

**T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

## **3.3 GHz MİKROŞERİT ANTEN TASARIMI VE FARKLI BESLEME YÖNTEMLERİ İÇİN ANALİZİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Elek.Hab.Müh. Haydar KÜTÜK**

**Enstitü Anabilim Dalı : ELEKTRİK – ELEKTRONİK  
MÜHENDİSLİĞİ**

**Enstitü Bilim Dalı : ELEKTRONİK**

**Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Ahmet Yahya  
TEŞNELİ**

**Haziran 2012**

T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

3.3 GHz MİKROŞERİT ANTEN TASARIMI VE  
FARKLI BESLEME YÖNTEMLERİ İÇİN ANALİZİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ


Elek.Hab.Müh. Haydar KÜTÜK


Enstitü Anabilim Dalı : ELEKTRİK – ELEKTRONİK  
MÜHENDİSLİĞİ

Enstitü Bilim Dalı : ELEKTRONİK

Bu tez 14/06/2012 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.

  
Prof. Dr. Etem KÖKLÜKAYA  
Jüri Başkanı

  
Y. Doç. Dr. Ahmet Y. TEŞNELİ  
Üye

  
Y. Doç. Dr. Ali GÜLBAĞ  
Üye

## ÖNSÖZ

Mikroşerit antenler özellikle son yıllarda bilim dünyasında daha fazla yer bulmaya başlamış ve daha çok alanda kullanılmaya başlanmıştır. Yapılan bu çalışmayla bu antenlerin daha yaygın kullanılması için, bazı eksik özelliklerinin ortadan kaldırılması amaçlanmıştır. Çalışmanın mikroşerit antenler ve besleme düzenleri alanında uğraş gösteren araştırmacılara katkıda bulunmasını temenni ederim.

Tez çalışmasında katkılarından dolayı başta tez danışmanım sayın Yrd. Doç. Dr. Ahmet Yahya TEŞNELİ' ye, varlıklarıyla bana destek olan sevgili eşim Nurbanu' ya, yakın zamanda hayatıma girerek mutluluk kaynağım olan üçüzlerim Osman, Mustafa ve Yavuz' a sonsuz teşekkürler...

Bu tez çalışması SAÜ Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu tarafından desteklenmektedir. (Proje No: 2012-50-01-029)

# İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	ii
İÇİNDEKİLER .....	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	v
ŞEKİLLER LİSTESİ .....	vi
TABLOLAR LİSTESİ.....	viii
ÖZET.....	ix
SUMMARY.....	x
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ.....	1
1.1. Mikroşerit Anten Avantaj ve Dezavantajları.....	2
1.2. Mikroşerit Antenin Tarihsel Gelişimi ve Yapılan Çalışmalar.....	3
BÖLÜM 2.	
MİKROŞERİT ANTENLERDE BESLEME YÖNTEMLERİ.....	8
2.1. Anten Parametreleri.....	9
2.1.1. Geri dönüş kaybı .....	9
2.1.2. Kazanç.....	9
2.1.3. Bant Genişliği.....	9
2.1.4. Polarizasyon.....	10
2.1.5. Işıma Yoğunluğu.....	10
2.2. Koaksiyel (Probe) Besleme.....	11
2.2.1. Koaksiyel beslemenin modellenmesi.....	12
2.3. Mikroşerit Besleme.....	15
2.3.1. Mikroşerit beslemenin modellenmesi.....	16

2.4. Yakınlık Bağlantılı Mikroşerit Besleme.....	18
2.5. Açıklık Bağlantılı Mikroşerit Besleme.....	20
2.6. Koplanar Dalgakılavuzlu Besleme.....	21
2.7. Ticari Mikroşerit Anten Örnekleri.....	24
<b>BÖLÜM 3.</b>	
<b>MİKROŞERİT ANTEN TASARIMI .....</b>	<b>27</b>
3.1. Dielektrik Tabaka Malzeme Seçimi.....	29
3.2. Yama Boyutları.....	34
3.3. Giriş Admintansı.....	35
<b>BÖLÜM 4.</b>	
<b>FARKLI BESLEME ÇEŞİTLERİ UYGULANARAK MİKROŞERİT</b>	
<b>ANTEN TASARIMI ve SİMÜLASYONU.....</b>	<b>37</b>
4.1. Kullanılan Tasarım Programı : HFSS.....	37
4.2. 3.3 Ghz Mikroşerit Anten Tasarımı.....	39
4.3. Mikroşerit Beslemeli 3.3 GHz Mikroşerit Anten Tasarımı.....	41
4.3.1 Antenin besleme noktalarını değiştirme.....	43
4.3.2 Yamamın beslendiği noktadan yarıklar açma.....	45
4.4. Koplanar Dalgakılavuzlu Beslenmiş 3.3 GHz Mikroşerit Anten	
Tasarımı.....	47
4.4.1. İletim hattı ile düzlem arasındaki boşluğu değiştirme.....	49
4.4.2. Antenin besleme noktalarını değiştirme.....	50
4.5. Koaksiyel Beslemeli 3.3 GHz Mikroşerit Anten Tasarımı.....	51
4.5.1 Antenin besleme noktalarını(sondamın yerini) değiştirme...	55
4.6. Açıklık Bağlantılı Beslenmiş 3.3 GHz Mikroşerit Anten Tasarımı	55
4.6.1 Antenin besleme noktalarını değiştirme.....	57
4.7. Yakınlık Bağlantılı Beslenmiş 3.3 GHz Mikroşerit Anten Tasarımı	59
4.7.1 Antenin besleme noktalarını değiştirme.....	61
4.7. Besleme Yöntemlerinin Karşılaştırılması.....	63

BÖLÜM 5.	
SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	66
KAYNAKLAR.....	68
ÖZGEÇMİŞ.....	71

## SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

Cs	: Kuplaj kapasitesi
$l$	: Mikroşerit hat uzunluğu
H <sub>z</sub>	: Mikroşerit hattın manyetik alanı
L	: Rezonant genişliği
J <sub>z</sub>	: Besleme akımı
E <sub>z</sub>	: Yama elektrik alanı
RFID	: Radyo frekansı ile tanımlama
R	:Direnç
CPW	: Düzlemsel Dalga Kılavuzu
$\epsilon_r$	: Dielektrik sabiti
GSM	: Küresel mobil iletişim sistemi
L	:Yama boyu
UMTS	: Uluslararası mobil haberleşme sistemi
QoS	: Sunulan hizmet kalitesi
$\Gamma$	: Yansıma katsayısı
VSWR	: Duran dalga oranı
W	: Yama eni
WiMAX	:Kablosuz erişim için iletişim protokolü
FR-4	:Flame retardant
PTFE	: Politetrafloretillen

## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1.	Mikroşerit anten genel yapısı.....	1
Şekil 2.1.	Koaksiyel beslemeli mikroşerit anten.....	12
Şekil 2.2.	Koaksiyel beslemeli mikroşerit anten geometrisi.....	13
Şekil 2.3.	Koaksiyel beslemeli mikroşerit anten.....	14
Şekil 2.4.	Mikroşerit beslemeli yama anten geometrisi.....	15
Şekil 2.5.	Mikroşerit hattın elektrik akım yoğunluğu $J_z$ ile manyetik alanı Hz' nin bağlantısı.....	16
Şekil 2.6.	Mikroşerit beslemeli yama antenin modellenmesi.....	18
Şekil 2.7	Yakınlık bağlantılı mikroşerit anten.....	19
Şekil 2.8	Yakınlık bağlantılı mikroşerit anten eşdeğer devresi.....	20
Şekil 2.9	Açıklık bağlantılı mikroşerit anten.....	21
Şekil 2.10	Koplanar dalgakılavuzlu beslenmiş anten geometrisi.....	22
Şekil 2.11	Koplanar dalgakılavuzlu besleme çeşitleri.....	23
Şekil 3.1	Temel mikroşerit anten geometrisi.....	27
Şekil 3.2	Mikroşerit anten ışıma geometrisi.....	28
Şekil 3.3	Bant genişliği, dielektrik katsayısı ve malzeme yüksekliği arasındaki ilişki.....	30
Şekil 3.4	Kayıp tanjantının ( $\tan\delta$ ) sıcaklıkla değişimi.....	31
Şekil 3.5	Dielektrik sabitinin sıcaklıkla değişimi.....	31
Şekil 3.6	Mikroşerit hat ile beslenen antenin eşdeğer devresi.....	35
Şekil 4.1	HFSS programı ile yapılmış tasarım örnekleri.....	38
Şekil 4.2	Tasarlanan antenin HFSS görüntüsü.....	41
Şekil 4.3	Tasarlanan yama antenin $S_{11}$ parametresi grafiği.....	42
Şekil 4.4	Mikroşerit antenin ışıma diyagramı.....	43
Şekil 4.5	Farklı besleme noktalı mikroşerit antenin dizüstü bilgisayar üzerindeki uygulaması.....	45



Şekil 4.6	Besleme noktasından yarık açılmış yama anten.....	46
Şekil 4.7	Yarıklı antenin $S_{11}$ grafiği.....	46
Şekil 4.8	Koplanar dalgakılavuzlu beslenmiş 3.3 GHz mikroşerit anten geometrisi.....	47
Şekil 4.9	Tasarlanan antenin $S_{11}$ grafiği.....	48
Şekil 4.10	Antenin kazanç diagram.....	49
Şekil 4.11	Koaksiyel (probe) beslemeli 3.3 GHz mikroşerit anten geometrisi.....	52
Şekil 4.12	Tasarlanan antenin $S_{11}$ grafiği.....	52
Şekil 4.13	Antenin kazanç diagram.....	53
Şekil 4.14	Açıklık bağlantılı mikroşerit anten geometrisi.....	56
Şekil 4.15	Açıklık bağlantılı mikroşerit antenin $S_{11}$ grafiği.....	56
Şekil 4.16	Antenin kazanç diagram.....	57
Şekil 4.17	Yakınlık bağlantılı mikroşerit anten geometrisi.....	59
Şekil 4.18	Yakınlık bağlantılı mikroşerit antenin $S_{11}$ grafiği.....	60
Şekil 4.19	Antenin kazanç diagram.....	61
Şekil 4.20	Besleme yöntemleri bant genişliği karşılaştırması.....	63
Şekil 4.21	Besleme yöntemleri kazanç karşılaştırması.....	64
Şekil 4.22	Besleme yöntemleri geri dönüş kaybı karşılaştırması.....	64

## TABLULAR LİSTESİ

Tablo 2.1.	Besleme Çeşitlerinin Karşılaştırılması.....	24
Tablo 2.2.	Ticari Mikroşerit Anten Örnekleri.....	25
Tablo 3.1.	Mikroşerit taban malzemeleri.....	33
Tablo 4.1.	Besleme noktası değişen mikroşerit antenin parametre değişim tablosu.....	44
Tablo 4.2.	Boşluk boyutu değişen CPW antenin parametre değişim tablosu	50
Tablo 4.3.	Besleme noktası değişen CPW antenin parametre değişim tablosu.	51
Tablo 4.4.	Besleme noktası değişen koaksiyel antenin parametre değişim tablosu.....	54
Tablo 4.5.	Besleme noktası değişen açıklık bağlantılı antenin parametre değişim tablosu.....	58
Tablo 4.6.	Besleme noktası değişen yakınlık bağlantılı antenin parametre değişim tablosu.....	62

## ÖZET

Anahtar kelimeler: Mikroşerit Anten, Geniş Bant, Besleme Yöntemleri

Mikroşerit antenler özellikle son yıllarda bilimsel çalışmalara daha çok konu olmaya başlamış ve kendine daha geniş uygulama alanı bulmaya başlamıştır. Mikroşerit antenlerin hafifliği, uygulandığı yüzeye kolayca uyum sağlamaları, üretim kolaylığı, maliyetinin düşük olması gibi özellikleri sayesinde son yıllarda daha popüler hale gelmiş ve daha çok alanda kullanılmaya başlanmıştır. Bunun yanında dar bant genişliği, düşük kazanç, düşük güç kapasitesi gibi dezavantajları anten performansını düşürmekte ve kullanım alanlarını kısıtlamaktadır. Son yıllarda yapılan çalışmalar da bu dezavantajları azaltmaya yönelik olmuş ve bunda da önemli ölçüde başarı sağlanmıştır.

Mikroşerit antenlerin besleme düzenleri, anten performansını büyük ölçüde etkilemektedir. Bundan dolayı bir çok besleme tekniği geliştirilmiştir. Temel olarak; mikroşerit besleme, koaksiyel besleme, düzlemsel dalga kılavuzlu besleme, yakınlık bağlantılı besleme ve açıklık bağlantılı besleme olmak üzere beş çeşit beslemeden bahsedilebilir. Bu tez çalışmasının amacı, temel besleme tekniklerini kullanarak mikroşerit anten tasarlayıp, besleme tekniklerinin performanslarını karşılaştırmak ve daha geniş bantlı antenler tasarlamaktır.

Tezin ilk bölümünde mikroşerit antenler hakkında genel bilgiler verilmiş ve literatür özeti sunulmuştur. İkinci bölümde besleme teknikleri incelenmiş ve performansları karşılaştırılmıştır. Üçüncü bölümde mikroşerit anten tasarımından bahsedilmiş, dördüncü bölümde temel besleme teknikleri kullanılarak simülasyon yapılmış besleme tekniklerinin performansı grafiklerle gösterilmiştir.

### **3.3 GHZ MICROSTRIP ANTENNA DESIGN AND ANALYSIS FOR DIFFERENT FEEDING METHODS**

#### **SUMMARY**

Key Words: Microstrip Antenna, Wideband, Feeding Methods

Microstrip antennas have been developed more rapidly in recent years and have been adopted in a wider area. Microstrip antennas have become more popular especially in recent fifteen years because of their many inherent advantages over other antenna designs are lightweight, easy to adapt to the surface applied, easy to fabricate. However, there are many disadvantages of these antennas. These disadvantages are its very narrow bandwidth, low gain, low power capacity and poor isolation between the feedline and the radiating patch. Recent studies have been to reduce these disadvantages substantially.

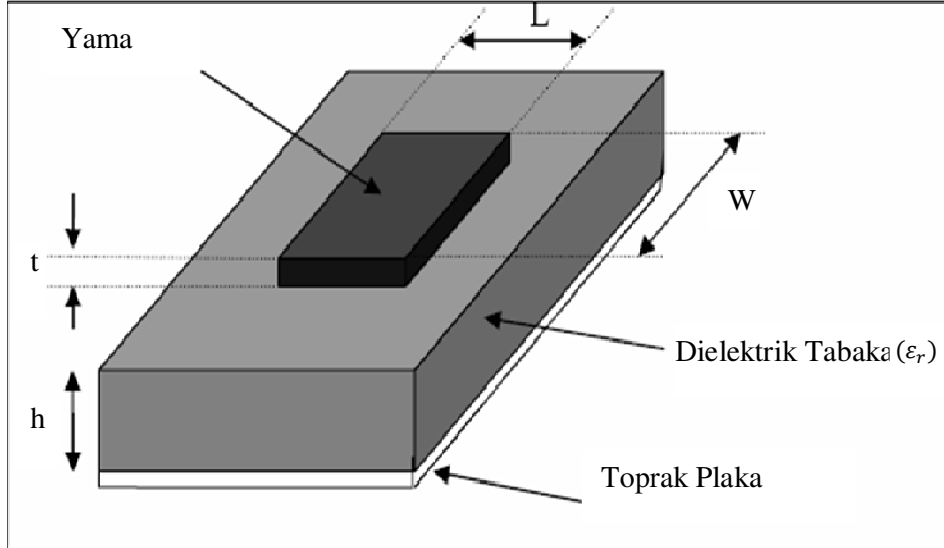
Feeding techniques in microstrip antenna affects the antenna's performance greatly. Therefore, a lot of feeding techniques have been developed. Basically, five kinds of techniques can be mentioned are microstrip feed, coaxial feed, coplanar waveguide feed, aperture coupled feed and proximity coupled feed. The aim of this thesis is to design microstrip antenna using the basic techniques of feeding, compare the performance of feeding techniques and design broad-band antennas.

In the first section of the thesis, microstrip antennas are mentioned basically and summary of literature is presented. In the second section, feeding techniques are examined and compared performances. In the third section, designing microstrip antenna is mentioned. In the fourth section, microstrip antenna is designed using feeding techniques and is compared to feeding techniques's performance with graphically.

## BÖLÜM 1. GİRİŞ

Kablosuz iletişim ihtiyacı, özellikle kablosuz veri hizmetleri için, yüksek talep nedeniyle çok hızlı bir şekilde artmaktadır. 2G/3G, WiFi ve WiMax gibi çeşitli teknolojilerin gelişmesiyle birlikte, haberleşme dünyasında farklı frekans bantlarına ihtiyaç duyulacaktır. Yakın gelecekte WiMax teknolojisine (3.3 GHz frekans bandı), kablosuz veri haberleşmesinde önemli bir aday olması gözüyle bakılmaktadır. Bu nedenle 3.3 GHz frekanslı, yüksek bant genişlikli antenlere ihtiyaç vardır [1].

Şekil 1.1'de ışınım tabakası, dielektrik tabaka ve toprak plakadan oluşan temel mikroşerit yapısı gösterilmiştir. Altta toprak tabakası iletkendir ve mikroşerit antenlerin tek yönlü ışınım yapmasını sağlar[2]. Orta tabaka dielektrik malzemeden oluşur ve idealde dielektrik sabiti 2.5'den küçük olmalıdır. Dielektrik malzeme



Şekil 1.1. Mikroşerit Anten Genel Yapısı

kalınlığının genellikle 0.05mm ile 6.35mm arasında değişmektedir. Bu tabakanın kalınlığı ve dielektrik sabiti; anten performansı, ışınım değerleri, bant genişliği gibi anten özelliklerini direkt olarak etkilemektedir. Anten performansını artırmak için, düşük dielektrik sabitine sahip, kalın dielektrik tabaka seçilmelidir[3]. Üst tabaka ise genelde altın, gümüş ya da bakırdan yapılabilen, antenin ışınım yaptığı iletken tabakadır. Kalınlığı 0.035 mm ile 0.070 mm arasında değişir[4]. Anten bu tabakadan beslenir ve dikdörtgen, üçgen, daire, çember dilimi gibi farklı geometrilere sahip olabilir. İletken tabakanın alacağı şekil ve besleme farklılıkları, anten değerlerini doğrudan etkiler ve analiz için farklı varyasyonlar sunar [5] .

### 1.1.Mikroşerit Antenlerin Avantaj ve Dezavantajları

Giderek artan bir kullanım alanına sahip olan mikroşerit antenler birçok üstün özelliğe sahiptir. Bunlardan bazıları şöyle sıralanabilir:

- Hafiftirler, küçük hacimlidirler ve buldukları yüzeye kolayca entegre olabilir.
- Üretim maliyetleri düşüktür, seri üretime uygundur.
- Besleme noktalarında yapılan küçük değişikliklerle, lineer ve dairesel polarizasyon sağlamak mümkündür.
- İkili frekanslı ve ikili polarizasyonlu antenlerin yapımı kolaydır.
- Boşluk desteği gerektirmez.
- Mikrodalga iletim hatlarına kolayca monte edilebilirler.

Mikroşerit antenlerin sahip oldukları üstünlüklerin yanı sıra, bazı dezavantajları da mevcuttur. Örneğin:

- Düşük bant genişliğine sahiptirler.
- Kazançları çok düşüktür (-6 dB).
- Mikroşerit antenlerin çoğu yarı düzlem içinde ışınım yaparlar.
- Işınım yapan elemanlar ve besleme arasındaki yalıtım zayıftır.
- Düşük güç kapasitesine sahiptirler [6].

Görüldüğü gibi mikroşerit antenlerin birçok avantajının yanında bazı dezavantajları da mevcuttur. Fakat yapılan araştırma ve geliştirme faaliyetleri neticesinde, farklı teknikler kullanılarak bu eksik yönlerin tamamen veya belli oranlarda giderilmesinin mümkün olduğu görülmüştür. Örneğin, son yıllarda yapılan çalışmalar neticesinde mikroşerit antenlerin en büyük eksikliği olan bant genişliğinin %60'tan fazla arttırıldığı görülmüştür [2].

Pratikte kullanılan birçok antende olmayan avantajlarıyla, yakın gelecekte birçok alanda kullanılması ve günümüzde kullanılan antenlerin yerini alması beklenen mikroşerit antenler, kablosuz sistemler, uydu haberleşmesi, silahların otomatik ateşlenmesi, biomedikal ışınlayıcı, çevresel enstrümantasyon ve uzaktan algılama gibi alanlarda kullanılmaktadır [7].

## 1.2. Mikroşerit Antenin Tarihsel Gelişimi ve Yapılan Çalışmalar

Mikroşerit antenlerle ilgili ilk fikir 1953'de Deschamp tarafından ortaya atılmıştır[10]. 1955 yılında, Fransa'da Gutton ve Baissinot tarafından patent çalışmaları yapılmıştır[11]. 1970'li yıllarda, kullanılabilir, düşük kayıp tanjantına sahip, iyi alt tabaka ve cazip termal ve mekanik özelliklere sahip anten tasarımı konularındaki çalışmalar hız kazanmıştır[10]. Pratikte ilk anten Howel ve Munson tarafından üretilmiştir[12]. Bütün bu çalışmalar neticesinde düşük maliyetli, çok hafif, düşük hacimli, buldukları yüzeylere kolayca entegre olabilen, uyumlu görünüşe sahip mikroşerit antenler üretilmeye başlanmıştır.

Adil Hameed Ahmad and Basim Khalaf Jaralla, 2008 yılında yaptıkları çalışmada yama üzerindeki besleme yerlerini değiştirerek ve farklı malzemeler kullanarak 10 GHz frekansta anten tasarlamışlardır. Koaksiyel besleme tekniğini kullandıkları bu çalışmada, besleme noktasıyla birlikte yamanın şeklini de (kare, daire) değiştirerek duroid malzemesi için % 26.2 ve Quartiz malzemesi için %30.9 bant genişliği elde etmişlerdir. Yama şeklinin değişmesi, besleme noktasının değişmesine göre bant genişliğini daha çok etkilemiştir [13].

Srivatsa Bhargava, açıklık bağlantılı besleme tekniğini kullanarak 2 GHz frekansta mikroşerit anten tasarlamıştır. FR4 malzemesi kullanarak ve HFSS programı yardımıyla yaptığı çalışmada %24.6 bant genişliği elde etmiştir. Simüle ettiği bu anteni laboratuvar ortamında imal etmiş ve %23 bant genişliği ölçmüştür. Daha sonra toprak plaka üzerinde, yamanın köşeleri hizasından 4 adet yarık açarak bant genişliğini %25.9' a yükseltmiştir [14].

M. Ali, R. Dougal, G. Yang ve H.-S. Hwang, 5-6 GHz bant aralığında, kablosuz iletişimde kullanılmak üzere koaksiyel besleme tekniğini kullanarak tasarladıkları mikroşerit anten 5.3 GHz frekansta çalışmış ve %14 bant genişliği elde edilmiştir. Bant genişliğini artırmak için kullandığı teknik, köpük malzemesi üzerine yerleştirilen antenin yaması üzerinde simetrik yarıklar açmaktır [15].

Hongyu Zhou ve Dejan S. Filipovic, koaksiyel besleme tekniği kullanarak %60 bant genişliğinde mikroşerit anten tasarlamıştır. Anteni 50'şer ohmluk iki ayrı yerden beslemiş ve yüksek bant genişliği elde etmişlerdir. Besleme noktasını değiştirerek ve yamayı E şekline getirerek bant genişliğinde %20-%40 oranında iyileşme görülmüştür [16].

M. Ben Ahmed, M. Bouhorma, F.Elouaai ve A.Mamouni, GSM / UMTS mobil telefon sistemi ve hiperlan için çoklu standartlı mikroşerit anten uygulamaları yapmış, bunun için antenin yamayı beslediği noktadan yarıklar açma tekniğini kullanmışlardır. Antenin 0.8 GHz, 2.1 GHz ve 5 GHz bantlarında aynı anda çalıştığı görülerek çoklu standartlarda kullanılacak mikroşerit anten tasarlanmıştır [17].

Mohamed Nabil Srfi, Mourad Meloui and Mohamed Essaaidi, 2010 yılında yaptıkları çalışmada, kablosuz haberleşmede kullanılmak üzere 5-6 GHz bandında mikroşerit anten tasarlamışlardır. Mikroşerit temaslı besleme tekniğini kullandıkları bu çalışmada, besleme hattı basamaklı hale getirilip, yama üzerinde dikdörtgen boşluk açılarak denemeler yapılmış, boşluklu ve basamaklı antenin(5.5 GHz) düz antene(4 GHz) göre daha yüksek frekansta çalıştığı görülmüştür [18].



