



T.C.
EGE ÜNİVERSİTESİ
Fen Bilimleri Enstitüsü



**KAPALI MEKÂNLARDA KULLANILAN
OTOMATİK YÖNLENDİRİLEBİLİR ARAÇLARIN
KABLOSUZ ENERJİ AKTARIMININ
İYİLEŞTİRİLMESİ**

Yüksek Lisans Tezi

Engin BAYGÜR

Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı

İzmir
2022

T.C.
EGE ÜNİVERSİTESİ
Fen Bilimleri Enstitüsü

**KAPALI MEKÂNLARDA KULLANILAN
OTOMATİK YÖNLENDİRİLEBİLİR ARAÇLARIN
KABLOSUZ ENERJİ AKTARIMININ
İYİLEŞTİRİLMESİ**

Engin BAYGÜR

Danışman : Doç. Dr. Ozan ÜNSALAN

Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı
Mekatronik Mühendisliği Yüksek Lisans Programı

İzmir
2022

Engin BAYGÜR tarafından yüksek lisans tezi olarak sunulan “Kapalı Mekânlarda Kullanılan Otomatik Yönlendirilebilir Araçların Kablosuz Enerji Aktarımının İyileştirilmesi” başlıklı bu çalışma EÜ Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği ile EÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Eğitim ve Öğretim Yönergesi'nin ilgili hükümleri uyarınca tarafımızdan değerlendirilerek savunmaya değer bulunmuş ve 23/06/2022 tarihinde yapılan tez savunma sınavında aday oybirliği/oyçokluğu ile başarılı bulunmuştur.

Jüri Üyeleri:

İmza

Jüri Başkanı	: Doç. Dr. Ozan ÜNSALAN
Raportör Üye	: Doç. Dr. Hasan SERİN
Üye	: Dr. Öğr. Üyesi Oğuz GÜRSES

EGE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

EÜ Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin ilgili hükümleri uyarınca Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Kapalı Mekânlarda Kullanılan Otomatik Yönlendirilebilir Araçların Kablosuz Enerji Aktarımının İyileştirilmesi” başlıklı bu tezin kendi çalışmam olduğunu, sunduğum tüm sonuç, doküman, bilgi ve belgeleri bizzat ve bu tez çalışması kapsamında elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara atıf yaptığımı ve bunları kaynaklar listesinde usulüne uygun olarak verdiğimi, tez çalışması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını, bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya diğer bir üniversitede başka bir tez çalışması içinde sunmadığımı, bu tezin planlanmasından yazımına kadar bütün safhalarda bilimsel etik kurallarına uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul edeceğimi beyan ederim.

23/06/2022

İmzası

Engin BAYGÜR

ÖZET**KAPALI MEKÂNLARDA KULLANILAN OTOMATİK YÖNLENDİRİLEBİLİR
ARAÇLARIN KABLOSUZ ENERJİ AKTARIMININ İYİLEŞTİRİLMESİ**

BAYGÜR, Engin

Yüksek Lisans Tezi, Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Ozan ÜNSALAN

Haziran 2022, 71 sayfa

Endüstri 4.0 gelişmeleri ile beraber fabrika ortamında tüm makine parkurunun birbiri ile haberleşmesi, sistemden verilebilecek bir komut ile tüm iş emirlerinin gerçekleştirilmesi planlanmaktadır. Bu aşamada otomatik depo sistemlerinin planlanması, taşıma işlemi için kullanılan ya da otomatik depolama sisteminden alınan parçaların gerekli üretim alanındaki pozisyona götürülmesi, üretim hattındaki robotlarla bu sistemlerin haberleşmesi hedeflenen projeler kapsamındadır. Fabrika içerisinde taşımada görevli kullanılan araçların bir kısmı forkliftler ya da otomatik yönlendirilebilir araçlar (AGV) olabilmektedir. Enerji olarak akü ya da içten yanmalı motorlar kullanılmaktadır. Akülerdeki şarj yoğunluğunun yüksek fakat şarj süresinin çok uzun olması, dizel motorlu olan araçlarda ise oluşan zararlı sera gazlarından dolayı elektrikli araçlar tercih edilmektedir. Bu araçlar için en temiz ve uzun şarj gerektirmeyen kablosuz güç transferi ile hareketi sağlanan elektrikli araçlar tercih edilmektedir. Bu çalışmada kablosuz güç transferi ile enerji aktarımı sağlanan elektrikli araç için gerekli iş güvenliğinin sağlanması ve iş kazalarının önlenmesi adına araç önündeki hareketli cisimlerin algılanması için sensör seçimi ve bu sensörün montajı yapılarak sistemin harekete geçirilmesi planlanmıştır. Yapılan deneyler ile otomasyon ve mekanik yönden karşılaşılan durumlar gözlemlenmiş ve sonuçlar verilmiştir.

Anahtar sözcükler: Kablosuz güç transferi, elektrikli araçlar, elektrikli araçlarda iş güvenliği, elektrikli araçlarda optik sensör.

ABSTRACT**IMPROVEMENT OF WIRELESS ENERGY TRANSFER OF INDOOR
AUTOMATIC GUIDED VEHICLES**

BAYGÜR, Engin

M.Sc. in Mechatronics Eng.

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Ozan ÜNSALAN

June 2022, 71 pages

According to development on the Industry 4.0, all of the machine equipments which are in factory plant is planned communicate together for achievement of all of the work orders. At this stage, the planning of automatic warehouse systems, the transport of the parts used for transportation or taken from the automatic storage system to the required production area, and the communication of these systems with the robots on the production line are within the scope of the targeted projects. Some of the vehicles used in transportation within the factory can be forklifts or automatic guided vehicles (AGV). Battery or internal combustion engines are used as energy. Electric vehicles are preferred because the charge density in the batteries is high but the charging time is very long, and because of the harmful greenhouse gases formed in vehicles with diesel engines. For these vehicles, the cleanest and non-contact power transfer that does not require long charging, electric vehicles are preferred. In this study, it is planned to activate the system by selecting a sensor for the detection of moving objects in front of the vehicle and installing this sensor in order to ensure the necessary work safety and prevent work accidents for the electric vehicle that provides energy transfer with contactless power transfer. With the experiments carried out, the situations encountered in terms of automation and mechanics were observed and the results were given.

Keywords: Wireless power transfer, electrical vehicles, occupational safety in electrical vehicles, optical sensors in electrical vehicles.

ÖNSÖZ

Yeni teknolojik gelişmeler ve bilgisayar yazılımındaki gelişmeler deneysel çalışmalardaki teorik verilerin hızlıca bilgisayar ortamına aktarılmasına ve çıktıların hızlıca elde edilmesine olanak sağlamaktadır. Endüstri 4.0 sanayi devrimi aşamasında fabrika ortamında bulunan üretim hattındaki birçok uygulama otomasyon ürünleri tarafından kontrol edilmekte ve üretim hattının sıkıntısız çalışması için birbirleri ile haberleşerek yüksek kapasiteli üretim gerçekleştirilebilmektedir. İnsan gücünün yanı sıra üretim hattında kullanılan robotlar, elektrikli araçlar kaliteli ürün elde edilmesine olanak sağlamaktadır. Bu tez kapsamında üretimin birçok prosesinde kullanılan akü ya da içten yanmalı motor ile enerjisini elde eden forkliftlerin oluşturduğu sera gazı etkisi ya da uzun şarj süresinden kaynaklı problemlerden dolayı daha verimli çalışmaya olanak sağlayacak kablosuz enerji aktarımlı elektrikli araçlar ele alınmış, iş güvenliği ve sağlığı kapsamında hareketli objelerin algılanarak güvenli şekilde sistemin durması amaçlanmıştır. Sistem üzerinden kullanılan sensör sürücüdeki ve programlanabilen kontrol ünitesi üzerinde tanıtılmış, fonksiyon blokları hazırlanmıştır. Bu sayede fabrika ortamı içerisinde taşımada görevli araç etrafında hareket eden; operatör, forklift ya da vinç gibi objeleri fark ederek kazaya sebebiyet vermeden verimli bir şekilde çalışması sağlanmaktadır.

İZMİR

23/06/2022

Engin BAYGÜR



İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
İÇ KAPAK	ii
KABUL ONAY SAYFASI	iii
ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI.....	v
ÖZET	vii
ABSTRACT	ix
ÖNSÖZ	xi
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	xiii
ŞEKİLLER DİZİNİ	xvii
TABLolar DİZİNİ.....	xxi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xxiii
1.GİRİŞ.....	1
2.GENEL BİLGİLER.....	3
2.1 Literatür Taraması	3
2.2 Kablosuz Güç Aktarım Yöntemleri.....	6
2.2.1 Mikrodalga Güç Aktarım.....	7

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
2.2.2 Lazer Güç Aktarım	7
2.2.3 Endüktif Güç Aktarım	7
2.2.4 Endüktif Kuplajlı Güç Aktarım	8
2.3 Spiral Sargı Tasarımı	9
2.3.1 Öz Endüktans Hesabı	9
2.3.2 Ortak Endüktans Hesabı	10
2.3.3 Kalite Faktörü	11
2.3.4 Kuplaj Katsayısı	12
2.3.5 Bifürkasyon ve Frekans Ayrılması Fenomeni	12
2.3.6 Deri Olayı	13
2.3.7 Yakınlık Etkisi	14
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	15
3.1 KGT Sistemlerinin Genel Topolojisi.....	15
3.2 KGT Sistemlerinde İş Güvenliği ve Sağlığı Hususları.....	17
3.3 KGT Sistemlerinin Kurulumu	19
3.4 Deney Düzeneği	21

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
3.4.1 Güç Kaynağı	22
3.4.2 Transfer Modülü	23
3.4.3 Kablo	24
3.4.4 Kompanzasyon Kutusu.....	24
3.4.5 Araç Üstü Algılayıcı Plaka	24
3.4.6 Mobil Dönüştürücü.....	25
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	26
4.1 Sensör	26
4.2 Uygun Sensör Seçimi	27
4.3 PLC Programlama	30
4.4 Sistemin Çalıştırılması ve Gözlem	34
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	39
KAYNAKLAR DİZİNİ.....	41
TEŞEKKÜR	43
ÖZGEÇMİŞ.....	44

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.1 KGT genel mimarisi	4
2.2 Yaygın kullanılan kompanzasyon topolojileri	8
2.3 Spiral sargı yapıları	9
3.1 Elektrikli araçlarda kullanılan KGT bileşenleri	15
3.2 Elektrikli araçlarda kullanılan KGT topolojileri	15
3.3 Otomotiv sektöründe kullanılan örnek elektrikli araç katı modeli.....	16
3.4 Otomotiv sektöründe kullanılan örnek elektrikli araç.....	16
3.5 IEEE ve ICNIRP'ye göre maksimum müsaade edilen radyo frekansı elektromanyetik alan etkisi.....	18
3.6 Mesafeye bağlı olarak manyetik akım yoğunluk değişimi.....	18
3.7 Kablo kanallarının oluşturulması	19
3.8 Kompanzasyon kutu yerleşimi	20
3.9 Kablonun serilmesi.....	20
3.10 Epoksi boya ile kaplama.....	21
3.11 KGT şematik diyagram	21
3.12 Deney düzeneği	22

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
3.13 TPS 10A 160-NF0-503-0 Güç kaynağı.....	23
3.14 Transfer modülü	23
3.15 Kablo	24
3.16 Kompanzasyon kutusu	24
3.17 Araç üstü algılayıcı plaka.....	24
3.18 Mobil dönüştürücü	25
4.1 Pozisyonlama sensörü	26
4.2 RFID Transponder.....	26
4.3 Fotosel sensör	27
4.4 Elektrikli araç üzerine sensör montajı	27
4.5 Optik sensör cisim olmadığındaki çalışması	28
4.6 Optik sensör cisim olduğundaki çalışması	28
4.7 Sürücü bağlantısı	30
4.8 Motionstudio program.....	30
4.9 UCS MA program genel görünüm	31
4.10 UCS 51B güvenlik PLC tanımlaması.....	32

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
4.11 Sensör mimarisi.....	32
4.12 Sensör fonksiyon blokları genel görünüm.....	33
4.13 Program fonksiyon blokları genel görünüm.....	33
4.14 Sensör fonksiyon bloğu.....	34
4.15 Optik sensör uygulaması.....	36
4.16 Faaliyet raporu.....	38

TABLULAR DİZİNİ

<u>Tablo</u>	<u>Sayfa</u>
2.1 Kaynak araştırmaları.....	5
2.2 Kaynak araştırmaları.....	6
2.3 Sargı yapılarına göre parametre değerleri.....	10
2.4 Farklı kompanzasyon topolojilerine göre kalite faktörü hesabı.....	12
4.1 Sensör teknik bilgileri.....	28
4.2 Sensör teknik bilgileri.....	29

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
L_s	Öz endüktans
M	Ortak endüktans
m	Modül
w_0	Rezonans farkı
Γ	Kayıp miktarı
k	Kuplaj katsayısı
Q	Kalite faktörü
$d_{iç}$	Spiral sargı iç çapı
$d_{dış}$	Spiral sargı dış çapı

Kısaltmalar

EA	Elektrikli araç
KGT	Kablosuz güç transferi
MGT	Mikrodalga güç transferi
LGT	Lazer güç transferi

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)

<u>Kısaltmalar</u>	<u>Açıklama</u>
TGA	Temassız güç aktarımı
EGT	Endüktif güç transferi
EKGT	Endüktif kuplajlı güç transferi
RGV	Rail guided vehicle
AGV	Automatic guided vehicle
MPT	Microwave power transfer
LPT	Laser power transfer
ICPT	Inductive coupled power transfer
SHARP	Stationary high altitude relay platform
IEEE	Institute of electrical and electronics engineers
ICNIRP	International commission on non-ionizing radiation protection
RFID	Radio frequency identification
PLC	Programmable logic control
LED	Light emitting diode

1. GİRİŞ

Günümüzde Endüstriyel 4.0 teknoloji gelişmeleri kapsamında ürünlerin fabrika içerisinde bölümler arasında taşınması elektrikli araçlarla gerçekleşmektedir. Bu araçların kullanımı diğer kullanılan enerji gruplarına göre daha çevreci, sessiz çalışma ve ekonomik katkı sağlamaktadır. Ayrıca içten yanmalı motor kullanımı sonucu oluşacak sera gazı etkilerini de ortadan kaldırmaktadır. Elektrikli araçlarda kimyasal enerjiyi depo ederek elektrik enerjisi sağlayan enerji yoğunluğu yüksek akümülatörler (akü) kullanılmaktadır. Bu ürünlerin enerji yoğunlukları yüksek yalnızca şarj edilebilme süreleri oldukça uzundur. Bu hususta sorunsuz ve güvenli şarj edebilme sorunları yaşanmaktadır, yaşanan problemler güvenli şarj yöntemlerinin araştırılmasına yönlendirmiştir. Bu şarj yöntemleri arasında kablosuz enerji transferi pil şarj yöntemleri arasında en dikkat çeken yöntem olmuştur.

