



**T.C.
HALIÇ ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
ELEKTRİK- ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ PROGRAMI**

5 GHZ MİKROŞERİT ANTEN TASARIMI VE BESLEME ÇEŞİTLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Hazırlayan
Emre SÖZEN**

**Danışman
Doç. Dr. Hamid TORPİ**

İstanbul – 2019

**T.C.
HALIÇ ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
ELEKTRİK- ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ PROGRAMI**

**5 GHZ MİKROŞERİT ANTEN TASARIMI VE
BESLEME ÇEŞİTLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Hazırlayan
Emre SÖZEN**

**Danışman
Doç. Dr. Hamid TORPİ**

İstanbul – 2019

İNTİHAL RAPORU

emre sözen

ORIJINALLIK RAPORU

% 13	% 10	% 2	% 10
BENZERLİK ENDEKSİ	İNTERNET KAYNAKLARI	YAYINLAR	ÖĞRENCİ ÖDEVLERİ

BİRİNCİL KAYNAKLAR

1	polen.itu.edu.tr İnternet Kaynağı	% 4
2	Submitted to Haliç Üniversitesi Öğrenci Ödevi	% 3
3	Submitted to TechKnowledge Turkey Öğrenci Ödevi	% 1
4	Submitted to Istanbul Aydın University Öğrenci Ödevi	% 1
5	oaji.net İnternet Kaynağı	% 1
6	Submitted to The Scientific & Technological Research Council of Turkey (TUBITAK) Öğrenci Ödevi	<% 1
7	www.emo.org.tr İnternet Kaynağı	<% 1
8	pt.scribd.com İnternet Kaynağı	<% 1

08/07/2019

TEZ ETİK BEYANI

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “5 Ghz Mikroşerit Anten Tasarımı Ve Besleme Çeşitlerinin Karşılaştırılması” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Doç. Dr. Hamid TORPİ ‘nin sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri ilgili laboratuvarlarda yaptığımı/yaptırdığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim.

Emre SÖZEN

ÖNSÖZ

Bu çalışma T.C Haliç Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü himayesinde hazırlanmıştır. Yüksek lisans eğitimim ve tez çalışmamın tamamlanması süresince büyük bir gayret ve özveriyle çalışmamı takip eden, benden yardımlarını esirgemeyen, her türlü problemin çözümünde değerli katkılarıyla ışık tutan, yanımda ve yol göstericim olan, göstermiş oldukları büyük hoşgörü ve sabırdan dolayı çok değerli proje danışman hocam olan Doç. Dr. Hamid TORPİ ve her zaman desteğini arkamda hissettiğim aileme teşekkürlerimi sunarım.

İstanbul, 2019

Emre SÖZEN

İÇİNDEKİLER

	Sayfa No.
KISALTMALAR	III
ŞEKİLLER	V
ÇİZELGELER	VII
ÖZET.....	VIII
SUMMARY	IX
1. GİRİŞ	1
1.1. Mikroşerit Antenlerin Avantaj ve Dezavantajları	1
2. ANTENLER VE ÖZELLİKLERİ.....	3
2.1. Anten Nedir	3
2.2. Anten Özellikleri.....	4
2.2.1. Devre Elemanı Olarak Anten	4
2.2.2. Temel Anten Parametreleri	4
2.2.2.1. Işıma deseni	4
2.2.2.2. Polarizasyon	5
2.2.2.3. Anten giriş empedansı.....	6
2.2.2.4. Bant genişliği	7
2.2.2.5. Etkin anten uzunluğu	8
2.2.2.6. Anten faktörü	8
2.2.2.7. Anten verimliliği	8
2.2.2.8. Anten ışıma verimliliği	9
2.2.2.9. Yönlendiricilik	9
2.2.2.10. Yönlendiricilik kazancı	10
2.2.2.11. Işıma güç yoğunluğu.....	10
2.2.2.12. Işıma şiddeti	10
2.2.2.13. Anten ışıma direnci	10
2.2.2.14. Kazanç.....	10
2.2.2.15. Hüzme genişliği	11
2.2.2.16. Gerilim duran dalga oranı (VSWR)	11
2.2.2.17. Anten geri dönüş kaybı	12
2.3. Anten Çeşitleri	12
2.3.1. Tel Antenler	12
2.3.1.1. Doğrusal tel antenler	13
2.3.1.2. Eğrisel tel antenler	13
2.3.2. Açıklık Antenler	13
2.3.3. Mikroşerit Antenler	14
2.3.4. Dizi Antenler	15

3. MİKROŞERİT YAMA ANTENLER VE BESLEME YÖNTEMLERİ	16
3.1. Mikroşerit Antenlerin Besleme Çeşitleri	17
3.1.1. Mikroşerit besleme yöntemi.....	17
3.1.2. Koaksiyel besleme yöntemi	18
3.1.3. Açıklık bağlantılı besleme yöntemi	19
3.1.4. Yakınlık bağlantılı besleme yöntemi	20
3.2. Analiz Yöntemleri	21
3.3. Mikroşerit Anten Tasarımı	21
3.3.1. Yalıtkan yüzeyin özelliklerinin belirlenmesi	22
3.3.2. Yama boyutlarının belirlenmesi	23
3.4. Antenlerde Polarizasyon Teknikleri	23
4. ANTEN TASARIMI VE ANALİZİ.....	26
4.1. Ansoft HFSS Paket Programı	26
4.2. 5 GHz Mikroşerit Anten Tasarımı	26
4.3. Mikroşerit Beslemeli 5 GHz Mikroşerit Anten Tasarımı	27
4.3.1. Besleme noktalarındaki yarıkların büyüklüğünü değiştirme	29
4.4. Koaksiyel Beslemeli 5 GHz Mikroşerit Anten Tasarımı.....	29
4.4.1. Antenin besleme noktalarını değiştirme.....	31
4.5. Açıklık Bağlantılı 5 GHz Mikroşerit Anten Tasarımı	32
4.5.1. Açıklığın boyutlarını değiştirme	34
4.5.2. Yalıtkan malzemelerin kalınlıklarını değiştirme.....	34
4.6. Yakınlık Bağlantılı 5 GHz Mikroşerit Anten Tasarımı	35
4.6.1. Dielektrik malzemenin kalınlığını değiştirme.....	37
4.6.2. Antenin besleme noktalarını değiştirme.....	38
4.7. Besleme Yöntemlerinin Karşılaştırılması	39
4.8. Mikroşerit Yama Antenin Tasarım Aşamaları	40
4.9. Koaksiyel Yama Antenin Tasarım Aşamaları	42
4.10. Mikroşerit ve Koaksiyel Yama Antenin Ölçüm Aşamaları.....	44
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	47
6. KAYNAKLAR	49
7. ÖZGEÇMİŞ.....	50

KISALTMALAR

BW	: Band Width
Cs	: Kuplaj Kapasitesi
E	: Gelen Dalganın Elektrik Alan Şiddeti
ϵ_r	: Dielektrik Sabiti
FNBW	: First Null Beamwidth
FR-4	: Flame Retardant
GSM	: Global System For Mobile Communications
HFSS	: High Frequency Structural Simulator
HPBW	: Half Power Beamwidth
h_e	: Etkin Anten Uzunluğu
Hz	: Mikroserit Hattın Manyetik Alanı
I	: Mikroserit Hat Uzunluğu
L	: Rezonant Genişliği Ve Yama Boyu
R	: Direnç
R_A	: Anten Rezistansı
R_L	: Kayıp Rezistansı
R_r	: Radyasyon Rezistansı
R_R	: Alıcı Devre Giriş Rezistansı
RADAR	: Radio Detection And Ranging
TEM	: Transverse Electromagnetic Modes
TLM	: Transaction-Level Modeling
V_{OC}	: Gelen Dalga İle İndüklenen Gerilim
V_R	: Alıcı Devreye Aktarılan Gerilim
VSWR	: Voltage Standing Wave Ratio
W	: Yama Eni
Wi-Fi	: Wireless Fidelity

WLAN	: Wireless Local Area Network
X_A	: Anten Reaktansı
X_R	: Alıcı Devre Giriş Reaktansı
Z_A	: Anten Empedansı
Z_R	: Alıcı Devre Giriş Empedansı

ŞEKİLLER

Sayfa No.

Şekil 2.1. Verici moddaki bir anten	3
Şekil 2.2. Işıma deseni	5
Şekil 2.3. Doğrusal, dairesel ve eliptik polarizasyona sahip dalgalar.....	6
Şekil 2.4. Anten empedansının devre gösterimi	6
Şekil 2.5. Bant Genişliği	7
Şekil 2.6. İki boyutlu güç deseni.....	11
Şekil 2.7. Dipol doğrusal tel anten.....	13
Şekil 2.8. Çevrimsel anten ve heliks anten	13
Şekil 2.9. a) E-düzlem, b)H-düzlemşekil, c) Primit Huni, d) Konik Huni antenler..	14
Şekil 3.1. Mikroşerit yama anten	16
Şekil 3.2. Mikroşerit anten yama şekilleri	16
Şekil 3.3. Mikroşerit beslemeli anten	17
Şekil 3.4. Koaksiyel beslemeli mikroşerit anten yapısı	18
Şekil 3.5. Açıklık bağlantılı mikroşerit anten	19
Şekil 3.6. Yakınlık bağlantılı mikroşerit anten	20
Şekil 3.7. Yakınlık bağlantılı mikroşerit antenin eşdeğer devresi	21
Şekil 3.8. Malzeme kalınlığı ve dielektrik sabitinin bant genişliğine etkisi	22
Şekil 3.9. Doğrusal polarizasyon	23
Şekil 3.10. Yatay-Düşey doğrusal polarizasyon.....	24
Şekil 3.11. Dairesel polarizasyon.....	24
Şekil 3.12. Eliptik polarizasyon	25
Şekil 4.1. Tasarlanan mikroşerit beslemeli anten	27
Şekil 4.2. Mikroşerit beslemeli antenin S_{11} grafiği 25	28
Şekil 4.3. Mikroşerit beslemeli antenin kazanç grafiği.....	28
Şekil 4.4. Tasarlanan koaksiyel beslemeli anten	30

Şekil 4.5. Koaksiyel beslemeli antenin S ₁₁ grafiği	30
Şekil 4.6. Koaksiyel beslemeli antenin kazanç grafiği	31
Şekil 4.7. Tasarlanan açıklık bağlantılı mikroşerit anten.....	32
Şekil 4.8. Açıklık bağlantılı antenin S ₁₁ grafiği	33
Şekil 4.9. Açıklık bağlantılı antenin kazanç grafiği.....	33
Şekil 4.10. Tasarlanan yakınlık bağlantılı mikroşerit anten	36
Şekil 4.11. Yakınlık bağlantılı mikroşerit antenin S ₁₁ grafiği	36
Şekil 4.12. Yakınlık bağlantılı mikroşerit antenin kazanç grafiği	37
Şekil 4.13. Besleme yöntemlerinin bant genişliklerinin karşılaştırılması.....	39
Şekil 4.14. Besleme yöntemlerinin geri dönüş kayıplarının karşılaştırılması	40
Şekil 4.15. Mikroşerit Yama Antenin CorelDRAW Çizimi	40
Şekil 4.16. Mikroşerit Yama Antenin Baskı Aşaması Çizimi	41
Şekil 4.17. Mikroşerit Yama Antenin FR-4 Plakasına Baskısı.....	41
Şekil 4.18. Mikroşerit Yama Antenin Son Hali.....	42
Şekil 4.19. Koaksiyel Yama Antenin CorelDRAW Çizimi.....	42
Şekil 4.20. Koaksiyel Yama Antenin CorelDRAW Çizimi.....	43
Şekil 4.21. Koaksiyel Yama Antenin FR-4 Plakasına Baskısı	43
Şekil 4.22. Koaksiyel Yama Antenin Son Hali.....	44
Şekil 4.23. Rohde Schwarz Sinyal Jeneratörü	44
Şekil 4.24. Koaksiyel Ve Mikroşerit Yama Antenin Ölçümü	45
Şekil 4.25. Koaksiyel Ve Mikroşerit Yama Antenin Ölçüm Sonuçları.....	45

ÇİZELGELER

Sayfa No.

Çizelge 4.1. Yarık boyutu değişen mikroşerit antenin parametrelerinin değişim Çizelgesi.....	29
Çizelge 4.2. Besleme noktasının sağa ve sola kaydırılmasının koaksiyel beslemeli antenin parametrelerine etkisi	31
Çizelge 4.3. Açıklığın eninin değiştirilmesinin açıklık bağlantılı antenin parametrelerine etkisi	34
Çizelge 4.4. Açıklığın boyunun değiştirilmesinin açıklık bağlantılı antenin parametrelerine etkisi	34
Çizelge 4.5. Üstteki yalıtkan tabakanın kalınlığının açıklık bağlantılı antene etkisi .	35
Çizelge 4.6. Alttaki yalıtkan tabakanın kalınlığının açıklık bağlantılı antene etkisi .	35
Çizelge 4.7. Üstteki yalıtkan tabakanın kalınlığının yakınlık bağlantılı antene etkisi	37
Çizelge 4.8. Alttaki yalıtkan tabakanın kalınlığının yakınlık bağlantılı antene etkisi	38
Çizelge 4.9. Yakınlık bağlantılı beslemede iletim hattının yerinin değiştirilmesinin etkisi	39
Çizelge 5.1. Tasarlanan yama antenlerin simülasyon performans değerleri	47
Çizelge 5.2. Tasarlanan yama antenlerin simülasyon ve uygulama değerleri	48

ÖZET

5 GHZ MİKROŞERİT ANTEN TASARIMI VE BESLEME ÇEŞİTLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

Son yıllarda mobil cihazların kullanımındaki artış ve kablosuz haberleşmenin gelişmesi ile daha küçük, hafif ve performanslı antenlere olan ihtiyacı arttırmıştır. Bu ihtiyaçları karşılaya bilecek en önemli anten çeşitlerinde biri mikroşerit antenlerdir. Bu durum mikroşerit antenlere olan ilginin son yıllarda artmasını sağlamıştır. Mikroşerit antenler küçük boyutları, üretilmesinin kolay olması ve düşük maliyeti ile birçok avantaja sahiptir. Bu avantajların yanında düşük bant genişliği gibi zayıflıklarda bulundurmaktadır. Mikroşerit antenler farklı türde besleme yöntemleri ile tasarlanabilmektedir. Bu besleme türlerinin en sık kullanılanları; mikroşerit besleme, koaksiyel besleme, açıklık bağlantılı besleme ve yakınlık bağlantılı besleme yöntemidir. Çalışmada dört besleme yöntemi ile tasarım yapılarak karşılaştırılması hedeflenmiştir. Kullanılan besleme yöntemlerinin antenin performansına büyük etkileri olmaktadır. Ayrıca bu yöntemlerin bir birlerine göre değişik avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır. Bu durum mikroşerit anten tasarımı kullanım amacına uygun besleme yöntemini belirlemenin önemli olduğunu göstermektedir.

Çalışmada 5 GHz WLAN uygulamaları için mikroşerit besleme, koaksiyel besleme, açıklık bağlantılı besleme ve yakınlık bağlantılı besleme yöntemleri ile dört anten tasarımı yapılmıştır. Bu şekilde besleme yöntemlerinin performansları bir birleri ile karşılaştırılmıştır. Çalışmanın ikinci kısmında antenler ve temel anten parametreleri hakkında genel olarak bilgi verilmiştir. Üçüncü bölümde mikroşerit antenlerin besleme yöntemleri incelenmiştir. Dördüncü bölümde antenlerin tasarımı hakkında bilgi verilmiş ve yapılan simülasyon sonuçları verilmiştir. Antenlerin tasarımları ve simülasyonlarında HFSS simülasyon programı kullanılmıştır.

Anahtar kelimeler: Mikroşerit Anten, Düşük Bant, Besleme Yöntemleri

SUMMARY

5 GHZ MICROSTRIP ANTENNA DESIGN AND PERFORMANCE ANALYSIS OF DIFFERENT FEEDING METHODS

In recent years demand for the mobile devices increased. For this reason there is a need for light, small, and better performing antennas. One of the most important antenna types which satisfy these needs are microstrip antennas. Microstrip antennas have many advantages such as; small size, easy to manufacture and low cost. For these reasons we decided use microstrip antenna in our design. Microstrip antennas can be designed with different feeding methods. Most common of them are; microstrip feeding, coaxial feeding, aperture coupling and proximity coupling. Feeding methods have big influence the performance of microstrip antennas significantly. In addition, feeding methods have different advantages and disadvantages compared to each other. In this study it is aimed to compare the performance of these feeding methods.

In this study, four antennas were designed for 5 GHz WLAN applications with microstrip feed, coaxial feed, aperture coupled feed and proximity coupled feed. With results of simulations performance of feeding methods compared with each other. In the second part of the study, information about antennas and their basic parameters was given. In the third part, feeding methods of the microstrip antennas are examined. In the fourth section, simulation results of designed antennas are given. The designs and simulations of the antennas were made with HFSS.

Keywords: Microstrip Antenna, Low Band, Feeding Methods

1. GİRİŞ

İletişimde anten sinyallerin iletilmesinde ve alınmasında çok önemli bir elemandır. Kablosuz iletişim teknolojisindeki hızlı gelişim antenlerin önemini daha da arttırmıştır. Günümüzde daha küçük, hafif ve verimli antenlere gerek duyulmaktadır. Mikroşerit antenler düşük maliyeti, kolay üretilebilmesi ve küçük boyutlarda olması nedeniyle bu gerekleri karşılayan en önemli anten çeşitlerinden biridir. Mikroşerit anten 1950’de icat edildiği halde, 1970’lerden sonra büyük ilgi görmeye başladı. Mikroşerit antenler son on beş yıldır en çok gelişen anten tiplerinden biridir. Bu antenler düzlemsel olmayan yüzeylere de uygulanabilmekte ve sert yüzeylere uygulandığında fiziksel olarak dayanıklı yapıdadır. Işıma yapan yama kısmı dikdörtgen, kare, dairesel, üçgen ya da başka herhangi bir şekilde tasarlanabilir. Yama modeli ve şekli uygun olarak seçilerek istenilen rezonans frekansı, desen, empedans ve polarizasyona uygun tasarım yapılabilir.

Mikroşerit antenler farklı besleme yöntemleri ile tasarlanabilmektedir. Bu yöntemlerin birbirlerine göre çeşitli üstünlükleri ve zayıflıkları bulunmaktadır. Bu çalışmada incelenecek besleme çeşitleri: mikroşerit besleme, koaksiyel besleme, yakınlık besleme ve açıklık besleme yöntemleridir. Bu besleme yöntemlerinin bant genişliği, geri dönüş kaybı gibi parametrelere etkileri incelenerek birbirleri ile karşılaştırılacaktır.

1.1. Mikroşerit Antenlerin Avantaj ve Dezavantajları

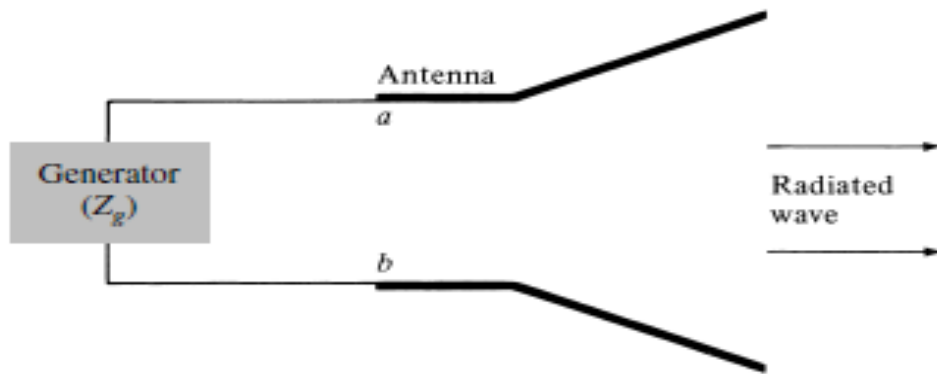
Mikroşerit yama antenler, ilk defa 1953 yılında keşfedilmiş ve 1955 yılında patenti alınmıştır fakat 1970’li yıllarda ancak dikkatleri üzerine çekebilmiştir. İlk aşamada uçaklarda, uzay mekiklerinde, uydularda ve füze uygulamalarında vb. gibi ağırlık, performans, boyut, montaj kolaylığı açısından kısıtlayıcı uygulamalarda, sonrasında mobil radyo ve kablosuz haberleşmelerde ticari ve kamusal uygulamalarda küçük profilli antenlere gereksinim duyulmaya başlanılmıştır. Giderek artan bir

kullanım alanına sahip mikroşerit antenler en önemli avantajları küçük profilleri, modern baskılı devre teknolojisi ile ucuza üretilibilmeleri, hafif ve küçük hacimli olmaları, üretim maliyetlerinin düşük olmaları, seri üretime uygun olmaları, küçük değişikliklerle, lineer ve dairesel polarizasyon sağlamaları gibi birçok avantajları bulunmaktadır. Mikroşerit antenlerin dezavantajları bulunmaktadır. Bunlar düşük bant genişliğine sahip olmaları, kazançlarının çok düşük olmaları, yarım düzlem içinde birçok mikroşerit antenlerin ısıma yapmaları ve düşük güç kapasitesine sahip olmaları belli başlı dezavantajlarıdır.