P. A. Ambreshi, P. M. Hadalgi and P. V. Hunagund, Wimax teknolojisinin Hindistandaki kullanım aralığı olan 3.3 ve 3.5 GHz aralığında çalışacak bir anten tasarlamayı amaçlamışlardır. Koaksiyel besleme tekniği kullanılan antende, anten ile toprak plaka arası plastik malzemeyle doldurulmuş, yamanın önce L kenarı üzerinde sonra da hem L, hem W kenarı üzerinde küçük dikdörtgensel boşluklar açılarak, anteni simüle etmişler ve 3.6 GHz civarında çalışan %15 bant genişliğinde anten elde etmişlerdir [19].

K. Nithisopa, J. Nakasuwan, N. Songthanapitak N. Anantrasirichai, ve T. Wakabayashi, WLAN uygulamaları için koplanar besleme tekniğini kullanarak 2.4 GHz frekanslı mikroşerit anten tasarlamışlardır. Bunu gerçekleştirmek için anten üzerine yatay-geniş, dikey-dar ikişer dikdörtgensel boşluk açılmıştır. Bu boşluk boyutları değiştirilerek anten parametreleri gözlenmiş ve 1.65 GHz bant genişliğinde ve -15.5 dB kayıplı anten tasarlanmıştır [20].

B.-K. Ang and B.-K. Chung, 2007 yılında yaptıkları çalışmada, WLAN teknolojileri için kullanılmak üzere koaksiyel besleme tekniği kullanılarak, mikroşerit anten tasarlamışlardır. Anten yaması üzerinde besleme noktasında paralel ve simetrik iki tane yarık açılmış ve anten E şeklini almıştır. Açılan boşlukların boyutları değiştirilerek, anten sonuçları gözlenmiş ve 7.5 dB kazançlı, 5.25 GHz frekansta %15.2 bant genişliğinde çalışan anten elde edilmiştir [21].

Neenansha Jain, Anubhuti Khare ve Rajesh Nema, 2011 yılında yaptıkları çalışmada mikroşerit besleme tekniği kullanılarak, E şeklinde yama anten tasarlanmış ve antenin yüksek frekansta çalışması amaçlanmıştır. Yüksek rezonans frekansı için anten boyutları 780-933 mm seçilmiş, alt taban için duroid malzemesi farklı kalınlıklarda denenmiş ve 31 mm kalınlığının en uygun sonuç verdiği gözlenmiştir. E şeklindeki yamadaki boşlukların boyutları ve alt taban kalınlığı değiştirilerek, 10, 12, 13, 15 GHz rezonans frekansında antenler tasarlanmıştır [22].

C. Vishnu Vardhana Reddy ve Rahul Rana, S. K. Behera' nın gözetimi altında 2.4 GHz rezonans frekanslı anten için tasarım ölçüleri hesaplanmış ve IE3D programı

aracılığıyla simülasyon yapılmıştır. Besleme tekniği olarak yarıklı mikroşerit besleme kullanılmıştır. Sonuçta 2.42 GHz frekanslı 1.87 dB kazançlı ve %2 dar bantlı bir anten üretilmiştir. Anten sonuçlarının işlenmesinde Matlab PSO algoritmasından faydalanılmış ve ileride bu algoritmanın mikroşerit anten tasarımında daha etkin kullanılacağı öne sürülmüştür [23].

Maher Bahram ve Ahmed Bahram, 2009 yılında Malezya Teknik Üniversitesinde yaptığı yüksek lisans tezinde, farklı açıklık şekilleri kullanarak, wireless uygulamaları için çift bant frekanslı anten tasarlamıştır. Üçgen, eliptik ve dikdörtgen açıklıklar kullanılarak çift rezonans frekanslı antenler tasarlanmış ve imal edilmiştir. Antenlerin birinci rezonans frekansları 2.4-2.6 GHz aralığında, %1-3 bant aralığında çalışmaktadır. İkinci rezonans frekansları ise 4-6 GHz aralığında, %1-5 bant aralığında çalışmaktadır [8].

Mehmet İlhami Safran ve Elif Aydın, geniş bantlı mikroşerit anten tasarlamak için, mikroşerit besleme tekniği kullanıp, besleme yapısını basamaklı hale getirip, farklı ölçülerde benzetimler yapmışlardır. Buldukları en iyi sonucu veren modeli ise imal etmişlerdir. Sonuçta beklenildiği kadar geniş bant genişliği elde edilememiştir fakat marjinal uyumlama göz önünde alındığında veya kullanım alanına bağlı olarak geniş bant anten elde edilmiştir [3].

Kshitiz Agarwal, G.P. Rao, M.V. Kartikeyan ve M.K. Thumm, yakınlık bağlantılı besleme tekniği kullanarak 2.4 GHz rezonans frekanslı anten tasarlamışlardır. Bunu gerçekleştirmek için, toprak plaka üzerine çapraz yarıklar açıp, iletim hattını yamanın köşesinden ortasına doğru yerleştirmişlerdir. Sonuç olarak 7.86 dB kazançlı, -40 dB geri dönüş kaybına ve %3 bant genişliğine sahip, 2.4 GHz frekansında çalışan mikroşerit anten elde etmişlerdir [24].

J.S. Kim, W.K. Choi, and G.Y. Choi, UHF bandında özellikle de 900 MHz frekansta çalışacak, Radyo Frekansı ile Tanımlama (RFID) teknolojisi için kullanılmak üzere, yakınlık bağlantılı besleme tekniği kullanarak, küçük boyutlu(25x25x3 mm) seramik yama anten tasarlamışlardır. Tasarlanan ve imal edilen antenin 915 MHz frekansında

rezonansa geldiđi ve %1 gibi dűşűk bant geniřliđinde çalıřtıđı gűzlenmiřtir. Tasarlanan antenin 6m' ye kadar etiket okuduđu gűrűlműřtir [25].

Norbahiah Misran, Mohammed N. Shakib, Mohammad T. Islam, ve Baharudin Yatim, yaptıkları çalıřmada, E řeklindeki anten űzerinde yarıklar açılıp, koaksiyel besleme tekniđi kullanarak, 2.08 merkez frekanslı, 10 dB kazanca ve %27 bant geniřliđine sahip anten tasarlanmıřtır. Anten űzerindeki yarık boyutları ve yama boyutları deđiřtirilerek sonuçlar gűzlenmiřtir [26].

## **BÖLÜM 2. MİKROŞERİT ANTENLERDE BESLEME YÖNTEMLERİ**

Mikroşerit antenler, hafifliği, uygulandığı yüzeye kolayca uyum sağlamaları, üretim kolaylığı, maliyetinin düşük olması gibi özellikleri sayesinde son yıllarda daha popüler hale gelmiş ve daha çok alanda kullanılmaya başlanmıştır. Bunun yanında dar bant genişliği, düşük kazanç, düşük güç kapasitesi gibi dezavantajları anten performansını düşürmekte ve kullanım alanlarını kısıtlamaktadır. Besleme yöntemleri mikroşerit antenlerin performansını önemli ölçüde etkilemektedir. Bundan dolayı birçok besleme yöntemi geliştirilmiştir.

Mikroşerit antenler, dielektrik tabakanın bir tarafı üzerinde ışına yapan elementlere sahiptir ve bundan dolayı ilk zamanlarda mikroşerit antenler, toprak plaka içerisinde geçen mikroşerit hat veya koaksiyel sonda ile beslenirdi. Bu elementlere güç bağlanması, yani beslenmesi antenin içine veya dışına doğru değişik yöntemlerle gerçekleştirilirdi. Temelde temaslı ve temassız besleme olarak ikiye ayırabileceğimiz besleme yöntemlerinin, günümüze gelene kadar birçok çeşidi ortaya çıkarılmıştır. Bunlar içerisinde en öne çıkanlar koaksiyel besleme, mikroşerit besleme, yakınlık bağlantılı besleme, açıklık bağlantılı besleme ve koplanar dalga kılavuzlanmış beslemedir [2].

Besleme tekniği seçiminde birçok faktör etkilidir. Bunlardan en önemlisi, besleme tabakası ile ışına tabakası arasındaki gücün verimli iletilmesi, diğer bir ifadeyle ikisi arasındaki empedans uyumudur. Empedans uydurmayla ilgili olarak empedans dönüşümü, eğim, koçan, geçiş gibi sahte ışınmaları ve yüzey dalga kaybını gösteren değerler öne çıkar. İstenmeyen ışınmalar, yan lob seviyelerinin ve ışına diyagramının çapraz polar genliğinin artmasına neden olabilir. Sahte ışınmaların en aza indirgenmesi ve onun ışına diagramı üzerindeki etkisi, besleme değerlendirmesindeki en önemli faktörlerden biridir. Diğer bir faktör de, dizi

uygulamaları için beslemenin uygunluk durumudur. Besleme yapıları tasarımda daha çok parametreye sahip olduklarından dolayı, daha iyi performans elde etmeyi sağlarlar [2].

## **2.1. Anten Parametreleri**

### **2.1.1. Geri dönüş kaybı**

Geri dönüş kaybı, yükün ne kadarının kaybolduğunu, yani yansımadan dönen yükün miktarını gösteren bir parametredir. Antenlerde verici ile anten empedansı uyuşmadığı zaman, yansıyan dalgalar, duran dalgaların oluşmasına neden olur. Dolayısıyla geri dönüş kaybı, aynen VSWR (duran dalga oranı) gibi verici ile anten arasındaki uyuşmayı gösteren bir parametredir. Verici ve anten arasındaki mükemmel uyum için, yansıma katsayısının sıfır ve geri dönüş kaybının sonsuz olması gerekir ki, bu da gücün tamamen geçtiği anlamına gelir. Pratikte ise bu mümkün değildir. Genel olarak kabul edilebilir VSWR, 2'dir. Bu da -9.54 dB'lik geri dönüş kaybına karşılık gelir [8].

### **2.1.2. Kazanç**

Kazanç, anten performansını açıklamak için kullanılan bir ölçüdür. Güç kazancı antenin belirli bir yönde enerji yoğunlaştırma yeteneğini ve antenin ışıma performansını açıkça gösteren bir niceliktir. Bir antenin kazancı, dar bir açısal bölge içerisine güç yoğunlaştırma yeteneğiyle ölçülür [8].

### **2.1.3. Bant genişliği**

Bant genişliği, bir antenin belirli standartlarda performansını sergilediği, kullanılabilir frekans aralığı olarak tanımlanır. Antenin kazancının, giriş empedansının, ışımasının, polarizasyon gibi değerlerinin belirlendiği merkez frekansın her iki tarafındaki frekans aralıkları bant genişliğini verir. Bant genişliği

kabul edilebilir en yüksek frekanstan, kabul edilebilir en düşük frekans çıkarılarak ölçülür. Burada kabul edilebilirliğin ölçüsü ise geri dönüş kaybının  $-9.54$  dB ve daha düşük olduğu durumlardır [8].

Bant genişliği, bir iletim ortamının ya da haberleşme kanalının kapasitesini ifade etmek için kullanılır. Başka bir deyişle bir kanal üzerinde taşınabilecek en fazla frekansa sahip sinyal, kanalın bant genişliğidir. Bant genişliği ne kadar büyükse, belli bir süre içinde aktarılacak verinin hacmi de o kadar büyük olur. Bant genişliği problemi, internetin de en büyük problemi haline gelmiştir. Bant genişliğini verimli kullanabilmek için belli trafik türlerine öncelik veren (QoS gibi) standartlar geliştirilmek zorunda kalmıştır. Hızın giderek önemin arttığı günümüzde, geniş bantlı antenler üretmek büyük bir ihtiyaç haline gelmiştir [9].

Geniş bant kavramı ise uluslar arası standartlardan, Defense Advanced Research Project Agency (DARPA)' ya göre %25, Federal Communication Commission (FCC)' ye göre %20 kabul edilmiştir.[3]

#### **2.1.4. Polarizasyon**

Belirli bir yöndeki antenin polarizasyonu, o yönde ışıyan dalganın polarizasyonunu gösterir. Yön belirtilmediği takdirde, polarizasyon, maksimum kazanç yönündeki polarizasyon olarak alınır. Polarizasyon, uzaydaki bir noktada zamanın fonksiyonu olarak tanımlanmış elektrik alan vektörü ile gösterilir. Polarizasyon, doğrusal, dairesel ve eliptik olmak üzere üç sınıfa ayrılır [10].

#### **2.1.5. Işıma yoğunluğu**

Işıma yoğunluğu, bir antenden her katı açısına başına yansıyan güç olarak tanımlanır. Birimi steradyan başına watt'tır. Bu parametre, büyük mesafelerde antenin sahip olduğu bağımsız uzaklık olarak tanımlanır [10].

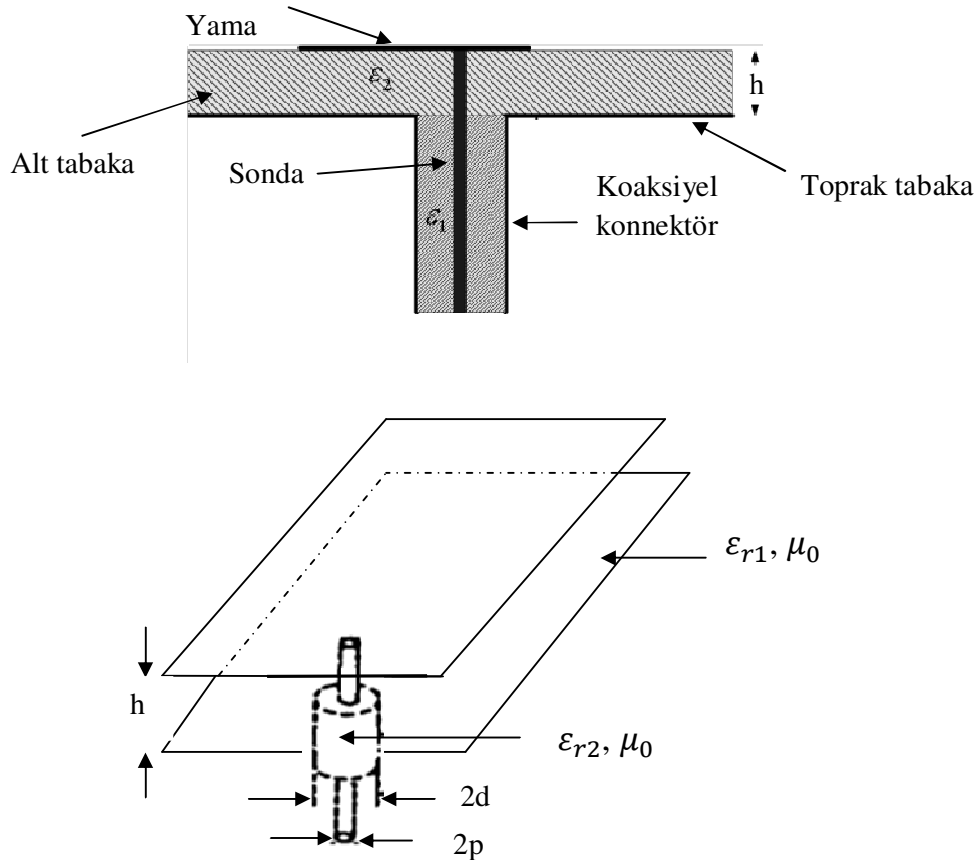
## 2.2. Koaksiyel (Probe) Besleme

Gücün bir sonda aracılığıyla antenin ışıma tabakasına ulaştırılması, mikrodalga gücün iletiminde temel mekanizmalardan biridir. Sonda, koaksiyel bir kablo içerisinden geçerek direkt yamaya bağlanabildiği gibi, temel toprak tabaka üzerinden bir boşluk boyunca da gücü ışıma tabakasına iletir[2]. Koaksiyel konnektör kullanılarak beslenen tipik bir mikroşerit anten geometrisi, Şekil 2.1'de gösterilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi, yalıtkan bir koaksiyel konektör (kablo) yardımıyla, kaynak alt tabakaya bağlanır ve konektör içerisinden geçen sonda adı verilen iletken malzeme aracılığıyla, kaynak üst tabakadaki ışıma yapan iletken tabakaya ulaştırılır. Koaksiyel konnektör, şekilde görüldüğü gibi, yamanın bulunduğu yüzeyin arkasına bağlanır. Sonda ise koaksiyel hat içerisinden geçerek yamaya lehimlenir[27].

Besleme noktasının yeri, en iyi empedans uyumunu gerçekleştirecek şekilde belirlenir. Yamanın uyarılması, öncelikle, besleme akımı  $J_z$ ' nin, yama elektrik alanı  $E_z$ ' yi uyarmasıyla meydana gelir. Bağlaşma (kuplaj) sabiti aşağıdaki formülden elde edilebilir;

$$\text{Kuplaj} = \iiint_V E_z J_z dv = \cos(\pi x_0/L) \quad (2.1)$$

Formüldeki L rezonant genişliği,  $x_0$  yama kenarından besleme noktasına kadar olan görelî konumdur. Formülden de anlaşıldığı gibi  $x_0$  sıfır olduğu durumlarda kuplaj maksimumdur [28].

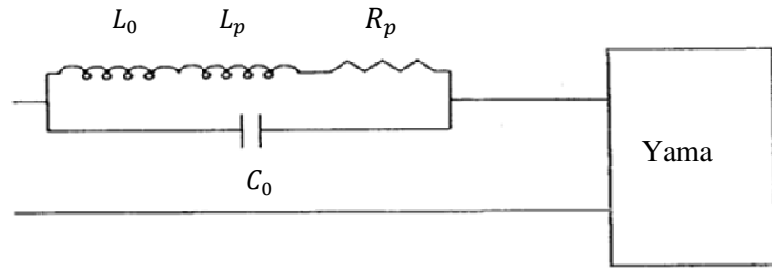


Şekil 2.1. Koaksiyel Beslemeli Mikroşerit Anten

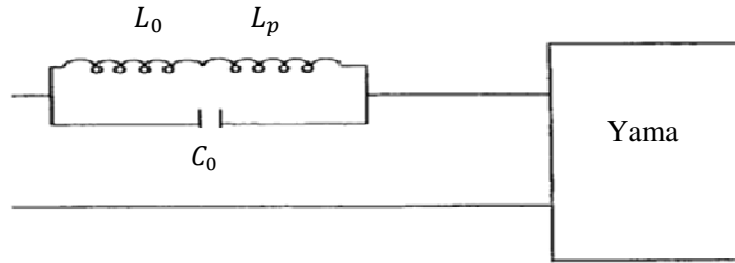
### 2.2.1. Koaksiyel beslemenin modellenmesi

Koaksiyel besleme, Huygen prensiplerini kullanarak, merkez iletkenin alt noktasından, en üst noktası boyunca, elektrik akımının bir silindirik bandı ile toprak plaka üzerindeki manyetik akımın dairesel şeriti ile modellenir. Mikroşerit antenlerde sonda empedansını belirlemek için, koaksiyel hat tarafından beslenmiş, dalga kılavuzlanmış paralel plakaların standart sorunu, integral eşitlikleri kullanılarak çözülür. Şekil 2.1'de gösterilen bu geometrinin giriş empedansı bu şekilde belirlenmiş ve eşdeğer devresi Şekil 2.2.a' da gösterilmiştir. Değiştirilmiş eşdeğer devresi ise Şekil 2.2.b' de gösterilmiştir. Bunun dışında koaksiyel besleme analizi için daha birçok sayıda yaklaşım vardır [2].





Şekil 2.2.a. Koaksiyel Beslemeli Mikroşerit Antenin Eşdeğer Devresi 1

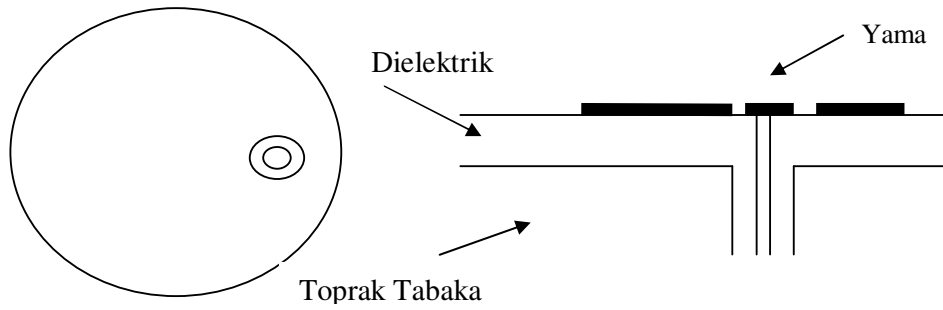


Şekil 2.2.b. Koaksiyel Beslemeli Mikroşerit Antenin Eşdeğer Devresi 2

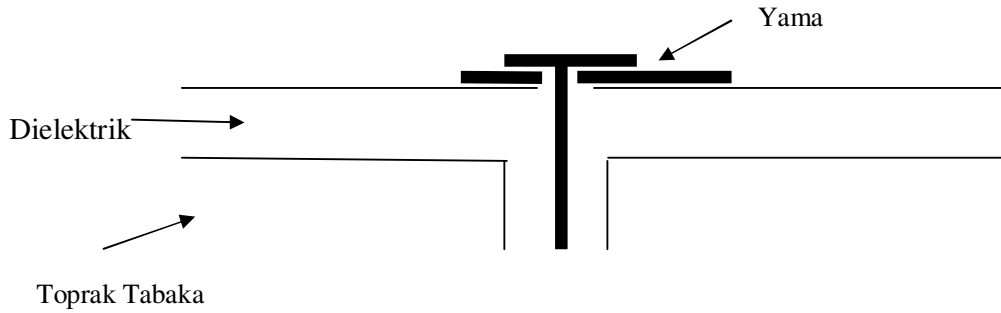
Her teknoloji gibi koaksiyel besleme de birçok avantaj ve dezavantaja sahiptir. Bu teknolojinin en önemli üstünlüğü, besleme ağının bir düzlem yardımıyla ışıma yapan elemanlardan ayrılmasıdır. Bu da her tabakanın birbirinden bağımsız olarak optimize edilmesine imkân verir. Diğer bir avantaj da, koaksiyel beslemede besleme düzeni, anten ile direkt bağlantılıdır ve bunun yanında yamadan ayrı olarak konumlandırılmıştır. Bundan dolayı besleme yöntemleri içerisinde en etkili olanıdır. Bu besleme yöntemi kullanılarak üretilen mikroşerit antenin verimliliğinin yüksek olması, bu alanda yapılmış çok önemli bir gelişme kabul edilir [10].

Bu avantajlarının yanında mikroşerit antenlerde görülen, dar bant genişliği, bu besleme çeşidi için de önemli bir eksikliklerdir. Ayrıca besleme ağının yerinden dolayı üretimleri zordur. Bant genişliğini artırmak için, alt tabakanın kalın tutulması daha uzun bir sonda gerektirir. Bu da probdan yayınlanan sahte ışınları, yüzey dalga gücünün ve besleme endüktansının artmasına neden olur. Bununla birlikte besleme endüktansı, seri kapasiteler yardımıyla dengelenebilir. Bu kapasiteler Şekil 2.3.a' da

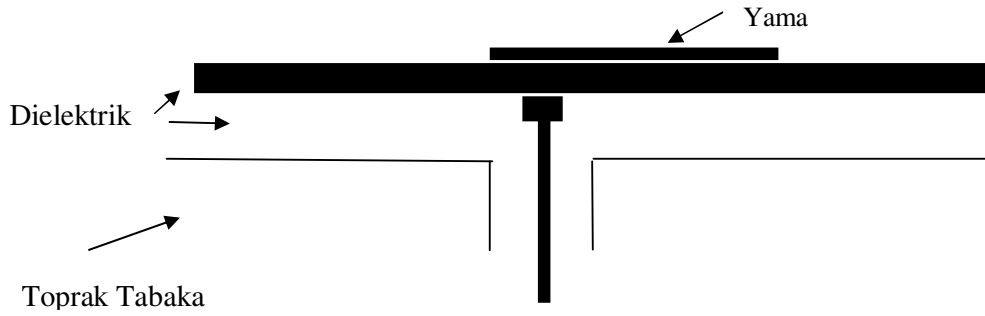
gösterildiği gibi asitle yakılarak monte edilir. Bununla birlikte, dairesel bölgedeki elektriksel alan, ışınım diagramındaki çapraz polar bileşenlerini gösterir. Bu yaklaşım çeşidi Şekil 2.3.b' de gösterilmiştir. Anten empedansı, yama ve sonda arasındaki elektromanyetik kuplajın, ortaya çıkmasıyla istenilen değere dönüşebilir. Kuplaj bölgesi, diskteki sondanın yok edilmesi ve diskin yamanın aşağısına kaydırılmasıyla artırılabilir. Giriş empedansı, disk boyutu, diskin yamadan olan aralığı ve sondanın pozisyonuna bağlıdır. Bu model de Şekil 2.3.c' de gösterilmiştir [29].