Bugüne kadar kullanılan kablosuz şarj yöntemleri dört ana temelde gruplanmaktadır. Bunlardan ilki mikrodalga güç transferi (MGT), ikincisi lazer güç transferi (LGT), üçüncüsü endüktif güç transferi (EGT), dördüncüsü endüktif kuplajlı güç transferidir (EKGT). Bu yöntemler arasında ekonomik anlamda aktarılan gücün yüksek olması ve yüksek frekans değerlerinden dolayı yaygın olarak elektrikli araçlarda endüktif kuplajlı güç transferi (EKGT) kullanılmaktadır. Bu yöntem ile daha güvenli ve sorunsuz şarj sağlanabilmektedir.

Sanayi ortamında kullanılan elektrikli araçlar ise uygulama esasına bağlı olarak ray yönlendirmeli sistemler RGV (Rail Guided Vehicle) ve otomatik yönlendirmeli sistemler AGV (Automatic Guided Vehicle) gibi iki temel kavram da kullanılmaktadır. Her iki sistem için de enerji yoğunluğu olarak yüksek akü sistemleri kullanılmaktadır ama bunların güvenli ve sorunsuz şarj yapılamaması kablosuz enerji transferi yöntemini çekici kılmaktadır.

Kullanılan elektrikli araçların sanayi uygulamalarında iş güvenliği ve sağlığı kurallarına uygun olarak çalışma hızı, oluşan manyetik enerjinin insan sağlığına zararı, aracın güvenli bir şekilde iş kazasına sebebiyet vermeden çalışması gibi konular uygulamanın sağlıklı ve sorunsuz bir şekilde çalışması için önem arz etmektedir.

Bu çalışmada sanayi ortamında kullanılan araçların (RGV veya AGV) kablosuz enerji transfer yöntemleri incelenerek gerçekleştirilen uygulama üzerinden optik sensör kullanılıp bunu aracın kontrolü üzerinde programlanması ve güvenli çalışması sağlanmaya çalışılmıştır. Optik

sensör kullanılan elektrikli araç ile olmayan ürünün üretim ve iş güvenliğine verdiği tahribat analiz edilmiştir.



2. GENEL BİLGİLER

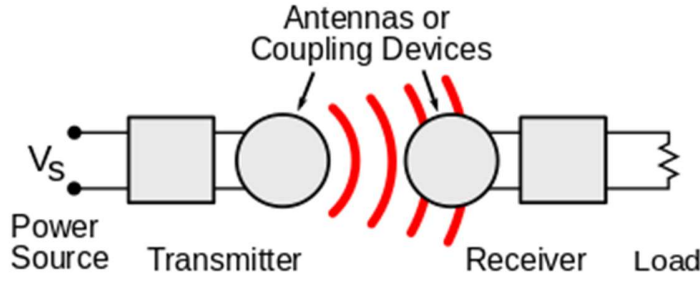
2.1 Literatür Taraması

19. yüzyılda elektrik enerjisinin nasıl iletilebileceğine dair birçok teori ve karşı teori geliştirildi. 1826'da André-Marie Ampère, Ampère'in elektrik akımının bir manyetik alan ürettiğini gösteren devre yasasını bulmuştur (Richard F., 2007). Michael Faraday 1831'de kendi indüksiyon yasasıyla zamanla değişen bir manyetik akı ile bir iletken döngüde bir akımı harekete geçiren elektromotor kuvveti tanımladı. Elektrik enerjisinin kablolar olmadan iletimi birçok mucit ve deneyci tarafından gözlemlenmiştir (Kipnis, 1987). Ancak tutarlı bir teori eksikliği bu kişileri belirsiz bir şekilde elektromanyetik indüksiyona bağlamıştır (Carlson W.B., 1991).

1890'dan sonra, mucit Nikola Tesla, yüksek AC voltajları üreten şimdi Tesla bobinleri olarak adlandırılan kıvılcımla uyarılmış radyo frekansı rezonans transformatörleri kullanarak endüktif ve kapasitif kuplaj yoluyla güç aktarmayı denemiştir (Shinohara, 2021). İlk zamanlarda, yakın alan endüktif ve kapasitif bağlantıya dayalı bir kablosuz aydınlatma sistemi geliştirmeye çalışmıştır (Lee et al., 2012) ve Geissler tüplerini ve hatta akkor ampulleri her yönden yaktığı bir dizi halka açık gösteri gerçekleştirdi. Vericinin LC devresiyle rezonansa ayarlanmış bir alıcı LC devresi kullanarak bir lambayı yakabileceği mesafeyi artırabileceğini bulmuştur (Wheeler, 2013). Tesla, bulgularından ticari bir ürün çıkarmayı başaramadı (Christopher Cooper, 2015) ancak rezonans endüktif kuplaj yöntemi artık elektronikte yaygın olarak kullanılmaktadır.

Tarihsel gelişmeler sonrası günümüzde içten yanmalı motorlarda oluşan sera gazlarının emisyonu neticesinde hava kirliliği ve küresel ısınmaya etkisi gelişmiş ülkeleri sıfır gaz emisyonlu inovatif elektrikli araçların araştırılmasına yönlendirmiştir (Zahid & Li, 2016). Elektrikli araçlar çevre dostu olmalarıyla birlikte ekonomik ulaşım imkânı sağlamaktadır. Bakım maliyetlerinin düşük olması ve içten yanmalı motorlu araçlara göre verimli olması elektrikli araçlara avantaj sağlamaktadır (Liang et al., 2018). Yalnızca elektrikli araçlardaki pil teknolojilerinin talep edilen seviyede olmaması, kablolu şarj süresinin uzun olması ve gün içerisinde alabileceği yolun az olması bu ürünlerin ticarileşmesinde olumsuz etki yaratmaktadır (Yu et al., 2015). Kablosuz enerji transferi belirtilen dezavantajları ortadan kaldırabilecek imkânlar sağlamaktadır. Kullanılacak olan malzemelerin kablolu enerji transferine göre daha ekonomik olması araçların ekonomik olarak ticarileşmesinde önemli avantaj sağlamaktadır (Vilathgamuwa & Sampath, 2015).

Kablosuz güç aktarımı, elektromanyetik alanlar aracılığıyla enerji iletmek için bir dizi farklı teknoloji için genel bir terimdir (Shinohara, 2021). Kablosuz güç aktarım sisteminin genel bir görünüşü Şekil 2.1’de belirtilmiştir. Genel olarak bir kablosuz güç sistemi gücü zamanla değişen bir elektromanyetik alan dönüştüren ana güç hattı gibi bir güç kaynağına bağlı verici cihazdan, gücü alan bir veya daha fazla alıcı cihazdan oluşur, bir elektrik yük tarafından kullanılan DC veya AC elektrik akımına geri dönüştürür (Shinohara, 2021). Vericide giriş gücü, bir tür "anten" cihazı tarafından salınan bir elektromanyetik alana dönüştürülür. "Anten" kelimesi burada basit bir şekilde kullanılmıştır; bir manyetik alan oluşturan bir tel bobini, bir elektrik alanı oluşturan bir metal plaka, radyo dalgaları yayan bir anten veya ışık üreten bir lazer olabilir. Alıcıdaki benzer bir anten veya bağlantı cihazı, salınım alanlarını bir elektrik akımına dönüştürür. Dalga tipini belirleyen önemli bir parametre, dalga boyunu belirleyen frekanstır (Tianjia et al., 2013).



Şekil 2.1. KGT genel mimarisi

Kaynak araştırmalarına göre elektrikli araçlarda kullanılan kablosuz güç aktarım yöntemleri dört ana temelde toplanmaktadır. Bunlar endüktif güç aktarım (Inductive Power Transfer - IPT), mikrodalga güç aktarımı (Microwave Power Transfer – MPT), lazer güç aktarımı (Laser Power Transfer – LPT) ve endüktif kuplajlı güç aktarımıdır (Inductive Coupled Power Transfer–ICPT). Endüktif güç aktarım yöntemi geleneksel kablolu şarj yönteminde metal temasından oluşabilecek güvenlik problemlerini ortadan kaldırmak için uygulanan bir yöntemdir. Bu yöntem birincil ve ikincil sargıların yakın mesafede tutulup hava özlü bir trafonun elektromanyetik indüksiyon ile güç aktarımıdır (Klontz K. et al., 1993). Verimliliği mesafeye dayalı bu yöntem bizlere yüksek güçlerin aktarılabilmesini gösteren başarılı bir uygulamadır. Yalnızca mesafenin artması ile oluşan yüksek akı kaybı göz önünde bulundurularak endüktif kuplajlı güç aktarım yöntemi geliştirilmiştir. Bu yöntem ile bobinlerden oluşan birincil ve ikincil sargılara kapasitör yerleştirilmiştir, bu kapasitörler artan mesafe ile oluşabilecek akı kaybını minimize

etmektedir. Bu yöntem günümüzde birçok elektrikli araçta kullanılan güç aktarım yöntemidir. Bu yöntem mesafe arttırılması avantajının yanı sıra hızlı şarj, frekans değişimi ve sisteme verimlilik sağlamaktadır (Wang, C. S. et al., 2005). Kaynak araştırmalarına göre 1992-2013 yılları arasında yaygın olarak kullanılan yöntemlerle yapılan çalışmalar Tablo 2.1 ve Tablo 2.2’de belirtilmiştir (Dai & Ludois, 2015).

Tablo 2.1. Kaynak araştırmaları

Yıl	Frekans (kHz)	Güç (W)	Mesafe (mm)	Verim (%)	Enstitü/Üniversite
1992	53~123	48	20	72~76	Virginia Polytechnic Institute & State University, VA
1994	10.2	600			Univ. of Auckland, New Zealand
1996	9.82	10	1	70	Tohoku Univ. Japan.
1997	22.95	3 k	6~8	89	Grenoble Institute of Technology, France
1999	1	1	1.54		City U. Hongkong, Hong Kong
2000	~60	5	4	60	Kumamoto, Japan
2000	12.9	17	~50		Univ. of Auckland, New Zealand
2002	100	15~35	1	64.9~67.6	Tohoku Gakuin University, Japan
2003	65~140	4.5	1.5	60~70	Delta Electronics, Inc. NC
2004	950	24	2.4	68	Hanyang University, Korea
2004	100	1 k	30~300	90	Institut f. Automation u. Kommunikation, Germany
2005	130	1.3~1.58			City U. Hongkong, Hong Kong
2005	20	30 k	45		Univ. of Auckland, New Zealand

Tablo 2.2. Kaynak araştırmaları

Yıl	Frekans (kHz)	Güç (W)	Mesafe (mm)	Verim (%)	Enstitü/Üniversite
2006	38.4	30	100	90	University of Auckland, New Zealand
2007	9900	60	2000	40	MIT, MA
2007	6.78	0.1	15	10 ~ 20	University of Utah, UT
2008	10	390			Univ. of Auckland, New Zealand
2008	418	12	3.5	80	City U. Hongkong, Hong Kong
2009	240	3.7		66	University of Florida, FL
2009		60	500	60	Sony, Japan
2009	15900	100	200	97	The University of Tokyo, Japan
2009	90	315~522	0~2	75~83	Instituto de Telecomunicacoes, Portugal
2009	5~50	2 k	50~80,200	85	Univ. of Auckland, New Zealand
2009	500	0.4~2		35	Philip, Germany
2010	38.4	500		89	Univ. of Auckland, New Zealand
2010	27	0.794	15	80	University of Newcastle, Australia
2010	20	1.5 k	70	95	Saitama University, JAPAN
2010	20	3~25 k	10~250	71~87	KAIST, Korea
2011	80	100			NCSU, NC
2011	7650	12	700	50	Intel Labs Seattle
2011	3700	220	300	95	Univ. of Wisconsin, Madison, WI
2011	22, 48~81	2~4 k, 6~7 k	125~254	82~92, 95	ORNL, TN
2011	20	7	125		Univ. of Auckland, New Zealand
2012	115~200	5	2		Qi standard
2012	13560	25.6		73.4	Industrial Technology Research Institute, Taiwan
2012	20	10, 100, 209~1403	200, 3000~7000	16~50, 95.4	KAIST, Korea
2012	20	5 k	246	90	Utah State University, UT
2013	500	1.2	130	40	KAIST, Korea
2013	3540	50	300	80	Univ. of Wisconsin, Madison, WI
2013	23.5	2 k	75	91	ORNL, TN

2.2 Kablosuz Güç Aktarım Yöntemleri

Güç aktarım yöntemlerini enerjinin aktarım mesafesine göre iki ayrı grupta tanımlanabilir. Bunlar uzun mesafe aktarımlar ve kısa mesafeli güç aktarımlar olarak adlandırılabilir. Uzun mesafeli aktarım yöntemleri mikrodalga güç aktarımı ve lazer güç aktarımı sayılırken, kısa mesafeli aktarım yöntemleri endüktif güç aktarımı ve endüktif kuplajlı güç aktarımı tanımlanabilir.

Her bir yöntemin birbirine göre hava boşluğu, verimlilik ve güç seviyesine göre avantajı ve dezavantajı bulunmaktadır. Bu bölümde elektrikli araçlarda kullanılan belirtilen yöntemler yer almaktadır.

