



T.C.
NECMETTİN ERBAKAN
ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



ELEKTRİKLİ ARAÇLAR İÇİN ŞARJ
SİSTEMİNİN TASARIMI

Nurettin YİLMAZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Mayıs-2024
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Nurettin YILMAZ tarafından hazırlanan “Elektrikli Araçlar İçin Şarj Sisteminin Tasarımı” adlı tez çalışması 14/05/2024 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan

Prof.Dr.Bayram AKDEMİR

Danışman

Doç.Dr. Mümtaz MUTLUER

Üye

Doç.Dr.Muhammed Fahri ÜNLERŞEN

İmza

.....

.....

.....

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun/.../2024 gün ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Şerife Yurdagül KUMCU
FBE Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

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

DECLARATION PAGE

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

İmza

Nurettin YILMAZ

Tarih: 14.05.2024

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ELEKTRİKLİ ARAÇLAR İÇİN ŞARJ SİSTEMİNİN TASARIMI

Nurettin YILMAZ

Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç.Dr. Mümtaz MUTLUER

2024, 43 Sayfa

Jüri

Doç.Dr. Mümtaz MUTLUER

Prof.Dr.Bayram AKDEMİR

Doç.Dr.Muhammed Fahri ÜNLERŞEN

Fosil yakıtların azalması, petrol fiyatlarının yükselmesi ve çevresel kirlilik endişeleri, modern araç teknolojilerine yönelik ilgiyi, özellikle çevre dostu elektrikli ulaşım araçlarına yönlendirmektedir. Günümüzde, çeşitli elektrikli araç türleri mevcuttur, bunlar arasında hibrit, şarj edilebilir hibrit ve tamamen elektrikli modeller bulunmaktadır, bu da tüketicilere geniş bir seçenek yelpazesi sunmaktadır. Özellikle dışarıdan şarj edilebilen elektrikli araçlar konusundaki araştırmalar önem kazanmıştır ve önümüzdeki dönemde bu araçların geniş çapta benimsenmesi öngörülmektedir. Ancak, büyük miktardaki elektrikli aracın şarj ihtiyacının karşılanması, şarj esnasında elektrik şebekesine potansiyel etkilerin araştırılması ve olası sorunlara önceden çözüm üretilmesi kritik bir gerekliliktir. Bu bağlamda, tez çalışması, darbe genişliği modülasyonu (PWM) kontrolü, PI kontrolü ve enerji depolama sistemleri entegrasyonu gibi çeşitli yöntemler, enerji sistemlerinin sorunsuz kullanımını sağlamak için özel tasarımları içermektedir. Enerji miktarının ve zamanının sürekli değişken olduğu bir durumda, şebekenin ve elektrikli araç (EA) kullanıcılarının sorunsuz bir şekilde şarj istasyonlarından faydalanabilmesi için akıllı bir şarj yönetim sistemine duyulan ihtiyaç önemlidir. Bu çalışmada önerilen Akıllı Şarj Sistemi, EA kullanıcılarının şebekeden güvenli bir şekilde enerji almasını, enerji kalitesinin korunmasını, pik yüklerin kontrol altında tutulmasını ve enerji sağlayıcılarının minimum etkilenmesini amaçlamaktadır. Bu çalışmada akıllı şarj sistemi tasarlanarak sonuçlar analiz edilmiş ve çözüm önerileri sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Akıllı Şarj, Elektrikli Araç, Şarj Altyapısı, Şarj İstasyonları, Şarj İstasyonu Verimlilik, Şebeke Uyumu ve Güvenlik

ABSTRACT

MS THESIS

DESING OF CHARGING SYSTEM FOR ELECTRIC VEHICLES

Nurettin YILMAZ

**THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF
NECMETTİN ERBAKAN UNIVERSITY THE DEGREE OF MASTER OF
SCIENCE IN ELECTRICAL-ELECTRONICS ENGINEERING**

**Advisor: Doç.Dr. Mümtaz MUTLUER
2024, 43 Pages**

**Jury
Doç.Dr. Mümtaz MUTLUER
Prof.Dr.Bayram AKDEMİR
Doç.Dr.Muhammed Fahri ÜNLERŞEN**

The development of fossil fuels, the increase in oil prices and density concerns, and the interest in modern vehicle technologies, especially environmentally friendly electric transportation vehicles. Today, there are various electric vehicle models such as hybrid, fully electric and plug-in hybrid, which offer a wide range of personalized options. In particular, the importance of changing electric vehicles that can be charged externally will be gained and the widespread use of these vehicles in the future will be ensured. However, meeting the charging consumption of large amounts of electric vehicles, parts of the potential impacts on the electrical grid during charging, and the solution processes of possible products are a critical requirement. In this context, various modules such as thesis work, PWM control, PI control and energy storage systems solutions include special designs to achieve perfect energy consumption. In a situation where the amount and time of energy are constantly changing, the need for an intelligent charging management system package is important so that the grid and electric vehicle (EV) users can benefit from charging stations without any problems. The proposed Smart Charging System enables EV users to safely save energy from the grid, protect energy zones, keep peak loads under control and minimum energy of energy providers. In the thesis, a smart charging system was designed, the results were analyzed and solution suggestions were presented.

Keywords: Smart Charging, Electric Vehicle, Charging Stations, Charging Infrastructure, Charging Station Efficiency, Grid Compatibility and Security

ÖNSÖZ

Bu çalışma kapsamında desteklerini benden esirgemeyen ve teşekkürü birer borç bildiğim insanlar söz konusudur. Öncelikle; bu çalışmanın konu seçiminden, kullanılacak program seçim sürecine kadar ve tezimin hemen her aşamasında, sahip olduğu bütün birikimleri ve deneyimlerini benimle paylaşarak bana destek olan tez danışmanım ve hocam Doç.Dr.Mümtaz MUTLUER'e sonsuz şükranlarımı sunarım. Bugünlere gelmemde en önemli pay sahipleri olan annem Nezaket YILMAZ'a ve babam Mustafa YILMAZ'a saygı, sevgi ve minnet duygularıyla esenlikler dilerim.

Nurettin YILMAZ
KONYA-2024



İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
ÇİZELGELER LİSTESİ	ix
ŞEKİLLER LİSTESİ	x
KISALTMALAR	xi
1. GİRİŞ	1
1.1. Literatür Özeti.....	1
1.2. Tezin Amacı.....	2
2. YAKIT TÜRÜ OLARAK ELEKTRİK ENERJİSİNİN OTOMOBİLDE KULLANIMI	4
2.1. Otomobillerde Yakıt Türleri ve Özellikleri	4
2.1.1. Motorin ile çalışan otomobiller.....	4
2.1.2. Likit petrol gazı ile çalışan otomobiller	4
2.1.3. Benzin ile çalışan otomobiller	4
2.1.4. Elektrik ile çalışan otomobiller.....	5
2.1.5. Hibrit otomobiller	5
2.2. Elektrikli Araçlar	6
2.2.1. Tamamen elektrikli otomobiller	7
2.2.2. Hibrit elektrikli otomobiller (HEV).....	7
2.2.3. Hafif hibrit elektrikli otomobiller (MHEV).....	8
2.2.4. Plug-in hibrit elektrikli otomobiller (PHEV).....	8
2.2.5. Yakıt hücreli elektrikli otomobiller (YHEO).....	9
2.3. Elektrikli Araçların Tarihi ve Gelişimi	9
3. ELEKTRİKLİ ARAÇ ŞARJ YÖNTEMLERİ.....	12
3.1. Elektrikli Araç Şarj Altyapısı ve Elektrik Şebekesi.....	12
3.1.1. Şarj bileşenleri	12
3.1.2. Şarj seviyeleri	13
3.1.3. Elektrikli araçların şebeke üzerine etkileri	14
3.2. Temaslı (Kablolu Şarj).....	15
3.2.1. Şarj modları.....	18
3.2.2. Şarj verimliliği	22
3.3. Temasız (Kablosuz) Şarj	23

3.3.1. Kablosuz şarj iletişimi	24
4. AKILLI ŞARJ YÖNETİMİ.....	26
4.1. Sistem Mimarisi.....	26
4.2. Elektrikli Araç Batarya Şarj İstasyonu Devre Topolojisi	27
4.3. Akıllı Şarj İstasyonu Kontrol Sistemi.....	29
4.4. Çıkış Voltajı ve Giriş Voltajı PI Kontrol	29
4.5. Batarya Voltajı ve Akımı PI Kontrol	30
5. BULGULAR.....	32
5.1. Simülasyon Çıktıları	32
5.2. Farklı Değerdeki DC Çıkış ve Batarya Çıkışı	34
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	36
6.1. Sonuçlar	36
6.2. Öneriler	37
KAYNAKLAR	39

ÇİZELGELER LİSTESİ

Çizelge 2.1. Ülkelerin gelecek projeksiyonları	10
Çizelge 3.1. Elektrikli araçların şebeke üzerine etkileri konusunda çalışma alanları	14
Çizelge 3.2. CHAdeMO standardı (Bayram B. , 2019).....	18
Çizelge 3.3. Elektrikli araç şarj seviyeleri	19



ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Elektrikli araç şarj halinde (Şenlik, 2015).....	5
Şekil 2.2. Kaynaktan hareket enerjisine dönüşüm adımları (Boyalı, 2008).	6
Şekil 2.3. Elektrikli araç temel diyagramı (Altun, 2012).	7
Şekil 2.4. Hibrit araç blok diyagramı (Özcan, 2015).....	8
Şekil 2.5. Geçmişten günümüze elektrikli araçlar.....	10
Şekil 3.1. Şarj bileşenleri (Korkmaz, 2013).	12
Şekil 3.2. Araçların bulundukları konuma göre ortalama park süreleri (Robert, 1981). 14	
Şekil 3.4. Type 1 (J1772).....	16
Şekil 3.5. Temaslı (kablolu) şarj basit gösterimi	17
Şekil 3.6. Mod 1 şarj modu gösterimi	20
Şekil 3.7. Orta hızlı şarj (Seviye/Mod 2) gösterimi.....	20
Şekil 3.8. Mod 3 şarj modu gösterimi	21
Şekil 3.9. Mod 4 şarj modu gösterimi	22
Şekil 3.12. Temassız Şarj	24
Şekil 4.1. Sistem mimarisi diyagramı.....	26
Şekil 4.2. Devre topolojisi blok diyagramı.....	27
Şekil 4.3. Batarya voltajı ve akımı ekranı	28
Şekil 4.4. Lineer transformatör parametre değerleri.....	29
Şekil 4.5. Çıkış voltajı giriş voltajı kontrolü	30
Şekil 4.6. Batarya voltajı ve akımı kontrolü	30
Şekil 5.1. AC giriş akımı	32
Şekil 5.2. AC giriş voltajı	32
Şekil 5.3. Rectifier (doğrultmuş) olan giriş voltajı	33
Şekil 5.4. Çıkış voltajı grafiği.....	33
Şekil 5.5. Batarya voltaj grafiği.....	33
Şekil 5.6. Farklı değerlerdeki voltaj çıkışı.....	34
Şekil 5.7. Farklı değerlerdeki AC akım çıkışı	34
Şekil 5.8. Batarya ve akım çıkışı	34

KISALTMALAR

AC	: Alternatif Akım
DC	: Doğru Akım
EA	: Elektrikli Araç
EMF	: Elektromotor Kuvveti
HEV	: Hibrit Elektrikli Otomobiller
IPT	: Endüktif Güç Transferi
LPG	: Likit Petrol Gazı
MHEV	: Hafif Hibrit Elektrikli Otomobiller
PHEV	: Plug-in Hibrit Elektrikli Otomobiller
SUV	: Sportif Çok Amaçlı Araç
PWM	: Darbe Genişliği Modülasyonu
YHEO	: Yakıt Hücreli Elektrikli Otomobiller

1. GİRİŞ

1.1. Literatür Özeti

Çevresel kirlilikteki artış ve hızla tükenen fosil yakıtlar, araştırmacıları farklı konu ve sektörlerde çalışmaya yönlendiren önemli bir etken haline gelmiştir. Bu bağlamda, ulaştırma sektörü bu çalışma alanlarının başında gelmektedir (Babal, 2010). Dünya petrolünün CO₂ salınımının yaklaşık %65'i küresel, %25,5'i ulaştırma sektöründe kullanılan petrol kaynaklıdır (Kempton ve Tomić, 2005). Ulaştırma sektörü içinde özellikle karayolu taşımacılığı, tüm CO₂ salınımının %16'sını tek başına üretmektedir. Bu gerçekler, konvansiyonel araç teknolojilerine alternatif çözüm arayışlarını hızlandırmıştır. Alternatif taşımacılık çözümleri, çevresel etkileri azaltma ve enerji sürdürülebilirliği sağlama amacıyla giderek daha fazla önem kazanmaktadır.

Günümüzde, otomotiv endüstrisi çeşitli çevresel ve enerji verimliliği konularına odaklanarak farklı araç konseptleri üzerinde araştırmalar yapmaktadır (Thiel vd., 2010). Hidrojenli araçların ticari pazarlarda görülmesi muhtemelen 2030'lu yılları bulurken, hibrit ve elektrikli araçlar mevcut olarak daha uygulanabilir çözümler olarak öne çıkmaktadır. EA'lar üzerine dünya genelinde birçok araştırma merkezi, otomobil üreticisi ve üniversite çeşitli çalışmalar yürütmektedir. Bunun yanında EA'ların yaygınlaştırılmasını engelleyen bazı zorluklar vardır (Doucette ve McCulloch, 2011). EA'ların kısa batarya şarj süreleri, geniş kapsamlı şarj altyapısı, yüksek enerji yoğunluğuna sahip bataryalar ve yüksek batarya fiyatları. Geleneksel araçlara ilişkin yapılan çalışmalarda, genellikle sürüş güvenliği, konfor, yakıt tasarrufu ve motor verimliliğinin geliştirilmesi üzerine odaklanmaktadır. (Singh vd., 2012) . EA'lar ile ilgili çalışmalarda ise benzer konular üzerinde çalışılmakla birlikte, önemli bir fark ortaya çıkmaktadır. Bu fark, EA'ların şarj ihtiyacını karşılarken elektrik şebekesine olan etkisine ve bu etkilerin nasıl giderilebileceğidir. EA'ların geniş çapta benimsenmesi durumunda, şebekeye eklenen yükün yönetilmesi, şarj altyapısının güçlendirilmesi ve enerji talebinin dengelenmesi gibi önemli konular, EA teknolojisinin sürdürülebilir entegrasyonunu sağlamak adına ele alınmalıdır. Bu, sadece araç performansı değil, aynı zamanda enerji altyapısının sağlamlığı açısından da kritik bir öneme sahiptir (Gómez vd., 2003). Günümüzde EA'lar üzerine yapılan araştırmalar, çeşitli alanlarda geniş bir yelpazede devam etmektedir. EA'ların sadece araç performansı ile sınırlı olmayan çalışmalara örnek olarak, elektrik şebekesiyle çift yönlü enerji alışverişi yapılmasını içeren araştırmalar göze çarpmaktadır (Altun, 2012). Bu yaklaşım, EA'ların sadece

enerji tüketen değil aynı zamanda enerji kaynağı olarak da işlev görmelerini hedefler. EA'ların şebekeye bu şekilde entegrasyonu, enerji dengesini ve sürdürülebilirliği artırabilir. Ancak, EA'ların dağıtım sistemine olan etkileri de önemli bir araştırma konusudur (Şahin ve Kılınç, 2022). Özellikle büyük binek araçlarda kullanılan ortalama 16-24 kWh bataryalar, dağıtım şebekelerine aşırı yüklenme ve gerilim dalgalanmalarına neden olma potansiyeline sahiptir (Güneş vd., 2018). Bu nedenle, EA'ların dağıtım sistemi üzerindeki etkilerini anlamak ve yönetmek, sürdürülebilir bir enerji altyapısı için kritik öneme sahiptir (Sarıkurt ve Balıkcı, 2017). Ayrıca, enerji kalitesi açısından dağıtım sistemine olan etkilerin detaylı bir şekilde incelendiği çalışmalar da yaygındır. İncelenen çalışmalar genellikle benzer bir yapıya sahiptir; ancak, bu yüksek lisans tezi kullanıcıların güvenliğini sağlayarak beklentilerini karşılayacak bir akıllı şarj sistemi üzerine odaklanmaktadır. Araştırmanın amacı, akıllı şarj sistemlerinin güvenlik ve verimlilik açısından optimize edilmesine yönelik kapsamlı bir çerçeve sunmaktır. Bu şekilde, literatüre bakış açısı kazandırarak, endüstriye ve akademik katkı sağlanması amaçlanmaktadır.

