

**DİPOL ANTENLERİN İŞİMA DİYAGRAMLARININ
YÜKSEK FREKANS YAPI SİMÜLATÖRÜ
YARDIMIYLA İNCELENMESİ**

Mehmet SÖNMEZ

**Yüksek Lisans Tezi
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Yrd. Doç. Dr. Ayhan AKBAL
ARALIK-2011**

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DİPOL ANTENLERİN İŞIMA DİYAGRAMLARININ
YÜKSEK FREKANS YAPI SİMÜLATÖRÜ
YARDIMIYLA İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mehmet SÖNMEZ

(091113106)

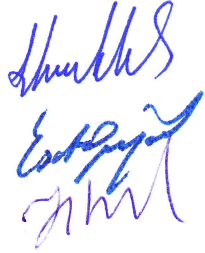
Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 14 Aralık 2011

Tezin Savunulduğu Tarih : 29 Aralık 2011

Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Ayhan AKBAL (F.Ü)

Diğer Jüri Üyeleri : Yrd. Doç. Dr. Esat GÜZEL (F.Ü)

Yrd. Doç. Dr. Yavuz EROL (F.Ü)



TEŞEKKÜR

Bu tezi hazırlamamda desteğini hiçbir zaman esirgemeyen değerli hocam, tez danışmanım Yrd. Doç. Dr. Ayhan AKBAL'a, fikirleriyle bana her zaman yardımcı olan saygıdeğer hocam sayın Yrd. Doç. Dr. Yavuz EROL'a ve her zaman yanımda olan aileme teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

TEŞEKKÜR	I
İÇİNDEKİLER	II
ŞEKİLLER LİSTESİ	IV
SİMGELER LİSTESİ	VI
KISALTMALAR LİSTESİ.....	VII
ÖZET	VIII
ABSTRACT.....	IX
1. GİRİŞ	1
2. TEMEL ANTEN TEORİSİ	5
2.1. Elektrik Alanın Oluşumu	6
2.2. Antende Işımanın Oluşumu	7
3. TEMEL ANTEN PARAMETRELERİ	10
3.1. Işıma Örüntüsü.....	10
3.2. Alan Bölgeleri.....	13
3.3. Huzme Genişliği	14
3.4. Yönlülük	15
3.5. Kazanç	16
3.6. Anten Verimliliği	16
3.7. Antenin Giriş Empedansı ve Işıma Direnci	16
3.8. Band Genişliği	21
4. TEMEL ANTEN ÇEŞİTLERİ VE TASARIM YÖNTEMLERİ	22
4.1. Basit Dipol Anten	22
4.2. Katlanmış (Folded) Dipol Anten	22
4.3. Yarım Dalga Boyu ve Tam Dalga Boyu Dipol Anten.....	25
4.4. Yagi-Uda Anten	26
4.5. Anten Tasarımı	28
4.6. Anten Tasarımında Kullanılan Sayısal Yöntemler	28
4.6.1. Zamanda Sonlu Farklar Yöntemi (FDTD).....	29
4.6.2. Moment Yöntemi (MoM)	29

4.6.3. Sonlu Elemanlar Yöntemi (FEM).....	30
4.6.4. İletim Hattı Matris Yöntemi (TLM)	31
4.6.5. İntegral Denklem Yöntemi (IEM)	31
4.6.6. Spektral Bölge Yöntemi (SDM)	32
5. ST2261A MOTORİZE ANTEN ÖLÇÜM ÜNİTESİ	33
5.1. Ana Birim	33
5.2. Modülasyon Üreteci.....	34
5.3. Yönlü Eşleştirme.....	34
5.4. RF Dedektör.....	34
5.5. Verici Kısım.....	35
5.6. Alıcı Kısım.....	35
5.7. Doğru Ölçüm Sonuçlarının Alınması İçin Dikkat Edilmesi Gereken Hususlar	37
5.8. Deney Setinde kullanılacak olan antenler.....	37
5.9. RPP2261A Arayüz Programı.....	40
5.10. Anten Ölçüm Teknikleri	41
6. YÜKSEK FREKANS YAPI SİMULATÖRLERİ KULLANILARAK ANTEN TASARIMI	43
6.1. Yüksek Frekans Yapı Simülatörleri.....	43
6.2. Yarım Dalga Boyundaki Dipol Antenin HFSS Programı Kullanılarak Tasarımı ...	44
6.3. Yarım Dalga Boyundaki Dipol Anten için Simülasyon Sonuçları	48
6.4. Yarım Dalga Boyundaki Katlanmış Dipol Antenin Simülasyon Sonuçları	54
6.5. 5-Elementli Yagi-Uda Anten	59
6.6. 7-Elementli Yagi-UdaAnten	64
7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	68
8. KAYNAKLAR	70
ÖZGEÇMİŞ	73

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1. Verici durumundaki bir antenin iletim hattı Thevenin eşdeğeri.....	5
Şekil 2.2. Bir kapasitör plakaları üzerindeki yükler	6
Şekil 2.3. Çeşitli açılardan levhalar arasındaki elektrik alan	7
Şekil 2.4. $t=0$ ve $t=1/4T$ anlarında antende oluşan elektrik alan.....	8
Şekil 2.5. Anten üzerindeki yük dağılımının tersine döndüğü zaman aralığı.....	9
Şekil 3.1. $\lambda/2$ uzunluğundaki dipol antenin ışıma örüntüsü.....	11
Şekil 3.2. λ uzunluğundaki dipol antenin ışıma örüntüsü.....	11
Şekil 3.3. $3\lambda/2$ uzunluğundaki dipol antenin ışıma örüntüsü.....	12
Şekil 3.4. 2λ uzunluğundaki dipol antenin ışıma örüntüsü.....	12
Şekil 3.5. Katlanmış dipol ışıma eğrisi	13
Şekil 3.6. Yagi-Uda anten için ışıma eğrisi	13
Şekil 3.7. Anten alan bölgeleri.....	14
Şekil 3.8. Anten huzme genişlikleri.....	15
Şekil 3.9. Antenin giriş empedans modeli	17
Şekil 3.10. Antenin Thevenin eşdeğer modeli	17
Şekil 3.11. Antenin Norton eşdeğer modeli.....	18
Şekil 4.1. Silindirik dipol anten	22
Şekil 4.2. Katlanmış dipol anten	23
Şekil 4.3. İletim hattı ve anten modu için katlanmış dipol antenin akım dağılımı	24
Şekil 4.4. Yarım dalga boyundaki anten.....	26
Şekil 4.5. Tam dalga boyundaki dipol anten	26
Şekil 4.6. Yagi-Uda anten.....	27
Şekil 5.1. Ana birim	33
Şekil 5.2. RF dedektör	34
Şekil 5.3 Verici kısım	35
Şekil 5.4 Alıcı kısım bağlantısı.....	36
Şekil 5.5. Anten deney seti	36
Şekil 5.6. Yarım dalga boyundaki dipol anten.....	38
Şekil 5.7. Katlanmış dipol anten	38
Şekil 5.8. 5 elemanlı yagi anten	39
Şekil 5.9. 7 elemanlı yagi anten	39
Şekil 5.10. RPP2261A programı.....	40
Şekil 5.11. RPP2261A programında çizdirilen örnek örüntü	41
Şekil 6.1. HFSS programının akış şeması.....	44
Şekil 6.2. HFSS programı görüntüsü	44
Şekil 6.3. Çözüm tipinin seçimi.....	45
Şekil 6.4. HFSS programında geometrik şekillerin uygulanması.....	45
Şekil 6.5. Basit bir dipol anten görüntüsü.....	46
Şekil 6.6. HFSS programında oluşturulan $\lambda/2$ dipol anten	47
Şekil 6.7. HFSS programında tasarımın doğrulama testi.....	48
Şekil 6.8. Yarım dalga boyundaki dipol antenin kazanç örüntüsü	49
Şekil 6.9. Yarım dalga boyundaki dipol antenin maksimum kazanç değeri.....	49

Şekil 6.10. Yarım dalga boyundaki dipol antenin polar kazanç görüntüsü	50
Şekil 6.11. Yarım dalga boyundaki dipol antenin dB ölçekli kazanç görüntüsü.....	50
Şekil 6.12. Yarım dalga boyundaki dipol antenin elektrik alan ışıma görüntüsü	51
Şekil 6.13. Yarım dalga boyundaki dipol antenin S(1,1) parametresi	51
Şekil 6.14. Yarım dalga boyundaki dipol antenin bant genişliği.....	52
Şekil 6.15. Yarım dalga boyundaki dipol antenin 3 dB ışıma genişliği	52
Şekil 6.16. NEC2 programında yarım dalga boyundaki antenin simülasyon sonucu.....	53
Şekil 6.17. Yarım dalga boyundaki dipol antenin RPP2261A'da çizimi	54
Şekil 6.18. Programda oluşturulan katlanmış dipol anten geometrisi	55
Şekil 6.19. Yarım dalga boyundaki katlanmış dipol antenin kazanç görüntüsü.....	55
Şekil 6.20. Yarım dalga boyundaki dipol antenin dB ölçekli kazanç görüntüsü.....	56
Şekil 6.21. Yarım dalga boyundaki katlanmış dipol antenin 3D kazanç görüntüsü	56
Şekil 6.22. Yarım dalga boyundaki katlanmış dipol anten için elektrik alan görüntüsü ..	57
Şekil 6.23. Katlanmış dipol anten için dB ölçekli elektrik alan ışıma görüntüsü.....	57
Şekil 6.24. Katlanmış dipol anten için dB ölçekli elektrik alan ışıma görüntüsü.....	58
Şekil 6.25. Katlanmış dipol antenin NEC2 programındaki kazanç görüntüsü	58
Şekil 6.26. Katlanmış dipol antenin RPP2261A programında akım-derece değişimi....	59
Şekil 6.27. 5 elemanlı yagi antenin tasarım boyutları.....	60
Şekil 6.28. HFSS'te tasarlanan 5 elemanlı yagi anten	60
Şekil 6.29. 5 elemanlı Yagi-Uda anten için elektrik alan görüntüsü	61
Şekil 6.30. 5 elemanlı Yagi-Uda anten için kazanç görüntüsü	61
Şekil 6.31. 5 elemanlı Yagi-Uda anten için NEC2 programındaki kazanç görüntüsü	62
Şekil 6.32. 5 elemanlı yagi anten için akım-derece arasındaki değişim	63
Şekil 6.33. Yagi-Uda anten için 3 boyutlu polar grafik.....	63
Şekil 6.34. 7 elemanlı yagi antenin tasarım boyutları.....	64
Şekil 6.35. HFSS programında tasarlanan 7 elemanlı Yagi-Uda antenin son hali	64
Şekil 6.36. 7 elemanlı Yagi-Uda anten dizisinin elektrik alan ışıma görüntüsü.....	65
Şekil 6.37. 7-elemanlı Yagi-Uda antenin kazanç görüntüsü	65
Şekil 6.38. 7 elemanlı yagi antenin NEC2 programında kazanç görüntüsü	66
Şekil 6.39. 7 elemanlı Yagi-Uda antenin akım derece arasında değişen görüntüsü	67
Şekil 6.40. 7 elemanlı Yagi-Uda anten için 3 boyutlu polar grafik	67

SİMGELER LİSTESİ

ε [F/m]	:	Dielektrik sabiti
λ [m]	:	Dalgaboyu
μ [H/m]	:	Manyetik geçirgenlik katsayısı
β [rad/m]	:	Faz sabiti
σ [S/m]	:	İletkenlik katsayısı
Γ	:	Yansıma Katsayısı
ρ [C/m ³]	:	Hacimsel Yük yoğunluğu

KISALTMALAR LİSTESİ

1 G	:	1. Nesil (1 Generation)
2 G	:	2. Nesil (2 Generation)
3 G	:	3. Nesil (3 Generation)
4 G	:	4. Nesil (4 Generation)
GSM	:	Küresel Mobil İletişim Sistemi (Global System for Mobile Communications)
HPBW	:	Yarım güç ışıma genişliği (Half-Power Beamwidth)
FNBW	:	İlk sıfır ışıma genişliği (First-Null Beamwidth)
EMC	:	Elektromanyetik Uyumluluk (Electromagnetic Compatibility)
EMI	:	Elektromanyetik Girişim (Electromagnetic Interference)
RSY	:	Radar Saçılma Yüzeyi
FDTD	:	Zamanda Sonlu Farklar Yöntemi (Finite Difference Time Domain)
MoM	:	Moment yöntemi (Method of Moments)
FEM	:	Sonlu Elemanlar Yöntemi (Finite Element Method)
TLM	:	İletim Hattı matris yöntemi (transmission line matrix)
IEM	:	İntegral Denklem Yöntemi (Integral Equation Method)
SDM	:	Spektral Dömen Yöntemi (Spectral Domain Method)
PM	:	Sürekli Mıknatıslı (Permanent Magnet)
RF	:	Radyo Frekans
HFSS	:	Yüksek Frekans Yapı Simülatörü (High Frequency Structure Simulator)
NEC	:	Sayısal Elektromanyetik Kod (Numerical Electromagnetic Code)
RFID	:	Radyo Frekans Tanımlama (Radio-frequency identification)
UHF	:	Ultra Yüksek Frekans (Ultra High Frequency)

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Dipol Antenlerin Işıma Diyagramlarının Yüksek Frekans Yapı Simülatörü Yardımla İncelenmesi

Mehmet SÖNMEZ

Fırat Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

2011, Sayfa: 82

Bu tez çalışmasında, SCIENTECH firmasının üretmiş olduğu ST2261A setinde bulunan yarım dalga boyundaki dipol ve katlanmış dipol anten, 5 ve 7 elemanlı Yagi-Uda antenlerin Yüksek Frekans Yapı Simülatörü kullanarak tasarımları gerçekleştirilmiş olup deneysel sonuçlarla simülasyon sonuçları karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: HFSS, Anten tasarımı, ST2261A seti,

ABSTRACT

Master Thesis

Analysis of Radiation Patterns of Dipole Antennas Using High Frequency Structure Simulator

Mehmet SÖNMEZ

Fırat University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Electrical and Electronics Engineering

2011, Page: 82

In this thesis, in ST2261A were produced by SCIENTECH half-wave dipole and folded dipole, 5 and 7 element Yagi-Uda antennas were designed using High Frequency Structure Simulator and measured results were compared to simulation results

Keywords: HFSS, Antenna design, ST2261A

1. GİRİŞ

Özellikle kablosuz haberleşme sistemlerinde önemini artıran anten tasarımı gün geçtikçe üzerinde daha fazla çalışılan konulardan birisi haline gelmektedir. Kablo kullanmanın neredeyse imkânsız olduğu coğrafyalarda tasarlanacak olan bir antenin verimli bir Şekilde kullanılması büyük bir önem arz etmektedir [1].

Mobil haberleşme sistemlerinin gelişimi anten tasarım sürecinin oldukça hızlı bir Şekilde gelişmesini sağlamıştır. Analog olarak tasarlanan 1G (Birinci Nesil) mobil haberleşme sistemleri yerini sayısal 2G (İkinci Nesil) denilen GSM (Küresel Mobil İletişim Sistemi) haberleşme sistemlerine bırakmıştır. Günümüzde en fazla önem verilen 4G (Dördüncü Nesil) mobil haberleşme sistemleri 3G (Üçüncü Nesil) ile başlayan veri tabanlı iletişimin geniş bantlarda yapılmasına olanak vermektedir. Kablosuz haberleşmenin kademeli olarak öncelikle ses amaçlı olarak geliştirilmelerini ve daha sonra ses ile birlikte daha yüksek boyutlarda veri iletimini amaç edinmeleri elbette ki anten üreticileri için önemli tasarım çalışması gerçekleştirilmesini ön görmüştür [2].

Ses ile birlikte büyük boyutlarda veri iletimi özellikle 4G sistemlerinin tasarımı için amaç edinilen öncelikli konulardan birisidir. Sadece ses iletimine olanak tanıyan 1G sistemleri için iletim bant genişliğinin düşük olması nedeniyle yüksek frekanslara gerek duyulmamıştır. Ancak 4G sistemlerine doğru gidildikçe yüksek bant genişliklerinin ancak yüksek frekanslarda elde edilmesi nedeniyle tasarımı yapılacak olan antenin çalışma frekansının yüksek olması gerekmektedir. Sistemlerin bu Şekilde özellikleri nedeniyle en verimli Şekilde çalışacak olan bir antenin tasarımı çok büyük önem arz etmektedir [3].

Bu çalışmada analiz edilen anten tipleri yarım dalga dipol anten, yarım dalga katlanmış dipol anten ve yagi anten olarak sıralanabilir. Bu tez çalışmasında, ST2261A deney setinde bulunan anten modellerinin hem laboratuvar ortamında hem de HFSS (High Frequency Structure Simulator: Yüksek Frekans Yapı Simülatörü) programında ışıma diyagramları elde edilip, elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Analiz sonuçları arasındaki farkların nedenleri ile ilgili açıklamalara yer verilmiştir.

Antenler üzerindeki çalışmalar çok uzun yıllar önce başlamıştır. En iyi bilinen ilk anten deneyi 1887 yılında radyo dalgalarını üreten ve frekans birimine de ismi veren Alman Fizikçi Heinrich Rudolf Hertz tarafından gerçekleştirilmiştir [3].

Ari J. Viitanen Bessel fonksiyon terimlerini kullanarak yarım dalga dipol antenin ışıma empedansına yönelik çalışma yapmıştır. Viitanen, anten empedansının genellikle cosinüs ve sinüs integral fonksiyonlarına açılımıyla ifade edildiğini göz önünde bulundurarak kendi çalışmasında alternatif bir yaklaşım olarak ışıma empedansı için Bessel fonksiyonlarını içeren bir çözüm kullanmıştır [4].

Mobil telefon teknolojileri için katlanmış dipol tasarımıyla ilgili çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışmada deneysel ve teorik sonuçlar karşılaştırılarak antenin çalışma verimliliği analiz edilmiştir [5].

Standart elektriksel alan yöntemi kullanılarak verici bir durumdaki standart ayarlanabilen yarım dalga boyundaki dipol anten ile ilgili çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışmalarda yüksek frekanslı elektrik alan için standart alıcı [6] ve standart verici [7] bir sistemin gerçekleştirilmesinde yarım dalga boyundaki anten kullanılmıştır.

Baskılı bir katlanmış dipol ile ilgili çalışmalar gerçekleştirilmiştir [8]. Yapılan çalışmada 2.4 GHz ve 5 GHz bantlarında yarım dalga boyundaki katlanmış bir dipol antenin çalışması analiz edilerek geniş yerel alan ağları için uygulaması gerçekleştirilmiştir [8].

Çift bantta çalışan baskılı yarım dalga boyundaki dipol anten tasarımları gerçekleştirilmiştir [9], [10]. Bu çalışmaların birinde antenin 900, 1800 ve 1900 MHz frekanslarındaki çalışması incelenmiş [9] olup diğer çalışmada 2.4-5.8 GHz frekanslarında geniş bantlı yerel ağ uygulamaları için antenin performansı incelenmiştir [10].

Yarım dalga boyundaki bir dipol antenin empedans eşlemesi ile ilgili çalışmalar gerçekleştirilmiştir [11],[12]. Anten beslemesi dengeli bir şekilde yapılmış olup, dış bir beslemeye veya baluna ihtiyaç duyulmadan istenilen sonuçlar elde edilmiştir [11].

Katlanmış dipol ile ilgili yapılan çalışmalarda antenin boyutları küçültme yönünde bir çalışma yapılmıştır. İstenilen boyutlarda tasarlanan antenin özellikle mobil kablolu cihazlarda kullanılması amaç edinilmiştir [13].

Japonyada 720 MHz frekans bandını kullanan akıllı iletim sistemlerinin trafiğini iyileştirmek için yagi-uda anten tasarımı önerilmiştir. Önerilen tasarım ultra yüksek bant

mobil terminal haberleşme sistemlerinde de çalıştırılmak için gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışma antenin bant genişliğini artırmaya yönelik olmuştur [14].

Milimetrik dalga uygulamaları için mikroşerit beslemeli yagi-uda anten tasarımı gerçekleştirilmiştir. Yapılan tasarımda mikroşerit dalga anahtarlama ışıma sistemleri için yüksek kazançlı yagi-uda anten tasarımı yapılmıştır. Tasarımı yapılan 7 elemanlı yagi-uda anten 22-26 GHz bandında 9-11 dB'lik kazanç vermiştir [15]. Milimetrik dalga uygulamaları için tasarlanan bir diğer anten ise katlanmış dipol beslemeli yagi-uda anten olmuştur. Bu tasarımda da 7-elemanlı yagi-uda anten 22-26 GHz bandında çalıştırılarak katlanmış dipol beslemeli eleman kullanıldığından empedans eşleme zorluğu nedeniyle 8-10 dB kazanç elde edilmiştir [16].

Mobil haberleşme sistemlerinde kullanılması için yüksek geniş bantlı katlanmış dipol anten tasarımı gerçekleştirilmiştir. Yapılan tasarımda oldukça küçük boyutlu katlanmış dipol oluşturarak iyi bir empedans eşlemesi, oldukça yüksek bant genişliği amaçlanmıştır [17].

Elektromanyetik ışımların biyolojik etkilerini vurgulamak amacıyla yarım dalga boyunda bir dipol anten analiz edilmiştir. Yapılan çalışmada anten ışıma örüntüleri ve kazancı gibi önemli parametreler 900-1900 MHz frekanslarında ölçülerek sonuçlar analiz edilmiştir [18].

Biyomedikal uygulamalar için katlanmış dipol anten tasarımı gerçekleştirilmiştir. Yapılan tasarımda katlanmış dipol anten kablosuz medikal uygulamalarında kullanılmak için 2.4 GHz (endüstriyel bilimsel medikal bandı) frekansında optimum çalışma gösterecek şekilde oluşturulmuştur [19].

Ultra yüksek frekans RFID sistemler için katlanmış dipol anten tasarımı gerçekleştirilmiştir. Önerilen anten Avrupa'da 866 MHz (Avrupa UHF RFID frekans bandı) frekansında çalıştırılmak üzere performans analizi yapılmıştır. Analiz sonuçları incelendiği zaman anten metal yüzeye yaklaştırıldığında antenin dönüş kaybında önemli derecede artış olduğu ve rezonans frekansının da istenilen frekanstan uzaklaştığı gözlemlenmiştir [20].

0.254mm kalınlığında teflon bir alt yüzey üzerine 7-elemanlı bir yagi-uda anten tasarımı gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen anten tasarımı 60 GHz frekansında haberleşme için tasarlanmıştır. Tasarlanan anten noktadan-noktaya haberleşme,

anahtarlamalı ışıma sistemi, dizüstü bilgisayarlarda uygulanmak için gerçekleştirilmiştir [21].

Yaygın olarak kullanılan dikey yarım dalga boyundaki bir dipol antenin ışıma örüntüsüyle ilgili çalışma gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışmada deniz yüzeyinden dikey yarım dalga boyundaki dipol antenin ışıma örüntüsünün ölçüm sonuçları analiz edilmiştir [22].

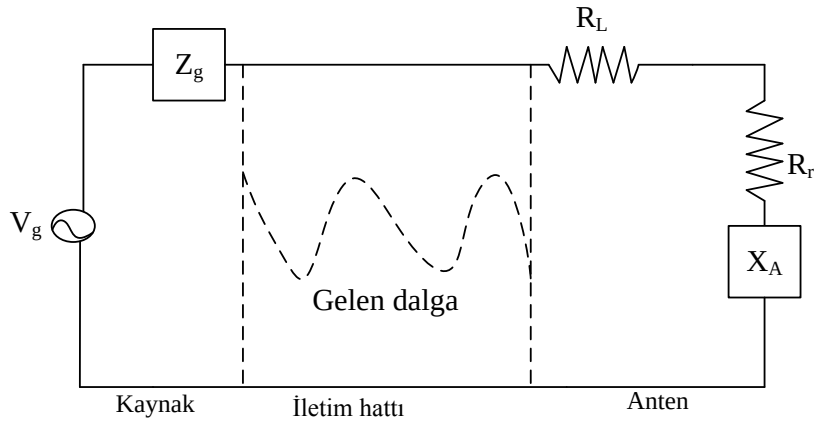
Yapılan çalışmalar incelendiği zaman anten tasarımının günümüze kadar geçen süre içerisinde kablosuz haberleşme ile paralel bir şekilde gelişme gösterdiği görülebilir. Hiç şüphe yok ki anten kullanımı, mobil haberleşme sistemlerinden TV yayıncılığına ve RADAR sistemlerine kadar kablo kullanmanın neredeyse imkânsız olduğu hemen hemen her yerde vardır.

Yapılan bu tez çalışmasının amacı, ileride yapılacak olan tasarımlar için kullanılması amaçlanan HFSS programının uygunluğu hakkında bilgi edinilerek gerçek sonuçlarla HFSS programından elde edilen sonuçlar karşılaştırılıp programın kullanılabilirliğini analiz etmek ve temel anten tiplerinin ışıma diyagramları elde edilerek birbirleri arasındaki farklar incelemektir.

2. TEMEL ANTEN TEORİSİ

Anten, radyo dalgalarını alan veya yayan bir cihaz olarak yapılmaktadır [23]. IEEE elektromanyetik dalgaları almak veya yaymak için tasarlanmış verici veya alıcı bir sistem parçası olarak tanımlanmaktadır [24]. Antenlerin kullanılma nedeninin sinyalleri almak ve göndermek için olduğu görülmektedir. Dağlık bölgelerde veya geniş alanlarda iletişimin sağlanması için kablo kullanımının pahalı ve kurulumun uzun zaman alması nedeniyle anten kullanılması hem ekonomik hemde uygulanabilirlik açısından avantaj sağlamaktadır [25].

Verici durumundaki bir antenin iletim hattı Thevenin eşdeğer devresi Şekil 2.1’de görünmektedir.



