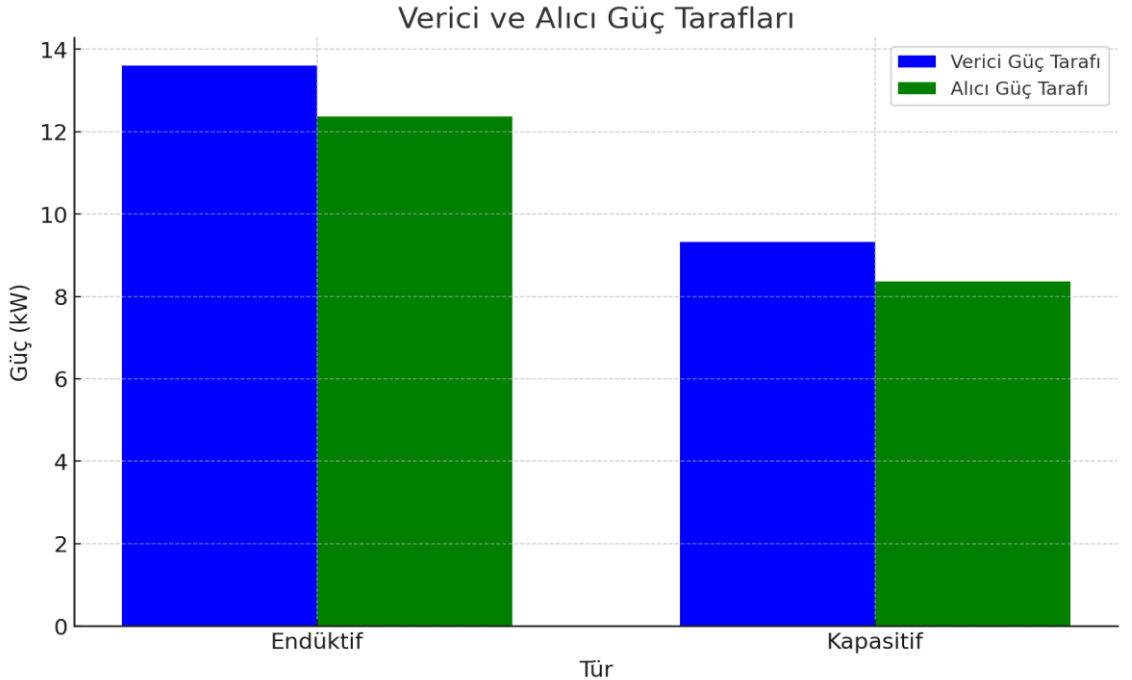
4.2.3 Endüktif ve kapasitif kablosuz arasındaki karşılaştırma

Farklı çalışma koşulları altında yaptığımız testler, her sistemin kendine özgü avantajlarını ve sınırlamalarını ortaya koymuştur. Endüktif WPT sisteminin verimliliği, bobinlerin hassas hizalanmasına ve yakın mesafeye bağlı olarak büyük ölçüde etkilenir, bu da onu statik veya yarı statik şarj istasyonları için ideal hale getirir. Öte yandan, kapasitif WPT sistemi, daha az verimli olmasına rağmen, kurulum ve farklı mesafeler üzerinde işletim açısından daha büyük esneklik sunmaktadır.

Çizelge 5.1, endüktif ve kapasitif kablosuz arasındaki karşılaştırmayı göstermektedir

Çizelge 5.1 Endüktif ve kapasitif kablosuz arasındaki karşılaştırma

	VERİCİ GÜÇ TARAFI	ALICI GÜÇ TARAFI	VERİMLİK
Endüktif	13.6 kW	12.37 kW	91.17 %
Kapasitif	9.32 kW	8.36 kW	89.72 %



Şekil 4.18 Verici ve alıcı güç tarafları

Birçok çalışma, elektrikli araçlarda (EV'ler) kablosuz güç transferi (WPT) sistemlerinin verimliliğini ve sonuçlarını araştırmış, her biri alana benzersiz ilerlemeler katmıştır. Çizelge 5.2, bu çalışmaları önerilen çalışma ile karşılaştırarak, verimliliklerini ve temel bulgularını ayrıntılı bir şekilde analiz etmektedir.

