

T.C.
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI



**KABLOSUZ GÜÇ TRANSFERİNDE KULLANILAN BOBİN
YAPILARININ İNCELENMESİ**

ÖMER ÖZDER

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Jüri Üyeleri : **Dr. Öğretim Üyesi Seyit Ahmet SİS (Tez Danışmanı)**
Dr. Öğretim Üyesi Fuat KILIÇ
Dr. Öğretim Üyesi Serkan SEZEN

BALIKESİR, OCAK - 2020

KABUL VE ONAY SAYFASI

Ömer ÖZDER tarafından hazırlanan “KABLOSUZ GÜÇ TRANSFERİNDE KULLANILAN BOBİN YAPILARININ İNCELENMESİ” adlı tez çalışmasının savunma sınavı 22 Ocak 2020 tarihinde yapılmış olup aşağıda verilen jüri tarafından oy birliği ile Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Danışman

Dr. Öğretim Üyesi Seyit Ahmet SİS
Balıkesir Üniversitesi

Üye

Dr. Öğretim Üyesi Fuat KILIÇ
Balıkesir Üniversitesi

Üye

Dr. Öğretim Üyesi Serkan SEZEN
Kocaeli Üniversitesi



Jüri üyeleri tarafından kabul edilmiş olan bu tez Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunca onanmıştır.

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Prof. Dr. Necati ÖZDEMİR



ETİK BEYAN

Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak tarafımda hazırlanan “Kablosuz Güç Transferinde Kullanılan Bobin Yapılarının İncelenmesi” başlıklı tezde;

- Tüm bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Kullanılan veriler ve sonuçlarda herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Tüm bilgi ve sonuçları bilimsel araştırma ve etik ilkelere uygun şekilde sunduğumu,
- Yararlandığım eserlere atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,

beyan eder, aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ederim.

Ömer ÖZDER

ÖZET

**KABLOSUZ GÜÇ TRANSFERİNDE KULLANILAN BOBİN YAPILARININ
İNCELENMESİ
YÜKSEK LİSANS TEZİ
ÖMER ÖZDER
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
(TEZ DANIŞMANI: DR. ÖĞRETİM ÜYESİ SEYİT AHMET SİS)
BALIKESİR, OCAK - 2020**

Kablosuz Güç Transfer yöntemi aralarında hiçbir temas olmadan birincil bobine verilen enerjinin hava aralığından geçerek ikincil bobine aktarılması esasına göre çalışmaktadır. 1900'li yılların başında ilk olarak Nicola Tesla tarafından başlatılan kablosuz güç transferi çalışmaları, mobil elektronik cihazlar ve elektrikli araçlar üzerine teknolojinin de gelişmesiyle cihazlarda kablo karmaşasını azaltmak amacıyla çokça araştırılan konular arasındadır. Elektromanyetik radyasyon, mikrodalga, lazer, endüktif kuplaj ve manyetik rezonans gibi çeşitli fiziksel prensiplere dayanan kablosuz güç transfer sistemleri geliştirilmiş ve literatüre sunulmuştur.

Bu tez çalışmasında kablosuz güç transferinde kullanılan bobin yapılarından çember, kare, dikdörtgen, artı ve DD yapılı bobinlerin simülasyonları ANSYS Maxwell programı vasıtasıyla gerçekleştirilmiştir. İlk olarak çember bobin yapılarının değişik hava aralıkları, sarımlar arası mesafe ve sarım sayısı değiştirilerek simülasyonları yapılmıştır. Daha sonra çember, kare, dikdörtgen, artı ve DD bobin yapılarında üç sarım sayısında, sabit hava aralığında, ferrit eklenerek ve bobinlerin mükemmel hizalanma ve yanlış hizalanma durumlarının simülasyonları yapılarak, bobinler arasında meydana gelen güç bağlaşım seviyeleri incelenmiştir. Elde edilen veriler kullanılarak hangi bobin tipinde enerji iletim veriminin uygun olacağı belirlenmiştir.

ANAHTAR KELİMELELER: Kablosuz güç transferi, endüktif kuplaj, manyetik rezonans, bobin yapıları

Bilim Kod / Kodları : 90512/90513/90516

Sayfa Sayısı : 75

ABSTRACT

**INVESTIGATION OF COIL STRUCTURES USED IN
WIRELESS POWER TRANSFER
MSC THESIS
ÖMER ÖZDER
BALIKESİR UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE
ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERING
(SUPERVISOR: ASSIST. PROF.DR. SEYİT AHMET SİS)
BALIKESİR, JANUARY - 2020**

Wireless Power Transfer systems' operation is based on transmitting electrical energy from a primary side coil to a secondary coil through air. Initial research efforts for wirelessly transmitting electrical energy dates back to Nicole Tesla's works in early 1900s. With recent technological developments in mobile devices and electric vehicles (EVs), wireless power transfer has become a hot topic in research community again. Wireless power transfer systems have been developed based on various physical principals, such as electromagnetic radiation, microwave, laser, inductive coupling and magnetic resonance.

In this thesis work, some commonly utilized coil structures such as circular, square, rectangular, cross-shape and DD coils in wireless power transfer systems are simulated using ANSYS Maxwell. First, circular coils are simulated by systematically varying the air gap, number of turns and separation between the turns. Subsequently, ferrite layers are added to circular, square, rectangular, cross-shape and DD coils, and simulations are performed for various misalignments to observe coupling levels. The number of turns are fixed to three for all the coils in these simulations. Finally, coils are compared in terms of their coupling and misalignment-tolerance performances.

KEYWORDS: Wireless power transfer, inductive coupling, magnetic resonance, coil structures

Science Code / Codes : 90512/90513/90516

Page Number : 75

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER	iii
TABLO LİSTESİ	vii
SEMBOL VE KISALTMALAR LİSTESİ	viii
ÖNSÖZ	ix
1. GİRİŞ	1
1.1 Kablosuz Güç Transferi Tanımı ve Tarihçesi	1
1.2 Kablosuz Güç Transfer Sistemi Literatür Taraması	4
1.2.1 Elektromanyetik Radyasyonla Güç Transfer Sistemi	5
1.2.2 Mikrodalga Enerji Güç Transfer Sistemi	6
1.2.3 Lazerle Güç Transfer Sistemi.....	7
1.2.4 Endüktif Kuplaj İle Güç Transfer Sistemi	8
1.2.5 Manyetik Rezonansla Güç Transfer Sistemi.....	10
1.2.5.1 Sistemin Çalışması	10
1.3 Tezin Amacı.....	11
2. ÇEMBER BOBİN YAPILARI	12
2.1 İzole Çember Bobin Yapısı.....	12
2.2 Ferritsiz Çember Bobin Yapıları.....	14
2.2.1 $N=2, 3, 4$ ve 5 Sarımlı $D=10$ cm Çaplı, Hava Aralığı 5 cm Çember Bobin Simülasyonları	14
2.2.2 $N=2, 3, 4$ ve 5 Sarımlı $D=10$ cm Çaplı, Hava aralığı 10 cm Çember Bobin Simülasyonları	20
2.2.3 $N=2, 3, 4$ ve 5 Sarımlı $D=31$ cm Çaplı, Hava Aralığı 5 cm Çember Bobin Simülasyonları	26
2.2.4 $N=2, 3, 4$ ve 5 Sarımlı $D=31$ cm Çaplı, Hava Aralığı 10 cm Çember Bobin Simülasyonları	31
2.2.5 Ferritli Çember Bobin Yapısının Bağlı Geçirgenlik ve Ferrit Kalınlığına Göre Değişim Simülasyonları	38
2.2.6 Ferritli Çember Bobin Yapısının Tam ve Yanlış Hizalanma Simülasyonları.....	42
3. KARE VE DİKDÖRTGEN BOBİN YAPILARI	44
3.1 Kare Bobin Yapısı.....	44
3.2 Dikdörtgen Bobin Yapısı	47
4. ARTI BOBİN YAPISI	51
5. DD BOBİN YAPISI	55
6. AYNI ÖLÇÜYE SAHİP BOBİN YAPILARININ KARŞILAŞTIRILMASI	57
7. SONUÇ VE ÖNERİLER	59
8. KAYNAKLAR	61
EKLER	65
EK A: Ferrit Nüve Parametreleri.....	65

EK B: Maxwell programında bobin tasarlama aşamaları.....	66
ÖZGEÇMİŞ	75



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1: Tesla'nın Colorado Springs Laboratuvarında yapılmış deneysel çalışması [2]. ..	2
Şekil 1.2: Nicola Tesla'nın Wardencllyffe Kulesi [3].....	3
Şekil 1.3: Tesla tarafından geliştirilen ilk sistemin kendi elinden çizimi [4].....	4
Şekil 1.4: Tesla Bobini Temel Devresi [8].....	6
Şekil 1.5: SHARP firmasının mikrodalga enerjisi ile çalışan uçağı [8].....	7
Şekil 1.6: Basit Endüktif Kuplaj Şeması.....	8
Şekil 1.7: Elektrikli araç takipli 3 faz enerjili karayolu yapımı projesi [18].....	9
Şekil 1.8: Endüktif kuplaj ile kablosuz araç şarj sistemi	9
Şekil 1.9: Manyetik rezonans ile güç aktarımı blok diyagramı.	10
Şekil 2.1: Bobin sarım genişliği ve sarımlar arası mesafe	12
Şekil 2.2: $N=3$ sarımlı izole bobin.	13
Şekil 2.3: Endüktans Grafiğı.	14
Şekil 2.4: Hava aralığı 5 cm olan $N=2$ sarımlı alıcı ve verici bobinler.....	15
Şekil 2.5: Hava aralığı 5 cm olan $N=3$ sarımlı alıcı ve verici bobinler.....	16
Şekil 2.6: Hava aralığı 5 cm $N=4$ sarımlı alıcı ve verici bobinler.....	17
Şekil 2.7: Hava aralığı 5 cm $N=4$ sarımlı alıcı ve verici bobinler.....	18
Şekil 2.8: $D=10$ cm çapındaki bobinlerin bağlaşım katsayılarına göre değışim grafiğı. ...	20
Şekil 2.9: Hava aralığı 10 cm $N=2$ sarımlı alıcı ve verici bobinler.....	21
Şekil 2.10: Hava aralığı 10 cm $N=3$ sarımlı alıcı ve verici bobinler.....	22
Şekil 2.11: Hava aralığı 10 cm $N=4$ sarımlı alıcı ve verici bobinler.....	23
Şekil 2.12: Hava aralığı 10 cm $N=5$ sarımlı alıcı ve verici bobinler.....	24
Şekil 2.13: $D=10$ cm çapındaki bobinlerin bağlaşım katsayılarına göre değışim grafiğı. ..	25
Şekil 2.14: Hava aralığı 5 cm $N=2$ sarımlı alıcı ve verici bobinler.....	26
Şekil 2.15: Hava aralığı 5 cm $N=3$ sarımlı alıcı ve verici bobinler.....	27
Şekil 2.16: $N=4$ sarımlı alıcı ve verici bobinler.	28
Şekil 2.17: $N=5$ sarımlı alıcı ve verici bobinler.	29
Şekil 2.18: $D=31$ cm çapındaki bobinlerin bağlaşım katsayılarına göre değışim grafiğı. ..	31
Şekil 2.19: $N=2$ sarımlı alıcı ve verici bobinler.	32
Şekil 2.20: $N=3$ sarımlı alıcı ve verici bobinler.	33
Şekil 2.21: $N=4$ sarımlı alıcı ve verici bobinler.	34
Şekil 2.22: $N=5$ sarımlı alıcı ve verici bobinler.	35
Şekil 2.23: $D=31$ cm çapındaki bobinlerin bağlaşım katsayılarına göre değışim grafiğı. ..	37
Şekil 2.24: $N=3$ sarımlı, ferrit yüksekliğı 27 mm olan alıcı ve verici bobinler.....	38
Şekil 2.25: $D =10$ cm çapındaki çember bobin yapısının bağıl manyetik geçirgenlik ve ferrit kalınlığı değışim grafiğı.....	40
Şekil 2.26: $N=3$ sarımlı $D=31$ cm çapında ki bobinler arasındaki mesafe 5 cm olan ferritli Maxwell modeli.....	40
Şekil 2.27: $D=31$ cm çapındaki çember bobin yapısının bağıl manyetik geçirgenlik ve ferrit kalınlığı değışim grafiğı.....	42
Şekil 2.28: $N=3$ ve $D=31$ cm çapında yanlış hizalanmış ferritli alıcı ve verici bobinler. ...	43
Şekil 3.1: Tam hizalanmış ferritli kare bobinler.	44
Şekil 3.2: Yanlış hizalanmış ferritli kare bobinler.	45
Şekil 3.3: Kare bobin yapısının bağıl manyetik geçirgenlik ve ferrit kalınlığı değışim grafiğı.....	46
Şekil 3.4: $A=37 \times 25$ cm ebatlarında ferritli tam hizalanmış dikdörtgen bobinler.....	47
Şekil 3.5: $A=37 \times 25$ cm ebatlarında ferritli yanlış hizalanmış dikdörtgen bobinler	48
Şekil 3.6: $A=42 \times 20$ cm ebatlarında ferritli tam hizalanmış dikdörtgen bobinler.....	49

Şekil 3.7: A=42x20 cm ebatlarında ferritli yanlış hizalanmış dikdörtgen bobinler	49
Şekil 4.1: A=20x31 cm ebatlarında ferritli tam hizalanmış artı bobinler	51
Şekil 4.2: A=20x31 cm ebatlarında ferritli yanlış hizalanmış artı bobinler	52
Şekil 4.3: A=10x31 cm ebatlarında ferritli tam hizalanmış artı bobinler	53
Şekil 4.4: A=10x31 cm ebatlarında ferritli yanlış hizalanmış artı bobinler	53
Şekil 5.1: A=31x31 cm ebatlarında ferritli tam hizalanmış DD bobinler.	55
Şekil 5.2: A=31x31 cm ebatlarında ferritli yanlış hizalanmış DD bobinler.....	56
Şekil 6.1: Aynı ölçüye sahip bobin yapılarının tam hizalanma durumundaki bağlaşım sabiti (k) grafiği	58
Şekil A.1: Ferrit bağıl manyetik geçirgenlik parametreleri.	65
Şekil B.1: 3D Çizim Alanı	66
Şekil B.2: Otomatik Çizim Oluşturma	66
Şekil B.3: Çizim parametrelerini belirleme	67
Şekil B.4: Terminallerin çizimi.....	67
Şekil B.5: Terminallerin ölçülerini modelle eşleştirme	68
Şekil B.6: Terminallerin ölçülerini modelle eşleştirme	68
Şekil B.7: Oluşturulan model için malzeme seçimi	69
Şekil B.8: Hava boşluğu oluşturma ve malzeme seçimi	69
Şekil B.9: Terminallere akım uygulama	70
Şekil B.10: Terminallere akım değeri girişı.....	71
Şekil B.11: Parametre seçimi	71
Şekil B.12: Setup eklenmesi	72
Şekil B.13: Modeli kontrol etme ve çalıştırma	72
Şekil B.14: Simulasyon verilerini inceleme.....	73
Şekil B.15: Simulasyon verilerini inceleme.....	74
Şekil B.16: Verileri gözleme.....	74

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 2.1: $N=3$ sarımlı izole bobinin 10, 20, 31 cm çaplarında endüktans değerleri.....	13
Tablo 2.2: $N=2$ sarımlı bobin simülasyon verileri.....	15
Tablo 2.3: $N=3$ sarımlı bobin simülasyon verileri.....	16
Tablo 2.4: $N=4$ sarımlı bobin simülasyon verileri.....	17
Tablo 2.5: $N=5$ sarımlı bobin simülasyon verileri.....	18
Tablo 2.6: Bağlaşım katsayılarına göre $D=10$ cm, hava aralığı 5 cm olan simülasyon sonuçları.....	19
Tablo 2.7: $N=2$ sarımlı bobin simülasyon verileri.....	21
Tablo 2.8: $N=3$ sarımlı bobin simülasyon verileri.....	22
Tablo 2.9: $N=4$ sarımlı bobin simülasyon verileri.....	23
Tablo 2.10: $N=5$ sarımlı bobin simülasyon verileri.....	24
Tablo 2.11: Bağlaşım katsayılarına göre $D=10$ cm, hava aralığı 10 cm olan simülasyon sonuçları.....	25
Tablo 2.12: $N=2$ sarımlı bobin simülasyon verileri. Bobinlerin çapı 31 cm ve bobinler arası mesafe 5 cm dir.....	27
Tablo 2.13: $N=3$ sarımlı bobin simülasyon verileri. Bobinlerin çapı 31 cm ve bobinler arası mesafe 5 cm'dir.....	28
Tablo 2.14: $N=4$ sarımlı bobin simülasyon verileri. Bobinlerin çapı 31 cm ve bobinler arası mesafe 5 cm'dir.....	29
Tablo 2.15: $N=5$ sarımlı bobin simülasyon verileri. Bobinlerin çapı 31 cm ve bobinler arası mesafe 5 cm'dir.....	30
Tablo 2.16: Bağlaşım katsayılarına göre bobinlerin çapı 31 cm ve bobinler arası mesafe 5 cm olan simülasyon sonuçları.....	30
Tablo 2.17: $N=2$ sarımlı bobin simülasyon verileri.....	32
Tablo 2.18: $N=3$ sarımlı bobin simülasyon verileri.....	33
Tablo 2.19: $N=4$ sarımlı bobin simülasyon verileri.....	34
Tablo 2.20: $N=5$ sarımlı bobin simülasyon verileri.....	36
Tablo 2.21: Bağlaşım katsayılarına göre $D=31$ cm, hava aralığı 10 cm olan simülasyon sonuçları.....	36
Tablo 2.22: $D=10$ cm çaplı bobin Bağıl geçirgenlik ve Ferrit kalınlığı değişimine göre simülasyonlar.....	39
Tablo 2.23: $D=31$ cm çaplı bobinin bağıl geçirgenlik ve ferrit kalınlığı değişim simülasyon verileri.....	41
Tablo 2.24: $N=3$ sarımlı 31 cm çapında 5 cm hava aralığında yapılan tam ve yanlış hizalama simülasyon sonuçları.....	43
Tablo 3.1: Kare bobin için tam ve yanlış hizalama durumlarına göre simülasyon sonuçları.....	45
Tablo 3.2: $A=31*31$ cm ebatlarında kare bobin yapısının bağıl geçirgenlik ve ferrit kalınlığı değişimlerinde ki simülasyon sonuçları.....	46
Tablo 3.3: $37*25$ ebatlarında dikdörtgen bobin yapısı.....	48
Tablo 3.4: $42*20$ ebatlarında dikdörtgen bobin yapısı.....	50
Tablo 4.1: $20*31$ cm ebatlarında artı bobin yapısı.....	52
Tablo 4.2: $10*31$ cm ebatlarında artı bobin yapısı.....	54
Tablo 5.1: $31*31$ cm ebatlarında DD bobin yapısı.....	56
Tablo 6.1: Aynı ölçüye sahip bobin yapılarının karşılaştırılması.....	57

SEMBOL VE KISALTMALAR LİSTESİ

<i>A</i>	: Alan (cm ²)
<i>D</i>	: Çap (cm)
<i>N</i>	: Sarım Sayısı
<i>M</i>	: Karşılıklı Endüktans (μH)
<i>L</i>	:Endüktans (μH)
<i>k</i>	:Bağlaşım Katsayısı
<i>μ_r</i>	:Bağıl Manyetik Geçirgenlik
KGT	:Kablosuz Güç Transferi
MPT	:Microwave Power Transfer
<i>t</i>	: Sarımlar Arası Mesafe



ÖNSÖZ

Yüksek lisans tez çalışmalarım süresince, bilgi ve tecrübesiyle bana yol gösteren ve desteğini hiçbir zaman esirgemeyen değerli hocam Dr. Öğretim Üyesi Seyit Ahmet SİS'e, en derin saygılarımla teşekkür ederim.

Tez çalışmam boyunca her zaman yanımda olan, maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen eşim Melek ÖZDER'e, kızım İpek Ece ÖZDER'e, annem Sacide ÖZDER'e, her daim varlığını hissettiğim rahmetli babam Köksal ÖZDER'e sevgi ve minnet duygularıyla teşekkür ederim.

Balıkesir, 2020

Ömer ÖZDER



1. GİRİŞ

Elektrik enerjisinin üretimi, dağıtımı ve iletiminin nasıl yapıldığı önemli konular arasında yer almaktadır. Teknolojinin gelişmesiyle hayatımıza giren internetin ilk yıllarda bağlantısı kablo ile gerçekleşmesine rağmen, son on yıldır özellikle bina içi internet ağına bağlantı büyük ölçüde kablosuz olarak gerçekleştirilmektedir. Bu kablosuz aktarım fikri elektrik enerjisinin de kablosuz olarak aktarılması alternatiflerini ortaya çıkarmıştır.

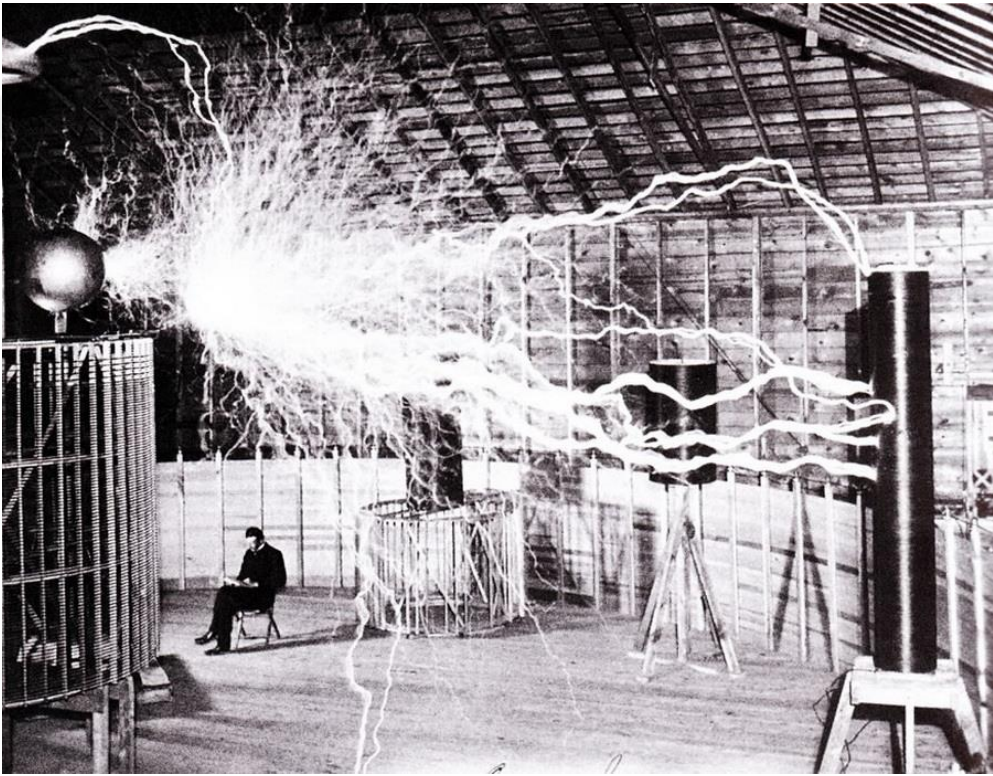
Kablosuz güç transfer (KGT) teknolojisi elektrik enerjisinin, hava ortamında primer ve sekonder olarak adlandırılan bobin yapıları arasında herhangi bir iletken bağlantı olmaksızın manyetik alan bağlaşımı vesilesiyle aktarımına dayanmaktadır. Kablosuz güç transfer çalışmasındaki amaç çalışma ortamlarımızdaki kablo karmaşasını ortadan kaldırmak, iletim esnasında kablolar nedeniyle oluşan kayıpları ve ıslak ortamlarda oluşabilecek elektrik çarpma riskini en aza indirmektir.

Alıcı ve verici bobinler arasında bir temas olmaması nedeniyle kablosuz güç transfer (KGT) sistemleri; kullanım kolaylığı, yüksek emniyet, yüksek güvenilirlik, düşük bakım maliyeti ve uzun kullanım ömrü gibi avantajları beraberinde getirmektedir. Bu üstünlüklerinden dolayı kablosuz güç transfer sistemlerinin özellikle, elektrikli araç ve otobüs gibi uygulamalarda kullanılmaya başlandığı ve giderek yaygınlaştığı gözlenmektedir. Elektrikli araçlarda KGT teknolojisinin kullanımı ile birlikte, çevredeki kablo karmaşası ve kirliliğinin azaltılması sağlanacak, kullanıcılar için zahmetli olan şarj işlemi, daha hızlı, zahmetsiz, çevre estetiğine uyumlu ve güvenli bir şekilde gerçekleştirilebilecektir. Bu tez çalışmasında çeşitli geometrik yapılardaki bobinlerin simülasyonları Maxwell programı kullanılarak yapılmaktadır. Simülasyon sonuçları sistematik olarak verilmekte ve bobinlerin karşılaştırılması simülasyon sonuçlarına binaen sunulmaktadır.

1.1 Kablosuz Güç Transferi Tanımı ve Tarihçesi

Kablosuz güç transferi konusu bir asır önce Nikola Tesla'nın öne sürdüğü bir fikir olup ve son dönemdeki önemli araştırma konuları arasında yer almıştır [1]. Tesla iletkenler olmadan dünyanın her tarafına elektrik enerjisini kablosuz olarak aktarmak için birçok araştırma yapmıştır. Alternatif akımın ışığa karakteristiği sayesinde dünya yüzeyinde alıcı antenler vasıtasıyla elektriğin kablosuz olarak optimum noktalara iletilmesini umuyordu [2].

Tesla 1899 yılında Colorado Springs Electric Company laboratuvarında kablolar olmadan elektrik aktarma konusundaki ilk girişimini gerçekleştirdi (Şekil 1.1). Büyük kare şeklinde bir binada yaklaşık 61 metre yüksekliğinde direğe 1 metre çapında büyük bakır bir küre inşa etti. Tesla bobini 150 kHz frekansla rezonansa tabi tutuldu ve laboratuvardan elde edilen 300 kW düşük frekanslı güçle beslendi. Tesla 'ya göre bobinin çıkış direği enerjilendiğinde küre üzerinde 100 MV enerji potansiyeli üretildiği belirtilmiştir. Dünya yüzeyine göre bu kadar yüksek bir potansiyel, dünyanın her yanından görünür deşarjlara neden olduğu ve bununla birlikte, bu gücün ne kadarının uzaya yayıldığına ve ne kadarının uzak bir noktada toplanıp toplanmadığına dair net bir kayıt yoktur [2].



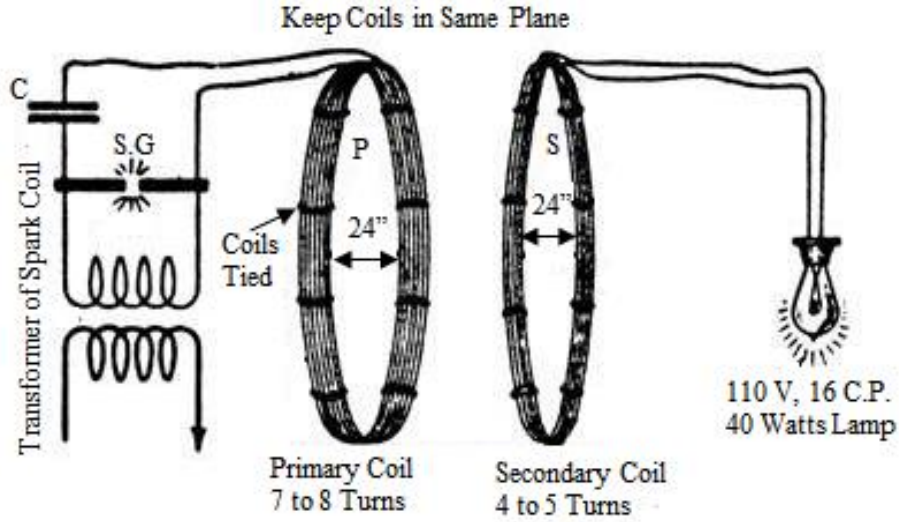
Şekil 1.1: Tesla'nın Colorado Springs Laboratuvarında yapılmış deneysel çalışması [2].

Tesla daha sonraki çalışmalarına 1901 yılında Long Island Sound yakınlarında "Wardenclyffe" kulesinin yapımına başlamıştır (Şekil 1.2). Kulenin yapılış amacı telgraf yayını yapmak olsa da Tesla'nın düşünceleri bunun ötesindeydi. Tesla iyonosferi kullanarak bu kuleden tüm dünyaya elektriği kablosuz olarak iletmeyi planlıyordu. Enerji merkezi olarak Niagara şelalesindeki santrali kullanacaktı. Fakat maddi imkânsızlıklardan dolayı projesi tamamlanmamıştır [3].



Şekil 1.2: Nicola Tesla'nın Wardenclyffe Kulesi [3].

Elektromanyetik ışınım temelli çalışmalarının yanı sıra, Tesla'nın yakın mesafelerde manyetik alan kuplajlanma temeline dayanan güç transfer sistemi üzerinede çalışmaları bulunmaktadır. Şekil 1.3'de Tesla'nın geliştirdiği ve endüktif güç transferinin temeli sayılabilen ve kendi çizimiyle sunulmuş kablosuz güç transfer sistem tasarımı gösterilmektedir. Burada alıcı ve verici bobinlerin çapı 24'' (yaklaşık 61 cm) olacak şekilde ve üzerinde belirtilen sarım sayılarına göre bir adım mesafede bulunan 110 V, 40 W'lık ampulün yakılması için tasarlanmıştır [4].



Şekil 1.3: Tesla tarafından geliştirilen ilk sistemin kendi elinden çizimi [4].

Kablosuz güç transfer sistemleri ile ilgili son dönemde yoğun şekilde başlayan çalışmalarını tetikleyen olay esasında 2007 yılında MIT’de bir grup araştırmacının 2 metreyi aşan mesafede %40 verimlilikle 60 W gücünde enerjiyi aktarmasıdır [5]. Prof. Soljajic ve ekibi, kuplajlanmış bobinler rezonansa sokup güçlü kuplajlanma rejiminde çalıştırmışlar ve kablosuz güç transfer konusunu farklı bir boyuta taşımışlardır. Aşağıdaki bölümlerde kablosuz güç transferi konusuyula ilgili literatür çalışmaları kronolojik olarak sunulmaktadır.

1.2 Kablosuz Güç Transfer Sistemi Literatür Taraması

Nikola Tesla ile başlayan kablosuz güç transferi (KGT) çalışması, teknolojinin çok disiplinli bir alan olarak yön almasıyla önemini giderek artırmış farklı disiplinlerin ortak bir çalışma alanı haline gelmiştir. Dahası ilerde oluşabilecek muhtemel sorunların çözümü olarak gösterilen bir takım önerilerin hayata geçirilmesinde önemli rol oynamaktadır [6]. Kablosuz güç transfer sistemleri dayandıkları fiziksel temeller açısından aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir [6,7].

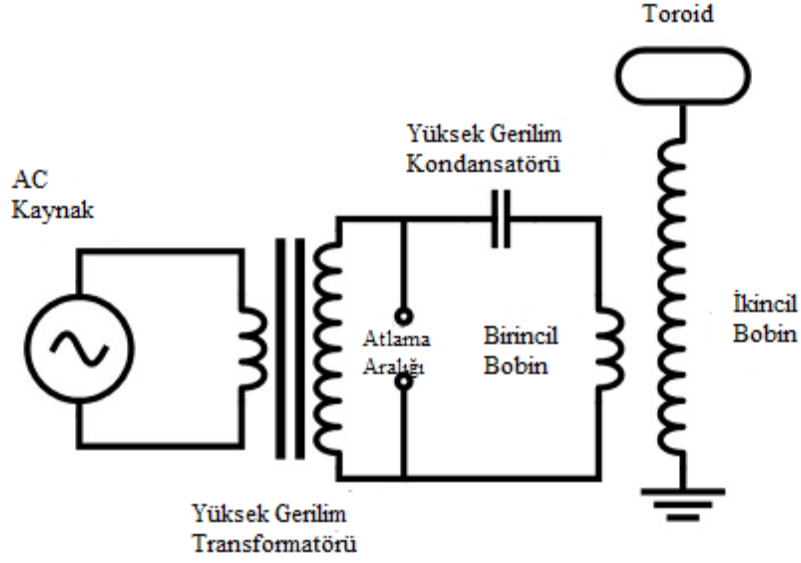
- Elektromanyetik Radyasyonla Güç Transfer Sistemi
- Mikrodalga Enerji Güç Transfer Sistemi
- Lazerle Güç Transfer Sistemi
- Endüktif Kuplaj Güç Transfer Sistemi
- Manyetik Rezonansla Güç Transfer Sistemi

KGT ile ilgili literatür çalışmaları, her bir tür için ayrı ayrı irdelenmekte ve farklı alt başlıklar altında aşağıda verildiği şekilde sunulmaktadır.