2.2.1 Mikrodalga Güç Aktarım

Bu yöntem uzun mesafelere mikrodalga yardımıyla enerji transferini mümkün kılar. Verici kısmında elektriksel enerji mikrodalga enerjisiye çevrilir, alıcı kısmında ise doğrultucu (rectenna) ile bu enerji alınır ve tekrar elektrik enerjisine çevrilir. Bu yöntemin verimli olabilmesi için çok yüksek frekanslarda çalışmak gerekmektedir.

Bu yöntem ile gerçekleştirilen önemli çalışmalardan biri 1980 yılında Kanada Haberleşme Araştırma Merkezi'nin SHARP (Stationary High Altitude Relay Platform) adını verdiği çalışmadır. Bu projede hiçbir dahili enerji kaynağı bulunmayan bir uçak sadece mikrodalga enerjisi ile 21 km yükseklikte 2 km daire alanda bir ayı aşkın süre uçabilmiştir (Schlesak et al., 1988).

Kısacası bu yöntem uzun mesafelere enerji transferini mümkün kılabilse de maliyetin çok yüksek olması ve insan sağlığına olumsuz etkisinden dolayı çok tercih edilememektedir.

2.2.2 Lazer Güç Aktarım

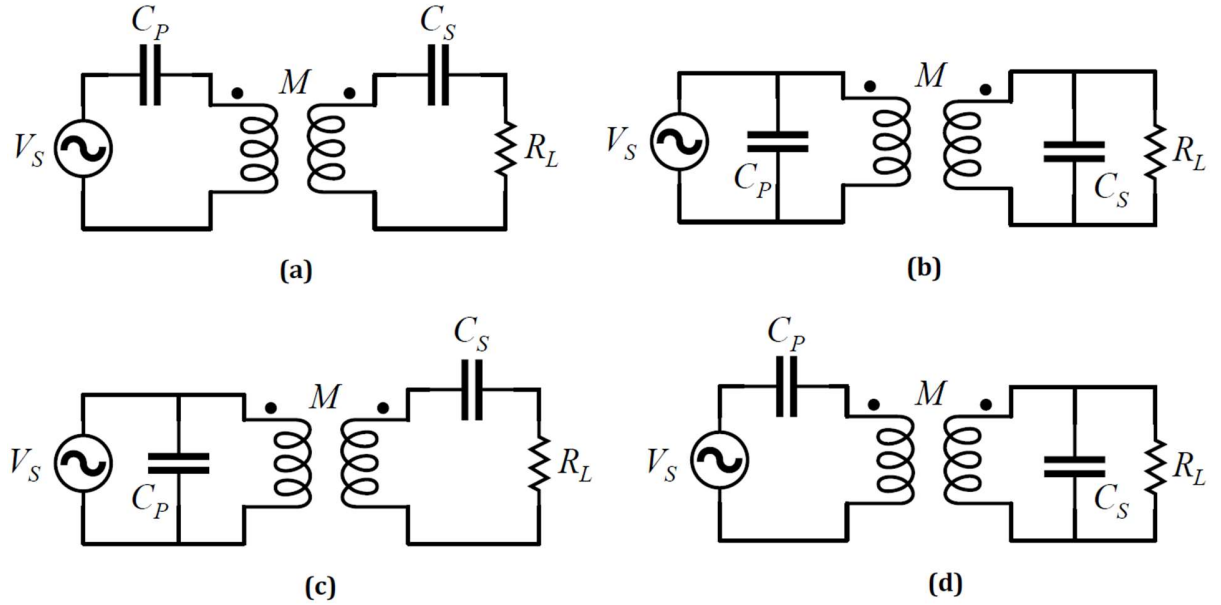
Bu yöntem de mikrodalga güç aktarımı gibi uzun mesafelere enerji aktarımını sağlanmasını mümkün kılmaktadır, yalnızca değişen hava koşullarına göre verimin düşmesi ve aktarılacak aynı güçlerin kablosuz transferi daha küçük yapılarda olması gerekliliği bu yöntemin tercih edilmemesine sebeptir. Ayrıca bu yöntemin yaydığı radyasyon ve sağlığa verdiği olumsuz durumlar mevcuttur.

2.2.3 Endüktif Güç Aktarım

Bu yöntem kısa mesafeli alıcı ve vericinin birbirine çok yakın olduğu güç aktarımıdır. Burada sargılar birbirine bitişikmiş gibi gözüke de elektriksel olarak izole edilmiştir. Bu yöntem aradaki mesafenin artmasıyla yüksek akı kaybı olmasından dolayı elektrikli araçlarda kullanımı tercih edilmemektedir. Yalnızca bu yöntem üzerinde yapılan çalışmalar ile kapasitör eklenerek mesafe uzamasına istinaden oluşacak yüksek akı kaybı minimize edilmiştir. Kapasitör eklenerek uygulanan yöntemin adı endüktif kuplajlı güç aktarım yöntemidir.

2.2.4 Endüktif Kuplajlı Güç Aktarım

Bir önceki güç aktarım yönteminde belirtildiği üzere endüktif güç aktarım yönteminde yaşanan mesafe artışıdaki kayıpların minimize edilmesi endüktif kuplajlı güç aktarım yönteminin gelişmesine olanak sağlamıştır. Bu yöntem ile mesafe artışından kaynaklanan akı kayıpları kapasitör kullanımı ile minimize edilmiştir. Kapasitörlerin sargılara bağlanma şekillerine göre dört farklı kompanzasyon topolojisi oluşturulmuştur (Oraz, A.A. ve Alkaya, A.). Bu topolojiler aşağıdaki Şekil 2.2’de belirtilmiştir.



Şekil 2.2. Yaygın kullanılan kompanzasyon topolojileri (a) Seri-Seri (SS) rezonanslı EKG T Sistemi, (b) Paralel-Paralel (PP) rezonanslı EKG T Sistemi, (c) Paralel-Seri (PS) rezonanslı EKG T Sistemi, (d) Seri-Paralel (SP) rezonanslı EKG T Sistemi

Topoloji belirlenmesi aktarılacak güç, çalışılacak frekans ve sargılar arası mesafeye göre belirlenir. Topoloji belirlendikten sonra frekansa bağlı olarak ikincil devre kapasite değeri seçilerek, kapasite değeri bilgisi ikincil devrenin öz endüktansını kompanze edecek bir değer olarak belirlenir. Aktarılacak gücü arttırmak için kompanze edilen ikincil sargının yanı sıra aynı şekilde birincil sargı da kompanze edilir. Kompanzasyon topolojisine göre bağlanacak kapasitörün

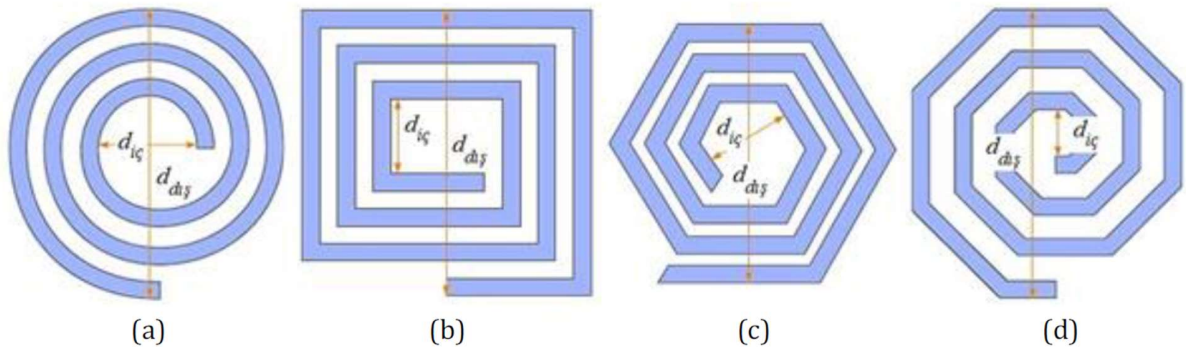
bağlanış şekli yapılmak istenen işleme imkân sağlamaktadır. Birincil sargıya bağlanan seri kapasitör devrenin gerilim düşmesine, paralel bağlanan kapasitör devrenin akımının yükselmesini sağlar. İkincil sargıda seri bağlanan kapasitör yüke sabit gerilim aktarmayı sağlarken, paralel bağlanan kapasitör yüke sabit akım aktarmayı sağlamaktadır.

2.3 Spiral Sargı Tasarımı

Temassız güç aktarım sistem verimliliğini etkileyen en önemli kısım sargı tasarımıdır. Sargı tasarımında göz önünde bulundurulması gereken öz endüktans, ortak endüktans, kalite faktörü ve kuplaj katsayısı gibi dört ana faktör bulunmaktadır. Belirlenecek tel tipi, sarım sayısı ve tel kalınlığı öz endüktans değerinde değişime sebep olacaktır. Ortak endüktans değeri ise sargılar arası mesafe ve hizalamaya göre değişmektedir (Pashaei et al., 2016). Mesafeye bağlı olarak kayıp olacak akıyı belirleyen ise kuplaj katsayısıdır, bu değer 0-1 aralığındadır. Kullanılan materyalin kalitesine bağlı olarak kalite faktörü belirlenir. Sistemin kararlı ve verimli çalışmasını etkileyen iki önemli fenomen kalite faktörü ve kuplaj katsayısı ile de ilişkilidir. Bu fenomenler; frekans ayrılması fenomeni (Frequency Splitting phenomena) ve bifürkasyon fenomenidir (Bifurcation phenomena).

2.3.1 Öz Endüktans Hesabı

Sargı tasarımında farklı yapılar kullanılmaktadır, bunlardan dairesel olanı diğer yapılara göre daha yaygın olarak kullanılmaktadır (Oraz A.A.,2018). Kullanılan yapılar Şekil 2.3'te belirtilmiştir.



Şekil 2.3. Spiral sargı yapıları (a) Dairesel, (b) Kare, (c) Altıgen, (d) Sekizgen

Dairesel spiral sargı öz endüktansı aşağıda formüle göre hesaplanır:

$$L_s = \frac{\mu_0 n^2 d_{ort} C_1}{2} \left(\ln \frac{C_2}{\Delta} + c_3 \Delta + c_3 \Delta^2 \right)$$

Burada $d_{ort} = 0.5x(d_{iç}+d_{dış})$, $\Delta = (d_{iç} - d_{dış})/(d_{iç} + d_{dış})$ ve μ_0 geçirgenlik sabitidir. Diğer parametreler olan c_1 , c_2 , c_3 ve c_4 sargı yapısına göre değişmektedir ve Tablo 2.3'te belirtilmiştir.

Tablo 2.3. Sargı yapılarına göre parametre değerleri

Sargı Yapısı	c_1	c_2	c_3	c_4
Kare	1,27	2,07	0,18	0,13
Altıgen	1,09	2,23	0	0,17
Sekizgen	1,07	2,29	0	0,19
Daire	1	2,46	0	0,20

2.3.2 Ortak Endüktans Hesabı

İki sargı arasındaki ortak endüktans Neumann formülü ile hesaplanır (Tezcan Y. et al., 2017):

$$M = \frac{\mu_0}{4\pi} \iint \left(\frac{\vec{d}_s \cdot \vec{d}_s'}{r} \right)$$

Burada $r = \sqrt{a^2 + b^2 + d^2 - 2ab \cos(\varphi - \varphi')}$, $ds = ax d\varphi$ ve $ds' = bx d\varphi'$ yerine yazılırsa ortak endüktans,

$$M = \frac{\mu_0}{4\pi} \int_0^{2\pi} \int_0^{2\pi} \frac{ab \cos(\varphi - \varphi') d\varphi d\varphi'}{\sqrt{a^2 + b^2 + d^2 - 2ab \cos(\varphi - \varphi')}} d\varphi d\varphi'$$

Burada a ve b tel yarıçapları, d sargılar arası mesafeyi tanımlamaktadır. İntegral hesabı çözümüne göre,

$$M = -\mu_0 \sqrt{ab} \left[\left(m - \frac{2}{m} \right) K + \frac{2}{m} E \right]$$

Birinci ve ikinci dereceden integral çözümlerine istinaden,

$$K = \int_0^{\pi/2} \frac{d\varphi}{\sqrt{1 - m^2 \sin^2(\varphi)}}$$

$$E = \int_0^{\pi/2} \sqrt{1 - m^2 \sin^2(\varphi)} d\varphi$$

Modül,

$$m = \frac{2\sqrt{ab}}{\sqrt{(a+b)^2 + d^2}} \quad \text{olarak ifade edilir.}$$

2.3.3 Kalite Faktörü

İletken sargı karakteristiği rezonans farkı (w_0) ve kayıp miktarı (Γ) parametreleri ile tanımlanabilir. Belirtilen parametrelerin oranları kalite faktörü olarak tanımlanır. Seri bağlı rezonatörler için rezonans farkı ve kalite faktörü aşağıdaki gibi tanımlanır (Oraz A.A.,2018).

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

$$Q = \frac{\omega_0}{2\Gamma} = \sqrt{\frac{L}{C} \frac{1}{R}} = \frac{\omega_0 L}{R}$$

Kalite faktörü sargının ne kadar büyük manyetik alan oluşturabileceğini ifade etmeye yardımcı olur. Sargının oluşturabilecek verimli endüktif kalite faktörüne bağlıdır. Standart olarak sistemler sabit bir frekansta çalışmak üzere tasarlanmıştır, yalnızca kapasite, yük ve hava boşluğu gibi faktörler sistemde frekans değişimine neden olmaktadır. Birincil ve ikincil sargıların kompanzasyon topolojilerine göre kalite faktörü hesaplamaları aşağıdaki Tablo 2.4'te belirtilmiştir.