Çizelge 5.2 Önerilen çalışma ile çeşitli çalışmaların karşılaştırması

YAZARLAR	VERİMLİLİK	SONUÇLAR
Mou <i>et al.</i> (2017)	90%	Enerji verimliliğini artırmak için uyarlanabilir tasarım, çeşitli EV modellerine uygun.
Rakouth <i>et al.</i> (2012)	83%	Verimlilik optimizasyon tekniklerinin ve mevcut teknoloji trendlerinin kapsamlı analizi.
Lu <i>et al.</i> (2018)	74.1%	Kapasitif güç transferine odaklanma, sabit şarj uygulamaları için yüksek verimlilik.
Throngnumchai <i>et al.</i> (2013)	90%	Yolda gömülü bobinlerle dinamik şarj sistemi, hareket halindeyken EV şarjı için uygun.
Önerilen Çalışma	91.1%	Uygulanan kablosuz güç transfer sistemi ile yüksek verimlilik elde edildi

Mou *et al.* (2017), enerji verimliliğini artıran ve çeşitli elektrikli araç (EV) modelleri için uygun olan uyarlanabilir bir tasarımla %90 verimlilik elde etmişlerdir. Çalışmaları, geniş bir araç yelpazesine hitap edebilen WPT sistemlerinde esneklik ve uyarlanabilirliğin önemini vurgulamaktadır. Benzer şekilde, Throngnumchai *et al.* (2013) de hareket halindeki EV'ler için yol gömülü bobinlere sahip dinamik şarj sistemlerinde %90 verimlilik bildirmişlerdir. Bu yenilikçi yaklaşım, sürüş sırasında sürekli güç transferi ihtiyacını karşılayarak dinamik şarj için pratik bir çözüm sunmaktadır.

Öte yandan, Rakouth *et al.* (2012), verimlilik optimizasyon teknikleri ve mevcut teknoloji trendlerinin kapsamlı bir analizine odaklanarak %83 verimlilik elde etmişlerdir. Çalışmaları, WPT teknolojisinin daha geniş kapsamına değerli içgörüler sunarak gelecekteki araştırma ve geliştirmeler için bir temel oluşturmaktadır. Lu *et al.* (2018), sabit şarj uygulamaları için kapasitif güç transferine özel bir odaklanma ile daha düşük bir verimlilik olan %74.1 rapor etmişlerdir. Çalışmaları, özellikle EV'lerin şarj sırasında sabit kaldığı senaryolar için kapasitif güç transferinin potansiyelini vurgulamaktadır.

Önerilen çalışma, %91.1 gibi etkileyici bir verimlilik elde ederek tüm önceki çalışmaları aşmaktadır. Bu yüksek verimlilik, WPT sistemi tasarımı ve uygulanmasında önemli iyileştirmeler göstermektedir. Önerilen çalışmanın sonuçları, teknik ilerlemelerin yanı sıra WPT sisteminin pratik uygulamasını da vurgulayarak kablosuz EV şarjında verimlilik için yeni bir kriter belirlemektedir.

Sonuç olarak, bu çalışmaların karşılaştırılması, EV'ler için WPT teknolojisinin sürekli evrimini ve optimizasyonunu vurgulamaktadır. Her çalışma, uyarlanabilir tasarımlar ve dinamik şarj çözümlerinden verimlilik optimizasyon teknikleri ve kapasitif güç transferine kadar WPT sistemlerinin çeşitli yönlerine daha derin bir anlayış katkısı sağlamaktadır. Önerilen çalışma, yüksek verimliliği ve başarılı uygulanmasıyla alanda önemli bir adım ileriye temsil etmekte olup, kablosuz EV şarjının geleceği için umut verici bir çözüm sunmaktadır.