Şekil 2.1. Verici durumundaki bir antenin iletim hattı Thevenin eşdeğeri

Şekil 2.1.’de kaynak ideal bir üreteç, iletim hattı da karakteristik empedansı Z_c ve anten iletim hattına bağlanmış olan Z_A yükü ile ifade edilmiştir. R_L direnci antenin yapısıyla ilgili iletim ve dielektrik kayıplarını gösteriyorken ısıma direnci olarak adlandırılan R_r direnci ise antenden yayılan ışımaları göstermektedir. X_A reaktansı ise anten ışımaları ile ilgili empedansın imajiner kısmını göstermektedir. İdeal durumda kaynak tarafından üretilen enerjinin tamamı antenin ısıma resistansı olan R_r direnci üzerinde harcanır. Ama pratik sistemlerde anten ve hat arasındaki ara yüzde yansıma kayıpları (eşleşmeme) nedeniyle ve iletim hattının doğal kayıpları nedeniyle iletim ve dielektrik kayıpları bulunmaktadır.

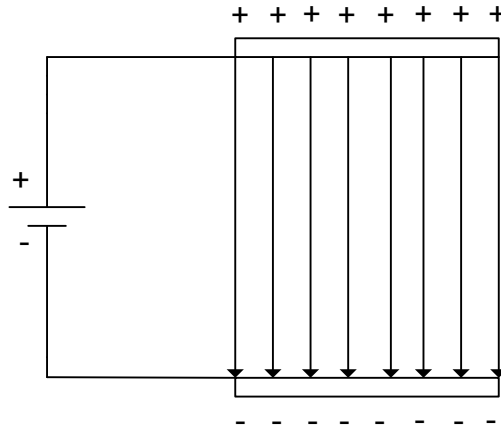
2.1. Elektrik Alanın Oluşumu

Elektrik alan yük başına düşen kuvvet olarak tanımlanır [3]. Bu tanımlamadan ve Coulomb kanunlarından yola çıkarak bir noktadaki Q yükünden r uzaklıkta oluşacak elektrik alan 2.1 denklemindeki gibi hesaplanabilir.

$$\mathbf{E} = \frac{\mathbf{F}}{Q} = \frac{Q}{4\pi\epsilon r^2} \hat{\mathbf{r}} \quad (\text{V/m}) \quad 2.1$$

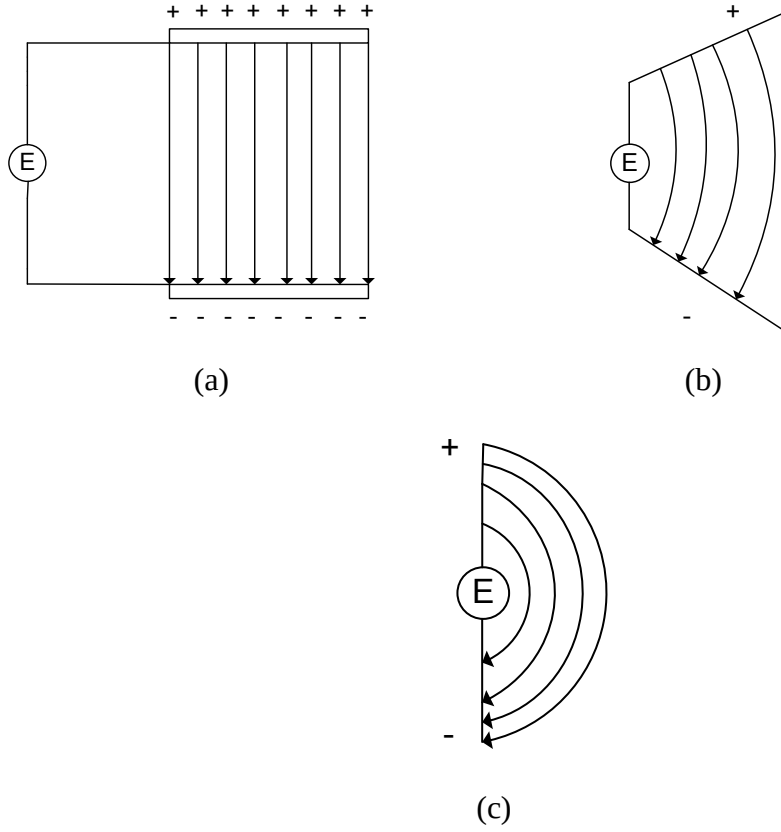
Denklem 1.1’de $\mathbf{F}$, Coulomb kanununda elektrik kuvveti; $\hat{\mathbf{r}}$, $\mathbf{r}$ yönünde veya elektrik alan yönünde bir birim vektör; ϵ , malzemenin elektrik geçirgenliğidir.

Elektrik alanın oluşumu pratik olarak Şekil 2.2.’deki bir kapasitör üzerinde gösterilebilir. Şekil 2.2.’deki kapasitör, gerilim kaynağına bağlandığında kapasitansın değerine ve gerilimine bağlı olarak şarj olmaya başlar. Bataryanın gücü nedeniyle negatif yükler alttaki plakaya pozitif yükler de üstteki plakaya doğru hareket ederler. Yüklerin bu şekilde birlikte birikimleri ile pozitif ve negatif yükler arasında bir elektrik alan oluşmaktadır.



Şekil 2.2. Bir kapasitör plakaları üzerindeki yükler

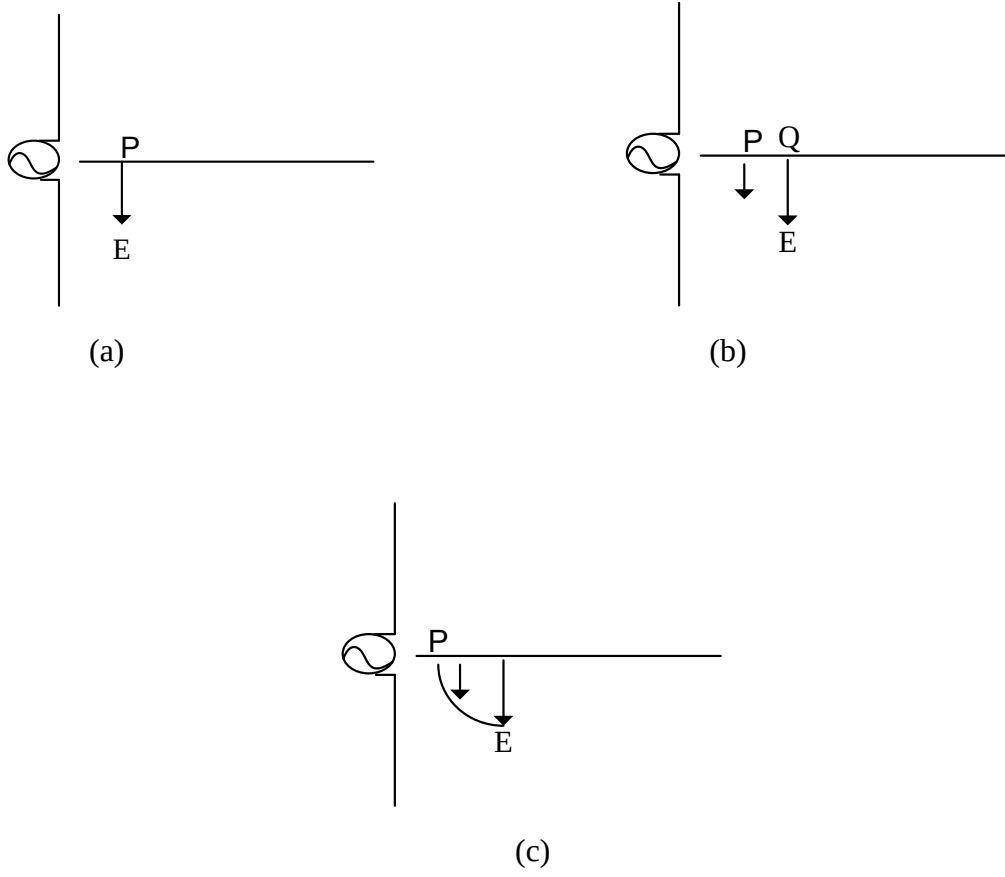
Eğer bu iki plaka arası mesafe artırılırsa, plakalar arasındaki açı dik açı olana kadar elektrik alan kavis çizer. Şekil 2.3.a’deki düz çizgiler b’de kavisli bir hale gelirler, c’de ise yaklaşık olarak yarım daire şeklini alırlar. İki eleman düz metal plaka yerine, metal tel veya çubuk şeklini alabilirler.



Şekil 2.3. Çeşitli açılardan levhalar arasındaki elektrik alan

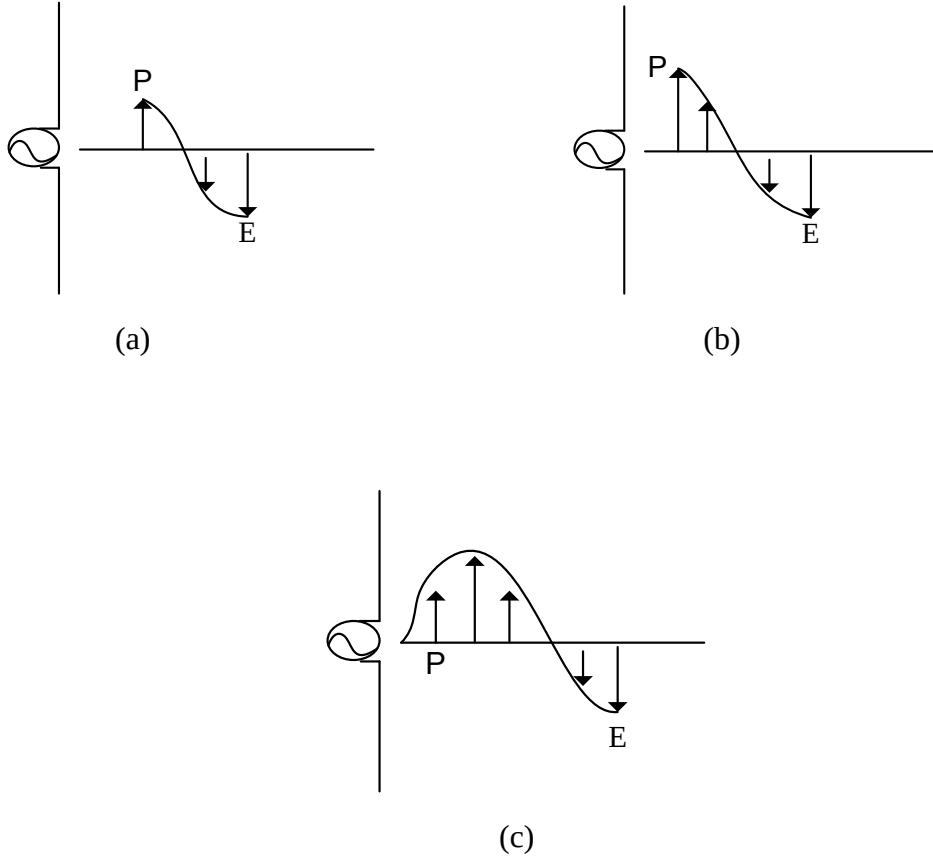
2.2. Antende Işımanın Oluşumu

Anten çift yönlü bir dönüştürücüdür. Yani verici olarak kullanıldığı zaman besleme noktalarına uygulanan gerilimi elektrik alana dönüştürmektedir. Alıcı olarak kullanıldıkları zaman ise ortamdaki elektromanyetik dalgaların etkisi ile anten uçlarında bir gerilim farkı oluşturmaktadır. Alıcı ve verici antenler incelendiği zaman yapı bakımından pek bir farkları olmamakla birlikte bazı uygulamalar için bir antenin hem alıcı hem de verici olarak görev yaptığı görülmektedir. Şekil 2.4'te $t=0$ ve $t=1/4T$ anlarında antende oluşan elektrik alan gösterilmektedir [23].



Şekil 2.4. $t=0$ ve $t=1/4T$ anlarında antende oluşan elektrik alan

$t=0$ anında P noktasında oluşan elektrik alanın aşağı doğru olduğu kabul edilsin. Bir süre sonra P noktasındaki elektrik alan aşağı doğru olmasına rağmen genlikte azalma olmuştur. $t=0$ anında oluşan elektrik alan artık Q noktasına doğru kaymıştır. Çeyrek dalga ($1/4T$) süresi sonunda P noktasındaki elektrik alan sıfır olmuştur. Anten üzerindeki yük dağılımı tersine döndüğü zaman oluşan elektrik alan Şekil 2.5’de görüldüğü gibidir.



Şekil 2.5. Anten üzerindeki yük dağılımının tersine döndüğü zaman aralığı

Şekil 2.5'te anten üzerindeki yük dağılımı tersine döndüğü için P noktasındaki elektrik alan bileşeni yukarı doğru yönelmiştir. $t=T/2$ ve $t=3T/4$ zamanları için b ve c grafiklerinde elektrik alan bileşenleri gösterilmektedir.

3. TEMEL ANTEN PARAMETRELERİ

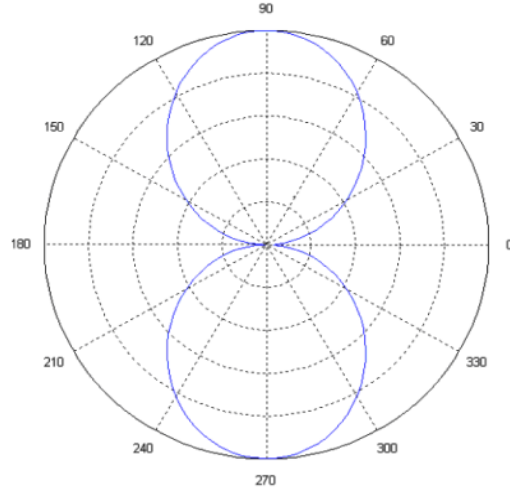
Bir antenin performansını iyi bir Şekilde açıklayabilmek için çeşitli anten parametrelerinin tanımlanması gereklidir. Bazı parametreler birbiriyle ilişkilidir ve anten performansının tam olarak açıklanması için tümünün açıkça belirtilmesine gerek yoktur [23]. Bazı anten parametreleri; ışıma örüntüsü, alan bölgeleri, ışıma gücü şiddeti, ışıma yoğunluğu, hüzmeye genişliği, yönlülük, anten verimliliği, kazanç, ışıma verimliliği, bant genişliği, polarizasyonu, giriş empedansı, ışıma direnci şeklinde sıralanabilmektedir [23].

3.1. Işıma Örüntüsü

Bir antenin ışıma örüntüsü, sabit aralıklarda açının bir fonksiyonu gibi ışıyan alan veya gücün grafiksel olarak gösterimidir [3]. Birçok durumda ışıma örüntüsü uzak alan bölgelerinde belirlenir. Işıma özellikleri, güç akı yoğunluğu, ışıma yoğunluğu, alan şiddeti gibi özellikleri içerir [23]. İzotropik bir ışınlayıcı bütün yönlere eşit ışıma yapan bir ışınlayıcıdır. Doğrusal bir dipolün E-düzlemi ışıma örüntüsü (3.1) denklemi kullanılarak çıkarılabilir.

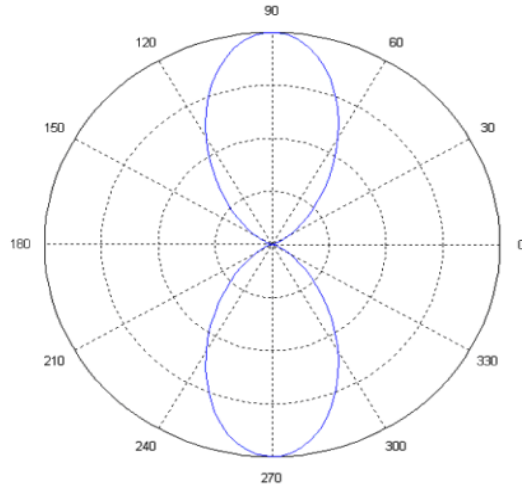
$$F(\theta) = \frac{\cos(\beta h \cos \theta) - \cos \beta h}{\sin \theta} \quad (3.1)$$

Işıma örüntüsü çizdirilecek olan antenin boyuna göre βh değeri farklı değerler almaktadır. Denklem (3.1)'de β faz sabitini, h anten boyunu ve θ 'da yönelme açısını ifade etmektedir. Yarım dalga boyu dipol anten için $\beta h = \pi/2$ değerini alırken tam dalga boyu dipol anten için $\beta h = \pi$ değerini almaktadır. Yarım dalga boyu dipol anten, tam dalga boyu dipol anten, $3\lambda/2$ boyundaki ve 2λ boyundaki dipol antenler için (3.1) denkleminin kullanılmasıyla elde edilen temel E-düzlem örüntüleri sırasıyla Şekil 3.1, Şekil 3.2, Şekil 3.3 ve Şekil 3.4'te matlab programı kullanılarak çizdirilmiştir.



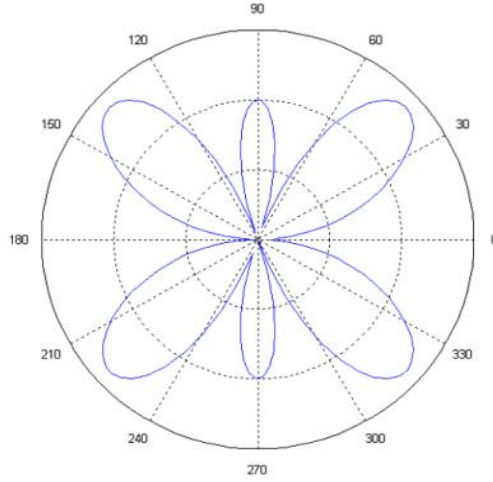
Şekil 3.1. $\lambda/2$ uzunluğundaki dipol antenin ışıma örüntüsü

$\beta h=1$ değeri için tam dalga boyu uzunluğundaki (λ) dipol antenin ışıma örüntüsü Şekil 3.2’de gösterilmektedir.



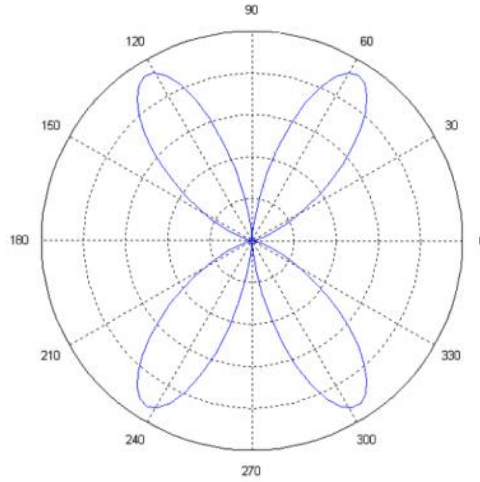
Şekil 3.2. λ uzunluğundaki dipol antenin ışıma örüntüsü

$\beta h=3/2$ değeri için $3\lambda/2$ dipol antenin ışıma örüntüsü Şekil 3.3’de gösterilmektedir.



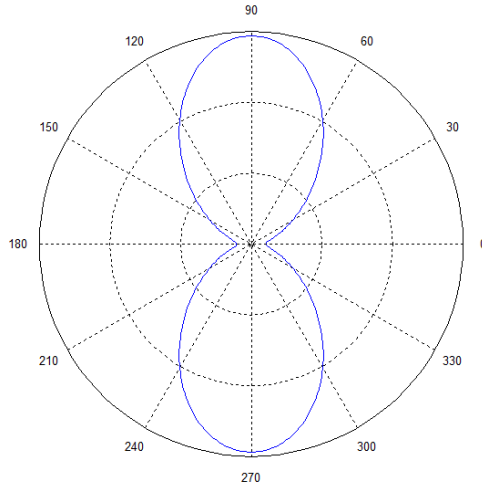
Şekil 3.3. $3\lambda/2$ uzunluğundaki dipol antenin ışıma örüntüsü

$\beta h=2$ değeri için 2λ uzunluğundaki dipol antenin ışıma örüntüsü Şekil 3.4’te gösterilmektedir.



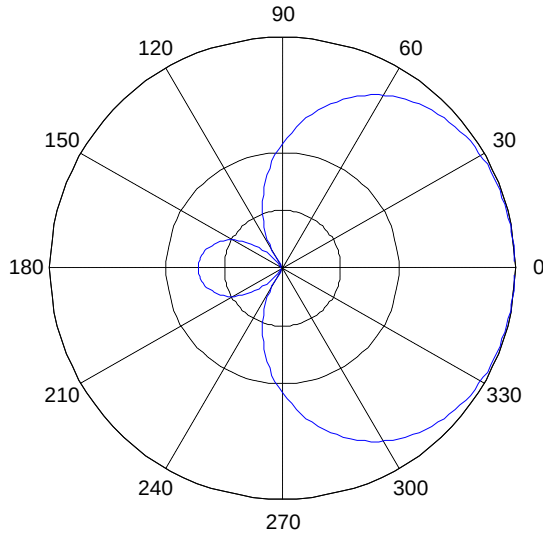
Şekil 3.4. 2λ uzunluğundaki dipol antenin ışıma örüntüsü

Şekil 3.1, 3.2, 3.3 ve 3.4’ deki dört anten için verilen ışıma örüntüleri dikkatle incelendiğinde dipolün boyunun uzamasıyla $\theta=90^\circ$ düzleminde en yüksek ışımanın yönünün azaldığı görülmektedir. Ayrıca dipolün boyu uzadıkça 3dB bant genişliğinin de azaldığı görülmektedir. Şekil 3.5 temel bir katlanmış dipol anten için oluşması gereken ışıma örüntüsünü gösterirken Şekil 3.6 Yagi-Uda anten için oluşması gereken ışıma eğrisini vermektedir.



Şekil 3.5. Katlanmış dipol ışıma eğrisi

Şekil 3.6 ise Yagi-Uda tipindeki bir antenin ışıma eğrisini göstermektedir.



Şekil 3.6. Yagi-Uda anten için ışıma eğrisi

3.2. Alan Bölgeleri

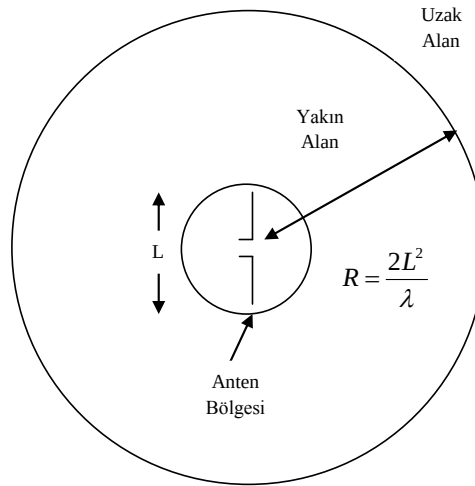
ışıma alanlarıyla ilgili hesaplamalar yapıldığı zaman bu alanların değerlendirildiği anten için uzaklıkların da düşünülmesi gerekmektedir. Serbest bölgede anteni çevreleyen üç ana bölge vardır: Reaktif yakın alan, ışıman yakın alan (Fresnel) ve uzak alan (fraunhofer) [23]. Antene yakın olan, enerjinin antene geri döndüğü ve yüklü olduğu bir bölge bulunmaktadır. Bu bölge reaktif yakın alan bölgesi olarak adlandırılır

[3]. Reaktif yakın alan bölgesi ve uzak alan bölgesi arasında kalan anten alan bölgesine ışınan yakın alan (Fresnel) denilmektedir [23]. Eğer anten boyutları maksimum düzeyde olursa, yani dalga boyu anten boyutları ile karşılaştırılamayacak kadar küçük olursa bu bölge oluşmamaktadır [23]. Uzak alan bölgesi hem ışınan alanlar içerisinde en baskını olmakla birlikte aynı zamanda açısal alan dağılımının antene olan uzaklıktan bağımsız olduğu bölgedir [25]. (3.2), (3.3) ve (3.4) eşitsizlikleri sırasıyla reaktif yakın alan, ışınan yakın alan ve uzak alan bölgelerini ifade etmektedir.

$$R < 0.62\sqrt{D^3/\lambda} \quad (3.2)$$

$$R \geq 0.62\sqrt{D^3/\lambda} \quad (3.3)$$

$$R < 2D^2/\lambda \quad (3.4)$$

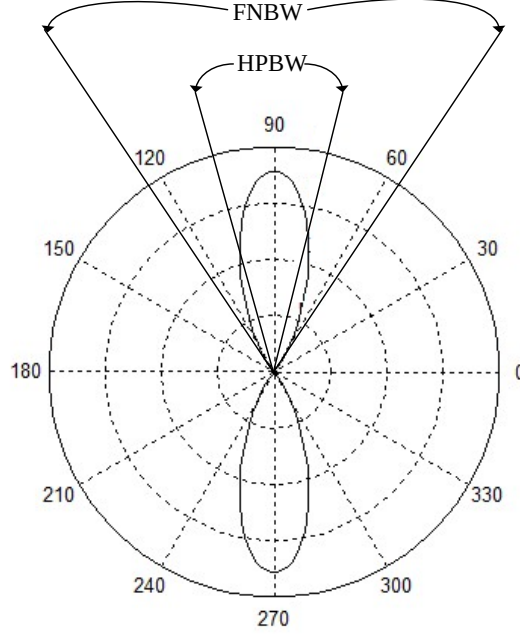


Şekil 3.7. Anten alan bölgeleri

3.3. Huzme Genişliği

Huzme genişliği de antenin örüntüsü ile ilgili olan bir parametredir. Bir antenin örüntüsünün huzme genişliği ışınma örüntüsünün maksimum olduğu kenar karşısında tanımlı iki nokta arasındaki boşluk olarak tanımlanabilir ve bir antenin örüntüsünde birkaç tane huzme genişliği vardır [23]. Bunlardan en yaygın olarak kullanılan huzme genişliği yarım güç huzme genişliğidir (HPBW: Half-Power Beamwidth). IEEE tarafından yapılan tanımlamaya göre ışınanın maksimum olduğu yöndeki düzlemde

ışma değerinin yarısı olan ışma gücünün iki yönü arasında kalan açıdır. Diğer önemli huzme genişliği ise ilk sıfır huzme genişliğidir (FNBW: First-Null Beamwidth). Şekil 3.8’de anten ışma diyagramında huzme genişlikleri görülmektedir.