2. ANTENLER VE ÖZELLİKLERİ

2.1. Anten Nedir

Kablosuz iletişimin temeli elektromanyetik dalgaların bulunmasıdır. Bunun öncesinde manyetik alan ile elektrik alanın birbirinden bağımsız olduğu düşünülmekteydi. Maxwell'in Amper yasasında yaptığı düzeltme ile zamanla değişen elektrik alanın manyetik alan oluşturduğu kanıtlandı. Maxwell oluşturduğu "Maxwell denklemleri" olarak bilinen denklemler ile zamana göre değişen manyetik ve elektrik alanların hareket eden bir dalga özelliğine sahip olduğunu ispatladı. Heinrich Hertz 19. yüzyılın başlarında bunları deneysel olarak kanıtladı ve bu deneyde antenler ilk kez kullanıldı. Radyonun mucidi olarak bilinen Guglielmo Marconi'nin çalışmaları sayesinde anten teknolojisindeki gelişim hızlanmıştır ve daha sonra 1960'larda ilk kez bilgisayar ile birlikte çalışan anten sistemleri ortaya çıkmıştır [1]. Günümüzde kablosuz haberleşmenin oldukça yaygınlaşması nedeni ile anten teknolojisi oldukça gelişmiştir.



Şekil 2.1. Verici moddaki bir anten

Haberleşme sistemlerinin amacı bilginin iletilmesi ve alınmasıdır. Antenler alıcı, verici veya alıcı-verici olarak çalışarak bunu sağlamaktadır. Kısaca tanımlamak gerekirse; anten haberleşme sistemlerinde elektromanyetik dalga ve elektriksel işaretlerin dönüşümünü yapan elemandır. Anten verici olarak kullanıldığında iletim

hattından aldığı elektriksel işareti elektromanyetik dalgaya dönüştürerek iletim ortamına ışıma yapar. Alıcı antende ise gönderilmiş olan elektromanyetik dalga toplanarak elektriksel işarete dönüştürülür ve iletim hattına gönderilir. Aynı anda hem alıcı hem de verici olarak kullanılabilen alıcı-verici anten türleri de mevcuttur.

2.2. Anten Özellikleri

2.2.1. Devre Elemanı Olarak Anten

Alıcı antenin devre eşdeğeri Şekil 2.1’de görülmektedir ve ilgili ifadeler aşağıda verilmiştir.

$Z_A = R_A + jX_A$: Anten empedansı (Ohm)

$R_A = R_r + R_L$: Anten rezistansı (Ohm)

R_r : Radyasyon rezistansı (Ohm)

R_L : Kayıp rezistansı (Ohm)

X_A : Anten reaktansı (Ohm)

$V_{OC} = h_e + E$: Gelen dalga ile indüklenen gerilim (Volt)

h_e : Etkin anten uzunluğu (Metre)

E : Gelen dalganın elektrik alan şiddeti (Volt/Metre)

V_R : Alıcı devreye aktarılan gerilim (Volt)

$Z_R = R_R + jX_R$: Alıcı devre giriş empedansı (Ohm)

R_R : Alıcı devre giriş rezistansı (Ohm)

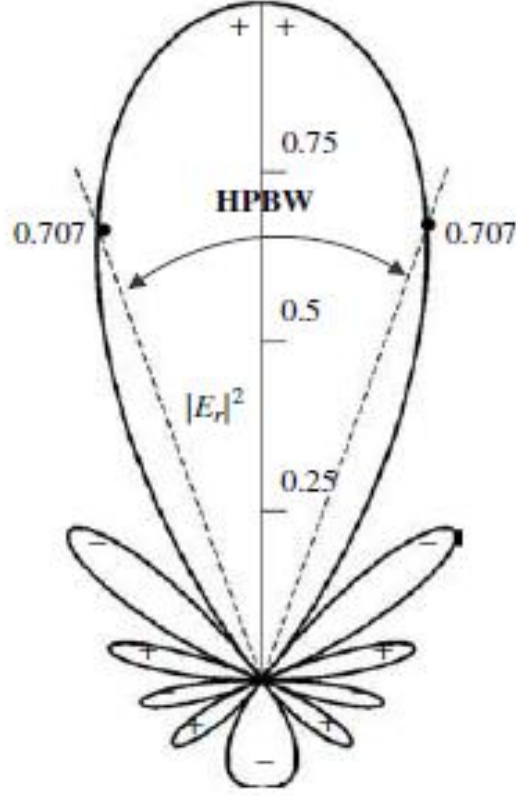
X_R : Alıcı devre giriş reaktansı (Ohm)

2.2.2. Temel Anten Parametreleri

2.2.2.1. Işıma deseni

Işıma deseni, anten ışıma özelliklerinin uzay koordinatlarının bir fonksiyonu olarak matematiksel ya da grafik olarak gösterimidir [1]. Işıma deseni; ana, yan ve arka loblar olarak adlandırılan çeşitli bölümlerden oluşmaktadır. Ana lob antenin maksimum ışıma yaptığı bölümü ifade eder. Yan loblar ise genelde ana loba komşu

olarak bulunan, istenenin dışındaki yönlerde ortaya çıkan ışımalardır. Arka lob ise ana ışımanın tam zıttı yönde oluşan ışımadır. Şekil 2.2’de ışıma deseni örneği verilmiştir.

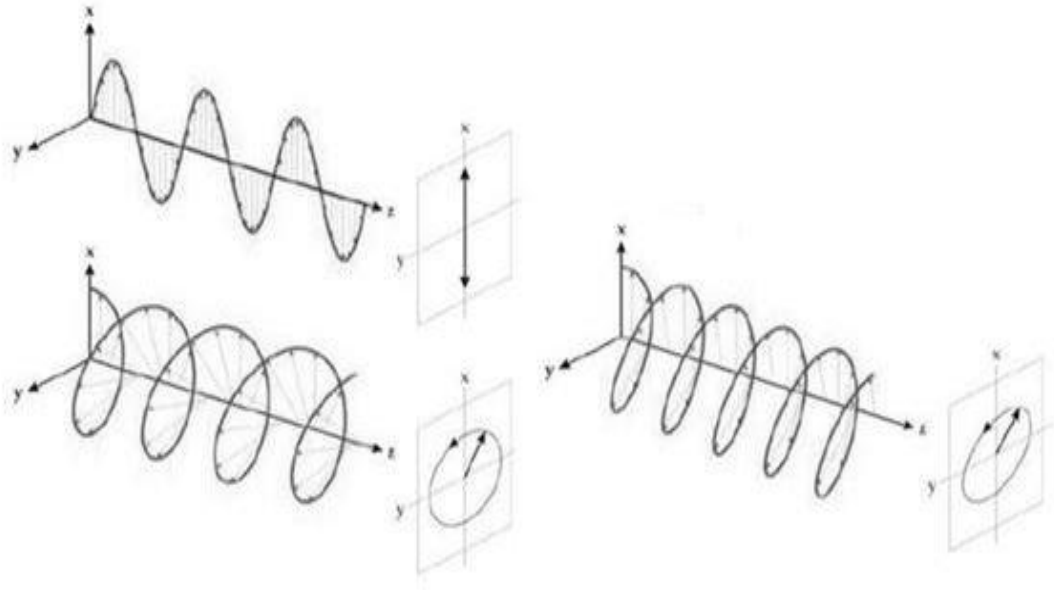


Şekil 2.2. Işıma deseni

Ana ışıma dışındaki istenmeyen yönlerde oluşan küçük lobların tasarımlarda minimize olması istenir. Genelde küçük lobların en büyükleri yan loblardır. Küçük lobların seviyesi genelde ana lobun güç yoğunluğuna olan oranları olarak ifade edilir ve yan lob seviyeleri olarak adlandırılır. Birçok uygulamada bu oranın -20dB ya da daha küçük olması istenir [7]. Antenler ışıma şekillerine göre genel üç farklı türe ayrılır. Bunlar; yönsüz, yönlü ve tüm yönlü olarak adlandırılır.

2.2.2.2. Polarizasyon

Polarizasyon, zaman göre elektrik alan vektörünün değişimidir. Doğrusal, eliptik ve dairesel olmak üzere üç çeşit polarizasyon vardır. Bu polarizasyon türleri aşağıdaki Şekil 2.3’de gösterilmiştir.

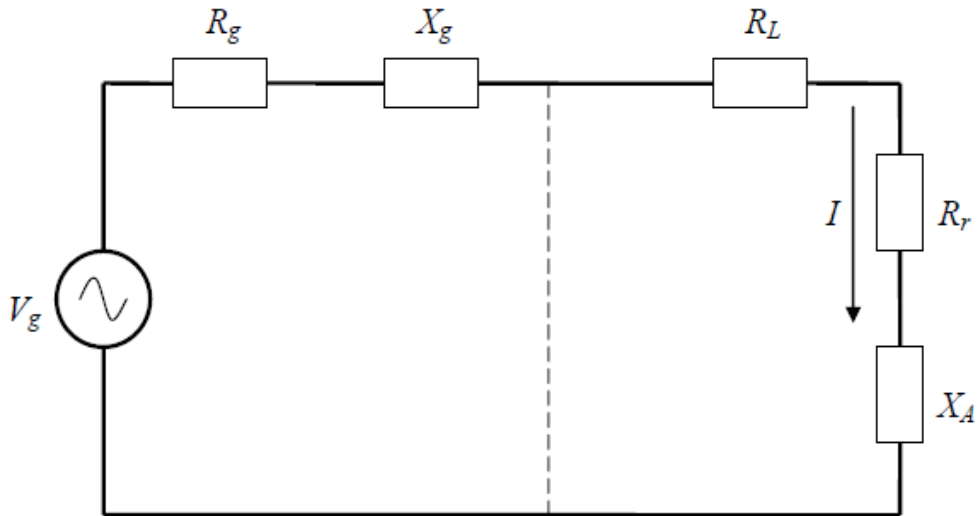


Şekil 2.3. Doğrusal, dairesel ve eliptik polarizasyona sahip dalgalar

Antenin yaydığı dalganın polarizasyonu anten polarizasyonu olarak tanımlanır. Yönlü antende ışıma yönündeki dalganın, yönsüz antenlerde ise kazancın maksimum olduğu yöndeki dalganın polarizasyonu anten polarizasyonunu belirler.

2.2.2.3. Anten giriş empedansı

Anten giriş empedansı, antenin bir terminalindeki empedans ya da bir çift terminaldeki voltaj akım oranı olarak tanımlanabilir. Alıcı anten uyarıldığında iç empedanslı bir jeneratör gibi görünür. İletim durumunda bu iç empedans giriş empedansı ile aynıdır. Anten empedansının devre eşdeğeri Şekil 2.4'te görülmektedir.



Şekil 2.4. Anten empedansının devre gösterimi

Anten empedansını veren voltaj akım oranı (2.1)'de verilmiştir. Burada R_A ifadesi empedansın reel kısmı, X_A ise sanal kısımdır. Reel kısım ise (2.2)'deki formülde görüldüğü gibi R_L kayıp direnci ve R_r ışıma direncinde oluşur.

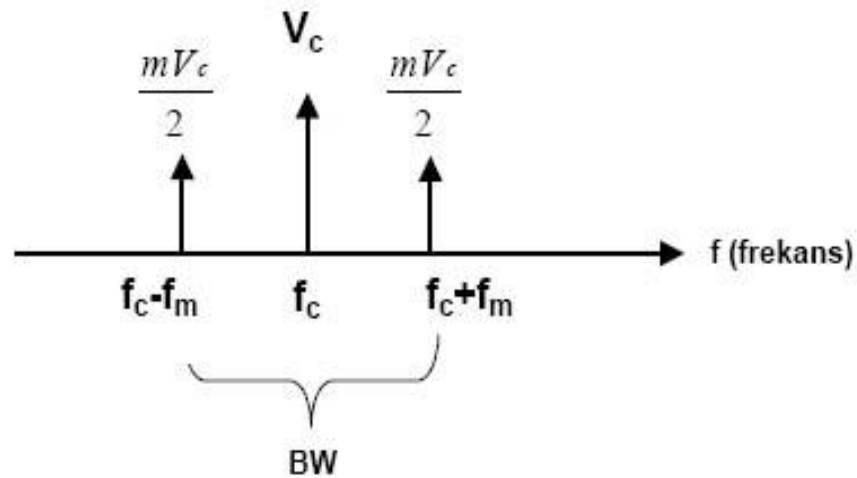
$$Z_R = R_A + jX_A \quad (2.1)$$

$$Z_R = R_r + R_L \quad (2.2)$$

Anten tasarımında, anten empedansının kaynağın empedansı ile uyumlu olması en verimli sonucu verir.

2.2.2.4. Bant genişliği

Bant genişliği antenin çalıştığı frekans aralığıdır. Bu parametre haberleşmedeki en önemli parametrelerden biridir. Antenlerde bant genişliği genellikle yansıma katsayısının -10dB'den daha küçük olduğu değerler için alınır. Şekil 2.5'te bant genişliğinin bulunması frekans ekseninde gösterilmiştir.



Şekil 2.5. Bant Genişliği

Bant genişliğini veren ifadede f_{max} antenin istenen özellikte çalıştığı maksimum frekansı, f_{min} ise minimum frekansı göstermektedir.

$$BW = f_{max} - f_{min} \quad (2.3)$$

Aşağıdaki ifadede ise bant genişliğinin yüzde olarak gösterimi verilmiştir. Burada f_c merkez frekansıdır.

$$BW(\%) = \frac{f_{max} + f_{min}}{f_c} \times 100 \quad (2.4)$$

Bant genişliğinin oranına göre antenler dar bantlı, geniş bantlı ve ultra geniş bantlı olmak üzere üç sınıfa ayrılır.

2.2.2.5. Etkin anten uzunluğu

Antenlerin etkin uzunluğu, çıkışta indüklenen gerilimin polarizasyon doğrultusundaki elektrik alan şiddetine oranından bulunur. E elektrik alan, V_{OC} çıkışta indüklenen etkin gerilim ve h_e etkin anten uzunluğu olmak üzere aşağıdaki ifadedeki gibidir.

$$h_e = \frac{V_{OC}}{E} \quad (2.5)$$

2.2.2.6. Anten faktörü

Anten ışıma faktörü, anten ışıma yapacak şekilde çalışırken; F_A anten ışıma faktörü, E polarizasyon doğrultusundaki elektrik alan şiddeti ve V_R anten girişine uygulanan etkin gerilim olmak üzere aşağıdaki gösterildiği şekilde tanımlanır.

$$F_A = \frac{E}{V_R} \quad (2.6)$$

2.2.2.7. Anten verimliliği

Anten ile ilgili birden fazla verimlilik vardır. Genel olarak anten verimliliği, değişik verimlilik etkenlerinin birleşimi olarak tanımlanabilir. Toplam anten verimliliği e_0 antenin yapısından kaynaklanan kayıpları ve giriş terminalindeki kayıpları kullanır. Toplam verimlilik; yansıma verimliliği e_r , iletim verimliliği e_c ve dielektrik verimliliği e_d olmak üzere (2.7)'deki ifadede verilmiştir.

$$e_0 = e_r e_c e_d \quad (2.7)$$

Burada görüldü üzere anten verimliliğini belirleyen üç ana etken vardır.

2.2.2.8. Anten ışıma verimliliği

Anten ışıma verimliliği e_{cd} , iletim verimliliği e_c ve dielektrik verimliliği e_d 'nin toplamından oluşan verimliliklerdir. Ancak iletkenlik kayıpları ve dielektrik kayıplarının anten ışıma verimliliğinin hesaplanmasını güçleştirdiği için, anten üzerinde yapılan ölçümler sonucunda elde edilen veriler kullanılarak hesaplanır [1]. Işıma verimi, ışıma gücünün çekilen güce oranıdır. Kaynaktan gelen gücün bir miktarı ısı dönüşerek antende kayıp olmasına neden olur. Bu kayıp ile ışıma gücünün toplamı alınan güce eşit olduğundan ısı kayıplarının azalması ışıma gücünün dolayısı ile verimliliğin artmasını sağlar.

Isıya dönüşen güç azaldıkça verim artar. P_{IN} anten giriş gücü, P_{OUT} antenden yayılan toplam güç, R_r ışıma direnci ve R_L ısı kayıp direni olmak üzere formül 2.8'de ifade edilmiştir.

$$\frac{P_{OUT}}{P_{IN}} = \frac{R_r}{R_r + R_L} \quad (2.8)$$

2.2.2.9. Yönlendiricilik

Yönlendiricilik, antenin yönlendiriciliğinin maksimum olduğu değerdir. Yönlendiricilik girişe gelen sinyalin anten tarafından ne kadar yönlendirildiğini gösterir. Kayıpsız antenlerde anten kazancı yönlendiriciliğe eşittir. Aşağıdaki ifadede görüldüğü üzere yönlendiricilik D , ışıma yoğunluğu U 'nun 4π katının toplam ışıma gücü P_{rad} 'ne oranıdır. U_0 yönsüz kaynağın ışıma yoğunluğu.

$$D = \frac{U}{U_0} = \frac{4\pi U}{P_{rad}} \quad (2.9)$$

Yönün belirli olmadığı durumda maksimum ışıma yoğunluğuna bakılır. Aşağıdaki ifadede, D_{max} maksimum yönlendiricilik, U_{max} maksimum ışıma yoğunluğu olarak kullanılmıştır.

$$D_{max} = \frac{U_{max}}{U_0} = \frac{4\pi U_{max}}{P_{rad}} \quad (2.10)$$

2.2.2.10. Yönlendiricilik kazancı

Bir antenin ışıma şiddeti yoğunluğunun yönsüz bir antendekine olan oranı yönlendiricilik kazancı $D(\theta, \phi)$ 'dır. Aşağıdaki ifadede $U(\theta, \phi)$ anten ışıma şiddeti yoğunluğu, P antenin yaydığı toplam güçtür.

$$D(\theta, \phi) = \frac{4\pi U(\theta, \phi)}{P} \quad (2.11)$$

2.2.2.11. Işıma güç yoğunluğu

Işıma güç yoğunluğunu gösteren ifade (2.12) aşağıda verilmiştir. Işıma birim vektörü $\hat{a}_r$ ve r yarıçaptır.

$$W_0 = \hat{a}_r \left(\frac{P_{rad}}{4\pi r^2} \right) \quad (2.12)$$

2.2.2.12. Işıma şiddeti

Işıma şiddeti, belirlenen yön için açı başına antenden yayılan güçtür. Uzak alan parametresi olan ışıma şiddeti, ışıma yoğunluğu ve uzaklığın karesinin çarpımına eşittir.

$$U = r^2 W_{rad} \quad (2.13)$$

2.2.2.13. Anten ışıma direnci

Antenin yaydığı toplam gücün, çektiği akımın karesine oranı anten ışıma direncini verir. Anten ışıma direncine bakarak antenin çektiği akıma oranla ürettiği ışımanın ne kadar güçlü olduğu hakkında fikir sahibi olunur. P_0 toplam gücü ve I devreden alınan akımın etkin değeri ifade eder.

$$R_r = \frac{P_{out}}{I^2} \quad (2.14)$$

2.2.2.14. Kazanç

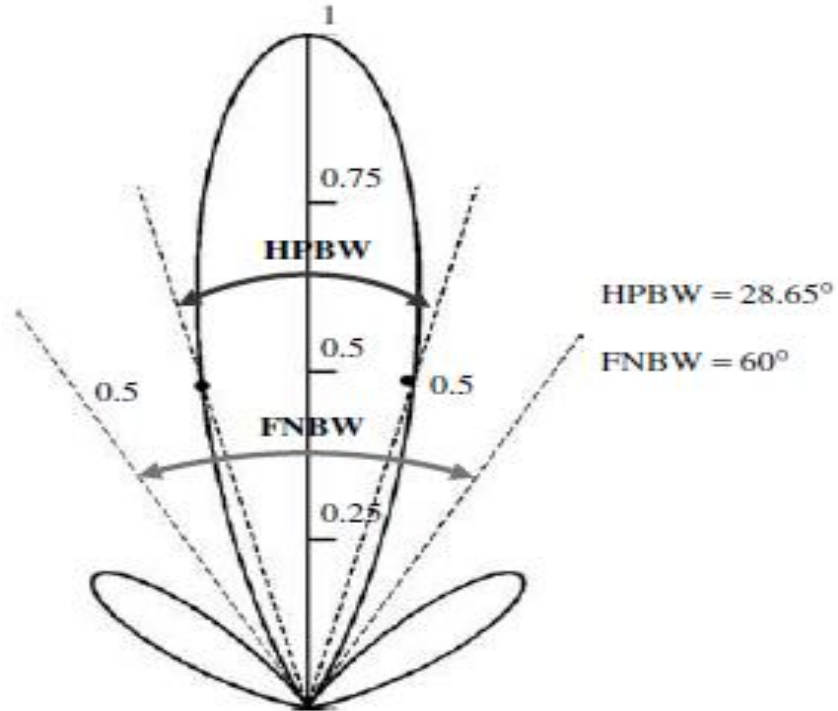
Kazanç bir antenin aldığı giriş gücünü belirli bir yönde ışımaya dönüştürme yeteneğinin bir ölçüsüdür ve ışıma gücünü tepe yaptığı yerde ölçülür [5]. Gerçek bir antenin kazancı ışımanın zirve yaptığı yöndeki güç yoğunluğunu artırır. Kazanç bu açıdan antenin performansını değerlendirme önemli bir ölçüdür. Kazanç

yönlendiricilik ile ilgili olduğu kadar verimlilik ile de ilgilidir. Kazanç, ışıma şiddetinin $U(\theta, \phi)$ ve toplam giren gücün P_{in} oranının 4π ile çarpımına eşittir.

$$G = 4\pi \frac{U(\theta, \phi)}{P_{in}} \quad (2.15)$$

2.2.2.15. Hüzme genişliği

Hüzme genişliği anten deseni ile ilgili bir parametredir. Hüzme genişliği maksimum desenin zıt taraflarındaki iki eş nokta arasındaki açısal aralıktır. Anten deseninde birçok hüzme genişliği vardır ve bunların en çok kullanılanlarından biri yarım güç hüzme genişliğidir (HPBW). HPBW ışımanın maksimum olduğu düzlemde ışıma şiddetinin yarı değerinde olduğu iki yön arasındaki açıdır. Bir başka önemli hüzme genişliği ise ilk sıfır noktalarının arasındaki açısal açıklık olan ilk sıfır hüzme genişliğidir (FNBW). Hem yarım güç hüzme genişliği (HPBW) hem de ilk sıfır hüzme genişliği (FNBW) Şekil 2.6'de görülmektedir.