Şekil 2.3.a. Halka şeklindeki boşluk içerisinde sonda ile beslenen koaksiyel besleme



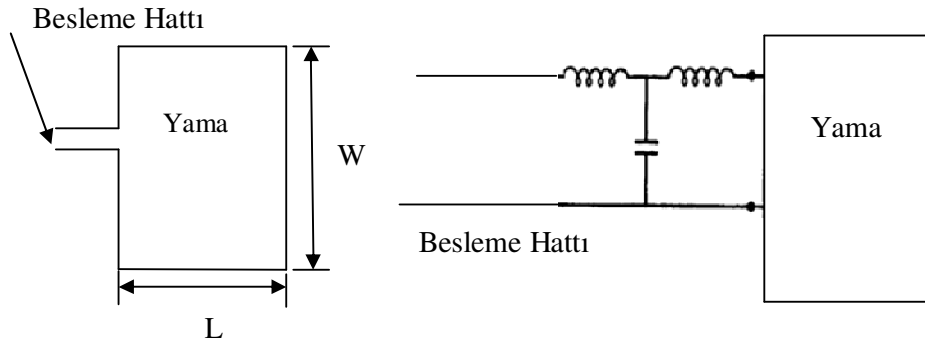
Şekil 2.3.b. Yamanın üstünden sonda disk ile beslenen koaksiyel besleme



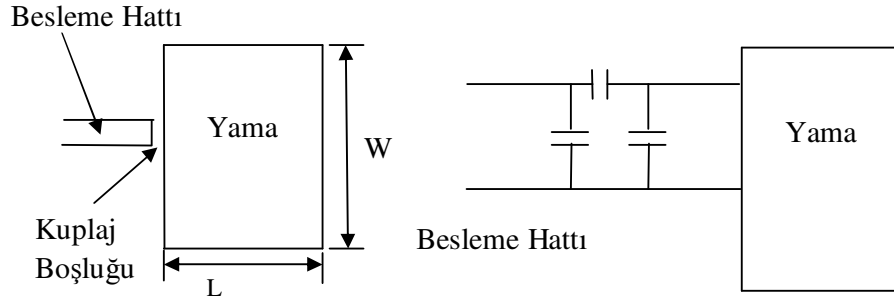
Şekil 2.3.c. Sonda ile yama arasındaki boşluktan kuplaj olan koaksiyel besleme

### 2.3. Mikroşerit Besleme

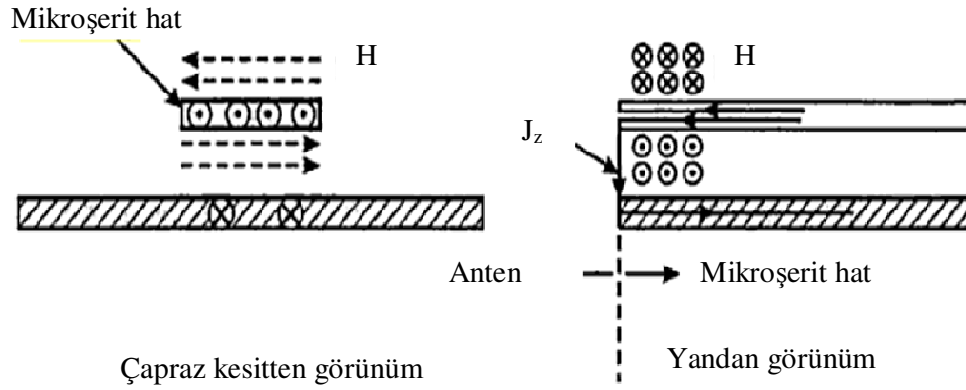
Mikroşerit antenlerin aynı tabaka üzerindeki iletim hattı tarafından uyarılması, sıklıkla başvurulan bir yöntemdir. Çünkü yama mikroşerit hattın bir uzantısı şeklinde olduğu için her ikisinin üretimi aynı anda olabilir, bu da üretim kolaylığı sağlar. Mikroşerit besleme yönteminde iletim hattı yamaya iki şekilde bağlanabilir: Birincisi mikroşerit hat ve yama arasındaki bağlantı, Şekil 2.4.a' da görüldüğü gibi, yamanın kenar kısmına direk bağlanarak yapılabilir. İkinci olarak Şekil 2.4.b' de görüldüğü gibi iletim hattı ile yama arasında bir boşluk bırakılarak yapılabilir. Bu bağlantılar yamanın  $W$  genişliği boyunca yapılabilir. Yamanın kenar bağlantılı mikroşerit hatla uyarılması, eşdeğer elektrik akım yoğunluğu  $J_z$ 'nin, Şekil 2.5'de gösterilen



2.4.a. Direk temaslı mikroşerit besleme



Şekil 2.4.b. Boşluklu mikroşerit besleme



Şekil 2.5. Mikroşerit Hattın Elektrik Akım Yoğunluğu  $J_z$  ile Manyetik Alanı  $H_z$ ' nin Bağlantısı

mikroşerit hattın manyetik alanı  $H_z$  ile bağlantılı olduğu şeklinde gösterilebilir. Bu şerit akımının genliği, mikroşerit hattın etkin genliği olarak alınabilir.  $J_z$  akımı yamanın elektrik alanı ile kuple olur ve kuplaj büyüklüğü bu şekilde belirlenir [2].

### 2.3.1. Mikroşerit beslemenin modellenmesi

Kenar bağlantılı mikroşerit besleme, genlik/empedans jonksiyonu aracılığıyla modellenebilir. Eşdeğer devresi şekli 2.4.a'da gösterilmiştir. Benzer olarak boşluk bağlantılı mikroşerit besleme, boşluğun eşdeğer devresi yardımıyla, Şekil 2.4.b'de gösterildiği gibi modellenebilir. Mikroşerit hattın sonlandığı açık ucundan

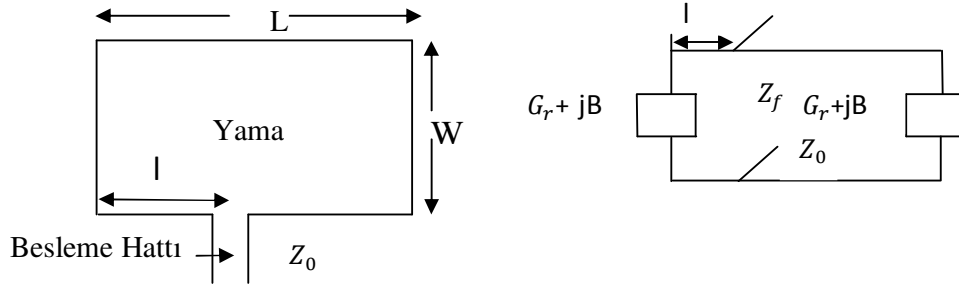
kaynaklanan direk ışımının etkileri, paralel kapasite karşısındaki bir kondüktans aracılığıyla gösterilir.

Kenar beslemeli yamaların ilk zamanlar empedans uyum problemi mevcuttu. Yamanın ışıma yapan kenarındaki giriş empedansı, besleme hattının 50  $\Omega$ ' luk empedansına oranla çok yüksektir. Bu yüzden yama kenarı ile 50  $\Omega$ ' luk mikroşerit hat arasındaki devreye uyumlu dış empedans kullanılır. Devrenin empedans uyumu, sahte ışımaları artırmasının yanında, yüzey üzerindeki fiziksel boşluğa uyumsuzluğundan dolayı, anten dizilerine uyarlanamazlar. Mikroşerit hat yama tarafından gelen ışımaları engeller ve bu da milimetrik dalga frekanslarında, yamanın genliğinin mikroşerit hattın genliğine uyumlandırılmasında, bu besleme türü için ciddi bir kısıtlamadır. [30]

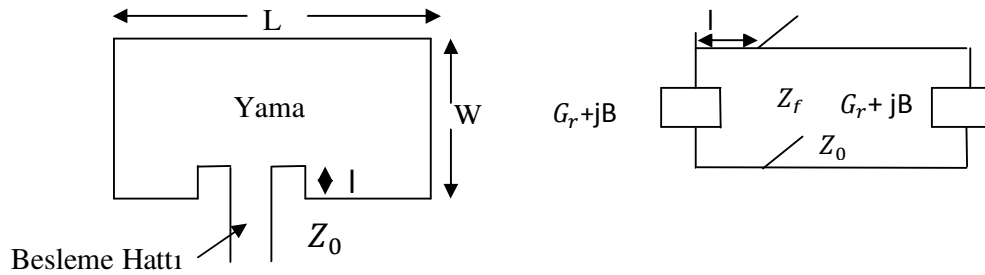
Boşluk bağlantılı besleme verimli güç bağlantısı için dar bir boşluğa ihtiyaç duyar. Bununla birlikte boşluğun boyutlarının dar olması, antenin güç kullanma kapasitesini sınırlandırmaktadır. Ayrıca, mikroşerit beslemenin açık kenarı, sahte ışımaları artırır.

Mikroşerit beslemenin bahsedilen kusurlarını gideren iyileştirilmiş bir hali Şekil 2.6.a'da gösterilmiştir. Burada mikroşerit hat yamanın içine gömülür. Besleme pozisyonu giriş empedansı 50  $\Omega$  olacak şekilde seçilir. Gömülü mikroşerit besleme için yaklaşık eşdeğer devre bu şekilde gösterilmiştir. Gömülü uzunlukla birlikte mikroşerit hat uzunluğu  $l$ , sonlu boyutlu toprak plakalı koplanar dalga kılavuzu gibi modellenmelidir. Direk beslemeli mikroşerit için diğer bir konfigürasyonda, besleme yamanın ışıma yapmayan kenarı üzerinde seçilir. Şekil 2.6.b' da bu durum gösterilmiştir. Çapraz polarizasyon ışması bu durumda yüksek olur fakat yamanın en boy oranın optimize edilmesiyle bu durum minimize edilebilir. Bu besleme için eşdeğer devre Şekil 2.6.a.' de çizilen devreyle aynıdır [2].

Mikroşerit beslemelerin tasarımı ve üretimi kolaydır. Ayrıca kenar beslemeli yamanın giriş empedansını kontrol etmek oldukça kolaydır. Basitçe yama iletkene eklenerek, empedans 150  $\Omega$ 'dan 250  $\Omega$ 'a kadar ayarlanabilir. Bağlantı yamanın merkezine yakınsa bağlantı noktası, yamanın ışıma yapan kenarıyla eşit empedansa



Şekil 2.6. a. Yarıkli mikroşerit beslemenin modellenmesi



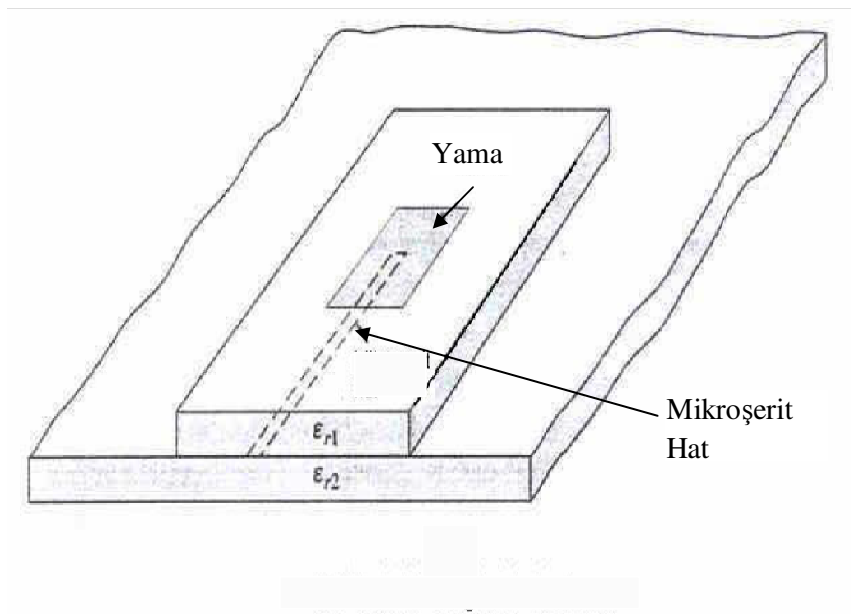
Şekil 2.6. b. Mikroşerit Beslemeli Yama Antenin Modellenmesi

ayarlanabilir. Fakat bu şekilde beslenmiş mikroşerit hatlar sahte ışınları artırır. Çünkü besleme ağı antenden ayrılmadığı için antendeki etkili radyasyon için kullanılan malzeme, besleme ağında sahte ışınlarla sebep olacaktır. Bant genişliği başarımları oranı %3-%5 arasındadır, yani çok dardır. Bu yüzden yüksek performanslı olmayan uygulamalarda kullanılmaktadır [5].

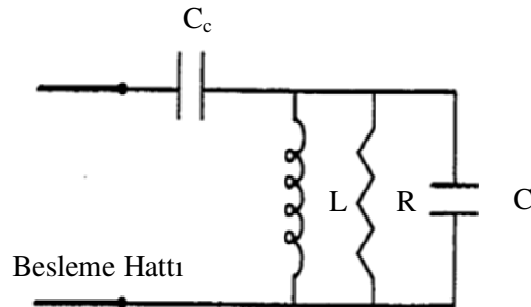
#### 2.4. Yakınlık Bağlantılı Mikroşerit Besleme

Yakınlık bağlantılı mikroşerit beslemenin temel yapısı, Şekil 2.7'de gösterilmiştir. Besleme hattının alt katmanda, ışın yapan yamanın da üst katmanda olduğu iki katmanlı bir alt tabaka kullanılır. Besleme hattı yamanın altında açık devre yan hatla sonlanmaktadır. Yakınlık beslemenin diğer bir adı elektromanyetik kuplajdır. Fakat bu isim daha az açıklayıcı olduğu için sık kullanılmamaktadır. Yama ile mikroşerit

arasındaki bağlantı kapasitiftir. Bu besleme için eşdeğer devre, Şekil 2.8' de gösterilmiş olup, kuplaj kapasitesi  $C_s$ ' nin, birbirine paralel bağlı olan RLC elemanlarına seri olarak bağlandığı görülür. Bu kapasite, mümkün olduğu kadar iyi bant genişliği sağlamak için, antenin empedans uyumunu sağlayacak şekilde tasarlanabilir. Mikroşerit hattın açık ucu, bir koçan içinde sonlanabilir ve bu koçan parametreleri bant genişliğini artırmak için kullanılabilir. Bu besleme yöntemi kullanılarak %13 bant genişliği yakalamak mümkündür. [31].



Şekil 2.7. Yakınlık Bağlantılı Mikroşerit Anten



Şekil 2.8. Yakınlık Bağlantılı Mikroşerit Anten Eşdeğer Devresi

İki katmanın yüzey parametreleri, antenin bant genişliğini artıracak şekilde ve mikroşerit hattın açık ucundan gelen sahte ışınları azaltacak şekilde seçilebilir. Bunun gerçekleşmesi için alt plakanın daha ince olması gerekmektedir. Işıyan tabakanın iki plaka üzerine yerleştirilmiş olması, daha büyük bant genişliği sağlar. Bununla birlikte yakınlık beslemede, diğerlerine oranla yamanın daha kalın bir alt tabakaya yerleşmesine imkan verilir. Bu da bant genişliğinin daha yüksek değerlerde olmasını sağlar. Yakınlık bağlantılı mikroşerit beslemenin üretimi, yama ile besleme hattının aynı hizada olması gerektiğinden dolayı zordur. Fakat lehimleme ile bu problem giderilebilir [2].

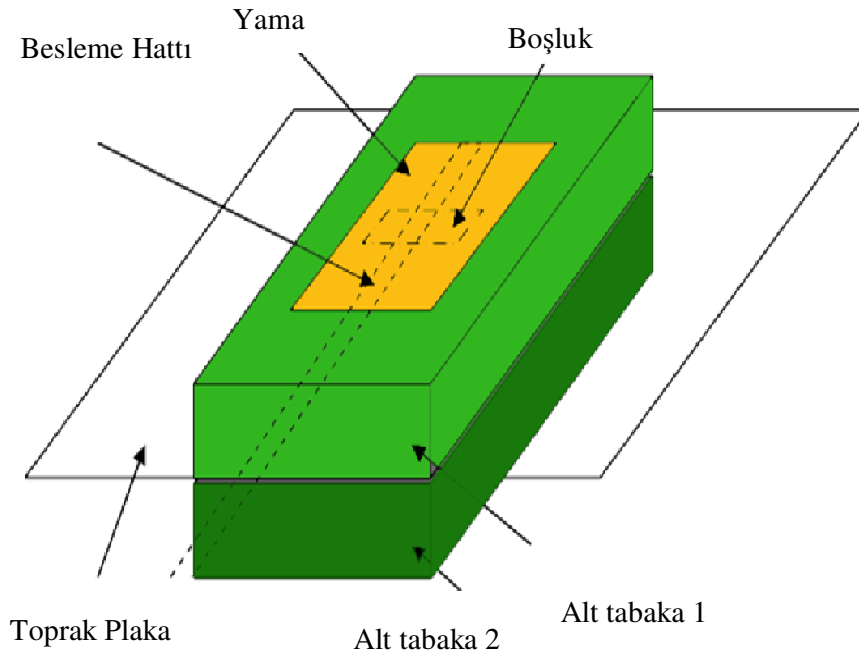
### 2.5. Açıklık Bağlantılı Mikroşerit Besleme

Bu besleme sisteminin en belirgin özellikleri daha büyük bant genişliği ve yamadaki ışınların, besleme sisteminden sızan ışımadan korunmasıdır. Bu beslemenin temel yapısı Şekil 2.9'da gösterilmiştir. Şekilde görüldüğü üzere, temel toprak tabakayla birbirinden ayrılmış, iki alt yüzey kullanılır. Alttaki tabakanın alt tarafında bulunan mikroşerit hat, ana toprak plaka içindeki bir yarık aracılığıyla, yamaya kuple olur. Bu yarık herhangi bir şekil ve boyutta olabilir ve bu yarık parametreleri bant genişliğini artırmak için kullanılabilir. Her iki yüzey için alt tabaka parametreleri, beslemenin en verimli olacağı şekilde ve ışımaya tabakasından etkilenmeyecek şekilde seçilir. Örneğin yama yüzeyi kalınken ve düşük dielektrik sabitine sahipken, besleme hattı ince ve yüksek dielektrik sabitine sahip olmalıdır. Ayrıca besleme hattının açık ucundaki ışımaya, toprak plakanın koruyucu etkisinden dolayı, yamanın ışımaya diyagramıyla karışmazlar. Bu özellik polarizasyonun saflığını artırır. [14,20].

Kuplaj yarığı, yamanın manyetik alanının maksimum olduğu, merkez noktasına yerleştirilir. Bunun yapılmasındaki amaç, yamanın manyetik alanı ve boşluk kenarındaki eşdeğer manyetik akım arasındaki manyetik kuplajı artırmaktır. Kuplaj genliği aşağıdaki eşitlikten elde edilebilir. Buradaki  $x_0$ , yama ucundaki yarığın derinliğidir.

$$\iiint_V \vec{M} \cdot \vec{H} dv = \sin \pi x_0/L \quad (2.2)$$



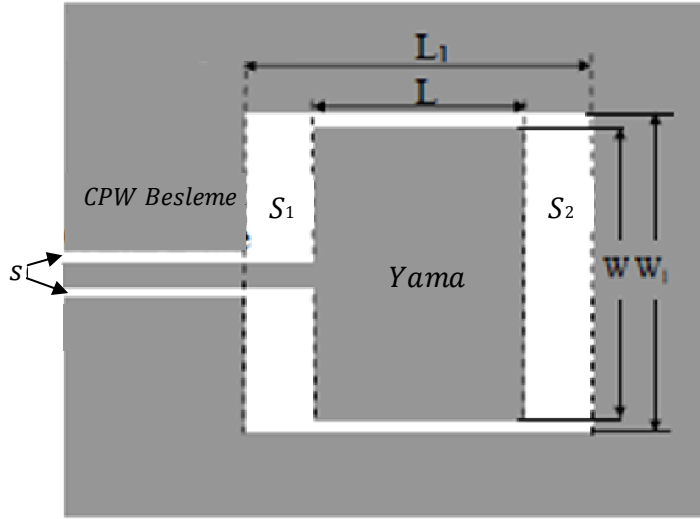


Şekil 2.9. Açıklık Bağlantılı Mikroşerit Anten

Bu besleme yapısında yama anten, boşluk tarafından beslenmiş bir dizi olarak karşımıza çıkar. Nonrezonant yarık, yamanın RLC bağlantısına seri olarak bağlanmış bir endüktör gibidir [2].

## 2.6. Koplanar Dalga Kılavuzlu Besleme

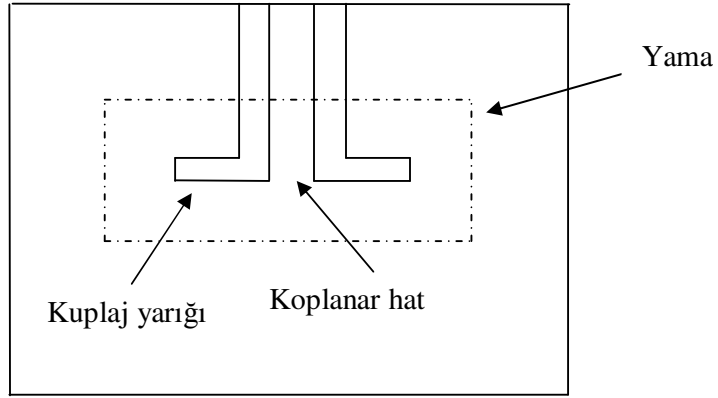
Koplanar dalga kılavuzu (CPW), mikrodalga monolitik integral devrelerinde iletim hattı olarak tercih edilir. Mikroşerit anten ve koplanar dalga kılavuzu düzlemsel geometriye sahip olduğu için, mikroşerit antenin besleme yöntemi olarak CPW tercih edilebilir. Bu besleme yöntemiyle beslenmiş bir mikroşerit antenin geometrisi, Şekil 2.10'da gösterilmiştir. Burada görüldüğü gibi, koplanar dalga kılavuzu, yamanın etrafını kuşatacak şekilde monte edilmiştir. Şekildeki  $s$ , CPW ile besleme hattı arasındaki boşluğu,  $S$  ise yama ile CPW arasındaki boşluğu ifade eder. Bu boşlukların boyutları, anten performansını önemli ölçüde etkilemektedir [32].



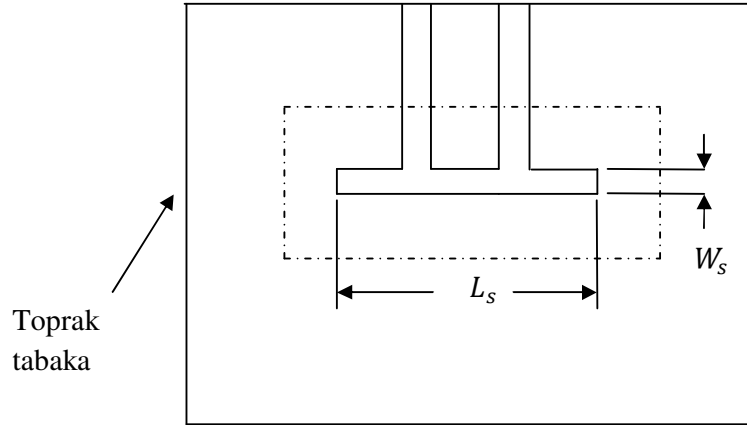
Şekil 2.10. Koplanar Dalgakılavuzlu Beslenmiş Anten Geometrisi

Kuplaj, bir yarık üzerinden gerçekleştirilmiştir. Bu uyarmanın üç ihtimali şekilde gösterilmiştir. Şekil 2.11.a' da CPW' nin merkez iletkeni, kuplaj yarığını ikiye böler. Şekil 2.11.b' de CPW,  $L_s$  uzunluğunun bir yuvası haline dönüşür. Yama ile koplanar dalga kılavuzu arasındaki kuplaj, Şekil 2.11.a için endüktif, 2.11.b için kapasitiftir. Yarıktan geriye dönen radyasyon, uzun lineer yarığın dairesel döngü şekline dönüştürülmesi yoluyla azaltılabilir. Bu döngü yamanın altına yerleştirilir. Bu durum Şekil 2.11.c' de gösterilmiştir.[32]

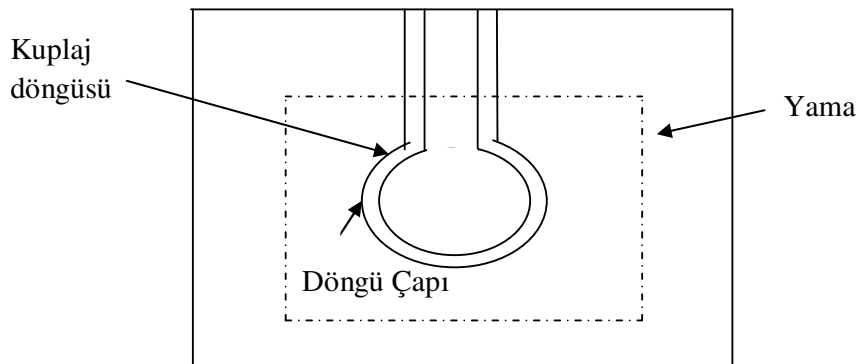
Koplanar dalga kılavuzlu(CPW) beslemenin bir avantajı, besleme yapısından kaynaklanan radyasyonun önemsiz olmasıdır. Çünkü, CPW, kuplaj yarığının tek modu halinde uyarılır. Bu mod nedeniyle, CPW yarıkları üzerindeki eşdeğer manyetik akımlar, besleme ışınmasını azaltacak şekilde, tamamen faz dışı olarak ışınma yapar. CPW' nin bu özelliği, anten dizilerinin tasarımında önemli bir özelliktir [5].