Şekil 3.8. Anten huzme genişlikleri

3.4. Yönlülük

Antenin en önemli sayısal bilgilerinden birisi olan yönlülük, belirli bir yönde ışıyan gücün yoğunlaşmasının bir ölçümü olarak tanımlanabilir [24]. Verilen bir yönde ışıma şiddetinin bütün yönlerdeki ışıma şiddetinin ortalamasına oranıdır. Ayrıca ortalama ışıma şiddeti, toplam ışıma gücünün 4π ile bölümüdür. Matematiksel olarak yönlülük eşitlik (3.5) gibi yazılabilir.

$$D = \frac{U(\theta, \phi)}{U(\theta, \phi)_{ort}} = \frac{4\pi U(\theta, \phi)}{P_t} = \frac{4\pi U(\theta, \phi)}{\oint_{\Omega} U d\Omega} \quad (3.5)$$

3.5. Kazanç

Pratikte bir anten için toplam giriş gücü kolayca gösterilebiliyorken bir antenden ışıyan toplam güç gerçekte kolayca gösterilmemektedir [1]. Anten kazancı bu problemin çözümünü kolaylaştırmaktadır. Anten kazancı, verilen bir yönde antenin ışıma gücünün antenin toplam giriş gücüne oranıdır. Eğer yön belirli değilse maksimum ışıma yönü kastedilmektedir. Matematiksel olarak anten verimliliği eşitlik (3.6)'da görüldüğü gibidir.

$$G = \frac{4\pi U}{P_{in}} \quad (3.6)$$

3.6. Anten Verimliliği

Antenin verimlilik faktörü hem iletken maddenin kaybı hem de dielektrik kaybını dikkate almakta olup ayrıca besleme hattı ve anten arasındaki empedans uyumsuzluğunun neden olduğu yansımaları da hesaba katmaktadır [24]. Matematiksel olarak verimliliği eşitlik (3.7)'de görüldüğü gibi yazılabilir.

$$e_0 = e_r e_c e_d \quad (3.7)$$

e_0 = Toplam verimlilik (birimsiz)

e_r = Yansıma (uyumsuzluk) verimliliği = $(1 - |\Gamma|^2)$ (birimsiz)

e_c = iletken verimliliği (birimsiz)

e_d = dielektrik verimliliği (birimsiz)

Γ = antenin giriş terminalinde gerilim yansıma katsayısı

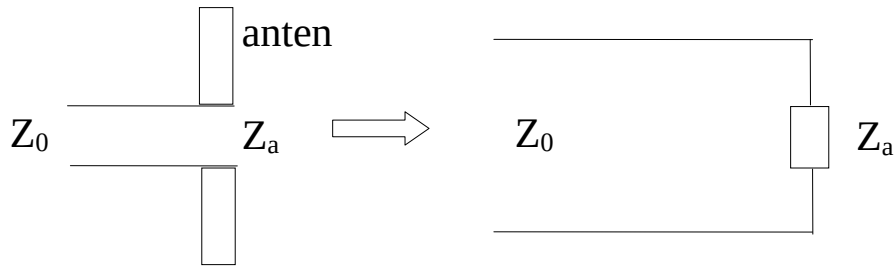
3.7. Antenin Giriş Empedansı ve Işıma Direnci

İletim hattının sonunda anten beslemesinin yapıldığı yerde akımın üzerinden aktığı bir yük bulunmakta olup bu yük giriş empedansı olarak adlandırılmaktadır [3]. Bu giriş empedansı ayrıca anten terminalindeki gerilimin akıma oranı olarak da

tanımlanmaktadır [1]. Denklem (3.8) bir antenin giriş empedansının matematiksel olarak ifadesi görülmektedir.

$$Z_a = \frac{V_{in}}{I_{in}} = R_a + jX_a \quad (3.8)$$

V_{in} ve I_{in} sırasıyla anten girişindeki akım ve gerilimdir. Şekil 3.9’da bir antenin giriş empedans modeli gösterilmektedir.

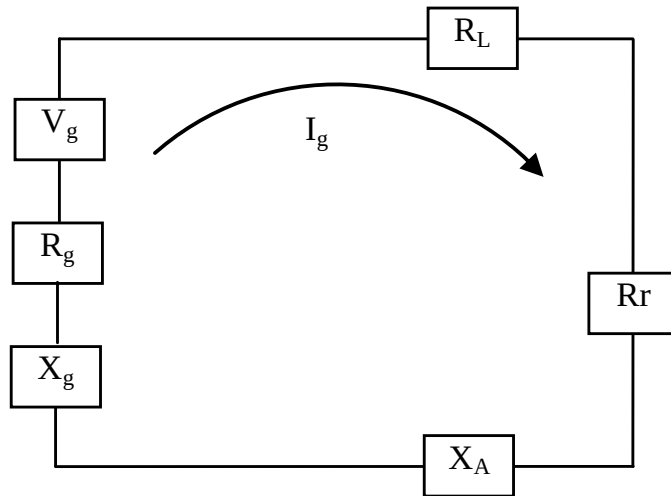


Şekil 3.9. Antenin giriş empedans modeli

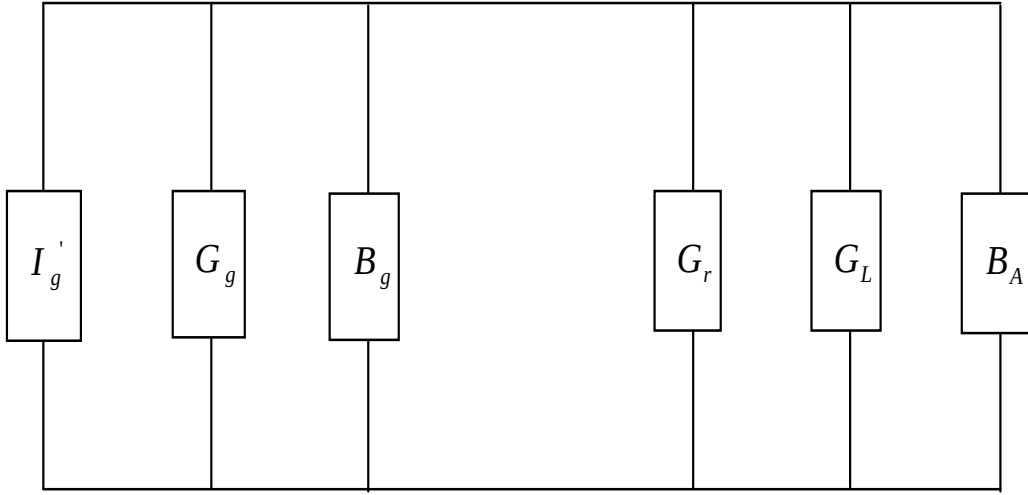
Giriş empedansı karmaşık bir sayı olmak üzere iki reel bileşenden oluşmaktadır [3]. Denklem (3.9)’da bu bileşenlerin arasındaki eşitlik gösterilmektedir.

$$R_a = R_r + R_L \quad (3.9)$$

Denklem (3.9)’da R_r ışıma direnci ve R_L ise antenin kayıp direncidir. Verici durumundaki bir antenin Thevenin eşdeğer devresi ve Norton eşdeğer devresi sırasıyla Şekil 3.10’da ve Şekil 3.11’de verilmiştir.



Şekil 3.10. Antenin Thevenin eşdeğer modeli



Şekil 3.11. Antenin Norton eşdeğer modeli

Z_a = a-b terminalindeki anten empedansı

R_a = a-b terminalindeki anten direnci

X_a = a-b terminalindeki anten reaktansı

Eğer antene, bir kaynak bağlanırsa kaynağın iç empedansı eşitlik (3.10)'da olduğu gibi yazılabilir.

$$Z_g = R_g + jX_g \quad (3.10)$$

R_g = Kaynak direnci (ohm)

X_g = Kaynak reaktansı (ohm)

Işıma için R_r üzerinden harcanan ısı ve diğer nedenlerden dolayı R_L üzerinde harcanan toplam gücü bulmak için öncelikle devre üzerinden akan akım hesaplanacak olursa;

$$I_g = \frac{V_g}{Z_t} = \frac{V_g}{Z_g + Z_a} = \frac{V_g}{(R_r + R_L + R_g) + j(X_a + X_g)} \quad (A) \quad (3.11)$$

$$|I_g| = \frac{|V_g|}{[(R_r + R_L + R_g)^2 + j(X_a + X_g)^2]^{1/2}} \quad (3.12)$$

V_g kaynağın tepe gerilim değeri olmak üzere ışıma için antene gönderilen toplam güç eşitlik (3.13)'te ifade edilmiştir.

$$P_r = \frac{1}{2} |I_g|^2 R_r = \frac{|V_g|^2}{2} = \left[\frac{R_L}{\left(R_r + R_L + R_g \right)^2 + j \left(X_a + X_g \right)^2} \right] \quad (W) \quad (3.13)$$

Geriye kalan güç, kaynağın iç direnci R_g üzerinde harcanan güçtür. Bu güç ifadesi denklem (3.14)'te olduğu gibi verilebilir.

$$P_g = \frac{|V_g|^2}{2} \left[\frac{R_g}{\left(R_r + R_L + R_g \right)^2 + j \left(X_a + X_g \right)^2} \right] \quad (W) \quad (3.14)$$

Antene maksimum güç aktarımı empedans uyumunda gerçekleşmektedir [4]. Maksimum güç aktarımı için denklemler yeniden düzenlenirse.

$$R_r + R_L = R_g \quad (3.15)$$

$$X_a = -X_g \quad (3.16)$$

(3.15) ve (3.16) denklemleri kullanıldığı zaman (3.17), (3.18) ve (3.19) denklemleri elde edilebilir.

$$P_r = \frac{|V_g|^2}{8} \left[\frac{R_r}{\left(R_r + R_L \right)^2} \right] \quad (3.17)$$

$$P_L = \frac{|V_g|^2}{8} \left[\frac{R_L}{\left(R_r + R_L \right)^2} \right] \quad (3.18)$$

$$P_r = \frac{|V_g|^2}{8 R_g} \quad (3.19)$$

Denklem (3.20) ışıma gücünü göstermektedir.

$$P_r = \frac{1}{2} |I_g|^2 R_r \quad (3.20)$$

Denklem (3.1)'de verilen örüntü fonksiyonu ile uzak alandaki alan fazörü denklem (3.21)'de olduğu gibi yazılabilir.

$$E_\theta = \eta_0 H_\phi = \frac{j60I_m}{R} e^{-j\beta R} \left\{ -\frac{\cos[(\pi/2)\cos\theta]}{\sin\theta} \right\} \quad (3.21)$$

(3.21) denkleminde R antenden uzaklığı belirtirken β faz sabitini göstermektedir. Zamanda-Ortalama Poynting vektörünün genliği ise (3.22) denkleminde gösterildiği gibidir [25].

$$P_{ort}(\theta) = \frac{1}{2} E_\theta H_\phi^* = \frac{15I_m^2}{\pi R^2} \left\{ \frac{\cos[(\pi/2)\cos\theta]}{\sin\theta} \right\}^2 \quad (3.22)$$

Yarım dalga dipol antenden yayılan toplam güç Zamanda-Ortalama Poynting vektörünün integralinin büyük bir küre yüzeyinde alınmasıyla denklem (3.23)'teki gibi elde edilebilir [26].

$$P_r = \int_0^{2\pi} \int_0^\pi P_{ort}(\theta) R^2 \sin\theta d\theta d\phi \quad (3.23)$$

(3.22) denklemi de kullanılarak denklem (3.23) çözülmek istenirse eşitlik (3.24) elde edilmiş olur.

$$P_r = 36.54 I_m^2 \quad (3.24)$$

(3.20) denklemi kullanılarak kayıplar ihmal edilirse yarım dalga boyu dipol antenin ışıma direnci eşitlik (3.25)'teki gibi olmaktadır.

$$36.54I_m^2 = \frac{1}{2}I_m^2R_r \quad (3.25)$$

(3.25) eşitliğinden de ışıma direnci yaklaşık olarak $73.1 \, \Omega$ çıkmaktadır.

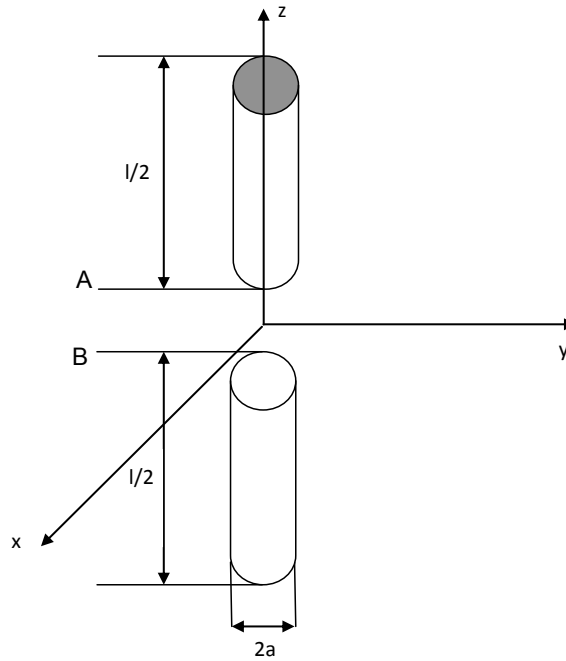
3.8. Band Genişliği

Anten band genişliği işaret distorsiyonu gibi işaretin iletim kalitesini ölçmek için önemli parametrelerden birisidir. Bir antenin band genişliği, farklı frekanslar için ışıma veya ışınımın alınmasının kabiliyetinin bir ölçüsüdür. Genellikle çalışma frekansı aralığı, maksimum ışıma yönünde yarım güç noktaları arasında kalan alandır [23].

4. TEMEL ANTEN ÇEŞİTLERİ VE TASARIM YÖNTEMLERİ

4.1. Basit Dipol Anten

Basit, ucuz ve en çok kullanılan anten türü silindirik dipol antendir [24]. Şekil 4.1’de sonlu uzunluk ve kalınlıktaki tel biçiminde frekansa bağımlı bir silindirik dipol görülmektedir. İnce dipoller genellikle dar banda sahip olurken kalın dipoller daha geniş banda sahiptirler [23]. Bu antenlerin akım, empedans, örüntü ve diğer ışıma karakteristiklerinin analizi çoğunlukla moment yöntemi kullanılarak analiz edilmektedir.



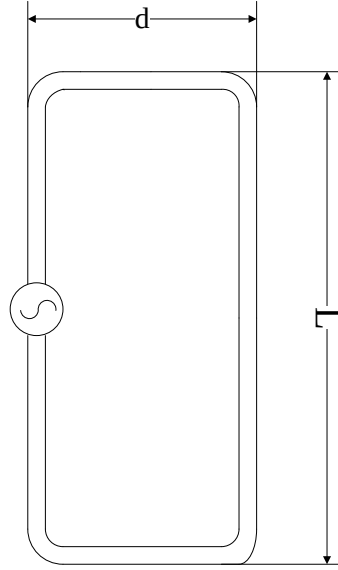
Şekil 4.1. Silindirik dipol anten

Şekil 4.1’de A-B terminalleri arasından besleme uygulanarak dipol antenin merkezi beslemesi gerçekleştirilir. Şekil 4.1’de “a” antenin yarıçapı olmak üzere “l” antenin uzunluğunu ifade etmektedir.

4.2. Katlanmış (Folded) Dipol Anten

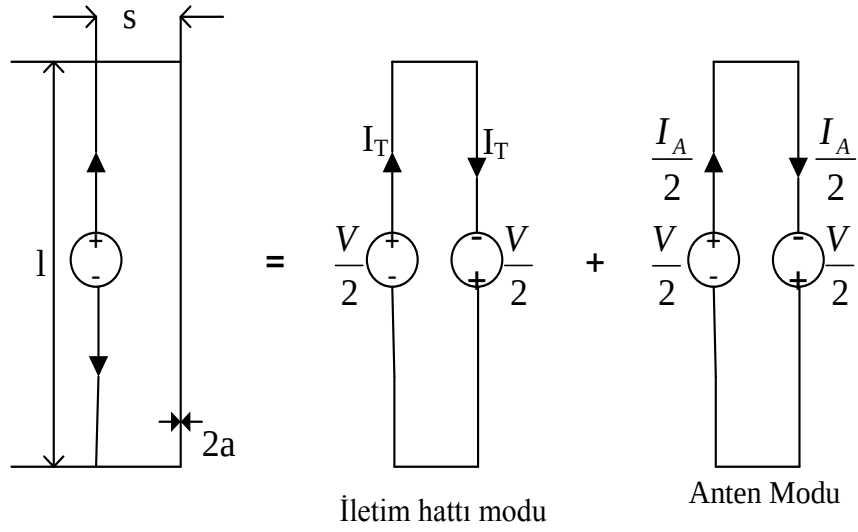
Pratik olarak çok kolay elde edilebilen antenlerden birisi de katlanmış dipol antendir [24]. Katlanmış dipol anten Şekil 4.2’de de görüldüğü gibi birbirine bağlı paralel iki

silindirik dipolden oluşmaktadır. Şekil 4.2’de görülen d uzunluğu, antenin uzunluğundan (L) bir dalga boyundan daha küçüktür [8].



Şekil 4.2. Katlanmış dipol anten

Şekil 4.2’den de görüldüğü gibi besleme noktası sadece bir kenardan merkezi olarak yapılmaktadır. Yarım dalga boyundaki bir katlanmış dipol antenin giriş empedansı yaklaşık olarak 300Ω dur[25]. Bu değer yarım dalga boyu dipol antenin giriş empedansının yaklaşık olarak dört katına eşittir. Katlanmış bir dipol anten dengeli bir sistem olarak çalışır ve üzerinden geçen akımın iki farklı Şekilde (iletim hattı modu ve anten modu) dağılımı yapıldığı kabul edilerek analizi gerçekleştirilir [23]. İletim hattı modu ve anten modu ile birlikte katlanmış dipol anten Şekil 4.3’te olduğu gibi ifade edilebilir.



Şekil 4.3. İletim hattı ve anten modu için katlanmış dipol antenin akım dağılımı

İletim hattı modu için Z_T empedansı eşitlik 4.1'deki eşitlikte kısa devre kayıpsız bir iletim hattı empedansı olarak tanımlanabilir

$$Z_T = -jZ_0 \tan\left(\frac{kl}{2}\right) \quad (4.1)$$

Eşitlik (4.1)'de verilen Z_0 iletim hattının karakteristik empedansı olmak üzere (4.2) ifadesindeki gibi açıklanabilir.

$$Z_0 = 120 \ln \left[\frac{s + \sqrt{(s^2 - 2a^2)}}{2a} \right] \quad (4.2)$$

$$I_T = \frac{V/2}{Z_T} = \frac{V}{2Z_T} \quad (4.3)$$

$$I_A = \frac{V}{2Z_D} \quad (4.4)$$

Şekil (4.3)'te iki akım modunun süper pozisyonu kullanılarak (4.3) ve (4.4) ifadeleri ile birlikte katlanmış dipol antenin giriş empedansı, (4.5) ve (4.6) denklemlerindeki gibi yazılabilir.

$$Z_{in} = \frac{V}{I_T + \frac{1}{2}I_A} \quad (4.5)$$

$$Z_{in} = \frac{4Z_T Z_D}{Z_T + 2Z_D} \quad (4.6)$$

Eşitlik (4.6) iyi bilinen yarım dalga boyu katlanmış dipol anten için düşünüldüğü zaman eşitlik (4.1) de göz önüne alınırsa ($L=\lambda/2$ ve $Z_T=\infty$) giriş empedansı eşitlik (4.7) gibi ifade edilebilir.

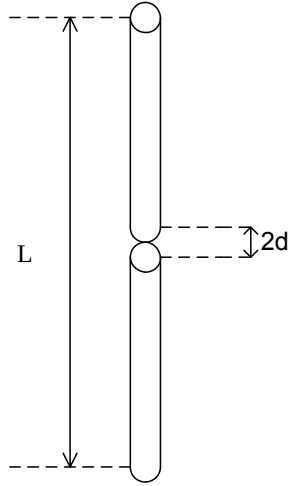
$$Z_{in} = 4Z_D \quad (L=\lambda/2 \text{ için}) \quad (4.7)$$

(4.7) eşitliğinden dolayıdır ki yarım dalga boyu katlanmış dipol antenin giriş empedansı, yarım dalga boyu silindirik dipol antenin giriş empedansının dört katıdır.

4.3.Yarım Dalga Boyu ve Tam Dalga Boyu Dipol Anten

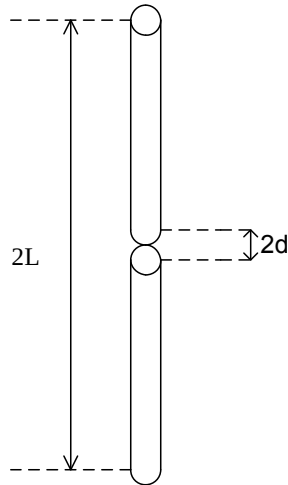
Tasarımı ve kullanımı en basit olan antenlerin başında yarım dalga boyu dipol anten gelmektedir [27]. Yarım dalga dipol anten en iyi bilinen ve ışıma direncinin yaklaşık olarak 73Ω olması nedeniyle en çok kullanılan antendir [25]. Yaklaşık olarak karakteristik empedansı 75Ω veya 50Ω olan iletim hatlarında hattın empedans eşleşmesini kolaylaştırmaktadır [23].

Tam dalga dipol anten yarım dalga boyundaki antene göre yüksek kazanç sağlamasına rağmen haberleşme sistemlerinde çok nadir kullanılan bir anten türüdür [27]. Şekil 4.4'te gösterilen antenin boyuna göre anten ismi değişmektedir. $L= \lambda/2$ için yarım dalga boyundaki anten Şekil 4.4'te görüldüğü gibidir.



Şekil 4.4. Yarım dalga boyundaki anten

$2L=\lambda$ için tam dalga boyundaki anten Şekil 4.5'te görüldüğü gibidir. Tasarım ve kazanç uygunluğu için besleme boşluk miktarları tasarımcı tarafından değiştirilebilir. Temel bir yarım dalga boyundaki anten için kazanç 2.14 dB olup tam dalga anten için ise kazanç 2.41 dB'dir [23].



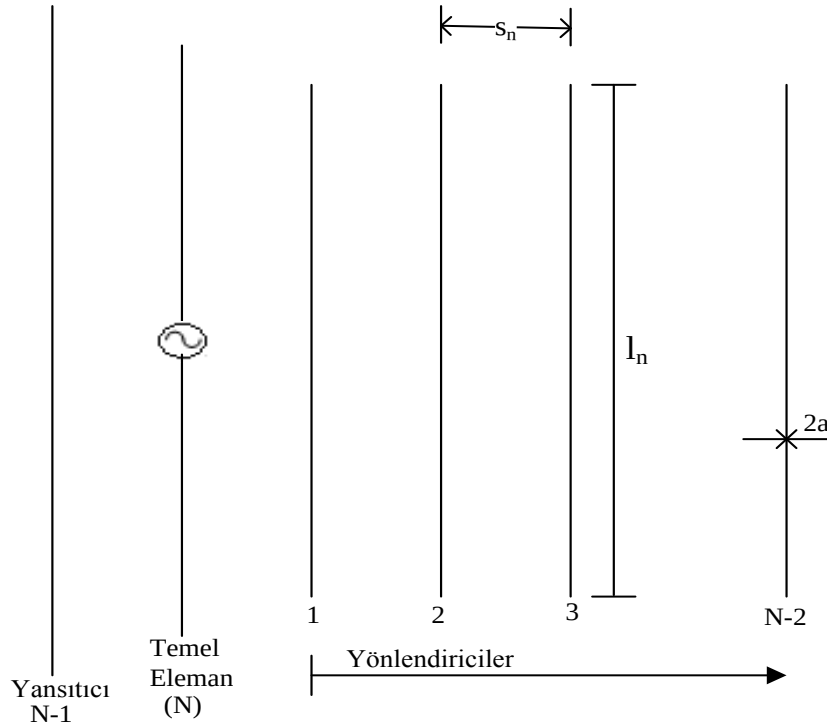
Şekil 4.5. Tam dalga boyundaki dipol anten

4.4. Yagi-Uda Anten

Bazı uygulamalarda istenilen ışıma örüntüsünü elde edebilmek için tek anten yetersiz kalmaktadır [24]. Bu gibi durumlarda birden çok anten elemanından oluşmuş bir anten dizisine gerek duyulabilir. Dizi antenlerde ışıma örüntüleri de incelendiğinde daha açık görülecektir ki ışıma yönünün istenilen yönlerde daha fazla olması ve bazı yönlerde de

azaltılması veya tamamen sıfır olması sağlanabilmektedir. Bunların sağlanması için antenlerin diziliş biçimleri ve besleme Şekilleri oldukça önem kazanmaktadır. Bu Şekilde birden fazla ışıma elemanının oluşturduğu sisteme dizi anten veya kısaca dizi, paralel dipollerin oluşturduğu parazitik lineer diziye de Yagi-Uda antenler denir [24].

Yagi-Uda antenler (kısaca Yagi antenler) yüksek kazançları ve basit elde edilebilmeleri nedeniyle en çok bilinen antenlerden birisidir. Bu antenler 3MHz frekansı ile 3GHz frekansı arasında kullanılabilmektedir [23]. Şekil 4.6'da lineer dipol elemanının oluşturduğu bir Yagi-Uda anten dizisi görülmektedir.