1.2.1 Elektromanyetik Radyasyonla Güç Transfer Sistemi

Elektromanyetik radyasyon fikri ilk olarak James C. Maxwell tarafından ortaya atılmıştır. Buna rağmen Tesla elektromekanik osilatörleri kullanarak, enerji yayılımı nedeniyle osilatörlerin yanında bulunan vakum tüplerinin zarar gördüğünü fiziksel olarak gözlemlenmiştir [7]. Elektromanyetik radyasyon Tesla tarafından bir iletken üzerindeki gerilimi değil boşluk ve madde üzerindeki enerjinin hareketi olarak tanımlanmıştır. Tesla bobini bu enerjinin oluşturulması için tasarlanmış yüksek gerilim ve yüksek frekanslı akım kaynağıdır [3,7].

Yukarıda verildiği üzere, Şekil 1.4'te Tesla bobinin temel devresi görülmektedir. Tesla bobini; yüksek gerilim trafosu, atlama aralığı, yüksek gerilim kondansatörü, sarım sayısı az birincil bobin, sarım sayısı fazla ikincil bobin ve ikincil bobine bağlı yüksek gerilimli enerji çıkışının yapıldığı iletken (toroid) oluşmaktadır. Birincil bobin iletkeninin ikincil bobine göre kesit alanı daha büyüktür. Şekil 1.4'te gösterildiği gibi düşük gerilim kaynağını yüksek gerilim kaynağına dönüştürmek için, yüksek gerilim transformatörü kullanılır [7]. Bobinin birincil sarım uçları (yüksek gerilim uçları), bir atlama aralığına bağlanır. Yüksek gerilim trafosu ile yüksek gerilim kondansatörü şarj edilir. Kondansatörün tepe gerilimine göre ayarlanan atlama aralığının gerilimleri eşitlendiğinde atlama uçları arasında kısa devre oluşur ve kondansatör ile birincil bobin paralel devre haline gelir. Birincil bobin manyetik olmayan çekirdek üzerine sarılı birkaç sarımdan oluşur ve çok sargılı ikincil bobin ise hava boşluğuyla ayrılır. Birincil bobindeki gerilim, tıpkı indüksiyon bobinindeki gibi artarak, ikincil bobinden çıkar. Atlama aralığı akımın birincil bobinde yüksek frekansta bir salınımla titreşmesine neden olur. Titreşimin etkisiyle ikincil bobin uçlarından, hem yüksek gerilim, hem de yüksek frekans elde edilir. Bu cihaz genellikle deneysel amaçla kullanılmıştır [8].



Şekil 1.4: Tesla Bobini Temel Devresi [8].

1.2.2 Mikrodalga Enerji Güç Transfer Sistemi

Yüksek frekanslı mikrodalga vericiler yardımıyla da kablosuz güç transfer sistemleri üzerine çalışmalar yapılmıştır. Mikrodalga enerjisiyle uzun mesafelere enerji aktarımı söz konusudur. Elektrik enerjisinin mikrodalga enerjisine dönüştürülmesi vakum tüpleri (magnetron) ya da yarı iletken teknolojisi (transistörler) ile olur. Vakum tüpleri mikrodalga enerjisi için yüksek güç ve frekansları elde etmede kullanılır. Magnetron toplu üretildiği ve maliyetleri düşük olduğundan endüstride en yaygın kullanılan mikrodalga kaynağıdır. Vakum tüpleri uygulamalarda genellikle 0.915-2.45 GHz frekanslarında kullanılır [9]. Mikrodalga enerjisinin basitçe çalışması ise elektrik enerjisi verici kısmında mikrodalga enerjiye çevrilir. Alıcı kısmında ise doğrultucu yardımıyla bu enerji tekrar alınır ve elektrik enerjisine çevrilir.

Bu alanda 1980'lerde Kanada Haberleşme Araştırma Merkezi'nin Stationary High Altitude Relay Platform (SHARP) adını verdiği çalışma bu alandaki en ciddi çalışmalardan biridir. Bu 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(Şekil 1.5). Ayrıca ayda güneş enerji santrali kurup elde edilen enerjinin MPT yöntemi ile dünyaya aktarılması gelecek projelerinden biri olarak öngörülmektedir [10].



Şekil 1.5: SHARP firmasının mikrodalga enerjisi ile çalışan uçağı [8].

1.2.3 Lazerle Güç Transfer Sistemi

Uzun dalga boylu yüksek güçlü lazer diyotlar ve fotovoltaik hücreler sayesinde elektrik enerjisini onlarca metre üzerinden güvenli ve verimli bir şekilde kablosuz aktarmak mümkün kılınmaktadır. Güç ışınlama olarak da bilinen bu yöntemde, güç bir alıcıda ışının elektrik enerjisine dönüştürülmesiyle kullanılabilir [11].

Avantajları;

- Paraleleştireilmiş tek renkli ön dalga yayılımı, kesit alanı dar bir ışının uzun mesafelerde iletilmesini sağlar
- Katı hal lazerleri kompakt olduğundan daha küçük ürünlerin içine sığmasına olanak tanır.
- Radyo frekansı, Wi-Fi ve cep telefonları gibi mevcut haberleşme sinyallerini engellemez.
- Erişim kontrolü sadece lazer alıcılardan sağlanır [12].

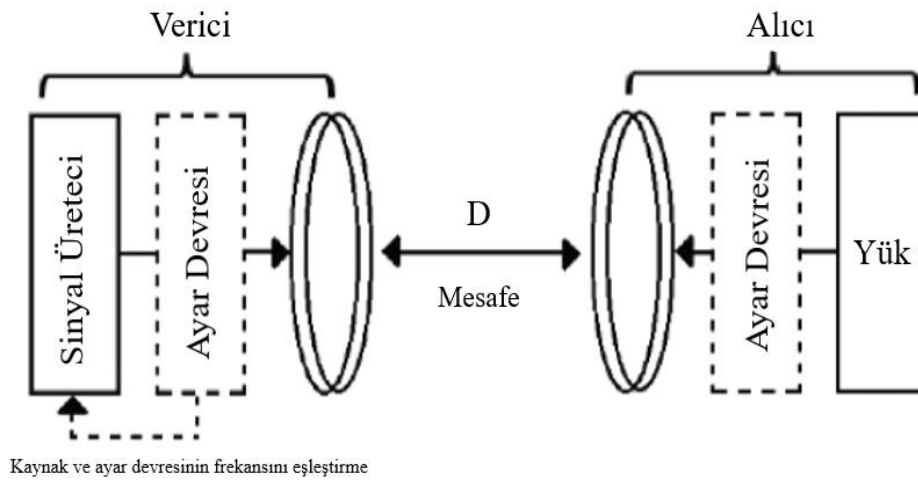
Dezavantajları;

- Lazer radyasyonu tehlikelidir. Düşük güç seviyeleri insanları ve diğer hayvanları kör edebilir. Yüksek güç seviyeleri ise lokal noktalarda ısıtma ile canlılara zarar verebilir.

- Elektrik ve ışık arasındaki dönüşüm sınırlıdır. Bu yüzden fotovolatik hücrelerden , % 40 ile % 50 verim elde edilir. (Lazer ışığının elektriğe dönüşümünün etkinliği, güneş ışığından elektriğe dönüşümüne göre çok daha yüksektir).
- Hedefe doğrudan bir bakış açısı gerektirir.
- Bulutlar, sis, yağmur... vb. atmosferik olaylardan dolayı emilim, saçılma ve soğurulma % 100'e kadar kayıpları neden olur. [12].

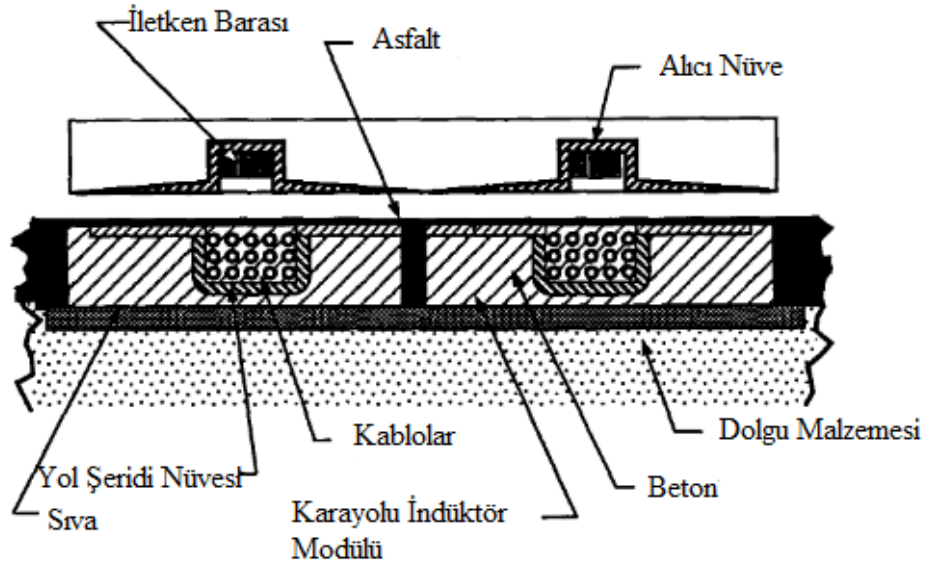
1.2.4 Endüktif Kuplaj İle Güç Transfer Sistemi

Endüktif kuplaj KGT sistemlerinde en yaygın kullanılan enerji dönüşüm sistemidir [13,14]. Bu yöntem kısa mesafelerde enerji aktarımı için uygundur. Böylelikle kısa mesafelerde tıbbi cihazlar, mobil cihazlar, elektrikli araçlar gibi bir çok cihazın şarj edilmesinde güvenle kullanılmaktadır [15,16]. İki iletkenin karşıt endüktans bağlantısıyla veya manyetik kuplajla, bir iletkenin geçen akımın başka bir iletkende elektromanyetik indüksiyon ile gerilim indüklemesine endüktif kuplaj adı verilir. İki iletkenin arasındaki endüktif kuplaj miktarını ölçmek için, iletkenlerin karşılıklı endüktansları kullanılır. İki bobin arasındaki endüktif kuplajın artırılması için bobinler birbirine paralel, aynı eksen üzerinde yerleştirilmelidir. Böylelikle bir bobinin manyetik alanı diğerine geçer. İki bobin fiziksel olarak transformatörde olduğu gibi tek bir yapıda ya da ayrı halde bulunabilir [17]. Kuplaj istemli veya istemsiz olabilir. İstemsiz kuplaj cızırtı da denilen elektromanyetik parazitlerden oluşur. Endüktif kuplaj genellikle düşük frekanslı enerji kaynaklarını tutar. Yüksek frekanslı enerji kaynaklarında genellikle kapasitif kuplaj kullanılır [7].



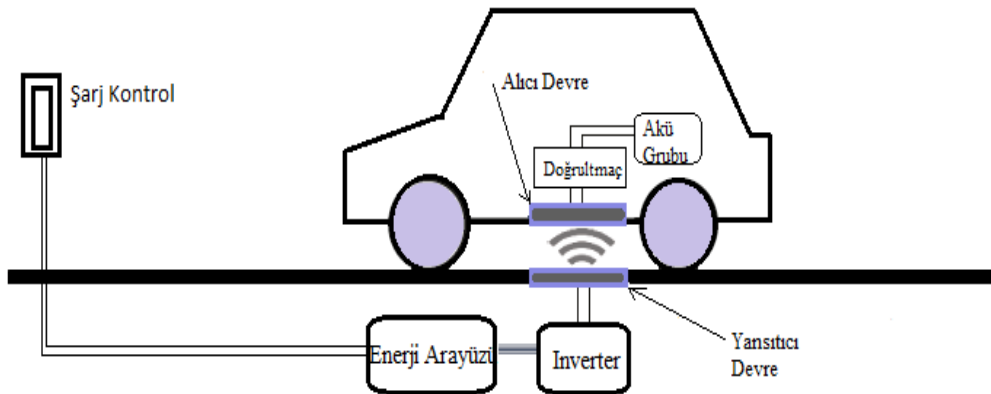
Şekil 1.6: Basit Endüktif Kuplaj Şeması

Endüktif kuplajda iki cihaz arasındaki enerji transferi manyetik alan bağlaşımıyla sağlanır. Enerji elektrikli cihazlara endüktif kuplaj ile aktarılır ve cihazları çalıştırmakta kullanılır. Endüktif kuplaj ile elektrikli araçların ilk şarj denemeleri “ Elektrikli Araç Takipli 3 Faz Enerjili Karayolu Yapımı Ve Testi Projesi ” ile 1994 yılında California Üniversitesi’nden bir grup araştırmacı 7.6 cm hava aralığından %60 verimle yapmışlardır [18].



Şekil 1.7: Elektrikli araç takipli 3 faz enerjili karayolu yapımı projesi [18].

Endüktif kuplajla güç transfer sistemlerinin sabit veya hareketli de olabilir [19]. Şekil 1.8’de elektrikli araçların şarj işleminde kullanılan endüktif kuplaj güç sistemlerinin sabit hali görülmektedir[20,21,22].



Şekil 1.8: Endüktif kuplaj ile kablosuz araç şarj sistemi

1.2.5 Manyetik Rezonansla Güç Transfer Sistemi

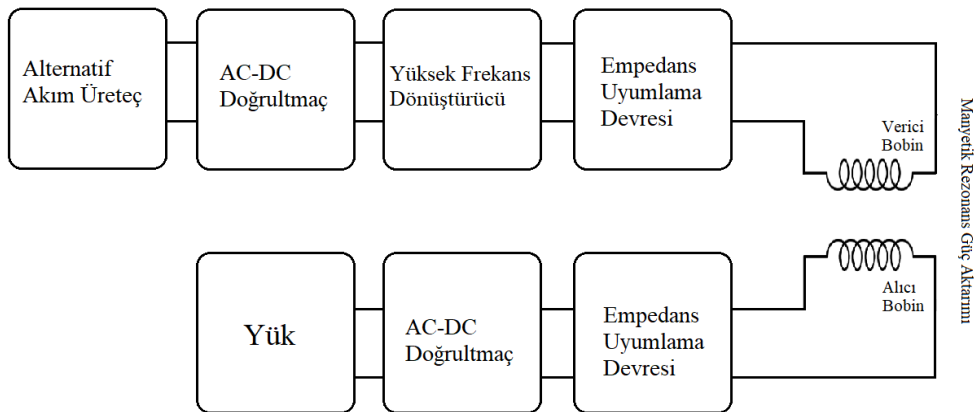
Manyetik rezonans tabanlı kablosuz güç aktarma sistemleri, endüktif güç aktarma sistemlerine kıyasla daha büyük aktarım mesafeleri sunar. Bu manyetik rezonanslı güç aktarma sistemi elektrikli araç şarj cihazlarından, dizüstü bilgisayarlar ve cep telefonu gibi mobil cihazlara kadar birçok uygulamada kullanımı için uygun kılabilir [23,24,25].

Bu uygulamalarda, şarj edilecek cihaz güç aktarımı sırasında yanlış hizalanmış olabilir ve böyle bir yanlış hizalamanın sistem tasarımında dikkate alınması gerekir, çünkü bobinler arasındaki bağlantıyı azaltır ve sonuçta güç aktarım verimliliğini bozar [26].

Manyetik Rezonanslı Güç aktarım sistemi üzerine yapılan çalışmalara 2007 yılında MIT'li bir grup araştırmacının, daha sonra Witricity isimli şirket ile ticarileşeceği, buluşla kablosuz enerji transferinde devrim yaratacak bir uygulama yapmışlardır. Kullandıkları bu manyetik rezonanslı enerji aktarma teorisiyle, 60 W'lık bir lambayı 2 metre mesafeden, %40 civarında bir verimle kablosuz olarak yakılabılmıştır. Böylelikle kısa mesafede elektrik güç aktarımı gerçekleştirilmiştir. Witricity sisteminde enerji manyetik rezonans ile transfer edilir. Primer rezonans bobinindeki enerji normal çalışmada sekonder rezonans bobini tarafından tamamen alınır. Böylelikle bu teoride transfer edilen enerji verimli bir şekilde rezonanslı cihazlar arasında, ayrıca zayıf bir şekilde de olsa rezonanslı olmayan nesnelere de paylaşılır [7,27].

1.2.5.1 Sistemin Çalışması

Şekil 1.9'da değişik uygulama alanlarına sahip olan manyetik rezonans ile güç aktarım sisteminin blok diyagramı gösterilmiştir. Bağlaşım değişikliklerine bağlı olarak çıkış gücündeki düşüşlerini telafi etmek için sistem düzeyinde çeşitli çözümler önerilmiştir [28,29].



Şekil 1.9: Manyetik rezonans ile güç aktarımı blok diyagramı.

Şekil 1.9'daki blok diyagram en yukardaki satırdan başlayarak sağa doğru ilerlemektedir. Manyetik Rezonans siteminin giriş gücü çoğunlukla alternatif akım kaynağı kullanılarak AC-DC doğrultmaç devresi ile doğrultularak sağlanır veya direk DC gerilim akülerden veya başka bir DC kaynak kullanılarak yapılabilir. Yüksek verimli dönüştürücüler DC gerilimi radyo frekansında (RF) gerilim dalgasına dönüştürür ve gerilim dalgası ile rezonatörü çalıştırmakta kullanılır.

Dönüştürücünün çıkışıyla kaynak rezonatörünün etkin bir bağlaşım oluşturması için genellikle empedans uyumlama devresi ve kompanzasyon kondansatörleri kullanılır. Bu devre dönüştürücünün verimli çalışmasını sağlar. Çoğunlukla en yüksek verim sağlamak için endüktif yük empedansı kullanılır [28,30].

Empedans uyumlama devresi; kaynak rezonatörünün empedansını, buna bağlama ile etki eden cihaz rezonatörünün ve çıkış yükünün empedansını kaynağa uygun bir empedansa dönüştürmeyi sağlar. Kaynak rezonatörü tarafından üretilen manyetik alan alıcı rezonatörü ve verici rezonatör ikilisi arasında enerji yüklenmesine neden olur. Bu enerji alıcı rezonatörüne bağlandığında doğrudan bir yüke güç olarak verebilir veya akülerin doldurulmasında kullanılabilir. Burada ki ikinci empedans uyumlama devresi rezonatörden yüke verimli bir enerji akışı için kullanılabilir. Asıl yük empedansını en iyi verim için yüklenmeyi daha yakın eşleştiren alıcı rezonatörü tarafında görülen etkin yük empedansına çevirebilir. DC gerilim gerektiren yükler için doğrultmaç, burada alınan AC gücü tekrar DC güce çevirir [27].

1.3 Tezin Amacı

Kablosuz güç transfer sistemlerinin tasarımında çeşitli faktörler etkili olabilmektedir. Bu faktörlerden biri de seçilen bobin yapısıdır. Enerjinin aktarımı sırasında seçilen bobinin tipine göre enerji transferinin verimliliği değişecektir. Bu çalışmada aynı sarım sayısında ve aynı ebatlara sahip çeşitli geometrik yapılarda olan bobinlerin simülasyonları yapılmıştır. Elde edilen veriler ışığında hangi bobin tipinde enerji iletim veriminin uygun olacağı belirlenmiştir.

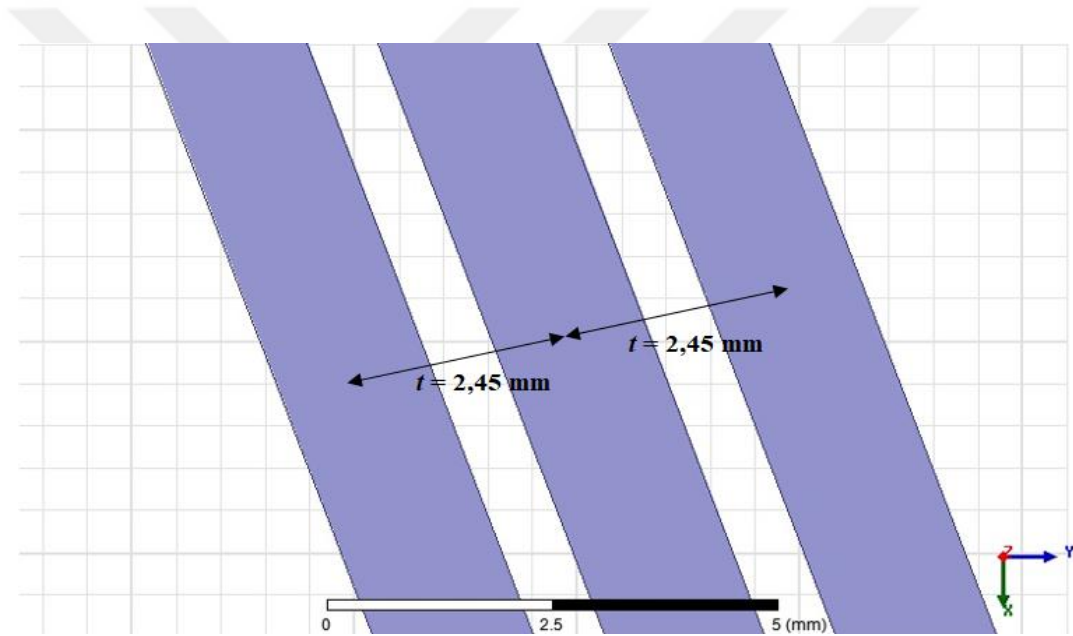
2. ÇEMBER BOBİN YAPILARI

Tezin bu bölümünde çeşitli boyutlarda, mesafelerde ve konfigürasyonlarda çembersel bobinlerin simülasyon sonuçları verilecektir.

2.1 İzole Çember Bobin Yapısı

İzole çember bobin yapısının sarımlar arasındaki mesafeleri 0,5 mm adımlarla değiştirilmiş ve 10 cm, 20 cm ve 31 cm çaplı bobinlerin içinden 5 Amper akım geçirilerek endüktanslarının simülasyonları Maxwell programında yapılmıştır.

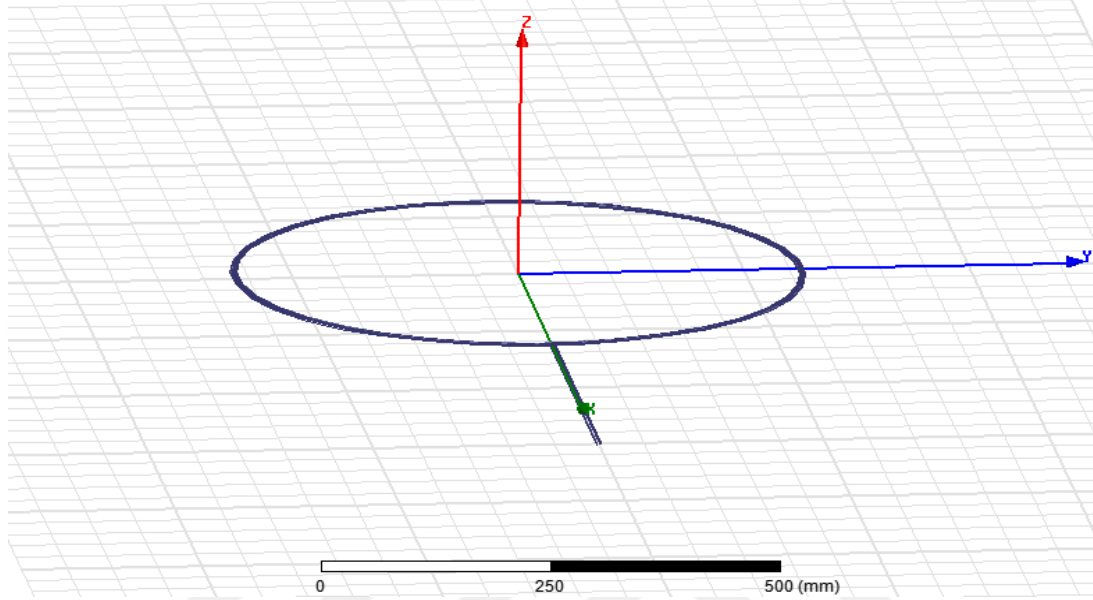
Şekil 2.1’de $N=3$ sarımlı, iki sarım arasındaki mesafenin (t) iletken izolasyonları dahil olacak şekildi minimum başlangıç mesafeleri gösterilmiştir.



Şekil 2.1: Bobin sarım genişliği ve sarımlar arası mesafe

$N=3$ sarım için;

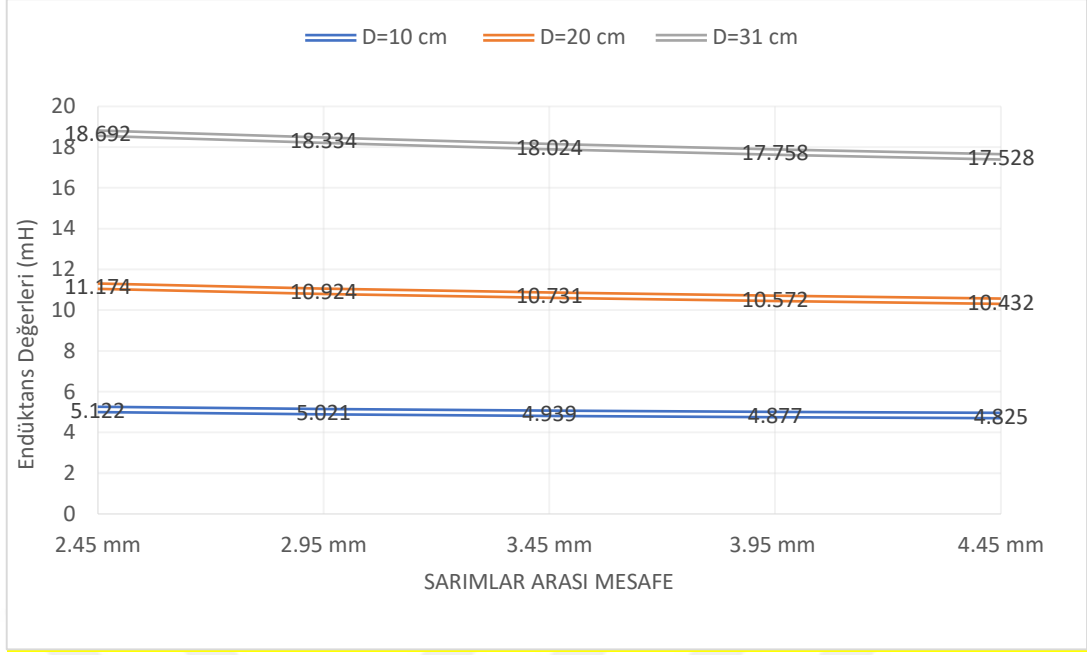
Şekil 2.2’de $N=3$ sarımlı izole bobin Maxwell modeli görülmektedir. Bobinler $1,44 \text{ mm}^2$ kesitli bakır iletkenlerden oluşmaktadır.



Şekil 2.2: $N=3$ sarımlı izole bobin.

Tablo 2.1: $N=3$ sarımlı izole bobinin 10, 20, 31 cm çaplarında endüktans değerleri.

Sarımlar arası mesafe (t)	Bobin Çapı (cm)		
	10	20	31
2,45 mm	5,122 μH	11,174 μH	18,692 μH
2,95 mm	5,021 μH	10,924 μH	18,334 μH
3,45 mm	4,939 μH	10,731 μH	18,024 μH
3,95 mm	4,877 μH	10,572 μH	17,758 μH
4,45 mm	4,825 μH	10,432 μH	17,528 μH



Şekil 2.3: Endüktans Grafiği.

10, 20 ve 31 cm çaplarında ki $N=3$ sarımdan oluşan izole bobinlerden 5 Amper akım geçirilip bobin sarımları arasındaki mesafeler 0,5 mm adımlarla, 2,45 mm den 4,45 mm ye kadar değiştirilerek simülasyonlar yapılmıştır. Maxwell programında hesaplanan endüktans değerleri Tablo 2.1’de kaydedilmiştir. Şekil 2.3’teki grafik incelendiğinde bobin sarımları arasındaki mesafeler değiştiğinde endüktans değerlerinin azda olsa düştüğü görülmektedir. Bununla birlikte endüktans değerleri çapın artışıyla birlikte yüksek oranda artmaktadır.

2.2 Ferritsiz Çember Bobin Yapıları

$N=1,2,3,4$ ve 5 sarım sayısında çembersel geometride kuplajlanmış bobin çiftleri ferritsiz olarak $D=10$ cm ve $D=31$ cm çaplarında ki bobinlerden 5 Amper akım geçirilerek simule edilmiştir. Burada bobinler arası mesafeler 5 cm ve 10 cm olarak alınmıştır.

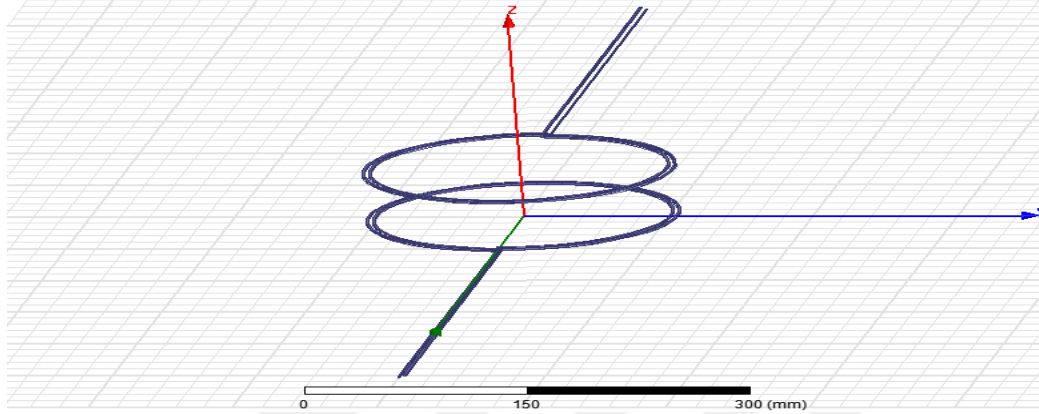
2.2.1 $N=2, 3, 4$ ve 5 Sarımlı $D=10$ cm Çaplı, Hava Aralığı 5 cm Çember Bobin Simülasyonları

$N=2, 3, 4$ ve 5 sarımlı 10 cm çapında alıcı ve verici bobinlerin arasında ki mesafe 5 cm olan hava aralığında bulunan bobinlerin sarımlarının arasındaki mesafelerin 0,5 mm adımlarla

değişimi neticesinde karşıt endüktans, bobin endüktansı ve bağlaşım katsayılarının değişimleri tablolarda görülmektedir.

$N=2$ sarımlı bobinler;

Şekil 2.4'te $N=2$ sarımlı, $D=10$ cm çapında alıcı ve verici bobinler arasında hava aralığı 5 cm olan Maxwell bobin modeli görülmektedir. Bobinler $1,44$ mm² kesitli bakır iletkenlerden oluşmaktadır.



Şekil 2.4: Hava aralığı 5 cm olan $N=2$ sarımlı alıcı ve verici bobinler.

Tablo 2.2'de $N=2$ sarımlı $D=10$ cm çaplı alıcı ve verici bobinler arasındaki mesafenin 5 cm olduğu bobinlerin sarımlarının arasındaki mesafeler değiştirilerek L, M ve k parametreleri gözlemlenmiştir.

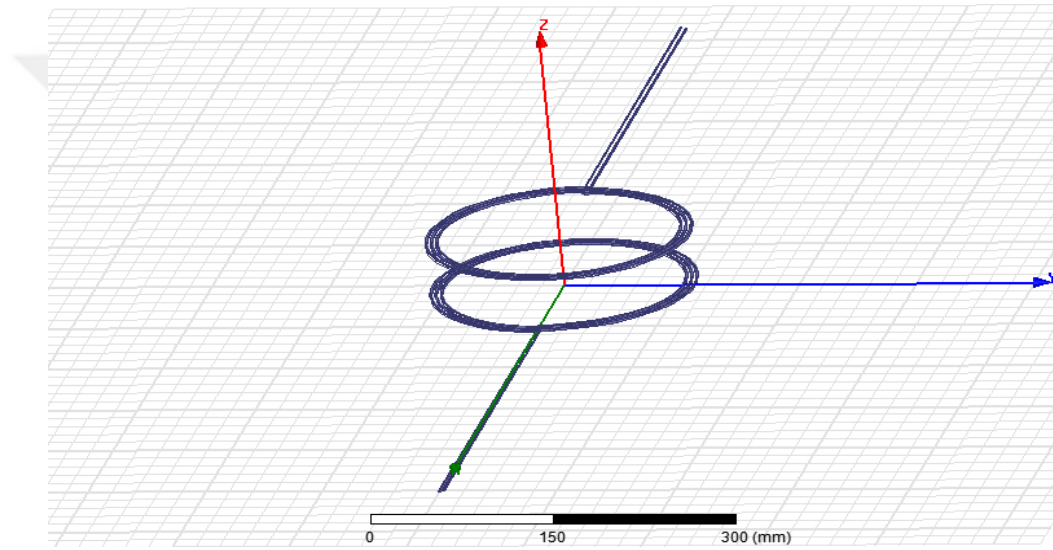
Tablo 2.2: $N=2$ sarımlı bobin simülasyon verileri.