5. SONUÇ VE ÖNERİLER

İki kablosuz güç transfer modeli olan indüktif ve kapasitif uygulamaları, mikro şebeke şarj istasyonlarının verimliliği ve güvenilirliği hakkında önemli bilgiler sunmaktadır. İndüktif kablosuz güç transfer (WPT) sistemi, özellikle kısa mesafe güç transfer senaryolarında yüksek verimlilik göstermektedir. Manyetik alanlar aracılığıyla etkili enerji transferi sağlayan indüktif model, sağlam ve tutarlı güç dağıtımı gerektiren uygulamalar için idealdir. Ancak, bu sistemin verimliliği, verici ve alıcı bobinler arasındaki mesafenin artmasıyla azalmaktadır, bu da bazı uygulamalarda sınırlamalara yol açabilir. Öte yandan, kapasitif WPT sistemi farklı özellikler sunmaktadır. Genellikle indüktif sistemden daha az verimli olmasına rağmen, kapasitif model daha geniş mesafe aralıklarında stabil performans göstermektedir. Elektrik alanlarından yararlanan bu model, fiziksel hizalamanın daha değişken olduğu senaryolarda avantaj sağlayabilir. Ancak, kapasitif WPT sistemleri, karşılaştırılabilir çıkış seviyelerine ulaşmak için daha yüksek giriş gücü gerektirebilir.

Farklı çalışma koşulları altında yapılan testlerimiz, her sistemin benzersiz avantajlarını ve sınırlamalarını açıkça ortaya koymaktadır. İndüktif WPT sisteminin verimliliği, bobinlerin hassas hizalanmasına ve yakın mesafede olmasına büyük ölçüde bağlıdır, bu durum onu statik veya yarı statik şarj istasyonları için ideal hale getirir. Öte yandan, kapasitif WPT sistemi daha az verimli olmasına rağmen çeşitli mesafelerde kurulum ve işletme açısından daha fazla esneklik sunmaktadır. Her iki WPT sistemi de PV paneller ve batarya depolama sistemleriyle entegre edildiğinde, elektrikli araçların şarj altyapısının sürdürülebilirliğini ve güvenilirliğini artırma potansiyeli göstermektedir. Mikro şebeke konfigürasyonu, enerji yönetimi ve depolamasını verimli bir şekilde sağlayarak, değişken çevresel koşullar altında sürekli güç kaynağı sağlamaktadır. İleri yönde yapılabilecek daha fazla araştırma, özellikle elektrikli araçların her zaman şarj istasyonları ile mükemmel şekilde hizalanmadığı dinamik ortamlarda her iki WPT modelinin verimliliğini optimize etmeye odaklanmalıdır. Ayrıca, hem indüktif hem de kapasitif unsurları birleştiren hibrit sistemlerin keşfi, her iki modelin güçlü yönlerinden yararlanan dengeli bir yaklaşım sağlayabilir.

KAYNAKLAR

- AbuElrub, A., Hamed, F., & Saadeh, O. 2020. Microgrid integrated electric vehicle charging algorithm with photovoltaic generation. *Journal of Energy Storage*, 32, 101858. <https://doi.org/10.1016/j.est.2020.101858>
- Ahmadi, L., Young, S. B., Fowler, M., Fraser, R. A., & Achachlouei, M. A. 2015. A cascaded life cycle: reuse of electric vehicle lithium-ion battery packs in energy storage systems. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 22(1): 111–124. <https://doi.org/10.1007/s11367-015-0959-7>
- Akhtar, Z., & Saqib, M. A. 2016. Microgrids formed by renewable energy integration into power grids pose electrical protection challenges. *Renewable Energy*, 99, 148–157. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2016.06.053>
- Alam, M. S., & Krishnamurthy, M. 2021. Electric vehicle integration in a smart microgrid environment. In CRC Press eBooks. Informa. <https://doi.org/10.1201/9780367423926>.
- Al-Buenain, A., Al-Muhannadi, S., Falamarzi, M., Kutty, A. A., Kucukvar, M., & Onat, N. C. 2021. The adoption of electric vehicles in qatar can contribute to net carbon emission reduction but requires strong government incentives. *Vehicles*, 3(3): 618–635. <https://doi.org/10.3390/vehicles3030037>
- Amjad, M., Farooq-i-Azam, M., Ni, Q., Dong, M., & Ansari, E. A. 2022. Wireless charging systems for electric vehicles. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 167, 112730. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112730>
- Bínová, H., Hykš, O., Hykšová, M., Neubergová, K., Kekula, F., & Sadil, J. 2021. Perspective of Clean Mobility in Road Freight Transport. *Transportation Research Procedia*, 53, 289–304. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2021.02.035>
- Choudhury, S. 2020. A comprehensive review on issues, investigations, control and protection trends, technical challenges and future directions for microgrid technology. *International Transactions on Electrical Energy Systems*. <https://doi.org/10.1002/2050-7038.12446>
- Chowdary, K. V. V. S. R., Kumar, K., Nayak, B., Kumar, A., & Bertoluzzo, M. 2023. Dynamic Wireless Charging Performance Enhancement for Electric Vehicles:

- Mutual Inductance, Power Transfer Capability, and Efficiency. *Vehicles*, 5(4): 1313–1327. <https://doi.org/10.3390/vehicles5040072>
- Clairand, J.-M., Guerra-Terán, P., Serrano-Guerrero, X., González-Rodríguez, M., & Escrivá-Escrivá, G. 2019. Electric vehicles for public transportation in power systems: A review of methodologies. *Energies*, 12(16): 3114. <https://doi.org/10.3390/en12163114>
- Detka, K., & Górecki, K. 2022. Wireless power transfer—a review. *Energies*, 15(19): 7236. <https://doi.org/10.3390/en15197236>
- Dimitriadou, K., Rigogiannis, N., Fountoukidis, S., Kotarela, F., Kyritsis, A., & Papanikolaou, N. 2023. Current trends in electric vehicle charging infrastructure; opportunities and challenges in wireless charging integration. *Energies*, 16(4): 2057. <https://doi.org/10.3390/en16042057>
- Du, J., Pei, M., Jia, B., & Wu, P. 2022. Optimal deployment of dynamic wireless charging lanes for electric vehicles considering the battery charging rate. *Journal of Advanced Transportation*, 2022. <https://doi.org/10.1155/2022/6428887>
- ElGhanam, E., Hassan, M., & Osman, A. 2021. Design of a high power, lcc-compensated, dynamic, wireless electric vehicle charging system with improved misalignment tolerance. *Energies*, 14(4): 885. <https://doi.org/10.3390/en14040885>
- ELPROCUS. 2020. Web sitesi. <https://www.elprocus.com/what-is-a-full-bridge-inverter-working-its-application/>. Erişim Tarihi: 24.05.2020.
- Faraday, M. 1839. I. experimental researches in electricity. Fifteenth series. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 129: 1–12. <https://doi.org/10.1098/rstl.1839.0002>
- Fayziyev, P. R., Ikromov, I. A., Abduraximov, A. A., & Dehqonov, Q. M. 2022. Timeline: History of the electric car, trends and the future developments. *Eurasian Research Bulletin*, 6. 2795-7365.
- Filho, A. V. M. L., Vasconcelos, A. S. M., Junior, W. de A. S., Dantas, N. K. L., Arcanjo, A. M. C., Souza, A. C. M., Fernandes, A. L., Zhang, K., Wu, K., Castro, J. F. C., de Medeiros, L. H. A., & Maciel, A. M. A. 2023. Impact analysis and energy quality of photovoltaic, electric vehicle and BESS lead-carbon recharge station in brazil. *Energies*, 16(5): 2397. <https://doi.org/10.3390/en16052397>

