



**ELEKTRİKLİ ARAÇ KABLOSUZ ŞARJ
SİSTEMLERİNDE DOĞRU KONUMLANDIRMA
İÇİN KARTEZYEN ROBOT TASARIMI**

**2023
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MEKATRONİK MÜHENDİSLİĞİ**

Kaan KARAOĞLU

**Tez Danışmanı
Prof. Dr. Raif BAYIR**

**ELEKTRİKLİ ARAÇ KABLOSUZ ŞARJ SİSTEMLERİNDE DOĞRU
KONUMLANDIRMA İÇİN KARTEZYEN ROBOT TASARIMI**

Kaan KARAOĞLU

**Tez Danışmanı
Prof. Dr. Raif BAYIR**

**T.C.
Karabük Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalında
Yüksek lisans Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

**KARABÜK
Haziran 2024**

Kaan KARAOĞLU tarafından hazırlanan “ELEKTRİKLİ ARAÇ KABLOSUZ ŞARJ SİSTEMLERİNDE DOĞRU KONUMLANDIRMA İÇİN KARTEZYEN ROBOT TASARIMI” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Raif BAYIR

.....

Tez Danışmanı, Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından Oy Birliği ile Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 25/06/2024

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Doç. Dr. Ali UYSAL (MCBÜ)

.....

Üye : Prof. Dr. Raif BAYIR (KBÜ)

.....

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Hilmi AYGÜN (KBÜ)

.....

KBÜ Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Doç. Dr. Zeynep ÖZCAN

.....

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”

Kaan KARAOĞLU

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ELEKTRİKLİ ARAÇ KABLOSUZ ŞARJ SİSTEMLERİNDE DOĞRU KONUMLANDIRMA İÇİN KARTEZYEN ROBOT TASARIMI

Kaan KARAOĞLU

Karabük Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Prof. Dr. Raif BAYIR

Haziran 2024, 74 sayfa

Bu çalışmada, elektrikli araçların kablosuz olarak şarj edilmesi sırasında enerji kayıplarının azaltılması ve verimliliğin artırılması için kartezyen robot tasarımı geliştirilmektedir. Günümüz ve geleceğin ulaşım teknolojileri arasında üst sıralarda yer alan elektrikli araçlar için şarj sistemleri oldukça önemlidir. Elektrikli araçlar 20. yüzyılın başından beri çalışılmakta, ayrıca sessiz ve temiz sürüş gerektiren birçok uygulamada yerini almış görünmektedir. Bu tez çalışmasında elektrikli araçların statik ve dinamik olmak üzere iki farklı yapıdaki kablosuz şarj yöntemleri incelenmiş, avantajları ve dezavantajları ortaya konulmuştur. Elde edilen veriler doğrultusunda elektrikli araç kablosuz şarj sistemlerinin verim oranını arttıracak zeki kablosuz şarj sistemi fikri ortaya çıkmıştır. Elektrikli araçlarda zeki kablosuz şarj sistemi, otonom olarak aracın anlık şarj bilgisini ve konum bilgisini alan, bu bilgiler doğrultusunda da yine otonom olarak aktarılacak gücü belirleyen ve maksimum verim elde etmek adına manyetik alan yöntemini kullanarak şarj pedlerini hizalayan bir sistemdir. Bu tez çalışması sayesinde elektrikli araçların kablosuz şarj edilmesi işleminde bir insana ihtiyaç duyulmadan manyetik alan etkileşimi ile konum takibi yapılmakta, Bluetooth haberleşmesi ile güncel şarj durumu takip edilebilmekte,

kartezyen tipi robot ile otonom olarak hizalama gerçekleştirilebilmekte ve bu sayede yer istasyonundan araca aktarılan gute minimum kayıp ve maksimum verim elde edilebilmektedir. Bu tezde kullanılan yöntemler sayesinde endüstride düşük maliyetli ancak sistem kararlılığı ve kontrol mekanizması zayıf sistemler yerine, yüksek hassasiyet ve düşük hata oranı olan sistemlere geçiş yapılabilecektir.

Anahtar Szkler : Elektrikli araç, Kablosuz şarj sistemleri, Enerji verimliliği, Kartezyen robot, Konum algılama.

Bilim Kodu : 92904

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

CARTESIAN ROBOT DESIGN FOR ACCURATE POSITIONING OF ELECTRIC VEHICLE WIRELESS CHARGING SYSTEMS

Kaan KARAOĞLU

Karabük University

Institute of Graduate Programs

Department of Mechatronics Engineering

Thesis Advisor:

Prof. Dr. Raif BAYIR

June 2024, 74 pages

In this study, a Cartesian robot design has been developed to reduce energy losses and increase efficiency during wireless charging of electric vehicles. Charging systems are very important for electric vehicles, which rank high among today's and future transportation technologies. Electric vehicles have been studied since the beginning of the 20th century, and they seem to have taken their place in many applications that require quiet and clean driving. In this thesis, wireless charging methods of electric vehicles in two different structures, static and dynamic, are examined and their advantages and disadvantages are revealed. In line with the data obtained, the idea of an intelligent wireless charging system that can increase the efficiency rate of electric vehicle wireless charging systems has emerged. An intelligent wireless charging system in electric vehicles is a system that autonomously receives the instantaneous charging information and location information of the vehicle, autonomously determines the power to be transferred in line with this information and aligns the charging pads using the magnetic field method to achieve maximum efficiency.

Thanks to this thesis, the wireless charging of electric vehicles can be performed without the need for a human being by using magnetic field interaction, the current charging status can be monitored via Bluetooth communication, autonomous alignment can be performed with a Cartesian type robot, and thus minimum loss and maximum efficiency can be achieved in the power transferred from the ground station to the vehicle. Thanks to the methods used in this thesis, the industry will be able to switch from low-cost systems with poor system stability and control mechanisms to systems with high precision and low error rates.

Key Words : Electric vehicle, Wireless charging systems, Energy efficiency, Cartesian robot, Location detection.

Science Code : 92904

TEŞEKKÜR

Bu tez projesinin planlama, araştırma, icra ve geliştirme aşamalarında ilgi ve yardımlarını esirgemeyen, geniş bilgi ve deneyimlerinden istifade ettiğim, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalışmamın bilimsel temellere dayalı olarak oluşmasını sağlayan değerli akademisyen Prof. Dr. Raif BAYIR'a minnettarlığımı ifade ederim.

Bilimin ve bilim insanının yanında olup, 2210-C yurtiçi öncelikli alanlar yüksek lisans burs program kapsamında maddi destekte bulunan TÜBİTAK'a teőekkürlerimi sunarım.

KBBAP-22-YL-156 numaralı proje kapsamında bu tez projesine katkı sağlayan Karabük Üniversitesi BAP Koordinatörlüğüne teşekkür ederim.

Değerli aileme manevi desteklerini hiç eksik etmedikleri için içtenlikle teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xv
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2	4
LİTERATÜR TARAMASI.....	4
BÖLÜM 3	11
ELEKTRİKLİ ARAÇ ŞARJ SİSTEMLERİ.....	11
3.1. ELEKTRİKLİ ARAÇ SINIFLARI	11
3.1.1. Hibrit Araçlar.....	11
3.1.2. Plug-In Hibrit Araçlar.....	12
3.1.3. Elektrikli Araçlar	13
3.2. ELEKTRİKLİ ARAÇ ŞARJ YÖNTEMLERİ	14
3.2.1. Batarya Değişirme	16
3.2.2. Ev Tipi Şarj.....	16
3.2.3. Normal Şarj.....	16
3.2.4. Hızlı Şarj.....	17
3.2.5. Kablosuz Şarj.....	18
3.3. KABLOSUZ ŞARJ SİSTEMLERİ	20
3.3.1. Amper Yasası.....	20

	<u>Sayfa</u>
3.3.2. Lenz Yasası.....	21
3.2.3. Rezonans.....	21
3.2.4. Faraday Yasası.....	21
3.4. DİNAMİK KABLOSUZ ŞARJ YÖNTEMİ	22
3.5. STATİK KABLOSUZ ŞARJ YÖNTEMİ.....	22
3.5.1. Kapasitif Kablosuz Güç Aktarımı	23
3.5.2. Manyetik Dişli Kablosuz Güç Aktarımı	24
3.5.3. Geleneksel Endüktif Güç Aktarımı	25
3.5.4. Rezonanslı Endüktif Güç Aktarımı	25
 BÖLÜM 4	 27
KARTEZYEN ROBOT SİSTEMİ VE DOĞRUSAL HAREKET KONTROLÜ.....	27
4.1. KARTEZYEN ROBOT	27
4.2. DOĞRUSAL HAREKET KONTROL SİSTEMLERİNİN MEKANİK BİLEŞENLERİ	 28
4.2.1. Vidalı Mil.....	28
4.2.2. Kremayer Dişli.....	28
4.2.3. Kaplin	29
4.3. MEKANİK HESAPLAMALAR.....	29
4.4. KARTEZYEN ROBOT DOĞRUSAL HAREKETLERİNİN MATEMATİKSEL ANALİZİ.....	 31
 BÖLÜM 5	 34
MATERYAL VE METOT	34
5.1. MATERYAL.....	34
5.1.1. ESP32 Geliştirme Kartı	36
5.1.2. SH 20 Lineer Ray – BRA BRL 20 CC Lineer Araba.....	37
5.1.3. Primopal PHB57S76-SF Step Motor – Leadshine M542 Step Motor Sürücü	 37
5.1.4. MS5 Lineer Manyetik Sensör – Manyetik Şerit.....	39
5.1.5. HUAGON NS 1200 200 W Kablosuz Şarj Modülü.....	40

	<u>Sayfa</u>
5.1.6. LEM LV 25-P Gerilim Sensörü.....	42
5.1.7. LEM LTS 25-NP Akım Sensörü	43
5.1.8. Molicell INR 21700 12S Batarya Grubu	43
5.1.9. DCW 08C-15 DC Dönüştürücü.....	45
5.1.10. SCW 03C-05 DC Dönüştürücü	46
5.1.11. KY-024 Hall Effect Sensör.....	46
5.2. METOT	47
5.2.1. Lityum Pil Grubu Şarj Politikası	50
BÖLÜM 6	52
DENEYSEL ÇALIŞMALAR	52
6.1. SİSTEMİN ÖN TESTİ.....	52
6.2. DOĞRUSAL EKSENLERİN KONUMA GÖRE KONTROLÜ.....	53
6.2.1. Rampa Fonksiyonu	53
6.3. DOĞRUSAL EKSENLERİN HIZA GÖRE KONTROLÜ	54
6.4. GÜÇ AKTARIMI VE VERİMLİLİK KONTROLÜ.....	60
6.5. ARAÇ ÜNİTESİ İLE HIZALAMA KONTROLÜ	65
BÖLÜM 7	68
SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME.....	68
KAYNAKLAR	69
ÖZGEÇMİŞ	73

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 3.1. Hibrit araçların çalışma prensibi	12
Şekil 3.2. Plug-in araçların çalışma prensibi	13
Şekil 3.3. Elektrikli araç yapısı	14
Şekil 3.4. Kablosuz şarj sistemi.....	18
Şekil 3.5. Conductix – Wampfler şirketinin kablosuz şarj sistem şeması.....	19
Şekil 3.6. Statik kablosuz şarj sisteminin basit blok diyagramı	23
Şekil 3.7. Kapasitif kablosuz güç aktarımı şematik diyagramı	24
Şekil 3.8. Manyetik dişli kablosuz güç aktarımı şeması	24
Şekil 3.9. Geleneksel endüktif güç aktarım diyagramı	25
Şekil 3.10. Rezonanslı endüktif güç aktarımı şematik diyagramı	26
Şekil 4.1. Tasarımı yapılan kartezyen robot sistemi	27
Şekil 4.2. Vidalı mil	28
Şekil 4.3. Kremayer dişli.....	29
Şekil 4.4. Kaplin görseli.....	29
Şekil 4.5. Kartezyen robotun kinematik analizi.....	31
Şekil 5.1. Deney düzeneği blok şeması.....	34
Şekil 5.2. Kartezyen platform deney düzeneği.....	35
Şekil 5.3. ESP 32 Modülün Pin yapısı.....	36
Şekil 5.4. Lineer ray ve lineer araba.....	37
Şekil 5.5. Step motor ve step motor sürücü.....	38
Şekil 5.6. Lineer manyetik sensör ve manyetik şerit.....	39
Şekil 5.7. Kablosuz şarj modülü.....	40
Şekil 5.8. Araç ünitesi deney düzeneği.....	41
Şekil 5.9. LEM LV 25-P Gerilim sensörü.....	42
Şekil 5.10. LEM LTS 25-NP Akım sensörü.....	43
Şekil 5.11. Molicell INR 21700 batarya.....	44
Şekil 5.12. Li-İon batarya şarj durumu grafiği.....	45
Şekil 5.13. DCW 08C-15 DC DC Dönüştürücü.....	45
Şekil 5.14. SCW 03C-05 DC DC Dönüştürücü.....	46

Sayfa

Şekil 5.15. KY – 024 Hall effect sensor.....	47
Şekil 5.16. Deneysel çalışmanın akış diyagramı	48
Şekil 5.17. Trapezoidal hız profili.....	49
Şekil 5.18. Pil grubunun şarj sırasında akım ve gerilim değişimleri.....	51
Şekil 6.1. Oluşturulan deney düzeneğinin hareket halinde çekilen fotoğrafı.....	53
Şekil 6.2. ESP32 ile elde edilen trapezoidal rampa sinyali.....	54
Şekil 6.3. X eksenini için gerçekleştirilmiş doğrusal yörünge planlaması.....	55
Şekil 6.4. Y eksenini için gerçekleştirilmiş doğrusal yörünge planlaması.....	55
Şekil 6.5. Z eksenini için gerçekleştirilmiş doğrusal yörünge planlaması.....	56
Şekil 6.6. Kartezyen robotun tekrarlama hassasiyeti grafiği.....	58
Şekil 6.7. 1. bölge konum- zaman grafiği ve çalışma uzayındaki konumu.....	58
Şekil 6.8. 2. bölge konum- zaman grafiği ve çalışma uzayındaki konumu.....	59
Şekil 6.9. 3. bölge konum- zaman grafiği ve çalışma uzayındaki konumu.....	60
Şekil 6.10. 4. bölge konum- zaman grafiği ve çalışma uzayındaki konumu.....	60
Şekil 6.11. Batarya grubu %0 - %100 şarj durumu grafiği.....	61
Şekil 6.12. %10 - %100 şarj durumunda elde edilen sonuçlar.....	62
Şekil 6.13. Batarya grubu %50 - %100 şarj durumu grafiği.....	63
Şekil 6.14. %50 - %100 şarj durumunda elde edilen sonuçlar.....	63
Şekil 6.15. Batarya grubu %80 - %100 şarj durumu grafiği.....	64
Şekil 6.16. %80 - %100 şarj durumunda elde edilen sonuçlar.....	64
Şekil 6.17. Alıcı şarj pedinin muhtemel konumları.....	65
Şekil 6.18. Şarj pedlerinin %75 hizalanması ile elde edilen sonuçlar.....	66
Şekil 6.19. Hizalama oranı – verimlilik grafiği.....	67

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 3.1. Güç seviyelerine göre elektrikli araç şarj tipleri	15
Çizelge 3.2. Kablolu şarj yöntemleri ve özellikleri.....	17
Çizelge 3.3. EA Kablosuz şarj şirketleri	19
Çizelge 3.4. Elektrikli araçlar için farklı kablosuz güç aktarım yöntemleri	23
Çizelge 4.1. D-H değişkenlerinin belirlenmesi.	32
Çizelge 5.1. Kartezyen platformda kullanılan materyaller.	36
Çizelge 5.2. ESP 32 Modülün teknik özellikleri.....	37
Çizelge 5.3. Primopal PHB57S76-430-SF step motor teknik özellikleri.....	38
Çizelge 5.4. MS5 Lineer manyetik sensör teknik özellikleri.....	39
Çizelge 5.5. Kablosuz şarj modülü teknik özellikleri	41
Çizelge 5.6. Araç ünitesinde kullanılan materyaller.	42
Çizelge 5.7. LEM LV 25-P Gerilim sensörü teknik özellikleri.	42
Çizelge 5.8. LEM LTS 25-NP Akım sensörü teknik özellikleri.	43
Çizelge 5.9. Molicell INR 2170 batarya teknik özellikleri.	44
Çizelge 5.10. DCW 08C-15 DC - DC Dönüştürücü teknik özellikleri.....	45
Çizelge 5.11. SCW 03C-05 DC - DC Dönüştürücü teknik özellikleri.....	46
Çizelge 6.1. Çalışma uzayının farklı bölgelerinde gidilen konumlar.....	57

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

- a : ivme
 a_{i-1} : uzuv uzunluğu
 C : kapasitans
 F : kuvvet
 J : atalet momenti
 m : kütle
 M : moment
 ${}^{n-1}_nT$: dönüşüm matrisi
 r : sabit noktaya olan uzaklık
 R_x : alıcı
 t_{acc} : pozitif ivmelenme zamanı
 t_{dec} : negatif ivmelenme zamanı
 t_{max} : maksimum hızın gerçekleştiği zaman
 t_{toplam} : toplam hareket zamanı
 T_x : verici
 v : çizisel hız
 Ω : ohm
 α_{i-1} : eksen açısı
 d_i : eklem açıklığı
 θ_i : iki eksen arasında oluşan eklem açısı
 ω : açısal hız

KISALTMALAR

- AC : Alternative Current (Alternatif Akım)
- ADC : Analog – Digital Converter (Analog – Dijital Dönüştürücü)
- BMS : Battery Management System (Batarya Yönetim Sistemi)
- CPT : Capacitive Power Transfer (Kapasitif Güç Aktarımı)
- D – H : Denavit - Hertenberg Yöntemi
- DC : Direct Current (Doğru Akım)
- EA : Elektrikli Araç
- EMC : Electro Magnetic Compatibility (Elektro Manyetik Uyumluluk)
- EV : Electric Vehicle (Elektrikli Araç)
- FEA : Finite Element Analysis (Sonlu Elemanlar Analizi)
- G2V : Grid to Vehicle (Şebekeden Araca Haberleşme)
- GA : Ground Assembly (Yer Grubu)
- H2V : House to Vehicle (Eviden Araca Haberleşme)
- IOT : Internet of Things (Nesnelerin İnterneti)
- IPT : Inductive Power Transfer (Endüktif Güç Aktarımı)
- LCC : Lansing Community Collage (Lansing Topluluğu Koleji)
- MOD : Metal Object Detection (Metal Obje Algılama)
- NFC : Near Field Communication
- PD : Position Detection (Konum Algılama)
- PLC : Programmable Logic Controller (Programlanabilir Mantık Denetleyicisi)
- RFID : Radio Frequency Identification (Radyo Frekansı ile Tanımlama)
- SAE : Society of Automotive Engineers (Otomotiv Mühendisleri Topluluğu)
- SMPS : Switch Mode Power Supply (Anahtarlama Güç Kaynağı)
- SOC : State of Charge (Şarj Durumu)
- UPS : Uninterruptable Power Supply (Kesintisiz Güç Kaynağı)
- V2G : Vehicle to Grid (Araçtan Şebekeye Haberleşme)
- V2H : Vehicle to House (Araçtan Eve Haberleşme)
- VA : Vehicle Assembly (Araç Grubu)
- WEVC: Wireless Electric Vehicle Charging (Kablosuz Elektrikli Araç Şarjı)
- WPT : Wireless Power Transfer (Kablosuz Güç Aktarımı)
- ZVS : Zero Voltage Switch (Sıfır Voltaj Anahtarı)

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Her geçen gün teknolojinin gelişimi ile birlikte ihtiyaçlar ve bunların karşılanmasına yönelik çözümler çeşitlenmektedir. Bu ihtiyaçların en önemlilerinden olan ulaşım ihtiyacını karşılamak adına 1800’lü yılların sonunda içten yanmalı motor kullanan araçlar ortaya çıkmıştır. Yüz yıldan fazla bir süredir hayatımızda olan içten yanmalı motor teknolojisine sahip araçlar günümüze geldiğinde eski cazibesini kaybetmeye başlamış ve yerini kademeli olarak hibrit araçlara, ardından elektrikli araçlara bırakmaya devam etmektedir.

Teknolojik ilerlemelerin etkisiyle, araç teknolojisinin ilerlemesine paralel olarak otonom sistemler, mikroişlemciler ve PLC (Programmable Logic Controller) gibi cihazların gelişmesi, teknolojideki çeşitliliği artırıyor. Bu sistemlerin gelişiminin temel amacı, yapılan işin kalitesini ve verimliliğini artırmaktır. Bu şekilde, endüstride zaman kazandıran bu sistemler aynı zamanda hatalı işlerin sayısını en aza indirerek iş maliyetini düşürmektedir [1]. Bilimsel ve teknolojik ilerlemelerle paralel olarak seri üretimde insan gücü kullanımı giderek azalmaktadır. Otonom kontrol sistemleri, insan gücüne ihtiyaç duymadan çalışabilen sistemlerin kontrolünü amaçlar. Böylece, makinelerin kontrolü insan aracılığıyla değil, diğer makineler aracılığıyla sağlanabilir.

İnsan nüfusunun artışı ile araç teknolojilerindeki ihtiyaç da artmıştır. Bu ihtiyaç artışı sonucunda içten yanmalı motorlar hava kirliliği, petrol kaynaklarının azalması ve maliyet yüksekliği gibi sebeplerle yerini elektrikli araçlara bırakmıştır. Elektrikli araçların etkin unsur haline gelmesindeki bir diğer sebep ise işletme maliyetlerinin içten yanmalı motorlu araçlara göre düşük olmasıdır. İçten yanmalı motorlardaki mekanik aksamın ihtiyaç duyduğu yağlama ve bakım giderleri gibi maliyetler elektrikli araçlarda bulunmamaktadır.

Elektrikli araç teknolojileri artan ihtiyaçlar doğrultusunda her geçen gün ilerlemekte ve gelişmektedir. Bu bağlamda farklı ihtiyaçlar doğrultusunda farklı temel tasarım ilkeleri doğrultusunda çeşitli elektrikli araç teknolojileri üretilmektedir. Elektrikli araçlar enerji kaynağı olarak elektriğin kullanım derecesine göre üç sınıfa ayrılmaktadır. Bu sınıflar elektrikli, hibrit ve plug-in hibrit şeklindedir.

Günümüz ve geleceğin ulaşım teknolojileri arasında üst sıralarda yer alan elektrikli araçlar için şarj sistemleri oldukça önemlidir. Elektrikli araçlar için şarj yöntemleri batarya değiştirme, kablolu şarj ve kablosuz şarj olmak üzere 3 ana başlıkta incelenir. Bu yöntemler içerisinde otonom olarak çalışabilmesi, soket ve bağlantılarda yıpranmaya sebep olmaması ve elektriksel arızaların minimuma indirilebilmesinden kaynaklı olarak endüktif şarj olarak da bilinen kablosuz şarj sistemleri dikkat çekmektedir.

Genel olarak kablosuz bir şarj sistemi oluşturulurken, makul bir verimlilik yakalayabilmek için (>%80) en fazla 10 cm'lik bir yanlış hizalama yapılacağına dayanılır. Ancak yapılan araştırmalar, herhangi bir harici park navigasyon desteği olmayan sürücülerin park ederken boylamasına ortalama olarak 70 cm'den fazla yanlış hizalama yaptığını göstermektedir [2]. Yine araştırmalar göstermektedir ki, sürücülerin yalnızca %5'i araçlarını ek yardım almadan kabul edilen yanlış hizalama içerisine park edebilmektedir. Genel olarak, verimli bir şarj için sürücünün park etmesine rehberlik etmek üzere bobin konumlandırma bilgisi sağlayan bir araç hizalama sistemi oldukça arzu edilen bir sistemdir. Kablosuz Elektrikli Araç (EA) şarjı için araç hizalama teknolojisi, esas olarak manyetik ve radyo konumlandırma yaklaşımlarına odaklanmıştır [3].

Bu sistemler, nispeten büyük bir yanal yer değiştirme altında geliştirilmiş Endüktif Güç Aktarımı (IPT) kabiliyetine sahip olsa da kaplin çok zayıfsa çalışamazlar. Bu nedenle, sorunu temelden çözmek için bir hizalama sistemi önerilmektedir. Kablosuz şarjın yanlış hizalamaya karşı toleransını geliştirmek için gelişmiş güç elektroniği ve

kontrol yaklaşımları sunulsa da bir sürücü aracını park ederken ciddi yanlış hizalamalar meydana gelebilir [2]. Birincil ve ikincil bobinler arasındaki göreceli konum, sürücünün park etmesine bağlı olarak oldukça değişken olabilir; bu, reaktif güç nedeniyle verimlilik düşüşüne, yüksek elektrik gerilimine ve hatta yanlış hizalama durumunda işlev eksikliğine neden olabilir [4].

Bu tez çalışmasında L7 sınıfı elektrikli araçlar için kablosuz şarj sistemi tasarımı gerçekleştirilmektedir. Hazırlanan sistem, üç eksenli kartezyen robot kontrolü ve manyetik konumlandırma vasıtasıyla gerçekleştirilmektedir. Bu sayede kablosuz şarj sistemleri kullanılırken sürücülerin hatalı park etmesinden kaynaklı olarak oluşan enerji kaybı tolere edilebilecek ve bobinler arası enerji verimliliği arttırılabilecektir. Bu çalışmada araç - makine haberleşmesi işlemciler arası kablosuz iletişim yoluyla sağlanmıştır. Doğrusal hareket kontrol sisteminin tepkisi rampa sinyaline karşı analiz edilmektedir.

Bu çalışmanın birinci bölümünde elektrikli araçlar ve şarj sistemleri teknolojilerinin gelişimi ve ilerlemesi hakkında genel bilgiler verilmektedir. İkinci bölümde elektrikli araç kablosuz şarj sistemleri hakkında yapılan literatür çalışmaları verilmektedir. Üçüncü bölümde elektrikli araç sınıfları ve elektrikli araç şarj yöntemleri hakkında bilgi verilmektedir. Dördüncü kısımda, kartezyen robot sistemleri, doğrusal hareket kontrolü, mekanik hesaplamalar ve kartezyen robotların doğrusal hareketlerinin matematiksel analizi ele alınmaktadır. Beşinci bölümde, deney düzeneğinde kullanılan materyallerin detayları ve uygulanan yöntem hakkında bilgi verilmektedir. Altıncı bölümde, gerçekleştirilen deneysel çalışmalar ve elde edilen sonuçlar sunulmaktadır. Yedinci ve son bölümde ise, elektrikli araç şarj sistemi deney düzeneğine uygulanan test sonuçlarının bulguları ve değerlendirmeleri yer almaktadır.

BÖLÜM 2

LİTERATÜR TARAMASI

EA'lar için pratik bir kablosuz şarj sistemi, birincil tarafta bir doğrultucu ve bir invertör, bir manyetik kuplör (birincil ve ikincil bobinler), bir doğrultucu ve araç üzerinde bir doğrultucu ve dc-dc dönüştürücülerden (ikincil) oluşur. Yabancı cisim algılama, birincil ve ikincil bobinler arasında nesnelere veya kablosuz şarj sisteminin kendisine olumsuz etkiler oluşturabilecek metal ve canlı nesnelerin varlığının algılanmasıdır [5]. Kablosuz EA şarjıyla ilgili mevcut araştırma endişeleri, öncelikle manyetik bağlayıcı tasarımı, devre topolojileri, yüksek frekanslı güç dönüşümü ve şarj kontrol stratejileri ve algoritmalarını içerir [6], [7]. Yanlış hizalamaya karşı kablosuz şarj toleransını geliştirmek için gelişmiş kuplör tasarımı, uyarlanabilir frekans kontrolü ve devre topolojileri önerilmektedir.

En eski sistemlerden biri Santa Barbara projesidir. Buradaki çözüm, bugün bile malzeme taşımada yaygın olarak kullanılan bir ray sistemi kullanan tasarımlara odaklanmaktı. Bu uygulamayı sınırlayan temel sorun, modern malzemelerin bulunmamasıydı. Ferrit ve litz kablosu olmadan manyetikler çok ağırdır ve modern güç elektroniği olmadan frekanslar 20 kHz veya daha yüksek olmak yerine çok düşüktür (ilk çalışmalarda ~400 Hz). Bununla birlikte, güç kontrol araçları da eksikti. Sonuç olarak, konseptler ve tasarımlar iyi düşünülmüş olsa da park etme veya hareket etme toleransı oldukça kısıtlı ve maliyet çok yüksek olmuştur [8].