Sarımlar arası mesafe (t)	Parametreler			
	L (μH)	M (μH)	k	Alan (cm^2)
2,45 mm	2,637 μH	0,463 μH	0,175	78,5
2,95 mm	2,603 μH	0,467 μH	0,179	78,5
3,45 mm	2,574 μH	0,471 μH	0,183	78,5
3,95 mm	2,555 μH	0,475 μH	0,186	78,5
4,45 mm	2,539 μH	0,480 μH	0,189	78,5

Tablo 2.2 incelendiğinde alıcı ve verici bobinlerde sarımlar arası mesafeler 0.5 mm değişmesi ile endüktans (L) değerlerinde 2,45 mm ile 4,45 mm arasında %3,71 oranında endüktans değerleri düşmüştür. Aynı şekilde karşıt endüktans (M) değerlerinde de % 3,5 oranında artış olmuştur. Sarımlar arasındaki mesafelerin değişimi bağlaşım katsayılarında (k) %7,4 oranında artışa neden olmuştur.

$N=3$ sarımlı bobinler;

Şekil 2.5'te $N=3$ sarımlı, $D=10$ cm çapında alıcı ve verici bobin çiftinin Maxwell modeli gösterilmektedir. Burada bobinler arası mesafe 5 cm dir. Bobinler $1,44 \text{ mm}^2$ kesitli bakır iletkenlerden oluşmaktadır.



Şekil 2.5: Hava aralığı 5 cm olan $N=3$ sarımlı alıcı ve verici bobinler.

Tablo 2.3'de $N=3$ sarımlı ve $D=10$ cm çaplı ve aralarında 5 cm mesafe bulunan alıcı ve verici bobinlerin sergiledikleri L , M ve k parametreleri verilmektedir.

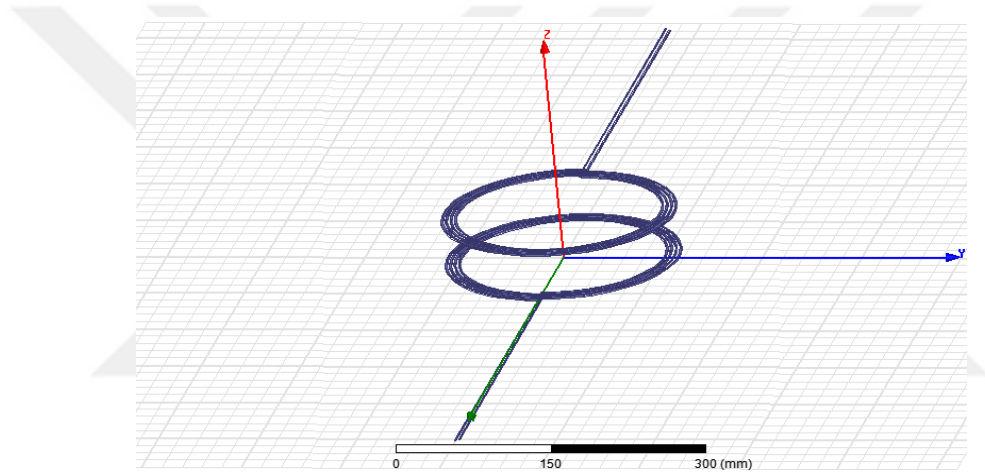
Tablo 2.3: $N=3$ sarımlı bobin simülasyon verileri.

Sarımlar arası mesafe (t)	Parametreler			
	L (μH)	M (μH)	k	Alan (cm^2)
2,45 mm	5,131 μH	1,064 μH	0,207	78,5
2,95 mm	5,030 μH	1,078 μH	0,214	78,5
3,45 mm	4,948 μH	1,092 μH	0,220	78,5
3,95 mm	4,884 μH	1,106 μH	0,226	78,5
4,45 mm	4,882 μH	1,119 μH	0,232	78,5

Tablo 2.3 incelendiğinde alıcı ve verici bobinlerde sarımlar arası mesafeler 0.5 mm değişmesi ile endüktans (L) değerlerinde 2,45 mm ile 4,45 mm arasında %4,85 oranında endüktans değerleri azalmıştır. Aynı şekilde karşit endüktans (M) değerlerinde de % 4,91 oranında artış olmuştur. Sarımlar arasındaki mesafelerin değişimi bağlaşım katsayılarında (k) %10,77 oranında artışa neden olmuştur.

$N=4$ sarımlı bobinler;

Şekil 2.6'da $N=4$ sarımlı, $D=10$ cm çapında alıcı ve verici bobin çiftinin Maxwell modeli gösterilmektedir. Burada bobinler arası mesafe 5 cm'dir. Bobinler $1,44 \text{ mm}^2$ kesitli bakır iletkenlerden oluşmaktadır.



Şekil 2.6: Hava aralığı 5 cm $N=4$ sarımlı alıcı ve verici bobinler.

Tablo 2.4'de $N=4$ sarımlı ve $D=10$ cm çaplı ve aralarında 5 cm mesafe bulunan alıcı ve verici bobinlerin sergiledikleri L , M ve k parametreleri verilmektedir.

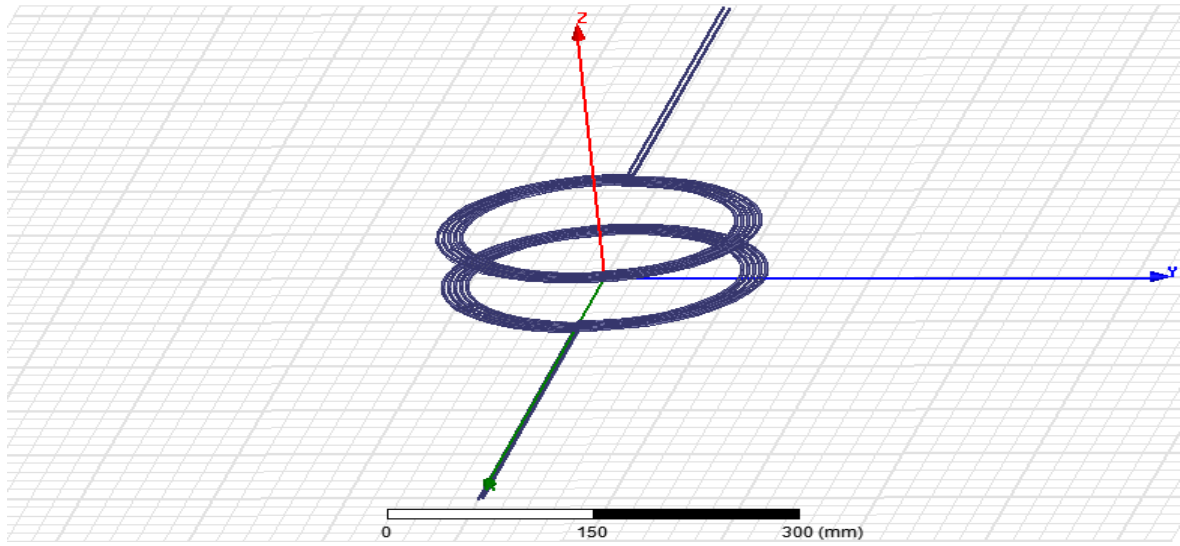
Tablo 2.4: $N=4$ sarımlı bobin simülasyon verileri.

Sarımlar arası mesafe (t)	Parametreler			
	L (μH)	M (μH)	k	Alan (cm^2)
2,45 mm	8,433 μH	1,932 μH	0,229	78,5
2,95 mm	8,244 μH	1,965 μH	0,238	78,5
3,45 mm	8,089 μH	1,997 μH	0,246	78,5
3,95 mm	7,966 μH	2,029 μH	0,254	78,5
4,45 mm	7,849 μH	2,060 μH	0,262	78,5

Tablo 2.4 incelendiğinde alıcı ve verici bobinlerde sarımlar arası mesafeler 0.5 mm değişmesi ile endüktans (L) değerlerinde 2,45 mm ile 4,45 mm arasında % 6,9 oranında endüktans değerleri azalmıştır. Aynı şekilde karşıt endüktans (M) değerlerinde de % 6,21 oranında artış olmuştur. Sarımlar arasındaki mesafelerin değişimi bağlaşım katsayılarında (k) % 12,6 oranında artışa neden olmuştur.

$N=5$ sarımlı bobinler;

Şekil 2.7’de $N=5$ sarımlı, $D=10$ cm çapında alıcı ve verici bobin çiftinin Maxwell modeli gösterilmektedir. Burada bobinler arası mesafe 5 cm’dir. Bobinler $1,44$ mm² kesitli bakır iletkenlerden oluşmaktadır.



Şekil 2.7: Hava aralığı 5 cm $N=4$ sarımlı alıcı ve verici bobinler.

Tablo 2.5’te $N=5$ sarımlı ve $D=10$ cm çaplı ve aralarında 5 cm mesafe bulunan alıcı ve verici bobinlerin sergiledikleri L , M ve k parametreleri verilmektedir.

Tablo 2.5: $N=5$ sarımlı bobin simülasyon verileri.

Sarımlar arası mesafe (t)	Parametreler			
	L (μH)	M (μH)	k	Alan (cm^2)
2,45 mm	12,512 μH	3,081 μH	0,246	78,5
2,95 mm	12,204 μH	3,144 μH	0,257	78,5
3,45 mm	11,934 μH	3,205 μH	0,268	78,5
3,95 mm	11,739 μH	3,266 μH	0,278	78,5
4,45 mm	11,584 μH	3,327 μH	0,287	78,5

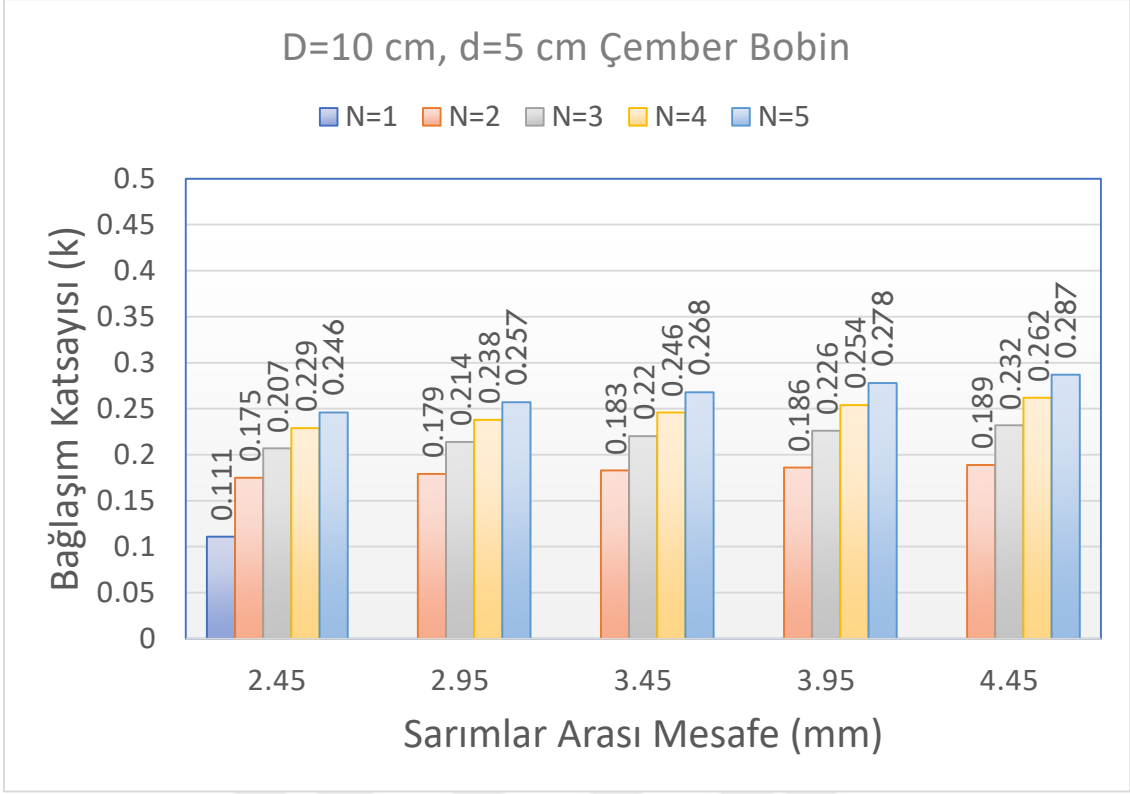
Tablo 2.5 incelendiğinde alıcı ve verici bobinlerde sarımlar arası mesafeler 0.5 mm değişmesi ile endüktans (L) değerlerinde 2,45 mm ile 4,45 mm arasında % 7,41 oranında endüktans değerleri azalmıştır. Aynı şekilde karşıt endüktans (M) değerlerinde de % 7,39 oranında artış olmuştur. Sarımlar arasındaki mesafelerin değişimi bağlaşım katsayılarında (k) % 14,28 oranında artışa neden olmuştur.

Tablo 2.6'da $D=10$ cm çaplı alıcı ve verici bobinler arasındaki mesafenin 5 cm olduğu bobinlerin sarımlarının arasındaki mesafeler ve bobinlerin sarım sayıları değiştirilerek bağlaşım katsayısı (k) parametreleri gözlemlenmiştir.

Tablo 2.6: Bağlaşım katsayılarına göre $D=10$ cm, hava aralığı 5 cm olan simulasyon sonuçları.

Sarımlar arası mesafe (t)	Bağlaşım sabiti (k)				
	$N=1$	$N=2$	$N=3$	$N=4$	$N=5$
2,45 mm	0,111	0,175	0,207	0,229	0,246
2,95 mm	---	0,179	0,214	0,238	0,257
3,45 mm	---	0,183	0,220	0,246	0,268
3,95 mm	---	0,186	0,226	0,254	0,278
4,45 mm	---	0,189	0,232	0,262	0,287

Tablo 2.6 incelendiğinde sarımlar arasındaki mesafelerin ve bobin sarım sayılarının değişimi neticesinde k değerlerinin değiştiği gözlemlenmiştir. Yapılan benzetim çalışmalarında sarım sayısının artışı bağlaşım katsayısının artmasına, buna paralel olarak sarımlar arasındaki mesafelerin değişimi de bağlaşım katsayısının artışına neden olmuştur.



Şekil 2.8: $D=10$ cm çapındaki bobinlerin bağlaşım katsayılarına göre değişim grafiği.

Şekil 2.8'i incelediğimizde sarımlar arasındaki mesafe 2,45 mm olduğunda $N=2$ ile $N=5$ sarımlı bobinleri incelediğimizde bağlaşım katsayısında %28 oranında arttığı gözlemlenmiştir. Aynı şekilde sadece sarımlar arasındaki mesafenin 4.45 mm olduğu bobin verileri incelendiğinde % 34 oranında bağlaşım katsayısı değerinde artış gözlemlenmiştir. Bu veriler gösteriyor ki hem sarımlar arası mesafe hem de sarım sayılarının artışı alıcı ve verici bobinler arasında daha iyi güç bağlaşımını olduğunu göstermiştir.

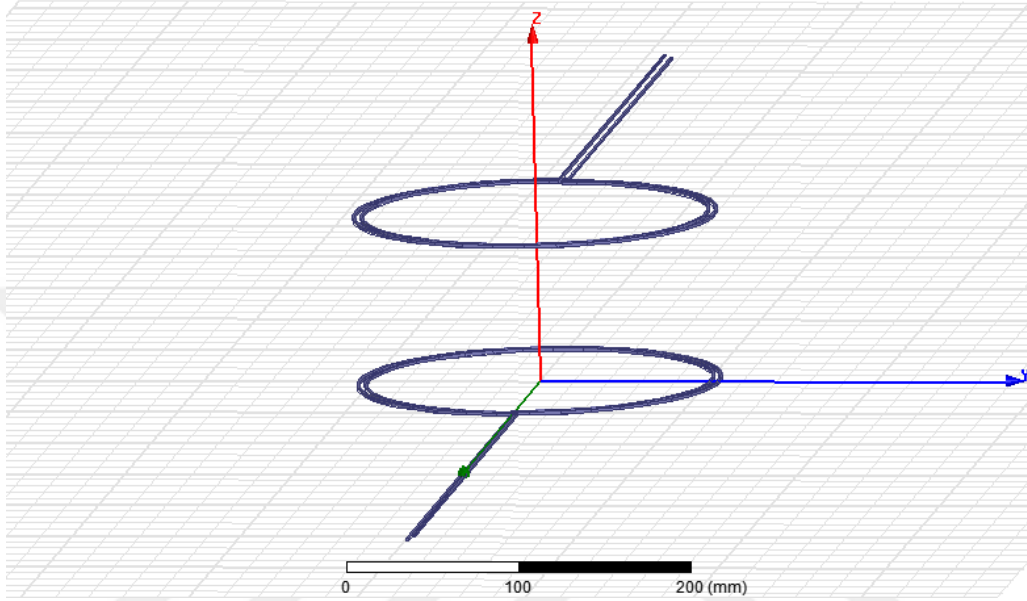
2.2.2 $N=2, 3, 4$ ve 5 Sarımlı $D=10$ cm Çaplı, Hava aralığı 10 cm Çember Bobin

Simülasyonları

$N=2, 3, 4$ ve 5 sarımlı 10 cm çapında alıcı ve verici bobinlerin arasında ki mesafe 10 cm olan hava aralığında bulunan bobinlerin sarımlarının arasındaki mesafelerin 0,5 mm adımlarla değişimi neticesinde ve bobin çiftlerinin içinden 5 Amper akım geçirilerek karşıt endüktans, bobin endüktansı ve bağlaşım katsayılarının değişimleri tablolarda görülmektedir.

$N=2$ sarımlı bobinler;

Şekil 2.9’da $N=2$ sarımlı, $D=10$ cm çapında alıcı ve verici bobinler arasında hava aralığı 10 cm için Maxwell modeli gösterilmektedir. Bobinler $1,44$ mm² kesitli bakır iletkenlerden oluşmaktadır. Tablo 2.7 de ise simülasyonlardan elde edilen L , M ve k parametreleri verilmektedir.



Şekil 2.9: Hava aralığı 10 cm $N=2$ sarımlı alıcı ve verici bobinler.

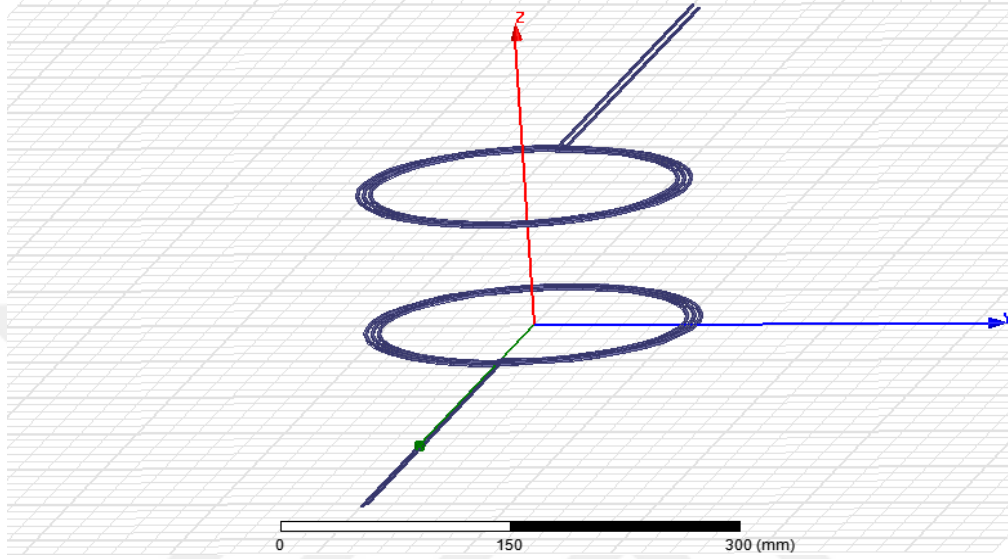
Tablo 2.7: $N=2$ sarımlı bobin simülasyon verileri.

Sarımlar arası mesafe (t)	Parametreler			
	L (μH)	M (μH)	k	Alan (cm^2)
2,45 mm	2,638 μH	0,207 μH	0,078	78,5
2,95 mm	2,604 μH	0,209 μH	0,080	78,5
3,45 mm	2,578 μH	0,212 μH	0,082	78,5
3,95 mm	2,558 μH	0,214 μH	0,083	78,5
4,45 mm	2,539 μH	0,216 μH	0,085	78,5

Tablo 2.7 incelendiğinde alıcı ve verici bobinlerdeki sarımlar arası mesafeler 0.5 mm adımlarla değişmesi ile endüktans (L) değerlerinde % 3,75 oranında azalma gözlemlenmiştir. Aynı şekilde karşit endüktans (M) değerlerinde de % 4,16 oranında artış olmuştur. Sarımlar arasındaki mesafelerin değişimi bağlaşım katsayılarında (k) % 8,23 oranında artışa neden olmuştur.

$N=3$ Sarımlı bobinler;

Şekil 2.10'da $N=3$ sarımlı, $D=10$ cm çapında alıcı ve verici bobinler arasında hava aralığı 10 cm için Maxwell modeli gösterilmektedir. Bobinler $1,44$ mm² kesitli bakır iletkenlerden oluşmaktadır. Tablo 2.8 de ise simülasyonlardan elde edilen L , M ve k parametreleri verilmektedir.



Şekil 2.10: Hava aralığı 10 cm $N=3$ sarımlı alıcı ve verici bobinler.

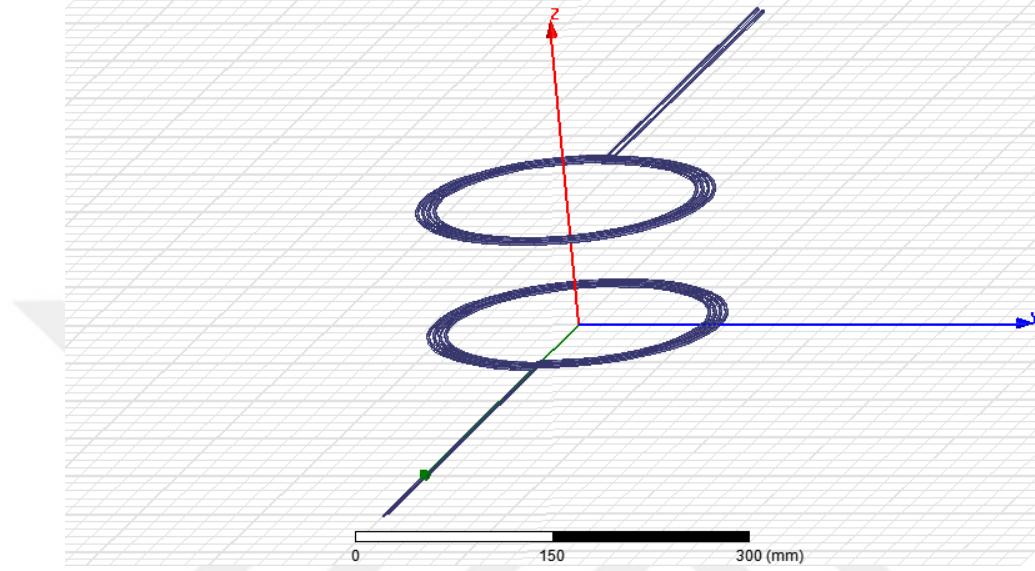
Tablo 2.8: $N=3$ sarımlı bobin simülasyon verileri.

Sarımlar arası mesafe (t)	Parametreler			
	L (μH)	M (μH)	k	Alan (cm^2)
2,45 mm	5,132 μH	0,479 μH	0,093	78,5
2,95 mm	5,022 μH	0,487 μH	0,097	78,5
3,45 mm	4,939 μH	0,496 μH	0,100	78,5
3,95 mm	4,875 μH	0,504 μH	0,103	78,5
4,45 mm	4,822 μH	0,512 μH	0,106	78,5

Tablo 2.8 incelendiğinde alıcı ve verici bobinlerde sarımlar arası mesafeler 0.5 mm adımlarla değişmesi ile endüktans (L) değerlerinde 2,45 mm ile 4,45 mm arasında % 6,04 oranında azalmaya sebebiyet verdiği görülmektedir. Aynı şekilde karşıt endüktans (M) değerlerinde de % 6,44 oranında artış olmuştur. Sarımlar arasındaki mesafelerin değişimi bağlaşım katsayılarında (k) % 12,26 oranında artışa neden olmuştur.

$N=4$ sarımlı bobinler;

Şekil 2.11’de $N=4$ sarımlı, $D=10$ cm çapında alıcı ve verici bobinler arasında hava aralığı 10 cm için Maxwell modeli gösterilmektedir. Bobinler $1,44$ mm² kesitli bakır iletkenlerden oluşmaktadır. Tablo 2.9 de ise simülasyonlardan elde edilen L , M ve k parametreleri verilmektedir.



Şekil 2.11: Hava aralığı 10 cm $N=4$ sarımlı alıcı ve verici bobinler.

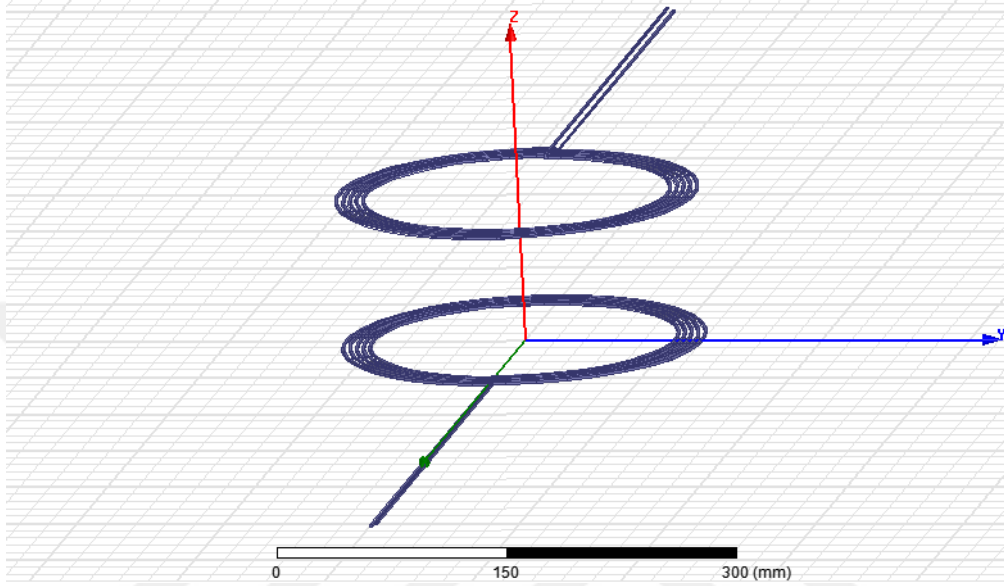
Tablo 2.9: $N=4$ sarımlı bobin simülasyon verileri.

Sarımlar arası mesafe (t)	Parametreler			
	L (μH)	M (μH)	k	Alan (cm^2)
2,45 mm	8,436 μH	0,876 μH	0,103	78,5
2,95 mm	8,242 μH	0,896 μH	0,108	78,5
3,45 mm	8,075 μH	0,916 μH	0,113	78,5
3,95 mm	7,950 μH	0,935 μH	0,117	78,5
4,45 mm	7,852 μH	0,955 μH	0,121	78,5

Tablo 2.9 incelendiğinde alıcı ve verici bobinlerde sarımlar arası mesafenin 0.5 mm adımlarla değişmesi ile endüktans (L) değerlerinde 2,45 mm ile 4,45 mm arasında % 6,92 oranında azalmaya neden olduğu gözlemlenmiştir. Aynı şekilde karşıt endüktans (M) değerlerinde de % 8,27 oranında artış olmuştur. Sarımlar arasındaki mesafelerin değişimi bağlaşım katsayılarında (k) % 14,87 oranında artışa neden olmuştur.

$N=5$ sarımlı bobinler;

Şekil 2.12’de $N=5$ sarımlı, $D=10$ cm çapında alıcı ve verici bobinler arasında hava aralığı 10 cm için Maxwell modeli gösterilmektedir. Bobinler $1,44$ mm² kesitli bakır iletkenlerden oluşmaktadır. Tablo 2.10 de ise simülasyonlardan elde edilen L , M ve k parametreleri verilmektedir.



Şekil 2.12: Hava aralığı 10 cm $N=5$ sarımlı alıcı ve verici bobinler.

Tablo 2.10: $N=5$ sarımlı bobin simülasyon verileri.

Sarımlar arası mesafe (t)	Parametreler			
	L (μH)	M (μH)	k	Alan (cm^2)
2,45 mm	12,493 μH	1,407 μH	0,112	78,5
2,95 mm	12,174 μH	1,445 μH	0,118	78,5
3,45 mm	11,933 μH	1,485 μH	0,124	78,5
3,95 mm	11,747 μH	1,524 μH	0,129	78,5
4,45 mm	11,565 μH	1,563 μH	0,135	78,5

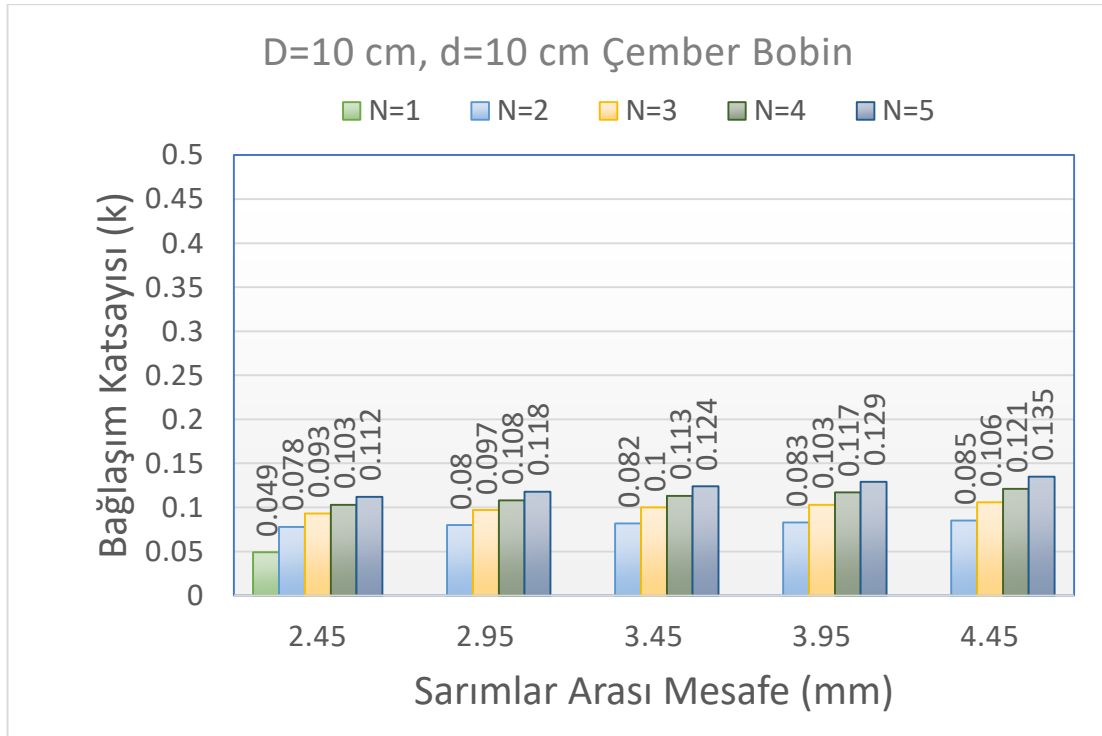
Tablo 2.10 incelendiğinde alıcı ve verici bobinlerdeki sarımlar arası mesafeler 0.5 mm adımlarla değişmesi ile endüktans (L) değerlerinde 2,45 mm ile 4,45 mm arasında % 7,42 oranında azalma olduğu gözlemlenmiştir. Aynı şekilde karşıt endüktans (M) değerlerinde de % 9,98 oranında artış olmuştur. Sarımlar arasındaki mesafelerin değişimi bağlaşım katsayılarında (k) % 17,03 oranında artışa neden olmuştur.

Tablo 2.11’de $D=10\text{cm}$ çaplı alıcı ve verici bobinler arasındaki mesafenin 10 cm olduğu bobinlerin sarımlarının arasındaki mesafeler ve bobinlerin sarım sayıları değiştirilerek bağlaşım katsayısı (k) parametreleri gözlemlenmiştir.

Tablo 2.11: Bağlaşım katsayılarına göre $D=10\text{ cm}$, hava aralığı 10 cm olan simülasyon sonuçları.