- García Vera, Y. E., Dufo-López, R., & Bernal-Agustín, J. L. 2019. Energy management in microgrids with renewable energy sources: A literature review. *Applied Sciences*, 9(18): 3854. <https://doi.org/10.3390/app9183854>
- Gibbins, J., Beaudet, A., Chalmers, H., & Lamperth, M. 2007. Electric vehicles for low-carbon transport. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Energy*, 160(4): 165–173. <https://doi.org/10.1680/ener.2007.160.4.165>
- Gilbert, A., & Barrett, J. 2012. *Wireless Charging: The Future of Electric Vehicles*. Springer EBooks, 49–56. https://doi.org/10.1007/978-3-642-29673-4_5
- Guo, Z., Li, T., Shi, B., & Zhang, H. 2022. Economic impacts and carbon emissions of electric vehicles roll-out towards 2025 goal of china: An integrated input-output and computable general equilibrium study. *Sustainable Production and Consumption*, 31, 165–174. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2022.02.009>
- Gutiérrez-Oliva, D., Colmenar-Santos, A., & Rosales-Asensio, E. 2022. A review of the state of the art of industrial microgrids based on renewable energy. *Electronics*, 11(7): 1002. <https://doi.org/10.3390/electronics11071002>
- Halvorson, B. 2021. Web sitesi. www.greencarreports.com. https://www.greencarreports.com/news/1130011_2021-porsche-panamera-plug-in-hybrids-get-more-electric-range-quicker-acceleration/. Erişim Tarihi: 26.05.2021.
- Hassan, A. S., Firrincieli, A., Marmaras, C., Cipcigan, L. M., & Pastorelli, M. A. 2014. Integration of electric vehicles in a microgrid with distributed generation. 2014 49th International Universities Power Engineering Conference (UPEC). <https://doi.org/10.1109/upec.2014.6934641>
- Hofmann, J., Guan, D., Chalvatzis, K., & Huo, H. 2016. Assessment of electrical vehicles as a successful driver for reducing CO₂ emissions in China. *Applied Energy*, 184, 995–1003. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.06.042>
- Huang, Y., Hasan Masrur, Ryuto Shigenobu, Ashraf Mohamed Hemeida, Mikhaylov, A. A., & Tomonobu Senjyu. 2021. A comparative design of a campus microgrid considering a multi-scenario and multi-objective approach. 14(11): 2853–2853. <https://doi.org/10.3390/en14112853>
- Idris, M., & Koestoer, R. H. 2023. Environmental life cycle assessment of conventional and electric vehicles: lessons learned from selected countries. *Journal of Innovation*

- Materials, Energy, and Sustainable Engineering, 1(1).
<https://doi.org/10.61511/jimese.v1i1.2023.27>
- IEA. 2023. Global EV outlook 2023 catching up with climate ambitions, IEA International Energy Agency, 142 page, Paris, France.
- Inamdar, S., Mohanty, R., Chen, P., Majumder, R., & Bongiorno, M. 2019. On benefits and challenges of nested microgrids.
<https://doi.org/10.1109/appeec45492.2019.8994363>
- Jamakani, B. E., Mosallanejad, A., Afjei, E., & Eshkevari, A. L. 2021. Investigation of triple quadrature pad for wireless power transfer system of electric vehicles. IET Electrical Systems in Transportation, 11(1): 58–68.
<https://doi.org/10.1049/els2.12008>
- Jasim, A. M., Jasim, B. H., Neagu, B.-C., & Attila, S. 2023. Electric vehicle battery-connected parallel distribution generators for intelligent demand management in smart microgrids. Energies, 16(6): 2570. <https://doi.org/10.3390/en16062570>
- Jasim, A. M., Jasim, B. H., Neagu, B.-C., & Attila, S. 2023. Electric vehicle battery-connected parallel distribution generators for intelligent demand management in smart microgrids. Energies, 16(6): 2570. <https://doi.org/10.3390/en16062570>
- JASON. 2023. Web sitesi. Midtronics. <https://www.midtronics.com/blog/dc-fast-charging-ev/>. Erişim Tarihi: 14.11.2023.
- Jirdehi, M. A., Tabar, V. S., Ghassemzadeh, S., & Tohidi, S. 2020. Different aspects of microgrid management: A comprehensive review. Journal of Energy Storage, 30, 101457. <https://doi.org/10.1016/j.est.2020.101457>
- Joseph, P. K., Devaraj, E., & Gopal, A. 2019. Overview of wireless charging and vehicle-to-grid integration of electric vehicles using renewable energy for sustainable transportation. IET Power Electronics, 12(4): 627–638. <https://doi.org/10.1049/iet-pel.2018.5127>
- Kapustina, L., & Izakova, N. 2023. Impact of Electric Vehicles on the Environment: Pros and Cons. E3S Web of Conferences, 451, 02003.
<https://doi.org/10.1051/e3sconf/202345102003>
- Karthikeyan, M. P., M. Mukesh, Karthikeyan, R., Jaiganesh, T. S., & R. Dilip. 2023. Smart Electric Vehicle Charging System Using RFID.
<https://doi.org/10.1109/rmkmate59243.2023.10369206>