Şekil 2.11.a. Kuplaj yarığı ikiye bölünmüş CPW besleme



Şekil 2.11.b. CPW' nin kuplaj uzunluğunun bir yuvası haline geldiği CPW besleme



Şekil 2.11.c. Kuplaj yarığı dairesel döngü haline gelmiş CPW besleme

Tablo 2.1. Besleme Çeşitlerinin Karşılaştırılması

<b>Mikroşerit Besleme Yöntemleri</b>					
<b>Özellikler</b>	<b>Koaksiyel Besleme</b>	<b>Mikroşerit Besleme</b>	<b>Yakınlık Bağlantılı</b>	<b>Açıklık Bağlantılı</b>	<b>CPW Besleme</b>
<b>Sahte Besleme Işınması</b>	Fazla	Fazla	Fazla	Fazla	Az
<b>Polarizasyon Saflığı</b>	Zayıf	Zayıf	Zayıf	Çok İyi	İyi
<b>Üretim Kolaylığı</b>	Zor	Kolay	Kolay	Zor	Zor
<b>Güvenilirlik</b>	Zayıf	Çok İyi	İyi	İyi	İyi
<b>Empedans Uygunluğu</b>	Kolay	Kolay	Kolay	Kolay	Kolay
<b>Bant Genişliği</b>	2-5%	2-5%	13%	21%	3%

## 2.7. Ticari Mikroşerit Anten Örnekleri

Günümüzde dünya çapında birçok ticari firma, farklı alanlarda kullanılmak üzere, mikroşerit anten üretmektedir. Yukarıda verilen teorik anten çalışmalarından sonra; Tablo 2.2.' de canlı sistemlerde kullanılmak üzere üretilen ve kullanılan ticari anten örnekleri verilmiştir. Bu çalışmada amaç, pratikte kullanılan antenlerin performansı ile tasarlanacak olan antenlerin performansını karşılaştırmaktır.

Tablo 2.2. Ticari Mikroşerit Anten Örnekleri

Üretici/Marka : **IAİTO**  
 Bant genişliği : 860-960 MHz, %11  
 Kazanç :  $8 \pm 0.5$  dB  
 Polarizasyon tipi: Dairesel  
 Empedans :50 Ohms  
 VSWR :  $\geq 1.5$



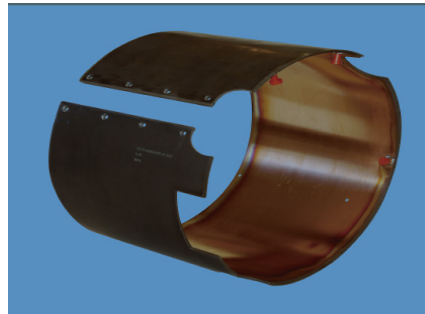
Üretici/Marka : **IAİTO**  
 Bant genişliği : 860-960 MHz, %11  
 Kazanç : 2.2 -2.5 dB  
 Polarizasyon tipi: Dairesel  
 Empedans :50 Ohms  
 VSWR :  $\geq 1.5$



Üretici/Marka : **D-LINK**  
 Bant genişliği : 2.4-2.4835GHz, %3  
 Kazanç : 6 dB  
 Polarizasyon tipi: Düzlemsel  
 Empedans :50 Ohms  
 VSWR : Max 2.0



Üretici/Marka : **TECOM**  
 Bant genişliği : 2.2 - 2.29 GHz, %4  
 Kazanç : Belirtilmemiş  
 Polarizasyon tipi: Düzlemsel  
 Empedans :50 Ohms  
 VSWR :  $\geq 2.0:1$



Tablo 2.2.(Devam) Ticari Mikroşerit Anten Örnekleri

---

Üretici/Marka : **ROUND SOLUTION**

Bant genişliği : 1585 MHz, %1.2

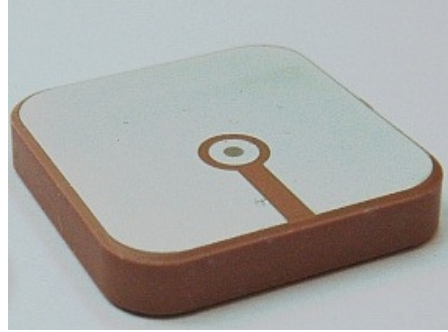
Kazanç : 5 dB

Polarizasyon tipi: RHCP

Empedans :50 Ohms

Yama Boyutları : 25 x 25 mm

---



---

Üretici/Marka : **ROUND SOLUTION**

Bant genişliği : 1575MHz, %0.1

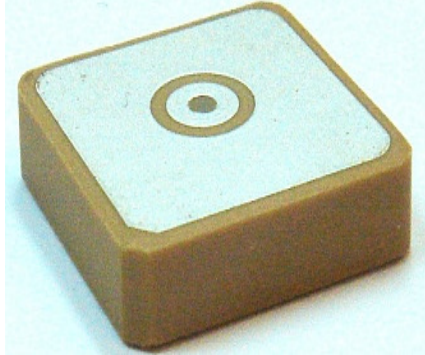
Kazanç : -1.2 dB

Polarizasyon tipi: RHCP

Empedans :50 Ohms

Yama Boyutları : 15 x 15 mm

---



---

Üretici/Marka : **ROUND SOLUTION**

Bant genişliği : 1800 MHz, %15.5

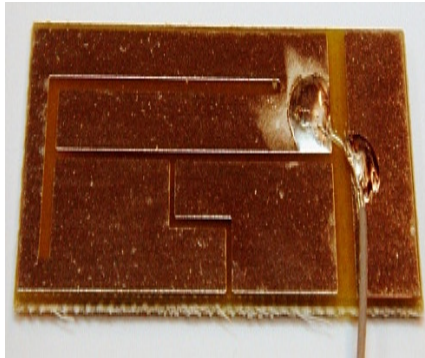
Kazanç : 2.2 dB

Polarizasyon tipi: Dikey

Empedans :50 Ohms

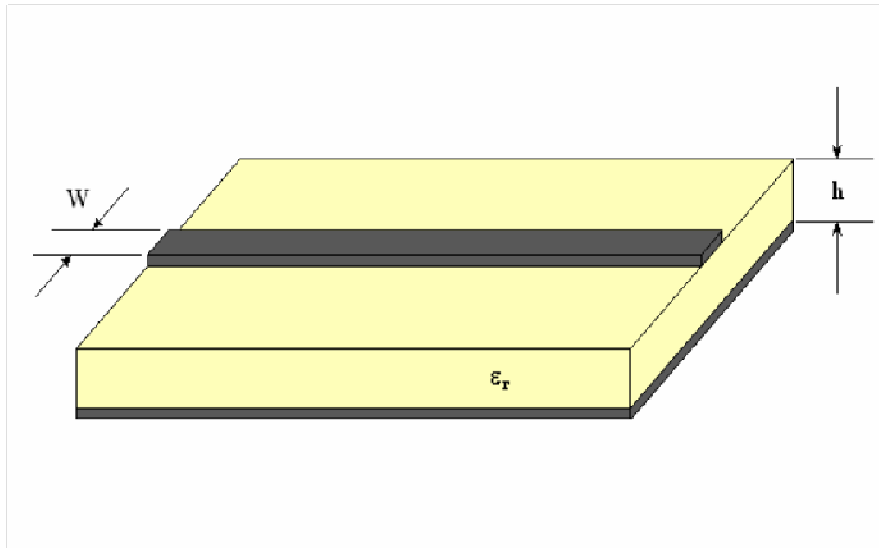
Boyut : 42 x 16 x 1.6 mm

---



### BÖLÜM 3. MİKROŞERİT ANTEN TASARIMI

Mikroşerit antenleri, mikroşerit iletim hattının birer uzantısı şeklinde ele alabiliriz. TEM(Transverse ElectroMagnetic) dalgaları mikroşerit hatlar üzerinde yayılabilir ve böylece kullanmak istediğimiz elemanların tasarımı oldukça kolay hale gelir. Mikroşerit antenler, mikrodalga tranzistörler ve diğer aktif elemanların kullanılmasıyla daha etkin kullanılmaya başlanmıştır. Mikroşerit devreler sayesinde çok karışık kompleks devreler, çok küçük ve uyumlu bir yapıda üretilmeye başlanmıştır. Mikroşerit anten kalınlığı  $0.02\lambda$  veya daha küçük seçilmelidir. Taban malzemesinin kalınlığı, mikroşerit hatların karakteristik empedansını direkt olarak etkiler. Karakteristik empedans ve dielektrik sabitinin hesaplanmasıyla ilgili formüller aşağıda verilmiştir; [7].



Şekil 3.1. Temel Mikroşerit Anten Geometrisi

$$\varepsilon_{eff} = \frac{\varepsilon_r + 1}{2 \left(1 - \frac{B}{C}\right)^2} \quad \frac{W}{h} < 1.3 \quad (3.1)$$

$$\varepsilon_{eff} = \frac{\varepsilon_r + 1}{2} + \left(\frac{\varepsilon_r - 1}{2}\right) \left(1 + \frac{10h}{W}\right)^{-1} \quad \frac{W}{h} \geq 1.3 \quad (3.2)$$

$$Z_0 = A(C - B) \quad \frac{W}{h} < 3.3 \quad (3.3)$$

$$Z_0 = \frac{D}{E} \quad \frac{W}{h} \geq 3.3 \quad (3.4)$$

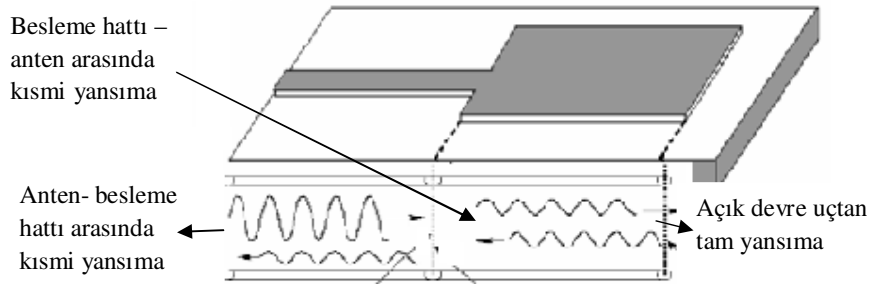
$$A = \frac{120}{\sqrt{2(\varepsilon_r + 1)}} \quad (3.5)$$

$$B = \frac{1}{2} \left[ \frac{\varepsilon_r - 1}{\varepsilon_r + 1} \right] \left[ \ln \frac{\pi}{2} + \frac{1}{\varepsilon_r} \ln \frac{4}{\pi} \right] \quad (3.6)$$

$$C = \ln \frac{8h}{W} + \frac{1}{32} \left(\frac{W}{h}\right)^2 \quad (3.7)$$

$$D = \frac{60\pi}{\sqrt{\varepsilon_r}} \quad (3.8)$$

$$E = \frac{W}{2h} + 0.4413 + 0.08226 \left[ \frac{\varepsilon_r - 1}{\varepsilon_r^2} \right] + \left[ \frac{\varepsilon_r + 1}{2\pi\varepsilon_r} \right] \left[ 1.542 + \ln \left( \frac{W}{2h} + 0.94 \right) \right] \quad (3.9)$$



Şekil 3.2. Mikroşerit Anten Işıma Geometrisi

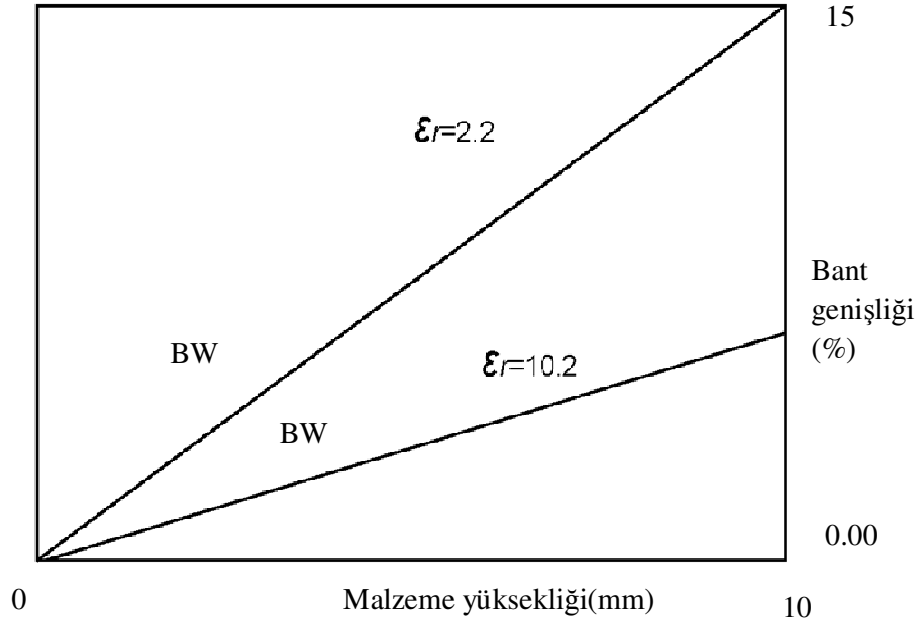


Şekildeki anten mikroşerit hat ile beslendiği zaman, uygulanan güç dalga halinde şeridin altından yamaya doğru ilerler ve yamanın alt kısmından yayılır. Yamanın kenar bölgesine gelen dalganın bir kısmı geri dönerken, bir kısmı da ışıma yapar. Anten kenarından yansıyan dalga, yamanın iki ucu arasında gelgitler yaşayarak söner. Çıkan enerjinin bir kısmı da kaynağa doğru yansır. Şekil 3.2' de yansıma durumları ayrıntılı olarak gösterilmiştir [33].

### 3.1. Dielektrik Tabaka Malzeme Seçimi

Taban malzemesi, mikroşerit anten elemanlarının üzerine yerleştirilmesini sağlar ve bu elemanlara fiziksel olarak destek olur. Bunun dışında mikroşerit iletim hattının bir parçası gibi görev yapar. Taban malzemenin kalınlığı, cinsi ve dielektrik sabiti antenin bant genişliği, ışıma gibi özelliklerini doğrudan etkilediği için tasarımda önemlidir. Bundan dolayı mikroşerit anten tasarımı için yapılacak ilk iş uygun bir taban malzemesi seçmek olmalıdır. Daha önce de belirtildiği gibi bu malzeme altın, bakır ve alüminyum olabilir. Plakalar genellikle 1/3", 1/16" veya 1/8" (1" = 2,54 cm) kalınlığında olabildiği gibi son zamanlarda 10,25,50, 75,100 mm kalınlığında veya 5 mm kalınlıklarla artan biçimde olmaktadır. Tasarımda yapılacak anten tipine göre; uyumlu tipteki mikroşerit antenler için esnek alt tabanlara, düşük frekanstaki antenler için boyutu küçük tutabilmek amacı ile yüksek yalıtkan sabitli alt tabanlara, mikroşerit iletken parçalı antenler için düşük yalıtkan sabitli alt tabanlara ve değişik kesitli mikroşerit antenler için yüksek yalıtkan sabitli alt tabanlara gereksinim vardır [34].

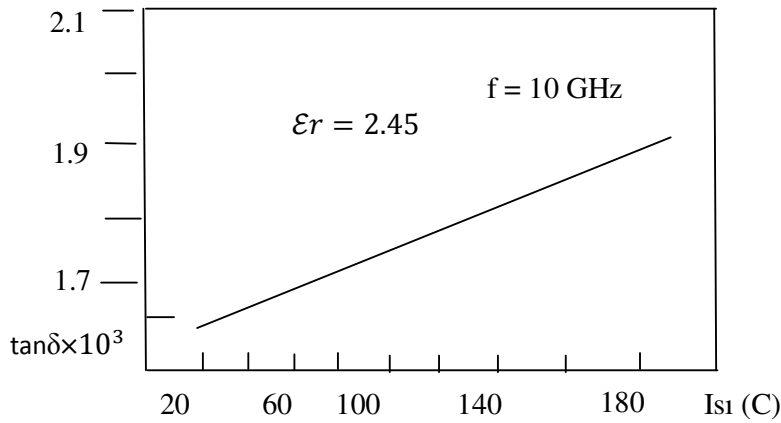
Şekil 3.3' de mikroşerit anten bant genişliği ile malzeme yüksekliği arasındaki ilişki gösterilmiştir. Grafikten anlaşılacağı gibi yüksek bant genişliği elde edebilmek için dielektrik malzemenin kalınlığının büyük, dielektrik sabitinin küçük olması gerekir [3].



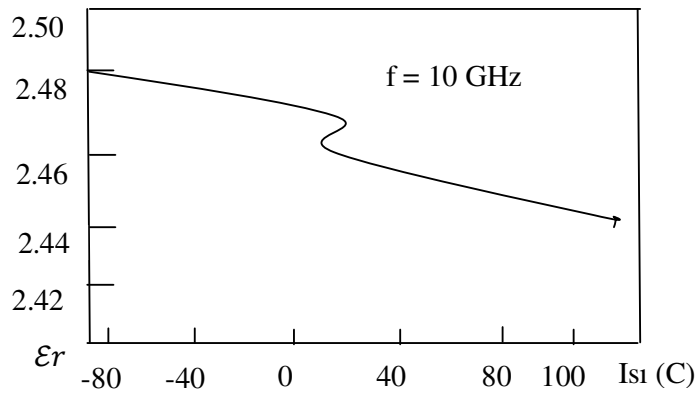
Şekil 3.3. Bant Genişliği, Dielektrik Katsayısı ve Malzeme Yüksekliği Arasındaki İlişki

Anten tasarımında dielektrik sabitinin ve taban malzeme kalınlığının önemi kadar, bunların ısı ve frekans ile değişimi, homojenlik, isotropluk, ısı dayanıklılığı da önemlidir. Bunlardan alt taban boyutları ve dielektrik sabiti ısıyla değişebildiği için, antenin çalışma şartları için ısı limiti tasarımda göz önüne alınmalıdır. Şekil 3.4 ve Şekil 3.5'te örnek olarak Politetrafloretillen (PTFE) destekli cuclad GX\_060\_45'in dielektrik sabitinin ve kayıp tanjantının ( $\tan\delta$ ) sıcaklıkla değişimi görülmektedir. Şekilden anlaşıldığı gibi, eğer tasarımda antenin çalışma ısı limitleri ve çalışılan frekansın değişimleri göz önüne alınmaz ise bant genişliğinin küçülmesi, giriş empedansının değişmesi gibi nedenlerle, antenin performansı düşecektir. Anten kararlılığının titreme, ısıl yıpranma, nem emişi, mor ötesi ışıma alması gibi çevresel etkenler tarafından da etkilendiği tasarımda göz önüne alınmalıdır. Bu konuda daha önceden hazırlanmış tablolar tasarım için önemli bir kolaylık sağlamaktadır. Bu tablolarda biri Tablo 3.1'de gösterilmiştir [34].

Mikroşerit antenler için pek çok taban malzemesi kullanılmaktadır. Bu malzemelerin dielektrik sabitleri 1.17 ile 25 arasında değişmektedir. Kayıp tanjant değerleri ise 0.0001 ile 0.004 arasındadır. Tablo 3.1' de, X-bandı için karşılaştırmalı değerler verilmiştir [35]. Bu malzemeler için dielektrik katsayıları 2.1' den 25' e kadardır. PTFE taban malzemesi, örülmüş üç boyutlu cam fiber veya rastgele dağılımlı cam fiber ile takviye edilmiştir. Bu malzemelerin elektriksel ve mekanik özellikleri tasarım için oldukça uygundur ve geniş bir kalınlığa sahiptir. Üç boyutlu örülmüş fiber takviyeli malzemelerin kalınlıkları 0.089 ile 12.7' mm arasındadır. Rastgele dağılımlı cam fiberli malzemelerin kalınlığı ise 0.508' mm ile 3.175 mm arasındadır [36].



Şekil 3.4. Kayıp Tanjantının (tanδ) Sıcaklıkla Değişimi



Şekil 3.5. Dielektrik Sabitinin (εr) Sıcaklıkla Değişimi

Fiber malzemeler fazla katı değildir, bu yüzden daha kolay şekil alabilirler. Bu özelliğinden dolayı kompleks yüzeylere tatbik edilebilirler. Kalıntı gerilmeler malzemenin ısıtılması ile hızlanmaktadır. Bu malzemeler aynı zamanda levha dışında çubuk ve silindirler şekline girebilirler.

Yapılan tasarım için dielektrik sabiti yüksek malzemeye ihtiyaç duyulduğunda, alumina seramik taban malzemesi tercih edilebilir. Bu malzemelerin dielektrik sabiti değerleri 9.7 ile 10.3 arasındadır. Sıkça kullanılan bir malzeme K-6098 teflon/cam kompoziti ( $\epsilon_r = 2.5$ ), RT/duroid-5880 PTFE ( $\epsilon_r = 2.2$ ), ve Epsilam-10 seramik dolgulu teflondur ( $\epsilon_r = 10$ ) [7].

PTFE piyasada en çok kullanılan mikroşerit anten taban malzemesidir. Malzeme teknolojisinin gelişmesiyle birlikte yeni malzemeler, alternatif taban malzemesi olarak kullanılmaya başlanmıştır. Kompozit malzemeler özellikle ağırlığın önemli olduğu uzay mekiklerinde veya büyük fiziksel boyutlu uygulamalarda kullanılmaktadırlar.

Gelecekte de PTFE malzemesi, en temel taban malzemesi olacağı düşünülmektedir. Boyutsal kararlılık, kolay üretilebilirlik, elektriksel kayıpların azlığı, bakırla iyi yapışmaları ve geniş levhalar halinde bulunabilmeleri bu malzemeleri oldukça kullanışlı hale getirmektedir. Bu malzemelerin dezavantajı ise tam olarak belirli olmayan dielektrik sabitidir. Sistem yüksek frekanslara doğru kaydığında malzemeler düşük kayıplarla çalışacak kadar gelişmiş değildir ve bu konuda yeni gelişmelere ihtiyaç vardır. PTFE malzemelerin içerisinde kullanıldığı, antenlerden beklenen özelliklerin optimize edildiği yeni karma malzemelerin kullanımı yaygınlaşmaktadır [7].

Tablo 3.1. Mikroşerit taban malzemeleri

Malzeme	$\epsilon_r$ ( X Bandı)	Tan $\delta$ ( X Bandı)	Boyutsal Stabilite	Kullanım Sıcaklık Aralığı
Takviye edilmemiş PTFE	2.1	0.0004	Zayıf	-27 den +260'a
Cam örgü takviyeli PTFE	2.17	0.0009	Mükemmel	-27 den +260'a
	2.33	0.0015		
	2.45	0.0018		
	2.55	0.0022		
Rastgele dağılımlı kısa fiber takviyeli PTFE	2.17 2.35	0.0009 0.0015	Oldukça iyi	-27 den +260'a
Quartz takviyeli PTFE	2.47	0.0006	Mükemmel	-27 den +260'a
Örölmüş quartz takviyeli çapraz bağlı PS	2.65	0.0005	İyi	-27 den +260'a
Seramik toz takviyeli çapraz PS	3'ten 15'e	0.00005 den 0.0015 e	Oldukça iyi	-27 den +110'a
Cam takviyeli çapraz bağlı PS	2.62	0.001	İyi	-27 den +110'a
Radyasyona maruz bırakılmış poliolefin	2.32	0.0005	Zayıf	-27 den +110'a
Cam takviyeli radyasyona maruz bırakılmış poliolefin	2.42	0.001	Oldukça iyi	-27 den +110'a
Polifenilen oksid	2.55	0.00016	Zayıf	-27 den -193'a
Seramik toz takviyeli silikon reçine	3 den 25 e	0.0005	Orta	-27 den +268'e
Safir	9	0.0001	Mükemmel	-27 den +371'e
Alümina seramiği	9.7 den 10.3 e	0.0004	Mükemmel	1600'e (kaplanmamış)
Cam kaplı mika	7.5	0.002	Mükemmel	-27 den +593'e
Hexcell lamina	1.17 den 1.40'a (1.4 GHz de)	-	Mükemmel	-27 den +260'a

### 3.2. Yama Boyutları

Kalınlığı  $h$  olan bir dielektrik malzeme için,  $f_r$  çalışma frekansı olmak üzere yama genişliği  $W$ , aşağıdaki formülle bulunabilir.

$$W = \frac{c}{2f_r} \left( \frac{\epsilon_r + 1}{2} \right)^{-\frac{1}{2}} \quad (3.10)$$

Formülde belirtilen  $\epsilon_r$ , taban malzemenin dielektrik sabiti,  $c$ , ışığın boşluktaki hızıdır. Eğer yukarıdaki formülle hesapladığımız yama genişliğinden, daha büyük genişliğe sahip bir yama seçilirse antenin verimliliği artar, fakat böyle olunca daha yüksek dereceli modlar oluşacağı için alan dağılımında bozulmalar gözlenebilir [37].

