



**T.C.
DÜZCE ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**HAFİF ELEKTRİKLİ ARAÇLARDA KABLOSUZ ŞARJ
SİSTEMLERİ İÇİN EKLANLAMA TASARIMI VE
OPTİMİZASYONU**

EMİN YAYLA

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ ANABİLİM DALI
ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ YL PROGRAMI**

**DANIŞMAN
DR. ÖĞR. ÜYESİ EMİN YILDIRIZ**

DÜZCE, 2022

T.C.
DÜZCE ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

HAFİF ELEKTRİKLİ ARAÇLARDA KABLOSUZ ŞARJ
SİSTEMLERİ İÇİN EKLANLAMA TASARIMI VE
OPTİMİZASYONU

Emin YAYLA tarafından hazırlanan tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından Düzce Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Mühendislik Fakültesi Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Dr. Öğr. Üyesi Emin YILDIRIZ

Düzce Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Dr. Öğr. Üyesi Emin YILDIRIZ

Düzce Üniversitesi

Doç. Dr. Yunus BİÇEN

Düzce Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Serdal ARSLAN

Harran Üniversitesi

Tez Savunma Tarihi: 05/08/2022

BEYAN

Bu tez çalışmasının kendi çalışmam olduğunu, tezin planlanmasından yazımına kadar bütün aşamalarda etik dışı davranışımın olmadığını, bu tezdeki bütün bilgileri akademik ve etik kurallar içinde elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara kaynak gösterdiğimi ve bu kaynakları da kaynaklar listesine aldığımı, yine bu tezin çalışılması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını beyan ederim.

05 Ağustos 2022

Emin Yayla

(İmza)

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans öğrenimimde ve bu tezin hazırlanmasında gösterdiği her türlü destek ve yardımdan dolayı çok değerli hocam Dr. Öğr. Üyesi Emin YILDIRIZ'a en içten dileklerimle teşekkür ederim.

Bu çalışma boyunca yardımlarını ve desteklerini esirgemeyen sevgili aileme ve çalışma arkadaşlarıma sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

05.08.2022

Emin Yayla



İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ŞEKİL LİSTESİ	vii
ÇİZELGE LİSTESİ	ix
KISALTMALAR.....	x
SİMGELER	xi
ÖZET	xii
ABSTRACT	xiii
1. GİRİŞ	1
1.1. ELEKTROMANYETİK RADYASYONLA ENERJİ AKTARIMI SİSTEMİ	9
1.2. MİKRODALGA İLE ENERJİ AKTARIMI SİSTEMİ	10
1.3. LAZERLE ENERJİ AKTARIMI SİSTEMİ	12
1.4. KAPASİTİF GÜÇ AKTARIMI SİSTEMİ	13
1.5. İNDÜKTİF GÜÇ AKTARIMI SİSTEMİ	15
2. TEMASSIZ ŞARJ SİSTEMLERİNDE EKLANLAMA TÜRLERİ	21
2.1. AKTİF EKLANLAMA	21
2.2. PASİF EKLANLAMA	22
3. E-BİSKLET'İN TEMASSIZ ŞARJI İÇİN PASİF EKLANLAMA	
TASARIMININ 3D MODELİ VE SEY ANALİZLERİ	27
3.1. BAŞLANGIÇ SARGI ÇİFTİ TASARIMI	28
3.2. ALÜMİNYUM EKLANLAMA TASARIMI	30
3.3. EKLANLAMADA ALÜMİNYUM VE FERİT NÜVE KULLANIMI.....	32
3.4. EKLANLAMA TASARIM PARAMETRELERİNİN İNCELENMESİ	33
3.4.1. Alüminyum Levha İçin En Uygun Ekranlama Parametrelerinin	
Belirlenmesi	35
3.4.2. Ferit Nüve Çubukları İçin En Uygun Kesit Parametrelerinin	
Belirlenmesi	36
3.4.3. Ekranlama İçin En Uygun Mesafe Parametrelerinin Belirlenmesi	38
4. TAGUCHİ YÖNTEMİ İLE EKLANLAMA	
PARAMETRELERİNİN OPTİMİZASYONU	41
4.1. TASARIM İÇİN ORTOGONAL DİZİ OLUŞTURMA	44
4.2. TAGUCHİ İLE TASARIMIN OPTİMİZASYON ANALİZİ	46
5. ANALİZ BULGULARI VE TARTIŞMA	49
5.1. MANYETİK KUVVET SAÇILIMLARININ GÖZLEMLENMESİ	49

5.2. SİSTEM BENZETİMİ DEVRE MODELİNİN OLUŞTURULMASI.....	51
5.3. KAYIPLARIN HESAPLANMASI VE KARŞILAŞTIRILMASI	55
5.4. TARTIŞMA.....	58
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	59
KAYNAKLAR.....	60
ÖZGEÇMİŞ.....	68



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 1.1. (a) Temaslı şarj istasyonu ve (b) Temassız şarj istasyonu	5
Şekil 1.2. AC soket tipleri; (a) Tip-1 SAE J1772, (b) Tip-2 mennekes, (c) Tesla.	6
Şekil 1.3. DC soketler; (a) CCS ABD tipi (b) Avrupa tipi (c) Chademo.	6
Şekil 1.4. Elektrikli bisiklet / mobed'in yenilenebilir enerji ile şarj edilmesi.	7
Şekil 1.5. Elektrikli scooterlar'ın şarj sistemleri.....	7
Şekil 1.6. Tesla bobini temel elektrik devresi.....	10
Şekil 1.7. RF mikrodalga güç aktarım sistemi.....	11
Şekil 1.8. SHARP firmasının mikrodalga enerjisi ile çalışan uçağı.	12
Şekil 1.9. DLC sistem diyagramı.....	13
Şekil 1.10. Kapasitif güç aktarımı topolojisi.	13
Şekil 1.11. Dinamik kontrollü kapasitif güç aktarımı devresi.	14
Şekil 1.12. İndüktif güç aktarım sistemi temel yapılandırması.	15
Şekil 1.13. Kompanzasyon topolojileri (a) SS, (b) SP, (c) PP, (d) PS.....	17
Şekil 1.14. Seri seri (SS) manyetik rezonanslı indüktif güç aktarımı topolojisi.....	17
Şekil 1.15. Gelecek için planlanan temassız üç şarj seçeneğı.	19
Şekil 1.16. Temassız durağan şarj sisteminin şeması.	19
Şekil 1.17. Temassız hareketli şarj sistemi şeması.	20
Şekil 2.1. (a) Dairesel ve (b) Dikdörtgen aktif ekranlama yöntemi genel gösterimi.	22
Şekil 2.2. Pasif ekranlama yönteminin genel gösterimi.....	23
Şekil 2.3. (a) Pasif ekranlama optimizasyonu ve (b) Pasif ekranlama yapısına sahip DD-Q sargı tasarımında hizalama hatalarının incelenmesi.	23
Şekil 2.4. (a) Dilimli ferit levha (b) Ferit çubuklar ile pasif ekranlama yöntemi.	24
Şekil 2.5. (a) Üst yüzeyde ve (b) Alt yüzeyde; oluksuz bir alüminyum üzerindeki manyetik akı yoğunluğu: (c) Üstte yüzey ve (d) Alt yüzeyde; oluksuz bir alüminyum üzerindeki girdap akımları yoğunluğu: (e) Üstte yüzey ve (f) Alt yüzeyde; oluklu bir alüminyum üzerinde manyetik akı yoğunluğu: (g) Üstte yüzey ve (h) Alt yüzeyde; oluklu bir alüminyum levha üzerindeki girdap akımları yoğunluğu gösterilmektedir.	25
Şekil 2.6. TGA sisteminin kullanılması; (a) Kesit ve (b) Perspektif görünümü.....	26
Şekil 3.1. Başlangıç sargı çiftinin 3D genel görünümü.	29
Şekil 3.2. Başlangıç sargı çifti 3D katı model tasarımı.	30
Şekil 3.3. (a) E-bisikletin çelik şasesinin, (b) Alüminyum malzemesinin..... yerleştirilmesi.	31
Şekil 3.4. Ekranlama tasarımının yandan kesit görünümü (2D).....	32
Şekil 3.5.(a) Ferit nüvelerin sargı üzerindeki yerleşimi ve (b) 3D izometrik gösterimi.	32
Şekil 3.6. M700-100A-2 çelik malzemenin B-H eğrisi.	34
Şekil 3.7. Elektrikli araçlardaki çelik şasesinin alt tarafına alüminyum kalkan, ferit .. nüve ve sekonder sargısı (alıcı bobini) yerleşimi.....	35
Şekil 3.8. Ferit nüve çubuklarının dizilimi ve kesit gösterimi.....	37
Şekil 4.1. Minimum tork dalgalanması analiz sonucu.....	43
Şekil 4.2. TGA sistemlerinde ekranlama kalınlık parametresinin optimizasyonu.	43
Şekil 4.3. Taguchi tasarımındaki faktörlerin belirlenmesi ve seviyelerinin girilmesi.	44
Şekil 4.4. Taguchi L9 ortogonal dizisi.....	44
Şekil 4.5. Deney çıktılarının minitab programına kaydedilmesi.	45
Şekil 4.6. Taguchi tasarım analizi işlem basamakları.....	46
Şekil 4.7. Taguchi tasarım analiz seçeneğinin belirlenmesi.	46

Şekil 4.8. Sinyal gürültü oranı ile en küçük en iyi analiz grafiği.	47
Şekil 4.9. B (z) Deney çıktısının güvenilirliği.	48
Şekil 4.10. <i>Pkayıp</i> Deney çıktısının güvenilirliği.	48
Şekil 5.1. (a) Başlangıç sargı çifti için, (b) Pasif ekranlama kullanılan sargı çifti için, manyetik akı çizgilerinin dağılımı.....	49
Şekil 5.2. (a) Başlangıç sargı çifti ile çelik şase için, (b) Alüminyum ekranlama..... kullanılan sargı çifti için, 27,3 μ T tepe değerindeki manyetik akı yoğunluğu.....	50
Şekil 5.3. Optimize edilmiş tasarımın (al. ve ferit ekranlama) manyetik akı yoğunluğu.....	51
Şekil 5.4. (a) y-ekseni 30 mm kaçık, (b) y ve x-ekseni 30 mm kaçık, (c) y-ekseni 60 mm kaçık iken; önerilen tasarımın hizalama hatasındaki manyetik akı yoğunluğu değişimi.	51
Şekil 5.5. İndüktif kablosuz güç aktarımı sistem benzetimi devre modeli.	53
Şekil 5.6. Sistem benzetimi devre modeli giriş-çıkış akımları.	53
Şekil 5.7. Dikey eksenindeki manyetik akının saçılım mesafesi (B=27,30 μ T iken;).....	57
Şekil 5.8. Yatay eksenindeki manyetik akının saçılım mesafesi (B=27,30 μ T iken;).....	57

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa No

Çizelge 1.1. EA'lar İçin AC-DC Şarj Seviyeleri ve Soket Tipleri.	5
Çizelge 1.2. E-Bisiklet ve E-Scooter'ın Özellikleri.	8
Çizelge 1.3. Solar E-Bisiklet Şarj İstasyonunun Özellikleri.....	8
Çizelge 3.1. Elektrikli Bisikletin Kablosuz Şarj Sistemi Tasarım Kriterleri.	27
Çizelge 3.2. Şarj Gereksinimlerini Sağlayan KGA Tasarım Parametreleri.....	28
Çizelge 3.3. Alüminyum Ekranlamanın Simülasyon Sonuçları.	31
Çizelge 3.4. SEY Tasarımında Kullanılan Malzemelerin Özellikleri.	33
Çizelge 3.5. t_1 ve Lex Parametresinin Sisteme Etkileri.....	36
Çizelge 3.6. Kesit Parametresinin Sisteme Etkileri.	38
Çizelge 3.7. d_1 Parametresinin Sisteme Etkileri.	39
Çizelge 3.8. C_{frt} Parametresinin Sisteme Etkileri.	40
Çizelge 4.1. Taguchi Yönteminde Ortogonal Dizin Belirlenmesi.....	42
Çizelge 4.2. L9 Ortogonal Dizisindeki Deneylerin SEY Analiz Sonuçları.	45
Çizelge 5.1. Başlangıç Sargı Çifti ve Optimize Edilmiş Pasif Ekranlamalı Sargı. Çiftinin Tasarım Parametreleri.	52
Çizelge 5.2. Başlangıç Sargı Çifti Tasarımı İçin Hizalama Hataları Sonuçları.....	54
Çizelge 5.3. Optimize Edilmiş Ekranlama Tasarımı İçin Hizalama Hataları Sonuçları.	55
Çizelge 5.4. Tasarım Çıktılarının Karşılaştırılması.	56

KISALTMALAR

2D	İki Boyutlu
3D	Üç Boyutlu
AC	Alternatif Akım (Alternative Current)
Al	Alüminyum
DC	Doğru Akım (Direct Current)
DLC	Dağıtılmış Lazer Şarjı, Distributed Laser Charging
EA	Elektrikli Araç (Electric Vehicle)
EM	Elektromanyetik
ICNIRP	Uluslararası İyonlaşmamış Radyasyondan Koruma Komisyonu, (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection)
IEC	Uluslararası Elektromekanik Komisyonu, (International Electro-mechanical Commission)
IEEE	Elektrik ve Elektronik Mühendisleri Enstitüsü, (Institute of Electrical and Electronic Engineers)
IPT	Inductive Power Transfer
ISO	International Organization for Standardization
İGA	İndüktif Güç Aktarımı
Kg	Kilogram
MPPT	Maksimum Güç Noktası İzleme, Maximum Power Point Tracking
MPT	Mikro Dalga Güç Transferi, Microwave Power Transfer
Qi	İndüktif Güç Standart
RF	Radyo Frekansı
RFID	Radyo Frekansı Tanımlama
SAE	Toplum Otomotiv Mühendisleri, Society of Automotive Engineers
SEY	Sonlu Elemanlar Yöntemi
TGA	Temassız Güç Aktarımı
WPT	Wireless Power Transfer

SİMGELER

σ	Öz İletkenlik
Ω	Ohm
μ	Mikro (10^{-6})
A	Amper, Elektriksel Akım
B	Manyetik Akı Yoğunluğu (T)
C	Kapasitans
D	Çap
d	Mesafe (distance)
F	Farad (Kapasitans Birimi)
F_n	Çalışma frekansı
G	İletkenlik
G	Giga (10^9)
H	Henry (Endüktans Birimi)
H	Manyetik Alan Şiddeti
Hz	Frekans Birimi (Herz)
K	Bağlaşım Katsayısı, kuplaj
kW	Kilo Watt (10^3 Watt)
L	Endüktans
l	Uzunluk
M	Mega (10^6)
M	Ortak Endüktans
m	Metre
mm	Milimetre
N	Sarım Sayısı
n	Nano (10^{-9})
η	Verim
P	Aktif Güç
R	Direnç
S	Siemens (İletkenlik)
t	Zaman (Time)
T	Tesla
t	Kalınlık, thickness
V	Volt, Potansiyel Fark
VA	Volt Amper (Görünür Güç)
W	Watt (Aktif Güç Birimi)
w	Genişlik, width
α	Alfa

ÖZET

HAFİF ELEKTRİKLİ ARAÇLARDA KABLOSUZ ŞARJ SİSTEMLERİ İÇİN EKRANLAMA TASARIMI VE OPTİMİZASYONU

Emin YAYLA

Düzce Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Mühendislik Fakültesi Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Emin YILDIRIZ

Ağustos 2022, 67 sayfa

Otomotiv endüstrisine odaklanan elektrikli araç (EA) teknolojileri hızlı bir ilerleme içerisinde. Bunlardan biri de şarj teknolojileridir. EA'ların şarj teknolojilerini temaslı ve temassız olarak iki alt başlıkta toplayabiliriz. Temassız şarj sistemleri genellikle elektrik alan (kapasitif) veya manyetik alan (endüktif) prensiplerine dayalı yöntemlerle çalışır. Bu yöntemle belirli bir mesafeden (100-300 mm) %80'in üzerinde verimle EA'ların akü şarj gereksinimlerine uygun temassız güç aktarımı yaparlar. İndüktif güç aktarımı (İGA), diğer yöntemlere kıyasla daha düşük frekanslarda (20-250 Khz) gerçekleştirilebilir. Bu nedenle günümüzde araştırmacılar ve ticari üreticiler tarafından en çok tercih edilen güç aktarım yöntemidir. Ancak bu yöntemde güç aktarımı sırasında oluşan elektromanyetik saçılımlar canlılar için tehlikeli olabilir. ICNIRP standartlarına göre 0,8-150 Khz çalışma frekansında insan vücudunun maruz kaldığı manyetik akı miktarının 27,30 μT 'yi aşmaması gerekir. Bunun için de İGA sisteminde aktif ve/veya pasif ekranlama yöntemi yapılmalıdır. Bu çalışma kapsamında, bir İGA sisteminin araç şasesine monte edilen sekonder taraf için ekranlama yöntemlerinin etkinliği ve alüminyum ekranlama ile birlikte ferit nüve kullanımı incelenmiştir. Aynı güç aktarım performansında; bisiklet şasesinde oluşabilecek demir kayıplarını azaltan ve ICNIRP standartlarına uygun ekranlama tasarımında etkili parametrelerin tespiti Sonlu Elemanlar Yöntemi (SEY) ile yapılmıştır. Taguchi L9 ortogonal dizisi ile tasarımda ki parametreler optimize edilmiştir.

Anahtar sözcükler: Aktif ve pasif ekranlama, İndüktif güç aktarımı, Taguchi optimizasyon yöntemi, Temassız şarj sistemleri

ABSTRACT

THE SHIELDING DESIGN AND OPTIMIZATION FOR WIRELESS CHARGING SYSTEMS IN LIGHT WEIGHT ELECTRIC VEHICLES

Emin YAYLA

Düzce University

Graduate School of Natural and Applied Sciences, Department of Engineering Faculty

Master's Thesis

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Member Emin YILDIRIZ

August 2022, 67 pages

Electric vehicle (EV) technologies focused on the automotive industry are in rapid progress. One of them is charging technologies. We can collect the charging technologies of EV's under two sub-titles as contact and contactless. Contactless charging systems generally work with methods based on electric field (capacitive) or magnetic field (inductive) principles. With this method, they make contactless power transfer in accordance with the battery charging requirements of EV's with an efficiency of more than 80% from a certain distance (100-300 mm). Inductive power transfer (IPT) can be performed at lower frequencies (20-250 KHz) compared to other methods. For this reason, it is the most preferred power transmission method by researchers and commercial manufacturers today. However, electromagnetic scattering that occurs during power transfer in this method can be dangerous for living things. According to ICNIRP standards, the amount of magnetic flux that the human body is exposed to at an operating frequency of 0.8-150 KHz should not exceed 27.30 μ T. For this, active and/or passive shielding method should be applied in the IPT system. Within the scope of this study, the effectiveness of shielding methods for the secondary side mounted on the vehicle chassis of an IPT system and the use of ferrite core together with aluminum shielding were investigated. At the same power transfer performance; The determination of the effective parameters in the shielding design in accordance with ICNIRP standards and reducing the iron losses that may occur in the bicycle frame was made with the Finite Element Method (FEM). The parameters in the design are optimized with the Taguchi L9 orthogonal array.

Keywords: Active and passive shielding, Contactless charging systems, Inductive power transfer, Taguchi optimization method

1. GİRİŞ

EA'ların tarihi gelişimi ilk olarak 1800 yılında İtalya'da Alessandro Volta tarafından elektrik enerjisinin depolanması girişimiyle başlamıştır [1]. Michael Faraday 1831 yılında elektromanyetik indüksiyon yasası hakkında çalışmalar yapmış ve elektromanyetik dalga ile bir iletkende oluşan elektrik akımının ilişkisini araştırmaya başlamıştır. Bu gelişmeden sonra EA'ların hareketi için mekanik gücü sağlayacak elektrik motoru ve elektrik üreten jeneratörlerin temel çalışma prensipleri ortaya çıkmaya başlamıştır. Elektrik motorları ve jeneratörlerin gelişimiyle birlikte, Profesör Stratingh tarafından 1835 yılında Hollanda'da ilk elektrikli araç modeli geliştirilmiştir. EA'ların diğer içten yanmalı araçlara kıyasla avantajları ön plana çıkartılmıştır. EA'ların temel parçaları; enerji depolama için batarya, tahrik sistemi için elektrik motoru, jeneratör, mekanik iletim için dişli vb. mekanik aktarım organları ve elektrik motoru kontrolü için güç kontrol sistemleridir. EA'larda en önemli faktör elektrik motorlarının diğer motorlara göre avantajlarıdır. Elektrik motorları, genel olarak AC (1 fazlı ve 3 fazlı) ve DC (fırçalı ve fırçasız) tiplerinde üretilmektedir. EA uygulamalarında rejeneratif frenleme ile çekiş sağlayan elektrik motorları, frenleme anında ısı ve sürtünme olarak kaybolabilecek enerjiyi geri kazanmak için jeneratör olarak ters yönde kullanılabilir [2]. EA'larda depolanan elektrik enerjisi bir sürücü yardımıyla elektrik motorunu çalıştırarak elektrik enerjisini mekanik enerjiye dönüştürmüş olur. Bu mekanik enerji araç üzerindeki tahrik organları yardımıyla tekerleklerle döndürme kuvveti olarak aktarılır ve dolayısıyla hareket sağlanmış olur. Elektrik motorları yüksek tork ve momentuma (döndürme kuvveti) sahiptir. Bu özelliğiyle dengeli bir şekilde kalkış ve hızlanma sağlayarak konforlu sürüş elde edilir. EA'ların yaygınlaşmasındaki en önemli faktör araçların enerji ihtiyacının en uygun şekilde karşılanmasıdır. EA'larda ki enerji ihtiyacını karşılayan bataryaların teknolojik gelişimleriyle birlikte yüksek enerji yoğunluğuna ve daha düşük özgül ağırlığa sahip olmaları gerekmektedir. Bu niteliklerdeki geliştirilmiş bataryalar ile EA'lar daha uzun menzillere ulaşabilecektir. Dolayısıyla daha az şarj gereksinimi ile uzak mesafelere kesintisiz ulaşım sağlanmış olacaktır. EA'larda tahrik sistemi, sadece elektrik motorundan veya hem elektrik hem de içten yanmalı motordan beslenebilir. EA'ların sırası ile çeşitleri, tamamen elektrikli araçlar, hibrit elektrikli araçlar, Plug-in hibrit elektrikli araçlar ve yakıt hücresi elektrikli

araçlardır. EA teknolojileri 1990'lardaki batarya teknolojilerinde yaşanan gelişim ile ciddi bir ivmelenme kazanmıştır. 1997 yılında ilk büyük ölçekli seri üretimi Toyota, Prius adlı hibrid araç ile gerçekleştirmiştir. Hibrid elektrikli araç, geleneksel içten yanmalı motor sistemini elektrikli tahrik sistemleriyle birleştirilmesiyle oluşan araç tipidir. Yakın geçmişte EA'lar için yapılan en önemli hamlelerden biri 2008 yılında Tesla'nın ilk uzun menzilli, Lityum iyon (Li-Ion) pil yapısına sahip aracı olan Roadster modelini tanıtması oldu. Şirket bu model ile önemli bir satış başarısı yakalamıştır. Honda, BMW, Mercedes, Volvo, Renault vb. pek çok otomobil üreticisi gelecek üretim planlamalarını elektrikli otomobillere kaydırmıştır. Mercedes-Benz şirketi tek şarjla 1000 kilometre yol kat eden yeni elektrikli otomobilini tanıtması ile birlikte menzil sorunu ortadan kalkmış gözüküyor. EA piyasasında rakiplerini geride bırakmak isteyen Mercedes, 2030 yılına kadar 40 milyar Euro'dan fazla yatırım yapmayı planladığını duyurdu. EA'ların tercih edilmesindeki en önemli faktörlerden birisi çevre dostu yakıt kullanması oldu. Bu konu hakkında çevre dostu bataryalar ve yakıt hücreleri üzerine önemli gelişmeler olmuştur. Tesla Model-S batarya kiti Panasonic 18650 lityum-iyon pillerinden bir araya gelmektedir. Panasonic NCR18650 piller kilogram başına 265 Wh/kg enerji yoğunluğuna sahiptir. 85 kWh kapasiteli bir Model-S bataryasının ağırlığı 540 kg'dır [2]. Bu batarya gelişimi eski batarya teknolojilerine göre hem daha çevre dostu hem de verimlidir. Enerji depolama konusunda Dünya'daki gelişmeler hızla artmaktadır ve farklı depolama yöntemleri ortaya çıkmaktadır. Örneğin; çevre dostu olan yakıt hücresel elektrikli araçlar (FCEV'ler), kendi enerji ihtiyacını ürettiği için dağıtılmış enerji santralleri için umut verici bir aday olarak büyük ilgi gördü. Hyundai'nin dünyanın ilk seri üretim FCEV'si Tucson ix35'i Şubat 2013'te devreye almasından bu yana, sistem verimliliği %55'ten %60'a yükseltildi, sürüş menzili 415 km'den 609 km'ye artırıldı ve dayanıklılık faktörü 4 yıl/80.000 km'den 10 yıl/160.000 km'ye artırılarak gelişimi sağlanmıştır [3]. Yalnızca elektrikli araçları satmayı hedefleyen Volvo şirketi 2030 ve Jaguar şirketi 2025 tarihi için gelecek planı yapmaktadır [4]. Bu kararı alan diğer şirketler ile birlikte elektrikli araçların yaygınlaşması konusunda gelişmeler hızla artıyor. Uluslararası Enerji Ajansının (IEA) raporuna göre, yıllık EA satışının ortalama 2 milyon artması halinde, Dünya'daki EA satışının 2025'e kadar yıllık 10 milyon, 2040'a kadar ise yıllık 30 milyona ulaşması bekleniyor [5].

EA yaygınlaşması ile birlikte şarj istasyonları ile ilgili yatırımlar da artmaktadır. EA kablolu şarj sistemlerinin pazar büyüklüğü, 2028 yılına kadar %42,4'lük oranla 221 milyon dolara ulaşacağı yatırım ajansları tarafından ön görülmektedir. Pazar kapsamında

elektrik tedarikçileri, akıllı şebeke entegrasyonu, şarj istasyonu işletmesi ve şarj istasyonu üreticileri gibi önemli konular ön plana çıkmaktadır. Bir şarj üreticisi olan ABB, 50kW'lık Terra 54 isimli yeni şarj ünitesi ile bir aracın bataryasını 20-30 dakika içinde sıfırdan %80'e kadar şarj edebilme özelliğine sahiptir [6]. Trafikteki bütün EA'ların şarj sistemi ile uyum sağlaması ve şarj doluş süresi olarak optimum şekilde performans gösterdiği onaylanmıştır. Örneğin Hollanda da 100 km başına 47.5 şarj istasyonu ortalamasına ulaşılmıştır [7]. Almanya'da, kamuya açık olarak kullanılan şarj istasyonu sayısının 1 Aralık 2021 itibariyle 50 bin 901 adete ulaştığı bilgisi kamu ile paylaşıldı. EA'lar için gelecek planları ve stratejileri olarak "iklim dostu" olmayı hedefleyen Alman hükümeti, 2030'a kadar 1 milyon şarj istasyonu tesis ederek ülkenin elektrikli otomobil altyapısının sağlamlaştırılmasını ve geliştirilmesi hedeflemektedir [8]. Çin'de 167 bin adet şarj istasyonundan oluşan sistemin kurulumunun yapılmasıyla birlikte EA kullanımı hızla artmıştır. Şarj istasyonu ağının yanı sıra ülkede petrollü araçların da kullanımının yasaklanması hedeflenmektedir. Daha önce bu kararı alan Fransa, Almanya ve Norveç gibi Avrupa ülkelerinin ardından Çin'in de böyle bir hamleye imza atmış olması EA'lar için gelecek vadettirmektedir. Avrupa'daki tüm ticari araçlara erişilebilir olacak ortak şarj ağı girişimi, Daimler Truck, Traton Group ve Volvo Group şirketleri tarafından sağlanacak ve en geç 2030'a kadar 50.000 yüksek performanslı şarj istasyonunun kurulması ile birlikte hayata geçmesi hedeflenmektedir [9]. İngiltere'de 2022'den sonra yapılacak tüm konut, ticarethaneler ve diğer ticari binaların yapı inşaatlarında EA'lar için şarj istasyonları kurmanın zorunlu hale geleceğini açıkladı. Ülkemizde 2021 yılında güncellenen yönetmelik ile 20 ve üzeri araç kapasiteli otoparklarda şarj istasyonu zorunlu hale gelmiştir [10]. Bu yıl ülkemizde hızlı şarj istasyonları hibe programlarıyla 81 ilde 1560 noktada şarj istasyonu kurulumunun yapılması hedeflenmektedir. Şarj istasyonları için en sürdürülebilir yerin seçilmesi çok önemli bir faktördür. Bunun için öznal faktörleri dikkate alan bir ağ modeli ile optimizasyon yapılması önerilmektedir [11]. Sürücülerin beklemeye maruz kalmamaları için elektrikli şarj istasyonlarının doluluk oranları bir ağ yapısı ile takip edilmelidir [12]. Sistem böylece homojen bir enerji dağılımına olanak sağlamış olur. Dünya üzerinde 250 kW ve üzeri şarj hızını destekleyen yüzbinlerce araç mevcuttur. Bu araçlardan sadece sekiz tanesinin aynı anda bir şarj alanında şarj olması anlık 1 MW'lık enerji ihtiyacı oluşacaktır [13]. Dolayısıyla şarj istasyonları kısa sürede yüksek enerji talep edebileceklerinden enerji sistemi üzerinde bozucu etkilere neden olabilirler. Bu nedenle şarj istasyonlarının yerleşimleri enerji şebekesinin potansiyeli dikkate alınarak planlanmalıdır. Anlık yüksek enerji ihtiyaçlarını önlemek için, Audi

şirketi Nürnberg’de daha önce uygulanmamış farklı bir şarj konseptini tanıttı [14]. Audi şarj merkezi, ortalama 2,45 MWh’lık bir hali hazırda bekleyen depolama kapasitesi sayesinde, dağıtım şebekesinden yalnızca 200 kW’lık bir düşük güç bağlantısına ihtiyaç duyuyor. Ayrıca istasyonun çatısında yer alan güneş panelleri de depolama sistemine ekstra 30 kW’a kadar yenilenebilir enerji sağlıyor. Böylece müşteriler, elektrikli araçlarını istasyondaki altı şarj noktasında 320 kW’lık bir güç miktarı ile hızlı şarj edebiliyor [14]. Hızlı şarj istasyonlarının belirli bölgelerde çok sayıda kurulmasıyla birlikte bölgesel şebeke yüklenmeleri gündeme gelecektir. Bu soruna çözüm olabilecek yöntemlerden birisi dağıtılmış temassız şarj istasyonlarının tercih edilmesidir. Bir araştırmaya göre e-bisikletlerin temassız şarj edilmesini sağlayan güneş enerjili e-bisiklet şarj istasyonlarının kullanılması, hem e-bisikletlerin yaygınlaşması hem de şebekeden bağımsız olmaları konusunda önem arz etmektedir [15]. Böylece şebeke yüklenmeleri belirli oranda azalacaktır. Ülkemizin EA üretimi üzerine yaptığı atılımlar göz önüne alındığında şarj teknolojileri üzerine de çalışmaların ve yatırımların artması beklenmektedir. Zira ülkemizde ilk elektrikli şarj istasyonu yapımının lisansı EPDK tarafından 30 Mayıs 2022’de ihale şartlarını sağlayan bir şirkete verilmiştir [16]. Ayrıca yerli ve milli şarj istasyonu üreten firmalar da mevcuttur. Örneğin, Türkiye’de Enerjisa şirketi tarafından kurulan hızlı şarj istasyonu ağında 50’ye yakın şarj istasyonu bulunmaktadır. EA kullanıcılarına, topluma açık E-şarj noktalarından şarj imkânı sağlanabilmektedir [17]. Türkiye’deki şarj istasyonu ağını 81 ilde genişleterek erişim kolaylığı sağlanacaktır. Dolayısıyla EA’ların kullanımı yaygınlaşmış olacaktır.