Mecke ve diğerleri, önceki 4 yıl boyunca yürütülen ve yayınlanan araştırmalara dayanarak, elektrikli otomobilleri şarj etmek için uygun güç aktarımlarının büyük hava boşluklarında yüksek verimlilikle elde edilebileceğini göstermektedir. Bu çalışmada birkaç yüz milimetrelilik çok büyük hava boşluklarının gerekli olacağını farkettiler. Yüksek verimlilikte Litz teli kullanılarak yapılan yüksek rezonanslı bobinlerin farklı iletim frekanslarında çalışacak şekilde dikkatlice ayarlanmış 20 ve 150 kHz arasındaki

en verimli çalışma noktasını belirlemek için nasıl boyutlandırılacağını araştırdılar. Yaptıkları sistem, bir dizi ayarlanmış rezonans dönüştürücüsü üzerinden çalıştırıldı. Her biri 400 mm'lik bir bobin çapına sahip eşleşen dairesel kuplörler kullanılarak 1 kW'ı 300 mm'lik bir hava boşluğu üzerinden aktarmak için 100 kHz'de çalıştırıldı. Yaklaşık %80 oranında bir genel verimlilik elde edilmektedir. Bu sistem, o zamanlar bu tür sistemlerin en son halini temsil etmekte idi, ancak toleransın yanlış hizalamaya olan etkisi ve akı sızıntısı dikkate alınmamıştır. Bobin ferritin dışında olacak şekilde inşa edildiğinden, bu ped esasen pedin merkezinden yayılan ve kolayca geri döndürülemeyen ve bu nedenle kontrol altına alınması gereken önemli bir sızıntı yaratan alanlarla sonuçlanan bir çalışma olmuştur [9].

Benzer geliştirme araştırmaları, bu dönemde, ferrit kuplörlerin tasarımını optimize etmek için Sojo Üniversitesi'nde [10] ve Auckland Üniversitesi'nde [11] yürütülmüştür ve bu, 2000'lerin sonlarında tartışılan ve yüksek düzeyde verimlilik ve iyi tolerans ile sergilenen çeşitli sistemlerle sonuçlandı. Mecke'ye en çok benzeyen sistem EVS 2009'da Stavanger'da sergilendi. Bu Auckland sistemi mütevazı bir 20 kHz'de çalışırken, 220 mm'lik açıklıklar üzerinden 2 kW'lık güç aktarılabilirken, aynı zamanda ± 150 mm'ye kadar yanal toleranslara izin verildi. Tüm sistemin verimliliği (tüm güç elektroniği dahil) %85'in üzerindeydi ve manyetik bobin kaybı nispeten geniş bir alana yayılmış her bobinde sadece %2-3 olduğundan ve konveksiyon soğutması yeterli olduğundan, zorlamalı soğutma gerektirmemektedir. Bu yazıda, daha büyük bir dairesel ped yapısı kasıtlı olarak inşa edildi ve ~%25'ini (%45'ten %70'e) kaplayan düz bir Arşimet bobinine sahipti. Ortalama bobin çapı da ~400 mm idi, ancak toplam 700 mm çapında bir ped boyutu gerektirmektedir.

Y. Tezcan ve arkadaşları tarafından İzmir Ege Üniversitesi kapsamında gerçekleştirilen çalışmada endüktif kuplajlı kablosuz güç aktarım sistemlerinin analizi ve tasarımına odaklanılmıştır. Bu çalışma kapsamında yapılan çalışmalar, endüktif kuplajlı kablosuz enerji transferi sistemlerinde öz-endüktans, karşılıklı endüktans ve kuplaj katsayısı hesaplanması ve rezonant DC-AC eviricinin yumuşak anahtarlama yapabilmesi için sıfır gerilimde anahtarlama koşulları incelenmesidir. Elde edilen sonuçların doğrulanması, sonlu eleman analizi yöntemi sonuçları ile karşılaştırılarak sağlanmıştır. Ortaya konulan deneysel ve benzetim çalışmaları sonucunda bobinlerde

oluşan bakır kaybının genel kayıplar içerisinde oldukça önemli bir yer tuttuğu görülmüştür. Laboratuvar ortamında gerçekleştirilen prototip sistemden elde edilen sonuçlar, dc girişten yüke güç aktarım verimini maksimum %64,2 olarak göstermiştir [12].

Yibiao Gao ve diğerleri tarafından 2017 yılında yapılan çalışmada EA kablosuz şarj için manyetik algılamaya dayalı üç boyutlu bobin konumlandırma ele alınmıştır. Bu çalışmada, Manyetik rezonans yoluyla kablosuz güç aktarımı (WPT) kaplin, temassız yöntem nedeniyle elektrikli araç (EV) şarjı için umut verici bir çıkış olarak kabul edilir. WPT'li geleneksel bir transformatörün aksine, birincil ve ikincil bobinler arasındaki bağıl boşluk ve yanal mesafe oldukça değişkendir, bu da kablosuz güç dağıtımını etkileyebilir ve verimliliği azaltabilir. Kablosuz EV şarjı ile ilgili yanlış hizalama sorununu çözmek için kablosuz şarj yapısını paylaşan bir manyetik konumlandırma yaklaşımı önerilmektedir. Önerilen hizalama algılama sistemi, şarj pedini konumlandırmak için ikincil tarafta çok sayıda yardımcı küçük bobin kullanılmaktadır. Konumlandırma ilkesi ve eşdeğer devre analiz edilmektedir. 108 numune test edilmiş ve 70 cm'lik algılama aralığı boyunca dağıtılmıştır. Deneysel sonuçlar bu numunelerin %92'sinin 2 cm'lik ve %98'inin 3 cm'lik konumlandırma hatalarına sahip olduğunu gösterir niteliktedir [5].

Bobin yanlış hizalanması altında rezonans çalışmasını sürdürmek için Virginia Tech de araştırmacı olan Zheng ve arkadaşları (2013), hava boşluğu ve yanal mesafe değişikliği altında kaplini korumak için asimetrik bir kuplör tasarladılar [13], [14]. Bu bildiride, bir EA aküsü için temassız bir şarj sistemi önerilmektedir. Sistem, frekans modülasyonlu tam köprü inverterden gelen yüksek frekanslı güç kaynağı hem birincil hem de ikincil sargılar için seri rezonans kapasitörleri kullanan gevşek bağlı bir transformatör ve tam- köprü diyot doğrultucu barındırmaktadır. Özenle seçilmiş kompanzasyon ağı parametreleriyle, bir EA pil şarj prosedürünün tüm aralığında tüm birincil anahtarlar için sıfır voltajlı anahtarlama (ZVS) sağlanabilir, bu da yüksek frekanslı çalışma elde etmek için düşük durum dirençli güç MOSFET'lerinin kullanılmasına izin verir. Gevşek bağlı transformatörün tasarımı, sonlu eleman analizi (FEA) yazılımı ile simüle edilir ve doğrulanır. 8 cm hava boşluklu transformatör ve

156 kHz anahtarlama frekansına sahip 4 kW prototip ile %96,6'lık bir tepe verim elde edilir.

Michigan Üniversitesi'nden Li ve Mi (2015), çift taraflı bir Lansing Community Collage (LCC) ağı ve EA kablosuz şarj için 30 cm'ye kadar yanlış hizalama toleransına sahip bir bipolar kuplör üzerinde çalıştı [15]. Bu makale, elektrikli araç/plug-in hibrit elektrikli araç kablosuz şarj cihazları için entegre bir LCC telafi topolojisi sunar. Ek bobin ile ana bobin arasındaki kuplajın LCC kompanzasyon topolojisi üzerindeki etkisi incelenmektedir. Önerilen topoloji, ek bobinin boyutunu küçültecek ve sistemi son derece yüksek verimlilikle daha kompakt hale getirecektir. Önerilen topolojinin temel özellikleri, temel harmonik yaklaşıma dayalı olarak analiz edilir. Ayrıca, kararlı durum modeline dayalı olarak, üç çalışma modu kategorisi sunulmakta ve analiz edilmektedir. Sıfır voltaj anahtarlamaı yeniden gerçekleştirmek için, sekonder taraftaki seri kapasitör olan “C2” olarak ayarlanmıştır. C2'nin farklı değerlerinin dönüş akımı üzerindeki etkisini analiz etmek için sayısal bir yöntem kullanılır, analizi doğrulamak ve bir prototip oluşturmak için en iyi C2 değeri seçilir.

Kore İleri Bilim ve Teknoloji Enstitüsü'nden Mi, Buja ve Choi, güç aktarım kapasitesi, verimliliği, yanal tolerans, elektromanyetik alan, hava boşluğu, boyut, ağırlık ve WPTS'lerin maliyeti gibi konularda iyileştirme sağlamak için araç hareket halindeyken yola gömülü endüktif güç aktarımı (IPT) rayları vasıtasıyla elektrikle beslenen çevrimiçi bir EA kablosuz şarj sistemi başlattı (2016). Bu sistem 20 kHz'de 60 kw elektriği 20 cm hava boşluğu ile 24 cm yanal toleransla iletmede %83 verimliliğe sahiptir [16].

H. Tarlak tarafından Kırklareli Üniversitesi kapsamında hazırlanan yüksek lisans tezinde (2018) elektrikli araçlar için iki yönlü şarj devresi tasarımına odaklanılmıştır[17]. Elektrikli araçlarda verimlilik sorununa çözüm olabilmesi adına Plug-in hibrit araçlar için 2,5 kW gücünde iki yönlü batarya şarj devresi tasarımı Matlab & Simulink programı kullanılarak, şebekeden araca (G2V), evden araca (H2V), araçtan eve (V2H) ve kesintisiz güç kaynağı (UPS) modları gerçekleştirilmiş ve simülasyon sonuçları elde edilmektedir. Yapılan çalışma doğrultusunda Elektrikli araçlar için akü şarj sistemi ile elektrikli aracın G2V, H2V, V2H, UPS çalışma modları

Matlab ortamında tasarlanmış ve her mod simülasyon sonuçları alınarak gerçekleştirilmektedir. Daha ileri çalışmalara konu olabilecek elektrikli araçtan şebekeye (V2G) modu şebeke ile elektrikli araç şarj yönetim sistemi arasında veri alışverişi gerekli önlemler alınarak yapılması ile mümkün olabilir. V2G modu ile şebeke dalgalanmaları azaltılması, voltaj piklerinin engellenmesi, harmoniklerin engellenmesi, enerji fiyatlarının düşük olduğu zamanlarda bataryalarda enerji depolayarak yüksek olduğu anda şebekeye geri enerji verilmesi ile enerji maliyetinin azaltılması mümkündür.

W. Li 2009 yılında British Columbia Üniversitesi kapsamında hazırlamış olduğu tez çalışmasında, düşük frekans kullanan kalıcı mıknatıslı kaplinde yüksek verimli kablosuz güç iletimini konu almıştır. Geliştirilen sistem geleneksel rezonans endüktif güç aktarım cihazlarına göre çok daha düşük çalışma frekansına sahiptir. İki ana yöntemi bünyesinde barındırmaktadır. Bunlardan ilki manyetik akıyı arttırarak ve azaltarak sargı faktörünü arttırmayı içerir. İkinci yöntem ise sargılardaki girdap akımı kayıplarını azaltmayı içermektedir. Geliştirilen yöntemin uygulanabilirliği iki farklı ölçeklendirme için deneysel olarak doğrulanmıştır. Ölçeklendirmesi daha büyük olan deneysel çalışmanın ana hedef uygulamaları elektrikli araçlar ve endüstriyel uygulamalarda kablosuz şarj sistemleridir. Bu çalışma 15 cm ayrılma mesafesine ve 1,6 kW güç aktarım seviyesine sahiptir. Ölçeklendirmesi küçük olan çalışma ise daha çok tıbbi implantları hedef uygulama alanı olarak belirlemektedir. 10 cm ayırma mesafesine ve 60 W güç aktarımına sahiptir. Her iki ölçekteki çalışmada yaklaşık %81 verim sağlamış ve 150 Hz bandını geçmemiştir [15].

F. Lu ve diğerleri tarafından 2015 yılında elektrikli araç şarjı için çift taraflı LCLC kompanzasyonlu kapasitif güç transfer yöntemi çalışması gerçekleştirilmektedir. Michigan Üniversitesi kapsamında gerçekleştirilen çalışmada, kablosuz güç aktarımının etkili iki yöntemi olan kapasitif güç aktarımı (CPT) ve endüktif güç aktarımı (IPT) üzerinde durulmuştur. IPT sistemi güç aktarımı için manyetik alan kullanırken, CPT teknolojisi gücü doğrudan elektrik olmadan aktarmak için yüksek frekanslı alternatif elektrik alanları kullanır. IPT teknolojisi taşınabilir elektronik cihazlar, biyomedikal cihazlar ve elektrikli araç şarjı gibi pek çok alanda halihazırda yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada, elektrikli araç şarj uygulaması için çift

tarafli LCLC kompanzasyonlu kapasitif güç transfer (CPT) sistemi önerilmektedir. Sistemin oluşturulması için iki çift metal plaka ve gücü kablosuz olarak aktarmak için iki bağlantı kapasitörü kullanılır. LCLC kompanzasyonlu yapı voltaj stresini önemli ölçüde azaltabilir. Çalışma 2,4 kW CPT sistemi ile tasarlanmıştır. 2.4 kW çıkış gücünde %90,8 verimliliğe ulaşabilmektedir. 300 mm yanlış hizalama durumunda çıkış gücü 2,1 kW ve %90,7 verimlilik düzeyine düşmektedir. 150 mm olan hava boşluğunun 300 mm seviyesine çıkarılması ile çıkış gücü 1,6 kW olmakta ve %89,1 verimlilik sağlamaktadır [7].

Chen ve arkadaşları tarafından (2021)[18], Çin'de Zhejiang Üniversitesi kapsamında gerçekleştirilen Kablosuz EA Şarjı için Yakın Alan İletişimi ile Entegre çalışması kablosuz elektrikli araç şarjının ticarileştirilmesi adına çözülmesi gereken üç kritik soruna yanıt aramıştır. Bu sorunlar araç grubu (VA) ve yer grubu (GA) arasındaki iletişim, GA bobininde metal nesne algılama (MOD) ve VA'nın konum algılama (PD) şeklindedir. Bu makale, MOD ve PD'yi VA-GA yakın alan iletişimi (NFC) ile entegre eden kapsamlı bir sistem önermektedir. Önerilen sistem, 85 kHz'de çalışan bir 3.3 kW WEVC prototipi kullanılarak doğrulanmıştır. Deneysel sonuçlar, önerilen sistemin kablosuz şarj verimliliği üzerinde hiçbir etkisi olmadan hem çevrimiçi hem de çevrimdışı NFC, MOD ve PD'yi yüksek hassasiyetle gerçekleştirebildiğini göstermektedir.

Cumhuriyet Üniversitesi fen bilimleri enstitüsü kapsamında 2010 yılında Selami Çay tarafından hazırlanan yüksek lisans tezinde üç uzuvlu kartezyen robot tasarımına odaklanılmıştır. Bu çalışmada, tamir bakım kapsamındaki kaynak işlerinde kullanılması düşünülen bilgisayar kontrollü, kartezyen koordinatlı kaynak robotu tasarımı ele alınmıştır. Tasarım sırasında takip edilen aşamalar; kartezyen robotun boyutlandırılması, kinematik ve dinamik analizi ile sistem için bir PID denetleyici tasarlanmasıdır [19].

B. Özbey tarafından İstanbul Teknik Üniversitesi fen bilimleri enstitüsü kapsamında 2020 yılında hazırlanan, elektrikli araçlar için kablosuz şarj sistemi tasarımı ve optimizasyonu isimli yüksek lisans tezinde [20], yüksek verim ve kuplaj sağlanacak şekilde bir kablosuz şarj sisteminin tasarımı ve optimizasyonu gerçekleştirilmektedir.

Tasarım aşamasında dairesel, D ve DD bobin topolojileri oluşturulan sistemlerin farklı hizalama hatası durumlarında bağlantı katsayısının değişimi incelenmektedir. Yapılan incelemeler sonucu diğer topolojilere oranla daha yüksek hizalama hatası toleransına sahip olan bir topolojide karar kılınmıştır. Bobin topolojisinin seçiminin ardından sistemde kullanılacak kompanzasyon topolojisi, incelenen diğer temel topolojilere oranla daha yüksek verimle güç taşınmasına imkân veren LCC topolojisi olarak seçilmektedir. Tasarlanan sistemin farklı hizalama hatalarında verim analizi yapılmış ve bağlantı katsayısındaki değişim incelenmektedir. Tasarlanan sistem ile 200mm hava aralığında tam hizalı durumda yaklaşık 3.3 kW'lık güç primer taraftan sekonder tarafa %94,95 verimle aktarılmıştır.

Bu sistemler, nispeten büyük bir yanal yer değiştirme altında geliştirilmiş IPT kabiliyetine sahip olsa da kaplin çok zayıfsa çalışamazlar. Bu nedenle, sorunu temelden çözmek için bir hizalama sistemi önerilmektedir. Kablosuz şarjın yanlış hizalamaya karşı toleransını geliştirmek için gelişmiş güç elektroniği ve kontrol yaklaşımları sunulsa da bir sürücü aracını park ederken ciddi yanlış hizalamalar meydana gelebilir [4], [2]. Birincil ve ikincil bobinler arasındaki göreceli konum, sürücünün park etmesine bağlı olarak oldukça değişken olabilir; bu, reaktif güç nedeniyle verimlilik düşüşüne, yüksek elektrik gerilimine ve hatta yanlış hizalama durumunda işlev eksikliğine neden olabilir.

Bu tez çalışmasında elektrikli araçların kablosuz şarj edilmesi işleminde bir insana ihtiyaç duyulmadan manyetik alan etkileşimi ile konum takibi yapılacak, kablosuz haberleşme ile güncel şarj durumu takibi yapılacak ve kartezyen tipi robot ile otonom olarak hizalama yapılacaktır. Bu işlemler sırasında yer istasyonundan araca aktarılan güçte minimum kayıp ve maksimum verim elde edilecektir.

BÖLÜM 3

ELEKTRİKLİ ARAÇ ŞARJ SİSTEMLERİ

Günümüz ve geleceğin teknolojisi olarak gösterilen elektrikli araçlar, gelişen teknoloji ile her geçen gün daha önemli bir teknolojik unsur haline gelmektedir. Elektrikli araçlar üretim maliyetleri ve maksimum menzilleri bakımından dezavantajlı görünseler de sessiz çalışmaları, düşük bakım maliyetleri, düşük yakıt maliyetleri ve zararlı gazlar salgılamamaları sayesinde doğa dostu olmaları sebebi ile tercih edilmektedir.

Elektrikli araçlar için geliştirilmesi en önemli unsurlardan biri şarj sistemleridir. Batarya gücü ile çalışan diğer teknolojik ürünler gibi elektrikli araçlar da ilk etapta çoğunlukla plug-in yani doğrudan prize bağlantılı şekilde şarj edilmektedir. Ancak yapılan araştırmalar ve teknolojik atılımlar ile bu yöntemin kullanımının zaman içerisinde azalması, buna paralel olarak kablosuz şarj yöntemi kullanımının yaygınlaşması beklenmektedir.

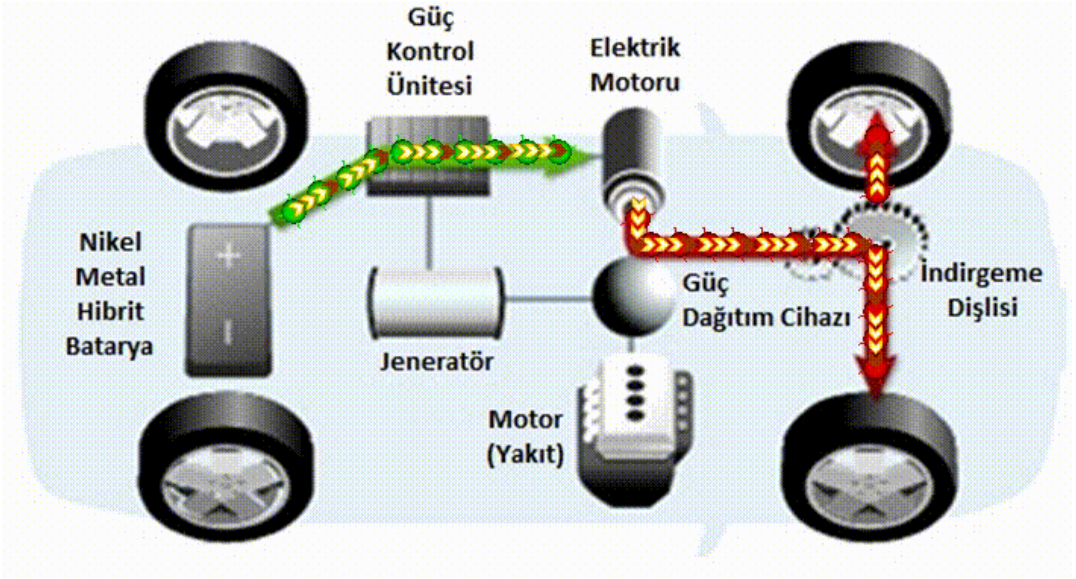
3.1. ELEKTRİKLİ ARAÇ SINIFLARI

Elektrikli araçların ortaya çıkışından bu yana şarj yöntemleri üzerine çok sayıda araştırma ve geliştirme çalışmaları ortaya konulmuştur. Bu çalışmalar sonucunda elektrikli araçlar hibrit, plug-in hibrit ve elektrikli olacak şekilde üç alt sınıfta incelenmektedir.

3.1.1. Hibrit Araçlar

Otomotiv teknolojileri literatüründe iki farklı güç kaynağının bir arada kullanılmasını ifade eden bu kavram kelime olarak melez anlamına gelmektedir. Hibrit araç elektrik motorunu ve içten yanmalı konvansiyonel motoru bir arada bünyesinde barındıran araç

sınıfına verilen addır. Geleneksel içten yanmalı motora kıyasla çevreye daha az zararlı gaz salınımı yapmaktadır. Düşük hızlarda ya da sıklıkla dur-kalk yapılan durumlarda elektrik motoru devreye girerek ortalama yakıt tüketimini ve emisyon oranını düşürebilmektedir. Hibrit araçlar aynı zamanda benzinli motora sahip oldukları ve bataryalarını kendi kendilerine doldurabildikleri için şarj edilmeye ihtiyaç duymazlar. Şekil 3.1.'de hibrit araçların çalışma prensibi verilmiştir.

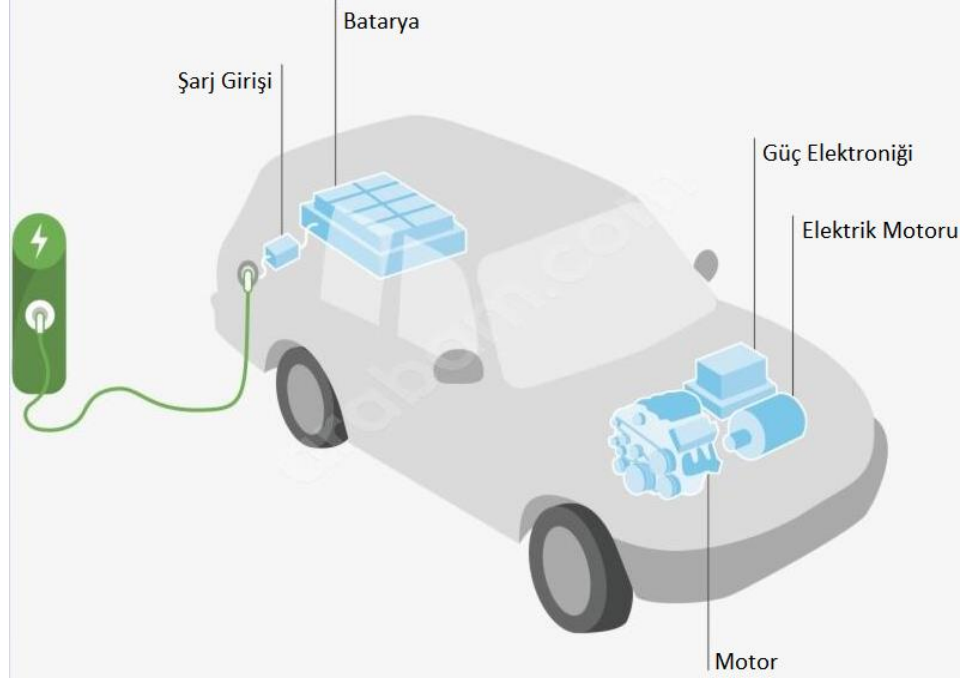


Şekil 3.1. Hibrit araçların çalışma prensibi [21].

3.1.2. Plug-In Hibrit Araçlar

Plug-in Hibrit araçlar, elektrikli araçların aksine elektrik motoru ve benzinli motoru bir arada kullanır. Geleneksel hibrit araçlarla benzer olsa da temel farklılık bataryalarının prize takılarak şarj edilebilmesidir. Plug-in hibrit araçlarda tekerleklerin hareket ettirilebilmesi için bataryadaki elektrik enerjisi kullanılır.

Bataryaların boşalması durumunda ise benzinli motor devreye girerek hareket için gereken gücü sağlar. Plug-in hibrit araçlarda da tıpkı hibrit araçlarda olduğu gibi rejeneratif frenleme adı verilen sistem, frene basıldığında bataryaya güç vererek bataryaların şarj edilmesine yardımcı olmaktadır. Ancak buna ek olarak kullanıcılar bataryayı şarj noktalarına takarak da şarj edebilmektedirler. Şekil 3.2.'de plug-in hibrit araç sınıfının çalışma prensibi verilmektedir.



Şekil 3.2. Plug-in hibrit araçların çalışma prensibi [22].

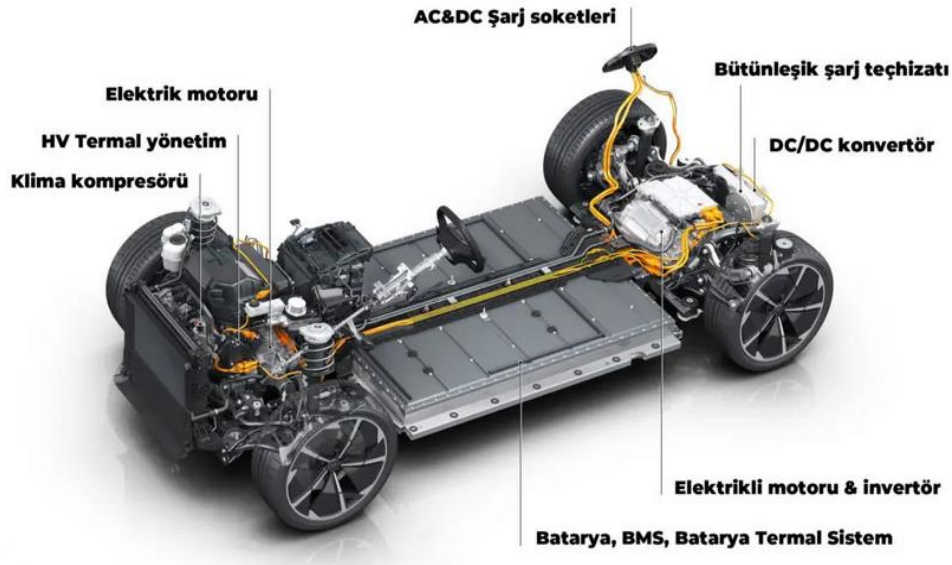
3.1.3. Elektrikli Araçlar

Dünya genelinde pek çok otomobil üreticisinin kaynaklarının önemli bir kısmını ayırdığı elektrikli araç teknolojisi günümüz ve geleceğin ulaşım teknolojisi olarak görülmektedir. Elektrikli araçların konvansiyonel içten yanmalı motorlu araçlara ve hibrit araçlara kıyasla pek çok avantajı bulunmaktadır. Başlıca avantajları sessiz bir sürüş deneyimi, yakıt tasarrufu, düşük bakım maliyetleri ve sıfır emisyon ile çevre dostu bir yapıya sahip olmasıdır.