1.2. Tezin Amacı

Günümüzde EA'lar alanında yoğun çalışmalar yürütülmektedir. Bu çalışmalar; özellikle araç teknolojileri, batarya teknolojileri ve şebeke üzerine odaklanmaktadır. Araç teknolojileri, güç elektroniği elemanları ve motorlar gibi unsurları içerirken batarya teknolojileri boyut, kimyasal yapısı ve enerji/güç yoğunluğu gibi önemli konuları kapsamaktadır. Şebeke teknolojileri çerçevesinde ise şarj altyapısı planlaması ve akıllı şarj sistemi gibi alanlar önemli araştırma alanları olarak öne çıkmaktadır. Bu konularla ilgili birçok literatür çalışması bulunmaktadır. Yapılan çalışmalara bakıldığında; araç teknolojilerinin, araç şarj istasyonlarının içerdiği akıllı şarj sistemi ile ilgili çalışmalarda verilen tasarım örneklerinin oldukça az olduğu gözlemlenmiş olup ihtiyaca yönelik geliştirmeye açık bir konu olduğundan, EA'lar için akıllı şarj sisteminin bütünsel bir şekilde geliştirildiği bir araştırmaya odaklanılmıştır. Bu çalışma, içerisinde çeşitli yenilikleri barındırmakta olup EA akıllı şarj sistemi tasarlamayı hedeflemiştir. Oluşturulan sistem tasarımı, elektrik şebeke sisteminin ve kullanıcı beklentilerinin bir arada değerlendirildiği çok amaçlı ve çok kriterli bir yapı sunmaktadır. Esnekliği sayesinde farklı amaçlara rahatlıkla uyum sağlayabilen tasarım, ekonomiktir ve teknik analize uygun bir yapıdadır. EA şarj sistemi, talebe göre en uygun enerjiyi etkin bir şekilde kullanarak şebekenin aşırı yüklenmesini önleyecek bir tasarıma sahiptir. Bu

Çalışma kapsamında akıllı şarj sisteminin oluşturulması hususu araştırılarak EA kullanıcılarına çözüm önerisi sunulmuş; tasarımcılara ise verimlilik, performans ve güvenlik ile ilgili çıkarımlarda bulunarak gerekli konularda iyileştirmeye gidilebileceğini göstererek literatüre katkı sağlamayı amaçlamıştır.



2. YAKIT TÜRÜ OLARAK ELEKTRİK ENERJİSİNİN OTOMOBİLDE KULLANIMI

2.1. Otomobillerde Yakıt Türleri ve Özellikleri

Dünyada otomobillerde aktif olarak kullanılan dört farklı yakıt türü vardır. Bunlar; motorin, likit petrol gazı (LPG), benzin ve elektriktir. Bu yakıt türlerinin bazı avantajları ve dezavantajları vardır.

2.1.1. Motorin ile çalışan otomobiller

Ülkemizde en sık kullanılan yakıt türü motorindir. Bu yakıt türünü kullanan otomobillere dizel araçlar denmektedir. Otomobillerde motorin diğer yakıtlardan farklı olarak basınç ile yakılmaktadır. Bu basınç ile motorda oluşan potansiyel enerji otomobilde kinetik enerjiye dönüşerek aracın hareket etmesini sağlamaktadır (Özenir ve Nakıboğlu, 2021). Yakıt tüketimi diğer sıvı yakıtlara göre daha düşüktür ve maliyeti daha ucuzdur. Yüksek tork üretmeleri sebebi ile sportif çok amaçlı araçlarda (SUV) sıklıkla kullanılmaktadır.

2.1.2. Likit petrol gazı ile çalışan otomobiller

Kendinden LPG'li araçların sayısı ülkemizde oldukça azdır. Genellikle otomobillere sonradan ekleme yapılmaktadır. Benzin fiyatlarının yüksek olması sebebiyle benzinli araçlara ekleme yapılarak yakıtta tasarruf sağlamaktadır (Karayaman, 2014). LPG'li araçlar doğa için diğer akaryakıtlara göre daha çevrecidirler. Karbon salınımı minimum düzeyde olmaktadır. Benzin ve motorine göre çok daha ucuzdur.

2.1.3. Benzin ile çalışan otomobiller

Ülkemizde en sık kullanılan üçüncü yakıt türü benzindir. Benzin sıvı yakıtlar arasında yer alır ve hızlı tutuşabilme özelliğine sahiptir. Diğer yakıt türlerini kullanan motorlara göre benzinle çalışan motorlar daha sessizdir. Piyasada benzinle çalışan otomobillerin parçalarını bulması daha kolaydır. Benzinle çalışan araçların motorlarının bakımı kolaydır (Tarlak, 2018). Benzinle çalışan otomobillerin fiyatları diğer yakıt türlerini kullanan otomobillere göre daha ucuzdur. Sıvı olarak yakıtlar arasında tutuşma özelliği güçlü olduğu için otomobil kullanıcısının isteklerine daha hızlı karşılık verir fakat yakıt tüketimi de bu yüzden artmaktadır. Benzinle çalışan otomobiller düşük torka

sahiptirler bu yüzden yük taşıma konusunda sorun çıkarma ihtimalleri yüksektir (Özdeş vd., 2020).

2.1.4. Elektrik ile çalışan otomobiller



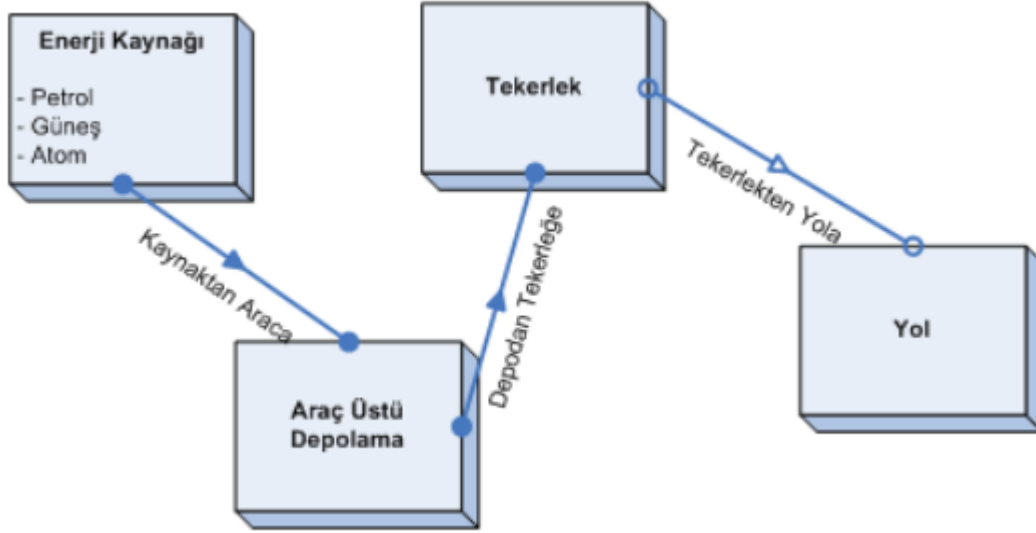
Şekil 2.1. Elektrikli araç şarj halinde (Şenlik, 2015).

Elektrik motorlarında parça sayısı azdır, bu sebepten kayıp minimum düzeydedir. Kullanıcın tepkilerine daha hızlı yanıt vermektedir. Elektrik ile çalışan otomobillerin bakım ücretleri daha ucuzdur. Elektrik motorlarında yakıt yanması olmadığından en sesiz motora sahiptirler (Kalender, 2019).

2.1.5. Hibrit otomobiller

Ülkemizde hibrit otomobiller genellikle benzin ve elektriği kullanır. Bu otomobillerde iki farklı motor bulunmaktadır. Genellikle düşük süratlerde araç elektrik motorundaki enerjiyi kullanırken yüksek süratlerde ise benzin ile çalışan motor devreye girmektedir. Hibrit araçların bataryaları otomobilin dönüşü ve frenlemelerde açığa çıkan enerji ile şarj olmaktadır. Bu durum elektrikli araçlardan farklı olarak harici bir şarj gerektirmez. Bazı hibrit otomobillerde bu durum farklılık gösterebilmektedir. Dışarıdan

kablo ile şarj edilebilme imkanı sunan hibrit otomobillerde günümüzde kullanılmaktadır. Hibrit otomobillerde, yakıt tüketimi benzin ve motorin kullanan otomobillere göre daha maliyetli ve tasarrufludur. Elektrikli araçlardan sonra en sessiz çalışan otomobil türüdür.

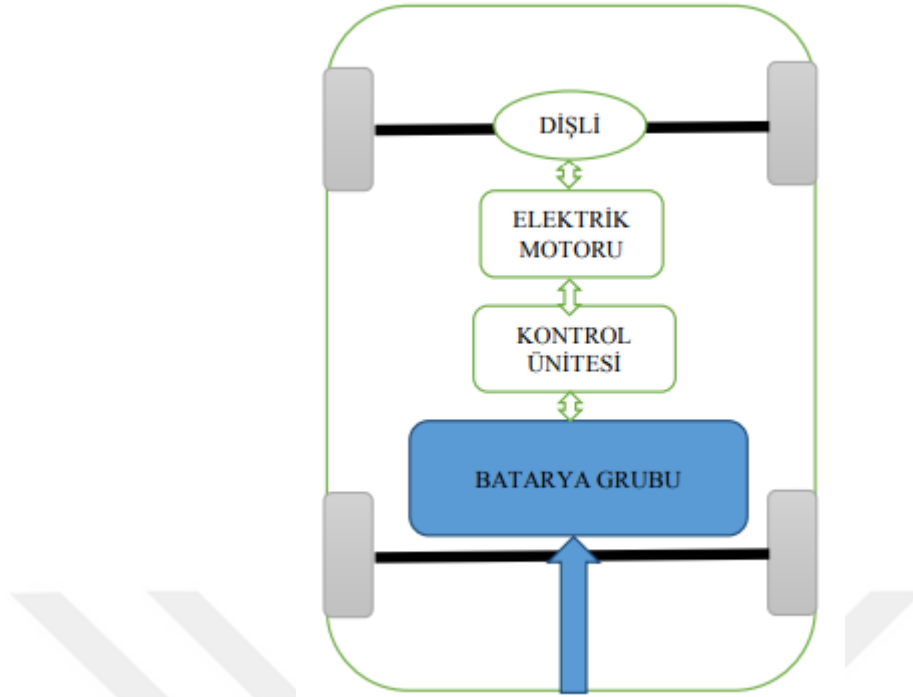


Şekil 2.2. Kaynaktan hareket enerjisine dönüşüm adımları (Boyalı, 2008).

Açıklamalardan da anlaşıldığı üzere yakıt türlerinin avantajları ve dezavantajları bulunur. Bunların içinde yüksek performans, düşük yakıt tüketimi, basit kullanım ve ucuz maliyet gibi özellikler bulunmaktadır (Duman ve Dağ, 2013). Otomobil kullanıcısının isteğine, yaşadığı bölgeye, yaşam tarzına ve gelirine göre kullanıcının uygun yakıt türlü otomobillere yönelmesi her zaman daha mantıklıdır. Örneğin; yaşadığı bölgede elektrik şarj istasyonu bulunmayan, evinde ya da çalıştığı işte elektrikli otomobili şarj etme imkânı olmayan kullanıcıların elektrikli otomobil tercih etmeleri doğru değildir.

2.2. Elektrikli Araçlar

İnsanlar, bir yerden bir yere gidiş-gelişlerinde akıllı sistemleri kullanmaya ihtiyaç duymaktadırlar. Günümüzde elektrikli araçların 5 farklı türü vardır.



Şekil 2.3. Elektrikli araç temel diyagramı (Altun, 2012).

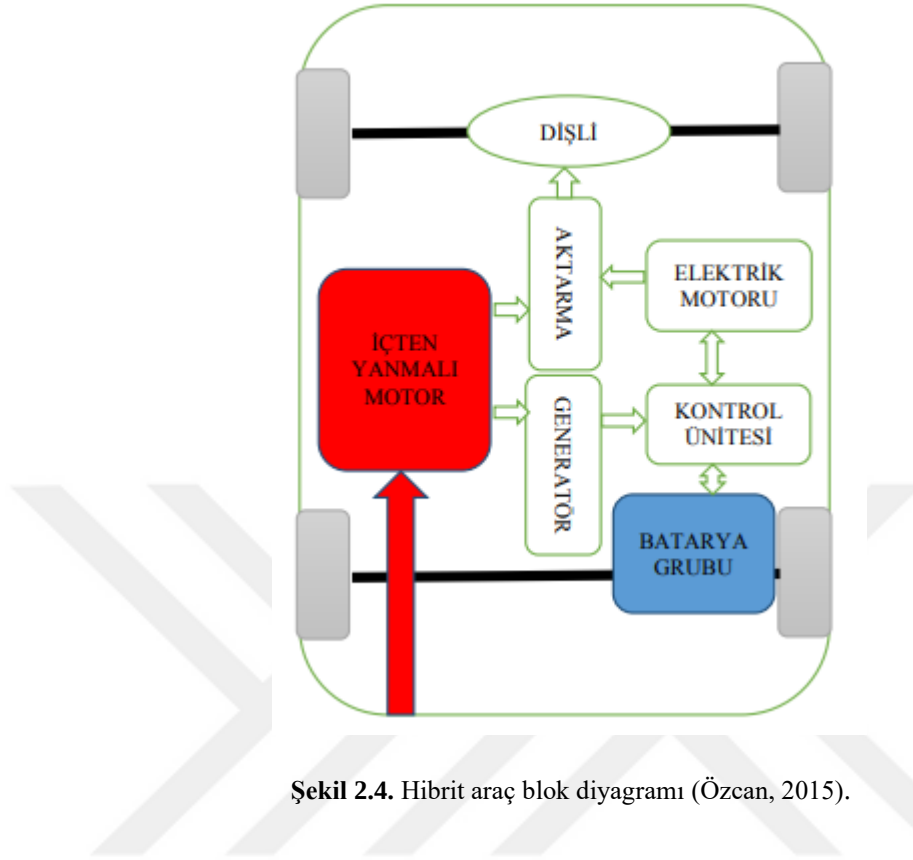
2.2.1. Tamamen elektrikli otomobiller

Bataryalı elektrikli otomobiller olarak bilinen tamamen elektrikli otomobiller, yalnızca elektrik gücü ile çalışmaktadır. Bahse konu otomobillerde akaryakıt deposu bulunmamaktadır. Elektrik, otomobilin bataryasında depolanarak elektrik motorunun bataryadaki enerjiyi hareket enerjisine çevirerek otomobilin hareket etmesini sağlamaktadır. Tamamen elektrikli otomobiller ev tipi prizler veya şarj istasyonları aracılığıyla şarj edilmektedir. Tamamen elektrikli otomobillerde sadece elektrik enerjisi ile çalıştıkları için yüksek kapasiteli bataryalar bulunmaktadır. Yüksek kapasiteli bataryalara sahip olan tamamen elektrikli otomobiller, bataryaların maliyetinden dolayı diğer elektrikli otomobillere göre daha pahalıdırlar (Yalçınsoy ve Pulat, 2023). Bununla birlikte, tamamen elektrikli araçlarda geleneksel otomobillere kıyasla daha az araç parçası bulunmaktadır. Bu yüzden bahse konu otomobiller daha az bakım gerektirirler ve bakım masrafı minimum düzeydedir.