- Kashani, S. A., Soleimani, A., Khosravi, A., & Mirsalim, M. 2023. State-of-the-Art research on wireless charging of electric vehicles using solar energy. *Energies*, 16(1): 282. <https://doi.org/10.3390/en16010282>
- Kirsch, D. A. 2000. *The electric vehicle and the burden of history*. Rutgers University Press, 291 pages, New Jersey, United States.
- Kisacikoglu, M. C., Ozpineci, B., & Tolbert, L. M. 2013. EV/PHEV Bidirectional Charger Assessment for V2G Reactive Power Operation. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 28(12): 5717–5727. <https://doi.org/10.1109/tpel.2013.2251007>
- Ko, S., & Shin, J. 2023. Projection of fuel cell electric vehicle demand reflecting the feedback effects between market conditions and market share affected by spatial factors. *Energy Policy*, 173, 113385. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2022.113385>
- Kumar, R. S., Raghav, L. P., Raju, D. K., & Singh, A. R. 2021. Intelligent demand side management for optimal energy scheduling of grid connected microgrids. *Applied Energy*, 285, 116435. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2021.116435>
- Kunjuramakurup, L., Sulthan, S. M., Ponparakkal, M. S., Raj, V., & Sathyajith, M. 2023. A high-power solar PV-FED TISO DC-DC converter for electric vehicle charging applications. *Energies*, 16(5): 2186. <https://doi.org/10.3390/en16052186>
- LAB, C. 2023. Web sitesi. <https://chargelab.co/blog/level-1-vs-level-2-vs-level-3-charging>. Erişim Tarihi: 17.03.2023.
- Liang, X., & Muhammad, A. 2018. Emerging wireless charging systems for electric vehicles - achieving high power transfer efficiency: A review. <https://doi.org/10.1109/ias.2018.8544484>
- Lu, F., Zhang, H., & Mi, C. 2018. A two-plate capacitive wireless power transfer system for electric vehicle charging applications. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 33(2): 964–969. <https://doi.org/10.1109/tpel.2017.2735365>
- Marín, P. F., & Perales, C. D. M. 2020. Environmental Aspects of the Electric Vehicle. *The Role of the Electric Vehicle in the Energy Transition*, 93–108. https://doi.org/10.1007/978-3-030-50633-9_6
- Mastoi, M. S., Zhuang, S., Munir, H. M., Haris, M., Hassan, M., Usman, M., Bukhari, S. S. H., & Ro, J.-S. 2022. An in-depth analysis of electric vehicle charging station infrastructure, policy implications, and future trends. *Energy Reports*, 8(2352-4847): 11504–11529.

- Mishra, S., Panda, S. K., & Choudhury, B. K. 2015. Electric vehicle. AccessScience. <https://doi.org/10.1036/1097-8542.757490>
- Mohamed, A., Shaier, A. A., Metwally, H., & Selem, S. I. 2023. Wireless charging technologies for electric vehicles: Inductive, capacitive, and magnetic gear. *Iet Power Electronics*. <https://doi.org/10.1049/pel2.12624>
- MOMIDI, K. 2019. Web sitesi. <https://circuitdigest.com/article/wireless-electric-vehicle-charging-systems>. Erişim Tarihi: 29.04.2019.
- Mou, X., Groling, O., & Sun, H. 2017. Energy-efficient and adaptive design for wireless power transfer in electric vehicles. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 64(9): 7250–7260. <https://doi.org/10.1109/tie.2017.2686299>
- Mpoi, G., Milioti, C., & Mitropoulos, L. 2023. Factors and incentives that affect electric vehicle adoption in Greece. *International Journal of Transportation Science and Technology*. <https://doi.org/10.1016/j.ijtst.2023.01.002>
- Nęcka, K., & Knaga, J. 2021. Environmental impact assessment for electric vehicles. *Journal of Physics: Conference Series*, 1782(1): 012023. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1782/1/012023>
- Nguyen, D. M., Kishk, M. A., & Alouini, M.-S. 2024. Dynamic charging as a complementary approach in modern EV charging infrastructure. *Scientific Reports*, 14(1): 5785. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-55863-3>
- Nunna, H. S. V. S. K., Battula, S., Doolla, S., & Srinivasan, D. 2018. Energy Management in Smart Distribution Systems with Vehicle-to-Grid Integrated Microgrids. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 9(5): 4004–4016. <https://doi.org/10.1109/tsg.2016.2646779>
- Palani, G., Sengamalai, U., Vishnuram, P., & Nastasi, B. 2023. Challenges and barriers of wireless charging technologies for electric vehicles. *Energies*, 16(5): 2138. <https://doi.org/10.3390/en16052138>
- Panchal, C., Stegen, S., & Lu, J. 2018. Review of static and dynamic wireless electric vehicle charging system. *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 21(5): 922–937. <https://doi.org/10.1016/j.jestch.2018.06.015>
- Park, M., Nguyen, V. T., Yu, S.-D., Yim, S.-W., Park, K., Min, B. D., Kim, S.-D., & Cho, J. G. 2016. A study of wireless power transfer topologies for 3.3 kW and 6.6 kW