Yama uzunluğu  $L$  ise, yarım dalga boyu uzunluktan saçak uzunluğunun ( $\Delta l$ ) çıkarılması ile elde edilir.

$$L = \frac{c}{2f_r \sqrt{\epsilon_e}} - 2\Delta l \quad (3.11)$$

Burada  $\epsilon_e$  etkin dielektrik sabitidir ve  $w/h > 1$  için (Cavity Model),

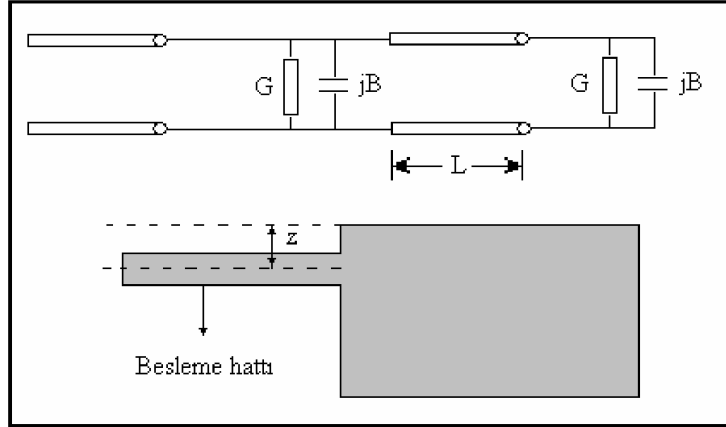
$$\epsilon_e = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[ 1 + \frac{12t}{w} \right] \quad (3.12)$$

ile hesaplanır. Denklemden yer alan  $t$ , mikroşerit hat kalınlığı,  $\Delta l$  hat genişlemesi olup,

$$\Delta l = 0.412h \frac{(\epsilon_e + 0.3) \left( \frac{W}{h} + 0.264 \right)}{(\epsilon_e - 0.258) \left( \frac{W}{h} + 0.8 \right)} \quad (3.13)$$

ile tanımlanır [38].

### 3.3. Giriş Admintansı



Şekil 3.6. Mikroşerit Hat ile Beslenen Antenin Eşdeğer Devresi

Mikroşerit antenlerde, yansımanın en düşük seviyede, güç aktarımının maksimum seviyede tutulabilmesi için anten ve besleyici arasında empedans uyumunun yapılması gerekmektedir. Mikroşerit hat ile beslenen antenin eşdeğer devresi Şekil 3.6' da verilmektedir [33].

Farklı besleme noktaları için giriş admintans formülü, aşağıdaki denklemde verilmiştir.

$$Y(z) = 2G[\cos^2(\beta z) + \frac{G^2 + B^2}{Y_0^2} \sin^2(\beta z) + \frac{B}{Y_0} \sin(2\beta z) ]^{-1} \quad (3.14)$$

$$G = \frac{1}{R_r} \quad (3.15)$$

$$R_r = \frac{120\lambda_0}{1 - \frac{k_0 h}{24}} \quad (3.16)$$

$$B = \frac{k_0 \Delta l \sqrt{\epsilon_e}}{Z_0} \quad (3.17)$$

Empedans uyumu sağlamak için, yukarıdaki denklemlerden faydalanarak, besleme hattını antenin kenarından belli bir miktar kaydırmak gerekir. Bu kaydırma sonucunda rezonans frekansında da hafif bir kayma meydana gelir; ancak, yama antenin boyutlarıyla oynandığında bu durum düzeltilebilir [7].



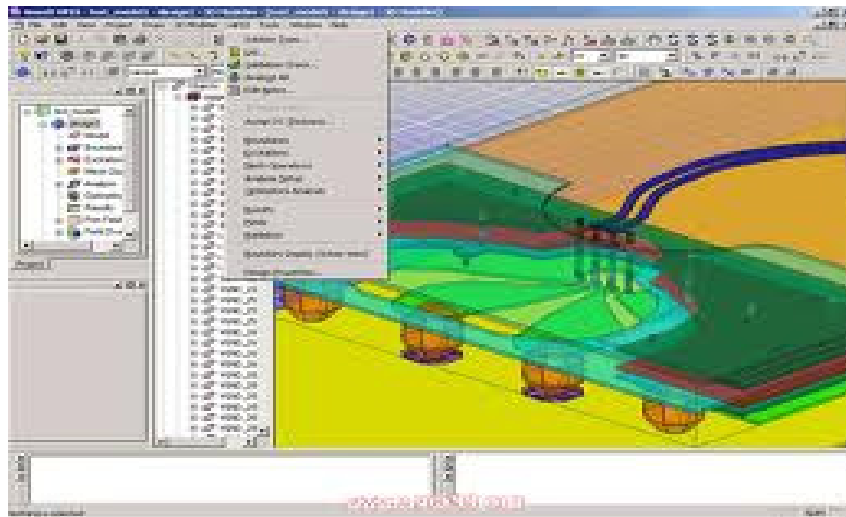
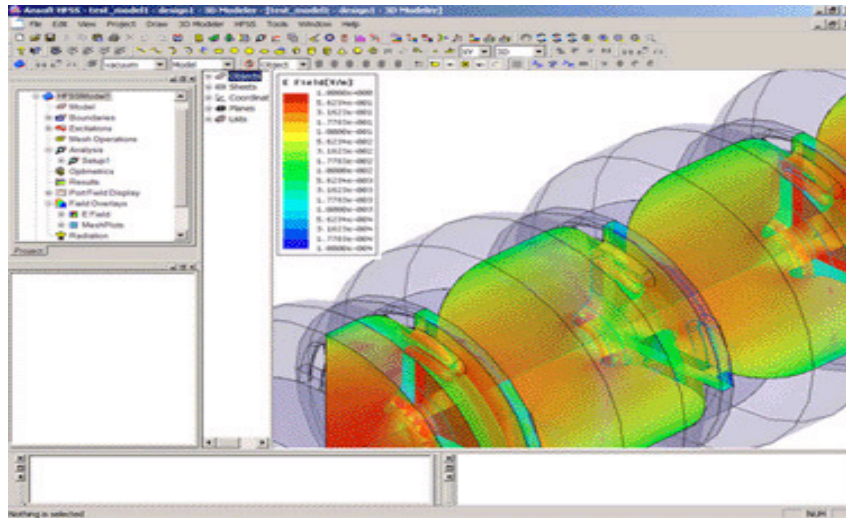
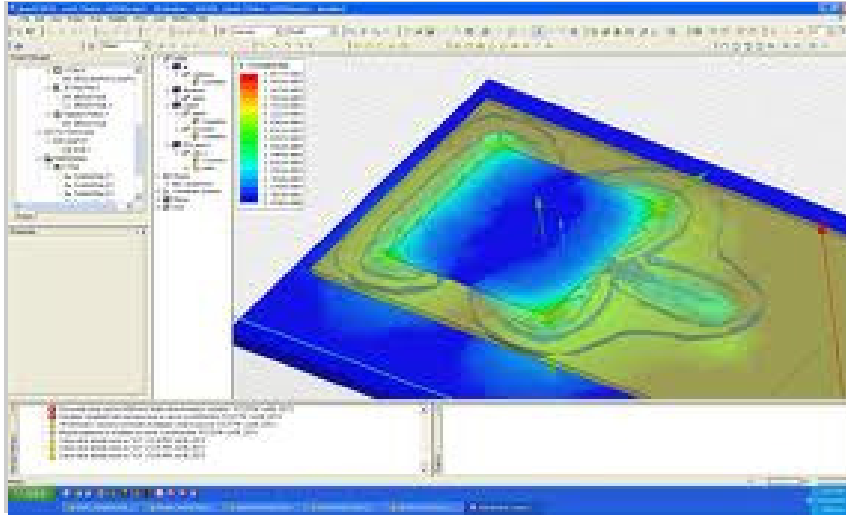
## **BÖLÜM 4. FARKLI BESLEME ÇEŞİTLERİ İÇİN MİKROŞERİT ANTEN TASARIMI ve SİMÜLASYONU**

### **4.1. Kullanılan Tasarım Programı : HFSS**

HFSS yazılımı, 3-D tam dalga elektromanyetik alan simülasyonu için endüstriyel standartlarda bir yazılımdır. HFSS, yüksek hız ve yüksek frekanslı tasarımlar için gereklidir. Çip üstünde gömülü pasif devre tasarımı, PCB (baskılı devre) bağlantıları, antenler gibi yüksek frekans bileşenleri, mikrodalga bileşenleri, IC (entegre devre) paketleri ve biyomedikal araç tasarımı gibi çok geniş alanlarda kullanılmaktadır. Tasarımcının güvenebileceği net ve doğru sonuçlar verir. Tasarımcılar HFSS ile saçılmış matris bileşenlerini ayrılabilir, uzak-yakın elektromanyetik alanları görsel hale getirebilir ve devre simülasyonlarıyla bağlantılı tam dalga Spice modelleri üretebilir [39].

HFSS, tasarımda verimliliği artırır ve ürün tasarlama zamanından tasarruf sağlar. HFSS, iyi tasarım başarısı sağlamayı garanti eder ve her yeni sürümü ile tasarımcılara önemli ölçüde verimlilik kazandırmayı amaçlar. [39].

Programın üreticisi: ANSOFT Corporation'dır. HFSS tasarım örnekleri Şekil 4.1' de gösterilmiştir: [39].



Şekil 4.1. HFSS Programı ile yapılmış tasarım örnekleri

### 4.2. 3.3 GHz Mikroşerit Anten Tasarımı

Kablosuz iletişim ihtiyacı, son yıllarda, yüksek talep nedeniyle çok hızlı bir şekilde artmaktadır. Kablosuz iletişim için 2G/3G, WiFi ve WiMax gibi çeşitli teknolojileri geliştirilmiş ve yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Bu farklı teknolojilerle birlikte, haberleşme dünyasında farklı frekans bantlarına gereksinim olacak ve yüksek bant genişlikli antenlere ihtiyaç duyulacaktır. Burada tasarlanmak istenen anten, yakın gelecekte, kablosuz veri haberleşmesinde önemli bir aday olması gözüyle bakılan, WiMax teknolojisi (3.3 GHz frekans bandı) alanında kullanılması amaçlanmıştır. Bu nedenle antenin merkez frekansı 3.3 GHz seçilmiş ve antenin bu frekansta çalışması için aşağıdaki parametreler belirlenmiştir [1]:

Alt tabaka malzemesi = FR-4

Malzemeye özgü dielektrik sabiti  $\epsilon_r = 4.4$

Dielektrik malzeme kalınlığı : 1.588

Dielektrik kayıp tanjantı  $\tan\delta = 0.019 \cong 0.02$

Antenin 3.3 GHz frekansında çalışması için aşağıdaki hesaplamalar yapılır.

$$W = \frac{c}{2f_0} \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r + 1}} \quad (4.1)$$

$$W = \frac{30}{2 \cdot 3.3} \sqrt{\frac{2}{4.4 + 1}} = 27.6 \text{ mm} \quad (4.2)$$

$W = 27.6 \text{ mm}$  olarak hesaplanır.

Eğer  $\frac{W}{h} \geq 1$  ise  $\epsilon_{\text{ref}}$  (efektif dielektrik sabiti), Formül 4.3' ten bulunur [12].

$$\epsilon_{\text{ref}} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{12h}{W}}} \quad (4.3)$$

$$\epsilon_r = 4.4 \quad h = 1.588 \text{ mm} \quad W = 27.6 \text{ mm}$$

$\epsilon_{ref} = 4.008$  olarak bulunur.

$1 \leq \epsilon_{ref} \leq \epsilon_r$  şartı sağlandığı için,

$$L_{eff} = \frac{c}{2f_0 \sqrt{\epsilon_{ref}}} \quad (4.4)$$

$$C = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}, \quad \epsilon_{ref} = 4.008 \quad f_0 = 3.3 \text{ GHz}$$

$L_{eff} = 22.7 \text{ mm}$  bulunur

Saçak değeri  $\Delta L$  hesaplanır :

$$\Delta L = 0.412h \frac{(\epsilon_{ref} + 0.3) \left( \frac{W}{h} + 0.264 \right)}{(\epsilon_{ref} - 0.258) \left( \frac{W}{h} + 0.8 \right)} \quad (4.5)$$

$$\Delta L = 0.72 \text{ mm}$$

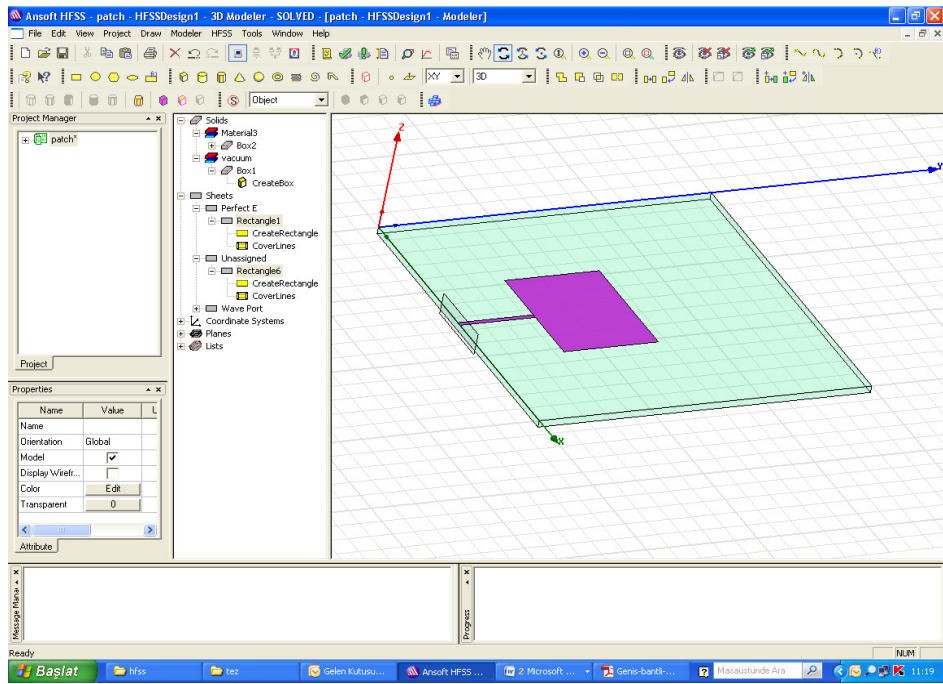
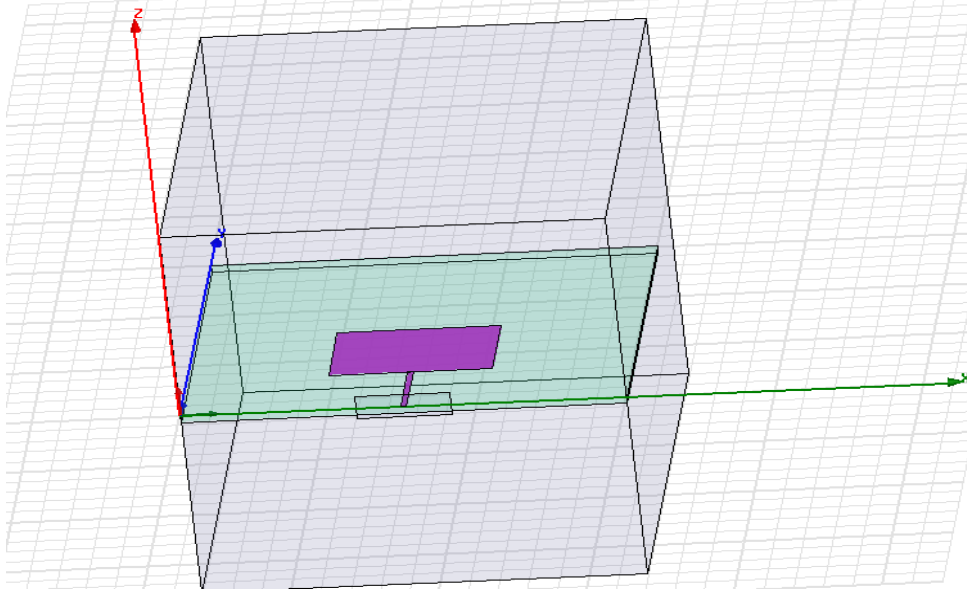
$$L = L_{eff} - 2 \Delta L \quad (4.6)$$

$L = 21.3 \text{ mm}$  olarak bulunur.

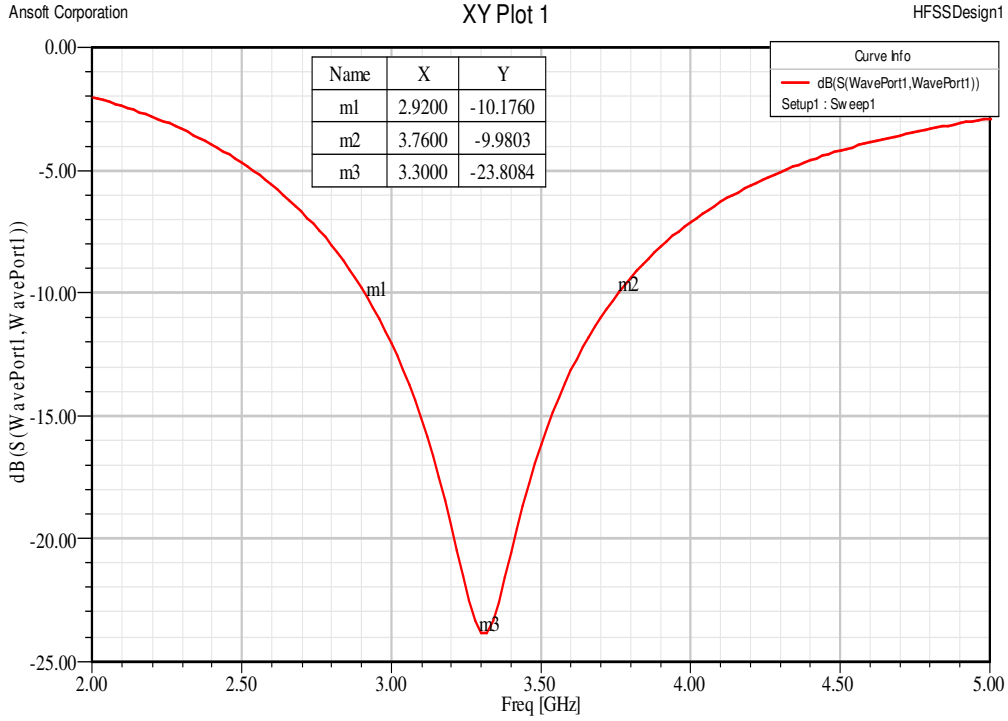
Böylelikle yama boyutları  $W = 27.6 \text{ mm}$ ,  $L = 21.3 \text{ mm}$  olarak bulunur.

Bu hesaplamalarla birlikte mikroşerit anten için temel ölçüler belirlenmiş olup bir sonraki aşama besleme yöntemi belirlemektir. Bu çalışmada mikroşerit antenler için temelde beş besleme yöntemi olan mikroşerit besleme, koplanar dalga kılavuzlu besleme, koaksiyel besleme, açıklık bağlantılı besleme ve yakınlık bağlantılı besleme yöntemleri sırasıyla uygulanmıştır. Tasarım için yukarıda belirlenen anten parametreleri sabit tutulmuş, sadece besleme yöntemi ve besleme yöntemiyle ilgili parametreler değiştirilmiştir. Antenin besleme düzenlerine ait besleme hattı boyutları, açıklık boyutları, ikinci alt tabaka kalınlığı ve ikinci tabakaya ait dielektrik sabiti gibi parametreler belirlenirken simülasyon programında denemeler yapılarak elde edilen en uygun değerler kullanılmıştır

### 4.3. Mikroşerit Beslemeli 3.3 GHz Mikroşerit Anten Tasarımı



Şekil 4.2. Tasarlanan antenin HFSS görüntüsü



Şekil 4.3. Tasarlanan Yama Antenin  $S_{11}$  Parametresi Grafiği

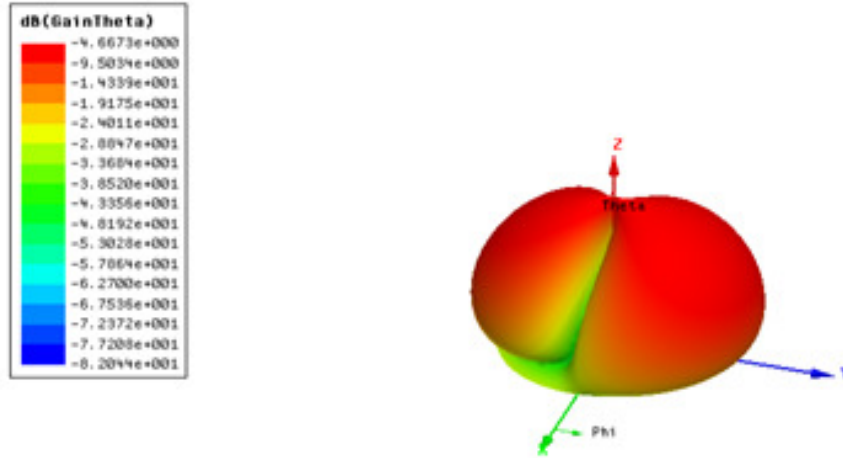
Tasarlanan antenin HFSS görüntüsü Şekil 4.2' de gösterilmiştir. İletim hattı boyutları 1mm x 17mm seçilen antenin, tasarlandığı gibi 3.3 GHz frekasında çalıştığı görülmüştür.  $S_{11}$  parametre grafiği Şekil 4.3' te gösterilmiştir. Şekilde de görüldüğü gibi, anten 3.3 GHz frekasında rezonansa girmekte olup, 2.7 GHz ve 3.74 GHz bant aralığında çalışmaktadır.

$S_{11}$ ' in daha az veya eşit olduğu -10 dB frekans aralığında bant genişliği tanımlanır. Bant genişliği eşitlik 4.7'den hesaplanabilir [12].

$$BW = \frac{(f_2 - f_1)}{f_0} \times 100 \quad (4.7)$$

Burada,  $f_1$  ve  $f_2$ ,  $S_{11}$ ' in -10 dB'e eşit oldukları frekanslar;  $f_0$  ise  $S_{11}$ ' in en küçük olduğu durum veya orta frekanstır.

Yukarıdaki denklem kullanılarak bant genişliği %25.5 olarak bulunur. Bu bant genişliği ile mikroşerit besleme için iyi bir sonuç elde edilmiştir. Antenin geri dönüş



Şekil 4.4. Mikroşerit Antenin Işıma Diyagramı

kaybı yaklaşık -22.9 dB'dir. Bu da mikroşerit antenler için iyi bir sonuçtur. Şekil 4.4' te antenin ışıma diyagramı görülmektedir.

#### 4.3.1. Antenin besleme noktalarını değiştirme

Antenin besleme noktasının kaydırılması anten parametrelerinde değişime sebep olan bir durumdur. Bu bölümde, tasarlanan antenin besleme noktası sağa ve sola kaydırılarak, anten parametrelerindeki değişim gözlenmiştir. Besleme noktası 1mm hassasiyetle kaydırılmış ve elde edilen değişimler Tablo 4.1'de verilmektedir. Tablodan da anlaşıldığı gibi, iletim hattının sağa veya sola kaydırılması, bant genişliği, kazanç, geri dönüş kaybı ve rezonans frekansında önemli bir değişikliğe, ya da bozulmaya neden olmamıştır. Bu da anten için kullanım ve tasarım kolaylığı, kullanım alanı genişliği sağlayacaktır.