2.2.2. Hibrit elektrikli otomobiller (HEV)

Hibrit elektrikli otomobillerde içten yanmalı motor ve elektrik motoru olmak üzere iki farklı motor bulunmaktadır. Bahse konu motorlar dönüşümlü olarak ve ayrı ayrı çalışabilmektedirler (Tarlak, 2018). Otomobillerin yakıt tüketiminin maksimum

olduğu kalkış anlarında HEV'lerin üretim ve geliştirilme mantığı, elektrik motorunu devreye sokarak fosil yakıt tüketimini azaltmak ve yakıt tasarrufu sağlamaktır.



Şekil 2.4. Hibrit araç blok diyagramı (Özcan, 2015).

2.2.3. Hafif hibrit elektrikli otomobiller (MHEV)

Hafif hibrit elektrikli otomobiller, 48 voltluk entegre marş jeneratörü sistemi ile içten yanmalı motora yardımcı olmaktadır. HEV'lerden farklı olarak MHEV'lerde bulunan elektrik motoru, yalnızca fosil yakıtlı motora destek olur; yani otomobile kendi başına hareket kazandıramamaktadır (Özdeş vd.,2020).

2.2.4. Plug-in hibrit elektrikli otomobiller (PHEV)

Plug-in hibrit araçlarda, yakıt pompası girişine ilaveten bir de şarj giriş bölümü bulunmaktadır. PHEV'lerin harici bir istasyonla akaryakıt ve elektrik ihtiyacını karşılayabilmektedir. Bahse konu otomobillerin şarj ünitelerindeki elektrik enerjisi bittiğinde geleneksel içten yanmalı motorlu araçlar gibi akaryakıtla çalışmaya devam etmektedirler. Bu özellikleri ile kullanıcıya farklı akaryakıt alternatifleri sunmaktadırlar (Kalender, 2019). Bu araçlar bataryayı otomatik olarak da şarj edebilmektedir ve koşullara göre motor tipleri arasında geçiş yapabilmektedir. Bu açılarından PHEV'ler, diğer HEV'lere benzeseler de onlara göre daha güçlü bataryaları ve daha güçlü bir

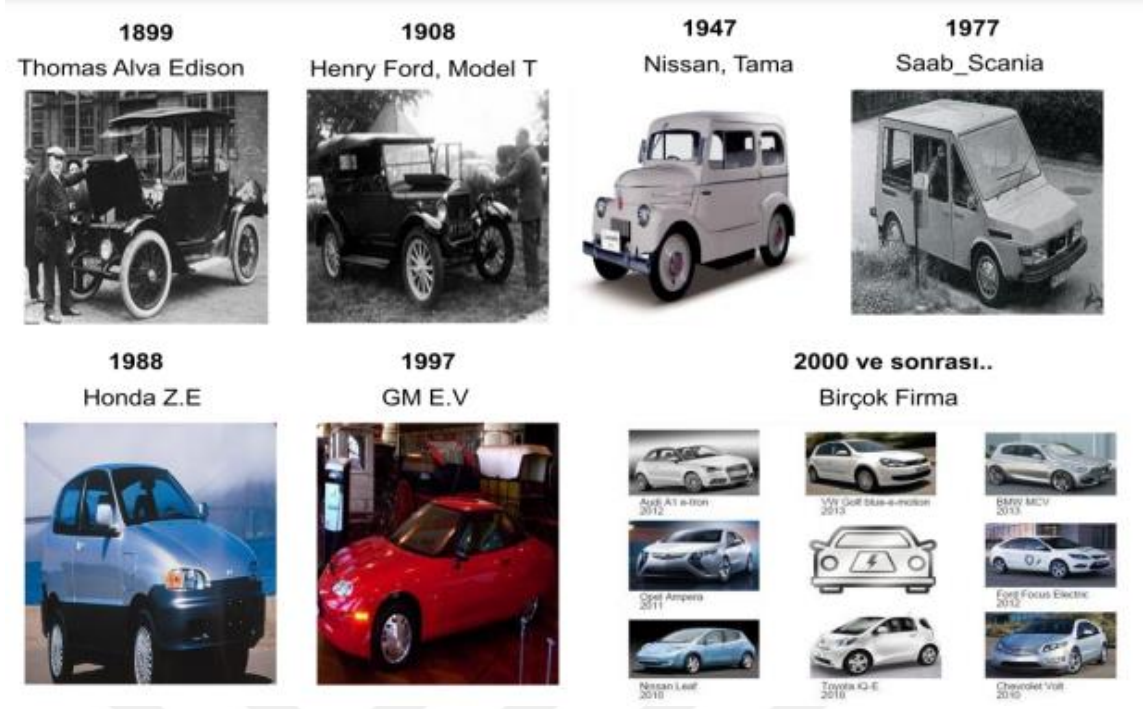
elektrik motoru bulundururlar. Yalnızca elektrik motoru ile de daha uzak mesafeleri aşabilmektedirler.

2.2.5. Yakıt hücreli elektrikli otomobiller (YHEO)

YHEO, akaryakıtta ihtiyaç duymaksızın elektrik enerjisi ile çalışmaktadır. Sıkıştırılmış hidrojenle sağlanan enerji, yakıt hücresi tarafından elektriğe dönüştürülmektedir. Otomobil, gerekli elektrik enerjisini harici bir şarj ünitesine ihtiyaç duymadan kendisi üretmektedir (Özdeş vd., 2020). Bu durum otomobilin egzoz salınımına yol açmadan, sadece su ve sıcak hava yaymasını sağlamaktadır. Bahse konu araçlar içten yanmalı motorlu araçlara göre daha verimli kabul edilmektedir.

2.3. Elektrikli Araçların Tarihi ve Gelişimi

İlk elektrikli araç patenti 1828'de Franz Kravogl tarafından alınmış, ancak araç üretilmemiştir. 1835'te Thomas Davenport, elektrikle çalışan bir tren modeli geliştirmiştir. Elektrikli araç geliştirmeye 1879'da Thomas Edison başlamış ve ilk elektrikli otomobilin tasarımını yapmaya çalışmıştır. 1889'da farklı araştırmacılar, ilk elektrikli arabaları üretmeye başlamıştır (Karayaman, 2014). Bu dönemde elektrikli araçlar, benzinli araçlarla rekabet etmekteydi. Elektrikli araçlar, özellikle şehir içi ulaşımında popüler hale gelmiş ve Detroit Electric gibi şirketler elektrikli otomobiller üretmiştir. 1920'de içten yanmalı motorlar ve ucuz benzin, benzinli araçları daha cazip hale getirmiş ve elektrikli araçların popülaritesi azalmıştır (Yılmaz vd., 2017). 1990'larda ise elektrikli araçlar yeniden ilgi çekmeye başlamış, GM EV1 gibi araçlar üretilmiş, ancak sınırlı sayıda üretilmiştir. 2000'de Tesla Motors, elektrikli otomobillerin geleceğini şekillendirmeye başlamış ve Model S gibi araçlarını piyasaya sürmüştür.



Şekil 2.5. Geçmişten günümüze elektrikli araçlar

Bugün, elektrikli araçlar, çevre dostu ve sürdürülebilir bir ulaşım seçeneği olarak dünya genelinde hızla yaygınlaşmaktadır. Birçok otomobil üreticisi elektrikli modeller üretmektedir ve otomotiv endüstrisi elektrikli araçların geleceğine odaklanmış durumdadır (Demir ve Aküner, 2018). Teknolojik ilerlemeler, pil teknolojisinin gelişimi ve çevresel endişeler, elektrikli araçların popülerliğini artırmıştır. Elektrikli araçlar, çevre dostu ve sürdürülebilir bir ulaşım seçeneği olarak giderek daha fazla kabul görmektedir.

Çizelge 2.1. Ülkelerin gelecek projeksiyonları

Ülke	Hedef
Avusturya	2021: 100 000 EA
Avusturalya	2015: ilk EA, 2019
Kanada	2019: 500 000 EA
Çin	2031: 20% - 30%
Danimarka	2021: 200 000 EA
İngiltere	2021: 1 200 000 BEA + 350 000 PHEA
Fransa	2021: 2 milyon EA
Almanya	2021: 1 milyon EA
İrlanda	2021: 230 000 EA
İsrail	2013: 40 000 - 100 000 EA üretimi
Japonya	2021: 20%
Hollanda	2021: 200 000 EA
Yeni Zellanda	2021: 5%; 2040: 60%

İspanya	2020: 2,5 milyon EA
İsveç	2020: 600 000 EA
İsviçre	2020: 145 000 EA
ABD	2015: 1 milyon EA
Dünya	2015: 1 700 000 EA
Avrupa	2015: 480 000 EA
AB-27	2020: 4 752 100 EA



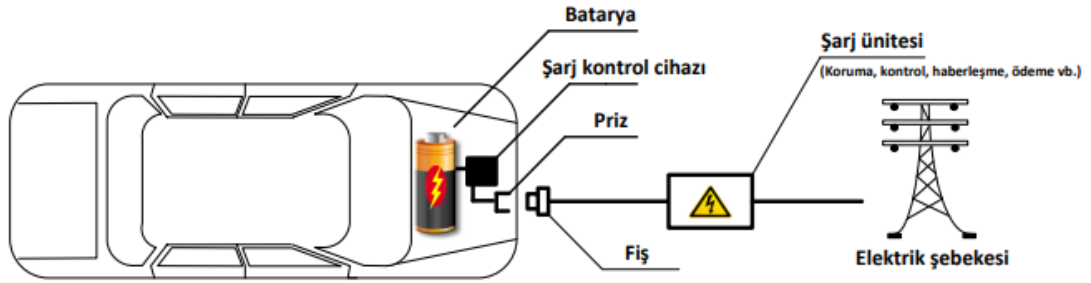
3. ELEKTRİKLİ ARAÇ ŞARJ YÖNTEMLERİ

3.1. Elektrikli Araç Şarj Altyapısı ve Elektrik Şebekesi

Elektrikli araçların kullanımıyla bataryadaki enerji azalmaktadır ve şarj edilmeye ihtiyaç duymaktadır. Bu yüzden şarj altyapısı çok önemlidir. Elektrikli araçları şarj etmek için farklı şarj düzeyleri bulunmaktadır (Duman ve Dağ, 2013). Elektrikli araç şarj altyapısı, genellikle şehir içinde ve otoyol güzergâhlarında bulunan şarj istasyonlarından oluşmaktadır. Bu istasyonlar genellikle hızlı şarj, yavaş şarj veya orta seviyede şarj seçenekleri sunabilmektedir. Hızlı şarj istasyonları, birkaç saat içinde pilin büyük bir kısmını şarj edebilirken, yavaş şarj istasyonları daha uzun süre gerektirebilmektedir (Gül vd., 2023). Elektrikli araç sahipleri genellikle bu istasyonlardan faydalanarak günlük ihtiyaçlarını karşılar ve uzun yolculuklarda kullanmaktadır. Şarj altyapısının gelişimi, elektrikli araç kullanımını daha pratik hale getirmektedir.

3.1.1. Şarj bileşenleri

Elektrikli araçlar için şarj bileşenleri, aracın bataryasını şarj etmek için kullanılan çeşitli ekipmanları içermektedir.



Şekil 3.1. Şarj bileşenleri (Korkmaz, 2013).

Şarj Prizleri ve Kablolar: Elektrikli araçlar, genellikle evlerde veya işyerlerinde standart bir prizden şarj edilebilmektedir. Bu prize takılan şarj kablosu, aracın bataryasını doldurur.

Duvar Tipi Şarj Üniteleri: Ev sahipleri ve işletmeler, elektrikli araçlarını daha hızlı şarj etmek için evlerine veya iş yerlerine duvar tipi şarj üniteleri kurabilmektedirler. Bu üniteler, ev prizlerine göre daha hızlı şarj sağlamaktadır (Fincan, 2015).

Hızlı Şarj İstasyonları: Yolda seyahat edenler için önemli olan bu istasyonlar, araçları daha kısa sürede şarj etmek için kullanılmaktadır (Tel, 2019). Hızlı şarj istasyonları genellikle otoyol ve şehir içi bölgelerde bulunmaktadır.

Endüstriyel Şarj Üniteleri: Büyük organizasyonlar, otopark sahipleri veya alışveriş merkezleri gibi yerlerde kullanılan bu üniteler, birkaç aracı aynı anda şarj etme kapasitesine sahiptir.

Akıllı Şebeke Teknolojileri: Bazı şarj üniteleri, enerji talebini dengelemek ve zamanlamak için akıllı şebeke teknolojilerini kullanmaktadır (Fincan, 2015). Bu sayede şebeke üzerindeki yük daha dengeli bir şekilde dağıtılabilmektedir.

Batarya Yönetim Sistemleri: Elektrikli araçların şarj süreçlerini izlemek ve kontrol etmek için kullanılan sistemlerdir (Fincan, 2015). BMS, bataryanın güvenli ve etkili bir şekilde şarj edilmesini sağlamaktadır.

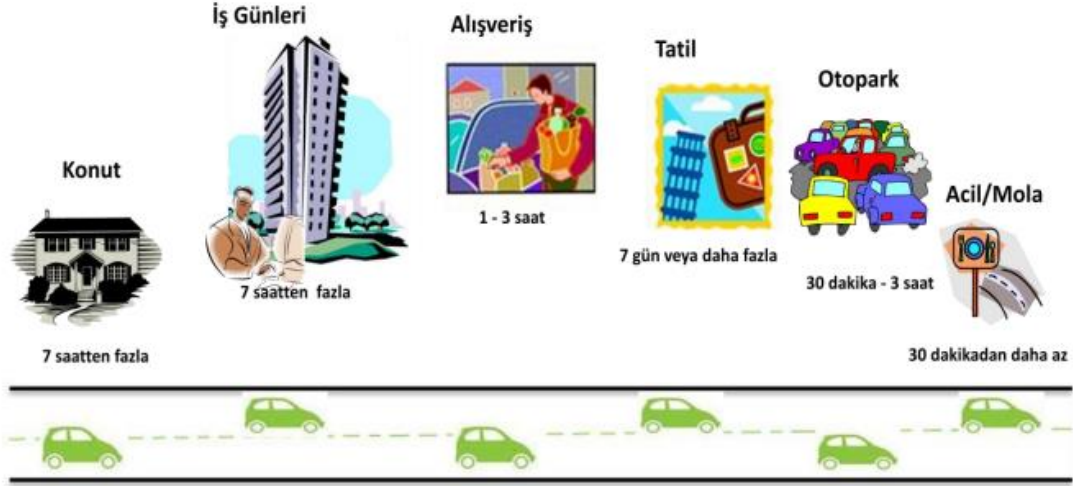
3.1.2. Şarj seviyeleri

Elektrikli araç şarj istasyonları, genellikle üç farklı seviyede hizmet sunmaktadır. Bu seviyeler, şarj hızı ve kullanım amaçlarına göre farklılık gösterir. Bu seviyeler şu şekildedir:

Seviye 1: Ev Şarjı (AC Şarj): Bu seviye, standart bir ev prizinden şarj etmeyi temsil etmektedir. Ev prizleri genellikle 120 volt (ABD ve Kanada) veya 230 volt (diğer ülkeler) gerilim seviyesinde çalışmaktadır (Kerem ve Gürbak, 2020). Seviye 1 şarj, genellikle daha uzun sürelerde tamamlanmakta ve genellikle günde birkaç saat kullanılan ev tipi şarj istasyonlarını içermektedir.

Seviye 2: Hızlı AC Şarj veya AC Hızlı Şarj: Bu seviye, özel bir şarj ünitesi aracılığıyla 240 volt (veya bazen daha yüksek) AC güç kullanarak daha hızlı bir şarj sağlamaktadır. Ev sahipleri, iş yerleri ve alışveriş merkezleri gibi yerlerde bulunan genel kullanım alanlarına yöneliktir (Tezde ve Okumuş, 2018). Seviye 2 şarj, genellikle ev şarjından daha hızlıdır, ancak hızlı şarj seviyesine kıyasla biraz daha zaman alabilmektedir.