Elektrikli araçlar, elektrik motoruna güç vermek ve tekerleklere hareket enerjisi kazandırmak için bataryasında yüklü olan elektrik enerjisini kullanan otomobil sınıfıdır. Bataryada bulunan depolanmış enerji tüketildiğinde, batarya dışarıdan bir güç aktarım sistemi ile tekrar doldurulur. Bu araçlar benzin ya da mazot gibi petrol bazlı bir yakıt tüketmediğinden tamamen elektrikli araçlar olarak isimlendirilir.

Egzozu bulunmadığı, emisyonu sıfır olduğu ve güneş ya da rüzgar enerjisi ile şarj edilebilme imkanı sunduğu için ekonomik ve ekolojik olarak en avantajlı otomobil sınıfı olarak nitelendirilir. Ayrıca elektrikli araç motorları basitliği ile de ön plana

çıkılmaktadır. Bu bağlamda elektrikli araçlar, içten yanmalı motorlu araçlara göre çok daha az hareketli parçayı bünyesinde barındırmaktadır. Bu da bakım ve arıza durumlarında kullanıcı dostu bir deneyim sunmaktadır. Şekil 3.3.'de bir elektrikli aracın yapısı verilmektedir.



Şekil 3.3. Elektrikli araç yapısı [23].

3.2. ELEKTRİKLİ ARAÇ ŞARJ YÖNTEMLERİ

Elektrikli araç şarj cihazı, elektrik şebekesinden temin edilen enerjiyi elektrikli aracın ihtiyaç duyduğu forma dönüştürür ve bataryaya güvenli olarak yükleme yapılmasını sağlar. Elektrikli aracın şarj işlemi başlatılmadan önce gerekli kontroller yapılır ve sonrasında şarj işlemi başlatılır. Şarj işlemi boyunca batarya üzerine akım uygulanır ve elektrokimyasal dönüşümün gerçekleşmesi sağlanır.

Elektrikli araçlar için güç seviyelerine göre şarj tipleri Seviye 1 (yavaş şarj), Seviye 2 (normal şarj) ve Seviye 3 (hızlı şarj) olarak belirlenmektedir. Çizelge 3.1.'de güç seviyelerine göre elektrikli araç şarj tipleri verilmektedir. Elektrikli araçların çoğu ev garajlarında gece boyunca Seviye 1 güç tipine sahip istasyona takılarak şarj edilebilir [24]. Seviye 1 şarj, yavaş şarj olarak da bilinen, bir fazlı sistemlerin enerji kaynağı olarak kullanıldığı sistemlerdir. Bu şarj tipinde gerekli şarj elemanları araca montajlı olarak kullanılmaktadır. Bu tip şarj istasyonları şarj etme için kullanılan herhangi bir

güç dönüştürücüsü bulundurmazlar. Yalnızca araç ile şebeke arasında kurulan haberleşmeyi ve ücretlendirme işlemini mümkün kılmaktadır [25].

Çizelge 3.1. Güç seviyelerine göre elektrikli araç şarj tipleri.

Güç seviye tipi	Şarj yeri	Tipik kullanım	Enerji kaynağı ara yüzü	Çıkıştaki güç seviyesi	Şarj süresi	Araç teknolojisi
Seviye 1 (yavaş) 120Vac(US) 220Vac (EU)	Ev tipi Tek faz	Ev veya ofis şarjı	Kolaylaştırılmı ış çıkış	1.4kW(12A) 1.9kW(20A)	4-11 s 11-36 s	PHEA (5- 15kWh) EA(16- 50kWh)
Seviye 2 (normal) 240Vac (US) 400Vac(EU)	Normal Tek-Üç Faz	Özel ya da kamu alanların da şarj	Şarj istasyonu	4 kW(17A) 8 kW(32A) 19.2 kW(80A)	1-2 s 2-6 s 2-3 s	PHEA(5- 15kWh) EA(16- 50kWh) EA(3-50kWh)
Seviye 3 (hızlı) 208Vdc 600Vdc	Hızlı Üç Faz	Ticari dolum merkezi	Şarj istasyonu	50 kW 100 kW	0.4-1 s 0.2-0.5 s	EA(20- 50kWh)

Seviye 2 şarj 200 – 400 V priz gerektiren, çoğunlukla özel ve kamu kuruluşlarında elektrikli araçları şarj etmek için birincil yöntem olarak tanımlanan elektrikli araç şarj yöntemidir. Bu şarj tipi yeterli güçte enerji sağlamakta ve çoğu ortam için uygulanabilir yapıdadır. Başlıca kullanım alanları alışveriş merkezleri, otoparklar, tiyatro ve sinema olarak düşünülmüştür. Seviye 2, orta hızlı olarak tanımlanan şarj tipidir. Seviye 1’de olduğu gibi Seviye 2 şarj tipinde de bir fazlı sistemler enerji kaynağı olarak kullanılır ve gerekli şarj elemanları araca montajlı olarak kullanılır. Seviye 3 ve DC şarj hızlı şarjdır. Ticari dolum istasyonu ve kamusal alan uygulamaları için tasarlanmıştır [24]. DC şarj AC şebekeden doğrultularak elde edilen bir DC kaynak besleme için kullanılmaktadır. Seviye 3 şarj tipinde şarj elemanları, DC tipinde araca monte halde bir modül bulunmamaktadır. Bundan dolayı Seviye 3 şarj istasyonlarında, DC tipli olmasına bağlı olarak haberleşme ve ücretlendirme işlemlerinin yanı sıra şarj işlemi için gereken elemanlar da istasyonda olabilmektedir [25]. Genellikle Seviye 1 ve 2 için tek faz çözümü kullanılır. Üç faz çözümü Seviye 3

ve yüksek güçlü şarj için uygulanır. Elektrikli araç şarj sistemleri güç tiplerinin yanı sıra şarj ünitelerine göre de sınıflandırılmaktadır. Şarj ünitelerine göre elektrikli araç şarj yöntemleri batarya değiştirme, ev tipi şarj, normal şarj, hızlı şarj ve kablosuz endüktif şarj olmak üzere beş ana başlıkta incelenir.

3.2.1. Batarya Değişirme

Elektrikli araçların pek çoğu bir şarj ile ortalama olarak 400 ila 600 km arası gidebilmektedir. Ömrünü tamamlamış bir batarya oldukça yüksek maliyete sahiptir. Bu sebeple batarya kiralama yöntemi bir alternatif olarak sunulmaktadır. Bu sayede bataryanın şarj edilmesini beklemeksizin kısa bir süre içerisinde dolu bir batarya ile değişimi yapıp aracın yola devam etmesi sağlanabilmektedir. İstasyona alınan boş batarya robotik bir sistem vasıtasıyla öncelikle test edilir, sonra soğutuculu bir şarj rafına yerleştirilerek yeniden şarj edilmeye başlar. Boş batarya 3 fazlı elektrik şebekesinden beslenen 50 kW'lık şarj edici tarafından birkaç saatte şarj edilir.

3.2.2. Ev tipi Şarj

Elektrikli araç kullanıcıları güvenliği ön planda tutarak araçlarını topraklaması olan yeterli elektrik kapasitesine sahip ve kaçak akım korumalı bir prize bağlamalıdır. Adaptörler ve uzatma kabloları, EN 61851-1 standartlarına uygun ve güvenli olmadığı için kullanılmamalıdır. Kullanıcı güç sınırlamaları var ise, elektrikli aracını sokete bağlamamalıdır [26]. Ev tipi şarj üniteleri iç koşullarda kullanılmaları için tasarlanmış olsalar da IP44 standartları ile üst seviye bir koruma sağlamaktadır. Bu ünitelerin tüm metal parçaları topraklanmıştır. Ev tipi şarj ünitesinin dahili kablo, çıkış soketi ve Tip 1 (J1772), Tip 2 (Mennekes) ve Tip 3 (SCAME) fişleri gibi farklı kurulan biçimleri bulunmaktadır [27].

3.2.3. Normal Şarj

Normal şarj üniteleri elektrikli araçların kamusal alanlarda şarj edilebilmeleri için tasarlanmış sistemlerdir. Normal şarj süreci uygun gücün bulunabildiği her yerde gerçekleştirilebilir. Normal şarj üniteleri, elektrikli aracın şarj durumunu yaklaşık 6

saat içerisinde sıfırdan en yüksek değere ulaştırabilmektedir. Normal şarj üniteleri Avrupa normları ve Elektromanyetik uyumluluk gereklilikleri ile uyumlu ve güvenli sistemlerdir. Normal şarj üniteleri her seviyede güç tipi için uyumlu olarak tasarlanıp üretilebilmektedir.

3.2.4. Hızlı Şarj

Hızlı şarj üniteleri elektrikli aracı dakikalar içerisinde şarj etme imkanı sağlamaktadır. DC şarj standartları Japonya'daki CHAdeMO kurumu tarafından belirlenmektedir. Bu standartlar uluslararası otomobil ve şarj ünitesi üreticilerini temsil etmektedir. Bu standartlara göre yapılan hızlı şarj işlemleri batarya ömrünü azaltmamaktadır[26]. Hızlı şarj üniteleri kullanıcı ara birim modülü ve DC çıkış hattından oluşmaktadır. Hızlı şarj ünitelerinde şarj işlemi ünite tarafından gerçekleştirilirken, akımın büyüklüğü ve şarj etme süreci aracın içerisinde bulunan batarya kontrol ünitesi tarafından belirlenir. Çizelge 3.2.'de kablolu şarj yöntemleri olan ev tipi, normal ve hızlı şarj yöntemlerinin özellikleri bir tablo halinde verilmektedir.

Çizelge 3.2. Kablolu şarj yöntemleri ve özellikleri.

Şarj Üniteleri	Model	Gerilim	Akım	Güç	Bağlantı	Fiş/Soket	Şarj Seviyesi
Ev Tipi	Genel	Tek Fazlı	Kademeli 13-16-32A	Kademeli 3-3.7-7.4 KW	Sabit kablo	J1772	Seviye 3
					Soket	Tip 2/ Tip 3	
	Geliştirilmiş	Tek Fazlı	Seçilebilir 6-10-16-25-32 A	Kademeli 1.4-7.4 KW	Sabit kablo	J1772	Seviye 3
					Soket	Tip 2/ Tip 3	
Normal	Uluslararası	Tek Fazlı	16 A	3.7 KW	Soket	IEC/EN 60309	Seviye 1/2
	Yerel	Tek Fazlı	16A-32A	3.7-7.4 KW	Soket	Tip 2/ Tip 3	Seviye 3
		Üç Fazlı	32A	22 KW	Soket	Tip 2/ Tip 3	Seviye 3
		Tek Fazlı	16A-32A	3.7-7.4 KW	Sabit Kablo	Tip 2/ Tip 3 J1772	Seviye 3
Hızlı	DC	DC	125A'ya kadar	50KW	Sabit Kablo	G 105	Seviye 3
	AC	Üç Fazlı	63A'ya kadar	43KW	Sabit Kablo	Tip 2/ Tip 3	Seviye 3

3.2.5. Kablosuz Şarj

Kablosuz şarj olarak da bilinen endüktif şarj sırasında, elektrikli aracın bataryasına güç aktarımı elektromanyetik dalgalar vasıtası ile sağlanmaktadır [28]. Kablosuz şarj, EA sürücüleri için geleneksel kablolu şarj bağlantılarından daha uygun bir çözüm sunmaktadır. Sürücü otomobilini şarj alanına park ettiği anda şarj işlemi otomatik olarak başlamaktadır. Bu sayede fişler, prizler, araçlardan sarkan ve yıpranmış kablolar gibi risk sebepleri ortadan kaldırılabilir. Bu avantajlar sayesinde kablosuz şarj, geleneksel kablo bağlantılı şarj sistemlerine iyi bir alternatif olarak görülmektedir. Tüm yeni EA'lar tak-çalıştır şarj olarak tasarlanmasına rağmen, birçok uzman gelecekte kablosuz veya endüktif şarjın bir boşluk üzerinden güç aktarımı ile tak çalıştır sistemlere göre daha popüler olacağına inanmaktadır. Şekil 3.4'te kablosuz şarj sistemi verilmektedir.



Şekil 3.4. Kablosuz şarj sistemi.

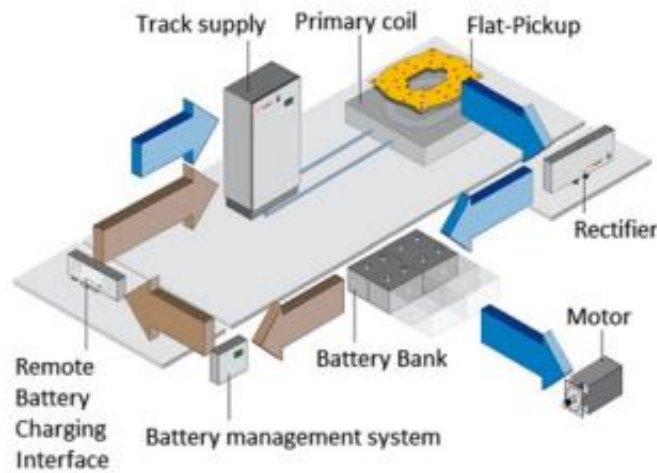
Bir endüktif şarj sistemi manyetik olarak güç aktarır. Bu şarj tipi seviye 1 ve 2 cihazlar için incelenmektedir. Tavsiye edilen uygulama endüktif şarja EA için 1995 yılında SAE tarafından yayınlanmıştır. Avantajları kolaylık ve galvanik yalıtım içermesidir. Dezavantajları ise nispeten düşük verimlilik ve güç üretim karmaşıklığı, boyutu ve yeni altyapı maliyetidir [26].

EA kablosuz şarj alanında çalışmalar yürüten başlıca şirketler WiTricity, Qualcomm, Conductix-Wampfler, Bombardier, EVWireless ve Momentum Dynamics firmalarıdır. EA kablosuz şarj teknolojisi alıcı ve verici olmak üzere iki adet şarj pedi içerir. Bu iki ped üzerinde bulunan alıcı (Rx) ve verici (Tx) bobinler aynı endüktans değerine sahiptir. Bu frekans ayarlaması sistemdeki güç kayıplarını büyük ölçüde

azaltmaktadır. WiTricity'nin ortaya koymuş olduğu sistem yaklaşık %90 verimliliğe ve güç aktarım değerine sahiptir [29]. Qualcomm ve Auckland Üniversitesi iş birliği ile ortaya konan ve araştırmaları halen devam eden EA kablosuz şarj sistemi ise benzer çalışmalardan iki kat fazla gücü %15'lik bir kayıpla iletebildiğini iddia etmektedir [5]. Conductix-Wampfler'in endüktif kablosuz şarj sistemi İtalya'nın Torino kentinde 10 yılı aşkın süredir kullanılmaktadır. Bu sistem 60 kW ve 4 cm hava boşluğu ile yaklaşık %90 verimlilik sağlamaktadır. Bu alanda ülkemizde yapılan çalışmalar henüz dünya ortalamasını yakalayamamıştır. Ülkemizdeyse teşviklere rağmen elektrikli araç sayısı, menzilinün düşük olması ve şarj altyapı yetersizliği sebebiyle arzu edilen seviyenin altında kalmıştır. Ülkemizde elektrikli araç sayısının yerli araç girişimiyle (TOGG) artacağı düşünülmektedir [30].

Çizelge 3.3. EA Kablosuz şarj şirketleri.

Şirket	Çalışma Frekansı	Aktarılan Güç	Ayrılma Mesafesi	Verim
WiTricity	145 kHz	3.3 kW	18 cm	90%
Qualcomm Halo	20 kHz	7 kW	N/A	N/A
Conductix – Wampfler	N/A	60 – 180 kW	4 cm	>90%
Bombardier	N/A	200 kW	N/A	<90%
Momentum Dynamics	N/A	3.3 – 10 kW	61 cm	92%
HEVO Power	85 kHz	1 – 10 kW	≤30.48 cm	≥85%



Şekil 3.5. Conductix – Wampfler şirketinin kablosuz şarj sistem şeması [29].

3.3. KABLOSUZ ŞARJ SİSTEMLERİ

Nikola Tesla ile başlayan kablosuz güç transferi çalışmaları temelde iki ana gruba ayrılır; bunlar yakın alan (nearfield) ve uzak alan (far-field) güç transferi teknolojileridir. Uzak alan enerji transferi yüksek frekanslarda elektromanyetik dalgaların yayılımı (radiation) ile gerçekleşmektedir ve uzak mesafelere enerji transferi için uygundur. Ancak uzak alan teknolojisi >10 MHz frekanslarında çalışacak güç elektroniği devre teknolojileri gerektirdiğinden hem çok pahalıdır hem de verimi düşüktür. Buna karşın yakın alan güç transferi ise bir dalga boyundan daha küçük mesafelerde ve düşük frekanslarda endüktif kuplaj yoluyla gerçekleşir.

Bu şekilde kablosuz elektrik iletimi yapmak için aynı rezonansa sahip iki bobin gereklidir. Diğer bir gereklilik ise daha az kayıp ve daha yüksek verimlilik için bobinlerin yüksek kalite faktörüne sahip olmasıdır [31]. Bu teknoloji nispeten daha verimli ve düşük maliyetli olduğundan kablosuz şarj uygulamalarında özellikle tercih edilmektedir. Bu yöntemi kullanan pek çok ticari ürün piyasada bulunmaktadır. Bunlar arasında elektrikli diş fırçaları, RFID etiketleri, medikal implantlar, mobil cihaz şarj aletleri ve elektrikli araç şarj sistemleri vb. sayılabilir [12].

Kablosuz elektrik iletiminde çemberler arasında manyetik alanın bir çemberden diğerine doğru hareketi sırasında hareket etmeyen alıcı çemberde gerilim indüklenmektedir. Bu indüklenme ve akım oluşması bazı fiziksel yasalarla ifade edilebilmektedir [32].

3.3.1. Amper Yasası

Amper yasası, üzerinden akım geçen bir telin çevresinde manyetik alan oluştuğunu ifade etmektedir. Tel üzerinden geçen akımla doğru orantılı şekilde manyetik alan büyüyebilir ya da küçülebilir. İletken üzerinden geçen akımın yönünün değişmesi durumunda manyetik alanın da yönü değişmektedir. Amper Yasası Eşitlik 3.1.'de gösterildiği gibi formülize edilmektedir. Denklemden B manyetik alanı, μ_0 manyetik sabiti ve I alandan geçen net toplam akımı ifade etmektedir.

$$\oint B \cdot ds = \mu_0 I \quad (3.1.)$$

3.3.2. Lenz Yasası

Lenz yasası, çember veya telde indüklenen akımın yönünü ifade etmektedir. Lenz yasasına göre indüklenen emk'nın yönü, akımın geçtiği telin çevrelediği alandan geçen manyetik akı değişimine karşı koyacak şekilde manyetik akı oluşturan akım yönündedir. Aslında başlangıçtaki akı değişimini önlemeye çalışmaktadır. Lenz yasası Eşitlik 3.2.'deki gibi ifade edilmektedir. Denklemden ε indüklenen emk'yı, \emptyset manyetik akıyı, t zamanı ve N döngü sayısını ifade etmektedir.

$$\varepsilon = -N \frac{d\emptyset_B}{dt} \quad (3.2.)$$

3.3.3. Rezonans

Rezonans tınlama olarak adlandırılan bir fiziksel olaydır. Bir sistem başka bir sisteme enerji aktarırken bu teknik kullanılabilir. Rezonansta bulunan sistemler arasında sönüm adı verilen dönüşüm kayıpları meydana gelmektedir. Eğer bir sistem başka bir sistemin doğal frekansına eşit frekansa sahip olursa bu olaya rezonans denir.

3.3.4. Faraday Yasası

Faraday İndüksiyon Kanunu olarak da bilinen yasa şu şekilde ifade edilebilir; Bir bobinin sarımından bir akı geçtiğinde ortaya çıkan gelirim akımının zamana göre değişim oranı ile doğru orantılı olur. Devrede anahtar kapatılırsa bobinde bir manyetik alan oluşur bu manyetik alan daha sonra ikinci bobinde tekrar elektrik akımına dönüştürülür. Bundan dolayı sürekli bir elektrik akımı meydana getirilmiş olur [31]. Eşitlik 3.3.'de Faraday yasasına ait matematiksel ifade verilmektedir.

$$\varepsilon = - \frac{d\emptyset_B}{dt} \quad (3.3.)$$

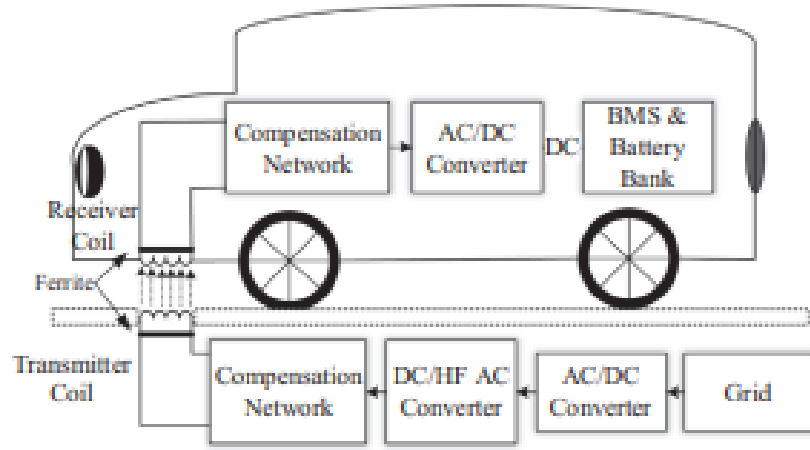
3.4. DİNAMİK KABLOSUZ ŞARJ YÖNTEMİ

Hareket halindeki EA'ların şarj işlemi için kullanılan bir yöntemdir. Menzili artırmak için EA'ların oldukça sık şarj edilmesi veya daha büyük bir batarya kullanmaları gerekir. Ancak bu durum maliyet ve ağırlık gibi ek sorunları beraberinde getirmektedir. EA'nın sık sık şarj edilmesi ise pek ekonomik değildir. Bu yöntem EA'lardaki menzil ve maliyet ile ilgili bazı sorunları azaltabilecek bir teknolojidir. Verici bobinlerinin ve güç kaynaklarının önceden belirlenmiş güzergahlara konumlandırılması gerekmektedir. Burada karşılaşılan en önemli problem ise mesafenin artması ile elektromanyetik alan şiddetinin azalmasıdır [28].

3.5. STATİK KABLOSUZ ŞARJ YÖNTEMİ

Bu yöntem sabit şarj yöntemi olarak da bilinmektedir. Şebeke gücünden yerleşik batarya girişine kadar ölçülen statik şarj cihazının sistem verimliliği %85-93 arasında değişmektedir. Fakat hava aralığının olduğu deneysel prototip sistemleri için verimlilik %95-98 olarak gözlenmektedir. Birincil bobin, güç dönüştürücüleri ile zeminin altına monte edilmektedir. Alıcı bobin veya ikincil bobin normalde EA'ların ön, arka veya ortasının altına monte edilmektedir [28].

Enerjinin AC-DC dönüşümü güç dönüştürücüler vasıtası ile yapılmaktadır. Ardından bataryaya aktarılmaktadır. Güç kontrolü ve batarya yönetim sistemleri herhangi bir güvenlik sorunundan kaçınmak ve birincil taraftan geri bildirim alabilmek için kablosuz iletişim ağına sahiptir. Şarj süresi şebeke gücüne, batarya boyutlarına ve iki sargı arasındaki hava boşluğu mesafesine bağlıdır [28]. Bu tip bir şarj cihazı ya da istasyonunun otoparklara, evlerin garajlarına, alışveriş merkezlerine vb. alanlara kurulabilmesi mümkündür. EA'lar için statik kablosuz şarj sisteminin temel blok diyagramı Şekil 3.2'de verilmektedir. İletim bobininden alıcı bobine güç aktarımı AC/DC ve DC/AC dönüştürücüler vasıtası ile sağlanır. Alıcı bobin, tipik olarak aracın altına monte edilen ve verici bobinin manyetik akı alanlarını yüksek frekanslı AC akıma dönüştürdüğü gerilimi, bataryalarda depo etmek üzere kararlı DC akıma dönüştüren bir yapıdadır [34]. Her iki bobinde de manyetik düzlemsel ferrit plakalar kullanılmaktadır.



Şekil 3.6. Statik kablosuz şarj sisteminin basit blok diyagramı[33].

EA'lar için kablosuz güç aktarım sistemleri piyasaya sürülmelerinden bu yana dört farklı yöntem ile kullanılmıştır [34]. Bunlar; Geleneksel endüktif güç aktarımı, Kapasitif kablosuz güç aktarımı, Manyetik dişli kablosuz güç aktarımı, Rezonanslı endüktif güç aktarımıdır.

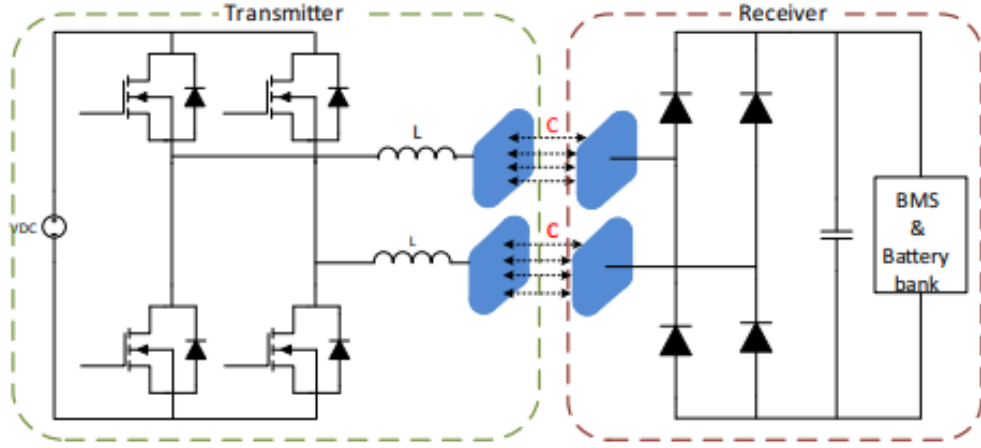
Çizelge 3.4. Elektrikli araçlar için farklı kablosuz güç aktarım yöntemleri.

Kablosuz Güç Transferi Metodu	Performans	Elektromanyetik Girişim	Frekans Aralığı (kHz)	Maliyet	Boyut Hacim	Tasarım Karmaşıklığı	Güç Seviyesi	EA için uygunluk
	Verimlilik							
Endüktif	Orta/ Yüksek	Orta	10-50	Orta/ Yüksek	Orta	Orta	Orta/ Yüksek	Yüksek
Kapasitif	Düşük/ Orta	Orta	100-600	Düşük	Düşük	Orta	Düşük	Düşük/ Orta
Kalıcı Mıknatıslı	Düşük/ Orta	Yüksek	0.05-0.5	Yüksek	Yüksek	Yüksek	Orta/ Düşük	Düşük/ Orta
Resonant Endüktif	Orta/ Yüksek	Düşük	10-150	Orta/ Yüksek	Orta	Orta	Orta/ Düşük	Yüksek

3.5.1. Kapasitif Kablosuz Güç Aktarımı

Kapasitif kablosuz güç aktarımı teknolojisi düşük maliyeti, kolaylığı, gelişmiş geometrik ve mekanik yapıları ile düşük güçlü uygulamalar için oldukça kullanışlıdır [35]. Taşınabilir elektronik cihazlar ve cep telefonu şarj cihazları buna örnek olarak gösterilebilir [36]. Rezonans devresi tabanlı kapasitif kablosuz güç

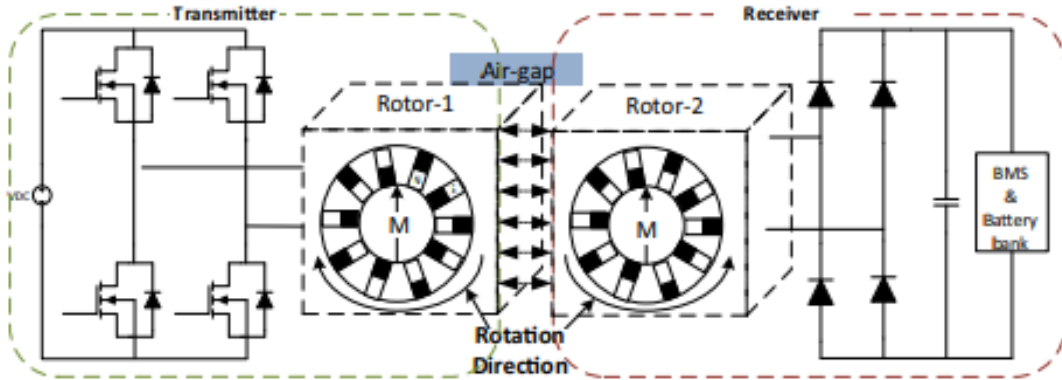
aktarımının şematik diyagramı Şekil 3.7’de verilmektedir. Bu güç aktarım metodunda gücün kaynaktan alıcıya aktarımı için mıknatıs yerine kuplaj kapasitörler kullanılır [34].