Şekil 2.6. İki boyutlu güç deseni

2.2.2.16. Gerilim duran dalga oranı (VSWR)

İletim hattındaki maksimum gerilimin minimum gerilime oranı bize gerilim duran dalga oranını verir. Γ yansımaya katsayısını V_{max} ve V_{min} ise maksimum ve

minimum gerilim değerlerini ifade eder. Aşağıdaki eşitlikte gerilim duran dalga oranının ifadesi verilmiştir.

$$VSWR = \frac{V_{max}}{V_{min}} = \frac{1+|\Gamma|}{1-|\Gamma|} \quad (2.16)$$

Gerilim duran dalga oranı iletim hattının karakteristik empedansı ile anten giriş empedansının uyumunu gösterir. Yansıma katsayısının 1 veya -1 olduğu durumlarda VSWR'e sonsuza gider bu en istenmeyen durumdur. İstenen durumda VSWR'e 1 değerini alır.

2.2.2.17. Anten geri dönüş kaybı

Geri dönüş kaybı, antene gönderilen yükün ne kadarının kaybolduğunu gösterir. Anten ile verici empedansı uyumlu olmadığı durumda yansıyan dalgalar duran dalga oluşturur. Teoride mükemmel durumda yansıma sıfır olması gerekir bu da pratikte mümkün değildir. VSWR'nin 2 olması, kabul edilebilir olan -9.55 dB geri dönüş kaybına karşılık gelir.

2.3. Anten Çeşitleri

Kablosuz haberleşmedeki farklı ihtiyaçlar, değişik anten çeşitlerinin ortaya çıkmasına neden olmuştur. Kullanımda boyut, polarizasyon, bant genişliği ve istenen frekans ve diğer koşullar dikkate alınarak anten seçiminde bulunulması daha iyi sonuçlar verir. Bu bölümde tel antenler, açıklık antenler, mikroşerit antenler ve dizi antenler hakkında bilgiler verilecektir.

2.3.1. Tel Antenler

Tel antenler, doğrusal ya da eğrisel olsun en eski, basit, ucuz ve birçok uygulama için en çeşitli anten türleridir. Basitlik ve ucuzluk gibi avantajları nedeniyle uzun süredir çok çeşitli alanlarda kullanılmıştır ve halen kullanımına devam etmektedir. Bu antenler Aşırı düşük frekans bandından Çok yüksek frekans bandına kadar en sık görülen antenlerdir. Frekansı boyutuyla birlikte değiştiğinden dolayı frekansın yüksekliği daha da arttığında boyutlar sorunlara neden olmaktadır. Tel antenler şekillerine göre iki çeşittir. Bunlar; doğrusal tel antenler ve eğrisel tel antenlerdir. Sonraki bölümde bu antenler kısaca incelenmiştir.

2.3.1.1. Doğrusal tel antenler

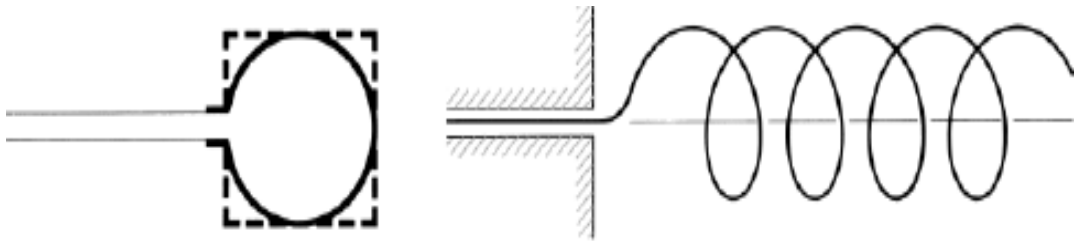
Doğrusal antenler değişken akım ile indüklenirler ve iki uca sahiptirler. Bu uçlardan biri işaret ucu ve diğeri toprak ucu olmak üzere açık devre ile sonlanmış gibi görünürler. Monopol olanlarında işaret ucu tel, toprak ucu ise iletkenliği yüksek metal bir plakaya bağlıdır. Dipol olanlarına ise bir örnek Şekil 2.7’de görülmektedir. Dipol ile monopol tel antenlerin desenleri aynıdır. Ancak bu antenler arasındaki fark monopol antenin daha az akım çekmesi nedeni ile daha az gücü elektromanyetik dalga olarak aktarmasıdır. En sık kullanılan çeşidi ise yarım-dalga dipol antendir.



Şekil 2.7. Dipol doğrusal tel anten

2.3.1.2. Eğrisel tel antenler

Eğrisel tel antenlerin doğrusal olandan farkı, elektromanyetik dalga ışıması doğrusal olmayan bir tel üzerinden yapmasıdır. Bu tür antenler örnek olarak Şekil 2.8’de çevrimsel ve heliks antenler verilebilir.

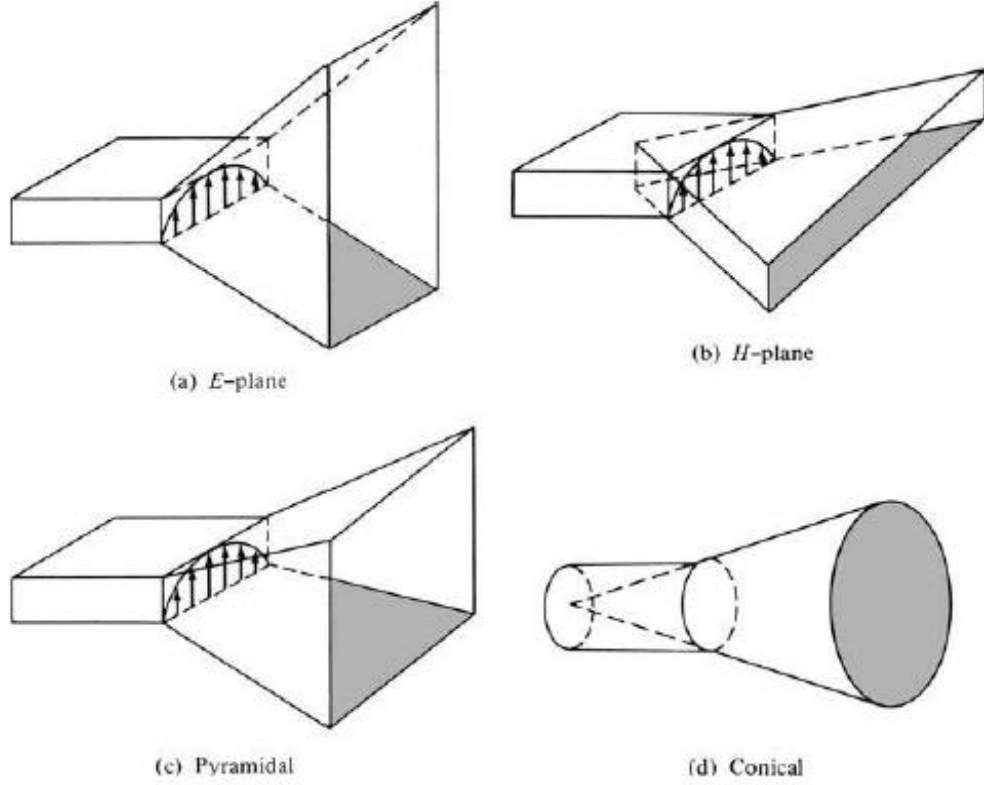


Şekil 2.8. Çevrimsel anten ve heliks anten

2.3.2. Açıklık Antenler

Mikrodalga frekanslarında en sık kullanılan anten tipi açıklık antenlerdir. Tel antenler her yöne eşit ışıma yaparlar ve yönlülük gerektiren uygulamalarda iyi sonuç vermezler. Açıklık antenler yönlülük gerektiren uygulamalarda daha iyi sonuç

verdikleri için havacılık ve uzay ile alakalı birçok alanda kullanılırlar. Bu antenler dalga kılavuzu veya huni formunda olup, eliptik, dikdörtgen, dairesel veya herhangi bir şekilde olabilmektedir. En sık kullanılanlardan biri olan huni antenler Şekil 2.9'da görülmektedir.



Şekil 2.9. a) E-düzlem, b)H-düzlem, c) Piramit Huni, d) Konik Huni antenler

Huni antenler en çok kullanılan ve en basit mikrodalga antenlerdir. 1800'lerde kullanılmaya başlayan huni antenler, ikinci dünya savaşı zamanlarında daha ön plana çıkmıştır. Radyo astronomi, uydu takibi ve başka haberleşme alanlarında sık olarak rastlanmaktadır.

2.3.3. Mikroşerit Antenler

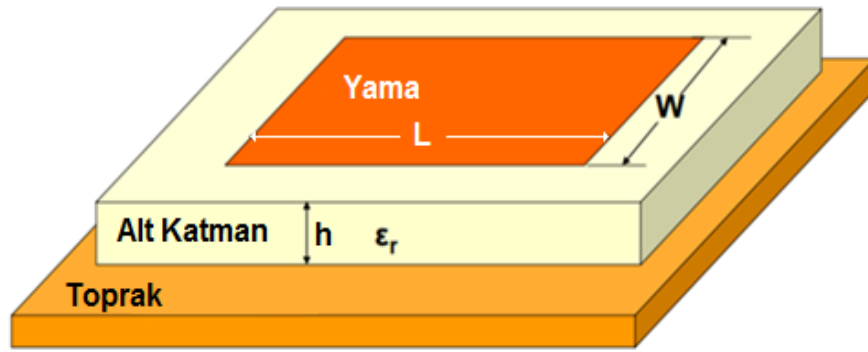
Mikroşerit antenler basit olarak ince bir dielektrik malzeme ile ayrılmış iki iletken şeklinde tanımlanabilir. İki iletken yüzeyden biri toprak olarak kullanılırken diğeri besleme bağlanarak ışıma yapar. Işıma yapan yüzey çok farklı şekillerde tasarlanıp farklı ışıma özellikleri sağlamaktadır. Genelde altın, gümüş, bakır gibi iletkenliği yüksek metaller kullanılır. Bu projede tasarlanan antende mikroşerit olduğu içi sonraki bölümde ayrıntılı bir şekilde incelenecektir.

2.3.4. Dizi Antenler

Birbirlerine benzeyen antenlerin tekrarlanması ile ortaya çıkan yapılardır. Dizi antenler kullanılarak yönlendiricilik kazancı, çıkış gücü veya bant genişliği artırılır. Log-periyodik ve Yagi-Uda antenleri tel dizi antenlere örnek verilebilir. Yagi-Uda antenlerde yüksek yönlendiricilik, Log-periyodik antende ise yüksek bant genişliği sağlanır.

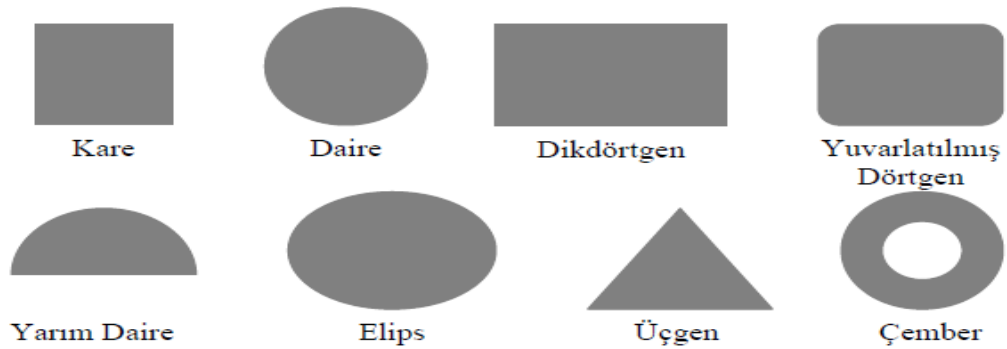
3. MİKROŞERİT YAMA ANTENLER VE BESLEME YÖNTEMLERİ

Mikroşerit anten kavramının temeli 1953’de Deschamps’ın mikroşerit yapıların anten olarak kullanılabilir olduğunu göstermesi ile atılmıştır [1]. Ancak antende kullanılacak yeterince iyi bir dielektrik malzeme geliştirilmesi 20 yıl sonrasına kadar mümkün olmamıştır. İlk mikroşerit antenler Howell ve Munson tarafından yapılmıştır ve füzelerde ve uzay araçlarında kullanılmıştır.



Şekil 3.1. Mikroşerit yama anten

Mikroşerit antenler Şekil 3.1’de görüldüğü gibi bir dielektrik malzeme, üstünde iletken bir metal yama ve altında toprak olarak kullanılan iletken metal bir yüzeyden oluşur. Küçük boyutları ve değişik yüzeylere uygulanabilmesi RADAR, GPS, Wi-Fi gibi birçok alanda kullanılmasını sağlamıştır. RADAR



Şekil 3.2. Mikroşerit anten yama şekilleri

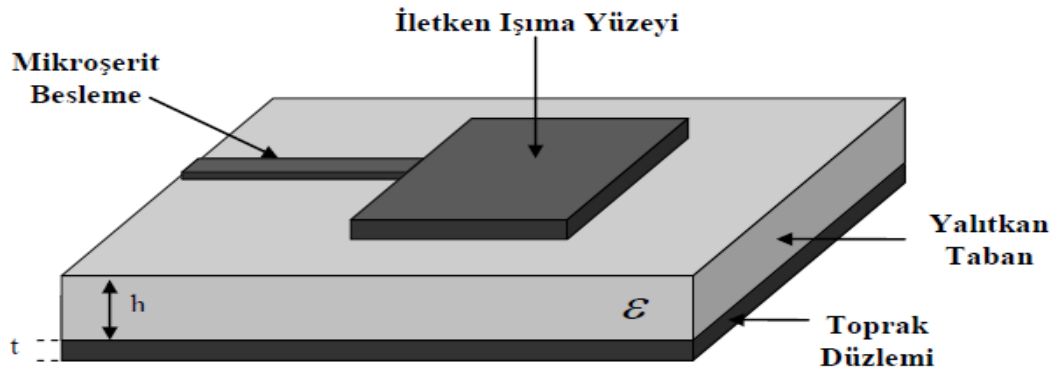
Mikroşerit antenin ışıma yapan yama kısmı Şekil 3.2’de görüldüğü gibi kare, dikdörtgen daire, eliptik veya başka herhangi bir şekle sahip olabilir. Yamanın boyutları ve şekilleri antenin özelliklerinde en belirleyici etkenlerden biridir. Ancak şeklin değişmesi ışıma karakteristiğinde büyük değişiklikler getirmez. Yarım güç hüzmeye genişliği genel olarak 70-90 derece ve anten kazancıda 5-6 dB olmaktadır [5].

3.1. Mikroşerit Antenlerin Besleme Çeşitleri

Mikroşerit antenler kullanılmaya başladıklarında toprak kısmının içinden geçen koaksiyel sonda ya da mikroşerit hat vasıtası ile beslenirlerdi. Daha sonra geliştirilen yöntemler ile birlikte temaslı ve temassız besleme çeşitleri ortaya çıkmıştır. Bu besleme çeşitlerinin en öne çıkanları mikroşerit besleme, koaksiyel besleme, açıklık besleme ve yakınlık besleme yöntemleridir [8]. Besleme hattı ile ışıma yapan yüzey arasındaki empedans uydurma tasarım sırasında besleme çeşidini belirlememizde en dikkat edilen hususlardan biridir. Empedans uyumunun sağlamadığı durumlar istenmeyen yan lob ışımlarının artmasına ve gücün istenildiği gibi verimli aktarılamamasına neden olmaktadır. Bu yöntemleri ileriki bölümlerde daha ayrıntılı ele alacağız.

3.1.1. Mikroşerit besleme yöntemi

Mikroşerit besleme yönteminde besleme hattı ışıma yapan yüzey ile aynı düzlemde bulunur. Bu yöntemde yama, mikroşerit hattın uzantısı olduğu için üretimi basitleşmiş olur. Üretim kolaylığı nedeni ile en çok kullanılan yöntemlerinden biridir. Mikroşerit beslemenin yapısı Şekil 3.3’de görülmektedir.

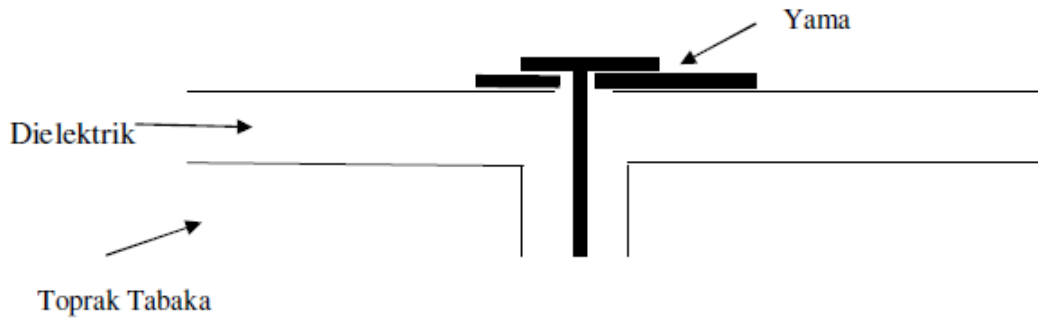


Şekil 3.3. Mikroşerit beslemeli anten

Genel olarak besleme hattı yamadan daha ince seçilir. Bir başka avantajı ise empedans uyumu sağlamada besleme hattının konumunda değişiklik yapılmasındaki kolaylıktır. Ancak aradaki dielektrik yüzeyin kalınlığı fazla olduğunda istenmeyen dalgalar oluşur buda bant genişliğinin 2-5% olarak sınırlar [1]. Empedans uyumu için bir yöntem yama ile anten empedansları arasındaki farkı kapatmak için çeyrek dalga empedans dönüştürücü kullanmaktır. Bu şekilde empedansların birbiri ile aynı olacağı şekilde taşıyım mümkün olur. Ayrıca dizi anten oluşturma da kolaylık sağlanır. Bir başka yöntem ise besleme kısmında yamada yarıklar açılmasıdır. Açılan bu yarıklar empedans uyumunu sağlasa da antenin çekebileceği güçte sınırlamaktadır ve sahte ışımalarda artışa neden olur. Bu yöntemde antenin besleme yerini değiştirerek antenin frekansı belirlenebilir veya kullanılacağı yere fiziki olarak uygun olacak şekilde konumlandırılır. Bu yer değişikliği ışıma görüntüsünün değişikliğine neden olmaz. Ayrıca yamanın boyutlarını değiştirmekte çalışma frekansına ulaşmada belirleyicidir.