Seviye 3: DC Hızlı Şarj (Süper Şarj): Bu seviye, genellikle halka açık şarj istasyonları veya otoyol güzergâhlarındaki hızlı şarj istasyonlarını ifade etmektedir. DC hızlı şarj, doğrudan aracın bataryasına doğru yüksek voltajlı doğru akım (DC) sağlamak ve bu sayede daha hızlı şarj etme imkânı sunmaktadır (Kerem ve Gürbak, 2020). Bu istasyonlar, birkaç saat içinde bir aracı tamamen şarj edebilmektedir.



Şekil 3.2. Araçların bulundukları konuma göre ortalama park süreleri (Robert, 1981).

Bu seviyeler, elektrikli araç sahipleri için farklı kullanım durumlarına ve ihtiyaçlara göre esneklik sağlamaktadır. Ev şarjı genellikle günlük kullanım için uygundur. Seviye 2 şarj daha hızlı şarj için kullanılırken seviye 3 hızlı şarj istasyonları, uzun mesafe seyahatlerinde daha pratik bir seçenek sunmaktadır.

3.1.3. Elektrikli araçların şebeke üzerine etkileri

Elektrikli araçlar, artan kullanımıyla birlikte elektrik şebekesine çeşitli etkiler yapabilmektedir. Bunlar arasında şunlar bulunabilmektedir:

Yük Artışı: Elektrikli araçlar, şarj işlemi sırasında ek elektrik talebi oluştururlar. Bu, elektrik şebekesinde yük artışına neden olabilmektedir, özellikle belirli saatlerde yoğun kullanım durumlarında.

Çizelge 3.1. Elektrikli araçların şebeke üzerine etkileri konusunda çalışma alanları

Elektrikli Araçların Şebeke Üzerine Etkileri	
Teknik	Ekonomik
Gerilim Düşümü	Yatırım Bedeli
Faz Dengesizliği	Bakım Giderleri
Frekans Dengesizliği	Enerji Kayıp Giderleri

Zamanlama Önemi: Elektrikli araç şarjlarının zamanlaması, elektrik talebinin düzenlenmesi için önemlidir. Akıllı şarj sistemleri, talebi daha dengeli bir şekilde dağıtarak şebekeye olan etkiyi azaltabilmektedir (Sinkaram ve Asırvadam, 2013).

Altyapı İhtiyacı: Elektrikli araç kullanımının hızla artması, şarj istasyonları ve genel altyapı için daha fazla enerji ihtiyacını beraberinde getirebilmektedir. Bu, yerel enerji altyapısının güçlendirilmesini gerektirebilmektedir (Çolak ve Boztepe, 1995).

Yenilenebilir Enerji Entegrasyonu: Elektrikli araçlar, şebekeye entegre edildiklerinde, bu araçların şarj edilmesi için kullanılan enerjinin ne kadarının yenilenebilir kaynaklardan geldiği önemlidir. Yenilenebilir enerji kullanımı, çevresel etkileri azaltabilmektedir.

Akıllı Şebeke ve Depolama Çözümleri: Akıllı şebeke teknolojileri ve enerji depolama çözümleri, elektrikli araçların şebekeye olan etkilerini dengelemek için kullanılabilir. Depolama çözümleri, enerjiyi belirli dönemlerde depolayarak daha dengeli bir enerji tüketimi sağlayabilmektedir (Sinkaram ve Asirvadam, 2013).

Bu faktörler, elektrikli araçların elektrik şebekesine etkisini yönetmek için çeşitli stratejilerin geliştirilmesini gerektirmektedir. Akıllı şebeke teknolojileri ve düzenleme önlemleri, bu geçiş sürecini daha sürdürülebilir kılmak için önemlidir.

3.2. Temaslı (Kablolu Şarj)

Elektrikli araçlar için etkili ve güvenilir bir şarj çözümüdür. Hızlı şarj imkanı, güvenilirlik ve esnek kurulum seçenekleri, bu teknolojinin gelecekte otomotiv sektöründe daha fazla kullanılmasını sağlayacaktır. Bu nedenle, şarj altyapısının geliştirilmesinde temaslı kablolu şarjın önemi giderek artmaktadır. Günümüz teknolojisindeki araçların ve şarj istasyonlarının temaslı şarja uyumlu olarak geliştirilmektedir (Durmuş ve Kaymaz, 2020).

Elektrikli araçların temaslı kablolu şarjı, genellikle AC veya DC şarj istasyonları aracılığıyla gerçekleşmektedir. Şarj noktaları genellikle Type 2 (Mennekes) veya Type 1 (J1772) konektörleri kullanmaktadır. Araç, bu konektörü kullanarak şarj noktasına bağlanır, ardından enerji transferi başlamaktadır. Şarj süresi, kullanılan şarj gücüne, batarya kapasitesine ve aracın teknik özelliklerine bağlı olarak değişebilmektedir.



Şekil 3.3. Type 2 (mennekes)

Type 2 (Mennekes) yaygın olarak Mennekes olarak bilinen bir elektrikli araç şarj konektörü standardını ifade etmektedir (Gürbüz ve Kulaksız, 2016). İki tarafta da bulunan pin düzeni ile tanınmaktadır. Type 2 konektörü genellikle Avrupa'da yaygın olarak kullanılır ve özellikle elektrikli araçların ev şarj ünitelerinde tercih edilmektedir. Bu konektörün avantajlarından biri, hem AC hem de DC şarj sağlama yeteneğidir (Koç ve Özceylan, 2018). Elektrikli araç sahipleri, Type 2 konektörünü araçlarına bağlayarak şarj işlemine başlamaktadırlar. Konektör, elektrikli aracın bataryasına güvenli ve etkili bir şekilde enerji transferini sağlamak için tasarlanmıştır.



Şekil 3.4. Type 1 (J1772)

Type 1 konektörü, J1772 standardına uygun bir elektrikli araç şarj konektörüdür. Bu konektör, özellikle Kuzey Amerika'da yaygın olarak kullanılmaktadır. Ayrıca Japon

elektrikli araçlarında da sıkça bulunmaktadır (Güven ve Gedik, 2019). Type 1 konektörü, AC (alternatif akım) şarj için tasarlanmıştır ve genellikle ev şarj üniteleri ve kamusal AC şarj istasyonlarında bulunmaktadır. Konektör, araç şarj işlemlerini güvenli ve standart bir şekilde gerçekleştirmek üzere tasarlanmış pin düzenine sahiptir (Cuma vd., 2016). Elektrikli araç sahipleri, Type 1 konektörünü araçlarına bağlayarak şebeke üzerinden enerji alabilmektedirler. Bu standart konektör, AC şarj hızlarını destekler ve genellikle şehir içi şarj ihtiyaçlarını karşılamak için kullanılmaktadır.



Şekil 3.5. Temaslı (kablolu) şarj basit gösterimi

Temaslı şarj sistemleri, başlangıcını elektrik enerjisi alt yapısı ve tesisatından alarak araçlara enerji akışını kontrol eden özel ünitelerle devam eden bir entegre sistemdir. Bu sistem, şarj kapasitesini karşılayabilen alçak gerilim tesisatını içermektedir. Ayrıca, enerji kalitesini optimize etmek amacıyla kompanzasyon ve harmonik filtreleme üniteleri de bu tesisatta yer almaktadır (Karapınar ve Daldaban, 2022). Elektrikli araçlara enerji sağlamak için şarj üniteleri kullanılır ve bu süreç öncelikle kullanıcı güvenliği üzerine odaklanmaktadır. Şarj ünitelerindeki enerji tüketimi, kullanıcılara tüketim bedeli karşılığında yansıtılmaktadır. Bu kapsamlı sistem; güvenlik, enerji verimliliği ve kullanıcı memnuniyeti gibi unsurları bir araya getirerek elektrikli araç şarj altyapısını oluşturmaktadır.

Temaslı şarj üniteleri, enerjinin güvenli bir şekilde elektrikli araca aktarılmasını sağlayan kritik ekipmanlardır. Bu üniteler, dünya genelinde farklı yapı ve standartlara sahiptir. Örneğin; Avrupa, Amerika ve Japonya'da kullanılan modeller arasında

çeşitlilik gösterir. Bu ünitelerin maliyetleri ise ülkeler arasında değişkenlik göstermektedir (Aqueel vd., 2018).

En önemli farklılıklardan biri, DC (doğru akım) ve AC (alternatif akım) şarj türleridir. Özellikle Japonya'da CHAdeMO standardı yaygın olarak kullanılmaktadır. Japon kullanıcılar, araçlarını doğru akım ile şarj eden üniteler geliştirmiş ve bunları kullanıma sunmuştur (Yıldızhan vd., 2022). Bu standart, normal araçlara 62.5 kW'a kadar enerji transferi yapabilme yeteneğine sahiptir. Bu standarda ait elektriksel büyüklükler Çizelge 3.2. gösterilmiştir.

Çizelge 3.2. CHAdeMO standardı (Bayram B. , 2019)

Şarj Yöntemi	Anma Gerilimi (VDC)	Maks. Akım (A)	Maks. Güç (kW)
CHAdeMO	500	125	62,5

Bu çeşitlilik, küresel elektrikli araç altyapısının evrimleşmesine ve farklı bölgelerdeki kullanıcı ihtiyaçlarına uygun çözümler sunulmasına olanak tanımaktadır (Sahloul vd., 2023). Bu şarj üniteleri, uluslararası standartlar ve bölgesel gereksinimlere uygun olarak tasarlanır, böylece kullanıcılar güvenli, etkili ve uygun maliyetli bir şarj deneyimi yaşayabilmektedirler.

Avrupa'da benimsenen IEC 62196 standardı, AC (alternatif akım) şarj işlemlerini yönetmek için kullanılmaktadır. Bu standart, şarj işlemlerini düzenleyen bir çerçeve sunar ve 3 fazlı şebekeden araçlara kadar olan güçleri kapsamaktadır (Kerem ve Gürbak, 2020). IEC 62196 standardı, 43.5 kW'a kadar şarj kapasitesine olanak tanır, bu da elektrikli araçların hızlı ve etkili bir şekilde şarj edilmesini sağlamaktadır. Bu standart altında, şarj işlemlerini düzenlemek ve standartlaştırmak amacıyla farklı modlar bulunmaktadır. Bu modlar, örneğin şarj hızı ve kullanım amacına göre değişebilmektedir. Standart, Avrupa genelinde birlikte kullanılabilir ve uyumlu şarj altyapısı oluşturulmasına katkıda bulunur. IEC 62196, elektrikli araçlar için bir standart çerçeve sağlayarak kullanıcıların farklı ülkelerde güvenli ve uyumlu bir şarj deneyimi yaşamalarını sağlamaktadır (Bayram B. , 2017).

3.2.1. Şarj modları

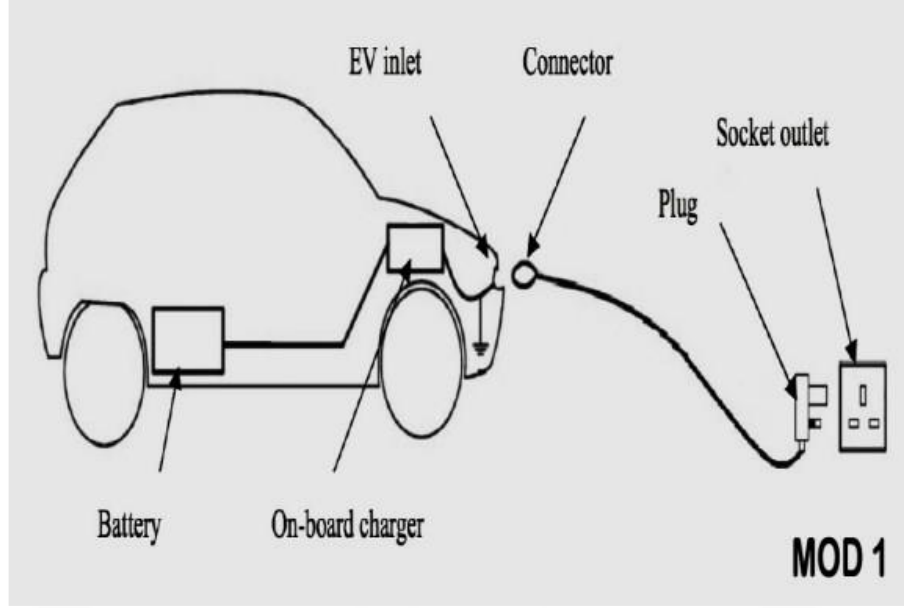
Elektrikli araç şarj süreçleri ve şarj modları, belirli bir standart olan IEC 62196 tarafından tanımlanmıştır. Elektrikli araç bataryalarının yapısı gereği, çoğu zaman doğru akımla (DC) şarj olmaları gerekmektedir (Kerem ve Gürbak, 2020). IEC 62196, şarj süreçlerini düzenlemek amacıyla Mod 1, Mod 2, Mod 3 ve Mod 4 olmak üzere dört ana

şarj modunu belirlemektedir. Mod 1, Mod 2, Mod 3 için şebekeden gelen alternatif akım (AC), araç üzerinde bulunan şarj cihazı (onboard charger) tarafından DC'ye dönüştürülmektedir. Mod 1, standart ev prizleri kullanarak düşük güçte şarj işlemlerini temsil etmektedir. Mod 2, AC'yi doğrudan araca ileten, korumalı şarj kablolarını içermektedir. Mod 3, daha güvenli ve yüksek güçte şarj imkanı sunan standart şarj istasyonlarını içermektedir. Mod 4 Şarj İşlemi ise AC'den DC'ye dönüşüm şarj istasyonu içinde gerçekleşmektedir (Çiçek ve Erdinç, 2019). Genellikle hızlı şarj istasyonları Mod 4 kullanır ve yüksek güçte şarj imkânı sağlamaktadır. Bu standart, farklı şarj modlarını belirleyerek elektrikli araç şarj altyapısını standartlaştırır ve kullanıcıların çeşitli şarj sistemlerini güvenli ve etkili bir şekilde kullanmalarını sağlamaktadır.

Çizelge 3.3. Elektrikli araç şarj seviyeleri

SAE / IEC	Seviye	Faz	Gerilim (max.) (V)	Akım (max.) (A)	Güç (max.) (kW)
Level / Mode 1	Yavaş	1	120 V / 250	16 A / 16 A	1,9 / 4,0
Level / Mode 2	Normal	1	240 V / 250	80 A / 32 A	19,2 / 8,0
Level / Mode 2	Orta Hızlı	/ 3	/ 480	/ 32 A	/ 15,3
Level / Mode 3	Hızlı (AC)	/ 3	/ 480	/ 32/250 A	/ 15,3/120
Level / Mode 4	Hızlı (DC)	/	/ 600 (DC)	/ 400 A	/ 240

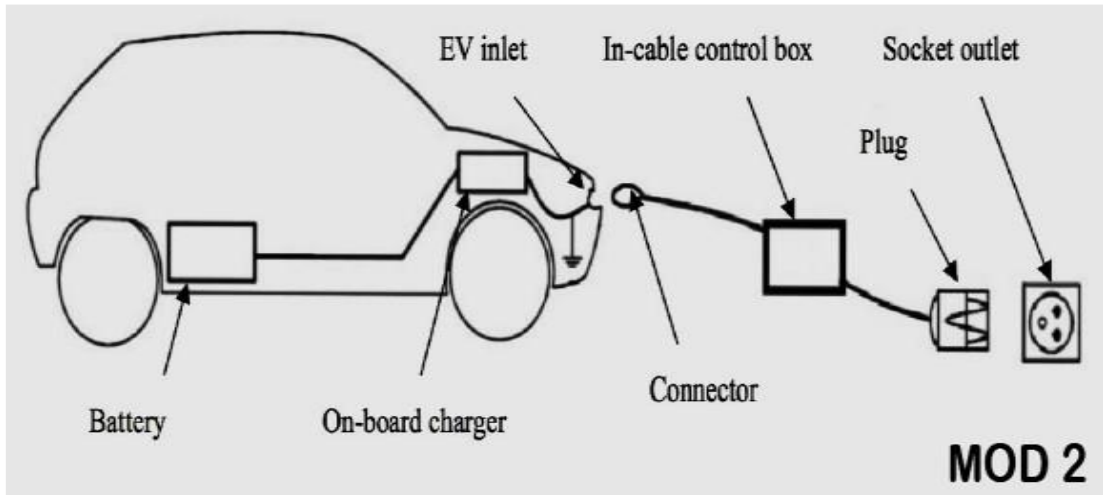
Mod 1: Bu şarj seviyesi, tek fazlı bir sistemde çalışır ve kullanıcıya ev tipi prizlerle (120 V / 250 V) ulaşan bir şarj imkânı sunar ve Şekil 2.6. da gösterilmiştir. Maksimum 16 A akımla çalışarak, 1,9 kW ile 4,0 kW arasında güç sağlamaktadır. Yavaş şarj genellikle ev ortamında kullanıma uygun ve düşük güç ihtiyacına sahiptir (Bayram B. , 2017). Topraklama devresi bulunmaktadır. Birçok ülke de Mod 1 tipi şarj güvenlik sebebiyle yasaklanmıştır. Bu durumu çözebilmek için Mod 2 üzerinde çalışılmış ve geliştirilmiştir.



