

**ANKARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**MİKRO-ŞERİT YAMA ANTENLERİN MİNYATÜRLEŞTİRİLMESİ VE
BANT GENİŞLİĞİNİN ARTTIRILMASI**

Barış ONAYLI

FİZİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**ANKARA
2018**

Her hakkı saklıdır

TEZ ONAYI

Barış ONAYLI tarafından hazırlanan “Mikro-şerit Yama Antenlerin Minyatürleştirilmesi ve Bant Genişliğinin Arttırılması” adlı tez çalışması 27/07/2018 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Mühendisliği Anabilim Dalı’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Prof. Dr. Barış AKAOĞLU
Ankara Üniversitesi Fizik Mühendisliği Anabilim Dalı

Jüri Üyeleri:

Başkan: Prof. Dr. Hamza KURT
TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi Elektrik – Elektronik Mühendisliği
Anabilim Dalı

Üye : Doç. Dr. Şinasi Barış EMRE
Ankara Üniversitesi Fizik Mühendisliği Anabilim Dalı

Üye : Prof. Dr. Barış AKAOĞLU
Ankara Üniversitesi Fizik Mühendisliği Anabilim Dalı

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Atilla YETİŞEMİYEN

Enstitü Müdürü

ETİK

Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez içindeki bütün bilgilerin doğru ve tam olduğunu, bilgilerin üretilmesi aşamasında bilimsel etiğe uygun davrandığımı, yararlandığım bütün kaynakları atıf yaparak belirttiğimi beyan ederim.

27.07.2018

B. Onaylı

Barış ONAYLI

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

MİKROŞERİT YAMA ANTENLERİN MİNYAÜRLEŞTİRİLMESİ VE BANT GENİŞLİĞİNİN ARTTIRILMASI

Barış ONAYLI

Ankara Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Fizik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Barış AKAOĞLU

Bu çalışmada, mikroşerit yama antenlerin küçültülmesi ve bant genişliğinin artırılması problemi ele alınmıştır. Minyatürleştirme ve bant genişliği artırma işlemlerinden önce mikroşerit yama anten tasarım parametreleri matematiksel formüller ile hesaplanmıştır, sonrasında minyatürleştirme ve bant genişliği artırma işlemleri CST Microwave Studio programı ortamında yürütülmüştür. Mikroşerit yama antenin boyutlarının küçültülmesi ve bant genişliğinin artırılması için toprak düzleminde kasıtlı olarak kusurlar yaratılmıştır. Ayrıca ultra geniş bantlı yama anten elde etmek için metamalzeme ve reaktif empedans yüzeyi kullanılmıştır. Mikroşerit yama anten tasarım parametrelerinin optimize edilmesi sonucunda elde edilen en verimli parametreler kullanılarak, antenin üretimi yapılmış ve sonrasında vektör ağ analizörü kullanılarak üretilen antenin laboratuvar testleri yapılmış ve S_{11} parametresi ile beraber voltaj duran dalga oranı analiz edilmiştir. Yapılan laboratuvar testleri sonucunda toprak düzlemindeki kasıtlı olarak yaratılan kusurların çalışma frekansı ve bant genişliği üzerinde önemli bir etkisinin olduğu gözlenmiştir. Ek olarak, mikroşerit yama antenden yansıyan güç ve bant genişliğinin reaktif empedans yüzey tarafından etkilendiği görülmüştür.

Haziran 2018, 73 sayfa

Anahtar Kelimeler: Anten, yama anten, mikroşerit, minyatürleştirme, bant genişliği, metamalzemeler

ABSTRACT

Master Thesis

MINIATURIZATION AND ENHANCEMENT OF THE BANDWIDTH OF MICRO-STRIP PATCH ANTENNAS

Bariş ONAYLI

Ankara University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Physics Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Bariş AKAOĞLU

In this study, the problem of the miniaturization and bandwidth enhancement of microstrip patch antennas are considered. Before the miniaturization and enhancement band width process, the dimensions of the patch antenna are calculated with using a mathematical formulas and both miniaturization and bandwidth enhancement operations are conducted in CST Microwave Studio program. In order to miniaturize the patch antenna and to increase the bandwidth, the intentionally created defects on the ground plane is used. Also, to obtain the ultrawide band patch antenna, the metamaterials and reactive impedance surface are utilized. By optimizing the design parameters of microstrip patch antenna, the manufacturing of the antenna is conducted with employing the most favorable and convenient design parameters. Furthermore, the laboratory trial tests of the antennas are performed using vector network analyzer by checking the S_{11} parameter and voltage standing wave ratio. It is found that, the intentionally created defects on the ground plane has a substantial effect on the operating frequencies and bandwidth range. Also, it is observed that reflected power and bandwidth of the microstrip patch antenna is affected by reactive impedance surfaces.

June 2018, 73 pages

Key Words: Antenna, patch antenna, microstrip, miniaturization, bandwidth, metamaterials

TEŞEKKÜR

Tamamlamıő olduğum bilimsel araştırma s¼recinde yardımını ve bilgilerini esirgemeyen, tecr¼be ve önerileriyle beni y¼nlendiren ve geliőmeme katkıda bulunan, her zaman beni destekleyen hocam, Sayın Prof. Dr. Barış AKAOĞLU'na (Ankara Üniversitesi Fizik M¼hendisliėi Anabilim Dalı), laboratuvar ortamında yapılan deneysel çalıőmama yapmış olduğu katkı ve yardımlarından t¼r¼ E. Uzay KARAKAYA'ya en içten teőekk¼rlerimi sunarım.

Barış ONAYLI
Ankara, Haziran 2018

İÇİNDEKİLER

TEZ ONAY SAYFASI

ETİK.....	i
ÖZET.....	ii
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR	iv
SİMGELER DİZİNİ	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	x
1. GİRİŞ	1
2. KURAMSAL TEMELLER VE LİTERATÜR ÖZETİ.....	2
2.1 Antenler.....	2
2.2 Anten Çeşitleri.....	3
2.2.1 Tel antenler	3
2.2.2 Açıklık antenler	5
2.2.3 Yansıtıcı antenler	6
2.2.4 Mikroşerit yama antenler.....	7
2.3 Temel Anten Parametreleri.....	7
2.3.1 Işıma diyagramı.....	7
2.3.2 Işıma güç yoğunluğu	8
2.3.3 Işıma şiddeti.....	8
2.3.4 Yönlülük.....	9
2.3.5 Verimlilik	10
2.3.6 Kazanç.....	11
2.3.7 Demet verimliliği	11
2.3.8 Bant genişliği	11
2.3.9 Polarizasyon.....	12
2.3.10 Giriş empedansı.....	14
2.3.11 Anten ışımaya verimliliği.....	16
2.3.12 Voltaj duran dalga oranı	16
2.3.13 Demet genişliği.....	16
2.3.14 Geri dönüş kaybı	17
2.4 Mikroşerit Yama Antenler	17

2.4.1 Mikroşerit antenlerin besleme çeşitleri.....	20
2.4.2 Mikroşerit iletim hattı ile beslenen dikdörtgen mikro-şerit anten tasarımı	21
2.5 Metamalzemeler	24
2.5.1 Metamalzemelerin elektomanyetik özellikleri.....	26
2.6 Reaktif Empedans Yüzeyi	31
2.7 Literatür Özeti.....	32
2.7.1 Mikroşerit yama antenlerin minyatürleştirilmesi	33
2.7.2 Mikroşerit yama antenlerin bant genişliğinin artırılması.....	40
3. MİKROŞERİT ANTEN TASARIMLARI, SİMÜLASYON VE ÖLÇÜMLERİ.....	46
3.1 Simülasyon Ortamı	46
3.2 Mikroşerit Yama Anten Tasarımları, Simülasyonları ve Ölçümleri	46
3.2.1 Tasarım ve simülasyonlar	46
3.2.2 Üretilen antenlerin ölçümleri ve simülasyon sonuçları ile karşılaştırılması ..	62
4. SONUÇLAR	68
KAYNAKLAR	70
ÖZGEÇMİŞ.....	73

SİMGELER DİZİNİ

a_y, a_x, a_z	İkel öteleme vektörleri
C	Kapasitans
c	Işık hızı
D	Yönlülük
D_0	Maksimum yönlülük
E	Anlık elektrik alan yoğunluğu
\vec{E}	Elektrik alan
E_x	Elektrik alanın x-bileşeni
E_y	Elektrik alanın y-bileşeni
ϵ_0	Toplam verimlilik
ϵ_c	İletim verimliliği
ϵ_d	Dielektrik verimliliği
ϵ_r	Yansıma verimliliği
F	Doldurma faktörü
f_c	Merkez frekans
f_{max}	Maksimum frekans
f_{min}	Minimum frekans
G	Kazanç
H	Anlık manyetik alan yoğunluğu
\vec{H}	Manyetik alan
\vec{k}	Dalga vektörü
L	İndüktans
\hat{n}	Birim vektör
n	Kırıcılık indisi
P	Anlık toplam güç
P_{in}	Gelen güç
P_{rad}	Toplam yayılan ışımaya gücü
P_{ref}	Yansıyan güç
R_A	Terminallerindeki anten rezistansı

R_g	Üreteç empedansının rezistansı (ohm)
R_L	Anten direnç kaybı
R_{in}	Giriş empedansı
R_r	Anten ışıma rezistansı
\vec{S}	Poynting vektör
U	İşıma şiddeti
U_0	İzotropik kaynağın ışıma şiddeti
U_{max}	Maksimum ışıma şiddeti
V_{max}	Maksimum gerilim
V_{min}	Minimum gerilim
ν_p	Plazma frekansı
W	Anlık Poynting vektör
W_{rad}	İşıma yoğunluğu
X_A	Terminallerindeki anten reaktansı
X_c	Kapazitör empedansı
X_g	Üreteç reaktansı
X_L	Bobin empedansı
Z_A	Terminallerindeki anten empedansı
Γ	Antenin terminal girişindeki voltaj yansımaya katsayısı
ϵ_0	Serbest uzay elektiriksel geçirgenliği
ϵ_r	Dielektrik sabiti
ϵ_{reff}	Etkin dielektrik sabiti
η	Yüzey empedansı
μ_0	Serbest uzay manyetik geçirgenliği
λ_{hava}	İşığın hava ortamında dalga boyu
ω	Açısal frekans
ω_{LC}	Açısal rezonans frekansı

Kısaltmalar

AMC	Yapay manyetik toprak düzlemi
BW	Bant genişliği
CW	Saat yönü
CCW	Saat yönü tersi
CSSR	Bütünleyici ayırık halka rezonatör
CLS	Kapasite yüklenmiş şerit
DGS	Kusurlu toprak yapısı
FNBW	Sıfır demet genişliğini
FIT	Sonlu integrasyon tekniği
GPS	Küresel yer belirleme sistemi
HIS	Yüksek empedans yüzeyi
HPBW	Yarı güç demet genişliği
IEEE	Elektrik ve Elektronik Mühendisleri Enstitüsü
JC	Jerusalem Cross
LHM	Solak malzeme
MWS	CST Microwave Studio
PEC	Mükemmel elektriksel iletken
RL	Geri dönüş kaybı
RFID	Radio frekanslı tanımlama
RHM	Sağlak Malzeme
RIS	Reaktif empedans yüzey
SRR	Ayrık halka rezonatör
VSWR	Voltaj duran dalga oranı
TDB	Toprak düzlemi bozulmuş

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1 Yaygın olarak kullanılan anten çeşitleri	2
Şekil 2.2 Dipol anten.....	3
Şekil 2.3 Çift konik dipol anten	4
Şekil 2.4 Papyon anten.....	4
Şekil 2.5 Helis anten	4
Şekil 2.6 Döngü anten.....	5
Şekil 2.7 Boynuz anten ve dalga klavuzu	5
Şekil 2.8 Düzlem yansıtıcı konsepti ve köşe yansıtıcı anten	6
Şekil 2.9 Parabolik anten.....	6
Şekil 2.10 (a) 3 boyutta ışınma diyagramı, (b) 2 boyutta ışınma diyagramı (Balanis 2005)	7
Şekil 2.11 Antende oluşan yansıma, iletim ve kayıplar (Balanis 2005)	10
Şekil 2.12 -10 dB bant genişliği (Fung, 2011).....	12
Şekil 2.13 Doğrusal, dairesel ve eliptik polarizasyonların elektrik alan yönelimleri	13
Şekil 2.14 Verici durumundaki bir anten, (b) Thevenin eşdeğer devresi, (c) Norton eşdeğer devresi (Balanis 2005).....	14
Şekil 2.15 Alıcı durumundaki bir anten, (b) Thevenin eşdeğer devresi, (c) Norton eşdeğer devresi (Balanis 2005).....	15
Şekil 2.16 2-boyutlu demet genişliği deseni (Balanis 2005)	17
Şekil 2.17 Dikdörtgen mikroşerit anten	18
Şekil 2.18 Farklı şekillerde mikro-şerit yamalar (Balanis 2005).....	19
Şekil 2.19 Yama antenin voltaj, akım ve empedans dağılımı.....	19
Şekil 2.20 İçeriden mikroşerit beslemeli yama antenin elektriksel eşdevresi.....	20
Şekil 2.21 Mikroşerit iletim hattı ile beslenen yama anten.....	20
Şekil 2.22 Koaksiyel kablo ile beslenen mikroşerit anten (Fung 2011)	21
Şekil 2.23 Mikroşerit yamanın tasarım parametreleri.....	21
Şekil 2.24 Dikdörtgen yamanın etkin ve fizikler uzunlukları (Balanis 2005)	22
Şekil 2.25 Negatif elektriksel ve manyetik geçirgenliğe sahip yapılar.....	25
Şekil 2.26 Görünmezlik pelerini uygulaması ve ışın malzeme içinde ilerleyişi	25
Şekil 2.27 Pozitif ve negatif geçirgenlikler için H , E , S ve k vektörlerinin yönelimleri (Markos ve Soukoulis 2008).....	26
Şekil 2.28 RHM ve LHM ara düzleminde yansıma ve kırılma (Markos ve Soukoulis 2008).....	27

Şekil 2.29 Negatif ve pozitif kırıcılık indisi görsel örneği.....	27
Şekil 2.30 Genliği azalan elektromanyetik bir dalganın $\varepsilon = -1$ ve $\mu = -1$ değerlerine sahip solak bir katmandan geçişi (Markos ve Soukoulis 2008).....	28
Şekil 2.31 Periyodik ince metal teller (Markos ve Soukoulis 2008).....	29
Şekil 2.32 Basit bir ayırık halka rezonatörü ve eşdeğer elektrik devresi (Markos ve Soukoulis 2008).....	30
Şekil 2.33 Reaktif empedans yüzey (Mosallaei ve Sarabandi 2004).....	31
Şekil 2.34 önerilen yapının üstten görünümü, (b) önerilen yapının yandan görünümü (Hao vd. 2011)	33
Şekil 2.35 Yama antenin yapısı (solda), yapıya ait S11 grafiği (sağda) (Oh ve Sarabandi 2013).....	34
Şekil 2.36 Yama dizaynı ve S11 parametresi grafiği (Hanae vd. 2014).....	34
Şekil 2.37 DGS yapısı uygulanmış anten ve S11 parametresi grafiği (Hanae vd. 2014)	35
Şekil 2.38 (a) Oluk açılarak ve kuyruk eklenerek minyatürleştirilmiş dairesel polarizasyona sahip mikro-şerit anten önden görünüm, (b) Antenin Yan kesit görünümü (So 2015).....	35
Şekil 2.39 (a) RIS yapıları bir mikro-şerit yama anten, (b) Ara katmandaki RIS yapısı (Mosallaei ve Sarabandi 2004)	36
Şekil 2.40 (a) RIS yapısı olmadan sıradan antenin, (b) RIS yapısı eklenmiş antenin S11 parametresi (Mosallaei ve Sarabandi 2004)	36
Şekil 2.41 Normal yama anten ile RIS yapıları yama anten arasındaki bant genişliği ilişkisi (Mosallaei ve Sarabandi 2004)	37
Şekil 2.42 (a) Anten tasarımlarının üstten görünüm (b) Rezonans frekansları (Chen vd. 2008)	37
Şekil 2.43 Kusurlu toprak düzlemi (Küçüköner 2016)	38
Şekil 2.44 Tamamlayıcı ayırık rezonatör halka yapıları eklenmiş yama anten (Luna vd. 2013)	39
Şekil 2.45 CSRR eklenmiş ve eklenmemiş dikdörtgen yama antenin geri dönüş kaybı (Luna vd. 2013)	39
Şekil 2.46 JC yapısı (Monavar ve Komjani 2011).....	40
Şekil 2.47 AMC üzerine yerleştirilmiş yama anten (Monavar ve Komjani 2011)	40
Şekil 2.48 AMC yapısı olan ve olmayan antenlerin geri dönüş kaybı ve kazanç grafikleri (Monavar ve Komjani 2011)	41
Şekil 2.49 Simetrik çift yarık yama anten (Wong ve Hsu 2001).....	41
Şekil 2.50 Çift yarık anten tasarımının RL grafiği (Wong ve Hsu 2001).....	42
Şekil 2.51 Parazitik yama anten ön ve yan görünümü (Sung 2012)	42

Şekil 2.52 RL parametresinin simülasyon ve ölçüm sonuçları (Sung 2012).....	43
Şekil 2.53 SRR ve CLS yapılarında oluşan birim hücre (Majid vd. 2009).....	43
Şekil 2.54 Metamalzeme tabanlı anten tasarımı ön ve arka görünümü (Majid vd. 2009).....	44
Şekil 2.55 ‘‘T’’ ve ‘‘C’’ şeklinde oyuk ve ‘‘T’’ şeklinde parazitik eleman bulunun anten tasarımı (Ojaroudi ve Ojaroudi 2013).....	44
Şekil 2.56 Yama kısma açılan oyukların ve parazitik elemanın S11 parametresine etkisi (Ojaroudi ve Ojaroudi 2013).....	45
Şekil 3.2 Dikdörtgen mikroşerit yama antenin ön ve arka görüntüsü.....	47
Şekil 3.3 Dikdörtgen mikroşerit yama antenin S ₁₁ parametresi.....	48
Şekil 3.4 Antenin voltaj duran dalga oranı	48
Şekil 3.5 Klasik antenin frekansa bağlı yönlülüğü.....	49
Şekil 3.6 Klasik antenin frekansa bağlı kazancı.....	49
Şekil 3.7 Normal dikdörtgen yama antenin 5 GHz’de ışınma kazanç grafiğinin 3-boyutta ve polar gösterimleri	50
Şekil 3.8 Normal Dikdörtgen yama antenini toprak ve yama düzleminde oluşan yüzey akımları	50
Şekil 3.9 Toprak düzlemi bozulmuş (TDB) mikroşerit antenin ön ve arka görüntüsü ...	51
Şekil 3.10 TDB antenin toprak katmanı ve yama katmanının yüzey akımları	51
Şekil 3.11 Klasik anten ile TDB antenin S ₁₁ parametresi kıyaslaması	52
Şekil 3.12 Klasik anten ile TDB antenin voltaj duran dalga oranları	52
Şekil 3.13 Klasik anten ile TBD antenin kazanç kıyaslaması.....	53
Şekil 3.14 Klasik anten ile TBD antenin yönlülük kıyaslaması.....	53
Şekil 3.15 TDB yama antenin 3.66 GHz’de ışınma kazanç grafiğinin 3-boyutta ve polar gösterimleri.....	54
Şekil 3.16 Metamalzeme birim hücresi.....	55
Şekil 3.17 Metamalzeme yama anten önden görüntüsü.....	55
Şekil 3.18 Metamalzeme antenin toprak düzlemi	56
Şekil 3.19 Önerilen anten yapısının tek meta yama, tek RIS ve normal antenin S ₁₁ parametreleri.....	56
Şekil 3.20 UWB antenin toprak ve yama kısımlarında oluşan yüzey akımları	57
Şekil 3.21 Normal mikroşerit yama anten önden ve arkadan görüntüsü	58
Şekil 3.22 Önerilen anten yapısının tek meta yama, tek RIS ve normal antenin kazançları.....	58
Şekil 3.23 Önerilen anten yapısının tek meta yama, tek RIS ve normal antenin yönlülük parametreleri.....	59

Şekil 3.24 Önerilen anten yapısının tek meta yama, tek RIS ve normal antenin VSWR parametreleri	59
Şekil 3.25 UWB antenin 2 GHz’de ışıma kazanç grafiğinin 3-boyutta ve polar gösterimleri.....	60
Şekil 3.26 UWB antenin 2.5 GHz’de ışıma kazanç grafiğinin 3-boyutta ve polar gösterimleri.....	60
Şekil 3.27 UWB antenin 3 GHz’de ışıma kazanç grafiğinin 3-boyutta ve polar gösterimleri.....	61
Şekil 3.28 UWB antenin 3.5 GHz’de ışıma kazanç grafiğinin 3-boyutta ve polar gösterimleri.....	61
Şekil 3.29 UWB antenin 4 GHz’de ışıma kazanç grafiğinin 3-boyutta ve polar gösterimleri.....	62
Şekil 3.30 Ölçümden fotoğraflar	62
Şekil 3.31 Üretilen dikdörtgen yama anten.....	63
Şekil 3.32 Normal mikroşerit yama antenin ölçüm ve S_{11} değerleri.....	63
Şekil 3.33 Normal antenin VSWR ölçüm ve simülasyon sonuçları	64
Şekil 3.34 Üretilen TDB anten.....	64
Şekil 3.35 TDB antenin S_{11} ölçüm ve simülasyon değerleri.....	65
Şekil 3.36 TDB antenin VSWR simülasyon ve ölçüm sonuçları	65
Şekil 3.37 Üretilen UWB anten	66
Şekil 3.38 UWB antenin S_{11} simülasyon ve ölçüm değerleri	66
Şekil 3.39 UWB antenin simülasyon ve ölçüm VSWR değerleri.....	67

1. GİRİŞ

Antenler, Heinrich Rudolf Hertz'in 1887 yılında radyo dalgalarını üretebilen ve algılayabilen bir icadı ile başlayan ve 21. Yüzyılda gerek askeri gerekse sivil yaşamın çok önemli ve vazgeçilemez bir parçası haline gelen, günümüzde de ilgi çeken ve üzerinde çalışılan bir konudur (Huang ve Boyle 2008).

Mikro-şerit yama antenler 1950'lerde teorik olarak ortaya konulmasına rağmen iyi dielektrik alt taş malzemeleri bulunmaması sebebiyle ilk pratik yama anten 1970'lerin başında Howell tarafından ortaya konulmuştur (Garg vd. 2001). Düşük profile sahip olması, düşük üretim maliyeti, elektronik devrelere kolay entegrasyonu, birden çok çalışma bandına sahip olabilmesi, dairesel polarizasyonda çalışabilmesi gibi avantajları sayesinde günümüzde cep telefonları, kablosuz ağ bağdaştırıcıları, GPS ve uydu iletişimi gibi uygulamalarda çok büyük bir öneme sahip olmuştur (Balanis 2005). Ancak bu antenlerin dar bant genişliği, düşük verimli olması ve günümüzdeki uygulama alanlarına göre görece olarak boyutlarının yeterince küçük olamaması gibi dezavantajları vardır (Bhunia 2013). Bu dezavantajların ortadan kaldırabilmesi için literatürde birçok çalışma yapılmıştır ve günümüzde de bu çalışmalar büyük bir ilgi ile devam etmektedir.

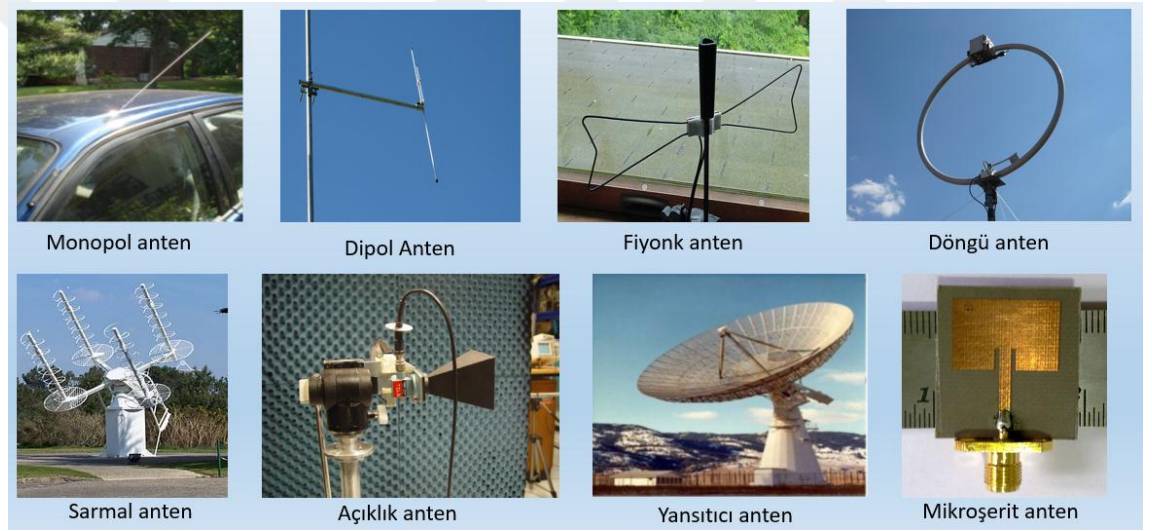
Teknolojinin gelişmesi ile cihazların boyutları küçülmeye başlamıştır. Bu durumla beraber anten boylarının da küçülmesi gerekmektedir. Özellikle savunma ve harp sistemlerinde daha küçük daha hafif bileşenler kullanılması gerekmektedir. Ayrıca bazı uygulamalar için bant genişliğinin yüksek olması gerekmektedir. Bu sebeplerden dolayı mikroşerit yama antenlerin küçültülmesi ve bant genişliğinin artırılması konusunda çalışmalar yapılmaktadır.

Bu çalışmada, tek katmanlı mikroşerit yama antenlerin boyutlarının küçültülmesi ve bant genişliğinin artırılması için literatür taranarak gerekli bilgi ve tecrübeler elde edilmiştir. CST Microwave Studio programı kullanılarak tasarım ve simülasyonlar yapılmıştır. Bu yapılan çalışmaların sonuçları incelendikten sonra uygun prototiplerin üretimi yapıp ölçümleri alınarak simülasyon sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

2. KURAMSAL TEMELLER VE LİTERATÜR ÖZETİ

2.1 Antenler

Antenler elektromanyetik dalgaları yaymak ya da algılamak için dizayn edilen ara birimlerdir (Elliot 1983). Antenlerin birçok türü vardır, çok farklı şekil ve boyutlarda olabilirler. En yaygın türleri tel antenler, açıklık antenler, yansıtıcı antenler ve mikroşerit antenlerdir. Her anten tipinin farklı avantaj ve dezavantajları vardır. (Fung 2011). Şekil 2.1’de sıkça görülen anten tiplerine örnek verilmiştir.