- electric vehicle charging infrastructure. IEEE Xplore. <https://doi.org/10.1109/ITEC-AP.2016.7513041>
- Pruckner, M., & German, R. 2016. The impact of electric vehicles on the german energy system, In: 49th Annual Simulation Symposium. <https://doi.org/10.22360/springsim.2016.anss.063>
- Pullins, S. 2019. Why microgrids are becoming an important part of the energy infrastructure. The Electricity Journal, 32(5): 17–21. <https://doi.org/10.1016/j.tej.2019.05.003>
- Rahbar, K., Chai, C. C., & Zhang, R. 2018. Energy cooperation optimization in microgrids with renewable energy integration. IEEE Transactions on Smart Grid, 9(2): 1482–1493. <https://doi.org/10.1109/tsg.2016.2600863>
- Rakouth, H., 2012. EV charging through wireless power transfer: Analysis of efficiency optimization and technology trends. In Lecture Notes in Electrical Engineering (pp. 871–884). https://doi.org/10.1007/978-3-642-33741-3_14
- Reddy, D. C., Satyanarayana, S., & Ganesh, V. 2018. Design of hybrid solar wind energy system in a microgrid with MPPT techniques. International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE), 8(2): 730. <https://doi.org/10.11591/ijece.v8i2.pp730-740>
- Sen, S., & Kumar, V. 2018. Microgrid modelling: A comprehensive survey. Annual Reviews in Control, 46, 216–250. <https://doi.org/10.1016/j.arcontrol.2018.10.010>
- Shahgholian, G. 2021. A brief review on microgrids: Operation, applications, modeling, and control. International Transactions on Electrical Energy Systems, 31(6). <https://doi.org/10.1002/2050-7038.12885>
- Shahzad, S., Abbasi, M. A., Ali, H., Iqbal, M., Munir, R., & Kilic, H. 2023. Possibilities, challenges, and future opportunities of microgrids: A review. Sustainability, 15(8): 6366. <https://doi.org/10.3390/su15086366>
- Sharma, I., & Chandel, M. K. 2020. Will electric vehicles (EVs) be less polluting than conventional automobiles under Indian city conditions? Case Studies on Transport Policy. <https://doi.org/10.1016/j.cstp.2020.10.014>
- Shi, L., Wu, R., & Lin, B. 2023. Where will go for electric vehicles in China after the government subsidy incentives are abolished? A controversial consumer perspective. Energy, 262, 125423. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.125423>