Şekil 3.6. Mod 1 şarj modu gösterimi

Mod 2: Normal Şarj (Seviye/Mod 2): Bu seviyede, tek fazlı sistemde çalışır ve ev tipi duvar şarj üniteleriyle (240 V / 250 V) kullanılmaktadır. Maksimum 80 A'ye kadar çıkabilen akımla, 19,2 kW ile 8,0 kW arasında güç sağlamaktadır. Normal şarj, daha hızlı şarj süreleri için ev sahiplerine uygun bir seçenektir (Çobanoğlu vd., 2021).

Orta Hızlı Şarj (Seviye/Mod 2): Üç fazlı sistemde çalışan bu şarj seviyesi, 480 V gerilimle çalışır ve maksimum 32 A akımla 15,3 kW güç sağlar ve Şekil 3.7 de gösterilmiştir. Enerjinin alındığı tarafta bir kontrol pini yoktur (Baygüneş vd., 2020). Orta hızlı şarj, özel şarj istasyonlarında kullanılmak üzere tasarlanmış ve daha hızlı şarj süreleri sunar.



Şekil 3.7. Orta hızlı şarj (Seviye/Mod 2) gösterimi

Mod 3: Bu seviye, üç fazlı sistemde çalışır ve 480 V gerilimle, 32 A veya 250 A akımla şarj yapabilir. Güç seviyeleri 15,3 kW ile 120 kW arasında değişir. Hızlı AC şarj, geniş bir araç yelpazesini hızlı bir şekilde şarj etmek için kullanılır ve genellikle halka açık şarj istasyonlarında bulunur. Bu şarj modunda, diğer modlarda olan standart AC priz yerine aşağıda Şekil 3.8 de görülen Mennekes tipi bir konnektörle bağlantı sağlanmaktadır. Bununla birlikte şarj istasyonuna bağlantı yapılmaktadır (Bayram B. , 2017).

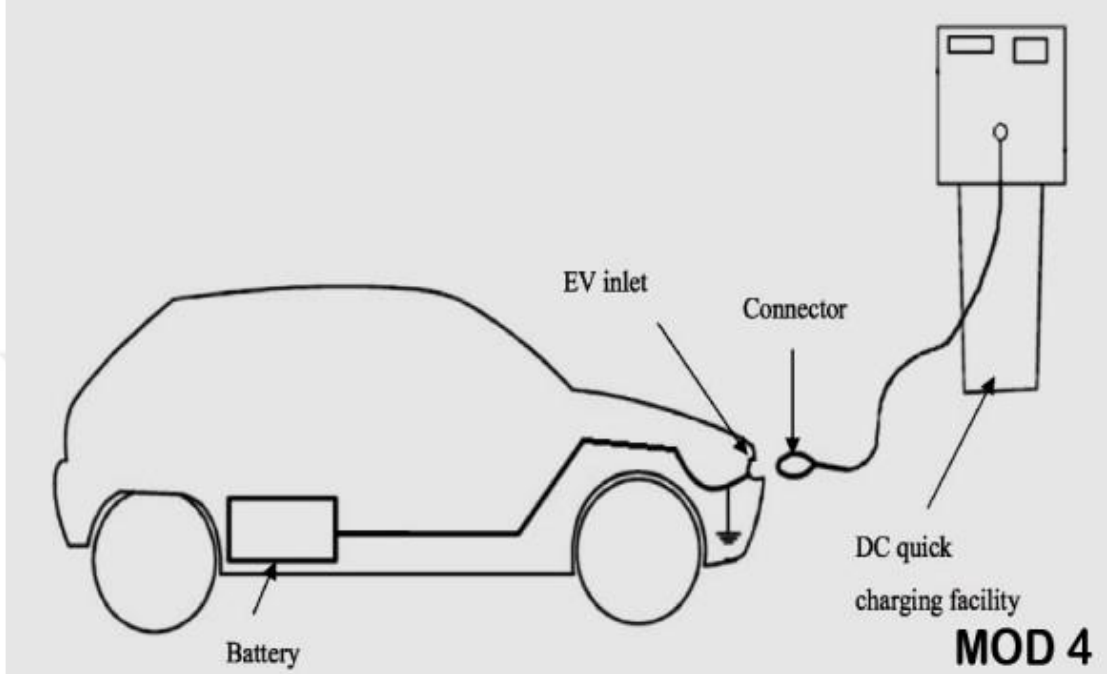


Şekil 3.8. Mod 3 şarj modu gösterimi

Mod 4: Bu seviye, en yüksek güçte çalışan bir DC şarj seviyesidir. 600 V DC gerilimle, maksimum 400 A akım ve 240 kW güç sağlar. Hızlı DC şarj, en hızlı şarj sürelerini sağlamak ve uzun mesafe seyahat eden araçların ihtiyaçlarını karşılamak için özel olarak tasarlanmış halka açık şarj istasyonlarında kullanılmaktadır. Elektrikli araçlar, şebeke kaynağından aldıkları alternatif akımı (AC) redresör, yani onboard charger üzerinden doğru akıma (DC) çevirmeleri gerekmektedir. Bu redresör, termal sınırlamalar ve maliyet unsurları dikkate alınarak genellikle 75A'a kadar kullanılabilir (Mod 4 tipi). Mod 4, AC sinyalinin redresör tarafından belirli bir akıma çevrildiği şarj işlemini temsil eder (Aqueel vd., 2018).

Mod 4, elektrikli aracın batarya grubuna doğrudan enerji sağlamak için şebekeden çekilen AC kaynağının bir hızlı şarj istasyonu içerisinde yer alan invertör üzerinden DC'ye çevrilmesini sağlamaktadır. Bu, redresöre girmeden yüksek akımlarla doğrudan şarj imkanı sunmaktadır. Bu özellik, elektrikli araçları hızlı bir şekilde şarj

etme kapasitesi sağlayarak uzun mesafe seyahat eden araçların pratik ve hızlı şarj ihtiyaçlarını karşılamak için kullanılmaktadır. Bu tasarım, hızlı şarj istasyonları aracılığıyla daha verimli ve etkili bir şarj süreci sunmaktadır. Mod 4 şarj modu Şekil 3.9. da görülmektedir.



Şekil 3.9. Mod 4 şarj modu gösterimi

3.2.2. Şarj verimliliği

Modern akülü elektrikli araçlar genellikle lityum-iyon hücreler kullanarak %90'dan daha fazla gidiş-dönüş verimliliği sağlamaktadır. Ancak, pilin verimliliği bir dizi faktörden etkilenmektedir. Şarj hızı, şarj durumu, pilin sağlık durumu ve sıcaklık gibi değişkenler, pilin performansını önemli ölçüde belirler (Mroczek ve Kołodyńska, 2020).

Bu verimlilik değerleri, sadece pil içindeki süreçleri değil aynı zamanda dışındaki sistem bileşenlerini de içermektedir. Güç elektroniği bileşenleri, özellikle invertörler gibi enerji dönüşümü sırasında kayıplara neden olabilmektedir. Bu nedenle; pilin gidiş-dönüş verimliliğini değerlendikçe, sistemin diğer elemanlarının etkisi de göz önüne alınmalıdır.

Veri toplama yöntemlerine ve kullanılan ölçüm ekipmanına bağlı olarak, V2G (vehicle-to-grid) sistemleri için bildirilen gidiş-dönüş etkinlik oranları %53 ila %62 arasında değişiklik göstermiştir. Başka bir çalışmada ise yaklaşık %70'lik bir verimlilik

rapor edilmiştir. Bu farklılıklar, araştırmacıların kullandıkları yöntemlere, test koşullarına ve değerlendirme kriterlerine bağlı olarak ortaya çıkmaktadır.

Genel olarak, elektrikli araçların verimliliği karmaşık bir konsepttir ve çeşitli faktörlere bağlı olarak büyük ölçüde değişebilmektedir. Bu faktörlerin dikkate alınması, elektrikli araç teknolojisinin daha verimli ve sürdürülebilir hale getirilmesi için önemlidir.

3.3. Temassız (Kablosuz) Şarj

Kablosuz şarj sistemleri, bağlı Endüktif Güç Transferi (IPT) sistemi üzerine kurulmuştur. Bu sistem, elektrik ve manyetizma ilişkisinden yola çıkarak çalışır ve James Clerk Maxwell'ın matematiksel formülasyonu olan Faraday yasasını temel almaktadır. Elektrik akımının bir manyetik alan yaratması ve bu alanın bir bobin içinde elektrik akımına dönüşmesi prensibine dayanmaktadır (Pashaei vd., 2016).

Bu konseptin uygulamasında, kablosuz şarj teknolojilerinin temelini atan Nicola Tesla'nın katkıları büyük önem taşımaktadır. Tesla, uzun mesafe kablosuz elektrik iletimini ilk defa hayata geçirmiş ve bu, günümüzde kullanılan kablosuz şarj sistemlerinin gelişiminde temel bir ilham kaynağı olmuştur. Tesla'nın çalışmaları, elektromanyetik alanlar aracılığıyla enerji transferi konseptini öne çıkarmış ve bu, kablosuz şarjın temelini atmıştır.

Bugün, kablosuz şarj teknolojileri, manyetik rezonans veya indüksiyon gibi prensipleri kullanarak cihazları şarj etme yeteneği sunmaktadır. Bu teknolojiler, kullanıcılara kablo karmaşasından kurtulma, pratik şarj imkanları ve kullanım kolaylığı sağlamaktadır. Kablosuz şarj sistemleri, Tesla'nın öncülük ettiği kablosuz enerji iletimi konseptinin modern adaptasyonlarını temsil eder, bu da elektrikli cihazların ve araçların rahat ve etkili bir şekilde şarj edilmesini mümkün kılmaktadır.

Ana transformatör kavramı, elektromanyetik indüksiyon prensibine dayanan bir enerji transfer sürecini ifade etmektedir. Bu sistem, birincil bobin ve ikincil bobin olmak üzere iki ana bileşeni içermektedir. Primer bobin, elektrik gücünü manyetik bir alan oluşturarak dönüştürmektedir. Bu alan, Faraday'ın elektromanyetik indüksiyon yasasına dayanarak, ikincil bobinde elektromotor kuvveti (EMF) üretmektedir. İkincil bobin, bu üretilen elektromanyetik alan enerjisini toplar ve elektrik enerjisine dönüştürerek bir tür enerji transferi gerçekleştirmektedir (Duman ve Dağ, 2013).

Elektrikli araçların şarj işlemi, ana transformatör prensibini kullanarak kablosuz şarj teknolojilerinde uygulanabilmektedir. Şarj istasyonu tarafındaki bir bobin, enerjiyi

manyetik bir alana dönüştürerek araçtaki karşılık gelen bobinde EMF üretmektedir. Bu, aracın bataryasını şarj etmek için kullanılan bir enerji transferi sağlamaktadır.

Ana transformatör kavramı, elektromanyetik indüksiyonun temel prensiplerine dayanarak, enerji transferini teller veya kablolar aracılığıyla değil, manyetik alanlar aracılığıyla gerçekleştirme avantajına sahiptir. Bu, kablosuz şarj teknolojilerinde verimlilik ve kullanım kolaylığı sağlamaktadır, aynı zamanda elektrikli araçlar için şarj süreçlerini daha erişilebilir ve pratik hale getirmektedir.

3.3.1. Kablosuz şarj iletişimi

Elektrikli araçlarda kablosuz şarj iletişimi, gelişmiş bir teknolojik süreci içermektedir. İlk adım, aracın kablosuz şarj istasyonu ile bağlantı kurma aşamasıdır. Bu genellikle RFID veya NFC teknolojileri kullanılarak gerçekleşmektedir. Elektrikli araç, şarj işlemi başlamadan önce şarj istasyonu ile güvenli bir iletişim kurmaktadır.



Şekil 3.12. Temassız Şarj

İletişim protokolleri, genellikle ISO 15118 gibi standartlar aracılığıyla belirlenmektedir. Bu protokoller, araç ve şarj istasyonu arasında standart ve güvenli bir iletişimi düzenlemektedir. Enerji transferi sürecine geçişte, araç ve şarj istasyonu enerji transferiyle ilgili bilgileri paylaşmaktadır. Araç, şarj seviyesi, şarj hızı ve diğer önemli parametreleri şarj istasyonu ile paylaşmaktadır (Lu vd., 2016).

Konumlandırma ve hizalama adımı, aracın kablosuz şarj için doğru konumda yerleştirilmesini içermektedir. Bu genellikle konumlandırma sensörleri veya kameralar aracılığıyla gerçekleştirilmektedir.

Güvenlik ve kimlik doğrulama süreci, iletişim aşamasında güvenlik protokollerine dayalı kimlik doğrulamayı içermektedir. Şarj işlemi başlamadan önce araç ve şarj istasyonu birbirlerini tanımalı ve güvenli bir bağlantı kurmalıdır (Doğaroğlu ve Çalışkanelli, 2022) .

Enerji transferi aşamasında, manyetik alan oluşturularak enerji transferi başlar. Şarj istasyonundaki bobin, araçtaki bobine enerji gönderir ve bu enerji aracın bataryasını şarj etmek için kullanılmaktadır.

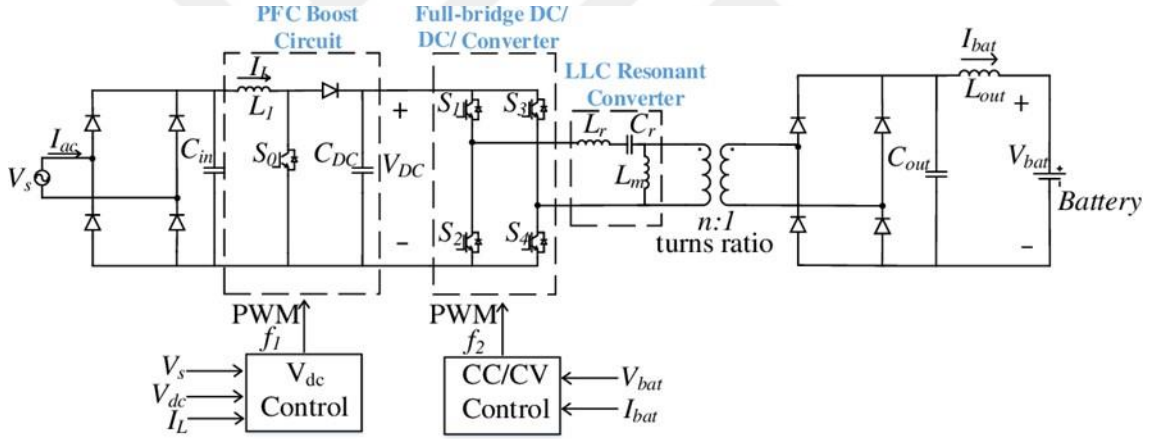
İletişim kontrolü süreci boyunca, araç ve şarj istasyonu arasındaki iletişim sürekli olarak kontrol edilir. Veri alışverişi devam eder, enerji transfer hızı düzenlenir ve diğer parametreler izlenmektedir (İspir, 2020).