Şekil 2.1 Yaygın olarak kullanılan anten çeşitleri

Günümüzün vazgeçilmezi olan ve kablosuz iletişimi sağlayan antenlerin tarihi James Clarke Maxwell’e ve onun ortaya koymuş olduğu elektrik ve manyetizma teorilerine dayanmaktadır (Kraus 1988). Maxwell, ışığın bir elektromanyetik dalga olduğu, elektromanyetik dalgalar ve ışığın aynı hızda ilerlediğini göstermiştir. İlk kablosuz elektromanyetik sistemi Heinrich Rudolph Hertz ortaya koymuştur. Laboratuvarında yapmış olduğu bir çalışmada radyo dalgalarını üretip yakın bir mesafeden algılamıştır. Guglielmo Marconi ise sinyalleri uzak mesafelere göndermeyi 1901 yılında başarmıştır. Marconi’den sonra tel antenler, elektromanyetik dalga yaymak için kullanılan elemanlarının merkezine yerleşmiştir. Sonrasında İkinci Dünya Savaşı ile birlikte

modern anten teknolojilerin ortaya çıkmasıyla açıklık anten ve dalga klavuzları, konik antenler, yansıtıcı antenler gibi yeni ışınma elemanları ortaya çıkmıştır (Balanis 2005).

2.2 Anten Çeşitleri

2.2.1 Tel antenler

İletken tellerden yapılan bu antenler birçok konfigürasyonda şekillendirilebilirler. En çok bilinen tel anten çeşitleri dipol, döngü ve helis, papyon ve çift konik antenlerdir. Bu antenleri günlük yaşamda arabalarda, radyolarda ve binaların tepelerinde alıcı veya verici olarak sıklıkla görmek mümkündür. (Fung 2011).

Dipol, küçük bir mesafede bir çift eşit karşıt elektrik yükü ya da karşıt işaretlerin manyetik kutbu şeklinde tanımlanmaktadır. Basit bir dipol antenin boyu $\lambda/2$ ve katları şeklindedir.



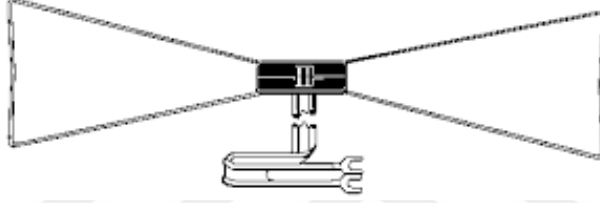
Şekil 2.2 Dipol anten

Çift konik dipol antenler, iletken tellerden konik şekilde iki simetrik yapı oluşturularak elde edilir. Geniş çalışma frekansı aralığına sahiptirler (Fung 2011).



Şekil 2.3 Çift konik dipol anten

Papyon dipol antenler de tel anten sınıfına girer. Diğer dipol antenler gibi çok yönlü ışınım diyagramına ve geniş banda sahiptirler.



Şekil 2.4 Papyon anten

Helis antenler, helis şeklinde bir iletken tel, anteni destekleyecek merkezde bir yapı ve toprak düzleminde oluşurlar. Bu sebeple helis antenler diğer tel antenlere göre görece olarak daha ağırdır. Eksen mod ve normal mod olmak üzere iki farklı modu vardır (Fung 2011).



Şekil 2.5 Helis anten

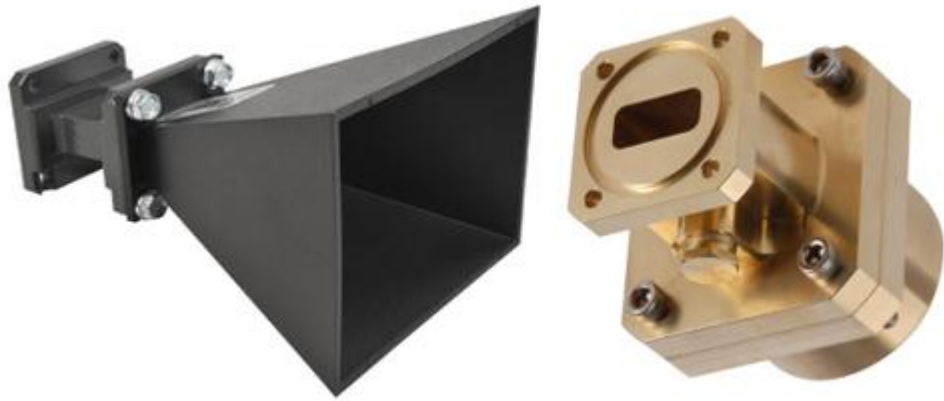
Döngü antenler kare, dikdörtgen, çember ve daha farklı şekillerde olabilirler. Elektriksel küçük ve elektriksel büyük olmak üzere iki çeşidi vardır. Elektriksel küçük helis antenlerin döngü boyu $\lambda/10$ 'dan daha küçüktür. Elektriksel büyük helis antenlerin ise döngü boyu yaklaşık λ kadar olur (Fung 2011).



Şekil 2.6 Döngü anten

2.2.2 Açıklık antenler

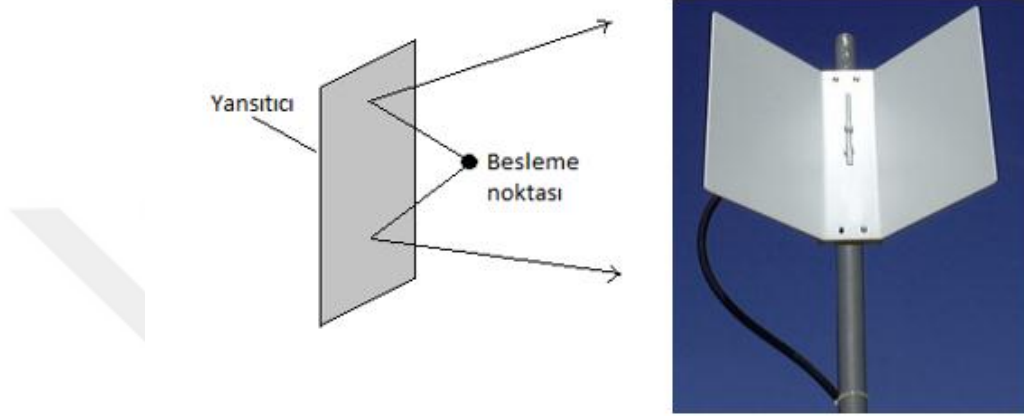
Elektromanyetik dalgaları iletmek ya da almak için yapılarında açıklık bulunduran antenlerdir. Birçok şekilde tasarlanabilirler, ancak en yaygın kullanılan türleri dalga klavuzları ve boynuz antenlerdir (Fung 2011).



Şekil 2.7 Boynuz anten ve dalga klavuzu

2.2.3 Yansıtıcı antenler

Yansıtıcı antenler elektromanyetik dalgaları yeniden yönlendirerek belli bir doğrultuda tekrar odaklarlar. Genellikle uzak mesafe haberleşme için kullanılırlar. En yaygın çeşitleri düzlem yansıtıcı, köşe yansıtıcı ve parabolik yansıtıcılardır (Fung 2011).



Şekil 2.8 Düzlem yansıtıcı konsepti ve köşe yansıtıcı anten

Yansıtıcı antenlerin en çok görülen tipi parabolik yansıtıcı antenler genellikle TV yayını ve uydu haberleşmesi için kullanılmaktadır. Bu antenler elektromanyetik dalgaları odaklayarak ışın demeti haline getirir.



Şekil 2.9 Parabolik anten

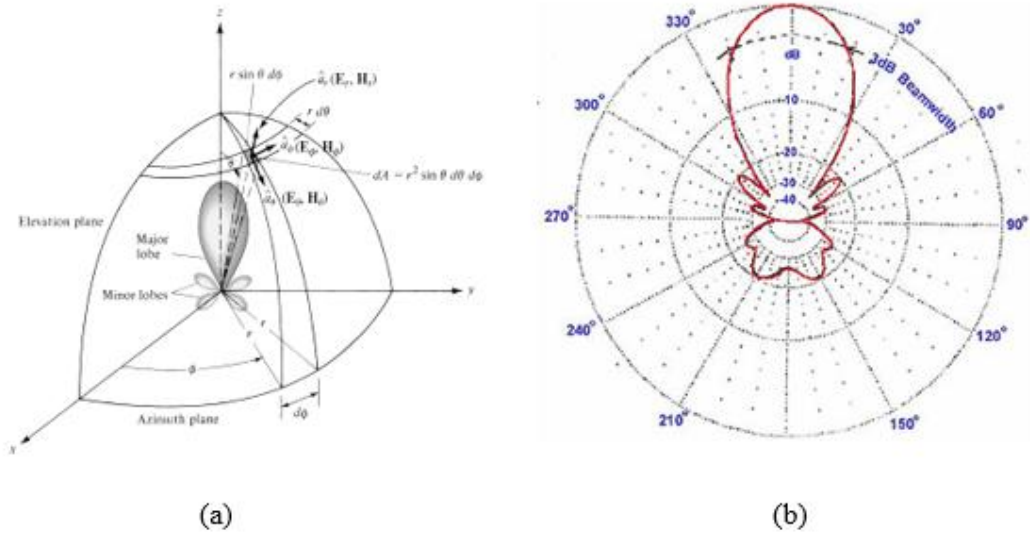
2.2.4 Mikroşerit yama antenler

Mikroşerit antenler ince metalik iletken ve ona bağılı topraklanmış dielektrik alt taş içeren antenler olarak tanımlanmaktadır. Detaylı olarak Bölüm 2.4’de anlatılmıştır.

2.3 Temel Anten Parametreleri

2.3.1 Işıma diyagramı

Işıma diyagramı ya da anten diyagramı, antenin ışımaya özelliklerinin grafiksel veya matematiksel fonksiyon olarak uzaysal koordinatlarda tanımlanmasıdır. Genellikle ışımaya diyagramı, uzak alan bölgesinde belirlenir. Işıma özellikleri, yayılan enerjinin 2 veya 3 boyutlu uzaysal dağılımını, gözlemin yapılacağı sabit bir yarıçap boyunca ele alır. Şekil 2.10’da sırasıyla 3 boyutta ve 2 boyutta ışımaya diyagramları verilmiştir (Balanis 2005).



Şekil 2.10 (a) 3 boyutta ışımaya diyagramı, (b) 2 boyutta ışımaya diyagramı (Balanis 2005)

2.3.2 Işıma güç yoğunluğu

Güç ve enerji, elektromanyetik alanla ilişkilidirler. Elektromanyetik dalga bir anlık Poynting vektörüdür ve anlık Poynting vektörü denklem 2.1 tanımlanmıştır.

$$\vec{S} = \vec{E} \times \vec{H} \quad (2.1)$$

\vec{S} = anlık Poynting vektör (W/m²)

\vec{E} = anlık elektrik alan yoğunluğu (V/m)

\vec{H} = anlık manyetik alan yoğunluğu (A/m)

Poynting vektörü bir elektromanyetik alanın enerji akısını tanımlamaktadır ve bir güç yoğunluğu olduğundan kapalı bir yüzeyden geçen güç Poynting vektörünün normal bileşenlerin bütün bir yüzey üzerinden integrali ile elde edilir (Balanis 2005).

$$P = \oint \vec{S} \cdot d\vec{s} = \oint \vec{S} \cdot \hat{n} da \quad (2.2)$$

P = anlık toplam güç (W)

\hat{n} = yüzeye dik birim vektör

da = kapalı yüzeyin sonsuz küçük alanı (m²)

2.3.3 Işıma şiddeti

Belirli bir yöndeki ışıma şiddeti, her birim katı açıda antenden yayılan güç şeklinde tanımlanır. Işıma şiddeti uzak alan parametresidir (Balanis 2005).

$$U = r^2 W_{rad} \quad (2.3)$$

U = ışıma şiddeti (W/birim katı açı)

W_{rad} = ışımaya yoğunluğu (W/m²)

r = uzaklık

2.3.4 Yönlülük

Antenin belirlenen bir doğrultudaki ışımaya yoğunluğunun, bütün doğrultulardaki ışımaya yoğunluğuna oranına yönlülük denir (Balanis 2005).

$$D = \frac{U}{U_0} = \frac{4\pi U_{max}}{P_{rad}} \quad (2.4)$$

D = yönlülük (birimsiz)

D_0 = maksimum yönlülük (birimsiz)

U = ışımaya şiddeti (W/birim katı açısı)

U_{max} = maksimum ışımaya şiddeti (W/birim katı açısı)

U_0 = izotropik kaynağın ışımaya şiddeti (W/birim katı açısı)

P_{rad} = toplam yayılan ışımaya gücü (W)

Küresel koordinatlar için ise aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$$D_\theta = \frac{4\pi U_\theta}{(P_{rad})_\theta + (P_{rad})_\phi} \quad (2.5)$$

$$D_\phi = \frac{4\pi U_\phi}{(P_{rad})_\theta + (P_{rad})_\phi}$$

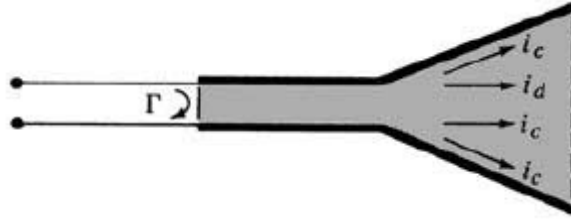
(2.6)

D_θ ve D_ϕ 'nin toplamı toplam maksimum yönlülüğü vermektedir.

$$D_0 = D_\theta + D_\phi \quad (2.7)$$

2.3.5 Verimlilik

Antenle ilişkili birçok verimlilik mevcuttur. Toplam anten verimliliği e_0 için giriş terminalleri ve yapının içindeki kayıplar hesaba katılmalıdırlar (Balanis 2005). Şekil 2.11’de anten terminallerinde ki yansıma ve verimlilik parametreleri gösterilmiştir.



Şekil 2.11 Antende oluşan yansıma, iletim ve kayıplar (Balanis 2005)

$$e_0 = e_r e_c e_d \quad (2.8)$$

e_0 = toplam verimlilik (birimsiz)

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

e_c = iletim verimliliği (birimsiz)

e_d = dielektrik verimliliği (birimsiz)

Γ = antenin terminal girişindeki voltaj yansıma katsayısı [$\Gamma = (Z_{in} - Z_0)/(Z_{in} + Z_0)$ burada Z_{in} = anten giriş empedansı, Z_0 = iletim hattının karakteristik empedansı]

Genellikle e_c ve e_r 'in hesaplanması zordur, ama deneysel olarak belirlenebilir. Ölçümlerde birbirlerinden ayırmaları bile toplam verimlilik ifadesini denklem 2.9’da görüldüğü gibi yazmak daha uygun ve kullanışlıdır (Balanis 2005).

$$e_0 = e_r e_{cd} = e_{cd}(1 - |\Gamma|^2) \quad (2.9)$$

$$e_{cd} = e_c e_d = \text{Anten ışıma verimliliği} \quad (2.10)$$

2.3.6 Kazanç

Bir antenin kazancı antenin belirli bir yöndeki ışınım şiddetinin, diğer tüm yönlerden alınan ışınım yoğunluğunun ortalamasına oranıdır. Antenin kazancı yönlülük ile yakından alakalı olmasına rağmen, verimliliği de yönlülük yeteneği kadar hesaba katılır. (Balanis 2005).

$$G = 4\pi \frac{U(\theta, \Phi)}{P_{in}} \quad (2.11)$$

Toplam yapılan ışınım ve toplam giriş gücü ile arasındaki ilişki denklem 2.12'deki gibidir.

$$P_{rad} = e_{cd} P_{in} \quad (2.12)$$

IEEE standartlarına göre kazanç empedans ve polarizasyon uyumsuzluklarından kaynaklanan kayıpları kapsamaz.

2.3.7 Demet verimliliği

İletimin ve alımın bir diğer niteliği de demet verimliliğidir. Bir antenin z-yönü boyunca oluşan ana lobu için demet verimliliği aşağıdaki gibidir (Balanis 2005).

$$BE = \frac{\int_0^{2\pi} \int_0^{\theta_1} U(\theta, \Phi) \sin\theta \, d\theta \, d\Phi}{\int_0^{2\pi} \int_0^{\pi} U(\theta, \Phi) \sin\theta \, d\theta \, d\Phi} \quad (2.13)$$

2.3.8 Bant genişliği

Bir antenin bant genişliği, performanslı çalıştığı frekans aralığı olarak tanımlanır (Balanis 2005). Anten performansında genellikle -10 dB bant genişliği ele alınır. Şekil

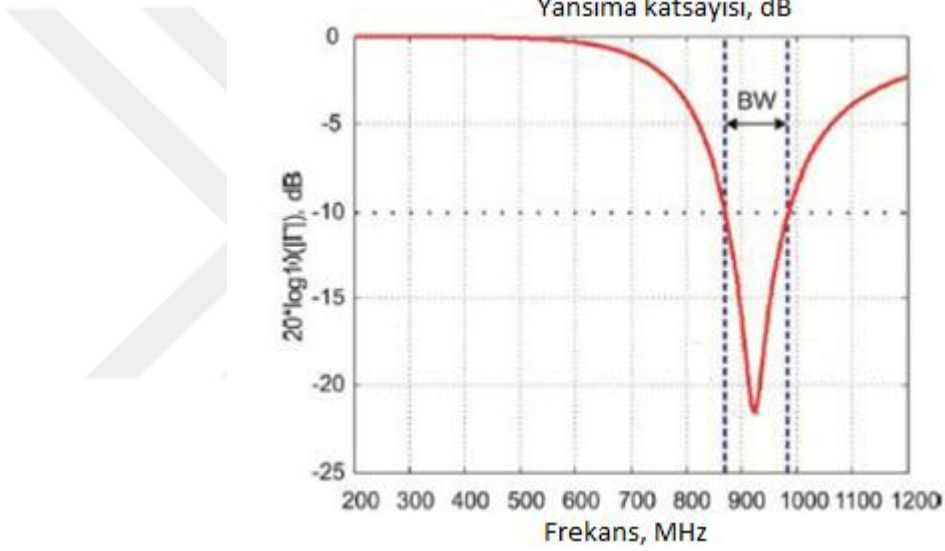
2.12'de - 10 desibel bant genişliği grafiği gösterilmiştir. Bant genişliği yüzdesel şekilde ifade edilir.

$$BW = \frac{f_{max} - f_{min}}{f_c} \times 100 \quad (2.14)$$

f_{max} = Maksimum frekans

f_{min} = Minimum frekans

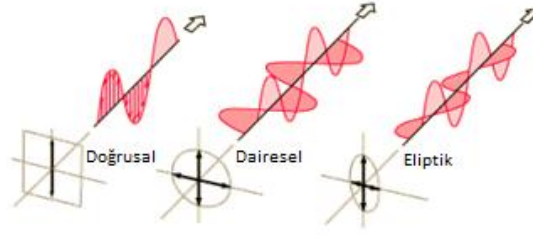
f_c = Merkez frekans



Şekil 2.12 -10 dB bant genişliği (Fung, 2011)

2.3.9 Polarizasyon

Bir elektromanyetik dalganın elektrik alan bileşeninin vektörünün doğrultusuna polarizasyon denir. Doğrusal, dairesel ve eliptik polarizasyon çeşitleridir. Verimli bir iletim için verici ve alıcının aynı polarizasyonda olması gereklidir ve antenlerin önemli parametrelerindedir (Balanis 2005).



Şekil 2.13 Doğrusal, dairesel ve eliptik polarizasyonların elektrik alan yönelimleri

2.3.9.1 Doğrusal polarizasyon

Bir dalğanın doğrusal olması için iki bileşenin arasındaki faz farkı denklem 2.15'deki gibi olmak zorundadır (Balanis 2005).

$$\Delta\Phi = \Phi_y - \Phi_x = n\pi, \quad n = 0, 1, 2, 3 \dots \quad (2.15)$$

2.3.9.2 Dairesel polarizasyon

İki bileşenin aynı büyüklükte ve aralarındaki faz farkının $\pi/2$ 'nin tek katları şeklinde olduğunda dairesel polarizasyon elde edilir. Buradaki CW ve CCW sırasıyla saat yönü (clockwise) ve ters saat yönüdür (counter clockwise) (Balanis 2005).

$$|E_x| = |E_y| \quad (2.16)$$

$$\Delta\Phi = \Phi_y - \Phi_x = \begin{cases} +\left(\frac{1}{2} + 2n\right)\pi, & n = 1, 2, 3, \dots, \text{ CW} \\ -\left(\frac{1}{2} + 2n\right)\pi, & n = 1, 2, 3, \dots, \text{ CCW} \end{cases} \quad (2.17)$$

2.3.9.3 Eliptik polarizasyon

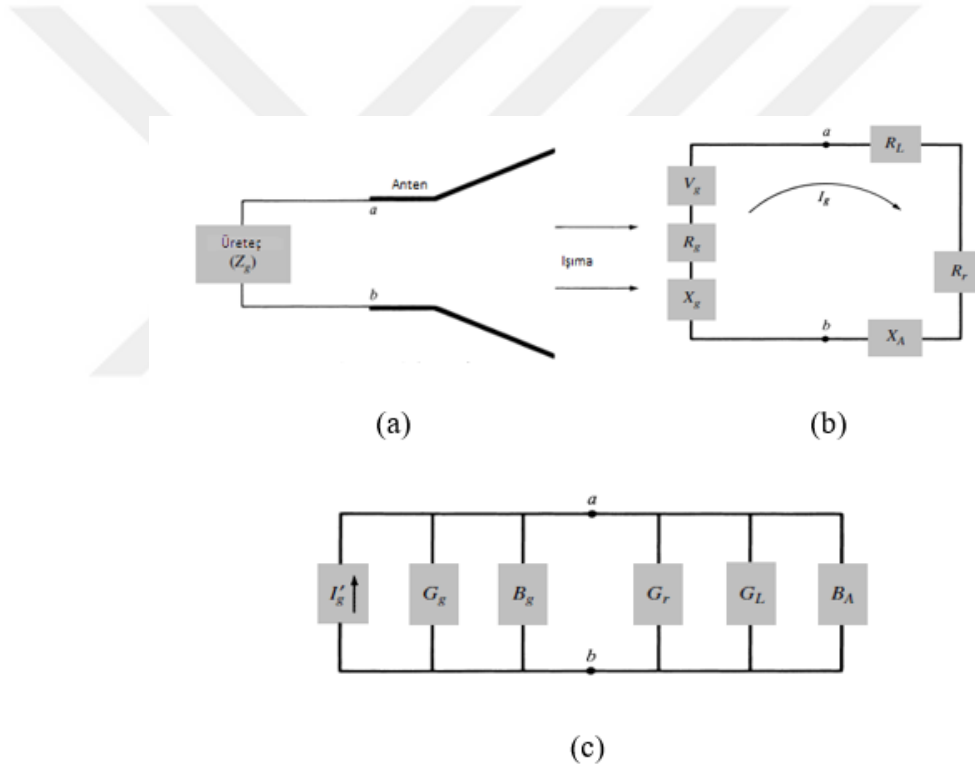
Eliptik polarizasyon ancak bileşenlerinin büyüklükleri aynı olmamak ve faz farkları $\pi/2$ 'nin tek katları şeklinde olması koşulu ile oluşur (Balanis 2005).

$$|E_x| \neq |E_y| \quad (2.18)$$

$$\Delta\Phi = \Phi_y - \Phi_x = \begin{cases} +\left(\frac{1}{2} + 2n\right)\pi, & n = 1, 2, 3, \dots, \text{ CW} \\ -\left(\frac{1}{2} + 2n\right)\pi, & n = 1, 2, 3, \dots, \text{ CCW} \end{cases} \quad (2.19)$$

2.3.10 Giriş empedansı

Anten terminalleri tarafından ortaya çıkan empedans ya da terminallerin bir çiftindeki voltajın akıma oranı olarak tanımlanabilir (Balanis 2005). Şekil 2.14’de verici durumundaki bir anten ve antenin eş devreleri verilmiştir.



Şekil 2.14 Verici durumundaki bir anten, (b) Thevenin eşdeğer devresi, (c) Norton eşdeğer devresi (Balanis 2005)

$$Z_A = R_A + jX_A \quad (2.20)$$

Z_A = a-b terminallerindeki anten empedansı (ohm)

R_A = a-b terminallerindeki anten rezistansı (ohm)

X_A = a-b terminallerindeki anten reaktansı (ohm)

$$R_A = R_r R_L$$

(2.21)

R_r = antenin ışıma rezistansı

R_L = antenin direnç kaybı

Üretecin iç empedansı denklem 2.22'de verilmiştir.

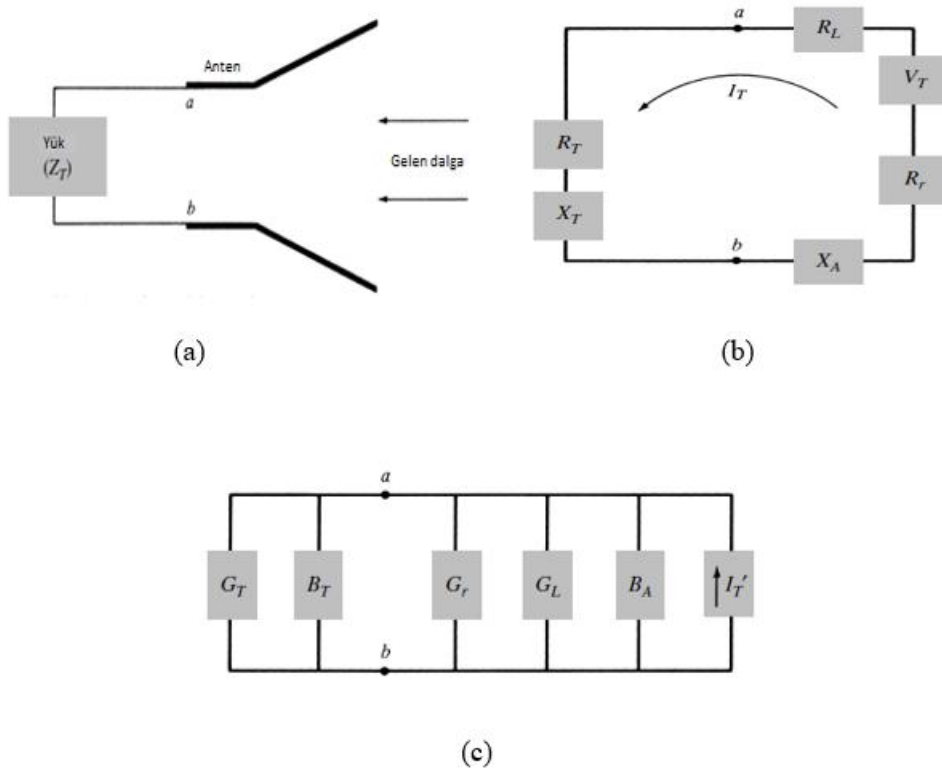
$$Z_g = R_g + jX_g$$

(2.22)

R_g = üreteç empedansının rezistansı (ohm)

X_g = üreteç empedansının reaktansı (ohm)

Anten alıcı olarak kullanıldığında durum ise 2.15'de gösterilmiştir.