3.1.2. Koaksiyel besleme yöntemi

Koaksiyel besleme, kabloun dışındaki topraklama kısmının antendeki toprak kısmına, kabloun içindeki gücü ileten kısmının da antenin yama yüzeyinin altına bağlanması ile sağlanır. Bu yapı Şekil 3.4'te görülmektedir.



Şekil 3.4. Koaksiyel beslemeli mikroşerit anten yapısı

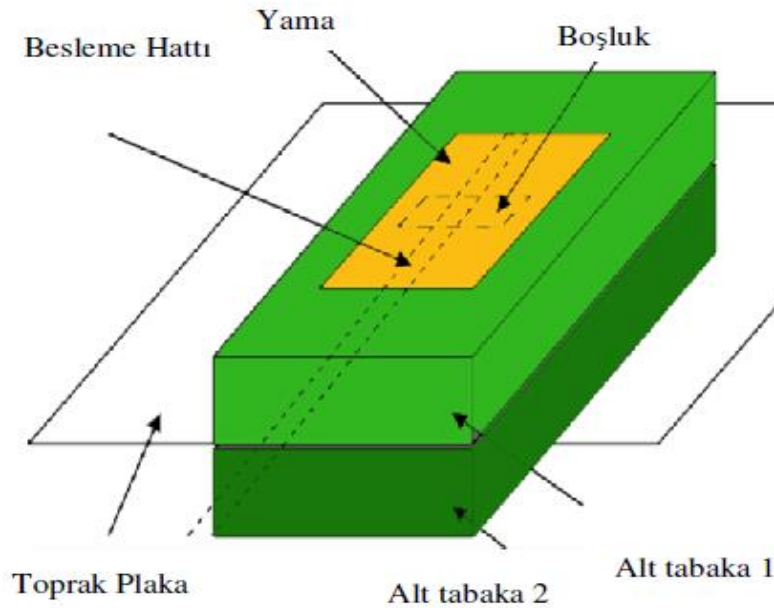
Koaksiyel kablo şekillendirmeye uygunluğu nedeni ile birçok alanda kullanılır. Koaksiyel beslemenin getirdiği yenilik sağladığı yüksek anten verimliliğidir. Bu da bu beslemenin sık kullanımını sağlamıştır. Mikroşerit antenlere göre daha fazla güç ile çalışmaya ve yüksek frekanslara daha uygundur. Bunun nedeni ise hat kayıplarının daha az olmasıdır. Ayrıca yine mikroşerit besleme enine elektromanyetik iken koaksiyel besleme daha saf TEM modunu sağlayabilmektedir. Bu beslemenin bir

başka avantajı ise beslemenin antenin diğer parçalarından bağımsız olmasıdır. Bu şekilde tasarımda her eleman ayrı ayrı uygun hale getirilebilir.

Bu beslemede duran dalga oranını azaltmak için kullanılabilecek empedans uyumlama devresi kullanımı sınırlıdır. Ancak empedans uyumunun sağlandığı yerden besleme yapılarak bu sorun aşılr. Yine de bu durum dizi antenlere uyumsuz olmasına neden olur. Bir başka kısıtlama ise mikroşerit beslemedeki gibi bant genişliğinin az olmasıdır. Bunun sebebi besleme hattında oluşan sahte ışımalardır. Sahte ışımlar koaksiyel hattın empedansının artmasına sebep olur. İncelediğimiz temaslı beslemeler, koaksiyel besleme ve mikroşerit beslemede antenler asimetrik yapıda olduğu için çapraz polarisasyona sahip ışımlar oluşmaktadır. Bu problemi engellemek için temasız beslemeler kullanılabilir [7].

3.1.3. Açıklık bağlantılı besleme yöntemi

Açıklık anten temassız mikroşerit anten türlerinden biridir. Şekil 3.5'te görüldüğü gibi açıklık bağlantılı beslemede, iki yalıtkan malzeme arasında toprak iletken yerleştirilir ve iletim hattı alttaki dielektrik malzemenin altında bulunur. Besleme hattındaki enerji ışıma yüzeyine toprak yüzeyindeki açıklıktan aktarılır. Toprak yüzeydeki açıklık bulunmaz ise iletim hattından gelen enerji ışıma yüzeyine ulaşmadan geri yansır. Bu durumda ışıma yüzeyi ve anten işlevsiz hale gelir.

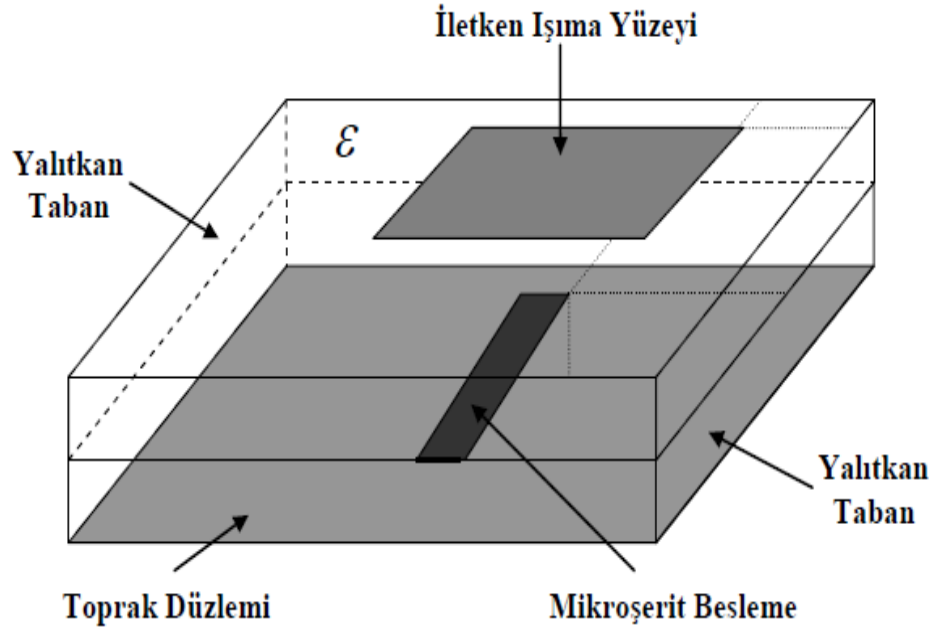


Şekil 3.5. Açıklık bağlantılı mikroşerit anten

Açıklık bağlantılı antenin tasarımında iki dielektrik malzemenin kalınlıkları, dielektrik büyüklükleri ve açıklığın boyutları uygun seçilmelidir. Açıklığın çok küçük olması yamaya ulaşan elektromanyetik dalgaların oldukça azalmasına sebep olabilir. Bunun dışında iki yalıtkan yüzey kalınlıkları ve dielektrik büyüklükleri istenen anten özelliklerini sağlayacak şekilde farklı seçilebilir. Bunun dışında açıklık mikroşerit antenler yüksek polarizasyon saflığına sahiptir. Toprağın besleme hattının açık ucundan gele sinyalleri engellemesi bunu sağlamaktadır [9,10]. Bu antenlerin zayıf olduğu kısımlar ise toprak zemindeki açıklığın neden olduğu ışıma desenindeki arka loblardır. Ayrıca iki yalıtkan yüzey bulunması üretimde oluşacak kusurlardan daha çok etkilenmesine neden olmaktadır.

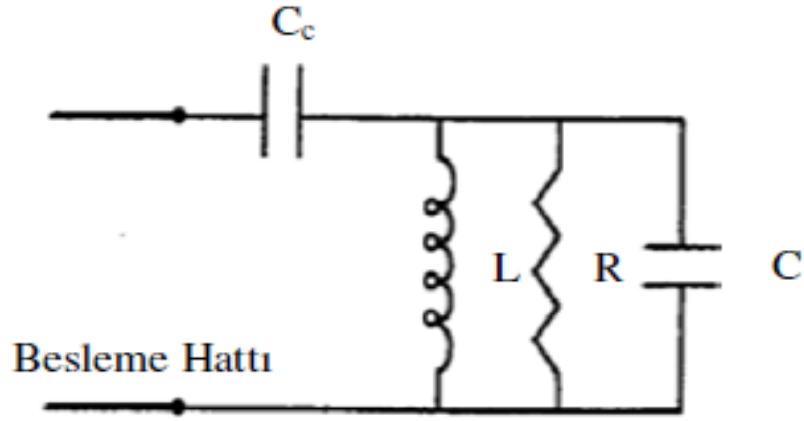
3.1.4. Yakınlık bağlantılı besleme yöntemi

Yakınlık bağlantılı besleme de açıklık besleme gibi bir temasız besleme türüdür. Bu besleme türünde de Şekil 3.6’te görüldüğü gibi iki yalıtkan tabakadan oluşur. Besleme hattı iki yalıtkan yüzeyin arasında konumlanır ve açık devre yan hat ile sonlanır. Işıma yüzeyi en üstte, toprak yüzeyi ise en altta bulunur.



Şekil 3.6. Yakınlık bağlantılı mikroşerit anten

Şekil 3.7’de antenin devre eşdeğeri verilmiştir. Burada görüldüğü gibi paralel bağlanmış RLC devresine seri bağlı bir kapasiteden oluşan bir eşdeğer devreye sahiptir.



Şekil 3.7. Yakınlık bağlantılı mikroşerit antenin eşdeğer devresi

İki dielektrik yüzey olması üretimdeki hatalara çok hassas olmasına sebep olur. Bu beslemede yamanın olduğu yalıtkan düzey ince tutulup alttaki yüzey kalın tutularak anten verimi atarken, empedans uyumu da sağlanabilir. Bu besleme çeşidi en yüksek besleme çeşidini sağlar.

3.2. Analiz Yöntemleri

Mikroşerit anten analizi için kullanılabilecek farklı yöntemler mevcuttur. Transmisyon hat modeli (TLM), boşluk modeli ve tam dalga modelleri en sık kullanılan yöntemlerdir. Bunlardan en kolay olanı ise transmisyon hat modelidir. Ancak diğer yöntemlere göre doğruluğu daha düşüktür [1]. Transmisyon modeli ince yalıtkan kullanılan antenlerde daha yüksek doğrulukta sonuçlar verir.

Boşluk modeli ise transmisyon modelinde farklı olarak ışıma örüntüsünü ve antenin fiziksel karakteristiğini çok daha iyi modelleyebilmektedir. Ancak temassız antenlerde doğruluğu yeterince iyi değildir.

Son olarak tam dalga modeli diğer modellere kıyasla çok daha iyi hassasiyete sahip bir modeldir. Bu model zor bir model olmasına rağmen, tek parça anten yapılarına, temassız antenlere ve dizi antenlere uygulanabilmektedir.

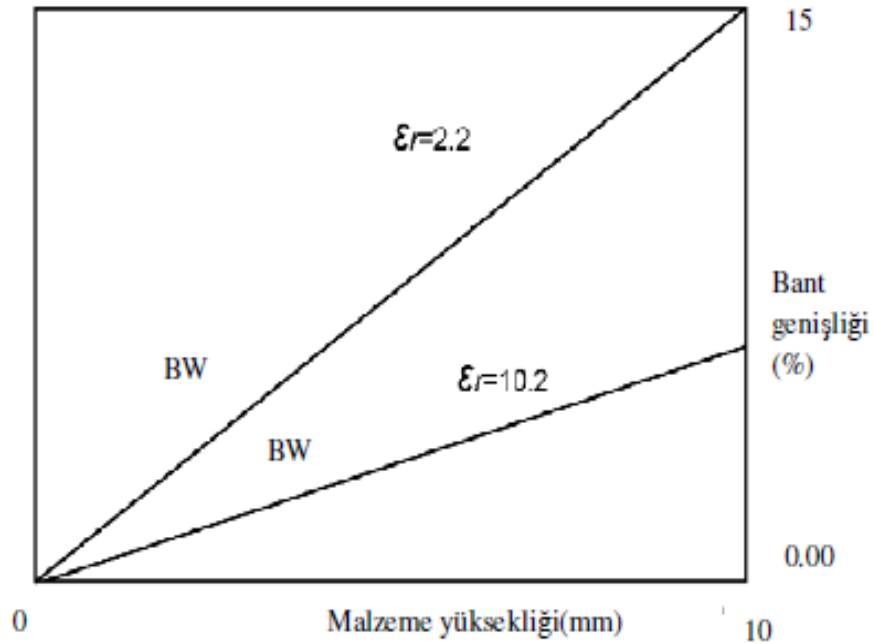
3.3. Mikroşerit Anten Tasarımı

Mikrodalga tranzistörler gibi aktif devre elemanlarının yaygınlaşması mikroşerit antenlerin daha karmaşık yapılara sahip olup daha küçük boyutlarda üretimi

mümkün hale getirmiştir. Tasarımda yalıtkan malzemelerin kalınlığı hattın empedansının değıştirir. Genel olarak mikroşerit antenin kalıgının dalga boyunun 0.02 katı ya da daha küçük olması istenir.

3.3.1. Yalıtkan yüzeyin özelliklerinin belirlenmesi

Yalıtkan yüzey antenin diğır elemanlarına fiziksel olarak destek sağlar ve ışımayı da etkiler. Fiziksel olarak hafiflik, kullanılacağı fiziki koşullar dışında gerek duyulan ışıma özellikleri ve bant genişliğı de bu malzemenin belirlenmesinde etkilidir. Antenin bulunacağı ısı koşullar için seçilecek olan malzemenin ısı dayanıklılığı önemlidir. Isı yalıtkan malzemenin hem boyutlarını hem de dielektrik katsayısını etkileyerek frekansı değıştirebilir. Ayrıca yine kullanılacağı yüzeye bağılı olarak esnek bir malzeme seçimi yapılabilir.



Şekil 3.8. Malzeme kalınlığı ve dielektrik sabitinin bant genişliğine etkisi

Şekil 3.8’de görüldüğü üzere bant genişliğinin yüksek olması için dielektrik katsayının küçük tutulurken malzeme kalınlığının fazla olması sağlanmalıdır. Çalışma frekansının düşük olduğu tasarımlarda ise dielektrik katsayının fazla olması antenin boyutlarının küçük olabilmelerini sağlar.

3.3.2. Yama boyutlarının belirlenmesi

Yamanın boyutları belirlenirken çalışma frekansı f_c , yalıtkan malzemenin dielektrik katsayısı ϵ_r ve kalınlığı h dikkate alınır.

$$W = \frac{c}{2f_c} \left(\frac{\epsilon_r + 1}{2} \right)^{-\frac{1}{2}} \quad (3.1)$$

$$L = \frac{c}{2f_c \sqrt{\epsilon_e}} - 2\Delta l \quad (3.2)$$

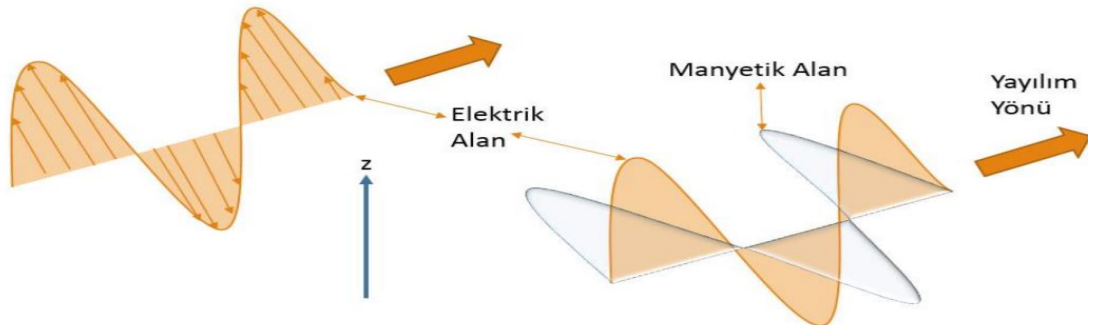
Yukarıda yamanın eni W ve boyunun L hesaplandığı eşitlikler verilmiştir. Bu formüllerde c ışık hızı, ϵ_e etkin dielektrik katsayısı ve Δl hat genişlemesidir. Burada hesaplanan boyutlardan daha büyük yama kullanılması anten verimliliğini artırır ancak alan dağılımında bozulmalara neden olur [11]. Aşağıdaki eşitliklerde, ϵ_e etkin dielektrik katsayısı ve Δl hat genişlemesinin bulunduğu formüller verilmiştir.

$$\epsilon_e = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[1 + \frac{12t}{W} \right] \quad (3.3)$$

$$\Delta l = 0.412h \frac{(\epsilon_e + 0.3) \left(\frac{W}{h} + 0.264 \right)}{(\epsilon_e - 0.258) \left(\frac{W}{h} + 0.8 \right)} \quad (3.4)$$

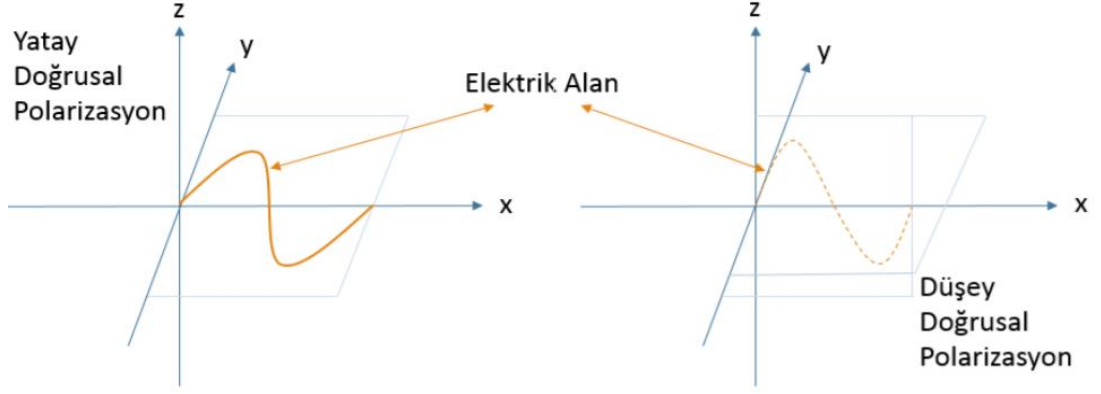
3.4. Antenlerde Polarizasyon Teknikleri

Bir elektromanyetik alanın bileşenlerinin yönü ve antenin yerleşim biçimi yayılımın polarizasyonunu belirler. Üç tür polarizasyon bulunmaktadır. Bunlar Doğrusal, dairesel ve eliptiktir. Şekil 3.9’da gösterilen doğrusal polarizasyon yatay ve düşey olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır.



Şekil 3.9. Doğrusal polarizasyon

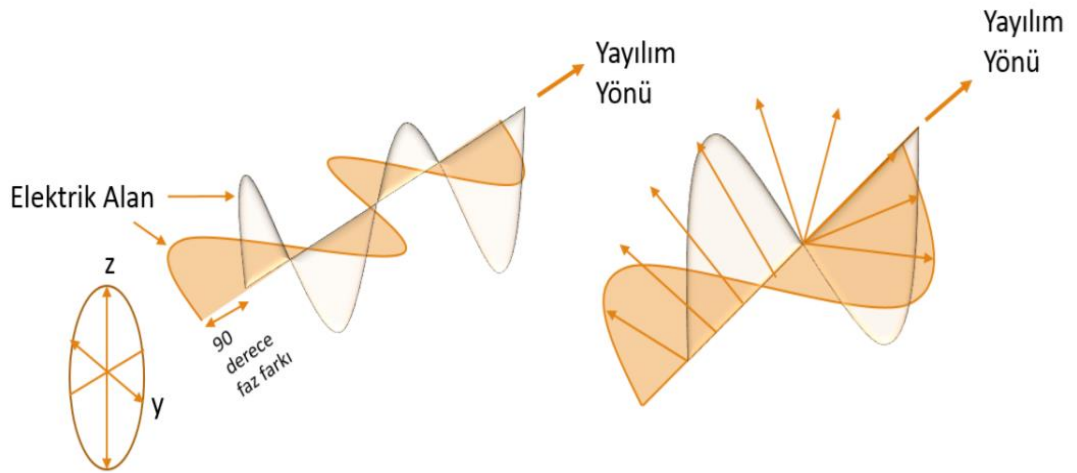
Şekil 3.10’da görüldüğü gibi düşey polarizasyonda elektrik alanı yer yüzeyine dik, yatay polarizasyonda ise yer yüzeyine paraleldir.



