

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

**ULTRA GENİŞ BANT (UGB) HABERLEŞME SİSTEMLERİ İÇİN
MİKROŞERİT YAMA ANTEN TASARIMI**

**Hazırlayan
Feyzullah ALTUNTAŞ**

**Danışman
Prof. Dr. İbrahim DEVELİ
Doç. Dr. Mustafa TÜRKMEN**

Yüksek Lisans Tezi

**Temmuz 2016
KAYSERİ**

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

**ULTRA GENİŞ BANT (UGB) HABERLEŞME SİSTEMLERİ İÇİN
MİKROŞERİT YAMA ANTEN TASARIMI
(Yüksek Lisans Tezi)**

**Hazırlayan
Feyzullah ALTUNTAŞ**

**Danışman
Prof. Dr. İbrahim DEVELİ
Doç. Dr. Mustafa TÜRKMEN**

**Bu çalışma; Erciyes Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi
tarafından FYL-2013-4869 kodlu proje ile desteklenmiştir.**

**Temmuz 2016
KAYSERİ**

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK

Bu çalışmadaki tüm bilgilerin, akademik ve etik kurallara uygun bir şekilde elde edildiğini beyan ederim. Aynı zamanda bu kural ve davranışların gerektirdiği gibi, bu çalışmanın özünde olmayan tüm materyal ve sonuçları tam olarak aktardığımı ve referans gösterdiğimi belirtirim.

Adı-Soyadı : Feyzullah ALTUNTAŞ

İmza :



YÖNERGEYE UYGUNLUK

Ultra Geniş Bant (UGB) Haberleşme Sistemleri için Mikroşerit Yama Anten Tasarımı adlı Yüksek Lisans tezi, Erciyes Üniversitesi Lisansüstü Tez Önerisi ve Tez Yazma Yönergesi'ne uygun olarak hazırlanmıştır.

Tezi Hazırlayan

1. Danışman

2. Danışman

Feyzullah Altuntaş

Prof. Dr. İbrahim DEVELİ

Doç. Dr. Mustafa TÜRKMEN



Elektrik-Elektronik Mühendisliği ABD Başkanı

Prof. Dr. Necmi TAŞPINAR M.

Prof. Dr. İbrahim DEVELİ ve Doç. Dr. Mustafa TÜRKMEN danışmanlığında Feyzullah ALTUNTAŞ tarafından hazırlanan “Ultra Geniş Bant (UGB) Haberleşme Sistemleri için Mikroserit Yama Anten Tasarımı” adlı bu çalışma, jürimiz tarafından Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Elektronik Mühendisliğı Anabilim Dalında **Yüksek Lisans** tezi olarak kabul edilmiştir.

12 / 08 / 2016

JÜRİ:

Başkan : Prof. Dr. Ali AKDAĞLI

ye : Prof. Dr. Recai KILIÇ

ye : Prof. Dr. İbrahim DEVELİ

ONAY:

Bu tezin kabul Enstitü Yönetim Kurulunun 29/08/2016 tarih ve 2016/38-20 sayılı kararı ile onaylanmıştır.

29 / 08 / 2016
Prof. Dr. Mehmet Akkurt
Enstitü Müdürü

ÖNSÖZ / TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca farklı bakış açıları ve bilimsel katkılarıyla beni aydınlatan, bilgi, tecrübe ve yardımlarını esirgemeyen, bugünlere gelmemde en büyük katkı sahibi olan danışman hocalarım Sayın Prof. Dr. İbrahim Develi'ye ve Sayın Doç. Dr. Mustafa Türkmen'e teşekkürü bir borç bilirim.

Deneyisel çalışmalarım sırasında karşılaştığım zorlukları aşmamda her zaman yardımcı olan ve yön gösterici tavsiyelerinden dolayı Gökhan Murat Eryılmaz'a ve ölçümlerin yapılmasında yardımcı olan TÜBİTAK UME personeli Elektronik Mühendisi Osman Şen'e değerli katkılarından dolayı teşekkür ederim.

Bu tez çalışmasına maddi destek veren Erciyes Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi'ne (Proje No: FYL-2013-4869) teşekkür ederim.

Ayrıca hayatım boyunca maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen aileme en içten teşekkürlerimi sunarım.