Şekil 2.15 Alıcı durumundaki bir anten, (b) Thevenin eşdeğer devresi, (c) Norton eşdeğer devresi (Balanis 2005)

2.3.11 Anten ışma verimliliği

Anten verimliliği yansıma, iletim ve dielektrik kaybını hesaba katar. Her ne kadar iletim ve dielektrik kayıpları oldukça zor hesaplansa da ölçülebilir. Ancak bu ölçümde birbirlerinden ayırmak zor olduğundan birlikte tek olarak yazılır (Balanis 2005).

$$e_{cd} = \frac{R_r}{R_L R_r} \quad (2.23)$$

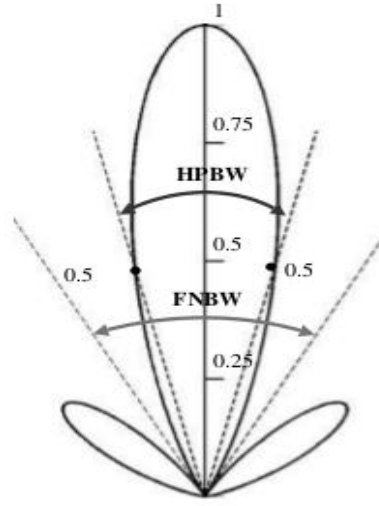
2.3.12 Voltaj duran dalga oranı

Empedans uyumsuzluğu sonucunda bir antene gelen ve yansıyan dalgalar üst üste gelerek duran dalgaları oluşturur. Voltaj duran dalga oranı bir antenin empedansının ne kadar uyumlu olduğunun nümerik bir ölçüsüdür. Γ antenin yansıma kat sayısı, V_{max} duran dalga maksimum gerilimi ve V_{min} duran dalga minimum gerilimi olmak üzere denklem 2.24'de verilmiştir (Pozar 2012).

$$VSWR = \frac{V_{max}}{V_{min}} = \frac{1+\Gamma}{1-\Gamma} \quad (2.24)$$

2.3.13 Demet genişliği

Antenin ışma diyagramı ile ilgili bir parametredir ve birçok demet genişliği çeşidi vardır. En çok kullanılanı yarı-güç demet genişliğidir (HPBW). Diğer önemli bir demet genişliği ise ilk-sıfır demet genişliğidir (FNBW). Şekil 2.16'da 2 boyutlu demet genişliği gösterilmiştir. Antenin demet genişliğinin yüksek olması, daha fazla yöne sinyal gönderebileceğini veya daha fazla yönden sinyal alabileceğini gösterir (Balanis 2005).



Şekil 2.16 2-boyutlu demet genişliği deseni (Balanis 2005)

2.3.14 Geri dönüş kaybı

Bir diğer önemli parametredir. Empedans uyumu ve transfer edilen maksimum güç ile ilişkilidir. Matematiksel olarak formüle edilmiş hali denklem 2.25 ile verilmiştir.

$$RL = 10 \log_{10} \frac{P_{in}}{P_{ref}} \quad (2.25)$$

Burada P_{in} gelen güç ve P_{ref} ise antenden yansıyan güçtür. P_{in}/P_{ref} oranının yüksek olması empedans uyumunun iyi olduğunu gösterir. Bir başka matematiksel gösterimi ise denklem 2.26'da verilmiştir (Huang ve Boyle 2008).

$$RL = 20 \log_{10} \left| \frac{VSWR+1}{VSWR-1} \right| \quad (2.26)$$

2.4 Mikroşerit Yama Antenler

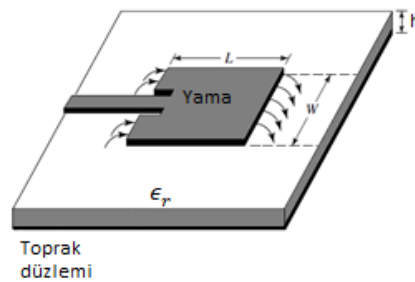
Mikroşerit ışıma elemanları ilk olarak Deschamps tarafından önerilmiştir. Ancak düşük kayıp tanjanlı, iyi mekanik ve termal özelliklere sahip alt taşların olamaması nedeniyle 1970'lere kadar mikroşerit antenler üretilememiştir. 1970'lerde yaşanan gelişmelerle

birlikte kaliteli alt taşların ortaya çıkması, fotolitografi tekniklerinin gelişmesi ve daha iyi teorik modellerin ortaya çıkması ilk mikroşerit antenlerin ortaya çıkmasını sağlamıştır. Howell ve Munson ilk pratik mikroşerit antenleri ortaya koymuşlardır (Garg vd. 2001). Bu antenlerin ortaya çıkması ile birlikte mikroşerit antenler birçok avantajları sayesinde kısa sürede popüler bir konu haline gelmiş ve çok geniş bir araştırma konusu olmuştur.

Mikroşerit antenlerin hafif olması, az hacim kaplaması, üretim maliyetlerinin düşük olması, elektronik devrelere kolay entegre edilebilmesi, kolay beslenmesi gibi birçok avantajları vardır. Bunların yanı sıra düşük kazanç, dar bant genişliği, besleme ve eklem noktalarından ekstra ışıma, yüzey dalgalarının uyarımı ve bazı uygulama alanları için yapıların büyük olması ise dezavantajlarıdır (Pozar 1992, Bhunia 2013).

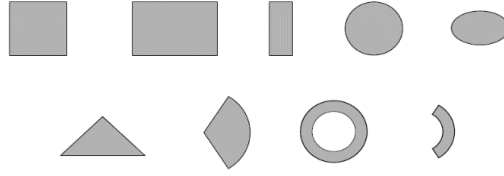
Mobil ve uydu haberleşmelerinde küçük hafif ve maliyeti düşük antenlere gereksinim vardır. Bu beklentileri mikroşerit antenler sağlayabilmeleri sebebiyle bu alanda sıkça kullanılmaktadırlar. Kompakt olmaları ve dairesel polarizasyonda çalıştırılabilmeleri Küresel Konumlama Sistemlerinde kullanılmasına olanak sağlamaktadır. Ayrıca radar sistemleri, RFID (Radyo Frekanslı Tanımlama) sistemleri, tele tıp gibi alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadırlar (Singh ve Tripathi 2011)

Bazen yama anten olarak da adlandırılan bu antenler iki metal iletken tabakanın dielektrik malzeme ile ayrılmasıyla oluşur. Bu iletken tabakaların biri ışıma yapan yama kısmı, diğeri toprak zemindir (Balanis 2005). Şekil 2.17’de sıradan bir yama antenin görünümü verilmiştir



Şekil 2.17 Dikdörtgen mikroşerit anten

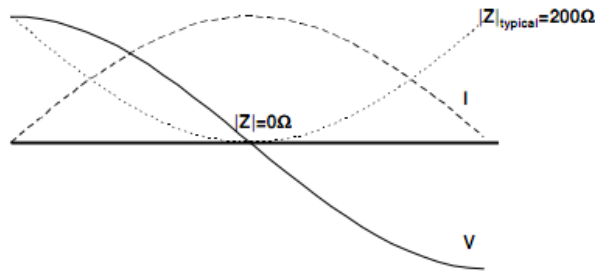
Mikroşerit antenlerin yama kısmı Şekil 2.18’de görüldüğü gibi birçok farklı şekilde tasarlanabilir.



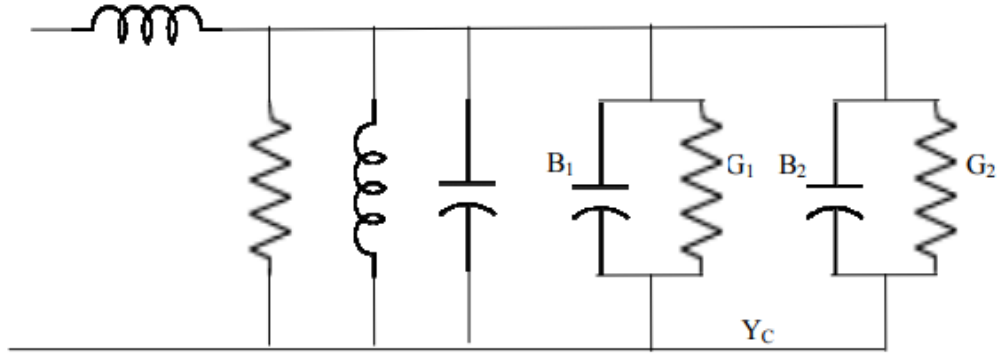
Şekil 2.18 Farklı şekillerde mikro-şerit yamalar (Balanis 2005)

Bu antenlerde ışımanın sebebi sınır alanlarıdır. Akım yamanın uç kenar kısımlarında 0 iken yamanın merkezinde maksimuma ulaşır. Yama anten açık bir devre iletim hattı gibi davrandığından voltaj yansıma katsayısı 1’e eşit olur. Böylece voltaj ve akım faz dışı olur. Aralarındaki faz farkı sebebiyle tıpkı yamanın altında oluşan alanlar gibi yamanın kenarlarında sınır alanları oluşur. Bu oluşan sınır alanları aynı fazda birbirine katılarak ışımaya sebep olurlar (Balanis 2005).

Şekil 2.19’da voltaj ve akımın dağılımı gösterilmiştir. Akım yamanın merkezinde maksimum seviyeye ulaşırken voltaj sıfıra düşmektedir. Kenarlarda ise voltaj maksimum seviyeye ulaşırken akım sıfır olmaktadır. Empedans ise yamanın merkezinde sıfır ve kenarlarda 200 ohm civarındadır. Ayrıca bu antenleri elektriksel eş devre ile tanımlamak ve incelemek mümkündür. Şekil 2.17’ de verilen mikroşerit yama antenin elektriksel eş devresi Şekil 2.20’ de verilmiştir.



Şekil 2.19 Yama antenin voltaj, akım ve empedans dağılımı

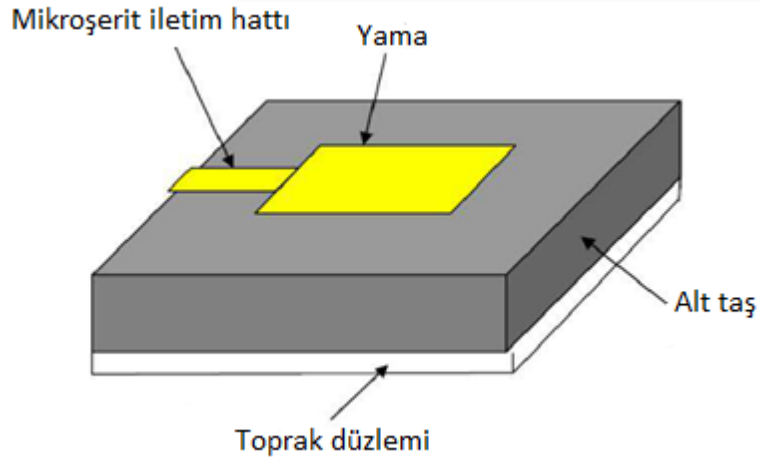


Şekil 2.20 İçeriden mikroşerit beslemeli yama antenin elektriksel eşdevresi

2.4.1 Mikroşerit antenlerin besleme çeşitleri

Çok farklı besleme çeşitleri mevcuttur. Koaksiyel, mikroşerit iletim hattı, açıklık kuplajı ve açıklık bağlantılı besleme en çok bilinen besleme çeşitleridir. En çok kullanılanlar ise mikroşerit iletim hattı ile besleme ve koaksiyel beslemedir.

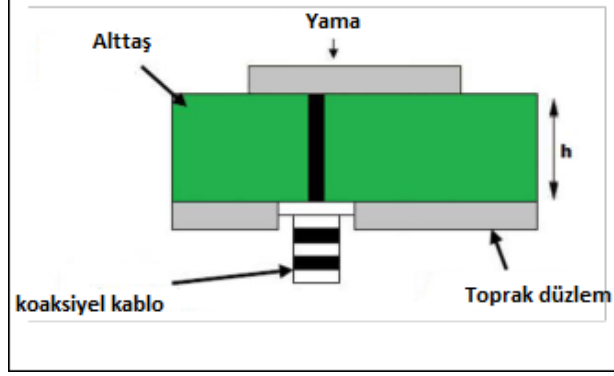
Mikroşerit iletim hattı ile besleme maliyeti düşük ve uygulaması en kolay yöntemdir. Bu sebeple kullanımı çok yaygın bir besleme türüdür.



Şekil 2.21 Mikroşerit iletim hattı ile beslenen yama anten

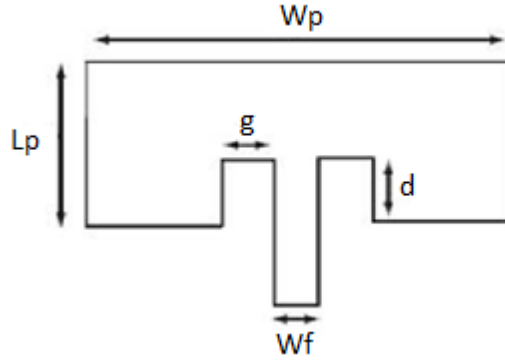
Koaksiyel beslemede kablonun iç kondüktörü ışına elemanına bağlanırken dış kondüktörü ise toprağa bağlanır. Bu tür besleme üretimi kolay olsa da dar bant

genişliğine sebep olur ve kalın alt taşı modeller için zor bir besleme türüdür (Fung 2011).



Şekil 2.22 Koaksiyel kablo ile beslenen mikroşerit anten (Fung 2011)

2.4.2 Mikroşerit iletim hattı ile beslenen dikdörtgen mikroşerit anten tasarımı



Şekil 2.23 Mikroşerit yamanın tasarım parametreleri

Hava ortamında bir dikdörtgen mikroşerit antenin tasarımı için hesaplanması gereken parametreler Şekil 2.23’de gösterilmiştir. Öncelikle dielektrik malzemeden oluşan alt taşın kalınlığı “h” belirlenir. Ancak kalınlık belirlenirken denklem (2.27) verilen koşulu sağlamalıdır (Matin ve Sayeed 2010)

$$h \geq 0.006 \frac{\lambda_{hava}}{\epsilon_r} \quad (2.27)$$

Yamanın eni olan W , frekansın bir fonksiyonudur ve aralarında ters orantılı bir ilişki vardır ve hesaplamak için denklem (2.28) kullanılır (Balanis 2005).

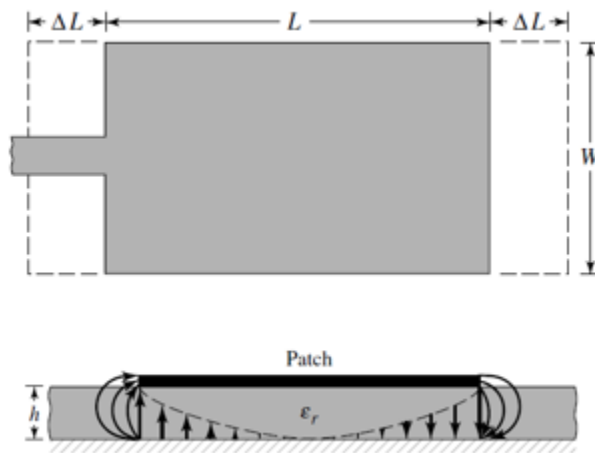
$$W = \frac{1}{2\sqrt{\mu_0\epsilon_0}} \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r+1}} = \frac{c}{2f_r} \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r+1}} \quad (2.28)$$

Burada f_r , ϵ_r ve v_0 sırasıyla rezonans frekansı, dielektrik sabiti ve serbest uzaydaki ışık hızıdır.

Yamanın uzunluğunun hesaplanmasında kullanılan ortamın etkin dielektrik sabiti ϵ_{reff} aşağıdaki formül ile hesaplanır (Balanis 2005).

$$\epsilon_{reff} = \frac{\epsilon_r+1}{2} + \frac{\epsilon_r-1}{2} \left[1 + 12 \frac{h}{W} \right]^{-\frac{1}{2}} \quad (2.29)$$

Yamanın iki tarafında oluşan saçaklanma etkisi ile yamanın uzunluğu olduğundan daha fazlaymış gibi davranış sergiler. Bu sebepten dolayı yamanın uzunluğu L 'yi hesaplarken ΔL ' yi hesaba katmak gerekir. Bunun için denklem (2.30) kullanılır (Balanis 2005). Şekil 2.24'de etkin ve fiziksel uzunlukları gösterilmiştir.



Şekil 2.24 Dikdörtgen yamanın etkin ve fiziksel uzunlukları (Balanis 2005)

$$\frac{\Delta L}{h} = 0.412 \frac{(\epsilon_{reff}+3)\left(\frac{W}{h}+0.264\right)}{(\epsilon_{reff}-0.258)\left(\frac{W}{h}+0.8\right)} \quad (2.30)$$

Yamanın uzunluğu olan L ise denklem (2.31) ile hesaplanır.

$$L = \frac{1}{2f_r \sqrt{\epsilon_{reff} \mu_0 \epsilon_0}} - 2\Delta L \quad (2.31)$$

İletim hattının 50 ohm empedansa uyum sağlaması için Şekil 2.13’de gösterilen iletim hattının yamanın iç kısmına bir girinti ile verilerek empedans uyumu sağlanmaktadır. Bu girintiyi hesaplamak için denklem (2.32) kullanılır (Balanis 2005).

$$Z_0 = R_{in} \cos\left(\frac{\pi}{L_p} d\right) \quad (2.32)$$

Bu denklemde Z_0 kullanılacak kablonun empedansı ve d girinti mesafesidir. R_{in} ise yamanın en uç noktasında oluşan giriş empedanstır. Bu empedansı hesaplamak için denklem (2.33), (2.34), (2.35) ve (2.36) kullanılır (Balanis 2005).

$$R_{in} = \frac{1}{2(G_1 + G_{12})} \quad (2.33)$$

$$G_1 = \frac{I_1}{120\pi^2} \quad (2.34)$$

$$I_1 = \int_0^\pi \left[\frac{\sin\left(\frac{k_0 W}{2} \cos \theta\right)}{\cos \theta} \right]^2 \sin^3 \theta d\theta \quad (2.35)$$

$$G_{12} = \frac{1}{120\pi^2} \int_0^\pi \left[\frac{\sin\left(\frac{k_0 W}{2} \cos \theta\right)}{\cos \theta} \right]^2 J_0(k_0 L \sin \theta) \sin^3 \theta d\theta \quad (2.36)$$

Mikroşerit iletim hattının genişliği W_f aşağıda verilen denklemler yardımı ile hesaplanır.

$$B = \frac{60\pi^2}{Z_0 \sqrt{\epsilon_r}} \quad (2.37)$$

$$M_1 = 2B - 1 \quad (2.38)$$

$$M = \log M_1 \quad (2.39)$$

$$N_1 = B - 1 \quad (2.40)$$

$$N = \log N_1 \quad (2.41)$$

$$W_f = \left(\frac{2h}{\pi}\right) \left(B - 1 - M + \left(\frac{\epsilon_r - 1}{2\epsilon_r}\right) \left(N + \frac{0.2379}{\epsilon_r} \right) \right) \quad (2.42)$$

Empedans uyumunda kullanılan girinti için oluşturulan çentik genişliği denklem 2.43 kullanılarak hesaplanır (Matin ve Sayeed 2010).

$$g = \frac{v_0}{\sqrt{2\epsilon_{reff}}} \frac{4.65 \times 10^{-12}}{f_r} \quad (2.43)$$

Alt taş ve toprak düzlemin minimum genişliği $W_{g \min}$ ve boyu $L_{g \min}$ ise aşağıdaki denklemler ile hesaplanabilir. (Afridi 2015).

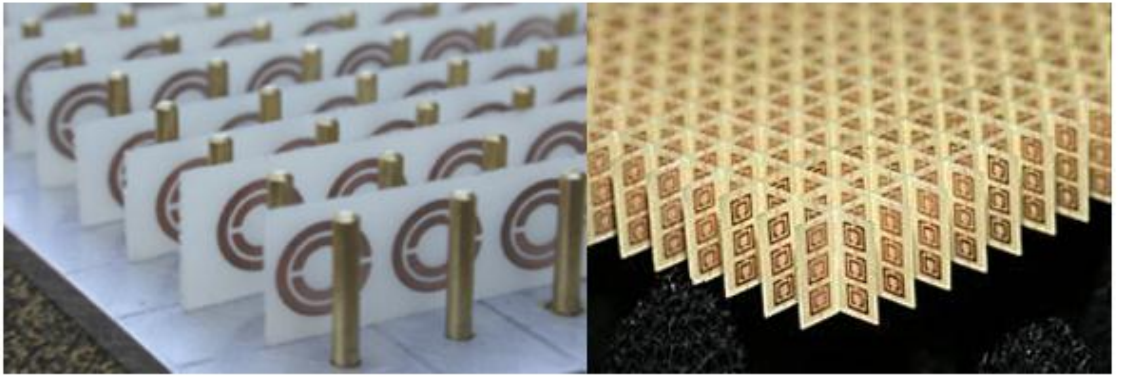
$$L_{g \min} = 6h + L_p \quad (2.44)$$

$$W_{g \min} = 6h + W_p \quad (2.45)$$

2.5 Metamalzemeler

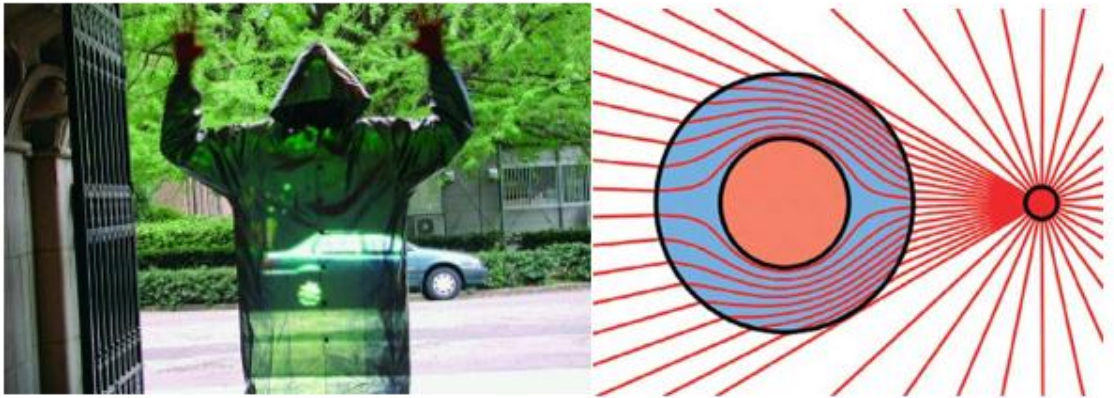
Negatif kırılma indisi ile tanınmış malzemelerdir ve son zamanlarda çok ilgi çekmiş ve üzerinde çalışılan konu haline gelmiştir. Solak (left-handed) malzemeler olarak da adlandırılırlar. Doğada kendiliğinden var olmayan ancak üretilebilen metamalzemeler negatif elektriksel geçirgenlik ve manyetik geçirgenliğe sahip olabilmektedirler (Soukoulis 2008). Bu olağan dışı özellikleri sayesinde metamalzemeler kısa zamanda ilgi odağı haline gelmişlerdir. Şekil 2.25’de negatif kırıcılık indisine sahip yapılara örnek verilmiştir.

Elektromanyetik dalgaları manipüle etmek için yapay malzeme konusunda çalışmalar 19. Yüzyılın sonlarında başlamıştır (Akçelik 2016). Ancak negatif kırıcılık indisine sahip malzemeler ilk olarak 1967 yılında Victor Veselago tarafından teorik olarak ortaya koyulmuştur (Slyusar 2009). Veselago, doğal malzemelerde olduğunun aksine metamalzemede elektromanyetik dalgaların faz hızının Poynting vektörüne zıt yönelimde olabileceğini göstermiştir (Veselago 1968). Daha sonra John Pendry tarafından metamalzeme yapımı için metal teller ve ayırık halka gibi pratik yollar ortaya konulmuştur (Slyusar 2009).



Şekil 2.25 Negatif elektriksel ve manyetik geçirgenliğe sahip yapılar

Metamalzemeler, antenlerde, soğurucularda, kusursuz lenslerde, görünmezlik uygulamalarında, radar kesit alanı düşürmede, çeşitli filtrelemelerde ve sismik korunmada yaygın olarak kullanılmaktadır. (Oliveri vd. 2015)



Şekil 2.26 Görünmezlik pelerini uygulaması ve ışın malzeme içinde ilerleyişi

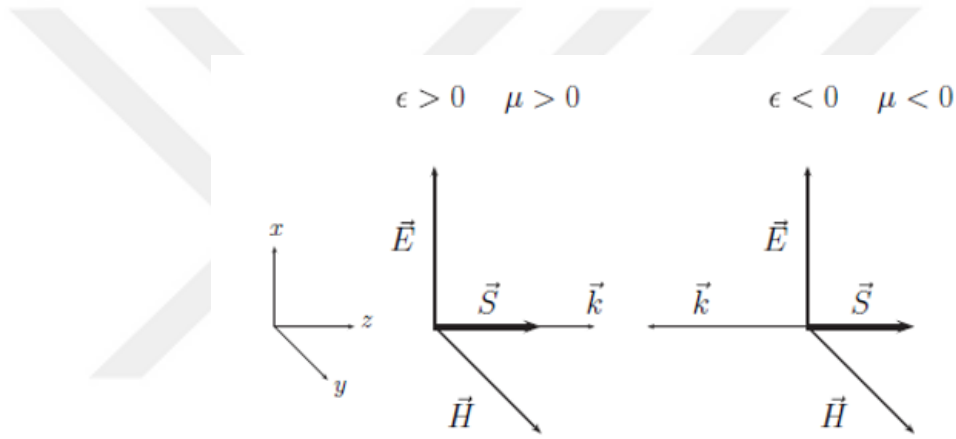
2.5.1 Metamalzemelerin elektromanyetik özellikleri

Eğer ϵ ve μ negatif olursa Maxwell denklemlerinden denklem 2.46 ve 2.47 elde edilir (Soukoulis 2008).

$$\vec{k} \times \vec{E} = -\frac{|\mu|\omega}{c} \vec{H} \quad (2.46)$$

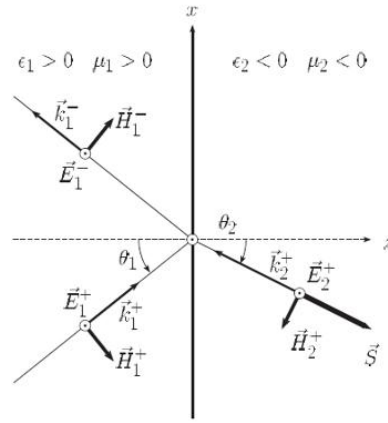
$$\vec{k} \times \vec{H} = +\frac{|\epsilon|\omega}{c} \vec{E} \quad (2.47)$$

Dalga vektörü “ \vec{k} ” ile Poynting vektörü “ \vec{S} ” zıt yönelimdedirler.