EA şarj istasyonları genel olarak temaslı ve temassız şarj sistemleri olarak sınıflandırılırlar. Şekil 1.1 (a) ve Şekil 1.1 (b)’de temaslı ve temassız şarj istasyonlarına örnekler görülmektedir. Temaslı şarj istasyonları doğru akım (DC) ve alternatif akım (AC) beslemeli şarj olarak iki ana gruba ayrılmaktadır. DC Şarj seviyeleri için çalışma akım ve gerilim seviyeleri daha yüksektir [18]. AC beslemeli şarj istasyonlarında tek veya üç fazlı besleme araç üzerinde DC’e çevrilerek batarya şarjı için kullanılır. Şarj başlamadan önce ve şarj sırasında, araç ile haberleşme de yine bu kablo üzerinden sağlanır [19]. Böylece ücretlendirme de yapılabilir. Böylece ücretlendirme de yapılabilir.



(a)



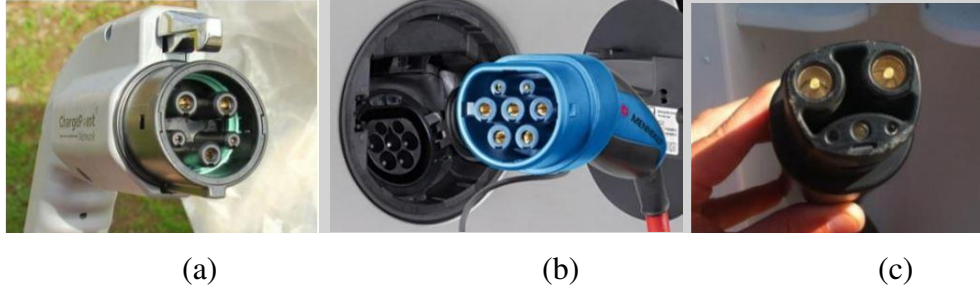
(b)

Şekil 1.1. (a) Temaslı şarj istasyonu [20] ve (b) Temassız şarj istasyonu [21].

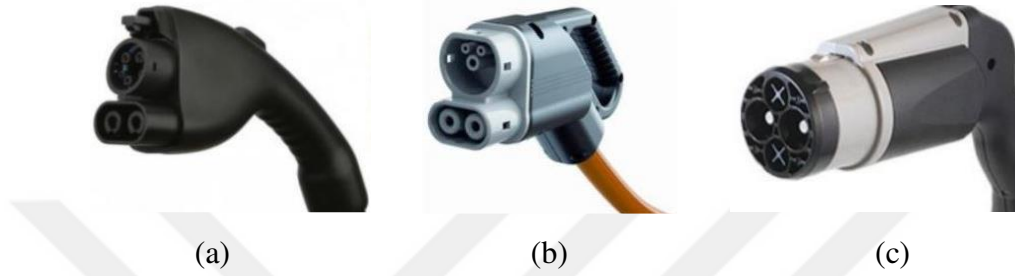
Temaslı (Kablolu) şarj sistemlerinde yaygın olarak 3 seviye vardır. Seviye 1 EA'ların şebeke beslemesi üzerinden evde veya ofiste şarj edilmesi durumudur. Seviye 2 ise halka açık yerlerde, şehirlerarası yollardaki uygun alanlarda yer alan şarj istasyonları olarak tanımlanır. Seviye 3 şarj sistemi ise hızlı şarj olarak isimlendirilir. Ticari amaçlı kurulan şarj dolum istasyonları hızlı şarj seviyesinde batarya dolumu yapabilme imkânı sağlar. Bölünmüş otoyollardaki dinlenme tesislerinde ve alışveriş merkezlerinin otoparklarında hızlı şarj seviyesi bulunabilir. ABD'de ve Avrupa'da kullanılan şarj seviyeleri ve şarj soket bilgileri Çizelge 1.1'de, soket görselleri ise Şekil 1.2 ve Şekil 1.3'de görülebilir [22], [23].

Çizelge 1.1. EA'lar İçin AC-DC Şarj Seviyeleri ve Soket Tipleri [22], [23].

Ülke	Soket Tipi	Şarj Seviyesi	Akım ve Gerilim Seviyesi	Maksimum Güç
ABD	Tip-1 SAE J1772	AC-1	1 faz 120V, $\leq 16A$	1,9 kW
		AC-2	1 faz 240V, $\leq 80A$	19,2 kW
Avrupa	Tip-2 Mennekes	AC-1	1 faz 230V, $\leq 32A$	7,4 kW
		AC-2	3 faz 400V, $\leq 32A$	22 kW
SAE	Tip-4 SAE J1772 CCS	DC-1	200-450V, $\leq 80A$	36 kW
		DC-2	200-450V, $\leq 200A$	90 kW
		DC-3	200-600V, $\leq 400A$	240 kW
Chademo	Tip-4 Chademo	DC-3	200-500V, $\leq 125A$	62,5 kW
USA	Model S için; Tesla US	DC-3	400V, $\leq 300A$	120 kW



Şekil 1.2. AC soket tipleri [24]; (a) Tip-1 SAE J1772, (b) Tip-2 mennekes, (c) Tesla.



Şekil 1.3. DC soketler [24]; (a) CCS ABD tipi (b) Avrupa tipi (c) Chademo.

Temaslı şarj ile kısa sürelerde yüksek güç aktarımları sağlanabilmektedir. Ancak gelecek yıllarda EA kullanımının artması, şarj sırasında kablo karmaşasını da beraberinde getirebilir. Üstelik yüksek güç yoğunlukları gerektiren şarj istasyonlarının enerji şebekesini zorlaması da ayrıca dikkat edilmesi gereken bir konudur. Bu nedenle şarj istasyonları yerine araç bataryasının kısa sürede değiştirebildiği istasyonlar ve belirli noktalar yerine dağıtılmış şekilde temassız şarj sistemleri üzerine de çalışmalar yapılmaktadır [25]. Temassız şarj sistemleri özellikle hafif elektrikli araçların şarjında daha çok tercih edilebilir. Bu çalışmadaki tasarımda özelliklerinden faydalandığımız ve üzerine çalışmalar yaptığımız elektrikli araç tipi 3 tekerlekli E-bisiklet olan Volta şirketinin VT3 modelidir. Elektrikli bisikletler ve scooterlar kolay ulaşım, kolay park yeri ve düşük satın alma maliyetlerinden dolayı yaygınlaşmaktadır.

Elektrikli otomobillerin pahalı olması, şehir içi trafiğinde pratik olmaması ve trafik yoğunluğunun azaltılması gibi nedenlerden dolayı kısa ve orta mesafeli ulaşımlarda E-bisikletlerin tercih edilmesi hızla artmaktadır. Bazı modellerinde manuel bisiklet özelliği ve elektrikli motor özelliği bir arada bulunmaktadır. E-Bisikletlerin motor güçleri 250 W civarında olurken, maksimum hız limitleri ise 25 km/s civarındadır. 3 tekerlekli mobedler'in motor güçleri 1000 W civarında olduğu için hız limitleri 25 km/s'in üzerine çıkabilir. Hafif elektrikli araçların hız limiti ile ilgili yasal sınırlamalar bulunmaktadır. Hafif elektrikli araçların ulaşımdaki yeri arttıkça daha çevreci ve verimli ulaşım

sağlanmış olacaktır. Şehir içerisindeki bisiklet yollarının yaygınlaşması ve teknolojik olarak gelişmiş alt yapılara sahip olması ulaşımı rahatlatacaktır. Örneğin; bisiklet yollarının kenarlarına ve/veya çatı şeklinde üstlerine yapılan yenilenebilir enerji üreten şarj sistemleri ile temiz enerji sağlanmış olur. Böylece bisiklet yollarına monte edilecek hareketli kablosuz şarj sistemleri gibi yeni fikirlere zemin hazırlanmış olacaktır.



Şekil 1.4. Elektrikli bisiklet / mobed'in yenilenebilir enerji ile şarj edilmesi [26].

E-Scooterlar'ın kullanımı basit olduğu için her insana hitap etmektedir. Scooterlar kısa mesafelerdeki ulaşımında kolaylık sağlayacak elektrikli araç çeşididir. Şarj olanakları kolay erişilebilir haldedir. Dahili veya harici batarya sistemlerine sahiptir. Evde veya toplu şarj istasyonu noktalarında kolaylıkla şarj edilebilir. Küçük ve katlanabilir yapılarda olduğu için toplu taşıma araçlarında taşınabilir veya ortak şarj istasyonlarına kolayca park edilebilir. Kalabalık şehirlerdeki trafik yoğunluğuna nispeten fayda sağlayacak ulaşım aracı olarak kullanılmaktadır.



Şekil 1.5. Elektrikli scooterlar'ın şarj sistemleri [27].

Çalışmamızın konusu olan TGA (Temassız Güç Aktarımı) sistemindeki manyetik ekranlamanın tasarımını hafif elektrikli araçların şasesine uygulanacak nitelikte yapmayı hedefliyoruz. Çizelge 1.2’te hafif elektrikli araçların özellikleri gösterilmektedir. Motor güçleri ve batarya kapasiteleri elektrikli otomobillere göre çok daha küçüktür. Bu nedenle hafif elektrikli araçların daha hızlı yaygınlaşma olanağı mümkündür. Bundan yola çıkarak, hafif elektrikli araçların temassız şarj sistemleri üzerine yapılan çalışmaları inceledik. Çizelge 1.3’de yenilenebilir enerji kullanan temaslı ve temassız şarj istasyonlarının özellikleri gösterilmektedir. Şarj istasyonlarının çatısına montajı yapılan solar paneller ile istasyondaki batarya üniteleri şarj edilir. Depolanan enerji ile E-bisikletlerin şarj gereksinimleri sağlanır. Örneğin; TGA yöntemiyle çalışan kickstand E-bisikletin şarj gereksinimi olan 24-48 V aralığında, 200 W’lık gücü alıcıya aktarmış olur. Bu güç aktarımı sağlanırken ICNIRP standartlarının sağlanması için çalışmada belirttiğimiz ekranlama yönteminin kullanılması amaçlanmaktadır. Böylece kablo kullanılmadan güvenli bir şekilde temassız şarj gerçekleşmiş olur.

Çizelge 1.2. E-Bisiklet ve E-Scooter'ın Özellikleri [28].

Araç Tipi		E-Bisiklet	E-Scooter	Küçük araba
Özellikler	Model	Batavus Trent E-go	Novox C-50	Renault Twizy
Pil Türü		Lityum iyon	Lityum iyon	Lityum iyon
Kapasite (Wh)		396	1920	6100
Gerilim (V)		36	48	58
Motor gücü (W)		250	3500	13000
Sürüş menzili (km)		<120	50- 110	100 (ECE-15)
Normal şarj süresi (saat)		3,5	5	3,5
Enerji tüketimi (Wh/km)		3,3	17,5- 38,4	61

Çizelge 1.3. Solar E-Bisiklet Şarj İstasyonunun Özellikleri [28].

Solar paneller	8× Sunpower X20-327-BLK, 327 W
Pil	4× Victron Kurşun Asit Aküler, 220 Ah, 12 V
MPPT dönüştürücü	Victron BlueSolar 150/85
Şebeke İnvertörü	Victron Multiplus 48/3000 Çift Yönlü
Meteoroloji istasyonu	Lufft WS503-UMB
Denetleyici	Ahududu Pi
E-bisiklet Şarj	1× AC, 4× DC (10–50 V), 1× Kablosuz
DC şarj	100 W, 24-48 V, izolasyonlu
Kablosuz şarj etme	200 W, 24-48 V, kickstand ile

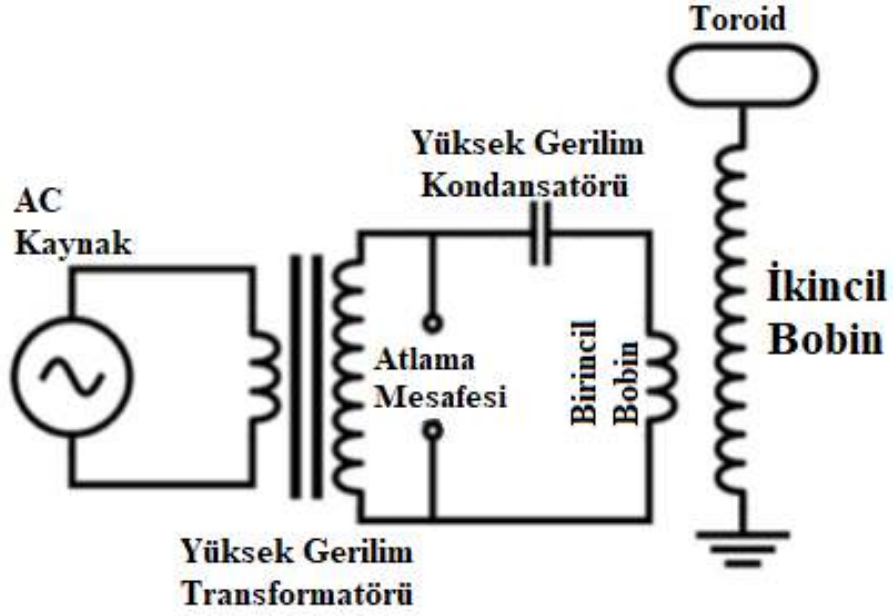
Nikola Tesla ile başlayan TGA çalışmaları, teknolojinin çok önemli alanlarına doğru yönlmesiyle önemi gittikçe artırmıştır ve farklı disiplinlerin ortak bir çalışma alanı haline gelmiştir. Bu gelişimde Massachusetts Teknoloji Enstitüsü (MIT)'de 2007 yılında yapılan, aktarım mesafesi ve verimi ile araştırmacıların dikkatini çeken manyetik rezonans bağılı sistemi önemli bir yer almaktadır [29]. Günümüzde elektrikli cihazlar dışında evsel cihazlar, telefon bilgisayar gibi mobil cihazlar, kalp pili gibi biyomedikal cihazlar, sensörler vb. sistemlerin güç gereksinimleri kablolu aktarım ile neredeyse aynı verimlerde sağlanabilmektedir [30]–[33]. TGA sistemleri, dayandıkları fiziksel temeller açısından aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir [34].

- Elektromanyetik Radyasyonla Enerji Aktarımı Sistemi
- Mikrodalga İle Enerji Aktarımı Sistemi
- Lazerle Enerji Aktarımı Sistemi
- Kapasitif Güç Aktarımı Sistemi
- İndüktif Güç Aktarımı Sistemi

TGA için manyetik rezonanslı, kapasitif, mikrodalga, lazer vb. yöntemler elektrikli araçlar için önerilmiştir [35].

1.1. ELEKTROMANYETİK RADYASYONLA ENERJİ AKTARIMI SİSTEMİ

Elektromanyetik radyasyon olayı öncelikle James C. Maxwell tarafından gündeme gelmiştir. Ancak deneysel çalışmaları sırasında, elektromekanik osilatörleri kullanan Nikola Tesla, gözlemlediği elektromanyetik saçılımı fiziksel olarak tespit etmiştir [34]. Elektromanyetik radyasyon, Nikola Tesla tarafından bir iletkenin uçlarındaki gerilim miktarı değil uzaydaki ve madde üzerinde açığa çıkan enerjinin hareketi olarak tanımlanmıştır [34]. Tesla bobini, elektromanyetik enerjinin oluşturulması için tasarlanmış yüksek gerilimlere ve yüksek frekanslara çıkabilen bir akım kaynağıdır [36]. Şekil 1.6'da Tesla bobinin temel devresi görülmektedir. Tesla bobini; yüksek gerilim trafosu sargıları, yüksek gerilim atlama mesafesi, yüksek voltaj kondansatörü, sarım sayısı az kalın kesitli primer (birincil) bobin, sarım sayısı çok ince kesitli sekonder (ikincil) bobin ve ikincil bobine bağlı yüksek voltajlı enerji çıkışının yapıldığı toroid şeklindeki iletken oluşmaktadır. Şekil 1.6'da gösterildiği gibi düşük gerilim kaynağını yüksek gerilim kaynağına dönüştürmek için, yüksek gerilim transformatörü kullanılır [34].



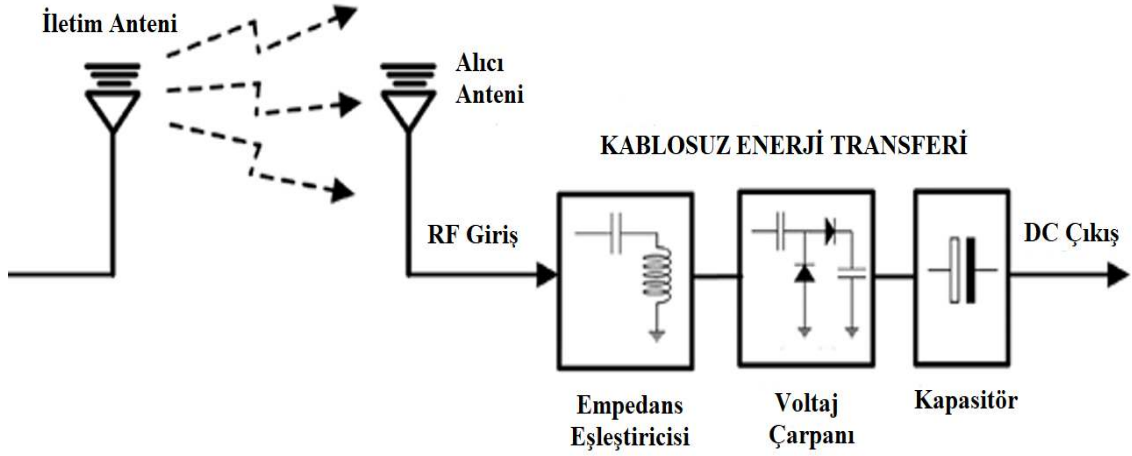
Şekil 1.6. Tesla bobini temel elektrik devresi [37].

Yüksek gerilim trafosu çıkışına seri bağlı olan yüksek gerilim kondansatörü şarj edilir. Kondansatör şarj olduğunda oluşan gerilim seviyesi atlama mesafesinde titreşimlere neden olur. Bu titreşimler sırasında kondansatör ile birincil bobin paralel devre oluşturur. Manyetik özelliği olmayan çekirdek üzerinde birkaç sarımdan oluşan birincil bobin ve aralarında hava boşluğu olan ikincil bobin bulunmaktadır. Birincil bobinden geçen yüksek frekanstaki akım Faraday'ın indükleme yasası ile bir manyetik akı oluşturur ve manyetik akıların kestiği ikincil bobinde yüksek frekansta yüksek gerilim oluşmasına neden olur. Dolayısıyla titreşimin etkisiyle yüksek frekans bantlarında güç aktarımı sağlanmış olur. Tesla'nın elektromanyetik indüksiyon bobinini yalnızca deneysel amaçla kullanılmıştır [37]. Tesla bobini ile 5 m ve daha yüksek mesafelere güç akarımı sağlanabilir [38]. Ancak yüksek manyetik saçılım canlılar için risk teşkil edecektir.

1.2. MİKRODALGA İLE ENERJİ AKTARIMI SİSTEMİ

Yüksek frekansla çalışan mikrodalga vericiler yardımıyla TGA sistemleri alanında çalışmalar yapılmıştır. Mikrodalga enerjisiyle uzak mesafelere enerji aktarımı sağlanabilmektedir [39]. RF (radyo frekansı) radyasyonu, radyan enerjiyi taşımak için bir ortam da dağınık RF/mikrodalga kullanır [40]. RF/mikrodalga, normalde görüş hattında, ışık hızında uzayda yayılır. RF/mikrodalga'nın tipik frekansı 300 MHz ile 300 GHz arasında değişmektedir [41]. Enerji transferi, kızılötesi ve X-ışınları gibi diğer elektromanyetik dalgaları kullanabilir. Ancak, güvenlik sorunu nedeniyle yaygın olarak

kullanılmazlar. Şekil 1.7’de görüldüğü gibi bir mikrodalga güç aktarım sisteminin mimarisini tanıtılmaktadır. Mikro dalgalar havada yayıldıktan sonra, alıcı anteni tarafından yakalanır ve RF-DC modülü ile tekrar elektriğe dönüştürülür.



Şekil 1.7. RF mikrodalga güç aktarım sistemi [39].

Elektrik enerjisinin mikrodalga enerjisine dönüştürülmesi için farklı bir yöntem olan vakum tüpleri (magnetron) ya da yarı iletken teknolojisindeki anahtarlama elemanı olan transistörler ile sağlanır. Mikrodalga enerjisi ile yüksek güç aktarımı ve yüksek frekansları elde etmek için vakum tüpleri kullanılır. Vakum tüpleri toplu üretildiği ve maliyetleri düşük olduğundan endüstrideki uygulamalarda en yaygın kullanılan mikrodalga kaynağıdır. Vakum tüpleri uygulamalarındaki çalışma frekansları 0.915-2.45 GHz aralığındadır [42]. Mikrodalga enerjisinin basitçe çalışması ise verici kısmında elektrik enerjisi yüksek frekanslı mikrodalga enerjisine çevrilmesiyle tanımlanır. Alıcı kısmında ise yüksek frekanslı mikro dalga boylarındaki enerji bir doğrultucu vasıtasıyla çıkışta DC elektrik enerjisi elde edilmiş olur.

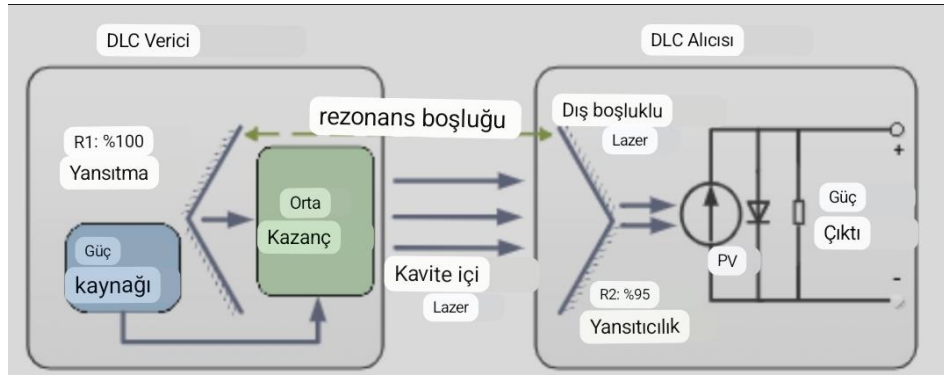
1980’lerde Kanada Haberleşme Araştırma Merkezi’nin Stationary High Altitude Relay Platform (SHARP) adını verdiği çalışma bu alandaki en önemli çalışmalardan biridir [43]. Şekil 1.8’de gösterilen projede hiçbir dahili enerji kaynağı bulunmayan bir uçak sadece mikrodalga enerjisi ile 21 km yükseklikte 2 km’lik bir daire içinde bir ayı aşkın süre uçurulabilmiştir [43]. Ayrıca ayda güneş enerji santrali kurup mikrodalga güç transferi (MPT) yöntemi ile elde edilen enerjinin yeryüzüne aktarılması gelecek projelerinden biri olarak öngörülmektedir [43].



Şekil 1.8. SHARP firmasının mikrodalga enerjisi ile çalışan uçağı [43].

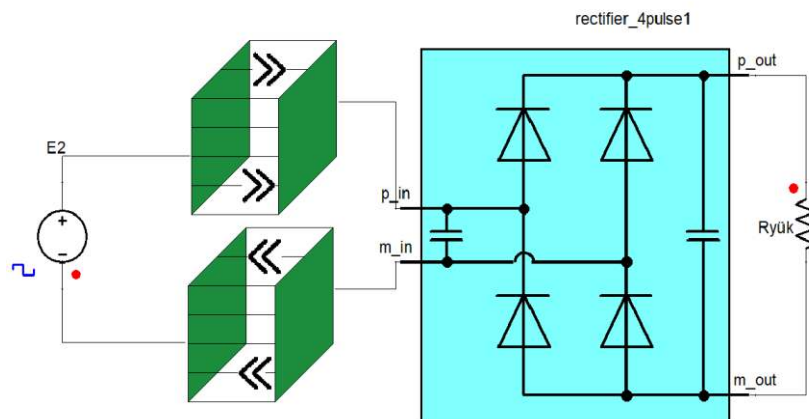
1.3. LAZERLE ENERJİ AKTARIMI SİSTEMİ

Uzun dalga boyuna sahip yüksek güçlü lazer diyotlar ve fotovoltaik hücreler sayesinde elektrik enerjisini onlarca metre üzerinden güvenli ve verimli bir şekilde kablosuz aktarmak mümkün olmaktadır [44]. DLC (Dağıtılmış Lazer Şarjı) dağıtılmış rezonanslı lazere dayalı en çok kullanılan bir TGA teknolojisidir. Tüm optik bileşenler tek bir cihaza entegre edildiğinden, geleneksel lazer sistemleri entegre rezonanslı lazer kapsamına girer. Ancak DLC sistemlerinde optik bileşenler sırasıyla verici ve alıcı olmak üzere iki ayrı kısma ayrılır. Bu nedenle, DLC sistemlerindeki lazer, dağıtılmış rezonanslı lazer kapsamına girer[44]. Şekil 1.9, açıklanan DLC sistem diyagramını göstermektedir. Vericide %100 yansıtıcı özelliğine ve kazanç ortamına sahip Aretro yansıtıcı aynası R1 uygulanır. Alıcıdayken, örnek %95 kısmi yansıtma özelliğine sahip bir geri yansıtıcı ayna R2 bulunur. R1, R2 ve kazanç ortamı, içinde fotonların güçlendirildiği ve kavite içi rezonans lazeri yapısındaki rezonans boşluğundan oluşur. R2'den geçen fotonlar, dış boşluk lazerini oluşturur. Dış boşluk lazer gücü, güneş paneline benzer şekilde R2 aynasının arkasına monte edilen bir fotovoltaik panel (PV paneli) ile elektrik gücüne dönüştürülebilir. Şekil 1.9, kapsamlı DLC sistem tasarımı için vericideki güç kaynağını ve alıcıdaki güç çıkışını içerir[44]. Tıpkı güneş santrallerindeki gibi PV panellerin çıkışına maksimum güç takip sistemi (MPPT) bağlanarak maksimum güç miktarı elde edilebilir.