Şekil 3.7. Kapasitif kablosuz güç aktarımı şematik diyagramı [37].

3.5.2. Manyetik Dişli Kablosuz Güç Aktarımı

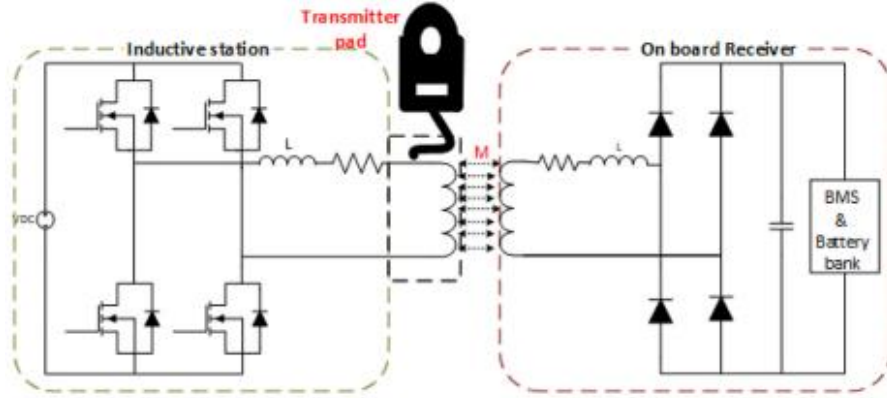
Bu yöntemde iki senkronize kalıcı mıknatıs yan yana yerleştirilmektedir. Birincil mıknatısta mekanik bir tork üretilmesi için verici sargıya kaynak gerilimi uygulanır. Mekanik tork uygulanması sonucunda birincil mıknatıs döner ve üzerinde bir indüklenme oluşur. Mekanik etkileşim yolu ile ikincil mıknatıs gücü alıp bataryaya iletir. Şekil 3.8.’de manyetik dişli kablosuz güç aktarımının şematik diyagramı verilmektedir. [34].



Şekil 3.8. Manyetik dişli kablosuz güç aktarımı şeması [37].

3.5.3. Geleneksel Endüktif Güç Aktarımı

Geleneksel endüktif güç aktarımı, 1914'te Nikola Tesla tarafından gücü kablolu olarak aktarmak için geliştirilmektedir. Geleneksel endüktif güç aktarımının temel blok diyagramı Şekil 3.9'da verilmektedir.



Şekil 3.9. Geleneksel endüktif güç aktarım diyagramı [37].

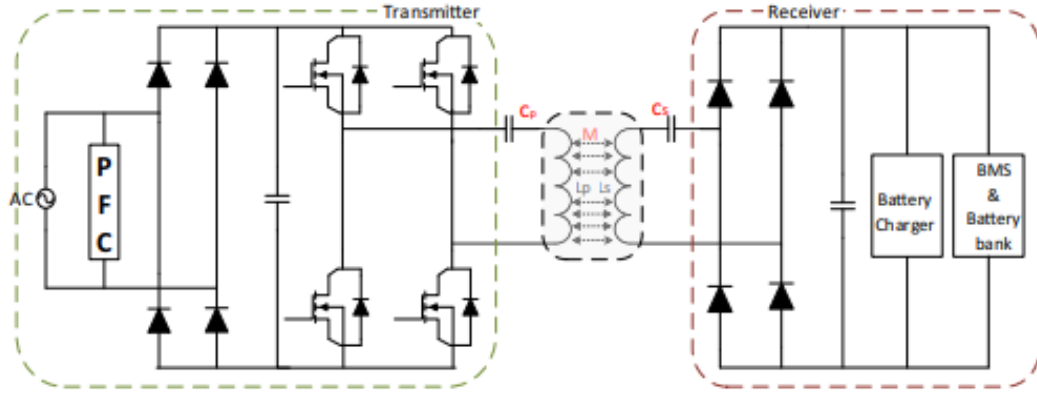
Geleneksel endüktif güç aktarımı, temassız gücü kaynaktan alıcıya aktarmak için miliwatt'tan kilowatt'a kadar çok çeşitli alanlarda test edilmiş ve kullanılmıştır. 1996 yılında General Motors (GM), seviye 2 (6,6 kW) yavaş ve seviye 3 (50 kW) hızlı şarj sağlamak için manyetik şarjlı endüktif güç aktarım (J1773) sistemi tarafından şarj edilen Chevrolet S10 EA'yı piyasaya sürdü [34].

3.5.4. Rezonanslı Endüktif Güç Aktarımı

Rezonanslı endüktif güç aktarımı, güç elektroniği ve kablolu transformatör bobinlerinin tasarımı açısından geleneksel endüktif güç aktarımının en iyi bilinen ve gelişmiş versiyonlarından biridir. Şekil 3.10.'da EA'lar için rezonanslı endüktif güç aktarımı şematik diyagramı verilmektedir.

Diğer kablolu güç aktarımları gibi, ana AC voltajı yüksek frekans AC kaynağına dönüştürülür ve vericiye veya birincil sargıya beslenir. Alıcı veya ikincil bobin, değişen manyetik alanlar yoluyla güç alır. Alınan güç, ek güç elektroniği ve filtre devresi aracılığıyla EV'lerin pil bankası için DC'ye dönüştürülür. Geleneksel IPT ile

karşılaştırıldığında hem birincil hem de ikincil sargılara seri ve/veya paralel konfigürasyonlardaki ek kompanzasyon ağırları, yalnızca rezonans durumunu oluşturmak için değil, aynı zamanda ek kayıpları azaltmak için eklenir [34].



Şekil 3.10. Rezonanslı endüktif güç aktarımı şematik diyagramı [37].

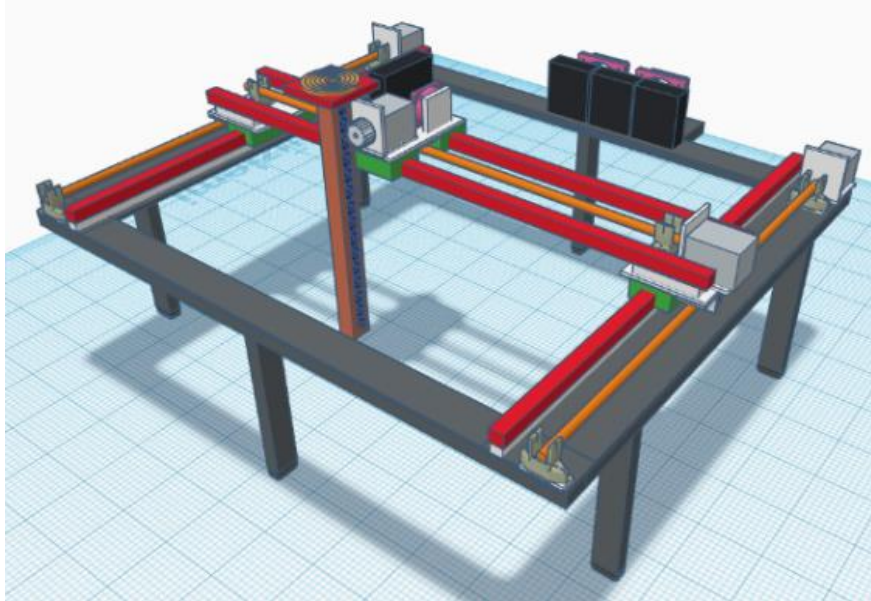
BÖLÜM 4

KARTEZYEN ROBOT SİSTEMİ VE DOĞRUSAL HAREKET KONTROLÜ

Bu bölümde kartezyen robot sistemi ve doğrusal hareket kontrolü incelenmektedir. Bu kapsamda yapılan tasarım ve mekanik aksam anlatılmıştır.

4.1. KARTEZYEN ROBOT

Lineer ya da diğer adı ile kartezyen robot, üç eksenli de lineer olarak kontrol edilebilen ve birbirine dik açılarla yerleştirilmiş robotlardır. Kayma hareketi yapan üç eklemi uç işlevcisini üç eksenli ileri – geri, yukarı – aşağı ve sağa – sola götürmek amacıyla çalışmaktadır. Kartezyen robotlarda çalışma uzayı robotun kendi alanı içerisinde kalmaktadır. Çalışmada kullanılacak PPP tipi kartezyen robot platformu geliştirilmektedir. Kartezyen robot platformu kinematik denklemlerle uygun bir şekilde geliştirilmektedir. Tasarımı yapılan kartezyen robot platformu Şekil 4.1.'de verilmektedir.



Şekil 4.1. Tasarımı yapılan kartezyen robot sistemi.

4.2. DOĞRUSAL HAREKET KONTROL SİSTEMLERİNİN MEKANİK BİLEŞENLERİ

Hareket kontrol sistemlerinin temel unsurları arasında mekanik dönüştürücüler bulunmaktadır. Mekanik dönüştürücülerin temel görevleri hareket enerjisinin aktarımı, hareketler arasındaki dönüşümün sağlanması örneğin dairesel bir hareketin doğrusal harekete çevrilmesi ve bu hareketin yön tayininin yapılması olarak sayılabilir. Bu bölümde endüstride yaygın olarak kullanılan ve çalışmada tercih edilen mekanik dönüştürücü elemanları hakkında detaylı bilgiler yer almaktadır.

4.2.1. Vidalı Mil

Vidalı mil, uzun bir çubuk üzerinde açılmış vida dişlerine sahip ve bu çubuk üzerinde çalışan bilye yataklı bir somun ile dönme hareketini lineer harekete dönüştüren bir makine elemanıdır. Vida dişli çubuk ve somun arasındaki boşlukta bulunan bilyeler sayesinde sürtünmenin en aza indirilmesi sağlanmaktadır[38]. Şekil 4.2.'de örnek bir vidalı mil görseli verilmektedir.



Şekil 4.2. Vidalı mil.[39]

4.2.2. Kremayer Dişli

Üzerine dişler açılmış, dikdörtgen, daire ya da kare kesitli olan doğrusal çubuklara kremayer dişli adı verilmektedir. Döner hareketin doğrusal harekete dönüştürülmesi amacı ile robotik uygulamalarda kullanılır [40]. Şekil 4.3.'de kremayer dişliye örnek bir görsel verilmektedir.



Şekil 4.3. Kremayer dişli [41].

4.2.3. Kaplin

Kaplinler, bir sistemden başka bir sisteme güç ve hareket transferini sağlayan ara elemanlardır. Birden fazla milin birbirine bağlanarak bir sistemden diğerine hareketin ve momentin aktarımını mümkün kılmaktadır. Kaplinler rijit ve elastik kaplin olarak iki alt başlıkta incelenir. Eksenleri aynı olan millerin birleştirilmesinde kaçıklığı olmayan rijit kaplinler kullanılmaktadır. Eksenleri aynı olmayan millerin birleşiminde meydana gelebilecek olan titreşimlerden sistemi koruma amacıyla esnek kaplin kullanılmaktadır. Şekil 4.4.'de kaplinlere örnek görsel verilmektedir.



Şekil 4.4. Kaplin görseli [42].

4.3. MEKANİK HESAPLAMALAR

Hareket kontrol sistemleri için motor tercihi mekanik hesaplamalar doğrultusunda

yapılmaktadır. Bu hesaplamalar moment ve alalet momenti olarak iki farklı terimle ele alınmaktadır.

Moment, bir cismin kuvvet etkisi ile dönmesi eylemine verilen isimdir. Moment hesabı Eşitlik 4.1' ile yapılmaktadır. Eşitlik 4.1'de verilen eşitlik üzerinde M moment, F kuvvet ve r kuvvetin sabit olan noktaya uzaklığı olarak ifade edilmektedir. F kuvvet birimi (N) Newton ve r uzaklık birimi (m) metredir.

$$M=F \cdot r \quad (4.1)$$

Eşitlik 4.2'de verilen eşitliğe Newton'un ikinci hareket yasası kullanılarak ulaşılabilir. Bu denklem atalet momenti olarak bilinmektedir ve denklemde yer alan m cismin kütleini (kg), a cismin ivmesini (m/s^2) ifade etmektedir. Bilindiği gibi ivme, hızın birinci dereceden türevine eşittir.

$$F=m \cdot a=m \cdot \frac{dv}{dt} \quad (4.2)$$

Çizgisel hızdan açısal hıza ulaşmak için Eşitlik 4.3'de verilen eşitliğe ihtiyaç duyulur. Burada v çizgisel hızı (m/s), ω ise açısal hızı (rad/s) ifade etmektedir.

$$V= \omega \cdot r \quad (4.3)$$

Kullanılan denklemlerden türetilerek denklem 4.4'de görülen moment denklemi elde edilmektedir. Eşitlik 4.4'de yer alan $m \cdot r^2$ ifadesi (J) atalet momentidir.

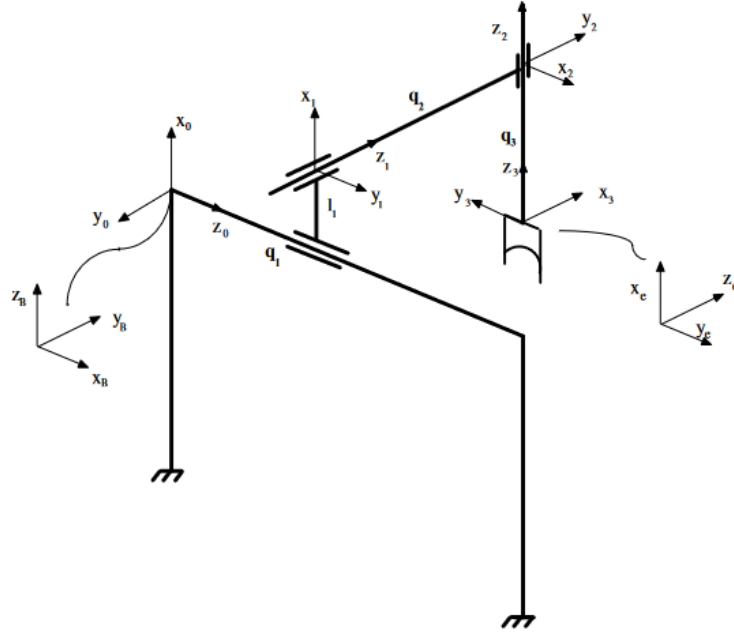
$$M= J \cdot d \omega / dt = m \cdot r^2 \cdot d \omega / dt \quad (4.4)$$

Lineer hareketin motor miline indirgenmesi için kullanılan eşitlik Eşitlik 4.5'te gösterilmektedir. Denklemde n devir sayısını ifade etmektedir.

$$J = 91.2 \cdot m \cdot \frac{v^2}{n^2} \quad (4.5)$$

4.4. KARTEZYEN ROBOT DOĞRUSAL HAREKETİNİN MATEMATİKSEL ANALİZİ

Hareket analizi, robotların hareketlerinin kontrol edilmesinde oldukça önemlidir. Robotun hız, ivme ve kuvvet analizleri robot kinematiği ile hesaplanabilmektedir. Robotlar, yapısal olarak birbirlerine göre bağımsız olarak hareket eden eklemlerden oluşmaktadır. Temelde iki hareket yapısına sahip olan robotlar, öteleme ve dönme hareketleri gerçekleştirebilirler. Dönme hareketinin sonucunda meydana gelen yer değiştirmeye eklem açısı denirken, öteleme hareketinin sonucunda meydana gelen yer değiştirmeye ise eklem kayması adı verilir. Kartezyen robotun kinematik analizi Şekil 4.5.'de verilmektedir.



Şekil 4.5. Kartezyen robotun kinematik analizi [43].

Bir robotun hareket analizi için, robotun dinamiğiyle ilgili verilere sahip olmak gerekmektedir. Robot eklemlerinin konum, hız ve ivmeleri arasındaki ilişki, ileri kinematik yöntemiyle anlaşılabilir. İleri kinematikte, eklemlere koordinat sistemi yerleştirilir ve iki eklem arasındaki ilişki ${}^{n-1}_nT$ dönüşüm matrisiyle ifade edilir. Robotlarda eklem değişkenlerinin belirlenmesinde en yaygın kullanılan yöntem, Denavit-Hartenberg yöntemi olarak bilinir. D-H yöntemi, dört değişken ile robot kinematiğinin çıkarılmasına olanak sağlar. Bu değişkenler, iki eksen arasındaki uzuv uzunluğu a_{i-1} , iki komşu eksen arasındaki eksen açısı α_{i-1} , üst üste çakışan eksenler

arasındaki eklem açıklığı diye iki eksen arasında oluşan eklem açısı θ_i 'dir. Genel D-H değişkenleri, tablo şeklinde Çizelge 4.1.'de verilmektedir.

Çizelge 4.1. D-H değişkenlerinin belirlenmesi.

Eksen no	D-H Değişkenleri				i. Eklem değişkeni
	a_i	α_i	d_i	θ_i	
1	l_1	$\pi/2$	$d_1 = 55 \text{ cm}$	0	d_1
2	0	$\pi/2$	$d_2 = 55 \text{ cm}$	$\pi/2$	d_2
3	l_e	0	$d_3 = 15 \text{ cm}$	$\pi/2$	d_3

Kartezyen robotun doğrusal hareket yapan her bir eksen için kinematik dönüşüm matrisleri Eşitlik 4.6 verilmektedir.

$$A_0 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, A_1 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & d_1 & 0 & d_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, A_2 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & d_2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix},$$

$$A_3 = \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -d_3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, A_4 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4.6)$$

T_0^3 Transformasyon matrisi Eşitlik 4.7. de görüldüğü gibi oluşmaktadır.

$$T_0^3 = A_0.A_1.A_2.A_3.A_4 = T_b^0.T_0^1.T_1^2.T_2^3.T_3^e \quad (4.7)$$

Kartezyen robot dönme hareketi yapmadığından x, y ve z eksenlerindeki öteleme hareketleri dikkate alınarak T_0^3 dönüşüm matrisi hesaplanır (Eşitlik 4.8).

$$T_0^3 = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & d_1 \\ 0 & 0 & 1 & d_2 \\ 1 & 0 & 0 & -d_3 + l_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4.8)$$

Robotun x, y ve z eksenlerinde verilen konuma gitmesi için d_1 , d_2 ve d_3 de alınan yol

ters kinematik analiz ile bulunabilir. Ters kinematik analizde, ileri kinematikte bulunan dönüşüm matrisleri Eşitlik 4.9’da verildiği gibi eşitlenir.

$$[T_b^0]^{-1} \cdot T_b^e = T_0^1 \cdot T_1^2 \cdot T_2^3 \cdot T_3^e \quad (4.9)$$

Eşitlik 4.9’un sol ve sağ tarafındaki ifadeler çözümlenir.

$$[T_0^1]^{-1} \cdot T_b^e = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & p_x \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & p_y \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} & p_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$T_0^e = \begin{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 & d_2 + d_3 \\ 0 & 0 & -1 & -d_2 \\ 0 & d_1 & 0 & d_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \dots & p_z \\ \dots & -p_y \\ \dots & p_x \\ \dots & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dots & d_2 + d_3 \\ \dots & -d_2 \\ \dots & d_1 \\ \dots & 1 \end{bmatrix} \quad (4.10)$$

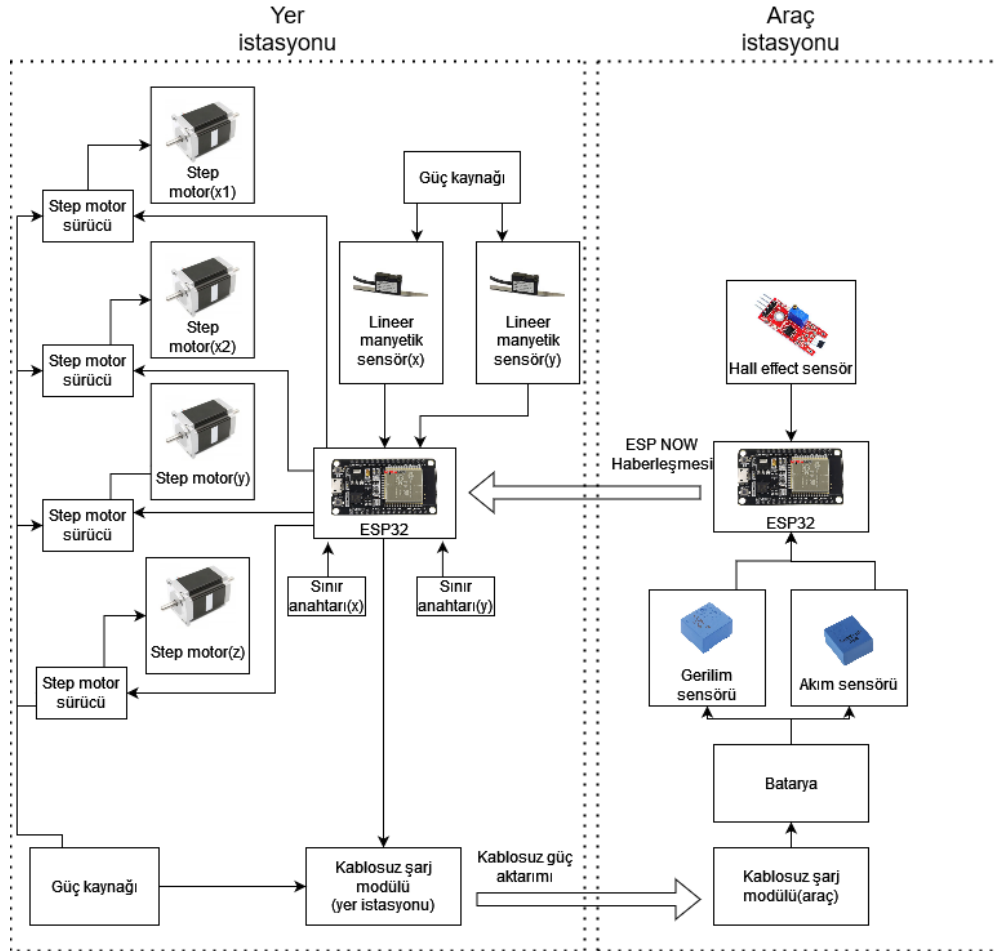
Eşitliğin çözümü sonucunda kartezyen robot üç doğrusal ekleme sahip olduğu için tek çözüm kümesi ortaya çıkmaktadır (Eşitlik 4.10).

BÖLÜM 5

MATERYAL VE METOT

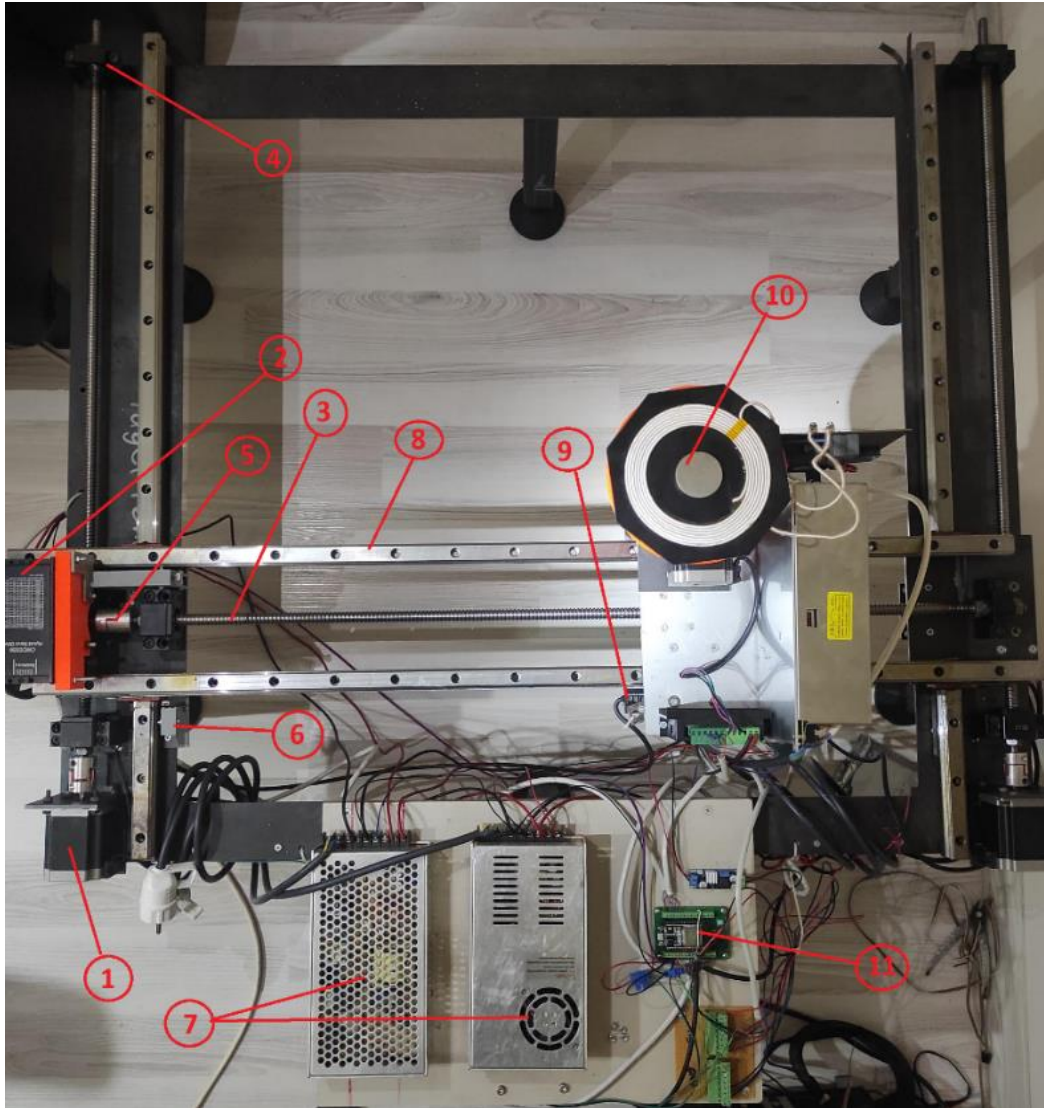
5.1. MATERYAL

Bu bölümde oluşturulan deneyin genel yapısı ve çalışma içerisinde yer alan her bir materyalin detaylı bir biçimde anlatımı gerçekleştirilmektedir. Bu tez çalışmasında kullanılan başlıca materyaller; ESP 32, step motor, step motor sürücü, güç kaynağı, manyetik şerit ve lineer manyetik sensor, hall effect sensor, kablosuz şarj modülü, doğrusal hareket mekanizması, gerilim sensörü ve akım sensörüdür (Şekil 5.1).



Şekil 5.1. Deney düzeneği blok şeması.

Deney düzeneği temelde ESP NOW haberleşme protokolü aracılığı ile ESP 32 kartları arasında veri iletiminin sağlanması ve bu verilerin kontrolü altında step motorların sürülmesi şeklinde çalışmaktadır. Hazırlanan deney düzeneği iki farklı üniteden oluşmaktadır. Bunlardan ilki yerde sabit şekilde bulunan kartezyen platform iken ikincisi elektrikli araç üzerinde bulunan araç modülüdür. Kartezyen platform deney düzeneğinde, x ve y eksenlerinde koordinatın belirlenmesini sağlayan manyetik lineer sensörlerden gelen mesafe bilgisi ile step motorların ve lineer hareket mekanizmalarının denetimi sağlanmaktadır. Şekil 5.2.'de kartezyen platform verilmektedir. Çizelge 5.1.'de kartezyen platformu oluşturan materyaller tablo halinde verilmektedir.