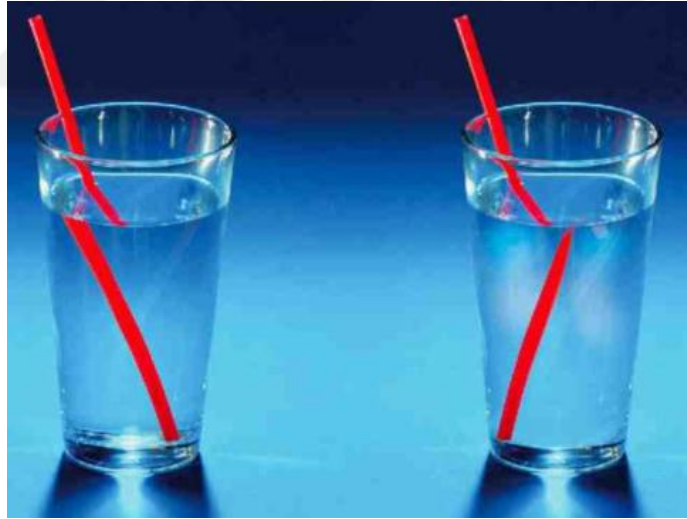
Şekil 2.27 Pozitif ve negatif geçirgenlikler için \vec{H} , \vec{E} , \vec{S} ve \vec{k} vektörlerinin yönelimleri (Markos ve Soukoulis 2008)

Metamalzemelerin en önemli özelliklerinden biri negatif kırılma indisidir. Kırılma indisi $n = \sqrt{\epsilon\mu}$ pozitif gözükmesine rağmen ϵ ve μ değerleri negatif olabilir, kökün önüne gelecek doğru işaretin bulunması için kırılma indisinin imajiner kısmına fiziksel kısıtlama yapılır. Sanal kısım her zaman pozitif olmalıdır aksi takdirde elektromanyetik alanın genliği üstel olarak artması demektir. Bu durum fiziksel değildir. Şekilde görüldüğü gibi negatif kırılma indisi olduğunda \vec{S} vektörü ile \vec{k} vektörü zıt yöndedirler. (Soukoulis 2008).



Şekil 2.28 RHM ve LHM ara düzleminde yansıma ve kırılma (Markos ve Soukoulis 2008)

Snell yasasına göre kırıcılık indisi negatif olduğunda kırılma açısı da negatif olur. Empedans $z = \sqrt{\mu/\epsilon}$ olmak üzere gerçek kısmı her zaman pozitif olmak zorundadır (Soukoulis 2008).



Şekil 2.29 Negatif ve pozitif kırıcılık indisi görsel örneği

Solak malzemedeki katmanın bir diğer önemli özelliği ise gelen genliği azalan dalgaları güçlendirmedi.

Homojen ortamda bir katmanın iletim matrisi denklem 2.48 ile tanımlanabilir.

$$M_{22}^{(s)} = \cos k_{2z}l - \frac{1}{2} \left[\frac{\mu_1 k_{2z}}{\mu_2 \kappa_1} - \frac{\mu_2 \kappa_1}{\mu_1 k_{2z}} \right] \sin k_{2z}l \quad (2.48)$$

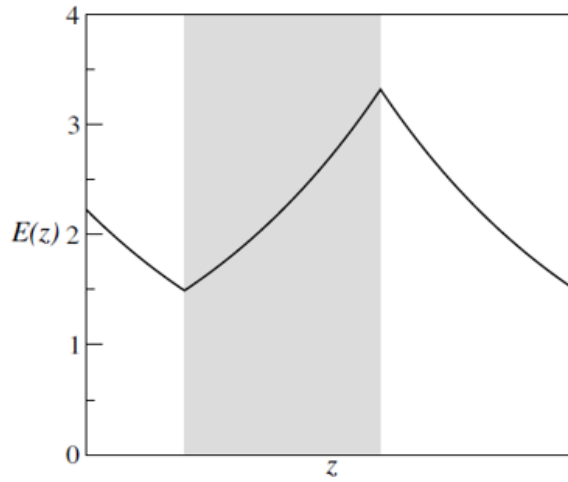
$k_{1z} = i\kappa_1$, $k_{2z} = i\kappa_2$ ve $k_{2z} \sin k_{2z} = -\kappa_{2z} \sinh \kappa_{2z}$ ifadelerini yerlerine koyarsak denklem 2.48'de yerlerine koyulduğunda iletim matrisi denklem 2.49'daki hale gelmektedir. (Soukoulis 2008).

$$M_{22}^{(s)} = \cosh \kappa_2 l - \frac{1}{2} \left[\frac{\mu_1 \kappa_2}{\mu_2 \kappa_1} - \frac{\mu_2 \kappa_1}{\mu_1 \kappa_2} \right] \sinh \kappa_2 l \quad (2.49)$$

Basitçe gösterim için $\frac{\mu_2}{\mu_1} = -1$ ve $\kappa_2 = \kappa_1$ alırsak kabul edildiğinde ise iletim matrisi aşağıdaki ifade haline gelmektedir.

$$M_{22}^{(s)} = e^{-\kappa_2 l} \quad (2.50)$$

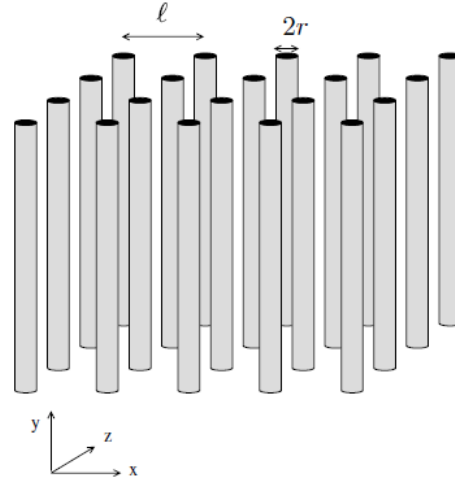
Ve bu ifade bize üstel olarak arttığını göstermektedir.



Şekil 2.30 Genliği azalan elektromanyetik bir dalganın $\epsilon = -1$ ve $\mu = -1$ değerlerine sahip solak bir katmandan geçişi (Markos ve Soukoulis 2008)

Metamalzemelerin sahip olduğu negatif kırılma indisi ile genliği azalan dalgaları yükseltebilmesi sayesinde kusursuz lens yapımına olanak sağlamaktadır (Soukoulis 2008).

Solak malzeme özelliği gösteren bir ortam oluşturmanın en kolay yollarından birisi Şekil 2.31’de gösterildiği gibi hava ile birbirlerinden ayrılmış metalik katmanlardır. Hava ile birbirlerinden ayrılmış metalik katmanlar indirgenmiş plazma frekansına sahip bir ortam gibi davranır (Soukoulis 2008).



Şekil 2.31 Periyodik ince metal teller (Markos ve Soukoulis 2008)

$$\omega_p^{red} = \frac{\pi c}{l_b n_b} \quad (2.51)$$

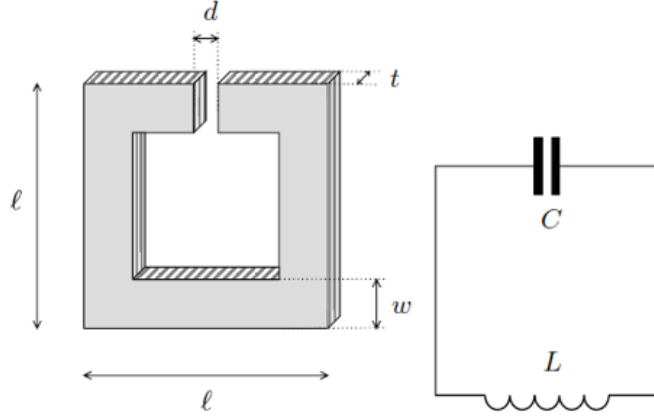
Tel çapının teller arasındaki mesafeden çok küçük olduğunu zaman, etkin geçirgenlik ve plazma frekansı denklem 2.52 ve 2.53’de gibi yazılmaktadır (Soukoulis 2008).

$$\varepsilon(\omega) = 1 - \frac{\omega_p^2}{\omega^2 + i\omega\gamma} \quad (2.52)$$

$$v_p = \frac{\omega_p}{2\pi} = \frac{c}{l\sqrt{2\pi \ln(l/r)}} \quad (2.53)$$

Buradan plazma frekansı ile teller arasındaki uzaklığın ters orantılı olduğunu görülmektedir. Ayrıca yukarıda verilen geçirgenlik formülü, elektromanyetik dalganın elektrik alan bileşeni tellere dik olması koşulunda geçerlidir. Tel dizisi ile negatif etkin elektriksel geçirgenlik elde edilmektedir (Soukoulis 2008).

Manyetik rezonans tepkisi ile negatif manyetik geçirgenlik elde etmenin en kolay yolu ayrı metal halkadır. Şekil 2.32’de gösterildiği bir halka şeklinde yapıda aralık açılarak ve bu aralık bir dielektrik malzeme ile doldurulmak bir ayrı halka rezonatörü (SRR) yapmak için en kolay yöntemdir (Soukoulis 2008).



Şekil 2.32 Basit bir ayrı halka rezonatörü ve eşdeğer elektrik devresi (Markos ve Soukoulis 2008)

Ayrı halka bir LC devresi gibi davrandığı için rezonans frekansı denklem 2.57 ile hesaplanabilmektedir.

$$C = \frac{\epsilon_c \omega t}{4\pi d} \quad (2.54)$$

$$\omega_{LC} = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad (2.55)$$

$$L = \frac{4\pi l^2}{c^2 t} \quad (2.56)$$

$$\omega_{LC} = \frac{c}{l\sqrt{\epsilon_c}} \sqrt{\frac{d}{\omega}} \quad (2.57)$$

Birim hücre boyutları a_x, a_y, a_z olan 3-boyutlu rezonatör dizisini ele alırsak her birim hücrenin bir rezonatör içerdiğinde hacimdeki rezonatör sayısı aşağıdaki formülde belirtilmiştir.

$$N = \frac{V}{a_x a_y a_z} \quad (2.58)$$

Manyetik geçirgenlik ifadesi denklem 2.59'da verilmiştir.

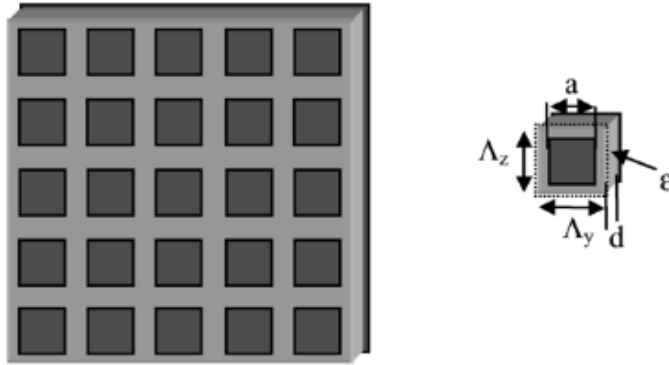
$$\mu(\omega) = 1 + X = 1 + \frac{F\omega^2}{\omega_{LC}^2 - \omega^2} \quad (2.59)$$

Buradaki ‘‘F’’ doldurma faktörüdür ($0 \leq F \leq 1$) ve hacmin ayrık halkalarla dolu olan kısmını verir. Denklemden görüldüğü üzere $\omega > \omega_{LC}$ olduğu zaman manyetik geçirgenlik negatif olmaktadır.

$$F = \frac{l^2 t}{a_x a_y a_z} \quad (2.60)$$

2.6 Reaktif Empedans Yüzeyi

Reaktif empedans yüzey (RIS) yapıları mikroşerit antenlerin karakteristik özelliklerini geliştirmek için kullanılabilir. Özellikle anten boyutlarını küçültmek ve bant genişliğini arttırmak önemli katkılarından.



Şekil 2.33 Reaktif empedans yüzey (Mosallaei ve Sarabandi 2004)

Şekil 2.33'de görülen karelerin her biri toprak düzlemi ile şönt kapasitör olarak davranmaktadır. Toprak düzlemi ise kapasitöre paralel bir şönt indüktör olarak modellenebilir. Böylece oluşan paralel LC devresi çalışma frekansına göre kapasitif ya

da indüktif olabilir. Rezonans frekansının altında indüktif davranırken rezonans frekansının üzerinde kapasitif davranış sergiler. Eğer çalışma frekansı rezonans frekansından çok küçük olursa yüzey empedansı sıfıra yaklaşır ve PEC yüzey gibi davranır (Mosallaei ve Sarabandi 2004).

Yüzey empedansı aşağıdaki formüller ile kolayca hesaplanabilir.

$$\eta = Z_{LC} = j \frac{X_L X_C}{X_C - X_L} = j X_{LC} \quad (2.61)$$

$$X_L = Z_d \tan kd \quad (2.62)$$

$$k = k_0 \sqrt{\epsilon_r} \quad (2.63)$$

$$Z_d = \frac{\eta_0}{\sqrt{\epsilon_r}} \quad (2.64)$$

$$X_C = \frac{1}{\omega C} \quad (2.65)$$

Denklem 2.65'deki "C" karelerin birbirleriyle etkileşimi sonucu ortaya çıkan kuplaj kapasitansı olarak adlandırılır ve yaklaşık ifadesi aşağıdaki gibidir (Mosallaei ve Sarabandi 2004).

$$C \approx 0.013 \epsilon_0 \frac{\epsilon_r + 1}{2} \quad (2.66)$$

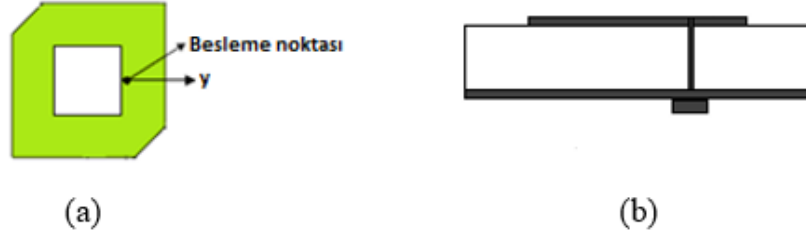
2.7 Literatür Özeti

Tez çalışmalarında gerekli bilgilerin edinilmesi ve alt yapı oluşturulması için literatürde anten minyatürleştirilmesi ve bant genişliğinin arttırılması konusunda gerekli araştırmalar yapılmıştır.

2.7.1 Mikroşerit yama antenlerin minyatürleştirilmesi

Literatürde anten boyutlarının küçültülmesi için birçok yöntem uygulanmıştır. Bunlardan bazıları aşağıda verilmiştir.

Yamanın şeklini değiştirerek yapılan anten minyatürleştirilmesi en yaygın yöntemlerden biridir. Şekil 2.34’de görülen anten yapısında tek besleme noktası ve kare halka yamasında iki kesik köşegen ile sağ el dairesel polarizasyon elde edilmektedir. Tek beslemeli mikroşerit yama antenin geometrisi basittir ve dairesel polarizasyon için herhangi bir faz kaydırıcıya ya da güç bölücüye gerek duymamaktadır, böylece maliyet azalmaktadır. Bu koşullar minyatürleştirme için de oldukça uygundur. Kare halkanın içindeki açıklığın boyutu ile rezonans frekansının ve empedansın kontrol edildiği vurgulanmaktadır (Hao vd. 2011).

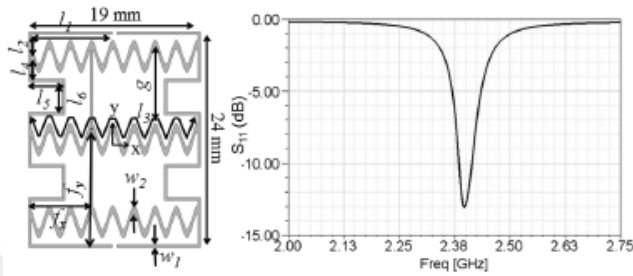


Şekil 2.34 önerilen yapının üstten görünümü, (b) önerilen yapının yandan görünümü (Hao vd. 2011)

Aynı malzeme ile geleneksel GPS mikroşerit anten ile karşılaştırıldığında, önerilen antenin özelliklerinin geliştirildiği, tüm boyutun azaldığı, antenin ışıma alanının %26 oranında azaltıldığı çalışmada raporlanmıştır. Ayrıca antenin alt tabaka malzemesinin maliyetinin de düşürüldüğü ve minyatürizasyonun sonucunda düşük maliyetli ve düşük hacim açısından GPS alıcısı gereksinimlerini karşıladığı vurgulanmaktadır (Hao vd. 2011).

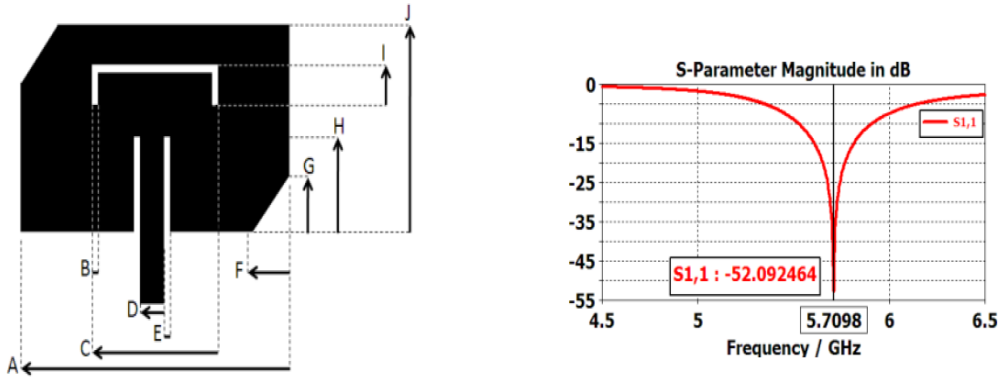
Bir başka çalışmada ise antenin ışıma yapan yama kısmı sinüsodiyel teller kullanılarak tasarlanmıştır. Söz konusu sinüsodial teller yapısını çevreleyen y- yönüne paralel bir dipol anten de yapıya eklenmiştir. Böylece iki farklı rezonans frekansına ve iki farklı

polarizasyona sahip bir yama anten elde edilmiştir. Söz konusu değerlerle analizler gerçekleştirilerek yapı Şekil 2.35’de gösterildiği gibi tek bir rezonans frekansında çalışan dairesel polarizasyona sahip yama anten elde edilmiştir. Yapının boyutunda aynı alt taş üzerine tasarlanan kesik köşelere sahip bir dairesel polarizasyonlu kare mikro-şerit yama antenin boyutuna göre %72 oranında bir azalma olduğu görülmüştür (Oh ve Sarabandi 2013).



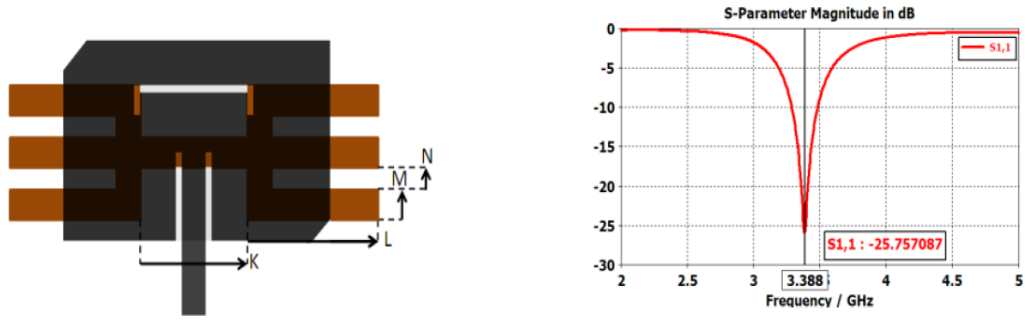
Şekil 2.35 Yama antenin yapısı (solda), yapıya ait S11 grafiği (sağda) (Oh ve Sarabandi 2013)

Sıklıkla kullanılan minyatürleştirme yöntemlerinden biri ise DGS (bozuk toprak yapısı)’dir. Şekil 36’deki yama antene DGS uygulanmadan 5.7 GHz’de rezonans vermektedir (Hanae vd. 2014).



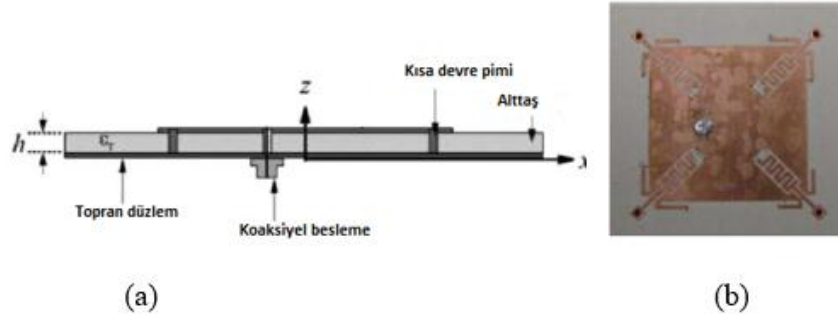
Şekil 2.36 Yama dizaynı ve S11 parametresi grafiği (Hanae vd. 2014)

Şekil 2.37’deki DGS yapısı antene uygulandıktan sonra rezonans frekansının 3.38 GHz’ e düştüğü görülmektedir.



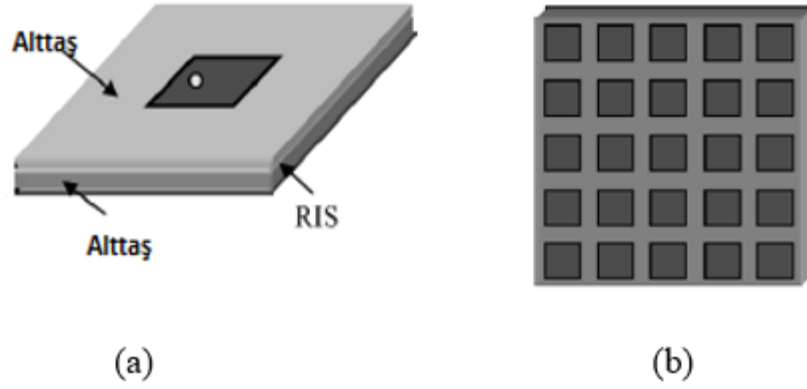
Şekil 2.37 DGS yapısı uygulanmış anten ve S11 parametresi grafiği (Hanae vd. 2014)

Bir başka çalışmada ise Şekil 2.38'de görülen tasarımdaki antenin yama kısmında köşelere eklenen birbirinden farklı uzunluklardaki iki çift kuyruk dairesel polarizasyonu sağlarken, yama üzerinde yapılan oluklar ve oluşturulan yapıların amacı ekstra kapasitans ve indüktans oluşturmaktadır. Bu oluşturulan ekstra kapasitans ve indüktans ile birlikte kısa devre pimleri anten boyutlarının küçülmesine olanak sağlarken aynı zamanda kazancı arttırmıştır (So 2015).



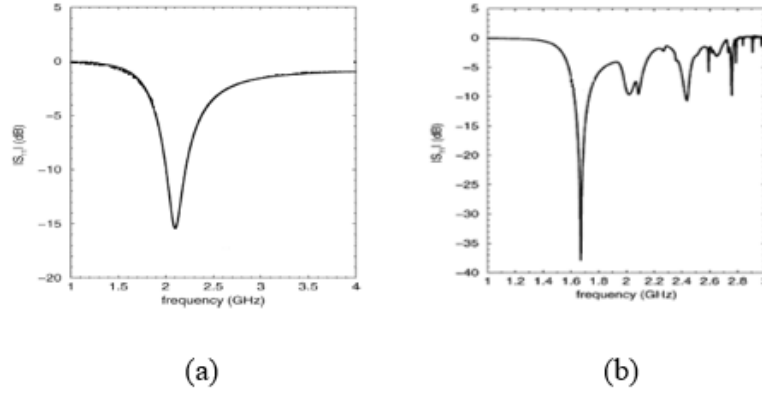
Şekil 2.38 (a) Oluk açılarak ve kuyruk eklenerek minyatürleştirilmiş dairesel polarizasyona sahip mikro-şerit anten önden görünüm, (b) Antenin Yan kesit görünümü (So 2015)

Mikro-şerit yama antenlerde RIS (Reaktif empedans yüzey) yapısı kullanılarak da bant genişliğinin artırılması ve anten boyutlarında düşüş sağlanabilmektedir.



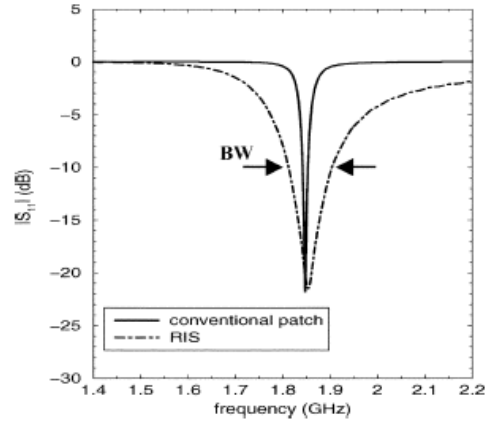
Şekil 2.39 (a) RIS yapıları bir mikro-şerit yama anten, (b) Ara katmandaki RIS yapısı (Mosallaei ve Sarabandi 2004)

Şekil 2.39'da gösterilen tasarımda sıradan bir mikro-şerit yama antenin ara yüzeyine eklenen bir RIS ile bant genişliğinin artarken, rezonans frekansının düştüğü görülmüştür. Frekans ile antenin boyutları arasında ters orantı olduğu bilindiğine göre sıradan bir mikro-şerit yama anten ile aynı frekansta çalışacak RIS içeren daha küçük bir anten tasarımı yapılabilmektedir (Mosallaei ve Sarabandi 2004).