Tablo 4.1.a. İletim hattı sağa kaydırıldığında anten parametrelerinde gözlenen değişim

L (iletim hattı )	$f_1$	$f_2$	$f_0$	Bant Genişliği	Kazanç	Geri Dönüş Kaybı
Ortada	2.90	3.74	3.30	25.5	-4.56	-21.63
1 mm	2.88	3.72	3.28	25.6	-4.59	-22.72
2 mm	2.88	3.72	3.28	25.6	-4.62	-22.39
3 mm	2.88	3.72	3.28	25.6	-4.60	-22.83
4 mm	2.88	3.74	3.29	26.1	-4.66	-22.91
5 mm	2.84	3.68	3.24	25.9	-4.42	-22.46
6 mm	2.86	3.72	3.28	26.2	-4.49	-22.41
7 mm	2.90	3.76	3.30	26.1	-4.62	-23.32
8 mm	2.86	3.72	3.28	26.2	-4.48	-22.74
9 mm	2.90	3.75	3.30	25.8	-4.52	-22.51
10 mm	2.76	3.62	3.18	23.8	-4.26	-21.68
11 mm	2.88	3.75	3.28	26.5	-4.46	-23.28
12 mm	2.86	3.74	3.28	26.8	-4.43	-22.23
13.3 mm (en sağ)	2.90	3.78	3.32	26.5	-4.63	-22.80

Tablo 4.1b. iletim hattı sola kaydırıldığında anten parametrelerinde gözlenen değişim

L (iletim hattı)	$f_1$	$f_2$	$f_0$	Bant Genişliği	Kazanç	Geri Dönüş Kaybı
Ortada	2.90	3.74	3.29	25.5	-4.56	-21.63
1 mm sola	2.88	3.72	3.29	25.6	-4.63	-22.24
2 mm sola	2.90	3.76	3.30	26.1	-4.76	-23.21
3 mm sola	2.90	3.74	3.30	25.5	-4.70	-23.39
4 mm sola	2.90	3.76	3.30	26.1	-4.71	-23.15
5 mm sola	2.80	3.64	3.20	26.3	-4.33	-22.07
6 mm sola	2.88	3.72	3.28	25.6	-4.45	-22.04
7 mm sola	2.90	3.76	3.30	26.1	-4.71	-23.17
8 mm sola	2.86	3.74	3.28	26.8	-4.49	-23.55
<b>9 mm sola</b>	<b>2.80</b>	<b>3.70</b>	<b>3.22</b>	<b>27.9</b>	<b>-4.24</b>	<b>-23.45</b>
10 mm sola	2.90	3.78	3.32	26.5	-4.44	-23.43
11 mm sola	2.90	3.76	3.30	26.1	-4.49	-23.08
12 mm sola	2.90	3.76	3.30	26.1	-4.59	-22.92
13.3 mm sola (en sol)	2.90	3.74	3.30	25.5	-4.60	-21.81



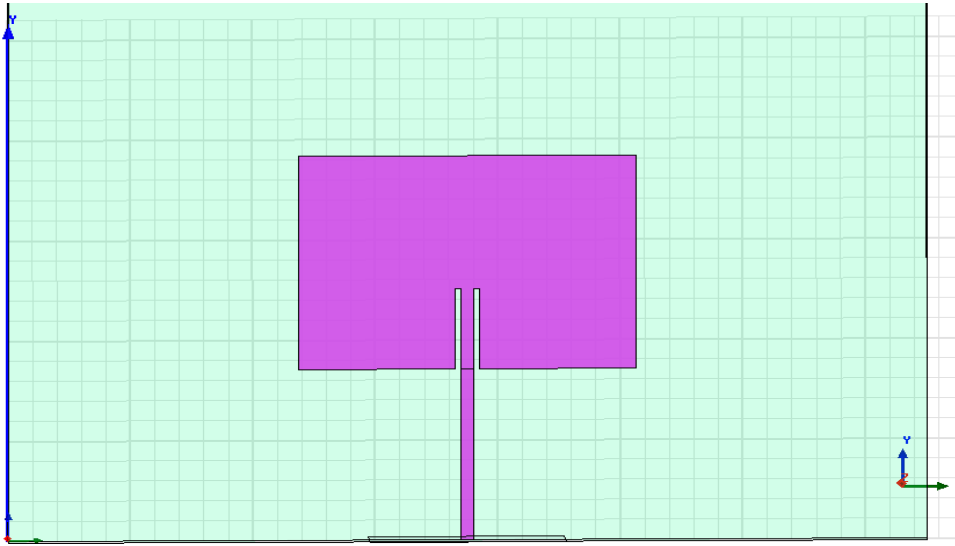


Şekil 4.5. Farklı besleme noktalı mikroşerit antenin dizüstü bilgisayar üzerindeki uygulaması

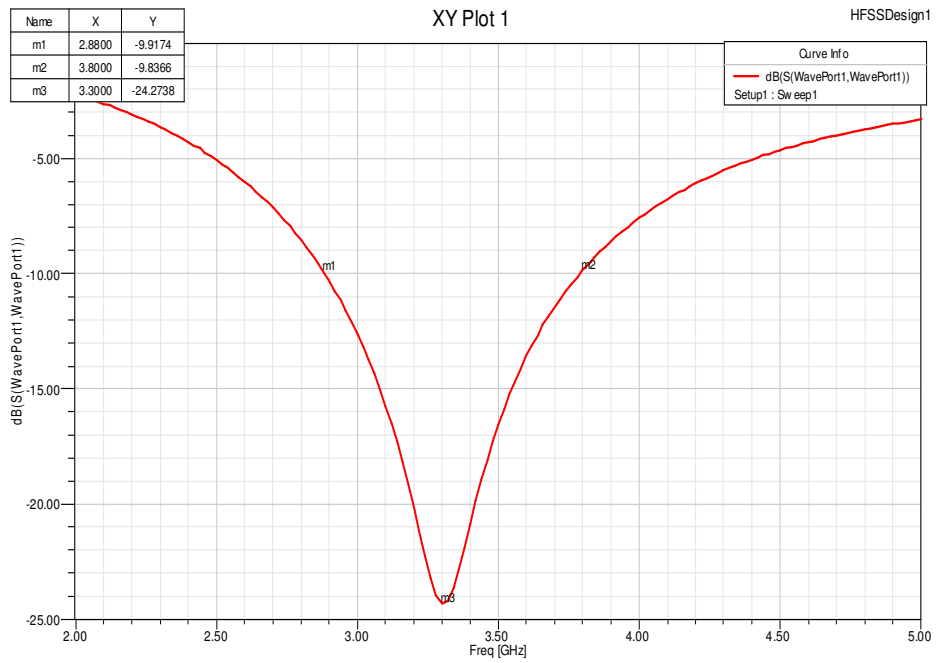
Örneğin Şekil 4.5'te farklı noktalardan beslenmiş mikroşerit antenin dizüstü bilgisayar üzerindeki uygulamaları gösterilmiştir. Antenin, besleme hattının farklı noktalarda olduğu durumlarda benzer sonuçlar vermesi, bilgisayar tasarımcısının işini kolaylaştıracaktır. Bu örnekte olduğu gibi, bu durum birçok alanda tasarımcıya kolaylık sağlayacaktır.

#### 4.3.2. Yamamın beslendiği noktadan yarıklar açma

Mikroşerit antenlerde bant genişliğini artırmak için yama ile besleme hattının birleştiği nokta arasında yarıklar açmak sıklıkla kullanılan bir yöntemdir [17]. Burada da, yama ile besleme hattının birleştiği noktadan simetrik olarak yama üzerinde yarıklar açılmıştır. Şekil 4.6'da yarıklı antenin geometrisi gösterilmektedir. Yarık eni 0.1 mm, yarık boyu 0.5 mm hassasiyetle değiştirilerek, antendeki değişim gözlemlenmiştir. Bant genişliğinde en büyük artış yarık boyutlarının 8mm-0.5mm olduğu durumda görülmüştür. Bant genişliği %25.5' den %28 seviyesine çıkmıştır. Rezonans frekansında bir değişiklik olmamış ve anten 3.3 GHz frekansında rezonansa girmiştir. Şekil 4.7'de  $S_{11}$  parametresi grafiği görülmektedir. Görüldü gibi antenin geri dönüş kaybında da bir miktar iyileşme olmuş ve -24.27 dB seviyesine düşmüştür.



Şekil 4.6. Besleme noktasından yarık açılmış yama anten



Şekil 4.7. Yarıklı antenin  $S_{11}$  parametresi grafiği

#### 4.4. Koplanar Dalga Kılavuzlu Beslenmiş 3.3 GHz Mikroşerit Anten Tasarımı

Bölüm 4.2' de parametreleri hesaplanan ve tasarlanan antenin parametreleri aynen kullanılıp, sadece besleme çeşidi değiştirilerek yama anten tasarlanmıştır. Anten parametreleri :

Alt tabaka malzemesi = FR-4

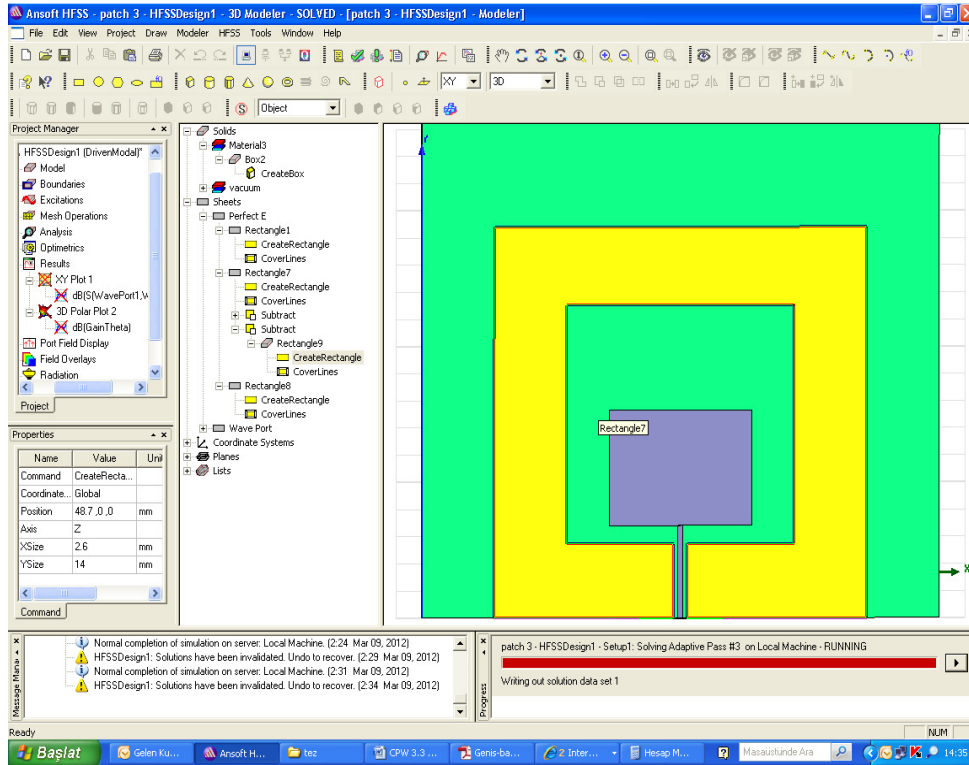
Malzemeye özgü dielektrik sabiti  $\epsilon_r = 4.4$

Dielektrik malzeme kalınlığı = 1.588 mm

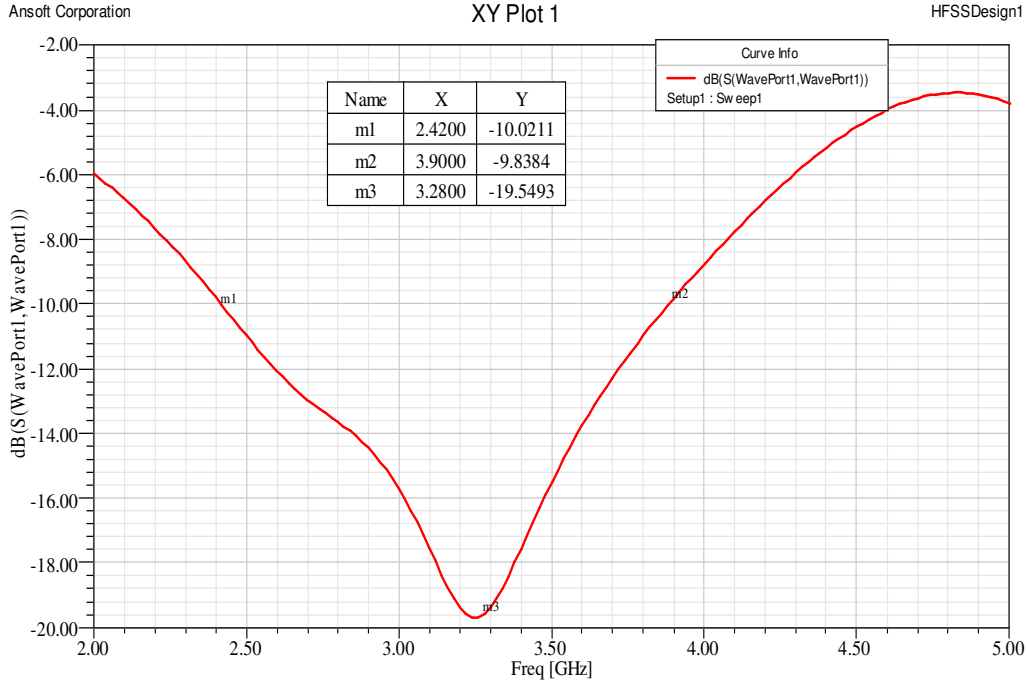
Dielektrik kayıp tanjantı  $\tan\delta = 0.019 \cong 0.02$

Yama boyutları = 27.6 – 21.3 mm

İletim hattı = 1 – 17 mm

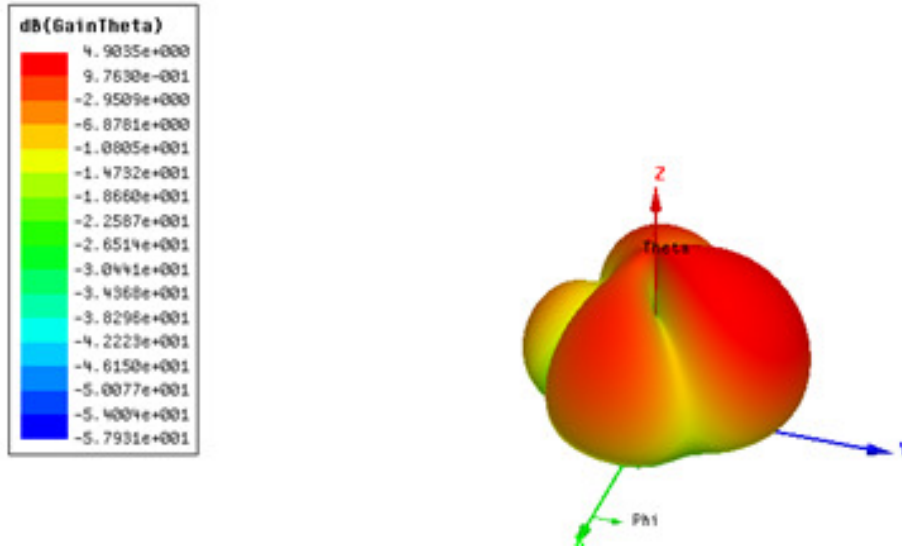


Şekil 4.8. Koplanar Dalga Kılavuzlu Beslenmiş 3.3 GHz Mikroşerit Anten Geometrisi



Şekil 4.9. Tasarlanan Antenin  $S_{11}$  Parametresi Grafiği

Bu parametreler dışında, koplanar dalga kılavuzu için taban düzlemi kare olarak seçilmiş ve boyutu 72 mm olarak belirlenmiştir. Kare düzlem içerisindeki boşluğun boyutu 44 mm olarak belirlenmiştir. Tasarlanan antenin geometrisi Şekil 4.8’de görülmektedir. İletim hattı ile koplanar dalga kılavuzu arasındaki boşluk başlangıçta 0.25 mm olarak seçilmiş ve daha sonra bu boşluk değeri değiştirilerek, anten parametrelerindeki değişim gözlenmiştir. Anten hesaplandığı gibi 3.3 GHz’de rezonansa girmekte ve 2.4 – 3.9 GHz bant aralığında çalışmaktadır. Buradan hareketle bant genişliği, %45.6 olarak ölçülmüştür. Bu da yama antenler için çok iyi bir sonuçtur. Tasarlanan anten için sadece besleme yapısı değiştirildiğinde, bant genişliğinin önemli ölçüde değiştiği ve neredeyse iki katına çıktığı görülmektedir. Bu sonuca göre koplanar beslemenin mikroşerit beslemeye göre daha iyi olduğu yorumu yapılabilir. Antenin geri dönüş kaybı ise -19.54 dB olarak ölçülmüştür. Şekil 4.10’da antenin kazanç diagramı gösterilmektedir. Buradan anten kazancının 4.9 dB olduğu görülür.



Şekil 4.10. Antenin kazanç diagramı

#### 4.4.1. İletim hattı ile dalga kılavuzu arasındaki boşluğu değiştirme

Bu bölümde, tasarlanan antenin iletim hattı ile koplanar dalga kılavuzu arasındaki boşluk değiştirilerek, anten değerlerindeki değişim gözlenmiştir. 0.1 mm hassasiyetle yapılan simülasyon sonuçları Tablo 4.2'de gösterilmiştir. Tablodan da anlaşıldığı gibi, boşluktaki küçük değişiklikler anten parametrelerinde büyük değişimlere sebep olmaktadır. Bu sonuç, antenin üretim sürecinde hassas davranılması ve antenin sıcaklık değerlerinin sabit tutulması gerektiğini göstermektedir. Bunun dışında bu boşluk toleransı kullanılarak, anten rezonans frekansında değişiklikler yapılabilir ve anten istenilen çalışma frekansına ayarlanabilir. Bu sonuçlarla birlikte tabloda görülen en önemli değer %60'luk bant genişliği değeridir. Antende boşluk ayarı yapılarak bant genişliğinin %60'lara ulaşabildiği görülmüştür. Mikroşerit antenler için çok iyi bir sonuç elde edilmiştir.

Tablo 4.2. İletim hattı ile dalga kılavuzu arasındaki boşluk boyutu değişen CPW antenin parametre değişim tablosu

Boşluk(mm)	$f_1$	$f_2$	$f_0$	Bant Genişliği	Kazanç	Geri Dönüş Kaybı
0.25	2.40	3.90	3.29	45.6	4.90	-18.93
0.1	3.14	3.92	3.56	21.9	4.83	-29.62
0.2	2.50	3.94	3.46	41.6	4.86	-21.66
0.3	2.36	3.84	3.16	46.8	4.88	-20.09
0.4	2.28	3.96	2.80	60.0	4.92	-17.73
0.5	2.30	3.48	3.02	39.1	4.96	-53.14
0.6	2.22	3.52	2.88	45.1	5.01	-33.21
0.7	2.32	3.30	3.02	32.5	4.92	-18.03
0.8	2.26	3.28	2.98	34.2	4.92	-17.32
0.9	2.34	3.22	3.00	29.3	4.99	-14.33
1	2.18	3.18	2.48	40.3	5.02	-17.96

#### 4.4.2. Antenin besleme noktalarını değiştirme

Tasarlanan koplana kılavuzlu beslenmiş antenin besleme noktalarını değiştirerek, antenin bant genişliği, rezonans frekansı, kazanç ve geri dönüş kaybı gibi değerlerindeki değişimler gözlenmiştir. Tablo 4.3'te antenin değişen parametreleri gösterilmiştir. 1mm hassasiyetle yapılan ölçümler neticesinde, besleme noktasının 5mm'ye kadar sağa ve sola kaydırılması, bant genişliğinde çok büyük değişikliklere neden olmamıştır. 5mm'den sonra bant genişliğinde çok büyük azalma meydana gelmiştir. Bu da bu anten için besleme noktasında, 5mm'ye kadar tasarım toleransı getirmektedir.

Tablo 4.3.a. Besleme noktası sağa kaydırılan CPW antenin parametre değişim tablosu

L(iletim hattı )	$f_1$	$f_2$	$f_0$	Bant Genişliği	Kazanç	Geri Dönüş Kaybı
ortada	2.40	3.90	3.29	45.6	4.90	-18.93
1 mm sağa	2.40	3.92	3.28	46.3	4.80	-19.26
2 mm sağa	2.40	3.96	3.38	46.1	4.67	-19.95
3 mm sağa	2.42	4.00	3.48	45.4	4.70	-20.57
4 mm sağa	2.42	4.02	3.52	45.4	4.53	-22.27
5 mm sağa	2.42	4.06	3.66	44.8	4.41	-28.14
6 mm sağa	3.22	4.12	3.72	22.1	4.37	-50.72
7 mm sağa	3.42	4.08	3.78	17.0	4.33	-23.14
9 mm sağa	2.46	2.98	2.70	19.2	4.35	-12.43

Tablo 4.3.b. Besleme noktası sola kaydırılan CPW antenin parametre değişim tablosu

L(iletim hattı )	$f_1$	$f_2$	$f_0$	Bant Genişliği	Kazanç	Geri Dönüş Kaybı
1 mm sola	2.42	3.92	3.30	45.5	4.78	-19.60
2 mm sola	2.42	3.96	3.32	46.4	4.74	-19.64
3 mm sola	2.42	4.00	3.40	46.5	4.59	-21.17
4 mm sola	2.42	4.04	3.60	45.0	4.44	-23.08
5 mm sola	2.42	4.04	3.66	44.3	4.45	-34.88
6 mm sola	3.26	4.08	3.72	22.1	4.35	-51.41
7 mm sola	3.46	4.04	3.76	15.4	4.35	-20.69

#### 4.5. Koaksiyel Beslemeli 3.3 GHz Mikroşerit Anten Tasarımı

Bu bölümde yine Bölüm 4.2' de hesaplanan anten ölçüleri aynen kullanılıp, sadece besleme tekniği ve besleme tekniğiyle ilgili ölçüler değiştirilerek mikroşerit anten yeniden tasarlanmıştır. Anten parametreleri :

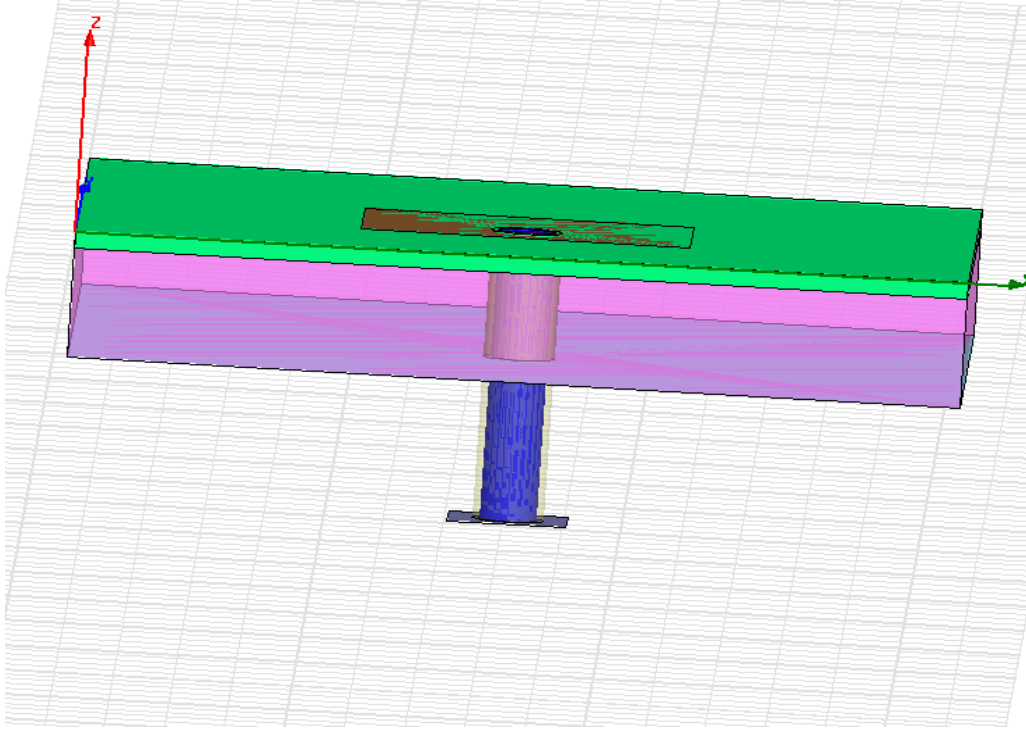
Alt tabaka malzemesi = FR-4

Malzemeye özgü dielektrik sabiti  $\epsilon_r = 4.4$

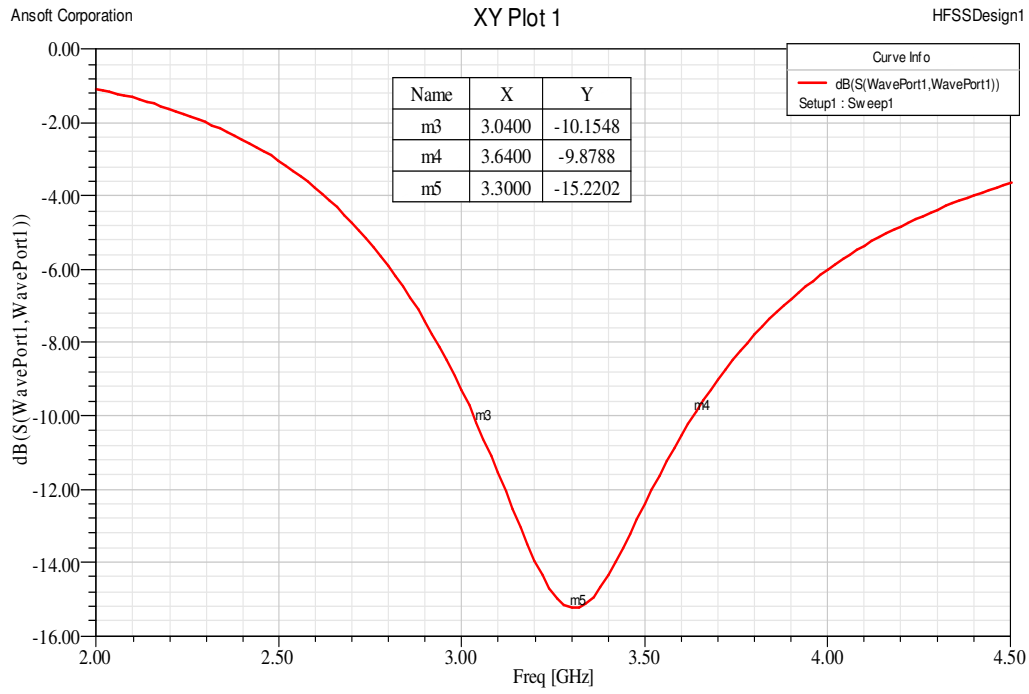
Dielektrik malzeme kalınlığı = 1.588 mm

Dielektrik tanjant kaybı  $\tan\delta = 0.019 \cong 0.02$

Yama boyutları = 27.6 – 21.3 mm



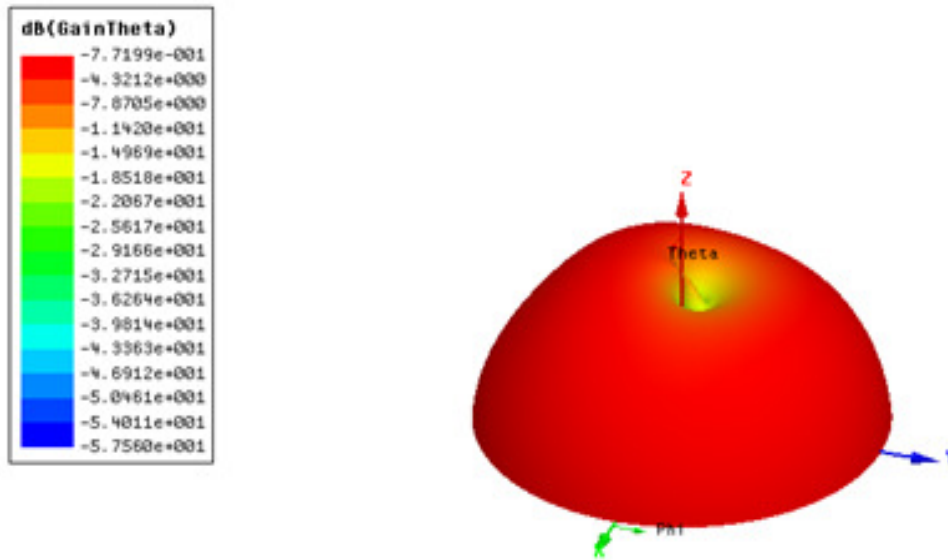
Şekil 4.11. Koaksiyel Beslemeli 3.3 GHz Mikroşerit Anten Geometrisi