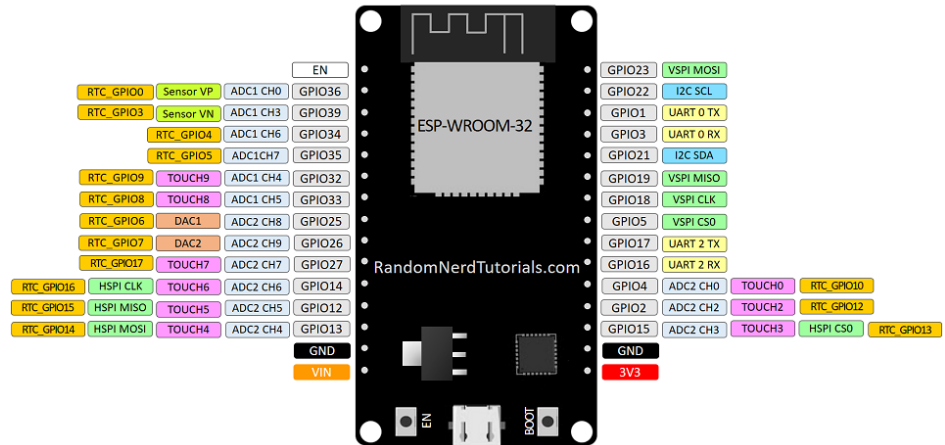
Şekil 5.2. Kartezyen platform deney düzeneği.

Çizelge 5.1. Kartezyen platformda kullanılan materyaller.

No	Materyal
1	Primopal PHB57S76-430-SF Step Motor
2	Leadshine M542 Step Motor Sürücü
3	SCR 1204 Vidalı Mil
4	BK 12 – BF 12 Mil Yatağı
5	GS 12 Kaplin
6	Sınır Anahtarı
7	SMPS (Güç kaynakları)
8	SH 20 Lineer Ray
9	MS 5 Lineer Manyetik Sensör
10	200 W Kablosuz Şarj Modülü
11	ESP 32 DEVKit V1

5.1.1. ESP32 Geliştirme Kartı

Oluşturulan sistem kablosuz ve gerçek zamanlı haberleşmeye olanak sağlayan bir kontrolcüye ihtiyaç duymaktadır. Bu sebeple Wi-Fi ve bluetooth iletişimi ile çeşitli uygulama alanlarına olanak tanıyan ESP32 kartı kullanılmıştır. Şekil 5.3.'de verilen ESP32 geliştirme kartı, 30 pinli yapısı ve 12 bitlik dahili ADC bulundurması ile çok sayıda sensörden yüksek hassasiyet ile veriler alabilmekte ve işleyebilmektedir. Arduino IDE, MicroPhyton ve ESP – IDF gibi çok sayıda programlama dili ile entegre çalışabildiği için esnek bir programlama desteği sunmaktadır. Genellikle IoT projeleri, otomasyon sistemleri ve sensör ağları gibi sistemlerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Çizelge 5.2.'de ESP 32 geliştirme kartının teknik özellikleri yer almaktadır.



Şekil 5.3. ESP 32 Modülün Pin yapısı [44].

Çizelge 5.2. ESP 32 Modülün teknik özellikleri.

Özellikler	ESP32
MCU	Tensilica Xtensa LX6
Flash	32 Bit Dual Core, 240 MHz.
Mimari	Harvard
SRAM	512KB
Input / Output	30 x DIO
ADC Pin	18 x 12 bit
DAC Pin	2 x 8 Bit
Çalışma Gerilimi	2.2-3.6 V
WiFi	IEEE 802.11 b/g/n
Bluetooth	4.2. BR/EDR+BLE
SPI / I2C/UART	4/2/3
Sıcaklık Sensörü	Var
Boyutlar	55x28x11.2 mm

5.1.2. SH 20 Lineer Ray – BRA BRL 20 CC Lineer Araba

Kartezyen robot sistemi üzerinde bulunan x ve y eksenlerinin motor milleri ile paralel ilerleyebilmesi için Şekil 5.4.'te verilen lineer ray ve arabalara ihtiyaç duyulmuştur. Kartezyen robotun stabil hareket etmesi ve eksenlerde takılmalar yaşamaması adına esnemeyen ve kare kesitli imal edilmiş lineer raylar kullanılmıştır. Ayrıca imbus civata kullanımı için uygun özelliklere de sahiptir. Sistemin üzerine binecek yük miktarı göz önüne alınarak 20 mm genişliğinde rayların yeterli olacağı belirlenmiş ve bu doğrultuda da raylara uygun olacak şekilde lineer arabalar tercih edilmektedir.

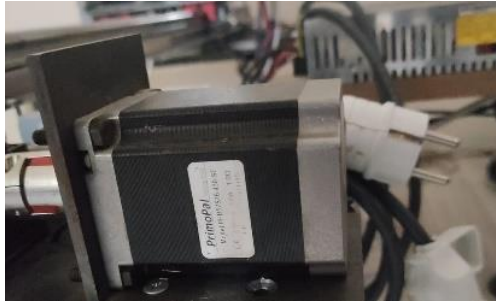


Şekil 5.4. Lineer ray ve lineer araba[45].

5.1.3. Primopal PHB57S76-430-SF Step Motor – Leadshine M542 Step Motor Sürücü

Bu sistemde sensörlerden alınan veriler doğrultusunda kartezyen robotun uç işlevcisini

istenen noktaya taşınması adına step motor ve bu motorlara uygun sürücüler kullanılmıştır. Şekil 5.5. a’da verilen ve dört kutuplu bir yapıya sahip olan PrimoPal PHB57S76-430-SF step motorlar, 180 N/cm tutma torkuna ve 3 A akım değerine sahiptir. Endüstriyel motorlara oranla hafif olan 1050 gramlık bir ağırlığa sahiptir. Şekil 5.5. b’de verilen Leadshine M542 step motor sürücü ise sistemde kullanılan güç kaynaklarına uygun olacak biçimde 24-50 V çalışma gerilimine sahip ve nema 17, 23, 34 tip motorlarda sorunsuz kullanılacak bir şekilde tercih edilmektedir. Çizelge 5.3.’de kullanılan step motora ait teknik özellikler verilmektedir.



a) Step motor.



b) M542 Step motor sürücü [46].

Şekil 5.5. Step motor ve step motor sürücü.

Çizelge 5.3. Primopal PHB57S76-430-SF step motor teknik özellikleri.

Özellikler	Durum
Adım açısı	1.8°
Adım açısı doğruluğu	±5%
Direnç doğruluğu	±10%
Endüktans doğruluğu	±20%
Sıcaklık yükselişi	80 °C max.
Yalıtım direnci	100 MΩ min.
Akım	3 A
Direnç	1 Ω
Endüktans	3.5 mH
Tutma torku	180 N.cm
Rotor eylemsizlik	440 g.cm ²
Tek / çok kutup	4 kutuplu
Ağırlık	1050 g
Uzunluk	76 mm

5.1.4. MS5 Lineer Manyetik Sensör – Manyetik Şerit

Oluşturulan sistemde motorların hareketi sonucunda lineer raylardaki ilerlemenin ölçülmesi adına manyetik sensör ve şeritlere ihtiyaç duyulmuştur. Şekil 5.6.'da verilen ve manyetik enkoder olarak da bilinen MS5 lineer manyetik sensör, konum ve pozisyon belirlemede hassas ölçümler için kullanılmaktadır. Temassız ve 0.8 mm ölçüm aralığı ile oluşturulan sistemde sürtünme kaynaklı oluşabilecek ölçüm problemlerinin ve ölçüm hatalarının önüne geçmektedir. 100 kHz ölçme hızı ile kontrolcüye gecikmesiz olarak veri iletilebilmektedir. Lineer manyetik sensör, encoder mantığı ile manyetik bant üzerinden temas olmaksızın okuma yapılmasını mümkün kılan ve pozisyon belirleme amacıyla robotik ve otomasyon uygulamalarında yaygın olarak kullanılan bir sensör grubudur. MS5 manyetik sensörler IP67 sertifikası ile su, yağ, toz ve kirli ortamlar gibi dış etkenlerden etkilenmez. Bu sayede elektrikli araç şarj istasyonu gibi zorlu dış etkenler altında çalışan sistemlerde uzun süreli, sağlıklı bir kullanım imkânı sağlar. Çizelge 5.4.'de MS5 lineer manyetik sensöre ait teknik özellikler verilmektedir.



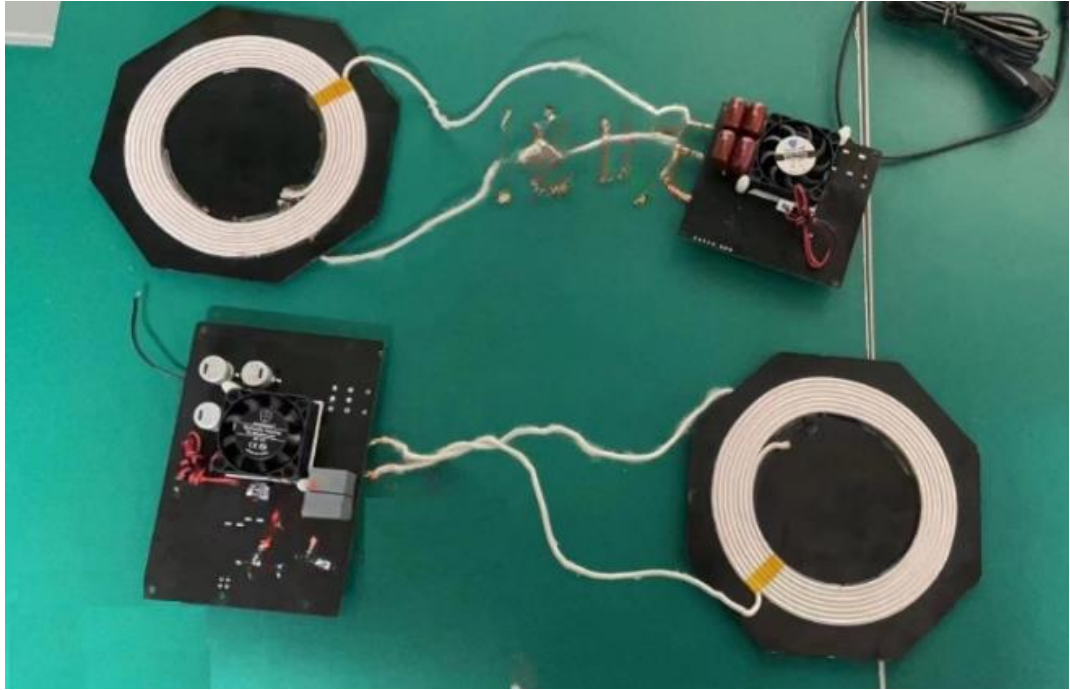
Şekil 5.6. Lineer manyetik sensör ve manyetik şerit.

Çizelge 5.4. MS5 Lineer manyetik sensör teknik özellikleri.

Özellikler	Durum
Çalışma voltaj aralığı	5 – 28 V DC
Çözünürlük	0.005 – 0.1 mm
Manyetik cetvel kutup aralığı	5 mm + 5 mm
Sensör bant okuma aralığı	0.8 mm – 2.5 mm
Enerji tüketimi	< 50 mA
Çıkış modu	Push – Pull (PP)
Ölçme hızı	100 KHz
Koruma derecesi	IP 67
Çalışma sıcaklığı	-10 – 55 °C
Dış yapısı	Siyah alüminyum
Uyarı sistemi	Led gösterge

5.1.5. HUAGON NS 1200 200 W Kablosuz Şarj Modülü

Elektrikli araçlar için kablosuz şarj sistemi içerisinde kablosuz şarj modülü, gücün şebekeden aracın bataryasına aktarılması işleminde önemli bir rol üstlenmektedir. Şekil 5.7.'de verilen HUAGON NS 1200 kablosuz şarj modülü alıcı ve verici pedleri arasında 200 W değerinde güç aktarımı sağlayabilmektedir. Çıkış gerilimi 16 – 58.5 V aralığındadır. 12 seri batarya grubu ile kullanıldığında 50.4 V gerilim ve 4 A akım değerine sahiptir. 24 V çalışma gerilimine ihtiyaç duyan NS 1200, adaptör kayıpları haricinde en az %88 verimlilik sağlamaktadır. Aşırı güç çekilmesi ya da giriş voltajının çalışma aralığının dışında olması durumlarında alarm sistemi devreye girmekte ve güvenli bir güç aktarımı sağlamaktadır. Çizelge 5.5.'de kullanılan kablosuz şarj modülünün teknik özellikleri verilmektedir.

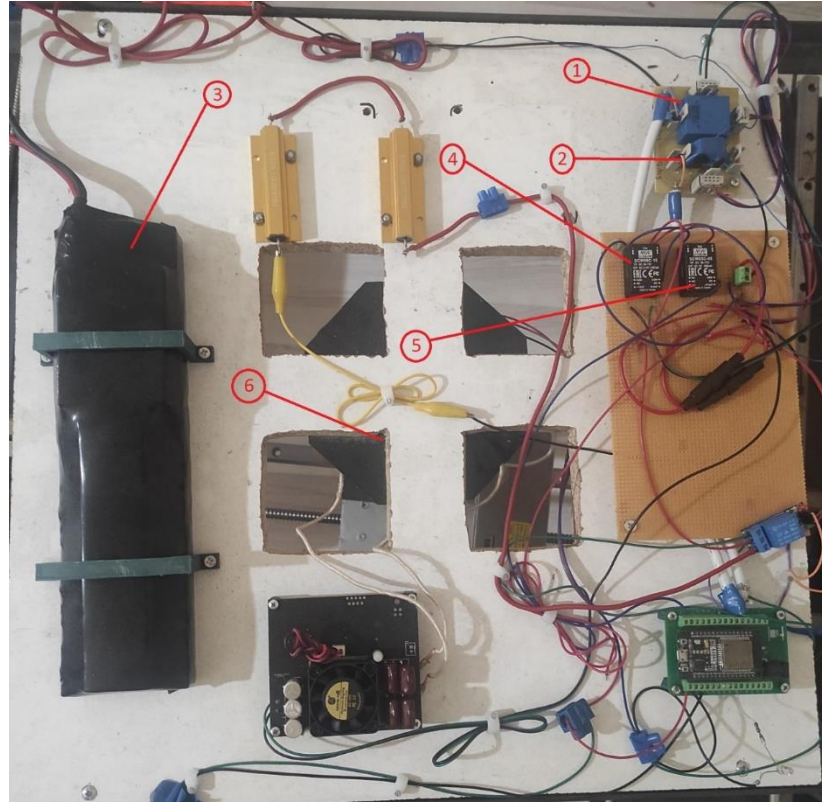


Şekil 5.7. Kablosuz şarj modülü.

Deney düzeneğinin ikinci bölümü olan araç ünitesi, gerilim ve akım sensörleri vasıtası ile bataryanın güncel şarj durumunu durmaksızın kontrol eder ve kartezyen platforma iletir. Ayrıca şarj işlemi sırasında aracın çalıştırılması halinde güvenlik açığı oluşturulmaması adına elektrikli aracın çalışma durumunu da ESP NOW haberleşme protokolü aracılığı ile iletir. Şekil 5.8.'de araç ünitesi, Çizelge 5.6.'da araç ünitesini oluşturan materyaller verilmektedir.

Çizelge 5.5. Kablosuz şarj modülü teknik özellikleri.

Özellikler	Durum
Bobin boyutları	150 mm x 150 mm
Bobinlerin çalışma aralığı	20 – 30 mm
Yabancı obje dedektörü	Mevcut
Yüksek akım koruması	15 A >
Yüksek gerilim alarmı	24.5 V >
Yüksek Güç koruması	360 W >
Nominal giriş gerilimi	24 V DC
Çalışma gerilimi aralığı	23.5 – 24.5 V DC
Maksimum giriş gerilimi	25 V DC
Giriş frekansı	50 / 60 Hz
Verimlilik	Min %88 (adaptor kayıpları hariç)
Çıkış gerilimi	16 – 58.5 V
Nominal çıkış akımı	0 – 4000 mA
Led gösterge	Mevcut
Ortam çalışma sıcaklığı	-20 – 70 °C



Şekil 5.8. Araç ünitesi deney düzeneği.

Çizelge 5.6. Araç ünitesinde kullanılan materyaller.

No	Materyal
1	LEM LV 25-P Gerilim sensörü
2	LEM LTS 25-NP Akım sensörü
3	INR 21700 12S Batarya grubu ve DL – J15C 60 A BMS
4	DCW 08C-15 DC – DC Dönüştürücü
5	SCW 03C-05 DC – Dc Dönüştürücü
6	KY – 024 Hall Effect Sensör

5.1.6. LEM LV 25-P Gerilim Sensörü

Sistemin araç ünitesinde bulunan pil grubunun gerilim ve güç durumlarının ölçülmesi ve yer istasyonuna iletilmesi için LV 25-P gerilim sensörüne ihtiyaç duyulmuştur. 12-15 V besleme gerilimine ihtiyaç duyan sensör 500 V seviyesine kadar ölçüm yapabilmektedir. Çalışma ortam sıcaklığı 0-70 °C aralığındadır. Şekil 5.9.' da LEM LV 25-P sensöre ait görsel ve Çizelge 5.7.'de teknik özellikler verilmektedir.



Şekil 5.9. LEM LV 25-P Gerilim sensörü.

Çizelge 5.7. LEM LV 25-P Gerilim sensörü teknik özellikleri.

Özellikler	Durum
Primer nominal RMS Akımı	10 mA
Ölçüm direnci	±12 V besleme 30-190 Ω
	±15 V besleme 100-350 Ω
Sekonder nominal RMS akımı	25 mA
Dönüşüm oranı	2500:1000
Besleme gerilimi	±12 – 15 V
Ağırlık	22 g
Primer sargı direnci	250 Ω
Sekonder sargı direnci	110 Ω

5.1.7. LEM LTS 25-NP Akım Sensörü

Sistemin araç ünitesinde bulunan pil grubunun akım ve güç durumlarının ölçülmesi ve yer istasyonuna iletilmesi için LTS 25-NP akım sensörüne ihtiyaç duyulmuştur. 5 V besleme gerilimine ihtiyaç duyan sensör 25 A seviyesine kadar ölçüm yapabilmektedir. Çalışma ortam sıcaklığı -40 - 85 °C aralığındadır. Şekil 5.10.' da LEM LTS 25-NP sensöre ait görsel ve Çizelge 5.8.'de teknik özellikler verilmektedir.



Şekil 5.10. LEM LTS 25-NP Akım sensörü.

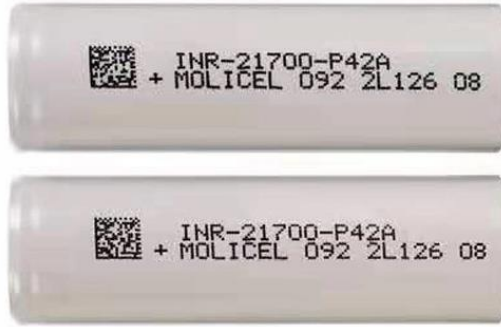
Çizelge 5.8. LEM LTS 25-NP Akım sensörü teknik özellikleri.

Özellikler	Durum
Primer nominal RMS akımı	25 At
Çıkış gerilimi (Analog)	0 – 5 V
Hassasiyet	25 mV/A
Yük direnci	$\geq 2 \text{ k}\Omega$
İç ölçüm direnci($\pm 0.5\%$)	50 Ω
Besleme gerilimi	5 V
Ağırlık	10 g
Ortam çalışma sıcaklığı	-40 - +85 °C

5.1.8. Molicell INR 21700 12S Batarya Grubu

Çalışmada Molicell INR 21700 batarya 12 seri bağlanarak, DL – J15C 60 A BMS ile birlikte kullanılmaktadır. Tek bataryanın 4.2 V nominal şarj değerine sahip olması, 4 A kapasiteye sahip olması ve oluşturulan sistem 200 W değerinde güç aktarımı

yapılmak üzere tasarlandığından batarya grubu 12 seri olacak şekilde belirlenmektedir. Bu sayede bataryadan elde edilecek gerilim değeri 50.4 V ve akım değeri 4 A seviyesine ulaşmaktadır. Batarya grubunun güvenli bir şekilde kullanılabilmesi, kullanım ömrünün uzatılması ve enerji verimliliği sağlanabilmesi adına batarya grubuna BMS devresi entegre edilmektedir. Şekil 5.11.'de Molicell INR 21700 bataryanın görseli ve çizelge 5.9.'da teknik özellikleri verilmektedir.

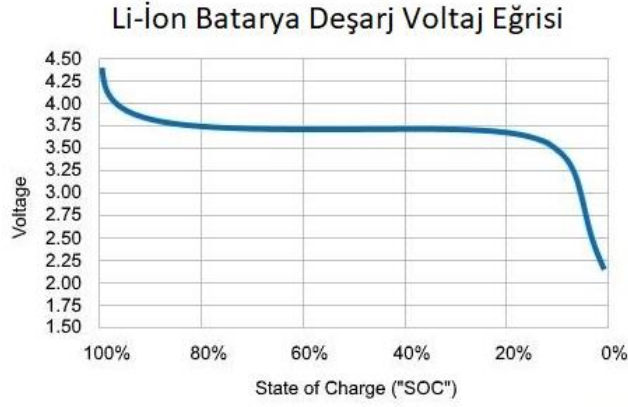


Şekil 5.11. Molicell INR 21700 batarya [47].

Çizelge 5.9. Molicell INR 21700 batarya teknik özellikleri.

Özellikler	Durum
Nominal Şarj	23 °C'de 4.2 A ve 4.2 V ile 1.5 saat sınırlama
Nominal Deşarj	23 °C'de sabit 0.84 A ile 2.5 V'a kadar
Nominal Kapasite	4.0 Ah (Minimum)
Nominal Voltaj	3.6 V
Transfer Gerilimi	≥ 3.45 V
İç Direnç	≤ 15 m Ω
Tam Şarj Gerilimi	4.2 V \pm 0.05 V
Tam Deşarj Gerilimi	2.5 V
Şarj Süresi	90 dakika
Maksimum Şarj Akımı	8.4 A
Maksimum Deşarj Akımı	45 A
Çalışma Sıcaklığı (Şarj)	-20 – 60 °C
Çalışma Sıcaklığı (Deşarj)	-40 – 60 °C

Şarj yüzdesi bakımından bataryanın sahip olduğu voltaj değeri “Şarj Durumu Grafiği (SOC- State of Charge)” ile tespit edilmektedir. Çalışma içerisinde kullanılan bataryaya ait şarj durumu grafiği Şekil 5.12.'de verilmektedir.



Şekil 5.12. Li-İyon batarya şarj durumu grafiği.

5.1.9. DCW 08C-15 DC – DC Dönüştürücü

LEM LV 25 P Gerilim sensörünün ihtiyaç duyduğu besleme gerilimini sağlamak amacı ile çalışmada kullanılmıştır. Güç kaynağından sağlanan 24 V DC gerilim seviyesini ± 15 V seviyesine regüle etmektedir. Şekil 5.13'te dönüştürücünün görseli ve Çizelge 5.10.'da teknik özellikleri verilmektedir.



Şekil 5.13. DCW 08C-15 DC DC Dönüştürücü.

Çizelge 5.10. DCW 08C-15 DC DC Dönüştürücü teknik özellikleri.

Çıkış	DC Gerilim	± 15 V	
	Akım	$\pm 52 - \pm 267$ mA	
	Nominal Güç	8 W	
	Gerilim Doğruluğu	$\pm 2\%$	
	Anahtarlama Frekansı	50 KHz min.	
	Dış Kapasitans Yüğü (Maks.)	47 uF	
Giriş	Gerilim Aralđı	36 – 72 V DC	
	Verimlilik	80%	
	DC Akım	Tam Yüğü	215 mA
		Yüksüz	15 mA
Koruma	Sigorta Tavsiye Edilir		

5.1.10. SCW 03C-05 DC – DC Dönüştürücü

LEM LTS 25 NP Gerilim sensörünün ihtiyaç duyduğu besleme gerilimini sağlamak amacı ile çalışmada kullanılmıştır. Güç kaynağından sağlanan 24 V DC gerilim seviyesini 5 V seviyesine regüle etmektedir. Şekil 5.14'te dönüştürücünün görseli ve Çizelge 5.11'de teknik özellikleri verilmektedir.



Şekil 5.14. SCW 03C-05 DC DC Dönüştürücü.

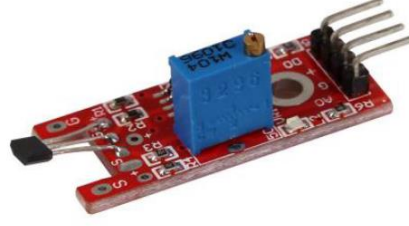
Çizelge 5.11. SCW 03C-05 DC DC Dönüştürücü teknik özellikleri.

Çıkış	DC Gerilim	5 V	
	Akım	60 – 600 mA	
	Nominal Güç	3 W	
	Gerilim Doğruluğu	± 2%	
	Anahtarlama Frekansı	50 KHz min.	
Giriş	Gerilim Aralığı	36 – 72 V DC	
	Verimlilik	76%	
	DC Akım	Tam Yük	83 mA
		Yüksüz	5 mA
Koruma	Sigorta Tavsiye Edilir		

5.1.11. KY – 024 Hall Effect Sensör

KY – 024 Hall effect sensor manyetik alanı algılamayı mümkün kılan bir elektronik bileşendir. Analog ve dijital olmak üzere iki farklı modda çalışabilmektedir. 5 V besleme gerilimine ihtiyaç duymaktadır. Veri iletimi sağladığı kontrolcüye dijital modda iken 5V ve 0 V verilerini iletmektedir. Analog modda iken 5 V ila 0 V arasındaki tüm değerleri algılayan manyetik alanın yoğunluğuna göre iletmektedir. Çalışmada hall effect sensor analog modda kullanılarak, yer istasyonunda bulunan mıknatısın manyetik alan yoğunluğunun tespit edilmesi ve bu sayede hassas bir konum

bilgisi sağlanması amacı ile kullanılmıştır. Şekil 5.15'te hall effect sensöre ait görsel verilmektedir.