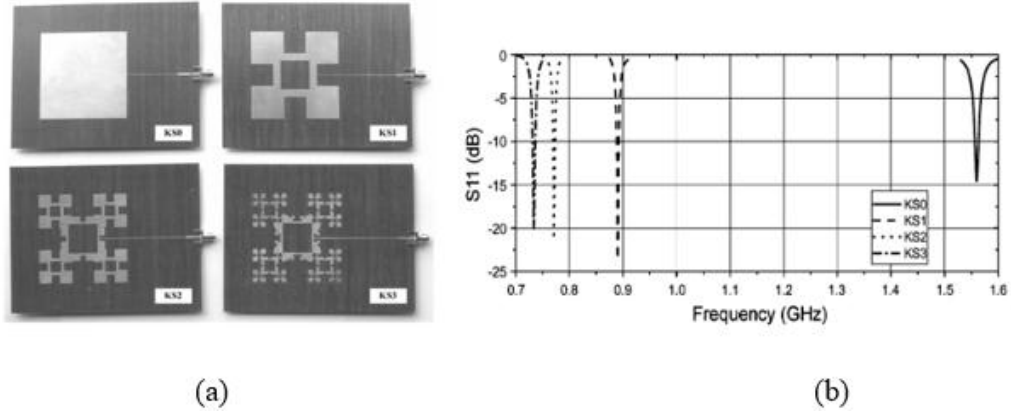
Şekil 2.40 (a) RIS yapısı olmadan sıradan antenin, (b) RIS yapısı eklenmiş antenin S11 parametresi (Mosallaei ve Sarabandi 2004)

Şekil 2.40'da görüldüğü üzere rezonans frekansı 2.18 GHz' den 1.67 GHz' e kaymıştır. Bu da yapının boyutunun 30% azaltılabilmesi anlamına gelmektedir. Ayrıca bant genişliklerinin arasındaki fark Şekil 2.41'de rahatça gözükmektedir. Bant genişliğinin kıyaslaması için antenler aynı rezonans frekansına optimize edildiğinde ise bant genişliğinin normal antende 0.63% iken RIS yapısı eklendiğinde 5% civarındadır. (Mosallaei ve Sarabandi 2004).



Şekil 2.41 Normal yama anten ile RIS yapılı yama anten arasındaki bant genişliği ilişkisi (Mosallaei ve Sarabandi 2004)

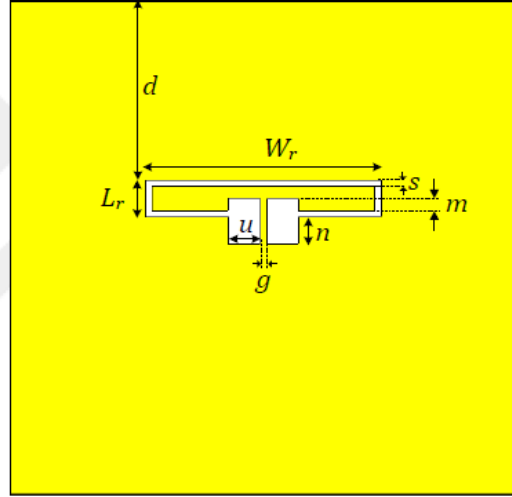
Yapılan bir başka minyatürleştirme çalışmasında ise fraktal şekiller kullanılmıştır. Bu yapılan çalışmada anten boyutları düşüş sağlanırken bant genişliğinde artış gözlemlenmiştir. Şekil 2.42’de dört farklı anten tasarımı ve rezonans frekansları gösterilmiştir (Chen vd. 2008).



Şekil 2.42 (a) Anten tasarımlarının üstten görünüm (b) Rezonans frekansları (Chen vd. 2008)

KS0 tasarımda bant genişliği 0.45% iken KS1’ de 0.49%, KS2’ de 0.49% ve KS3’ de 0.68% olduğu görülmüştür. Ayrıca KS0 referans anten tasarımına göre boyut küçülme oranları ise sırasıyla 66.2%, 74.7% ve 77.1%’ dir (Chen vd. 2008).

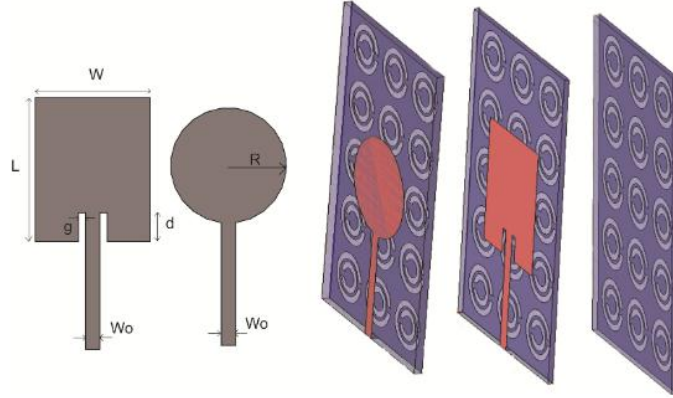
Mikroşerit yama antenlerin toprak düzleminde kusur oluşturarak anten boyutlarının küçültmek de mümkündür. Literatüde yapılan bir çalışmada toprak düzlemine ayrık halka rezonatör şekli kazınarak elde edilen yapıda küçültme sağlanmıştır (Küçüköner 2016).



Şekil 2.43 Kusurlu toprak düzlemi (Küçüköner 2016)

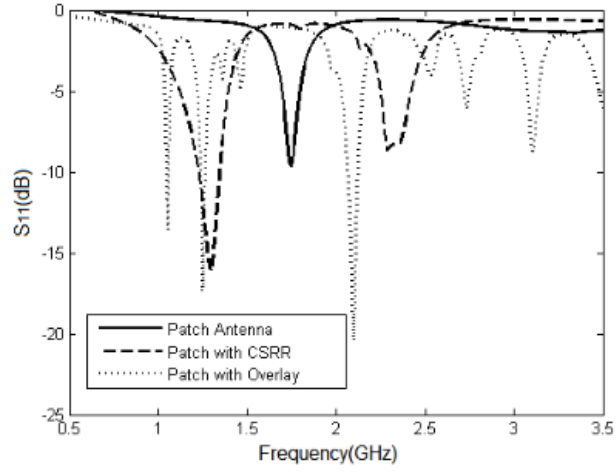
Şekil 2.43'deki tasarım mikroşerit yama antene uygulandığında tasarım parametrelerin değişikliğine göre 40%'ın üzerinde anten boyutlarında küçültme sağlamıştır. Ayrıca kazanç ve yönlülüğe pozitif yönde bir etkisi olduğuda görülmüştür (Küçüköner 2016).

Küçültme çalışmalarında kullanılan bir başka yöntem ise metamalzemelerdir. Şekil 2.44'de görüldüğü üzere toprak düzlemine ve alt taşa solak malzeme (LHM) özelliği katmak için metamalzeme eklenmiş bir çalışmada, tamamlayıcı ayrık halka rezonatörü (CSSR) yapılarının yalnız toprak düzlemine, yalnız alt taşa ve hem toprak düzleme hem de alttaşa eklenerek anten karakteristiği incelenmiştir. Bu yapılar ile rezonans frekansı düşürülerek antenin minyatürleşmesi sağlamıştır (Luna vd. 2013).



Şekil 2.44 Tamamlayıcı ayırık rezonatör halka yapıları eklenmiş yama anten (Luna vd. 2013)

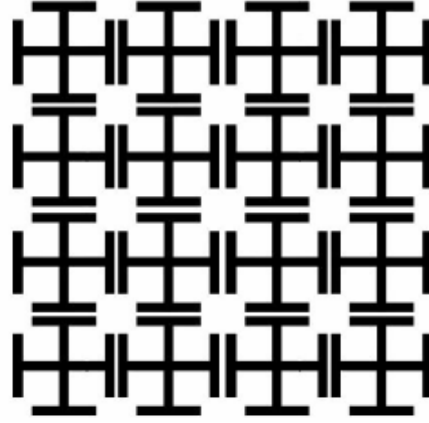
Şekil 2.45’de görüldüğü üzere CSSR eklenmiş yapılarda rezonans frekansını düşerek antenin minyatürleşmesi sağlamıştır. Ayrıca çok bantlı bir davranış sergilediği görülmüştür (Luna vd. 2013).



Şekil 2.45 CSRR eklenmiş ve eklenmemiş dikdörtgen yama antenin geri dönüş kaybı (Luna vd. 2013)

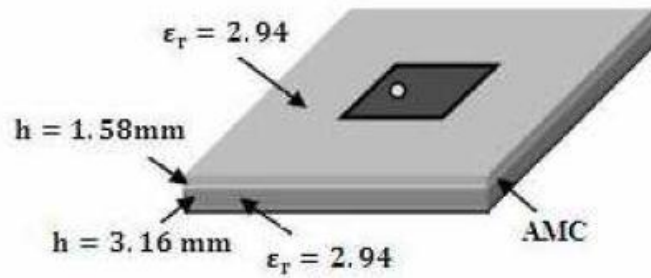
2.7.2 Mikroşerit yama antenlerin bant genişliğinin artırılması

JC (Jerusalem cross-shaped) yapısı kullanılarak AMC oluşturulabilir. Bu toprak düzlemi yüksek frekans yüzeyi (HIS) olarak davranır. Şekil 2.46'de JC yapısı verilmiştir (Monavar ve Komjani 2011).

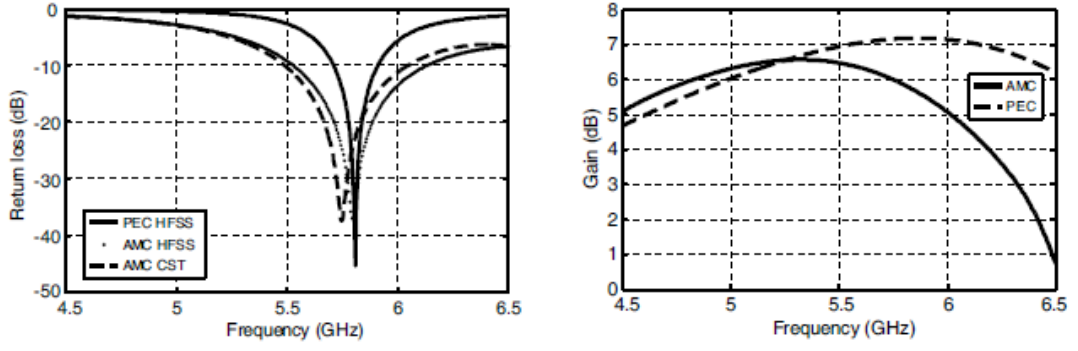


Şekil 2.46 JC yapısı (Monavar ve Komjani 2011)

Yapılan bir çalışmada ise iki alt taş arasına konulan HIS yapısı ile mikroşerit yama antenin bant genişliği önemli ölçüde artmış olduğu ve kazancında da artış olduğu Şekil 2.48'de görülmektedir (Monavar ve Komjani 2011).

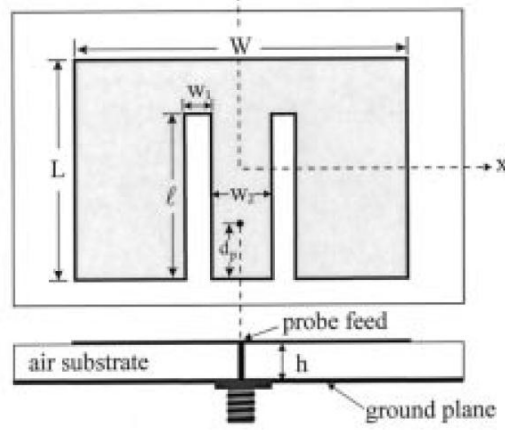


Şekil 2.47 AMC üzerine yerleştirilmiş yama anten (Monavar ve Komjani 2011)



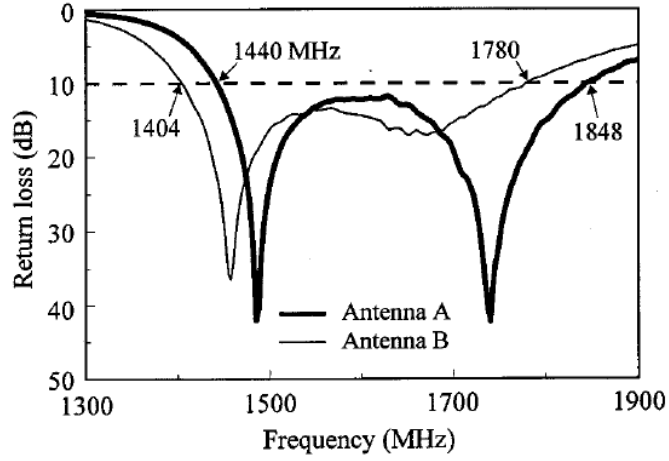
Şekil 2.48 AMC yapısı olan ve olmayan antenlerin geri dönüş kaybı ve kazanç grafikleri (Monavar ve Komjani 2011)

Bir başka çalışmada koaksiyel beslemeli antenin yama kısmına simetrik çift geniş yarık açılarak bant genişliği artırılmıştır. Bu yarıklar yamanın ışımaya yapan kısmına yerleştirilerek birleşik iki rezonans modunda uyarılmasına neden olduğundan geniş bir bant meydana gelmiştir. Şekil 2.49'de çift yarık açılarak yapılan tasarım verilmiştir (Wong ve Hsu 2001).



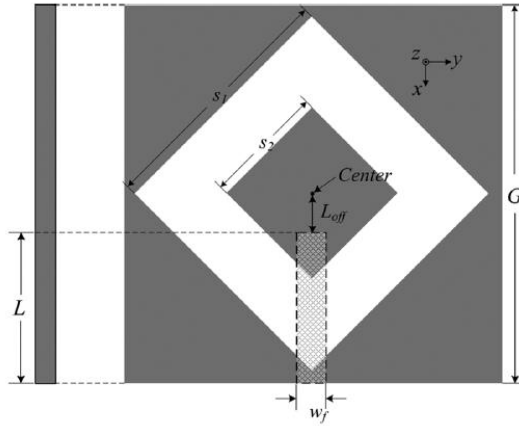
Şekil 2.49 Simetrik çift yarıklı yama anten (Wong ve Hsu 2001)

Klasik mikroşerit yama antenlerin bant genişlikleri genellikle 10%'un altıdayken bu çalışmada 2 farklı boyutlarda yarıklar açılmış olan 2 farklı mikroşerit anteninin bant genişliklerinin 24%'e kadar arttığı gözlemlenmiştir ve geri dönüş kaybı grafiği Şekil 2.50'de gösterilmiştir (Wong ve Hsu 2001).

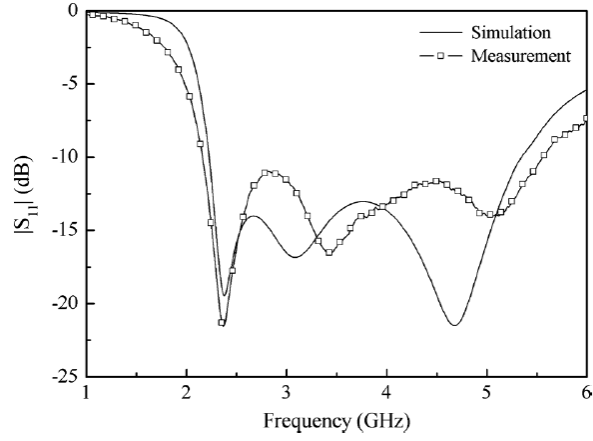


Şekil 2.50 Çift yarıklı anten tasarımının RL grafiği (Wong ve Hsu 2001)

Bir başka çalışmada bant genişliğini arttırmak için Şekil 2.51’de görülen parazitik yamadan faydalanılmıştır. Bir yama anteni tek rezonans modundayken bandını genişletmek rezonans karakteristiği sebebiyle oldukça kısıtlıdır. Ancak parazitik uyarım ile ikinci bir rezonans elde edilebilmektedir. Bu çalışmada iki rezonans modu birleştirilerek geniş bant elde edilmiştir (Sung 2012).



Şekil 2.51 Parazitik yama anten ön ve yan görünümü (Sung 2012)

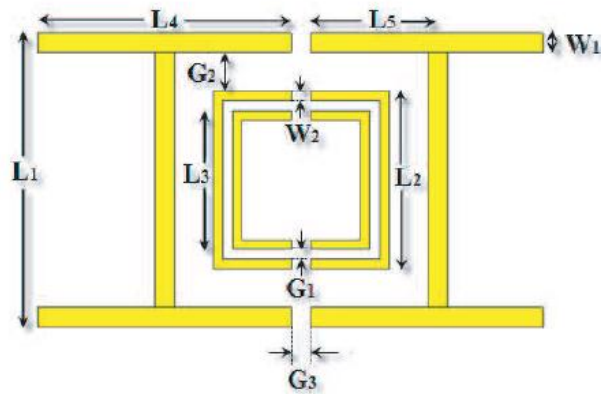


Şekil 2.52 RL parametresinin simülasyon ve ölçüm sonuçları (Sung 2012)

Tasarlanan bu yapı ile şekil 2.52’de görüldüğü üzere bant genişliği yaklaşık 3 GHz’dir ve başka bir deyişle bant genişliğinin 82% civarında olduğu görülmüştür (Sung 2012).

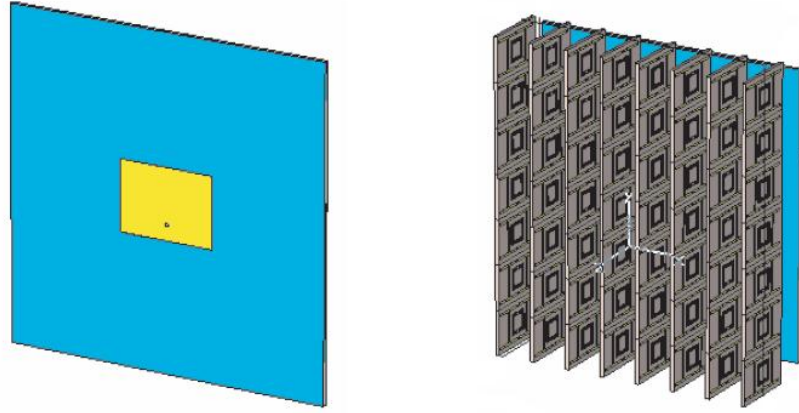
Metamalzeme taban kullanılarak mikroşerit antenlerin bantlarını genişletmekte mümkündür. Üretim bakımından zahmetli ve pahalı olmalarına rağmen literatürde bu tür çalışmalar mevcuttur.

Metamalzeme alt taş kullanılan bir çalışmada alttaşa solak malzeme özelliği kazandırmak için SSR ve CLS yapıları kullanılarak negatif manyetik geçirgenlik ve negatif elektriksel geçirgenlik elde edilmiştir (Majid vd. 2009).



Şekil 2.53 SRR ve CLS yapılarında oluşan birim hücre (Majid vd. 2009)

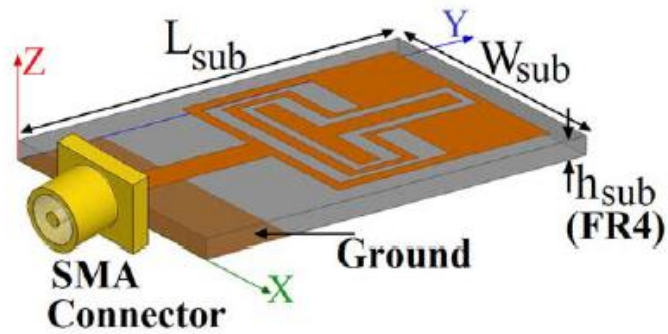
Şekil 2.53’de görülen yapı bir dizi şeklinde alttaşın arkasına yerleştirilmiştir.



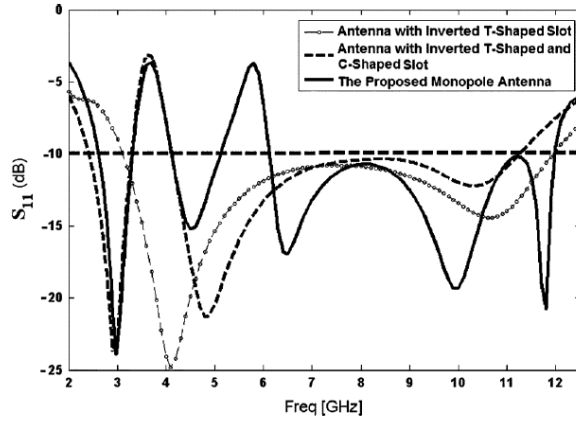
Şekil 2.54 Metamalzeme tabanlı anten tasarımı ön ve arka görünümü (Majid vd. 2009)

Şekil 2.54’de görülen tasarım ile bant genişliğini 2.9% dan 4.98%’ e arttığı görülürken aynı zamandan kazancın 5 dB arttığı görülmüştür (Majid vd. 2009).

Yapılan bir başka çalışmada ise mikroşerit antenin yama kısmına farklı şekillerde oyuklar açılarak ve parazitik bir eleman eklenerek geniş bantlı bir anten edilmiştir. Şekil 2.55’de yapılan anten tasarımı gösterilmiştir (Ojaroudi ve Ojaroudi 2013).



Şekil 2.55 ‘‘T’’ ve ‘‘C’’ şeklinde oyuk ve ‘‘T’’ şeklinde parazitik eleman bulunun anten tasarımı (Ojaroudi ve Ojaroudi 2013)



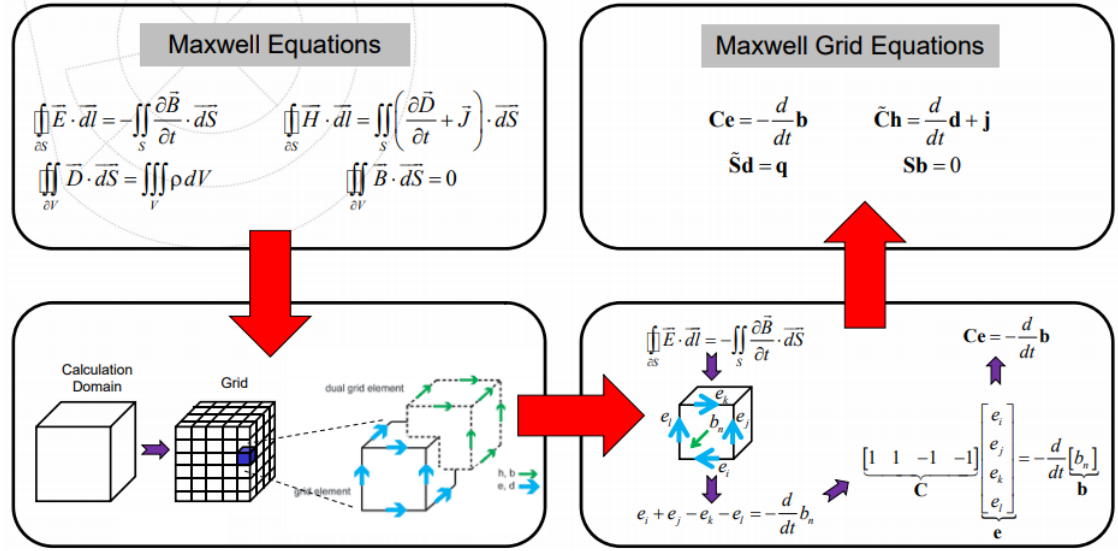
Şekil 2.56 Yama kısma açılan oyukların ve parazitik elemanın S11 parametresine etkisi (Ojaroudi ve Ojaroudi 2013)

Şekil 2.56'de görüldüğü üzere T ve C şekilli oyuk tek çentik band yapısı sağlarken, eklenen T şekilli parazitik element üç çentik bant yapısı sağlamıştır (Ojaroudi ve Ojaroudi 2013).

3. MİKROŞERİT ANTEN TASARIMLARI, SİMÜLASYON VE ÖLÇÜMLERİ

3.1 Simülasyon Ortamı

CST Microwave Studio (MWS), yüksek frekans bileşenlerinin 3 boyutlu elektromanyetik analizi ve simülasyonu için kullanılan ticari bir yazılım paketidir. MWS sonlu integrasyon yöntemine (FIT) dayanmaktadır. Bu method en genel Maxwell denklemlerini ızgara alan üzerinden açıklar. Ayrıca bu method hem zaman bölgesinde hem de frekans bölgesinde yazılabilmektedir (Hirtenfelder 2007). Bu tekniğin kısaca adımları şekil 3.1’de gösterilmiştir.



Şekil3.1 FIT adımları (Costa ve Guterman 2010)

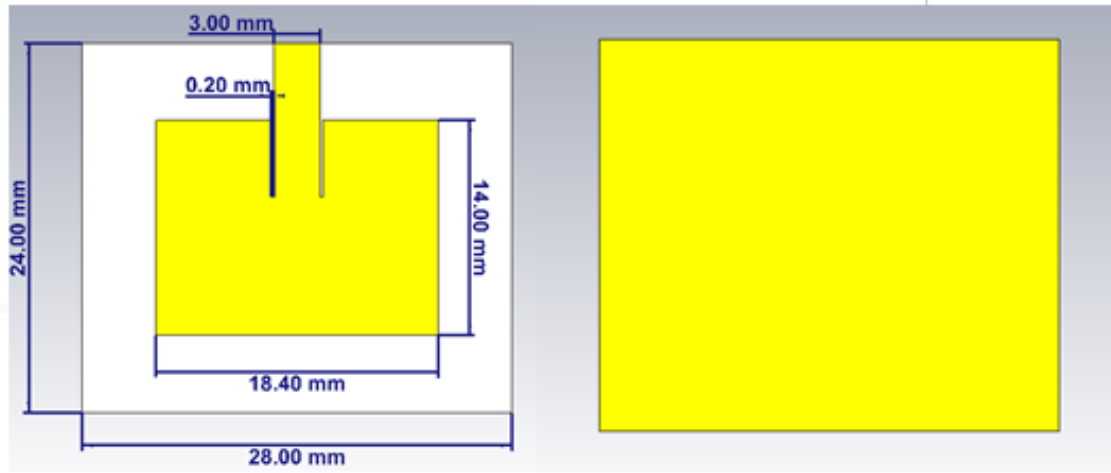
3.2 Mikroşerit Yama Anten Tasarımları, Simülasyonları ve Ölçümleri

3.2.1 Tasarım ve simülasyonlar

Mikroşerit yama antenlerin minyatürleştirilmesi ve bant genişliğinin artırılması konusunda literatür çalışmaları araştırılarak ve incelenerek gerekli tecrübeler elde edilmiştir. Daha sonra CST Microwave Studio simülasyon programı ortamında çeşitli

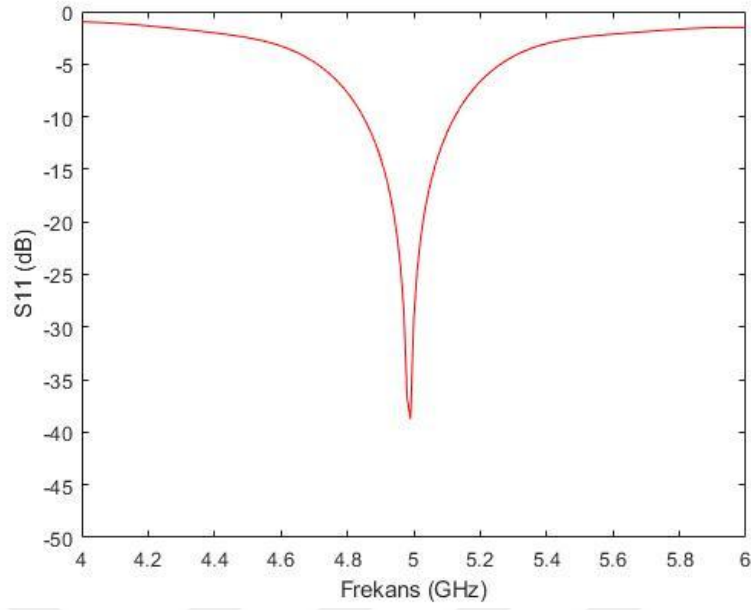
çalışmalar yapılmıştır. Üretim kolaylığı ve maliyet göz önüne alınarak çeşitli anten tasarımları yapılmıştır.