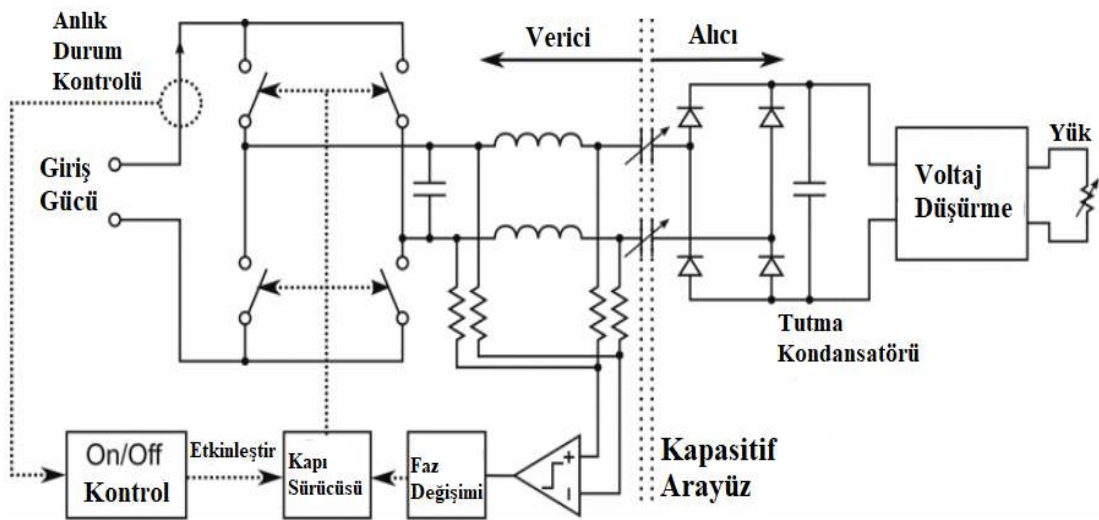


1.4. KAPASİTİF GÜÇ AKTARIMI SİSTEMİ

Kapasitif güç aktarımı, karşılıklı konumlandırılmış dielektrik özelliğine sahip pasif ve aktif niteliğindeki iki plaka (elektrot) arasında elektrik alan kuvvetlerinin belirli frekanstaki titreşimi yardımıyla kapasitif bağlaşım meydana gelir ve aktif plaka ile pasif plaka arasında güç aktarımı elektrik alanlar ile sağlanmış olur. Kapasitif güç aktarımı denilen bu yöntemde nispeten daha düşük güçler daha büyük mesafelere aktarılabilir [45], [46]. Aktarılan güç miktarı, frekans (1Mhz-100Ghz) ile voltajın karesi ve plakalar arasındaki kapasitans ile değişmektedir. Şekil 1.10’da kapasitif güç aktarımı topolojisinin temel devre gösterimi mevcuttur. Günümüzde araştırmacılar melez güç aktarımları üzerine de çalışmalar sürdürmektedirler, ancak ticari uygulamaları henüz görülmemiştir [47]. Örneğin bir araştırmada prototipi yapılmış kapasitif ve indüktif güç aktarımı sistemleri birlikte kontrol edilerek, 1 MHz anahtarlama frekansında %94,5 verimlilikle 2,84 kW çıkış gücüne ulaşılmıştır [48]. Yanlış hizalama altında indüktif güç aktarımı sisteminden daha iyi performansı göstermiştir [48]



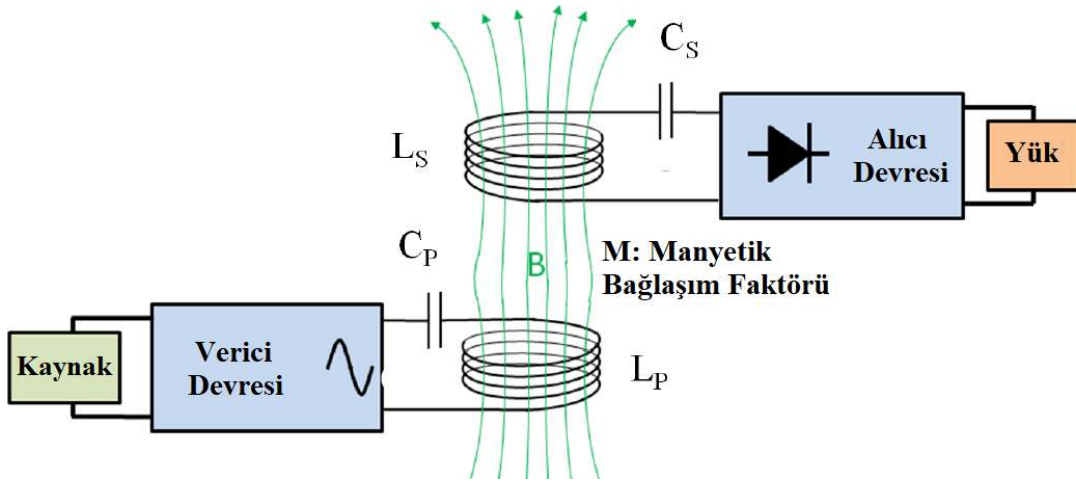
Kapasitif bağlaşımı sağlamak için sistemin rezonansa halinde olması gerekir. Bunu sağlamak için de indüktör ve kapasitör ile kompanzasyon yapmak gerekmektedir. Bu da bir seri indüktör ile birleştirilmiş bir paralel kondansatör (seri-paralel, LC) veya bir paralel indüktör ile birleştirilmiş bir seri kapasitör (paralel-seri LC, ikincil) gibi eşleşmelerden elde edilir [49]. Kapasitif TGA üzerine ilk araştırma, biyomedikal sistemler [50], [51], taşınabilir tüketici elektroniği [52], mobil robotlar [53] ve düşük güçlü, küçük hava boşluğu uygulamalarına odaklanıldı. Ancak, elektrikli araç şarjı gibi yüksek güçlü, büyük hava boşluklu uygulamalar için kapasitif güç aktarım sistemleri yakın zamanda keşfedilmiştir [54], [55]. Örneğin; bir çalışmada dikey plaka yapısı ile kapasitif güç aktarımı sisteminin bir prototipi tasarlanmış ve inşa edilmiştir. Bu prototipte, 150 mm hava aralığı mesafesi ile 1,88 kW çıkış gücünde %85,87 verim elde edilmiştir [56]. Başka bir çalışmadaki prototip sistem, 120 mm'lik bir hava boşluğu boyunca 589 W gücü aktararak $19,6 \text{ kW/m}^2$ 'lik bir güç aktarım yoğunluğu elde edilmiştir [57]. Bir çalışmada TGA sistemlerindeki hizalama hataları gibi sistemdeki bozucu etkilere karşı dinamik bir kontrol devresi tasarlanmıştır [46]. Değişken yük koşullarında çalışma frekansını ve görev döngüsü Şekil 1.11'deki kontrol devresi ile ayarlayarak yüksek verimlilik sağlanır [46]. Elektrikli araçların şarjı için kapasitif TGA sistemlerini tasarlamak, araç şasesinin altında bulunan sınırlı alan ve şasi ile yol arasındaki büyük hava boşluğu nedeniyle özellikle zorlayıcı bir yöntemdir. Özellikle e-bisikletler vb. gibi küçük elektrikli araçlarda şase alanı çok kısıtlıdır.



Şekil 1.11. Dinamik kontrollü kapasitif güç aktarımı devresi [46].

1.5. İNDÜKTİF GÜÇ AKTARIMI SİSTEMİ

İGA'da Michel Faraday'ın temel kanunları geçerlidir. Şekil 1.12'da gösterilen sistem, tıpkı transformatörün çalışma prensibindeki gibi değişken akımın birincil sargıdan geçmesiyle oluşan değişken manyetik alan çizgilerinin ikincil sargıyı etkilemesiyle birlikte, ikincil sargı uçlarında gerilim indüklenmesi mantığıyla çalışır. Dolayısıyla elektriksel bir bağlantı olmadan güç aktarımı gerçekleşmiş olur. Aralarındaki fark manyetik bağlaşım miktarıdır. Transformatörlerde nüve kullanıldığı için bağlaşım faktörü 1'e yakinken, İndüktif güç aktarımındaki manyetik bağlaşım 0,1 civarındadır. Manyetik rezonans bağlaşımı [58], değişen veya salınan manyetik alanlar yoluyla rezonansa girmiş iki bobin (sargı) arasında elektrik enerjisi üreten ve güç aktarımı gerçekleştiren dalgaının eşleşmesine dayanmaktadır [59]. İGA ile aktif gücü yüke aktarmak için birincil ve ikincil bobinlerde oluşan yüksek kaçak endüktansı ve mıknatıslanma endüktansı nedeniyle giriş kaynağından yüksek bir reaktif güç çekilir. Dolayısıyla yüksek reaktif akım nedeniyle iletken ve anahtarlama kayıpları artar ve şebeke zorlanmış olur. Bunları önlemek için TGA sargılarına seri-paralel vb. kombinasyonlarda yüksek reaktif özellikli kondansatör bağlanır ve sistem manyetik rezonansa sokularak kompanzasyon sağlanmış olur [60]. Rezonans frekansı 10Khz-1Mhz aralığında seçilerek tasarım yapılabilir. Frekans değeri arttıkça kullanılan sargı pad'lerinin boyutları düşmektedir.

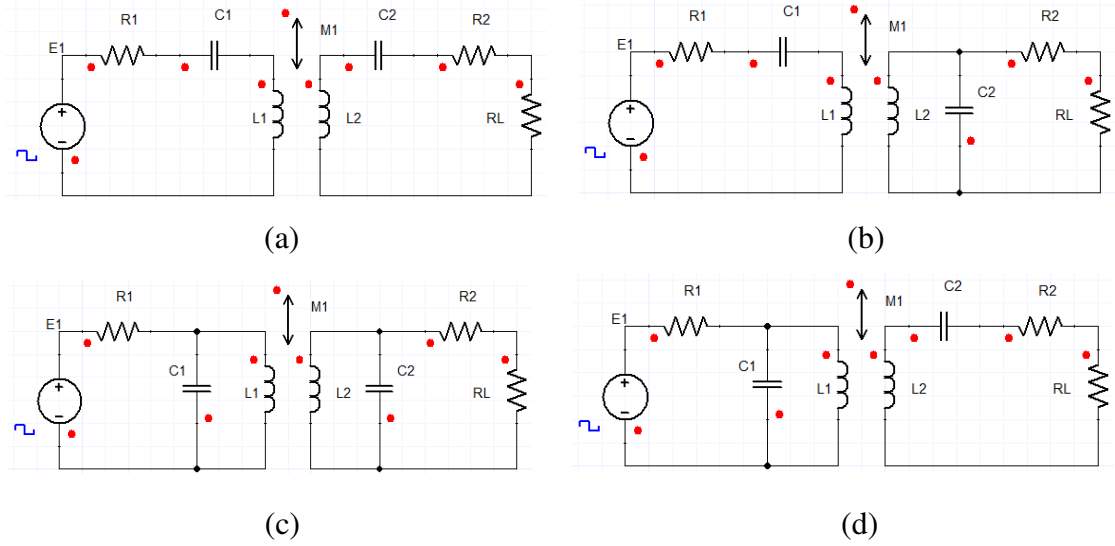


Şekil 1.12. İndüktif güç aktarım sistemi temel yapılandırması [59].

Literatürde İGA tasarımı ile ilgili çalışmalar mevcuttur. Biyomedikal implant prototipinde, 13,56 MHz'lik çalışma frekansı ile düşük hava aralığında 102 mW'lık bir güç %92,6'lık verimlilikle alıcı tarafına ulaştığı gösterildi [61]. Rezonans özelliğinden

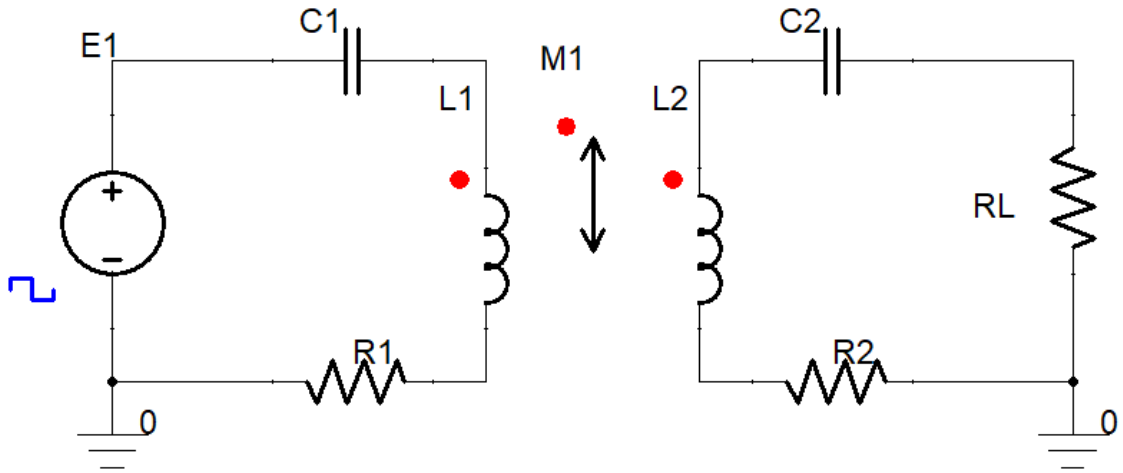
dolayı, bir verici sargı ve birçok alıcı sargı arasında manyetik rezonans bağlaşımı uygulanabilir. Bu özellik, birden fazla cihazın [62], aynı anda şarj edilmesini sağlar [63]–[66]. Düşük mesafelerde yüksek güç aktarımında genellikle İGA tercih edilmektedir. Bir araştırmada, denizcilik uygulamalarında yüksek güçlü endüktif şarj sistemleri tasarımlarının teknik zorlukları tartışılmış ve 1-2 MW aralığında güç aktarımı için geliştirilen çözümlerin genel özellikleri anlatılmıştır [67]. Bu gelişmeler farklı devre topolojilerinin denenmesine ve geliştirilmesine vesile olmuştur.

Şekil 1.13 (a),(b),(c) ve (d)’de gösterilen Seri-Seri (SS), Seri-Paralel (SP), Paralel-Paralel (PP) ve Paralel-Seri (PS) olmak üzere dört temel kompanzasyon topolojisi vardır. Her topolojinin transfer kapasitesi, maliyet vb. açılardan bazı avantaj ve dezavantajları vardır ve özelliklerine göre farklı uygulama alanları vardır. Seri kompanzasyon sekonder sargı devresinde voltaj regülasyonu sağlarken, paralel kompanzasyon ise akım regülasyonu sağlamaktadır [68], [69]. SS ve SP kompanzasyon topolojileri, avantajlı bir güç aktarımı sağlar. Ayrıca, PS ve PP topolojileri, sarım özelliklerinin önemli bir parametre olmadığı düşük güç seviyelerinde aynı çalışma frekansı için daha büyük hava aralığında tercih edilebilir [70]. Sistemi rezonans frekansında çalıştırmak ve böylece maksimum güç aktarımı elde etmek için sekonder tarafında ilave kondansatör kullanılırken, şebeke bağlantılı primer sargı tarafında reaktif güç talebini sıfıra yaklaştırmak için kondansatör kullanılır. SS topolojisindeki sargıların boyutu ve hacmi diğer topolojilere göre daha düşüktür. Sargı boyutları küçük olmasına rağmen aktarılan güç değişmez. Bu nedenle SS kompanzasyon topolojisi İGA sistemlerinde genel olarak tercih edilmektedirler [71]. Geleneksel kompanzasyon sistemlerinde voltaj regülasyonu kabiliyeti zayıf olduğu için ilave kapasitans veya endüktans eklenerek farklı topolojiler de geliştirilmiştir. Bunlar, primer ve/veya sekonder sargı tarafına uygulanabilen LLC, LCC, LCL, CLLC ve CLCL topolojileridir. Sistemin kararlılığını daha da geliştirmek için, her iki sargı tarafında LCC topolojisi önerilmiş ve ayarlama yönteminin, rezonans frekansının kuplaj katsayısından ve yük koşullarından bağımsız olması için anahtarlama yöntemleri geliştirilmiştir. CLLC topolojisi kullanılan bir çalışmada, sistem sabit voltaj modunda iken dinamik akım kontrolü ile 500 W’lık bir güç %96 verimlilikle aktarılmıştır. TGA sistemi %75 nominal yükte ve şarj modunda çalıştırılmıştır [72]. LLC, LCC ve LCL topolojiler kullanıldığındaki sakınca devrenin karmaşık olmasıdır. Bunun yanı sıra devrenin kontrol yönlerinin arttırması önemli bir üstünlüktür [73].



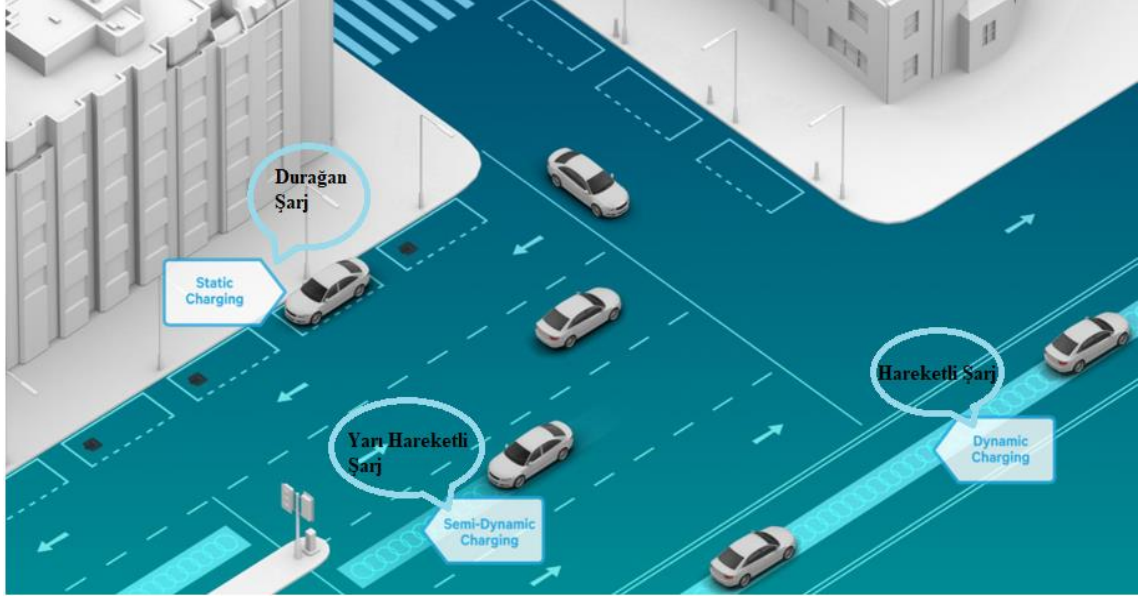
Şekil 1.13. Kompanzasyon topolojileri (a) SS, (b) SP, (c) PP, (d) PS.

Bu çalışmada kullanılan devre topolojisi, İGA sistemlerinde en yaygın kullanılan Seri-Seri (SS) rezonans devre topolojisidir. SS devre topolojisi, birincil ve ikincil bobine seri kondansatör bağlı olan devre topolojisidir (Şekil 1.14). Şekil 1.14’de ki devrede R_1 ve R_2 sargı dirençlerini temsil eder. Kompanzasyon için kullanılan kondansatörler C_1 ve C_2 ile temsil edilir. Sargıların öz endüktansı L_1 ve L_2 ile ifade edilirken aralarındaki manyetik bağlaşım faktörünü M_1 ile ifade edilir. TGA sisteminde alıcı ve verici arasındaki manyetik bağlaşımın maksimum olduğu rezonans frekansında maksimum güç aktarılmış olur [74]. Zayıf manyetik bağlaşımında manyetik saçılım yüksek olmaktadır. Bu nedenle araç şasesi üzerinde demir kayıpları ve ısınmalar oluşur. Manyetik bağlaşımı arttırmak için ferit nüveler kullanılabilir.



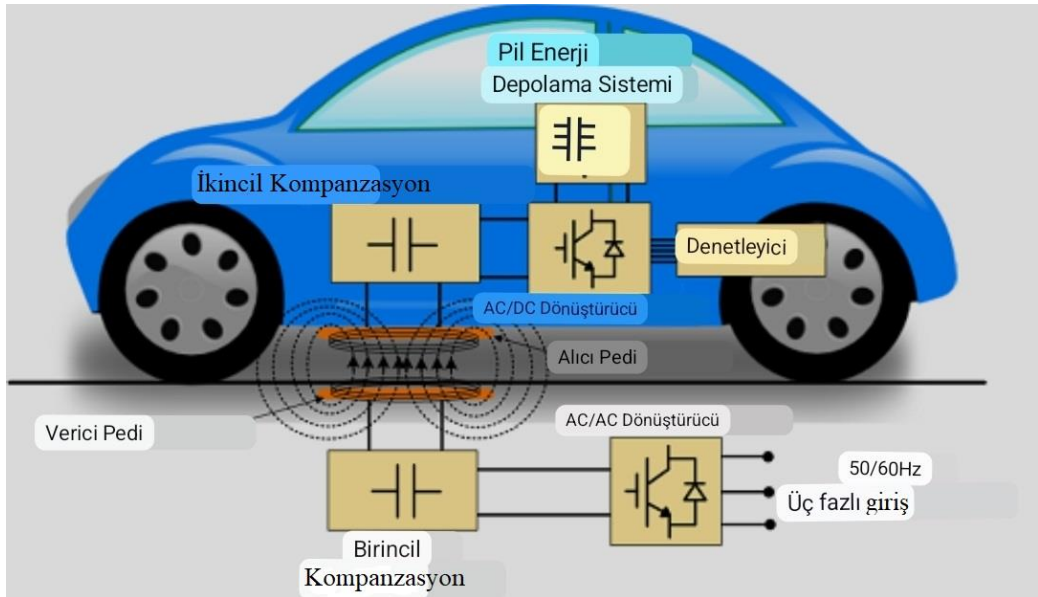
İGA sistemlerindeki sargı yapıları genellikle spiral daireler ve dikdörtgen geometriler olarak tasarlanır. Spiral daireli sargı yapısının karşılıklı endüktans değeri, dikdörtgen geometrilili sargı yapısından %45-50 daha yüksektir [75]. Fakat manyetik bağlaşım faktörü daha yüksek olmasına rağmen, dikdörtgen geometrilili sargı yapıları, hizalama hataları performansından ve elektrikli araçların şase şekillerinden dolayı daha çok tercih edilirler. Bu nedenle, EA uygulamalarında dikdörtgen geometriler daha yaygındır [75]. Bu sargı tiplerinin dışında DD (double BP (bipolar), DDQ (double-D quadrature) gibi sargı yapıları da tercih edilebilir [76], [77]. DD bobinler birbirine seri iki adet kare veya dikdörtgen bobinden meydana gelir [76]. Yatay hizalama hatalarına karşı yüksek toleransa sahiptir [78]. Bu özelliğinden dolayı hem statik hem de dinamik sistemlerde primer tarafta kullanıma uygun bir sargı tipidir [79]. DDQ bobin DD bobin yapısının ilave sargı ile geliştirilmiş bir versiyonudur. DD bobine eklenen Q bobinler ile yatay yöndeki hizalama hata toleransı daha yüksektir. Manyetik akı vektörünün hem sinüs ($\sin\alpha$) hem de kosinüs ($\cos\alpha$) bileşenlerini yakalama kabiliyeti sebebiyle sekonder tarafta kullanıma uygundur [79]. Dikdörtgen sargı tasarımıyla yapılan bir İGA çalışmasında hizalama hataları, eksen kaçıklığı ve eğim açısı konu başlıkları altında incelenmiştir. Buna göre, 200 mm hava aralığında ideal hizalama koşullarında maksimum verim olan %75,38'lik bir oranla 1.5 kVA'lık bir güç aktarılmıştır. Eksen hizalama hatasında maksimum verim %33,35'lik bir değere düşerken, 2 derecelik eğim açısı hizalama hatasında bu değer %46 olarak sonuçlanmıştır [80].

İGA yöntemiyle çalışan kablosuz şarj sistemleri, kullanım koşullarına göre tasarlanabilir. EA'ların kullanımının hızla artması ile birlikte şarj esnasında zaman kaybının yaşanmaması ve menzil mesafelerinin artırılması amacıyla gelecek planlamalar Şekil 1.15'de gösterilmektedir. Bu planlamalar, durağan şarj istasyonları (static charging), yarı hareketli şarj sistemleri (semi-Dynamic charging) ve hareketli şarj sistemleri (Dynamic charging) olacak şekilde 3 farklı yapıda görülmektedir. Durağan şarj istasyonları açık otopark vb. alanlarda, yarı hareketli şarj sistemleri trafik lambaları vb. yerlerde ve hareketli şarj sistemleri ise otoyollar, bisiklet yolları, tramvay yolları vb. yollarda kullanılabilir.



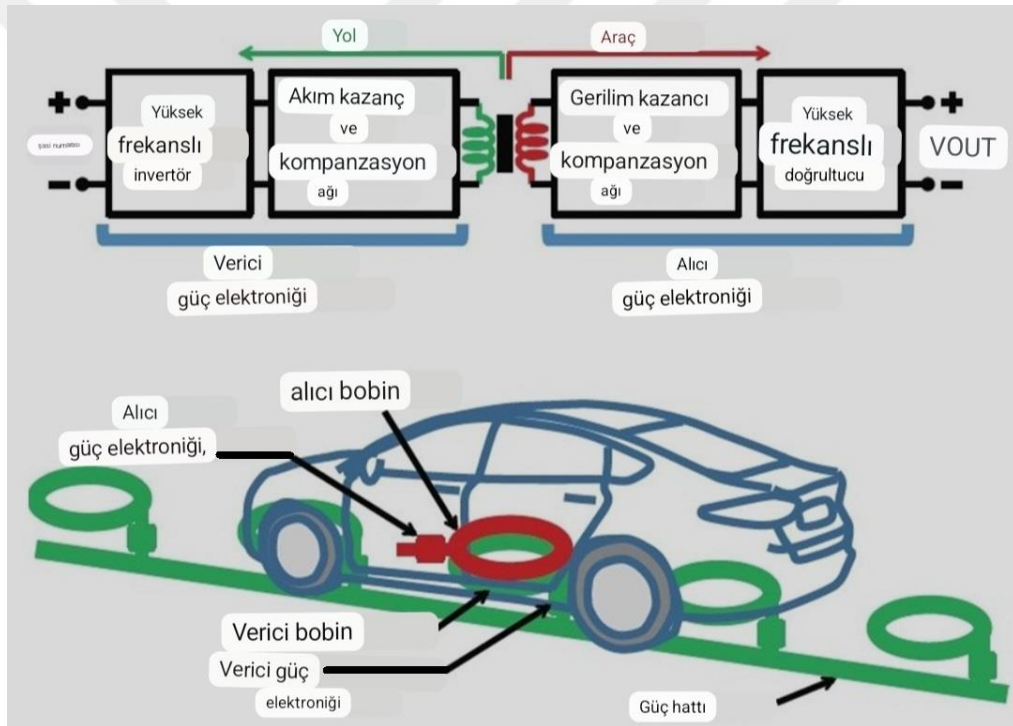
Şekil 1.15. Gelecek için planlanan temassız üç şarj seçeneği [81].

Şekil 1.16’da genel gösterimi yapılan durağan TGA sisteminin, çalışma prensipleri ve teknolojik gelişimleri hakkında [82], [83]’de ki çalışmalarda bahsedilmektedir. Durağan temassız şarj istasyonları tıpkı temaslı şarj istasyonu gibi araçların şarj bölgesinde konumlanması ile gerçekleşir. Durağan temassız şarj esnasında aracın şarj istasyonuna tam olarak konumlanması verimli güç aktarımı için önemlidir. Hizalama hatası olmazsa aktarılan güç miktarı artacak ve sistem daha verimli şarj imkânı sağlayacaktır. Kablolu şarj istasyonuna göre faydaları, kablo karmaşasını ve bağlantı ekipmanlarından kaynaklı arızaları azaltmaktır.



Şekil 1.16. Temassız durağan şarj sisteminin şeması [83].

Şekil 1.17’de görsel hareketli temassız şarj sistemlerinin temel yapısını ve bir çalışmadaki prototip ürünün tasarımını temsil etmektedir [84]. Bu çalışmada bir E-bisikletin şarj gereksinimini TGA yöntemiyle prototip olarak gerçekleştirilmiştir. Deneysel sonuçlara göre %79’luk bir bağlantı verimi ile 100 W’lık bir güç alıcı tarafına aktarılmıştır [84]. Hareketli şarj sistemlerinde araçlar duraksamadan şarj oldukları için zamandan tasarruf sağlanmış olur. Ancak hareketli temassız şarj sistemlerinin kurulum maliyetleri temassız şarj istasyonlarına kıyasla yüksek oluyor. Hareketli şarj sistemlerinde düz hat şeklinde birbirini ardına yerleştirilmiş sargı topolojileri de önerilmektedir [85]. Hareketli şarj sistemlerinin otoyollara kurulumu mevcut otoyolların kapatılmasını gerektirdiği için trafiğe olumsuz etkileri olacaktır. Ancak yeni yapılacak otoyollar, bisiklet yolları vb. yollarda yapımı daha kolay olacaktır.



Şekil 1.17. Temassız hareketli şarj sistemi şeması [84].

Bazı ana hatlarıyla bahsettiğimiz TGA sistemlerinde en çok kullanılan İGA yöntemini çalışmamızda kullandık. Bu yöntemi kullanarak e-bisikletlerin şarj gereksinimi sağlayan en uygun tasarımı gerçekleştireceğiz. Bu çalışmada, İGA sisteminin güvenilirliği ve verimliliği için manyetik ekranlamanın etkinliği incelenecektir. Bir sonraki bölümde ekranlama türlerinden bahsedilecektir. Tasarımda kullanacağımız ekranlama modeli hakkında seçim yapılacaktır.

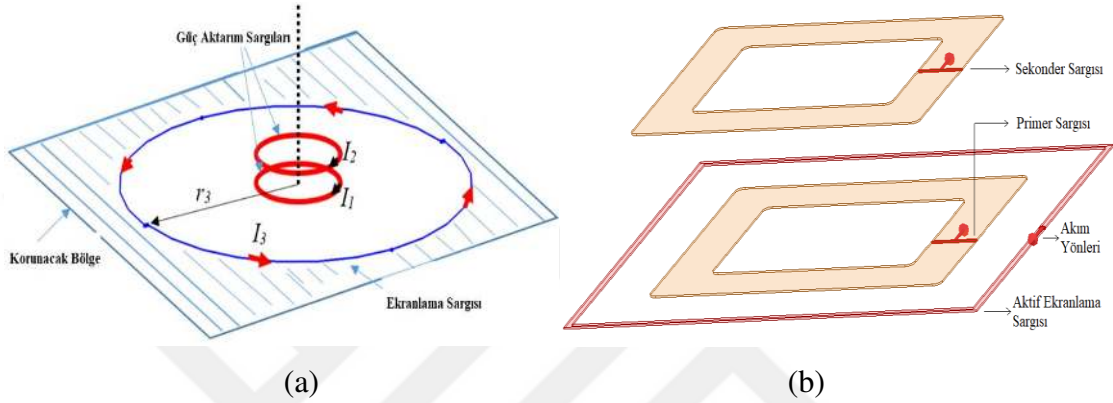
2. TEMASSIZ ŞARJ SİSTEMLERİNDE EKLANLAMA TÜRLEİ

Elektrikli araçların şarj gereksinimini sağlayan temassız şarj sistemleri gelişim aşamasındadır. Yüksek frekanslara çıkan kablosuz şarj sistemleri gün geçtikçe sargı boyutlarının küçülmesi ve sistemin daha verimli hale gelmesi ile gündeme gelmektedir. Ancak bu sistemde yüksek frekansta kaçak manyetik akı kuvvetleri ortaya çıkmaktadır. TGA sistemlerinde insan sağlığı için en önemli faktör manyetik saçılım miktarını ICNIRP vb. standartlarına uygun hale getirmektir. Bunu sağlamak için manyetik ekranlama yapılması gerekmektedir. Manyetik bağlaşım ile birbirine bağlanan iki sargı arasındaki bağlaşımı bozmadan, güç akarımı için kullanılan aktif alan dışındaki manyetik akı yoğunluklarını azaltmak için optimize edilmiş ekranlama yapılmalıdır. Kullanılan malzeme ve kontrol yapısına göre TGA’da kullanılan ekranlama yöntemini iki alt başlıkta inceleyebiliriz. Bu başlıklar aktif ekranlama ve pasif ekranlamadır.

2.1. AKTİF EKLANLAMA

Şekil 2.1 (a) ve (b)’de gösterildiği gibi aktif ekranlamada güç aktarım sargılarının oluşturduğu manyetik alanı sınırlandırmak için bu sargıların etrafına bir ekranlama sargısı yerleştirilir. Ekranlama sargısından geçen akımın yönü, manyetik alanı baskılayacak şekilde olmalıdır. İlave bir nüve kullanılmadığı için verimli bir ekranlama sistemidir. Genelde Şekil 2.1 (a)’da gösterildiği gibi dairesel ya da Şekil 2.1 (b)’deki gibi dikdörtgen şeklindeki geometriler kullanılmaktadır, ancak farklı tasarımlar hakkında da çalışmalar mevcuttur [86]–[89]. Ekranlama için kullanılan sargı ile güç akarım sargıları genelde eş merkezli olarak aynı eksene konumlandırılırlar. Ancak pasif ekranlama ile hibrid şekilde kullanımı önerilen [90]’deki çalışmada olduğu gibi, EA’ların belirli bir bölgesindeki manyetik akı yoğunluğunu sınırlandıracak şekilde de ekranlama sargısı yerleştirilebilir. Genelde güç aktarım sargılarını kapsayacak tek bir ekranlama sargı kullanılırken, gözenekli sargı yapısı da önerilmiştir. Böylece ekranlama denetimi daha hassas şekilde gerçekleştirilebilir [91]. Örneğin, hareketli şarj sistemleri modelindeki çoklu birincil sargı yapısına uygun olan ekranlama yöntemi için gözenekli sargı yapıları daha kararlı bir ekranlama sağlayabilir.