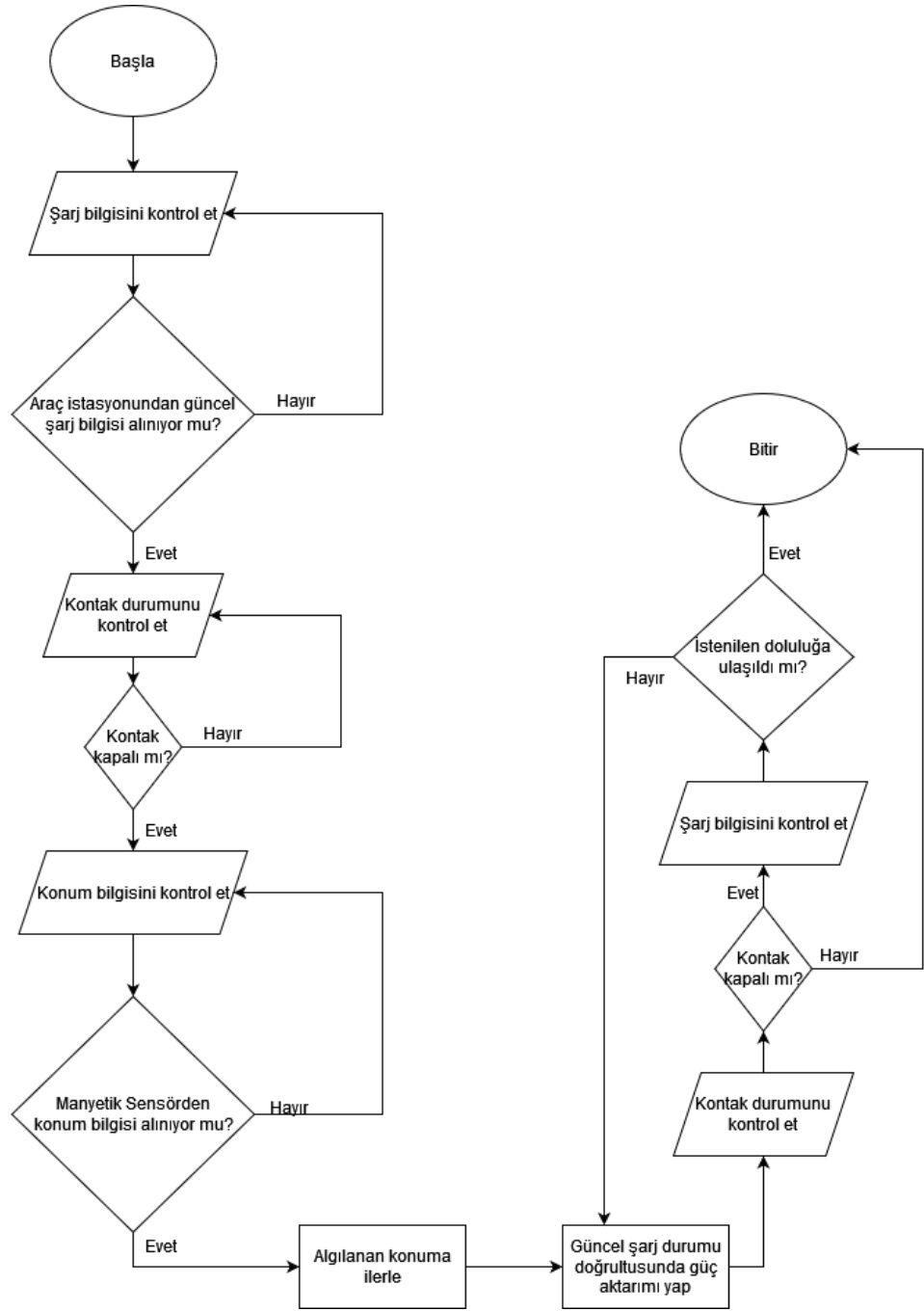
Şekil 5.15. KY – 024 Hall effect sensor.

5.2. METOT

Sistemde, ünitesinden alınan güncel şarj durumu, istenen şarj durumu ve aracın durağan olup olmadığı gibi veriler yer istasyonu biriminde işlenir ve aracın şarj işlemi yapılır. Şekil 5.16'da verildiği gibi tüm robotun kontrolünü sağlayan bir temel kontrol birimi vardır. Kontrol birimi araç ünitesinden ve manyetik sensörlerden gelen verileri işlemekte ve motor sürücülerine gerekli hareket işaretlerini vermektedir. Kontrol birimi gerçek zamanlı haberleşmeye sahip olmalıdır. Bu sebeple kontrol birimi olarak ESP 32 DOIT V1 kullanılmaktadır. Kontrol birimi araç ünitesi ile Wi-Fi üzerinden master – slave ilişkisi aracılığı ile haberleşmektedir.

Sistemin temel çalışma prensibi x ve y eksenlerinde bulunan lineer manyetik şerit ve lineer manyetik sensörler vasıtası ile o an uç işlevcisinin bulunduğu konumu ve katettiği yolu tespit ederek, şarj istasyonu üzerine park etmiş durumda olan aracın altında bulunan araç ünitesi ile hizalamayı yapmaktadır. Araç ünitesinden kablosuz şekilde iletilen güncel şarj durumu, istenen doluluk oranı ve aracın durma-çalışma durumu bilgileri yer istasyonunda işlenmekte ve bu doğrultuda şarj işlemi başlamakta, durmakta ya da devam etmektedir. Araç istasyon üzerinde konumlandığında gerilim ve akım sensörleri vasıtası ile aracın güncel şarj durumu tespit edilmekte ve aracın durağan halde olması durumunda manyetik lineer sensörler ve hall effect sensör aracılığı ile aracın konumu tespit edilmekte, şarj pedlerinin hizalanması sağlanmakta ve şarj işlemi başlatılmaktadır. Şarj süreci boyunca aracın çalıştırılmaması gerekmektedir. Şarj işlemi sırasında aracın çalıştırılması halinde güvenlik tehdidi oluşmaması adına şarj işlemi sonlandırılır. Şarj prosesi devam ettiği takdirde istenen

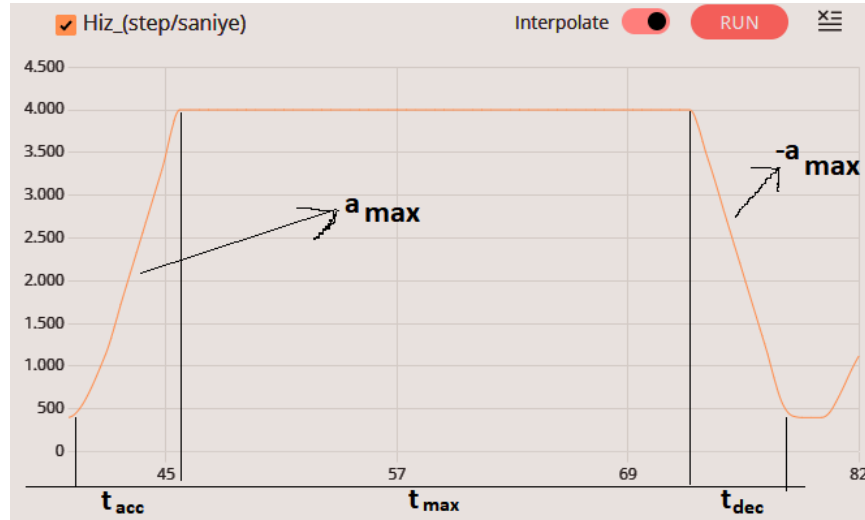
doluluk değerine ulaşılması halinde şarj işlemi sonlandırılır ve kartezyen robot başlangıç pozisyonuna döner.



Şekil 5.16. Deneysel çalışmanın akış diyagramı.

Kartezyen platform inşa edilirken x ekseni mekanik olarak diğer eksenlerden daha büyük bir yük altında olacağı için birbirine paralel iki mil ve iki motordan oluşan daha güçlü bir yapı tercih edilmektedir. Z ekseninin hareketini kolaylaştırmak adına

kremayer dişli tercih edilmektedir. X ve Y eksenlerinde kullanılan motorlar ve sürücüler 1600 adımda 1 tam tur atılacak şekilde, kullanılan miller ise 4 mm hatveli olacak şekilde belirlenmektedir. Bu sayede X ve Y eksenlerinde motor çözünürlüğü 0.0025 mm olarak belirlenmektedir. Z ekseninde ise benzer şekilde motor ve sürücü 1600 adımda bir tam tur atacak şekilde ve kullanılan kremayer dişli de 5 mm diş aralığına sahip olacak şekilde belirlenmektedir. Bu sayede Z ekseninde motor çözünürlüğü 0.0031 mm olarak belirlenmektedir. X ve Y eksenleri fiziki uzunluklarından kaynaklı olarak en yavaş eksenlerdir ve optimal hız değerleri 10 mm / s olarak belirlenmektedir. Buna bağlı olarak da Z ekseninin hızı 3.4 mm / s değerinde belirlenmektedir. Kartezyen robotun her bir ekseninde zamana bağlı hız bilgisinin gözlemlenmesi için interpolasyonlu hareket denklemlerinden faydalanılmış ve trapezoidal hız profili elde edilmektedir.



şekil 5.17. Trapezoidal hız profili.

İnterpolasyonlu hareketin hesaplanması ve istenen grafiğin oluşturulması için gerekli olan denklemler Eşitlik 5.1 – 5.4'te verilmektedir.

$$t_{acc} = t_{dec} = (w_{max}/a_{max}) \quad (5.1)$$

$$t_{toplamlam} = t_{acc} + t_{max} + t_{dec} \quad (5.2)$$

$$\Theta = \frac{1}{2} t_{acc} \cdot w_{max} + t_{max} \cdot w_{max} + \frac{1}{2} t_{dec} \cdot w_{max} = w_{max} \cdot \left(\frac{t_{acc}}{2} + t_{max} + \frac{t_{dec}}{2} \right) \quad (5.3)$$

$$t_{\max} = \frac{|\theta|}{w_{\max}} - \frac{|t_{\text{acc}}|}{2} - \frac{|t_{\text{dec}}|}{2} \quad (5.4)$$

Denklem 5.1-5.4 eşitliklerinde w_{\max} maksimum hızı, a_{\max} maksimum ivmeyi, t_{acc} pozitif ivmelenme zamanını, t_{dec} negatif ivmelenme zamanını, t_{\max} maksimum hızın gerçekleştiği zamanı ve t_{toplam} toplam hareket süresini ifade etmektedir. İnterpolasyonlu harekette hızlı eksenlerin yavaşlatılarak en yavaş hareket eden eksen ile eş zamanlı hareketi gerçekleştirilir. Sistemde bulunan üç eksenin hareketini eş zamanlı olarak tamamlayabilmesi için eksenlerin hız ve ivmeleri yeniden düzenlenmektedir. Oluşturulan sistemde bulunan en yavaş eksenler fiziki uzunluklarından dolayı X ve Y eksenleridir. Hız ve ivme değerleri bu eksenlere göre düzenlenip istenen hareketin sağlanması için aşağıda bulunan Eşitlik 5.5'teki indirgeme faktörü kullanılmıştır.

$$F = \frac{t_{\text{toplam1}} + t_{\text{toplam2}} + t_{\text{toplam3}}}{t_{\text{toplamenyavas}}} \quad (5.5)$$

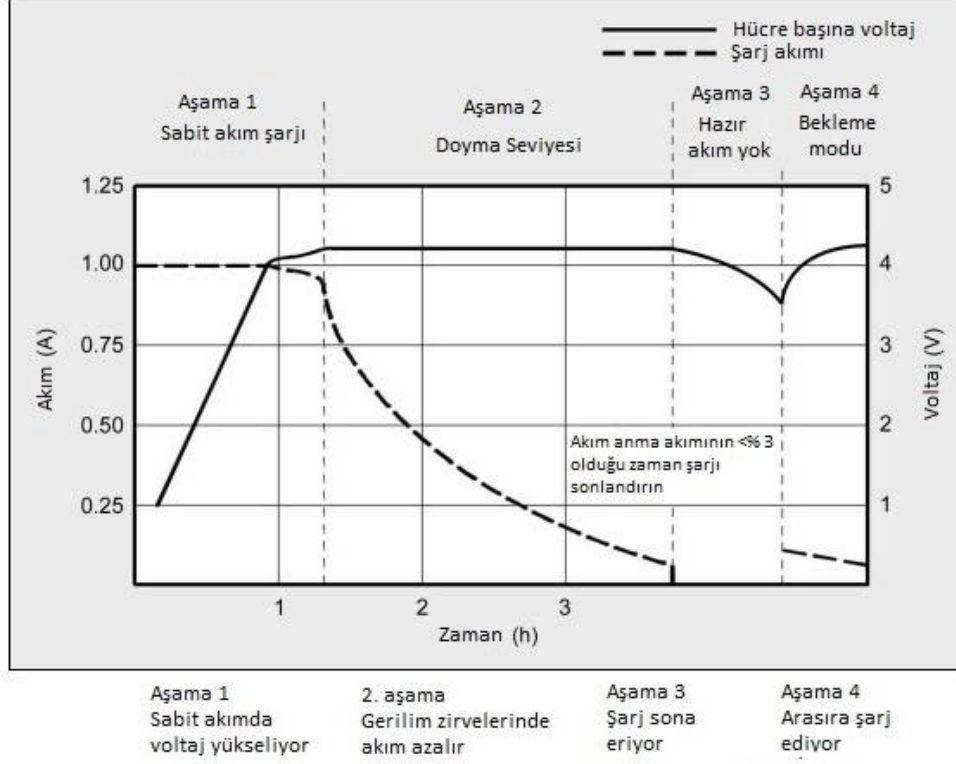
Kartezyen robot ile en uygun noktanın belirlenmesi işlemi, hall effect manyetik sensörden aktarılan veriler referans alınarak gerçekleştirilmektedir. Yatay eksenlerde gidilen mesafenin ve konumun saptanması için lineer manyetik sensörler kullanılmıştır.

5.2.1. Lityum Pil Grubu Şarj Politikası

Pillerin şarj ve deşarjı kimyasal bir reaksiyondur. Li-ion piller şarj edilirken, kurşun asit akü sistemlerine benzer voltaj ve akım sınırlandırıcı bir şarj sistemi kullanılmaktadır. Li-ion piller ve kurşun asit arasındaki temel farklar, hücre başına daha yüksek ya da daha düşük voltaj toleranslarında çalışabilmesi ve tam şarjda iken bekleme şarjının olmamasıdır. Lityum piller yalnızca emebilecekleri kadar akım alabilir.

Çalışmada kullanılan 4.2 V hücre voltajı değerindeki pillerin toleransı $\pm 50\text{mV/hücre}$ seviyesindedir. Lityum batarya grubu içerisinde bulunan BMS, her bir hücrenin

ayarlanan voltaj değerinin üzerine çıkmasını engellemektedir. Şekil 5.18.'de Lityum pil grubunun şarj sırasındaki akım ve gerilim değişim grafiği verilmektedir.



Şekil 5.18. Pil grubunun şarj sırasında akım ve gerilim değişimleri.

Batarya kapasitesinin şarj ya da deşarj oranı "C" olarak ifade edilmektedir. Bu ifade bir şarj ya da deşarj akımına eşittir. Çalışmada kullanılan batarya grubu 1C oranında şarj edilmektedir. 1C oranında şarj olan bir batarya nominal kapasitesini 1 saat içerisinde edinmektedir. Denklem 5.6.'da matematiksel gösterimi verilmektedir. Denklemde I akımı, M C'nin adet sayısını, C nominal kapasitenin sayısal değerini ve n saat cinsinden süreyi ifade etmektedir.

$$I = M \times C_n \quad (5.6.)$$

BÖLÜM 6

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

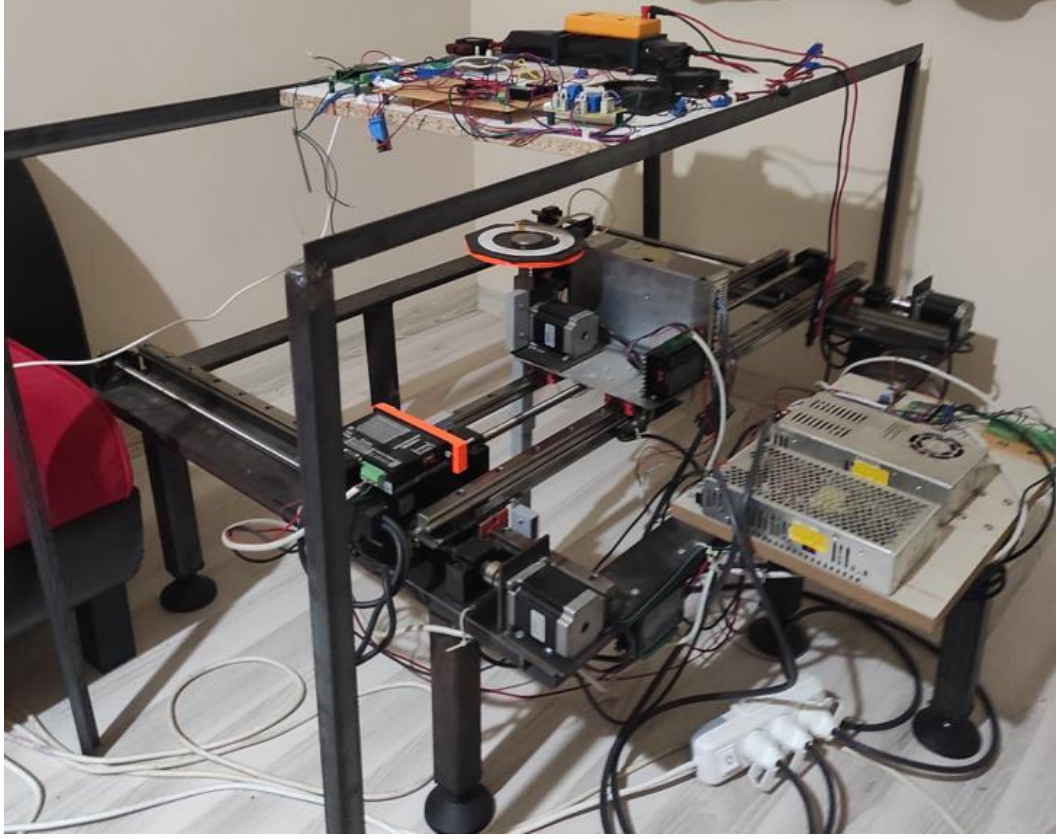
Bu bölüm, gerçekleştirilen uygulama kapsamında elde edilen deneysel verileri ve bu deneylerin sonuçlarını açıklamaktadır. Gerçekleştirilen deneysel çalışma, bu çalışma sonucunda ortaya çıkan veriler ve bulgular, sistemin ön testi ve test fonksiyonlarına karşı sistemin verdiği tepkiler şeklinde ayrı başlıklar altında incelenmektedir. Test amacı ile genellikle kullanılan giriş sinyalleri, rampa fonksiyonu, adım fonksiyonu, hızlanma fonksiyonu gibi sinyallerdir.

Bu giriş sinyalleri, zamana bağlı basit fonksiyonlar oldukları için kontrol sistemleri üzerinde matematiksel ve deneysel analizler kolayca gerçekleştirilebilmektedir. Kontrol sisteminin tasarımı, test sinyalleri temel alınarak yapıldığında, sistemin gerçek girdiler kullanılması halinde verdiği tepki çoğunlukla yeterince tutarlı olmaktadır. Tüm sistemlerin performansını aynı temelde karşılaştırmak için bu tür test sinyalleri kullanılır [48].

6.1. SİSTEMİN ÖN TESTİ

Bu çalışma kapsamında, deneysel çalışmalar başlatılmadan önce sistem, kararlılık ve doğruluk bakımından test edilmektedir. Bu bağlamda sistem üzerinde rampa fonksiyonu ve yörünge planlaması uygulamaları gerçekleştirilmektedir.

Bu testler kapsamında, hız ($X=10$ mm/s, $Y=10$ mm/s, $Z=3.4$ mm/s), mesafe ($X=24$ mm, $Y=30$ mm, $Z=12.4$ mm) ve süre (27 s) sistem tekrar edilebilme kararlılığı parametreleri incelenmektedir. Sistem istenilen hız değerlerinde kontrol edilebilmektedir. Deney düzeneğinin çalışır halde çekilen fotoğrafı Şekil 6.1.'de verilmektedir.



Şekil 6.1. Deney düzeneğinin hareket halinde çekilen fotoğrafı.

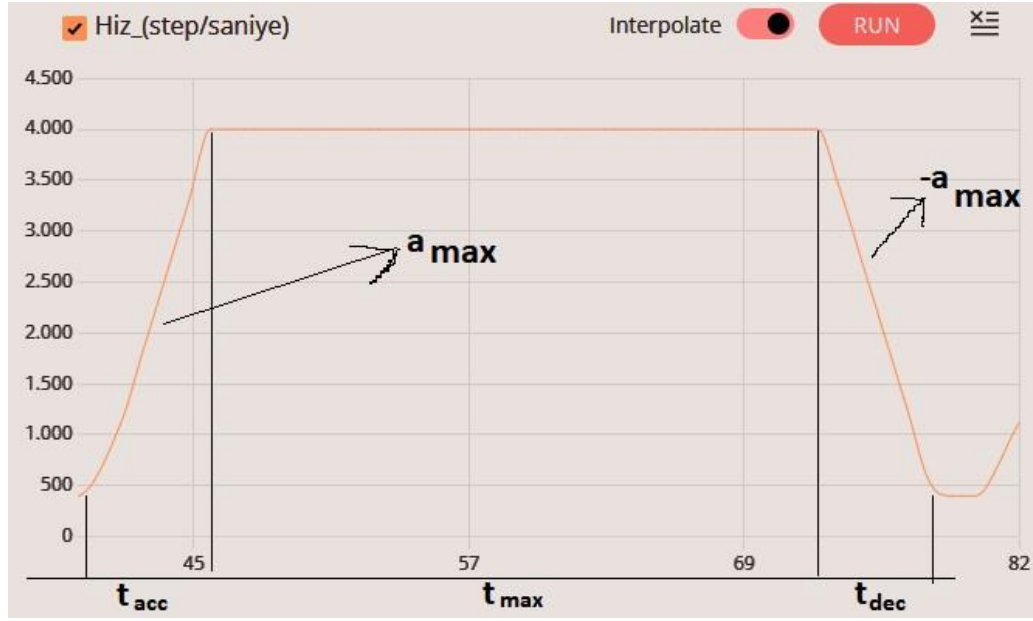
6.2. DOĞRUSAL BİR EKSENİN KONUMA GÖRE KONTROLÜ

Bu çalışmada, tasarlanan sistemin belirli parametreler karşısında verdiği tepkiler rampa fonksiyonu başlığı altında verilmektedir. Sistemin girişine uygulanan sinyaller sonucunda çıkış olarak alınan sinyaller grafiklerle sunulmaktadır.

6.2.1. Rampa Fonksiyonu

Rampa fonksiyonuna, sistemlerin lineer değişim altında bulunan durumlarını sınamak amacı ile başvurulur. Fiziksel ve zamana bağlı olarak yavaş ve sürekli artış halinde olan bir giriş sinyalini belirtir. Rampa fonksiyonu, Eşitlik 6.1 olarak gösterilen denklem ile tanımlanır.

$$f(t) = \begin{cases} 0, & t < 0 \\ A.t, & t \geq 0 \end{cases} \quad (6.1)$$



Şekil 6.2. ESP32 ile elde edilen trapezoidal rampa sinyali.

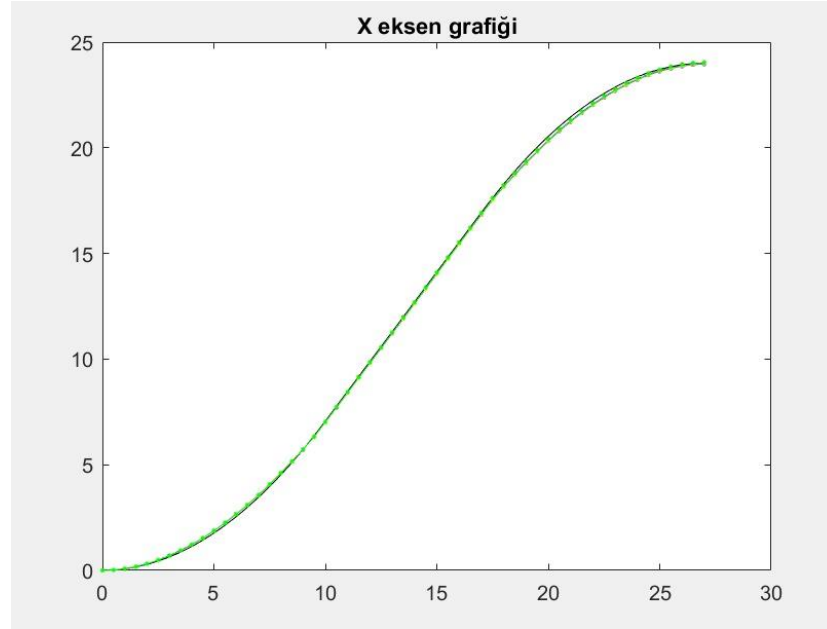
Bu çalışma kapsamında oluşturulan düzeneğin ESP32 ile üretilen rampa fonksiyonuna verdiği cevap Şekil 6.2.'de grafik halinde verilmektedir. Grafik üzerinde X eksenini saniye cinsinden zamanı, Y eksenini ise step/saniye cinsinden hız bilgisini ifade eder. Sistemin tekrarlanabilirlik hassasiyetinin ölçülebilmesi adına rampa fonksiyonu karşısında sistem tarafından verilen cevaplar incelenmiş, 10 defa tekrar edilmiş ve tekrarlanabilirlik hassasiyetinin tutarlı olduğu tespit edilmiştir.

6.3. DOĞRUSAL EKSENLERİN HIZA GÖRE KONTROLÜ

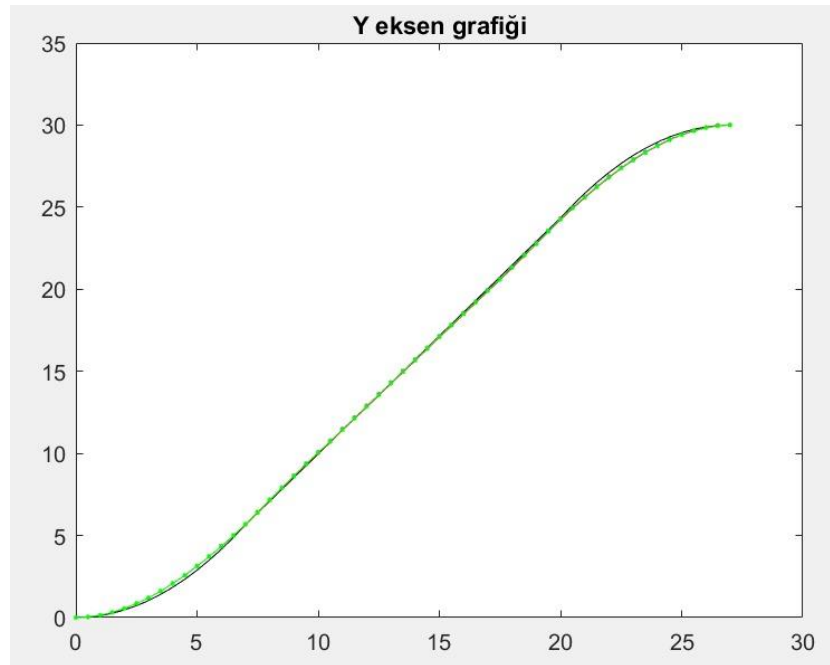
Endüstriyel robotlarda problemin çözmesi amacıyla üzerinde durulan en temel konu uç işlevcinin başlangıçtaki konumdan istenilen konuma götürülmesidir. Uç işlevcisi başlangıç konumundan istenilen konuma giderken zamana bağlı olarak belli bir hız ve ivme değerine sahip olarak hareket etmektedir. Zamana bağlı değişken olan ivme ise robot üzerinde istenmeyen titreşimlere ve arızalara neden olabilir.

Robot kolun çalışması sırasında, çalışma uzayının içerisinde kalarak, arızalardan, titreşimden uzak ve istenen hassasiyette hareketi sağlayabilmesi için yörünge planlamasına ihtiyaç duyulur. Yörünge, doğrusal ve parabolik olmak üzere 2 kısmı

bulunmaktadır. Başlangıç ve bitiş kısımlarında yer alan parabolik alanlar hız ve konum sürekliliğini sağlamaktadır [49].



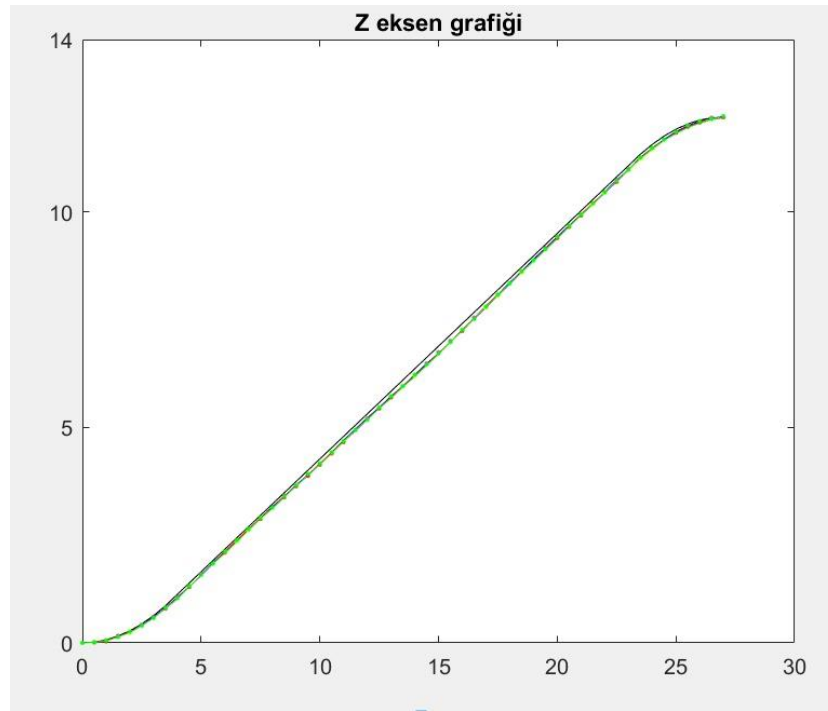
Şekil 6.3. X eksenini için gerçekleştirilmiş doğrusal yörünge planlaması.