Sarımlar arası mesafe (t)	Bağlaşım sabiti (k)				
	$N=1$	$N=2$	$N=3$	$N=4$	$N=5$
2,45 mm	0,049	0,078	0,093	0,103	0,112
2,95 mm	---	0,080	0,097	0,108	0,118
3,45 mm	---	0,082	0,100	0,113	0,124
3,95 mm	---	0,083	0,103	0,117	0,129
4,45 mm	---	0,085	0,106	0,121	0,135

Tablo 2.11 incelendiğinde sarımlar arasındaki mesafelerin ve bobin sarım sayılarının değişimi neticesinde k değerleri gözlemlenmiştir. Yapılan benzetim çalışmalarında sarım sayısının artışı bağlaşım katsayısının artmasına, buna paralel olarak sarımlar arasındaki mesafelerin değişimi de bağlaşım katsayısının artışına neden olmuştur.



Şekil 2.13: $D=10\text{ cm}$ çapındaki bobinlerin bağlaşım katsayılarına göre değişim grafiği.

Şekil 2.13'yi incelediğimizde sarımlar arasındaki mesafe 2,45 mm olduğunda $N=2$ ile $N=5$ sarımlı bobinleri incelediğimizde bağlaşım katsayısında %30 oranında arttığı gözlemlenmiştir. Aynı şekilde sadece sarımlar arasındaki mesafenin 4.45 mm olduğu bobin verileri incelendiğinde % 37 oranında bağlaşım katsayısı değerinde artış gözlemlenmiştir. Bu veriler gösteriyor ki hem sarımlar arası mesafe hem de sarım sayılarının artışı alıcı ve verici bobinler arasında daha iyi güç bağlaşımını olduğunu göstermiştir.

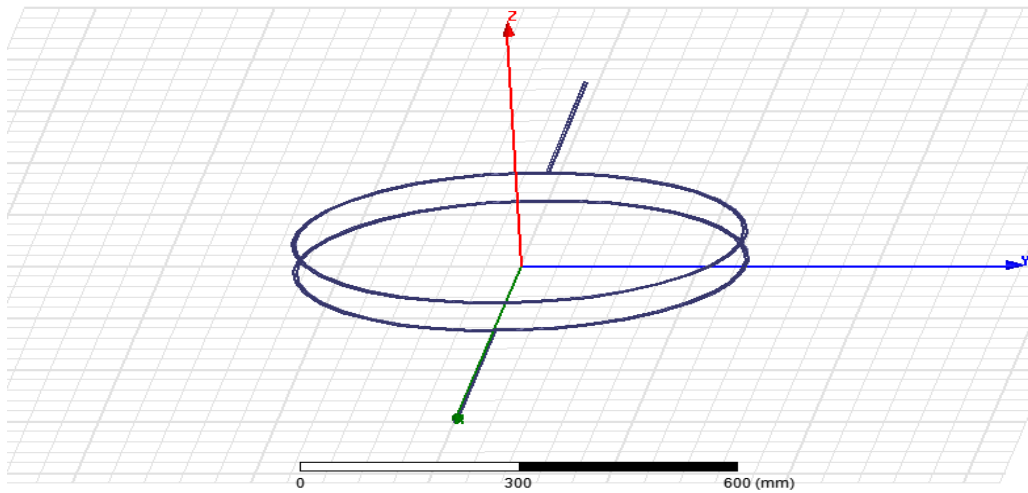
2.2.3 $N=2, 3, 4$ ve 5 Sarımlı $D=31$ cm Çaplı, Hava Aralığı 5 cm Çember Bobin

Simülasyonları

$N=2, 3, 4,$ ve 5 sarımlı 31 cm çapında alıcı ve verici bobinlerin arasında ki mesafe 5 cm olan hava aralığında bulunan bobinlerin sarımlarının arasındaki mesafelerin $0,5$ mm adımlarla değişimi neticesinde ve bobin çiftlerinin içinden 5 Amper akım geçirilerek karşıt endüktans, bobin endüktansı ve bağlaşım katsayılarının değişimleri tablolarda görülmektedir.

$N=2$ sarımlı bobinler;

Şekil 2.14'te $N=2$ sarımlı, $D=31$ cm çapında alıcı ve verici bobinler arasında hava aralığı 5 cm olan KGT bobini için Maxwell modeli görülmektedir. Bobinler $1,44$ mm² kesitli bakır iletkenlerden oluşmaktadır. Tablo 2.12 de ise simülasyon sonucunda elde edilen L, M ve k parametreleri verilmektedir.



Şekil 2.14: Hava aralığı 5 cm $N=2$ sarımlı alıcı ve verici bobinler.

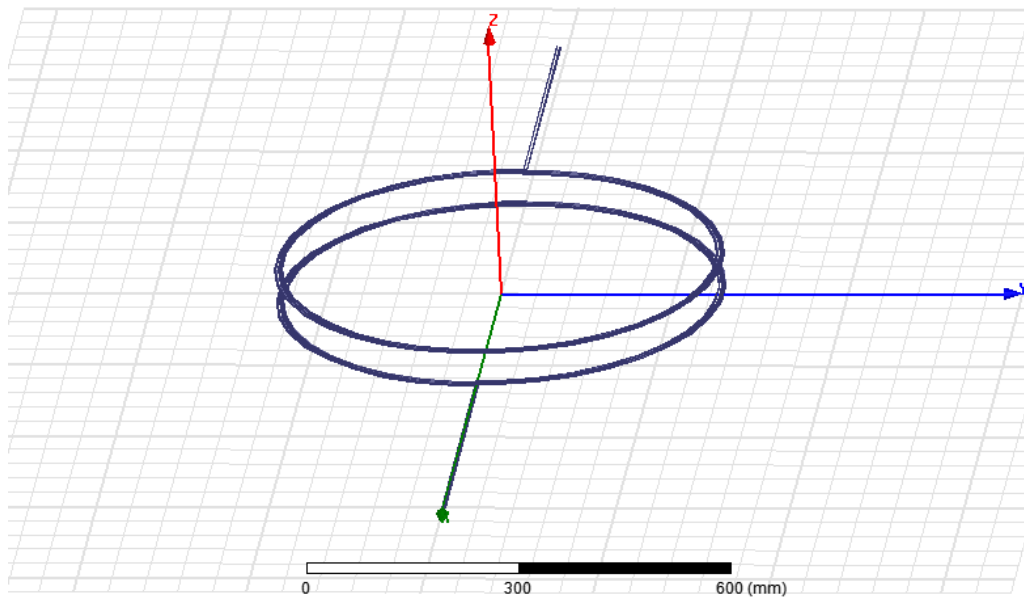
Tablo 2.12: $N=2$ sarımlı bobin simülasyon verileri. Bobinlerin çapı 31 cm ve bobinler arası mesafe 5 cm dir.

Sarımlar arası mesafe (t)	Parametreler			
	L (μH)	M (μH)	k	Alan (cm^2)
2,45 mm	9,091 μH	2,988 μH	0,328	754,4
2,95 mm	8,980 μH	2,994 μH	0,333	754,4
3,45 mm	8,874 μH	3,001 μH	0,338	754,4
3,95 mm	8,784 μH	3,007 μH	0,342	754,4
4,45 mm	8,710 μH	3,013 μH	0,346	754,4

Tablo 2.12 incelendiğinde alıcı ve verici bobinlerdeki sarımlar arası mesafe 0.5 mm adımlarla değişmesi ile endüktans (L) değerlerinde 2,45 mm ile 4,45 mm arasında % 4,19 oranında azalmaya neden olduğu gözlemlenmiştir. Aynı şekilde karşıt endüktans (M) değerlerinde de % 0,83 oranında artış olmuştur. Sarımlar arasındaki mesafelerin değişimi bağlaşım katsayılarında (k) % 5,2 oranında artışa neden olmuştur.

$N=3$ sarımlı bobinler;

Şekil 2.15’de $N=3$ sarımlı, $D=31$ cm çapında alıcı ve verici bobinler arasında hava aralığı 5 cm olan KGT bobini için Maxwell modeli görülmektedir. Bobinler 1,44 mm^2 kesitli bakır iletkenlerden oluşmaktadır. Tablo 2.13 de ise simülasyon sonucunda elde edilen L , M ve k parametreleri verilmektedir.



Şekil 2.15: Hava aralığı 5 cm $N=3$ sarımlı alıcı ve verici bobinler.

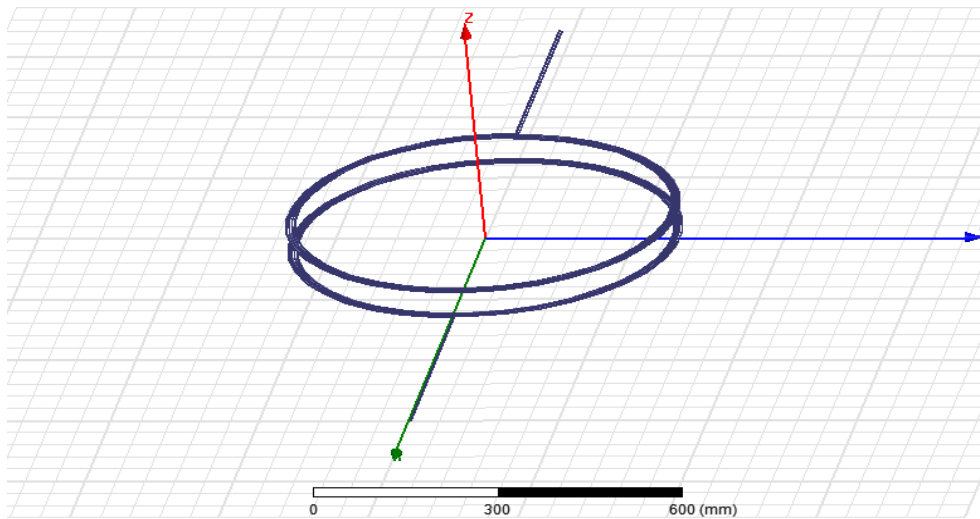
Tablo 2.13: $N=3$ sarımlı bobin simülasyon verileri. Bobinlerin çapı 31 cm ve bobinler arası mesafe 5 cm'dir.

Sarımlar arası mesafe (t)	Parametreler			
	L (μH)	M (μH)	k	Alan (cm^2)
2,45 mm	18,747 μH	6,755 μH	0,360	754,4
2,95 mm	18,390 μH	6,776 μH	0,368	754,4
3,45 mm	18,079 μH	6,797 μH	0,376	754,4
3,95 mm	17,779 μH	6,817 μH	0,383	754,4
4,45 mm	17,543 μH	6,836 μH	0,389	754,4

Tablo 2.13 incelendiğinde alıcı ve verici bobinlerdeki sarımlar arası mesafe 0.5 mm adımlarla değişmesi ile endüktans (L) değerlerinde 2,45 mm ile 4,45 mm arasında % 6,42 oranında azalmasına sebebiyet verdiği görülmektedir. Aynı şekilde karşıt endüktans (M) değerlerinde de % 1,18 oranında artış olmuştur. Sarımlar arasındaki mesafelerin değişimi bağlaşım katsayılarında (k) % 7,45 oranında artışa neden olmuştur.

$N=4$ sarımlı bobinler;

Şekil 2.16'da $N=4$ sarımlı, $D=31$ cm çapında alıcı ve verici bobinler arasında hava aralığı 5 cm olan KGT bobini için Maxwell modeli görülmektedir. Bobinler 1,44 mm² kesitli bakır iletkenlerden oluşmaktadır. Tablo 2.14 de ise simülasyon sonucunda elde edilen L , M ve k parametreleri verilmektedir.



Şekil 2.16: $N=4$ sarımlı alıcı ve verici bobinler.

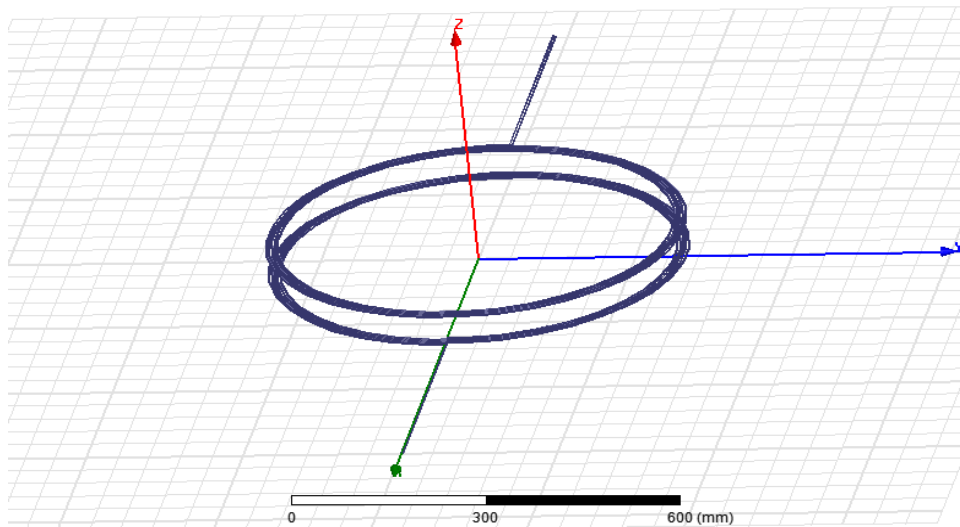
Tablo 2.14: $N=4$ sarımlı bobin simülasyon verileri. Bobinlerin çapı 31 cm ve bobinler arası mesafe 5 cm'dir.

Sarımlar arası mesafe (t)	Parametreler			
	L (μH)	M (μH)	k	Alan (cm^2)
2,45 mm	31,543 μH	12,067 μH	0,382	754,4
2,95 mm	30,832 μH	12,117 μH	0,392	754,4
3,45 mm	30,224 μH	12,163 μH	0,402	754,4
3,95 mm	29,705 μH	12,208 μH	0,410	754,4
4,45 mm	29,190 μH	12,250 μH	0,419	754,4

Tablo 2.14 incelendiğinde alıcı ve verici bobinlerde sarımlar arası mesafe 0.5 mm adımlarla değişmesi ile endüktans (L) değerlerinde 2,45 mm ile 4,45 mm arasında % 7,45 oranında azalmaya sebebiyet verdiği gözlemlenmiştir. Aynı şekilde karşit endüktans (M) değerlerinde de % 1,49 oranında artış olmuştur. Sarımlar arasındaki mesafelerin değişimi bağlaşım katsayılarında (k) % 8,83 oranında artışa neden olmuştur.

$N=5$ sarımlı bobinler;

Şekil 2.17'de $N=5$ sarımlı, $D=31$ cm çapında alıcı ve verici bobinler arasında hava aralığı 5 cm olan KGT bobini için Maxwell modeli görülmektedir. Bobinler 1,44 mm² kesitli bakır iletkenlerden oluşmaktadır. Tablo 2.15 de ise simülasyon sonucunda elde edilen L , M ve k parametreleri verilmektedir.



Şekil 2.17: $N=5$ sarımlı alıcı ve verici bobinler.

Tablo 2.15: $N=5$ sarımlı bobin simülasyon verileri. Bobinlerin çapı 31 cm ve bobinler arası mesafe 5 cm'dir.

Sarımlar arası mesafe (t)	Parametreler			
	L (μH)	M (μH)	k	Alan (cm^2)
2,45 mm	47,355 μH	18,949 μH	0,400	754,4
2,95 mm	46,055 μH	19,035 μH	0,413	754,4
3,45 mm	45,041 μH	19,122 μH	0,424	754,4
3,95 mm	44,170 μH	19,204 μH	0,434	754,4
4,45 mm	43,742 μH	19,282 μH	0,443	754,4

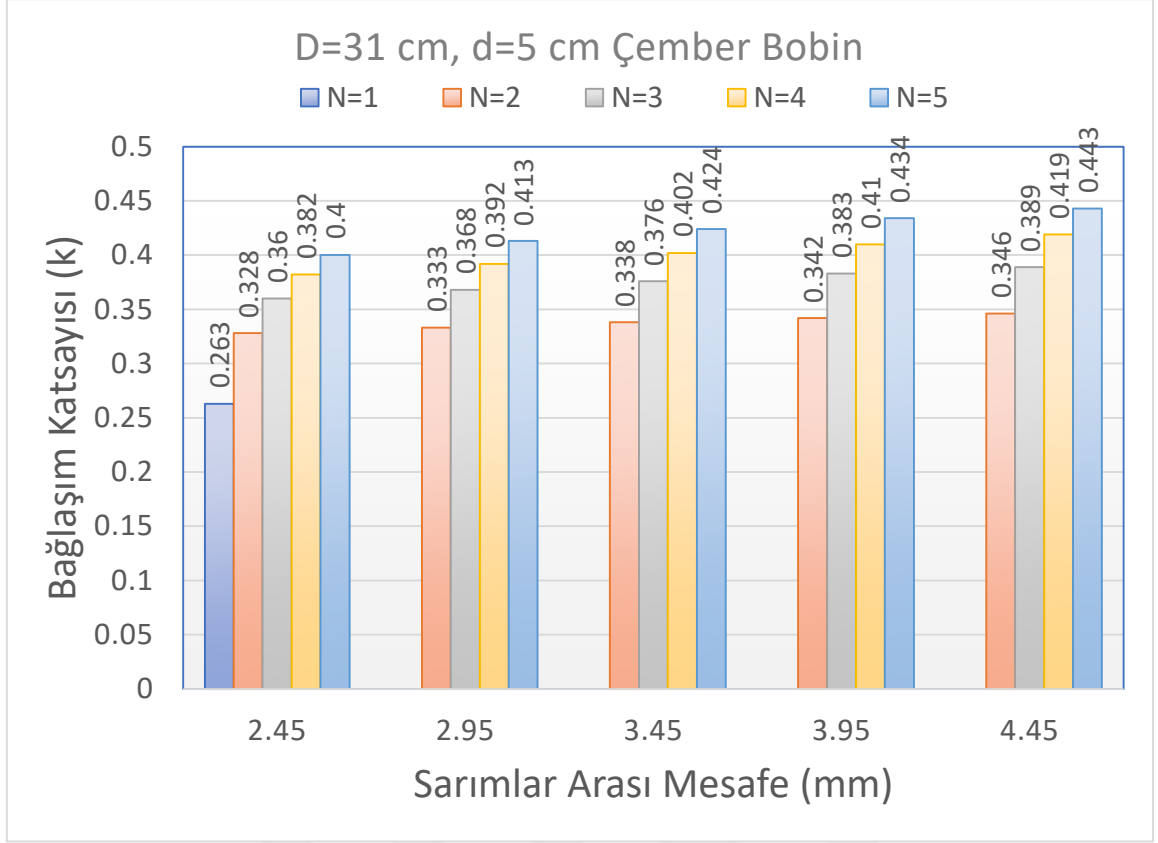
Tablo 2.15 incelendiğinde alıcı ve verici bobinlerdeki sarımlar arası mesafe 0.5 mm adımlarla değişmesi ile endüktans (L) değerlerinde 2,45 mm ile 4,45 mm arasında % 7,62 oranında azalmaya sebep olduğu gözlemlenmiştir. Aynı şekilde karşıt endüktans (M) değerlerinde de % 1,72 oranında artış olmuştur. Sarımlar arasındaki mesafelerin değişimi bağlaşım katsayılarında (k) % 9,7 oranında artışa neden olmuştur.

Tablo 2.16'da $D=31\text{cm}$ çaplı alıcı ve verici bobinler arasındaki mesafenin 5 cm olduğu bobinlerin sarımlarının arasındaki mesafeler ve bobin sarım sayıları değiştirilerek bağlaşım katsayısı (k) parametreleri gözlemlenmiştir.

Tablo 2.16: Bağlaşım katsayılarına göre bobinlerin çapı 31 cm ve bobinler arası mesafe 5 cm olan simülasyon sonuçları.

Sarımlar arası mesafe (t)	Bağlaşım katsayısı (k)				
	$N=1$	$N=2$	$N=3$	$N=4$	$N=5$
2,45 mm	0,263	0,328	0,360	0,382	0,400
2,95 mm	---	0,333	0,368	0,392	0,413
3,45 mm	---	0,338	0,376	0,402	0,424
3,95 mm	---	0,342	0,383	0,410	0,434
4,45 mm	---	0,346	0,389	0,419	0,443

Tablo 2.16 incelendiğinde sarımlar arasındaki mesafelerin ve bobin sarım sayılarının değişimi neticesinde k değerlerinin ciddi şekilde değişim gösterdiği gözlemlenmiştir. Yapılan benzetim çalışmalarında sarım sayısının artışı bağlaşım katsayısının artmasına, buna paralel olarak sarımlar arasındaki mesafelerin değişimi de bağlaşım katsayısının artışına neden olmuştur.



Şekil 2.18: $D=31$ cm çapındaki bobinlerin bağlaşım katsayılarına göre değişim grafiği.

Şekil 2.18'i incelediğimizde sarımlar arasındaki mesafe 2,45 mm olduğunda $N=2$ ile $N=5$ sarımlı bobinleri incelediğimizde bağlaşım katsayısında %18 oranında arttığı gözlemlenmiştir. Aynı şekilde sadece sarımlar arasındaki mesafenin 4.45 mm olduğu bobin verileri incelendiğinde % 22 oranında bağlaşım katsayısı değerinde artış gözlemlenmiştir. Bu veriler gösteriyor ki hem sarımlar arası mesafe hem de sarım sayılarının artışı alıcı ve verici bobinler arasında daha iyi güç bağlaşımını olduğunu göstermiştir.

2.2.4 $N=2, 3, 4$ ve 5 Sarımlı $D=31$ cm Çaplı, Hava Aralığı 10 cm Çember Bobin

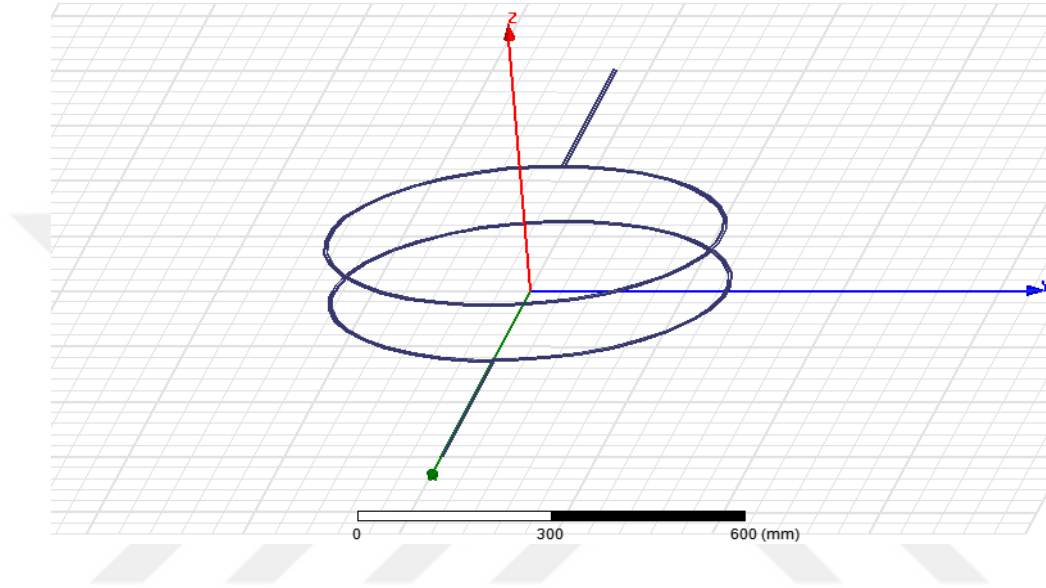
Simülasyonları

$N=2, 3, 4$ ve 5 sarımlı 31 cm çapında alıcı ve verici bobinlerin arasında ki mesafe 10 cm olan bobinlerin sarımlarının arasındaki mesafelerin 0,5 mm adımlarla değişimi neticesinde

ve bobin çiftlerinin içinden 5 Amper akım geçirilerek karşıt endüktans, bobin endüktansı ve bağlaşım katsayılarının değışimleri tablolarında görölmektedir.

$N=2$ sarımlı bobinler;

Şekil 2.19’da $N=2$ sarımlı, $D=31$ cm çapında alıcı ve verici bobinler arasında hava aralığı 10 cm KGT bobini için Maxwell modeli verilmektedir. Bobinler $1,44$ mm² kesitli bakır iletkenlerden oluşmaktadır.



Şekil 2.19: $N=2$ sarımlı alıcı ve verici bobinler.

Tablo 2.17’de $N=2$ sarımlı $D=31$ cm çaplı, alıcı ve verici bobinler arasındaki mesafenin 10 cm olduğu durumda bobin sarımlarının arasındaki mesafeler değıştirilerek L , M ve k parametreleri gözlemlenmiştir.

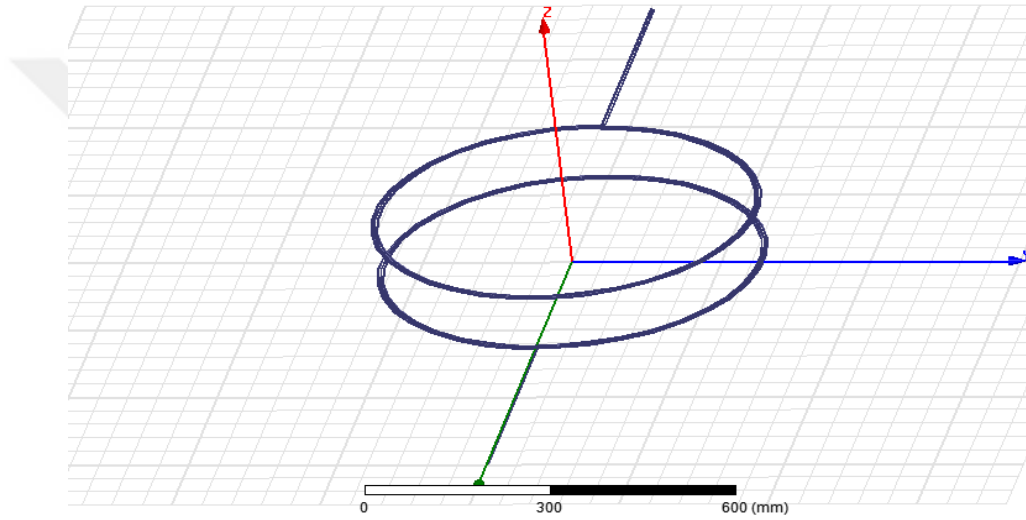
Tablo 2.17: $N=2$ sarımlı bobin simülasyon verileri.

Sarım arası mesafe (t)	Parametreler			
	L (μH)	M (μH)	k	Alan (cm^2)
2,45 mm	9,095 μH	1,960 μH	0,215	754,4
2,95 mm	8,980 μH	1,966 μH	0,218	754,4
3,45 mm	8,882 μH	1,971 μH	0,221	754,4
3,95 mm	8,796 μH	1,976 μH	0,224	754,4
4,45 mm	8,719 μH	1,981 μH	0,227	754,4

Tablo 2.17 incelendiğinde alıcı ve verici bobinlerdeki sarımlar arası mesafe 0.5 mm adımlarla değişmesi ile endüktans (L) değerlerinde 2,45 mm ile 4,45 mm arasında % 4,13 oranında azaldığı gözlemlenmiştir. Aynı şekilde karşıt endüktans (M) değerlerinde de % 1,06 oranında artış olmuştur. Sarımlar arasındaki mesafelerin değişimi bağlaşım katsayılarında (k) % 5,28 oranında artışa neden olmuştur.

$N=3$ sarımlı bobinler;

Şekil 2.20’de $N=3$ sarımlı, $D=31$ cm çapında alıcı ve verici bobinler arasında hava aralığı 10 cm olan Maxwell modeli verilmektedir. Bobinler $1,44 \text{ mm}^2$ kesitli bakır iletkenlerden oluşmaktadır.



Şekil 2.20: $N=3$ sarımlı alıcı ve verici bobinler.

Tablo 2.18’de $N=3$ sarımlı $D=31$ cm çaplı alıcı ve verici bobinler arasındaki mesafenin 10 cm olduğu bobinlerin sarımlarının arasındaki mesafeler değiştirilerek L , M ve k parametrelerinin değiştiği gözlemlenmiştir.

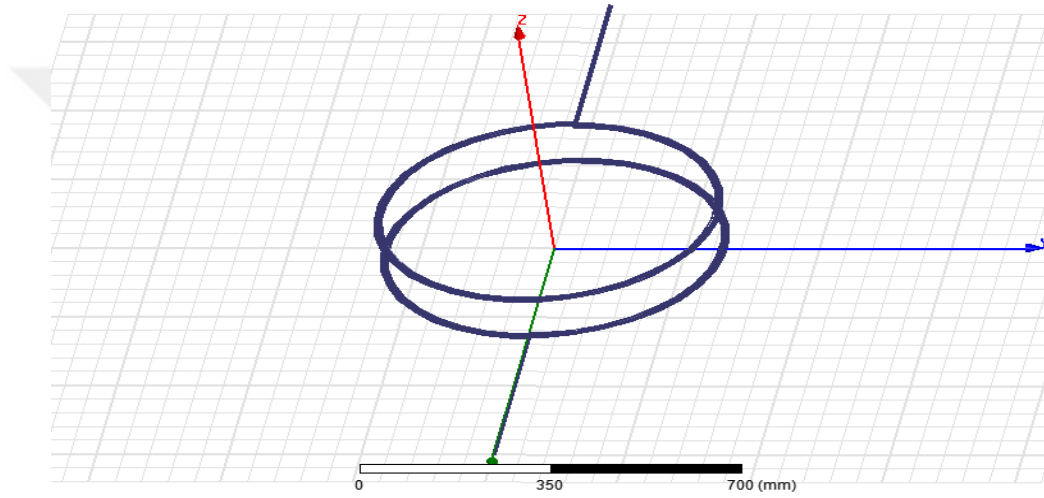
Tablo 2.18: $N=3$ sarımlı bobin simülasyon verileri.

Sarımlar arası mesafe (t)	Parametreler			
	L (μH)	M (μH)	k	Alan (cm^2)
2,45 mm	18,723 μH	4,438 μH	0,237	754,4
2,95 mm	18,360 μH	4,455 μH	0,242	754,4
3,45 mm	18,045 μH	4,472 μH	0,247	754,4
3,95 mm	17,753 μH	4,489 μH	0,252	754,4
4,45 mm	17,522 μH	4,506 μH	0,257	754,4

Tablo 2.18 incelendiğinde alıcı ve verici bobinlerdeki sarımlar arası mesafenin 0.5 mm adımlarla değişmesi ile endüktans (L) değerlerinde 2,45 mm ile 4,45 mm arasında % 6,41 oranında azalma kaydedildiği gözlemlenmiştir. Aynı şekilde karşit endüktans (M) değerlerinde de % 1,5 oranında artış olmuştur. Sarımlar arasındaki mesafelerin değişimi bağlaşım katsayılarında (k) % 7,78 oranında artışa neden olmuştur.

$N=4$ sarımlı bobinler;

Şekil 2.21’de $N=4$ sarımlı, $D=31$ cm çaplı alıcı ve verici bobinler arasındaki mesafenin 10 cm olduğu bobinlerin sarımlarının arasındaki mesafeler değiştirilerek L , M ve k parametrelerinin değiştiği gözlemlenmiştir.



Şekil 2.21: $N=4$ sarımlı alıcı ve verici bobinler.

Tablo 2.19’de $N=4$ sarımlı $D=31$ cm çaplı alıcı ve verici bobinler arasındaki mesafenin 10 cm olduğu bobinlerin sarımlarının arasındaki mesafeler değiştirilerek L , M ve k parametrelerinin değiştiği gözlemlenmiştir.

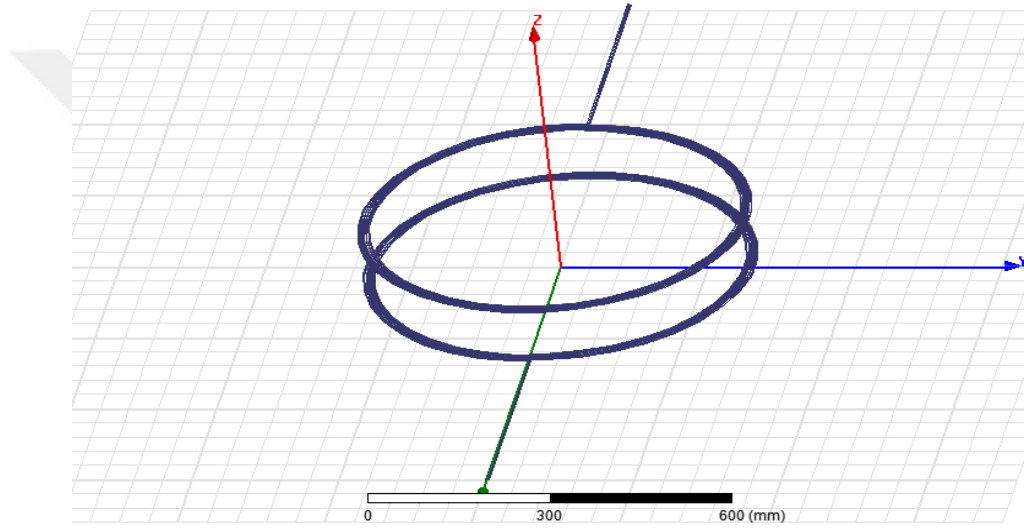
Tablo 2.19: $N=4$ sarımlı bobin simülasyon verileri.