Öncelikle anten tasarımı ve simülasyonu tecrübesi kazanmak amacı ile Şekil 3.2’de görüldüğü gibi 1.6 mm kalınlığında bağıl dielektrik geçirgenliği 4.3 olan FR-4 üzerine 5 GHz’ de çalışacak klasik bir dikdörtgen mikroşerit yama anten tasarlanmıştır.

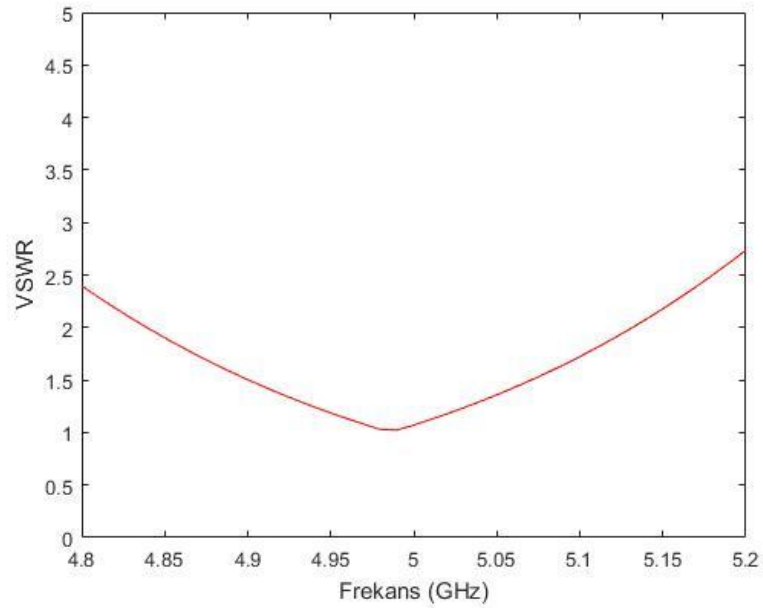


Şekil 3.2 Dikdörtgen mikroşerit yama antenin ön ve arka görüntüsü

Simulasyon ortamlarındaki geri dönüş kaybı ve voltaj duran dalga oranı şekil 3.3-3.4’de verilmiştir.

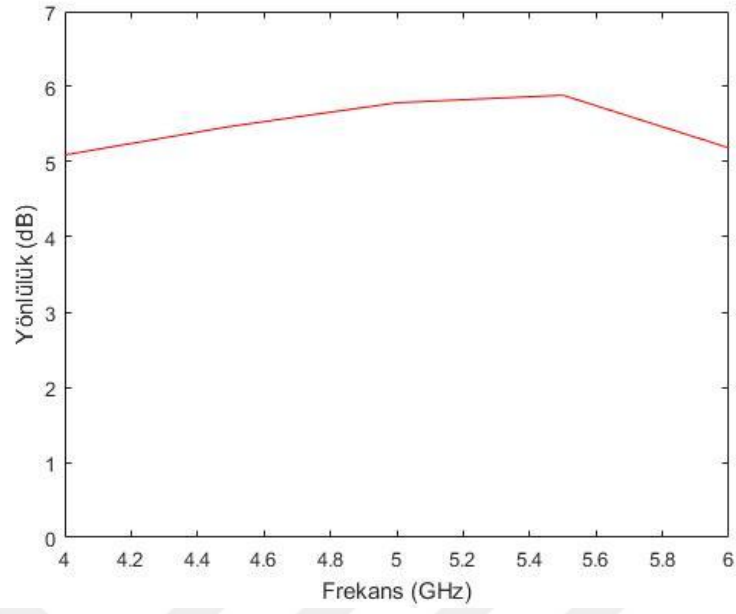


Şekil 3.3 Dikdörtgen mikroşerit yama antenin S_{11} parametresi

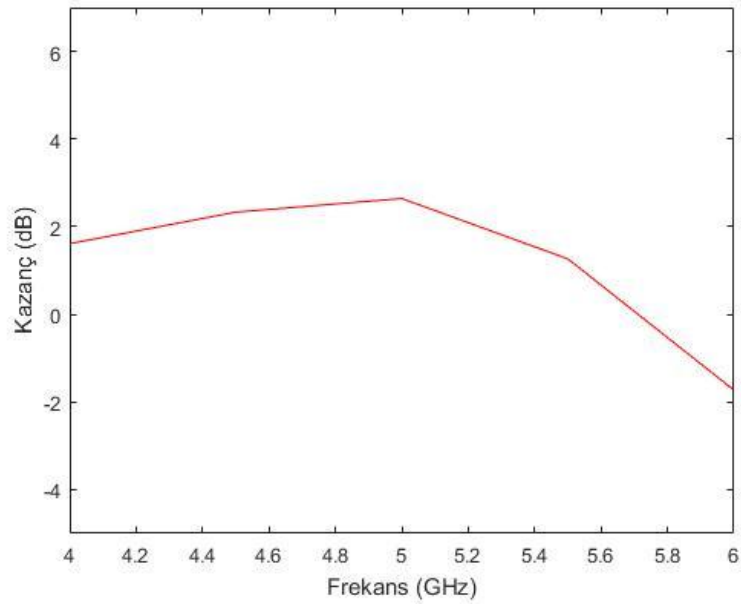


Şekil 3.4 Antenin voltaj duran dalga oranı

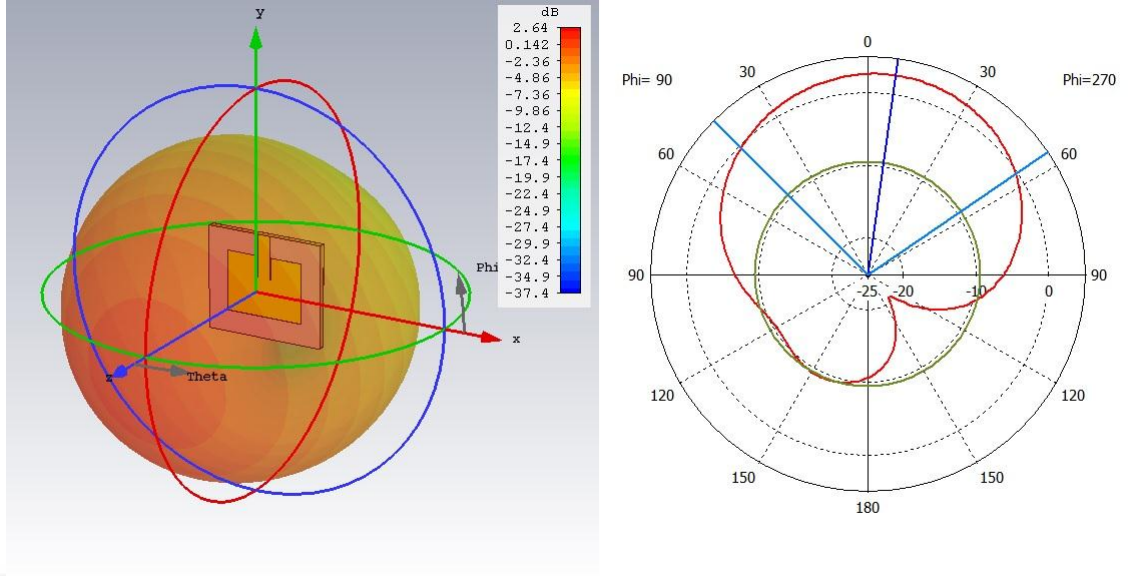
Klasik dikdörtgen mikroşerit antenin duran dalga oranı 5 GHz'de 1.07 ve -10 dB bant genişliğinin 276 MHz başka bir deyişle 5.5% olduğu görülmüştür. Ayrıca frekansa bağlı yönlülüğü, kazancı, ışıma kazanç grafikleri ve oluşan yüzey akımları aşağıda gösterilmiştir.



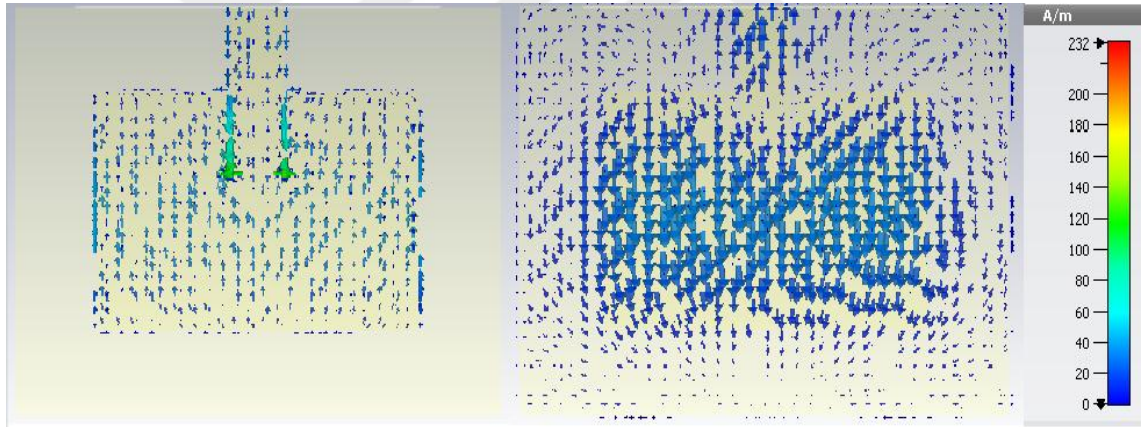
Şekil 3.5 Klasik antenin frekansa bağlı yönlülüğü



Şekil 3.6 Klasik antenin frekansa bağlı kazancı

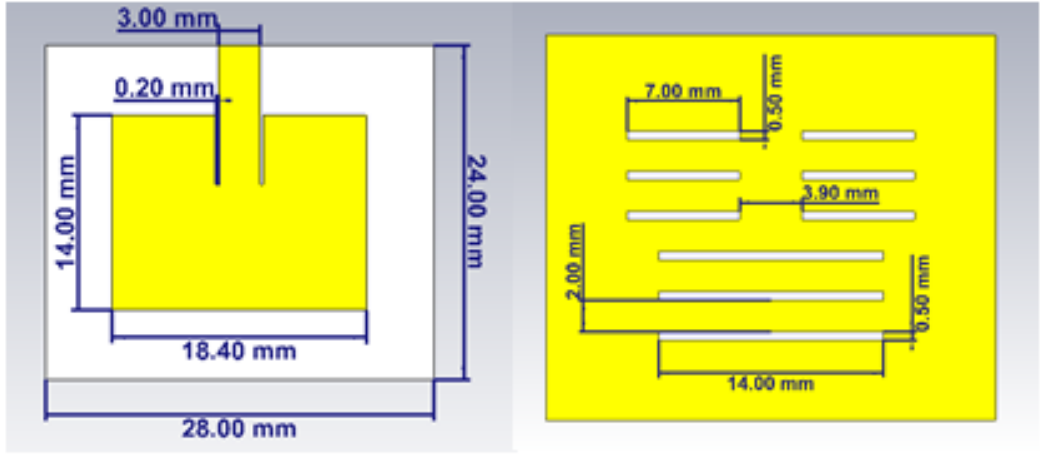


Şekil 3.7 Normal dikdörtgen yama antenin 5 GHz’de ışınma kazanç grafiğinin 3-boyutta ve polar gösterimleri



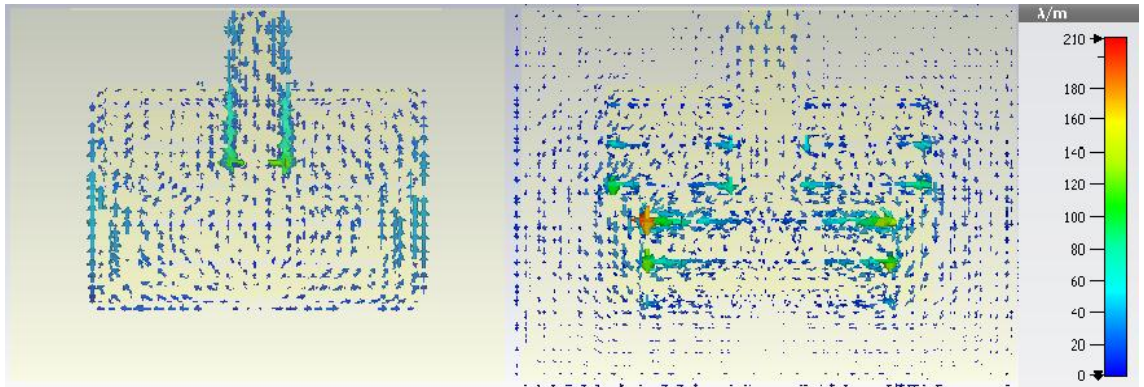
Şekil 3.8 Normal Dikdörtgen yama antenini toprak ve yama düzleminde oluşan yüzey akımları

Anten minyatürleştirilmesini sağlamak için yukarıda incelenen klasik dikdörtgen mikroşerit antenin toprak düzleminde kusurlar yaratılmıştır. Toprak düzlemi kusurlu mikroşerit antenin tasarımı Şekil 3.9’da verilmiştir.



Şekil 3.9 Toprak düzlemi bozulmuş (TDB) mikroşerit antenin ön ve arka görüntüsü

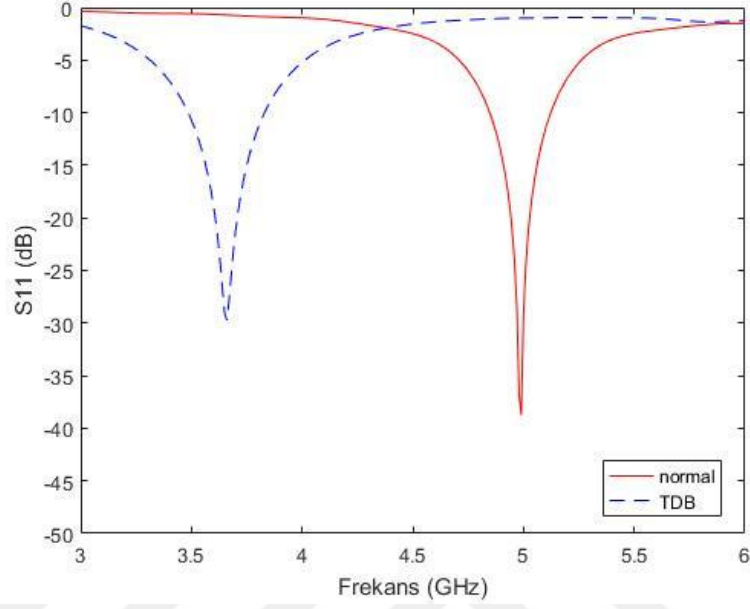
Yaratılan kusurlar toprak düzleminde oluşan yüzey akımlarının yolunu değiştirerek kusurların etrafından akması sağlanmaktadır. Kapasitif kuplaj etkisi ile yama katmanındaki yüzey akımları ters istikamette aynı yolu izlemeye zorlanmaktadır. Böylece akımın fazla yol almasını sağlamaktadır. Mikroşerit hatlar bir bobin olarak davranış sergilediği için alınan yolun artması indüktansı arttırmaktadır. İndüktanın artması ile LC devresi gibi davranan antenin çalışma frekansı düşmektedir. Oluşan yüzey akımları Şekil 3.10'da gösterilmiştir. Bu kusurların tasarımları çeşitli parametrelerde denemeler sonucunda optimum hale getirilerek simülasyonu yapılmıştır.



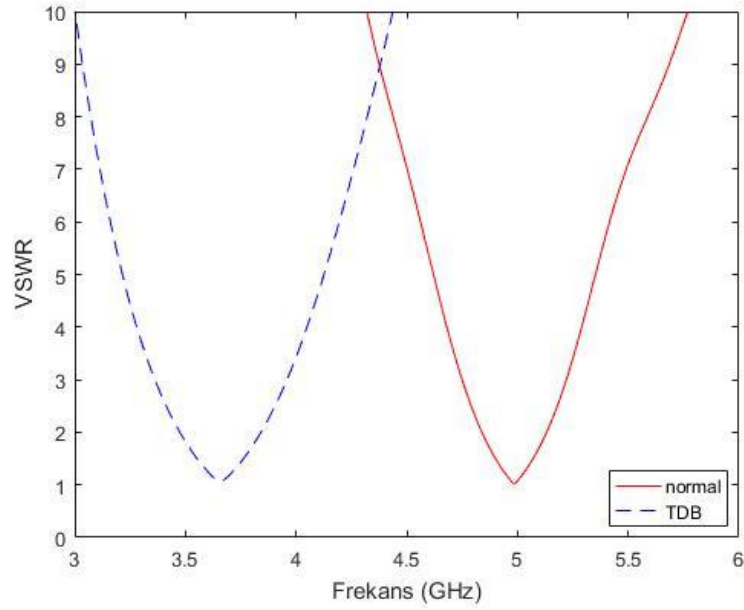
Şekil 3.10 TDB antenin toprak katmanı ve yama katmanının yüzey akımları

Toprak düzlemin bozulması ile rezonans frekansının 5 GHz'den 3.66 GHz'e düştüğü görülmüştür. Bu düşüş, ışınım alanının 47% azalması anlamına gelmektedir.

Şekil 3.11’de iki antenin çalışma frekansları kıyaslanmıştır. Bant genişliğinin 276 MHz’den 345 MHz’e çıktığı görülmüştür. Yüzde olarak bant genliğine bakacak olursak 5.5%’den 9.4%’e çıkmıştır.



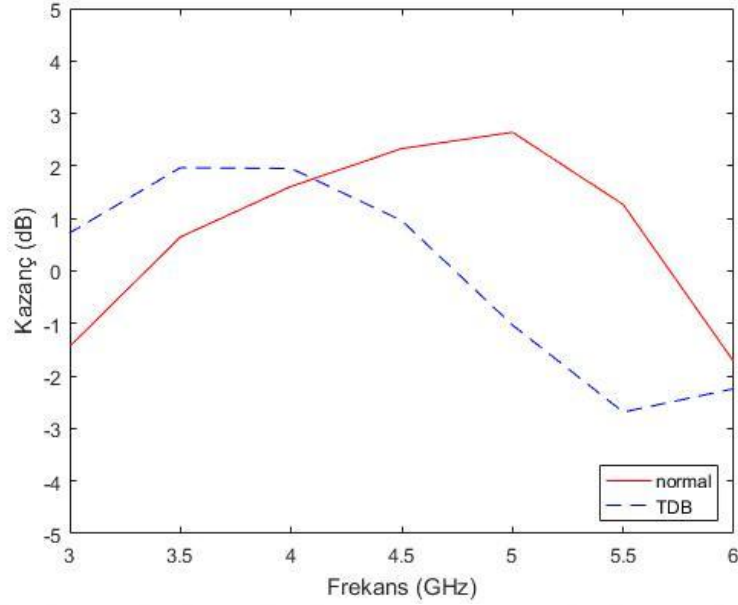
Şekil 3.11 Klasik anten ile TDB antenin S₁₁ parametresi kıyaslaması



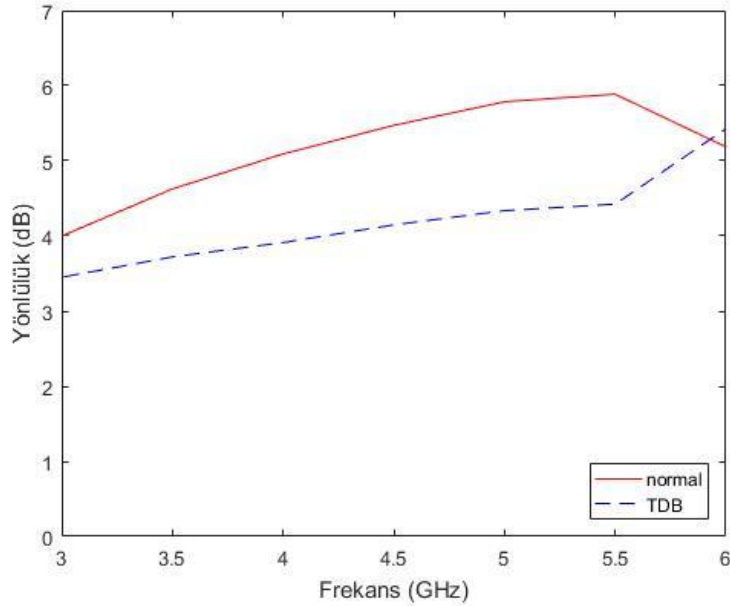
Şekil 3.12 Klasik anten ile TDB antenin voltaj duran dalga oranları

Voltaj duran dalga oranlarına bakıldığında antenlerin çalışma frekanslarında empedans uyumunun neredeyse kusursuz olduğu şekil 3.12’ de görülmektedir. TDB antenin duran dalga oranı 1.06 iken klasik antenin duran dalga oranı 1.07’dir.

İki antenin kazançları ve yönlülükleri sırasıyla şekil 3.13 - 3.14’ de gösterilmiştir.

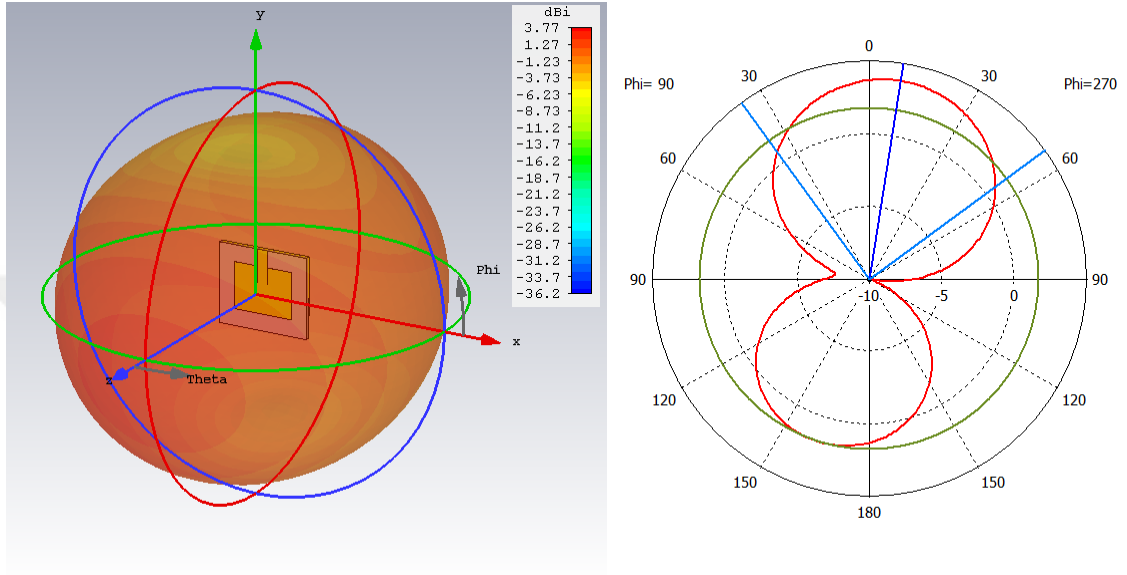


Şekil 3.13 Klasik anten ile TBD antenin kazanç kıyaslaması



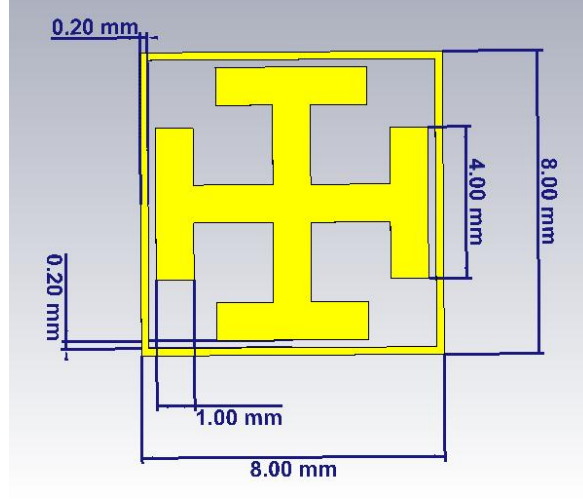
Şekil 3.14 Klasik anten ile TBD antenin yönlülük kıyaslaması

Toprak düzleminde yapılan kusurlar antenin çalışma frekansını düşürmesi ile minyatürleştirdiği görülürken kazanç ve yönlülüklerde azalma meydana gelmiştir. TDB yapı ile çalışma frekanslarındaki yönlülük 5.78'den 3.78'e, kazanç ise 2.64'den 1.96'ya düşmüştür. Işıma kazanç grafikleri şekil 3.15'de verilmiştir.