Şekil 6.4. Y eksenini için gerçekleştirilmiş doğrusal yörünge planlaması.

Şekil 6.3. – 6.5.’te verilen yörünge planlamalarında X, Y ve Z eksenlerine göre

hareketin hızlanması ve yavaşlaması gösterilmektedir. Bu çalışmada, robot kollarda hareketlerin yumuşak ve hassas olmasını mümkün kılan parabolik kısımları eklenmiş doğrusal yörünge ve bu yörünge planlaması doğrultusunda hız kontrolü yapılmıştır. Her eksen için ayrı ayrı hız kontrolleri gerçekleştirilmektedir. Her eksen için bu kontroller 10 defa olacak şekilde tekrarlanmış ve sistemin tekrarlama hassasiyeti ölçülmüştür. Yapılan testler sonucunda sistemin yüksek seviyede tekrarlama hassasiyetine sahip olduğu görülmüştür. X eksenini için verilen yörünge planlamasında 0 ila 6 s arasında pozitif ivmelenme ile hızlanan hareket, 6 ila 21 s arasında 0 ivmeli sabit hızlı hareket ve 21 ila 27 s arasında negatif ivmelenme ile yavaşlayan bir hareket gösterilmektedir.



Şekil 6.5. Z eksenini için gerçekleştirilmiş doğrusal yörünge planlaması.

Y eksenini için verilen yörünge planlamasında 0 ila 6 s arasında pozitif ivmelenme ile hızlanan hareket, 6 ila 21 s arasında 0 ivmeli sabit hızlı hareket ve 21 ila 27 s arasında negatif ivmelenme ile yavaşlayan bir hareket gösterilmektedir.

Z eksenini için verilen yörünge planlamasında 0 ila 3 s arasında pozitif ivmelenme ile hızlanan hareket, 3 ila 24 s arasında 0 ivmeli sabit hızlı hareket ve 24 ila 27 s arasında negatif ivmelenme ile yavaşlayan bir hareket gösterilmektedir. Şarj pedlerinin

hizalanması elektrikli araç kablosuz şarj yöntemi ve bu yöntemin enerji verimliliği açısından son derece önemlidir. Yapılan çalışmada şarj istasyonunun manyetik konum algılamaya bağlı olarak ne derecede hassasiyet gösterdiği incelenmektedir. Yer istasyonunun çalışma uzayı 580 mm x eksen, 550 mm y eksen ve 150 mm z eksen olarak belirlenmektedir. Şarj edilmek üzere kartezyen robotun bulunduğu şarj istasyonu alanına park eden sürücülerin hatalı park etme durumları göz önüne alınmıştır.

Bu sebeple kartezyen robotun çalışma uzayı içerisinde her noktada yüksek hassasiyet ile çalışabilmesi gerekli görülmüştür. Bu durum sonucunda kartezyen robot çalışma uzayı yatay ve dikey olacak şekilde ikiye bölünmüş ve dört ana bölge için analizler yapılmıştır. Çizelge 6.1.'de çalışma uzayının 4 farklı bölümünde gidilen konumlar yer almaktadır [50].

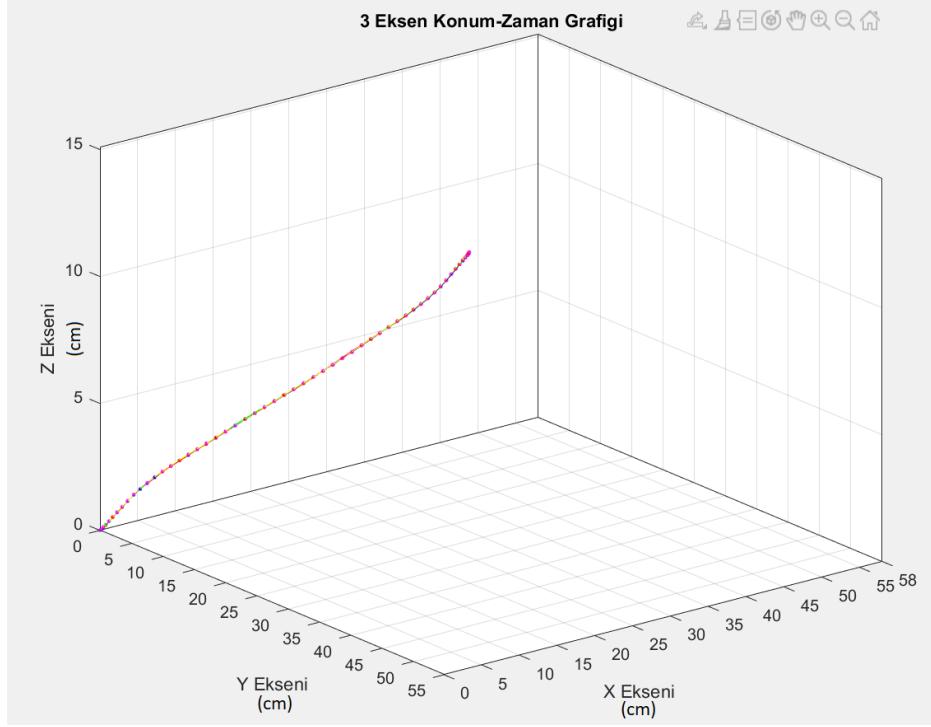
Çizelge 6.1. Çalışma uzayının farklı bölgelerinde gidilen konumlar.

Bölge	X Eksen	Y Eksen	Z Eksen
1	360 mm	169 mm	122 mm
2	360 mm	450 mm	122 mm
3	120 mm	169 mm	122 mm
4	120 mm	450 mm	122 mm

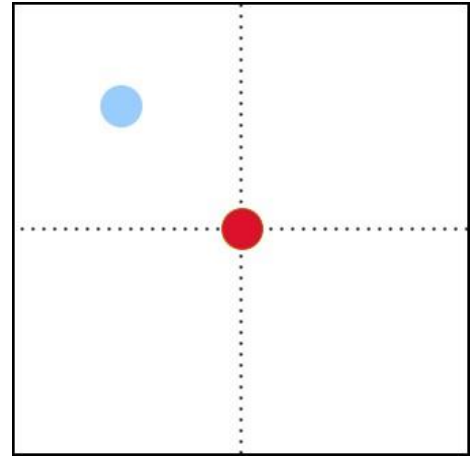
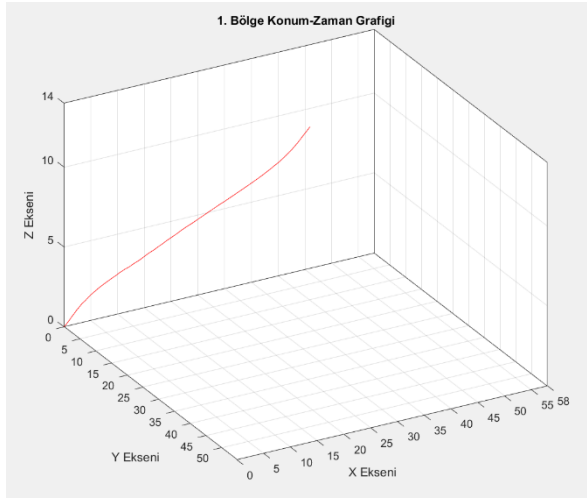
Sistemin tekrarlama hassasiyetine yönelik yapılan testlerde yer istasyonunun x, y ve z eksenlerinde belirlenen aynı konuma on kez gitmesi istenmektedir. Bu testte kartezyen robotun 55 saniye olarak belirlenen sürede hareket uzayının x ve y eksenleri için orta noktası olan, x ekseninde 240 mm, y ekseninde 300 mm ve z ekseninde 122 mm ilerlemesi istenmiş ve sistemin tüm eksenlerde toplam hata ortalaması 2.85 mm olarak gerçek zamanlı şekilde ölçülmüştür.

Şekil 6.6'da sistemin tekrarlama hassasiyetinin ölçülmesi ile elde edilen 3 boyutlu uzaydaki hareketi verilmektedir. Bu bağlamda 36 saniye toplam hareket zamanı olarak belirlenmiş ve hareket uzayının tüm bölgeleri için istenen hız ve ivme değerlerinde istenen konuma ulaşabildiği ve park eden aracın altındaki şarj pedi ile hizalamanın

sağlanabildiği tespit edilmektedir. Bu incelemeler sonucunda gerçek zamanlı olarak elde edilen konum – zaman verileri Şekil 6.7. – 6.10.’da verilmektedir.



Şekil 6.6. Kartezyen robotun tekraralama hassasiyeti grafiği.



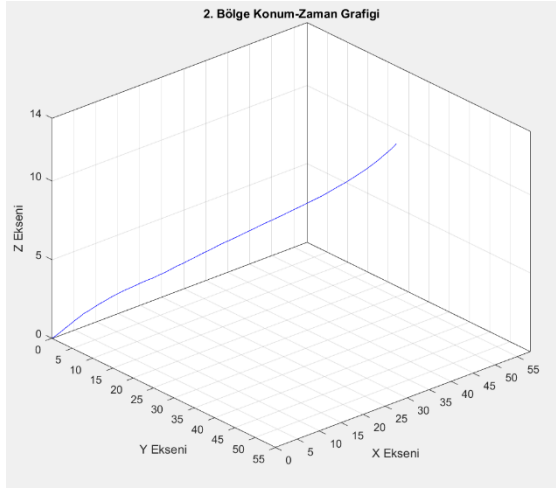
a) 1. Bölge konum-zaman grafiği

b) 1. Bölgenin çalışma uzayındaki konumu

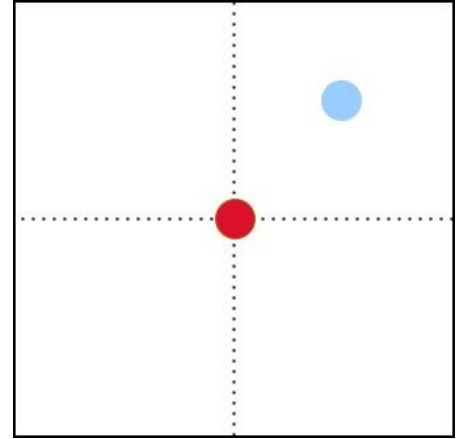
Şekil 6.7. 1. bölge konum- zaman grafiği ve çalışma uzayındaki konumu.

Şekil 6.7. b’de kırmızı ile gösterilen kartezyen robotun orta noktasından, mavi ile gösterilen ve 1. çalışma bölgesinde bulunan alana kartezyen robotun ulaşması

gösterilmektedir. Şekil 6.7. a'da ise bu hareket sırasında kartezyen robotun eksenlerindeki hareket değişimleri grafik halinde görünmektedir. 1. bölgedeki konum bilgileri Çizelge 6.1.'de bölge 1 olarak verilmektedir.



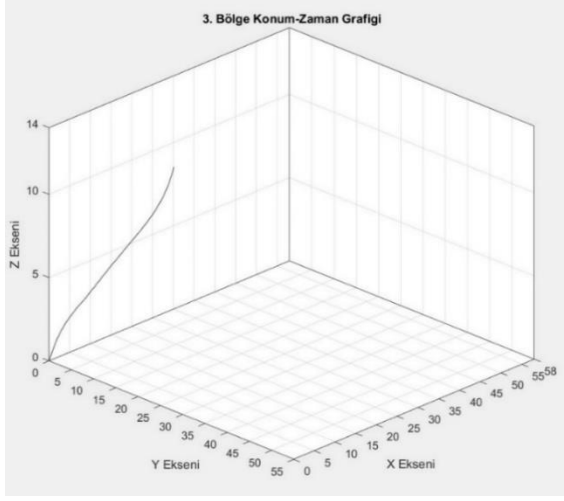
a) 2. Bölge konum-zaman grafığı



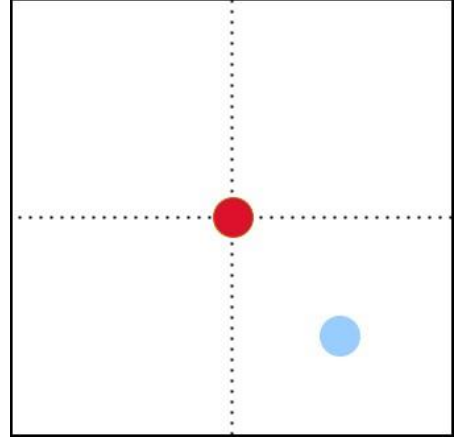
b) 2. Bölgenin çalışma uzayındaki konumu

Şekil 6.8. 2. bölge konum- zaman grafığı ve çalışma uzayındaki konumu.

Şekil 6.8. b'de kırmızı ile gösterilen kartezyen robotun orta noktasından, mavi ile gösterilen ve 2. çalışma bölgesinde bulunan alana kartezyen robotun ulaşması gösterilmektedir. Şekil 6.8. a'da ise bu hareket sırasında kartezyen robotun eksenlerindeki hareket değişimleri grafik halinde verilmektedir. 2. bölgedeki konum bilgileri Çizelge 6.1.'de bölge 2 olarak verilmektedir. Şekil 6.9. b'de kırmızı ile gösterilen kartezyen robotun orta noktasından, mavi ile gösterilen ve 3. çalışma bölgesinde bulunan alana kartezyen robotun ulaşması gösterilmektedir. Şekil 6.9. a'da ise bu hareket sırasında kartezyen robotun eksenlerindeki hareket değişimleri grafik halinde görünmektedir. 3. bölgedeki konum bilgileri Çizelge 6.1.'de bölge 3 olarak verilmektedir. Şekil 6.10. b'de kırmızı ile gösterilen kartezyen robotun orta noktasından, mavi ile gösterilen ve 4. çalışma bölgesinde bulunan alana kartezyen robotun ulaşması gösterilmektedir. Şekil 6.10. a'da ise bu hareket sırasında kartezyen robotun eksenlerindeki hareket değişimleri grafik halinde görünmektedir. 4. bölgedeki konum bilgileri Çizelge 6.1.'de bölge 4 olarak verilmektedir.

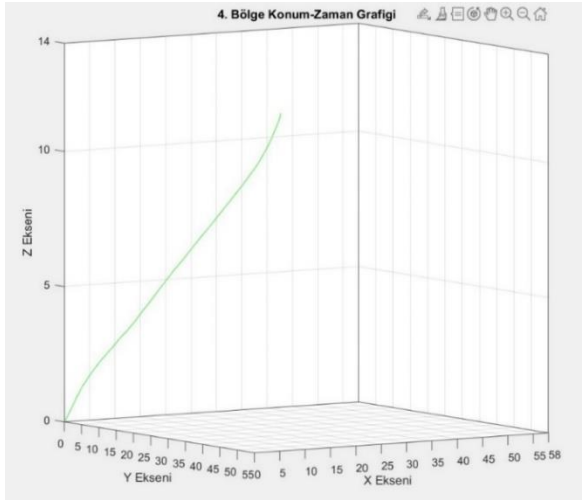


a) 3. Bölge konum-zaman grafiği

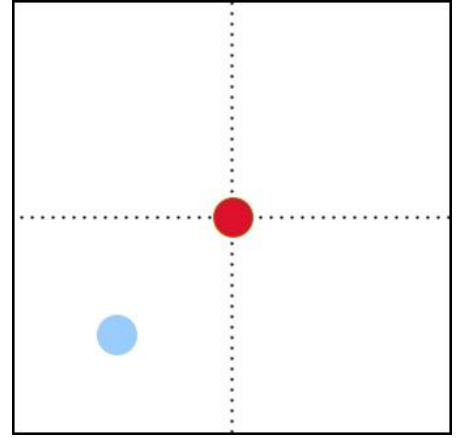


b) 3. Bölgenin çalışma uzayındaki konumu

Şekil 6.9. 3. bölge konum- zaman grafiği ve çalışma uzayındaki konumu.



a) 4. Bölge konum-zaman grafiği



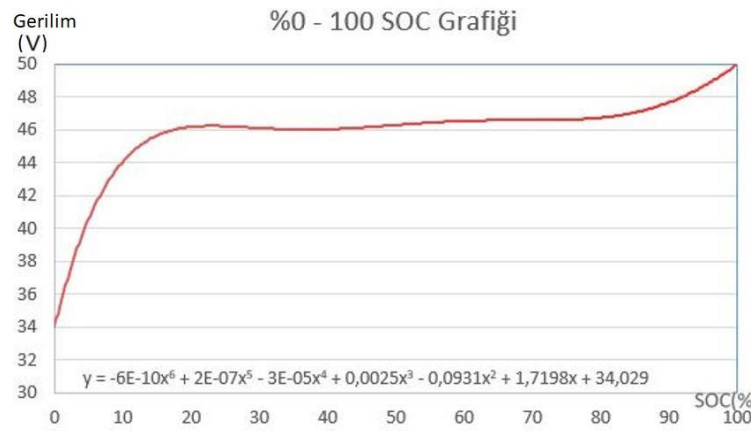
b) 4. Bölgenin çalışma uzayındaki konumu

Şekil 6.10. 4. bölge konum- zaman grafiği ve çalışma uzayındaki konumu.

6.4. GÜÇ AKTARIMI VE VERİMLİK KONTROLÜ

Bu çalışmada elektrikli bir aracın kablosuz olarak şarj edilmesi için endüktif olarak güç aktarımı yapılmasını sağlayan kablosuz şarj sistemi oluşturulmuştur. Ortaya konulan çalışmada gerçekleştirilen güç aktarımının sürekliliği, kontrol edilebilirliği ve

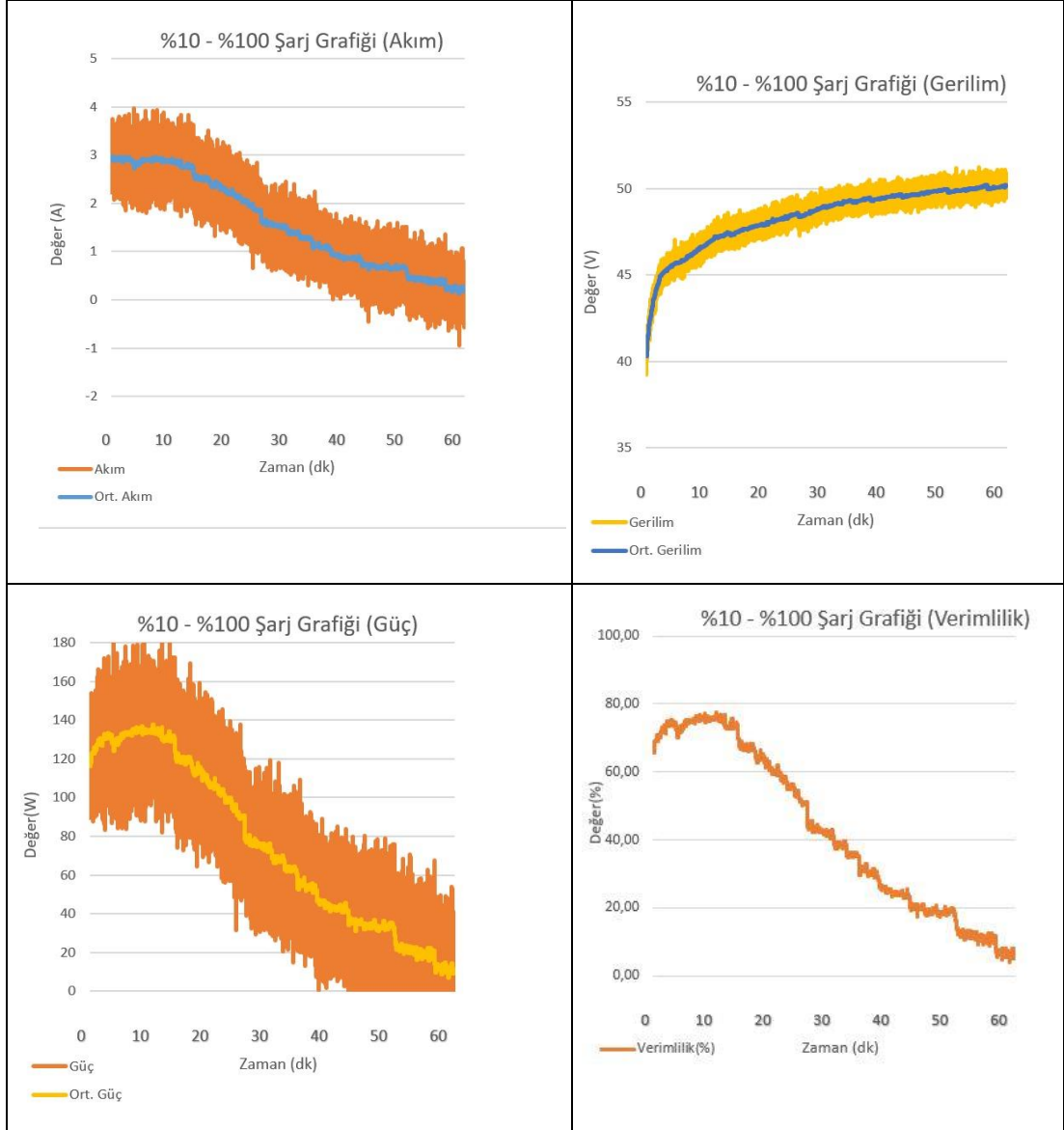
verimlilik oranı test edilmektedir. Çalışmanın araç ünitesinde kullanılan 12 seri Li-ion batarya grubunun %0 - %100 aralığındaki şarj durumu grafiği Şekil 6.11.'de verilmektedir. Kullanılan sistemde batarya grubu, şarj pedleri ve güç kaynaklarının karakteristiklerinden kaynaklı olarak güç aktarımında kayıplar yaşanmaktadır ve beklenen maksimum verimlilik %80'dir. Çalışma kapsamında elde edilen verimlilik araç ünitesine aktarılan gücün, yer ünitesinden sağlanan güce oranlanması ile hesaplanmıştır. Bataryanın %10, %50 ve %80 şarj durumlarında kablosuz şarj sistemi ile şarj işlemi gerçekleştirilmektedir. Şarj işlemi sırasında elde edilen akım, gerilim, güç ve verimlilik sonuçları grafik olarak kaydedilmektedir.



Şekil 6.11. Batarya grubu %0 - %100 şarj durumu grafiği.

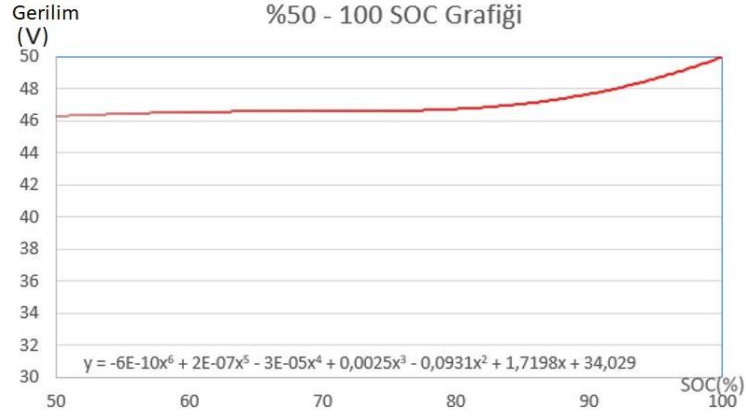
Bu çalışmada kullanılan Li – ion pillerin tamamen deşarj edilmesi pil grubunu fiziksel zarara uğratabileceğinden minimum değer olarak %10 belirlenmiş ve bu doğrultuda testler gerçekleştirilmektedir. Araç ünitesinin %10 şarj durumu ile kablosuz şarj sistemine gelmesi ve şarj edilmek üzere güç aktarımına başlanması durumunda oluşacak senaryo incelenmiş ve sonuçları kaydedilmektedir.

Batarya grubunun sahip olduğu gerilim değeri 42 volt %10 şarj seviyesinden, 50 V tam şarj seviyesine ulaşıncaya dek 60 dakika boyunca şarj edilmektedir. Şekil 6.12.'de batarya grubunun %10 - %100 değer aralığında kablosuz şarj istasyonu ile şarj edilmesi sırasında elde edilen akım, gerilim, güç ve verimlilik grafikleri verilmektedir.

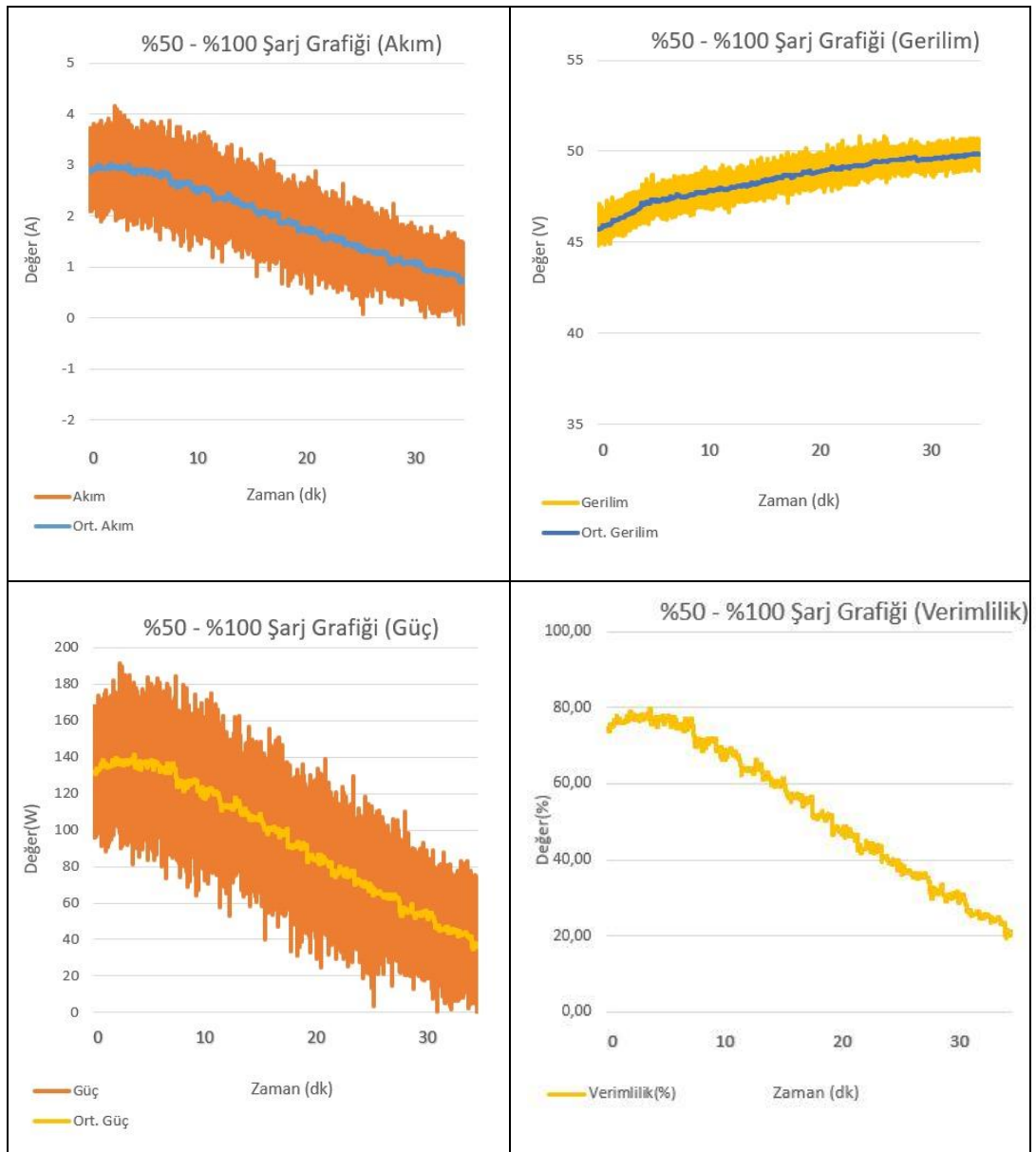


Şekil 6.12. % 10 - %100 şarj durumunda elde edilen sonuçlar.