Kablosuz şarj iletişimi, bu aşamalı süreçlerin entegrasyonu ile birlikte, elektrikli araçların daha hızlı, verimli ve güvenilir bir şekilde şarj edilmesini mümkün kılar. Bu teknoloji, kullanıcılara pratik ve kullanımı kolay bir şarj deneyimi sunma potansiyeli taşır, aynı zamanda elektrikli araçların yaygın kullanımını teşvik eder.

4. AKILLI ŞARJ YÖNETİMİ

Kullanılan devre topolojisinde oluşturulan sistem mimarisi için AC giriş, istasyonun şebeke elektriğinden güç almasını sağlarken güç faktörü düzeltme devresi enerji verimliliğini artırmaktadır. AC girişi doğrultma devresi ile DC'ye dönüştürülür ve dalgalanmaları azaltmak için filtrelenmektedir. Batarya yönetim sistemi (BMS), bataryanın güvenli ve etkili bir şekilde şarj edilmesini sağlarken şarj kontrol devresi akıllı şarj algoritmalarını kullanarak şarj işlemini kontrol etmektedir. İletim ve koruma devreleri, güvenliği sağlamak için aşırı akım koruması, kısa devre koruması ve topraklama hattı gibi önlemleri içermektedir. Bu bileşenlerin bir araya gelmesi, elektrikli araçların hızlı, güvenli ve etkili bir şekilde şarj edilmesini sağlamaktadır.

4.1. Sistem Mimarisi

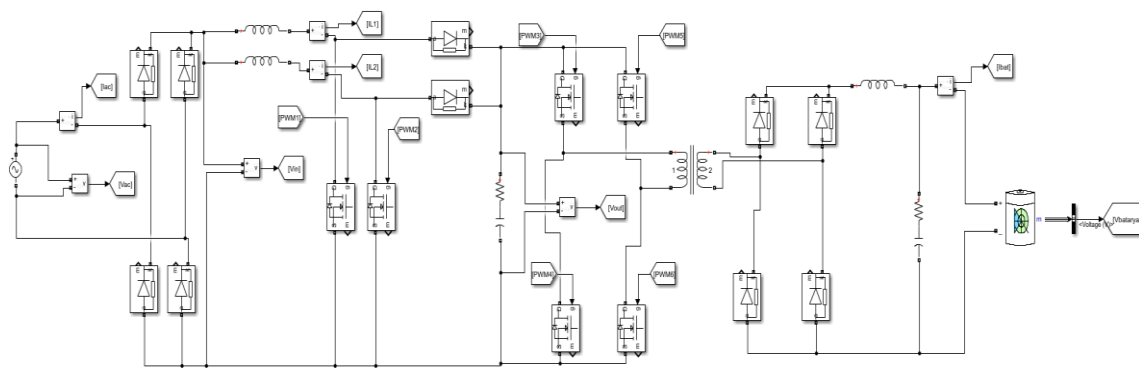


Şekil 4.1. Sistem mimarisi diyagramı

Sistem mimarisi temel olarak bataryayı şarj etmeyi hedeflemektedir. PFC boost devresi, AC giriş gerilimini doğru bir şekilde düzelter ve güç faktörünü iyileştiren bir devredir. PWM kontrolü ile çalışır ve AC giriş gerilimini yüksek DC gerilime dönüştürür. Tam köprülü dalga doğrultucu, AC giriş gerilimini DC'ye dönüştürür. Bu devre, negatif ve pozitif yarım dalgaları birleştirerek DC çıkış sağlar. LLC resonant konvertörü, yüksek verimlilik ve düşük güç kaybı sağlayan bir DC/DC konvertör türüdür. LLC devresi, endüktans (L), kapasitans (C) ve direnç (R) elemanlarını birleştirir. Yüksek frekanslı PWM kontrolü ile çalışır ve dalgalanmaları minimumda tutar. Full-bridge DC/DC konvertörü, genellikle yüksek frekanslı PWM kontrolü ile çalışır ve çıkış dalga formunu kontrol altında tutar. Transformatör ile batarya şarj

sistemi, DC giriş gerilimini uygun seviyelere dönüştürerek bataryayı şarj etmek için kullanılır. Transformatör, DC gerilimini düzenleyerek batarya için gerekli olan gerilim ve akımı sağlar. Bu sistem, enerji dönüşümü ve düzenlemesi için bir dizi karmaşık devreyi içerir ve yüksek verimlilik, düşük güç kaybı ve güvenilirlik sağlamak için tasarlanmıştır.

4.2. Elektrikli Araç Batarya Şarj İstasyonu Devre Topolojisi

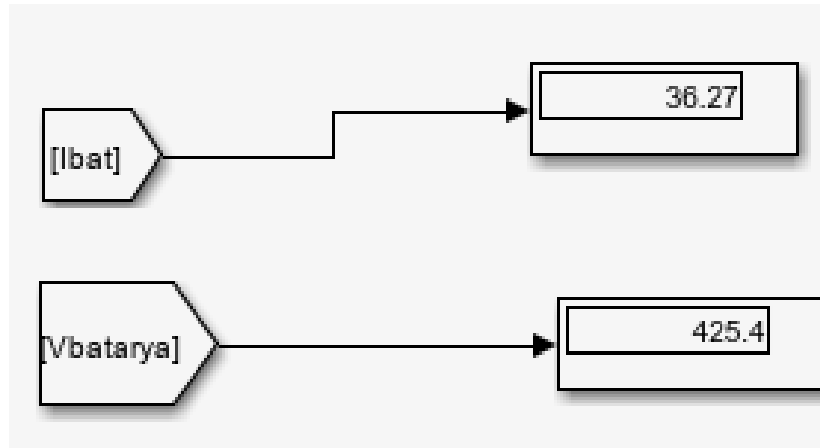


Şekil 4.2. Devre topolojisi blok diyagramı

Şekil 4.2.'de gösterilen elektrikli araç batarya şarj istasyonu, devre topolojisi MATLAB/Simulink kullanılarak tasarlanmıştır. Bunun avantajları arasında, entegrasyon kolaylığı, verimlilik analizi için araçlar sunması, kapsamlı modül kütüphanesiyle tasarım sürecini hızlandırması, gerçek zamanlı simülasyon yetenekleriyle doğru sonuçlar elde etmeyi sağlaması, optimizasyon yetenekleriyle en iyi performansı elde etmeyi kolaylaştırması ve test ve doğrulama süreçlerini kolaylaştırması yer almaktadır.

Çalışmada DC-DC bölümü için aralıklı arttırıcı dönüştürücü (interleaved boost konvertörü), AC-DC bölümü için ise tam dalga doğrultma devresi kullanılmıştır. Aralıklı arttırıcı dönüştürücü DC-DC dönüştürücü, yüksek verimlilik sağlar. Bu, bataryadan şarj istasyonuna veya araca güç aktarırken enerji kaybını minimize etmektedir. Elektrikli araçlarda hızlı şarj etme yeteneği önemli bir özelliktir ve aralıklı arttırıcı dönüştürücüler bu gereksinimi karşılayabilmektedir. Bu sayede akıllı şarj istasyonunun simülasyonda temelleri atılmıştır. İlk olarak AC voltaj eklenmiş olup tepe voltajı 325, volt frekans ise 50 Hz ayarlanmıştır. AC kaynağın voltaj ve akım ölçümü için go-to blokları kullanarak PWM çıkışlar V_{ac} ve I_{ac} olarak eklenmiştir. Alternatif akım (AC) gücünü doğru akıma (DC) dönüştürmek ve doğru sırayla anahtarlama

yapmak için tek faz köprü diyotlar kullanılmıştır. Devre topolojisinde ‘state’ durumları otomatik olup doğru bir şekilde dönüştürme işlemi gerçekleştirilmiştir. Daha sonra tekrar V_{in} ve I_{in} PWM çıkışları alınması için go-to blokları eklenmiştir. Filtreleme işlevi görerek AC giriş voltajındaki harmonik bileşenleri azaltmak için paralel olarak bobin kullanılmıştır. Nominal olarak batarya şarj durumu için 10 mH uygun parametre seçilmiştir. Bu, şarj istasyonunun DC çıkışında daha düzgün bir gerilim sağlar ve şarj edilecek bataryanın daha güvenli şarj olmasını sağlamıştır. Bataryayı şarj etmek veya aracın bataryadan güç almasını sağlamak için akımı açıp kapatma işlemi mosfet blokları ile sağlanmıştır. Bir kapı sinyali uygulandığında mosfet her iki yönde de direnç (R_{on}) iletir ve davranır. Akım negatif olduğunda kapı sinyali sıfıra düşerse akım antiparalel diyota aktarılır ve böylece anahtarlama görevi olarak kullanılır. 0.2Ω ve $5600\mu F$ RC blok devresi eklenip akım sınırlama direnci ile kullanılarak şarj işlemi sırasında bataryaya giden akım kontrol altına alınmıştır. Böylece şebekenin aşırı yüklenmesi sonucu oluşacak tehlikeler önlenmiştir. Köprü görevi görmesi için lineer transformatör eklenmiştir. Transformatör parametreleri devre için en uygun şekilde seçilmiş olup Şekil 4.4 de verilmiştir. Son olarak ise ikincil diyot köprüsü oluşturulup bataryaya aktarım olmuştur ve lityum-iyon pil bataryası blok diyagramı kullanılmıştır. V_{bat} ve I_{bat} ölçümü için go-to blokları eklenmiştir. Bataryanın %50 initial state-of-charge düzeyinde nominal voltajı 425.47 volt ve Rated kapasitesi 150 (Ah) seçilmiştir.



Şekil 4.3. Batarya voltajı ve akımı ekranı

Linear Transformer (mask) (link)

Implements a three windings linear transformer.

Click the Apply or the OK button after a change to the Units popup to confirm the conversion of parameters.

Parameters

Units SI

Nominal power and frequency [Pn(VA) fn(Hz)]:

[2000 50e3]

Winding 1 parameters [V1(Vrms) R1(ohm) L1(H)]:

[450 4.3218e-5 0.45856e-5] [450,4.3218e-05,4.5856e-06]

Winding 2 parameters [V2(Vrms) R2(ohm) L2(H)]:

[430 0.7938e-5 0.084225e-5] [430,7.938e-06,8.4225e-07]

☐ Three windings transformer

Winding 3 parameters [V3(Vrms) R3(ohm) L3(H)]:

[3.15e+05 0.7938 0.084225] [3.15e+05,0.7938,0.084225]

Magnetization resistance and inductance [Rm(ohm) Lm(H)]:

[1.0804e+06 2866] [1080400,2866]

Measurements None

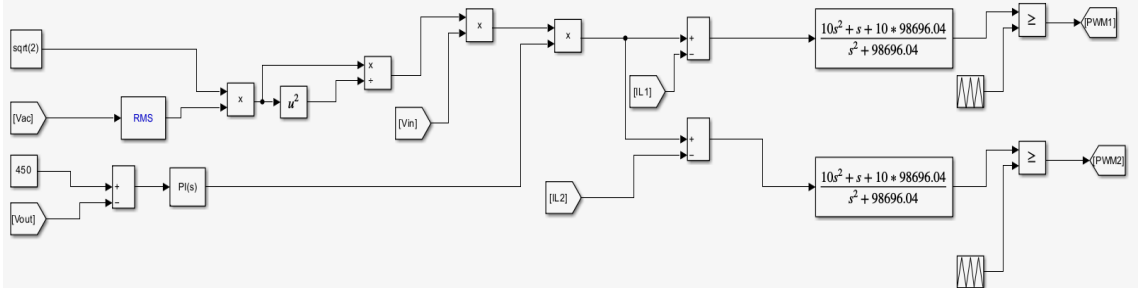
Şekil 4.4. Lineer transformatör parametre değerleri

4.3. Akıllı Şarj İstasyonu Kontrol Sistemi

MATLAB Simulink ortamında elektrikli araç batarya şarj istasyonunun akıllı şarj sistemlerinin simülasyonu, entegrasyon kolaylığı, hızlı prototipleme, güçlü analiz araçları, modüler tasarım, gerçek zamanlı simülasyon ve dinamik görselleştirme gibi bir dizi avantaj sunmuştur.

4.4. Çıkış Voltajı ve Giriş Voltajı PI Kontrol

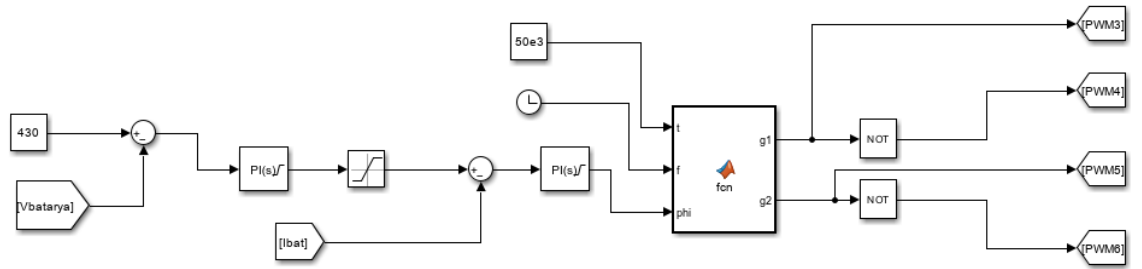
Şarj işleminin istenen hızda ve güvenli bir şekilde gerçekleşmesini sağlamak için PI kontrolü kullanılmıştır, batarya şarj istasyonlarında giriş gerilimi ve çıkış akımı istenen değerlere getirilmiştir. Frekansı 50Hz ve başlangıç RMS değeri 230V olarak ayarlanmış olup istenilen voltaj değeri devre topolojisine uygun olarak 450V olarak ayarlanmıştır. Bu sayede gerçek ölçüm değerleri ile hedef değerler arasındaki fark analiz edilip buna göre kontrol sinyali ayarlanmıştır.



Şekil 4.5. Çıkış voltajı giriş voltajı kontrolü

PI kontrolünün genel transfer fonksiyonu, $P(s) / E(s)$ şeklinde ifade edilir, burada $P(s)$ çıkış sinyali ve $E(s)$ hata sinyalidir. Kontrolör ve sistem modellerini birleştirerek açık döngü transfer fonksiyonunu oluşturulmuştur. Bu, kontrolörün çıkışını sistem girişine bağlayarak elde edilmiştir. PI kontrolöründe ‘Tuner’ fonksiyonu kullanılarak KP değeri 0.25, KI değeri 30 olarak ayarlanmıştır. PI kontrolör parametrelerine dayanarak kapalı döngü transfer fonksiyonunu hesaplanıp oluşturulmuştur. Daha sonra üçgen taşıyıcı dalga formu ekleyerek tekrarlanan bir sıra amaçlanmıştır değer olarak ise 0’dan 1.5 kHz frekans ayarlanmıştır. Son olarak indüktör akımları I_{L1} ve I_{L2} PWM çıkışları ilişkisel operatörüne bağlanmış olup bu girişlere uygulanmıştır.

4.5. Batarya Voltajı ve Akımı PI Kontrol



Şekil 4.6. Batarya voltajı ve akımı kontrolü

Batarya voltajı için sabit bir kontrol sağlamak amacıyla constant bloğu eklenmiş olup değeri kurulan batarya sistemine uygun olarak 430V olarak ayarlanmıştır. Batarya voltajı bloğun eksi (-) kısmına bağlanarak aldığımız Feedback sayesinde nominal bölgeye geldiği görülmüştür. PI kontrol tekrar ‘Tuner’ fonksiyonu kullanılıp KI değeri 5 KP değeri ise 25 olarak ayarlanmış olup çıkış 0° ile 180° arasında ayarlanmıştır. Akım sınırlaması için saturation (doyum) bloğu eklenmiş olup kurulan lityum-iyon batarya

gücü referans alınarak 37.5A ayarlanmış olup doygunluk noktası geçilmemesi amaçlanmıştır.