Feyzullah ALTUNTAŞ

Kayseri, Temmuz 2016

ULTRA GENİŞ BANT (UGB) HABERLEŞME SİSTEMLERİ İÇİN

MİKROŞERİT YAMA ANTEN TASARIMI

Feyzullah ALTUNTAŞ

Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü

Yüksek Lisans Tezi, Temmuz 2016

1. Tez Danışmanı

2. Tez Danışmanı

Prof. Dr. İbrahim DEVELİ

Doç. Dr. Mustafa TÜRKMEN

ÖZET

Son yıllarda gelişen teknoloji ile birlikte birden fazla işi aynı anda yapabilen kablosuz mobil cihazlar kullanıcılar tarafından arzu edilmektedir. Fakat kablosuz cihazların; güç tüketim sorunu, boyutları, frekans spektrumu kısıtlaması ve yüksek performans isteği araştırmacıları yeni teknolojiler geliştirmeye teşvik etmiştir. Ultra Geniş Bant (UGB) haberleşme teknolojisi, düşük güç tüketimine ve yüksek veri hızına sahip kısa mesafeli bir kablosuz gezgin haberleşme sistemidir. 2002 yılında Amerika Birleşik Devletleri Ulusal Haberleşme Komisyonu (FCC) UGB frekans spektrumunu (3.1-10.6 GHz) lisanssız ticari kullanıma açmasıyla birlikte endüstriyel ve akademik çevrenin bu konuya ilgisi artmıştır. Mikroşerit antenler, hafif, ucuz, küçük hacimli, devrelere kolay uyum sağlaması ve yönsüz ışıma performansı sergilemeleri sebebiyle UGB kablosuz haberleşme uygulamalarında sıklıkla tercih edilmektedirler.

Bu tez çalışmasında; UGB haberleşme sistemlerinde kullanılmak üzere birbirinden farklı dört yeni mikroşerit yama antenin tasarımı ve üretimi gerçekleştirilmiştir. Antenlerin simülasyonları CST Microwave Studio yazılımı ile yapılmıştır. Önerilen antenlerin parametreleri, 3.1 GHz - 10.6 GHz frekans aralığı boyunca geri dönüş kaybı, voltaj duran dalga oranı ve ışıma paternleri UGB standartlarına uygun olacak şekilde optimize edilerek tasarlanmıştır. Üretimi yapılan antenlerin ölçüm sonuçları ile simülasyon sonuçlarının örtüştüğü görülmüştür. Basit geometrileri ve yeterli performansları nedeniyle önerilen antenler, UGB uygulamaları için iyi birer aday olma potansiyeline sahiptir.

Anahtar Kelimeler: Anten tasarımı, Ultra Geniş Bant (UGB), Mikroşerit Yama Anten

**MICROSTRIP PATCH ANTENNA DESIGN FOR
ULTRA-WIDEBAND (UWB) COMMUNICATION SYSTEMS**

Feyzullah ALTUNTAŞ

Erciyes University, Graduate School of Natural and Applied Sciences

M. Sc. Thesis, July 2016

1. Thesis Supervisor

2. Thesis Supervisor

Prof. Dr. İbrahim DEVELİ

Assoc. Prof. Dr. Mustafa TÜRKMEN

ABSTRACT

Recently, with the advancing technology, wireless mobile devices which are able to perform multiple operations simultaneously are desired by users. However, the power consumption, the size, frequency spectrum constraints and high performance requirements of the wireless devices has encouraged researchers to develop new technologies. Ultra-wideband (UWB) is a short range mobile wireless communication system which has capacity of high data transmission rate with low power consumption. In the year 2002, Federal Communications Commission (FCC) released the unlicensed UWB spectrum 3.1 GHz to 10.6 GHz for the commercial purposes. After the release of UWB by the FCC, it receives much attention by the industries and academia. Microstrip patch antennas are frequently preferred in UWB communication systems due to its advantages such as being light, simple structured and having low cost, nearly omnidirectional radiation pattern and an ease way of producing them.

In this study, four different novel microstrip patch antennas for ultra-wideband (UWB) communication systems are proposed. The proposed antennas are simulated in CST Microwave Studio software and fabricated for measurements. Geometrical parameters of the proposed antenna are designed by optimizing return loss, voltage standing wave ratio and radiation patterns to comply with UWB standards between the range of 3.1 GHz and 10.6 GHz frequencies. It is seen that the measurement results are compatible with the simulation results of fabricated antennas. The antennas can be good candidates for the UWB applications due to their simple geometry and satisfactory performance.