Şekil 4.6. Yagi-Uda anten

Bu anten tipinin ilk tasarımı ve çalıştırılması Japonya'da Tohoku Imperial Üniversitesi'nde Shintaro Uda tarafından gerçekleştirilmiş ve Hidetsugu Yagi tarafından da çalışması anlatılmıştır [23].

Tam boyutlu bir Yagi için sürücü eleman ve parazitik elemanlar arasındaki uzaklık tipik olarak 0.15λ ve 0.4λ dır[14]. Birçok uygulama için kullanışlı olan bir Yagi-Uda antenin boyutlarının azaltılması çok önemli bir konudur [24]. Yagi-Uda antenlerin genellikle kullanım alanları TV alıcıları için olmaktadır.

4.5. Anten Tasarımı

Günümüzde kablosuz haberleşme üzerine gerçekleştirilen yeni çalışmalar anten tasarımı üzerine çalışma yapılmasını neredeyse zorunlu kılmaktadır. Çünkü gerçekleştirilen çalışmalarda değişen çalışma frekansları ve istenilen performansın elde edilmesi için yeni alıcı-verici anten sistemlerinin geliştirilmesi gerekmektedir. Bunların yanında gelişen kablosuz sistemlerin kuşkusuz bant genişliklerinin oldukça yüksek olmaları arzu edilmektedir. Hem istenilen frekanslarda hem de istenilen bant genişliğinde çalışan anten sisteminin tasarımı büyük önem arz etmektedir.

Anten tasarımı yapılmadan önce sistemin bant genişliği, kazanç, yönlülük gibi parametre değerlerinin daha iyi noktalara erişimi için gerek anten boyutları gerek anten için kullanılan malzeme cinsi gerekse de antenin şekli ile ilgili değişimlerin gerçekleştirilmesi gerekir. Genellikle yapılan çalışmalar göz önüne alındığında anten boyutları ve anten şekli ile ilgili değişimlerin daha çok tercih edildiği gözlemlenmektedir [13]. Tasarım sayısal bir çözümleme tekniğinin yardımıyla çözümlenir. Tasarımda kullanılacak olan simülatör programının da alt yapısında yine bir çözümle tekniği bulunmaktadır.

4.6. Anten Tasarımında Kullanılan Sayısal Yöntemler

Anten tasarımı için günümüzde kullanılan simülatör programlarının temelinde bir sayısal yöntem yer almaktadır. Simülatör programlarının kullanılmadığı ilk çalışmalarda, tasarımlar doğrudan herhangi bir sayısal yöntemin kullanılmasıyla elde edilmekteydi [28]. Yazılım programları işlem yoğunluğunu azaltmaktadır. Ancak sayısal yöntemleri kullanırken yetersiz kalan bilgisayar hafızası bu programların kullanımında sınırlamalar getirmektedir.

Anten tasarımında kullanılan sayısal yöntemlerden bazıları aşağıdaki gibi sıralanabilir.

1. Zamanda Sonlu Farklar Yöntemi (FDTD)
2. Moment Yöntemi (MoM)
3. Sonlu Elemanlar Yöntemi (FEM)
4. İletim Hattı Matris Yöntemi (TLM)
5. İntegral Denklem Yöntemi (IEM)
6. Spektral Domen Yöntemi (SDM)

Kullanılan yöntemlerden bazıları zaman düzleminde işlem yaparken bazıları da frekans düzleminde çözüme gitmektedirler. Bu yöntemlerden bazıları yüksek bilgisayar kapasitesine ihtiyaç duyarken bazıları ise yüksek frekanslarda tam doğru sonuç vermemektedir [28].

4.6.1. Zamanda Sonlu Farklar Yöntemi (FDTD)

Önemli bir hesaplama tekniği olan FDTD, 1966 yılında K. S. Yee tarafından ortaya çıkarılmış çeşitli elektromanyetik problemlerin çözümü için kullanılan yaygın bir sayısal yöntemdir. Bu yöntem problemi zaman uzayında çözmektedir [29].

FDTD yöntemi, Maxwell denklemlerindeki kısmi türev operatörlerinin merkezi farklara dayalı sonlu farklar karşılıkları ile değiştirilip, doğrudan zaman ve konum bölgelerinde sayısallaştırılmasına dayanır [29]. FDTD yönteminin temel mantığı üç elektrik alan, üç de manyetik alan bileşeninin Yee hücresi üzerine belirli bir kural çerçevesinde yerleştirilmesi esasına dayanmaktadır[30].

FDTD, daha çok mikroşerit hatlı devre analizi, Radar Saçılma Yüzeyi (RSY) modelleme, açık ya da kapalı dalga kılavuzlarında dalga iletimi ve süreksizlikler, anten ve anten dizi tasarımları ve sentezi, biyolojik dokularda elektromanyetik yutulma hesapları, mikrodalga fırın simülasyonu, EMC/EMI (Elektromanyetik uyumluluk/girişim) simülasyonunda kullanılmaktadır [29].

4.6.2. Moment Yöntemi (MoM)

Otuz yıldan daha uzun süredir kullanılan MoM, frekans domeninde işlem yapan en önemli tekniklerden birisidir. MoM tekniğinin öncelikli formülasyonu, Green fonksiyonlarının kullanımı üzerinden sağlanan bir integral eşitliğidir [16]. Yani MoM tekniği, nümerik olarak çözülebilen lineer bir sistemdeki integral eşitliklerini dönüştürmek için yardımcı olmaktadır. Bu yöntem 1968 yılında Harrington tarafından geliştirilmiş olup elektromanyetik problemlerin çözümünde kullanılan bir yöntem olmuştur [31].

MoM tekniği frekans bölgesinde kullanılan sayısal tekniklerden birisidir. Bu teknikte alınan yapı üzerindeki yüzey akımlarının hesaplanması esas alınmıştır. Yüzey akımları hesaplandıktan sonra yapının bütünü ele alınarak yapı üzerindeki akımın sabit olduğu

varsayılır ve böylece yapı küçük parçalara ayrılmış (segment) olur. Bu segment sayısı, oluşturulacak matris boyutlarını ve problem çözümünün doğruluğunu etkilemektedir [31].

Genel olarak MoM aşağıdaki dört adımdan oluşmaktadır.

- 1- Uygun integral denkleminin türevi alınır
- 2- İntegral denklemlerinin temel ve ağırlıklandırma fonksiyonları kullanılarak bir matris eşitliğine dönüştürülmesi
- 3- Matris elemanlarının değerlendirilmesi
- 4- Matris denklemlerinin çözümü ve ilgili parametrelerin elde edilmesi [28].

4.6.3. Sonlu Elemanlar Yöntemi (FEM)

Sonlu elemanlar yönteminin ilk olarak ortaya çıkışı yapısal analiz alanlarında görülmektedir. Metot, matematiksel olarak ilk önce 1943 yıllarında Courant tarafından geliştirilmiştir[28]. Yöntemin amacı yapıyı eleman denilen küçük parçalara bölerek bu elemanlar üzerinden işlem yapılmasına dayanır. Yapı ne kadar çok elemana ayrılırsa o kadar küçük hata ile sonuca ulaşılır ve işlem yükü de bir o kadar artmaktadır. 1968 yılından beri yöntem, dalga kılavuzu problemleri, elektrik makineleri, yarı iletken cihazlar ve canlılarda elektromanyetik ısımanın emilimi gibi çeşitli alanlarda kullanılmaktadır [28].

Uygulama alanları biraz daha genişletirse sonlu elemanlar yönteminin kullanıldığı alanlar şöyle sıralanabilir [32].

- Dönen makineler (DC motorlar, senkronizeli makineler, indüksiyon motorlar, adım motorları, fırçasız motorlar, PM motorlar)
- Enerji transfer ve dönüşüm modülleri (transformatörler, kablolar, yüksek voltaj cihazları, izolatörler)
- Elektrikli aktüatörler (lineer motorlar, elektromanyetik frenler, kontaktörler, yakıt enjektörleri, elektromanyetik fırlatıcılar)
- Sensörler (manyetoskop, elektrik sayacı, girdap akımı testi)
- Alan üretici (mıknatıslama cihazları, polarizasyon alanlar)

Sonlu elemanlar yöntemi daha çok sınır değer problemlerine uygulanmaktadır. Sınır değer problemlerini çözmek için bazı varyasyonel yöntemler de mevcut olmakla birlikte sınır değer problemlerini çözmek için kullanılan en etkin yöntem sonlu elemanlar yöntemidir [32]. Bu varyasyonel yöntemlerin en çok kullanılanları Ritz varyasyonel

yöntemi ve Galerkin yöntemidir. Bu iki yöntem sonlu elemanlar yönteminin temelini oluşturmakla birlikte sonlu elemanlar yönteminin işlem adımında kullanılmaktadır[32].

4.6.4. İletim Hattı Matris Yöntemi (TLM)

İletim hattı matris yöntemi zaman domeninde diferansiyel yöntemler sınıfına ait köklü bir sayısal çözüm tekniğidir. Bu yöntem ilk olarak elektromanyetik dalga yayılımının modellenmesi için kullanılmıştır ve 1970'lerin başlarında P.B. Johns tarafından geliştirilmiştir [33]. Adından da anlaşıldığı gibi sistemlerin elektromanyetik modellenmesi için iletim hattı teorisini kullanır. Düğümlemlerle birbirine bağlı iletim hatları bölümlerine problem uzayını ayrıklaştırır. Daha sonra bu bölümler eşdeğer devre elemanlarının birleşimiyle gösterilir [20].

TLM modellemesi Huygens prensibine dayanmaktadır [34]. Huygens' in 1690 yılında ifade ettiği gibi, bütün noktalar bir izotropik küresel kaynak gibi hareket ederler ve bu noktaların her biri ilerleyen yeni bir dalgayı oluşturur [35]. İki boyutlu TLM yöntemini Huygens prensibine göre tanımlanmaktadır [35].

FDTD yönteminde olduğu gibi TLM yönteminde de üç boyutlu fiziksel problem uzayı çok sayıda küçük hücrelerin toplamı gibi düşünür [35]. Ancak bu iki yöntemin birim hücre yapıları birbirinden farklıdır. FDTD'de birim hücre mantığı Maxwell denklemlerinin iteratif çözümüyle ilgilenecek bağımsız değişken olarak üç elektrik alan üç de manyetik alan bileşenlerini içerirken, TLM' de birim hücre mantığı iletim hattı modeline dayanır ve bağımsız değişken olarak akım ve gerilim değerlerini içermektedir [36].

4.6.5. İntegral Denklem Yöntemi (IEM)

İntegral denklem yöntemi büyük kompleks yapıları içeren elektromanyetik dalga saçılımı ve ısıma problemlerinin çözümü için iyi bilinen bir yöntemdir. Bu yöntem yüzey üzerindeki akım dağılımını çözmek için Maxwell denklemlerinden faydalanarak bu denklemlerin integrasyon biçimde yazılmasına dayanmaktadır. Bu integral denklemler Elektrik Alan İntegral Denklemi (EFIE), Manyetik Alan İntegral Denklemi (MFIE) ve Karma Potansiyel İntegral Denklemi (MPIE) olmak üzere üç tiptir ve bu integral formülasyonlar birbirleriyle karşılaştırıldığı zaman sırasıyla EFIE ve MFIE elektrik ve

manyetik Green fonksiyonlarını kullanırken, MPIE skaler ve vektörel potansiyel Green fonksiyonlarını kullanmaktadır [37]. Oluşturulan bu integral denklemleri moment yönteminin kullanılmasıyla rahat bir Şekilde çözülebilmektedir. Bu üç integral denklem eşitliğini çözmek için Green fonksiyonlarından faydalanılmaktadır. Hem uzay hem de frekans tanımındaki Green fonksiyonları, elektromanyetik problemler için integral denklem oluşturmada önemli rol oynamaktadır [37].

4.6.6. Spektral Bölge Yöntemi (SDM)

Bir frekans bölge tekniği olan Spektral Bölge Yöntemi düzlemsel tümleşik iletim hatları ve devreler için en çok bilinen yöntemlerden birisidir. Günümüzde yaygın olarak kullanılan Spektral Bölge Yönteminde, alan bileşenleri Fourier dönüşümüyle hesaplanmaktadır [38]. Spektral Bölge Yöntemi ilk olarak elektromanyetik uygulamalarda 1970'li yılların başlarında görülmüştür [39]. Sınır durumlarının kullanımı üzerinden farklı bölgelerde alan bileşenlerinin bilinmeyen katsayılarını doğrudan elde eden yaklaşım spektral bölge yaklaşımıdır. Spektral Bölge Yöntemi yaygın olarak antenler, iletim hatları, düzlemsel katmanlı yapılar, mikroşerit yapılar gibi alanlarda kullanılır [40].

Bir veya daha fazla katmanda elektromanyetik alanların ve akımların spektral bölge içerisinde Fourier dönüşümü üzerinden uzay bölgesinden dönüşümü yapılır. Bu amaçla uzay bölgesinin konvolüsyonel integralleri spektral bölgede basit çarpımlarla dönüştürülür. Ayrıcı ilgili elektrik ve manyetik akım ve elektromanyetik alanlar arasında tanımlanan Green fonksiyonları kolayca imitans yaklaşımı kullanılarak bulunabilir. Spektral bölge yaklaşımında bilinmeyen akımlar genellikle bilinmeyen katsayılı bilinen temel fonksiyonlar serilere açılır [41].

5. ST2261A MOTORİZE ANTEN ÖLÇÜM ÜNİTESİ

ST2261A ünitesi; alıcı birim, verici birim, RF üreteç, modülasyon üreteç gibi kısımlardan oluşmaktadır. Ana birimi sırasıyla RF üreteç, modülasyon üreteç ve yönlü eşleştirme kısımlarından oluşmaktadır.

5.1. Ana Birim

Şekil 5.1’de ana biriminin şekli gösterilmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi ana birim üç kısımdan oluşmaktadır. Bu kısımların gerekli ayarlamaları potansiyometrelerin yardımıyla yapılmaktadır.



Şekil 5.1. Ana birim

Test edilen anten için besleme sinyali RF üreteç tarafından iletilmektedir. RF üreteç yaklaşık olarak 750 MHz frekansında çalışmaktadır. Daha yüksek frekanslarda antenlerin boyutları küçüleceği için laboratuvar koşullarında daha az yer kaplamaları avantaj sağlamaktadır.

5.2. Modülasyon Üreteci

RF üreteç modülasyonu için yaklaşık olarak 2V (tepeden-tepeye,) genliğinde ve 1KHz frekansında genliği ayarlanabilen bir sinüs dalgası üretmektedir.

5.3. Yönlü Eşleştirme

İleri yönde (üreteçten antene) ve geri yönde (antenden üretece) güç akışının ayrılmasına izin verir. Bu bölüm deney süresince üreteçten yüke bir eşleme oluşmasını sağlar ve ayrıca anten için iletim hattında duran dalga oranının ölçülmesini sağlar.

5.4. RF Dedektör

Çalışma sırasında antenin örüntüsünü ölçmek ve belirlemek için kullanılmaktadır. 7.5 V değerinde bir adaptör yardımıyla enerjisi sağlanır. Yaklaşık olarak 25 cm lik bir BNC kablo kullanılarak alıcı bölüme doğrudan bağlanmaktadır. RF dedektör ekranında okunan değer dedektör üzerindeki potansiyometre yardımıyla kuvvetlendirilmektedir. Şekil 5.2 RF dedektörü göstermektedir.



Şekil 5.2. RF dedektör

Alınan RF modüleli işaret bir diyot dedektör yardımıyla demodüle edilebilir ve demodüleli sinyal dedektörün kırmızı ve siyah uçlarına bağlanan osiloskop gibi bir ölçüm cihazıyla izlenebilmektedir.

5.5. Verici Kısım

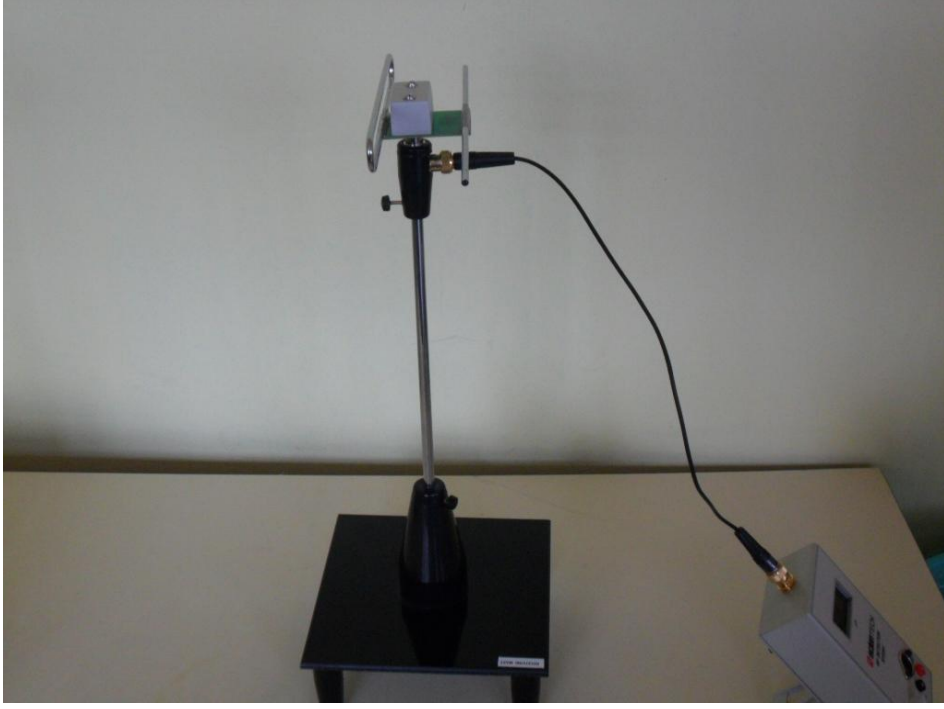
Verici kısım bir anten ve antenin yerleştirildiği bir de taban kısımdan oluşmaktadır. Ana birimin RF çıkışı 25 cm uzunluğundaki bir BNC kabloyla verici kısma bağlanmaktadır. Verici kısım üzerinde bir Goniometre bulunup bu ölçek motor yardımıyla 360 derecelik bir dönüş yapmaktadır. Şekil 5.3 verici kısmı göstermektedir.



Şekil 5.3 Verici kısım

5.6. Alıcı Kısım

Alıcı kısım da bir anten ve bir de antenin bağlandığı dönebilen bir bölümden oluşmaktadır. Alıcı kısmın ana bölümü (hareketli olan bölüm) BNC kablo kullanılarak RF dedektör girişine bağlanmaktadır. Gelen sinyaller alıcı anten tarafından alınarak ana bölümden RF dedektöre ulaşır. Şekil 5.4 alıcı kısım ile RF dedektör bağlantısını göstermektedir.



Şekil 5.4 Alıcı kısım bağlantısı

Şekil 5.5. alıcı ve verici kısmın ikisini birlikte çalışmaya hazır bir biçimde göstermektedir.



Şekil 5.5. Anten deney seti

5.7. Doğru Ölçüm Sonuçlarının Alınması İçin Dikkat Edilmesi Gereken Hususlar

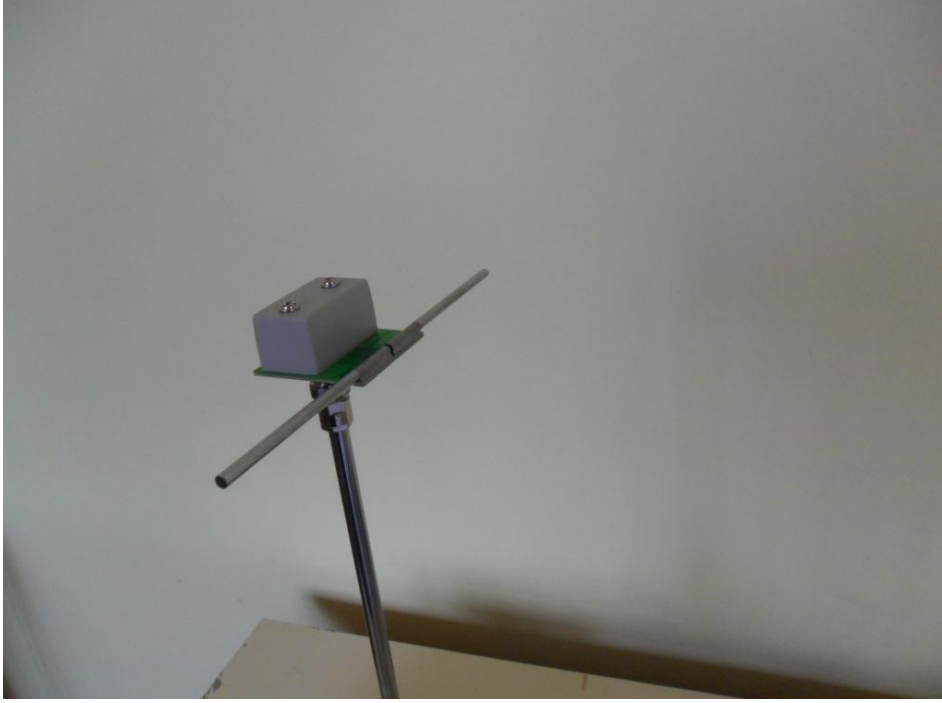
Anten deney setinden doğru ölçüm sonucu alınması için bazı önemli adımlara dikkat etmek gerekmektedir. Ölçüme başlamadan önce yapılacak olanlar adım adım şu Şekilde anlatılabilir.

- Motorlu verici birimle ana birimin bağlantılarından emin olunur. Ana birimle motorlu birim bir BNC kablo yardımıyla ana birimin RF çıkışından motorlu birimin (verici kısım) RF girişine bağlanır.
- Alıcı birimle motorlu birim arasındaki uzaklık, uzak alan bölgesinde ölçüm yapılacağı için uzak alanda ölçüm yapmak için olması gereken ölçüte göre ayarlanmalıdır. Bu ölçüt, denklem (3.3)'de belirtildiği gibi olmalıdır.
- RF dedektör ile alıcı birim BNC kablo kullanılarak alıcı birimden alınan sinyalin RF dedektör girişine verilmesi sağlanır.
- Motorlu kısımda verici antenin açısının sıfır derecede olduğuna dikkat edilmesi gerekmektedir.
- RF dedektörden alınan verilerin işlenmesi için 5 pinlik bir kablo RF dedektörden motorlu kısma gönderilmek üzere kullanılır.
- Alınan verilerin RPP2261 programında normalize edilmiş bir Şekilde çizdirilmesi için RS232 seri port yardımıyla motorlu birimden PC'ye gönderilmek üzere kullanılır.
- Bütün anahtarlar açılarak ana birimde okunan akım değeri kontrol edilir.
- RF dedektör kazanç potansiyometresi orta seviyeye alınır.
- Ana birimde bütün potansiyometrelerin konumu orta seviyede korunur. Ana birime enerji verildikten sonra ana birim ekranında 100 uA değeri okunana kadar yönlendirmeli eşleştiricinin potansiyometresiyle gerekli ayarlamalar yapılır. Alıcı kısımda RF dedektör ekranında okunan değer ana birimde okunan değer $\frac{3}{4}$ 'ü okunana kadar RF dedektör potansiyometresiyle gerekli ayarlamalar yapılır.

5.8. Deney Setinde kullanılacak olan antenler

Deney setinden dört anten HFSS programında tasarlanmak üzere kullanılmıştır. Bu antenler yarım dalga boyundaki dipol anten, yarım dalga boyundaki katlanmış dipol anten,

5-elemanlı yagi anten ve 7 elemanlı yagi antendir. Şekil 5.6’da yarım dalga boyundaki dipol anten görülmektedir.



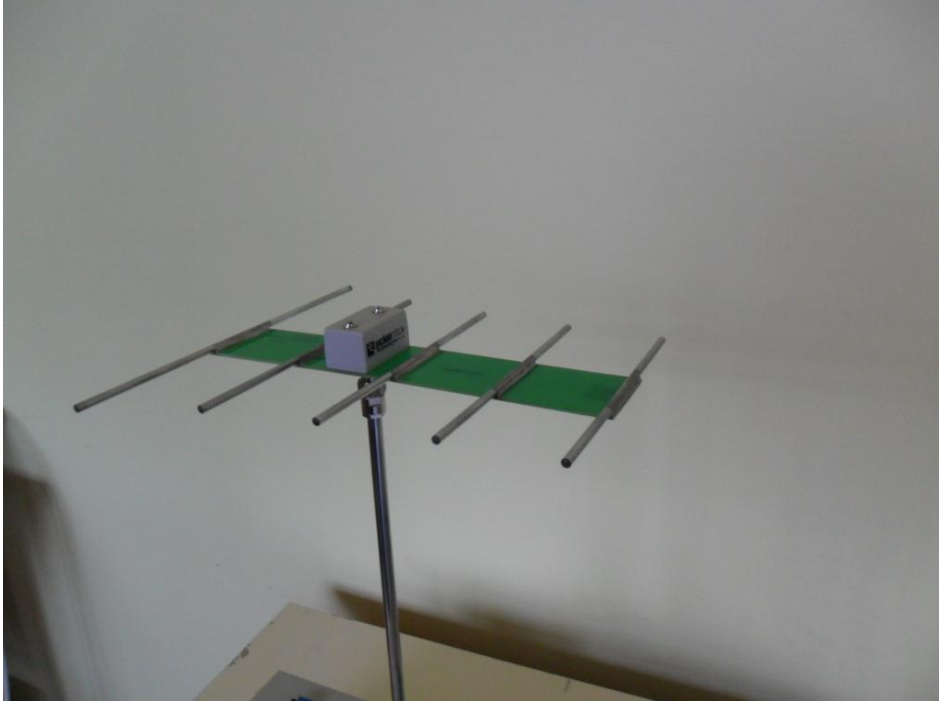
Şekil 5.6. Yarım dalga boyundaki dipol anten

Şekil 5.7’de yarım dalga boyundaki katlanmış dipol anten görülmektedir.