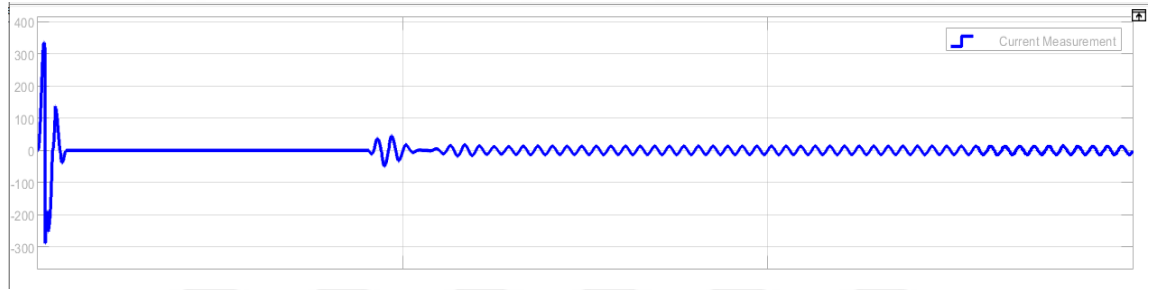
Bir dönüşümün (sinyalin) belirli bir frekanstaki iki farklı fazının davranışını hesaplamak için tasarlanmıştır. Fonksiyon, verilen zaman değeri (t), frekans (f) ve faz açısı (ϕ) parametreleriyle çalışır. İlk olarak, frekansa bağlı olarak periyot (T_f) hesaplanır. Ardından, sinyalin her iki faza ait konumları mod işlemi ile belirlenir. İlk ifade, sinyalin birinci fazının belirli bir koşula göre tetiklenmesini sağlar, ikinci ifade ise sinyalin ikinci fazının tetiklenmesini kontrol eder. Bu fonksiyon, belirli bir frekanstaki sinyalin belirli bir faz açısı altında iki farklı fazını hesaplar ve bu fazların durumunu döndürür. Son olarak not kapıları dönüşüm için mosfet PWM çıkışlarına bağlanıp kontrol sağlanmıştır.

Yapılan çalışmada, elektrikli araçların şarj istasyonlarında kullanılan PI kontrolü üzerine yapılan simülasyonlar özellikle sistem performansı ve güvenlik odaklı tasarım, kontrol algoritması ve parametrelerinin belirlenmesi, sistem modelleme ve analizi, dinamik frekans ve faz analizi ile pratik uygulama odaklı çözümleri içermektedir. Diğer çalışmalardan ayıran en önemli farklılık ise bu çalışmanın, sinyalin belirli bir frekanstaki iki farklı fazının davranışını hesaplayan bir dönüşüm işlemi ile sistem dinamiklerini detaylı bir şekilde incelemesi ve bu analizlerin kontrol algoritmasının hassasiyetini artırmasıdır. Bu özgün yaklaşım, elektrikli araçların şarj süreçlerinin daha verimli ve güvenli bir şekilde gerçekleştirilmesine katkı sağlamaktadır.

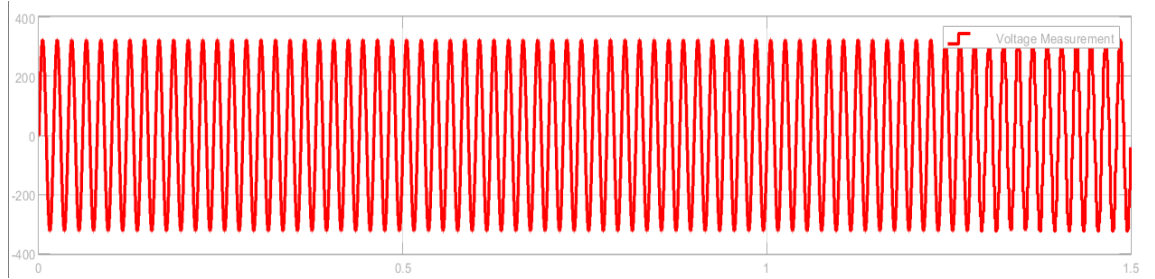
5. BULGULAR

Bu çalışmada, elektrikli araçların şarj edilmesinde kullanılan batarya şarj istasyonlarının performansı analiz edilmiştir. Matlab/Simulink ortamında oluşturulan modelde; AC giriş akımı ve voltajı, doğrulmuş (rectifier) input voltajı, çıkış voltajı ve batarya akımı gibi temel parametrelerin analizi gerçekleştirilmiştir. Bu parametrelerin grafiklerini çıkararak şarj istasyonunun verimliliğini, stabilitesini ve batarya şarj süreci değerlendirilmiştir. Bulgular, şarj istasyonunun tasarımı ve performansını iyileştirmek için değerli bilgiler sunmaktadır.

5.1. Simülasyon Çıktıları

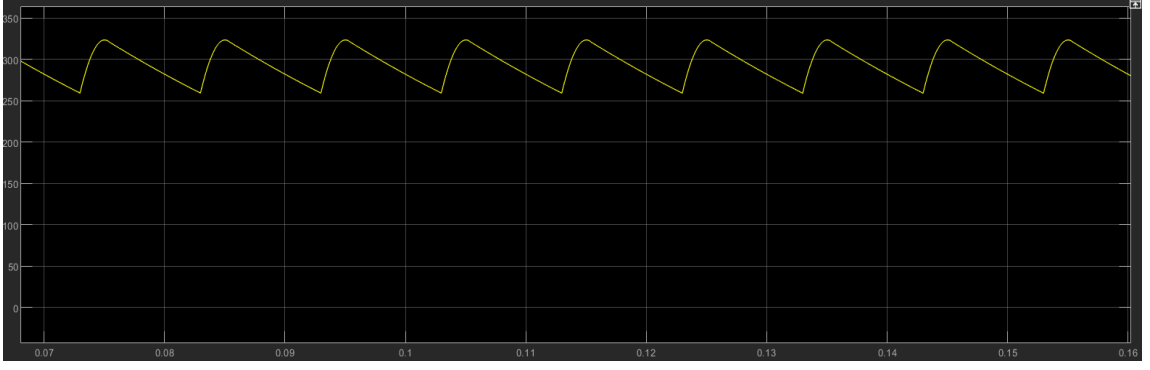


Şekil 5.1. AC giriş akımı



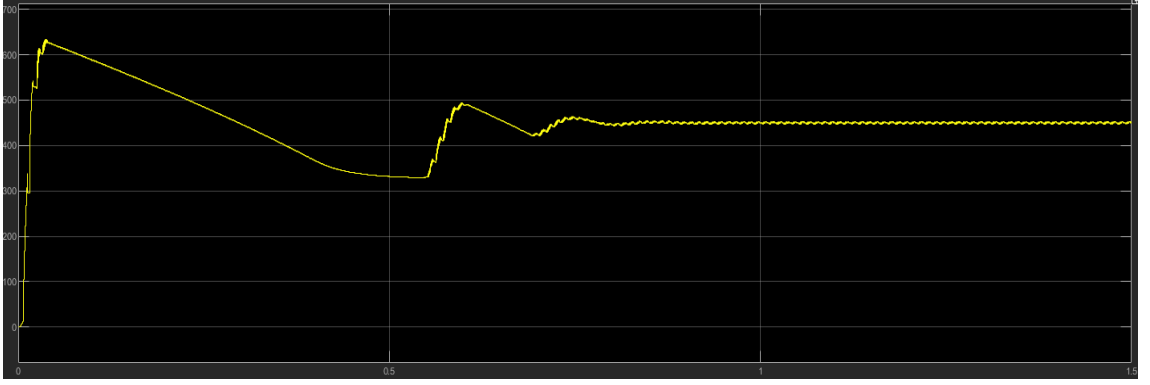
Şekil 5.2. AC giriş voltajı

Şekil 5.1 ve 5.2 de görüldüğü üzere AC kaynağın voltaj ve akım grafiği verilmiştir. Verdiğimiz giriş voltajı sinüzoidal olarak 325,27 V olarak görülmektedir. AC akım kaynağı ise sinüzoidal olup voltaj kaynağı ile aynı fazda sıralanmıştır.



Şekil 5.3. Rectifier (doğrulmuş) olan giriş voltajı

Tek faz köprü diyotlar kullanarak tam dalga doğrultma devresi ile AC gelen voltaj sinyali doğrultulmuştur. Batarya şarj istasyonundaki şarj işlemini gerçekleştirmek için gerekli olan uygun DC gücünü sağlar.



Şekil 5.4. Çıkış voltajı grafiği

Şekil 5.4 'de görüldüğü üzere kontrolü sağlanan voltajın ilk olarak devreye verilen input sinyalinden sonra lineer olmayan bir grafikte karşılaştığını görüyoruz voltaj – zaman grafiği üzerinden 0.6 saniyeden sonra voltajın kararlı hale geçtiği ve istenilen 450 volt kararlılığını koruduğu görülmüştür.

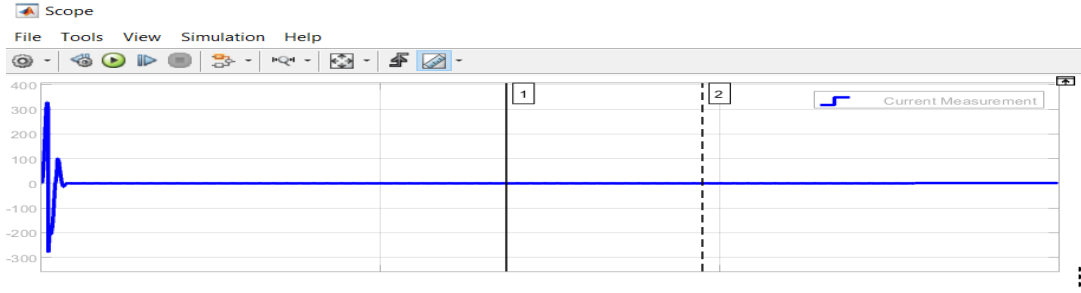


Şekil 5.5. Batarya voltaj grafiği

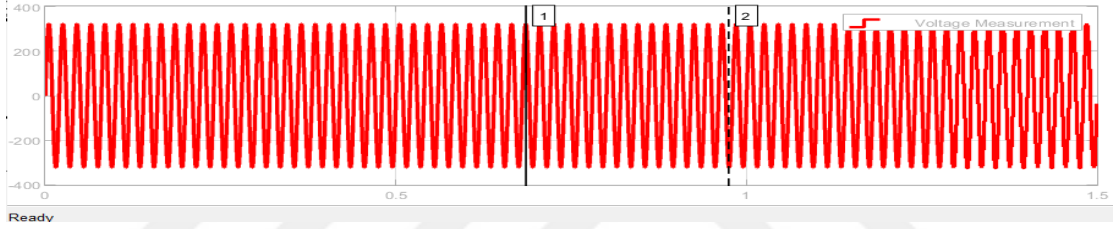
Şekil 5.5 de görüldüğü üzere batarya akımının 425V ölçülmüş olup ilk zamana anından şarj olma durumuna kadar stabilizasyonu sağlanmıştır. Bataryanın kararlı hali

çok önemli ani akım değişiklikleri veya aşırı yüklenme bataryanın hücrelerini hızla bozabilir bu nedenle akımın istikrarlı olması devredeki enerji kaybını azaltmıştır ve verimliliği artırmıştır.

5.2. Farklı Değerdeki DC Çıkış ve Batarya Çıkışı

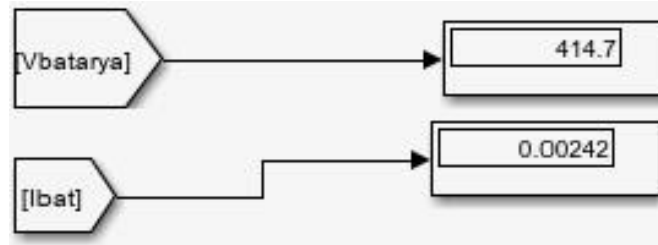


Şekil 5.6. Farklı değerdeki voltaj çıkışı



Şekil 5.7. Farklı değerdeki AC akım çıkışı

PI kontrolörü tarafından yönetilen çıkış voltajı ve batarya voltajını belirli bir seviyede tutar. Ancak, bu değerler istenilen düzeyin altına düştüğünde çeşitli sorunlar ortaya çıkar. Şekil 5.6 ve Şekil 5.7 de görüldüğü üzere batarya voltajının düşümü ve çıkış voltajının düşüşü, Batarya kapasitesinin azalması ayrıca AC akımın çok düşük olmasına neden olmuştur. Bu durum da V_m voltajında ve AC akımda faz kaymasına neden olup Sinüzoidal olarak AC akım kaynağı sönümlenmiştir.



Şekil 5.8. Batarya ve akım çıkışı

Akıllı şarj sistemi, belirlenen kriterlere uygunluk sağladığında şarj işlemine başlama kararı alır. Bu değerlerin dışında farklı bir değer elde etmeye çalıştığımızda şarj

işlemini başlatmaz. Şekil 5.8 de görüldüğü gibi batarya akımında çok düşük bir akıma sebep olmuştur. Bu durum elektrik sistemine zarar verebilir ve performans kaybına yol açabilir.



6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

6.1. Sonuçlar

Günümüzdeki konvansiyonel araçların yüksek petrole bağımlılığı, çevreci ve maliyet açısından daha avantajlı olan elektrikli araçların talep göreceği beklentisini güçlendirmektedir. Bu araçların yakın gelecekte piyasada daha fazla rağbet görmesi beklenirken, kullanım potansiyellerini artırmak ve oluşabilecek sorunları minimum seviyeye düşürmek için çeşitli çalışmaların planlanması gereklidir. Bu çerçevede hazırlanan tez çalışması, çevresel etkileri en aza indirmek ve kullanıcı tercihini desteklemek amacıyla sunulan akıllı şarj sistemi tasarımı çözüm önerisiyle, literatüre önemli bir katkı yapmayı hedeflemektedir. Bu yöntem, gelecekte daha sürdürülebilir bir ulaşım sistemi için önemli bir adım olarak değerlendirilebilir.

Akıllı şarj sistem tasarımı ile elektrik güç kalitesini bozmadan elektrikli araçların şarj edilmesi, şarj istasyonunun enerjiyi verimli bir biçimde yönlendirilmesi ve akıllı şarj süreci ile çözüm önerisi sunulmuştur. Geliştirilen akıllı şarj sistemi, kullanıcı beklentilerini de dikkate alacak şekilde tasarlanmıştır. Elektrikli araçların şarj talepleri, mevcut kapasiteyi aşmadan ve kullanıcıların isteklerini karşılayacak şekilde önceden belirlenmiştir. Şebekeden gelen voltajın ani bir etki yaratmaması amaçlanmış bu amaç doğrultusunda devre topolojisinde uygun elemanlar tercih edilmiştir. Bu yaklaşım, enerji verimliliği ve kullanıcı memnuniyeti açısından akıllı şarj sistemlerinin önemini vurgulamaktadır, böylece elektrikli araçlar daha güvenli ve etkili bir şekilde şarj edilebilir.

Akıllı şarj sistemi, belirlenen kriterlere uygunluk sağladığında şarj işlemine başlama kararı alır. Bu kriterler arasında arzu edilen trafo kapasitesi, aktif olmayan devrelerin durumu ve belirlenen ortalama dayalı yük değerleri gibi çeşitli ve çok kriterli faktörler bulunmaktadır. Bu çerçevede şarj süreci, şebeke kapasitesini optimum şekilde kullanacak şekilde planlar. Bu akıllı değerlendirme süreci, şarj istasyonlarının enerji yönetimini daha etkili hale getirerek elektrikli araç kullanıcılarına daha güvenli ve verimli bir şarj deneyimi sunar.

Elektrik tüketimi ve şarj talep artış eğrisinin benzer bir yapıya sahip olması, EA'ların şarj süreçlerinin sistemli bir biçimde tasarlanmasını gerektirir. Yapılan bu tasarım, EA'ların şarj taleplerinin şebekeyi sistematik bir şekilde yüklemesini önlemekte, enerji kayıplarını minimize etmekte ve genel enerji kalitesini koruma altına almaktadır. Bu sistematik tasarım, elektrik şebekesinin aşırı yüklenmesini önleyerek,

hem güvenilirlik hem de enerji verimliliği açısından önemli bir adım olarak değerlendirilebilir. Bu yaklaşım, elektrikli araçların artan kullanımıyla birlikte ortaya çıkan şebeke zorluklarına karşı etkili bir çözüm sunarak, sürdürülebilir bir enerji altyapısının oluşturulmasına katkı sağlamaktadır.