Sarımlar arası mesafe (t)	Parametreler			
	L (μH)	M (μH)	k	Alan (cm^2)
2,45 mm	31,511 μH	7,939 μH	0,251	754,4
2,95 mm	30,777 μH	7,979 μH	0,259	754,4
3,45 mm	30,161 μH	8,019 μH	0,265	754,4
3,95 mm	29,664 μH	8,058 μH	0,271	754,4
4,45 mm	29,209 μH	8,098 μH	0,277	754,4

Tablo 2.19 incelendiğinde alıcı ve verici bobinlerdeki sarımlar arası mesafenin 0.5 mm adımlarla değişmesi ile endüktans (L) değerlerinde 2,45 mm ile 4,45 mm arasında % 7,30 oranında azalmaya sebep olduğu gözlenmiştir. Aynı şekilde karşıt endüktans (M) değerlerinde de % 1,96 oranında artış olmuştur. Sarımlar arasındaki mesafelerin değişimi bağlaşım katsayılarında (k) % 9,38 oranında artışa neden olmuştur.

$N=5$ sarımlı bobinler;

Şekil 2.22’de $N=5$ sarımlı, $D=31$ cm çaplı alıcı ve verici bobinler arasındaki mesafenin 10 cm olduğu bobinlerin sarımlarının arasındaki mesafeler değiştirilerek L , M ve k parametrelerinin değiştiği gözlemlenmiştir.



Şekil 2.22: $N=5$ sarımlı alıcı ve verici bobinler.

Tablo 2.20’de $N=5$ sarımlı $D=31$ cm çaplı alıcı ve verici bobinler arasındaki mesafenin 10 cm olduğu bobinlerin sarımlarının arasındaki mesafeler değiştirilerek L , M ve k parametrelerinin değiştiği gözlemlenmiştir.

Tablo 2.20: $N=5$ sarımlı bobin simülasyon verileri.

Sarımlar arası mesafe (t)	Parametreler			
	L (μH)	M (μH)	k	Alan (cm^2)
2,45 mm	47,294 μH	12,481 μH	0,263	754,4
2,95 mm	45,981 μH	12,558 μH	0,273	754,4
3,45 mm	44,980 μH	12,634 μH	0,280	754,4
3,95 mm	44,136 μH	12,710 μH	0,287	754,4
4,45 mm	43,411 μH	12,784 μH	0,294	754,4

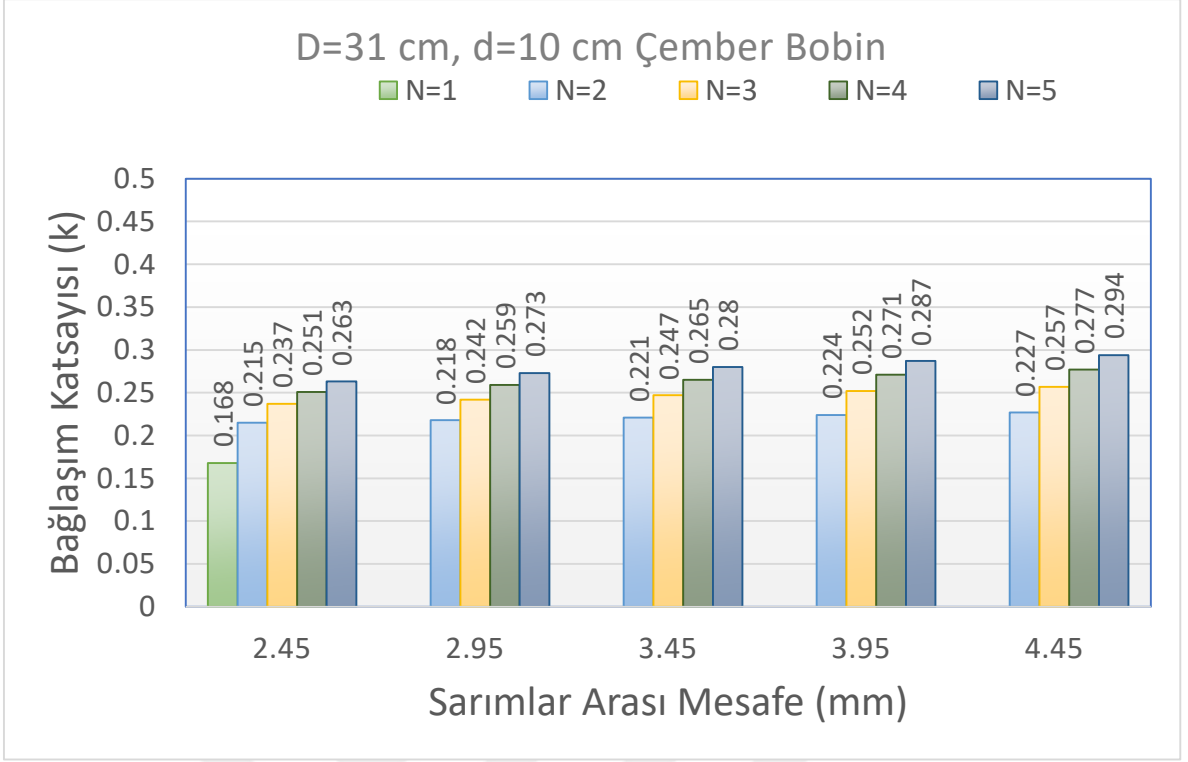
Tablo 2.20 incelendiğinde alıcı ve verici bobinlerdeki sarımlar arası mesafenin 0.5 mm adımlarla değişmesi ile endüktans (L) değerlerinde 2,45 mm ile 4,45 mm arasında % 8,21 oranında azalma olduğu gözlemlenmiştir. Aynı şekilde karşıt endüktans (M) değerlerinde de % 2,37 oranında artış olmuştur. Sarımlar arasındaki mesafelerin değişimi bağlaşım katsayılarında (k) % 10,54 oranında artışa neden olmuştur.

Tablo 2.21’de $D=31$ cm çaplı alıcı ve verici bobinler arasındaki mesafenin 10 cm olduğu bobinlerin sarımlarının arasındaki mesafeler ve sarım sayıları değiştirilerek bağlaşım katsayısı (k) parametrelerinin değiştiği gözlemlenmiştir.

Tablo 2.21: Bağlaşım katsayılarına göre $D=31$ cm, hava aralığı 10 cm olan simülasyon sonuçları.

Sarımlar arası mesafe (t)	Bağlaşım katsayısı (k)				
	$N=1$	$N=2$	$N=3$	$N=4$	$N=5$
2,45 mm	0,168	0,215	0,237	0,251	0,263
2,95 mm	---	0,218	0,242	0,259	0,273
3,45 mm	---	0,221	0,247	0,265	0,280
3,95 mm	---	0,224	0,252	0,271	0,287
4,45 mm	---	0,227	0,257	0,277	0,294

Tablo 2.21 incelendiğinde sarımlar arasındaki mesafelerin ve sarım sayılarının değişimi neticesinde k değerlerinin değişimi gözlemlenmiştir. Yapılan benzetim çalışmalarında sarım sayısının artışı bağlaşım katsayısının artmasına, buna paralel olarak sarımlar arasındaki mesafelerin değişimi de bağlaşım katsayısının artmasına neden olmuştur.



Şekil 2.23: $D=31$ cm çapındaki bobinlerin bağlaşım katsayılarına göre değişim grafiği.

Şekil 2.23'ü incelediğimizde sarımlar arasındaki mesafe 2,45 mm olduğunda $N=2$ ile $N=5$ sarımlı bobinleri incelediğimizde bağlaşım katsayısında %18 oranında arttığı gözlemlenmiştir. Aynı şekilde sadece sarımlar arasındaki mesafenin 4.45 mm olduğu bobin verileri incelendiğinde % 23 oranında bağlaşım katsayısı değerinde artış gözlemlenmiştir. Bu veriler gösteriyor ki hem sarımlar arası mesafe hem de sarım sayılarının artışı alıcı ve verici bobinler arasında daha iyi güç bağlaşımını olduğunu göstermiştir.

Ferritsiz olarak Maxwell programında yapılan simülasyonlarda tablolarda görülen veriler ışığında karşıt endüktans (M), Endüktans (L) ve bağlaşım katsayılarında (k) değişimler görülmektedir. Bu verilere göre $N=2, 3, 4, 5$ sarımlı alıcı ve verici bobinlerin sarımlarının arasındaki mesafelerin değişimi neticesinde L değerleri azalırken M değerleri artmaktadır. Bunun neticesinde de hava aralığı ve bobin çapları sabit tutularak yapılan ferritsiz simülasyonlarda bağlaşım katsayısının arttığı görülmektedir.

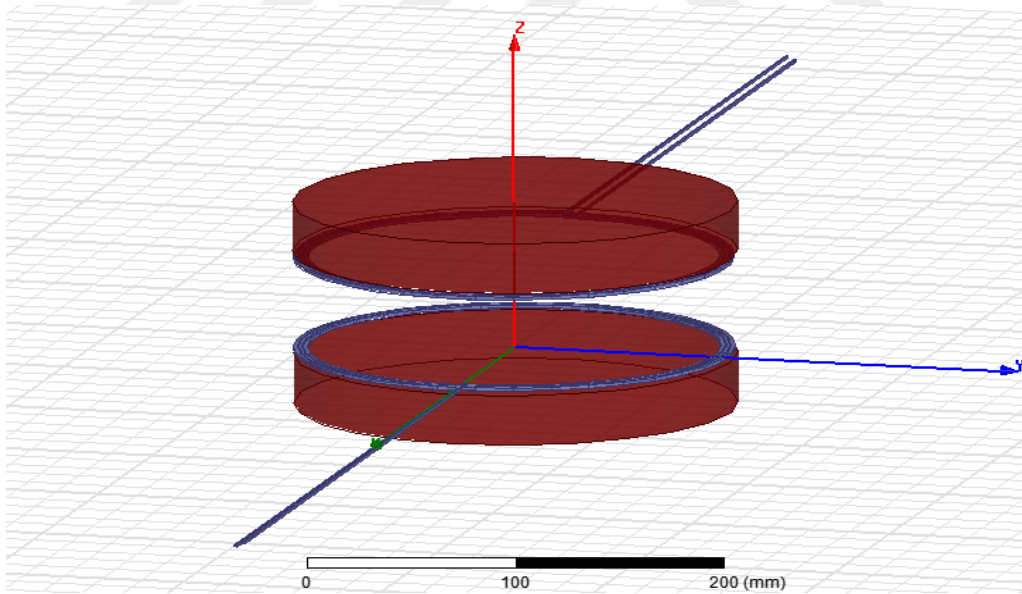
Bobinlerin bağlaşım katsayılarındaki değişimler ise iki bobin arası mesafe sabit tutulup sarım sayısı artırıldığında bağlaşım katsayısı artmaktadır. Aynı simülasyonlarda bobin sarım sayıları sabit tutulup sarımlar arası mesafe değiştirildiğinde de bağlaşım katsayısı artmaktadır.

Bu simülasyon verilerinde de görüldüğü üzere bağlaşım katsayısının daha kaliteli olması sarımlar arası mesafe ve sarım sayıları artışı neticesinde arttığı görülmektedir.

2.2.5 Ferritli Çember Bobin Yapısının Bağlı Geçirgenlik ve Ferrit Kalınlığına Göre Değişim Simülasyonları

Maxwell programında yapılan simülasyonlar $N=3$ sarım sayısına sahip $D=10$ cm ve $D=31$ cm çaplarında, 5 cm hava aralığında ve bobinlerden 5 Amper akım geçirilip, üzerine ferrit eklenerek simülasyonlar yapılmıştır. Karşıt endüktans (M), Endüktans (L) ve bağlaşım katsayılarında (k) ki değişimler incelenmiştir. Burada ferrit kalınlıkları 10 mm, 27 mm ve 50 mm yüksekliklerinde ayrı ayrı simülasyonları yapılmıştır. Ayrıca bağli manyetik geçirgenlik (μ_r) katsayısının da 50, 500 ve 1000 olarak değişimi sonucunda L , M ve k değerleri incelenmiştir.

Şekil 2.24'te $N=3$ sarımlı, $D=10$ cm çapında ferrit kalınlığı 27 mm olan alıcı ve verici bobinler arasında hava aralığı 5 cm olan KGT bobini Maxwell modeli görülmektedir. Bobinler $1,44 \text{ mm}^2$ kesitli bakır iletkenlerden oluşmaktadır.



Şekil 2.24: $N=3$ sarımlı, ferrit yüksekliği 27 mm olan alıcı ve verici bobinler.

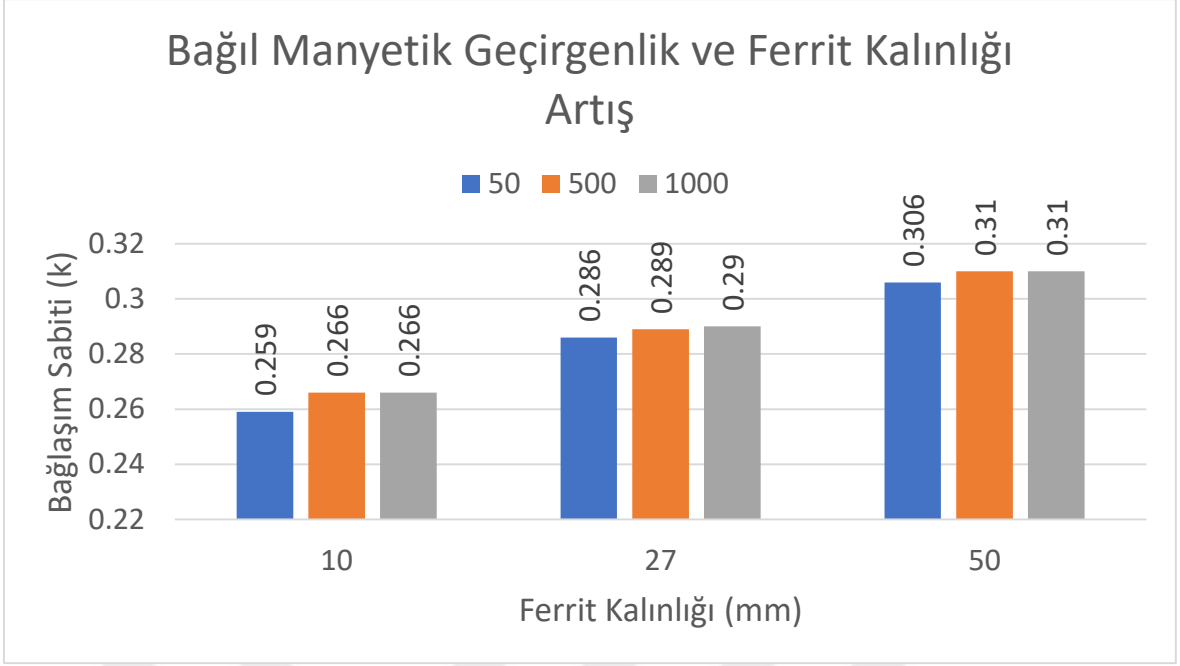
Tablo 2.22'de $N=3$ sarımlı, $D=10$ cm çaplı alıcı ve verici bobinler arasındaki mesafenin 5 cm olduğu, ferrit kalınlığı 10, 27, 50 mm ve bağli manyetik geçirgenlik katsayılarının 50, 500, 1000 olarak değişimi neticesinde L , M ve k parametrelerinin değişimi gözlemlenmiştir.

Tablo 2.22: $D=10$ cm çaplı bobin Bağıl geçirgenlik ve Ferrit kalınlığı değişimine göre simülasyonlar.

Ferrit Kalınlığı (mm)	Parametreler	Bağıl Geçirgenlik (μ_r)		
		50	500	1000
10	L	6,806 μH	6,931 μH	6,939 μH
	M	1,766 μH	1,844 μH	1,849 μH
	k	0,259	0,266	0,266
27	L	7,168 μH	7,271 μH	7,276 μH
	M	2,053 μH	2,108 μH	2,111 μH
	k	0,286	0,289	0,290
50	L	7,450 μH	7,534 μH	7,540 μH
	M	2,284 μH	2,338 μH	2,341 μH
	k	0,306	0,310	0,310

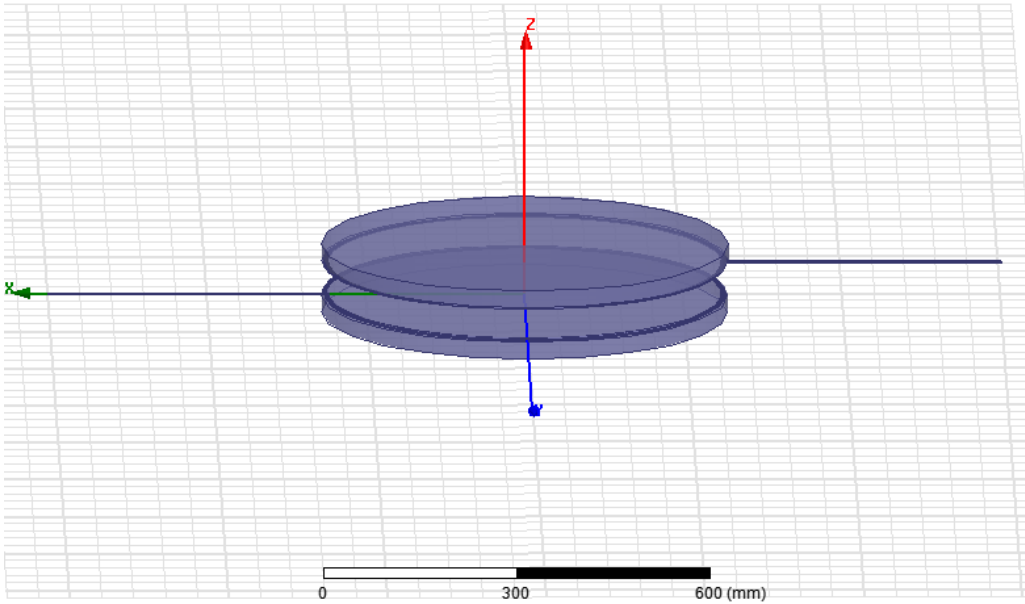
Tablo 2.22 incelendiğinde alıcı ve verici bobinlerin üzerinde bulunan ferrit kalınlıkları artırılması net ve bağıl manyetik geçirgenlik katsayıları artışı neticesinde L , M ve k değerleri de artmıştır. Bağıl manyetik geçirgenlik katsayısının değişimi L ve M değerlerin küçük bir artışa neden olurken, 500'den sonra (k) bağlaşım katsayında değişim olmamaktadır.

Şekil 2.25'i incelediğimizde bu benzetim çalışmasında alıcı ve verici bobinlerin ferrit kalınlığını artırmak daha iyi güç bağlaşımını olacağını göstermektedir.



Şekil 2.25: $D=10$ cm çapındaki çember bobin yapısının bağıl manyetik geçirgenlik ve ferrit kalınlığı değişim grafiği

Şekil 2.26'da $N=3$ sarımlı, $D=31$ cm çapında ferrit kalınlığı 27 mm olan alıcı ve verici bobinler arasında hava aralığı 5 cm olan KGT bobini Maxwell modeli görülmektedir. Bobinler $1,44 \text{ mm}^2$ kesitli bakır iletkenlerden oluşmaktadır.



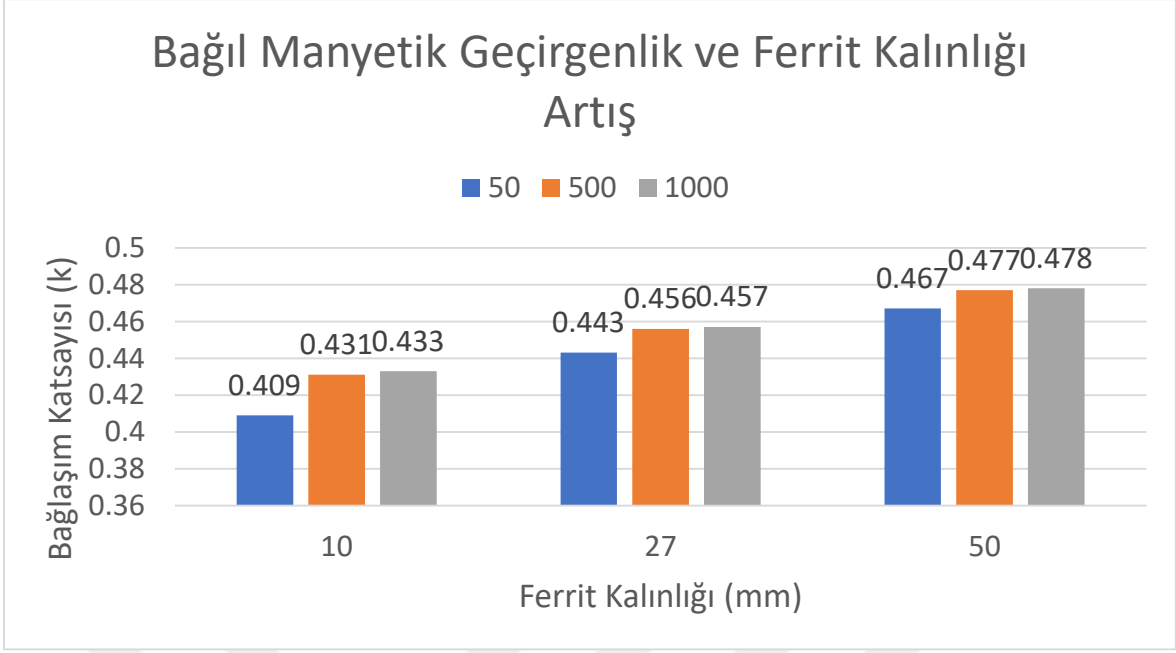
Şekil 2.26: $N=3$ sarımlı $D=31$ cm çapında ki bobinler arasındaki mesafe 5 cm olan ferritli Maxwell modeli.

Tablo 2.23’de $N=3$ sarımlı, $D=31$ cm çaplı alıcı ve verici bobinler arasındaki hava aralığının 5 cm olduğu çember bobin yapısının, ferrit kalınlığı 10, 27, 50 mm ve bağıl manyetik geçirgenlik katsayılarının 50, 500, 1000 olarak değişimi neticesinde L , M ve k parametrelerinin değişimi gözlemlenmiştir.

Tablo 2.23: $D=31$ cm çaplı bobinin bağıl geçirgenlik ve ferrit kalınlığı değişim simülasyon verileri.

Ferrit Kalınlığı(mm)	Parametreler	Bağıl Geçirgenlik (μ_r)		
		50	500	1000
10	L	25,765 μH	27,061 μH	27,167 μH
	M	10,549 μH	11,677 μH	11,773 μH
	k	0,409	0,431	0,433
27	L	27,636 μH	28,556 μH	28,597 μH
	M	12,254 μH	13,036 μH	13,081 μH
	k	0,443	0,456	0,457
50	L	28,971 μH	29,707 μH	29,753 μH
	M	13,560 μH	14,192 μH	14,232 μH
	k	0,467	0,477	0,478

Tablo 2.23 incelendiğinde alıcı ve verici bobinlerin üzerinde bulunan ferrit kalınlıkları artırılması net ve bağıl manyetik geçirgenlik katsayıları artışı neticesinde L , M ve k değerleri de artmıştır. Bunun yanında diğer değişken olan bağıl manyetik geçirgenlik katsayısının değişimi L ve M değerlerin küçük bir artışa neden olurken, 500’den sonra (k) bağlaşım katsayısında değişim olmamaktadır.



Şekil 2.27: $D=31$ cm çapındaki çember bobin yapısının bağıl manyetik geçirgenlik ve ferrit kalınlığı değişim grafiği

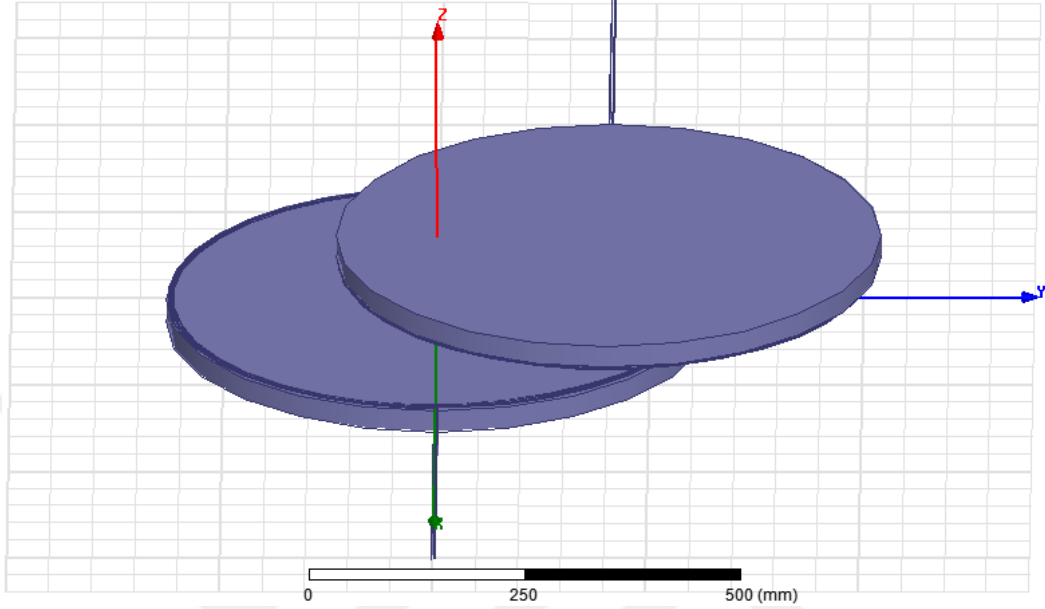
Şekil 2.27’den görüldüğü üzere bu benzetim çalışmasında alıcı ve verici bobinlerin ferrit kalınlığını artırmak daha iyi güç bağlaşımını olacağını göstermektedir.

Simülasyon sonuçlarına göre 31 cm ve 10 cm çaplarında bobinlerin ferrit kalınlıklarının artırılması L , M ve k değerlerinde artışa neden olmuştur. Aynı şekilde bağıl manyetik geçirgenlik katsayısının 50’den 500’e çıkması neticesinde bağlaşım katsayısının artışı ani yükselmesine rağmen katsayı 1000 olduğunda bağlaşım katsayısında değişim çok küçük olduğu görülmüştür. Simülasyonlardan elde edilen verilere göre bağıl manyetik geçirgenlik katsayısını belli bir değerden sonra değiştirmek sonuç verilerinde dikkate değer bir değişime neden olmamaktadır. Yapılacak simülasyonlarda bağıl manyetik geçirgenliğin değeri 1000 olarak alınması uygun olacaktır.

2.2.6 Ferritli Çember Bobin Yapısının Tam ve Yanlış Hizalanma Simülasyonları

Simülasyonlardan 31 cm çapında 5 cm hava aralığında tam hizalanma ve yanlış hizalanmasına durumları için sonuçlar çıkarılmıştır. Tam hizalanmada alıcı ve verici bobinler birbirine paralel olacak ve merkezleri aynı doğrultuda olacak şekilde 5 cm hava aralığında bağlaşım sağlamaktadır. Yanlış hizalanmada ise yine alıcı ve verici bobinler birbirine paralel 5 cm hava aralığında fakat alıcı bobin +y eksenine boyunca 20 cm yanlış hizalanmıştır. Alıcı ve verici bobinlere 5 Amper akım uygulanarak simülasyonlar yapılmıştır.

Şekil 2.28’de 31 cm çapında $N=3$ sarım sayısına sahip çember şeklinde alıcı ve verici bobinlerin yanlış hizalanma durumu içim Maxwell modeli görülmektedir.



Şekil 2.28: $N=3$ ve $D=31$ cm çapında yanlış hizalanmış ferritli alıcı ve verici bobinler.

Tablo 2.24’te görüldüğü üzere $N=3$ sarım sayısına sahip 31 cm çapında bobinlerin tam ve yanlış hizalanma simülasyon sonuçlarını görülmektedir.

Tablo 2.24: $N=3$ sarımlı 31 cm çapında 5 cm hava aralığında yapılan tam ve yanlış hizalama simülasyon sonuçları.

Bobin Tipi	Parametreler			
	L (μH)	M (μH)	k	Alan (cm^2)
Tam Hizalanma	28,597	13,081	0,457	754,4
Yanlış Hizalanma	29,636	5,515	0,185	754,4

Tablo 2.24 incelendiğinde alıcı ve verici bobinlerin tam hizalanmasında (k) bağlaşım katsayısı 0,457 iken, +y eksenini boyunca 200 mm yanlış hizalanması neticesinde (k) bağlaşım katsayısı değeri 0,185 olduğu görülmektedir. Bu tablodan anlaşıldığı üzere yanlış hizalanma sonucunda güç bağlaşımını %60 oranında azalmıştır.

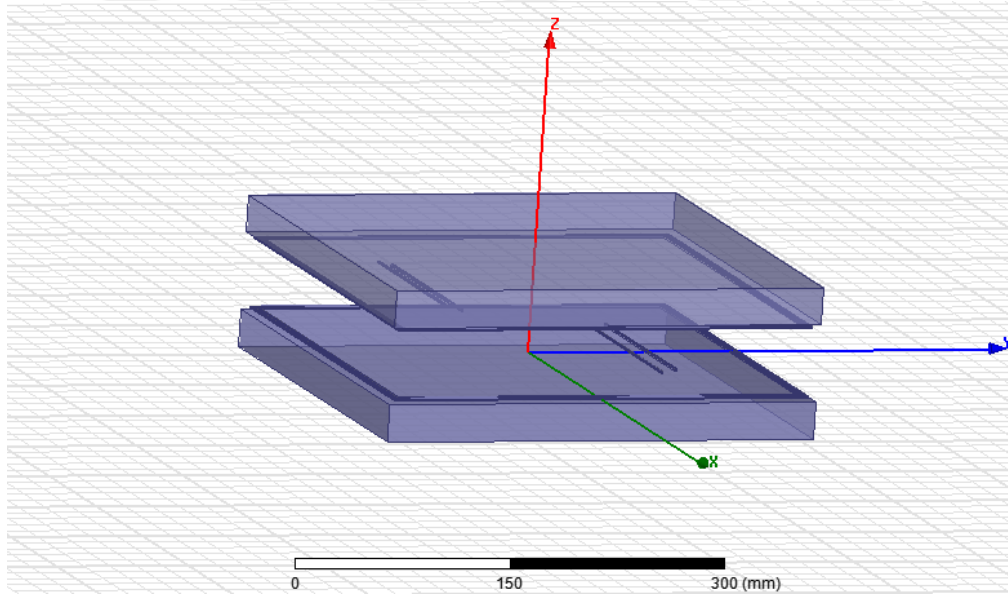
3. KARE VE DİKDÖRTGEN BOBİN YAPILARI

3.1 Kare Bobin Yapısı

Kare bobin yapısında alıcı ve verici bobinlerin ebatları çember bobinle aynı olacak şekilde çember bobinin çapı temel alınarak 31x31 cm boyutlarında $N=3$ sarım sayısına sahip ferrit kalınlığı 27 mm, Bağıl manyetik geçirgenlik katsayısı ise 1000 olan modelin içinden 5 Amper akım geçirilerek simülasyonları yapılmıştır. Ayrıca tam hizalanmada ferrit kalınlığı 10 mm, 27 mm ve 50 mm ve bağıl manyetik geçirgenlik katsayısı da 50, 500, 1000 olarak değiştirilerek simülasyonlar tekrarlanmıştır.

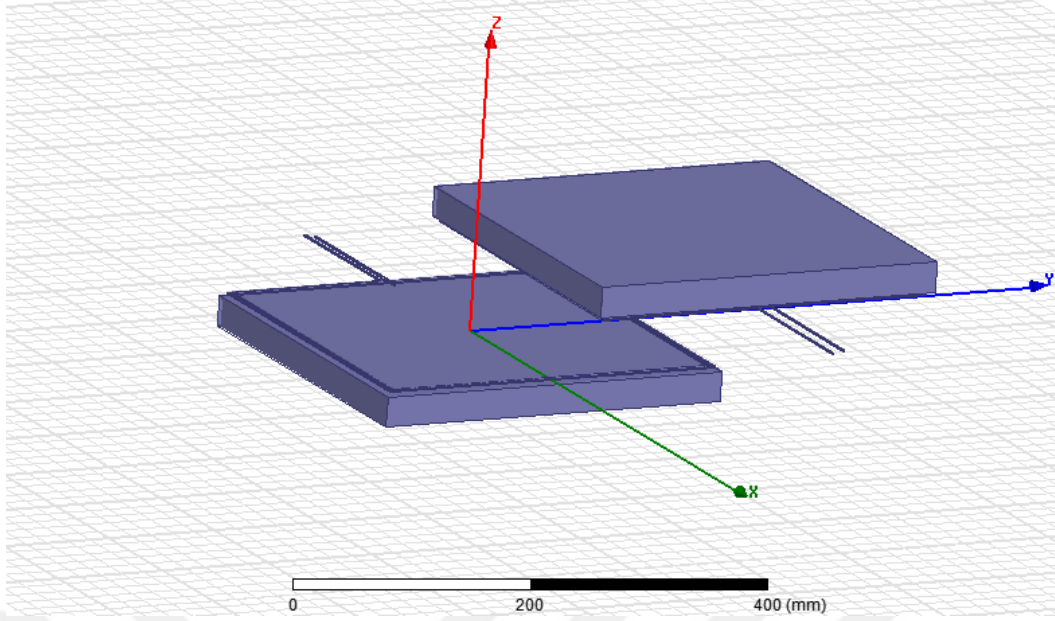
Tam hizalanma tasarımıda ki parametreler sabit kalmak koşuluyla aynı ebatlarda +y eksenini boyunca 20 cm yanlış hizalama yapılarak simülasyonlar tekrarlanmıştır.