Şekil 5.7. Katlanmış dipol anten

Şekil 5.8’de 5 elemanlı yagi antenin görüntüsü verilmektedir.



Şekil 5.8. 5 elemanlı yagi anten

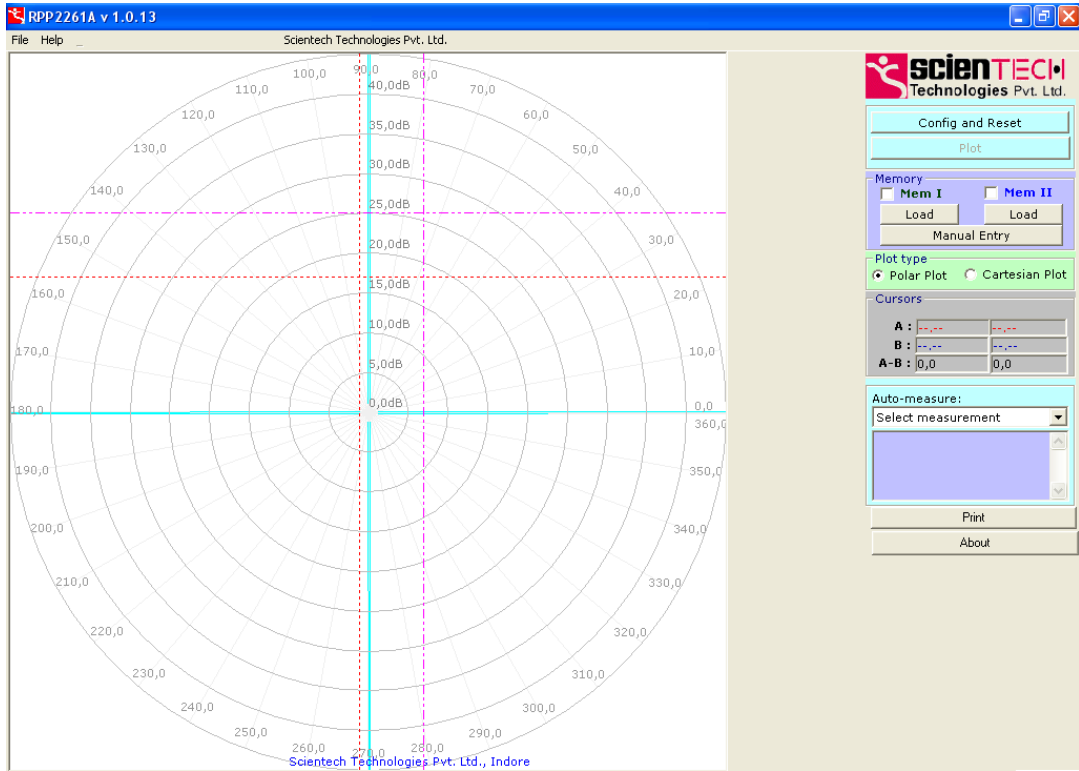
Şekil 5.9’da 7 elemanlı yagi anten görülmektedir.



Şekil 5.9. 7 elemanlı yagi anten

5.9. RPP2261A Arayüz Programı

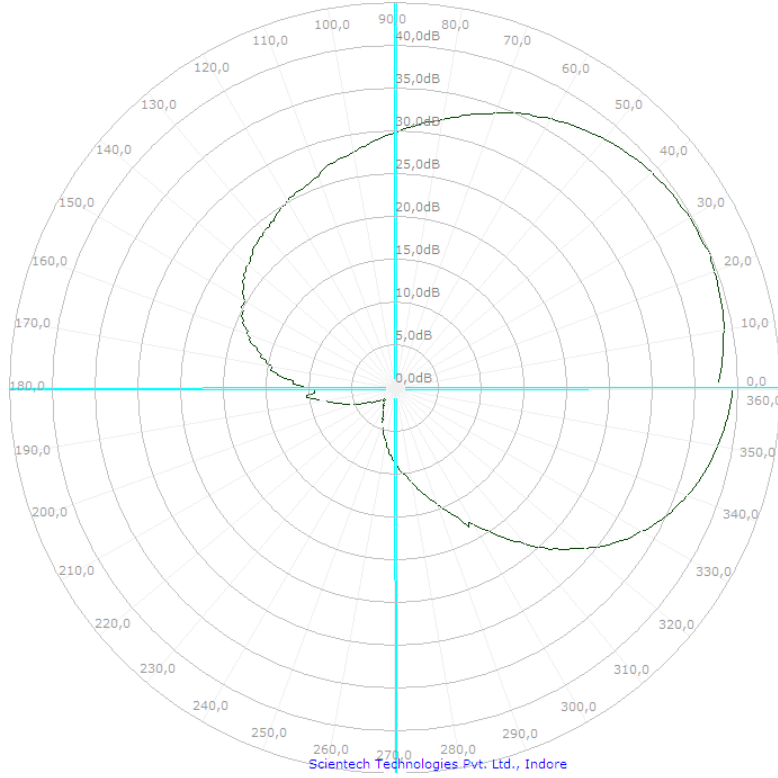
RPP2261A program arayüzü PC ile motorlu anten seti arasında bilgi alışverişi için önem arz eden bir programdır. Ana birim, RF dedektörden aldığı akım bilgilerini işleyerek normalize eder ve bu program sayesinde ekranda bir örüntü oluşturur. Elde edilen örüntüde en yüksek akım değeri 40 dB noktasını göstererek diğer akım değerleri için normalize edilmiş değerler çizdirilir. Burada gösterilen 40 dB'nin kazanç ifadesidir. Programın arayüzü Şekil 5.10'da görüldüğü gibidir.



Şekil 5.10. RPP2261A programı

Ana birim anahtarı açıldıktan sonra program donanımı görmektedir. Config and reset butonuyla antenin 0 derece konumunda olup olmadığı anlaşılmaktadır. Plot butonu kullanılarak antenin örüntüsü çizdirilmektedir.

Daha önce kaydedilen örüntüleri izleyebilmek için load butonuyla açılan pencerede istenilen dosyadaki veriler ekranda çizdirilebilmektedir. Yarım dalga boyundaki bir dipol anten için gerekli konfigürasyon ayarları yapıldıktan sonra elde edilen akım ile derece arasındaki örnek bir örüntü Şekil 5.11'de olduğu gibidir.



Şekil 5.11. RPP2261A programında çizdirilen örnek örüntü

5.10. Anten Ölçüm Teknikleri

Bir antenin gerçek performansını tahmin edebilmek için doğru ölçümlerin yapılabilir olması çok önem arz etmektedir. Kazanç, örüntü, polarizasyon, verimlilik gibi parametreler anten ölçümlerinin yapılmasıyla elde edilebilir. Antenlerin kişisel ve mobil haberleşmelerde, uydu haberleşmelerinde, uzaktan algılama ve radar sistemleri gibi uygulamalarda önemli parametre özelliklerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bir radyo link anteninin belirli bir kazanç, yan lob seviyesi ve kesit-polarizasyon gereksinimi parametrelerinin değerleri örnek olarak verilebilir.

Birçok durumda anten parametreleri teoriksel olarak çok doğru bir şekilde hesaplanabilmektedir. Ancak çok karmaşık anten durumları için bu durum mümkün olmayabilir. İdeal bir antenin özellikleri önemli bir ölçüde hesaplanabilse de gerçek dünyadaki çalışma performansı, üretim hatası veya üretim toleransı nedeniyle ölçümlerle kontrol edilmesi zorunlu hale gelmektedir [23].

En yaygın olan anten ölçümü, uzak alanda yönlülük, kazanç, elektrik alan örüntüsü gibi ışıma özelliklerinin ölçümüdür. Ölçümlerdeki temel prosedür alıcı veya verici

durumundaki ölçümü yapılacak olan antenin farklı konumlarda ölçümlerinin alınmasıdır [42].

Anten ölçümünde dikkat edilmesi gereken konulardan birisi de antenin çalışma bölgesinin belirlenmesidir. Çünkü uzak alanda alınması gereken ölçüm sonuçlarının yakın alan için alınmış olması yanlış yorumlamalara neden olmaktadır. Bu yüzden deneysel ölçümler yapılırken göz önünde bulundurulması gereken hususlar sıralanırsa en önemlisi örüntü ölçümleri için uzak alan bölgesi aralığının referans olarak alınmasıdır. Bu uzaklık bir önceki bölümlerde de anlatıldığı gibi $r > 2D^2/\lambda$ olmaktadır. Bu uzaklık ayrıca yansımalarından oluşacak parazit sinyallerin de antene ulaşmasını engelleyecektir.

Bir antenin kazanç ölçümünde mutlak-kazanç ve kazanç-karşılaştırılması olmak üzere iki teknik kullanılmaktadır [23]. Tez çalışmasında kazanç karşılaştırması tekniği kullanılmıştır. Bu teknikte kazancı bilinen bir anten alıcı kısma yerleştirilir ve ölçülen güç kaydedilir. Daha sonra kazancı bilinmeyen anten alıcı kısma yerleştirilerek alınan güç kaydedilir. G_T test altındaki bir antenin kazancı, G_s de standart antenin kazancı olmak üzere standart antenin kazancı denklem 5.1’de görüldüğü gibi hesaplanmaktadır [23].

$$(G_T)_{dB} = (G_s)_{dB} + 10 \log_{10} \left(\frac{P_T}{P_s} \right) \quad (5.1)$$

ST2261A setinin akım değerlerinin dB ye dönüştürülürken kullanıldığı bir dönüşüm bulunmaktadır[43]. Akımın dB olarak dönüşümü denklem (5.2)’de görüldüğü gibidir [43].

$$20 * \log_{10}(\text{akım}) = \text{akım [dB]} \quad (5.2)$$

Yapılacak olan ölçümde iki antenin maksimum akım değerleri kaydedilerek bu değerler dB dönüştürülür. Kazancı bilinen yarım dalga boyundaki antenin kazancı referans alınarak (2.14 dB) denklem 5.2’deki dönüşümden de faydalanılarak katlanmış dipol, 5 elemanlı Yagi-Uda ve 7 elemanlı Yagi-Uda antenlerin kazançları hesaplanabilmektedir.

6. YÜKSEK FREKANS YAPI SİMÜLATÖRLERİ KULLANILARAK ANTEN TASARIMI

6.1. Yüksek Frekans Yapı Simülatörleri

Bu çalışmada elde edilen sonuçları karşılaştırabilmek için iki adet yazılım kullanılmıştır. Bu programlardan bir tanesi Ansoft firmasının üretmiş olduğu HFSS programı yüksek frekanslarda çalışan bir simülatör programıdır. Diğer program ise NEC2 (Numerical Electromagnetics Code: Sayısal Elektromanyetik kod) programıdır.

Kullanılan programlar anten tasarımı, RF/mikrodalga bileşenleri, PCB bağlantıları gibi çok geniş alanlarda uygulaması olan simülatörlerdir. HFSS programının alt yapısında kullanılan bir sayısal yöntem bulunmaktadır. HFSS programı sonlu elemanlar yöntemini kullanarak problem uzayını çözüme gitmektedir. HFSS programının kullandığı çözüm düzlemi Şekil 6.1’de görüldüğü gibidir.

Literatürde HFSS programıyla yapılan birçok çalışma bulunmaktadır. RFID tag anten tasarımı için kullanılmıştır. Bu tasarımda UHF RFID sistemlere uygulanmak için anten tasarımı yapılmıştır. Anten için kazanç, geri dönüş kaybı HFSS programıyla sonuçlandırılıp hat eşlemesi program üzerinde gerçekleştirilmiştir[44].

Geniş bantlı E şeklinde bir mikroşerit anten tasarımında HFSS programı kullanılarak anten için kullanılan slotlarla bant genişliğini artırma yoluna gidilmiştir. Bant genişliğinin yanında anten için olması gereken kazanç HFSS programında gösterilmiştir [45].

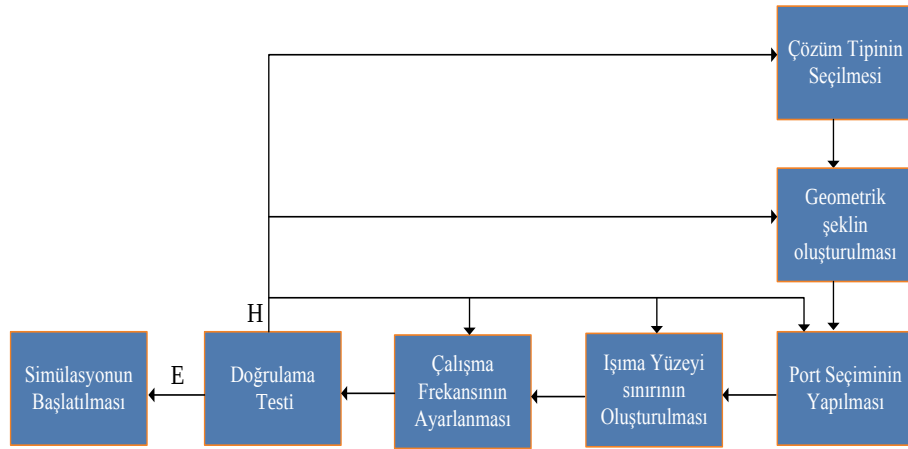
Mikroşerit yama anten beslemesi için 9 GHz çalışma frekansı için bant genişliği analizi yapılmıştır. Geri dönüş kaybı için birçok anten parametresinin etkisi incelenerek anten kazancı HFSS programı kullanılarak elde edilmiştir [46].

Yapılan çalışmada NEC2 (Numerical Electromagnetics Code: Sayısal Elektromanyetik kod) programı HFSS simülasyon sonuçlarını karşılaştırma amaçlı olarak kullanılmıştır. NEC2 programı moment yöntemini kullanan bir programdır.

6.2. Yarım Dalga Boyundaki Dipol Antenin HFSS Programı Kullanılarak Tasarımı

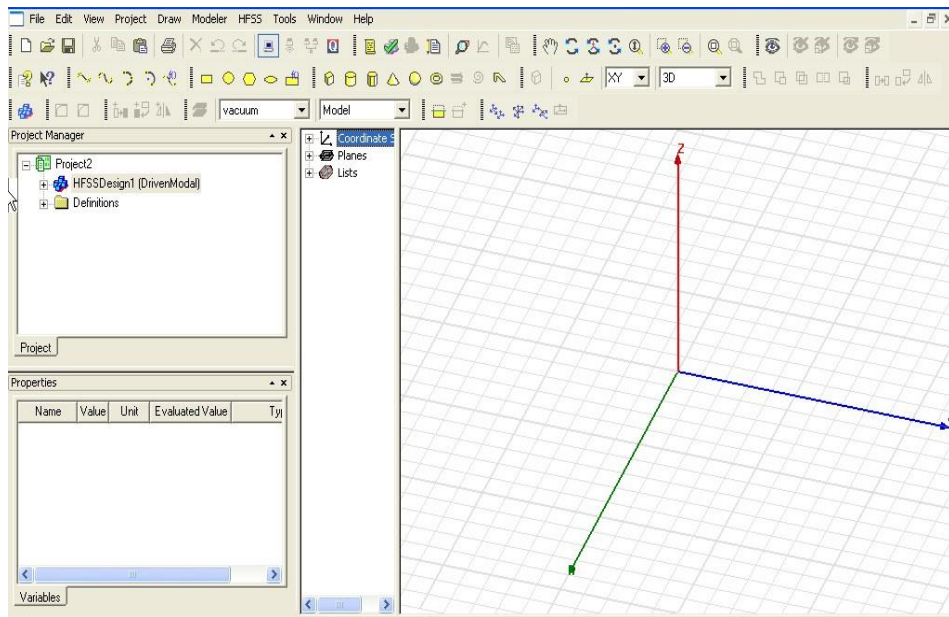
Tasarımı yapılacak olan yarım dalga boyundaki dipol anten SCIENTECH firmasının üretmiş olduğu ST2261A setinde bulunan antendir.

Anten yarım dalga boyunda ve Anten çalışmasının optimum olduğu frekans 750 MHz'dir [43]. Bu frekans için dalga boyunun 0,4 m olarak elde edildiği görülmüştür. Pratikte bu değer istenilen değer olmayıp tasarlanan antenin boyu daha kısa olmaktadır. Deney setinde yer alan yarım dalga boyundaki antenin besleme boşluk uzunluğu ve yarıçapı 0,2 cm olmak üzere gerçek uzunluğu 17,2 cm'dir. Şekil 6.1 HFSS programında yapılacak olan tasarımın akış diyagramını göstermektedir.



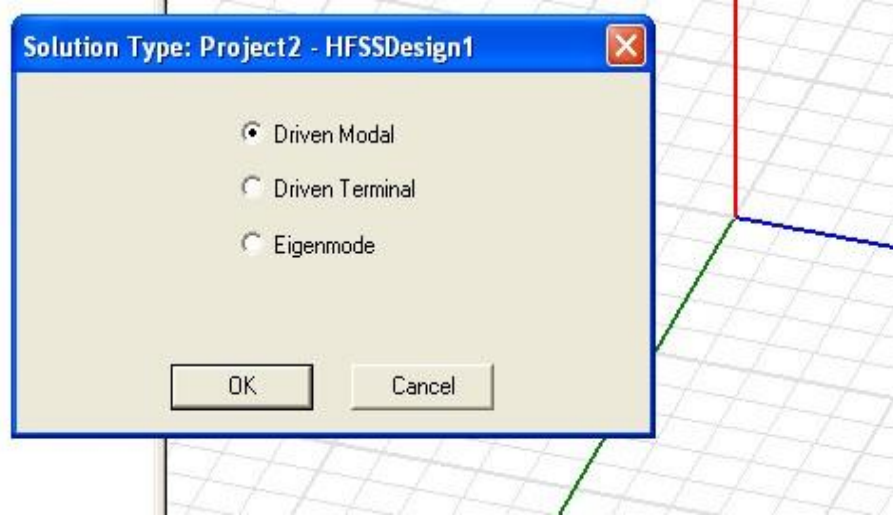
Şekil 6.1. HFSS programının akış şeması

Şekil 6.2'de HFSS programının tasarım sayfası görülmektedir.



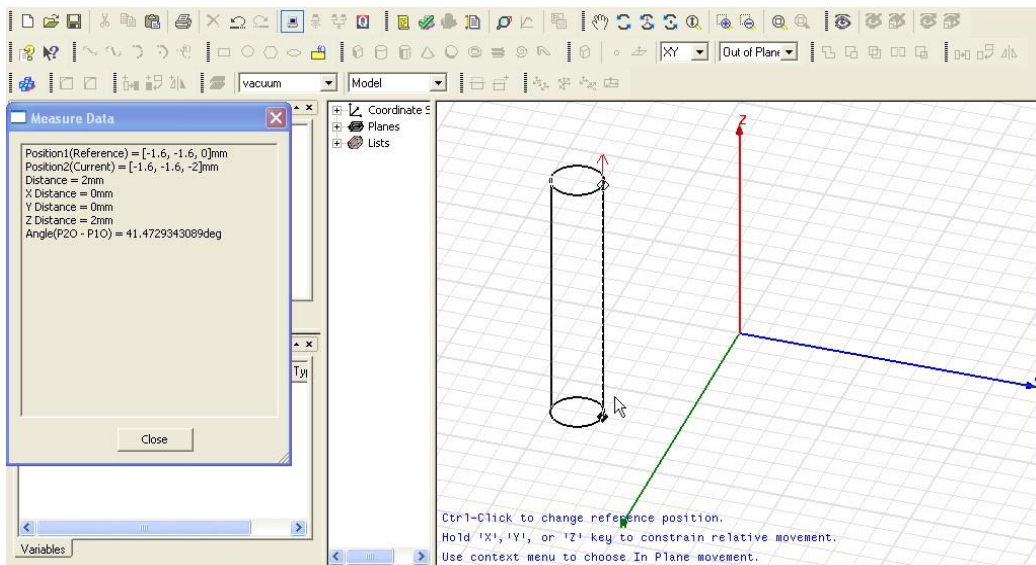
Şekil 6.2. HFSS programı görüntüsü

Tasarıma geçilmeden önce analizi yapılacak olan yapının tipine göre değişen bir çözüm tipinin seçilmesi önemli bir husustur. HFSS menüsü altında solution type seçilerek Şekil 6.3'deki gibi açılan pencereden driven model seçilir.



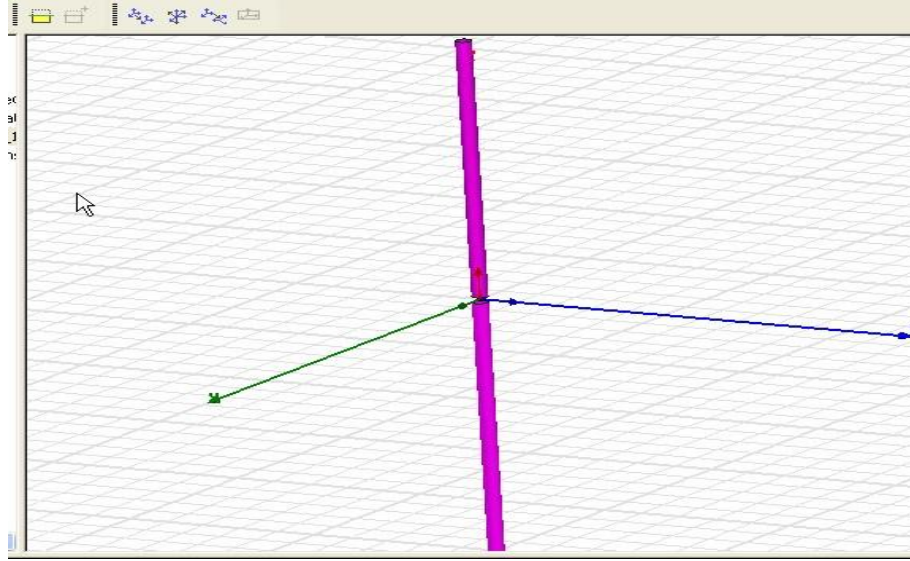
Şekil 6.3. Çözüm tipinin seçimi

Antenimizin şekline göre Şekil 6.4'te de görüldüğü gibi Şekiller ve özellikler menüsünden istenilen Şekil seçilir. Bu uygulamada yarım dalga boyundaki bir antenin tasarımı gerçekleştirileceği için silindir ile daha uygun Şekil elde edilebilir. Şekil 6.4 geometrik olarak silindirin şeklini göstermektedir.



Şekil 6.4. HFSS programında geometrik şekillerin uygulanması

Şekil 6.4'ten de görüldüğü gibi silindirin ölçüm verileri ekranın sol tarafında açılan pencereden izlenebilmektedir. Tasarım aşamalarını kolayca gerçekleştirebilmek için silindiri XY düzlemine yerleştirip Z düzlemi boyunca uzunluk ölçüsünün verilmesi daha uygun görülmüştür. Şekil 6.5, iki silindir ile birlikte oluşturulan basit bir dipol anten görüntüsü vermektedir.

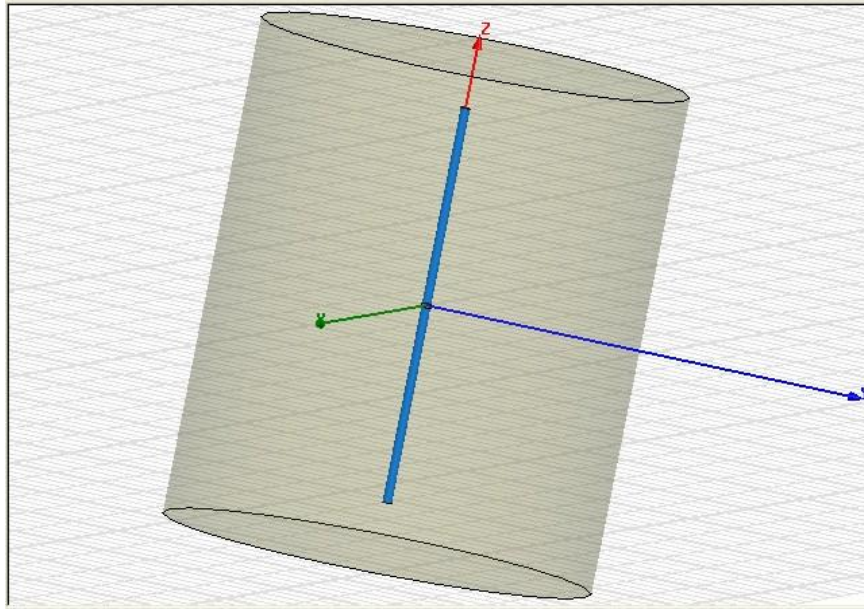


Şekil 6.5. Basit bir dipol anten görüntüsü

Şekil 6.5.'ten de görüldüğü gibi antenin iletim hattına bağlanması için bir port ayarlaması gerekmektedir. Kullanılacak olan iki tip porttan tasarımımıza uygun olan lumped port olduğu için bu port seçilir. Kullanılacak olan bir diğer port ise wave porttur. Lumped portu seçilmesindeki asıl neden ışıma kutusu içerisinde port oluşturmamızdır. Eğer ışıma kutusu üzerinde bir port oluşturulması gerekiyorsa o zaman wave portun kullanılması daha uygun olacaktır. Çünkü anten analizi ile birlikte mikroşerit hattın analizi de yapılmış olacaktır. Wave port iletim hattının kesitine göre alan dağılımını da analiz etmektedir.