Şekil 4.12. Tasarlanan Antenin  $S_{11}$  Parametresi Grafiği



Bunun yanında, anteni besleyen sondanın çapı 2.4 mm, uzunluğu ise 26.5 mm seçilmiştir. Sondanın dışında, sondayı saran koaksiyel kablonun çapı 3mm, boyu ise 26.5 mm seçilmiştir. Tasarlanan antenin geometrisi Şekil 4.11’ de gösterilmiştir. Buradan görüldüğü gibi, toprak plaka ile alt taban arası 10 mm boyunca hava ile doldurulmuştur. Şekil 4.12’ de antenin  $S_{11}$  parametresi grafiği verilmiştir. Buradan da görüldüğü gibi anten, 3.3 GHz merkez frekansta ve 3.04 GHz’ ile 3.64 GHz arasında çalışmaktadır. Bant genişliği %18.2 olarak bulunmuştur. Geri dönüş kaybı -15.22 dB, kazancı ise Şekil 4.13’ te gösterildiği gibi -7.7 dB olarak ölçülmüştür. Bant genişliği mikroşerit antenler için geniş bant değerine yakın (FCC kriterlerine göre %20) sonuç vermiştir. Bunun yanında, mikroşerit antenlerin genel bir eksikliği olan düşük kazanç problemi ile burada da karşılaşmıştır.



Şekil 4.13. Antenin kazanç diagramı

Tablo 4.4.a Besleme noktası sola kaydırılan koaksiyel antenin parametre değişim tablosu

L(iletim hattı )	$f_1$	$f_2$	$f_0$	Bant Genişliği	Kazanç	Geri dönüş kaybı
ortada	3.04	3.64	3.30	18.2	-7.72	-15.22
1 mm sola	2.94	3.70	3.28	23.2	-7.14	-21.04
2 mm sola	2.94	3.70	3.28	23.2	-6.59	-21.19
3 mm sola	3.04	3.62	3.30	18.8	-7.49	-15.28
4 mm sola	2.94	3.70	3.28	23.2	-6.15	-20.23
5 mm sola	2.92	3.70	3.28	23.8	-6.30	-22.38
6 mm sola	2.92	3.70	3.28	23.8	-6.62	-21.91
7 mm sola	2.92	3.70	3.28	23.8	-6.82	-21.87
8 mm sola	3.04	3.64	3.30	18.2	-7.38	-15.24
9 mm sola	3.00	3.66	3.30	20.0	-7.18	-16.96
10 mm sola	2.94	3.70	3.28	23.2	-6.51	-20.91
11 mm sola	3.04	3.64	3.30	18.2	-7.18	-15.04
12 mm sola	3.04	3.64	3.30	18.2	-7.39	-14.95
<b>13 mm sola</b>	<b>2.88</b>	<b>3.72</b>	<b>3.26</b>	<b>25.7</b>	<b>-7.14</b>	<b>-26.34</b>
Köşe sol ön	2.92	3.70	3.28	23.8	-7.34	-21.7
<b>Köşe sol arka</b>	<b>2.88</b>	<b>3.72</b>	<b>3.26</b>	<b>25.7</b>	<b>-6.99</b>	<b>-31.79</b>

Tablo 4.4.b Besleme noktası sağa kaydırılan koaksiyel antenin parametre değişim tablosu

L(iletim hattı )	$f_1$	$f_2$	$f_0$	Bant Genişliği	Kazanç	Geri dönüş kaybı
1 mm sağa	3.04	3.64	3.30	18.2	-7.68	-15.44
2 mm sağa	2.94	3.70	3.28	23.2	-7.11	-20.81
3 mm sağa	2.92	3.70	3.28	23.8	-7.43	-21.79
4 mm sağa	3.04	3.64	3.30	18.2	-7.61	15.45
5 mm sağa	3.04	3.64	3.30	18.2	-7.77	15.61
<b>6 mm sağa</b>	<b>2.88</b>	<b>3.72</b>	<b>3.26</b>	<b>25.7</b>	<b>-6.82</b>	<b>-27.45</b>
7mm sağa	2.94	3.68	3.28	22.6	-6.57	-20.43
8 mm sağa	2.94	3.68	3.28	22.6	-6.29	-20.99
9 mm sağa	2.94	3.70	3.28	23.2	-7.08	-20.72
10mm sağa	2.94	3.70	3.28	23.2	-6.26	-21.39
<b>11mm sağa</b>	<b>2.88</b>	<b>3.72</b>	<b>3.26</b>	<b>25.7</b>	<b>-6.02</b>	<b>-27.07</b>
12mm sağa	3.02	3.64	3.30	18.8	-7.42	-15.56
13mm sağa	3.02	3.64	3.30	18.8	-7.34	-15.70
Köşe sağ arka	3.02	3.64	3.30	18.8	-7.42	-15.54
Köşe sağ ön	3.04	3.64	3.30	18.2	-7.45	-15.21
Tam ortada	3.04	3.64	3.30	18.2	-7.64	-15.31

#### 4.5.1. Antenin besleme noktalarını (sondanın yerini) değiştirme

Burada, tasarlanan koaksiyel beslemeli antende, sondanın yeri değiştirilerek anten parametrelerindeki değişim gözlemlenmiştir. Bunu yapmadaki amaç, anten bant genişliğini bir miktar daha iyileştirmektir. Sonda, yamanın yatay ve dikey eksen boyunca 1 mm hassasiyetle kaydırılmış ve rezonans frekansı, bant genişliği, kazanç ve geri dönüş kaybındaki değişimler gözlemlenmiştir. Yatay eksen boyunca gözlemlenen değişiklikler Tablo 4.4' te gösterilmiştir. Dikey eksen değişiklikleri de hemen hemen aynı olduğu için bunlara tabloda yer verilmemiştir. Yapılan değişikliklerle bant genişliğinde %41 oranında artış olmuş ve %25.7' ye çıkmıştır. Bu mikroşerit antenler için iyi bir sonuçtur. Geri dönüş kaybı -32 dB' e kadar düşmüş, kazanç ise bir miktar daha artarak -6 dB seviyesine kadar yükselmiştir. Sonuç olarak, besleme noktalarını değiştirmek büyük oranda olumlu değişiklikler getirmiştir.

#### 4.6. Açıklık Bağlantılı Beslenmiş 3.3 GHz Mikroşerit Anten Tasarımı

Bu bölümde, açıklık bağlantılı besleme yöntemi kullanılarak mikroşerit anten yeniden tasarlanmıştır. Anten parametreleri aşağıda verilmiştir :

Alt tabaka malzemesi = FR-4

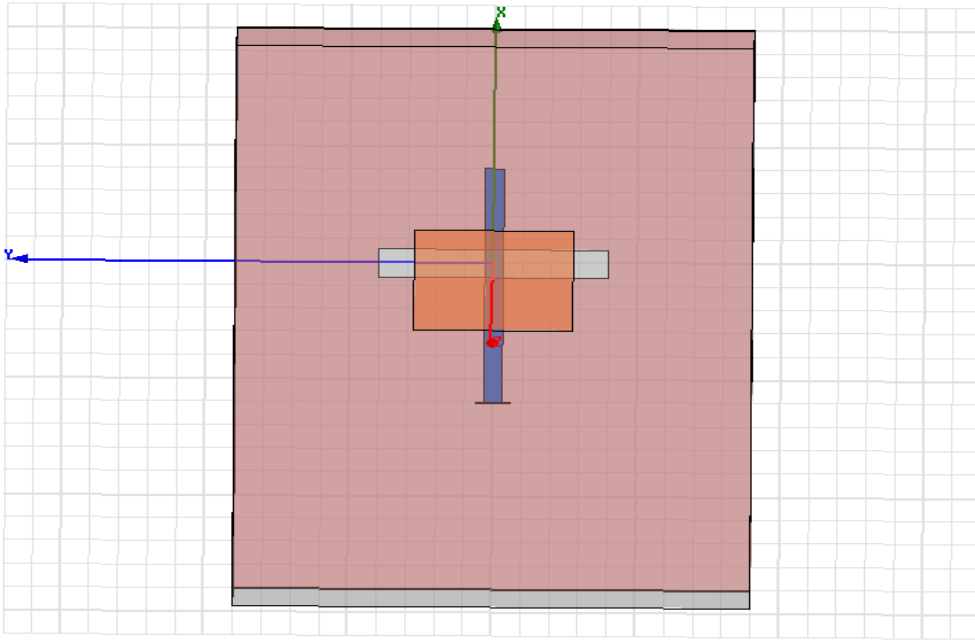
Malzemeye özgü dielektrik sabiti  $\epsilon_r = 4.4$

Dielektrik malzeme kalınlığı = 1.588 mm

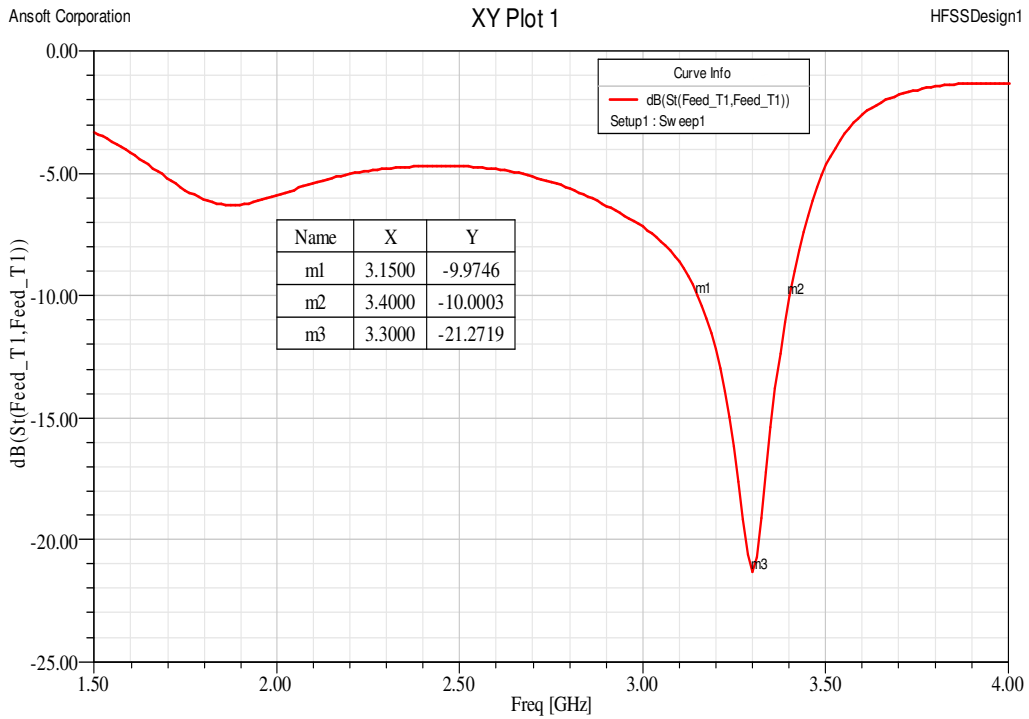
Dielektrik tanjant kaybı  $\tan\delta = 0.019 \cong 0.02$

Yama boyutları = 27.6 – 21.3 mm

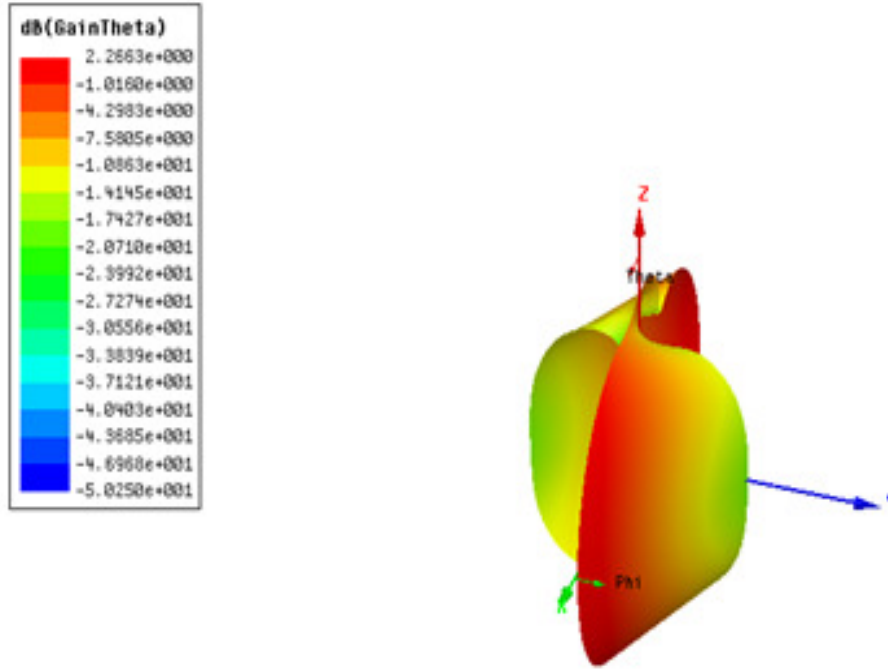
İkinci taban için yine FR-4 malzemesi kullanılmış ve malzeme kalınlığı 17.42 mm olarak seğilmiştir. Besleme hattının boyutları 50 - 3.2 mm olarak seğilmiştir. Toprak plaka üzerinde açılan açıklığın boyutları ise 40 - 6 mm olarak belirlenmiştir. HFSS ile tasarlanan antenin geometrisi Şekil 4.14' te gösterilmiştir. Şekil 4.15' te antenin  $S_{11}$  parametresi grafiği verilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi anten 3.15 GHz ile 3.40 GHz bandında çalışmakta ve merkez frekansı 3.30 GHz görülmektedir.



Şekil 4.14. Açıklık Bağlantılı Mikroşerit Anten Geometrisi



Şekil 4.15. Açıklık Bağlantılı Mikroşerit Antenin  $S_{11}$  Grafiği



Şekil 4.16. Antenin kazanç diagramı

Burada kullanılan besleme yöntemi ile istenilen merkez frekansına sahip anten tasarlanmış, fakat bant genişliği %8 civarında elde edilmiştir. Bu değer daha önce uygulanan besleme yöntemlerinde ulaşılan bant genişliklerine göre oldukça düşüktür. Antenin geri dönüş kaybı -21.27 dB olarak ölçülmüştür. Şekil 4.16' da antenin ışıma diagramı gösterilmiştir. Anten kazancı 2.26 dB olarak bulunmuştur.

#### 4.6.1. Antenin besleme noktalarını değiştirme

Bu bölümde tasarlanan antenin besleme hattı açıklıkla birlikte, 1 mm hassasiyetle yatay ve dikey ekseninde kaydırılarak, anten parametrelerindeki değişim gözlenmiştir. Bant genişliğini bir miktar daha iyileştirebilmek amacıyla yapılan bu çalışma sonucundaki yeni anten parametreleri Tablo 4.5' te verilmiştir. Tablodan görüldüğü gibi, anten bant genişliği, %60 oranında artmış ve %13 seviyesine gelmiştir. Buna karşın, anten kazancında büyük oranda düşüş olmuş ve 1 dB seviyesine kadar gerilemiştir. Geri dönüş kaybı ise, bu değişimden olumsuz etkilenmiş -11 dB' e kadar yükselmiştir. Sonuç olarak, besleme noktasını değiştirmek, antenin bant genişliğini artırırken, kazanç ve geri dönüş kaybını olumsuz yönde etkilemiştir.

Tablo 4.5.a Besleme noktası sola kaydırılan açıklık bağlantılı antenin parametre değişim tablosu

L(iletim hattı )	$f_1$	$f_2$	$f_0$	Bant Genişliği	Kazanç	Geri Dönüş Kaybı
ortada	3.14	3.40	3.30	7.9	2.26	-21.27
1 mm sola	3.14	3.40	3.30	7.9	2.27	-20.22
2 mm sola	3.16	3.41	3.30	7.6	2.24	-18.9
3 mm sola	3.15	3.40	3.30	7.6	2.17	-19.83
4 mm sola	3.14	3.40	3.30	7.9	2.24	-18.8
5 mm sola	3.12	3.40	3.30	8.4	1.98	-17.6
6 mm sola	3.12	3.40	3.30	8.4	1.93	-16.6
7 mm sola	3.12	3.40	3.30	8.4	1.85	-15.63
8 mm sola	3.10	3.38	3.28	8.5	1.63	-14.43
9 mm sola	3.06	3.40	3.28	10.4	1.60	-13.91
10 mm sola	3.05	3.38	3.28	10.1	1.44	-13.13
11 mm sola	3.04	3.36	3.26	9.8	1.25	-12.11
<b>12 mm sola</b>	<b>2.94</b>	<b>3.36</b>	<b>3.24</b>	<b>13.0</b>	<b>1.24</b>	<b>-11.67</b>
13 mm sola	2.92	3.32	3.22	12.4	1.09	-11.22

Tablo 4.5.b Besleme noktası sağa kaydırılan açıklık bağlantılı antenin parametre değişim

L(iletim hattı )	$f_1$	$f_2$	$f_0$	Bant Genişliği	Kazanç	Geri Dönüş Kaybı
1 mm sağa	3.14	3.40	3.30	7.9	2.30	-20.54
2 mm sağa	3.14	3.40	3.30	7.9	2.38	-20.055
3 mm sağa	3.14	3.40	3.30	7.9	2.13	-19.58
4 mm sağa	3.14	3.40	3.30	7.9	2.09	-17.86
5 mm sağa	3.12	3.40	3.30	8.4	2.00	17.07
6 mm sağa	3.12	3.40	3.30	8.4	2.09	-16.08
7mm sağa	3.14	3.38	3.28	7.3	1.59	-14.87
8 mm sağa	3.10	3.40	3.28	9.1	1.72	-15.25
9 mm sağa	3.04	3.38	3.28	10.4	1.49	-14.24
10mm sağa	3.06	3.38	3.28	9.8	1.47	13.02
11mm sağa	2.98	3.38	3.26	11.1	1.47	12.58
12mm sağa	3.02	3.36	3.26	10.4	1.07	-12.41
<b>13mm sağa</b>	<b>2.92</b>	<b>3.34</b>	<b>3.22</b>	<b>13.0</b>	<b>1.05</b>	<b>-11.45</b>

#### 4.7. Yakınlık Bağlantılı Beslenmiş 3.3 GHz Mikroşerit Anten Tasarımı

Tasarlanan anten için son olarak yakınlık bağlantılı besleme yöntemi incelenmiştir. Yukarıdaki tasarım örneklerinde olduğu gibi, besleme tekniği ve besleme tekniğinin gerektirdiği ölçüler dışındaki diğer ölçüler sabit kalmış, anten bu ölçülerle yeniden tasarlanmıştır. Anten parametreleri aşağıda verilmiştir:

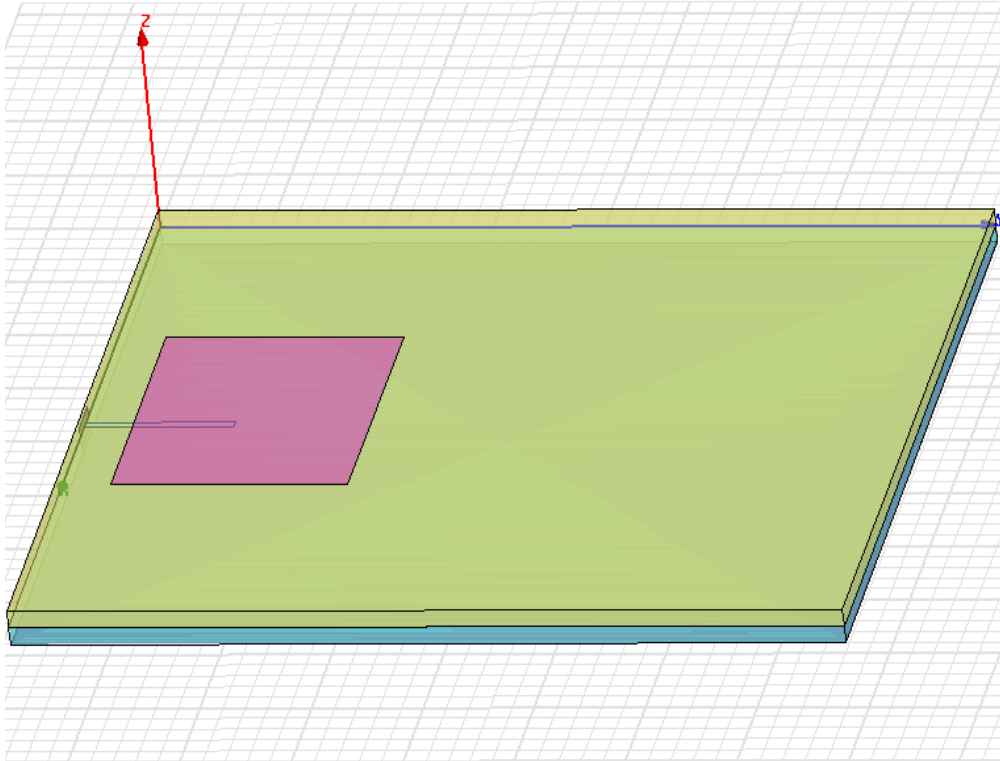
Alt tabaka malzemesi = FR-4

Malzemeye özgü dielektrik sabiti  $\epsilon_r = 4.4$

Dielektrik malzeme kalınlığı = 1.588 mm

Dielektrik tanjant kaybı  $\tan\delta = 0.019 \cong 0.02$

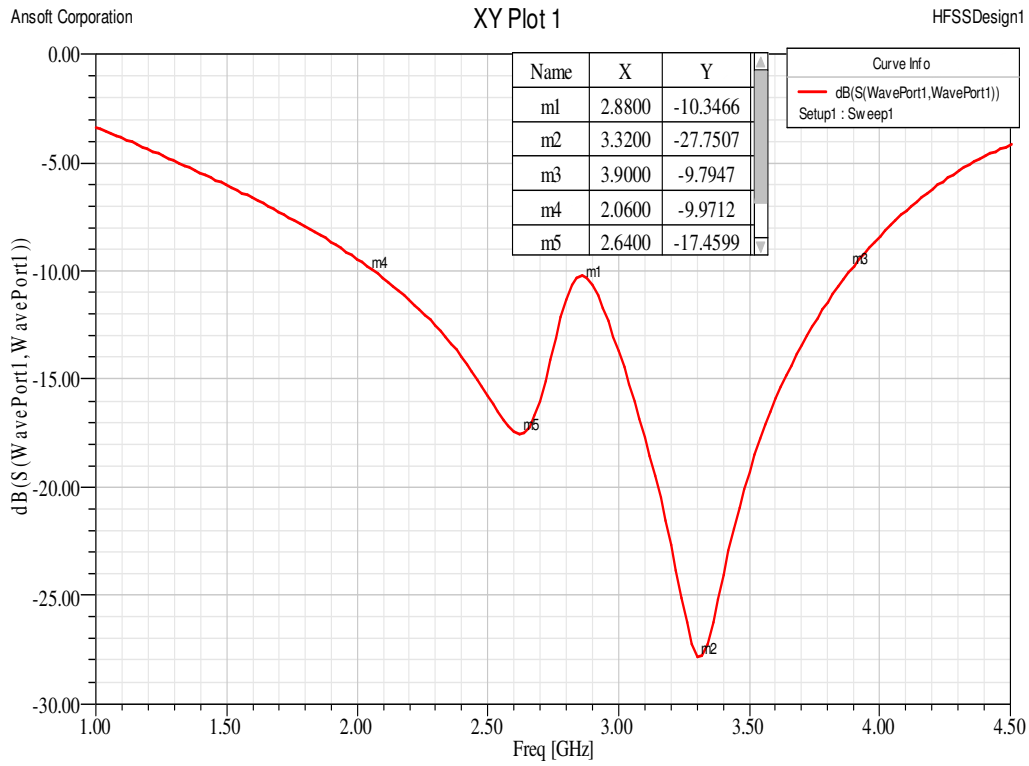
Yama boyutları = 27.6 – 21.3 mm



Şekil 4. 17. Yakınlık Bağlantılı Mikroşerit Anten Geometrisi

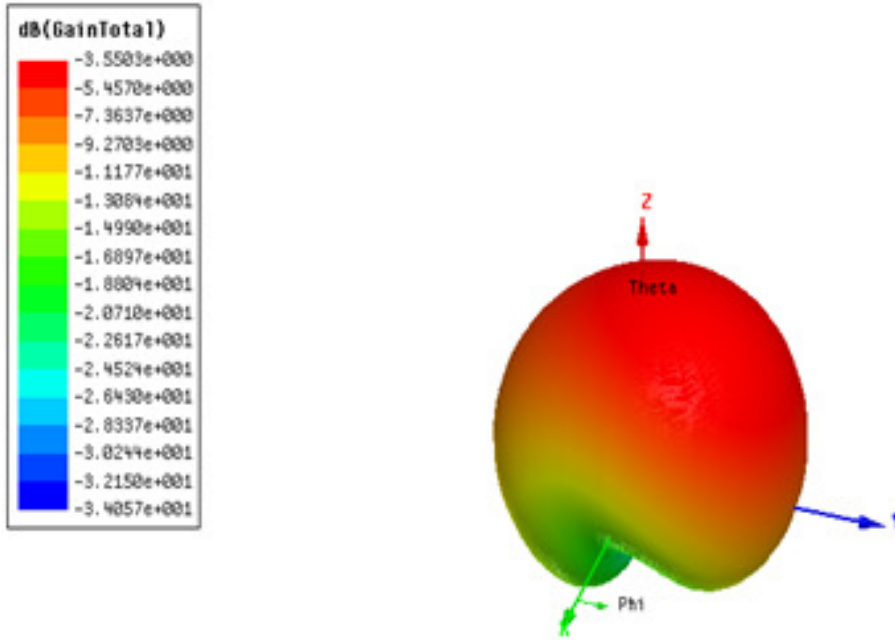
Bu parametreler dışında iletim hattı boyutları için 1 mm ve 13.385 mm değerleri seçilmiş ve ikinci alt tabaka için yine kalınlığı 1.588 mm ve dielektrik sabiti 4.4 olan FR-4 malzemesi kullanılmıştır. Yama, besleme hattının 5 mm noktasından itibaren konumlandırılmıştır.