Temel olarak, ana sargıdan geçen akım değeri arttıkça, temel manyetik akı yoğunluğu da artar. Bu nedenle ekranlama etkisini korumak için ilave sargıdan geçen akımın yönü ve frekansı da ana sargı akımı ile değişmelidir [92], [93]. Aktif ekranlama için pad alanının çok çok üzerinde bir yüzey alanına gereksinim duyulur. Bu nedenle her ne kadar araca ilave ağırlık açısından aktif ekranlama üstünlüğe sahip olsa da e-bisiklet gibi uygulamalarda aktif ekranlama yapılabilmesi için yeterli alt şase alanı bulunmadığından kullanımı uygun değildir.

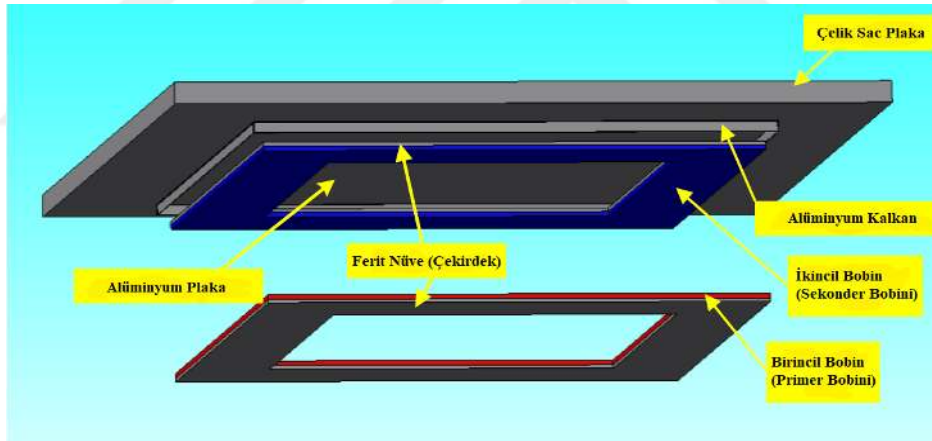


Şekil 2.1. (a) Dairesel ve (b) Dikdörtgen aktif ekranlama yöntemi genel gösterimi.

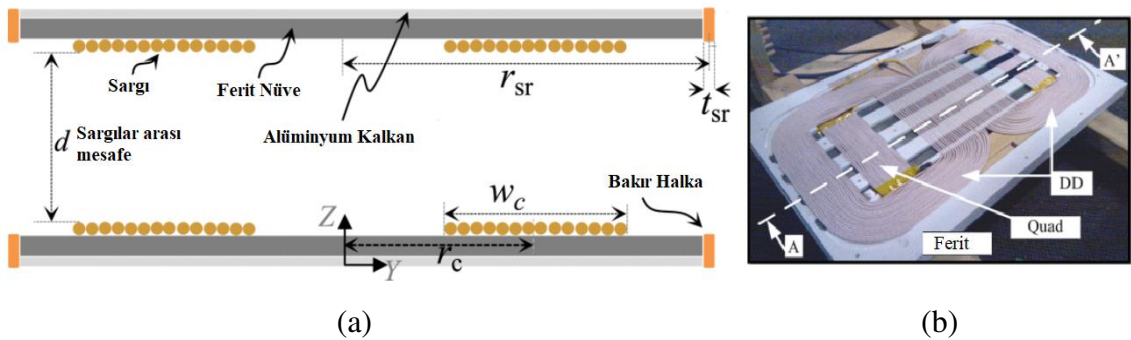
2.2. PASİF EKLANLAMA

Birincil sargı ve ikincil sargı pad'lerinden geçen akımlar ile oluşan manyetik akı saçılmalarını azaltmak için ferromanyetik nüve ve/veya alüminyum plaka kullanılmasına pasif ekranlama denir. Pasiflik özelliği, aktarılan güç miktarı değişse de kontrolsüz bir şekilde ekranlamanın yapılmasından gelir. Buradaki temel amaç, sargı manyetik akı yoğunluklarını istenilen yüzey alanı boyunca yönlendirmek ve/veya sınırlandırmaktır. Bu nedenle ferromanyetik ve/veya paramanyetik malzemeler kullanılır. Çalışma frekansı dikkate alındığında ferromanyetik malzeme olarak genelde ferit nüve parçaları kullanılır. Manyetik alanı sınırlandırmak için ise alüminyum plakalar tercih edilmektedir. Ferit nüve ve alüminyum plaka boyutları, güç aktarımı sisteminin nominal çalışma akım değerlerine göre tasarlanır [94]. Pasif ekranlama sadece ferit nüve kullanımı ile olabilirken, nüve kullanımını azaltmak için Şekil 2.2'deki gibi alüminyum ekranlama ile birlikte de kullanılabilir. Elbette ki İGA'da ferit ve/veya alüminyum malzeme kullanıldığında, manyetik kuplaj ve dolayısıyla aktarılan güç miktarı değişir. Fakat ferit nüve ile alüminyum levhanın ağırlık ve maliyetini de göz önünde bulundurduğumuzda, sadece EA'ların şasesindeki sekonder sargı için yapılması daha uygundur. Bu nedenle, yalnızca

alıcı tarafında ekranlama yapısı modellenmiştir. Bir çalışmada 6 kW gücündeki TGA sisteminde pasif ekranlamanın termal etkileri ve çözümleri incelenmiştir [95]. Pasif ekranlamanın optimize edilmesiyle ilgili çalışma yapılmıştır. Şekil 2.3 (a)'da gösterilen çalışmada 7 kW gücündeki sargı tasarımında pasif ekranlama olarak 5 mm kalınlığında ferit nüve ve 3,17 mm kalınlığında alüminyum levha kullanılmıştır [96]. Çalışmada ki ekranlamanın kalınlık parametreleri Taguchi yöntemi ile optimize edilmiştir. Hizalama hatalarına karşı toleransı yüksek olan DD-Q şeklindeki spiral dikdörtgen bobin tasarımında, ferit nüve ile pasif ekranlamanın kullanılması hakkında yapılan çalışma Şekil 2.3 (b)'de gösterilmektedir [97]. Bu çalışmadaki sisteme yatay ekseninde 130 mm hizalama hatası olduğunda pasif ekranlamanın etkisinin devam ettiği gözlemlenmiştir. Literatürdeki çalışmalar incelenmiş ve ekranlamanın önemi vurgulanmıştır. 3.4'teki bölümde Alüminyum ve ferit nüvenin manyetik bağlaşıma etkileri daha detaylı anlatılacaktır. Bu yöntem e-bisiklet gibi küçük güçlü elektrikli sistemler için önerilmiştir. Sekonder sargısıyla birlikte alüminyum plaka ve ferit nüve seçimi parametrik analizlerin sonucuna göre gerekli niteliklerde belirlenmiştir.

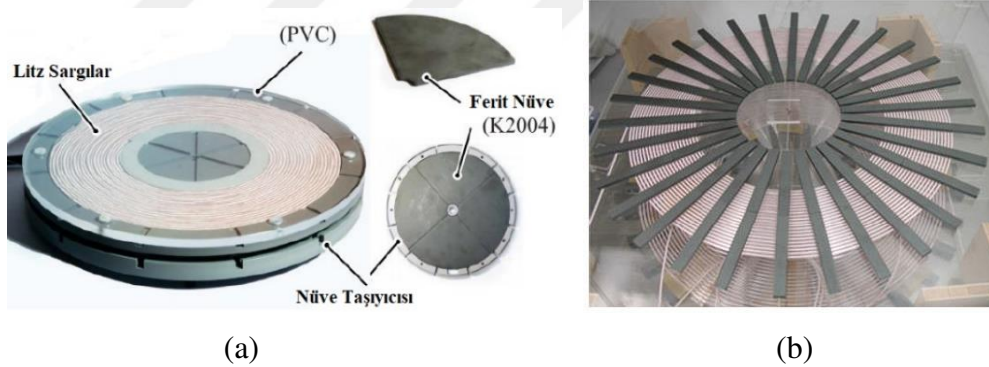


Şekil 2.2. Pasif ekranlama yönteminin genel gösterimi [94].



Şekil 2.3. (a) Pasif ekranlama optimizasyonu [96] ve (b) Pasif ekranlama yapısına sahip DD-Q sargı tasarımında hizalama hatalarının incelenmesi [97].

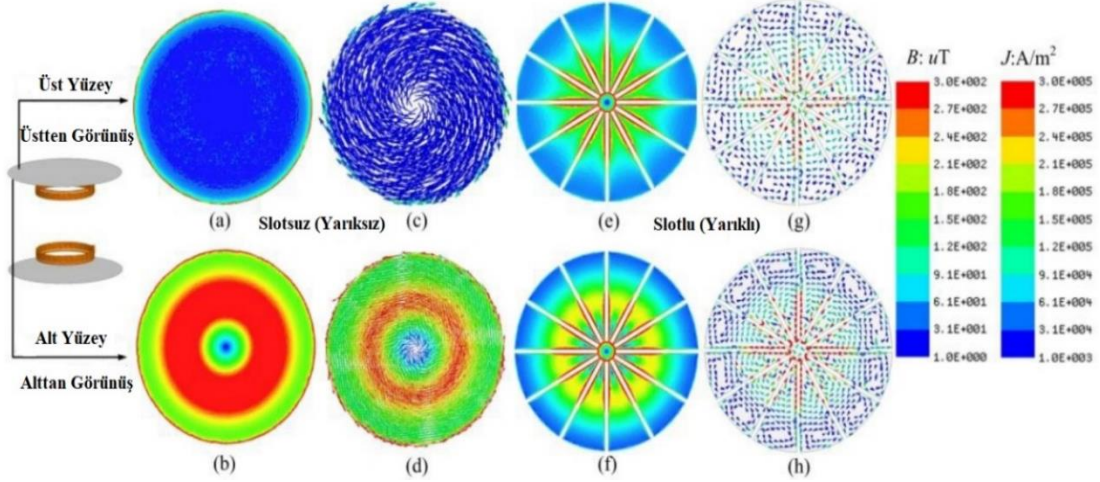
Şekil 2.4 (a) ve (b)'de gösterildiği gibi, manyetik bağlaşımı artırmak için en çok kullanılan yapılar, Şekil 2.4 (a)'da dilimli ferit levha [98] ve Şekil 2.4 (b)'deki ferit çubuklardır [99], [100]. [98]'deki çalışmada farklı bir ferit nüve geometrisi üzerine çalışılmıştır ve prototipi yapılmıştır. Bu çalışmada 210 mm çapındaki sargı pad'i ile 52 mm hava aralığında, 5 kW'lık bir güç miktarı %96,5 verimlilikle sekonder sargısına aktarılmıştır. [99]'deki çalışmada kullanılan 600 mm uzunluğunda, 5 mm kalınlığında ve 4,8 kg ağırlığı olan ferit çubuklar ile ekranlama yapılmıştır. Deneyde 100-170 mm hava aralığında %90'nın üzerinde verimlilik ile 3 kW'lık güç aktarımı yapılmıştır. [100]'deki çalışmada ferit nüve çubuklarının farklı dizilimleri incelenmiş ve 2 kW'lık bir güç aktarımı sağlanmıştır. Yapılan ferit nüve dizilimi ile ICNIRP standartlarındaki manyetik saçılma sınır değerlerinin altında bir manyetik akı yoğunluğu gözlemlenmiştir. Bir çalışmada TGA sistemlerindeki çalışma frekansının 100Khz olması nedeniyle yüksek frekanslarda çalışma özelliğine sahip Ferromanyetik malzeme olan Ferit nüve tercih edilmektedir. Çalışmanın amacında sargı akımlarının fazlarını kontrol ederek de manyetik saçılmaların azaltılabileceği sonucuna varılmıştır [101].



Şekil 2.4. (a) Dilimli ferit levha [98] (b) Ferit çubuklar ile pasif ekranlama yöntemi [99], [100].

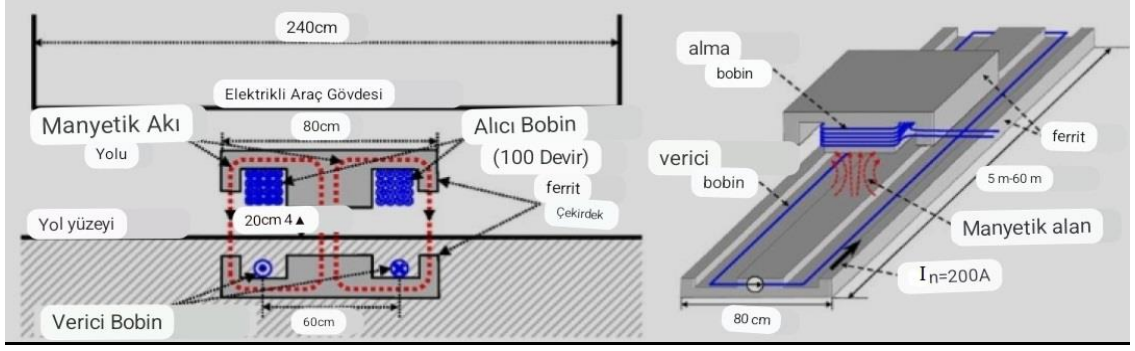
Akademik bir çalışmada, İGA yöntemiyle alıcı tarafına 3 kW'lık bir güç aktarımını sağlayan sistem üzerinde ekranlama yöntemi deneysel olarak uygulanmıştır. Bu çalışmada kullanılan alüminyum levhanın oluklu ve oluksuz yapıdaki tasarımlar gerçekleştirilmiş ve ekranlamaya etkileri incelenmiştir [102]. Alüminyum levhanın alt ve üst yüzeyindeki girdap akım değerleri ve manyetik akı yoğunlukları Şekil 2.5'de gösterilmektedir. Çalışma kapsamında yapılan analizler sonucunda; levhanın alt kısmında girdap akımları ve manyetik akı yoğunlukları üst yüzeye göre daha fazladır. Oluklu levhanın dilim adedi 12 ve oluk genişliği 2 cm iken; olukların kenarındaki akım

yoğunluğu artmasına rağmen toplam akım miktarı hava boşluğunun direnci nedeniyle azalmıştır. Manyetik akı yoğunluğu levhanın üst kısmına bakarak incelendiğinde oluksuz düz levhanın güvenilirliği ön plana çıkmaktadır. Ekranlama levhasının üst yüzeyi manyetik saçılımının kullanıcı tarafına yansımaları belirtir. Dolayısıyla güvenilirlik açısından oluksuz olan düz alüminyum ekranlama tercih edilmelidir.



Şekil 2.5. (a) Üst yüzeyde ve (b) Alt yüzeyde; oluksuz bir alüminyum üzerindeki manyetik akı yoğunluğu: (c) Üstte yüzey ve (d) Alt yüzeyde; oluksuz bir alüminyum üzerindeki girdap akımları yoğunluğu: (e) Üstte yüzey ve (f) Alt yüzeyde; oluklu bir alüminyum üzerinde manyetik akı yoğunluğu: (g) Üstte yüzey ve (h) Alt yüzeyde; oluklu bir alüminyum levha üzerindeki girdap akımları yoğunluğu gösterilmektedir [102].

Şekil 2.6’da gösterilen tasarımda otobüsün alt şasesine yerleştirilen 5 adet 20 kW’lık sargı modüllerinden oluşan toplam 100 kW gücündeki TGA sistemine, pasif ekranlama yönteminin uygulanması incelenmiştir ve SEY ile analizleri yapılmıştır [103]. Başlangıç modülünden gelen EMF’yi (Elektro Motor Kuvvet, E, V) azaltmak için kapasitif dizi ile reaktif rezonans oluşturulur. Sistemde alıcı tarafında E şekline benzer geometride ferit nüve kullanılmıştır. Sargı olarak 100 sipirli bir sargı tasarlanmıştır. Verici tarafında ise büyük kütleli bir ferit nüve kullanılmıştır. Sargı olarak tek sarımlı bir yapı gözükmemektedir. Verici sargısından yaklaşık 200 A değerinde akım geçtiği belirtilmiştir. ICNIRP standartlarındaki değerin altında manyetik akı yoğunluğunun olduğu belirtilmiştir. Bu çalışmadaki yapı şekilsel ve kütleli olarak çok büyük olduğu için hafif elektrikli araçlar için tercih edilmemektedir.



Şekil 2.6. TGA sisteminin kullanılması; (a) Kesit ve (b) Perspektif görünümü [103].

3. E-BİSKLET'İN TEMASSIZ ŞARJI İÇİN PASİF EKRANLAMA TASARIMININ 3D MODELİ VE SEY ANALİZLERİ

İndüktif güç aktarımı, kapasitif güç aktarımına göre daha düşük rezonans frekanslarında çalıştığından günümüzde daha çok tercih edilmektedir. Ancak manyetik alanın canlılar üzerine olan etkileri dikkate alındığında, manyetik saçılımlara dikkat edilmeli ve önlem alınarak ekranlama yapılmalıdır. Bu çalışmada; 250W motor gücüne sahip Volta VT3 e-bisikletin şarj gereksinimlerine uygun olarak tasarlanan bir indüktif güç aktarımı sisteminde, ekranlama tasarımının süreçleri incelenmiştir. Çizelge 3.1'de seçilen e-bisiklet için TGA sisteminin tasarım kısıtları verilmiştir. Aynı e-bisiklet özellikleri için yaklaşık 115W güç aktarımı sağlayan bir pad tasarım çıktıları [104]'da verilmiştir. [104]'deki çalışmada birincil ve ikincil sargı pad üzerinde nüve kullanılmadan istenilen mesafeden gerekli güç aktarımı sağlanmıştır. Araç şasesi üzerinde oluşan manyetik saçılımlar ise dikkate alınmamıştır. Şase üzerindeki olası demir kayıplarını azaltmak ve canlılar için güvenli manyetik saçılım aralığında güç aktarımı için uygun bir ekranlama tasarımı yapılmalıdır.

Çizelge 3.1. Elektrikli Bisikletin Kablosuz Şarj Sistemi Tasarım Kriterleri.

Batarya Grubu	3x12V 20 Ah
Şarj Gereksinimleri	36-44V-- 2,5 A
Zeminden Yükseklik	120 mm
Şasede Uygun Montaj Alanı	220*256 mm ²
Şase Malzemesi	ST37 çelik düz taban

Çizelge 3.2'de 250W e-bisikletin şarj gereksinimlerine uygun bir nüvesiz indüktif güç aktarımı sisteminin tasarım verileri görülmektedir. Tez kapsamında, Çizelge 3.1'deki verilerden faydalanılarak 3 boyutlu ekranlama sistemleri tasarlanmış ve aynı büyüklükte bir güç aktarımı gerçekleştirilmiştir. Bunun için tasarım sargı boyutları başlangıç sistemi olarak kabul edilmiştir. Ardından sekonder tarafa, sargı boyutlarından geniş bir sınırlı yüzey alanına sahip alüminyum plakanın yerleştirilmesiyle birlikte, ekranlama etkisi gözlemlenmiştir. Daha sonra manyetik bağlaşımı artırmak için ferit çubuk nüvelerin yerleştirilmesinin sisteme etkileri incelenmiştir.

Çizelge 3.2. Şarj Gereksinimlerini Sağlayan KGA Tasarım Parametreleri [104].

Değişkenler (<i>Variables</i>)	Değerler (<i>Values</i>)	Değişkenler (<i>Variables</i>)	Değerler (<i>Values</i>)
L_1 : Primer Endüktans	203,1 μH	I_p : Primer Akımı	2,94 A (rms)
L_2 : Sekonder Endüktans	187,31 μH	I_s : Sekonder Akımı	2,85 A (rms)
M: Ortak Endüktans	25,5 μH	N_p : Primer Sarım Sayısı	25 sipir
C_1 : Primer Kapasitans	17,26 nF	N_s : Sekonder Sarım Sayısı	24 sipir
C_2 : Sekonder Kapasitans	18,72 nF	f_n : Çalışma Frekansı	85 KHz
R_1 : Primer Sargı Direnci	0,433 Ω	D: Sargılar Arası Mesafe	100 mm
R_2 : Sekonder Sargı Direnci	0,406 Ω	P_{tr} : Transfer Edilen Güç	115 W

Pasif ekranlamada kullanılan malzemelerin manyetik etkisi doğrusal olmadığından, etkilerin analitik yöntemler ile tam olarak incelenmesi çok zordur. Bu nedenle Sonu Elemanlar Yöntemini (SEY) kullanan paket programlar kullanılır. Ekranlamanın etkisini tam olarak gözlemlemek için üç modelleme süreci takip edilmiştir. Bunlar;

- Başlangıç sargı çiftinin tasarımı
- Alüminyum ekranlama tasarımı
- Alüminyum ekranlama ve ferit nüve tasarımıdır.

Bu tasarımlar ayrı ayrı incelenip birbirleriyle karşılaştırılarak konunun daha iyi anlaşılması ve en uygun tasarımın bulunması sağlanacaktır.

3.1. BAŞLANGIÇ SARGI ÇİFTİ TASARIMI

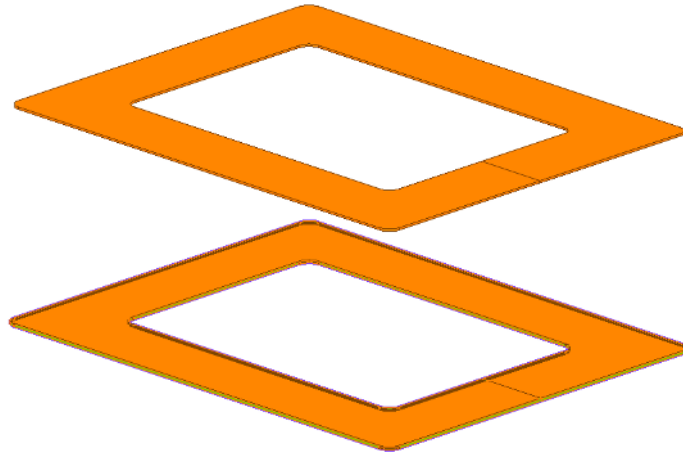
Başlangıç sargı çiftlerinin tasarımı için [104]'deki elektrikli bisiklet şarj gereksinimleri ve optimum sargı boyutları dikkate alınmıştır. Bisiklet alt şasesinin şekli nedeniyle dikdörtgen sargı yapısı kullanılmıştır. Sargılar 38AWG 100 demet örgülü 1,12838 mm çapında litz telinden oluşturulmuştur. Bu litz telin kesit alanı (S_{cu}) (3.1) formülü ile hesaplanır. Buna göre akım yoğunluğu (J_{cu}) formülü (3.2) üzerinden akım taşıma kapasitesinin etkin değeri belirlenir. Analiz çıktılarında akımların tepe değeri alındığı için bir önceki formülden çıkan sonuçları kullanarak (3.3) formülü ile maksimum akım taşıma kapasitesi sınır değeri hesaplanır. Buna göre sargı iletkeninin maksimum akım taşıma kapasitesi (I_{max}) 5,66 A olarak belirlenir. Tasarım yapılırken hesaplanan maksimum akım taşıma kapasitesinden daha küçük akım değerlerinin olması gerekmektedir.

$$S_{cu} = \left(\frac{D_{cu}}{2}\right)^2 * \pi = 1,000001476 \text{ mm}^2 \quad (3.1)$$

$$I_{rms} = J_{cu} * S_{cu} = \frac{4 \text{ A}}{\text{mm}^2} * 1,000001476 \text{ mm}^2 = 4A(rms) \quad (3.2)$$

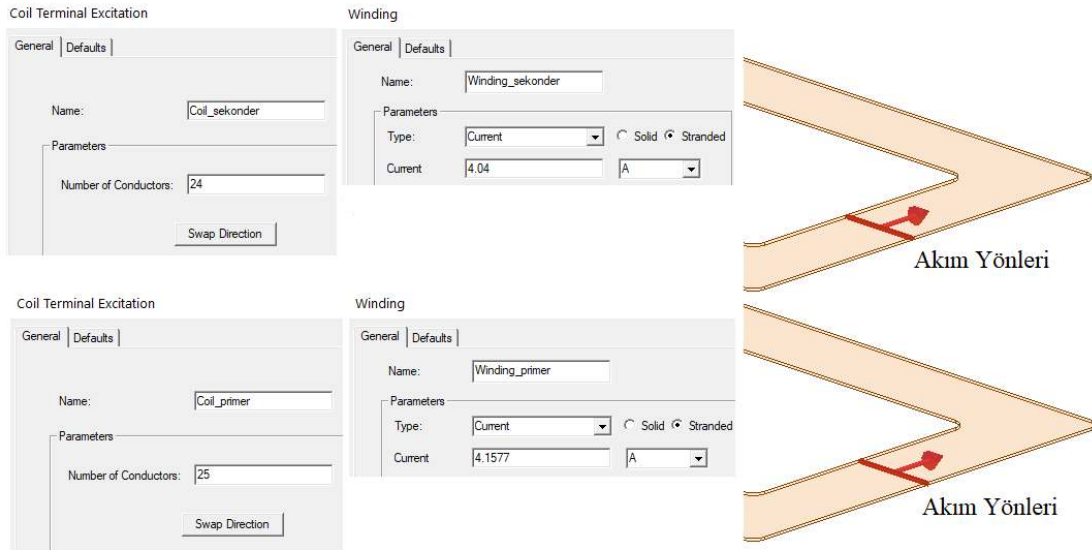
$$I_{max} = J_{cu} * \sqrt{2} = 4 \text{ A (rms)} * \sqrt{2} = 5,66A \text{ (max)} \quad (3.3)$$

Dikdörtgen birincil sargının dış ölçüleri, 240x190 mm ebatlarındadır. Dikdörtgen ikincil sargısı dış çap ölçüleri ise 237x187 mm olarak belirlenmiştir. Bu ölçülerde 3D katı modellenli oluşturulan sargı çifti Şekil 3.1 'de görülmektedir. Optimum sargının sarım sayıları ve anma akım değerleri dikkate alınarak akım yönleri belirlenmiştir (Şekil 3.2). Analizde hızlı çözüm elde edebilmek için spiral sargı yerine, katı tek bir sargı modeli kullanılmıştır. Yapılan eddy akım analizlerinde sargı çiftinin öz ve ortak endüktans değerleri [104]'de belirtilen analitik hesaplama ve deneysel ölçüm sonuçları ile tutarlı olarak elde edilmiştir. Manyetostatik analizde anma akımların tepe değerleri dikkate alınmıştır. Böylece standartlarda belirtilen manyetik alan şiddetinin tepe değerleri incelenebilir.



Şekil 3.1. Başlangıç sargı çiftinin 3D genel görünümü.

Şekil 3.2'de SEY paket programındaki tasarım aşamaları görsel yardımıyla anlatılmıştır. Coil Terminal Excitation bölümünden her iki sargı için sarım sayıları ve yönleri belirlenir. İkinci penceredeki Winding bölümünde ise sargıların akım tepe değerleri ve sarım modeli olarak stranded (katmanlı) seçilir. Böylece başlangıç sargı çifti 3D tasarım aşamaları gerçekleşmiş olur.



Şekil 3.2. Başlangıç sargı çifti 3D katı model tasarımı.

3.2. ALÜMİNYUM EKLANLAMA TASARIMI

Başlangıç sargı çiftinde manyetik akı yoğunluğunu yönlendirici bir yapı olmadığından manyetik akı saçılımının yüksek olması beklenmektedir. Bu nedenle ekranlama tasarımı yapılmalıdır. Çünkü sekonder sargı bisikletin metal alt şasesine monte edilecektir (Şekil 3.3 (a)). Elbette ki metal şase üzerinde ciddi miktarda eddy kayıpları olacaktır. Bu nedenle şarj sisteminin toplam verimliliği düşerken, bisiklet alt şasesinde de termal etkiler görülecektir. Bu kayıpları azaltmak için e-bisiklet şasesi olan çelik levhanın alt tarafına belirli bir mesafe boşluk bırakılarak, Şekil 3.3 (b)'de gösterildiği gibi, ekranlama malzemesi olan alüminyum levha eklenir. 3D manyetik modelde bisiklet alt şasesi olarak 1,5 mm kalınlığındaki st37 çelik kullanılmıştır. Başlangıçta ekranlama için ise; 2 mm kalınlığında, 1060 düz alüminyum levha tercih edilmiştir. Alüminyum levhanın özgül ağırlığı 2689 kg/m^3 tür.

Bu yöntem ile ekranlama yapıldığında, alüminyum levhanın etkisiyle alt şasedeki eddy kayıpları azalacaktır. Ancak birincil sargı akımının oluşturduğu manyetik akının ikincil sargıya etki eden miktarı da azalacaktır. Manyetik bağlaşım faktörünün olumsuz ölçüde etkilenmemesi için sargı ile alüminyum levha arasında bir mesafe bırakılmalıdır. Ancak aracın yerden yüksekliği, sargı kesitleri vb. özellikler bu mesafeyi kısıtlar. Sargı ile alüminyum levha arasındaki mesafe küçük olduğunda ise, manyetik bağlaşım çok düşük seviyede olur. Manyetik bağlaşım azaldığında SS rezonansın etkisiyle birincil taraf akımı ve dolayısıyla giriş gücü ciddi şekilde artar. Nominal akım seviyesinin çok üstündeki bu

akımlar birincil taraf eviricisi için tehlikelidir. Bu nedenle manyetik bağlaşımın ve birincil akım seviyesinin denetlenmesi gerekir. Çizelge 3.3’deki bu durum açıkça görülmektedir. Manyetik bağlaşım ciddi oranda düştüğünden çalışma güç seviyeleri anma değerinin neredeyse dört katına çıkmıştır. Bu nedenle alüminyum ekranlama yöntemi düşük manyetik bağlaşım ve oluşabilecek elektriksel arızalar nedeniyle tek başına kullanılmamalıdır. Buna çözüm olarak bölüm 3.3’deki gibi alüminyum filtre / ekranlama tasarımına, ferit nüveler eklenmelidir.



Şekil 3.3. (a) E-bisikletin çelik şasesinin, (b) Alüminyum malzemesinin yerleştirilmesi.