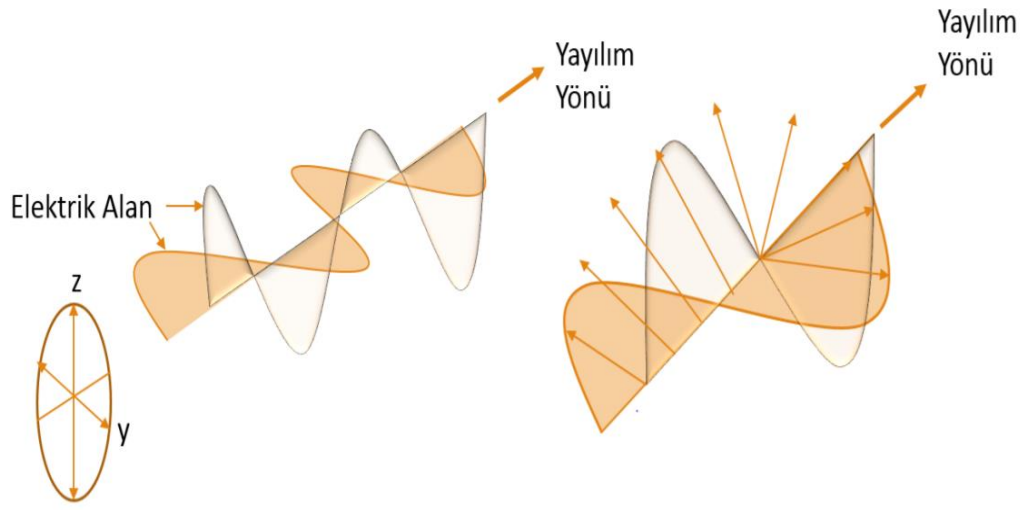
Şekil 3.10. Yatay-Düşey doğrusal polarizasyon

Anten yayın yapmakta, elektrik ve manyetik alan vektörleri birbirine dik ve aynı büyüklükte aralarındaki 90° nin tek olan katlarında faz farkı 7 ise bu anten dairesel polarizasyona sahip demektir. Elektrik alanın dönüşü saat yönünde ise buna sağ-el dairesel polarizasyonu, elektrik alanın dönüşü saat yönünün tersin de ise sol el dairesel polarizasyonu olarak adlandırılmaktadır.

Şekil 3.11’de dairesel polarizasyona ait elektrik alan yayılımı gösterilmiş Şekil 3.12’de eliptik polarizasyona ait elektrik alan yayılımı gösterilmiştir. Antenin elektrik alan ve manyetik alan vektörlerinin büyüklükleri farklı ise bu anten eliptik polarizasyon olarak adlandırılmaktadır.



Şekil 3.11. Dairesel polarizasyon



Şekil 3.12. Eliptik polarizasyon

4. ANTEN TASARIMI VE ANALİZİ

4.1. Ansoft HFSS Paket Programı

HFSS programı üç boyutlu pasif cihazları tasarlanabildiği tam dalga elektromanyetik alan simülatörüdür. Ara yüzünün basit olması ve programın hızlı ve doğru sonuç almayı sağlamaktadır. Analiz için sonlu elemanlar yöntemi kullanılmaktadır.

1990’da kullanıma sunulduktan sonra mikrodalga tasarımların bilgisayar ortamında oluşturulabilmesi sağlanmıştır. Bu şekilde daha az sürede ve maliyette tasarım yapılabilmektedir.

4.2. 5 GHz Mikroşerit Anten Tasarımı

Günümüzde kablosuz sistemlere olan ihtiyacın artmasıyla WLAN gibi yeni kablosuz uygulamalara olan talepte artmaktadır. Daha fazla frekans alanını kapsamak için yüksek bant genişliğine sahip ve yüksek kazançlı bir anten tasarımı yapmak önemlidir. Bu nedenle tasarlanan antenlerin 5 GHz WLAN uygulamalarında çalışması hedeflenmiştir. Antenin parametreleri aşağıda verilmiştir.

Yalıtkan malzeme çeşidi = FR-4

Yalıtkan malzeme dielektrik sabiti $\epsilon_r = 4.4$

Yalıtkan malzeme kalınlıkları = 1.6 mm

Dielektrik tanjant kaybı $\tan\delta = 0.02$

Yukarıdaki parametreler dikkate alınarak 5 GHz çalışma frekansı için yama boyutları aşağıdaki formüller kullanılarak yapılan hesaplamalar ile belirlenmiştir.

$$W = \frac{c}{2f_c} \left(\frac{\epsilon_r + 1}{2} \right)^{-\frac{1}{2}} \quad (4.1)$$

$$\varepsilon_e = \frac{\varepsilon_r+1}{2} + \frac{\varepsilon_r-1}{2} \left[1 + \frac{12t}{W} \right] \quad (4.2)$$

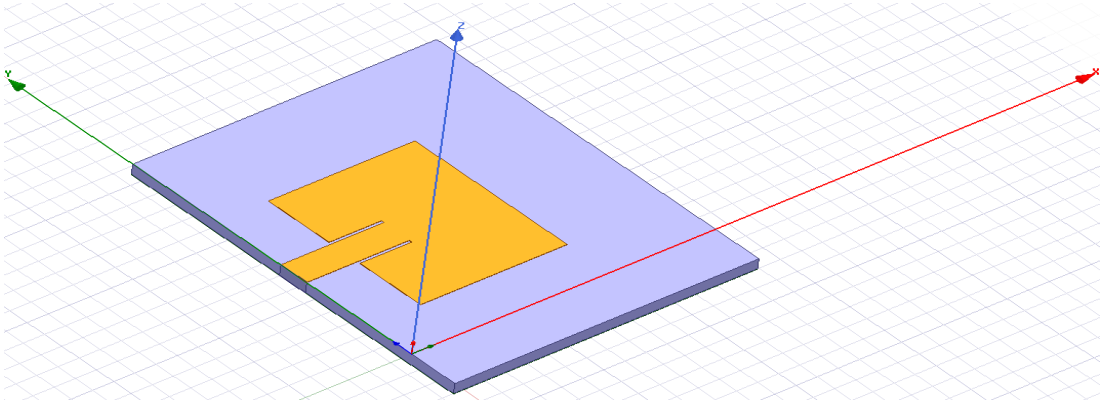
$$\Delta l = 0.412h \frac{(\varepsilon_e+0.3)\left(\frac{W}{h}+0.264\right)}{(\varepsilon_e-0.258)\left(\frac{W}{h}+0.8\right)} \quad (4.3)$$

$$L = \frac{c}{2f_c\sqrt{\varepsilon_e}} - 2\Delta l \quad (4.4)$$

Bu hesaplamalar sonucu yama boyutları $W = 18.68$ mm, $L = 17.55$ mm şeklinde bulunmuştur. Tasarım için gereken temel parametreler belirlenmiştir. Bu aşamadan sonra sırasıyla mikroşerit besleme, koaksiyel besleme, açıklık bağlantılı besleme ve yakınlık bağlantılı besleme yöntemleri için antenler tasarlanmıştır.

4.3. Mikroşerit Beslemeli 5 GHz Mikroşerit Anten Tasarımı

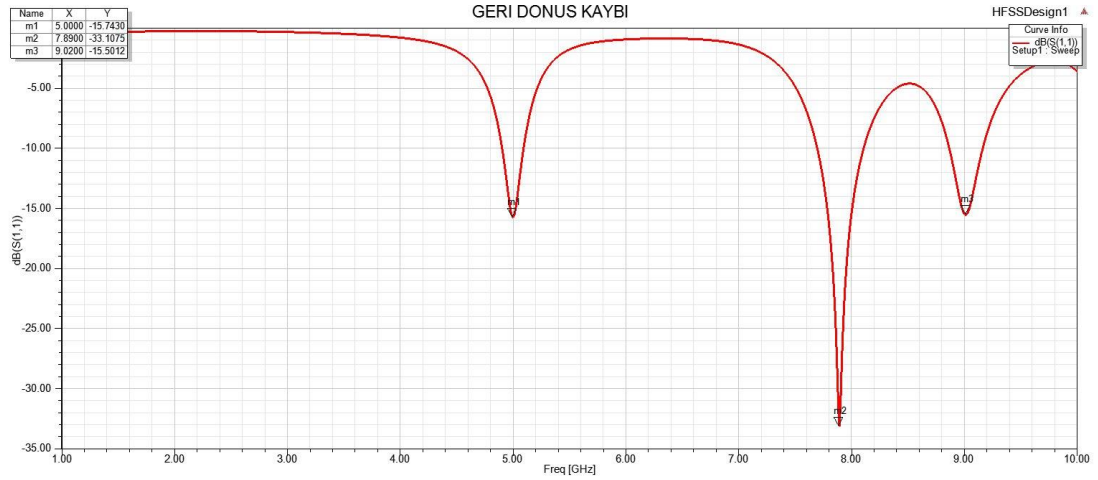
Mikroşerit beslemede antenin besleme hattı ile birleştiği yerden yarıklar açılması bant genişliğini arttıran bir yöntemdir [12]. Şekil 4.1’de görüldüğü gibi tasarımı yaparken bu yöntem kullanılarak besleme hattının anten ile birleştiği noktalardan aynı büyüklükte ve simetrik iki yarık açılmıştır. Açılan yarığın uzunluğu 5 mm ve eni 0.3 mm olarak belirlenmiştir.



Şekil 4.1. Tasarlanan mikroşerit beslemeli anten

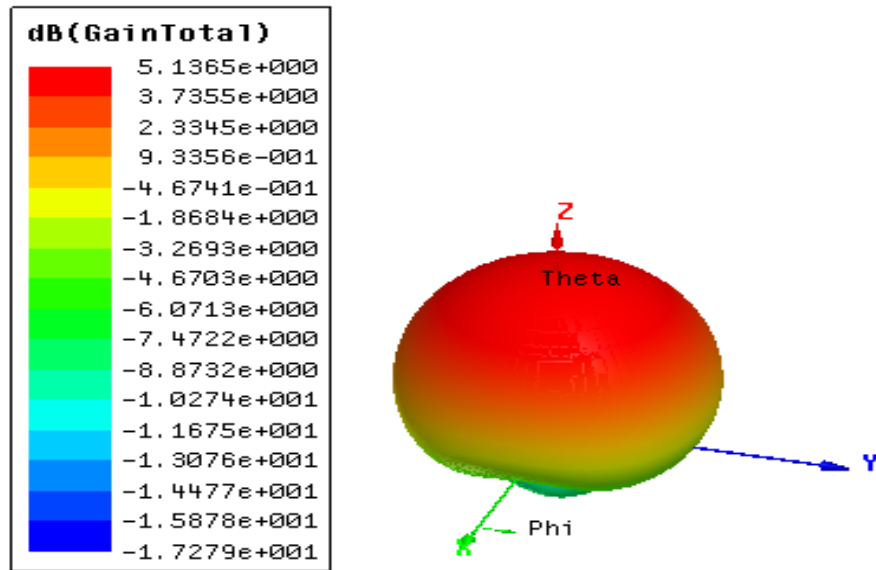
Benzetim sonucunda ortaya çıkan S_{11} grafiği Şekil 4.2’de görülmektedir. Buradan antenin rezonans frekansı 5 GHz olduğu görülmektedir. Bant genişliği frekansı -10dB ve altında olduğu aralıktır. Tasarlanan anten için -10 dB ve altında olduğu aralık 4.90GHz ve 5.09GHz arasındır. Antenin bant genişliği 190 MHz yüzde

olarak ise %3.8'dir. Mikroşerit beslemede genel olarak beklenen bant genişliği %2-5 olduğu düşünülürse elde edilen sonucun bu besleme yöntemi için iyi bir değer olduğu görülmektedir. Ayrıca yine Şekil 4.2'ye baktığımızda antenin geri dönüş kaybının -15.7 dB olduğu görülmektedir. Mikroşerit antenler için elde edilen bu değer iyi bir değerdir.



Şekil 4.2. Mikroşerit beslemeli antenin S_{11} grafiği

Tasarlanan mikroşerit anten üç bantlı yapıya sahiptir. Üç bantta da antenimizin çalıştığı görülmektedir. Sonuçlar Şekil 4.2'de gösterilmektedir. Antenlerin performansını değerlendirmede önemli olan bir başka parametre anten kazancıdır. Şekil 4.3'te 5 GHz için anten kazancının 5.13 dB olduğu görülmektedir.



Şekil 4.3. Mikroşerit beslemeli antenin kazanç grafiği

4.3.1. Besleme noktalarındaki yarıkların büyüklüğünü değiştirme

Bu bölümde tasarlanan antendeki yarıkların boyutlarını 0.1 mm hassasiyetle değiştirilerek anten parametrelerine olan etkisine bakıldı. Yapılan benzetim sonucunda elde edilen sonuçlar Çizelge 4.1’de verilmiştir. Değişimler sonucu yarık eni artığında merkez frekansta ve kazançta azalma görüldü. Bant genişliğinin de 0.4 mm’den sonra azalmaya başladığı görülmekte. Ancak en çok etkilenen parametre geri dönüş kaybı oldu. Yarık eni 1 mm yapıldığında antenin -10 dB geri dönüş kaybını sağlayamadığı görülmektedir.

Çizelge 4.1. Yarık boyutu değişen mikroşerit antenin parametrelerinin değişim Çizelgesi

Yarık Eni (mm)	Yarık Boyu (mm)	f_c (GHz)	f_1 (GHz)	f_2 (GHz)	Bant Genişliği (MHz)	Geri dönüş kaybı (dB)
0.1	5	5	4.9	5.09	190	-16.1
0.2	5	5	4.9	5.09	190	-16.2
0.3	5	4.99	4.88	5.08	200	-17.1
0.4	5	4.98	4.87	5.08	210	-20.4
0.5	5	4.95	4.85	5.05	200	-23.0
0.6	5	4.94	4.85	5.03	180	-38.8
0.7	5	4.74	4.65	4.82	170	-16.9

4.4. Koaksiyel Beslemeli 5 GHz Mikroşerit Anten Tasarımı

Koaksiyel beslemede yama boyutları ve yalıtkan malzeme değiştirilmeden besleme tekniği değiştirilerek tasarım yapılmıştır. Sondanın besleyen sondanın çapı 1.25 mm ve toplam çapı 4 mm’dir. Tasarlanan anten Şekil 4.4’te görülmektedir.

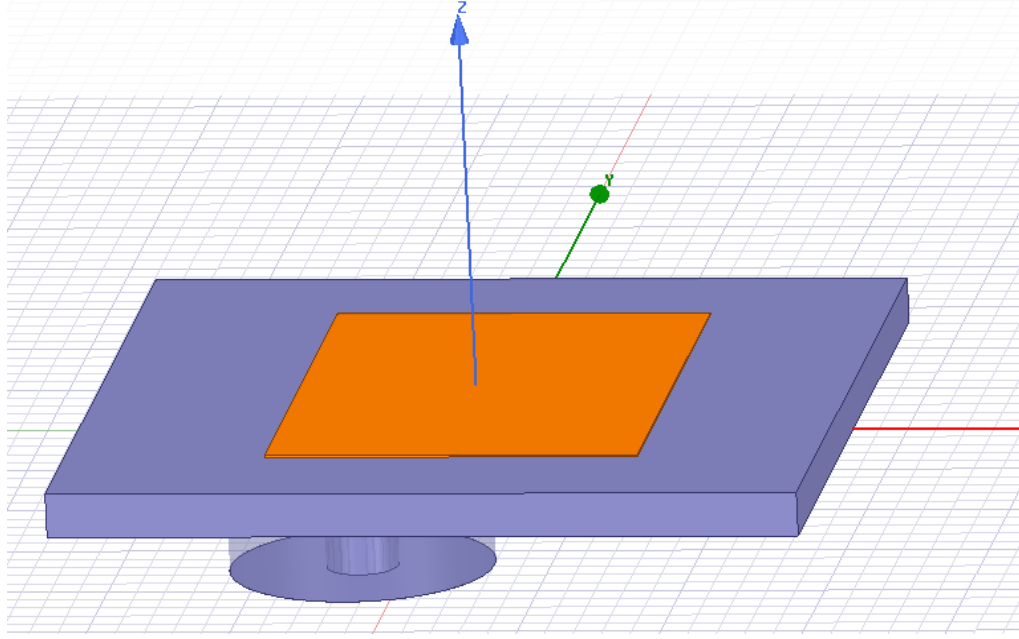
Yama boyutları = 13.0016 – 17.5552 mm

Yalıtkan malzeme çeşidi = FR-4

Yalıtkan malzeme dielektrik sabiti $\epsilon_r = 4.4$

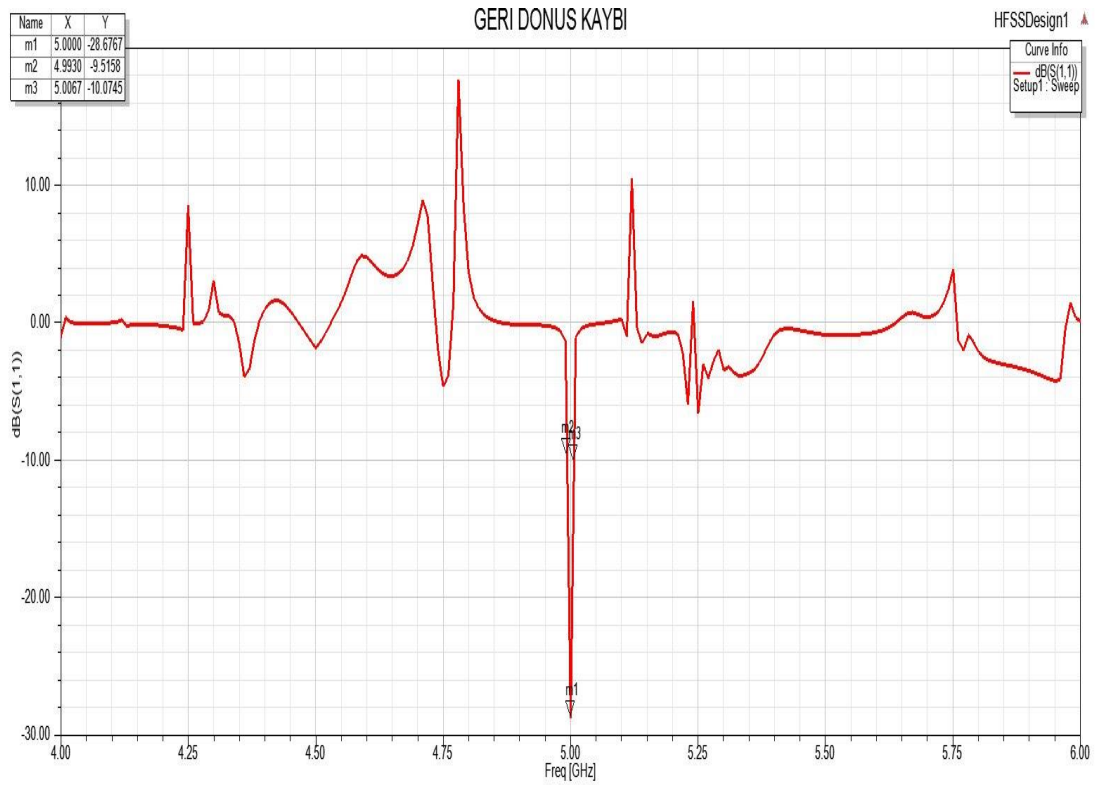
Yalıtkan malzeme kalınlıkları = 1.6 mm

Dielektrik tanjant kaybı $\tan\delta = 0.02$

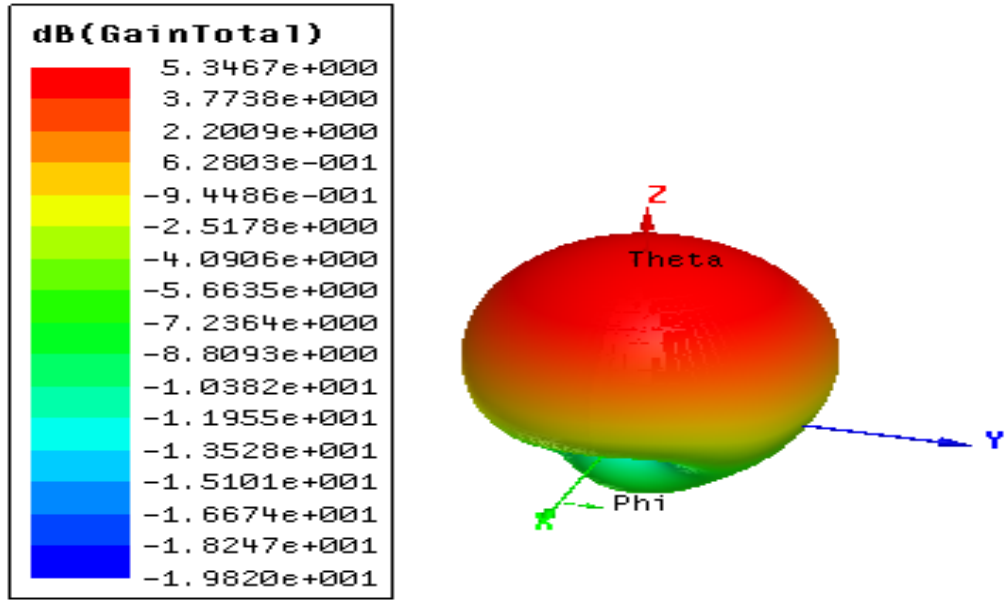


Şekil 4.4. Tasarlanan koaksiyel beslemeli anten

Elde edilen benzetim sonuçlarına göre antenin merkez frekansının 5 GHz ve geri dönüş kaybının -28.67 dB olduğu Şekil 4.5. Çalışma frekans aralığı 4.99 GHz ve 5.06 GHz aralığındadır. Bant genişliği 70 MHz, yüzde olarak ise %1.4'dur. Şekil 4.6'da anten kazancının 5.34 dB olduğu görülmektedir.