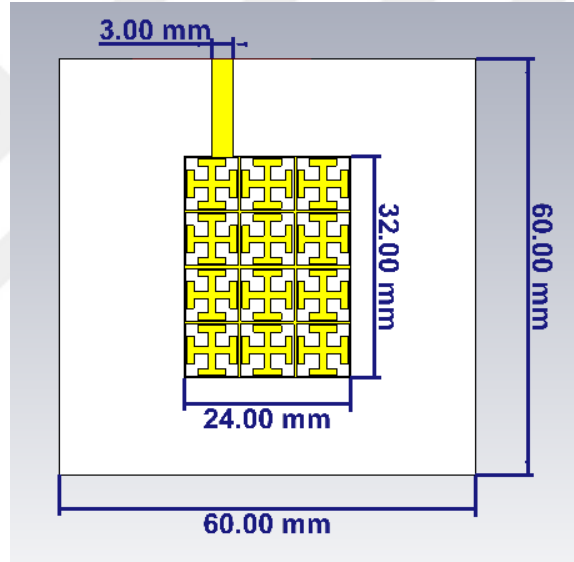


Şekil 3.15 TDB yama antenin 3.66 GHz'de ışımaya kazanç grafiğinin 3-boyutta ve polar gösterimleri

Diğer bir tasarımda ise ultra geniş bantlı bir yama anten elde etmek için metamalzeme ve RIS yapısından faydalanılmıştır. Şekil 3.16'da gösterilmiş birim hücre 3x4'lük matris şeklinde yanyana getirilerek şekil 3.17'de gösterilen yama tasarımı yapılmıştır. Altaş olarak 4.3 bağıl dielektrik geçirgenliğe sahip 1.6 mm kalınlığında FR-4 seçilmiştir.

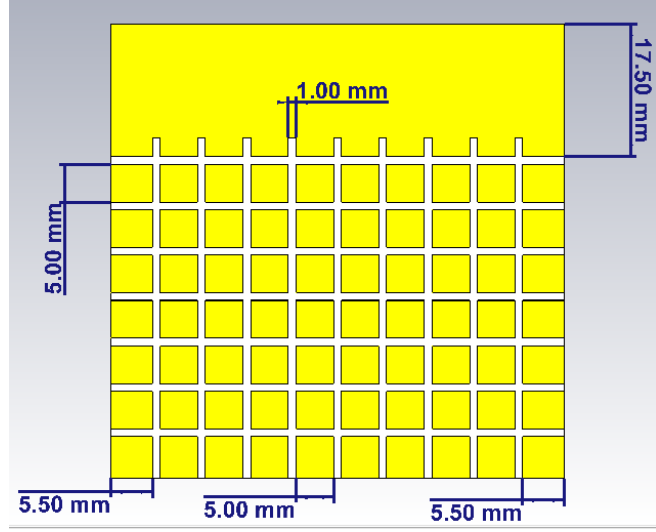


Şekil 3.16 Metamalzeme birim hücresi



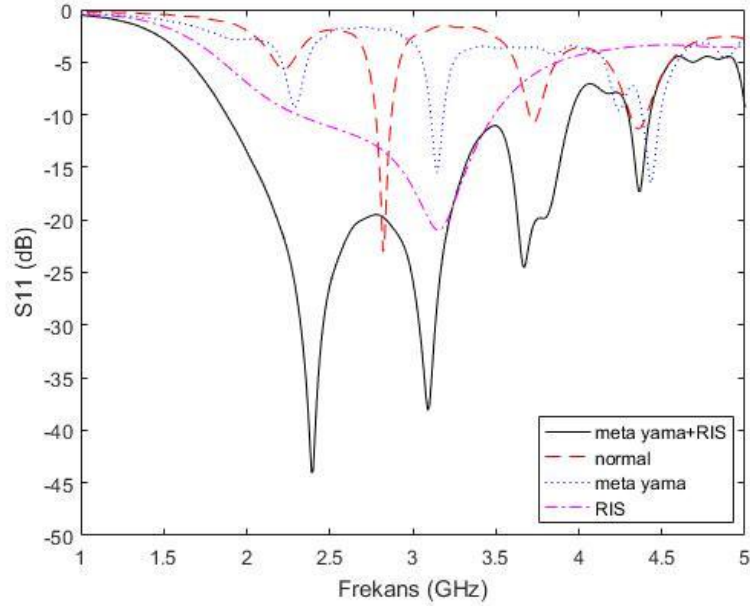
Şekil 3.17 Metamalzeme yama anten önden görüntüsü

Toprak katmanında şekil 3.18’de görüldüğü gibi RIS yapısı kullanılmıştır. Ancak iletim hattının veriminde negatif bir etki olmaması için besleme hattının alt kesitinde kalan toprak düzleminde RIS yapısı oluşturulmamıştır.



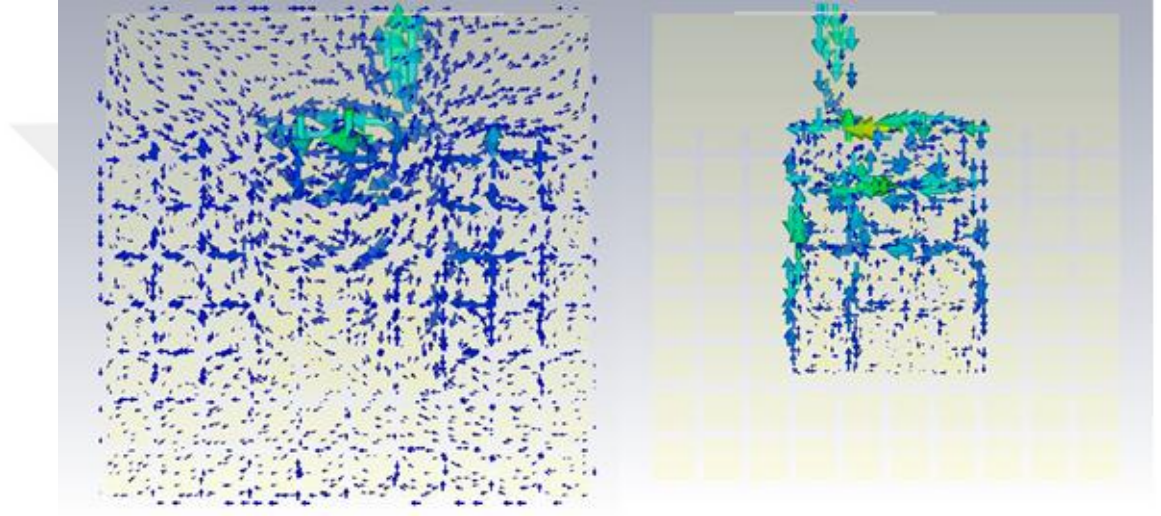
Şekil 3.18 Metamalzeme antenin toprak düzlemi

Metamalzeme yamanın ve toprak düzleminde oluşturulan RIS yapısının antenin geri dönüş kaybı karakteristiğine nasıl eltki edeceğini görmek için bu yapılar ayrı ayrı simüle edilerek şekil 3.21’de gösterilen normal bir yama antenle sonuçları şekil 3.19’da kıyaslanmıştır.



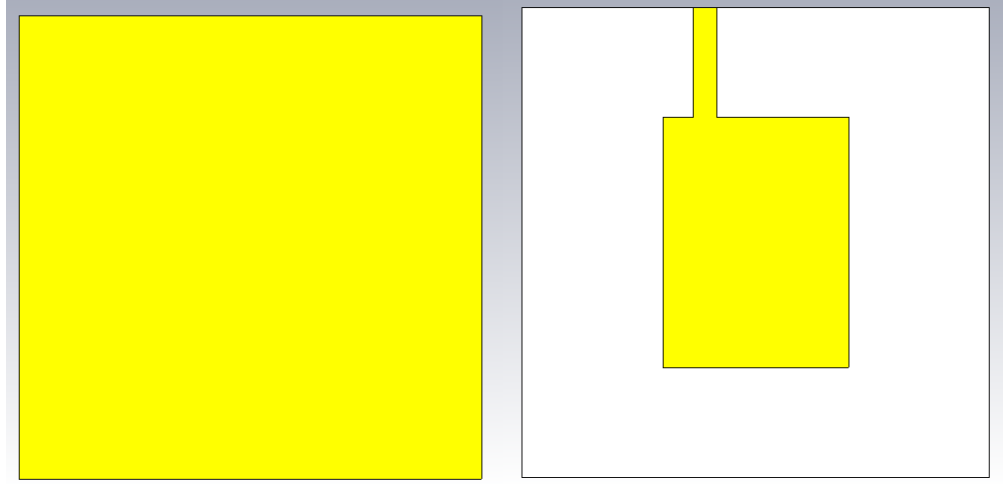
Şekil 3.19 Önerilen anten yapısının tek meta yama, tek RIS ve normal antenin S_{11} parametreleri

Şekil 3.19’de S_{11} parametresinde görüldüğü üzere metamalzeme yama tek başına kullanıldığında şekil 3.21’de görülen normal antene göre daha fazla sayıda rezonans verdiği görülmüştür. Ancak yüksek yansıma şiddeti ve bant genişliğinden söz etmek mümkün değildir. Bu yapının toprak katmanına RIS yapısı eklenmesi ile üç büyük, birbirine yakın ve şiddetli rezonansın ortaya çıkmasını sağlamıştır. Böylece -10 dB bant genişliğinin 2.08 GHz olduğu gözlemlenmiştir. Başka bir deyişle bant genişliği 71.47%’dir. Şekil 3.20’de UWB antenin yüzey akımları gösterilmiştir.



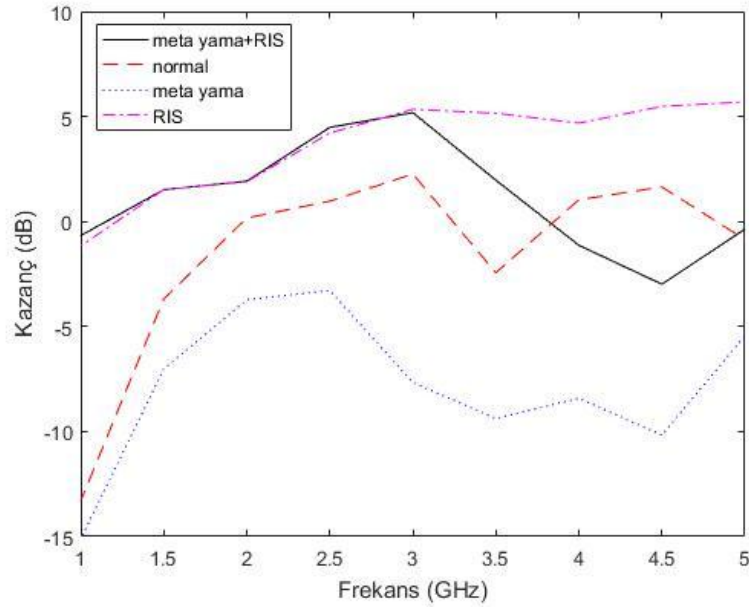
Şekil 3.20 UWB antenin toprak ve yama kısımlarında oluşan yüzey akımları

Normal anten ile toprak katmanı RIS olan anten kıyaslandığında, normal anten 2.83 GHz merkez frekansında bant genişliği 110 MHz iken RIS yapısı eklendiğinde merkez frekansının 2.89 GHz kaydığı ve bant genişliğinin 1190 MHz’e çıktığı gözlemlenmiştir.

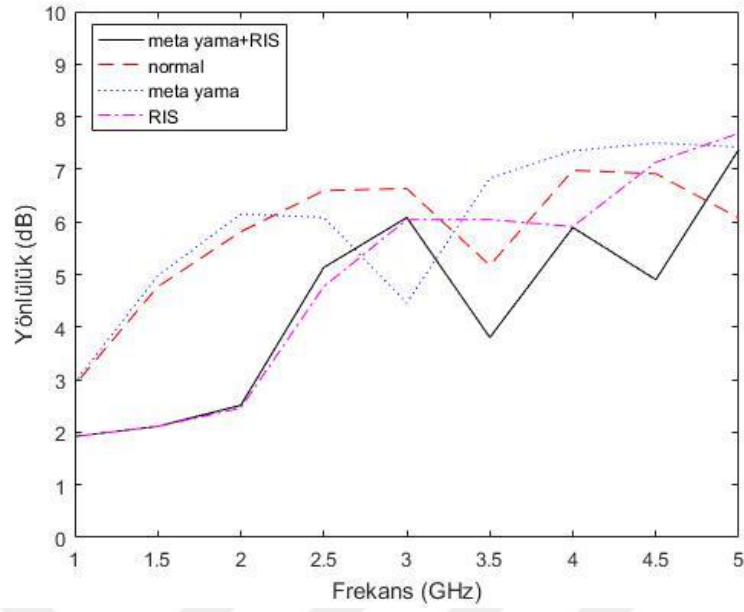


Şekil 3.21 Normal mikroşerit yama anten önden ve arkadan görüntüsü

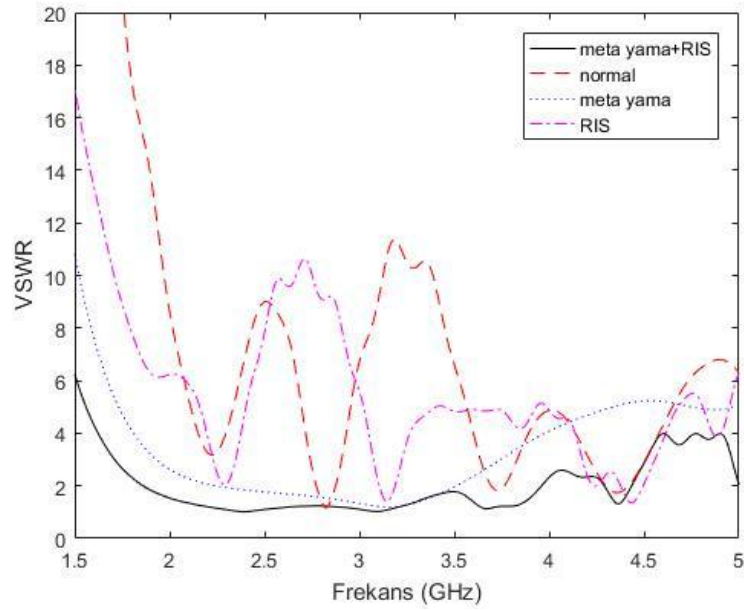
Kazanç, yönlülük ve voltaj duran dalga oranı parametreleri şekil 3.21-3.23'de verilmiştir.



Şekil 3.22 Önerilen anten yapısının tek meta yama, tek RIS ve normal antenin kazançları

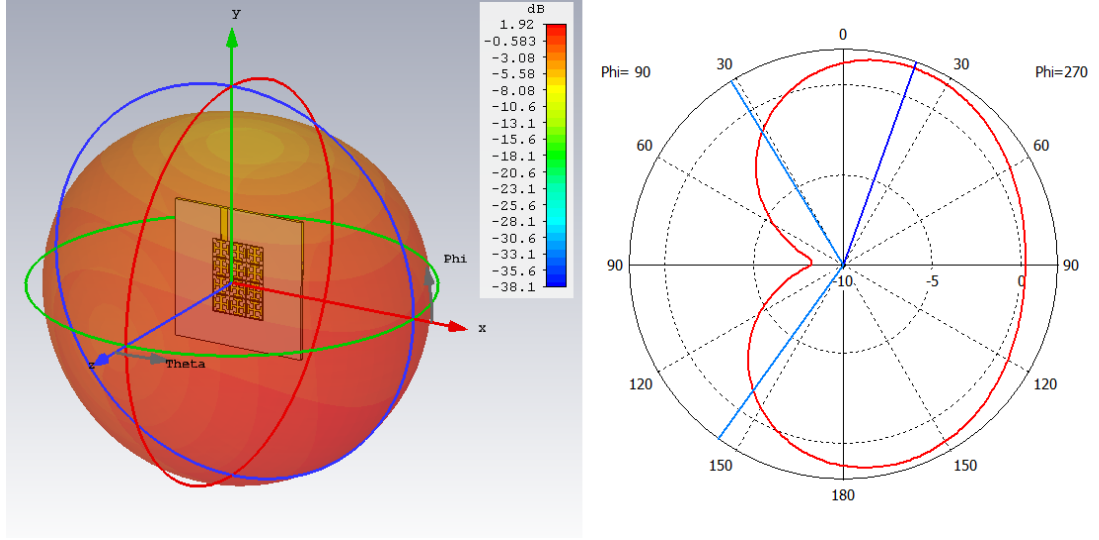


Şekil 3.23 Önerilen anten yapısının tek meta yama, tek RIS ve normal antenin yönlülük parametreleri

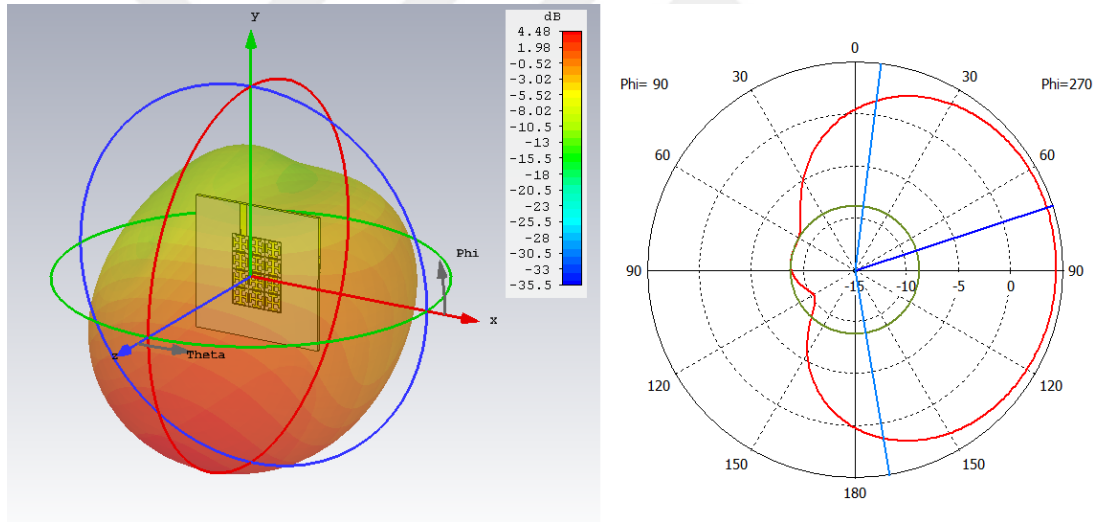


Şekil 3.24 Önerilen anten yapısının tek meta yama, tek RIS ve normal antenin VSWR parametreleri

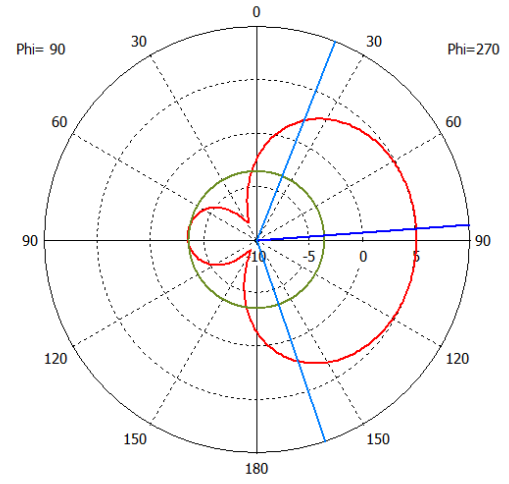
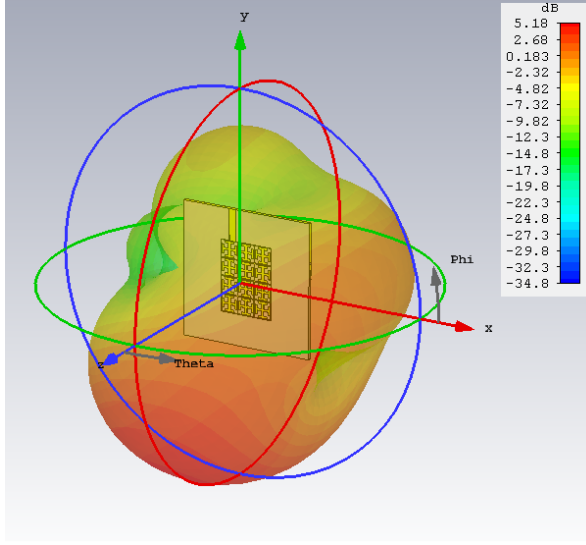
UBW antenin ışıma kazanç grafikleri, antenin çalışma bandı genişliği içerisinde bulunan beş ayrı frekansta incelenerek şekil 3.25- 3.29'da gösterilmiştir.



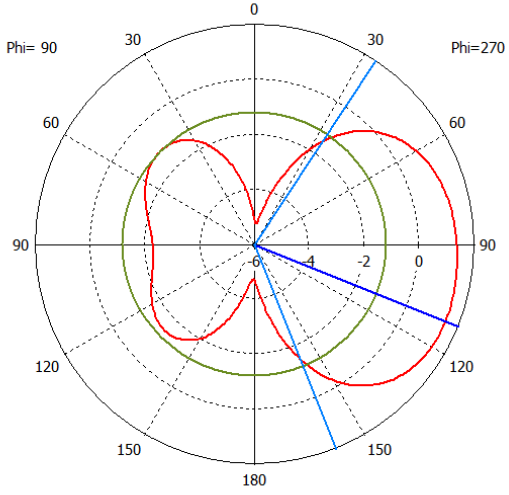
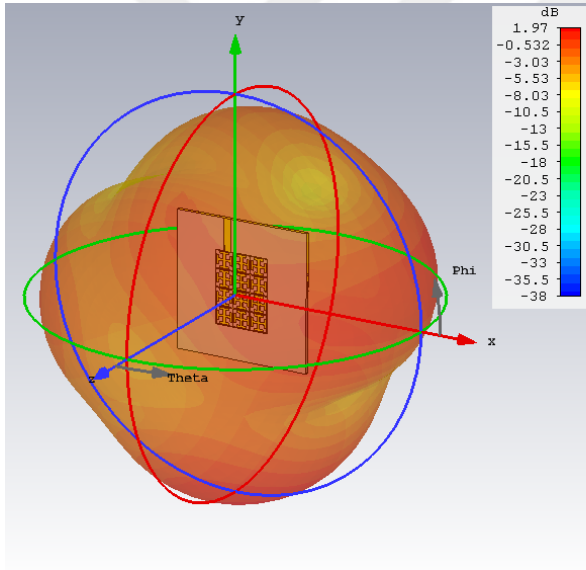
Şekil 3.25 UWB antenin 2 GHz'de ışıma kazanç grafiğinin 3-boyutta ve polar gösterimleri



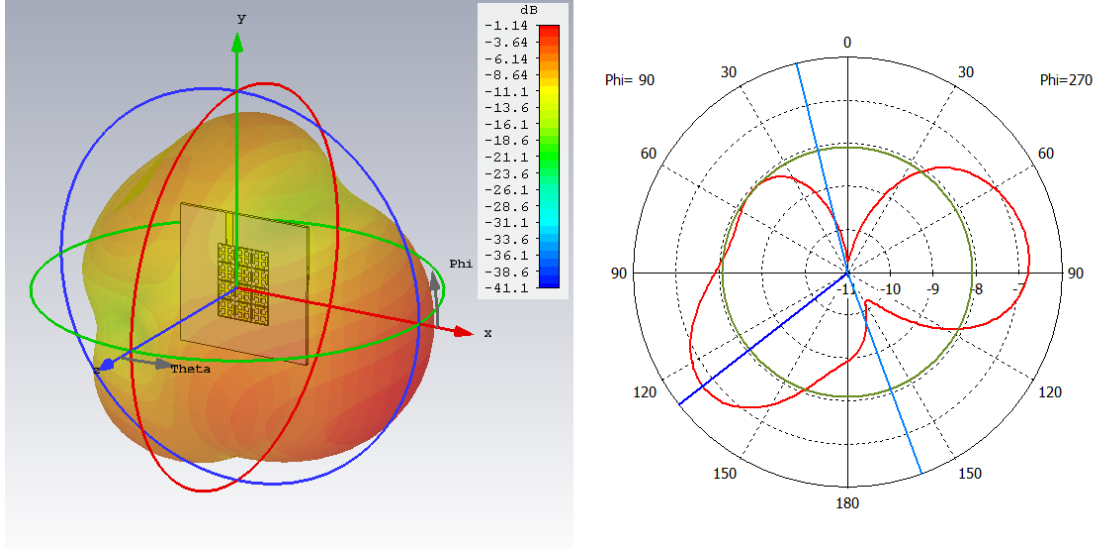
Şekil 3.26 UWB antenin 2.5 GHz'de ışıma kazanç grafiğinin 3-boyutta ve polar gösterimleri



Şekil 3.27 UWB antenin 3 GHz'de ışıma kazanç grafiğinin 3-boyutta ve polar gösterimleri



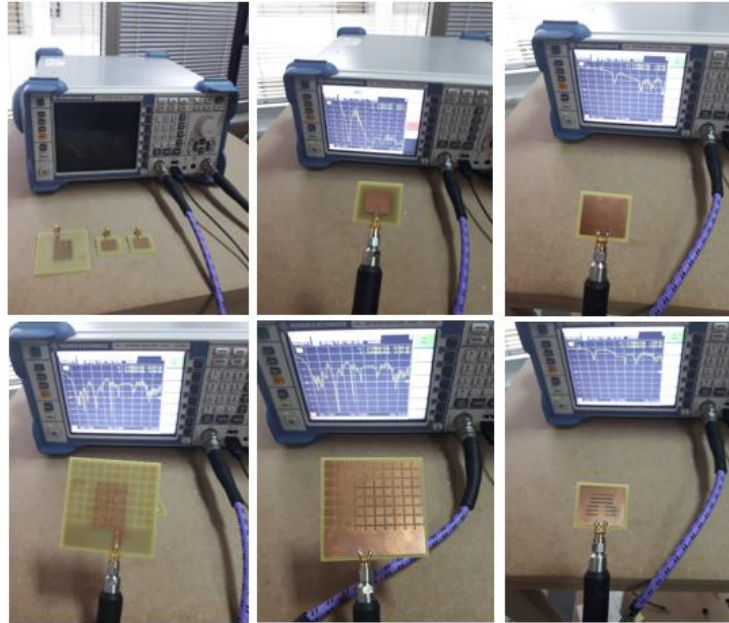
Şekil 3.28 UWB antenin 3.5 GHz'de ışıma kazanç grafiğinin 3-boyutta ve polar gösterimleri



Şekil 3.29 UWB antenin 4 GHz'de ışınım kazanç grafiğinin 3-boyutta ve polar gösterimleri

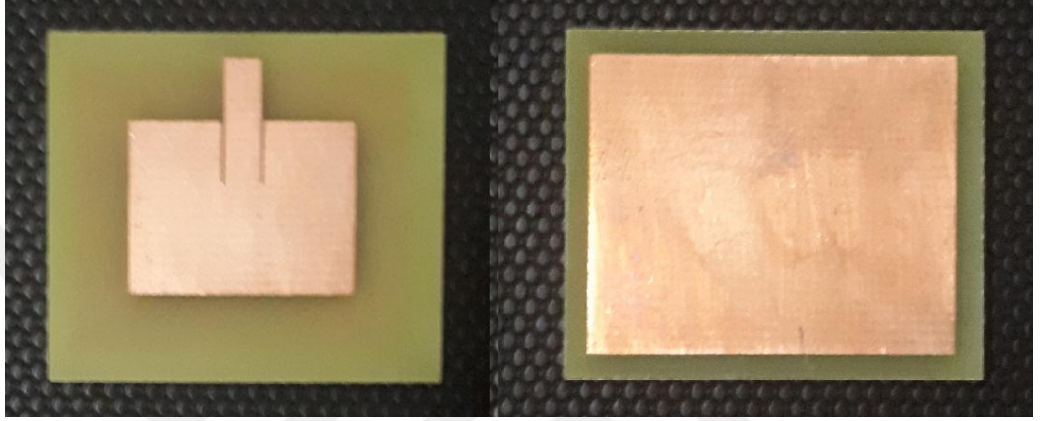
3.2.2 Üretilen antenlerin ölçümleri ve simülasyon sonuçları ile karşılaştırılması

Üretimi yapılan antenler vektör ağ analizöre bağlanarak voltaj duran dalga oranları ve S_{11} parametresi ölçülmüştür.