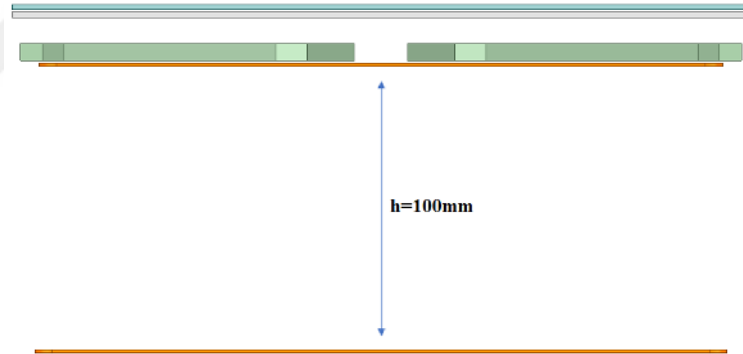
Çizelge 3.3. Alüminyum Ekranlamanın Simülasyon Sonuçları.

@ $d_1=9mm$, @ $L_{ex}=10mm$, @ $t_1=2mm$, @ $C_{prt}=45mm$ olarak seçilmiştir.						
Eddy Current İle SEY Sonuçları			Sistem Benzetim Sonuçları			
M (μH)	K Kuplaj	$P_{coreloss}$ Demir Kaybı (W)	$P_{giriş}$ Ort. (W)	$P_{çıkış}$ Ort. (W)	I_p max (A)	I_s max (A)
11,57	0,079	0,589	662,9	565,5	22,2	7,7
	Yeşil renkli sütunlardaki akım değerleri 5,66A’dan küçük olduğu için seçimi uygundur.					
	Turuncu renkli sütunlardaki akım değerleri 5,66A’dan büyük olduğu için seçimi uygun değildir.					

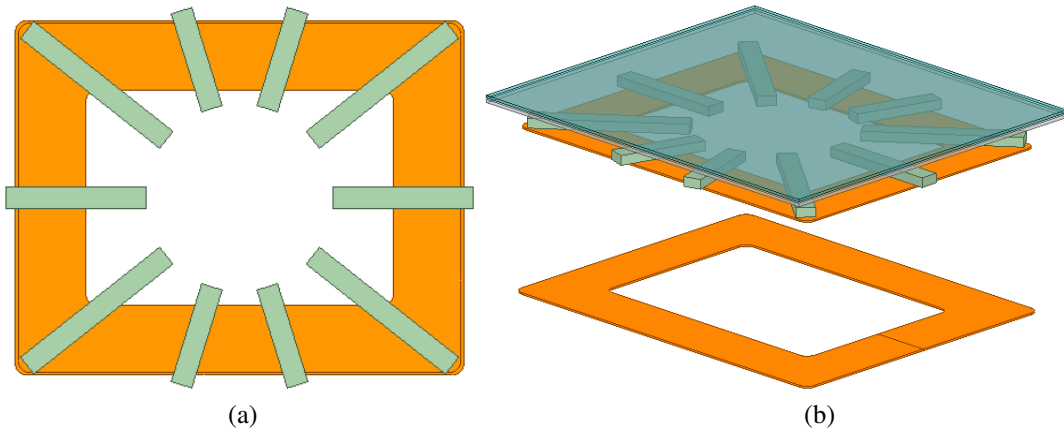
3.3. EKRANLAMADA ALÜMİNYUM VE FERİT NÜVE KULLANIMI

Bu bölümümde alüminyum levha kullanımı ile azalan manyetik bağlaşımın artırılması için, Bölüm 3.2'deki tasarıma ilaveten çubuk şeklindeki ferit nüveler yerleştirilmiştir. Ferit nüveler yüksek frekanslarda çalışabilen Ferromanyetik malzemedir. Ferit malzemesinin özgül ağırlığı 4600 kg/m^3 tür. Tasarımın kesit görünümü Şekil 3.4'de verilmiştir. Çubuk nüvelerin yerleşimi ise Şekil 3.5 (a)'da görülmektedir. Değişkenlerin optimum değerleri dikkate alınarak uygun kesit tespit edilecektir.

Bu yöntemde, ikincil sargısının orta kısmı manyetik akı geçişleri kolay ve yoğun olması amacıyla boş bırakılmıştır. Bu boşluk ($C_{f_{rt}}$ parametresi ile belirlenir) sayesinde, giren manyetik akıların nüve üzerinde yoğunlaşarak dönüp tekrar birincil sargıya daha kuvvetli ulaşması sağlanmış olur. Böylece manyetik bağlaşım kuvvetlenecektir. Ayrıca manyetik akının belirli bir bölgeye yoğunlaşmasından dolayı saçılımlar da azalacaktır. Alüminyum ile birlikte ferit nüvelerin yerleştirildiği haliyle 3D genel gösterimi izometri olarak Şekil 3.5 (b)'de görülmektedir.



Şekil 3.4. Ekranlama tasarımının yandan kesit görünümü (2D).



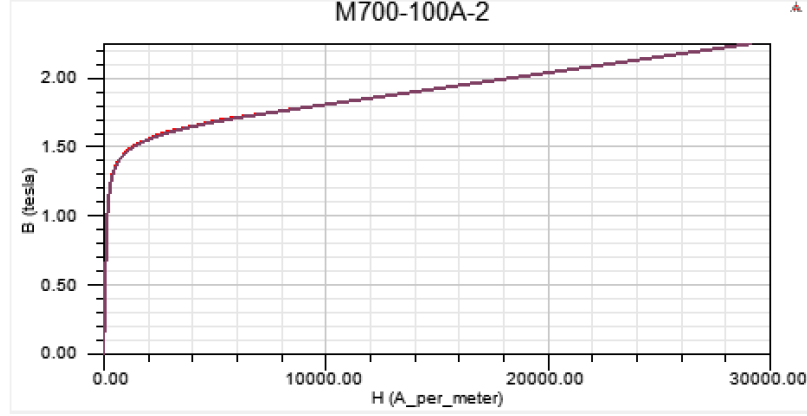
Şekil 3.5.(a) Ferit nüvelerin sargı üzerindeki yerleşimi ve (b) 3D izometrik gösterimi.

3.4. EKRANLAMA TASARIM PARAMETRELERİNİN İNCELENMESİ

Tasarımda kullanılan malzemeler alüminyum levha, ferit nüve çubukları, M700-1004 çelik sac ve bakır teldir. Malzemelerin SEY paket programına doğru tanıtılması çalışmanın deneysel verilere yakınlığı ve doğruluğu açısından çok önemlidir. Materyallerin elektriksel özellikleri Çizelge 3.4’de verilmiştir. Tasarımdaki çelik şase malzemesinin bağıl geçirgenliği doğrusal olmadığı için Şekil 3.6’deki B-H eğrisi grafiği kullanılmalıdır. Bu çalışmanın doğruluğunun kontrolü ve tekrarlanabilmesi için Çizelge 3.4’deki ve Şekil 3.6’deki veriler değiştirilmeden analiz yapılabilir. Analizler yapılırken dikkat edilmesi gereken parametreler şunlardır; sargılardan geçen akım değerleri, aktarılan güç miktarı, sistem verimi ve manyetik ekranlamanın etkinliğidir. Çalışmada ki amaç, ekranlama parametresinin etkinliği yüksek tutarak, maksimum gücü verimli şekilde alıcı tarafa aktarmaktır. Simülasyonlarda tespit edemediğimiz sargı tellerinin ısı etkileridir. Buna çözüm olarak sargıdan geçen akımın maksimum akım miktarını geçmediği bir tasarım gerçekleştirmek olacaktır.

Çizelge 3.4. SEY Tasarımında Kullanılan Malzemelerin Özellikleri.

Malzemelerin Özellikleri	ANSYS MAXWELL Tasarımında Kullanılan Malzemeler			
	Alüminyum	Bakır	Ferit Nüve	M700 Çelik Sac
Bağıl Geçirgenlik	1	1	12	1
Bağıl Geçirgenlik	1,000021	0,999991	1000	Doğrusal Olmayan (Şekil 3.6)
İletkenlik	38000000 S/m	58000000 S/m	0,01 S/m	10300000 S/m
Çekirdek Kayıp Modeli	Yok	Yok	Elektriksel Çelik	Elektriksel Çelik
kh	--	--	292,475 w/m ³	102,0814 w/m ³
kc	--	--	0,02563 w/m ³	0,010138 w/m ³
ke	--	--	0 w/m ³	2,000106 w/m ³
Kütle Yoğunluğu	2689 kg/m ³	8933 kg/m ³	4600 kg/m ³	7650 kg/m ³
Kompozisyon Tipi	Katı Hal	Katı Hal	Katı Hal	Katı Hal



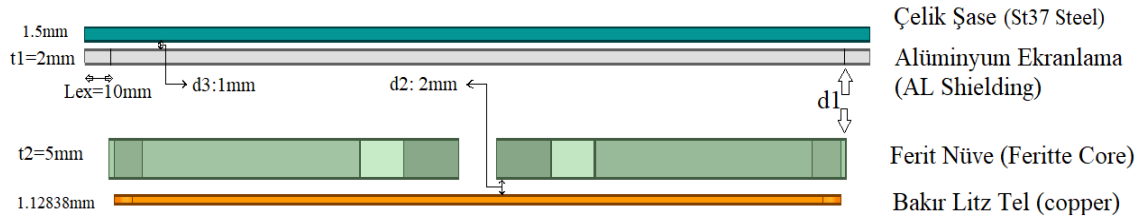
Şekil 3.6. M700-100A-2 çelik malzemenin B-H eğrisi.

Sistem maliyetini en aza indirmek ve birincil tarafın sadeliği için, sadece ikincil tarafta ekranlama tasarımı incelenmiştir. Şekil 3.7’te pasif ekranlamanın yandan kesit görüntüsü verilmiştir. Alüminyum plakanın kalınlığı, özgül ağırlık ve eddy kayıpları dikkate alınarak t_1 değişkeni incelenmesi gereken parametrelerin başında gelmektedir. Alüminyum plaka, aracın çelik şasesine etki eden manyetik akı yoğunluğunu azaltır. Böylece şase demir kayıpları azaltılmış olur. Bunun yanı sıra alüminyum levha üzerinde küçük eddy akım kayıpları oluşur, ancak demir kayıplarına kıyasla çok daha düşük seviyede bir kayıp olacaktır. Alüminyum plakanın uzunluğu ise sargı pad’inden L_{ex} mesafesi kadar daha fazladır. Alüminyum plakanın genişliği veya uzunluğunun büyük olması manyetik saçılmaları azaltır ve daha iyi ekranlamaya olanak verir. Fakat araç şasesinin ebatlarını geçmemesi, fazla ağırlık yapmaması ve maliyetin artmaması dikkate alınarak en uygun ölçüler seçilmelidir. Bu parametre için optimum değer tespiti bölüm 3.4.1’deki bulgular dikkate alınarak yapılacaktır.

Alüminyum kullanıldığında birincil ve ikincil sargılar arasında azalan manyetik bağlaşımı arttırmak için ferit nüveler kullanılır. Nüve tipi olarak Şekil 3.7’de görüldüğü üzere ferit çubuklar kullanılmıştır. Ferit nüve çubuklarının uzunlukları ve bant genişliği sargı boyutlarına göre belirlenir. Ferit nüve kesiti (mm^2) attıkça manyetik bağlaşım ve güç aktarımı artar. Ancak bazı kısıtlamalar mevcuttur. Ferit nüvenin özgül ağırlığı, araç şasesinin yerden yüksekliği ve sargı boyutları dikkate alınarak ferit nüvenin ölçüleri belirlenmelidir.

Litz telinden spiral şekilde sarılan sargı ile ferit nüve arasında teması önlemek için 2 mm’lik bir boşluk bırakılmıştır. Alüminyum plaka ile ferit nüve arasındaki mesafe (d_1) ekranlama tasarımında etkili parametrelerdendir. d_1 mesafesi manyetik akının yolunu kolaylaştırır ve oluşan hava boşluğu nedeniyle termal olarak soğumaya katkı yapar. d_1

mesafesi az olduğunda, primer sargısında oluşan manyetik akının sekonder sargısından geçip toplam manyetik akının hepsi geri dönemez, dolayısıyla manyetik bağlaşım azalacaktır. d_1 parametresi arttıkça manyetik bağlaşım ve aktarılan güç miktarı artar. Ancak bisikletin taban yüksekliği bu parametrenin çok fazla arttırılmasını kısıtlar. Tüm bunlar incelendiğinde en uygun mesafenin tespiti bölüm 3.4.3'deki bulgulardan yola çıkarak yapılacaktır.



Şekil 3.7. Elektrikli araçlardaki çelik şasesinin alt tarafına alüminyum kalkan, ferit nüve ve sekonder sargısı (alıcı bobini) yerleşimi.

3.4.1. Alüminyum Levha İçin En Uygun Ekranlama Parametrelerinin Belirlenmesi

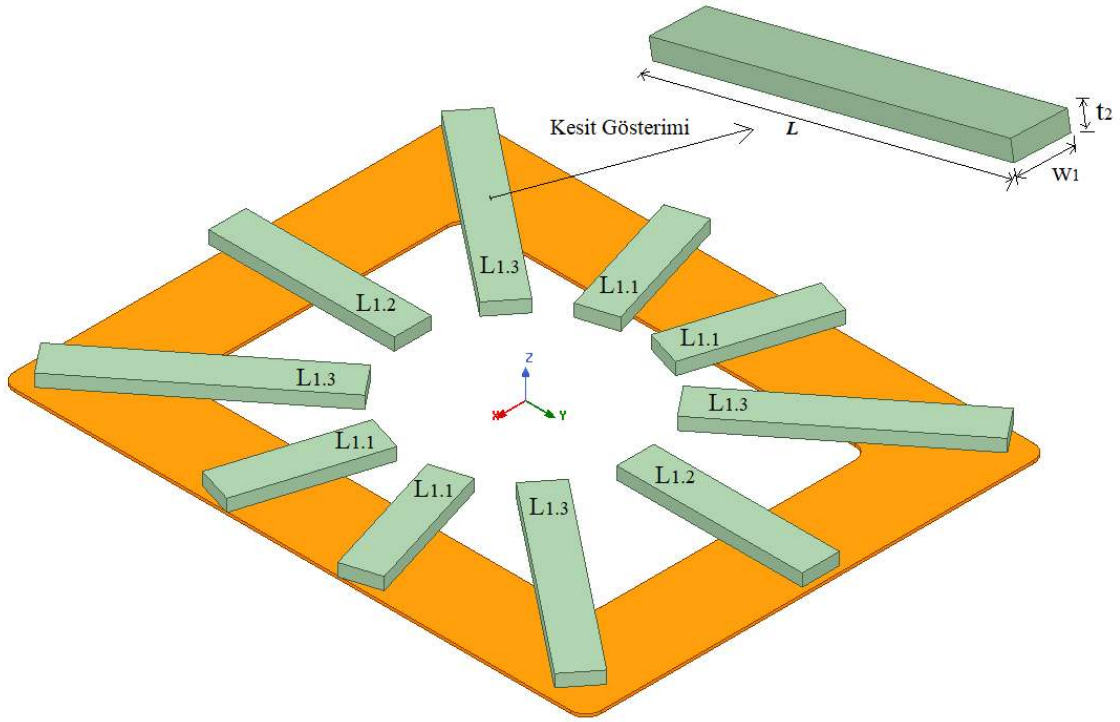
Bu bölümde alüminyum levhanın kalınlığı (t_1) ve sargı pad'inden dışa olan çıkıntısı (L_{ex}) parametreleri Çizelge 3.5'de incelenmiştir. t_1 değişkeni 1, 2, 3 mm değerlerinde 3 basamakta ve L_{ex} değişkeni ise 5, 10 ve 15 mm değerlerinde olmak üzere 3 basamaklı değiştirilerek parametrik olarak incelenmiştir. Alüminyum levhanın $t_1 - L_{ex}$ parametrelerinin 9 farklı kombinasyonlarından elde edilen devre modeli sonuçları karşılaştırılmıştır. L_{ex} parametresinin 15 mm olduğu durumda manyetik saçılma mesafesinin diğerlerine göre en düşük olduğu tespit edilmiştir. Ancak alüminyum levhanın ölçüleri araç şasesindeki kısıtlamalardan dolayı en fazla 10 mm seçilmelidir. TGA sisteminin ölçüleri, araca montajının yapılacağı çelik şasesinin ebatlarını (220x256mm) geçmemesi gerekmektedir. Alüminyumun ağırlık parametresi olan t_1 parametresinin sisteme etkisi çok azdır. Bu nedenle sistemin ağırlığını azaltmak için 2 mm seçilmesi uygun görülmüştür. Parametre olarak 3-15 mm kombinasyonundaki e-bisiklete ekstra yük oluşumu 0,495 kg olurken, optimum bir ekranlama etkisi sağlayan 2-10 mm kombinasyonu için bu değer 0,303 kg hesaplanmıştır. Bu seçimde demir kayıpları ve manyetik saçılmanın yatay mesafedeki etkisinin çok fazla değişmediğini de gözlemlenmiştir. Dolayısıyla, daha sonraki analizler için t_1 parametresi 2 mm ve L_{ex} parametresi de 10 mm alınarak diğer parametrelerin etkileri incelenmiştir. Böylece alüminyum levhanın kalınlığı 2 mm ve ebatları 220x256 mm olmuştur.

Çizelge 3.5. t_1 ve L_{ex} Parametresinin Sisteme Etkileri.

$d_1 = 9\text{mm}$, $t_2 = 5\text{mm}$, $w_1 = 15\text{mm}$, $C_{f_{rt}} = 45\text{mm}$ olarak seçilmiştir.								
Değişken	Eddy Current İle SEY Sonuçları				Sistem Benzetim Sonuçları			
Kesit $t_1 - L_{ex}$ (mm-mm)	M (μH)	K kuplaj	Saçılma Mesafesi Dikey(z), (mm) Yatay(y), (mm) @B=27,3 μT	$P_{coreloss}$ Toplam Demir Kaybı (W)	$P_{giriş}$ Ort. (W)	$P_{çıkış}$ Ort. (W)	I_p max (A)	I_s max (A)
1-5	24,87	0,1213	230--288	14,65	154	132	5,14	3,83
1-10	24,10	0,1185	211--285	13,73	162	140	5,47	3,94
1-15	23,37	0,1155	179--284	13,06	171	149	5,81	4,06
2-5	24,57	0,1204	230--288	14,47	157	135	5,26	3,87
2-10	23,81	0,1175	211--285	13,63	165	143	5,59	3,99
2-15	23,15	0,1146	179--284	13,07	174	151	5,91	4,10
3-5	24,29	0,1195	230--288	14,37	161	138	5,38	3,91
3-10	23,53	0,1165	211--285	13,56	170	147	5,72	4,04
3-15	22,88	0,1136	179--284	13,02	178	155	6,05	4,15
	Yeşil fonda vurgulanmış akım değerleri 5,66A'dan küçük olduğu için seçimi uygundur.							
	Turuncu fonda vurgulanmış akım değerleri 5,66A'dan büyük olduğu için seçimi uygun değildir.							
	Mavi fonda vurgulanmış değerler sistemin en uygun değerlerini ifade etmektedir.							

3.4.2. Ferit Nüve Çubukları İçin En Uygun Kesit Parametrelerinin Belirlenmesi

Alüminyum levhanın ölçüleri belirlendikten sonra, bu bölümde ferit nüvenin kalınlığı olan t_2 ve bant genişliği olan w_1 parametreleri incelenmiştir (Şekil 3.8). Nüvenin uzunluğu olan L parametresi ikincil sargı pad'inin geometrisine uygun olacak ölçülerde ayarlanmıştır. $L_{1,1}$ uzunluğu 55 mm, $L_{1,2}$ uzunluğu 75 mm ve $L_{1,3}$ uzunluğu 95 mm olarak belirlenmiştir. Şekil 3.8'deki görselde 4 adet $L_{1,1}$, 2 adet $L_{1,2}$ ve 4 adet $L_{1,3}$ uzunluğunda ferit nüve çubuklarının yerleştirilmiş hali gösterilmektedir.



Şekil 3.8. Ferit nüve çubuklarının dizilimi ve kesit gösterimi.

Bu bölümdeki analizde t_2 değişkeni 3 mm, 5mm ve 7 mm değerlerinde 3 basamaklı ve w_1 değişkeni ise 10 mm ve 15 mm değerlerinde olmak üzere 2 basamaklı parametrik olarak incelenmiştir. Bu iki değişkenin çarpımıyla nüve kesitleri (N_{sec}) hesaplanmış ve bu değerler üzerinden devre modelinden elde edilen sonuçların çıktıları Çizelge 3.6'de karşılaştırmalı olarak sunulmuştur. Kesit düştüğünde aktarılan güç artıyor, ancak sargılardan çekilen akım miktarların maksimum akım değerinin üzerinde olduğu gözlemlenmektedir. Nüve kesiti arttığında manyetik bağlaşım artmaktadır ve demir kayıpları düşmektedir. Nüve kalınlığı sargı pad'i ile araç arasındaki mesafeden kaynaklı çok fazla olmamalıdır. Ayrıca ferit nüvenin kesitinin artmasıyla toplam kütlenin artması da söz konusudur. Ölçülerde üretim standartları olan $5 \times 10 \text{ mm}^2$, $5 \times 15 \text{ mm}^2$, $7 \times 10 \text{ mm}^2$, $7 \times 15 \text{ mm}^2$, $5 \times 20 \text{ mm}^2$ gibi örnekler dikkate alınmalıdır. Eğer $7 * 15 = 105$ seçilseydi nüve ağırlığı 0,386 kg olacaktı. Bir alt basamaktaki kesit seçimi ($5 * 15 = 75$) için E-bisiklete getireceği ekstra yük miktarı 0,276 kg hesaplanmıştır. Tüm bunları göz önünde bulundurarak e-bisiklete ekstra yük oluşumunu ve demir kayıplarını azaltmak için optimum kesit değeri belirlenecektir.

Çizelge 3.6. Kesit Parametresinin Sisteme Etkileri.

Saçılma Mesafesi (mm), Dikey(z), Yatay(y) @B=27,3 μT değeri için; 220mm—285mm değerlerinde sabittir. @ $t_1 = 2mm$, @ $L_{ex} = 10mm$, $d_1 = 7mm$ olarak seçilmiştir.							
Değişken	Eddy Current İle SEY Sonuçları			Sistem Benzetim Sonuçları			
Nüve Kesiti (N_{sec}) $t_2 * w_1$ (mm^2)	M (μH)	K kuplaj	$P_{coreloss}$ Toplam Demir Kaybı (W)	$P_{giriş}$ Ort. (W)	$P_{çıkış}$ Ort. (W)	I_p max (A)	I_s max (A)
3*10=30	20,77	0,1107	19,1	219	186	7,30	4,55
3*15=45	22,01	0,1142	16,5	195	167	6,50	4,30
5*10=50	21,87	0,1134	14,5	195	169	6,61	4,35
7*10=70	22,94	0,1156	12,6	172	154	6,02	4,14
5*15=75	23,17	0,1167	13,51	170	151	5,91	4,10
7*15=105	24,24	0,1187	10,6	157	138	5,42	3,90
	Yeşil fonda vurgulanmış akım değerleri 5,66A'dan küçük olduğu için seçimi uygundur.						
	Turuncu fonda vurgulanmış akım değerleri 5,66A'dan büyük olduğu için seçimi uygun değildir.						

3.4.3. Ekranlama İçin En Uygun Mesafe Parametrelerinin Belirlenmesi

Alüminyum levha ve ferit nüve ölçüleri belirlendikten sonra, bu bölümde ferit nüve ile alüminyum levha arasındaki mesafe olan d_1 değişkeni için 1 mm, 3 mm, 5 mm, 7 mm ve 9 mm değerlerinde olmak üzere 5 basamaklı parametrik olarak incelenmiştir. Bu değişkenin, aktarılan güce, demir kayıplarına ve manyetik saçılma mesafesine etkileri Çizelge 3.7'de karşılaştırmalı olarak sunulmuştur. d_1 mesafesi azaldıkça manyetik saçılım ve demir kayıpları doğru orantı olarak azalmaktadır. Bu nedenle birincil sargısından geçen akım nominal seviyenin üzerine çıkmaktadır. Bu da sargıların aşırı ısınmasına, izolasyon problemlerine, güç devresindeki arızalara neden olabilir. Bu nedenle birincil sargı akımı dikkate alınarak, en uygun değer seçimi optimizasyon yöntemi ile yapılacaktır.

Çizelge 3.7. d_1 Parametresinin Sisteme Etkileri.

@ $t_1 = 2mm$, @ $L_{ex} = 10mm$, $t_2 = 5mm$, $w_1 = 15mm$ seçilmiştir.								
Değişken	Eddy Current İle SEY Sonuçları				Sistem Benzetim Sonuçları			
d_1 (mm)	M (μH)	K kuplaj	Saçılma Mesafesi Dikey(z), Yatay(y), (mm) @B=27,3 μT	$P_{coreloss}$ Toplam Demir Kaybı (W)	$P_{giriş}$ Ort. (W)	$P_{çıkış}$ Ort. (W)	I_p max (A)	I_s max (A)
1	21,07	0,1121	208--281	8,66	203	181	7,11	4,49
3	21,78	0,1140	209--283	9,85	191	170	6,66	4,35
5	22,48	0,1156	210--285	11,11	182	160	6,41	4,22
7	23,17	0,1167	212--286	13,73	170	151	5,90	4,10
9	23,81	0,1175	218--285	14,87	163	144	5,60	3,99
	Yeşil fonda vurgulanmış akım değerleri 5,66A'dan küçük olduğu için seçimi uygundur.							
	Turuncu fonda vurgulanmış akım değerleri 5,66A'dan büyük olduğu için seçimi uygun değildir.							

Son olarak ferit çubukların sargı üzerine dizilimleri incelenmiştir. Bunun için $C_{f_{rt}}$ parametresi, ferit çubukların sargı pad'ine dizilişindeki dairesel açıklığın yarıçapını ifade eden parametre olarak tanımlanmıştır. Örneğin; $C_{f_{rt}} = 50mm$ iken dairesel boşluk 100 mm'dir. $C_{f_{rt}}$ Parametresi için 40, 45 ve 50 mm değerleri ile 3 basamaklı parametrik analiz yapılmıştır. Bu analizlerin sonuçları Çizelge 3.8'de görülmektedir. Bu bölümde $C_{f_{rt}}$ değeri 40 mm iken birincil sargıdan geçen akımın yüksek olması nedeniyle sargıya zarar vermesi söz konusudur. Ayrıca manyetik bağlaşım düşük olduğu için güç aktarımı verimsiz olacaktır. İkinci olarak $C_{f_{rt}} = 45 mm$ iken, manyetik saçılmanın da nispeten az olduğu ve aktarılan gücün ortalama değerde olduğunu göz önüne aldığımızda uygun olarak gözükmektedir. Üçüncü değer olan $C_{f_{rt}} = 50 mm$ analiz sonuçlarında aktarılan güç miktarı çok düşüktür ve manyetik saçılma mesafesi en yüksektir. Dolayısıyla en uygun değer olarak $C_{f_{rt}}$ parametresi 45mm olarak seçilmiştir. Buna göre dairesel boşluk 90 mm olarak hesaplanmıştır. Nihai tasarım için bütün parametrelerin en uygun değerler Taguchi optimizasyon yöntemi ile tespit edilecektir. Buna göre optimize edilmiş tasarımın analizleri yapılacaktır.

Çizelge 3.8. C_{prt} Parametresinin Sisteme Etkileri.

@ $t_1 = 2mm$, @ $L_{ex} = 10mm$, $t_2 = 5mm$, $w_1 = 15mm$, @ $d_1=7mm$ seçilmiştir.								
Değişken	Eddy Current İle SEY Sonuçları				Sistem Benzetim Sonuçları			
C_{prt} (mm)	M (μH)	K kuplaj	Saçılma Mesafesi Dikey(z), (mm) Yatay(y), (mm) @B=27,3 μT	$P_{coreloss}$ Toplam Demir Kaybı (W)	$P_{giriş}$ Ort. (W)	$P_{çıkış}$ Ort (W)	I_p max (A)	I_s max (A)
40	21,74	0,1128	207--282	10,22	193	171	6,70	4,36
45	23,17	0,1167	212--286	13,51	171	151	5,90	4,10
50	24,40	0,1203	224--288	14,38	157	135	5,27	3,88
	Yeşil fonda vurgulanmış akım değerleri 5,66A'dan küçük olduğu için seçimi uygundur.							
	Turuncu fonda vurgulanmış akım değerleri 5,66A'dan büyük olduğu için seçimi uygun değildir.							

Tasarım için yapılan deneylerde giriş akımları dikkate alınarak 5,66 A değerinden küçük (yeşil renkli sütunlardaki akım değerleri) olanlar tercih edilmedi. Akım değeri uygun olan parametrelerin basamak sayıları azaltılmış oldu. Böylece Taguchi yöntemi için bir aralık belirlenmiş olmuştur. Taguchi yönteminde kullanılacak değişkenler (faktörler), N_{sec} , d_1 ve C_{prt} parametreleridir. Bu parametrelerin basamakları ise sırasıyla, N_{sec} için 70, 75 ve 105 mm², d_1 için 6, 7,5, 9 mm ve C_{prt} için 50, 52 ve 54 mm seçilmiştir. Bu verilere göre 3 faktör ve 3 basamak elde edilmiştir. Dolayısıyla 27 adet deney yapılması gerekmektedir. Ancak Taguchi L9 ortogonal dizisi yöntemi ile sadece 9 deney gerçekleştirerek tüm deneylerin sonuçları tahmin edilecektir. Buna göre tasarım sinyal gürültü oranı ile optimize edilecektir.