Şekil 4.5. Koaksiyel beslemeli antenin S_{11} grafiği



Şekil 4.6. Koaksiyel beslemeli antenin kazanç grafiği

4.4.1. Antenin besleme noktalarını değiştirme

Bu bölümde anteni besleyen kablonun yeri değiştirilerek performansa etkileri Çizelge 4.2’de verilmiştir. Yapılan değişiklikler tüm parametrelerde değişime neden olmaktadır. En iyi sonuç ortada elde edilmiştir.

Çizelge 4.2. Besleme noktasının sağa ve sola kaydırılmasının koaksiyel beslemeli antenin parametrelerine etkisi

Y eksenı	fc (GHz)	f1 (GHz)	f2 (GHz)	Bant Genişliği (MHz)	Geri dönüş kaybı (dB)
-7mm (En sağ)	5.37	5.21	5.51	300	13.2
-6 mm	5.42	5.28	5.55	270	-12.1
-5 mm	5.41	5.28	5.53	250	-11.4
-4 mm	5.32	5.21	5.45	240	-11.5
-3 mm	5.27	5.12	5.41	290	-13.2
-2 mm	5.22	5.07	5.38	310	-15.6
-1 mm	5.19	5.04	5.35	310	-17.9
Ortada	5	4.99	5	100	-28.6
+1 mm	5.20	5.04	5.35	310	-18.1
+2 mm	5.22	5.07	5.38	310	-15.6
+3 mm	5.27	5.13	5.42	290	-13.2
+4 mm	5.34	5.21	5.46	250	-11.6
+5 mm	5.33	5.26	5.55	290	-13.7
+6 mm	5.40	5.27	5.54	270	-11.9
+7 mm (En sol)	5.37	5.23	5.52	290	-13.3

4.5. Açıklık Bağlantılı 5 GHz Mikroşerit Anten Tasarımı

Temassız bir besleme yöntemi olan açıklık bağlantılı. Bu besleme yönteminde frekans uyumluluğunu sağlamak için yama boyutları daha küçük olarak belirlendi. Her iki yalıtkan tabakada aynı malzeme kullanıldı. Şekil 4.7’de verilen antenin parametreler aşağıdaki gibidir.

Yalıtkan malzeme çeşidi = FR-4

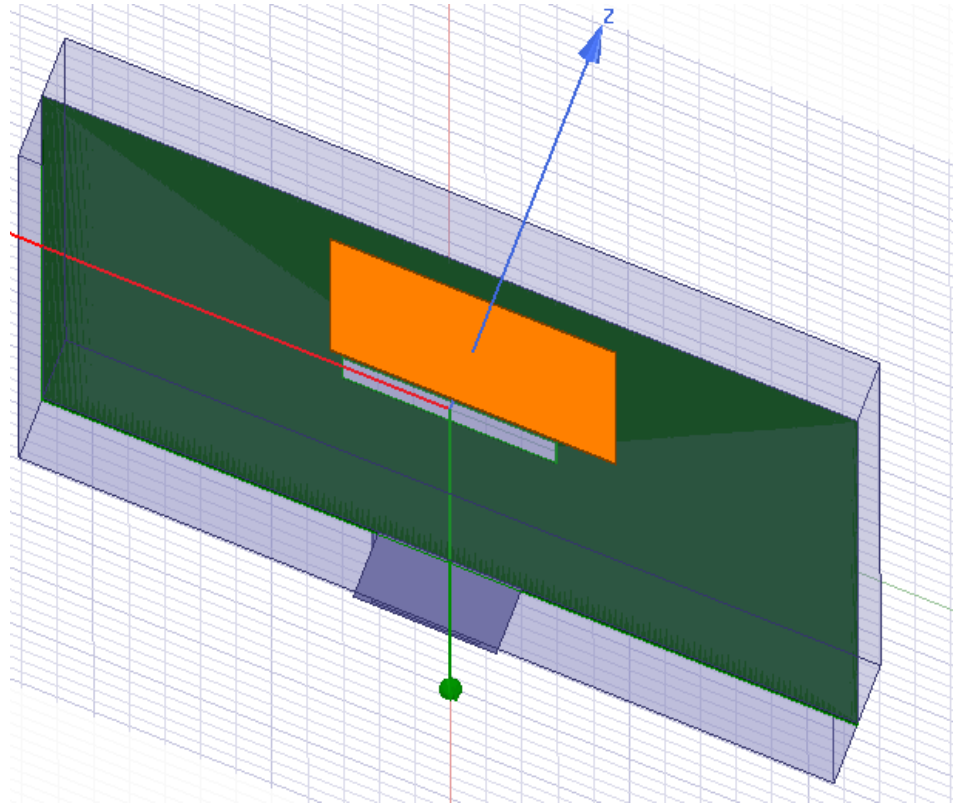
Yalıtkan malzeme dielektrik sabiti $\epsilon_r = 4.4$

Yalıtkan malzeme kalınlıkları = 1.6 mm

Dielektrik tanjant kaybı $\tan\delta = 0.02$

Yama boyutları = -17.2019 – 17.5552 mm

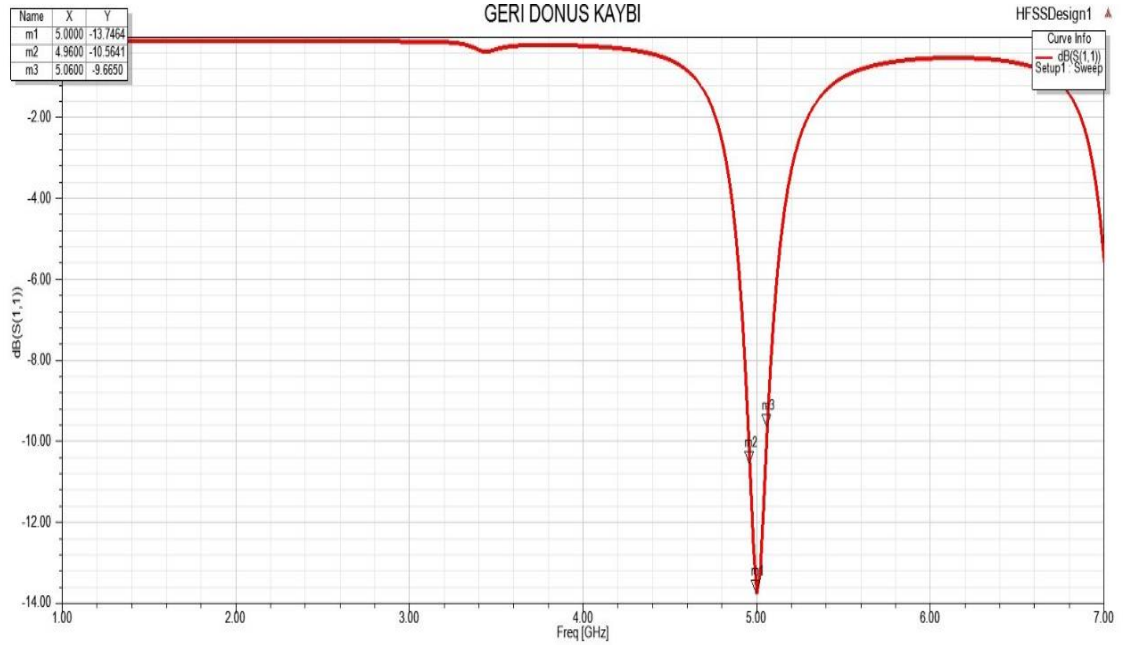
Açıklığın boyutları = 2 – 10 mm



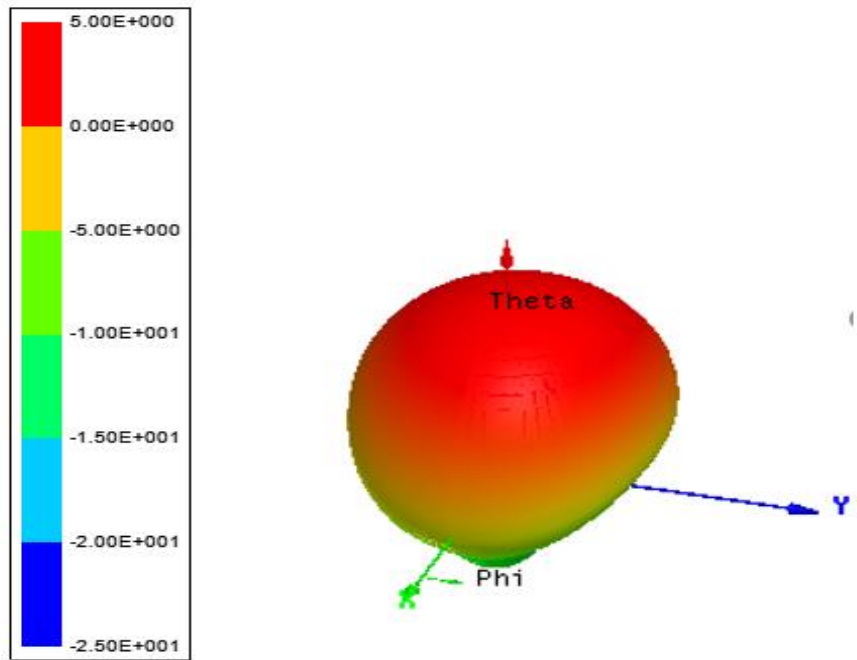
Şekil 4.7. Tasarlanan açıklık bağlantılı mikroşerit anten

Şekil 4.8’deki S_{11} grafiğinde rezonans frekansının 5 GHz olduğu görülmektedir. Antenin geri dönüş kaybı ise -13.7 dB’dir. Bu değer daha önceki beslemelere göre düşük bir değerdir. Antenin çalışma frekansları 4.96 ve 5.06 GHz

arasındadır. Bant genişliği 100 MHz, yüzde olarak ise %2.0'dır. Bant genişliğinin düşük olması açıklık bağlantılı beslemede beklenen bir sonuçtur.



Şekil 4.8. Açıklık bağlantılı antenin S_{11} grafiği



Şekil 4.9. Açıklık bağlantılı antenin kazanç grafiği

Antenin kazanç grafiği Şekil 4.9'da verilmiştir. Buradan görüleceği üzere anten kazancı 5 dB'dir. Bu değer daha önce incelediğimiz temaslı besleme yöntemlerin gerisindedir.

4.5.1. Açıklığın boyutlarını değiştirme

Bu bölümde toprak plakadaki açıklığın boyutlarının antenin parametrelerine etkisine bakacağız. Çizelge 4.3a’da açıklığın boyu 10 mm’de sabitken eni 0.5 mm hassasiyetle değiştirilmiştir. Çizelge 4.3b’de ise toprak plakadaki açıklığın eni 2 mm’de sabit tutulurken boyu 1 mm hassasiyet ile değiştirilmiştir.

Çizelge 4.3. Açıklığın eninin değiştirilmesinin açıklık bağlantılı antenin parametrelerine etkisi

Açıklık Eni (mm)	fc (GHz)	f1 (GHz)	f2 (GHz)	Bant Genişliği (MHz)	Geri dönüş kaybı (dB)
0.5 mm	5.1	5.07	5.14	70	-11.74
1 mm	5.06	5.02	5.1	80	-12.25
1.5 mm	5.04	5	5.08	80	-13.66
2 mm	5	4.96	5.06	100	-13.74
2.5 mm	4.98	4.93	5.03	100	-14.49
3 mm	4.96	4.9	5	100	-15.49
3.5 mm	4.94	4.88	4.98	100	-18.82
4 mm	4.92	4.86	4.96	100	-24.04
4.5 mm	4.88	4.83	4.92	90	-29.19
5 mm	4.84	4.81	4.89	80	-33.18
5.5 mm	4.82	4.77	4.86	90	-25.33
6 mm	4.78	4.75	4.83	80	-24.58
10 mm	4.56	4.53	4.61	80	-22.97
15 mm	5.1	5.05	5.15	100	-20.52

Çizelge 4.4. Açıklığın boyunun değiştirilmesinin açıklık bağlantılı antenin parametrelerine etkisi

Açıklık Boy (mm)	fc (GHz)	f1 (GHz)	f2 (GHz)	Bant Genişliği (MHz)	Geri dönüş kaybı (dB)
1 mm	-	-	-	-	-
2 mm	-	-	-	-	-
3 mm	-	-	-	-	-
4 mm	-	-	-	-	-
5 mm	5.22	-	-	-	-10.01
6 mm	5.18	5.13	5.21	80	-10.56
7 mm	5.12	5.07	5.14	70	-11.13
8 mm	5.06	5.01	5.09	80	-12.21
9 mm	5.02	4.98	5.06	80	-12.57
10 mm	5	4.97	5.05	80	-13.74
11 mm	4.98	4.96	5.02	60	-14.09
12 mm	4.98	4.92	5.04	120	-16.28

4.5.2. Yalıtkan malzemelerin kalınlıklarını değiştirme

Açıklık beslemede bulunan iki yalıtkan malzemenin yüksekliği değiştirilerek etkileri aşağıdaki çizelgelerde incelenmiştir. Çizelge 4.4a’da yamanın bulunduğu

üsteki yalıtkan tabakanın kalınlığı değıştirilirken alttaki tabaka 1.6 mm’de sabit tutulmuştur. Çizelge 4.4b için ise bunun tam tersi yapılarak üsteki tabaka 1.6 mm ‘de sabit tutulurken alttaki için yükseklik değıştirilmiştir.

Çizelge 4.5. Üstteki yalıtkan tabakanın kalınlığının açıklık bağlantılı antene etkisi

Üsteki Yalıtkan	fc (GHz)	f1 (GHz)	f2 (GHz)	Bant Genişliği (MHz)	Geri dönüş kaybı (dB)
0.5 mm	5.16	5.14	5.19	50	-11.0
1 mm	5.08	5.05	5.12	70	-12.0
1.6 mm	5	4.96	5.06	100	-13.74
2 mm	4.96	4.91	5.02	110	-15.26
3 mm	4.9	4.84	4.96	120	-23.46

Çizelge 4.6. Altteki yalıtkan tabakanın kalınlığının açıklık bağlantılı antene etkisi

Altteki Yalıtkan	fc (GHz)	f1 (GHz)	f2 (GHz)	Bant Genişliği (MHz)	Geri dönüş kaybı (dB)
0.5 mm	4.68	-	-	-	-8.88
1 mm	4.92	4.86	4.96	100	-17.33
1.6 mm	5.06	5.04	5.08	40	-10.91
2 mm	4.96	-	-	-	-9.09
3 mm	5.06	-	-	-	-8.68

4.6. Yakınlık Bağlantılı 5 GHz Mikroşerit Anten Tasarımı

Tasarladığımız anteni son olarak yakınlık bağlantılı besleme yöntemi ile inceledik. Bu besleme yönteminde yama boyutları daha küçük olarak belirlendi. Her iki yalıtkan tabakada aynı malzeme kullanıldı Parametreler aşağıdaki gibidir.

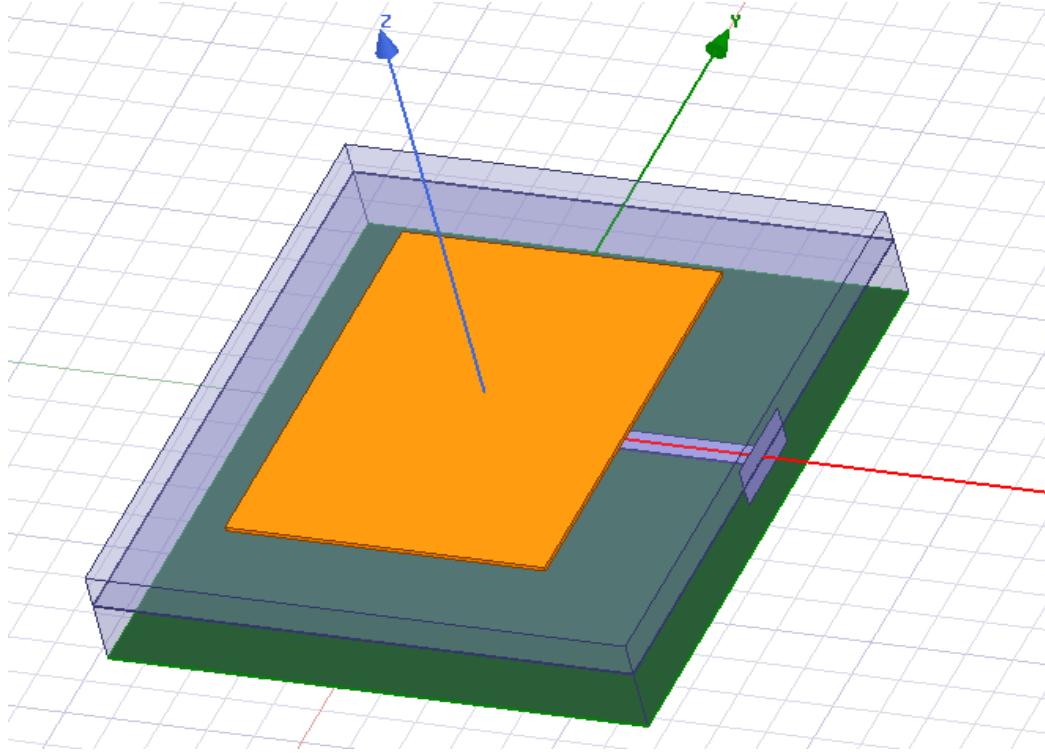
Yalıtkan malzeme çeşidi = FR-4

Yalıtkan malzeme dielektrik sabiti $\epsilon_r = 4.4$

Yalıtkan malzeme kalınlıkları = 1.6 mm

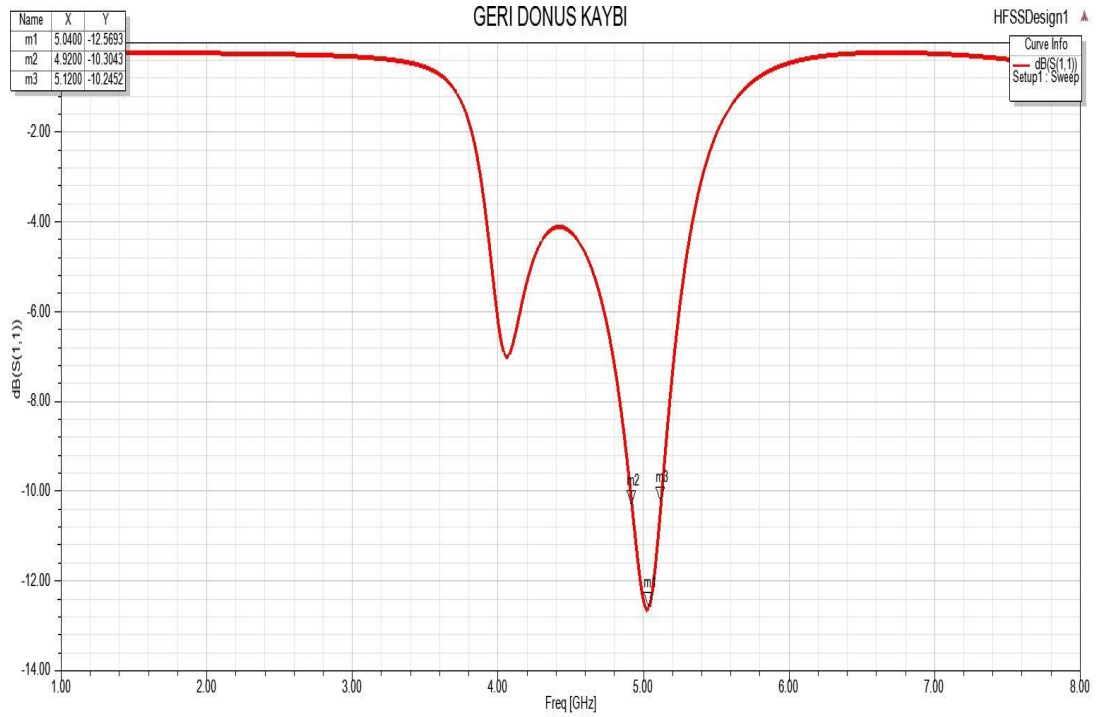
Dielektrik tanjant kaybı $\tan\delta = 0.02$