Tablo 2.4. Farklı kompanzasyon topolojilerine göre kalite faktör hesabı

#	<i>SS</i>	<i>SP</i>	<i>PP</i>	<i>PS</i>
Q_P	$\frac{L_1 R_L}{\omega M^2}$	$\frac{\omega L_1 L_2^2}{R_L M^2}$	$\frac{\omega L_1 L_2^2}{R_L M^2}$	$\frac{L_1 R_L}{\omega M^2}$
Q_S	$\frac{\omega L_2}{R_L}$	$\frac{R_L}{\omega L_2}$	$\frac{R_L}{\omega L_2}$	$\frac{\omega L_2}{R_L}$

2.3.4 Kuplaj Katsayısı

Mesafeye bağlı olarak sistemdeki akı kaybı meydana gelir. En yüksek akı kaybı kaynak ile cihaz arasındaki mesafenin en yüksek olduğu zamandır. Kuplaj katsayısı ise boyutsal bir parametredir ve sargılar arası manyetik akı transferini temsil eder. Kuplaj katsayısının öz endüktans ve ortak endüktans ile ilişkisi aşağıdaki formülde tanımlanmıştır.

$$k = \frac{M}{\sqrt{L_1 L_2}}$$

2.3.5 Bifürkasyon ve Frekans Ayrılması Fenomeni

Kablosuz güç aktarım sistemlerinde giriş ve çıkış karakteristiğini ilgilendiren fenomenlerden bifürkasyon giriş, frekans ayrılması ise çıkış karakteristiğini tanımlar. Bu

fenomenler sisteminin çalışma modunun kararlı bölgede ya da kararsız bölgede olduğunu tanımlar. Bifürkasyon kuplajlı kalite faktörü aşağıdaki formül ile tanımlanır.

$$k_{\text{bifürkasyon}} = \frac{1}{Q} \sqrt{1 - \frac{1}{4Q^2}}$$

Sistem kalite faktörünün bifürkasyon kuplajlı kalite faktöründen büyük olması durumunda sistem bifürkasyonlu bölgede, küçük olması durumunda bifürkasyonsuz bölgede olarak tanımlanır. Tanımlamaya göre oluşacak iki pozitif kökten biri büyük diğeri ise küçük bifürkasyon frekansı olarak belirtilir. Bu frekanslar sistemin kararlı modunu belirtir (Oraz A.A.,2018).

Sargıların kalite faktörlerinin eşit olması durumunda göre frekans ayrılması kuplajlı aşağıdaki formüle göre tanımlanır.

$$k_{\text{ayrılma}} = \frac{1}{Q} \sqrt{1 - \frac{1}{4Q^2}}$$

Sistem kalite faktörünün ayrılma kuplajlı kalite faktöründen büyük olması durumunda sistem iki ayrı çalışma frekansında maksimum güç aktarımı gerçekleştirebilir, kalite faktörünün küçük olması durumunda bu gerçekleşmez ve sistem tek bir frekansta maksimum güç aktarımı gerçekleştirir.

2.3.6 Deri Olayı

Bir iletken içinden akan alternatif akım, iletkeninin içinde ve çevresinde değişken manyetik alan oluşturur. Yüksek frekanslı çalışmalarda manyetik alanın ya da iletken kesitinden uzaklaştıkça akım yoğunluğunun arttığı gözlemlenir bu da iletkenin tüm yüzeyinin homojen olarak kullanılmadığı gösterir buna deri olayı denir. Bu olay malzeme özelliği olarak da belirtilebilir. Bu durumun etkisiyle kayıp artacak ve verimlilik düşecektir (Ağçal A.,2017). Deri olayının etkisini minimize etmek için her biri izole edilmiş çok damarlı kablolar kullanılabilir.

2.3.7 Yakınlık Etkisi

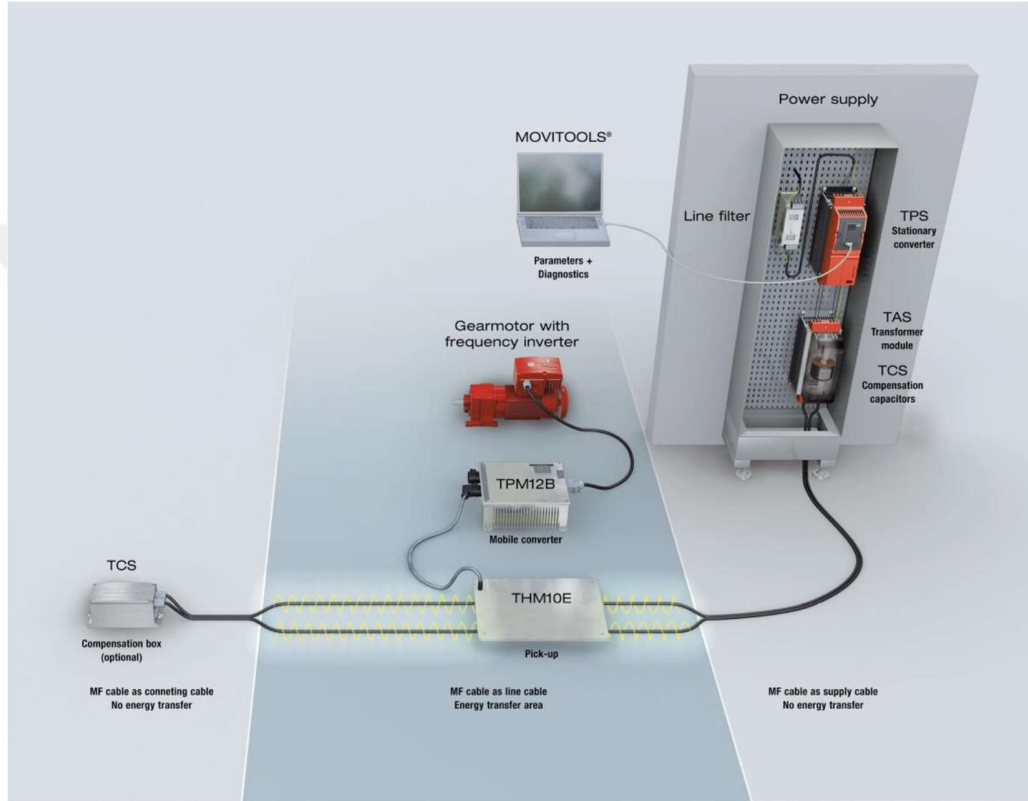
Deri etkisi sonucu kesitlerde oluşan farklı akım yoğunlukları, eşit olmayan manyetik alan oluşumuna sebebiyet vermektedir. Birbirine yakın olan sargılarda dış kesitte oluşan manyetik alanların yoğunluğu sebebiyle her iletkenin farklı akım geçmesine sebep olacaktır. Dengesizlik oluşumu akım kayıplarına sebep olur ve verimi düşürür (Ağçal A.,2017). Birbirine yakın iletkenlerde oluşan bu duruma yakınlık etkisi olarak tanımlanır.



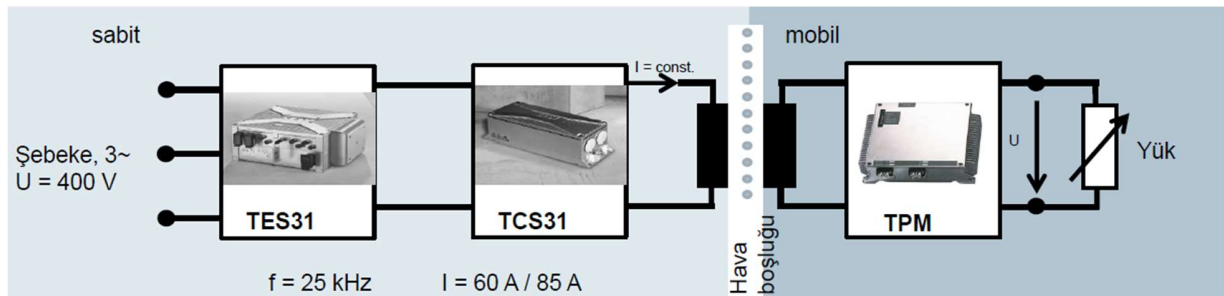
3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1 KGT Sistemlerinin Genel Topolojisi

Endüstride kullanılan elektrikli araçlarda kullanılan kablosuz güç aktarım sistemi topolojisi Şekil 3.1’de belirtilmiştir.



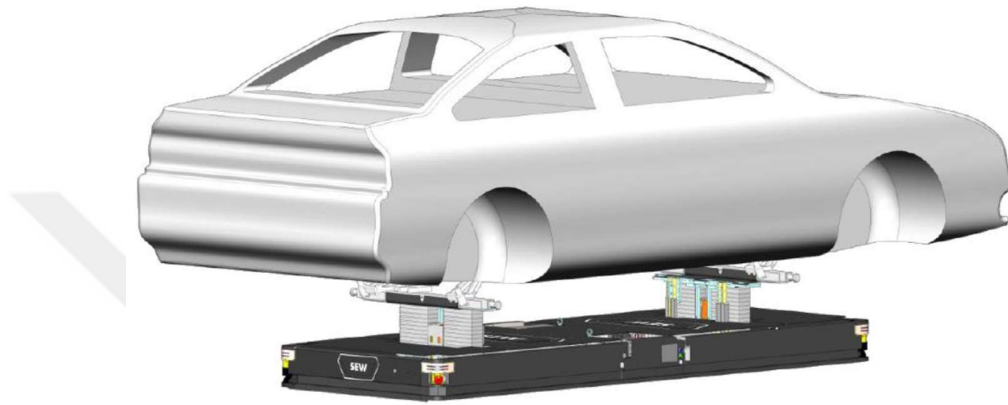
Şekil 3.1. Elektrikli araçlarda kullanılan KGT bileşenleri



Şekil 3.2. Elektrikli araçlarda kullanılan KGT topolojisi

Sistem genel itibariyle Şekil 3.2’de belirtildiği gibi sabit ve mobil araç üstü ekipmanlar olarak iki grupta ele alınmaktadır. Sistemin kontrolü bilgisayar üzerinden ara yüz olarak kullanılan

program ile sağlanmaktadır. Akü sistemlerinden dolayı oluşan düşük enerji yoğunluğu ve şarj süresinin uzun olması gibi problemleri ortadan kaldırması sebebiyle kablosuz güç aktarım sistemli elektrikli araçlar endüstrinin birçok alanında kullanılmaktadır. Otomotiv sektöründe kullanılan bir örnek aşağıdaki Şekil 3.3 ve 3.4'te belirtilmiştir.



Şekil 3.3. Otomotiv sektöründe kullanılan örnek elektrikli araç katı modeli



Şekil 3.4. Otomotiv sektöründe kullanılan örnek elektrikli araç

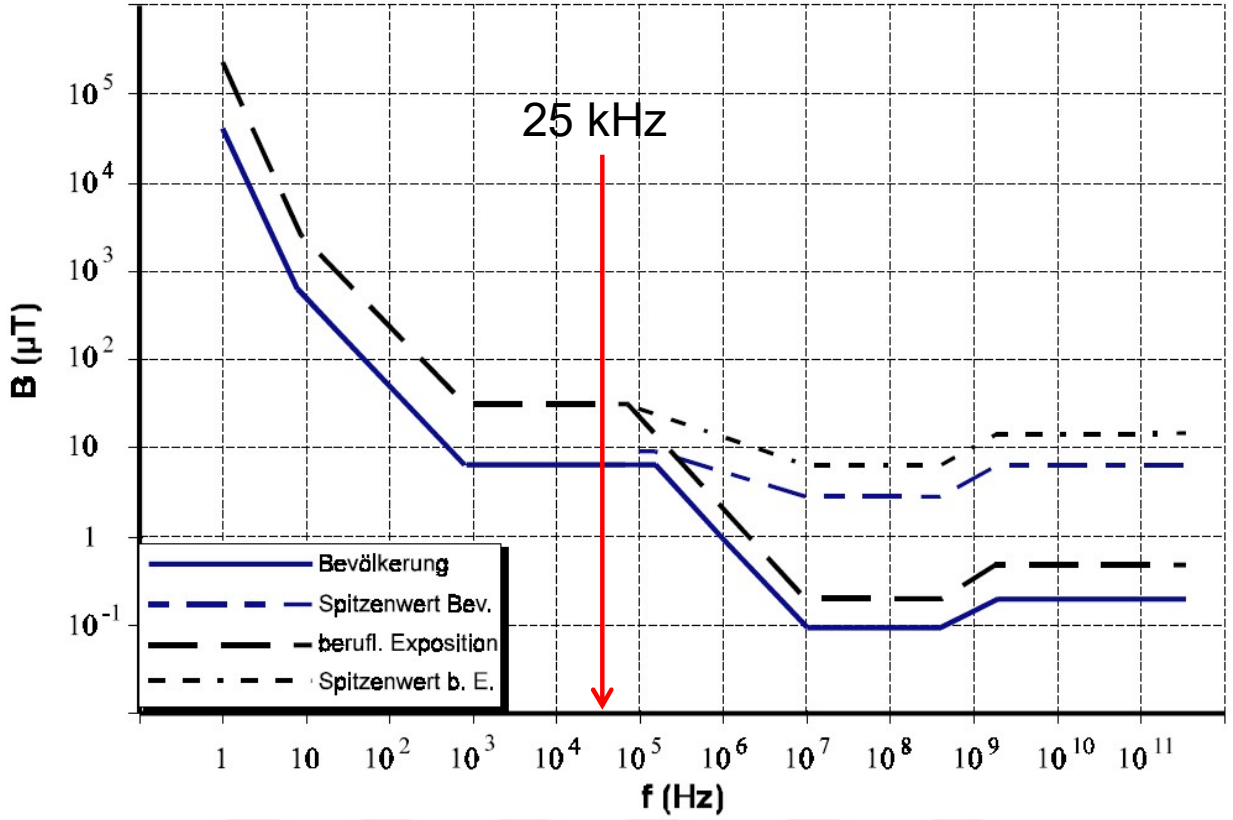
Sabit olan kısımdaki ekipmanlar bir pano içerisinde bulunan güç kaynağı, kompanzasyon ayarlayıcı, kapasitör ve yer altına döşenen kablodan oluşmaktadır. Mobil araç üzerinde manyetik

alanı algılayıcı (ikincil sargı), kapasitör, algılanan 500 Volt DC akımı motor ve sürücünün çalışması için 380 Volt dönüştürücü, motorların kontrolü için sürücü ve motorlu redüktörler bulunmaktadır. Sistemin verimli çalışması ve aradaki mesafelerdeki akım kayıplarının minimum olabilmesi için elektrikli aracın gideceği mesafeye göre kablolar arasına kompanzasyon ekipmanlarından yerleştirilmelidir.