Keywords: Antenna design, Ultra-wideband (UWB), Microstrip Patch Antenna

İÇİNDEKİLER

ULTRA GENİŞ BANT (UGB) HABERLEŞME SİSTEMLERİ İÇİN MİKROŞERİT YAMA ANTEN TASARIMI

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK.....	ii
YÖNERGEYE UYGUNLUK.....	iii
KABUL VE ONAY SAYFASI.....	iv
ÖNSÖZ / TEŞEKKÜR	v
ÖZET	vi
ABSTRACT	vii
İÇİNDEKİLER.....	viii
KISALTMALAR VE SİMGELER	xi
TABLOLAR LİSTESİ.....	xii
ŞEKİLLER LİSTESİ	xiii

GİRİŞ

KABLOSUZ HABERLEŞME SİSTEMLERİ

G.1. Yeni Nesil Kablosuz Haberleşme Sistemleri	1
G.2 Literatür Taraması	3
G.3. Tezin Amacı.....	7

1. BÖLÜM

UGB HABERLEŞME SİSTEMLERİ VE MİKROŞERİT ANTENLER

1.1. UGB Haberleşme Sistemleri	8
1.1.1. UGB Haberleşme Sistemlerinin Tanımı.....	9

1.1.2. UGB Haberleşme Sistemlerinin Tarihçesi.....	11
1.1.3. UGB Haberleşme Sistemlerinin Avantajları Dezavantajları.....	12
1.1.4. UGB Haberleşme Sistemlerinin Kullanım Alanları.....	14
1.2. Mikroşerit Antenler	15
1.2.1. Mikroşerit Antenlerin Genel Özellikleri	15
1.2.2. Mikroşerit Anten Çeşitleri.....	17
1.2.2.1. Mikroşerit yama antenler	17
1.2.2.2. Mikroşerit dipol antenler	18
1.2.2.3. Mikroşerit yarık antenler.....	18
1.2.2.4. Mikroşerit yürüyen dalga antenler.....	19
1.2.3. Besleme Teknikleri.....	20
1.2.3.1. Mikroşerit besleme	20
1.2.3.2. Eş eksenli kablo ile besleme	22
1.2.3.3. Yakınlık kuplajlı besleme	22
1.2.3.4. Açıklık kuplajlı besleme.....	23
1.2.4. Mikroşerit Antenlerin Önemli Parametreleri.....	25
1.2.4.1. Geri dönüş kaybı	25
1.2.4.2. Voltaj duran dalga oranı.....	26
1.2.4.3. Yönlendiricilik ve Kazanç.....	26
1.2.4.4. Verimlilik.....	27
1.2.4.5. Bant genişliği	27

2. BÖLÜM

SAYISAL ANALİZ YÖNTEMİ

2.1. Giriş	29
2.2. CST Microwave Studio Programının Özellikleri.....	30

2.3. Sonlu Entegrasyon Tekniği (FIT - Finite Integration Technique)	31
---	----

3. BÖLÜM

MİKROŞERİT YARIK ANTEN TASARIMLARI

3.1. Giriş	33
3.2. Literatürde Yapılmış Çalışmalar	34
3.2.1. Literatür 1. Anten	34
3.2.2. Literatür 2. Anten	36
3.2.3. Literatür 3. Anten	39
3.2.4. Literatür 4. Anten	41
3.3. Teze özgü olarak tasarlanan anten yapıları	44
3.3.1 Tasarım 1	45
3.3.2 Tasarım 2	56
3.3.3 Tasarım 3	63
3.3.4 Tasarım 4	73

4. BÖLÜM

SONUÇ

4.1. Sonuç	83
KAYNAKLAR	86
ÖZGEÇMİŞ	92

KISALTMALAR VE SİMGELER

<u>Sembol</u>	<u>Anlamı</u>
UGB	Ultra geniş bant
FCC	Federal Communications Commission; Amerika Birleşik Devletleri Ulusal Haberleşme Komisyonu
WPAN	Wireless personal area network; Kablosuz kişisel alan ağı
FIT	Finite Integration Technique; Sonlu entegrasyon tekniği
FEM	Finite Element Method; Sonlu elemanlar metodu
FDTD	Finite Difference Time Domain Method; Zaman domeninde sonlu farklar yöntemi
CPW	Coplanar Waveguide; Eş düzlemlı dalga kılavuzu
ve ark.	ve arkadaşları
VSWR	Voltage standing wave ratio; Voltaj duran dalga oranı
WLAN	Wireless Local Area Network; Kablosuz yerel alan ağı
Bps	bits per second; saniyedeki bit sayısı
EIRP	Effective isotropic radiated power; Eş yönlü efektif ışıma gücü
PSD	Power spectral density; Güç spektral yoğunluğu
SNR	Signal/Noise Rate; Sinyal/Gürültü Oranı
GPS	Global Positioning System; Küresel konumlama sistemi
S_{11}	Return loss; Geri dönüş kaybı
Γ	Yansıma katsayısı
$D(\theta, \phi)$	Yönlendiricilik
$U(\theta, \phi)$	Işıma şiddeti yoğunluğu
e	Anten verimi
BG	Bant genişliği
SMA	SubMiniature version A
ϵ_r	Bağıl dielektrik sabiti
$\tan\delta$	Kayıp tanjant