Yama boyutları = 13.5 – 18.5 mm

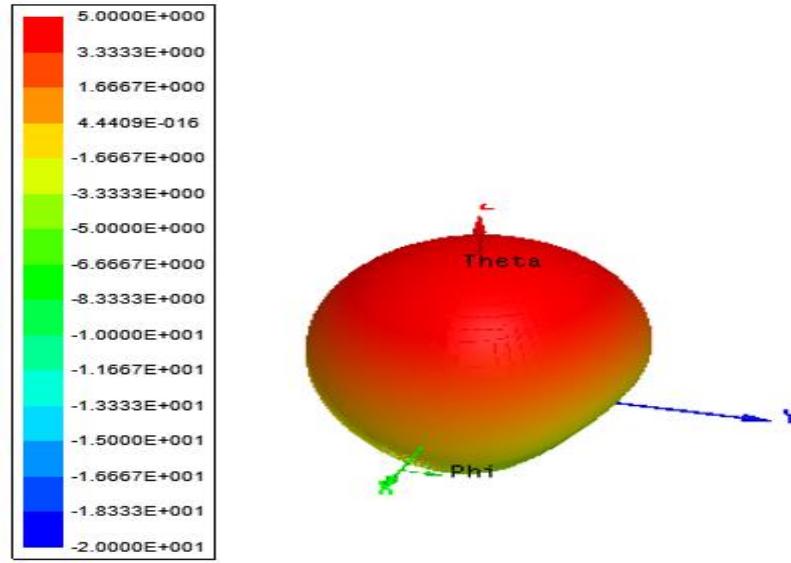


Şekil 4.10. Tasarlanan yakınlık bağlantılı mikroşerit anten

HFSS'te tasarlanan yakınlık beslemeli anten Şekil 4.10'te görülmektedir. Besleme hattının eni 2 mm ve uzunluğu 13.5 mm'dir. İki yalıtkan malzeme FR-4 kullanılmıştır ve dielektrik sabitleri 4.4'dür. Kalınlıkları da 1.6 mm'dir.



Şekil 4.11. Yakınlık bağlantılı mikroşerit antenin S_{11} grafiği



Şekil 4.12. Yakınlık bağlantılı mikroşerit antenin kazanç grafiği

Şekil 4.11'deki S_{11} grafiğinden antenin geri dönüş kaybı -12.56 dB olduğu görülmektedir. Anten, 4.92 GHz ve 5.12 GHz frekans aralığında istenilen şekilde çalışabilmektedir. Bant genişliği 200 MHz ve %4'dür. Şekil 4.12'de ise anten kazancının 5 dB olduğu görülmektedir. Hem kazanç hem de bant genişliği açısından açıklık beslemeye göre daha iyi sonuçlar alınmıştır.

4.6.1. Dielektrik malzemenin kalınlığını değiştirme

Yakınlık besleme yönteminde de açıklık beslemedeki gibi iki yalıtkan malzeme kullanılmaktadır. Bu bölümde yalıtkan malzemelerin kalınlığının performansa etkisi çizelgeler halinde verilmiştir. Çizelge 4.5a'da alt taraftaki malzeme kalınlığı 1.6 mm'de sabit iken üstteki malzemenin kalınlığı değiştirilerek elde edilen sonuçlar verilmiştir. Çizelge 4.5b'de ise üst taraftaki malzeme 1.6 mm iken alttaki malzemenin kalınlığı değiştirildiğinde elde edilen sonuçlar verildi.

Çizelge 4.7. Üstteki yalıtkan tabakanın kalınlığının yakınlık bağlantılı antene etkisi

Üstteki Yalıtkan	f_c (GHz)	f_1 (GHz)	f_2 (GHz)	Bant Genişliği (MHz)	Geri dönüş kaybı (dB)
0.5 mm	5.54	5.42	5.64	220	-14.61
1 mm	5.26	5.14	5.36	220	-14.16
1.6 mm	5.04	4.92	5.12	200	-12.56
2 mm	4.94	-	-	-	-9.88
2.5 mm	4.84	-	-	-	-8.26
3 mm	4.76	-	-	-	-6.79

Çizelge 4.5a'daki üstteki yalıtkan tabakanın kalınlığının yakınlık bağlantılı antene etkisine bakıldığında sonuçlardan yamanın olduğu yalıtkanın kalınlığı çok küçük ya da büyük olduğunda geri dönüş kaybı -10dB değerinin altında kaldığı görülüyor. Anten 0.5 mm, 1 mm, 1.5mm 1.6 mm değerleri arasında istenildiği gibi çalışabildiği görülmüştür. Sonuçlara bakıldığında kalınlık arttıkça merkez frekansın değişmediği görülmüştür.

Çizelge 4.8. Alttaki yalıtkan tabakanın kalınlığının yakınlık bağlantılı antene etkisi

Alttaki Yalıtkan	fc (GHz)	f1 (GHz)	f2 (GHz)	Bant Genişliği (MHz)	Geri dönüş kaybı (dB)
0.5 mm	4.8	-	-	-	-3.89
1 mm	4.68	4.48	4.84	360	-19.44
1.5 mm	4.61	4.23	4.49	260	-15.89
1.6 mm	4.6	4.22	4.48	260	-15.75
2 mm	4.22	4.18	4.28	100	-11.01
3 mm	5.04	4.92	5.12	200	-12.56
4 mm	5.08	4.98	5.14	160	-11.74
5 mm	5.08	5	5.14	140	-11.97
6 mm	5.08	5	5.18	180	-12.02
7 mm	5.1	5	5.18	180	-12.01
8 mm	5.1	5	5.18	180	-11.93
9 mm	5.1	5	5.18	180	-10.86

Çizelge 4.5b'e alttaki yalıtkan tabakanın kalınlığının yakınlık bağlantılı antene etkisi bakıldığında bant genişliğinin en yüksek olduğu değerin alttaki yalıtkanın kalınlığı 1 mm olduğunda elde edilmiştir. Burada da kalınlık arttıkça merkez frekansı azalmaktadır.

4.6.2. Antenin besleme noktalarını değiştirme

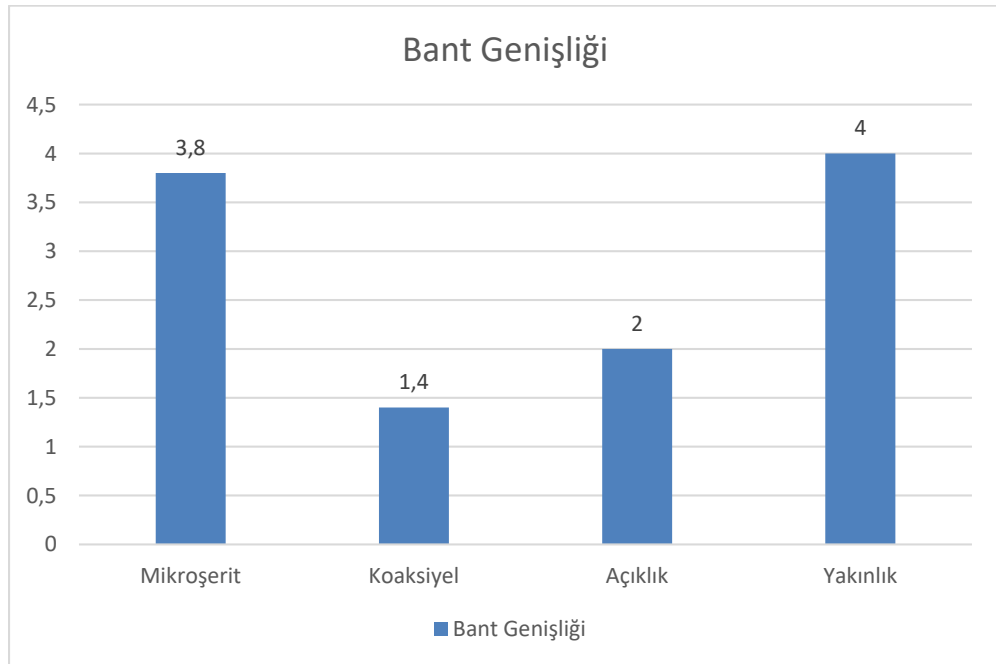
Bu bölümde yakınlık bağlantılı beslemede iletim hattının sağa ve sola kaydırılmasının etkileri incelendi. Elde edilen benzetim sonuçları Çizelge 4.6'da verilmiştir. İletim hattı iki tarafta da 5 mm kaydırıldığında yamanın izdüşümünden çıktığı için antenin istendiği şekilde çalışmadığı görüldü. Yakınlık bağlantılı beslemede iletim hattının kenarlara doğru gittikçe bant genişliği, frekans ve kazançta azalma görüldü. Buradan iletim hattının ortada ya da ortaya yakın olması bu beslemede daha iyi sonuç verdiği görülür.

Çizelge 4.9. Yakınlık bağlantılı beslemede iletim hattının yerinin değiştirilmesinin etkisi

İletim hattı (y eksen)	f_c (GHz)	f_1 (GHz)	f_2 (GHz)	Bant Genişliği (MHz)	Geri dönüş kayıbı (dB)
+10 mm	4.86	-	-	-	-8.21
+5 mm	4.98	4.88	5.08	200	-13.63
+4 mm	5	4.9	5.1	200	-13
+3 mm	5.02	4.94	5.12	180	-13
+2 mm	5.04	4.96	5.10	140	-12.20
+1 mm	5.04	4.94	5.10	160	-11.52
Ortada	5.02	4.92	5.12	200	-12.64
-1 mm	5.06	4.96	5.12	160	-11.28
-2 mm	5.04	4.94	5.12	180	-11.83
-3 mm	5.04	4.92	5.12	200	-12.05
-4 mm	5.04	4.92	5.12	200	-12.93
-5 mm	5	4.88	5.1	220	-13.27
-10 mm	4.92	4.84	4.98	140	-11.13
-12 mm	5.02	-	-	-	-8.71

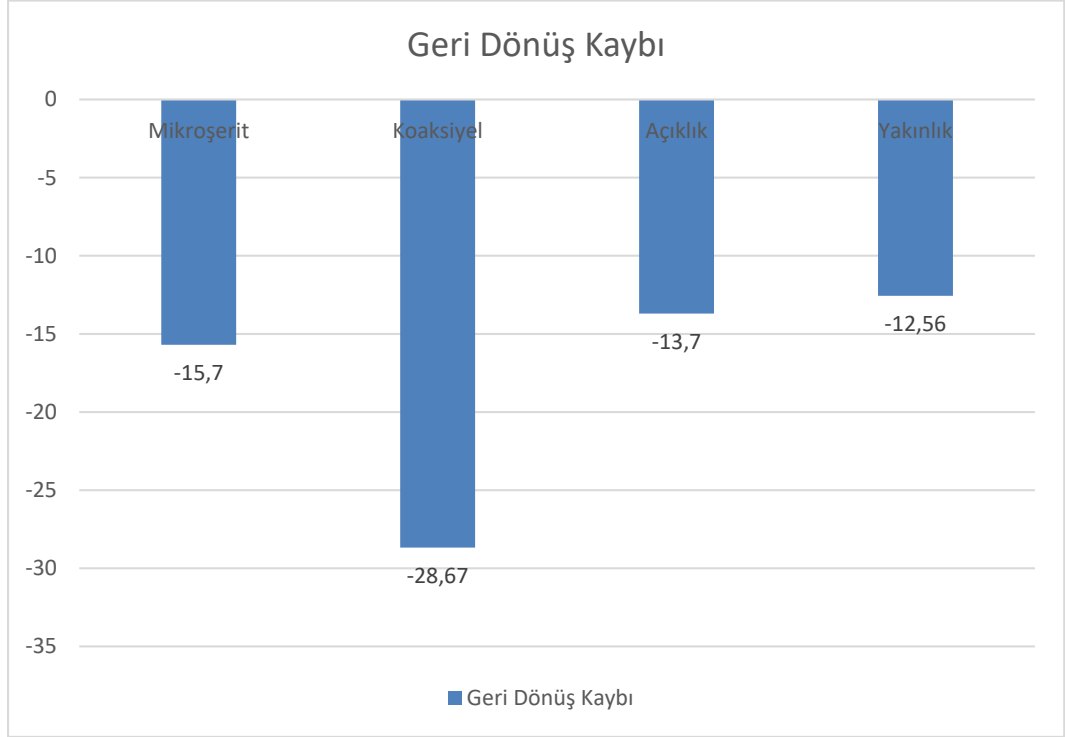
4.7. Besleme Yöntemlerinin Karşılaştırılması

Bu bölümde farklı besleme yöntemleri ile tasarlanan antenler bant genişliği ve geri dönüş kaybı değerleri için karşılaştırılmıştır. Şekil 4.13'teki bant genişliği değerlerine bakıldığında en iyi sonucu yakınlık bağlantılı beslemene % 4 oranı ile sağlamıştır. Bu değer mikroşerit antenler için iyi bir değerdir.



Şekil 4.13. Besleme yöntemlerinin bant genişliklerinin karşılaştırılması

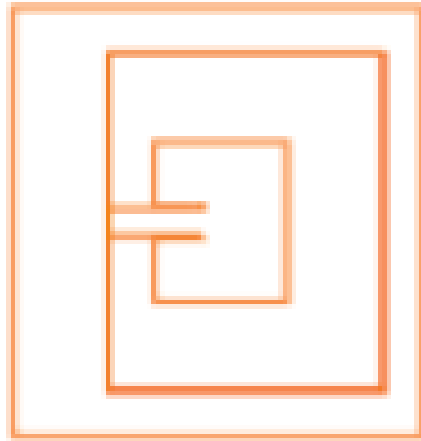
Şekil 4.14'te görüldüğü gibi tasarlanan antenlerin hepsi iyi geri dönüş kaybı değerlerine sahiptir. Ancak koaksiyel besleme -28.67 dB ile en iyi değere sahiptir. Diğer beslemeler ise bir birlerine çok yakın değerdeler.



Şekil 4.14. Besleme yöntemlerinin geri dönüş kayıplarının karşılaştırılması

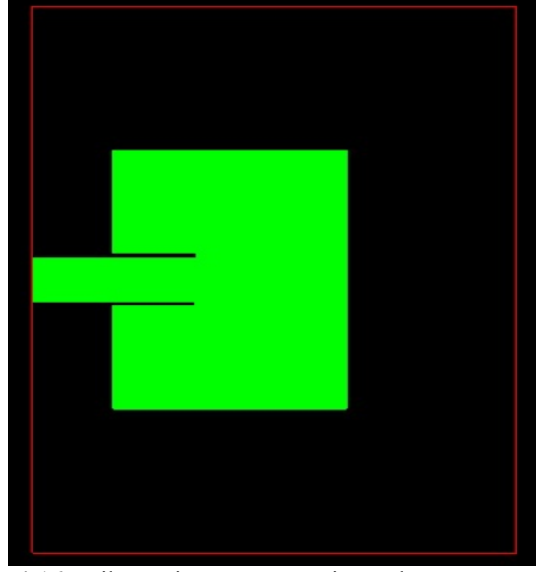
4.8. Mikroşerit Yama Antenin Tasarım Aşamaları

Mikroşerit yama antenin tasarımında ilk olarak anten çizimi için CorelDRAW X4 uygulamasında çizimi gerçekleştirilmiştir. Çizim Şekil 4.15'te gösterilmiştir.



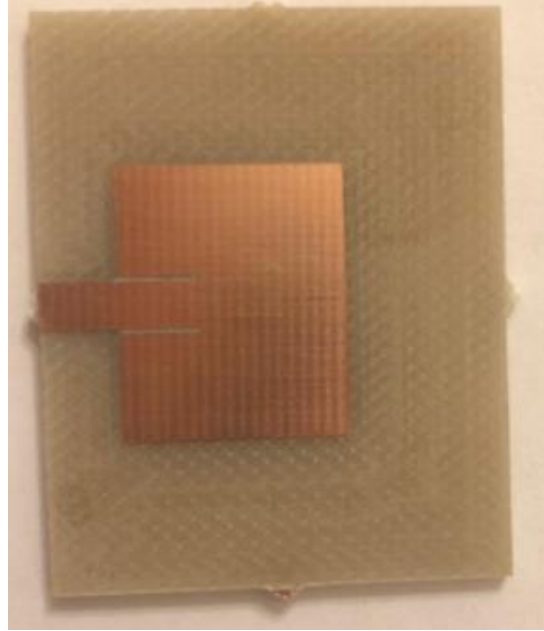
Şekil 4.15. Mikroşerit Yama Antenin CorelDRAW Çizimi

Şekil 4.16’da baskı yapılabilmesi için gerekli kısımlar boyanmıştır. Baskı hazır hale getirilmiştir.



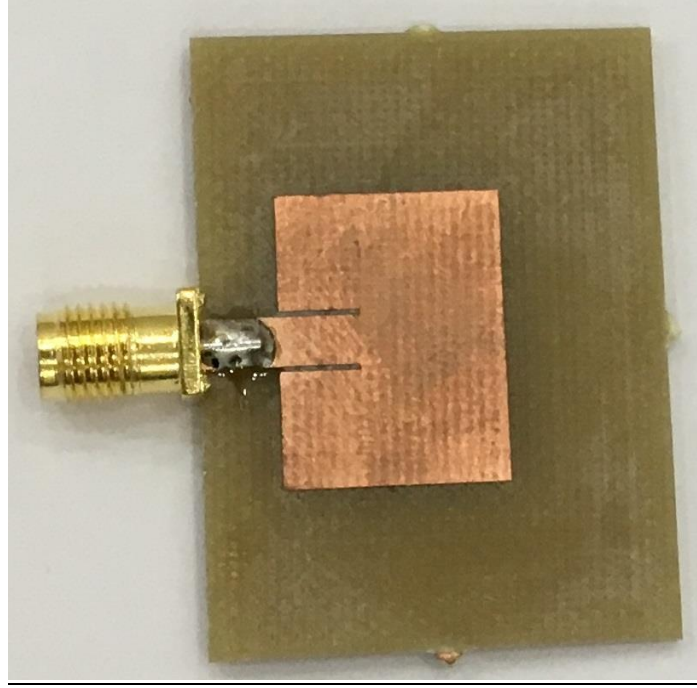
Şekil 4.16. Mikroşerit Yama Antenin Baskı Aşaması Çizimi

Mikroşerit yama antenin çiziminde sonra FR-4 malzemesi çizimini karşılayabilecek şekilde kesilmiştir. Şekil 4.17’de görüldüğü gibi çizimden FR-4 plakasına şekil aktarılmıştır.