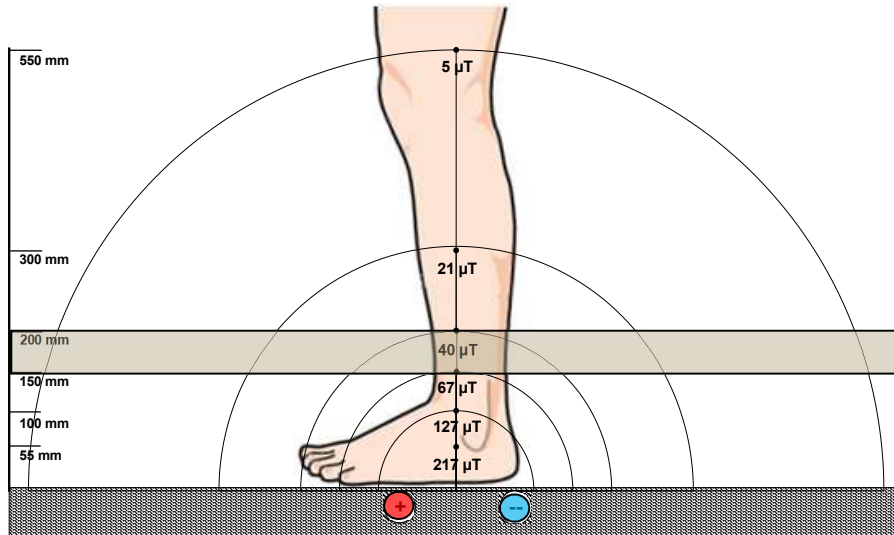
3.2 KGT Sistemlerinde İş Güvenliği ve Sağlığı Hususları

Kablosuz güç transferinin elektromanyetik radyasyon temelli olması sebebiyle iş sağlığı ve güvenliği hususlarını göz önünde bulundurmak gerekmektedir. Şu ana kadar özellikle elektrikli araçlarda kablosuz güç aktarımı sistemleri için düzenlenmiş güvenlik standardı mevcut değildir (Sun et al., 2013). Dünya Sağlık Örgütü'nün belirttiğine göre girişimciler IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) ve ICNIRP (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection) standartlarına uyulması gerekmektedir (Morris K. , 2013). Günümüzde 3 kHz den 30 GHz'e kadar ola radyo frekansı elektromanyetik alanın insan etkisi ile ilgili IEEE güvenlik standardı (IEEE C95.1-2005) ve 300 GHz'e kadar zamanla değişen elektrik, manyetik ve elektromanyetik alanın etki sınırları için olan ICNIRP kılavuzudur (Morris K. , 2013).

Şekil 3.5'te belirtildiği üzere frekansın artması manyetik akım yoğunluğu azalmaktadır. Kullanılan sistem frekansı ise 25 kHz dir. ICNIRP standardına göre manyetik akım yoğunluğunun sınırını yaşam alanı içerisinde ise $6,25 \mu T$, çalışma alanı içerisinde $30,7 \mu T$ olarak belirtilmiştir (Morris K. , 2013). IEEE güvenlik standardına göre de manyetik akım yoğunluğu yaşam alanı ve çalışma çevresine göre farklı tanımlanmıştır, yalnızca 25 kHz için sınır bu iki ortam için de aynıdır. 25 kHz için belirlenen limit manyetik akım mukavemeti $163 A/m$ olarak belirtilmiştir, bu değer manyetik akım yoğunluğu olarak $204,8 \mu T$ olarak tanımlanmaktadır. Şekil 3.6'da mesafeye bağlı olarak manyetik akım yoğunluğunun değişimi belirtilmiştir.



Şekil 3.5. IEEE ve ICNIRP'ye göre maksimum müsaade edilen radyo frekanslı elektromanyetik alan etkisi



Şekil 3.6. Mesafeye bağlı olarak manyetik akım yoğunluk değişimi

İş güvenliği olarak elektrikli araçlarda çalışma alanındaki birçok hareket halindeki mekanizmalara göre dikkat edilmesi gereken hususlar mevcuttur. Bunlar arasında fabrika içerisinde malzemelerin bir yerden bir yere taşınmasında görevli forkliftler, ara malzeme montajında kullanılan robotlar, yan mamul olarak kullanılan malzeme depolamalarıdır. Elektrikli araç üzerinde kullanılan sensörler (mesafe, optik... vb.), alan tarayıcılar iş güvenliğinin sağlanması noktasında önemli öğelerdir. Bu ürünlerin olmadığı bir elektrikli araç iş kazasına sebebiyet verebilmektedir.

3.3 KGT Sistemlerin Kurulumu

Kablosuz güç aktarım sistemlerini oluşturan malzemeleri mobil, sabit ve kablo düzeneği olarak üç ana grupta toplayabiliriz. Bunlardan elektrikli aracın çalışacağı uygulama alanında yüzeyde 120 mm derinlikte kanal kablosu açmak ilk işlem olacaktır. Diğer sabit parçalardan güç ve manyetik alan kompanzasyon ürünü bir pano içerisine yerleştirilir. Şekil 3.7’de belirtildiği gibi kablo kanalları kazılarak kabloların yerleştirilmesi için uygun düzenek oluşturulur. Ayrıca aradaki mesafeye bağlı olarak kompanzasyon değerinin kaybını en aza indirmek için kablo aralarına kompanzasyon kutusu yerleştirilir. Şekil 3.8’de belirtildiği gibi her 30 m mesafede bir kutu yerleştirmek gerekecektir.



Şekil 3.7. Kablo kanallarının oluşturulması

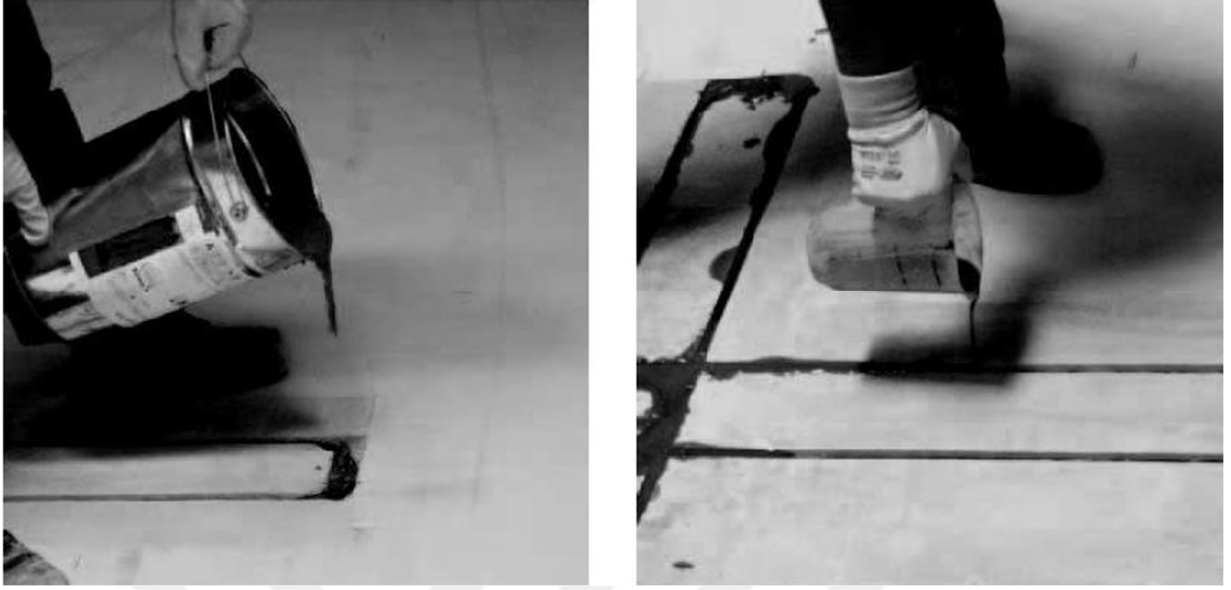


Şekil 3.8. Kompanzasyon kutu yerleşimi

Kablo yerleştirilmeden önce silis kumu serilerek kablo yüksekliği ayarlanır ve kablo yere serilir. Şekil 3.9’da kablonun serilmesi belirtilmiştir. Yüksekliği ayarlanan kablo üzerinde çalışmalar gerçekleştirildikten sonra epoksi boya ile kaplanır. Bu süreç sonrasında üzerinden geçen herhangi bir araç kabloya zarar vermemektedir. Şekil 3.10’da epoksi boya kaplaması belirtilmiştir.



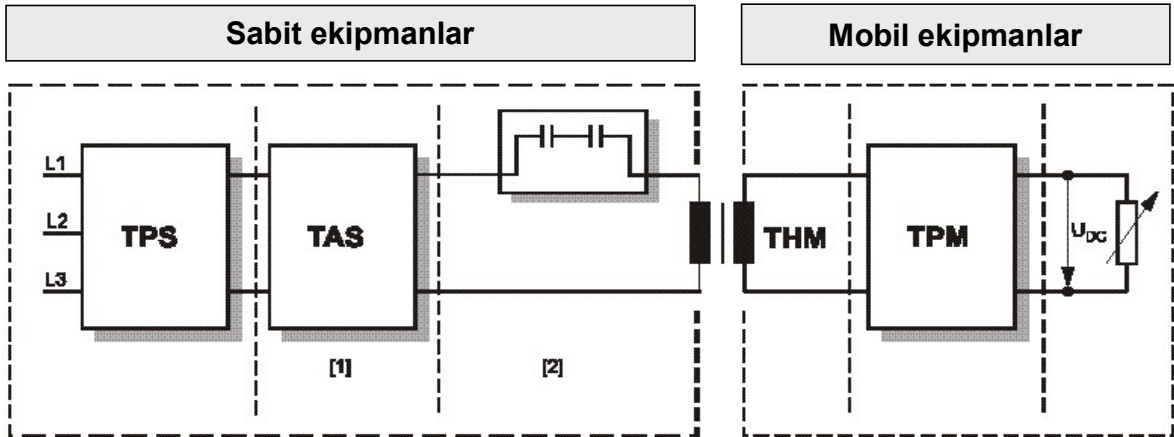
Şekil 3.9. Kablonun serilmesi



Şekil 3.10. Epoksi boya ile kaplama

3.4 Deney Düzenegi

Deneyisel düzenek olarak kullanılan Şekil 3.12’de belirtilen uygulamanın temassız güç aktarımı olan elektrikli aracında aşağıdaki belirtilen Şekil 3.11’deki şematik diyagram kullanıldı.



Şekil 3.11. KGT şematik diyagram



Şekil 3.12. Deney düzeneği

Şekil 3.11’de belirtilen şematik diyagrama göre kullanılan malzemeler belirlendi ve deney düzeneğinde iş güvenliği açısından sensör tercihi yapıldı.

3.4.1 Güç Kaynağı

Kullanılan güç kaynağı sabit ekipmanlar arasında panoda yer almaktadır. Sistem üzerinde Sew Eurodrive markasına ait TPS 10A 160-NF0-503-0 model bulunmaktadır. Bu güç kaynağı giriş voltajı 380-500 Volt aralığı çıkışında 16 kW güç ve 500 Volt sağlamaktadır. Kullanılan modelin görseli Şekil 3.13’te belirtilmiştir.



Şekil 3.13. TPS 10A 160-NF0-503-0 Güç kaynağı

3.4.2 Transfer Modülü

Kullanılan modül ile bir önceki modülden gelen 25 kHz alternatif akım sinüzoidal alternatif akıma dönüştürülür. Bu akıma göre aktarılacak enerji için gerekli olan kompanzasyon diğer kompanzasyon ürünleri tarafından ayarlanır. Sistem üzerinde Sew Eurodrive marka TAS 10A 160-N0x-4x1-0 modeli bulunmaktadır. Kullanılan modülün görseli Şekil 3.14’te belirtilmiştir.



Şekil 3.14. Transfer modülü

3.4.3 Kablo

Transfer modülü ve hat üzerindeki parçalar arasında 60 A için 2x8 mm² kesitte kablo kullanılmaktadır. Sistem üzerinden Sew Eurodrive marka TLS10E 008-01-1 kablo bulunmaktadır. Kablonun kesit görünüşü Şekil 3.15’te belirtilmiştir.



Şekil 3.15. Kablo

Temassız enerji aktarımında kullanılan kablo yer altına döşenmekte ve üzeri epoksi boya ile kaplanmaktadır.

3.4.4 Kompanzasyon Kutusu

Kompanzasyon kutusu kablolar tarafından iletilen endüktif reaktansın kontrolü ve düşen akım kaybını azaltmak için kullanılır. Sistemde Sew Eurodrive marka TCS10B E06-090-1 ürün bulunmaktadır. Bulunan ürün Şekil 3.16’da belirtilmiştir.



Şekil 3.16. Kompanzasyon kutusu

3.4.5 Araç Üstü Algılayıcı Plaka

Temassız güç aktarım sisteminde mobil araç üzerinde montajı yapılan algılayıcı plaka kablo üzerindeki manyetik alanı algılayarak manyetik 500 V DC akımın dönüştürücüye aktarılmasını sağlar. Sistem üzerinde Sew Eurodrive marka THM 10E 015-009-0000-0 ürün bulunmaktadır. Araç üstü algılayıcı plaka Şekil 3.17’de belirtilmiştir.



Şekil 3.17. Araç üstü algılayıcı plaka

3.4.6 Mobil Dönüştürücü

Araç üstü ekipmanlar arasında yer alan dönüştürücü DC akım olarak algılayıcıdan gelen akımı araç üzerindeki sürücü ve motorların çalışması için 380 V AC akıma dönüştürmeyi yarayan parçadır. Sistemde Sew Eurodrive marka TPM 12B 036-ENC-5A2-0 ürün bulunmaktadır. Ürün Şekil 3.18’de belirtilmiştir.