4. TAGUCHİ YÖNTEMİ İLE EKLANLAMA PARAMETRELERİNİN OPTİMİZASYONU

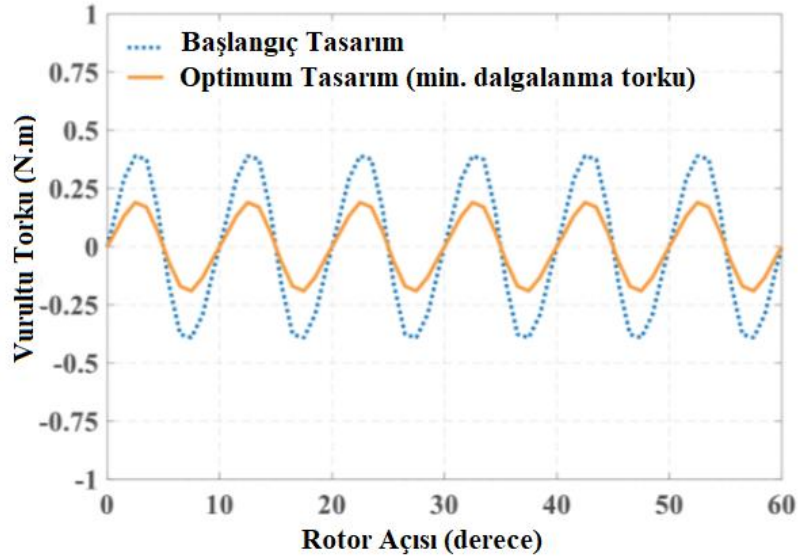
Bu çalışmada kullanılan malzemelerin özellikleri doğrusal olmadığı için tasarım parametrelerini analitik olarak hesaplamak mümkün değildir. Buna çözüm olarak model üzerinde SEY ile tasarım deneyleri yapılması gerekmektedir. Tasarımdaki değişkenlerin kombinasyonları sonucu deney sayısı çok yüksektir. Bu nedenle sezgisel optimizasyon yöntemi süreci çok fazla uzatacağı için tercih edilmemiştir. Daha hızlı ve doğruluğu güvenilir olan Taguchi ile ortogonal dizi deneyi yapılarak optimizasyon yapılması daha uygun görülmüştür. Taguchi yöntemi, tasarım prosesindeki değişkenleri oluşturan ve kontrol edilemeyen deney çıktılarına karşı, kontrol edilebilen tasarım değişkenlerinin en uygun kombinasyonlarını seçerek, tasarımdaki değişkenliği en aza indirmeye çalışan deneysel tasarım yöntemidir. Bu yöntem deneysel çalışma sonuçlarına yönelik bir optimizasyon yöntemi olduğu için bu çalışmada kullanılmıştır. Deneysel girdiler faktörleri oluştururken, değişkenlerin basamakları seviyeleri belirler. Ortogonal dizi yöntemi ile tüm deneyleri yapmak yerine ortogonal dizisindeki deneyleri yapmak yeterli olacaktır. Örneğin; çalışmamızda 3 adet girdi faktörü ve değişken seviyeleri her biri için 3 basamak olacaktır. Buna göre 3^3 hesabı ile 27 adet deney yapılması gerekmektedir. Bunun yerine ortogonal dizi yönteminde L9 ortogonal dizi seçilerek ve 9 adet deney yapılması yeterli olacaktır. Böylece 27 adet deney yapmak yerine 9 deney ile tüm deney tahminleri minitab programı tarafından gerçekleştirilmiş olur. Çizelge 4.1’de deneydeki faktörlerin seviyelerine göre hangi ortogonal dizinin seçilmesi gerektiği birkaç örnek ile gösterilmiştir. Çizelge 4.1’de belirtilen tam faktöriyel yöntemde F deney girdilerini (faktörleri), S değişkenlerin seviyelerini ve D ise ortogonal dizinin deney sayısını belirtir. Örneğin; L9 ortogonal dizisi 9 adet deney yapılması gerektiğini gösterir. Bu çalışmada L9 ortogonal dizisi seçilmiştir. Buna göre 9 basamaklı dizi oluşturulmuştur. Bu dizideki her basamak için bir deney olacak şekilde toplam 9 deney yapılacaktır. Deney çıktıları minitab programına yeni sütun açılarak kaydedilecektir. Daha sonra Taguchi tasarım analizi ile en uygun değerler belirlenecektir. Bu değerlerin doğruluğu ise Anova genel doğrusal model analizi yapılarak ispatlanacaktır. Ayrıca bu analiz sonucunda çıktı

parametrelerine en çok etki eden girdi parametrelerinin etki oranları gözlemlenecektir. Böylece tasarımdaki en etkin parametreler belirlenmiş olacaktır.

Çizelge 4.1. Taguchi Yönteminde Ortogonal Dizinin Belirlenmesi.

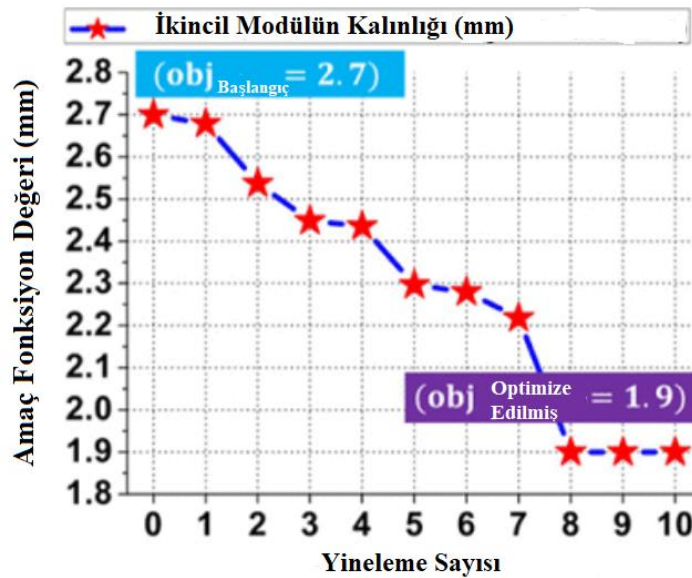
Faktör (F)	Seviye (S)	Deney Sayıları (D)	
		Tam Faktöriyel Yöntem F^S	Taguchi Ortogonal Dizisi Yöntemi (LD)
2	3	$3^2 = 9$	L9
3	5	$5^3 = 125$	L25
3	4	$4^3 = 64$	L16
3	3	$3^3 = 27$	L9
5	3	$3^5 = 243$	L27
5	2	$2^5 = 32$	L8, L12, L16
7	2	$2^7 = 128$	L8
15	2	$2^{15} = 32768$	L16

Literatürdeki farklı alanlarda Taguchi ile optimizasyon yöntemi kullanılmış ve sistemin güvenilirliği vurgulanmıştır. Örneğin; doğrusal anten dizisi tasarımında elektromanyetik optimizasyon tekniğinin kullanıldığı çalışmada, sistematik ve verimli özellikler sunan ortogonal dizi tercih edilmiştir [105]. Çalışmanın sonucunda, geleneksel optimizasyon teknikleri ile karşılaştırıldığında, Taguchi yönteminin uygulanması kolay ve optimizasyon için verimli olduğu belirtilmiştir. Hafif elektrikli araçların uygulamalarında sabit mıknatıslı senkron motorlar önerilmektedir [106]. Bu konu üzerine yapılan çalışmada, Taguchi yöntemindeki ortogonal dizi ile deney tasarımı kullanılarak sabit mıknatıslı bir senkron motorun tork özellikleri üzerine optimizasyon yapılmıştır [107]. Tasarımda akı bariyerlerinin genişliği tasarım değişkenleri olarak tanımlanmıştır. SEY ile ortalama tork, vurultu torku ve THD (toplam harmonik bozulma) amaç fonksiyonları hesaplanmıştır. Yapılan deney sonuçları ile Taguchi yöntemindeki ortogonal dizi oluşturulmuş ve optimizasyon analizleri yapılmıştır. Yapılan optimizasyon ile vurultu torku %29,9 oran ile önemli ölçüde azalmıştır (Şekil 4.1) [107].



Şekil 4.1. Minimum tork dalgalanması analiz sonucu [107].

TGA sistemlerinin tasarımında, güç aktarım verimi yüksek olsun istenirken, kullanılan malzemelerin kütlesi hafif olması beklenir. Düşük güçlü TGA sistemlerindeki ekranlama çerçevesinin hafif olması ve sistemin verimli hale gelmesi için optimizasyon yöntemi kullanılmıştır [108]. Bu çalışmada, kısıtlı alan içerisindeki TGA tasarımı incelenmiş ve optimizasyonu Taguchi yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. Değişken parametrelerinin kombinasyonları 3^4 olduğu için 81 adet deney yapılması gerekirken L9 ortogonal dizi seçilerek 9 adet deney yapılmıştır. Şekil 4.2’de gösterildiği gibi amaç fonksiyonundaki sekonder sargı ekranlama modülünün kalınlığı 2,7 mm’den 1,9 mm’ye optimize edilmiştir [108].



Şekil 4.2. TGA sistemlerinde ekranlama kalınlık parametresinin optimizasyonu [108].

4.1. TASARIM İÇİN ORTOGONAL DİZİ OLUŞTURMA

Şekil 4.3' gösterildiği gibi seçilen üç tasarım değişkenine karşılık gelen ve her biri üç seviye olan A (N_{sec}), B (d_1) ve C (C_{frt}) olmak üzere üç faktör bulunmaktadır. A, ferit nüvenin kesit alanı (mm^2), B, alüminyum levha ile ferit nüve arasındaki mesafe (mm), C ise ferit nüvelerin dizilimindeki manyetik akı yolu için boş bırakılan yuvarlak pencerenin yarı çapını (mm) temsil eder. Belirlediğimiz faktörlere göre oluşturulan L9 ortogonal dizisi Şekil 4.4'de gösterilmektedir. Faktörlerin seviyelerini belirlerken ferit nüve kesiti (N_{sec}) için, üretim standartlarına uygun 70 mm^2 , 75 mm^2 ve 105 mm^2 seçilmiştir. Bu değer d_1 için, 6 mm, 7,5 mm ve 9 mm'dir. C_{frt} parametresi için, aktarılan güce en uygun açıklığı elde etmek için daha önceki bölümlerdeki sonuçlardan elde edilen bulgulara göre 50 mm, 52 mm ve 54 mm aralığında seçilmiştir.

Facto	Name	Level Values	Column	Level
A	N_sec	70 75 105	1	3
B	d_1	6 7,5 9	2	3
C	C_frt	50 52 54	3	3

Şekil 4.3. Taguchi tasarımındaki faktörlerin belirlenmesi ve seviyelerinin girilmesi.

↓	C1	C2	C3
	N_sec	d_1	C_frt
1	70	6,0	50
2	70	7,5	52
3	70	9,0	54
4	75	6,0	52
5	75	7,5	54
6	75	9,0	50
7	105	6,0	54
8	105	7,5	50
9	105	9,0	52

Şekil 4.4. Taguchi L9 ortogonal dizisi.

Şekil 4.4'deki 9 basamaklı ortogonal dizisindeki deneyleri, Ansys Maxwell paket programındaki SEY elektromanyetik analiz ile yapılmıştır. Her bir basamak için tasarım değişkenlerini değiştirerek yeniden analiz yapılır. Eddy Current yöntemiyle elde edilen

tüm analiz sonuçları Çizelge 4.2'ye kaydedilir. Çizelge 4.2'ye kaydedilen $P_{kayıp}$ (toplam güç kaybı) ve $B(z)$ (manyetik akı saçılma mesafesi) değerlerini, Şekil 4.5'te gösterilen Minitab paket programındaki C4 ve C5 sütunlarına kaydediyoruz. Analiz için gerekli olan deney girdileri ve çıktıları tamamlanmış olur. Dolayısıyla elde edilen verilere göre optimizasyon yapılabilir.

Çizelge 4.2. L9 Ortogonal Dizisindeki Deneylerin SEY Analiz Sonuçları.

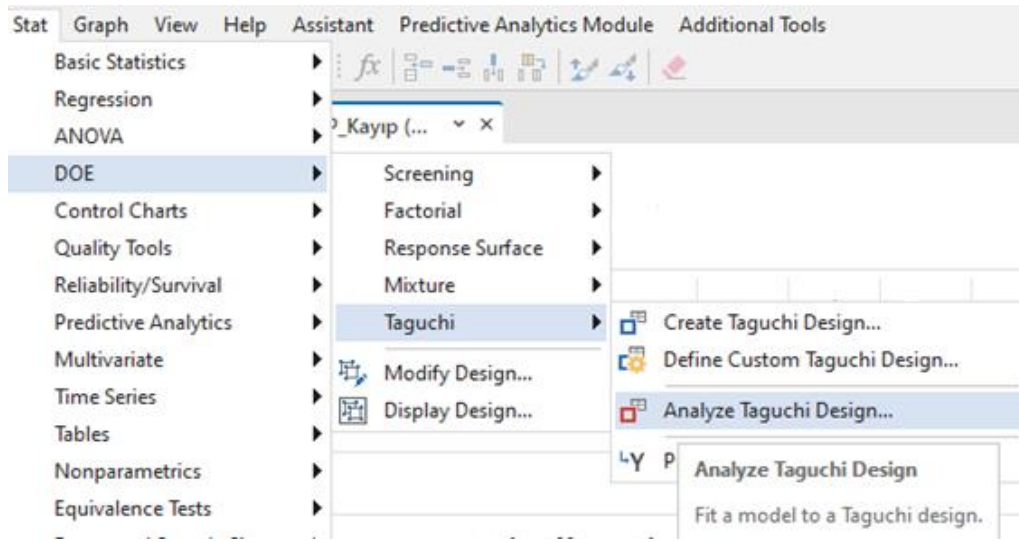
Parametrik Analiz			Eddy Current İle SEY Sonuçları		Sistem Benzetim Sonuçları			
Değişkenler			B (z) Saçılma Mesafesi	$P_{coreloss}$ Toplam Demir Kaybı (W)	$P_{çıkış}$ Ort (W)	I_p max (A)	η (%) Verim	$P_{kayıp}$ (%) Toplam Güç Kaybı
N_{sec} (mm ²)	d_1 (mm)	C_{frt} (mm)						
70	6	50	222,5	15,14	145	6,05	86,16	13,84
70	7,5	52	225	17,13	135	5,31	86,55	13,45
70	9	54	226	19,22	126	4,81	84,76	15,24
75	6	52	227	15,67	135	5,35	87,35	12,65
75	7,5	54	228	17,61	128	4,84	85,84	14,16
75	9	50	224	17,33	130	5,60	86,12	13,88
105	6	54	232	15,31	120	4,50	86,19	13,81
105	7,5	50	229	14,12	122	5,21	87,55	12,45
105	9	52	228,3	15,78	114	4,55	85,92	14,08
Yeşil fonda vurgulanmış akım değerleri 5,66A'dan küçük olduğu için seçimi uygundur.								
Turuncu fonda vurgulanmış akım değerleri 5,66A'dan büyük olduğu için seçimi uygun değildir.								

↓	C1	C2	C3	C4	C5
	N_sec	d_1	C_frt	P_Kayıp (%)	B(z);mm
1	70	6,0	50	13,84	222,5
2	70	7,5	52	13,45	225,0
3	70	9,0	54	15,24	226,0
4	75	6,0	52	12,65	227,0
5	75	7,5	54	14,16	228,0
6	75	9,0	50	13,88	224,0
7	105	6,0	54	13,81	232,0
8	105	7,5	50	12,45	229,0
9	105	9,0	52	14,08	228,3

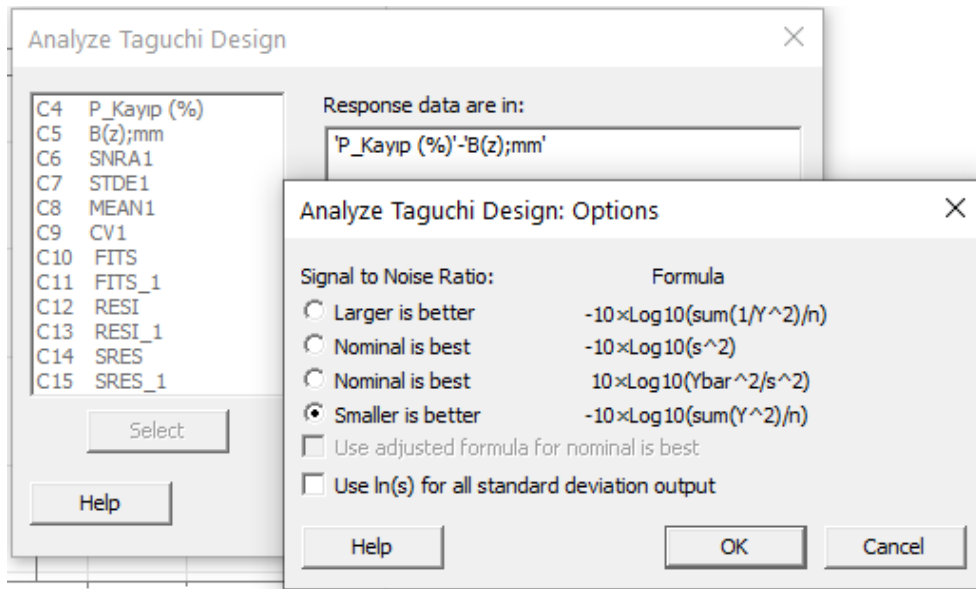
Şekil 4.5. Deney çıktılarının minitab programına kaydedilmesi.

4.2. TAGUCHİ İLE TASARIMIN OPTİMİZASYON ANALİZİ

Deney çıktılarındaki $B(z)$, manyetik akı yoğunluğunun $27,30 \mu T$ 'lık değere ulaştığı saçılım mesafesidir. Bu mesafe ne kadar az olursa o kadar iyidir. $P_{kayıp}$ (%) ise, sistemdeki yüzde toplam güç kaybı miktarıdır. Normalde verimin tersi olarak ifade edilebilir. Minitab programına çıktıları yazarken % toplam güç kaybı değerine dönüştürüldü. Bunun nedeni, Taguchi analizi yaparken en küçük en iyi analizini yapabilmek oldu. Böylece $B(z)$ ve $P_{kayıp}$ (%) değerlerinin en küçük en iyi analizi Şekil 4.6 ve Şekil 4.7'deki adımlar izlenerek yapılmıştır.

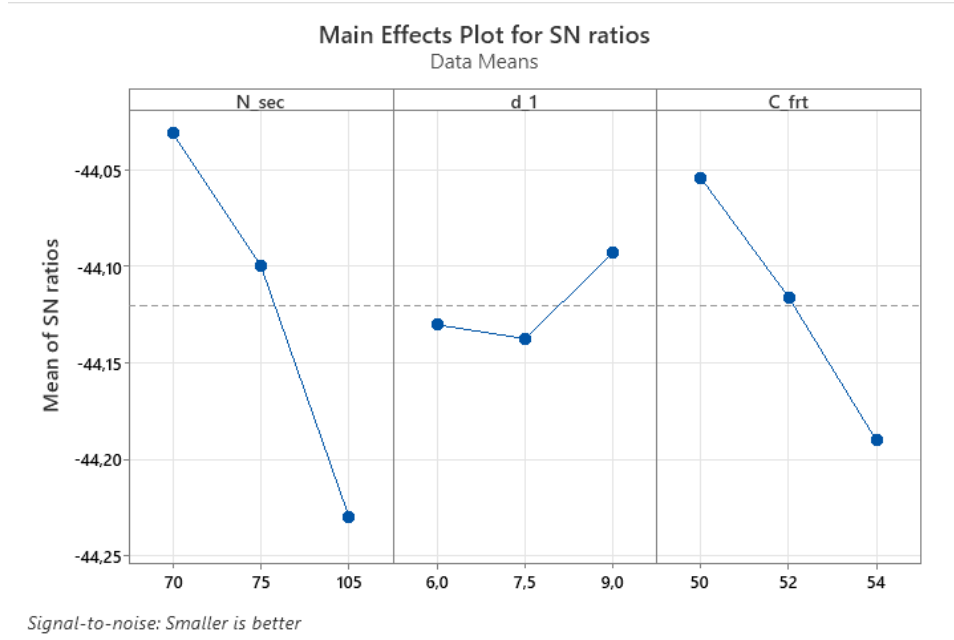


Şekil 4.6. Taguchi tasarım analizi işlem basamakları.



Şekil 4.7. Taguchi tasarım analiz seçeneğinin belirlenmesi.

Sinyal gürültü oranı yöntemi ile en küçük en iyi analiz sonucu Şekil 4.8’de grafik olarak gösterilmiştir. Bu grafikte, faktörlerin her biri ayrı sütunlarda en küçük en iyi değerleri belirtilmiştir. Yatay eksendeki kesikli çizgi ortalama değeri belirtmektedir. Ortalamanın üzerindeki değer seçimi uygun olan değerdir. Ortalamayı en çok geçen değer ise en iyi değerdir. Şekil 4.8’deki grafikten anlaşıldığı gibi N_{sec} faktörü için en iyi değer 70 mm^2 , d_1 faktörü için en iyi değer 9 mm ve C_{frt} faktörü için 50 mm seçimi en uygun değerdir.



Şekil 4.8. Sinyal gürültü oranı ile en küçük en iyi analiz grafiği.

Her bir çıktı için parametrelerin göreceli önemini bulmak için varyans analizi olan (ANOVA) adı verilen genel doğrusal model olan istatistiksel bir yöntem kullanılır. Şekil 4.9’da B(z) deney sonucu için R-sq (%) değeri güvenilirliğin oranını göstermektedir. B(z) deney sonucunun güvenilirlik oranı %97,28 olarak varyans analizinde çıkmıştır. Bu analiz sonucunda ayrıca hangi faktörlerin deney çıktısında daha etkili parametre olduğu da gözlemlenmektedir. B (z) deney sonucu için en etkili parametre %65,2’lik oran N_{sec} olmuştur. Şekil 4.10’da $P_{kayıp}$ (%) deney sonucu için R-sq (%) değeri güvenilirliğin oranını göstermektedir. $P_{kayıp}$ (%) deney sonucunun güvenilirlik oranı %90,83 olarak varyans analizinde çıkmıştır. B(z) deney sonucu için en etkili parametre ise %37,14 ve %36,95’lik oranlar ile C_{frt} ve d_1 olmuştur. Bu çalışmada, R-sq (%) oranı %90’nın üzerinde çıkmıştır ve R-sq güvenilirlik oranı %90 üzerindeki analizlerin güvenilirliği yüksektir. Taguchi yönteminden elde edilen en uygun değerler ile optimize edilmiş pasif ekranlama tasarımı bir sonraki bölümde SEY kullanılarak yapılacaktır.

Analysis of Variance

Source	DF	Seq SS	Contribution	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
N_sec	2	42,887	65,20%	42,887	21,4433	24,00	0,040
d_1	2	2,687	4,08%	2,687	1,3433	1,50	0,399
C_frt	2	18,420	28,00%	18,420	9,2100	10,31	0,088
Error	2	1,787	2,72%	1,787	0,8933		
Total	8	65,780	100,00%				

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	PRESS	R-sq(pred)	AICc	BIC
0,945163	97,28%	89,14%	36,18	45,00%	*	28,57

Şekil 4.9. B (z) Deney çıktısının güvenilirliği.

Analysis of Variance

Source	DF	Seq SS	Contribution	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
N_sec	2	0,9227	16,74%	0,9227	0,4613	1,82	0,354
d_1	2	2,0364	36,95%	2,0364	1,0182	4,03	0,199
C_frt	2	2,0470	37,14%	2,0470	1,0235	4,05	0,198
Error	2	0,5057	9,17%	0,5057	0,2528		
Total	8	5,5117	100,00%				

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	PRESS	R-sq(pred)	AICc	BIC
0,502836	90,83%	63,30%	10,2402	0,00%	*	17,21

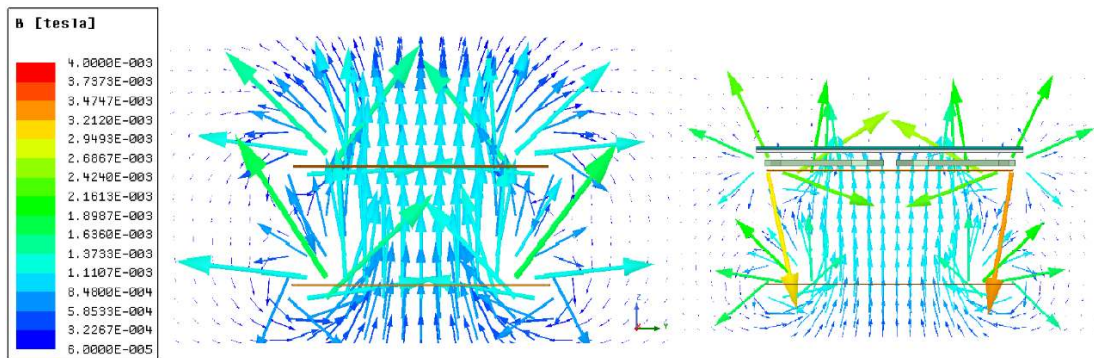
Şekil 4.10. $P_{kayıp}$ Deney çıktısının güvenilirliği.

5. ANALİZ BULGULARI VE TARTIŞMA

Başlangıç sargı çifti E-bisikletin şarj isteklerine uygun güç aktarımını deneysel olarak sağlamaktadır. Ancak araç şasesi üzerine monte edildiğinde şase üzerinde ciddi nüve kayıpları oluşacaktır. Bu tez kapsamında; araç şasesi üzerinde oluşabilecek manyetik etkilerini azaltmak için kullanılan ekranlama tasarım parametrelerinin etkileri, önceki bölümde tartışılmıştı. Daha sonra ekranlama tasarım parametrelerinin belirlenmesi için Taguchi L9 ortogonal dizi yöntemi ile optimize edilmiştir. Bu bölümde Taguchi ile optimize edilmiş önerilen nihai tasarım ile başlangıç sargı tasarımının performansı karşılaştırmalı olarak incelenmiştir.

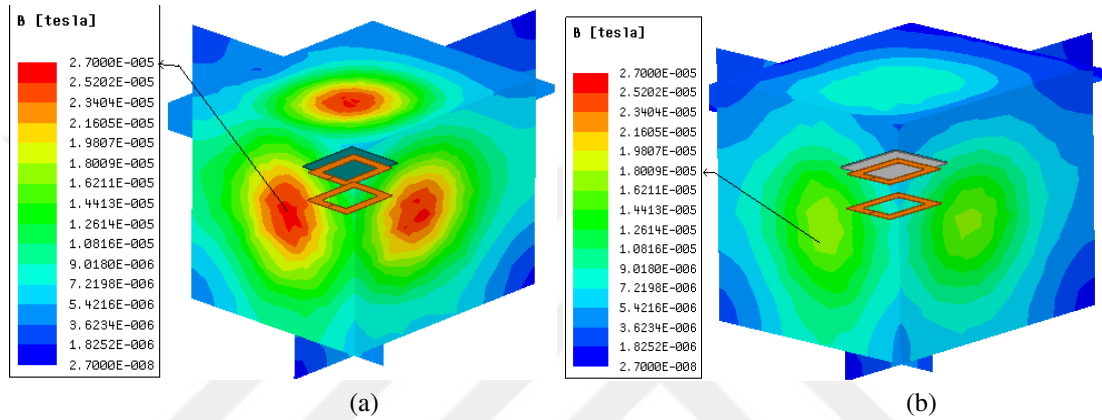
5.1. MANYETİK KUVVET SAÇILIMLARININ GÖZLEMLENMESİ

Şekil 5.1 (a)'da başlangıç sargı çiftinin manyetik saçılmaları görülmektedir. Görüldüğü gibi ikincil tarafta manyetik kuvvet çizgilerini sınırlayıcı bir etki olmadığından, eğer ikincil sargı bisiklet şasesine monte edilirse ciddi bir eddy kaybı oluşacaktır. Tez kapsamında optimize edilmiş pasif ekranlama kullanıldığında ise, Şekil 5.1 (b)'de görüldüğü gibi, manyetik saçılmaların azaldığı ve manyetik kuvvet çizgilerinin alüminyum levhayı fazla geçemediği açıkça görülmektedir. Birincil tarafta ekranlama kullanılmasa da güç aktarımı için kullanılan aktif hava aralığının dışında manyetik akı yoğunluğu düşmektedir.



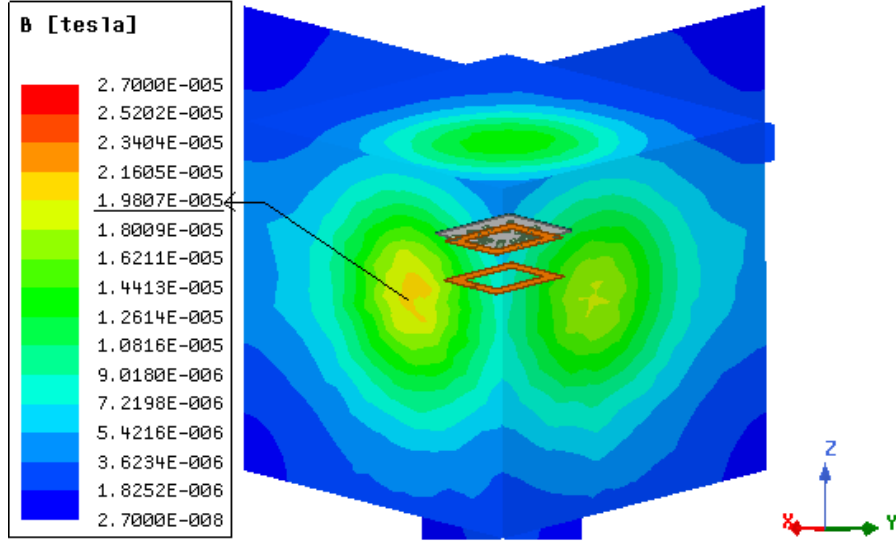
Şekil 5.1. (a) Başlangıç sargı çifti için, (b) Pasif ekranlama kullanılan sargı çifti için, manyetik akı çizgilerinin dağılımı.

Şekil 5.2 (a)'da başlangıç sargı çifti için merkezden 300mm yatay (x, y-ekseni) ve dikey (z-ekseni) uzaklıktaki manyetik akı yoğunluğu sonuçları görülmektedir. Manyetik saçılmanın bu mesafelerde sınır değer olan $27,3 \mu\text{T}$ değerine ulaştığı belirtilmiştir. Başlangıç sargı çiftinin ikincil tarafına alüminyum levha eklenirse ve yine merkezden aynı mesafelerdeki manyetik akı yoğunluğu sonuçları incelenirse, $27,3 \mu\text{T}$ 'ın altında manyetik akı yoğunlukları gözlenmiştir (Şekil 5.2 (b)). Ancak bölüm 3.2'de açıklandığı üzere, sadece alüminyum ekranlamanın kullanılması istenilen güç aktarımını sağlamayacaktır.