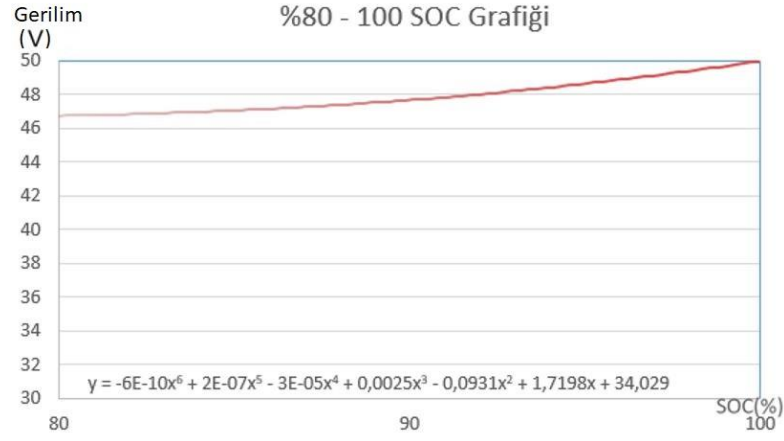
Yapılan çalışmanın araç ünitesinde bulunan pil grubunun %50 - %100 şarj aralığında sahip olduğu durum incelenmektedir. Bu inceleme sonucunda elde edilen şarj durumu grafiği Şekil 6.13.'te verilmektedir. Araç ünitesinin %50 şarj durumu ile kablosuz şarj sistemine gelmesi ve şarj edilmek üzere güç aktarımına başlanması durumunda oluşacak senaryo incelenmiş ve sonuçları kaydedilmektedir. Batarya grubunun sahip olduğu gerilim değeri 46,2 volt %50 şarj seviyesinden, 50 V tam şarj seviyesine ulaşmaya dek 30 dakika boyunca şarj edilmektedir. Bu işlem sırasında bataryadan akım, gerilim, güç ve verimlilik değerleri gerçek zamanlı olarak alınmış ve Şekil 6.14.'te grafikler halinde verilmektedir.



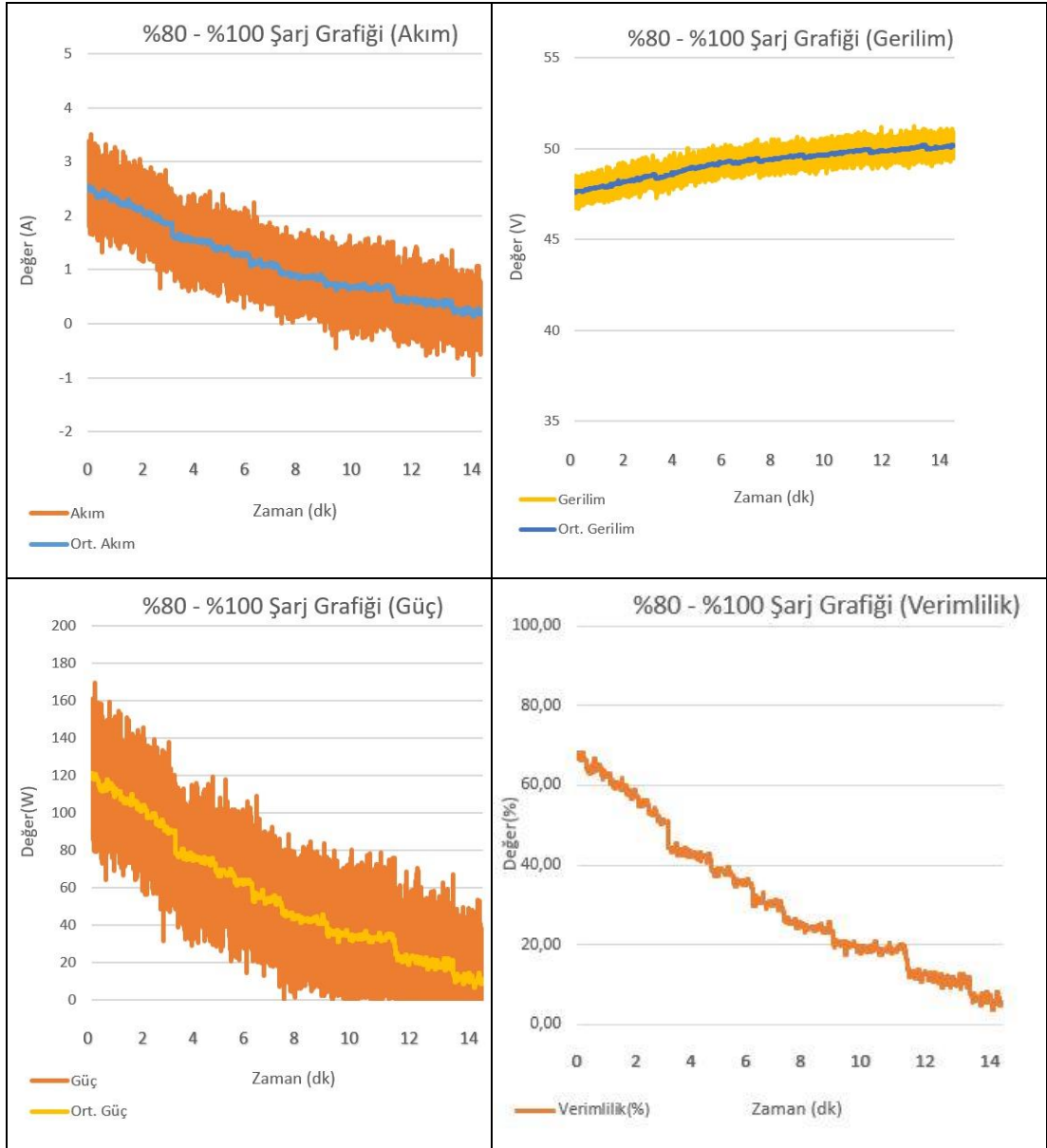
Şekil 6.13. Batarya grubu %50 - %100 şarj durumu grafiği.



Şekil 6.14. %50 - %100 şarj durumunda elde edilen sonuçlar.



Şekil 6.15. Batarya grubu %80 - %100 şarj durumu grafiği.

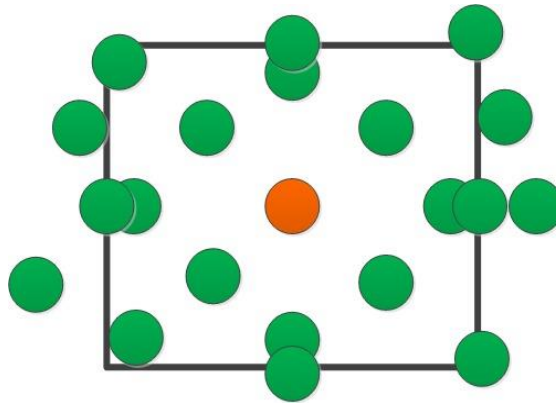


Şekil 6.16. %80 - %100 şarj durumunda elde edilen sonuçlar.

Yapılan çalışmanın araç ünitesinde bulunan pil grubunun %80 - %100 şarj aralığında sahip olduğu durum incelenmektedir. Bu inceleme sonucunda elde edilen şarj durumu grafiği Şekil 6.15.'te verilmektedir. Araç ünitesinin %80 şarj durumu ile kablosuz şarj sistemine gelmesi ve şarj edilmek üzere güç aktarımına başlanması durumunda oluşacak senaryo incelenmiş ve sonuçları kaydedilmektedir. Batarya grubunun sahip olduğu gerilim değeri 47 volt %80 şarj seviyesinden, 50 V tam şarj seviyesine ulaşınca dek 14 dakika boyunca şarj edilmektedir. Bu işlem sırasında bataryadan akım, gerilim, güç ve verimlilik değerleri gerçek zamanlı olarak alınmış ve Şekil 6.16.'da grafikler halinde verilmektedir.

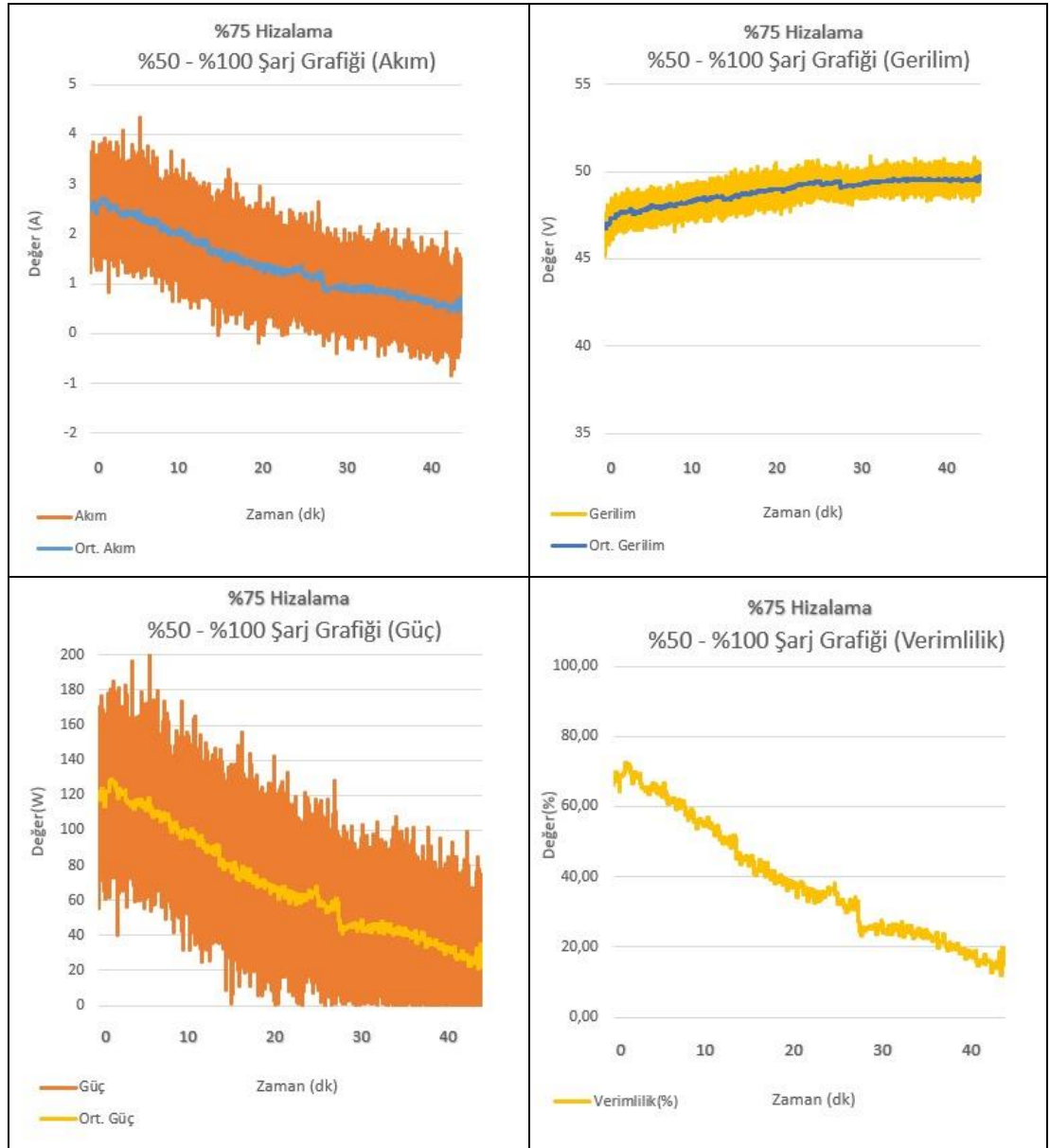
6.5. ARAÇ ÜNİTESİ İLE HİZALAMA KONTROLÜ

Bu çalışmada bir elektrikli aracın kablosuz şarj sistemi ile şarj edilmesi sırasında şarj pedlerinin hizalanmasından kaynaklı güç kayıplarının azaltılmasına odaklanılmıştır. Ortaya konulan kablosuz şarj sistemi yatay eksenlerde 550 mm x 550 mm büyüklüğünde bir alana sahiptir. Elektrikli aracın bu tolerans alanına park edilmesi durumunda alınan sonuçlar önceki bölümde verilmektedir. Ancak elektrikli araç, kablosuz şarj sisteminin kapsadığı alana kısmen girebilir ya da hiç giremeyebilir. Bu durumla karşılabileceği için elektrikli aracın altında bulunan şarj pedinin kablosuz şarj sisteminin alanına %75 ve %50 oranlarında girdiği senaryolar oluşturulmuş ve bu senaryonun sonuçları incelenmektedir. Şekil 6.17.'de turuncu nokta ile gösterilen nokta kablosuz şarj sisteminde bulunan verici şarj pedini, yeşil noktalar ise elektrikli aracın şarj edilmek üzere park etmesi sonucunda alıcı şarj pedinin muhtemel konumlarını ifade etmektedir.



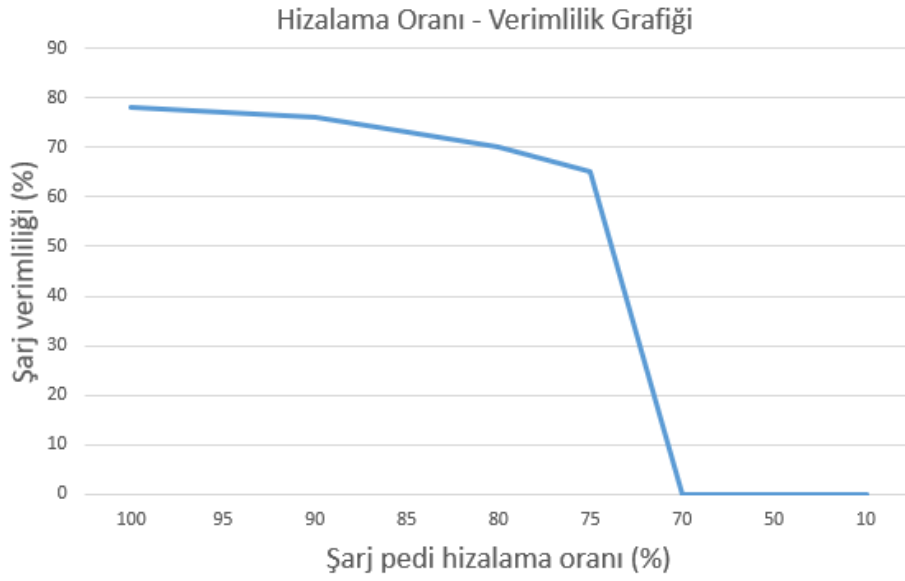
Şekil 6.17. Alıcı şarj pedinin muhtemel konumları.

Bu test ile elektrikli araç kullanıcılarının kablosuz şarj sistemine hatalı park etmesi durumunda oluşabilecek güç kayıpları ve verimlilik oranı incelenmektedir. Elektrikli aracın altında bulunan 150 mm çapındaki alıcı şarj pedinin kablosuz şarj istasyonunun hizalama yapabileceği tolerans alanına %75 oranında 112.5 mm girebilmesi durumunda güç kayıpları yaşanmakta ve verimlilik oranı düşmektedir. Bu senaryo sonucunda %50 şarj durumundaki bir batarya için şarj sırasında ortaya çıkan akım, gerilim, güç ve verimlilik grafikleri Şekil 6.18.'de verilmektedir.



Şekil 6.18. Şarj pedlerinin %75 hizalanması ile elde edilen sonuçlar.

Elektrikli aracın hatalı park etmesi sonucunda alıcı pedin kablosuz şarj sisteminin tolerans alanına farklı yüzdelerle girebilmesine yönelik senaryolar incelenmiş ve hizalamadan kaynaklı olarak yaşanan verimlilik kaybı Şekil 6.19.'da verilmektedir. Bu grafikte de görüldüğü üzere şarj pedlerinin %75 oranından daha az hizalanması durumunda güç aktarımı gerçekleşmemektedir. Benzer şekilde elektrikli aracın, kablosuz şarj sisteminin alanına girmemesi ve alıcı pedin tamamen alan dışında kalması durumunda da şarj işlemi gerçekleştirilememektedir.



Şekil 6.19. Hizalama oranı – verimlilik grafiği.

BÖLÜM 7

SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Bu çalışmada, elektrikli araçların kablosuz olarak şarj edilebilmesini sağlayan otonom bir sistem olan kablosuz şarj sistemi geliştirilmektedir. Çalışmada Wi-Fi bağlantısı ile kablosuz şarj sistemi ve araç ünitesinin haberleşmesi yöntemi kullanılmıştır. Hizalama işlemi sırasında konum, hız ve ivme kontrolü başarılı bir şekilde sağlanmıştır. Şarj istasyonuna hatalı park etme durumlarında güç kaybını minimuma indirme amacıyla ortaya çıkmıştır. Elektrikli araç sürücüleri yerde bulunan kablosuz şarj sistemlerini kullanırken park etme esnasında gereken yüksek hassasiyeti sağlayamamaktadır. Bu sebeple kartezyen robot sistemi ile bu işlem sırasında yaşanan enerji kaybı minimuma indirilmektedir. Kartezyen robot sistemi elektrikli araç sürücülerine yatay ekseninde 55 cm ve dikey ekseninde 55 cm olacak şekilde park alanı toleransı sağlamaktadır. Kartezyen robotun sağlamış olduğu bu alan 4 bölgeye ayrılmış ve hatalı park durumlarında kartezyen robotun üzerindeki herhangi bir bölgeye park edilmesi durumunda karşılaşılabilecek olan senaryolar değerlendirilmektedir. Her bölgeye park edilmesi durumunda kartezyen robotun güç kaybını minimuma indirme amacı ile verici şarj pedini aracın altında bulunan alıcı şarj pedi ile hizalama süreleri incelenmektedir. Ayrıca kablosuz şarj sisteminin kullanılması sırasında ortaya çıkabilecek olan hatalı park senaryoları ve alıcı – verici şarj pedlerinin tamamen hizalanamadığı durumlar incelenmiş ve sonuçları verilmektedir. Çalışmanın beklenen verim seviyesi olan %80 bandına yakın bir değerde, %78 maksimum verimlilik ile çalışabildiği görülmüştür.

Bu tez çalışmasında gerçekleştirilen elektrikli araçlar için tasarlanan kablosuz şarj sistemi L7 sınıfı elektrikli araçların yoğun kullanıldığı kargo ve yerel taşımacılık sektörü, evlerin garajları, otoparklar ya da alışveriş merkezleri gibi araçların uzun süreli park edildiği alanlarda kullanılmak üzere geliştirilmiş bir sistemdir.

KAYNAKLAR

1. F. Temel, "PLC denetimli yeni nesil servo sürücünün PID ile doğrusal eksen kontrolü", Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Mekatronik Mühendisliği Bölümü*, Karabük (2022).
2. Birrell, S., Wilson, D. and Jennings, P., "How driver behaviour and parking alignment affects inductive charging systems for electric vehicles", *Transp Res Part C Emerg Technol*, 721-731 (2015).
3. Ni, W., "Radio alignment for inductive charging of electric vehicles", *IEEE Trans Industr Inform*, 427-440 (2015).
4. Gao, Y., Farley, B. and Tse, Z. T., "A uniform voltage gain control for alignment robustness in wireless EV charging", *Energies (Basel)*, 8355-8370 (2015).
5. Gao, Y., Duan, A. and Oliveira, A., "3-D coil positioning based on magnetic sensing for wireless EV charging", *IEEE Transactions on Transportation Electrification*, 578-588 (2017).
6. Zheng, C., "High-efficiency contactless power transfer system for electric vehicle battery charging application", *IEEE J Emerg Sel Top Power Electron*, 65-74 (2015).
7. Lu, F., Zhang, H., Hoffman, H. and Mi, C., "A double-sided LCLC-compensated capacitive power transfer system for electric vehicle charging", *IEEE Trans Power Electron*, 6011-6014 (2015).
8. Covic, G. A. and Boys, J. T., "Modern trends in inductive power transfer for transportation applications", *IEEE J Emerg Sel Top Power Electron*, 28-41 (2013).
9. Mecke, R. and Rathge, C., "High frequency resonant inverter for contactless energy transmission over large air gap", *PESC Record - IEEE Annual Power Electronics Specialists Conference*, 1737-1743 (2004).
10. Nakao, F., Matsuo, Y., Kitaoka, M. and Sakamoto, H., "Ferrite core couplers for inductive chargers", *Proceedings of the Power Conversion Conference*, Osaka, 850- 854 (2002).
11. Budhia, G., Covic, A. and Boys, J. T., "Design and optimisation of magnetic structures for lumped inductive power transfer systems", *IEEE Energy Conversion Congress and Exposition*, 2081- 2088 (2009).

12. Tezcan, Y., Ünal, H. and Boztepe, M., “Endüktif kuplajlı kablosuz güç aktarım sistemlerinin analizi ve tasarımı”, *V. Elektrik Tesisat Ulusal Kongre ve Sergisi*, İzmir (2017).
13. Zheng, C., “High efficiency contactless power transfer system for electric vehicle battery charging”, *IEEE Energy Conversion Congress and Exposition*, 3243-3249 (2013).
14. Zheng, C., Ma, H., Lai, S. and Zhang, L., “Design considerations to reduce gap variation and misalignment effects for the inductive power transfer system”, *IEEE Trans Power Electron*, 6108- 6119 (2015).
15. Li, W., Zhao, H., Li, S. and Kan, T., “Integrated LCC compensation topology for wireless charger in electric and plug-in electric vehicles”, *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 4215- 4225 (2015).
16. Mi, C., Buja, S., Choi, Y. and Rim, C. T., “Modern advances in wireless power transfer systems for roadway powered electric vehicles”, *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 6533- 6545 (2016).
17. Tarlak, H., “Elektrikli araçlar için iki yönlü şarj devresi tasarımı”, Yüksek Lisans Tezi, *Kırklareli Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü*, Kırklareli (2018).
18. Chen, H., Liu, C. and Zhang, Y., “Metal object and vehicle position detections integrated with near-field communication for wireless EV charging”, *IEEE Trans Veh Technol* (2022).
19. Çay, S., “Gaz altı kaynağı yapabilen üç uzuvlu kartezyen robot kol tasarımı”, Yüksek Lisans Tezi, *Cumhuriyet Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü*, Sivas (2010).
20. Özbey, B., “Elektrikli araçlar için kablosuz şarj sistemi tasarımı ve optimizasyonu”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Elektrik Mühendisliği Bölümü*, İstanbul (2020).
21. İnternet: Toyota Türkiye, “Hibrit araçlar”, <https://www.toyotatr.com/hibrit-araclar> (2023).
22. İnternet: Arabam, “Plug - in hibrit araçlar”, <https://www.arabam.com/blog/genel/plug-in-hibrit-elektrikli-arabalar-nasil-calisir/> (2023).
23. İnternet: Elektrugo, “Elektrikli araçlar”, <https://elektrugo.com/elektrikli-araclarda-dual-motor-nedir/> (2023).
24. Krein, P. T. and Yılmaz, M., “Review of charging power levels and infrastructure for plug-in electric and hybrid vehicles”, *EEE International Electrical Vehicle Conference* (2012).

25. Yağcıtekin, B. and Karakaş, A., “Elektrikli araçların şarjı ve dağıtım sistemi üzerine etkileri”, *Elektrik-Elektronik ve Bilgisayar Sempozyumu* (2011).
26. Yazıcı, V. and Özdemir, E., “Elektrikli araç şarj yöntemleri”, *Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli* (2013).
27. İnternet: Eşarj, “Elektrikli araçlar ev tipi şarj ünitesi”, <https://esarj.com/urunler> (2023).
28. Kerem, A. and Gürbak, H., “Elektrikli araçlar için hızlı şarj istasyonu teknolojileri”, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi* (2020).
29. Fisher, M., Farley, K., Gao, Y. and Bai, H., “Electric vehicle wireless charging technology: A state-of-the-art review of magnetic coupling systems”, *Wireless Power Transfer Journal*, 87- 96 (2014).
30. Kaymaz, H. and Hançar, Y., “Elektrikli araç batarya yönetim sistemleri için hücre eşitleme yöntemleri”, *Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Uygulamaları Dergisi* (2021).
31. Belagoune, M., Zower, B. and Bali, P., “Wireless power transfer-witricity”, *Third International Conference on Electrical Engineering and Control Applications* (2021).
32. Sert, İ. and Aydın, Z., “Kablosuz elektrik iletimi”, *Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon* (2012).
33. Bínová, H., Hykš, O., Hykšová, M. and Neubergová, K., “Perspective of clean mobility in road freight transport”, *Transportation Research Procedia*, 289- 304 (2021).
34. Panchal, C., Stegen, S. and Lu, J., “Review of static and dynamic wireless electric vehicle charging system”, *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 922- 937 (2018).
35. Dai, J. and Ludois, D. C., “Wireless electric vehicle charging via capacitive power transfer through a conformal bumper”, *IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition*, 3307- 3313 (2015).
36. Hu, A. P., Liu, C. and Li, H. L., “A novel contactless battery charging system for soccer playing robot”, *15th International Conference on Mechatronics and Machine Vision in Practice*, 646- 650 (2008).
37. Elngar, A. and Rumaksari, A., “Study on wireless power transfer for stationary and dynamic charging systems for electric vehicles using Matlab/Simulink”, *Jawa Tengah* (2021).
38. Erdöl, M., “Bilyali vidali mil hareket sisteminin matematiksel modellenmesi ve titreşim analizi”, Yüksek Lisans Tezi, *Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Makine Mühendisliği Bölümü, Kocaeli* (2014).

39. İnternet: RMK Mekatronik, “Vidali mil ve uygulama alanları”, <https://www.rmkmekatronik.com/vidali-mil-ve-uygulama-alanlari> (2023).
40. İşler, H., “Makine Elemanları Ders Notları”, *Ege Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü*, İzmir (2018).
41. İnternet: Makine Eğitimi, “Düz dişliler ve kramayer dişliler”, <https://www.makinaegitimi.com/disli-cesitleri/#duzdisliler> (2024).
42. İnternet: Turkuaz Rulman, “Kaplin”, <http://turkuazrulman.com/kaplin.html> (2024).
43. Çetin, E., “Handling Interaction Forces Between an Object and Cartesian Robot Arm in Planar Motion”, Yüksek Lisans Tezi, *Marmara Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü*, İstanbul (2002).
44. İnternet: ESP 32, “ESP32 Wroom-32 Modül Pinleri”, <https://esp32.com/viewtopic.php?t=9875> (2023).
45. İnternet: Global Hırdavat, “Lineer ray ve araba”, https://www.globalhirdavat.com/index.php?route=product/product&product_id=54 (2023).
46. İnternet: Mecheltron GMBH, “M542 Step motor sürücü”, <https://mecheltron.com/en/product/m542> (2023).
47. İnternet: Shenzhen Paisen Technology, “Molicell 21700 pil hücresi”, <https://turkish.liionbatterybms.com/sale-34748259-21700-p42a-3-7v-4200mah-10c-li-ion-battery-cell-rechargeable-800times.html> (2024).
48. Ogata, K., “Modern control engineering, 5th ed.”, *Prentice-Hall*, Minnesota (2010).
49. Bingül, Z. and Küçük, S., “Robot Kinematiği”, *Birsen Yayınevi*, İstanbul (2009).
50. Bayır, R. and Karaoğlu, K., “Elektrikli Araçlarda Kablosuz Şarj Sistemi İçin Kartezyen Robot Tasarımı”, *5. Uluslararası Mühendislik Araştırmaları Sempozyumu*, Düzce (2024).

ÖZGEÇMİŞ

Kaan KARAOĞLU ilk, orta ve lise öğrenimini Bursa / Karacabey’de tamamladı. 2014 yılında KBÜ Karabük Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Mekatronik Mühendisliği’ne başladı ve 2021 yılında mezun oldu. 2021 yılında KBÜ Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Mekatronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı’nda yüksek lisansa başladı ve 2024 yılında mezun oldu. 2023 yılında Pürplast A.Ş.’de Proje Mühendisi olarak işe başladı ve halen aynı yerde çalışmaktadır.