Port seçiminden sonra bir ışıma kutusunun oluşturulması gerekir. Işıma kutusunun alacağı geometrik Şekil ile tasarımı yapılan antenin geometrik şeklinin benzerlik göstermesi alınacak simülasyon sonuçlarının daha doğru olmasına olanak tanımaktadır. Tasarımı yapılan anteni silindir ile oluşturduğu için ışıma kutusunun da silindir ile oluşturulması simülasyon sonuçlarının daha doğru çıkmasını sağlayacaktır. Şekil 6.6 ışıma kutusuyla birlikte oluşturulan antenin son tasarım halini göstermektedir. Işıma kutusu

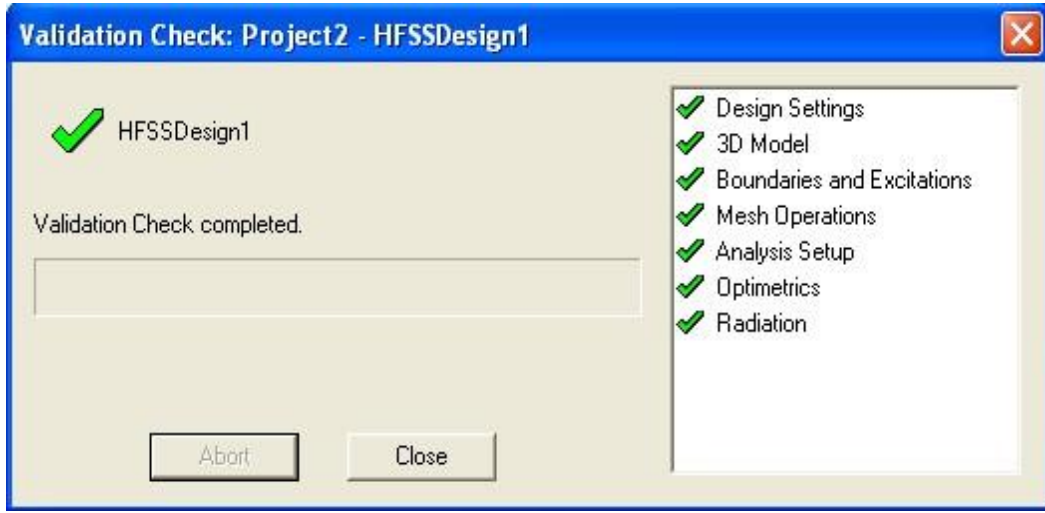
oluşturulduktan sonra ışıma yüzeyi olarak atanmasına ait işlemler simülatör programında özellikle belirtilmelidir. Işıma kutusu seçilerek “assign boundary” menüsünden “radiation” seçilir. Bu yüzey için ışıma yüzeyi seçildikten sonra artık çözüm için kullanılacak θ ve ϕ açı değerlerinin aralıklarının belirlenmesi gerekecektir. Bu açı değerlerinin arasındaki değerlerin küçük yada büyük olması tasarımdan alınacak verilerin az yada çok olmasını belirlemektedir.



Şekil 6.6. HFSS programında oluşturulan $\lambda/2$ dipol anten

Bu aşamaya kadar olan bölümlerde antenin geometrik şekli ve tasarımda kullanılan geometrik Şekillere yer verilmiştir. Tasarımı yapılan bu anten için kullanılacak frekansın ve analizin yakın alan için mi yoksa uzak alan için mi olacağı ile ilgili parametrelerin ayarlanması son derece önem taşımaktadır. Yapılan tez çalışmasında antenlerin kazanç, elektrik alan ifadelerinin ölçülmesine yer verildiği için bu parametreler için uygun olan çalışma ifadesi uzak alan ifadesidir. Uzak alan parametreleri için gerekli ayarlamalar yapıldıktan sonra en önemli parametrelerden birisi olan çalışma frekansının atanması da çok önemlidir. Çünkü çalışma frekansı oluşturulan ışıma yüzeyinin boyutlarından anten boyutlarına kadar tasarımdaki geometrik Şekilleri etkileyen bir parametredir. Işıma yüzeyinin boyutları oluşturulurken çalışma frekansının önemli olmasının nedeni aslında Oluşturulan ışıma kutusu analizi yapılacak olan geometriden en az dalga boyunun dörtte biri kadar uzaklıkta olmalıdır[47].

Bölüm 6.2.'de tasarımı yapılacak olan antenin çalışma frekansının 750 MHz olduğu görülmüştür. Bu doğrultuda tasarımın frekansı 750 MHz olarak ayarlanıp çalışmanın doğru simülasyon sonuçları açısından optimum çalışma frekansı bölgesinde frekans değerinin artırımı veya azaltımı çok düşük aralıklarla gerçekleştirilmelidir. Bütün parametre ayarları yapıldıktan sonra tasarım doğrulama testine tabi tutularak varsa eksiklikler düzeltilmelidir. Şekil 6.7 doğrulama testini göstermektedir.

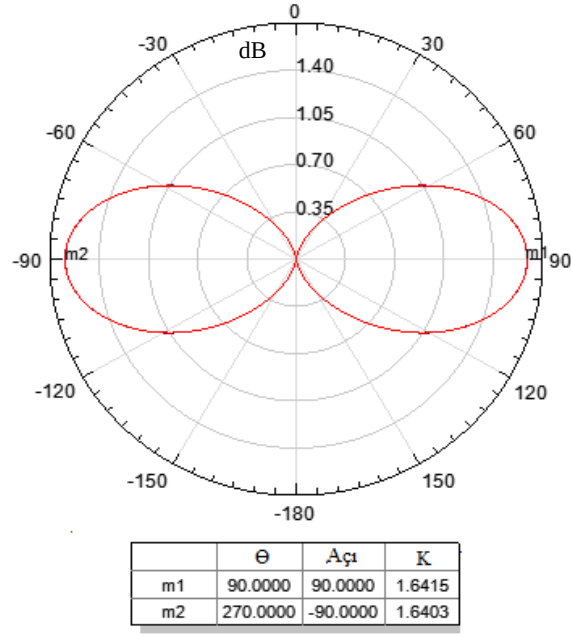


Şekil 6.7. HFSS programında tasarımın doğrulama testi

Doğrulama testi başarılı olursa simülasyon başlatılır ve tasarımdan istenilen sonuçlar gözlemlenir.

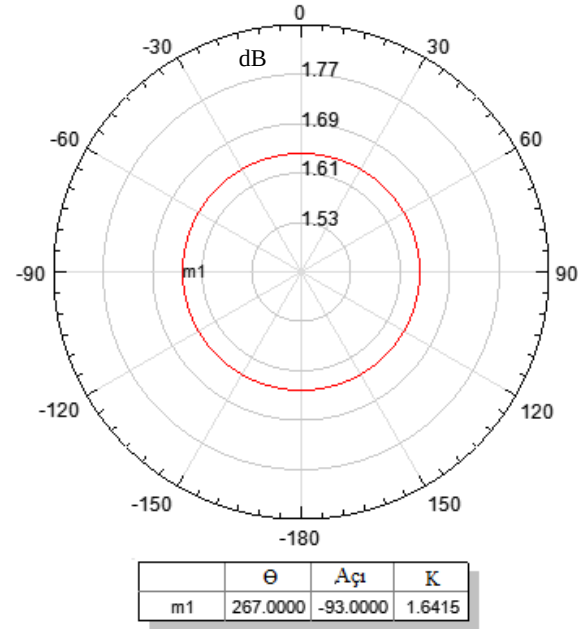
6.3. Yarım Dalga Boyundaki Dipol Anten için Simülasyon Sonuçları

Bölüm 4.3'de yarım dalga boyundaki bir dipol antenin maksimum kazancının 1.64 olduğu görülmüştür. Bu değer desibel olarak 2.14 dB'ye karşılık gelmektedir. HFSS programında oluşturulan yarım dalga boyundaki dipol anten Şekil 6.6'da görülmektedir. Bu dipol anten için simülasyon sonuçlarından çıkarılan kazanç ifadesinin açısız olarak değişimi Şekil 6.8'de verilmiştir.



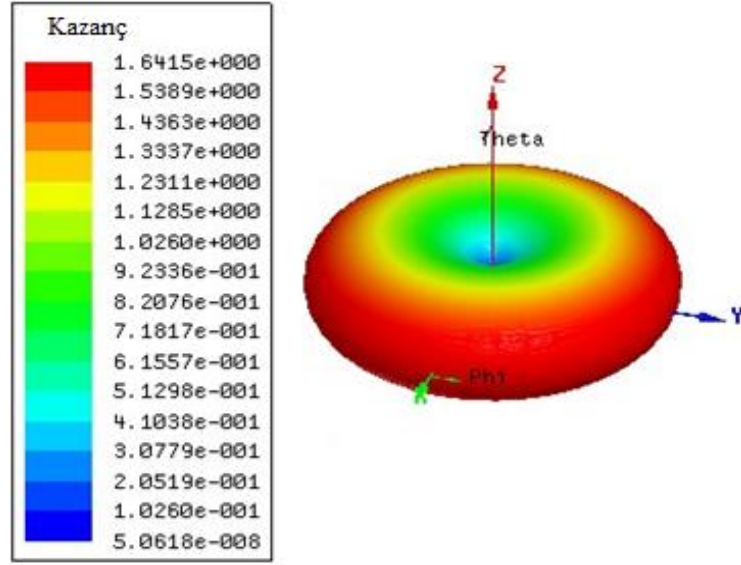
Şekil 6.8. Yarım dalga boyundaki dipol antenin kazanç örüntüsü

Şekil 6.9’da dipol antenin kazancının maksimum olduğu değer daha belirgin olarak görülmektedir.



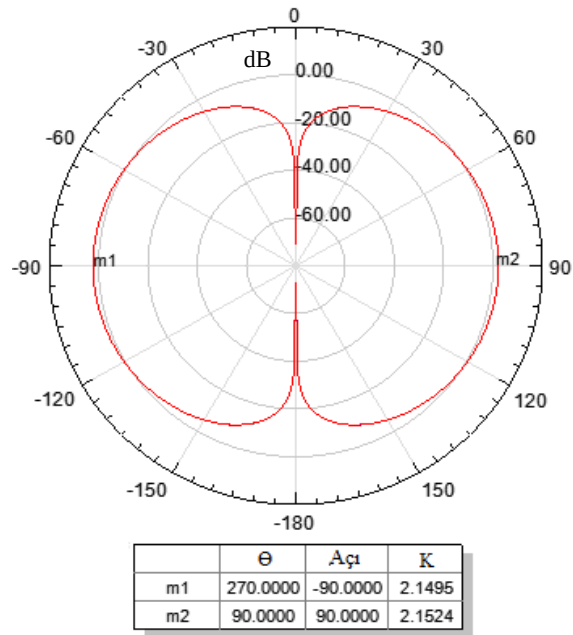
Şekil 6.9. Yarım dalga boyundaki dipol antenin maksimum kazanç değeri

Şekil 6.10 kazancın polar sonucunu göstermektedir.



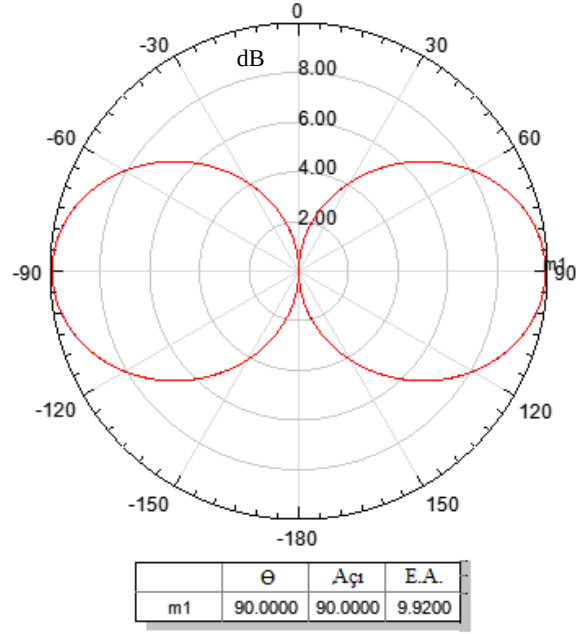
Şekil 6.10. Yarım dalga boyundaki dipol antenin polar kazanç görüntüsü

Yarım dalga boyundaki dipol antenin kazanç örüntüsünün dB ifadesi açısal olarak değişimle birlikte Şekil 6.11’de görülmektedir.



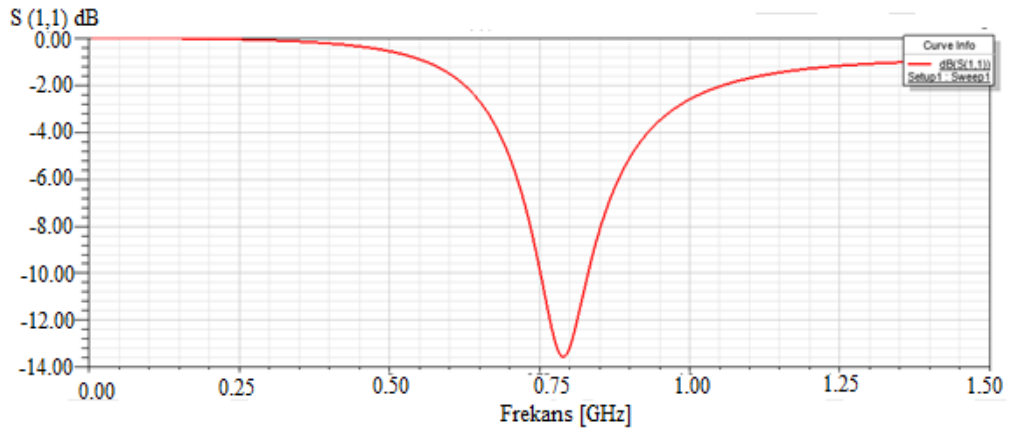
Şekil 6.11. Yarım dalga boyundaki dipol antenin dB ölçekli kazanç örüntüsü

Yarım dalga boyundaki dipol antenin elektrik alan örüntüsü Şekil 6.12’de görüldüğü gibidir.

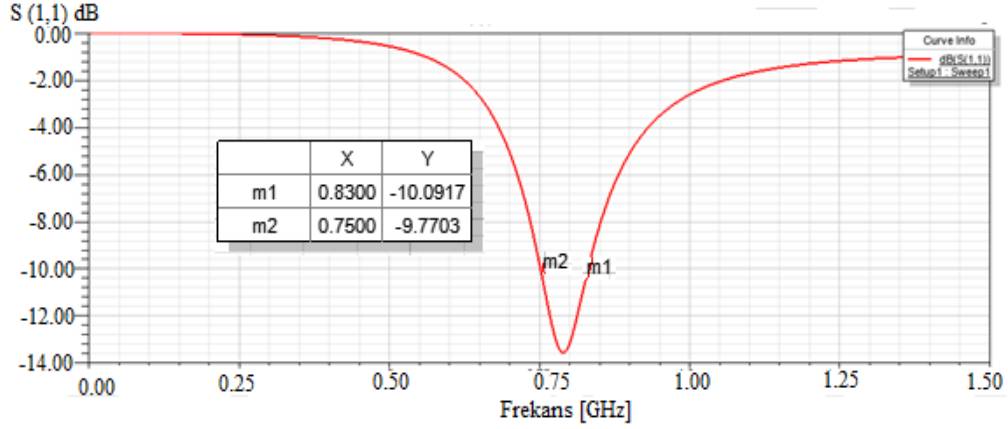


Şekil 6.12. Yarım dalga boyundaki dipol antenin elektrik alan ışıma örüntüsü

Şekil 6.13 tasarlanan antenin S(1,1) parametre grafiğinden rezonansa gelme frekansını göstermektedir. Çalışma frekansı grafikten de görüldüğü gibi 750 MHz civarındadır.

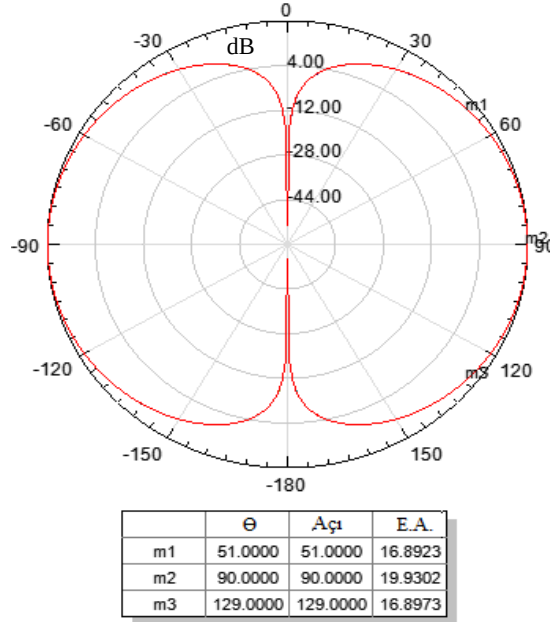


Şekil 6.13. Yarım dalga boyundaki dipol antenin S(1,1) parametresi



Şekil 6.14. Yarım dalga boyundaki dipol antenin bant genişliği

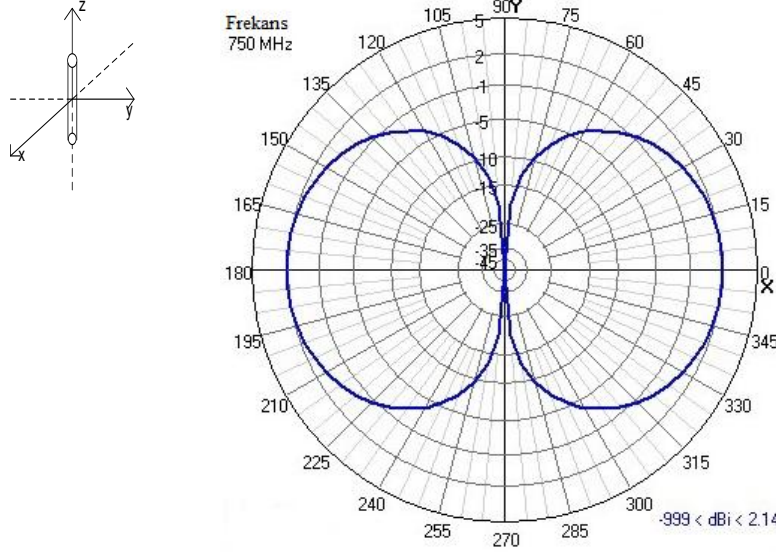
Şekil 6.14 dipol antenin bant genişliğini gösteren iki boyutlu bir simülasyon sunucudur. -10 dB noktalarında elde edilen sonuçlar incelenecek olursa yarım dalga boyundaki dipol antenin bant genişliğinin yaklaşık olarak 80 MHz olduğu görülmektedir. Yarım dalga boyundaki dipol antenin 3 dB ışıma genişliği yaklaşık olarak 78 derecedir. Şekil 6.15 yarım dalga boyundaki dipol anten için ışıma genişliğini göstermektedir. Şekil 6.15'ten de görüldüğü gibi tasarımdan elde edilen ışıma genişliği teorik değer ile eşit çıkmaktadır. Şekil elektrik alan ışıma örüntüsünün dB ölçekli olarak gösterimidir.



Şekil 6.15. Yarım dalga boyundaki dipol antenin 3 dB ışıma genişliği

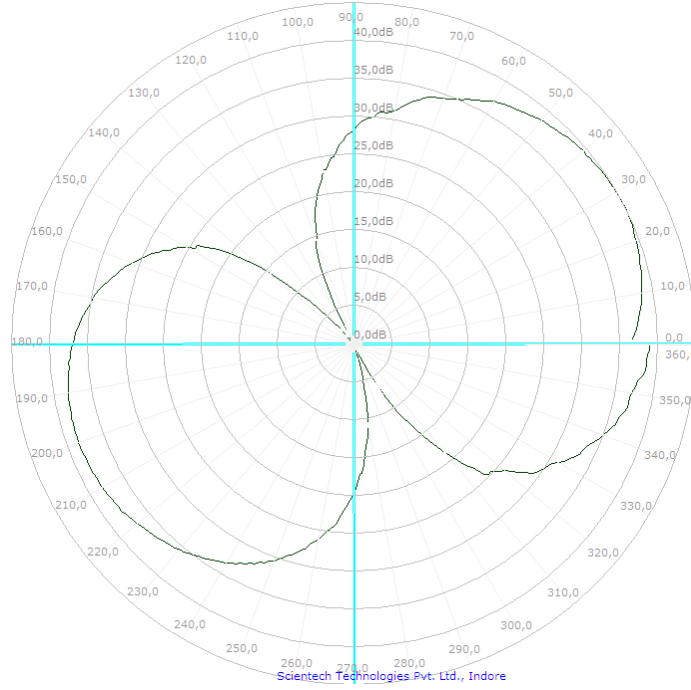
Antelerin kazançlarını doğru bir şekilde hesaplayabilmek için antenlerin kazancı NEC2 programıyla da hesaplatılmıştır. Kullanılan NEC2 programı problem uzayını MoM

yöntemi kullanarak çözmektedir. Şekil 6.16’da da görüldüğü gibi yarım dalga boyundaki bir dipol antenin kazancı 2.14 dB olarak çıkmaktadır.



Şekil 6.16. NEC2 programında yarım dalga boyundaki antenin simülasyon sonucu

RPP2261 programı kullanılarak çizdirilen örüntüler, akım-derece değişimine göre RF dedektörden alınan en büyük akım değeri referans olarak çizdirilmektedir. Alınan akım değerleri programda dB’ye çevrilirken en büyük akım değerinin dönüşümü 40 dB olarak alınmakta olup diğer akım değerleri de bu Şekilde normalize edilip çizim yapılmaktadır. Gerçekte ideal bir yarım dalga boyundaki anten için olması gereken kazanç değeri 2.14 dB civarında olması gerekirken bu programda en yüksek akım değerinin 40 dB olarak normalize edilmesinden dolayı bu kadar yüksek bir değer görülmektedir. Bu program sayesinde sadece akımın derece ile belirli bir katsayı çerçevesinde değişimi izlenmektedir. Yarım dalga boyundaki bir anten için oluşan örüntü Şekil 6.17’de görüldüğü gibidir.



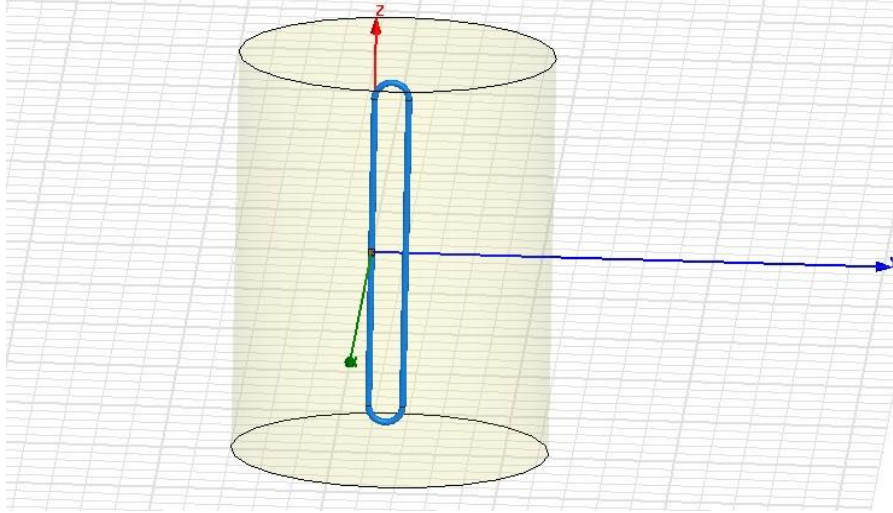
Şekil 6.17. Yarım dalga boyundaki dipol antenin RPP2261A’da çizimi

Şekil 6.17’de akım ile derece arasındaki değişimi ve maksimum akım değerinin 30 derece civarında olduğu görülmektedir. 30 derecenin 180 derece ilerisinde de simülasyon sonuçları incelendiğinde maksimum değer elde edilmesi gerekirken farkın nedeni verici antenin 180 derece döndüğünde alıcı ile arasındaki mesafenin 3 cm civarında bir artış göstermesidir. Mesafe artınca RF dedektörden alınan akım değeri de düşmektedir

.

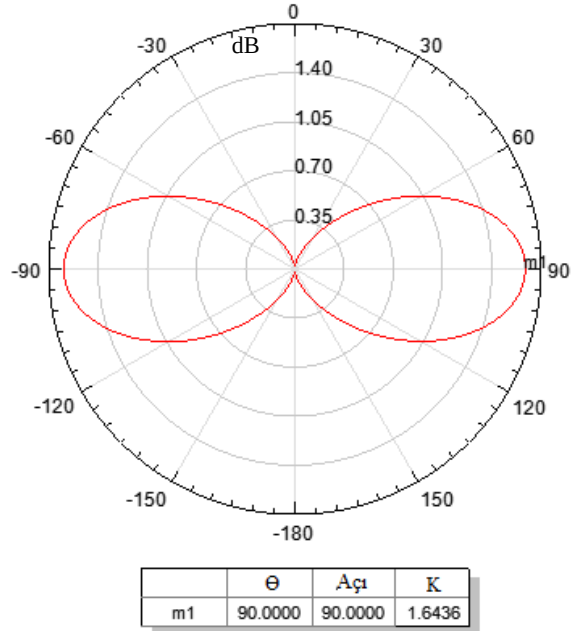
6.4. Yarım Dalga Boyundaki Katlanmış Dipol Antenin Simülasyon Sonuçları

Programda oluşturulan yarım dalga boyundaki katlanmış dipol antenin geometrik şekli Şekil 6.17’de görülmektedir. Bölüm 4.2’de bahsedildiği gibi yanlardan kavis verilerek oluşturulan bu anten için kazanç, elektrik alan ışıma örüntüsü gibi parametrelerde kenarlardaki kavislerden dolayı 0 derece ve 180 derece noktalarında farklılıklar olacaktır.