Şekil 4.17. Mikroşerit Yama Antenin FR-4 Plakasına Baskısı

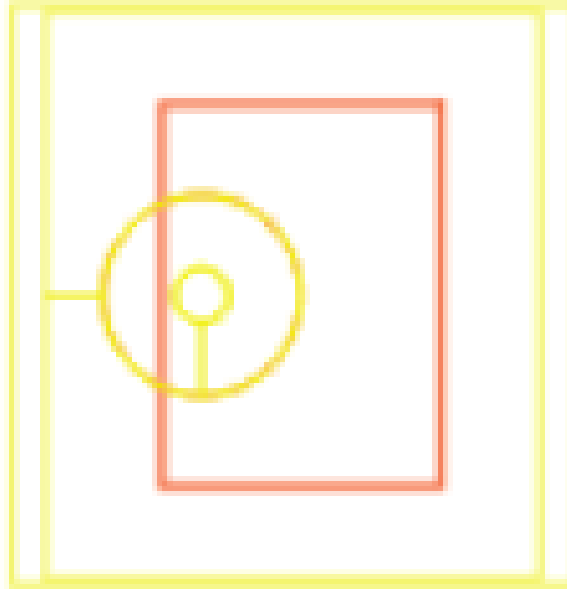
Mikroşerit yama antenin ölçüm yapılabilmesi için son olarak konnektör bağlanmıştır. Bu durum Şekil 4.18’de gösterilmiştir. Böylelikle yama anten tasarımının son aşamasını yapılmıştır.



Şekil 4.18. Mikroşerit Yama Antenin Son Hali

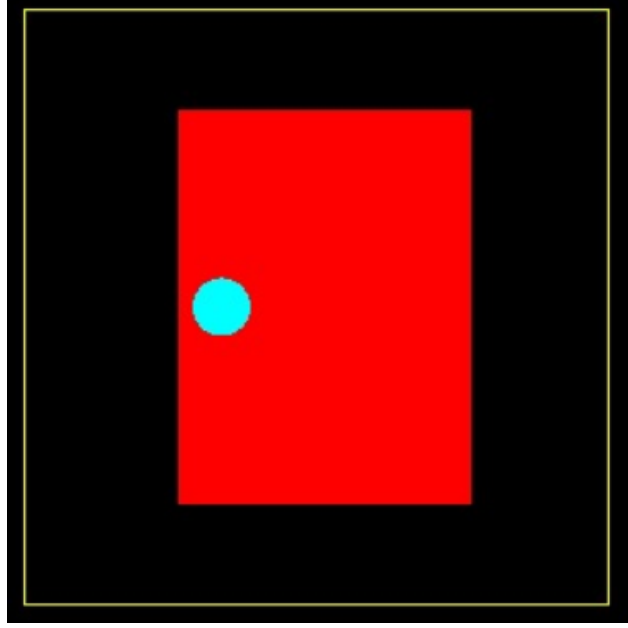
4.9. Koaksiyel Yama Antenin Tasarım Aşamaları

Koaksiyel yama antenin tasarımında ilk olarak anten çizimi için CorelDRAW X4 uygulamasında çizimi gerçekleştirilmiştir. Çizim Şekil 4.19’te gösterilmiştir.



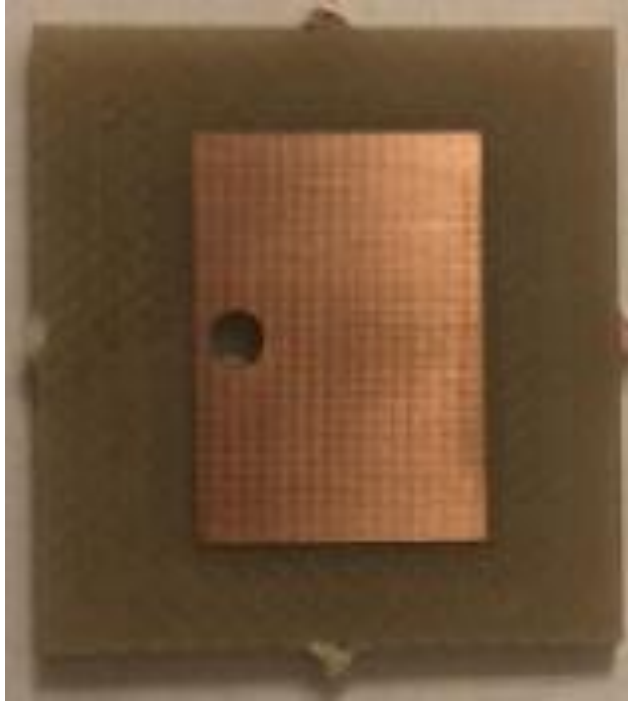
Şekil 4.19. Koaksiyel Yama Antenin CorelDRAW Çizimi

Şekil 4.20’de baskı yapılabilmesi için gerekli kısımlar boyanmıştır. Baskı hazır hale getirilmiştir.



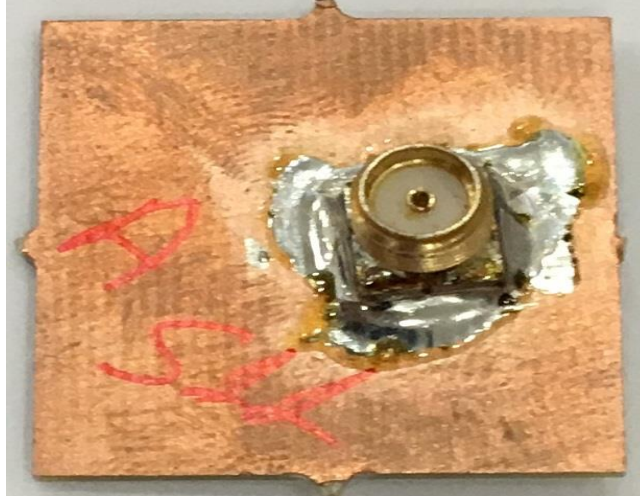
Şekil 4.20. Koaksiyel Yama Antenin Baskı Aşaması Çizimi

Koaksiyel yama antenin çiziminde sonra FR-4 malzemesi çizimini karşılayabilecek şekilde kesilmiştir. Şekil 4.21’de görüldüğü gibi çizimden FR-4 plakasına şekil aktarılmıştır.



Şekil 4.21. Koaksiyel Yama Antenin FR-4 Plakasına Baskısı

Koaksiyel yama antenin ölçüm yapılabilmesi için son olarak konnektör bağlanmıştır. Bu durum Şekil 4.22’de gösterilmiştir. Böylelikle yama anten tasarımının son aşamasını yapmıştır.



Şekil 4.22. Koaksiyel Yama Antenin Son Hali

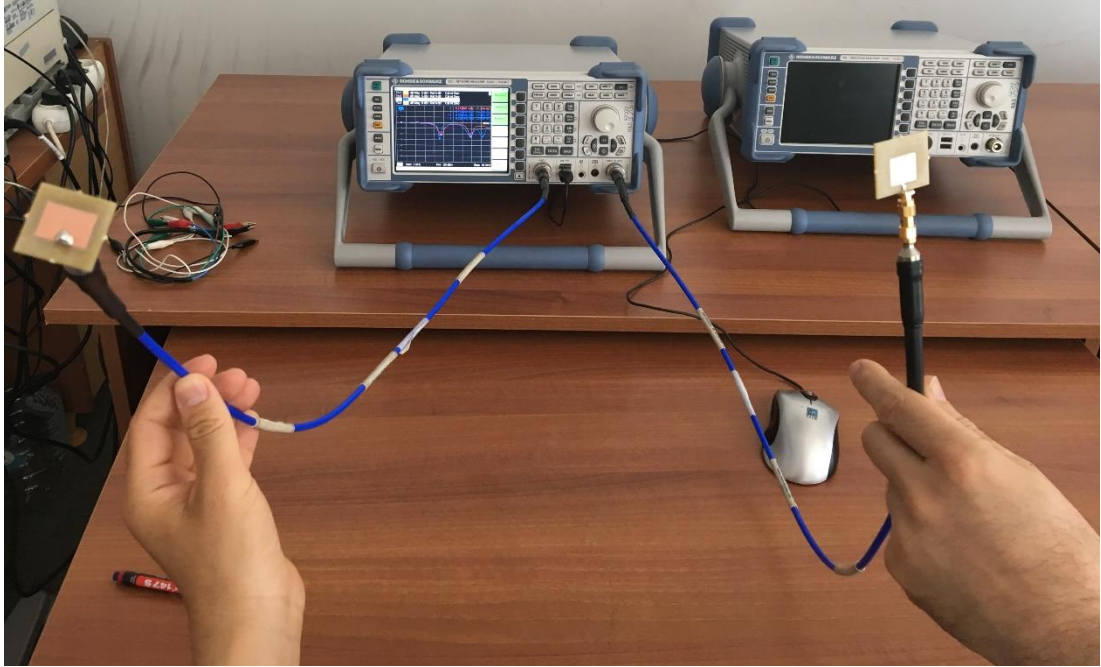
4.10. Mikroşerit ve Koaksiyel Yama Antenin Ölçüm Aşamaları

Mikroşerit ve Koaksiyel yama antenin ölçümü Yıldız Teknik Üniversitesi’nde Elektrik Mühendisliği bölümünde gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.23’de görüldüğü gibi ölçüm Rohde Schwarz sinyal jeneratörü ile gerçekleştirilmiştir.



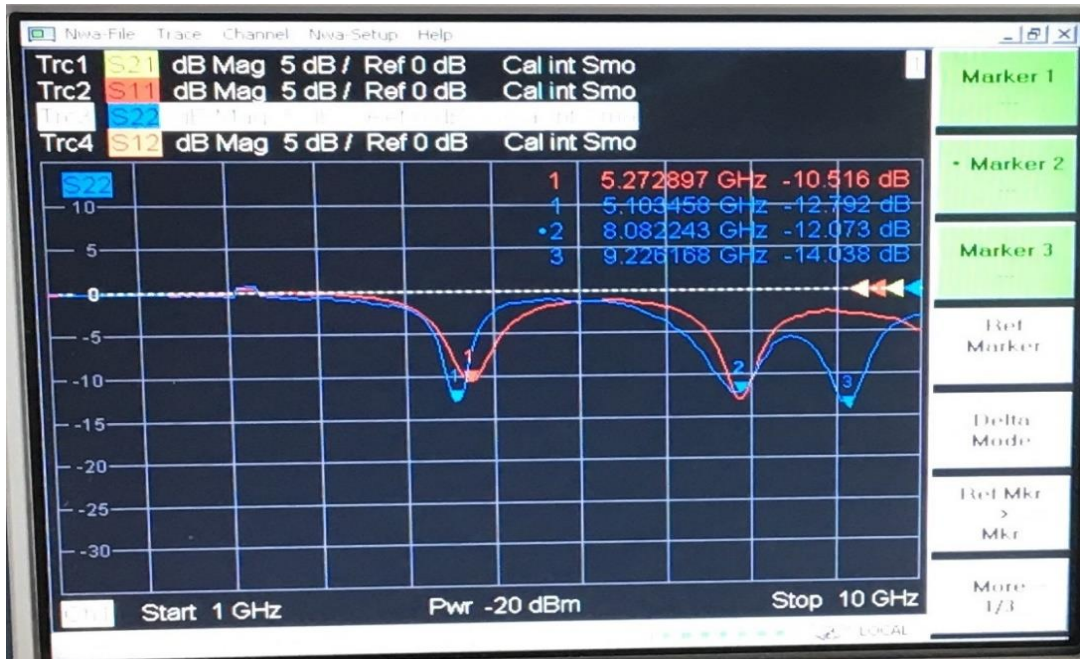
Şekil 4.23. Rohde Schwarz Sinyal Jeneratörü

Mikroşerit ve Koaksiyel yama antenin ölçümü tek bir ölçüm ile gerçekleştirilmiştir. Bu durum Şekil 4.24’de gösterilmiştir. Şekil 4.23’ün sol tarafındaki yama Koaksiyel, sağ tarafındaki yama ise Mikroşerit yamadır.



Şekil 4.24. Koaksiyel Ve Mikroşerit Yama Antenin Ölçümü

Koaksiyel ve Mikroşerit yama antenin ölçüm sonuçları Şekil 4.25’de gösterilmiştir.



Şekil 4.25. Koaksiyel Ve Mikroşerit Yama Antenin Ölçüm Sonuçları

Şekil 4.24’de S_{11} grafiği Koaksiyel yama antenin sonuçlarını, S_{22} grafiği Mikroşerit yama antenin sonuçlarını göstermektedir. Buradan koaksiyel yama antenin rezonans frekansı 5.27 GHz olduğu görülmektedir. Bant genişliği frekansı -10dB ve altında olduğu aralıktır. Koaksiyel yama antenin geri dönüş kaybının -10.51 dB olduğu görülmektedir. Mikroşerit yama antenin rezonans frekansı 5.1 GHz olduğu görülmektedir. Bant genişliği frekansı -10dB ve altında olduğu aralıktır. Mikroşerit yama antenin geri dönüş kaybının -12.79 dB olduğu görülmektedir.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Çalışmada WLAN uygulamaları için 5 GHz mikroşerit anten dört farklı besleme çeşidi için tasarlandı. Mikroşerit besleme, koaksiyel besleme, açıklık bağlantılı besleme ve yakınlık bağlantılı besleme yöntemlerinin performansları karşılaştırıldı. Antenlerin performans değerleri Çizelge 5.1’de verilmiştir.

Çizelge 5.1. Tasarlanan yama antenlerin simülasyon performans değerleri

	Bant Genişliği	Bant Genişliği	Kazanç	Geri Dönüş Kaybı
Mikroşerit	% 3.8	190 MHz	5.13 dB	-15.7 dB
Koaksiyel	% 1.4	70 MHz	5.34 dB	-28.67 dB
Açıklık	2%	100 MHz	5 dB	-13.7 dB
Yakınlık	4%	200 MHz	5 dB	-12.56 dB

Bant genişliğinde mikroşerit antenlerden beklenen %2-5 arası değerler elde edildi. Sonuçlarda en fazla bant genişliği yakınlık bağlantılı beslemede % 4 olarak elde edildi. Geri dönüş kaybının en az olduğu değer koaksiyel beslemede -28.67 dB’dir. Genel olarak koaksiyel mikroşerit besleme ile en iyi sonuçlar alınmıştır. Açıklık besleme ise kazancın ve bant genişliğinin en düşük oldu besleme yöntemidir. Açıklık beslemede toprak tabakadaki açıklık filtre etkisi yaparak bant genişliği ve kazancın az olmasına neden olduğu düşünülebilir.

Besleme noktalarının değişmesi merkez frekansı, bant genişliğini, kazancı ve geri dönüş kaybını değiştirmektedir. Bu neden ile tasarımda beslemenin konumu göz önüne alınmalıdır. Koaksiyel besleme besleme noktası ortadan kenarlara kaydırıldığında merkez frekansı artarken, yakınlık beslemede tam tersi bir etki görülmüştür. Mikroşerit beslemede hattın bağlandığı noktalardan yarık açılması bant genişliğinin artmasını sağlamaktadır.

Mikroşerit beslemede ve koaksiyel beslemelerde formüllerden elde edilen yama boyutları ile istenilen merkez frekansında tasarım yapılabilmektedir. Ancak

temassız besleme yöntemlerinde istenilen merkez frekansına ulaşmak için yama boyutları küçültülmüştür. Bu da formüllerden elde edilen boyutların bu besleme yöntemleri için tam olarak doğru sonuç vermediğini göstermektedir. Yakınlık ve açıklık bağlantılı besleme yöntemlerinde bir den fazla yalıtkan malzeme kullanılmaktadır. Bu malzemelerin kalınlıklarının değıştirdiğinde üstteki ve alttakinin kalınlıklarının merkez frekansı, bant genişliğini, kazancı ve geri dönüş kaybını birbirinde farklı şekilde etkilediği görülmüştür.

Açıklık bağlantılı beslemede toprak tabaksındaki açıklığın artması bant genişliğini arttırmaktadır. Ancak merkez frekansı ve kazancıda etkilediği için oldukça hassas bir şekilde üretilmelidir. Mikroşerit antende yama, iletim hattı, yalıtkan malzeme ve boşluk boyutları anten parametrelerini etkilediği için üretimde oldukça hassas olunması gerekmektedir.

Son olarak çalışmada uygulama ve simülasyon karşılaştırılması Çizelge 5.2’de gösterilmiştir. Sonuçlara bakıldığında Mikroşerit ve Koaksiyel yama antenin uygulama ile çok yakın sonuçlar verildiği görülmüştür.

Çizelge 5.2. Tasarlanan yama antenlerin simülasyon ve uygulama değerleri

	Simülasyon		Uygulama	
	Rezonans Frekansı	Geri Dönüş Kaybı	Rezonans Frekansı	Geri Dönüş Kaybı
Mikroşerit	5 GHz	-15.7 dB	5.1 GHz	-12.79 dB
Koaksiyel	5 GHz	-28.67 dB	5.27 GHz	-10.51 dB

6. KAYNAKLAR

- AGARWAL, K., RAO, G.P., KARTIKEYAN, M.V., THUMM, M.K., *A Proximity Fed Circularly Polarized Microstrip Patch Antenna with ACross Slot in the Ground Plane*, Karlsruhe, Germany.
- AMBRESH, P. A., HADALGI , P. M. , HUNAGUND, P. V., *Compact Omni-Directional Patch Antenna for S-Band Frequency Spectra*, GulbargaUniversity, Gulbarga-India.
- Ansoft HFSS V10 User's Guide, 2005. HFSS, Ansoft Corporation, Pittsburgh, USA.
- Bahl, I., Bhartia, P., Garg, R., Ittipiboon, A., 2001: *Microstrip Antenna Design Handbook*, Artech House, Boston-London.
- Balanis, C. A., 2005: *Antenna Theory: Analysis and Design*, John Wiley & Sons, Inc. Hoboken, New Jersey
- BAZAN, G. A. S., *Desgin of a Circularly Polarized Patch Antenna for Satellite Mobile Communication l-Band*, Polytechnic University of Cataluña, December 2010.
- Chang, K., 2000. *RF and Microwave Wireless Systems*, John Wiley & Sons Publication, New York.
- Fang, D. G., 2010: *Antenna Theory and Microstrip Antennas*, Taylor & Francis Group, Boca Raton, Florida
- JAIN, N., KHARE, A., NEMA, R., *E-Shape Micro strip Patch Antenna on Different Thickness for pervasive Wireless Communication*, Bhopal, India
- Johnson, R. C., 1993: *Antenna Engineering Handbook*, McGraw-Hill, Inc., New York.
- Kraus, J. D., 1950: *Electrical and Electronic Engineering Series: Antennas*, McGraw-Hill Inc., New York
- KUMAR, G. AND RAY, K.P., 2003 *Broadband Microstrip Antennas*, Artech House. Milligan, T. A., 2005: *Modern Antenna Design*, John Wiley & Sons Publication, New Jersey
- SAINATI, R. A., 1996, *CAD of Microstrip Antenna for Wireless Application*, Attech House, London.
- Saunders, S. R., Zavala A. A., 2007: *Antennas and Propagation for Wireless Communication Systems*, John Wiley & Sons Ltd., New York
- SCHNEIDER, M., *Microstrip Lines for Microwave Integrated Circuits*, Bell. Syst. Tech. J., 48.
- SRİFİ, M.N., MELOUİ, M., ESSAAİDİ, M., *Rectangular Slotted Patch Antenna for 5-6GHz Applications*, Abdelmalek Essaadi University, Tetuan, Morocco.

7. ÖZGEÇMİŞ

Doğum Tarihi : 05.10.1993
Doğum Yeri : Çarşamba/SAMSUN
Uyruğu : T.C.
Medeni Hali : Evli
E-mail : sozenemre55@gmail.com

Eğitim Durumu

2012 - 2016 Haliç Üniversitesi (İstanbul)
Elektrik-Elektronik Mühendisliği
2007 - 2011 Çarşamba Endüstri Anadolu Meslek ve Teknik Lisesi
(Çarşamba/SAMSUN)

Staj

2015 Akgün Elektrik Mühendislik Ltd. Şti. (Bergama/İZMİR)
2014 KoçSistem Bilgi ve İletişim Hizmetleri A.Ş. (İSTANBUL)

İş

2016 - KoçSistem Bilgi ve İletişim Hizmetleri A.Ş. (İSTANBUL)