Şekil 3.18. Mobil dönüştürücü

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1 Sensör

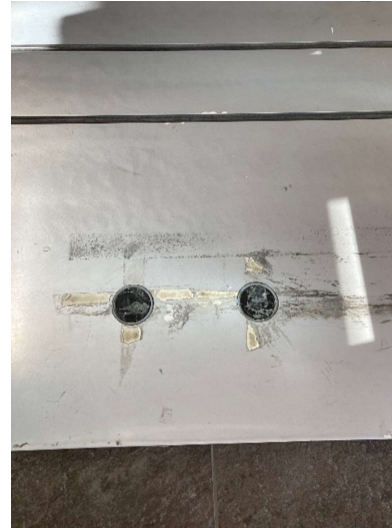
Elektrikli araçların fabrika ortamında verimli çalışma yapabilmesi için birçok sensörlerden yararlanılmaktadır. Kablosuz güç aktarımı ile çalışmasını gerçekleştiren elektrikli araç aynı hat üzerinde çalışmasını gerçekleştirirken pozisyonunu algılama, üzerinde yük olup olmadığını algılama, araç üzerinde taşınan ürünün doğru ürün olup olmadığını algılayan sensörler içermektedir. Bu sensörler yapısal olarak birbirlerinden farklılıklar göstermektedir.

İş güvenliği kapsamında kapalı ortamda çalışan elektrikli araç etrafında çalışan işçiyi, ya da forklift gibi hareketleri de algılayabilmeli iş kazasına sebebiyet vermemelidir. Birçok fabrika ortamında hareketli durumları araçların algılayamaması iş kazalarına ve çalışan personelde yaralanmalara sebebiyet verebilmektedir.

Deney düzeneğimizde elektrikli aracın pozisyonunu algılayabilmek için RFID (Radio Frequency Identification) sensör kullanılmış, belirlenen iki pozisyonda önce hızını düşürmekte diğerinde ise duruşa geçmektedir. Yalnızca bu sensör sadece elektrikli araca konumu hakkında bilgi akışı sağlamakta elektrikli araca yaklaşan ya da önünden geçecek bir hareket hakkında algılama sağlamamaktadır. Sistemde kullanılan pozisyonlama sensörü ve pozisyon belirleyiciler Şekil 4.1 ve Şekil 4.2’de belirtilmiştir.



Şekil 4.1. Pozisyonlama sensörü



Şekil 4.2. RFID transponder

4.2 Uygun Sensör Seçimi

Daha önce de belirtildiği gibi elektrikli araç yakınında hareketli personel ya da forklift çalışmasını algılamasında optik elektronik ya da fotosel sensör seçimi yapılmıştır. Elektrikli araç önüne montajı yapılacak şekilde SICK marka WL18-3P430 modeli sensör seçilmiştir. Seçilen sensör ve araç üzerine montajı Şekil 4.3 ve Şekil 4.4'te belirtilmiştir.

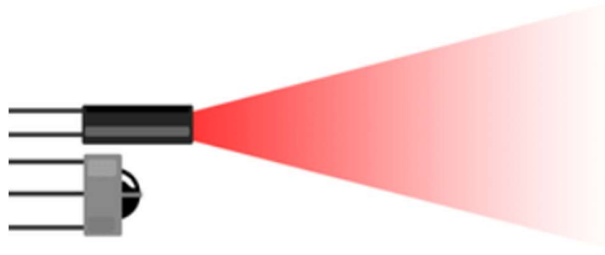


Şekil 4.3. Fotosel sensör

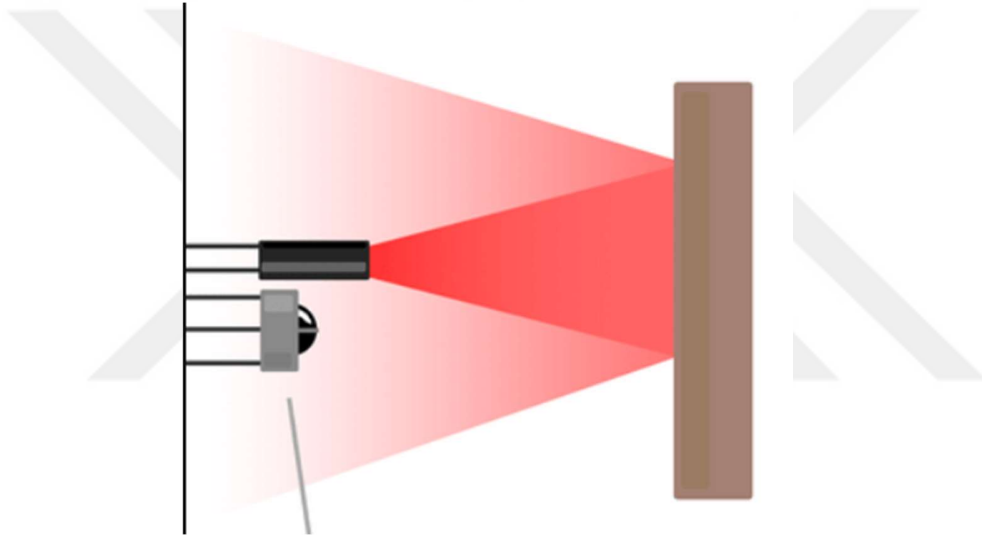


Şekil 4.4. Elektrikli araç üzerine sensör montajı

Seçilen bu sensör ile elektrikli aracın yolu üzerinde olabilecek hareketli bir cisim algılanmış olacaktır. Seçilen sensörde kırmızıaltı ışın yayan bir LED ve bu ışının yansımalarını kontrol eden bir foto komponent bulunur. Sensör içinde bulunan LED, kontrol etmek istediğimiz bilgi ile aynı dalga boyuna sahip bir ışın üretir. Cismin üzerine düşen ve geri yansıyan kızılötesi ışınları bir foto komponent denetler ve sensör geri dönen ışın sinyaline göre algılama işini gerçekleştirir. Sensörün genel çalışma sistemi Şekil 4.5 ve Şekil 4.6'da belirtilmiştir.



Şekil 4.5. Optik sensörün cisim olmadığında çalışması



Şekil 4.6. Optik sensörün cisim olduğundaki çalışması

Deney düzeneğinde kullanılan sensör özellikleri aşağıdaki tablo 4.1 de belirtilmiştir.

Tablo 4.1. Sensör teknik bilgileri

Boyutlar (G x Y x D)	17,6 mm x 75,5 mm x 33,5 mm
Gövde şekli (ışık çıkışı)	Dört köşeli form
Maksimum algılama mesafesi	0 m...7 m
Algılama mesafesi	0 m...5 m

Tablo 4.2. Sensör teknik bilgileri

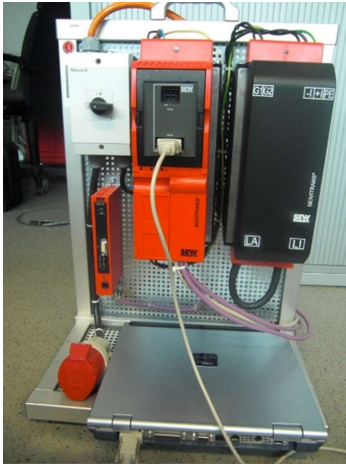
Işık türü	Görünebilir kırmızı ışık
Işık kaynağı	LED
Işık demet çapı (mesafe)	Ø40 mm (2m)
Işıma açısı	1,8°
Dalgaboyu	645 nm
Ayarlama	Potansiyometre, 1 tur
Sinyal taşıma	<5 V _{ss}
Çıkış akımı	≤100 mA
Tepki süresi	<500 µs
Ağırlık	40 gr
Koruma sınıfı	IP67

Literatür araştırmalarında bu tür bir uygulama için alan tarayıcıların kullanılması çalışması yapılmıştır (Orul T., 2014). Yalnızca bu ürünlerin maliyetlerinin yüksek olması ve algılama mesafelerinin kısa olması sebebiyle tez çalışmamızda daha uygun maliyette optik sensör kullanımı gerçekleştirilerek, seçilen optik sensörün ışık demeti çapına göre alan tarayıcı görevi de yapmış olduğu gösterilmiştir.

Ayrıca kullanılan optik sensör, araç ile hareketli obje arasındaki mesafe bilgisini de alan tarayıcı gibi sağlamaktadır. Alan tarayıcılar araç önündeki üç metrelik mesafeyi güvenli duruşa göre hızını düşürecek şekilde ayırmaktadır, bu bölmeleri sarı, turuncu ve kırmızı bölge olarak tanımlamaktadır. Hareketli objenin mesafe alanına göre aracın hızını düşürmektedir (Orul T., 2014). Seçmiş olduğumuz optik sensör bu tez çalışmamızda Ø40 mm çapında ışık demeti ile yedi metre mesafede araç önündeki hareket eden insanı tespit etmiş ve acil duruş gerçekleştirmiştir.

4.3 PLC Programlama

KGT sistemi ile çalışan elektrikli araçta iyileştirme kapsamında sensörün tanımlanması ve programlanması hareket kontrolü olarak kullanılan PLC ve ayrıca güvenlik kapsamında kullanılan safety PLC ye USS21A ara adaptör kullanılıp bağlanarak bilgisayar üzerinden Motionstudio programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. PLC ye bağlanma ve program görseli Şekil 4.7 ve Şekil 4.8’de belirtilmiştir. Ara yüz programı Codesys tabanlı bir programla dili alt yapısına sahiptir. Program üzerinden fonksiyon blokları oluşturularak programlama gerçekleştirilmiştir.

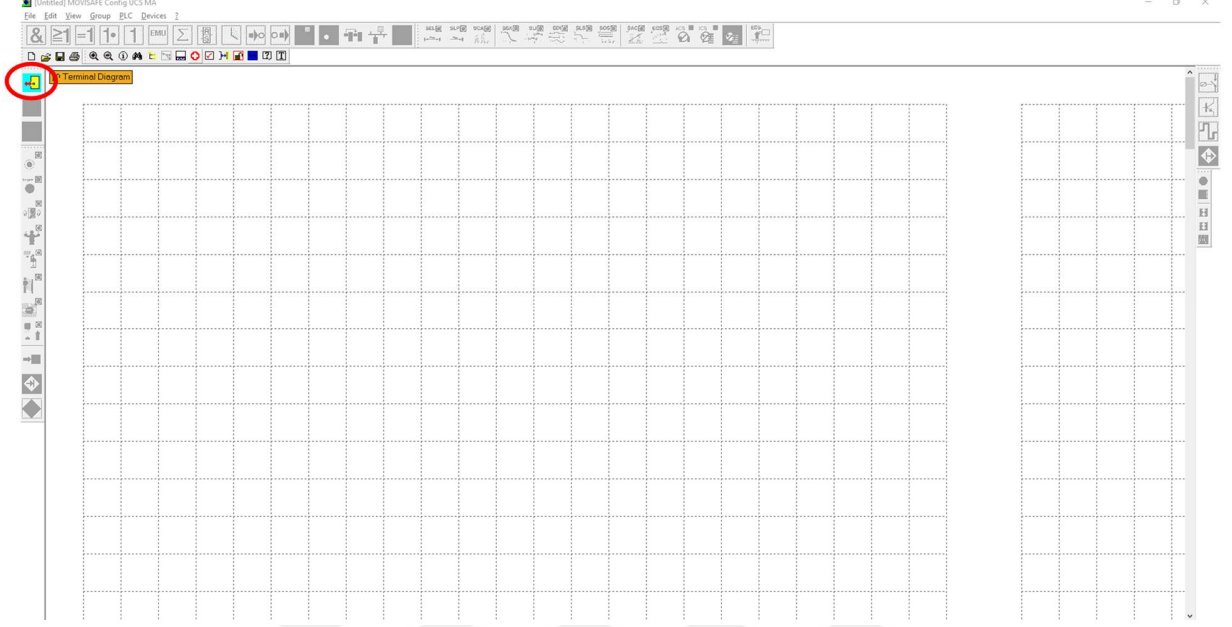


Şekil 4.7. Sürücü bağlantısı



Şekil 4.8. Motionstudio programı

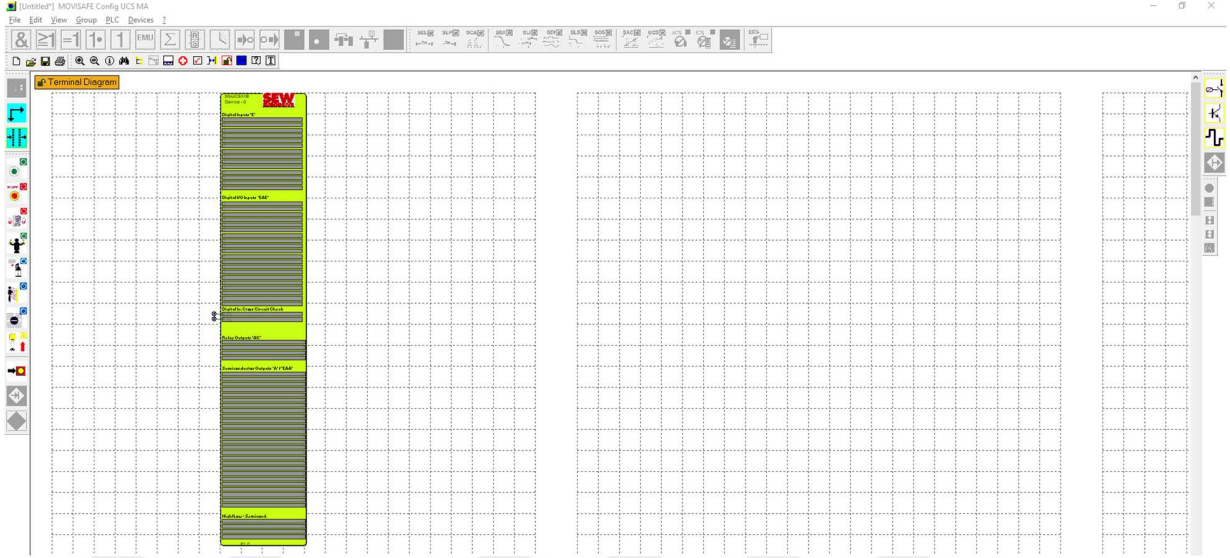
Güvenlik için kullanılan safety PLC programlamada UCS MA programı kullanılmaktadır, bu programda Motionstudio programı içerisinde bulunmaktadır. Elektrikli aracın uygulama güvenliği için tüm güvenlik ekipmanları bu PLC üzerinden kontrol edilir. UCS MA programına ait görsel Şekil 4.9’da belirtilmiştir.