Şekil 4.18’de antenin  $S_{11}$  parametresi grafiği verilmiştir. Grafikte görüldüğü gibi anten 2.64 GHz ve 3.32 GHz olmak üzere iki merkez frekansta çalışmaktadır ve 3.32 GHz merkez frekansı için bant genişliği % 28.3’ tür. Bu besleme yöntemi için geniş bantlı anten elde edilmiştir. Geri dönüş kaybı -27 dB civarı olup, anten kazancı Şekil 4.19’ da görüldüğü gibi -3.5 dB civarındadır.



Şekil 4.18. Yakınlık Bağlantılı Mikroşerit Antenin  $S_{11}$  Parametresi Grafiği





Şekil 4.19. Antenin kazanç diagramı

#### 4.7.1. Antenin besleme noktalarını değiştirme

Bu bölümde tasarlanan antenin besleme hattı yatay ekseninde 1 mm hassasiyetle kaydırılarak, merkez frekans, bant genişliği, kazanç ve geri dönüş kaybındaki değişimler gözlenmiştir. Değişen anten parametreleri Tablo 4.6' de verilmiştir. Tablodan görüldüğü gibi, bant genişliği, %32 oranında artmış ve %37.5 olarak ölçülmüştür. Bant genişliği artarken, geri dönüş kaybı, daha da düşerek -48 dB seviyesine gelmiştir. Anten kazancı ise -3 ile -5 dB arasında değişiklik göstermiştir. Sonuç olarak, besleme noktası değiştirilerek, anten performansı bir miktar daha iyileştirilmiştir.

Tablo 4.6. a. Besleme noktası sola kaydırılan yakınlık bağlantılı antenin parametre değişim tablosu

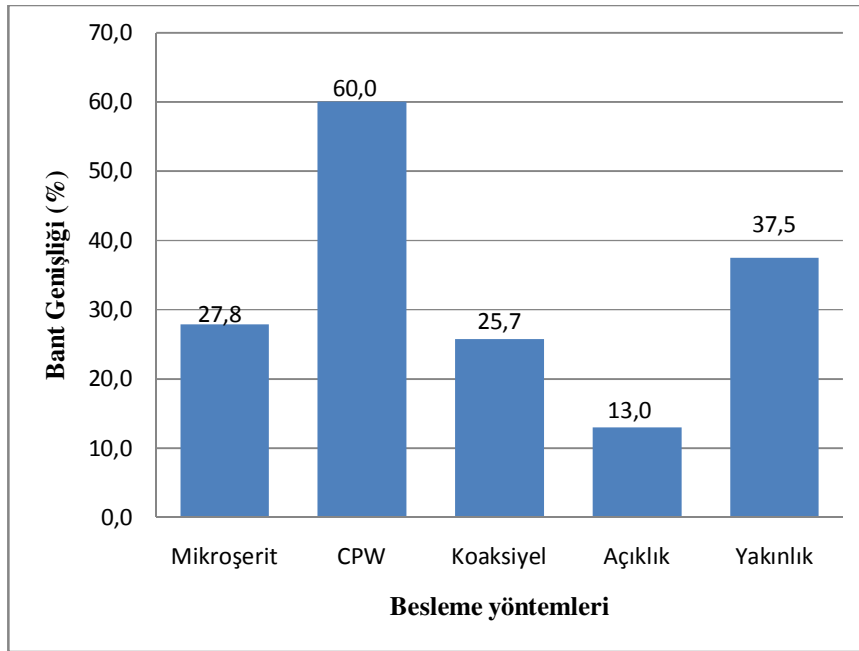
L(iletim hattı )	$f_1$	$f_2$	$f_0$	Bant Genişliği	Kazanç	Geri Dönüş Kaybı
ortada	2.94	3.88	3.32	28.3	-3.5	-26.99
1 mm sola	2.96	3.88	3.34	27.5	-3.07	-23.84
2 mm sola	2.88	3.86	3.28	29.8	-4.83	-30.6
3 mm sola	2.90	4.00	3.32	33.1	-4.26	-25.97
4 mm sola	2.90	3.98	3.32	32.5	-4.24	-32.34
5 mm sola	2.88	3.98	3.28	33.5	-4.28	-44.36
6 mm sola	2.88	4.06	3.32	35.5	-4.03	-26.06
7 mm sola	2.88	4.04	3.28	35.4	-4.05	-38.08
<b>8 mm sola</b>	<b>2.88</b>	<b>4.12</b>	<b>3.30</b>	<b>37.5</b>	<b>-4.07</b>	<b>-48.14</b>
9 mm sola	2.90	3.70	3.28	24.3	-3.73	-31.99
10 mm sola	2.90	3.70	3.28	24.3	-3.77	-26.08
11 mm sola	2.90	3.66	3.26	23.3	-3.60	-28.06
12 mm sola	2.90	3.64	3.24	22.8	-4.11	-31.39
13 mm sola	2.90	3.64	3.24	22.8	-4.12	-29.80

Tablo 4.6. b. Besleme noktası sağa kaydırılan yakınlık bağlantılı antenin parametre değişim tablosu

L(iletim hattı )	$f_1$	$f_2$	$f_0$	Bant Genişliği	Kazanç	Geri Dönüş Kaybı
1 mm sağa	2.96	3.90	3.34	28.1	-3.26	-23.54
2 mm sağa	2.96	3.88	3.34	27.5	-3.23	-23.66
3 mm sağa	2.82	3.78	3.24	29.6	-5.71	-17.03
4 mm sağa	2.78	3.80	3.14	32.5	-5.60	-38.17
5 mm sağa	2.96	3.80	3.34	25.1	-3.12	-22.5
6 mm sağa	2.78	3.50	3.08	23.4	-4.89	-26.6
7mm sağa	2.88	3.74	3.30	26.1	-3.44	-29.45
8 mm sağa	2.88	3.74	3.30	26.1	-3.74	-30.84
9 mm sağa	2.92	3.72	3.32	24.1	-3.29	-23.63
10mm sağa	2.90	3.64	3.24	22.8	-3.99	-47.37
11mm sağa	2.90	3.68	3.28	23.7	-3.80	-26.39
12mm sağa	2.90	3.64	3.24	22.8	-3.78	-30.30
13mm sağa	2.90	3.68	3.28	23.7	-4.62	-24.33

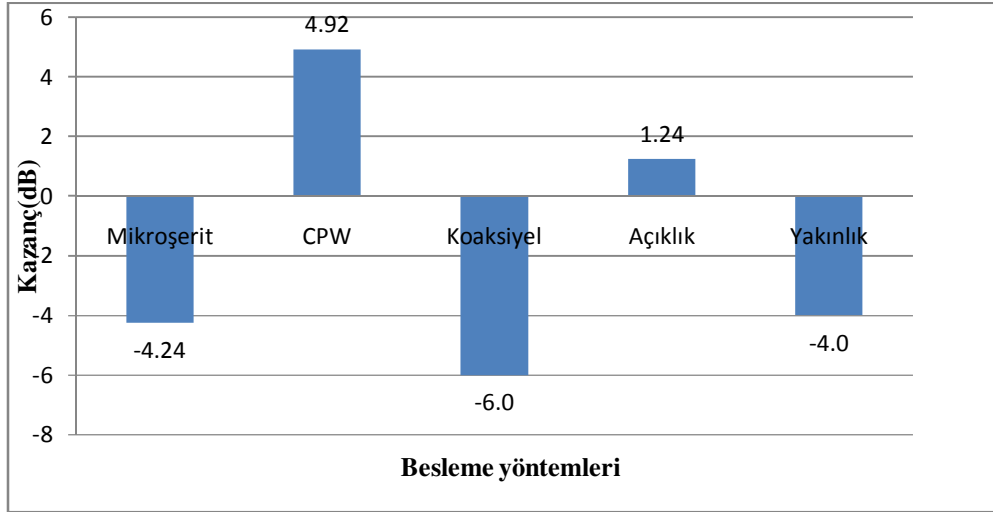
#### 4.8. Besleme Yöntemlerinin Karşılaştırılması

Bu bölümde, mikroşerit antenler için dielektrik sabiti, alt tabaka boyutları ve yama boyutları gibi parametreler sabit tutulup sadece besleme yöntemi ve beslemeyle ilgili parametreler değiştirilerek elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir. Şekil 4.20’ de besleme yöntemleri için bant genişliği karşılaştırma grafiği verilmiştir. En yüksek bant genişliği %60 ile koplanar dalga kılavuzlu (CPW) beslemeye aittir. Yakınlık bağlantılı besleme için elde edilen %37,5 ’lik bant genişliği oranı da DARPA’ın ve FCC’nin geniş bant kabul ettiği uluslararası standartlarla kıyaslandığında oldukça iyi

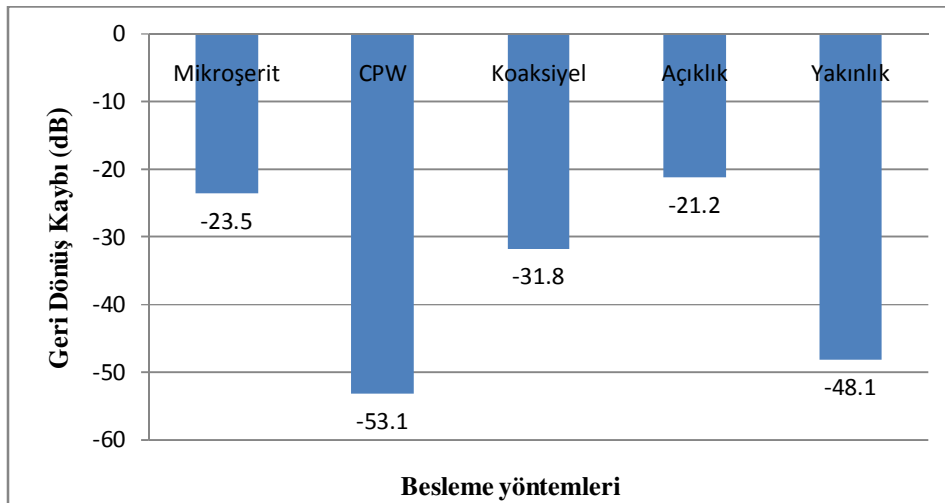


Şekil 4.20. Besleme Yöntemleri Bant Genişliği Karşılaştırması

bir sonuçtur. Bu çalışmada analizi yapılan 5 farklı besleme yönteminden dördünde uluslararası kriterlere göre geniş bant kabul edilen değerlere ulaşılmıştır. Bu kriterler altında kalan tek değer açıklık bağlantılı besleme yöntemi ile ulaşılan %13’lük bant genişliği değeridir. Ancak bu değer de geniş bant olmamasına karşın mikroşerit antenler için kabul edilebilir bir bant genişliği değeridir.



Şekil 4.21. Besleme Yöntemleri Kazanç Karşılaştırması



Şekil 4.22. Besleme Yöntemleri Geri Dönüş Kaybı Karşılaştırması

Şekil 4.21’ de antenlerin kazanç durumları karşılaştırılmıştır. Bant genişliğinde olduğu gibi, kazançlar değerlerinde de en iyi sonuca koplana dalga kılavuzlu besleme yöntemi ile ulaşılmıştır. İkinci olarak ulaşılan en iyi sonuç ise açıklık bağlantılı besleme yöntemi ile elde edilen 1.24 dB kazanç değeridir. Giriş bölümünde belirtildiği gibi mikroşerit antenler -6 dB gibi düşük bir kazançta sahiptirler.

Koaksiyel besleme yöntemi dışında kullanılan tüm besleme yöntemleri için tasarlanan antenler, -6 dB'nin üzerinde kazançlara sahiptir.

Şekil 4.22' de besleme yöntemlerinin geri dönüş kayıpları karşılaştırılmıştır. . Geri dönüş kaybı için ise tüm besleme yöntemleri ile elde edilen değerler oldukça düşük kabul edilebilir. En iyi değer yine koplanar dalga kılavuzlu besleme ile elde edilmiştir.

## BÖLÜM 5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Bu çalışmada, temel besleme teknikleri ile yeni nesil veri iletişimde kullanılabilen 3.3 GHz merkez frekanslı mikroşerit antenler tasarlamak, besleme tekniklerinin anten performansı üzerindeki etkilerini karşılaştırmak ve mikroşerit antenlerin en büyük dezavantajı olarak görülen bant genişliği değerinin bu besleme yöntemleri ile artırılıp artırılmayacağını incelemek amaçlanmıştır. Çalışma sonucunda ulaşılan sonuçlar aşağıdaki gibi özetlenebilir.

- Açıklık bağlantılı besleme hariç diğer tüm besleme teknikleri ile dünya standartları için geniş bant kabul edilen %25 bant genişliği değerinin üzerinde sonuçlar elde edilmiştir. En yüksek bant genişliği değeri koplana dalga kılavuzlu besleme tekniğiyle ulaşılan %60'dır. Bu sonuçlara göre, mikroşerit antenler için en büyük dezavantaj olarak kabul edilen bant genişliği probleminin büyük oranda aşılabileceği yorumu yapılabilir.
- Bu çalışmada en iyi değerler %60 bant genişliği ve 5 dB kazanç ile koplana dalga kılavuzlu besleme yöntemi ile elde edilmiştir. Yeni nesil haberleşme için bu besleme tekniği önerilebilir.
- Besleme noktasının değiştirilmesi, mikroşerit beslemeli antenin parametrelerinde küçük değişikliklere neden olurken, diğer besleme yöntemlerinde önemli değişikliklere sebep olmaktadır. Bu verilere göre besleme noktasının değiştirmesinin anten bant genişliği, kazanç, geri dönüş kaybı ve merkez frekansı gibi parametrelerde önemli değişikliklere neden olabileceği görülmektedir.
- Yapılan simülasyonlarda, merkez frekanstan yola çıkarak, yama boyutlarının hesaplandığı formülasyonun tam olarak doğru sonuç vermediği, ancak iletim

- hattı boyutları, konumu ve boşluk boyutları ayarlanarak, istenilen merkez frekansta anten tasarlanabildiği görülmüştür.
- Besleme hattının, yamayla birleştiği noktadan açılan yarıkların bant genişliğini iyileştirdiği görülmüştür.
- Özellikle yama, iletim hattı, boşluk boyutları gibi anten boyutlarındaki küçük değişmelerin bant genişliği, kazanç, geri dönüş kaybı ve merkez frekansta önemli değişikliklere neden olduğu gözlenmiştir. Bu nedenle mikroşerit antenler için üretim toleransının çok hassas olması gerektiği görülmüştür. Bununla birlikte antenin, çalışma ortamındaki sıcaklık ve basınç gibi dış etkenlerden etkilenme olasılığının azaltılmaya çalışılması önerilebilir.

## KAYNAKLAR

- [1] GARG, R., PRAKASH, B., INDER B., APİSAK, I., Microstrip Antenna Design Handbook, 2000-11; Artech House; Pages: 875.
- [2] SAINATI, R. A., 1996, CAD of Microstrip Antenna for Wireless Application, Attech House, London
- [3] ÇAKIR, G., Gezin İletişim sistemleri için Hüzme Yönlendirmeli Mikroşerit Dizi Anten Tasarımı, Doktora, Kocaeli Üniversitesi, Ocak 2004.
- [4] TERRY., C., I., Establishment of a Fabrication and Measurement Capability for Aperture-fed Stacked Patch Microstrip Antennas at the Air Force Institute of Technology, AFIT/GE/ENG/90D-61.
- [5] BAHRAM, M., BAHRAM, A., Dual Band Aperture Coupled Microstrip Patch Antenna Using Different Aperture Shape for Wireless LAN Application, Universiti Teknologi Malaysia, November 2009.
- [6] KESKİN, B., Bilişim sistemlerinin stratejik yönetim açısından önemi, Y. Lisans, GYTE.
- [7] BAZAN, G. A. S., Design of a Circularly Polarized Patch Antenna for Satellite Mobile Communications in I-Band, Polytechnic University of Cataluña, December 2010.
- [8] AHMAD, A. H., JAR'ALLA, B. K., Design and Simulation of Broadband Rectangular Microstrip Antenna, Eng. Tech. Vol.26, No1, 2008.
- [9] BHARGAVA, S., Aperture coupled Wide-Band Micro Strip Antenna Design, MTech, CEDT, IISc Bangalore.
- [10] ALİ, M., DOUGAL, R., YANG, G., HWANG, H.S., Wideband Circularly Polarized Microstrip Patch Antenna for Wireless LAN Applications, University of South Carolina, Swearingen Building, Columbia, SC, 29208.
- [11] ZHOU, H., FILIPOVIC, D., Wideband Patch Antenna with Differential Feed, University of Colorado at Boulder Campus, Box 425, Boulder, CO 80309-0425



- [12] AHMED, M., B., BOUHORMA, M., ELOUAAÏ, F., MAMOUNI, A., Design of New Multi Standard Patch Antenna GSM/PCS/UMTS/HIPERLAN for Mobile Cellular Phones, European Journal of Scientific Research ISSN 1450-216X Vol.32 No.2 (2009), pp.151-157.
- [13] SRIFI, M.N., MELOUI, M., ESSAAÏDI, M., Rectangular Slotted Patch Antenna for 5-6GHz Applications, Abdelmalek Essaadi University, Tetuan, Morocco.
- [14] AMBRESH, P. A., HADALGI, P. M., HUNAGUND, P. V., Compact Omni-Directional Patch Antenna for S-Band Frequency Spectra, Gulbarga University, Gulbarga-India.
- [15] NITHISOPA, K., NAKASUWAN, J., SONGTHANAPITAK, N., ANANTRASIRICHAI, N., WAKABAYASHI, T., Design CPW FedSlot Antenna for Wideband Applications, PIERS ONLINE, VOL. 3, NO. 7, 2007.
- [16] ANG, B.K., CHUNG, B.K., A Wideband E-shaped Microstrip Patch Antenna for 5–6 ghz Wireless Communications, Faculty of Engineering Multimedia University 63100 Cyberjaya, Malaysia.
- [17] JAIN, N., KHARE, A., NEMA, R., E-Shape Micro strip Patch Antenna on Different Thickness for pervasive Wireless Communication, Bhopal, India.
- [18] REDDY, C.V.V., RANA, R., Design of Linearly Polarized Rectangular Microstrip Patch Antenna Using IE3D/PSO, National Institute of Technology, Rourkela, 2009.
- [19] SAFRAN, M.I., K, AYDIN, E., Pek Geniş Bant Anten Tasarımı ve İmalatı, Atılım Üniversitesi, Ankara.
- [20] AGARWAL, K., RAO, G.P., KARTIKEYAN, M.V., THUMM, M.K., A Proximity Fed Circularly Polarized Microstrip Patch Antenna with A Cross Slot in the Ground Plane, Karlsruhe, Germany.
- [21] KIM, J.S., CHOI, W.K., CHOI, G.Y., Small Proximity Coupled Ceramic Patch Antenna for UHF RFID Tag Tountable on Metallic Objects, Daejon, 305- 700, Korea.
- [22] MISRAN, N., SHAKIB, M.N., ISLAM, M.T., YATIM, B., Design Analysis of a Slotted Microstrip Antenna for Wireless Communication, World Academy of Science, Engineering and Technology, 49, 2009.
- [23] YAZGAN, E., Mikroşerit Antenler, Hacettepe Üniv. Elektrik ve Elektronik Ankara.

- [24] TRAUT, G. R., Clad Laminates of PTFE Composites for microwave antennas, Microwave, J., vol.23, no:11, pp.47-51.
- [25] NOWICKI, T. E., Microwave substrates, presents and future, Proc. Workshop Printed Circuit Antenna Tech., New Mexico State univ., Las Cruces.
- [26] JAMES, H., Handbook of Microstrip Antennas, London.
- [27] SCHNEIDER, M., Microstrip Lines for Microwave Integrated Circuits, Bell. Syst. Tech. J., 48
- [28] BUCHANAN, W. J., 1996, Analysis of Electromagnetic Wave Propagation Using The 3D Finite Difference Time-Domain Method with Paralel Napier Univ. PHD Thesis, Edinburg.
- [29] KURNIAWAN, A., 2.3/3.3 dual band microstrip antenna design for Wimax Applications, Institute Technologi Bandung, May 2011.
- [30] YILDIRIM, A., YAĞCI, H. B., PAKER S., 2.4 GHz High Power Microstrip Patch Antenna Design and Realization, Telenetronics n.p.sh, Mbreti Zog 61, 20000 Prizren, Kosova.
- [31] <http://www.ansys.com/Products/Simulation+Technology/Electromagnetics/High-Performance+Electronic+Design/ANSYS+HFSS> (Erişim Tarihi : Mayıs 2012)

## ÖZGEÇMİŞ

Haydar KÜTÜK, 01.11.1983 de Kırşehir' de doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini İstanbul'da tamamladı. 2002 yılında Bayrampaşa Sağmalcılar Lisesinden mezun oldu. 2002 yılında başladığı İTÜ Telekomünikasyon mühendisliği bölümünü 2008 yılında bitirdi. 2009 – 2011 yılları arasında Türk Telekom' da mühendis olarak çalıştı. Bu süre içerisinde şirketin TDM, ATM ve IP-MPLS şebekelerinin yönetiminde aktif rol aldı. Ağustos 2011' de İstanbul Büyükşehir Belediyesinde çalışmaya başladı ve halen bilgi güvenliği ve network konusunda çalışmalarına devam etmektedir.