- Sikandar, M. S., Darwish, M., & Marouchos, C. 2022. Review of wireless charging of EV. 2022 57th International Universities Power Engineering Conference (UPEC). <https://doi.org/10.1109/upec55022.2022.9917793>
- SOLARHUB. 2024. Web sitesi. www.solarhub.com. <https://www.solarhub.com/product-catalog/pv-modules/3318-A10J-M60-230-A10Green-Technology>. Erişim Tarihi: 02.04.2024.
- STAFF, E. 2021. Web sitesi. <https://www.electricmotorengineering.com/power-electronics-renault-strategic-partnership/>. Erişim Tarihi: 07.07.2021.
- Tatiane Silva Costa, Ayrlw M. C. Arcanjo, Vasconcelos, A., Silva, W., Azevedo, C., Pereira, A. C., Jatobá, E., José Bione Filho, Barreto, E., Marcelo Gradella Villalva, & Paulo. 2023. Development of a Method for Sizing a Hybrid Battery Energy Storage System for Application in AC Microgrid. 16(3): 1175–1175. <https://doi.org/10.3390/en16031175>
- Throngnumchai, K., Hanamura, A., Naruse, Y., & Takeda, K. 2013. Design and evaluation of a wireless power transfer system with road embedded transmitter coils for dynamic charging of electric vehicles. *World Electric Vehicle Journal*, 6(4): 848–857. <https://doi.org/10.3390/wevj6040848>
- Tran, D. H., Vu, V. B., & Choi, W. 2018. Design of a High-Efficiency Wireless Power Transfer System with Intermediate Coils for the On-Board Chargers of Electric Vehicles. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 33(1): 175–187. <https://doi.org/10.1109/tpel.2017.2662067>
- Trung, N. K., & Diep, N. T. 2021. A makimum transfer efficiency tracking method for dynamic wireless charging systems of electric vehicles. *Journal of Electrical and Computer Engineering*, 2021, 1–10. <https://doi.org/10.1155/2021/5562125>
- Ustun, T. S., Ozansoy, C., & Zayegh, A. 2011. Recent developments in microgrids and example cases around the world—A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(8): 4030–4041. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.07.033>
- Vishnu, G., Kaliyaperumal, D., Jayaprakash, R., Karthick, A., Kumar Chinnaiyan, V., & Ghosh, A. 2023. Review of Challenges and Opportunities in the Integration of Electric Vehicles to the Grid. *World Electric Vehicle Journal*, 14(9): 259. <https://doi.org/10.3390/wevj14090259>

- Vishnuram, P., P., S., R., N., K., V., & Nastasi, B. 2023. Wireless chargers for electric vehicle: A systematic review on converter topologies, environmental assessment, and review policy. *Energies*, 16(4): 1731. <https://doi.org/10.3390/en16041731>
- Vishnuram, P., P., S., R., N., K., V., & Nastasi, B. 2023. Wireless chargers for electric vehicle: A systematic review on converter topologies, environmental assessment, and review policy. *Energies*, 16(4): 1731. <https://doi.org/10.3390/en16041731>
- Wang, Q., Wang, C., Li, X., & Gao, T. 2023. Cascade active balance charging of electric vehicle power battery based on model prediction control. *Energies*, 16(5): 2287. <https://doi.org/10.3390/en16052287>
- Warneryd, M., Håkansson, M., & Karltorp, K. 2020. Unpacking the complexity of community microgrids: A review of institutions' roles for development of microgrids. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 121, 109690. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109690>
- WOOD, C. 2020. Web sitesi. <https://www.cnbc.com/2020/06/08/researchers-work-on-the-next-generation-of-wireless-charging-for-evs.html>. Erişim tarihi: 08.06.2020.
- Wu, Z., Bhat, P. K., & Chen, B. 2023. Optimal configuration of extreme fast charging stations integrated with energy storage system and photovoltaic panels in distribution networks. *Energies*, 16(5): 2385. <https://doi.org/10.3390/en16052385>
- Xia, X., & Li, P. 2022. A review of the life cycle assessment of electric vehicles: Considering the influence of batteries. *Science of the Total Environment*, 814, 152870. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.152870>
- Yang, A., Liu, C., Yang, D., & Lu, C. 2023. Electric vehicle adoption in a mature market: A case study of Norway. *Journal of Transport Geography*, 106, 103489. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2022.103489>
- YENİÇERİ, G. 2019. Web sitesi. <https://www.havatopraksu.org/blog/2019/07/18/mikro-enerji-sebekeleri-ve-permakultur/>. Erişim Tarihi: 18.07.2019.
- Zhang, J., Jia, R., Yang, H., & Dong, K. 2022. Does electric vehicle promotion in the public sector contribute to urban transport carbon emissions reduction? *Transport Policy*, 125, 151–163. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2022.06.002>
- Zhang, R., & Hanaoka, T. 2021. Deployment of electric vehicles in china to meet the carbon neutral target by 2060: Provincial disparities in energy systems, CO²

- emissions, and cost effectiveness. *Resources, Conservation and Recycling*, 170, 105622. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105622>
- Zhao, B., Chen, J., Zhang, L., Zhang, X., Qin, R., & Lin, X. 2018. Three representative island microgrids in the east china sea: Key technologies and experiences. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 96: 262–274. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.07.051>
- Zhao, X., Lin, J., & Li, H. 2017. Privacy-Preserving billing scheme against free-riders for wireless charging electric vehicles. *Mobile Information Systems*, 2017: 1–9.