Şekil 3.1’de 31x31 cm ebatlarında $N=3$ sarım sayısına sahip kare şeklinde alıcı ve verici bobinlerin tam hizalanma KGT bobini Maxwell modeli görülmektedir. Alıcı ve verici bobinler arasındaki mesafe 5 cm ve 1,44 mm² kesitli bakır iletkenlerden oluşmaktadır.



Şekil 3.1: Tam hizalanmış ferritli kare bobinler.

Şekil 3.2’de 31x31 cm ebatlarında $N=3$ sarım sayısına sahip kare şeklinde alıcı ve verici bobinlerin yanlış hizalanma KGT bobini Maxwell modeli görülmektedir. Alıcı ve verici bobinler arasındaki mesafe 5 cm ve 1,44 mm² kesitli bakır iletkenlerden oluşmaktadır.



Şekil 3.2: Yanlış hizalanmış ferritli kare bobinler.

Tablo 3,1’de görüldüğü üzere $N=3$ sarım sayısına sahip 31x31 cm ebatlarında kare bobinlerin tam ve yanlış hizalanma simülasyon sonuçlarında da görülmektedir.

Tablo 3.1: Kare bobin için tam ve yanlış hizalama durumlarına göre simülasyon sonuçları.

Bobin Tipi	Parametreler			
	L (μH)	M (μH)	k	Alan (cm^2)
Tam Hizalanma	15,335	5,395	0,351	961
Yanlış Hizalanma	15,245	1,037	0,0679	961

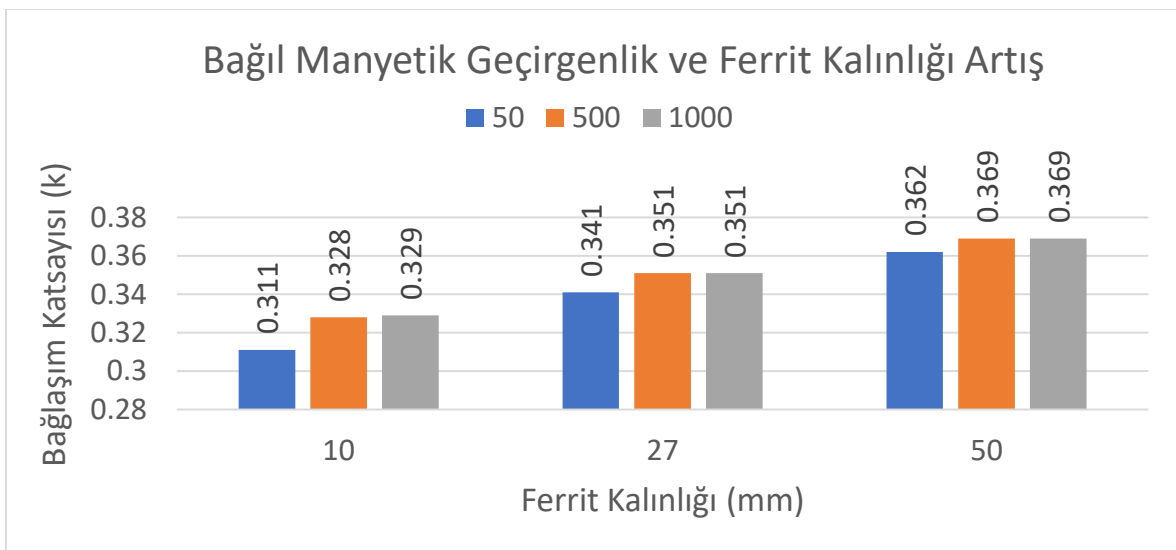
Tablo 3.1 incelendiğinde alıcı ve verici bobinlerin tam hizalanmasında (k) bağlaşım katsayısı 0,351 iken, +y eksenini boyunca 20 cm yanlış hizalanması neticesinde (k) bağlaşım katsayısı değeri 0,0679 olduğu görülmektedir. Tablodan anlaşıldığı üzere yanlış hizalanma sonucunda güç bağlaşımını %80 oranında azalmıştır.

Tablo 3.2’de $N=3$ sarımlı $A=31 \times 31$ cm ebatlarında alıcı ve verici bobinler arasındaki mesafe 5 cm olduğu kare bobin yapısının, ferrit kalınlığı 10, 27, 50 mm ve bağıl manyetik geçirgenlik katsayılarının 50, 500, 1000 olarak artması neticesinde L , M ve k parametrelerinin değişimi gözlemlenmiştir.

Tablo 3.2: $A=31*31$ cm ebatlarında kare bobin yapısının bağıl geçirgenlik ve ferrit kalınlığı değişimlerinde ki simulasyon sonuçları.

Ferrit Kalınlığı(mm)	Parametreler	Bağıl Geçirgenlik		
		50	500	1000
10	L	14,119 μH	14,663 μH	14,701 μH
	M	4,398 μH	4,813 μH	4,844 μH
	k	0,311	0,328	0,329
27	L	14,942 μH	15,309 μH	15,332 μH
	M	5,104 μH	5,377 μH	5,394 μH
	k	0,341	0,351	0,351
50	L	15,470 μH	15,785 μH	15,803 μH
	M	5,602 μH	5,828 μH	5,841 μH
	k	0,362	0,369	0,369

Tablo 3.2 incelendiğinde simülasyon sonuçlarına göre kare bobin yapısında ferrit kalınlıklarının artırılması L , M ve k değerlerinde artışa neden olmuştur. Aynı şekilde bağıl manyetik geçirgenlik katsayısının 50'den 500'e çıkması neticesinde bağlaşım katsayısının artışı ani yükselmesine rağmen katsayı 1000 olduğunda bağlaşım katsayısında değişim çok küçük olduğu görülmüştür.

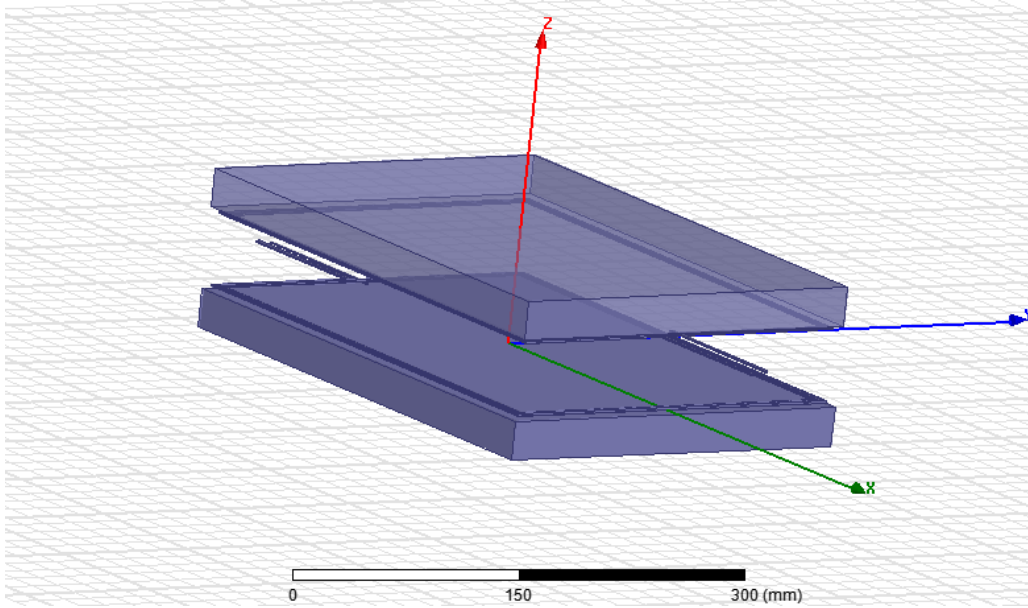


Şekil 3.3: Kare bobin yapısının bağıl manyetik geçirgenlik ve ferrit kalınlığı değişim grafiği

Şekil 3.3 incelendiğinde edilen verilere göre bağıl manyetik geçirgenlik katsayısını belli bir değerden sonra değiştirmek sonuç verilerinde dikkate değer bir değişime neden olmamaktadır. Yapılacak simülasyonlarda bağıl manyetik geçirgenliğin değeri 1000 olarak alınması uygun olacaktır.

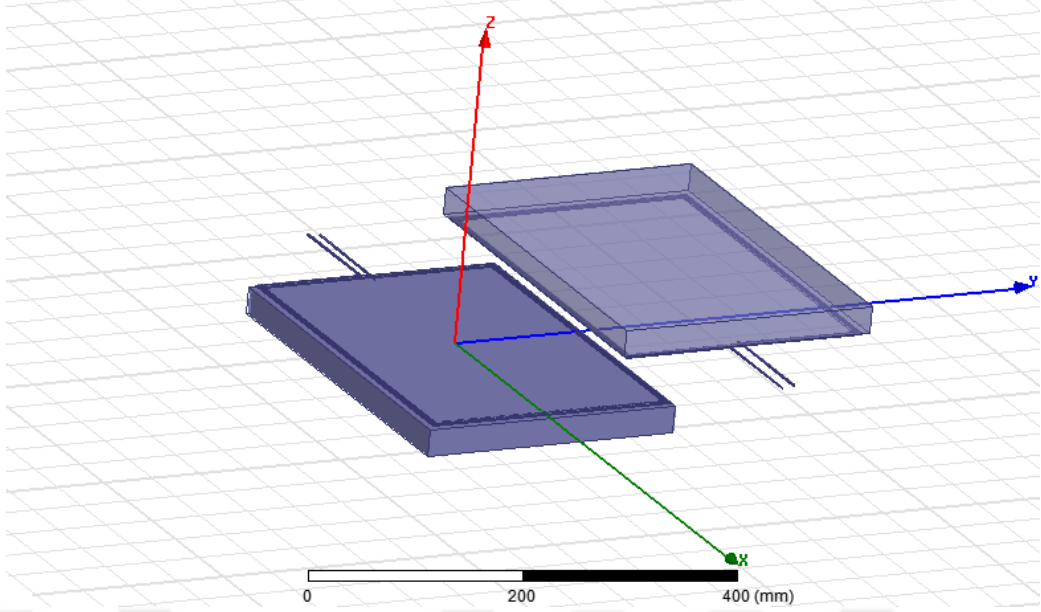
3.2 Dikdörtgen Bobin Yapısı

Dikdörtgen bobin yapısında iki ayrı sargı tipi kullanılmıştır. Bunlar 37*25 cm ebatlarında ve 42*20 cm ebatlarında olan iki ayrı KGT bobini Maxwell modeli kullanılmıştır. Bu modellerin özelliği kare bobinin çevresinin uzunluğu temel alınarak yapılmıştır. Her iki modelde de $N=3$ sarım sayısına sahip ferrit kalınlığı 27 mm, bağıl manyetik geçirgenlik katsayısı ise 1000 olan bobinlerine 5 Amper akım uygulanarak simülasyonları yapılmıştır. Tam hizalanma tasarımlarında ki parametreler sabit kalmak koşuluyla aynı ebatlarda +y eksenini boyunca 20 cm yanlış hizalama yapılarak simülasyonlar tekrarlanmıştır. Şekil 3.4'te 37x25 cm ebatlarında $N=3$ sarım sayısına sahip dikdörtgen şeklinde alıcı ve verici bobinlerin tam hizalanma KGT bobini Maxwell modeli görülmektedir. Alıcı ve verici bobinler arasındaki mesafe 5 cm ve 1,44 mm² kesitli bakır iletkenlerden oluşmaktadır.



Şekil 3.4: A=37x25 cm ebatlarında ferritli tam hizalanmış dikdörtgen bobinler.

Şekil 3.4'te 37x25 cm ebatlarında $N=3$ sarım sayısına sahip dikdörtgen şeklinde alıcı ve verici bobinlerin yanlış hizalanma KGT bobini Maxwell modeli görülmektedir. Alıcı ve verici bobinler arasındaki mesafe 5 cm ve 1,44 mm² kesitli bakır iletkenlerden oluşmaktadır



Şekil 3.5: $A=37 \times 25$ cm ebatlarında ferritli yanlış hizalanmış dikdörtgen bobinler

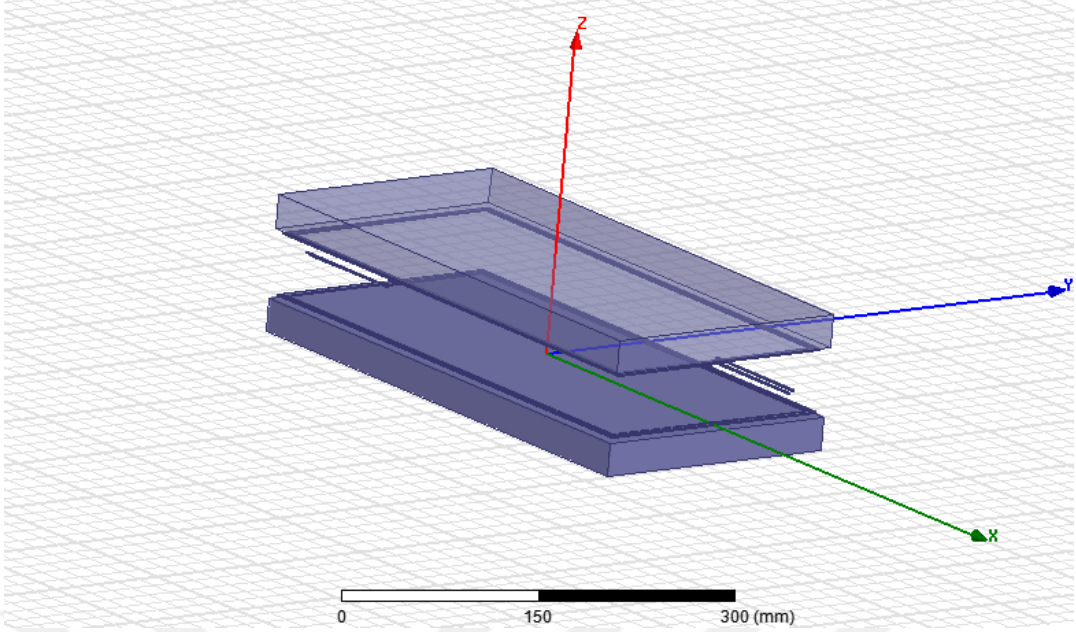
Tablo 3.3’de görüldüğü üzere $N=3$ sarım sayısına sahip 37×25 cm ebatlarında dikdörtgen bobinlerin tam ve yanlış hizalanma simülasyon sonuçlarında da görülmektedir.

Tablo 3.3: 37×25 ebatlarında dikdörtgen bobin yapısı.

Bobin Tipi	Parametreler			
	L (μH)	M (μH)	k	Alan (cm^2)
Tam Hizalanma	15,067	5,154	0,342	925
Yanlış Hizalama	14,758	0,141	0,0095	925

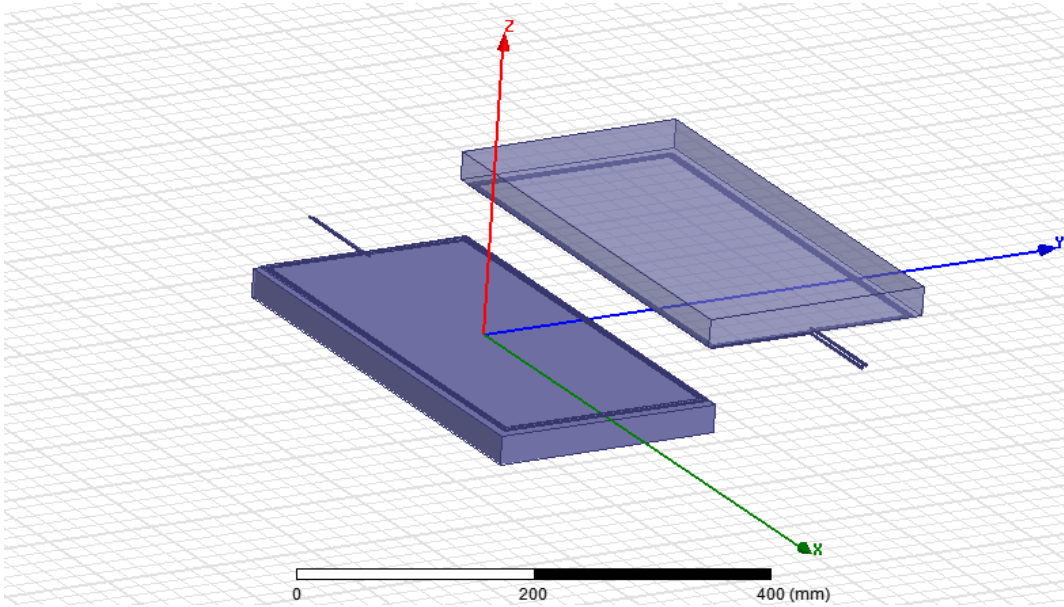
Tablo 3.3 incelendiğinde alıcı ve verici bobinlerin tam hizalanmasında (k) bağlaşım katsayısı 0,342 iken, +y eksenini boyunca 20 cm yanlış hizalanması neticesinde (k) bağlaşım katsayısı değeri 0,0095 olduğu görülmektedir. Bu tablodan anlaşıldığı üzere yanlış hizalanma sonucunda güç bağlaşımını %97 oranında azalmıştır.

Şekil 3.6’da 42×20 cm ebatlarında $N=3$ sarım sayısına sahip dikdörtgen şeklinde alıcı ve verici bobinlerin tam hizalanma KGT bobini Maxwell modeli görülmektedir. Alıcı ve verici bobinler arasındaki mesafe 5 cm ve $1,44 \text{ mm}^2$ kesitli bakır iletkenlerden oluşmaktadır.



Şekil 3.6: A=42x20 cm ebatlarında ferritli tam hizalanmış dikdörtgen bobinler.

Şekil 3.7’de 42x20 cm ebatlarında $N=3$ sarım sayısına sahip dikdörtgen şeklinde alıcı ve verici bobinlerin yanlış hizalanma KGT bobini Maxwell modeli görülmektedir. Alıcı ve verici bobinler arasındaki mesafe 5 cm ve $1,44 \text{ mm}^2$ kesitli bakır iletkenlerden oluşmaktadır.



Şekil 3.7: A=42x20 cm ebatlarında ferritli yanlış hizalanmış dikdörtgen bobinler

Tablo 3.4’te görüldüğü üzere $N=3$ sarım sayısına sahip 42x20 cm ebatlarında dikdörtgen bobinlerin tam ve yanlış hizalanma simülasyon sonuçlarında da görülmektedir.

Tablo 3.4: 42*20 ebatlarında dikdörtgen bobin yapısı.

Bobin Tipi	Parametreler			
	L (μH)	M (μH)	k	Alan (cm^2)
Tam Hizalanma	14,610	4,760	0,325	840
Yanlış Hizalama	14,036	0,883	0,062	840

Tablo 3.4 incelendiğinde alıcı ve verici bobinlerin tam hizalanmasında (k) bağlaşım katsayısı 0,325 iken, +y eksenini boyunca 20 cm yanlış hizalanması neticesinde (k) bağlaşım katsayısı değeri 0,062 olduğu görülmektedir. Bu tablodan anlaşıldığı üzere yanlış hizalanma sonucunda güç bağlaşımı %80 oranında azalmıştır.



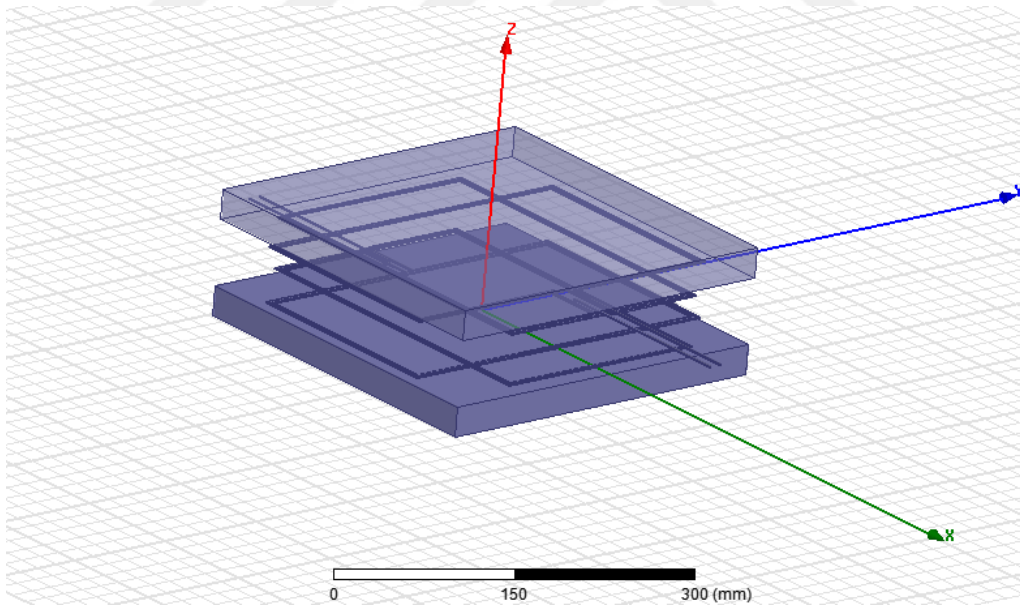
4. ARTI BOBİN YAPISI

Artı bobin yapısı kare bobinde olduğu gibi çember bobinin çapı temel alınarak 31x31 cm ebatlarında modellenmiştir. Artı bobin yapısında kenar uzunlukları 20*31 cm ve 10*31 cm ebatlarında ki modellerin tam ve yanlış hizalanma simülasyonları yapılmıştır. Her iki modelde $N=3$ sarım sayısına sahip ferrit kalınlığı 27 mm, bağlı manyetik geçirgenlik katsayısı ise 1000 olan bobinlere 5 Amper akım uygulanarak Maxwell modelinin simülasyonları yapılmıştır.

Tam hizalanma tasarımında ki parametreler sabit kalmak koşuluyla aynı ebatlarda +y eksenini boyunca 20 cm yanlış hizalama yapılarak simülasyonlar tekrarlanmıştır.

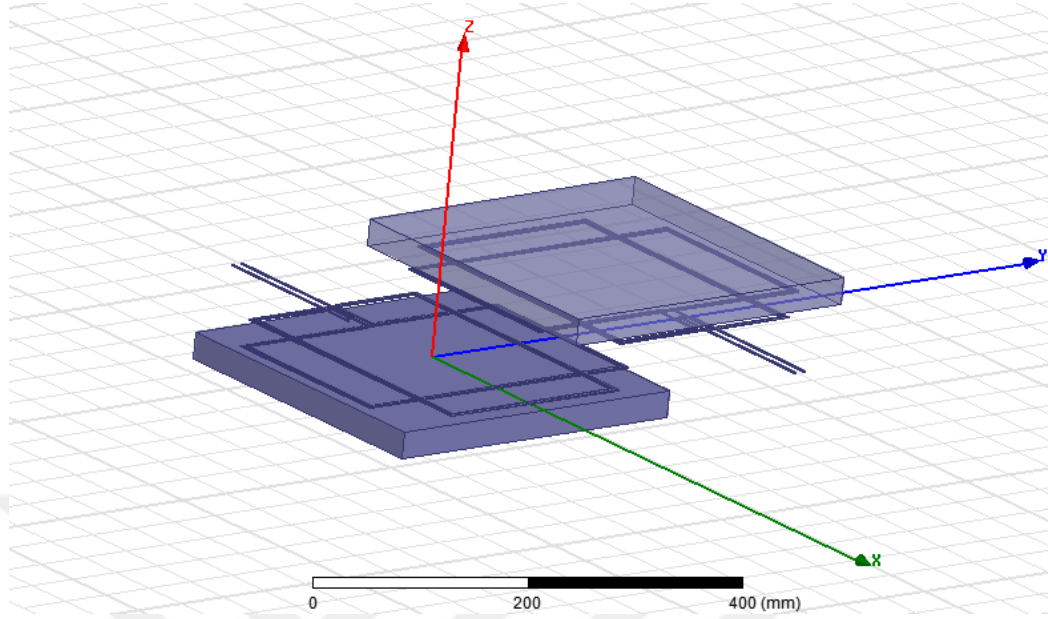
20x31 cm artı bobin simülasyonları;

Şekil 4.1’de 20x31 cm ebatlarında $N=3$ sarım sayısına sahip artı şeklinde alıcı ve verici bobinlerin tam hizalanma KGT bobini Maxwell modeli görülmektedir. Alıcı ve verici bobinler arasındaki mesafe 5 cm ve 1,44 mm² kesitli bakır iletkenlerden oluşmaktadır.



Şekil 4.1: A=20x31 cm ebatlarında ferritli tam hizalanmış artı bobinler.

Şekil 4.2’de 20x31 cm ebatlarında $N=3$ sarım sayısına sahip artı şeklinde alıcı ve verici bobinlerin yanlış hizalanma KGT bobini Maxwell modeli görülmektedir. Alıcı ve verici bobinler arasındaki mesafe 5 cm ve 1,44 mm² kesitli bakır iletkenlerden oluşmaktadır.



Şekil 4.2: A=20x31 cm ebatlarında ferritli yanlış hizalanmış artı bobinler

Tablo 4.1’de görüldüğü üzere $N=3$ sarım sayısına sahip 20x31 cm ebatlarında artı bobinlerin tam ve yanlış hizalanma simülasyon sonuçlarını görülmektedir.

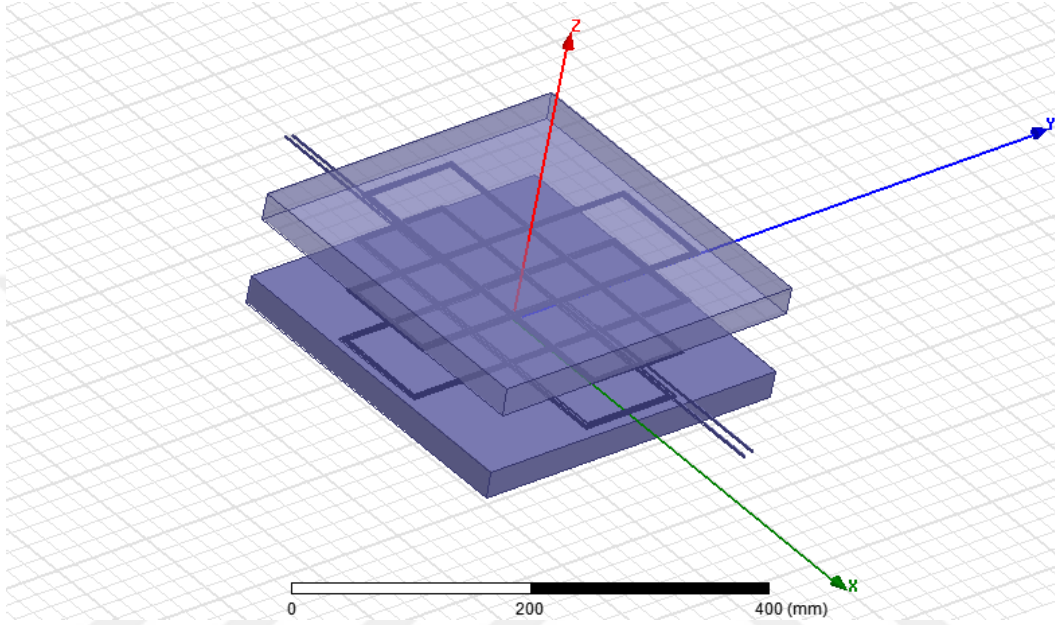
Tablo 4.1: 20*31 cm ebatlarında artı bobin yapısı.

Bobin Tipi	Parametreler			
	L (μH)	M (μH)	k	Alan (cm^2)
Tam Hizalanma	8,456	5,059	0,598	840
Yanlış Hizalama	7,671	0,0887	0,0115	840

Tablo 4.1’de incelendiğinde alıcı ve verici bobinlerin tam hizalanmasında (k) bağlaşım katsayısı 0,598 iken, +y eksenı boyunca 20 cm yanlış hizalanması neticesinde (k) bağlaşım katsayısı değeri 0,0115 olduğu görülmektedir. Bu tablodan anlaşıldığı üzere yanlış hizalanma sonucunda güç bağlaşımı % 98 oranında azalmıştır.

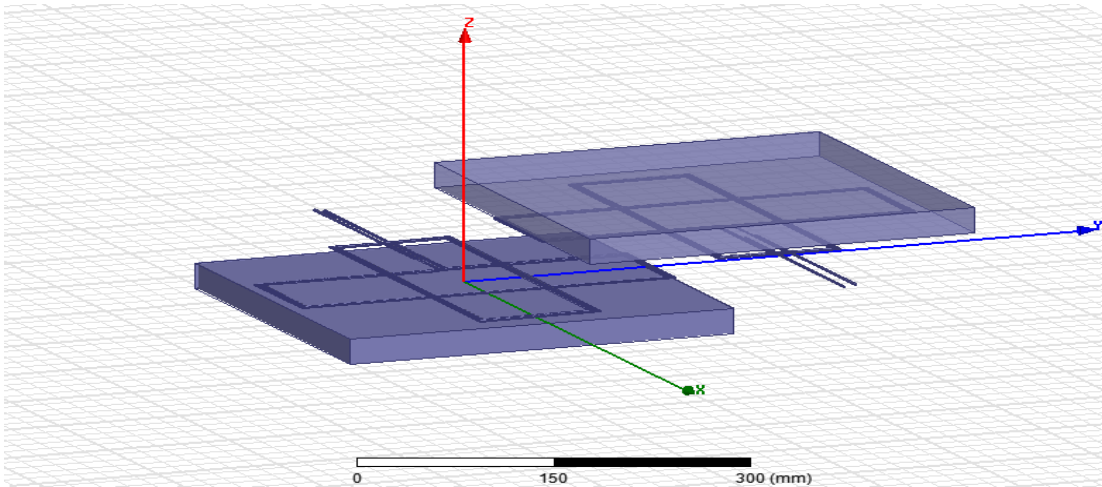
10x31 cm artı bobin simülasyonları;

Şekil 4.3’de 10x31 cm ebatlarında $N=3$ sarım sayısına sahip artı şeklinde alıcı ve verici bobinlerin tam hizalanma KGT bobini Maxwell modeli görülmektedir. Alıcı ve verici bobinler arasındaki mesafe 5 cm ve 1,44 mm² kesitli bakır iletkenlerden oluşmaktadır.



Şekil 4.3: A=10x31 cm ebatlarında ferritli tam hizalanmış artı bobinler.

Şekil 4.4’te 10x31 cm ebatlarında $N=3$ sarım sayısına sahip artı şeklinde alıcı ve verici bobinlerin yanlış hizalanma KGT bobini Maxwell modeli görülmektedir. Alıcı ve verici bobinler arasındaki mesafe 5 cm ve 1,44 mm² kesitli bakır iletkenlerden oluşmaktadır.



Şekil 4.4: A=10x31 cm ebatlarında ferritli yanlış hizalanmış artı bobinler

Tablo 4.2’de görüldüğü üzere $N=3$ sarım sayısına sahip 10x31 cm ebatlarında artı bobinlerin tam ve yanlış hizalanma simülasyon sonuçları görülmektedir.

Tablo 4.2: 10*31 cm ebatlarında artı bobin yapısı.