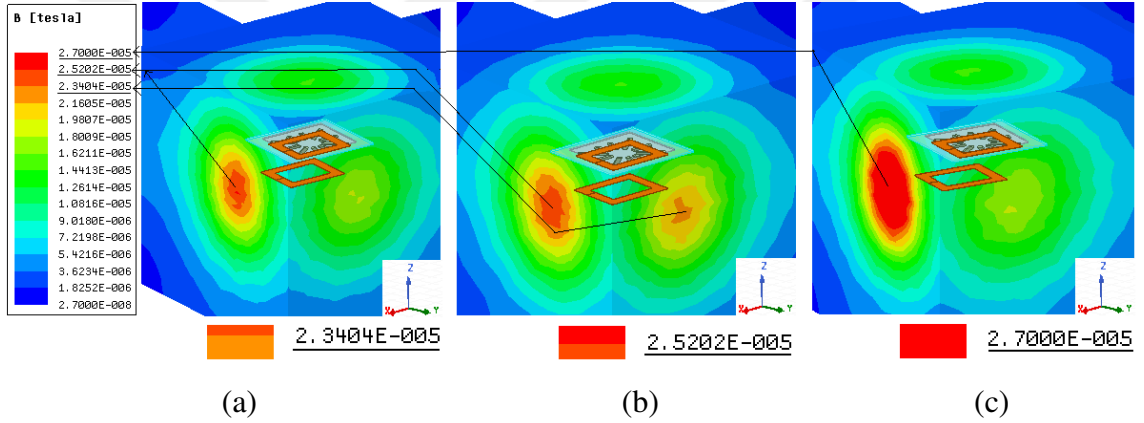


Şekil 5.2. (a) Başlangıç sargı çifti ile çelik şase için, (b) Alüminyum ekranlama kullanılan sargı çifti için, $27,3 \mu\text{T}$ tepe değerindeki manyetik akı yoğunluğu.

Bu çalışmadaki parametrik analizler sonucunda tasarımı gerçekleştirilen “Bölüm 3.3” başlıklı sargı pad'i yapısının yatay ve dikey eksenindeki 300 mm uzaklıktaki manyetik saçılma miktarı Şekil 5.3'de gösterilmektedir. Şekil 5.3'deki ok işareti ile gösterilen noktadaki manyetik akı yoğunluğunun $19,80 \mu\text{T}$ değerinde olduğu belirtilmiştir. Yani ICNIRP standardına göre sınır olarak belirlenen $27,3 \mu\text{T}$ değerinin altında bir akı yoğunluğu elde edilmiştir. Ekranlama boyutlarının artırılmasıyla bu saçılım değeri daha da altında bir tasarım yapılabilir. Fakat sistemdeki boyut kısıtlamaları ve kullanılan alüminyum ve ferit nüvelerin özgül ağırlığı nedeniyle e-bisikletlere etki edeceği toplam ağırlık göz önüne alındığında, tasarımını yaptığımız ölçülerde ekranlamanın yeterli olacağı söylenebilir. Bunun yanı sıra önerilen tasarımda hizalama ile ilgili hatalar söz konusu olduğunda ortaya çıkan manyetik saçılmaların değişimi incelenmiştir. Şekil 5.4'de gösterilen analiz sonuçlarına göre manyetik akı yoğunluğunun $27,3 \mu\text{T}$ değerine ulaştığı mesafelerin büyüdüğü gözlemlenmektedir. Hizalama hatalarında manyetik saçılım artmaktadır. Dolayısıyla hizalama hataları dikkate alınmalı ve bu konu hakkında önlem alınmalıdır.



Şekil 5.3. Optimize edilmiş tasarımın (al. ve ferit ekranlama) manyetik akı yoğunluğu.



Şekil 5.4. (a) y-ekseni 30 mm kaçık, (b) y ve x-ekseni 30 mm kaçık, (c) y-ekseni 60 mm kaçık iken; önerilen tasarımın hizalama hatasındaki manyetik akı yoğunluğu değişimi.

5.2. SİSTEM BENZETİMİ DEVRE MODELİNİN OLUŞTURULMASI

Başlangıç sargı çifti ile alüminyum levha ve ferit nüve kullanan nihai sargı çiftinin öz ve ortak endüktans değerleri eddy akım analizi veya manyeto statik analiz ile elde edilebilir. Güç aktarımı frekansı (f_n) 85 kHz olarak Bölüm 3’de belirlenmişti. Buna göre SS rezonans devresi için birincil ve ikincil tarafta kullanılacak kondansatör değerleri (5.1 ve (5.2) formülleri kullanılarak hesaplanır. Böylece Şekil 5.5’de görülen temassız güç aktarımı devre modelinin parametreleri hesaplanmış olunur.

Çizelge 5.1’de bu parametreler karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Sadece ikincil taraf için ekranlama yapıldığından ikincil sargının öz endüktans ve sargılar arasındaki ortak

endüktans değerlerinde başlangıç sargı çiftine göre değişimler olmuştur. Bu parametrelere göre sistem benzetimi devre modeli Şekil 5.5'te gösterildiği gibi oluşturulmuştur. Bu devre modeline göre elektriksel devre çözümlemesi yapılarak tasarımın elektriksel analizi yapılmış olacaktır.

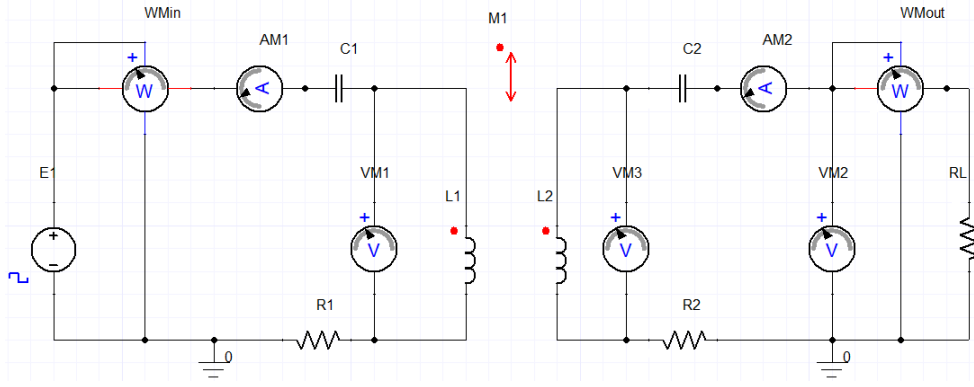
Çizelge 5.1. Başlangıç Sargı Çifti ve Optimize Edilmiş Pasif Ekranlamalı Sargı Çiftinin Tasarım Parametreleri.

Değişkenler (<i>Variables</i>)	Tasarımlar (Designs)	
	1. Başlangıç Sargı Çifti	2. Alüminyum ve Ferit Ekranlamalı Sargı Çifti
L_1 : Primer Endüktans	202,079 μH	199,481 μH
L_2 : Sekonder Endüktans	185,356 μH	212,184 μH
M: Ortak Endüktans	<u>26,738 μH</u>	<u>24,712 μH</u>
K : Bağlaşım Katsayısı	<u>0,138159</u>	<u>0,120127</u>
C_1 : Primer Kapasitans	17,400 μF	17,58 μF
C_2 : Sekonder Kapasitans	18,965 μF	16,52 μF
R_1 : Primer Sargı Direnci	0,172 Ω	0,174 Ω
R_2 : Sekonder Sargı Direnci	0,171 Ω	0,194 Ω

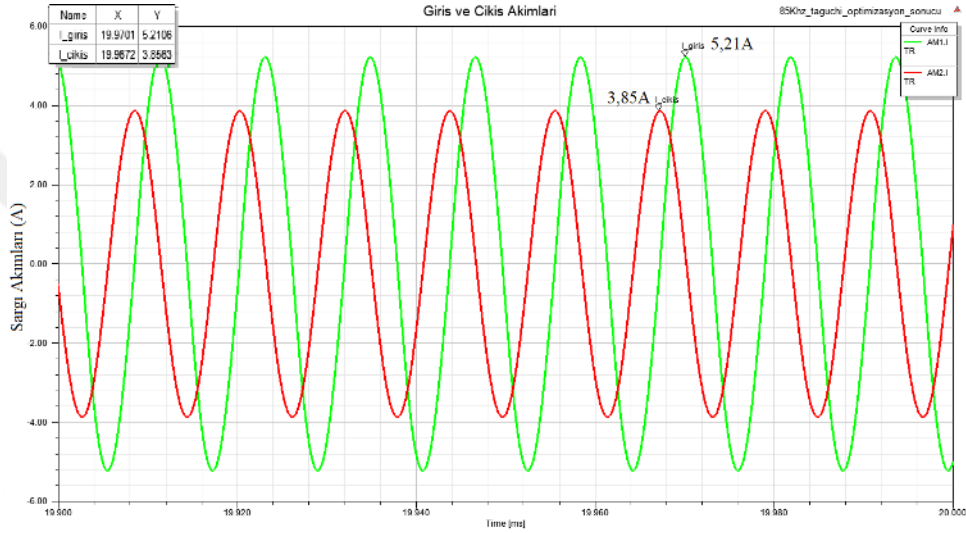
$$C_1 = \left(\frac{1}{2\pi f_n} \right)^2 * \left(\frac{1}{L_1} \right) \quad (5.1)$$

$$C_2 = \left(\frac{1}{2\pi f_n} \right)^2 * \left(\frac{1}{L_2} \right) \quad (5.2)$$

E-bisikletin bataryasının şarjı için gerekli olan güç ve gerilim parametrelerini ikincil tarafındaki wattmetre ve voltmetre ile gözlemleyebiliriz. Nihai tasarımın çıkışındaki gerilim seviyesinin şarj kontrol sisteminin şarj gereksinimlerine uygun olması gerekmektedir. Bunun için çıkışta gerilim regülasyonu yapılabilir. Ayrıca ampermetre ile giriş ve çıkış akımlarını nominal akım seviyesinde tutmak amacıyla ölçüm yaptığımız nihai tasarımın akım değerlerini Şekil 5.6'daki grafikte gözlemleyebiliriz. Giriş akımı 5,21 A(max) ve çıkış akımı 3,85 A(max) değerinde görülmektedir. Bu değerlere göre devreyi kontrol edebiliriz ve arızalara karşı önlem alabiliriz. Tasarımını gerçekleştirdiğimiz sistemin gerçek verim hesabı için eddy analizi ile elde edilen güç kaybı verileri de (Örneğin; demir kayıpları) giriş gücüne eklenmiştir. Tez kapsamında sadece anahtarlama kayıpları dikkate alınmamıştır.



Şekil 5.5. İndüktif kablosuz güç aktarımı sistem benzetimi devre modeli.



Şekil 5.6. Sistem benzetimi devre modeli giriş-çıkış akımları.

Çizelge 5.1'deki parametreler tam hizalanmış başlangıç sargı çifti ve optimize edilmiş pasif ekranlamalı sargı çifti için geçerlidir. Hizalama hatası olduğunda, sargılar arasındaki ortak endüktans değeri (M), manyetik bağlaşım (K), birincil sargı akımı (I_p) ve manyetik akı saçılma mesafesi değişecektir. Hizalama hatası tasarımlarının SEY analiz sonuçları, başlangıç sargı çifti için Çizelge 5.2'de ve optimize edilmiş pasif ekranlamalı sargı çifti için Çizelge 5.3'te verilmiştir. Hizalama hatası sırasıyla, y-ekseninde 30 mm, y ve x-ekseninde 30 mm ve y-ekseninde 60 mm kaçık olarak 3 farklı pozisyonda iki tasarım için incelenmiştir. Çizelge 5.2'deki başlangıç sargı tasarımı hizalama hataları sonuçlarına göre manyetik bağlaşım faktörü (K) hızla düşmüştür. Dolayısıyla giriş akımları çok yükselmiş ve verim oldukça etkili bir şekilde düşmüştür. Çizelge 5.3'teki optimize edilmiş pasif ekranlama tasarımındaki hizalama hata sonuçlarında ise manyetik bağlaşım daha yavaş eğilimde düşmüştür. Dolayısıyla giriş akımları aşırı yükselmemiş ve verim aşırı miktarda düşmemiştir. Bu iki tasarımı karşılaştırdığımızda hizalama hatalarında

pasif ekranlamanın manyetik bağlaşıma etkisinden dolayı olumlu yönde fayda sağladığı görülmüştür. Hizalama hatalarında çıkış gücünün yükseldiği gözükmemektedir, ancak seri kompanzasyon nedeniyle alıcı tarafına gücü aktarmaya çalışan SS kompanzasyon devresindeki giriş akımları çok yüksektir. Yüksek akımlar sargılara zarar vereceği için sistem uygulama sırasında korunması gerekmektedir. Koruma yöntemi olarak giriş akımını 5,66 A'ya sınırladığımızda, manyetik bağlaşım düşük olduğu için çıkış gücünde aynı oranda düşecektir. Bu hususta dikkat edeceğimiz unsur giriş akımının (I_p) iletkenin taşıyabileceği maksimum akım olan 5,66 A'den düşük olmasıdır. Aynı zamanda Çizelge 5.2 ve Çizelge 5.3'te gösterilen 27,3 μT değerine karşılık gelen manyetik saçılma mesafesinin arttığı gözlemlenmiştir. Dolayısıyla eksen kaçıklığının oluşması kaçak akımları artırdığı için verime ve manyetik saçılım miktarına olumsuz yönde etki etmektedir. TGA sisteminde hizalama hatası oluştuğunda, optimize edilmiş pasif ekranlama tasarımı, sistemdeki kaçak akımların saçılma mesafesi ve manyetik bağlaşım faktörü bakımından, başlangıç sargı çiftine göre daha verimlidir.

Çizelge 5.2. Başlangıç Sargı Çifti Tasarımı İçin Hizalama Hataları Sonuçları.

	Hizalama Hatalarının İncelenmesi			
Değişkenler (Variables)	Tam Hizalama	Y-ekseninde 30mm hatalı	Y ve X-eks. 30mm hatalı	Y-ekseninde 60mm hatalı
L_1 : Primer Endüktans (μH)	202,079	201,58	201,74	202,12
L_2 : Sekonder Endüktans (μH)	185,356	184,92	184,90	185,42
M: Ortak Endüktans (μH)	<u>26,73</u>	<u>23,48</u>	<u>20,15</u>	<u>16,16</u>
K : Bağlaşım Katsayısı	<u>0,138159</u>	<u>0,121602</u>	<u>0,108602</u>	<u>0,085003</u>
I_p (Tepe Akımı)	4,46	5,75	7,57	10,43
I_s (Tepe Akımı)	3,57	4,05	4,41	5,14
$P_{Bakır}$ (W)	3,53	7,27	10,67	16,83
$P_{giriş}$ (W)	118,98	133,68	154,85	178,98
$P_{çıkış}$ (W)	115,45	126,41	144,18	162,15
η (% verim)	97,03	94,56	93,11	90,59
B=27,3 μT iken; Saçılma Mesafesi Dikey(z), Yatay(y)	z= 340 mm y= 286 mm	z= 348 mm y= 307 mm	z= 349 mm y= 310 mm	z= 349 mm y= 326 mm
	Yeşil fonda vurgulanmış akım değerleri 5,66A'dan küçük olduğu için seçimi uygundur.			
	Turuncu fonda vurgulanmış akım değerleri 5,66A'dan büyük olduğu için uygun değildir.			
	Sarı fonda vurgulanmış değerler sistemin uygun olmayan değerlerini ifade etmektedir.			

Çizelge 5.3. Optimize Edilmiş Ekranlama Tasarımı İçin Hizalama Hataları Sonuçları.

Değişkenler (Variables)	Hizalama Hatalarının İncelenmesi			
	Tam Hizalama	Y-ekseninde 30mm hatalı	Y ve X-eks. 30mm hatalı	Y-ekseninde 60mm hatalı
L_1 : Primer Endüktans (μH)	199,437	199,41	199,31	199,75
L_2 : Sekonder Endüktans (μH)	212,18	212,1	211,7	212,2
M: Ortak Endüktans (μH)	<u>24,71</u>	<u>23,33</u>	<u>21,48</u>	<u>19,85</u>
K : Bağlaşım Katsayısı	<u>0,120127</u>	<u>0,113412</u>	<u>0,104622</u>	<u>0,096435</u>
I_p (Tepe Akımı)	5,21	5,83	6,74	8,21
I_s (Tepe Akımı)	3,85	4,06	4,32	4,72
P_{demir} (W)	13,17	15,66	16,49	24,14
$P_{bakır}$ (W)	3,61	7,04	11,44	16,82
$P_{giriş}$ (W)	170,57	173,12	198,11	243,61
$P_{çıkış}$ (W)	135,15	150,42	170,18	203,15
η (% verim)	88,95	86,88	85,90	83,39
B=27,3 μT iken; Saçılma Mesafesi Dikey(z), Yatay(y)	z= 219 mm y= 287 mm	z= 226 mm y= 309 mm	z= 226 mm y= 315 mm	z= 229 mm y= 336 mm
	Yeşil fonda vurgulanmış akım değerleri 5,66A'dan küçük olduğu için seçimi uygundur.			
	Turuncu fonda vurgulanmış akım değerleri 5,66A'dan büyük olduğu için uygun değildir.			
	Mavi fonda vurgulanmış değerler sistemin en uygun değerlerini ifade etmektedir.			
	Sarı fonda vurgulanmış değerler sistemin uygun olmayan değerlerini ifade etmektedir.			

5.3. KAYIPLARIN HESAPLANMASI VE KARŞILAŞTIRILMASI

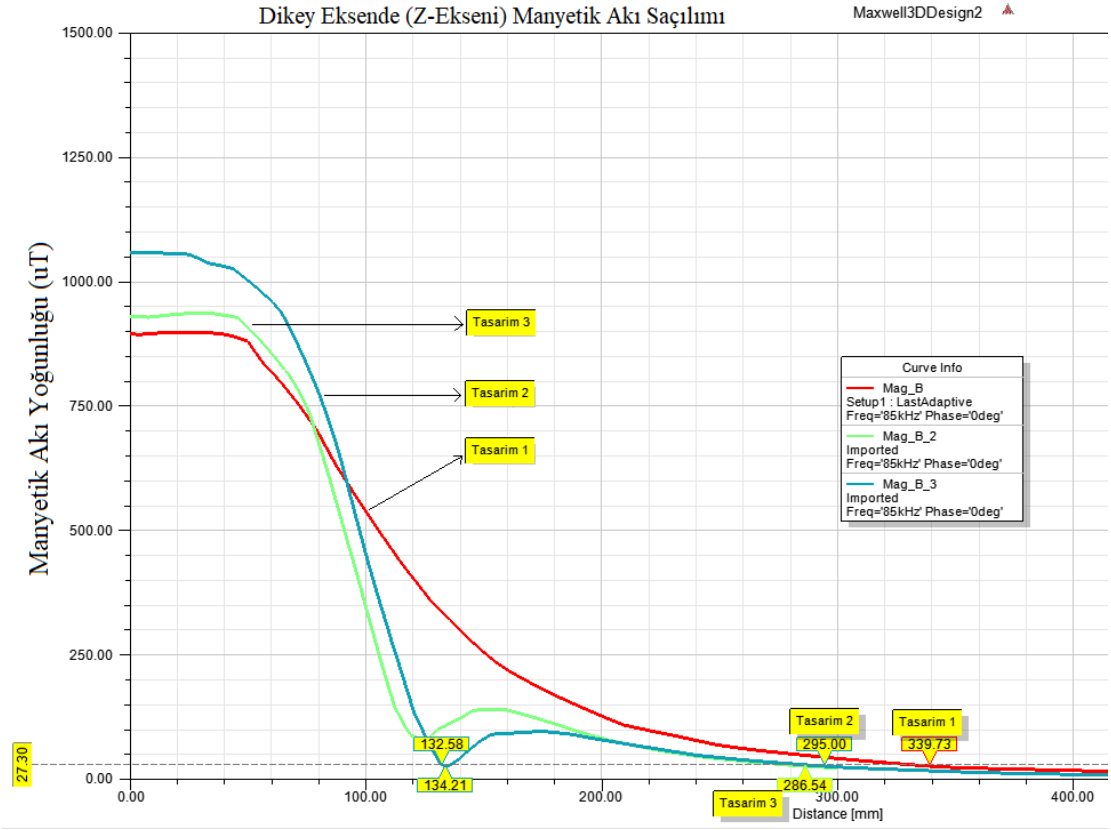
Çizelge 5.4'de daha önceki çalışmadaki başlangıç sargı çifti tasarımı (tasarım 1), bu başlangıç sargı çiftinin temsili olarak aracın çelik şasesine yerleştirilmiş halinin tasarımı (tasarım 2) ve Taguchi yöntemi ile optimize edilmiş ekranlama yönteminin uygulanmış tasarımı (tasarım 3) ile yapılan analizlerin sonuçları gösterilmektedir. Sistem tasarımı hakkında önem arz eden tasarımın analiz sonuçları bölüm 5.2'deki sistem benzetimi devre modelinden elde edilmiştir. Bunlar, aktarılan güç ($P_{çıkış}$), simülasyonun giriş gücü ($P_{giriş}$), toplam demir kayıpları (P_{demir}), bakır kayıpları ($P_{bakır}$), simülasyon sonuçlarına göre teorideki sistem verimi (η), 27,3 μT sınırındaki manyetik saçılma mesafesi ($B_{z,y}$) ve e-bisiklete ekstra etki eden ağırlık miktarıdır. Tasarım 1'de; aktarılan güç daha önceki çalışmadaki çok yakın olarak 115,45 W'lık değerindedir. Başlangıç sargı çifti hava boşluğu ile manyetik bağlaşım içerisindedir ve sistemde başka manyetik etki yoktur.

Dolayısıyla %97,03 oranındaki sistem verimi yüksektir. Tasarım 2’de ise; aracın çelik şasesinin altına yerleştirilmiş haliyle manyetik bağlaşım çelik üzerinde büyük demir kayıplarına neden olmuştur. Bu miktar 70,61 W’lık bir değerdir. Bu nedenle aktarılan güç miktarı (82,20 W) ve sistem verimi (%52,21) büyük oranda düşmüştür. Buna çözüm olarak önerdiğimiz çalışmanın verileri Tasarım 3’deki sütunda belirtilmiştir. Önerilen tasarımda (tasarım 3) toplam demir kayıpları 13,17 W’lık değere düşürülmüştür. Bakır kaybında 1 W civarında küçük bir artış söz konusu iken aktarılan güç miktarının arttığı gözlemlenmektedir. Tasarım 3’te; 135,15 W’lık bir güç, alıcı tarafına %88,95 oranında bir verim ile alıcı tarafına aktarılmıştır. Manyetik saçılma mesafesi ise sırasıyla tasarım 1, 2 ve 3’de gittikçe azalmaktadır. Ekranlama yöntemi ile manyetik saçılmanın en aza indiği görülmüştür. Taguchi optimizasyon yöntemi ile çalışmada önerdiğimiz Alüminyum ve Ferit ekranlama yönteminin, aktarılan güç miktarı, verim ve manyetik saçılma konusunda optimum tasarım olduğu kanaatine varılmıştır.

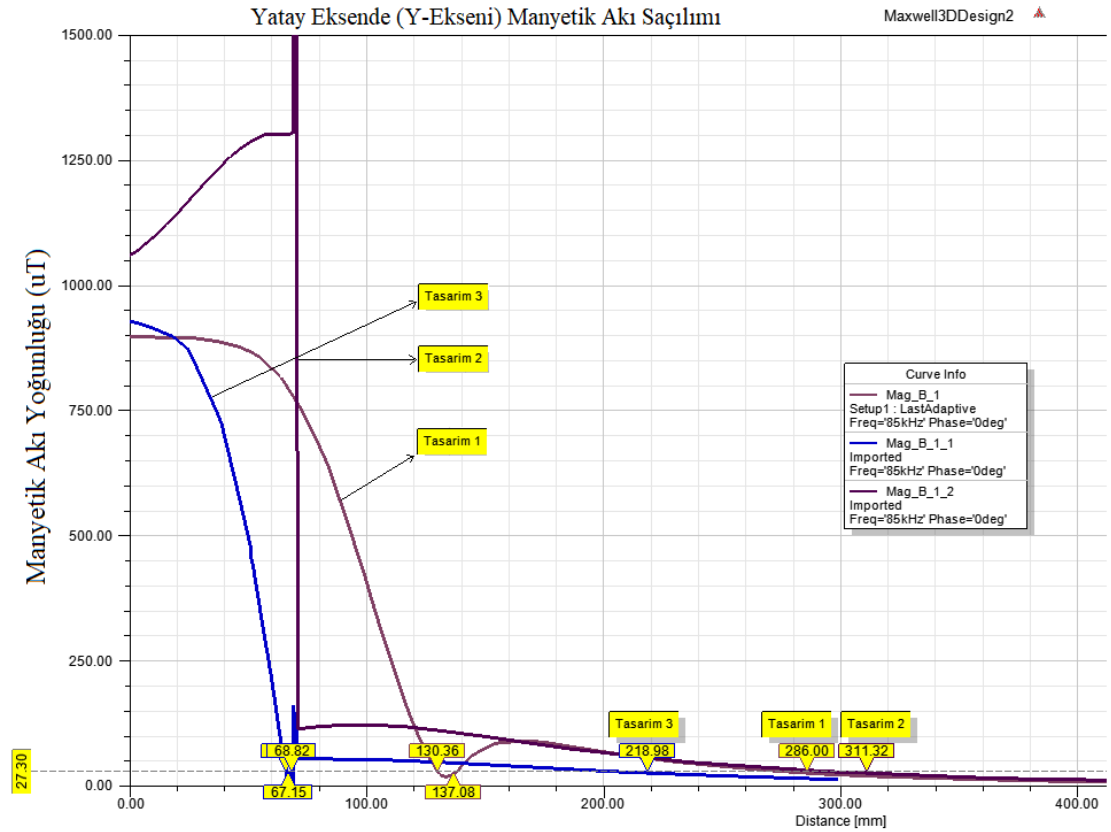
Çizelge 5.4. Tasarım Çıktılarının Karşılaştırılması.

Tasarım Sonuçları	Tasarım 1 Başlangıç Sargı Çifti Tasarımı	Tasarım 2 Sargı Çifti İle Çelik Şase Tasarımı	Tasarım 3 Optimize Edilmiş Ekranlama Tasarımı
$P_{giriş}$ (W)	118,74	157,44	170,57
$P_{çıkış}$ (W)	115,45	82,20	135,15
P_{demir} (W)	--	70,61	13,17
$P_{Bakır}$ (W)	3,53	4,63	3,61
η , verim (%)	97,03	52,21	88,95
B=27,3μT iken; Manyetik Saçılma Mesafesi, (mm) Dikey(z), Yatay(y)	z=340 y=286	z=295 y=311	z=219 y=287
Tasarımın Ağırlığı (Kg)	0,616	0,616	1,115

Çizelge 5.4’de karşılaştırılan 3 tasarımda ki manyetik saçılma mesafeleri Şekil 5.7 ve Şekil 5.8’deki analiz sonuçları ile gösterilmiştir. Şekil 5.7’de sargıdan çıkan manyetik akı miktarının 27,30 μ T değerine ulaştığı dikey eksenindeki (z-ekseni) mesafeyi gösterir. Şekil 5.8’de ise manyetik akı miktarının 27,30 μ T değerine ulaştığı yatay eksenindeki (y-ekseni) mesafeyi gösterir. Bu mesafeler ne kadar az ise manyetik saçılmalar kısa mesafelerde sönümlenmiş anlamına gelir. Dolayısıyla saçılma mesafelerinin kısa olması ekranlamanın etkinliğinin yüksek olduğunu gösterir.



Şekil 5.7. Dikey eksenindeki manyetik akının saçılım mesafesi ($B=27,30 \mu\text{T}$ iken;).



Şekil 5.8. Yatay eksenindeki manyetik akının saçılım mesafesi ($B=27,30 \mu\text{T}$ iken;).

5.4. TARTIŞMA

Bu çalışmada, kablosuz güç aktarımı sistemlerindeki ekranlama etkisini gözlemlemek için Şekil 5.2 (a), (b) ve Şekil 5.3’de görüldüğü gibi primer ve sekonder sargı pad’lerinden 300 mm yatay ve dikey uzaklıktaki manyetik akı saçılmaları incelenmiştir. Şekil 5.2 (a)’da gösterildiği gibi ekranlama yokken, sargı çiftinden 300 mm mesafede $27.3 \mu T$ ’lık manyetik alan şiddetleri görülebilmektedir. Buna göre pasif ekranlama yokken; sargı çiftinden 300 mm uzaklıktaki manyetik akı yoğunluğu ICNIRP standartlarının üzerinde iken, ekranlama ile standartların altında manyetik akı yoğunluğu gözlemlenmiştir. Tasarımı gerçekleştirilen TGA sistemindeki pasif ekranlama Taguchi yöntemi ile optimize edilmiştir. Manyetik akı yoğunluğunun saçılımı daha da azaltılabilir ancak kullanılan pasif ekranlama ile araç şasesi üzerinden yaklaşık 0,494 kg’lık bir ilave ağırlık oluşmaktadır. Kullanılan nüve ve alüminyum miktarının daha da artması bisikletin bir şarj ile gideceği menzilde hatırı sayılır bir düşüşe neden olabilir. Pasif ekranlamanın aktarılan güce etkilerine Çizelge 5.4’de bakıldığında, başlangıçtaki sargı çiftinden yaklaşık 115 W’lık bir değer söz konusu iken optimize edilmiş pasif ekranlama ile bu miktar 135,15 W olmuştur. Tasarımın ağırlık değeri optimizasyon yöntemi ile 85 gr azaltılmıştır. Buna ek olarak başlangıç sargı çiftinin araç şasesine yerleştirilmesiyle ortaya çıkan 70,61 W’lık demir kaybının verimi oldukça düşürdüğü gözlemlenmiştir. Optimize edilmiş pasif ekranlama tasarımı ile toplam demir kaybı 13,17 W seviyesine düşürülmüştür. Ayrıca TGA sistemlerindeki hizalama hatalarına karşı optimize edilmiş ekranlamanın toleransı, ekranlamasız tasarıma göre daha iyi performans gösterdiği belirtilmiştir. Bu tasarımın gerçekleştirilmesinde gereken deney sayısı, Taguchi’nin ortogonal dizisi ile 27’den 9’a düşürülmüştür. Dolayısıyla daha az deney yaparak kısa sürede optimizasyon sonucuna ulaşılmıştır. Taguchi yöntemi ile yaptığımız optimizasyon sonucundaki güven aralığı değeri ($R-sq$) %90’ın üzerinde çıktığı için sistemin güvenilirliği yüksektir.