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 1.1. Mikroşerit antenlerin farklı besleme şekillerinin karşılaştırması	25
Tablo 3.1. Tasarım 1’de önerilen antene ait parametreler ve değerleri (mm).....	46
Tablo 3.2. $S_{w1} - S_{w2}$ parametrelerine ait iterasyonlar (mm).....	49
Tablo 3.3. Tasarım 2’de önerilen antene ait parametreler ve değerleri (mm).....	56
Tablo 3.4. Tasarım 3’te önerilen antene ait parametreler ve değerleri (mm).....	64
Tablo 3.5. Tasarım 4’te önerilen antene ait parametreler ve değerleri (mm).....	74
Tablo 3.6 Önerilen antenlerin literatür antenleri ile kıyaslanması	82



ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil G.1. Mikroşerit yama anten yapısı.....	3
Şekil G.2. Farklı geometrilerdeki yama anten şekilleri	4
Şekil 1.1. FCC bina içi (Indoor) maskesi.....	10
Şekil 1.2. FCC bina dışı (Outdoor) maskesi.....	11
Şekil 1.3. UGB Sinyallerinin dar ve geniş bantlı sinyaller ile birlikte çalışması	12
Şekil 1.4. Sık kullanılan mikroşerit yama anten geometrileri	17
Şekil 1.5. Mikroşerit dipol anten	18
Şekil 1.6. Bazı mikroşerit yarık anten geometrileri.....	19
Şekil 1.7. Mikroşerit yürüyen dalga anten örnekleri	19
Şekil 1.8. Mikroşerit hatlı besleme	21
Şekil 1.9. Empedans uygunlaştırma yöntemleri (a) Girintili besleme (b) Kuplaj besleme	21
Şekil 1.10. Eş eksenli kablo ile beslenmiş mikroşerit anten	22
Şekil 1.11. Yakınlık kuplajlı mikroşerit anten katmanları	23
Şekil 1.12. Açıklık kuplajlı mikroşerit anten katmanları	24
Şekil 3.1. Yang ve ark. tarafından tasarlanan yapı	34
Şekil 3.2. Yang ve ark. tarafından tasarlanan yapının geri dönüş kaybı grafiği simülasyon ve ölçüm sonuçları	35
Şekil 3.3. Yang ve ark. tarafından tasarlanan yapının CST programında elde edilen geri dönüş kaybı simülasyon sonuçları.....	35
Şekil 3.4. Hayouni ve ark. tarafından tasarlanan yapı	36
Şekil 3.5. Hayouni ve ark. tarafından tasarlanan yapının geri dönüş kaybı grafiği simülasyon sonucu.....	37
Şekil 3.6. Yang ve ark. tarafından tasarlanan yapının CST programında elde edilen geri dönüş kaybı simülasyon sonuçları.....	37
Şekil 3.7. Hayouni ve ark. tarafından kenarları değiştirilerek tasarlanan yapı	38
Şekil 3.8. Hayouni ve ark. tarafından kenarları değiştirilerek tasarlanan yapının geri dönüş kaybı grafiği simülasyon ve ölçüm sonuçları.....	38
Şekil 3.9. Yang ve ark. tarafından kenarları değiştirilerek tasarlanan yapının CST programında elde edilen geri dönüş kaybı simülasyon sonuçları.....	39
Şekil 3.10. Liu ve ark. tarafından tasarlanan yapı	40