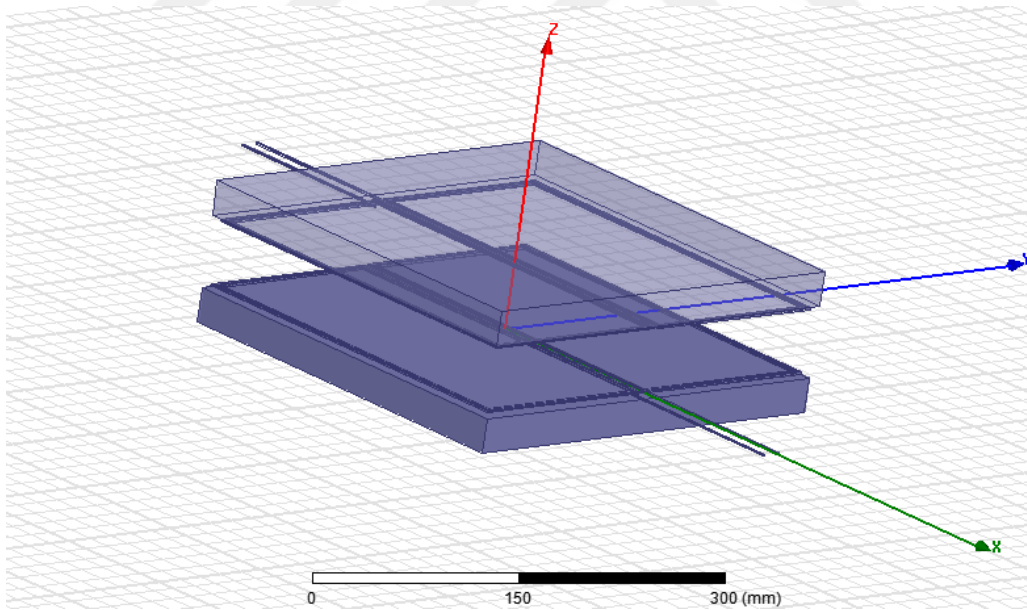
Bobin Tipi	Parametreler			
	L (μH)	M (μH)	k	Alan (cm^2)
Tam Hizalanma	9,521	6,205	0,651	861
Yanlış Hizalama	9,667	0,456	0,047	861

Tablo 4.2’de incelendiğinde alıcı ve verici bobinlerin tam hizalanmasında (k) bağlaşım katsayısı 0,598 iken, +y eksenı boyunca 20 cm yanlış hizalanması neticesinde (k) bağlaşım katsayısı değeri 0,0115 olduğu görülmektedir. Bu tablodan anlaşıldığı üzere yanlış hizalanma sonucunda güç bağlaşımı %92 oranında azalmıştır.

5. DD BOBİN YAPISI

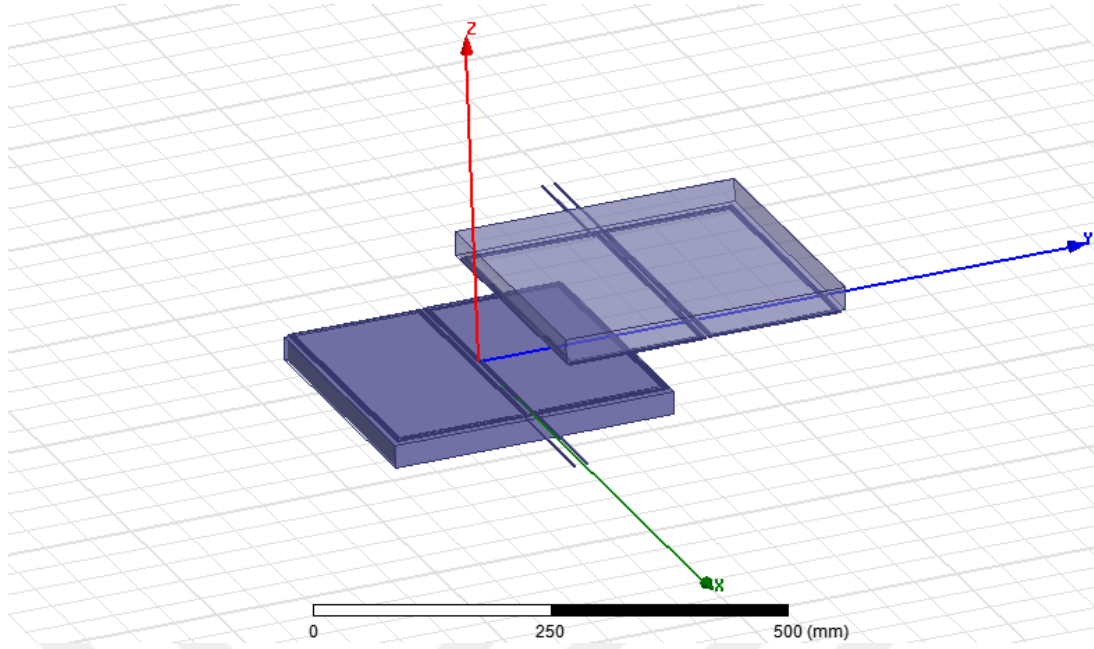
DD (Double D) bobin yapısında alıcı ve verici bobinlerin ebatları çember bobinle aynı olacak şekilde çember bobinin çapı temel alınarak 31x31 cm boyutlarında iki adet 15,5x31 cm ebatlarında dikdörtgen bobinin yan yana seri bağlanması sonucunda Maxwell modeli oluşturulmuştur. $N=3$ sarım sayısına sahip ferrit kalınlığı 27 mm, bağıl manyetik geçirgenlik katsayısı ise 1000 olan bobinlerin içinden 5 amper akım geçirilerek simülasyonları yapılmıştır. Bu bobin yapısında tam hizalanmada ferrit kalınlığı 10 mm, 27 mm ve 50 mm değiştirilerek, bağıl manyetik geçirgenlik katsayısında 50, 500, 1000 olarak simülasyonlar tekrarlanmıştır. Tam hizalanma tasarımı ki parametreler sabit kalmak koşuluyla aynı ebatlarda +y eksenini boyunca 20 cm yanlış hizalama yapılarak simülasyonlar tekrarlanmıştır.

Şekil 5.1’de 31x31 cm ebatlarında $N=3$ sarım sayısına sahip DD şeklinde alıcı ve verici bobinlerin tam hizalanma KGT bobini Maxwell modeli görülmektedir. Alıcı ve verici bobinler arasındaki mesafe 5 cm ve 1,44 mm² kesitli bakır iletkenlerden oluşmaktadır.



Şekil 5.1: A=31x31 cm ebatlarında ferritli tam hizalanmış DD bobinler.

Şekil 5.2’de 31x31 cm ebatlarında $N=3$ sarım sayısına sahip DD şeklinde alıcı ve verici bobinlerin yanlış hizalanma KGT bobini Maxwell modeli görülmektedir. Alıcı ve verici bobinler arasındaki mesafe 5 cm ve 1,44 mm² kesitli bakır iletkenlerden oluşmaktadır.



Şekil 5.2: $A=31 \times 31$ cm ebatlarında ferritli yanlış hizalanmış DD bobinler.

Tablo 5.1’de görüldüğü üzere $N=3$ sarım sayısına sahip 31×31 cm ebatlarında DD bobinlerin tam ve yanlış hizalanma simülasyon sonuçları görülmektedir.

Tablo 5.1: 31×31 cm ebatlarında DD bobin yapısı.

Bobin Tipi	Parametreler			
	L (μH)	M (μH)	k	Alan (cm^2)
Tam Hizalanma	31,067	13,147	0,423	961
Yanlış Hizalama	26,585	4,454	0,167	961

Tablo 5.1 incelendiğinde alıcı ve verici bobinlerin tam hizalanmasında (k) bağlaşım katsayısı 0,423 iken, +y eksenini boyunca 200 mm yanlış hizalanması neticesinde (k) bağlaşım katsayısı değeri 0,167 olduğu görülmektedir. Bu tablodan anlaşıldığı üzere yanlış hizalanma sonucunda güç bağlaşımını %60 oranında azalmıştır.

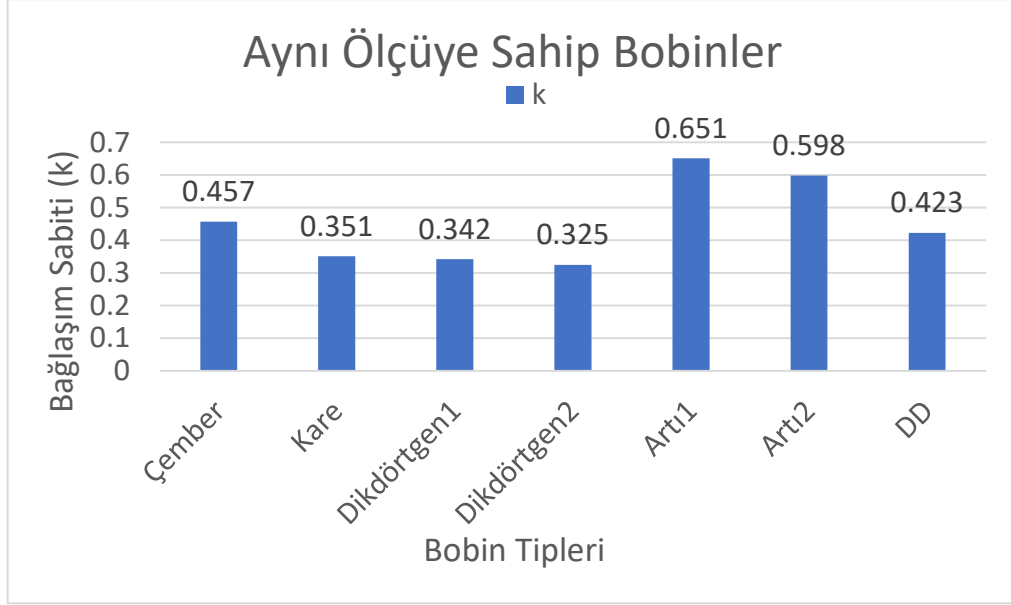
6. AYNI ÖLÇÜYE SAHİP BOBİN YAPILARININ KARŞILAŞTIRILMASI

Maxwell programında yaptığımız çeşitli bobin yapılarına ait tam ve hizalanma bozulma simülasyonları yapıldı. Tam hizalanma simülasyonlarından elde edilen veriler Tablo 6.1’de belirtilmiştir. Tam ve hizalanma bozulma simülasyonlarında bobin yapılarının sarım sayıları, ebatları, bağlı manyetik geçirgenlik katsayıları ve ferrit kalınlıkları sabit olmaktadır. Benzetim çalışması yapılan bobin tipleri bağlaşım katsayılarına göre kıyaslanmıştır. Tasarlanan bobin yapılarından 10x31 cm ebatlarında olan Artı şekilli bobinin bağlaşım katsayısı diğerlerine göre yüksek çıkmıştır. Tablodan da anlaşılacağı üzere artı şekilli bobinlerdeki bağlaşım katsayıları 1’e daha yakın olduğundan kablosuz güç transfer sistemlerinde kullanımı daha uygun olacaktır.

Tablo 6.1: Aynı ölçüye sahip bobin yapılarının karşılaştırılması.

Bobin Tipi	Parametreler				Alan (cm ²)
	L (μ H)	M (μ H)	k	İletken Miktarı (cm)	
Çember $D=31$ cm $N=3$	28,597	13,081	0,457	292	754,4
Kare 31x31cm $N=3$	15,335	5,395	0,351	372	961
Dikdörtgen-1 37x25cm $N=3$	15,067	5,154	0,342	372	925
Dikdörtgen-2 42x20cm $N=3$	14,610	4,760	0,325	372	840
Artı-1 10x31cm $N=3$	9,521	6,205	0,651	492	861
Artı-2 20x31cm $N=3$	8,456	5,059	0,598	612	840
DD 31x31cm $N=3$	31,067	13,147	0,423	558	961

Şekil 6.1’de aynı ölçüye sahip bobinlerin tam hizalanma esnasında ki bağlaşım sabiti (k) değerlerinin grafiği görülmektedir.



Şekil 6.1: Aynı ölçüye sahip bobin yapılarının tam hizalanma durumundaki bağlaşım sabiti (k) grafiği

Aynı ölçüye sahip bobinlerin hizalanma bozulmaları da önceki bölümlerde incelenmiştir. Alıcı bobinler +y eksenini boyunca maksimum 20 cm mesafeye kadar kaydırılmıştır. Yapılan benzetim çalışmalarında da görüldüğü üzere bobinlerin hizalanma mesafeleri 0 noktasından uzaklaştıkça bağlaşım sabiti (k)'nın düştüğü görülmüştür. Aynı ölçüye sahip bobinlerde iyi bir bağlaşım elde etmek için bobinlerin hizalanmalarını mümkün olduğunca 0 konumunda tutmamız gerekmektedir.

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında manyetik kuplaj temelli kablosuz güç transfer sistemlerinde sıklıkla kullanılan geleneksel bobin yapıları (çember, kare ve dikdörtgen), son zamanlarda popüler hâle gelen DD ve yine yakın zaman önce sunulan artı geometride bobin yapılarıyla beraber Ansys Maxwell programında simülasyonlar gerçekleştirilerek karşılaştırmalı olarak incelenmiştir.

Bu bağlamda bobin tiplerinin endüktansları, karşılıklı endüktansları ve bağlaşım katsayılarının hesaplaması yapılmıştır.

Bağlaşım katsayısı 0 ile 1 arasında bir değere sahiptir. 0 olması alıcı ve verici bobinler arasında herhangi bir enerji aktarımının olmadığı, 1 olması ise verici bobinden alıcı bobine olan manyetik etkileşimin azami olduğu anlamına gelir ki, bu durumda güç transferinin de azami olması beklenmektedir.

Bu çalışmada çember bobin yapısında izole, ferritli ve ferritsiz olarak simülasyonları yapılmıştır. İzole bobinin çaplarının ve sarımlar arasındaki mesafelerin değiştirilerek Maxwell programında endüktans değerlerinin hesaplanması yapılmıştır. Tablo 2.1'den elde edilen veriler incelendiğinde endüktans değerlerinin çap arttıkça arttığı ve sarımlar arasındaki mesafe artırıldığında endüktans değerinin düştüğü görülmektedir. Hangi endüktans değerinin uygun olacağı kullanılacak izole bobin şekline göre belirlenebilir.

Ferritsiz çember bobinlerin 10 cm ve 31 cm çaplarında, alıcı ve verici bobinler arasındaki mesafe 5 cm ve 10 cm olacak şekilde simülasyonlar yapılmıştır. Tablo 2.6 ve Tablo 2.11'de bağlaşım katsayıları incelediğinde her iki hava aralığında da sarım sayısı ve sarımlar arası mesafe arttığında bağlaşım katsayısı artmaktadır. Fakat alıcı ve verici bobinler arasındaki hava aralığını artırdığımızda bağlaşım katsayısı yaklaşık %50 oranında azalmaktadır. Bunun neticesinde kullanılacak tasarımda hava aralığının daha düşük tutulması alıcı ve verici bobinlerdeki enerji transferinde daha uygun olacaktır.

Tez çalışmasının ilerleyen kısımlarında, çember, kare, artı ve DD bobin yapılarında yapılan simülasyonlarda tasarım yapıları sabit kalmak koşuluyla 31x31 cm ebatlarında alıcı ve verici bobinler tasarlanmıştır. Bu bobin tiplerinden sadece dikdörtgen bobin yapısının ebatları kare bobin yapısının çevresi kadar olacak şekilde tasarlanıp simülasyonları yapılmıştır.

Tablo 6.1 incelendiğinde tasarlanan bobinlerin alanları birbirine yakın olmasına rağmen bağlaşım katsayıları da aynı şekilde birbirine yakın çıkmıştır. Sadece artı bobin yapısında bağlaşım katsayısına göre enerji transferi % 50'in üzerinde olduğu görölmektedir.

Aynı ölçüye sahip bobinlerin + y eksenı boyunca 20 cm mesafede hizalanma bozulmaları incelenmiştir. Yapılan benzetim çalışmalarında hizalanma mesafeleri ne kadar artırılırsa aynı oranda bağlaşım sabitlerinde azalma olduğu gözlemlenmiştir. Bu çalışmadan elde edilen veriler ışığında 0 noktasına mümkün olduğu kadar yakın olması iyi bir güç bağlaşımı olacağını göstermiştir.

Bu çalışma sayesinde Kablosuz güç transfer sistemlerinde hava aralığının, sarım sayısının önemi yapılan benzetim çalışmaları ile ortaya konulmaktadır. Kablosuz güç transferi sistemlerinde ilerdeki çalışmalarda çeşitli geometriye sahip bobinlerin değişken hava aralığı koşulları altında elektrikli cihazların şarj edilmesini konu alan deneylerin laboratuvar ortamında geliştirmesi planlanmaktadır.

8. KAYNAKLAR

- [1] N. Tesla “ The transmission of electrical Energy without wires as a means for furthering peace” *Electrical World and Engineer*, vol. 1 , pp. 21-24. 1905.
Erişim adresi: <http://www.tfcbooks.com/tesla/1904-03-05.htm>
- [2] W.C. Brown “ The history of power transmission by radio waves.” *IEEE Transactions on microwave theory and techniques*, vol. 32, no. 9, pp. 1230-1242. 1984.
- [3] N.Tesla “The future of the wireless art. Wireless Telegraphy & Telephony” pp. 67-71, 1908.
Erişim adresi: <http://www.tfcbooks.com/tesla/1908-00-00.htm>
- [4] H.W. Secor “Tesla apparatus and experiments—How to build both large and small Tesla and Oudin coils and how to carry on spectacular experiments with them” *Practical Electricians*. 1921.
Erişim adresi: <http://www.tfcbooks.com/articles/witricity.htm>
- [5] A. Kurs, A.Karalis, R. Moffatt, J.D. Joannopoulos, P. Fisher and M. Soljačić, “ Wireless power transfer via strongly coupled magnetic resonances” vol. 317, no. 5834, pp. 83-86, 2007.
- [6] Kablosuz Enerji Aktarımın Temelleri ve Uygulama Alanları
Erişim adresi: <https://aktif.net/tr/Aktif-Blog/Teknik-Makaleler/Kablosuz-Enerji-Aktarimi-Temelleri-ve-Uygulama-Alanlari>
- [7] A. Ađçal, “ Kablosuz enerji transferinde farklı hava aralıkları ve karakteristik empedanslara göre verim analizi”, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2014.
- [8] Tesla bobini nedir nasıl çalışır.
Erişim adresi: <http://www.aydinlatma.org/tesla-bobini-nedir-nasil-calisir.html>
- [9] E.T. Thostenson, T. W. Chou “ Microwave processing: Fundamentals and applications.” *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, vol. 30, no. 9, pp. 1055-1071, 1999.
- [10] Sharp (Stationary High Altitude Relay Platform)
Erişim adresi : <http://www.friendsofrcr.ca/Projects/SHARP/sharp.html>
- [11] A. Sahai, D.Graham “ Optical wireless power transmission at long wavelengths,” *In 2011 International Conference on Space Optical Systems and Applications (ICSOS)*, *IEEE*, May 2011, pp. 164-170.

- [12] Wireless Power Transfer.
Erişim adresi: https://tr.qwertyu.wiki/wiki/Wireless_power_transfer#Lasers
- [13] L. Olvitz, D. Vinko and T. Švedek, “Wireless Power Transfer for Mobile Phone Charging Device”, *MIPRO*, pp. 141–145, 2012.
- [14] M. Haerinia and E.S. Afjei, “Resonant inductive coupling as a potential means for wireless power transfer to printed spiral coil.”, 2018.
- [15] D.Ahn and S. Hong, “ A Study on Magnetic Field Repeater in Wireless Power Transfer”, *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 60, no. 1, pp. 360-371, 2013.
- [16] T. Imura and Y. Hori, “Maximizing Air Gap and Efficiency of Magnetic Resonant Coupling for Wireless Power Transfer Using Equivalent Circuit and Neumann Formula”, *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 58, no. 10, pp.4746–4752, 2011.
- [17] T. Khandaker, M.D. Alam, M. S. Zaheen and D. Chowdhury, “Wireless power transfer.”
Doctoral dissertation, Brac University –Bangladesh, 2018
- [18] Roadway Powered Electric Vehicle Project Track Construction And Testing Program
Erişim adresi: <http://www.path.berkeley.edu/PATH/Publications/PDF/PRR/94/PRR-94-07.pdf>
- [19] J.Sallan, J. L. Villa, A. Llombart and J.F. Sanz, “Optimal design of ICPT systems applied to electric vehicle battery charge,” *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 56, no. 6, pp. 2140-2149, June 2009.
- [20] D.A. Pedder, A.D. Brown and J.A. Skinner, “A contactless electrical energy transmission system,” in *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 46, no. 1, pp. 23-30, Feb 1999.
- [21] J.T. Boys, G. A. Covic and A.W. Green, “Stability and control of inductively coupled power transfer systems,” in *IEE Proceedings- Electric Power Applications*, vol. 147, no. 1, pp. 37-43, Jan 2000.
- [22] A. Pashaei, E. Aydın, M. Polat, E. Yıldırım ve M. T. Aydemir,” Elektrikli Araçlar için Temassız Güç Aktarım Sistemleri”, *EMO Bilimsel Dergi*, vol.6, no.11, pp. 1-11, 2016.
- [23] S. Li, C. C. Mi, “ Wireless power transfer for electric vehicle applications,” *IEEE journal of emerging and selected topics in power electronics*, vol.3, no.1, pp. 4-17,2014.

- [24] J. A. Taylor, Z. N. Low, J. Casanova and J.Lin “ A wireless power station for laptop computers” *In 2010 IEEE Radio and Wireless Symposium (RWS)* January 2010, pp. 625-628.
- [25] S. A. Sis, “Kablosuz güç transferinde manyetik bağlaşımdaki çevrimlerin endüktanslarının çıkarımı”, *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, vol.20, no.2, pp. 89-97, 2018.
- [26] S. Sis, E. Orta “ A cross-shape coil structure for use in wireless power applications.” *Energies*. vol.11, no.5, p.1094, 2018.
- [27] A.T. Ali, E. B. Mohammed, and M. H. Abdalrhman “ Implementation of Wireless Transfer of Electrical Low Power System.” *MAYFEB Journal of Electrical and Electronic Engineering*, vol.1. pp.21-29, 2017.
- [28] Y. Lim, H. Tang, S. Lim, J. Park, “ An Adaptive Impedance-Matching Network Based on a Novel Capacitor Matrix for Wireless Power Transfer”, *IEEE Trans. Power Electron.* vol.29, pp.4403–4413, 2014.
- [29] D.W. Seo, J.H. Lee, “Frequency-Tuning Method Using the Reflection Coefficient in a Wireless Power Transfer System”, *IEEE Microw. Wirel. Compon. Lett.* vol. 27, pp. 959–961, 2017.
- [30] T. P. Duong, J. W. Lee, “A Dynamically Adaptable Impedance-Matching System for Midrange Wireless Power Transfer with Misalignment”, *Energies*, vol.8, pp.7593–7617. 2015

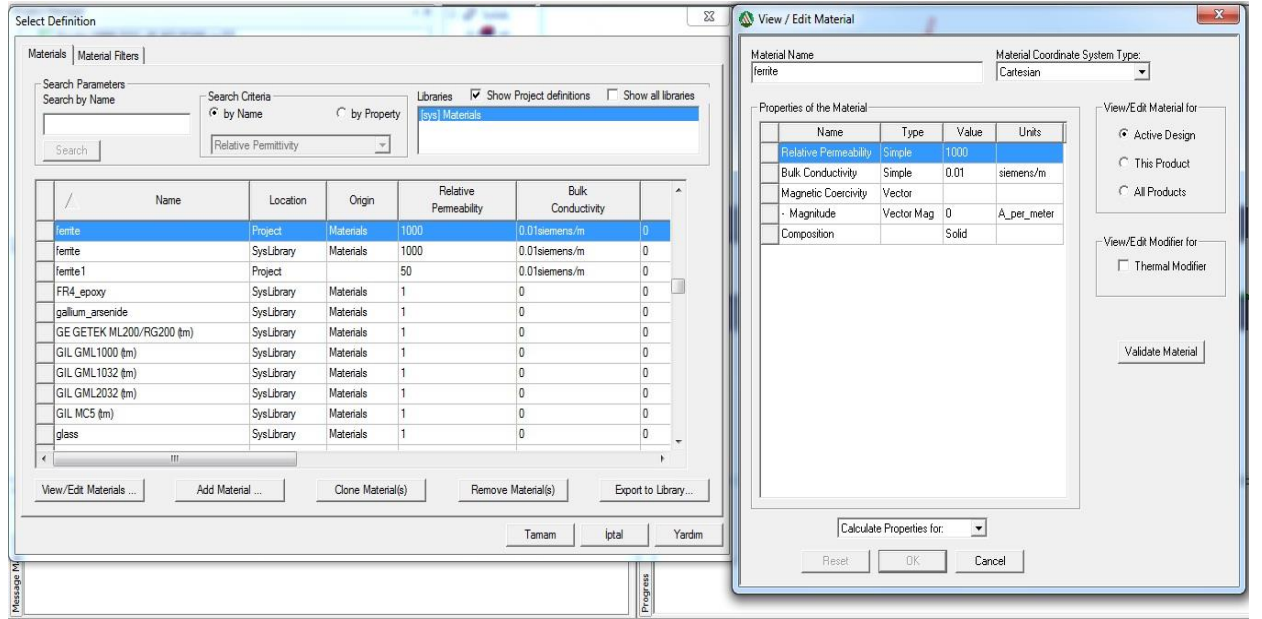


EKLER

EKLER

EK A: Ferrit Nüve Parametreleri

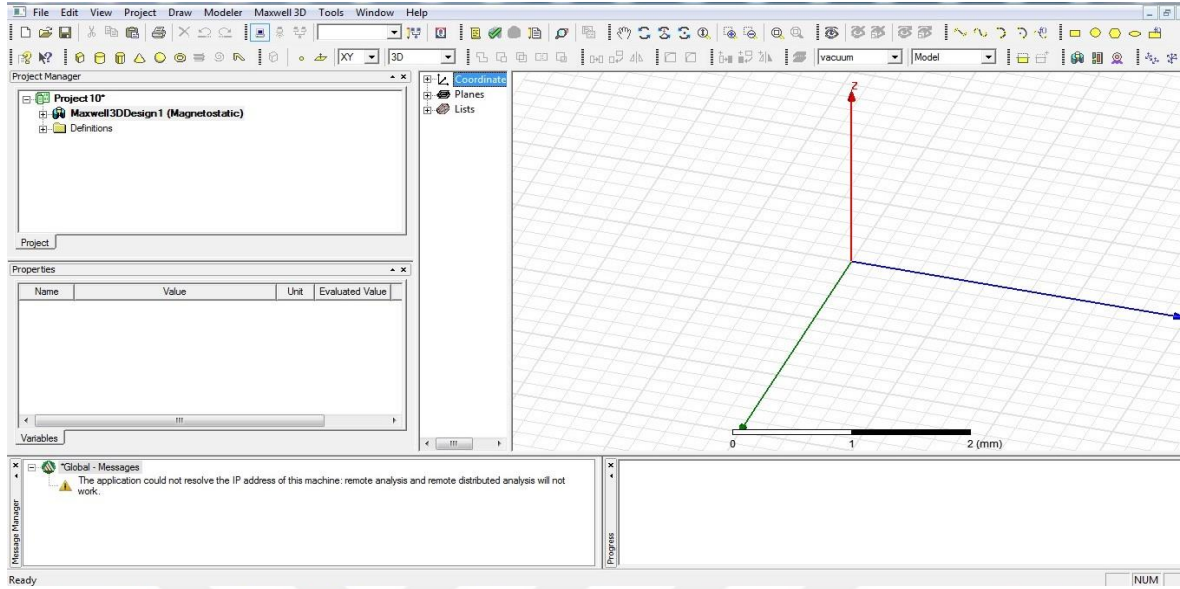
Şekil A.1’de simülasyonlarda kullanılan ferritlerin bağıl manyetik geçirgenlik parametreleri görülmektedir. Seçmiş olduğumuz ferritlerin bağıl manyetik geçirgenlik değerleri View/Edit Material sekmesinden Relative Permability kısmında kullanmak istediğimiz μ_r değerini istediğimiz değerlerde tutabiliriz.



Şekil A.1: Ferrit bağıl manyetik geçirgenlik parametreleri.

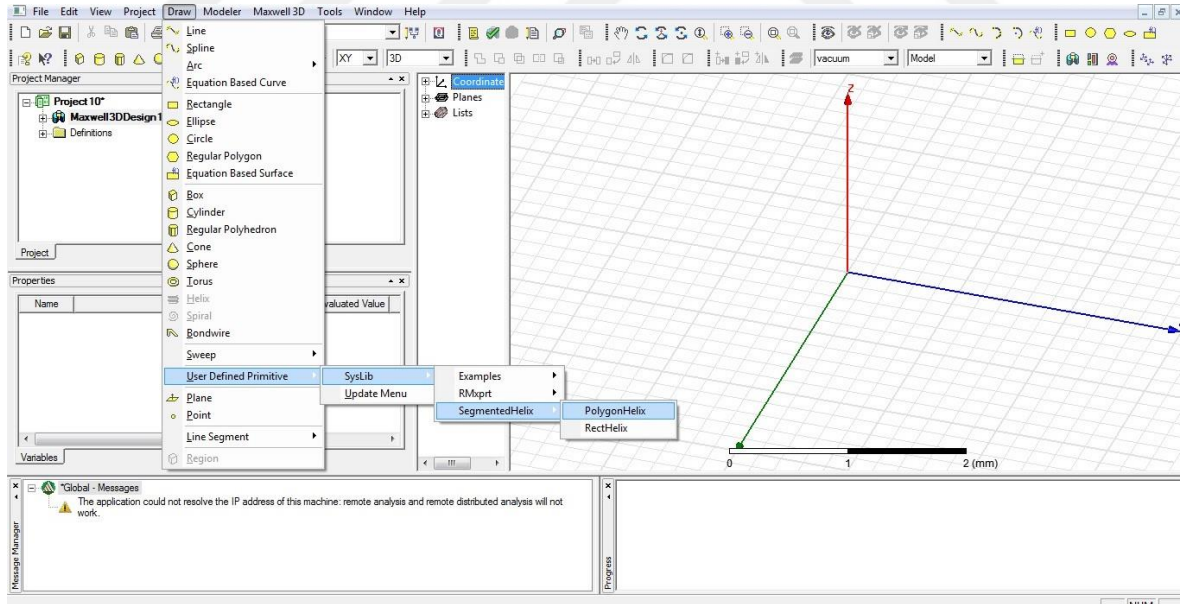
EK B: Maxwell programında bobin tasarlama aşamaları

Şekil B.1’de Maxwell programında 3 boyutlu çizim alanı görülmektedir.



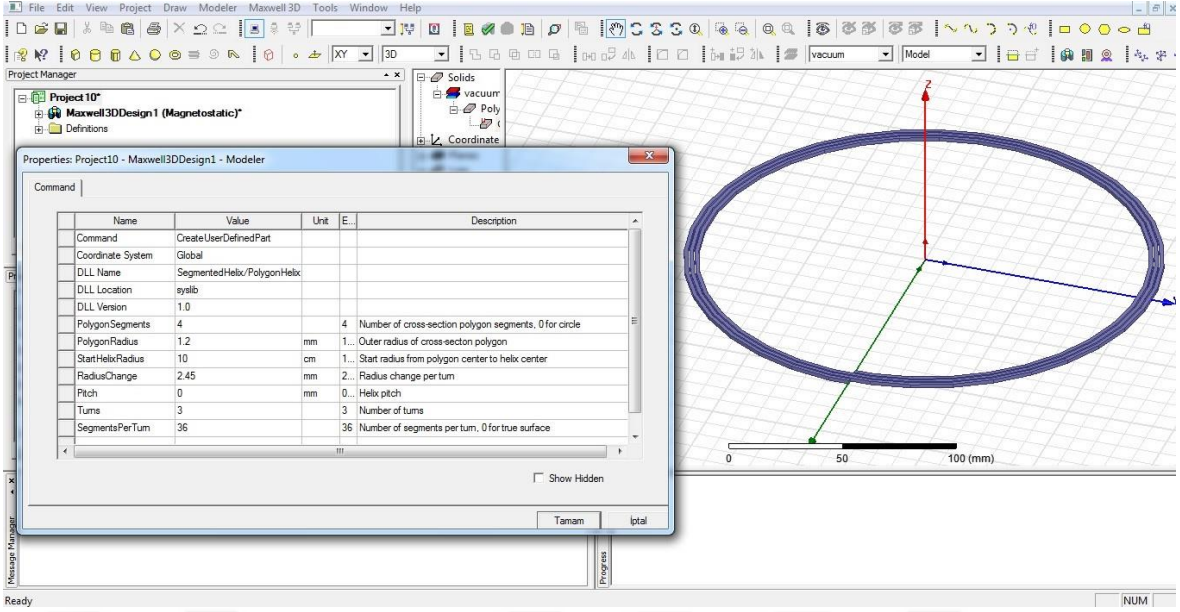
Şekil B.1: 3D Çizim Alanı.