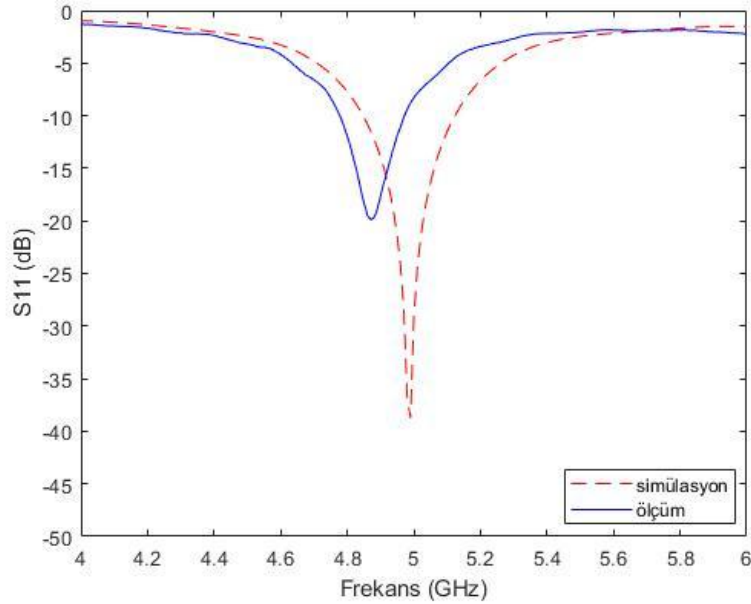


Şekil 3.30 Ölçümden fotoğraflar

Ölçüm sonuçları, simülasyon sonuçları ile rahat bir şekilde kıyaslanabilmesi için aynı grafiğe oturtulmuştur. Olası yanlış ölçümlerin önüne geçebilmek için öncelikle daha basit bir yapı olan ve üretim hata payı daha düşük olan normal dikdörtgen mikroşerit yama anten ile ölçümler alınmıştır. Şekil 3.32’de normal dikdörtgen mikroşerit yama antenin S_{11} parametresinin simülasyon ve ölçüm sonuçları kıyaslaması verilmiştir.

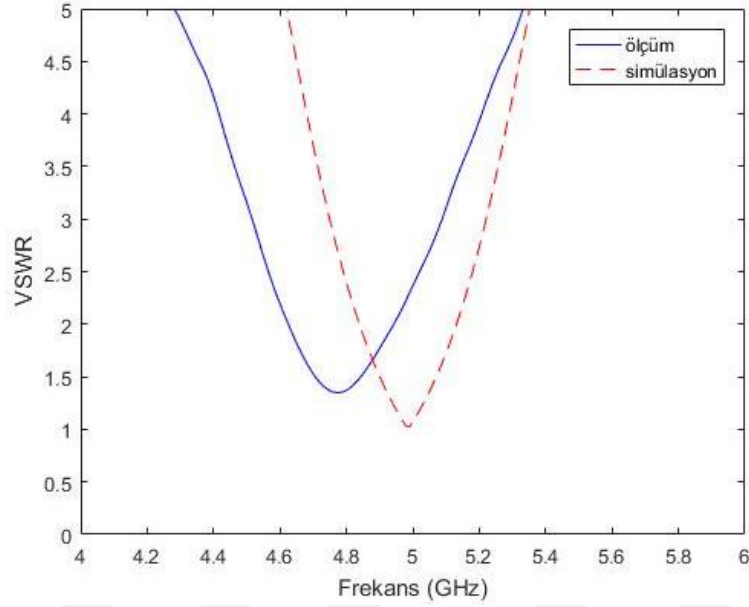


Şekil 3.31 Üretilen dikdörtgen yama anten



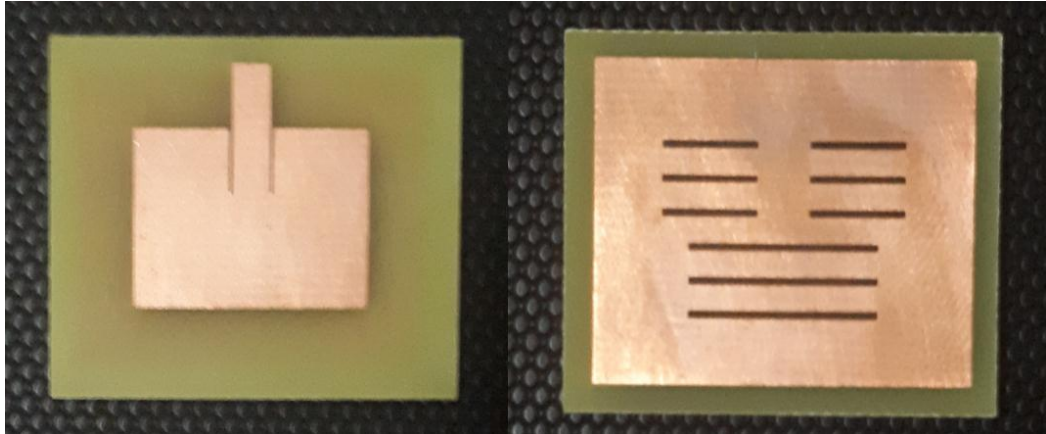
Şekil 3.32 Normal mikroşerit yama antenin ölçüm ve S_{11} değerleri

Simülasyon sonucunda rezonans frekansı 4.99 GHz iken ölçüm sonuçlarında 4.88 GHz olduğu görülmüştür. Şekil 3.33’de antenin normal voltaj dalga oranları gösterilmiştir ve en düşük VSWR oranları rezonans frekanslarında olduğu gözükmemektedir. Simulasyon sonucunda VSWR 1.02 iken ölçüm sonucunda 1.51 olarak ölçülmüştür.

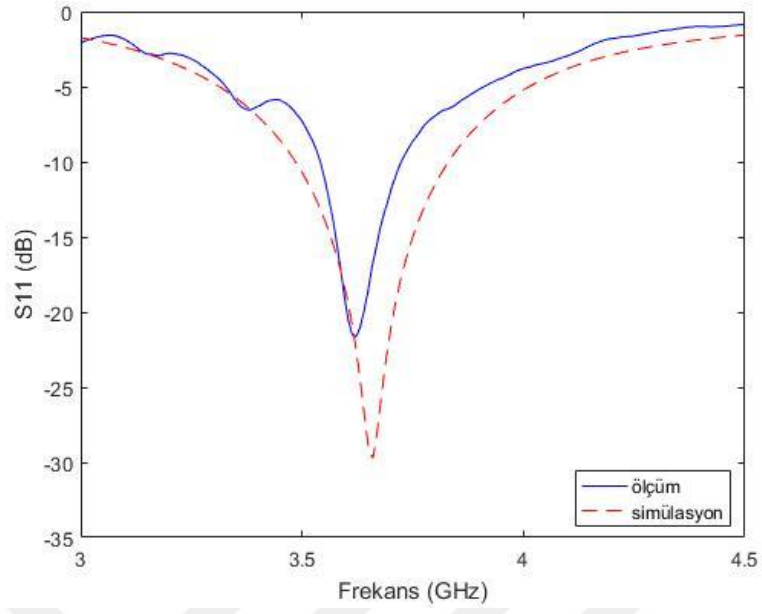


Şekil 3.33 Normal antenin VSWR ölçüm ve simülasyon sonuçları

Minyatürleştirme ve bant genişliği arttırımı için tasarlanan TDB antenin S_{11} değerlerinin simülasyon ve ölçüm sonuçları Şekil 3.35’de gösterilmiştir. Rezonans frekansları simülasyonda 3.65 GHz iken ölçümde 3.62 olduğu gözlemlenmiştir.

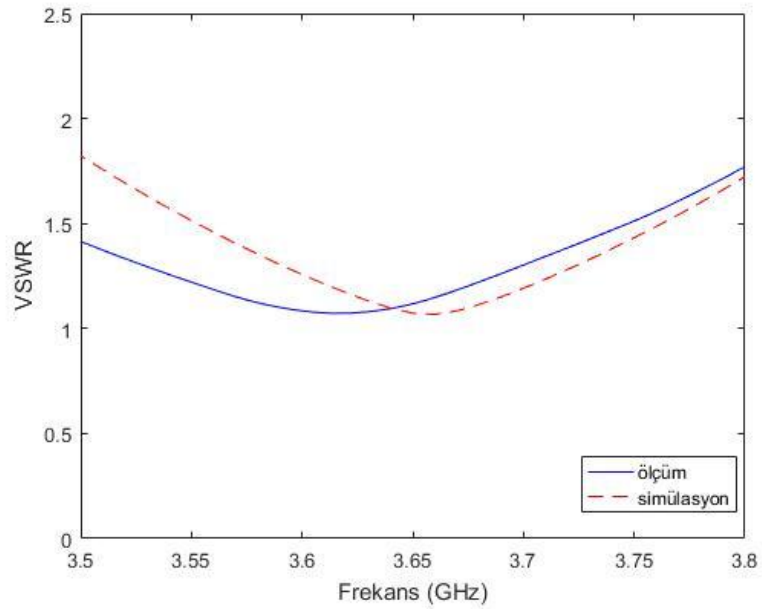


Şekil 3.34 Üretilen TDB anten



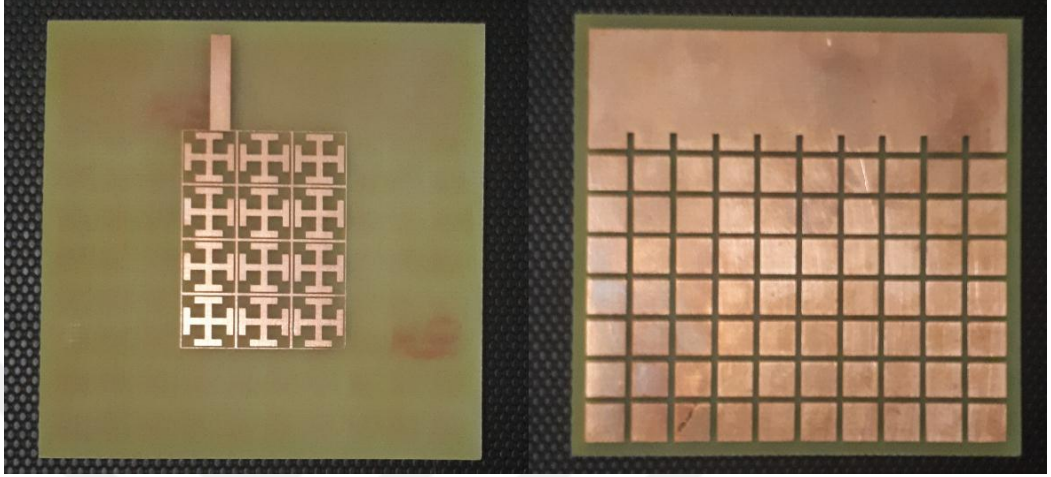
Şekil 3.35 TDB antenin S_{11} ölçüm ve simülasyon değerleri

TDB antenin voltaj duran dalga oranı ölçüm ve simülasyon sonuçları şekil 3.32’de verilmiştir. Simülasyonda rezonans frekansında VSWR 1.06 ölçülürken 1.07 ölçülmüştür.

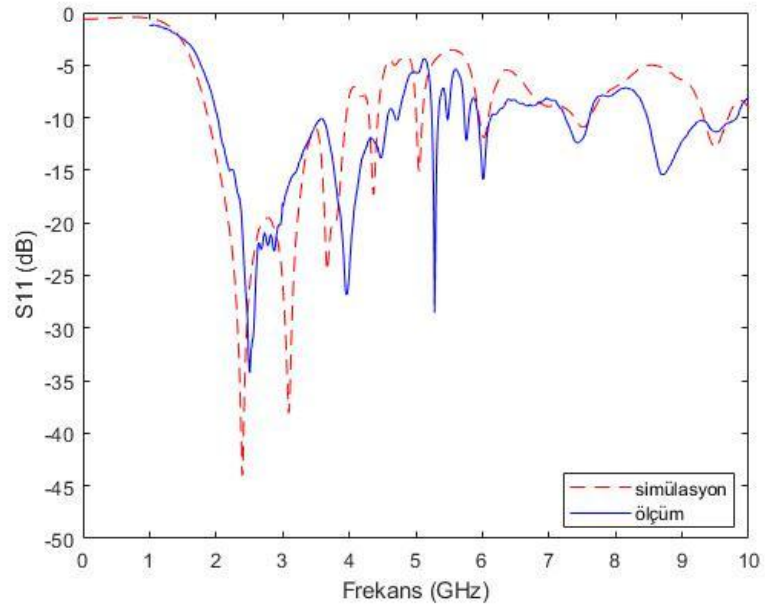


Şekil 3.36 TDB antenin VSWR simülasyon ve ölçüm sonuçları

Ultra geniş bant için tasarlanan metemalzeme yama ve RIS toprak yapıları kullanılan anten tasarımının S_{11} değerlerinin simülasyon ve ölçüm sonuçları şekil 3.38’de gösterilmiştir.

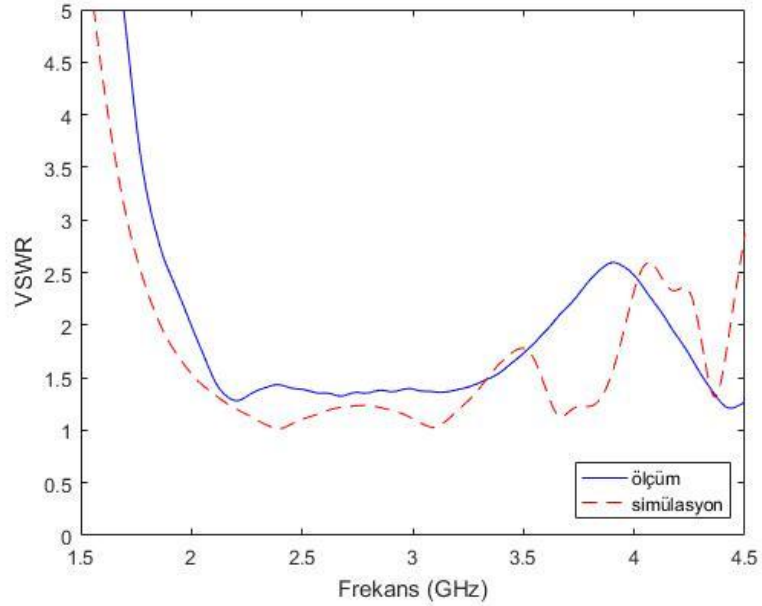


Şekil 3.37 Üretilen UWB anten



Şekil 3.38 UWB antenin S_{11} simülasyon ve ölçüm değerleri

UWB antenin -10 dB bant aralığı simülasyonda 1.9 GHz – 4 GHz iken ölçümde 2GHz - 4.5 GHz olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca duran dalga oranları kıyaslanması Şekil 3.39’de verilmiştir.



Şekil 3.39 UWB antenin simülasyon ve ölçüm VSWR değerleri

Bant genişliğinin simülasyonda 71% iken ölçümde 76% olduğu görülmüştür. Merkez fezonans frekansı simülasyonda 2.95GHz ve ölçümlerde 3.25 GHz olduğu ve bu frekanslarda VSWR değerlerinin sırasıyla simülasyonda 1.15 ve ölçümde 1.41 olduğu gözlemlenmiştir.

4. SONUÇLAR

İçerisinde bulunduğumuz modern teknoloji çağında, teknoloji çok hızlı bir gelişme ve değişim göstermektedir. Kablosuz haberleşme ve kablosuz veri iletimi gibi antenlerin kullanıldığı alanlarda bu gelişmelerden etkilenmektedir. Teknolojide yaşanan bu hızlı gelişim ve değişimler ile gerek ticari gerekse askeri ortamda kullanılan antenler için yeni gereksinimler ortaya çıkmaktadır.

Teknolojideki bu gelişmelerin sonucunda mobil cihazların boyutlarının küçülmesi ile birlikte alt sistemlerinde küçülmesi gerekmektedir. Alt sistemlerden olan antenlerde küçültülmek zorunda kalmaktadır. Ayrıca anten boyutlarının küçülmesinin yanı sıra geniş bant karakteristiği ve düşük üretim maliyeti gibi nitelikleri de sağlaması istenmektedir.

Mikroşerit antenlerin hafif ve düşük hacimli olması, üretim maliyetinin düşüklüğü, elektronik devrelere kolayca entegre edilebilmesi gibi avantajları sayesinde teknolojinin gereksinimleri sağlayabilecek gibi görünmesine rağmen dar bant genişliği ve bazı uygulama alanları için boyutlarının nispeten büyük olması gibi sorunları karşımıza çıkarmaktadır.

Yapılan bu tez çalışmasında, boyutları nispeten büyük olan ve dar bant genişliğine sahip olan mikroşerit yama antenlerin minyatürleştirilmesi ve bant genişliğinin artırılması için simülasyon ortamında çeşitli tasarımlar yapılmıştır. Simülasyon ve analiz sürecinden sonra üretim zorluğu ve maliyeti gibi faktörler göz önünde bulundurularak uygun bulunan tasarımlar üretilmiştir. Üretilen antenler ile CST Microwave programı ortamında yapılan simülasyon sonuçları karşılaştırılmıştır. Ölçümlerin, simülasyon sonuçlarına yakın olduğu gözlemlenmiştir. İkisi arasındaki sapmaların tasarımların üretiminin hassasiyetinden ve piyasada bulunun ve üretimde kullanılan FR-4'ün dielektrik sabiti ve kayıp tanjantının simülasyon programında kullanılan FR-4'e göre değişiklik göstermesi olarak düşünülmektedir. Ayrıca antenler simülasyon ortamında 55 µm kalınlığında mikroşerit iletim hattından kusursuz bir şekilde 50 ohm empedans ile beslenirken, ölçümlerde kullanılan SMA konnektörlerin empedanslarındaki pozitif ve

negatif sapmalar olması, 1 mm çapında bir pin ile beslenmesi ve yapılan lehimlerin VSWR' ye dolayısıyla S_{11} parametresine de negatif etkisi olduğu düşünülmektedir.

Bu tez çalışması çerçevesinde yapılan minyatürleştirilmiş ve bant genişliği artırılmış antenin ışıma elemanın 47% daha az alan kapladığı ve bant genişliğinin 1.7 katına çıktığı görülmüştür. Ultra geniş bantlı antende ise reaktif empedans yüzeyi ve metamalzeme yama yapıları birlikte kullanıldığında sıradan yama antene göre bant genişliğinin 20 kat arttığı görülmüştür.

Literatürdeki çalışmalar ile tez kapsamında yapılan çalışmalar kıyaslandığında ise gerek anten boyutlarındaki küçültme gerekse bant genişletme işlemleri sonucunda elde edilen veriler literatürde bulunan çalışmalardaki veriler ile paralellik gösterdiği görülmektedir. Ayrıca minyatürleştirme ve bant genişliği artırma oranları bir çok çalışmanın bir adım ötesine geçmeyi başarmıştır.

Minyatürleştirme ve bant genişliği arttırmak için yapılan anten tasarımında antenin kazancında çok fazla bir düşüş olmaması için toprak düzleminde oluşturulan kusurların tasarım parametreleri optimum olacak şekilde belirlenmiştir. Antenin kazancındaki düşüşler göz ardı edilirse toprak düzlemindeki kusurların farklı tasarım parametreleri ile anten boyutlarında daha fazla küçülme sağlanabileceğinin mümkün olduğu görülmüştür. Ayrıca UBW anten tasarımında kullanılan RIS ve metamalzemeler gibi tasarımların kazançta pozitif bir etkisi olduğu görülmüştür ve bu tasarımların minyatürleştirilmiş antenin alttaşı içerisinde kullanılması ile minyatürleştirilmiş antenin düşen kazancının tekrar arttırılabileceğinin mümkün olduğu düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- Afridi, M.A. 2015. Microstrip patch antenna– designing at 2.4 GHz frequency. Biological and chemical research, 2015, 128.
- Akçelik, H. 2016. Geniş bantlı metalmalzeme tabanlı mikroşerit anten yapıların tasarım, optimizasyon, fabrikasyon ve ölçümleri. Yüksek Lisans Tezi. Kara Harp Okulu, Savunma Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Balanis, C.A. 1992. Antenna theory: A review. Proceedings of the IEEE, 80(1), 7-23.
- Bhunia, S. 2013. Microstrip patch antenna's limitation and some remedies. International Journal of Electronics & Communication Technology, 4.
- Chen, W.L., Wang, G.M. and Zhang, C.X. 2008. Small-size microstrip patch antennas combining Koch and Sierpinski fractal-shapes. IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, 7, 738-741.
- Elliot, R. 1983. IEEE Standard definitions of terms for antennas. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 31(6), 1-29.
- Fung, C. 2011. Basic antenna theory and application. Worcester Polytechnic Institute, 18.
- Garg, R. 2001. Microstrip antenna design handbook. Artech house.
- Hanae, E., Amar Touhami, N., Aghoutane, M., El Amrani, S., Tazon, A. and Boussouis, M. 2014. Miniaturized microstrip patch antenna with defected ground structure. Progress In Electromagnetics Research, 55, 25-33.
- Hao, H. G., Lu, H. X., Chen, W. and An, C. 2011. A novel miniature microstrip antenna for GPS applications. In Informatics in Control, Automation and Robotics (pp. 139-147). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Hirtenfelder, F. 2007. 2nd International ITG Conference on Antennas.
- Huang, Y. and Boyle, K. 2008. Antennas: from theory to practice. John Wiley & Sons.

- Ioannides, P. and Balanis, C.A. 2005. Uniform circular and rectangular arrays for adaptive beamforming applications. *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, 4(1), 351-354.
- Kraus, J. 1985. Antennas since hertz and marconi. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 33(2), 131-137.
- Küçüköner, E.M. 2016. Dikdörtgen mikroşerit antenler için bozulmuş toprak yüzeylerin elektriksel boyuta etkisinin parametrik olarak incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Luna, D.R., Neto, V.P.S., Vasconcelos, C.F. and D'Assunção, A.G. 2013. Microstrip patch antennas with metamaterial inspired substrates and superstrates. In *Microwave & Optoelectronics Conference (IMOC), 2013 SBMO/IEEE MTT-S International* (pp. 1-4). IEEE.
- Majid, H.A., Abd Rahim, M.K. and Masri, T. 2009. Microstrip antenna's gain enhancement using left-handed metamaterial structure. *Progress in Electromagnetics Research*, 8, 235-247.
- Markos, P. and Soukoulis, C.M. 2008. *Wave propagation: from electrons to photonic crystals and left-handed materials*. Princeton University Press.
- Matin, M.A. and Sayeed, A.I. 2010. A design rule for inset-fed rectangular microstrip patch antenna. *WSEAS Transactions on Communications*, 9(1), 63-72.
- Monavar, F.M. and Komjani, N. 2011. Bandwidth enhancement of microstrip patch antenna using jerusalem cross-shaped frequency selective surfaces by invasive weed optimization approach. *Progress In Electromagnetics Research*, 121, 103-120.
- Mosallaei, H. and Sarabandi, K. 2004. Antenna miniaturization and bandwidth enhancement using a reactive impedance substrate. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 52(9), 2403-2414.
- Mosallaei, H. and Sarabandi, K. 2004. Antenna miniaturization and bandwidth enhancement using a reactive impedance substrate. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 52(9), 2403-2414.

- Oh, J. and Sarabandi, K. 2013. A topology-based miniaturization of circularly polarized patch antennas. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 61(3), 1422-1426.
- Ojaroudi, N. and Ojaroudi, M. 2013. Novel design of dual band-notched monopole antenna with bandwidth enhancement for UWB applications. *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, 12, 698-701.
- Oliveri, G., Werner, D.H. and Massa, A. 2015. Reconfigurable electromagnetics through metamaterials—a review. *Proceedings of the IEEE*, 103(7), 1034-1056.
- Pozar, D.M. 1992. Microstrip antennas. *Proceedings of the IEEE*, 80(1), 79-91.
- Pozar, D.M. 2005. *Microwave Engineering 3e. Transmission Lines and Waveguides*, 143-149.
- Singh, I. and Tripathi, V.S. 2011. Micro strip patch antenna and its applications: a survey. *Int. J. Comp. Tech. Appl*, 2(5), 1595-1599.
- Slyusar, V.I. 2009. *Metamaterials on antenna solutions*.
- So, K K., Wong, H., Luk, K.M. and Chan, C.H. 2015. Miniaturized circularly polarized patch antenna with low back radiation for GPS satellite communications. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 63(12), 5934-5938.
- Sung, Y. 2012. Bandwidth enhancement of a microstrip line-fed printed wide-slot antenna with a parasitic center patch. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 60(4), 1712-1716.
- Veselago, V.G. 1968. The electrodynamics of substances with simultaneously negative values of ϵ and μ . *Soviet physics uspekhi*, 10(4), 509.
- Wong, K.L. 2004. *Compact and broadband microstrip antennas (Vol. 168)*. John Wiley & Sons.
- Wong, K.L. and Hsu, W.H. 2001. A broad-band rectangular patch antenna with a pair of wide slits. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 49(9), 1345-1347.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Barış ONAYLI

Doğum Yeri : Ankara

Doğum Tarihi : 03.01.1991

Medeni Hali : Bekar

Yabancı Dilleri : İngilizce

Eğitim Durumu (Kurum ve Yılı)

Lise : Ümitköy Anadolu Lisesi (2010)

Lisans : Ankara Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fizik Mühendisliği
Bölümü (2015)

Yüksek Lisans : Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Mühendisliği
Anabilim Dalı (2018)