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada 250 W elektrikli bisikletin şarj gereksinimlerine uygun olarak tasarlanan bir kablosuz indüktif güç aktarımı sistemi için, Taguchi L9 ortogonal dizisi optimizasyon yöntemi ile pasif ekranlama tasarımı incelenmiştir. Ferit çubuklardan oluşan nüvelerin ve alüminyum plaka boyutlarının güç aktarımı sistem parametrelerine etkileri ve güç aktarımı ile ekranlama performansları gözlemlenmiştir. Tasarımdaki parametreler “Bölüm 4” te anlatıldığı gibi Taguchi yöntemi ile optimize edilmiştir. Alüminyum ekranlama ile sargılardan 300 mm yatay ve dikey uzaklıktaki mesafede manyetik alan şiddeti $20 \mu T$ ’ın altına düşmektedir Şekil 5.2 (b). Fakat alüminyum ekranlamanın tek başına yetmediğini, manyetik bağlaşımın çok fazla düştüğünü ve bu nedenle ferit nüve ilave edilmesi gerektiği kararını varılmıştır. Şekil 5.3’deki optimize edilmiş tasarımda alüminyum ve ferit nüve birlikte kullanıldığında, yine aynı mesafedeki manyetik alan şiddetinin $20 \mu T$ ’ın altında olduğu görülmektedir. Ayrıca ekranlama yok iken sekonder sargının üzerinde bulunan bisiklet şasesindeki toplam demir kaybı 70,61 W olarak hesaplanırken, tasarlanan pasif ekranlama sonucunda araç şasesindeki ve ferit nüvelerde oluşan toplam demir kaybı 13,17 W olarak hesaplanmıştır. Ekranlama tasarımı için Taguchi L9 ortogonal dizi yöntemi kullanarak, %90’ın üzerindeki güven aralığı oranı ($R_{sq}(\%)$) ile optimize edilmiştir. Sonuç olarak, başlangıçtaki sargı çiftine ekranlama yöntemi Taguchi ile optimize edilmiş olup, ICNIRP standartlarına uygun hale getirilmiştir. Optimizasyon ile manyetik saçılma mesafesi azaltılmış ve verim ise artırılmıştır. Dolayısıyla tasarımda %88,95 oranındaki sistem verimi performansı ile 135,15 W’lık bir güç miktarı alıcı tarafındaki yüke aktarılmıştır. Tasarımın ticarileştirilmesindeki gerekli standartları sağlamak için alüminyum ve ferit nüveli ekranlama yöntemini önerilmektedir. Bununla birlikte TGA sistemlerindeki hizalama hatalarının sistem verimine ve manyetik saçılmaya etkileri incelenmiş ve bu konu hakkında iyileştirici çalışmalar yapılması gerektiği önerilmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] Dikmen İ.C. ve Karadağ T., “Electrical method for battery chemical composition determination”, *Institute of Electrical and Electronics Engineers Erişim*, c. 10, ss. 6496-6504, 2022.
- [2] “Anonim, (2022, 6 Haziran). [Online]. Erişim adresi”: https://tr.upwiki.one/wiki/Tesla_Model_S (erişim Haz. 06, 2022).
- [3] Hong B.K. ve Kim S.H., “(Invited) Recent advances in fuel cell electric vehicle technologies of Hyundai”, *Electrochemical Society Transactions*, c. 86, sy 13, s. 3, Tem. 2018.
- [4] “Anonim, (2022, 1 Ağustos). [Online]. Erişim adresi”: <https://www.gzt.com/jurnalist/otomotiv-devinin-tum-araclari-2030da-elektrikli-olacak-3579409> (erişim Ağu. 01, 2022).
- [5] “Anonim, (2022, 6 Haziran). [Online]. Erişim adresi”: <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2019> (erişim Haz. 06, 2022).
- [6] “Anonim, (2022, 6 Haziran). [Online]. Erişim adresi”: <https://www.elektriklilaraclardergisi.com/genel/abb-ve-shell-endonezya-sarj-alt-yapisini-guclendirecek/> (erişim Haz. 06, 2022).
- [7] “Anonim, (2022, 24 Mayıs). [Online]. Erişim adresi”: <https://tr.motor1.com/features/571271/avrupa-100-km-sarj-istasyonlari/> (erişim May. 24, 2022).
- [8] “Anonim, (2022, 1 Ağustos). [Online]. Erişim adresi”: <https://tr.euronews.com/2019/11/04/merkel-2030-a-kadar-almanya-da-1-milyon-elektrikli-arac-sarj-unitesi-olmalı> (erişim Ağu. 01, 2022).
- [9] “Anonim, (2022, 6 Haziran). [Online]. Erişim adresi”: <https://www.elektriklilaraclardergisi.com/genel/daimler-truck-traton-group-ve-volvo-group-ortak-sarj-agi-girisimi/> (erişim Haz. 06, 2022).
- [10] “Anonim, (2022, 21 Temmuz). [Online]. Erişim”: <https://csb.gov.tr/bakan-kurum-elektrikli-sarj-istasyonlari-zorunlu-olacak-bakanlik-faaliyetleri-29725> (erişim Tem. 21, 2022).
- [11] Hosseini S. ve Sarder M.D., “Development of a Bayesian network model for optimal site selection of electric vehicle charging station”, *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, c. 105, ss. 110-122, Şub. 2019
- [12] Ma T. Y. ve Faye S., “Multistep electric vehicle charging station occupancy prediction using hybrid LSTM neural networks”, *Energy Dergisi*, c. 244, s. 123217, Nis. 2022
- [13] Nurmammed M. ve Karadağ T., “Elektrikli araç şarj istasyonlarının konumlandırılması ve enerji şebekesi üzerine etkisi”, *Dergipark Bilim Dergisi*, c. 8, sy 2, ss. 218-233, Haz. 2021, Erişim: Haz. 02, 2022. [Çevrimiçi]. Available: <https://dergipark.org.tr/en/pub/gujsa/issue/63143/837301>
- [14] “Anonim, (2022, 6 Haziran). [Online]. Erişim adresi”: <https://www.elektriklilaraclardergisi.com/genel/audiden-bir-ilk-daha-sarj-konsepti/> (erişim Haz. 06, 2022).
- [15] Mouli G. R.; Vanduijsen P.; Velzeboer T.; Nair G.; Zhao Y.; Jamodkar A.; Isabella O.; Silvester S.; Bauer P.; Zeman M., “Solar powered e-bike charging station with

- AC, DC and contactless charging”, içinde *2018 20th European Conference on Power Electronics and Applications (EPE'18 ECCE Europe)*, Kas. 2018. Erişim: May. 31, 2022. [Çevrimiçi]. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8515312>
- [16] “Anonim, (2022, 21 Temmuz). [Online]. Erişim adresi”: <https://www.aa.com.tr/tr/ekonomi/elektrikli-arac-sarj-istasyonlarında-ilk-lisanslar-verildi/2599727> (erişim Tem. 21, 2022).
- [17] “Anonim, (2022, 21 Temmuz). [Online]. Erişim adresi”: <https://www.enerjisa.com.tr/tr/isimin-enerjisi/enerji-cozumlerimiz/esarj> (erişim Tem. 21, 2022).
- [18] Cirimele V.; La Ganga A.; Colussi J.; Gloria A.; Diana M.; Bellotti F.; Berta R.; Sayed N.; Kobeissi A.; Guglielmi P.; Ruffo R.; Khalilian M.; “The Fabric ICT platform for managing wireless dynamic charging road lanes”, *Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) Transactions on Vehicular Technology*, c. 69, sy 3, ss. 2501-2512, Mar. 2020
- [19] Birleştirici A.; Şalcı M.S.; Dikkulak A.; Güler F.; Turhan E., “Elektrikli araç şarj istasyonları, EMO bildirisi”, İstanbul, 2015.
- [20] “Anonim, (2022, 21 Temmuz). [Online]. Erişim adresi”: <https://www.dolubatarya.com/haber/elektrikli-arac-sarj-istasyonu-ucreti> (erişim Tem. 21, 2022).
- [21] “Anonim, (2022, 21 Temmuz). [Online]. Erişim adresi”: <https://webrazzi.com/2017/09/26/bmw-kablosuz-sarj/> (erişim Tem. 21, 2022).
- [22] Özder Ö., “Kablosuz güç transferinde kullanılan bobin yapılarının incelenmesi”, Yüksek lisans tezi, Balıkesir Üniversitesi, Balıkesir, 2020. Erişim: May. 30, 2022. [Çevrimiçi]; <https://dspace.balikesir.edu.tr/xmlui/handle/20.500.12462/10846>
- [23] Kim M.; Joo D.M.; Lee B.K., “Design and control of inductive power transfer system for electric vehicles considering wide variation of output voltage and coupling coefficient”, *Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) Transactions On Power Electronics*, c. 34, sy 2, s. 1197, Şub. 2019.
- [24] Ram G.; Mouli C.; Kaptein J.; Bauer P.; Zeman M., “Implementation of dynamic charging and V2G using chademo and CCS/combo DC charging standard”, Netherlands, 2016.
- [25] “Anonim, (2022, 2 Haziran). [Online]. Erişim”: <https://www.nio.com/nio-power> (erişim Haz. 02, 2022).
- [26] “Anonim, (2022, 24 Temmuz). [Online]. Erişim adresi”: <https://www.dreamstime.com/electric-scooter-charging-station-background-modern-building-solar-panels-roof-eco-friendly-city-zero-emissions-image203382355> (erişim Tem. 24, 2022).
- [27] “Anonim, (2022, 24 Temmuz). [Online]. Erişim”: <https://scootertalk.org/how-to-charge-electric-scooters/> (erişim Tem. 24, 2022).
- [28] Ram G.; Mouli C.; VanDuijsen P.; Grazian F.; Jamodkar A.; Bauer P.; Isabella O., “Sustainable e-bike charging station that enables AC, DC and wireless charging from solar energy”, *Energies Dergisi*, c. 13, sy 14, ss. 3549-3564, 2020.
- [29] Kurs A.; Karalis A.; Moffatt R.; Joannopoulos J.D.; Fisher P.; Soljačić M., “Wireless power transfer via strongly coupled magnetic resonances”, *Science Dergisi*, c. 317, sy 5834, ss. 83-86, Tem. 2007
- [30] Ahire D.B.; Gond V.J., “Wireless power transfer system for biomedical application: A review”, *Proceedings - International Conference on Trends in Electronics and Informatics, ICEI 2017*, c. 2, sy 21, ss. 135-140, Oca. 2018.
- [31] Peng Y.; Li Z.; Zhang W.; Qiao D., “Prolonging sensor network lifetime

- throughwireless charging”, *Proceedings - Real-Time Systems Symposium*, ss. 129-139, 2010.
- [32] Bai Y.W.; Su G.Y., “Design of a multi-voltage wireless charging pad for small household electrical appliances”, Ara. 2016.
- [33] Okello J.O. ve Habibu T., “Design of mobile phone charging power source using microwave harvesting”, *Journal of Information Systems Engineering and Management*, c. 5, sy 2, ss. 1-9, May. 2020.
- [34] Ağçal A., “Kablosuz enerji transferinde farklı hava aralıkları ve karakteristik empedanslara göre verim analizi”, Yüksek lisans tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2014. Erişim: May. 27, 2022. [Çevrimiçi]: <http://localhost:6060/xmlui/handle/1/7758>
- [35] Triviño A.; González-González J.M.; Aguado J. A., “Wireless power transfer technologies applied to electric vehicles: A review”, *Energies Dergisi*, c. 14, sy 1547, Mar. 2021.
- [36] Paraliev M.; Gough C.; Ivkovic S., “Tesla coil design for electron gun application”, *Digest of Technical Papers-IEEE International Pulsed Power Conference*, ss. 1085-1088, Haz. 2007.
- [37] Özbet B., “Elektrikli araçlar için kablosuz şarj sistemi tasarımı ve optimizasyonu”, Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2020. Erişim: May. 30, 2022. [Çevrimiçi]: <https://9lib.net/document/9yn1lppz-elektrikli-ara%C3%A7lar-kablosuz-%C5%9Farj-sistemi-tasar%C4%B1m%C4%B1-optimizasyonu.html>
- [38] Aziz P.D.A.; Razak A.L.A.; Bakar M.I.A.; Aziz N.A., “A study on wireless power transfer using tesla coil technique”, *Proceeding - 2016 International Conference on Sustainable Energy Engineering and Application: Sustainable Energy for a Better Life, ICSEEA 2016*, ss. 34-40, Mar. 2017.
- [39] Lu X.; Wang P.; Niyato D.; Kim D.; Han Z., “Wireless charging technologies: fundamentals, standards, and network applications”, *Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) Communications Surveys and Tutorials*, c. 18, sy 2, ss. 1413-1452, Nis. 2016.
- [40] Lu X.; Wang P.; Niyato D.; Hossain E., “Dynamic spectrum access in cognitive radio networks with RF energy harvesting”, *Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) Wireless Communications*, c. 21, sy 3, ss. 102-110, Haz. 2014.
- [41] Lu X.; Wang P.; Niyato D.; Han Z., “Resource allocation in wireless networks with RF energy harvesting and transfer”, *Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) Network*, c. 29, sy 6, ss. 68-75, Kas. 2015.
- [42] Thostenson E.T. ve Chou T.W., “Microwave processing: fundamentals and applications”, *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, c. 30, sy 9, ss. 1055-1071, Eyl. 1999.
- [43] Schlesak J.J.; Alden A.; Ohno T., “SHARP (Stationary high altitude relay platform) - Rectenna and low altitude tests - NASA/ADS”, *Global Telecommunications Conference, New Orleans, LA, December 2-5, 1985, Conference Record. Volume 2 (A86-33901 15-32). New York, Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., Ara. 1985. <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/1985gtc..conf..960S/abstract> (erişim May. 30, 2022).*
- [44] Zhang Q.; Fang W.; Liu Q.; Wu J.; Xia P.; Yang L., “Distributed laser charging: A wireless power transfer approach”, *Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) internet of things Dergisi*, c. 5, sy 5, ss. 3853-3864, Eki. 2018.
- [45] Sevov L.; Khan U.; Zhang Z., “Enhancing power transformer differential protection to improve security and dependability”, *Institute of Electrical and*

- Electronics Engineers (IEEE) Transactions On Industry Applications*, c. 53, sy 3, 2017.
- [46] Kline M.; Izyumin I.; Boser B.; Sanders S., “Capacitive power transfer for contactless charging”, *Conference Proceedings - IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition - APEC*, c. 2, sy 11, ss. 1398-1404, 2011.
 - [47] Luo B.; Long T.; Guo L.; Dai R.; Mai R.; He Z., “Analysis and design of inductive and capacitive hybrid wireless power transfer system for railway application”, *Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) Transactions On Industry Applications*, c. 56, sy 3, 2020.
 - [48] Wang Y.; Yao Y.; Liu X.; Xu D.; Cai L., “An LC/S compensation topology and coil design technique for wireless power transfer”, *Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) Transactions on Power Electronics*, c. 33, sy 3, ss. 2007-2025, Mar. 2018.
 - [49] Abramov E.; Zeltser I.; Peretz M.M., “A network-Based approach for modeling resonant capacitive wireless power transfer systems”, *Cpss Transactions On Power Electronics And Applications*, c. 4, sy 1, Mar. 2019.
 - [50] Väinö K.; Piipponen T.; Sepponen R.; Eskelinen P., “A biosignal instrumentation system using capacitive coupling for power and signal isolation”, *Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) Transactions On Biomedical Engineering*, c. 54, sy 10, 2007.
 - [51] Sodagar A.M.; Amiri P., “Capacitive coupling for power and data telemetry to implantable biomedical microsystems”, içinde *2009 4th International IEEE/EMBS Conference on Neural Engineering*, ss. 411-414, NER '09. 2009.
 - [52] Hui S.Y.R.; Ho W.W.C., “A new generation of universal contactless battery charging platform for portable consumer electronic equipment”, *Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) Transactions on Power Electronics*, c. 20, sy 3, ss. 620-627, 2005.
 - [53] Hu A.P.; Liu C.; Li H.L., “A novel contactless battery charging system for soccer playing robot”, içinde *15th International Conference on Mechatronics and Machine Vision in Practice*, ss. 646-650, M2VIP'08, 2008.
 - [54] Zhang H.; Lu F.; Hofmann H.; Liu W.; Mi C.C., “Six-Plate capacitive coupler to reduce electric field emission in large air-gap capacitive power transfer”, *Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) Transactions on Power Electronics*, c. 33, sy 1, ss. 665-675, Oca. 2018.
 - [55] Kumar A.; Pervaiz S.; Chang C.K.; Korhummel S.; Popovic Z.; Afridi K.K., “Investigation of power transfer density enhancement in large air-gap capacitive wireless power transfer systems”, Haz. 2015.
 - [56] Zhang H.; Lu F.; Hofmann H.; Liu W.; Mi C.C., “A four-plate compact capacitive coupler design and LCL-compensated topology for capacitive power transfer in electric vehicle charging application”, *IEEE Transactions on Power Electronics*, c. 31, sy 12, ss. 8541-8551, Ara. 2016.
 - [57] Sinha S.; Regensburger B.; Doubleday K.; Kumar A.; Pervaiz S.; Afridi K.K., “High-power-transfer-density capacitive wireless power transfer system for electric vehicle charging”, *2017 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE)*, ss. 967-974, Eki. 2017.
 - [58] Karalis A.; Joannopoulos J.D.; Soljačić M., “Efficient wireless non-radiative mid-range energy transfer”, *Annals of Physics, Elsevier*, c. 323, sy 1, ss. 34-48, Oca. 2008.
 - [59] Biswas M., “Comparative study of inductive wireless power transfer pad topologies for electric vehicle charging”, Yüksek lisans tezi, Akron Üniversitesi,

Akron, ABD, 2018.

- [60] Patil D.; McDonough M.K.; Miller J.M.; Fahimi B.; Balsara P.T., “Wireless power transfer for vehicular applications: Overview and challenges”, *IEEE Transactions on Transportation Electrification*, c. 4, sy 1, ss. 3-37, Ara. 2017.
- [61] Li X.; Tsui C.Y.; Ki W.H., “A 13.56 MHz wireless power transfer system with reconfigurable resonant regulating rectifier and wireless power control for implantable medical devices”, *Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) Journal of Solid-State Circuits*, c. 50, sy 4, ss. 978-989, Nis. 2015.
- [62] Goldstein S.C. ve Stancil D.D., “Magnetic resonant coupling as a potential means for wireless power transfer to multiple small receivers”, *Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) Transactions on Power Electronics*, c. 24, sy 7, ss. 1819-1825, Tem. 2009.
- [63] Choi J.; Ryu Y.H.; Kim D.; Kim N.Y.; Yoon C.; Park Y.K.; Kwon S.; Yang Y., “Design of high efficiency wireless charging pad based on magnetic resonance coupling”, içinde *Proceedings of the 9th European Radar Conference*, Kas. 2012, ss. 590-593.
- [64] Kim D.Z.; Kim K.Y.; Kim N.Y.; Park Y.K.; Lee W.S.; Yu J.W.; Kwon S., “One-to-N wireless power transmission system based on multiple access one-way in-band communication”, Ara. 2012. Erişim: Ağu. 15, 2022. [Çevrimiçi]. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/6412017>
- [65] Kurs A.; Moffatt R.; Soljačić M., “Simultaneous mid-range power transfer to multiple devices”, *Applied Physics Letters*, c. 96, sy 4, s. 044102, Oca. 2010.
- [66] Rajagopal S. ve Khan F., “Multiple receiver support for magnetic resonance based wireless charging”, USA, 2011.
- [67] Guidi G.; Suul J.A.; Jensen F.; Sorforn I., “Wireless charging for ships: High-power inductive charging for battery electric and plug-In hybrid vessels”, *Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) Electrification Magazine*, c. 5, sy 3, ss. 22-32, Eyl. 2017.
- [68] Colak K.; Asa E.; Bojarski M.; Czarkowski D.; Onar O.C., “A novel phase-shift control of semibridgeless active rectifier for wireless power transfer”, *Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) Transactions on Power Electronics*, c. 30, sy 11, ss. 6288-6297, Kas. 2015.
- [69] Stielau O.H. ve Covic G.A., “Design of loosely coupled inductive power transfer systems”, *PowerCon 2000 - International Conference on Power System Technology, Proceedings*, c. 1, ss. 85-90, 2000.
- [70] Tian Y.; Sun Y.; Su Y.; Dai X.; Wang Z., “Study on the electric vehicle wireless power supply technology and system based on ICPT”, *World Electric Vehicle Journal 2010, Vol. 4, Pages 710-718*, c. 4, sy 4, ss. 710-718, Ara. 2010.
- [71] Villa J.L.; Sallán J.; Llombart A.; Sanz J.F., “Design of a high frequency inductively coupled power transfer system for electric vehicle battery charge”, *Applied Energy Dergisi*, c. 86, sy 3, ss. 355-363, Mar. 2009.
- [72] Liao C.C.; Huang M.S.; Li Z.F.; Lin F.J.; Wu W.T., “Simulation-Assisted design of a bidirectional wireless power transfer with circular sandwich coils for e-bike sharing system”, *Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)*, c. 8, ss. 110003-110017, 2020.
- [73] Mude K.N. ve Aditya K., “Comprehensive review and analysis of two-element resonant compensation topologies for wireless inductive power transfer systems”, *Chinese Journal of Electrical Engineering*, c. 5, sy 2, ss. 14-31, Haz. 2019.
- [74] Ağçal A. ve Doğan T.H., “1 KW gücünde kablosuz enerji transfer sistemi tasarımı ve insan sağlığına etkileri”, *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, c. 9, sy 3,

- ss. 856-865, Eyl. 2021.
- [75] Chopra S., “Contactless power transfer for electric vehicle charging application: TU delft repositories”, Yüksek lisans tezi, Delft University of Technology Faculty, Swagat, Chopra, 2011. Erişim: Haz. 03, 2022. [Çevrimiçi]. Available: <https://repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid:0088dfe8-1505-42f4-b844-8af1a2e4e40f?collection=education>
 - [76] Waters B.H.; Mahoney B.J.; Lee G.; Smith J.R., *Optimal Coil Size Ratios for Wireless Power Transfer Applications*. 2014.
 - [77] Luo Z. ve Wei X., “Analysis of square and circular planar spiral coils in wireless power transfer system for electric vehicles”, *Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) Transactions on Industrial Electronics*, c. 65, sy 1, ss. 331-341, Oca. 2018.
 - [78] Ahmed A. ve Saad Alam M., “Design and interoperability analysis of quadruple pad structure for electric vehicle wireless charging application”, *Institute Of Electrical And Electronics Engineers (IEEE) Transactions On Transportation Electrification*, c. 5, sy 4, 2019.
 - [79] Budhia M.; Boys J.T.; Covic G.A.; Huang C., “Development of a single-sided flux magnetic coupler for electric vehicle IPT charging systems”, *Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) Transactions on Industrial Electronics*, c. 60, sy 1, 2013.
 - [80] Kuzey S.; Balci S.; Altin N., “Design and analysis of a wireless power transfer system with alignment errors for electrical vehicle applications”, *International Journal of Hydrogen Energy*, c. 42, sy 28, ss. 17928-17939, Tem. 2017.
 - [81] “Anonim, (2022, 3 Ağustos). [Online]. Erişim adresi”: <https://www.pluglesspower.com/learn/mainstream-electric-cars-are-headed-towards-wireless-charging/> (erişim Ağu. 03, 2022).
 - [82] Lukic S. ve Pantic Z., “Cutting the cord: Static and dynamic inductive wireless charging of electric vehicles”, *Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) Electrification Magazine*, c. 1, sy 1, ss. 57-64, Kas. 2013.
 - [83] Sarwat A.I., “(2022, 25 Temmuz). ‘Inductive power transfer systems for electric vehicles - energy, power & sustainability-intelligence’, [Online]. Erişim:” <https://eps.fiu.edu/inductive-power-transfer-systems/> (erişim Tem. 25, 2022).
 - [84] Mulla S.H.; Hawale V.U.; More P.R.; Mandumpal K.J.; Shigwan S., “Wireless charging of electrical vehicle on road”, *International Journal of Advanced Research in Science, Communication and Technology*, c. 3, sy 2, ss. 270-276, Mar. 2021.
 - [85] Tavakoli R.; Pantic Z., “Analysis, design, and demonstration of a 25-kW dynamic wireless charging system for roadway electric vehicles”, *IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics*, c. 6, sy 3, ss. 1379-1393, Eyl. 2018.
 - [86] Cruciani S.; Campi T.; Maradei F.; Feliziani M., “Active shielding design for wireless power transfer systems”, *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility*, c. 61, sy 6, ss. 1953-1960, Ara. 2019.
 - [87] Campi T.; Cruciani S.; Maradei F.; Feliziani M., “Magnetic field mitigation by multicoil active shielding in electric vehicles equipped with wireless power charging system”, *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility*, c. 62, sy 4, ss. 1398-1405, Ağu. 2020.
 - [88] Cruciani S.; Campi T.; Maradei F.; Feliziani M., “Active shielding applied to an electrified road in a dynamic wireless power transfer (WPT) system”, *Energies Dergisi*, c. 13, sy 10, ss. 2522-2535, May. 2020.

- [89] Zhang B.; Carlson R.B.; Salisbury S.D.; Dickerson C.C.; Pennington T.D.; Walker L.K.; Dufek E.J., "Concept design of active shielding for dynamic wireless charging of light-duty EV", *2020 IEEE Transportation Electrification Conference and Expo, ITEC 2020*, ss. 844-850, Haz. 2020.
- [90] Li Y.; Xie K.; Ying Y.; Li Z., "An improved hybrid shielding with LC coil for wireless power transfer system", *Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) Transactions on Electromagnetic Compatibility*, c. 64, sy 3, ss. 720-731, Oca. 2022.
- [91] Wei B.; Wang S.; Jiang C.; Jiang B.; He H.; Liu M., "Matrix metamaterial shielding design for wireless power transfer to control the magnetic field", *Materials Dergisi 2022, Vol. 15, Page 2678*, c. 15, sy 7, s. 2678, Nis. 2022.
- [92] Campi T.; Cruciani S.; Maradei F.; Feliziani M., "Active coil System for magnetic field reduction in an automotive wireless power transfer system", *Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)* , ss. 189-192, 2019.
- [93] Cruciani S.; Campi T.; Maradei F.; Feliziani M., "Active shielding design for wireless power transfer systems", *Institute Of Electrical And Electronics Engineers (IEEE) Transactions On Electromagnetic Compatibility*, c. 61, sy 6, 2019.
- [94] Zhao H.; Liu K.; Li S.; Yang F. Cheng S.; Eldeeb H.; Kang J.; Xu G.; Xu Haisen Zhao G., "Shielding optimization of IPT system based on genetic algorithm for efficiency promotion in EV wireless charging applications", *Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) Transactions On Industry Applications*, c. 58, sy 1, 2022.
- [95] Liang C.; Yang G.; Yuan F.; Huang X.; Sun Y.; Li J.; Song K., "Modeling and analysis of thermal characteristics of magnetic coupler for wireless electric vehicle charging system", *Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)* , c. 8, ss. 173177-173185, 2020.
- [96] Mohammad M.; Wodajo E.T.; Choi S.; Elbuluk M.E., "Modeling and design of passive shield to limit EMF emission and to minimize shield loss in unipolar wireless charging system for EV", *Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) Transactions on Power Electronics*, c. 34, sy 12, ss. 12235-12245, Ara. 2019.
- [97] Budhia M.; Boys J.T.; Covic G.A.; Huang C.Y., "Development of a single-sided flux magnetic coupler for electric vehicle IPT charging systems", *Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) Transactions on Industrial Electronics*, c. 60, sy 1, ss. 318-328, 2013.
- [98] Bosshard R.; Kolar J.W.; Mühlethaler J.; Stevanović I.; Wunsch B.; Canales F., "Modeling and η - α -pareto optimization of inductive power transfer coils for electric vehicles", *IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics*, c. 3, sy 1, ss. 50-64, Mar. 2015.
- [99] Diekhans T. ve De Doncker R.W., "A dual-side controlled inductive power transfer system optimized for large coupling factor variations and partial load", *Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) Transactions on Power Electronics*, c. 30, sy 11, ss. 6320-6328, Kas. 2015.
- [100] Budhia M.; Covic G.A.; Boys J.T., "Design and optimization of circular magnetic structures for lumped inductive power transfer systems", *Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) Transactions on Power Electronics*, c. 26, sy 11, ss. 3096-3108, 2011.
- [101] Lu M. ve Ngo K. D.T., "Attenuation of stray magnetic field in inductive power transfer by controlling phases of windings' currents", *Institute of Electrical and*

- Electronics Engineers (IEEE) Transactions on Magnetism*, c. 53, sy 9, ss. 1-8, Eyl. 2017.
- [102] Wen F. ve Huang X., “Optimal magnetic field shielding method by metallic sheets in wireless power transfer system”, *Energies (Basel)*, c. 9, sy 9, ss. 1-15, Eyl. 2019.
 - [103] Kim J.; Kim Jo.; Kong S.; Kim H.; Suh I.S.; Suh N.P.; Cho D.H.; Kim J.; Ahn S., “Coil design and shielding methods for a magnetic resonant wireless power transfer system”, *Proceedings of the Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)*, c. 101, sy 6, ss. 1332-1342, 2013.
 - [104] Yıldırım E.; Kemer S.B.; Bayraktar M., “IPT design with optimal use of spiral rectangular coils for wireless charging of e-tricycle scooters”, *Engineering Science and Technology, an International Journal*, c. 33, Eyl. 2022.
 - [105] Weng W.C.; Yang F.; Elsherbeni A.Z., “Linear antenna array synthesis using Taguchi’s method: A novel optimization technique in electromagnetics”, *Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) Transactions on Antennas and Propagation*, c. 55, sy 3 I, ss. 723-730, Mar. 2007.
 - [106] Carraro E.; Morandin M.; Bianchi N., “Traction PMASR motor optimization according to a given driving cycle”, *Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) Transactions on Industry Applications*, c. 52, sy 1, ss. 209-216, Oca. 2016.
 - [107] Naseh M.; Hasanzadeh S.; Dehghan S.M.; Rezaei H.; Al-Sumaiti A.S., “Optimized design of rotor barriers in PM-assisted synchronous reluctance machines with taguchi method”, *Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)*, c. 10, ss. 38165-38173, 2022.
 - [108] Lee S.B.; Ahn S.; Jang I.G., “Development of the optimization framework for low-power wireless power transfer systems”, *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, c. 63, sy 3, ss. 813-820, Mar. 2015.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Emin Yayla
Yabancı Dili : İngilizce, B1 (pre-intermediate)

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Y. Lisans	Elektrik Elektronik Müh.	Düzce Üniversitesi	2022
Lisans	Elektrik Elektronik Müh.	Düzce Üniversitesi	2019
Ön Lisans	Elektrik Teknolojileri	Gazi Üniversitesi / Atatürk MYO	2013
Lise	Elektrik Tesisatı ve Pano Monitörlüğü	Sincan Fatih Endüstri Meslek ve Teknik Lise	2011

YAYINLAR

Yayla E., Yıldırım E., “İndüktif güç aktarımlı şarj sistemlerinde alüminyum ekranlama topolojilerine genel bir bakış ve tasarım yaklaşımları”, IMASCON 2022 spring, Fen bilimleri kongresi, Düzce Üniversitesi, Elektrik elektronik mühendisliği, Tezli yüksek lisans, (Yayınlanma tarihi: 1 Temmuz, 2022).