Şekil B.2’de 3 boyutlu çizim alanında çembersel bir bobinin otomatik oluşturulma sekmeleri gözlemlenmektedir



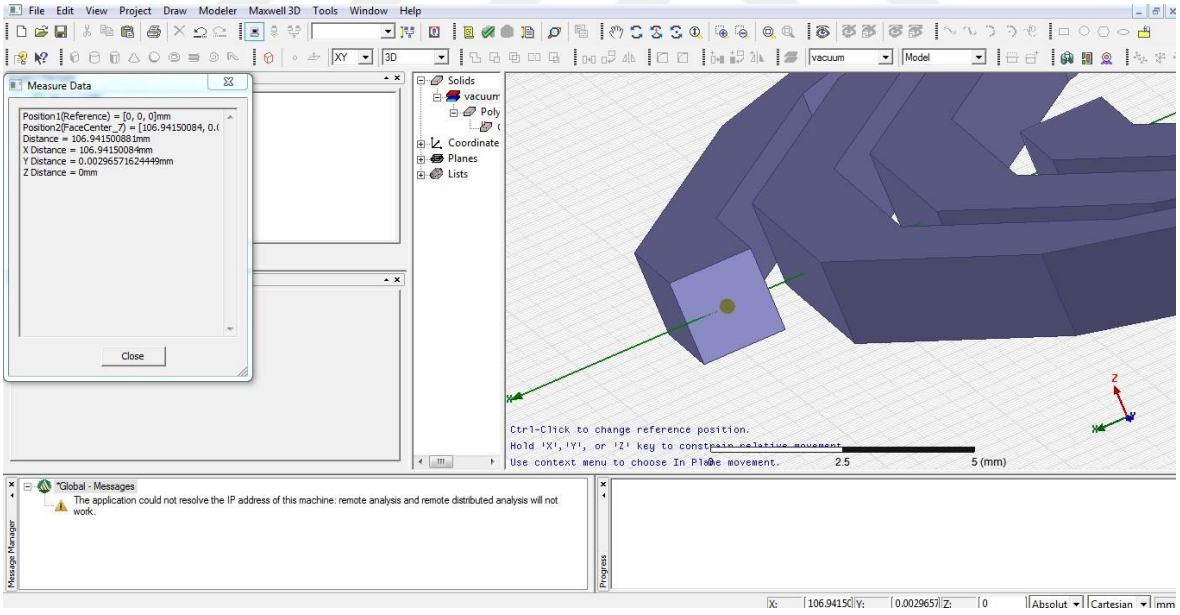
Şekil B.2: Otomatik Çizim Oluşturma.

Şekil B.3’te çembersel modelin çizim parametrelerini Properties sekmesini kullanarak modelin çapını, sarım sayısını, sarımlar arasındaki mesafesi gibi parametrelerini belirleme işlemleri yapılmaktadır.



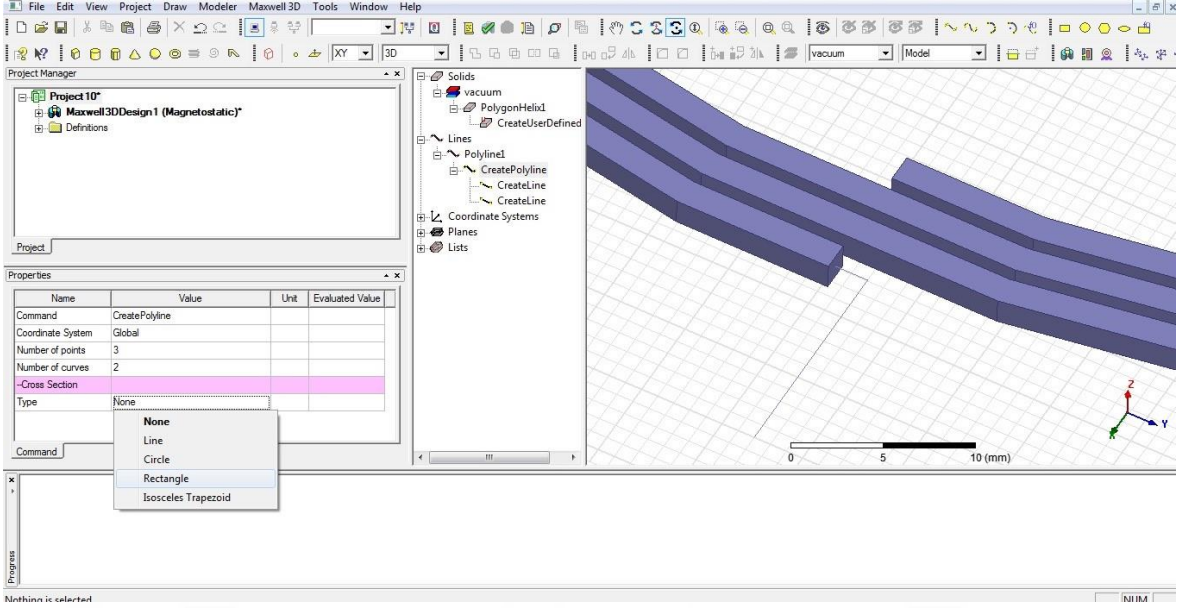
Şekil B. 3: Çizim parametrelerini belirleme.

Şekil B.4'te oluşturulan çember modelin terminal uçlarının çizimi görülmektedir. Draw sekmesi açılarak çizgi seçimi yapıldıktan sonra modelin bulunduğu koordinatlara dikkat ederek çizim gerçekleştirilir.



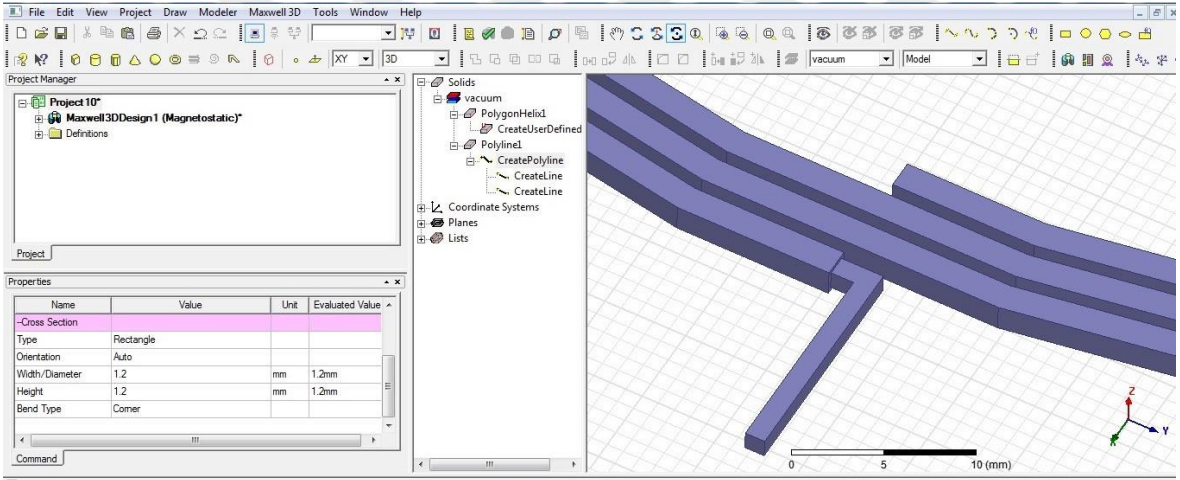
Şekil B. 4: Terminallerin çizimi.

Şekil B.5 incelendiğinde çizgi şeklinde terminal ucu görülmektedir. Bizim modelimizle terminal uçlarımızın aynı özellikte olması gerekmektedir. Bunu sağlamak içinde Properties sekmesini kullanarak terminal kısmını Rectangle olarak seçmeliyiz.



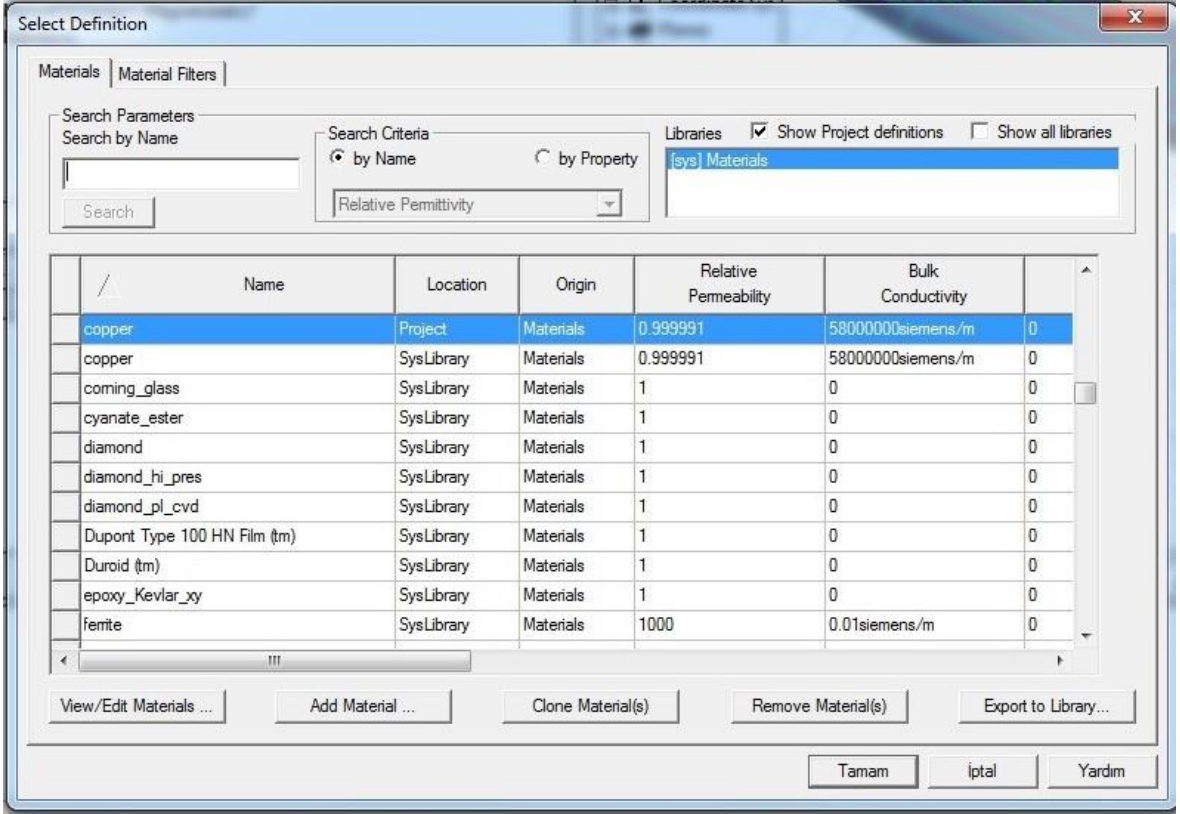
Şekil B. 5: Terminallerin ölçülerini modelle eşleştirme.

Şekil B.6’da bir önceki aşamada Rectangle olarak seçimden sonra modelimizin iletken kesitiyle aynı ölçüyü getirmek için “With Diameter ve Height” kısımların kesit genişlikleri ayarlanır.



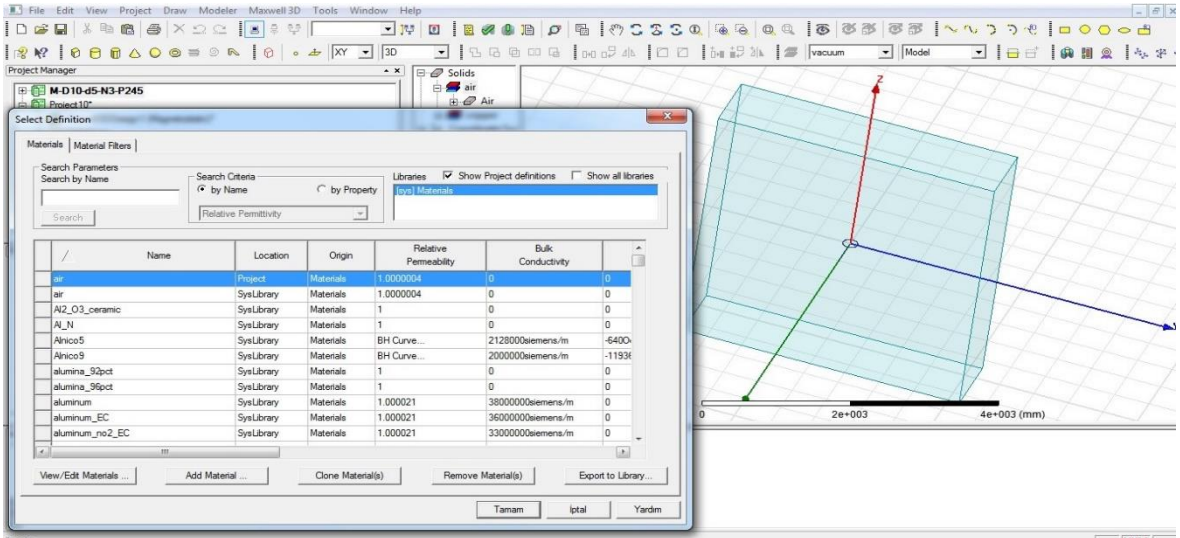
Şekil B. 6: Terminallerin ölçülerini modelle eşleştirme.

Şekil B.7’de oluşturduğumuz modelin üstüne sağ tıklayarak Properties sekmesine giriş yapılır. Buradan da oluşturduğumuz modelin materyal (copper, diamond, ferrite vb.) seçimi yaparız.



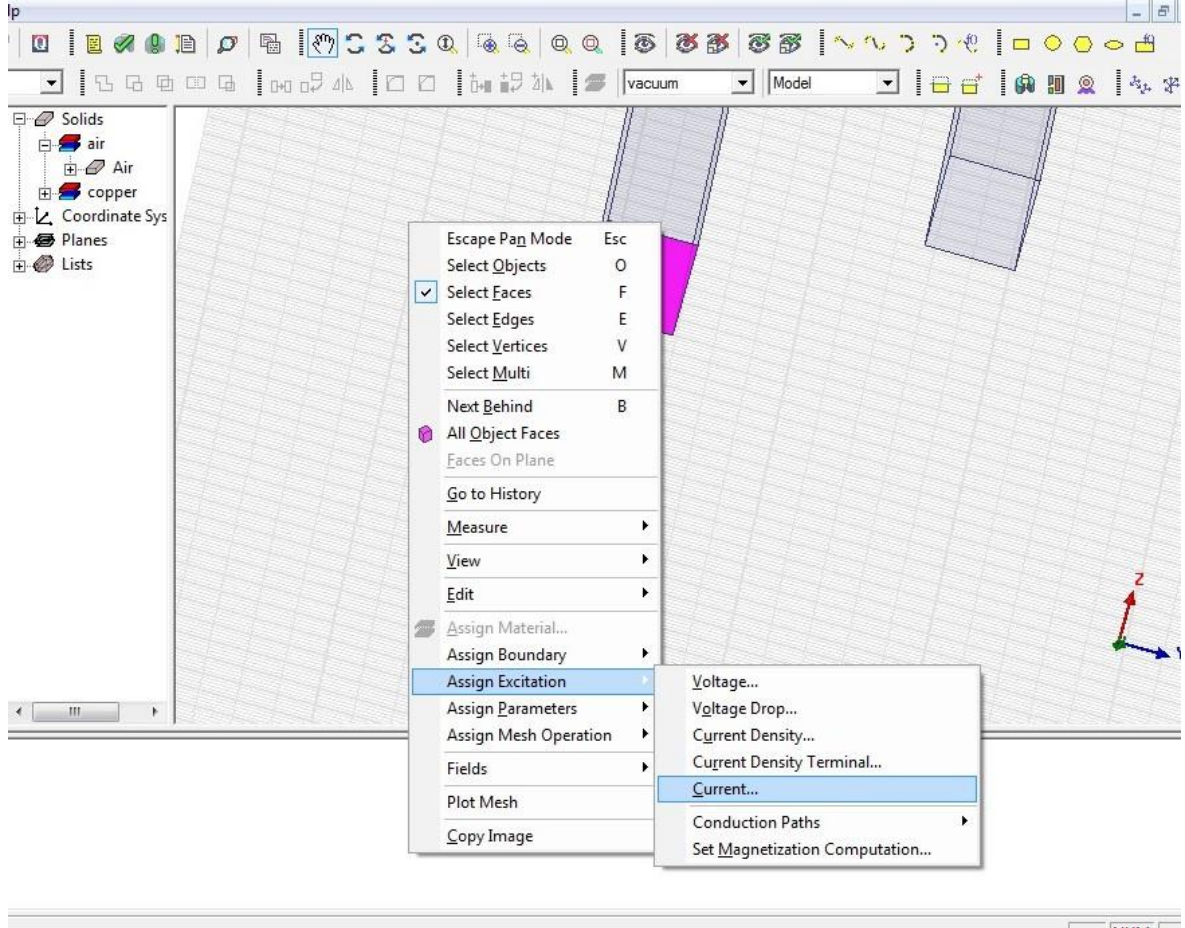
Şekil B. 7: Oluşturulan model için malzeme seçimi.

Şekil B.8’de oluşturduğumuz modeli box dediğimiz havayla dolu kutucuğun içine almalıyız. Bunun içinde ebatlarını modelimizi içine alacak şekilde belirlediğimiz kutucuğumu küp şeklinde çizer. Modelimiz kutunun tam ortasında kalır ve terminal uçlarımızda kutunun hemen yüzeyinde bulunmalıdır. Sonrasında ise kutunun air olarak belirlenmesi Şekil B.7’de anlatıldığı gibi yapılır.



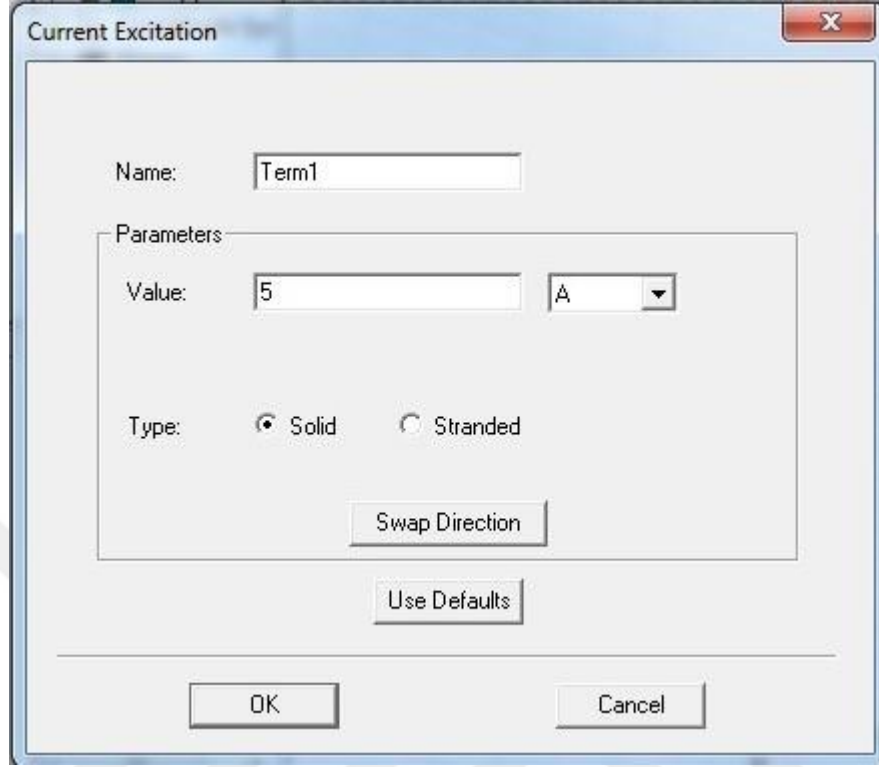
Şekil B. 8: Hava boşluğu oluşturma ve malzeme seçimi.

Şekil B.9’da oluşturduğumuz modelin terminal uçlarına akım uygulanmaktadır. Bu aşamada çizim alanında mouse sağ tıklanıp açılan sekmeler topluluğunda “Select Faces” seçilip terminalin yüzey alanı seçilir. Terminalin seçili yüzeyine sağ tıklanarak açılan sekmelerden “Assign Excitation- Current” kısımları seçilerek akım giriş penceresi açılması sağlanır.



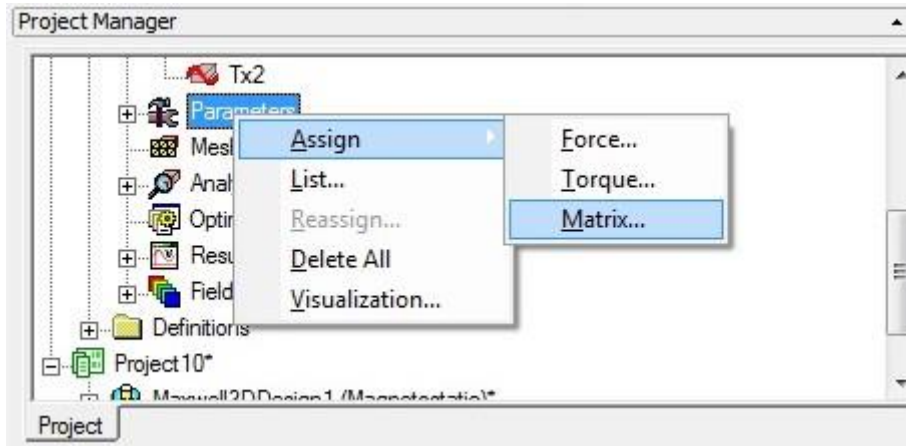
Şekil B. 9: Terminallere akım uygulama.

Şekil B.10’da açılan akım penceresinde belirlemiş olduğumuz akım değerleri girildikten sonra Ok tıklanıp pencerenin kapanması sağlanır.



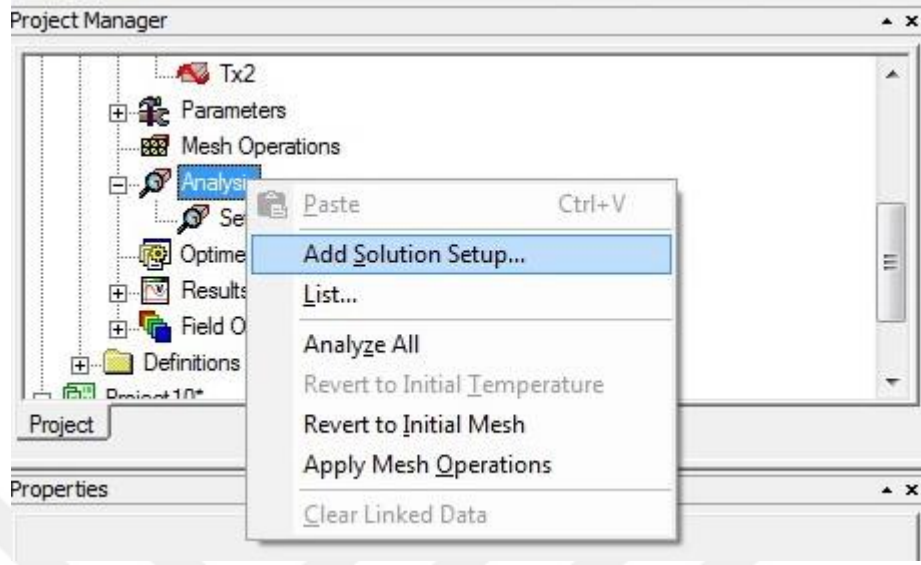
Şekil B. 10: Terminallere akım değeri girişi.

Şekil B.11’de Project Manager kısmından Parameters-Assign-Matrix seçimi yapılarak modelimizi parametrelerini belirledik.



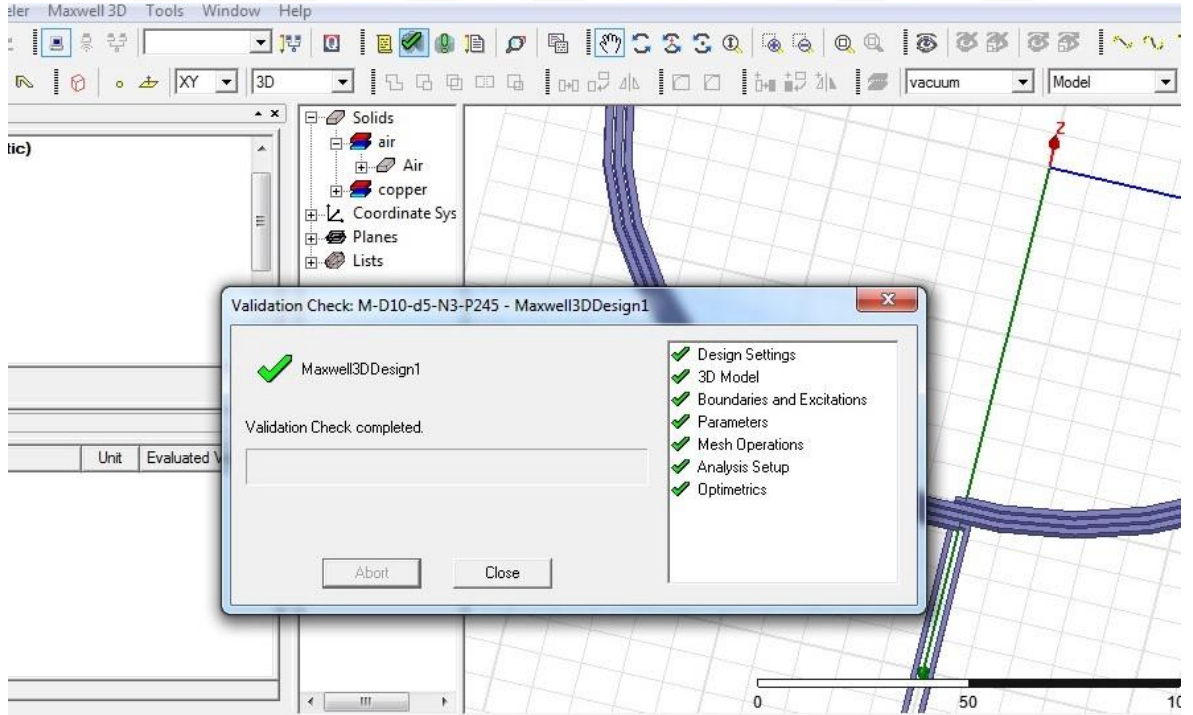
Şekil B. 11: Parametre seçimi.

Şekil B.12’de Analysis-Add Solution Setup sekmesi kullanılarak setup ekleme işlemi yapılır.



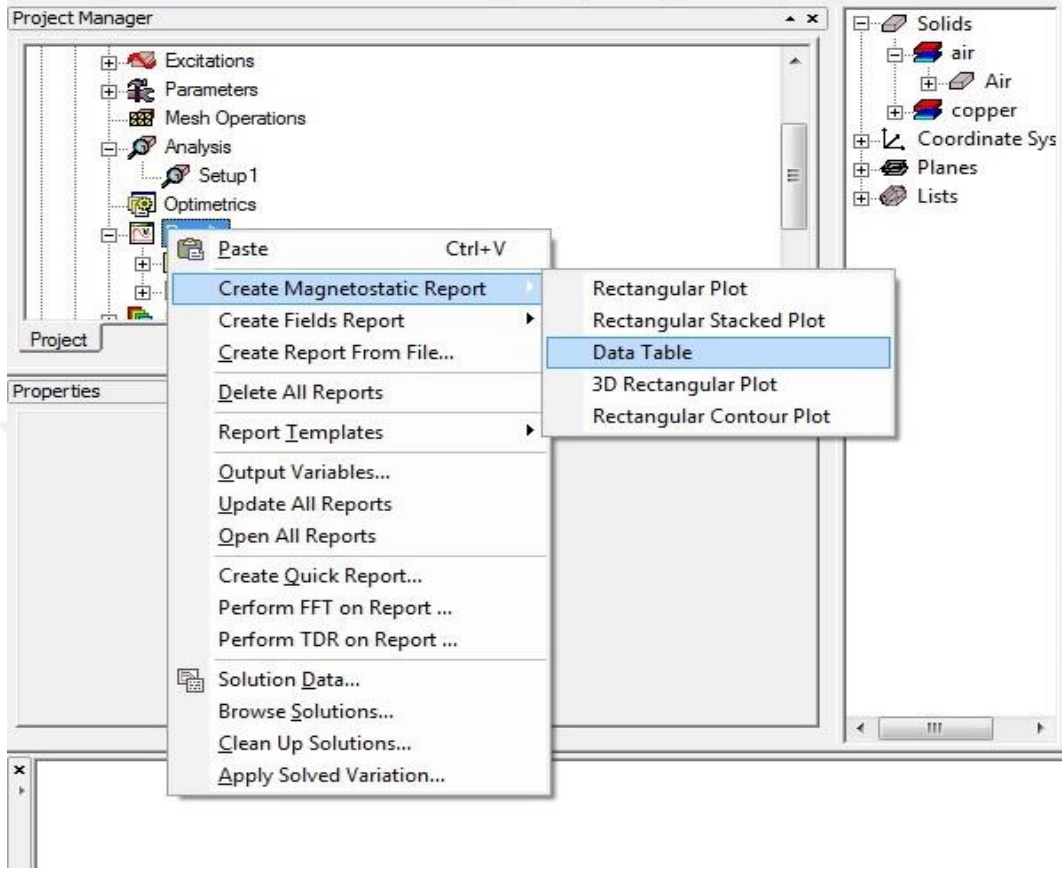
Şekil B. 12: Setup eklenmesi.

Şekil B.13’te modelimizin çiziminde herhangi bir hata yada eksiklik olup olmadığını belirlemek için Validation Check sekmesinden kontrol yapılır. Çizimde herhangi bir problem olmadığı görüldüğünde hemen yanında bulunan ünlem işareti ile analiz işlemi başlatılır.



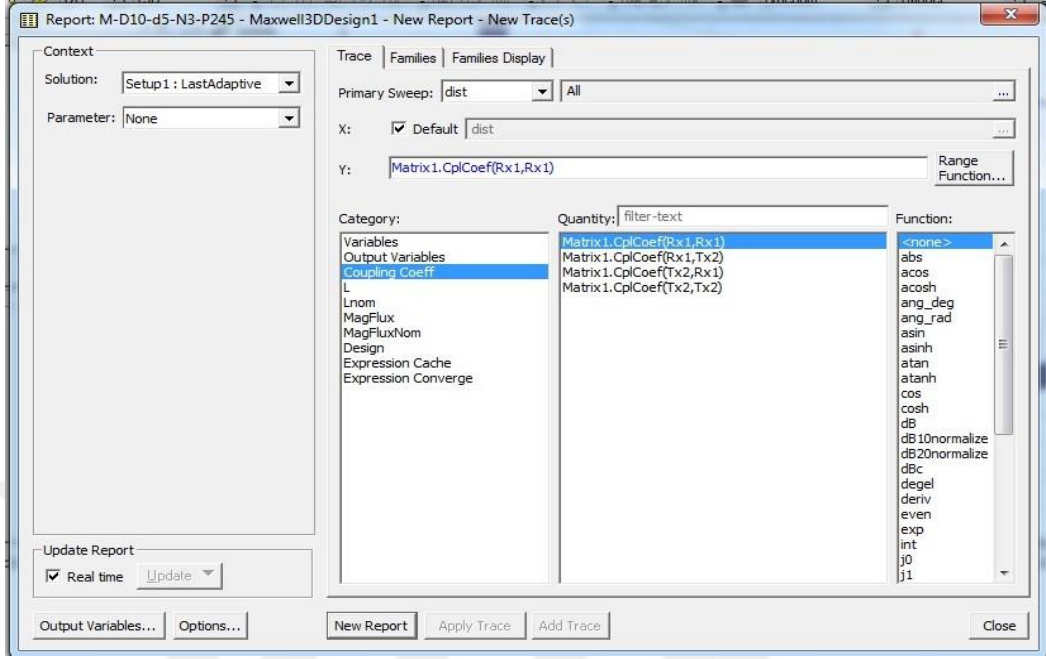
Şekil B. 13: Modeli kontrol etme ve çalıştırma.

Şekil B.14'te analiz tamamlandıktan sonra simülasyon verilerinin nasıl görüleceği gösterilmiştir. Results sekmesine Mouse ile sağ tıklayarak açılan sekmede şekilde görüldüğü gibi seçimimizi yaparız.



Şekil B. 14: Simulasyon verilerini inceleme.

Şekil B.15'ten ise incelemek istediğimiz parametrelerin seçimini yaparız. Bu pencere Şekil B.14'teki işlemten sonra açılan penceredir.



Şekil B. 15: Simulasyon verilerini inceleme.

Şekil B.16'da son aşama olan seçtiğimiz parametrelere ait simülasyon verileri gözlemlemekteyiz.

	dist [mm]	Matrix1.CplCoeff(Rx1,Rx1) Setup1 : LastAdaptive	Matrix1.CplCoeff(Rx1,Tx2) Setup1 : LastAdaptive	Matrix1.CplCoeff(Tx2,Rx1) Setup1 : LastAdaptive	Matrix1.CplCoeff(Tx2,Tx2) Setup1 : LastAdaptive
1	50.000000	1.000000	0.207468	0.207468	1.000000

Şekil B. 16: Verileri gözlemleme.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı : Ömer Özder

Doğum tarihi ve yeri : **16.05.1984- Şenkaya/Erzurum**

e-posta :Ozder.omer25@gmail.com

Öğrenim Bilgileri

Derece	Okul/Program	Yıl
Lisans	Balıkesir Üniversitesi / Elektrik Elektronik Mühendisliği	2015
Lise	Kazım Karabekir Teknik Lisesi / Elektrik	2002