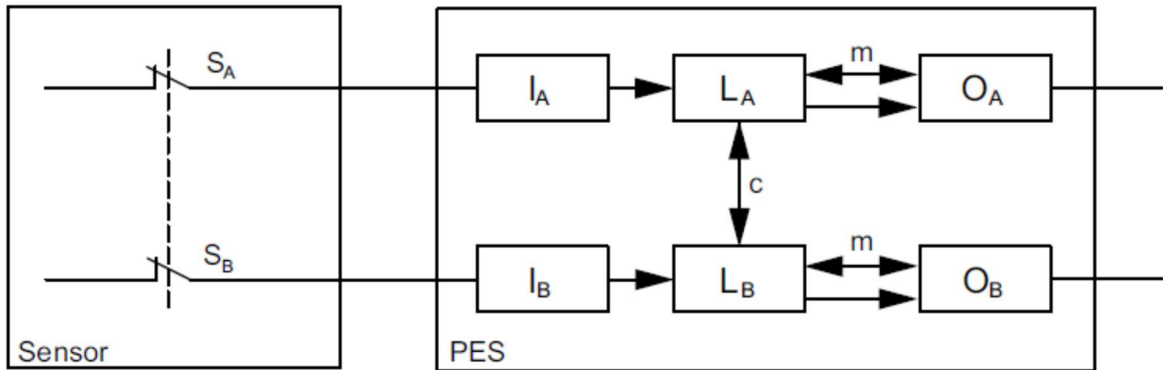
Şekil 4.9. UCS MA program genel görünüm

Fonksiyon bloklarına başlamadan önce kullanılan güvenlik PLC için tanımlama yapılmıştır. Tanımlama yapıldıktan sonra sistem içerisindeki tüm güvenlik elemanlarının fonksiyon blokları hazırlanmıştır. Şekil 4.10'da kullanılan PLC'nin programda tanımlanması belirtilmiştir. Blok hazırlamada program üzerindeki kısa yol komutları kullanılmıştır.

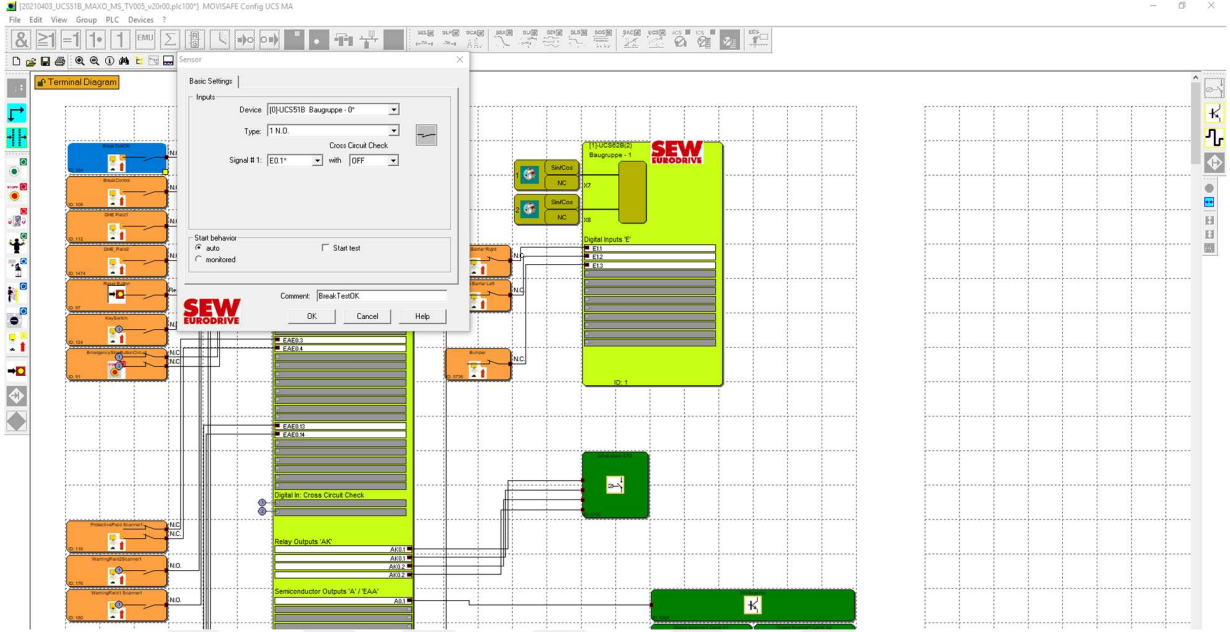
Sensörün program üzerinde tanımlanması için mimari oluşturulmuş, Şekil 4.11'de belirtilen mimariye göre fonksiyon bloğu oluşturulmuştur. Fonksiyon bloğu PLC üzerindeki giriş ve çıkış kanallarına tanımlanmıştır. Sensör fonksiyon bloğu, program fonksiyon blokları genel görünümü ve diğer sensör fonksiyon bloğu Şekil 4.12 ile 4.14 arasında gösterilmiştir.



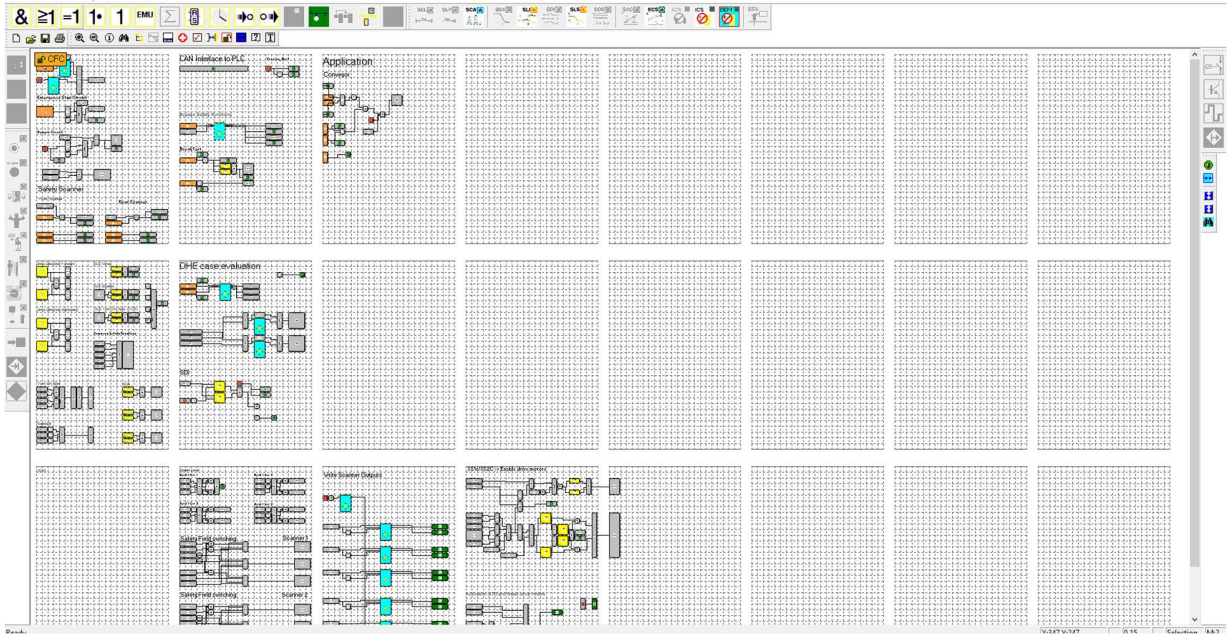
Şekil 4.10. UCS 51B güvenlik PLC tanımlaması



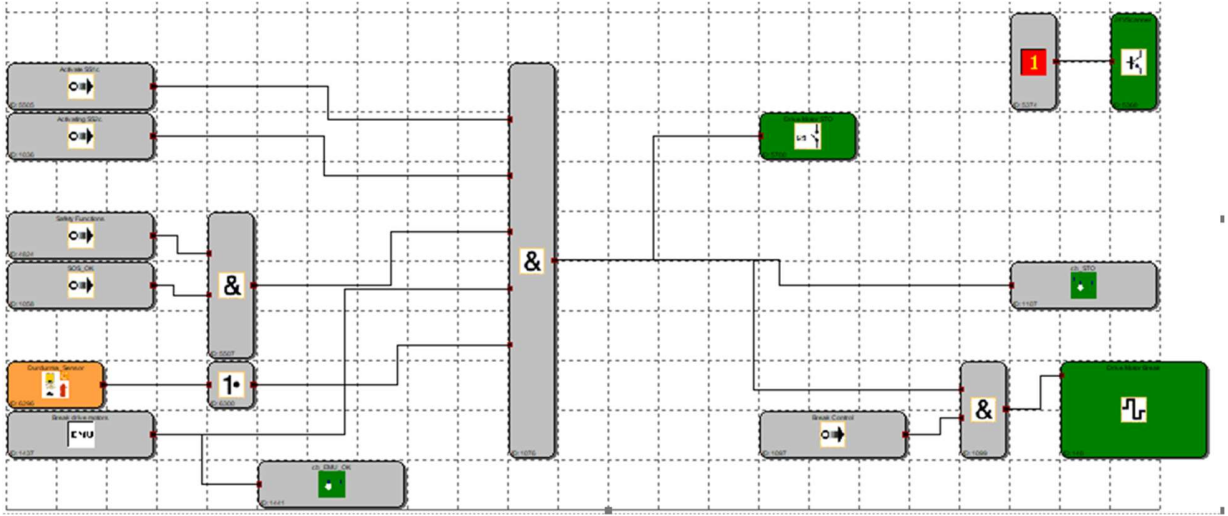
Şekil 4.11. Sensör mimarisi



Şekil 4.12. Sensör fonksiyon bloğu



Şekil 4.13. Program fonksiyon blokları genel görünüm



Şekil 4.14. Sensör fonksiyon bloğu

4.4 Sistemin Çalıştırılması ve Gözlem

İş güvenliği ve işçi sağlığı açısından hedeflenen kablosuz güç transferi ile hareketi sağlanan elektrikli aracın hareketli cisimleri gördüğünde durması işlemi denemeleri gerçekleştirilmiştir ve gözlemlerle uygulamanın güvenilir çalışması planlanmıştır. Sistemin olumsuz yaralanmalara ve kazalara sebep olmadan çalıştırılması gerçekleştirilmiştir. Sistemde olabilecek bir kaza sistemi tamamen durduracağı için fabrika içerisinde elektrikli araç uygulamasını gerçekleştirememesine ve fabrika üretim kapasitesinin düşmesine sebep olacağı düşünüldükçe toplam sistemin güvenilir çalışması üretim verimliliğini de arttırmıştır. Araç yakınında çalışan ve kazaya sebep olabilecek hareketli objelerin algılanmamasından ve oluşabilecek kaza sonrası sistemin devreye alması yaklaşık olarak bir hafta gibi bir süreç alabileceği düşünülmüştür, bu durum fabrika içerisindeki üretim aksatacağı ve üretim kapasitesinin yarı yarıya düşmesine sebep olabileceği bilgisine ulaşılmıştır. Bu çalışma ile üretim sistemin güvenilir bir şekilde çalışması sağlanmış olup, üretimde aksaklık olmadan fabrika üretimine devam edecektir.

Kablosuz güç aktarımı ile elektrikli aracın çalışması gerçekleştirilmiştir. Yapılan denemelere istinaden elektrikli araç sorunsuz olarak, uygulama için planlanan taşıma işlemi gerçekleştirilmiştir, pozisyonlama için kullanılan sensör RFID transponderları gördüğünde yavaşlama ve durma eylemini gerçekleştirdiği gözlemlenmiştir.

Montajı yapılan optik sensör ile hareketli cisimlerin duyarlılığı test edilip durum tespiti gözlemlenme aşamasına geçilmiştir. Sensörün duyarlılık mesafesine istinaden önünden geçildiğinde elektrikli aracın hemen durduğu gözlemlenmiştir. Kapalı alan fabrika ortamında çalışacak olan elektrikli araç için uygulama alanı içerisine girecek personel ya da forkliftin algılanmasını, herhangi bir iş kazasına sebebiyet vermemek hedefine ulaşıldığı gözlemlenmiştir. Şekil 4.15'te yapılan test ile ilgili olarak görsel belirtilmiştir.





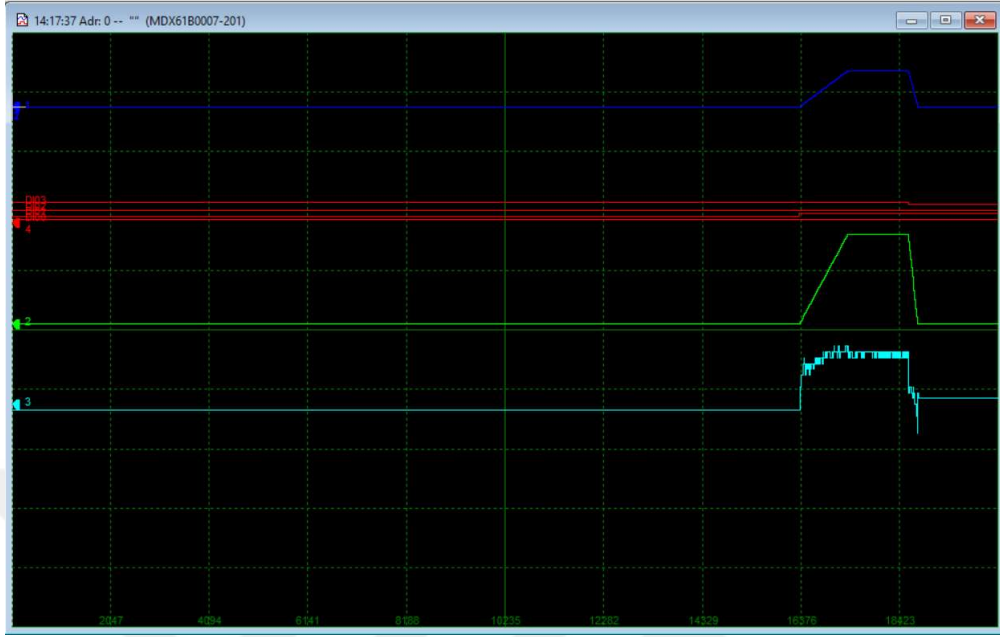
Şekil 4.15. Optik sensör uygulaması

Yapılan denemelerde elektrikli aracın tekrar uygulamaya geçmesi ve sistem davranışı da gözlemlenmiştir. Burada aracın mekanik olarak zarar görmemesi ve sistemin hataya geçmemesi önemli parametreler olarak dikkate alınmıştır.