Şekil 6.18. Programda oluşturulan katlanmış dipol anten geometrisi

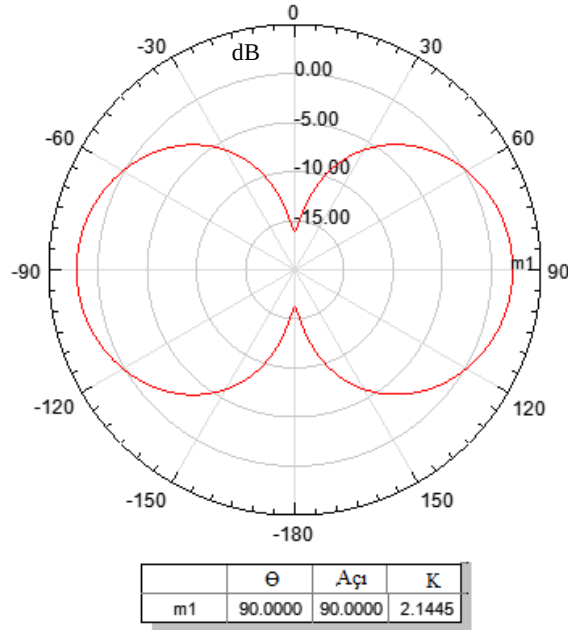
Yarım dalga boyundaki dipol antenle katlanmış dipol antenin kazanç, elektrik alan ışıma eğrisi gibi bazı parametreleri yakınlık göstermektedir. Ayrıca yarım dalga boyundaki dipol antenin giriş direnci yaklaşık olarak 73Ω olduğu teorik olarak bulunmuştur. Katlanmış dipol anten için ise bu sonuç $73\Omega \times 4 = 292\Omega$ olarak bulunmuş olup yaklaşık olarak 300Ω olarak alınabilir. Şekil 6.19 yarım dalga boyundaki dipol anten için kazanç parametresinin örüntüsünü göstermektedir.



Şekil 6.19. Yarım dalga boyundaki katlanmış dipol antenin kazanç örüntüsü

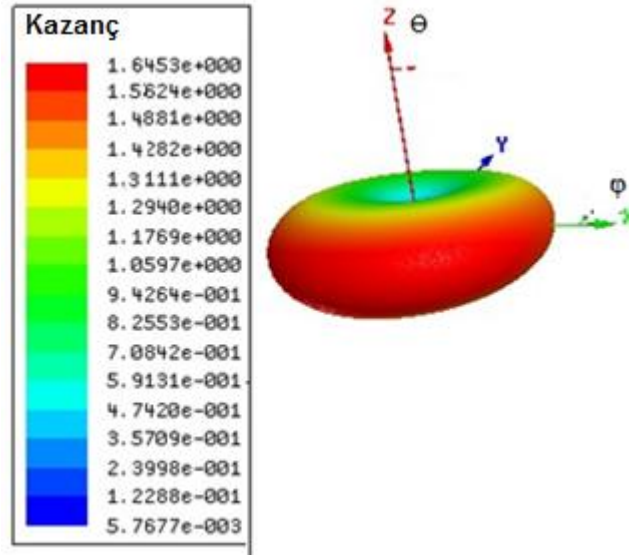
Şekil 6.20 ve 6.22 incelendiğinde yarım dalga boyundaki dipol antenle katlanmış dipol antenin kazanç değerlerinin birbiriyle benzerlik gösterdiği görülecektir. Şekil 6.20’de

yarım dalga boyundaki katlanmış dipol anten için kazanç örüntüsünün dB ölçekli olarak çizimi görülmektedir.



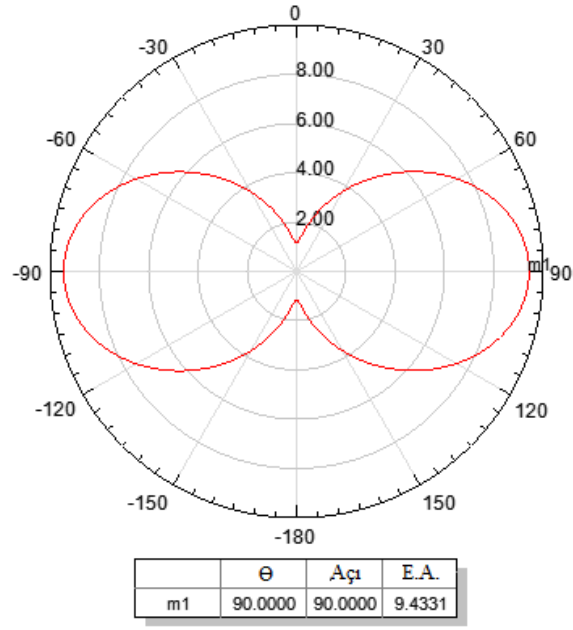
Şekil 6.20. Yarım dalga boyundaki dipol antenin dB ölçekli kazanç örüntüsü

Şekil 6.21 katlanmış dipol antenin 3 boyutlu olarak çizdirilmiş kazanç örüntüsünü göstermektedir.



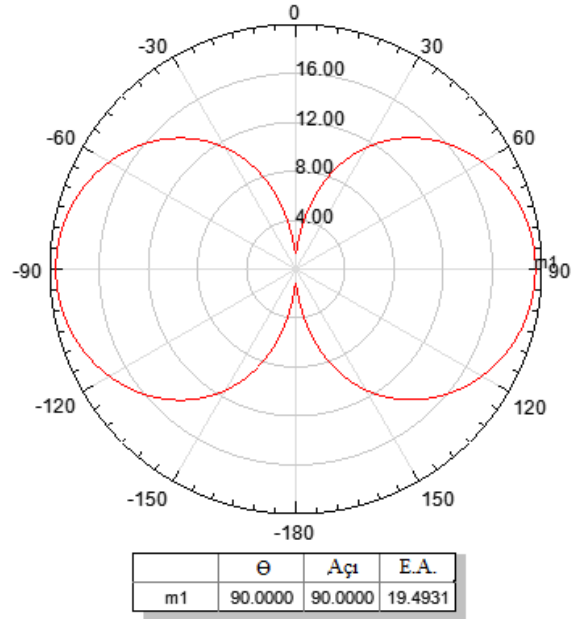
Şekil 6.21. Yarım dalga boyundaki katlanmış dipol antenin 3D kazanç örüntüsü

Şekil 6.22 yarım dalga boyundaki katlanmış dipol anten için elektrik alan ışıma örüntüsünü göstermektedir.



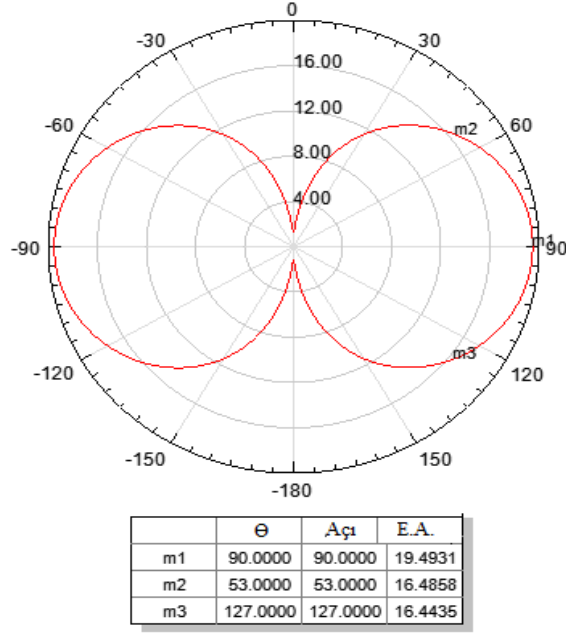
Şekil 6.22. Yarım dalga boyundaki katlanmış dipol anten için elektrik alan örüntüsü

Şekil 6.23 ise yarım dalga boyundaki katlanmış dipol anten için elektrik alan ışıma örüntüsünü dB ölçekli olarak göstermektedir.



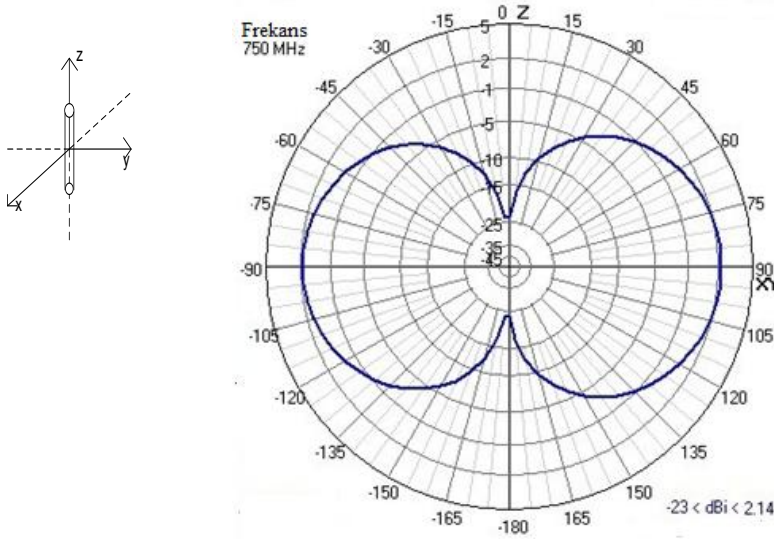
Şekil 6.23. Katlanmış dipol anten için dB ölçekli elektrik alan ışıma örüntüsü

Şekil 6.24 katlanmış dipol anten için 3 dB ışıma genişliğini göstermektedir.



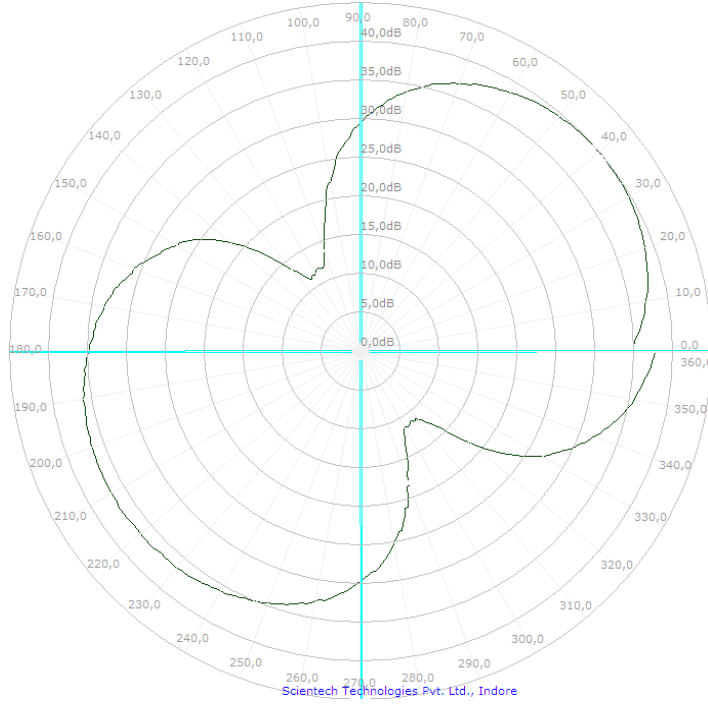
Şekil 6.24. Katlanmış dipol anten için dB ölçekli elektrik alan ışıma örüntüsü

Karşılaştırmak için NEC2 programında tasarımı yapılan katlanmış dipol antenin kazanç örüntüsü Şekil 6.25’te görüldüğü gibidir.



Şekil 6.25. Katlanmış dipol antenin NEC2 programındaki kazanç örüntüsü

Katlanmış dipol antenin RPP2261A programı kullanılarak elde edilen akım-derece çizimi Şekil 6.26’da görüldüğü gibidir.

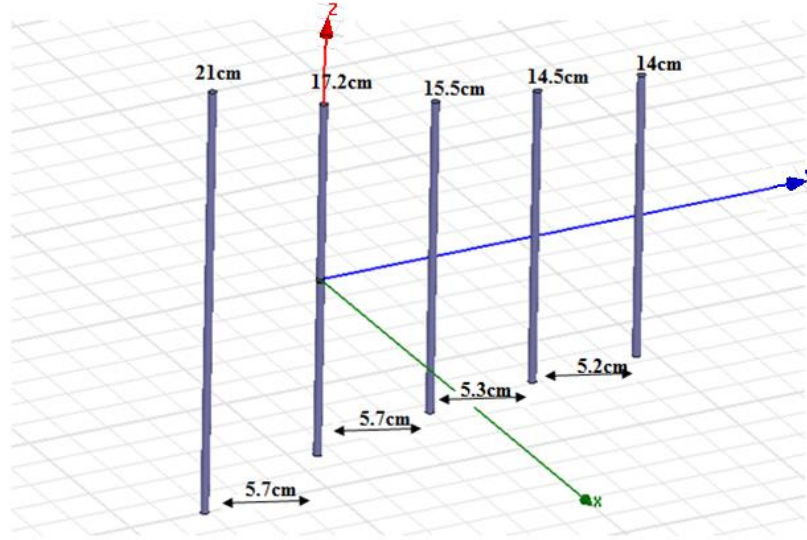


Şekil 6.26. Katlanmış dipol antenin RPP2261A programında akım-derece değişimi

Yarım dalga boyundaki dipol antenin akım-derece değişiminde de görüldüğü gibi 30 derece civarında maksimum akım değeri elde ediliyorken 210 derece civarında elde edilen değer bu değerden mesafenin artmasından dolayı daha da düşüktür. Burada dikkat edilmesi gereken bir diğer konu ise 140 derece ve 320 derece civarlarında katlanmış dipol antenin köşelerinden geçen az da olsa küçük akım değerlerinden dolayı yaklaşık 12 dB olarak gösterilmiş olmasıdır.

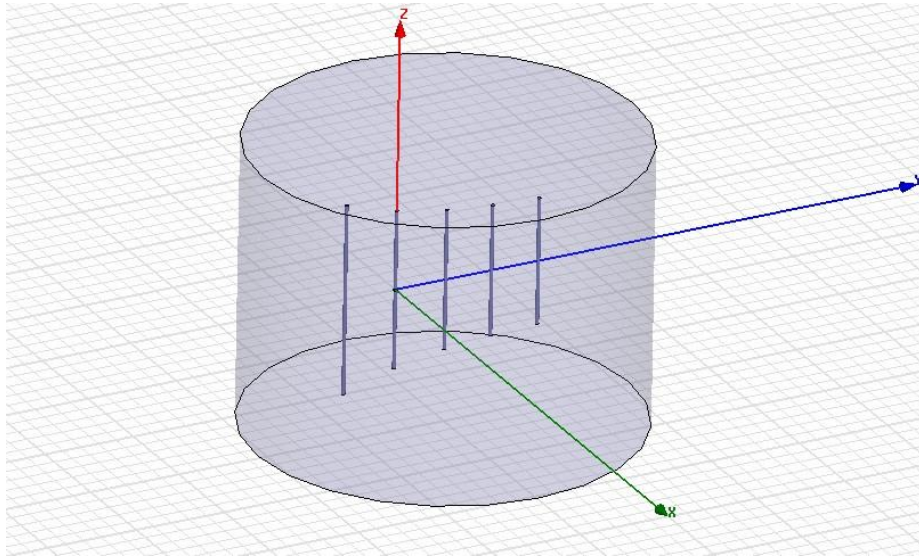
6.5. 5-Elementli Yagi-Uda Anten

Deney setinde kullanılan 5 elemanlı Yagi-Uda antenin boyutları Şekil 6.27’de verilmiştir.



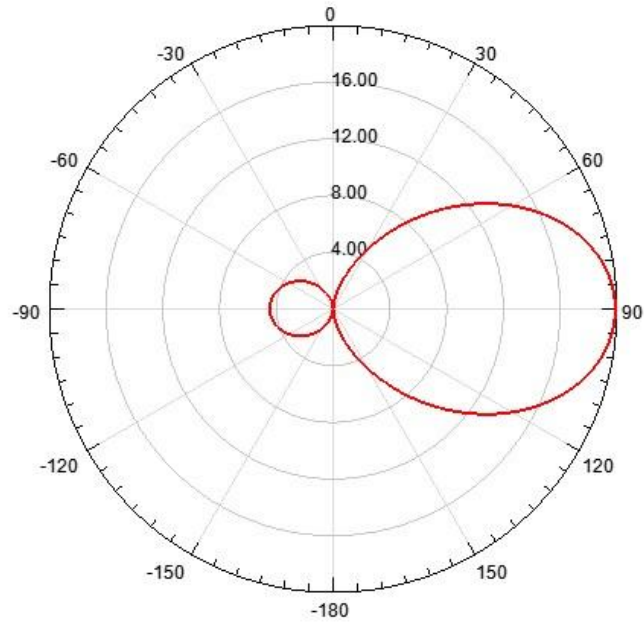
Şekil 6.27. 5 elemanlı yagi antenin tasarım boyutları

HFSS programında oluşturulan tasarım Şekil 6.28’de görülmektedir.



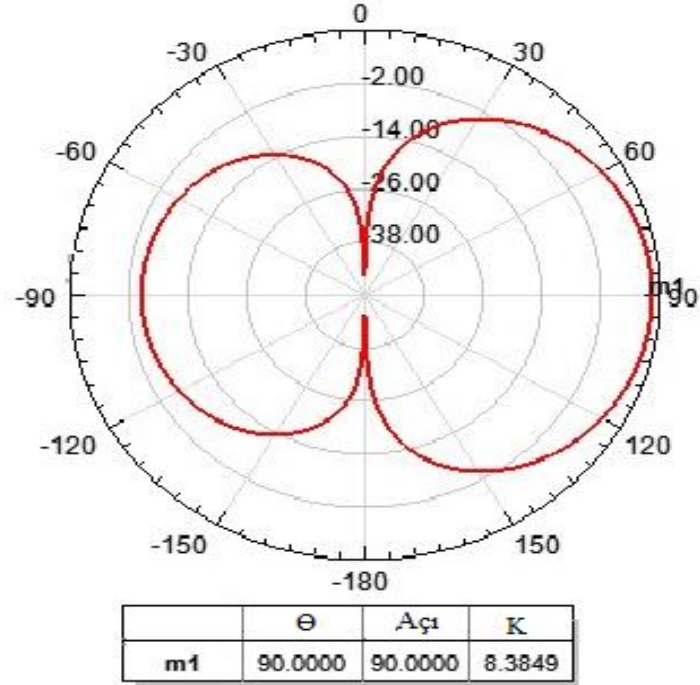
Şekil 6.28. HFSS’te tasarlanan 5 elemanlı yagi anten

Yagi-Uda anten için elektrik alan ışıma örüntüsü Şekil 6.29’da görüldüğü gibidir.



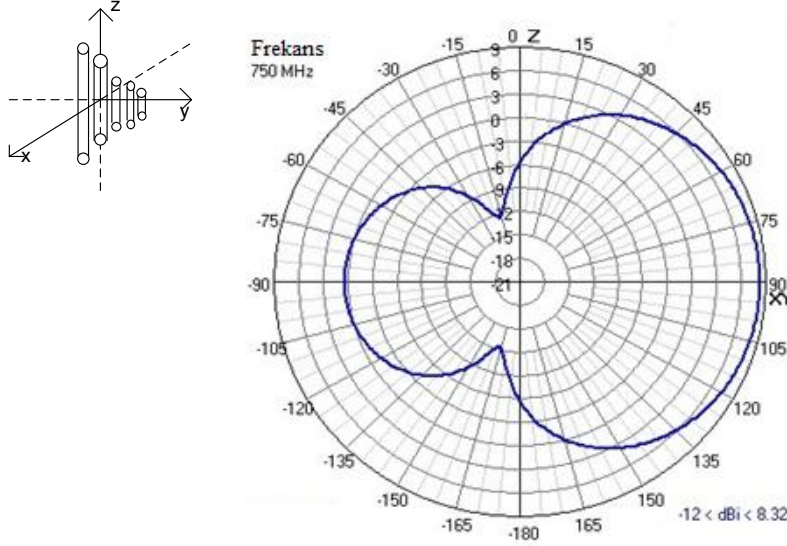
Şekil 6.29. 5 elemanlı Yagi-Uda anten için elektrik alan örüntüsü

5 elemanlı Yagi-Uda anten için kazanç örüntüsü Şekil 1.29’da görüldüğü gibidir.



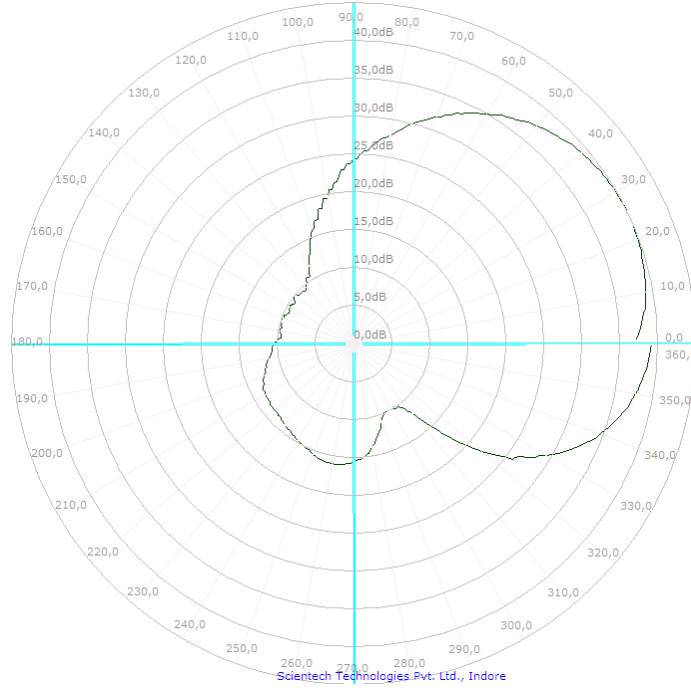
Şekil 6.30. 5 elemanlı Yagi-Uda anten için kazanç örüntüsü

Şekil 6.30’da görüldüğü gibi maksimum kazanç 8.38 dB olarak ölçülmüştür. Karşılaştırma amaçlı olarak NEC2 programında analiz edilen ST2261A deney setindeki 5 elemanlı Yagi-Uda anten için kazanç örüntüsü Şekil 6.31’de görüldüğü gibidir.



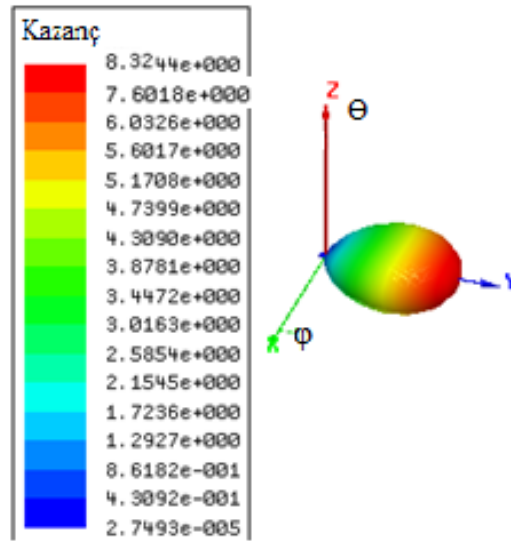
Şekil 6.31. 5 elemanlı Yagi-Uda anten için NEC2 programındaki kazanç örüntüsü

Bölüm 5.10’da belirtildiği gibi çalışmamızda yapılacak olan gerçek kazanç ölçümleri karşılaştırmalı ölçümlerden alınacak olan değerlerdir. Setin çalışma kitabında da belirtilen (5.2) dönüşüm denklemi de kullanılarak 5-elemanlı Yagi-Uda antenin kazancı yarım dalga boyundaki dipol antenin kazancı referans alınarak hesaplanabilmektedir. Yarım dalga boyundaki dipol anten için RF dedektörde okunan akım değeri 19.4 uA, 5-elemanlı Yagi-Uda anten için ise 40.3 uA olarak bulunmuştur. İkinci bir ölçüm sonucunda ise yarım dalga boyundaki dipol antenden alınan akım değeri 33.2 uA iken 5-elemanlı yagi anten alıcı kısmında bulunuyorken RF dedektörden okunan değer 69.5 uA olarak ölçülmüştür. Birinci ölçüm sonucu için anten kazancı 8.49 dB olarak ölçülürken ikinci ölçüm sonucunda anten kazancı 8.55 dB olarak ölçülmüştür. Bu farkın nedeni ortamın dış etkilere izole edilememiş olmasıdır. Elektromanyetik dalga yayan cihazlara yakınlık ve uzaklık bu karşılaştırmayı etkileyen en önemli unsurlardan birisidir. Şekil 6.32’de 5 elemanlı yagi anten için RPP2261A yazılım programında akım-derece arasındaki değişim gösterilmektedir.



Şekil 6.32. 5 elemanlı yagi anten için akım-derece arasındaki değişim

Yagi-Uda anten için 3 boyutlu polar grafik Şekil 6.33’te verilmiştir.

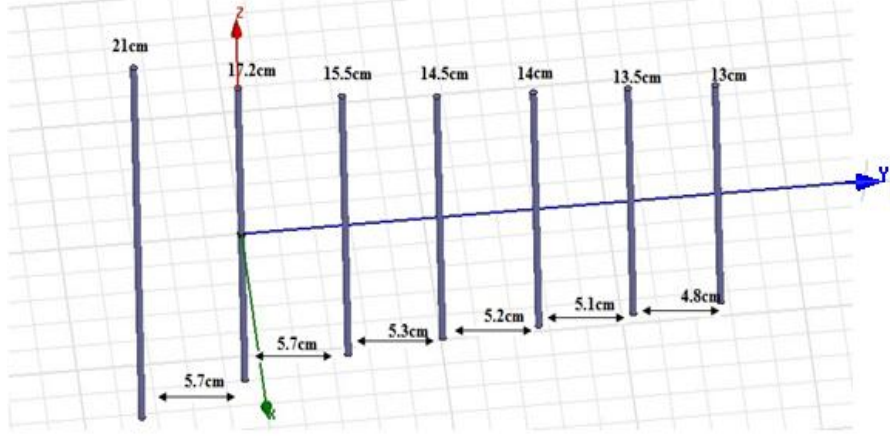


Şekil 6.33. Yagi-Uda anten için 3 boyutlu polar grafik

Şekil 6.33’den görüldüğü gibi Yagi-Uda anten bir yönde yoğun kazanca sahiptir. Kırmızı renkte olan kısım yüksek kazancı göstermektedir. Ters yönde olan kısımda ise hemen hemen en düşük kazanç yer almaktadır.