6.2. Öneriler

Günümüzde EA'ların yaygın kullanımını engelleyen uzun şarj süreleri ve yüksek batarya maliyetleri gibi zorluklar hala çözülmeyi beklemektedir. Birçok kişi için bu faktörler, elektrikli araçların geniş çapta kabul görmesinin önündeki temel engelleri oluşturmaktadır. Bu bağlamda, yapılan bu çalışma, uzun şarj süreleri ve güvenli şarj gibi sorunlara odaklanarak elektrikli araçların kullanılabilirliğini artırma potansiyeline yönelik bir değerlendirme sunmaktadır. Bu çalışma, temel sorunların aşılmasına katkı sağlaması açısından büyük öneme sahiptir ve elektrikli araçların daha geniş bir kullanıcı kitlesi tarafından benimsenmesine yönelik çözümlere ışık tutabilir.

Çevresel endişelerin arttığı günümüzde, enerji talebindeki yükselişle paralel olarak elektriğe duyulan ihtiyaç da artmaktadır. Ancak, günümüzdeki elektrik üretimi büyük ölçüde fosil kaynaklı olduğu için, artan elektrik talebi çevresel kaygılarla çelişmektedir. Bu durum, fosil yakıtların yaygın kullanımının çevresel etkilere olan olumsuz katkısını artırmaktadır. Bu bağlamda, EA'lar gelecekteki enerji ihtiyaçlarına çözüm olabilir. EA'lar, kullanılan enerji kaynaklarını daha sürdürülebilir ve çevre dostu olan yenilenebilir enerjiye yönlendirebilecekleri için önemli bir rol oynayabilir. Bu araçlar, çevre bilincini artırarak ve yenilenebilir enerji kullanımını teşvik ederek, elektrik talebinin karşılanmasında çevresel etkileri minimize eden bir çözüm sunabilir. EA'lar, enerji talep yönetiminde çeşitli avantajlar sunabilir, özellikle de yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı şebeke sistemlerinin entegrasyonu konusunda. Bu nedenle, gelecekte EA'larla ilgili konular üzerine yoğunlaşarak, bu araçların enerji talep yönetimi ve sürdürülebilir enerji kullanımında oynayabileceği rolü daha iyi anlamak için daha fazla çalışma yapılması gerekmektedir. EA'lar, enerji sektöründeki dönüşümde önemli bir rol oynamaya adaydır ve bu potansiyeli değerlendirmek için daha fazla araştırma ve geliştirme çalışmalarına ihtiyaç vardır. Bu çalışmada gerçekleştirilen çalışmaların yanı sıra ele alınabilecek diğer araştırma konuları şunlar olabilir;

- EA'ların elektrik piyasasındaki analizi ve dinamik değeri aracılığıyla enerji alışverişi ile şebeke potansiyelinin değerlendirilmesi gerekmektedir.

-Yeşil enerji kullanımının yaygınlaştırılması ve elektrik kesintilerine karşı dirençli olabilmek adına güneş, rüzgar gibi yenilenebilir kaynaklardan beslenen şarj istasyonları inşa edilmelidir.

- Şarj altyapısı planlamasının evrenselleştirilmesi gerekmektedir.

-Taşınabilir şarj üniteleri üretilmeli ve acil durumlarda EA'lara destek sağlanabilmelidir.

- Elektrikli Araçların (EA) geniş çapta benimsenmesini sağlamak, hızlı şarj cihazları ve daha güvenilir hale getirmek amacıyla invertör ve denetleyiciler üzerinde çalışılmalıdır.

- Ülkemiz perspektifinden bakıldığında, EA'lar için; yakın, orta ve uzun vadeli stratejik bir yol haritasının ve uygulama planının oluşturulmasına acil bir gereklilik bulunmaktadır.

Sonuç olarak EA kullanımının sağlıklı bir şekilde yaygınlaştırılabilmesi için, EA altyapısı ve şebeke entegrasyonu özenle planlanmalıdır. Sistem içindeki tüm bileşenler, akıllı şebeke kapsamında değerlendirilmeli ve uygun optimizasyon stratejileri kullanılarak EA'ların kullanılabilirliği ve enerji verimliliği maksimum seviyeye çıkarılmalıdır.

KAYNAKLAR

- Altun, Ş., 2012, Elektrikli araçlar için batarya yönetim sistemi algoritması tasarımı ve uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, *Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kocaeli, 38-45.
- Aqueel, A., Alam, M., ve Chabaan, R., 2018, A comprehensive review of wireless charging technologies for electric vehicles, *IEEE Transactions on Transportation Electrification*, 4 (1), 38-63.
- Babal, E., 2010, Ulaştırma sektörü mevcut durum değerlendirmesi raporu, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Ankara, 17-20.
- Baygüneş, M., Kıvrak, B., Sözen, S. ve Çavuş, B., 2020, Elektrikli araç için düşük maliyetli bir batarya yönetim sistemi tasarımı ve gerçekleştirilmesi, *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 2 (1), 25-28.
- Bayram, B., 2017, Elektrikli araç şarj yöntem ve istasyon tipleri, *Türkiye Elektrikli ve Hibrid Araçlar Derneği*, 31-34.
- Bayram, B., 2019, Türkiye'deki şarj stasyonu sayısı elektrikli otomobili yakaladı, *Türkiye Elektrikli ve Hibrid Araçlar Derneği (TEHAD)*, 28-32.
- Boyalı, A., 2008, Hibrit elektrikli yol taşıtlarının modellenmesi ve kontrolü, Doktora Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 57-65.
- Buchi, R., 2012, Brushless motors and controllers, *Electric Drives and Electromechanical Systems*, 86-92.
- Cuma, M. U., Cengiz, A. H. ve Tümay, M., 2016, Çukurova üniversitesinde kentsel elektrikli araç ulaşımı ve şarj istasyonu uygulama simülasyonu, *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 4 (2), 38-45.
- Çiçek, A. ve Erdiñ, O., 2019, Pv-batarya hibrit sistemi içeren elektrikli araç otoparkının şarj yönetimi, *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 5(3), 25-28.
- Çobanoğlu, A., Demirkıran, G. ve Güneş, M. 2021, İzmir ilinde elektrikli kara araçları için güneş enerjisi destekli bir şarj istasyonunun tasarlanması, *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 4(2), 18-23.
- Çolak, M. ve Boztepe, M., 1995, Şebeke alt yapısı, Doktora Tezi, *Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir, 75-82.
- Demir, U., ve Akünerh, M. C., 2018, Elektrikli bir araç için tekerlek içi asenkron motorun tasarım ve optimizasyonu. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 6 (2), 22-26.

- Doğaroğlu, B. ve Çalışkanelli, P., 2022, Araç tanıma teknolojileri, Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Uygulamaları Dergisi, 5 (2), 53-72.
- Doucette, R. ve McCulloch, M., 2011, Modeling the prospects of plug-in hybrid electric vehicles to reduce co₂ emissions, Applied Energy, 88(7), 315-323.
- Duman, O. ve Dağ, S., 2013, Elektrikli araçlar için şarj cihazı, *Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Trabzon, 56-61.
- Durmuş, F. ve Kaymaz, S., 2020, Elektrikli araç şarj yöntemleri, Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Uygulama Dergisi, 3 (2), 8-14.
- F. Keskin., 2014, Yakıt pilli-bataryalı hibrid bir elektrikli araçta enerji yönetiminin sağlanması Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 84-88.
- Fincan, B., 2015, Elektrikli araçlar için kablosuz şarj cihazı tasarımı, *İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 25-31.
- Gómez, J., Member, S. ve Morcos, M., 2003, Impact of ev battery chargers on the power quality of distribution systems, IEEE Trans Power Deliv, 18 (3), 975-981.
- Gül, K., 2018, Elektrikli araçlar için batarya yönetim sistemi tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 35-47.
- Gül, M. N., Yazar, O., Coşkun, S., Zhang, F., Li, L. ve Kaya, İ. E., 2023, Güç paylaşımlı hibrit elektrikli araçlar için monte carlo algoritması kullanarak öngörülü eşdeğer tüketim minimizasyon stratejisi. Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 4 (2), 18-22.
- Güner, C., 2023, Dışarıdan şarj edilebilen hibrit elektrikli araç ile menzil artırıcı elektrikli araç konseptlerinin karşılaştırmalı analizi, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 65-72.
- Güneş, D., Tekdemir, İ. G., Karaarslan, M. Ş. ve Alboyacı, B., 2018, Elektrikli araç şarj istasyonu yüklerinin güvenilirlik indisleri üzerine etkilerinin incelenmesi, Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 7 (4), 42-48.
- Gürbüz, Y. ve Kulaksız, A., 2016, Elektrikli araçlar ile klasik içten yanmalı motorlu araçların çeşitli yönlerden karşılaştırılması, Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 8 (2), 25-28.
- Güven, E. C. ve Gedik, K., 2019, Ömrünü tamamlamış elektrikli araç bataryalarının çevresel yönetimi. Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 3 (1), 17-22.
- İspir, B., 2020, Elektrikli araçlarda kablosuz güç aktarımı tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sakarya, 84-87.

- Kalender, E., 2019, Hibrit ve elektrikli araçlar eğitim modülü, Şehit Özgür Can İnce Mesleki Ve Teknik Anadolu Lisesi, 25-29.
- Karadeniz, O., 2017, Lityum tabanlı enerji depolama üniteleri için batarya yönetim sistemi tasarımı, Yüksel Lisans Tezi, *İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 65-69.
- Karapınar, F. ve Daldaban, F., 2022, Elektrikli araçların şarj yöntemleri ve şarj istasyon tipleri, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 38 (3), 84-88.
- Karayaman, M., 2014, Kütahya vilayet hususi idaresinin 1915-1920 yılları arasındaki faaliyetleri, OTAM Ankara Üniversitesi Osmanlı Tarihi Araştırma ve Uygulama Merkezi Dergisi, 36 (1), 117-125.
- Kempton, W. ve Tomic, J., 2005, Vehicle-to-grid power fundamentals, Calculating Capacity and Net Revenue, 268-279.
- Kerem, A. ve Gürbak, H., 2020, Elektrikli araçlar için hızlı şarj istasyonu teknolojileri, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 4(2), 24-29.
- Kerem, A., ve Gürbak, H. 2020, Elektrikli araçlar için hızlı şarj istasyonu teknolojileri, *Gazi University Journal of Science Part C: Design and Technology*, 8(3), 644-661.
- Kerem, A. ve Gürbak, H., 2020, Elektrikli araçlar için hızlı şarj istasyonu teknolojileri, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 4 (2), 42-28.
- Keskin, B., Günel, E. Ş., Urazel, B. ve Keskin, K., 2022, Elektrikli araç bataryalarının şarj durumu tahmini için bir model, *Nicel Bilimler Dergisi*, 5 (4), 36-43.
- Koç, Ç. ve Özceylan, E., 2018, Elektrikli araç rotalama problemleri üzerine bir literatür taraması ve araştırma öngörülleri, *Gaziantep Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 7 (3), 28-36.
- Korkmaz, M. S., 2013, A genetic algorithm based solution approach for tdivrp, Yüksek Lisans Tezi, *Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 69-78.
- Lu, X., Wang, P., Niyato, D., Kim, D. I. ve Han, Z., 2016, Wireless charging technologies: fundamentals, standards, and network applications, *IEEE Communications Surveys ve Tutorials*, 4 (3), 38-45.
- Mroczek, B. ve Kołodyńska, A., 2020, The V2G Process With The Predictive Model. Integrating Electric Vehicles Into Power Grid, 11 (6), 99-102.
- Özcan, M. E., 2015, Elektrikli Araçların Dağıtım Şebekesine Entegrasyonu, Doktora Tezi, *Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 102-109.
- Özdemir, M., 2017, Li-ion batarya karakterizasyonu, modellemesi ve batarya yönetim sistemi tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 65-77.

- Özdeş, B., Terzioğlu, H. ve Ağaçayak, A. C., 2020, Elektrikli araçlara genel bakış 2, İsad Yayınları, No;12, Adıyaman, 53-72.
- Özenir, İ. ve Nakıboğlu, G., 2021, Elektrikli araçlar, şarj sistemleri ve sürdürülebilirlik, Holistance Publications, 145-165.
- Pashaei, A., Aydın, E., Polat, M., Yıldırım, E. ve Aydemir, M. T., 2016, Elektrikli araçlar için temassız güç aktarım sistemleri. Elektrikli Araçlar için Temassız Güç Aktarım Sistemleri Dergisi, 6 (11), 28-35.
- Polati, Ö., Yumak, K., Sezgin, M., Yumurtacı, G. ve Gül, Ö., 2015, Elektrikli araç ve şarj istasyonlarının türkiye'deki güncel durumu, 6. Enerji Verimliliği ve Kalitesi Sempozyumu ve Sergisi, Kocaeli, 95-102.
- Robert, B. 1981, Introduction to queueing theory, second edi, *North Holland Inc.*, NY, USA, 117-125.
- Sahloul, M. N., Deniz, A. ve Hocaoglu, F. O., 2023, İzolesiz bir off-grid pv destekli elektrikli araç şarj istasyonunun şarj ünitesi tasarımı, Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 12 (4), 55-62.
- Sarıkurt, T. ve Balıkcı, A., 2017, Tam elektrikli araçlar için özgün bir enerji yönetim sistemi uygulaması, Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 5 (3), 29-34.
- Silva, F., 2011, dc-dc converters. rashid m.h., *Power Electronics Handbook*, 252-257.
- Singh, M., Kumar, P. ve Kar, I., 2012, Implementation of vehicle to grid infrastructure using fuzzy logic controller, *IEEE Trans. Smart Grid*, 3(1), 565-577.
- Sinkaram, C. ve Asirvadam, V. S., 2013, Capacity study of lithium ion battery for hybrid electrical vehicle a simulation approach. *IEEE International Conference on Signal and Image Processing Applications (ICSIPA)*, 5 (4), 104-109.
- Şahin, F. ve Kılınç, E., 2022, Elektrikli araç batarya aktif dengeleme sistemleri için çift yönlü flyback dönüştürücü tasarımı, *Politeknik Dergisi*, 8 (4), 49-56.
- Şenlik, İ., 2015, Uyuyan devrim elektrikli araçlar, *Elektrik Mühendisleri Odası Dergisi*, 6 (4), 64-72.
- Tarlak, H., 2018, Elektrikli araçlar için iki yönlü şarj devresi, Yüksek Lisans Tezi, *Kırklareli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kırklareli, 94-99.
- Tel, Ö. F., 2019, Elektrikli araçların kablosuz güç iletimi ile şarj edilmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kocaeli, 84-92.

- Tezde, E. İ. ve Okumuş, H. İ., 2018, Battery models and state of charge determination, Yüksek Lisans Tezi, *Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Trabzon, 66-75.
- Thiel, C., Perujo, A. ve Mercier, A., 2010, Cost and co₂ aspects of future vehicle options in europe under new energy policy scenarios, *Energy Policy*, 10 (3), 142–151.
- Vesco, A. ve Ferrero, F., 2015, Handbook of research on social, economic and environmental sustainability in the development of smart cities, IGI Global, Italy, 94-102.
- Yalçınsoy, E., ve Pulat, E., 2023, Hibrit ve elektrikli araç bataryalarının soğutulmasının hesaplamalı olarak araştırılması, Doktora Tezi, *Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Bursa, 85-94.
- Yıldızhan, D., Erenoğlu, A. K. ve Erdiñ, O., 2022, Elektrikli araç entegrasyonunun dağıtım sistemine etkilerinin incelenmesi ve şarj istasyonu altyapısının tayin edilmesi. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 5 (4), 27-34.
- Yılmaz, Ş., Çıngı, A. ve İpek, A., 2017, Elektrikli araç tarihçesi, *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 9 (3), 56-61.