Literatürde yapılan araştırmalara göre güç aktarım sırasında manyetik aktarım arasına girebilecek 2.5 cm^2 den büyük, iletkenliği yüksek olan metal nesnelere aşırı ısınmadan dolayı yangına sebep olabileceği belirtilmiştir (Pashaei et al., 2016). Daha önce yapılan araştırmalarda algılanan nesnenin 2 sn'den daha fazla ortamda durması sonrası güç aktarımının durdurulması sağlanmaya çalışılmıştır (Pashaei et al., 2016). Gerçekleştirdiğimiz çalışmada optik sensörün duyarlılığına bağlı olarak mekanik aracın 1 s içerisinde durması sağlanmıştır.

Sistem ile ilgili olarak aracın çalışmasında acil duruşta motorların durumlarını gözlemlenmek için sürücüye bağlanıp acil duruş anındaki hız, motor akımları çizelgesi sürücüdenden çekildi. Bu duruş anında sistemde bir problem çıkmadığı gözlemlenmiştir. Şekil 4.16'da sürücüdenden çekilen faaliyet raporu belirtilmiştir.

Mekanik açıdan bakıldığında elektrikli aracın acil duruşu esnasında vibrasyon yarattığı ve bu vibrasyonun üzerinde bulunan yük miktarının artmasıyla mekanik aksama zarar verebileceği bu sebeple üzerinde olacak ağırlığa göre mekanik aksam mukavemetlerinin buna göre belirlenmesi gerektiği gözlemlenmiştir. Sensörün bilgiyi aktarmasına istinaden acil duruşa geçen elektrikli araç uygulama yolundan çıktığı sistemin tekrar devreye alınması için referans alınması gerektiği gözlemlenmiştir. Bu sorunun çözümü için pozisyonlama sensörü kullanılabileceği düşünülmüş ama bu çalışmada ele alınmamıştır, buna dair uygulamalar bir sonraki çalışmaya bırakılmıştır. Deney düzeneğindeki aracımız tekerlekli olması bu durum önemli ölçüde gözlemlenmesine sebep olmuştur. Fabrika uygulamalarında kullanılan araçların bir kısmı rayda da hareket etmektedir. Bu durumda raylı sistemlerde ani duruşun raylarda sehim ve tekerleklerde ağır yüklenmelere sebebiyet verebileceği gözlemlenmiştir.



Şekil 4.16. Faaliyet Raporu

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında kapalı mekân fabrika ortamında kullanılan kablosuz güç aktarımı ile çalışan elektrikli araçların çalışması gerçekleştirilmiş, elektrikli araçların iş güvenliği ve işçi sağlığının önemi açısından hareketli cisimleri algılayan optik sensör kullanımı sağlanarak sistemin hareketli nesnelere algılaması gerçekleştirilmiş ve sistemin daha güvenilir çalışması sağlanmıştır.

Yapılan çalışmalara göre kablosuz güç transferi için kullanılan uygun sistem ekipmanları seçilmiş, sistem çalışması için PLC programlama gerçekleştirilmiş optik sensör kullanımı ile elektrikli aracın mekanik ve otomasyon sistemi kontrol edilmiştir. Bu tez çalışması ile fabrika ortamında çalışan elektrikli araçların uygulama alanında hareketli cisimlerden dolayı oluşabilecek iş kazalarının önüne geçilmesi gerçekleştirilmiştir. Kullanılan optik sensör ile elektrikli araçta uygulanan ani duruş otomasyon sisteminde bir problem oluşturmadığı, mekanik olarak bakıldığında ani duruş araçta vibrasyona sebebiyle mekanik aksamalarda problem oluşturabileceği gözlemlenmiştir.

Deneysel çalışmada yaşanan problemler ve bu problemlere getirilen öneriler aşağıdaki şekildedir;

- Kablosuz güç aktarımı için kullanılan kablolardaki deri etkisi manyetik alan yoğunluğunun homojen şekilde dağılmamasına sebebiyet vermektedir. Deri olayı etkisinin azaltılması için çok damarlı kablo olan litz kablo kullanımı gerçekleştirilebilir.
- Sick marka kullanılan optik sensör algılama mesafesi yaklaşık olarak 5 m, bu mesafe hareketli cismin algılanması için oldukça kısa bir mesafe bunu mesafenin arttırılması sistemin daha güvenli çalışmasını sağlayacaktır.
- Optik sensörün algılaması sonrasında elektrikli aracın ani duruşu mekanik aksamalarda vibrasyon oluşumuna ve aracın uygulama alanından çıkmasına sebep olmuştur. Bunu engellemek için algılama mesafesi daha uzak olan bir sensör ya da alan tarayıcı kullanılmalıdır. Alan tarayıcı kullanımı ile otomasyon sistemi içerisinde araç için öncelikle yavaşlatma rampası ve yumuşak bir duruş gerçekleştirilebilir. Yumuşak bir şekilde duruş mekanik aksamalarda oluşabilecek hasarları minimum seviyeye çekecektir.
- Elektrikli araçlar fabrika içerisinde genellikle malzemelerin bir ortamdan diğer ortama taşınma işleminde kullanıldıkları için üzerindeki malzemenin güvenli şekilde taşınması da önem

arz etmektedir. Alan tarayıcı kullanımı ile yumuşak duruş sağlanabilmesi araç üzerindeki yükün de güvenli şekilde taşınmasına imkân sağlayabilecektir.

- Fabrika ortamlarının tozlu ortam olmasından kaynaklı kullanılan sensör üzerinde birikebilecek toz miktarı oldukça fazladır, bu sebeple sıklıkla sensör yüzeyinin temizlenmesi gerekmektedir. Alan tarayıcı kullanımlarında bu sıklık periyodu daha uzun olabilecektir.

- Deney çalışmalarında aracın ön tarafına optik sensörü montajı yapılmıştır, araç uygulama alanında yan yüzeyinde de hareketli cisimler olabilmektedir. Forklift ya da transpalet ile ürün taşınması aracın yanında gerçekleşeceği için sensörün aracın her bir bölgesine yerleştirilmesi gerekecektir. Bu durumda alan tarayıcı kullanımı belli bir çevreyi taradığı ve algıladığı için sensör kullanım sayısını da azaltacaktır.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- Ağçal A.**, 2017, Yeni bir kapalı çevrim algoritmali yüksek verimli kablosuz enerji transferi sistemi tasarımı ve uygulanması, sayfa 35-37
- Carlson W.B.** , 1991, Elihu Thomson and the rise of General Electric, 1870-1900, sayfa 57-58.
- Cemil A.** , 2021, “Kablosuz Enerji Aktarım Temelleri ve Uygulama Alanları” <https://aktif.net/kablosuz-enerji-aktarimi-temelleri-ve-uygulama-alanlari/> (Erişim tarihi: 20 Mart 2021)
- Christopher C.** , 2015, The Truth About Tesla: The Lone Genius in the History of Innovation, Race Point Publishing, sayfa 143-144.
- Dai, J., & Ludois, D. C.** , 2015, A Survey of Wireless Power Transfer and a Critical Comparison of Inductive and Capacitive Coupling for Small Gap Applications. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 30(11), 6017–6029. <https://doi.org/10.1109/TPEL.2015.2415253>
- Kipnis, N.** , 1987, Luigi Galvani and the debate on animal electricity, 1791–1800. *Annals of Science*, 44(2), 107–142. <https://doi.org/10.1080/00033798700200151>
- Klontz K., Esser A., Bacon R., Divan D., Novotny D. & Lorenz A.** , 1993, Electric vehicle charging systems with "universal" inductive interface. sayfa 227.
- Lee, C. K., Zhong, W. X., & Hui, S. Y. R.** , 2012, Recent progress in mid-range wireless power transfer. *2012 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition, ECCE 2012*, 3819–3824. <https://doi.org/10.1109/ECCE.2012.6342288>
- Liang, X., Bao, N., Zhang, J., Garg, A., & Wang, S.** , 2018, Evaluation of battery modules state for electric vehicle using artificial neural network and experimental validation. *Energy Science and Engineering*, 6(5), 397–407. <https://doi.org/10.1002/ese3.214>
- Oraz, A.A. ve Alkaya, A.** 2018, Contactless Power Transfer Methods for Electric Vehicles Charging, CISET 2018 Cilicia International Symposium On Engineering And Technology
- Oraz, A.A.** , 2018, Elektrikli Araçlar İçin Endüktif Kuplaj Yöntemiyle Kablosuz Güç Aktarımın Gerçeklenmesi, Mersin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, sayfa 10-25.
- Orul, T.** , 2014, Sensör ve Benzeri Algılayıcı Sistemlerin İş Kazalarının Önlenmesi ve İş Güvenliğinin Sağlanması Amacı ile Kullanılması, Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdürlüğü, sayfa 29-31.
- Richard, F.** , 2007, "Ampere's Circuital Law" <http://farside.ph.utexas.edu/teaching/316/lectures/node75.html>. (Erişim tarihi 20 Mart 2021)

- Pashaei, A., Aydın, E., Polat, M., Yıldırım, E., & Aydemir, M. T.** , 2016, Elektrikli Araçlar için Temassız Güç Aktarım Sistemleri Contactless Power Transfer Systems for Electric Vehicles. *EMO Bilimsel Dergi*, 6(11), 1–12.
- Schlesak, J. J., Alden, A., & Ohno, T.** , 1988, Microwave powered high altitude platform. In *IEEE MTT-S International Microwave Symposium Digest* (Vol. 1988, pp. 283–286). <https://doi.org/10.1109/mwsym.1988.22031>
- Shinohara, N.** , 2021, History and Innovation of Wireless Power Transfer via Microwaves. *IEEE Journal of Microwaves*, 1(1), 218–228. <https://doi.org/10.1109/jmw.2020.3030896>
- Tezcan Y., Ünal H. & Boztepe M.** , 2017, Endüktif kuplajlı kablosuz güç aktarım sistemlerinin analizi ve tasarımı, sayfa 3-5 **Tianjia S., Xiang X., & Zhihua W.** , 2013, Wireless power transfer for medical microsystems, sayfa 69-70
- Vilathgamuwa, D. M., & Sampath, J. P. K.** , 2015, Wireless power transfer (WPT) for electric vehicles (EVs)—present and future trends. *Power Systems*, 91, 33–60. https://doi.org/10.1007/978-981-287-299-9_2
- Wang C. S., Stielau O. H. & Covic G.A.** , 2005 , Design considerations for a contactless electrical vehicle battery charger, sayfa 1308-1314.
- Wheeler, L. P.** 2013, II — Tesla’s contribution to high frequency. *Electrical Engineering*, 62(8), 355–357. <https://doi.org/10.1109/ee.1943.6435874>
- Yu, Z., Huai, R., & Xiao, L.** , 2015, State-of-charge estimation for lithium-ion batteries using a Kalman filter based on local linearization. *Energies*, 8(8), 7854–7873. <https://doi.org/10.3390/en8087854>
- Zahid, T., & Li, W.** , 2016. A comparative study based on the least square parameter identification method for state of charge estimation of a LiFePO₄ battery pack using three model-based algorithms for electric vehicles. *Energies*, 9(9). <https://doi.org/10.3390/en9090720>

TEŞEKKÜR

Bu kısıtlı imkânda tez çalışmamı tamamlayabilmemin gururu ile tez çalışmam sırasında kıymetli bilgi, birikim ve tecrübeleri ile bana yol gösteren ve desteklerini esirgemeyen değerli danışman hocam Sayın Doç. Dr. Ozan ÜNSALAN'a sonsuz teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım.

Tez çalışmam boyunca bana çalışma olanağı ve ortamı sağlayan Sew Eurodrive Türkiye firmasına, çalışmalarımda bana yardımcı olan Fabrika Otomasyon Ürünleri Satış Müdürü Sayın Mesut KINA'ya, Türkiye Satış Müdürü Sayın Onur ÖZDEN Bey'e teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans eğitimim boyunca her zaman yanımda olan desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen, hayatım boyunca beni motive eden sevgili eşim Dilek BAYGÜR'e, kızım Defne BAYGÜR ve oğlum Karan BAYGÜR'e en içten teşekkür ve sevgimi sunarım.

23/ 06 /2022

Engin BAYGÜR

ÖZGEÇMİŞ

İlk, orta ve lise eğitimimi Aydın'da tamamladıktan sonra lisans eğitimimi Çukurova Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği (İngilizce) bölümünde tamamladım. 2007 yılında mezun olduktan sonra Aydın'da bulunan Polat Group Redüktör Sanayi ve Ticaret Anonim Şirketi'nde proje mühendisi olarak çalışma hayatıma başladım. 2007 Aralık ve 2008 Kasım ayları arasında Topçu Asteğmen olarak askerlik görevimi tamamladım. 2008 Kasım ayında Polat Group Redüktör Sanayi ve Ticaret Anonim şirketinde bir yıl proje mühendisi, iki yıl yurt dışı satış mühendisi olarak görev yaptım. 2009 yılında eşim Dilek BAYGÜR ile evlendim. 2012 yılında İzmir'de bulunan Bonfiglioli Güç Aktarma ve Otomasyon Teknolojileri Anonim Şirketi'nde yurt dışı ve yurt içi satış mühendisliği görevinde bulundum. 2013 yılında göreve başladığım Sew Eurodrive Hareket Sistemleri Sanayi ve Ticaret Limited Şirketi'nde Ege Bölge Müdürlüğü görevime devam etmekteyim. Evli ve iki çocuk sahibiyim.