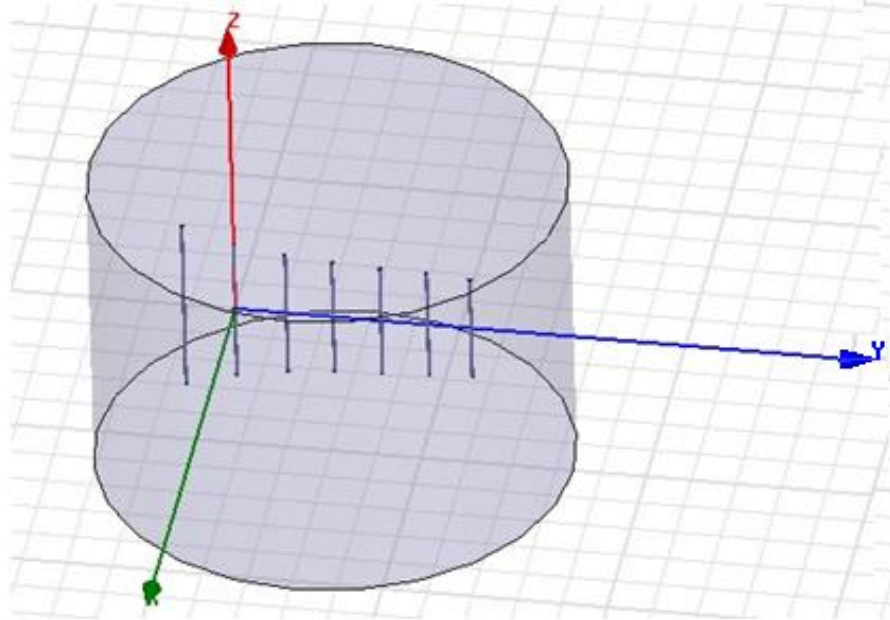
6.6. 7-Elementli Yagi-UdaAnten

Şekil 6.34'te deney setinde kullanılan 7 elemanlı Yagi-Uda antenin HFSS programındaki tasarımının boyutları görülmektedir.



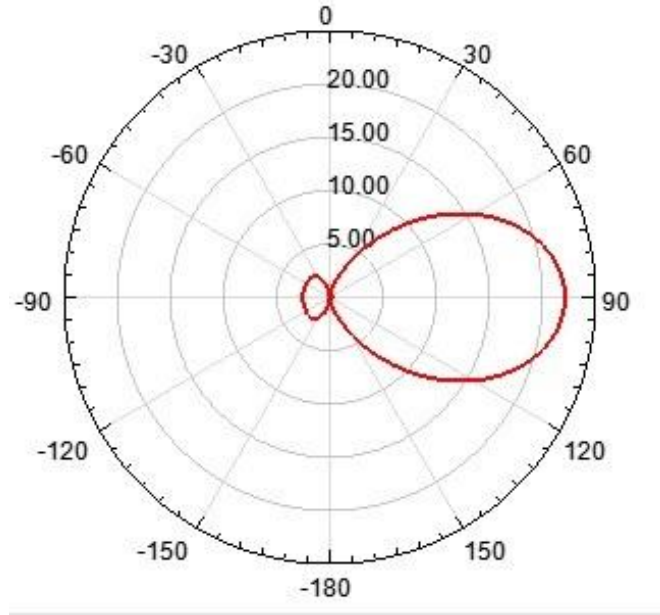
Şekil 6.34. 7 elemanlı yagi antenin tasarım boyutları

Şekil 6.35'te HFSS programında tasarlanan 7 elemanlı Yagi-Uda antenin son hali görülmektedir.



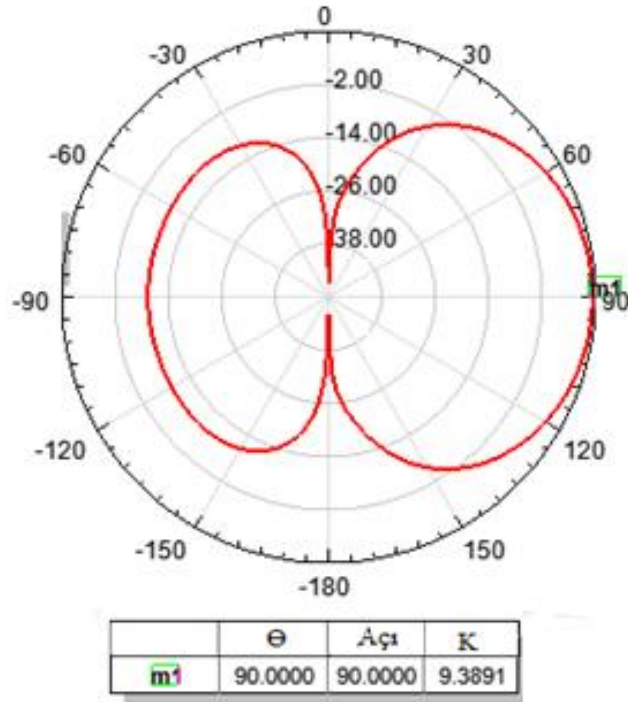
Şekil 6.35. HFSS programında tasarlanan 7 elemanlı Yagi-Uda antenin son hali

7 elemanlı Yagi-Uda anten dizisinin elektrik alan ışıma örüntüsü Şekil 6.36'da verilmiştir.



Şekil 6.36. 7 elemanlı Yagi-Uda anten dizisinin elektrik alan ışıma örüntüsü

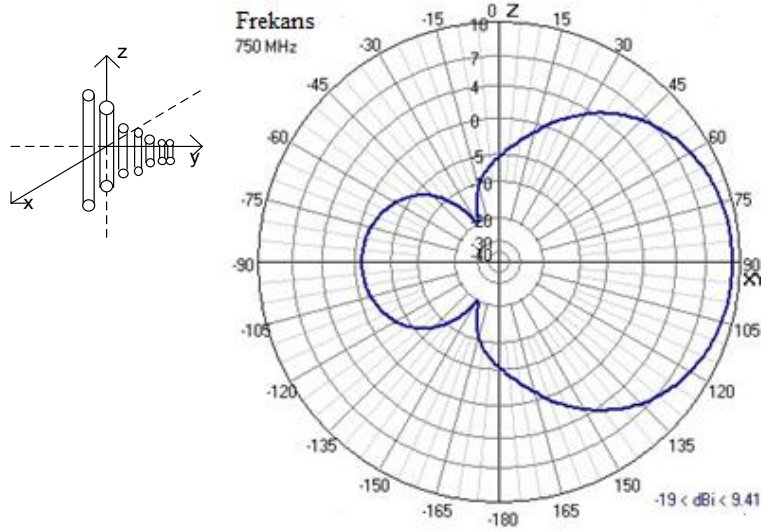
Yagi-Uda antenin kazanç örüntüsü Şekil 6.37’te verilmiştir.



Şekil 6.37. 7-elemanlı Yagi-Uda antenin kazanç örüntüsü

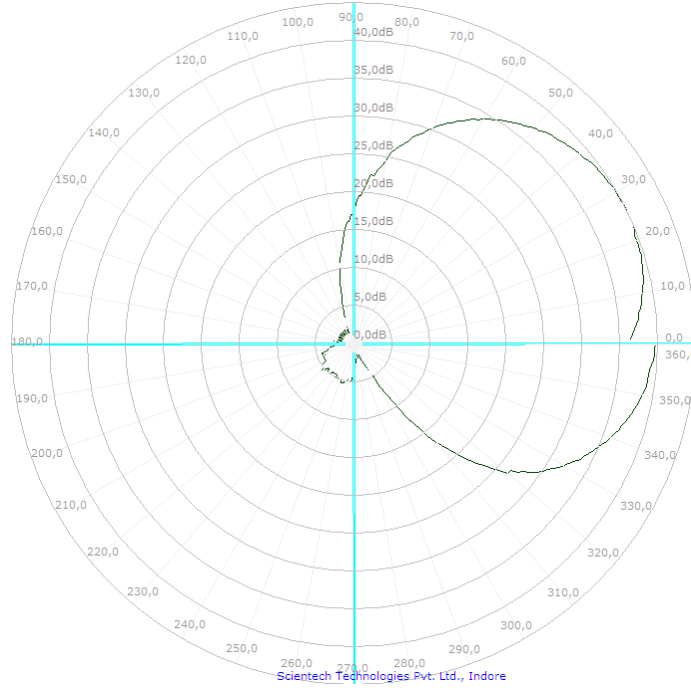
Şekil 6.37’de görüldüğü gibi 7 elemanlı Yagi-Uda antenin kazancı yaklaşık olarak 9.39 dB çıkmıştır. Karşılaştırma amaçlı olarak NEC2 programında ST2261A setinin 7 elemanlı

Yagi-Uda anteni tasarlanmış olup yaklaşık kazanç sonucu elde edilmiştir. NEC2 programında tasarlanan antenin kazanç örüntüsü Şekil 6.38’de görüldüğü gibidir.



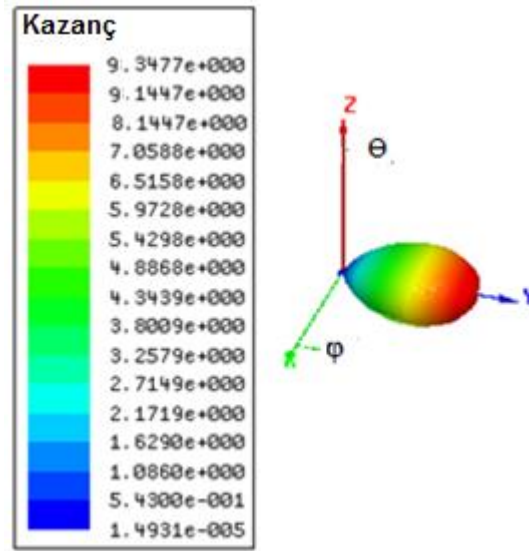
Şekil 6.38. 7 elemanlı yagi antenin NEC2 programında kazanç örüntüsü

NEC2 programı sonucunda 7 elemanlı Yagi-Uda antenin kazancı 9.41 dB olarak hesaplanmıştır. Gerçek ölçüm sonuçlarına değinildiğinde yarım dalga dipol anten alıcı tarafta iken RF dedektörde okunan akım değeri 19.4 uA iken 7 elemanlı yagi anten takılıyken RF dedektörde 45.6 uA değeri okunmaktadır. Bu veriler doğrultusunda deneysel sonuçlar bu anten için kazancın 9.57 dB olduğunu göstermektedir. Diğer bir veri ise yarım dalga boyundaki anten için yarım dalga boyundaki dipol anten için RF dedektörden okunan değer 33.2 uA iken 7 elemanlı yagi antenin alıcı durumunda bulunmasıyla RF dedektörde 78.8 uA değeri okunmaktadır. Bu bilgiler doğrultusunda 7 elemanlı yagi anten için kazanç değeri yaklaşık olarak 9.64 dB olarak çıkmaktadır. Farklılıkların birçok nedeni olmakla birlikte en önemli sebebi deneysel olarak yapılan çalışmada empedans uyumu, geri yansımaların daha belirgin oluşu ve dış ortamdan kaynaklanan istenmeyen işaretlerin varlığıdır. RPP2261A programı kullanılarak 7 elemanlı Yagi-Uda antenin akım-derece arasında değişen örüntü Şekil 6.39’da görüldüğü gibidir.



Şekil 6.39. 7 elemanlı Yagi-Uda antenin akım derece arasında değişen örüntüsü

7 elemanlı Yagi-Uda anten için 3 boyutlu polar grafik Şekil 6.40'ta görüldüğü gibidir.



Şekil 6.40. 7 elemanlı Yagi-Uda anten için 3 boyutlu polar grafik

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yapılan tez çalışmasında yarım dalga boyundaki dipol anten, katlanmış dipol anten, 5 ve 7 elemanlı Yagi-Uda antenler arasındaki kazanç farkları ve ışıma örüntüleri arasındaki farklılıklar ortaya konulmuştur. Deneysel olarak elde edilen sonuçlarda 7 elemanlı Yagi-Uda antenin kazancının 9.57-9.64 dB civarında olduğu 5 elemanlı Yagi-Uda antenin ise kazancının 8.49-8.55 dB civarında olduğu gözlemlenmiştir. Teorik sonuçlarda ise 7 elemanlı Yagi-Uda antenin kazancı HFSS programında 9.39 dB ile sonuçlanırken NEC2 programında 9.41 dB olarak gözlemlenmiştir. 5 elemanlı Yagi-Uda anten için ise kazanç HFSS programında 8.38 dB, NEC2 programında ise 8.32 dB olarak bulunmuştur. Ayrıca yarım dalga boyundaki dipol anten ve katlanmış dipol anten için bulunan kazanç değerleri 2.14 dB'dir. Hem deneysel sonuçlar hem de simülasyon sonuçları 7 elemanlı Yagi-Uda antenin kazancının 5 elemanlı Yagi-Uda antenden, yarım dalga boyundaki dipol ve katlanmış dipol antenden daha yüksek olduğunu göstermektedir. 7 elemanlı Yagi-Uda anten ile 5-elemanlı Yagi-Uda anten arasındaki kazanç farkının asıl nedeni, 7 elemanlı Yagi-Uda antende kullanılan yönlendirici sayısının daha fazla olmasıdır. Ayrıca 7 elemanlı ve 5 elemanlı Yagi-Uda antenlerde kullanılan yansıtıcı ve yönlendiriciler yarım dalga boyundaki dipol ve katlanmış dipol antenden daha yüksek kazançla sahip olmalarını sağlamıştır. Bu antenler için kazanç kıyaslaması yapıldığında RF dedektör çıkışında elde edilen akım değerine göre kazançları kıyaslanmakta ve yaklaşık olarak kazanç değerleri ifade edilebilmektedir.

Ölçüm alınan ortam test edilerek elektromanyetik dalga gücünün en zayıf olduğu yer seçilerek yapılmıştır. Ancak deneysel sonuçların alındığı ortam dış ortamdaki yalıtılmadığı için ölçüm sonuçlarıyla benzetim sonuçları arasında farklılıklar ortaya çıkmıştır. Teorik olarak HFSS simülasyon programında tasarımı yapılan antenler NEC2 programı kullanılarak karşılaştırma yapılmıştır. Karşılaştırma yapmaktaki amaçların başında kullanılan antenlerin kazançlarının doğru bir biçimde elde edilebilmesi gelmektedir.

Çıkan sonuçlar yeniden incelendiği zaman Yagi-Uda antenlerin yarım dalga boyundaki antenlerden daha yüksek kazançla sahip oldukları ve bunun yanında 5 elemanlı Yagi-Uda antenin 7 elemanlı Yagi-Uda antene göre kazancının düşük olduğu görülmektedir. Bu sonuç yönlendirici elemanların sayısının artmasıyla kazancın

artırılabilir olduğu anlamındadır. Kullanılan yansıtıcının boyu arka lobu etkilediği için ön-arka (front-to-back) oranını değiştirmektedir. Ayrıca kullanılan yönlendirici sayısı değiştiğinde Yagi-Uda antenlerin giriş empedanslarının değişmesi bağlandıkları hatta uyum sağlamaları açısından büyük önem arz etmektedir.

Bu tez kapsamında ileride yapılacak olan çalışmalarda çok düşük frekanslarda çalışan su altı antenlerin tasarımı üzerine olabilir. Burada kullanılan antenlerin boyutları çalışma frekansları düşük olduğundan yüksek frekanslarda çalışan antenlere göre daha da büyük olacaktır.

Ayrıca mikroşerit antenler üzerine yapılacak olan çalışmalarda UHF RFID sistemler için problem giderici tasarımlar söz konusu olabilir. Genellikle bu tasarımlarda çift frekans bandı arasında verimli çalışabilen anten tasarlamak büyük önem arz etmektedir.

8. KAYNAKLAR

- [1] W. L. Stutzman and G. A. Thiele, *Antenna Theory and Design*, 2nd ed., Wiley, New York, 1998.
- [2] Wisely Dave "IP for 4G" John Wiley & Sons, England, 5, (2009)
- [3] Yi Huang, Kevin Boyle, *Antenna from Theory to Practice*, John Wiley & Sons Ltd, 2008
- [4] Vitanen, A. J., "Radiation impedance of half wave length dipole antenna in terms of Bessel functions," *IEEE 10th Mediterranean Electrotechnical Conference, MEleCon2000*, Vol. 1, 2000
- [5] Morishita, H., Kim, Y., Koyanagi, Y., Fujimoto, K., "A folded loop antenna system for handsets", Vol. 3, pp: 440-443, 2001
- [6] Yang shengxiang, Xi Dexiong etc. "Development of Standard Receiving System for HF Electrical Field" in Chinese, Proceeding of "EMC'96 Suzhou
- [7] Shengxiang, Y., Dexiong, X., Fan, W., Hongxiang, Z., Xiaoqing, M., "Development of Standard Set for HF Electrical Field", *Electromagnetic Compatibility, 2002 3rd International Symposium*, China, 2002
- [8] C.C. Lin, C.M. Su, F.R. Hsiao, and K.L. Wong, "Printed folded dipole array antenna with directional radiation for 2.4/5 GHz WLAN operation," *Electron. Lett.*, vol. 39, no. 24, pp. 1698–1699, Nov. 2003.
- [9] V. Stoiljkovic, S. Suganthan, and M. Benhaddou, "A novel dual-band center-fed printed dipole antenna," in *Proc. IEEE Antennas Propagation Soc. Int. Symp.*, vol. 2, Jun. 2003, pp. 938–941
- [10] M.J. Kim, C.S. Cho, and J. Kim, "A dual band printed dipole antenna with spiral structure for WLAN application," *IEEE Microwave Wire-less Compon Lett* 15 (2005), 910–912
- [11] A. Thumvichit, Y. Kamata, and T. Takano, "Offset-feed impedance matching of a half-wavelength dipole in proximity to a PEC plane," *ISAP04 POS-A-26*, pp. 961–964, Aug. 2004
- [12] Thumvichit, A., Takano, T., Kamata, Y., "Characteristics Verification of a Half-Wave Dipole Very Close to a Conducting Plane With Excellent Impedance Matching", *IEEE Transactions On Antennas And Propagation*, vol. 55, no. 1, january 2007
- [13] A. Harmouch and H. A. Al Sheikh, "Miniaturization of the folded-dipole", 2008, *International Conference on Mathematical Methods in Electromagnetic Theory*, June 29-July 2, Odesa, Ukraine
- [14] K. Igusa, K. Li, K. Sato, H. Harada, "Proposal and Design of Yagi-Uda Antenna for UHF-ITS Mobile Terminal," *IEICE Tech. Rep. AP* vol.108. no.241, pp.11-16, Oct. 2008
- [15] R. A. Alhalabi and G. M. Rebeiz, "High-Gain Yagi-Uda antennas for millimeter-wave switched-beam systems," *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 57, pp. 3672–3676, Nov. 2009.
- [16] R. A. Alhalabi and G. M. Rebeiz, "Differentially-fed millimeter-wave Yagi-Uda antennas with folded dipole feed," *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 58, pp. 966–969, Mar. 2010
- [17] Harmouch, A., Nassar, E., Kais, H., Rishani, N., (2009) Compact and Super Broadband Volumetric Folded Dipole Antenna for Mobile Applications, "2009 International Conference on Advances in Computational Tools for Engineering Applications", Zouk Mosbeh, Lebanon, 2009.
- [18] Khodabakhshi, H. and A. Cheldavi, "Irradiation of a six-layered spherical model of human head in the near field of a half-wave dipole antenna," *IEEE Trans. on Microwave Theory and Tech.*, Vol. 58, No. 3, 680-690, 2010.
- [19] Hayato MIZUNO, Masaharu TAKAHASHI, Kazuyuki SAITO, Nozomi HAGA, and Koichi ITO, "Design of a helical folded dipole antenna for biomedical implants," *European Conference on Antenna and Propagation (EuCAP)* 2011, pp.3640-3643, Rome, Italy, Apr. 2011

- [20] Tashi, Hasan, M. S., Yu, H., " Design and Simulation of UHF RFID Tag Antennas and Performance Evaluation in Presence of a Metallic Surface", Software, Knowledge Information, Industrial Management and Applications (SKIMA), 2011 5th International Conference, pp:1-5, 2011
- [21] Alhalabi, R., A., Chiou, Y., C., Rebeiz, G., M., "Self-Shielded High-Efficiency Yagi-Uda Antennas for 60 GHz Communications", IEEE Transactions On Antennas And Propagation, Vol. 59, No. 3, March 2011.
- [22] Šarolic, A., Senic, D., Živkovic, Z., "Some Preliminary Results of Radiation Pattern Measurements for a Vertical Dipole over Sea", 53rd International Symposium ELMAR-2011, 14-16 September 2011, Zadar, Croatia
- [23] Balanis, C. A., *Antenna Theory Analysis and Design*, 3rd Edition, Wiley & Sons, New York, 2005.
- [24] Milligan, T. A., *Modern Antenna Design*, IEEE Wiley-Interscience, Hoboken, 2005
- [25] Hubregt J. Visser, *Array and Phased Array Antenna Basics*, John Wiley & Sons, 2005
- [26] David K. Cheng, *Field and Wave Electromagnetics* Second Edition-Pearson Edition, 2004
- [27] S. P. Kosta, M. D. Singh, R. P. Agarwal, "Theoretical investigations on the centre-fed full-wave dipole antenna with feed-points displaced along the axis of the dipole, " India, *IEEE-IERE Proc.*, vol. 8, pp.56-59, June 1970
- [28] Sadiku, M. N. O., 2000, Numerical Techniques in Elektromagnetics, CRC press, 743p.
- [29] Sevgi, L., 2003, Complex Electromagnetic Problems and Numerical Simulation Approaches, IEEE Press - John Wiley and Sons Co., New Jersey, 381p
- [30] Erol, Y., 2007, FDTD ile Mikrodalga Devre Analizine Yeni Bir Yaklaşım: Özyinelemeli Alt Izgaralama, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
- [31] Harrington, F., 1993, Field Computation by Moment Methods, IEEE Press Marketing, United States of America
- [32] P.P. Silvester and R.L. Ferrari, 1996, Finite Elements for Electrical Engineers, Cambridge University Press, 3rd edition.
- [33] P. Russer and U. Siart. 2008, Time domain methods in electrodynamics: A tribute to wolfgang j. r. hoefer. New York: Springer-Verlag.
- [34] E. H. Barton, Huygence Principle, ch. 2, 1919
- [35] Christopoulos, C., The Transmission-line Modeling (TLM) Method in Electromagnetic, Morgan & Claypool Publisher Series, USA, 2006.
- [36] Akbal, A., 2001, Mikrodalga devrelerin karakteristiğinin iki boyutlu TLM yöntemi ile analizi, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
- [37] Genç, Z., 2006, Integral Denklem Metodu (IEM) Kullanılarak MMIC devrelerin Analizi, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
- [38] El-Shandwily, M., E., Düb, N., I., 1990, Spectral domain analysis of finlines with composite ferrite-dielectric substrate, INT. J. Electronics, vol. 68, no. 4, 571-583
- [39] Davidson, D., B., Aberle, J., T., 2004, An introduction to spectral domain method-of-moments formulations, IEEE Antennas and Propagation Magazine, vol. 46, no. 3, 11-9
- [40] Meade, S., A., Railton, C., J., 1994, Efficient Implementation of the Spectral Domain Method Including Precalculated Corner Basis Functions, IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, vol. 42, no. 9, 1678-1684
- [41] D. Pilz, W. Menzel, 1999, A mixed integration method for the evaluation of the reaction integrals using the spectral domain method. IEE Proc. on Microwaves, Antennas and Propagation, Vol. 146, No. 3, pp. 214 – 218
- [42] Kraus, J. D. and R. J. Marhefka, *Antennas for All Applications*, 3rd Edition, McGraw Hill, New York, 2002
- [43] Antenna trainer ST2261 learning material ver 1.2, SCIENTECH
- [44] Jihui, G., Fuhai, L., Bing, D., Peng, W., Lehong, H., "A Design of RFID Tag Antenna for Clothing", Cross Strait Quad-Regional Radio Science and Wireless Technology Conference (CSQRWC), vol. 2, July 26-31, 2011

- [45] Lin, W., Xie, X., Bo, V., Feng, L., "Design of a broadband E-shaped microstrip antenna", Cross Strait Quad-Regional Radio Science and Wireless Technology Conference (CSQRWC), vol. 1, July 26-31, 2011
- [46] Mikulasek1, T., Lacik, J., "Microstrip Patch Antenna Fed by Substrate Integrated Waveguide", Electromagnetics in Advanced Applications (ICEAA), 2011 International Conference, Sept. 12-16, 2011
- [47] Mr. Satheesh BV, Srivatsan, Dr.S.Raghavan and D. Sriram Kumar," Antenna Gain Determination using a Microwave CAD Tool-HFSS", *IEEE Microwave 2008*, Vol 2008, PP 916-919, Nov 2008

ÖZGEÇMİŞ

Mehmet Sönmez 1985 yılında Elazığ'da doğdu. İlköğrenim ve ortaöğrenimini Elazığ'da tamamladı. Lisans öğrenimini Kocaeli Üniversitesi Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği'nde tamamladı. 2010 yılında başladığı akademik hayatına Fırat Üniversitesi Elektrik-Elektronik Bölümü'nde devam etmektedir.