Şekil 3.11. Liu ve ark. tarafından tasarlanan yapının voltaj duran dalga oranı (VSWR) ölçüm ve simülasyon sonuçları	40
Şekil 3.12. Liu ve ark. tarafından tasarlanan yapının CST programında elde edilen voltaj duran dalga oranı (VSWR) simülasyon sonuçları	41
Şekil 3.13. Subbarao ve ark. tarafından tasarlanan yapı	42
Şekil 3.14. Subbarao ve ark. tarafından tasarlanan yapının geri dönüş kaybı simülasyon ve ölçüm sonuçları	42
Şekil 3.15. Subbarao ve ark. tarafından tasarlanan yapının CST programında elde edilen geri dönüş kaybı simülasyon sonuçları	43
Şekil 3.16. Tasarlanan bazı mikroşerit anten geometrileri	44
Şekil 3.17. Baskı devre kazıma cihazı ile önerilen antenlerin üretimi	45
Şekil 3.18. Tasarım 1’de önerilen antenin ön yüz, kesit ve arka yüz görüntüleri	46
Şekil 3.19. Tasarım 1’de önerilen antenin tasarım aşamaları: (a) 1. Aşama (Dikdörtgen yama anten) (b) 2. Aşama (Elmas şeklinde yarıkları bulunmayan anten) (c) 3. Aşama (Önerilen anten)	47
Şekil 3.20. Tasarım aşamasında ele alınan üç farklı yama antenin geri dönüş kaybı karakteristikleri	48
Şekil 3.21. F_L uzunluğu değişimine göre geri dönüş kaybı karakteristikleri	48
Şekil 3.22. W_L uzunluğu değişimine göre geri dönüş kaybı karakteristikleri	49
Şekil 3.23. $S_{w1} - S_{w2}$ uzunluğu değişimi geri dönüş kaybı karakteristiği	50
Şekil 3.24. $S_{1h} - S_{2h}$ uzunluğu değişimi geri dönüş kaybı karakteristiği	50
Şekil 3.25. Tasarım 1 antenine ait voltaj duran dalga oranı (VSWR) grafiği	51
Şekil 3.26. Önerilen antene ait ışıma örüntüleri (a) 3 GHz frekansındaki üç boyutlu ışıma örüntüsü, (b) 3 GHz (c) 6 GHz (d) 9 GHz frekansları için Azimut=0° açısında E-alan ışıma örüntüleri	52
Şekil 3.27. Önerilen antene ait ışıma örüntüleri, Azimut=90° açısında E-alan (a) 3 GHz (b) 6 GHz (c) 9 GHz, Elevasyon=90° açısında E-alan (d) 3 GHz (e) 6 GHz (f) 9 GHz	53
Şekil 3.28. (a) 6 GHz (b) 9 GHz frekansları için akım dağılım grafikleri	54
Şekil 3.29. Tasarım 1 anteninin laboratuvar ortamında gerçekleştirilmiş halinin ön yüz ve arka yüz görüntüleri	55
Şekil 3.30. Tasarım 1’de önerilen antenin geri dönüş kaybı ölçüm ve simülasyon sonuçları kıyaslama grafiği	55
Şekil 3.31. Tasarım 2’de önerilen antenin ön yüz, kesit ve arka yüz görüntüleri	56

Şekil 3.32. Tasarım 2’de önerilen antenin tasarım aşamaları: (a) 1. Aşama (Dikdörtgen yama anten) (b) 2. Aşama (Önerilen anten)	57
Şekil 3.33. Tasarım aşamasında ele alınan iki farklı yama antenin geri dönüş kaybı karakteristikleri	57
Şekil 3.34. F_L uzunluğu değişimine göre geri dönüş kaybı karakteristikleri	58
Şekil 3.35. Tasarım 2’de anteni üzerinde açılan yarıkların geri dönüş kaybı karakteristiklerine etkisi	59
Şekil 3.36. Tasarım 2’ye ait voltaj duran dalga oranı (VSWR) grafiği	59
Şekil 3.37. Önerilen antene ait ışıma örüntüleri (a) 3 GHz frekansındaki üç boyutlu ışıma örüntüsü, (b) 3 GHz (c) 6 GHz (d) 9 GHz frekansları için Azimut=0° açısında E-alan ışıma örüntüleri	60
Şekil 3.38. Önerilen antene ait ışıma örüntüleri, Azimut=90° açısında E-alan (a) 3 GHz (b) 6 GHz (c) 9 GHz, Elevasyon=90° açısında E-alan (d) 3 GHz (e) 6 GHz (f) 9 GHz	61
Şekil 3.39. (a) 6 GHz (b) 9 GHz frekansları için akım dağılım grafikleri	62
Şekil 3.40. Tasarım 2 anteninin laboratuvar ortamında gerçekleştirilmiş halinin ön yüz ve arka yüz görüntüleri	62
Şekil 3.41. Tasarım 2’de önerilen antenin geri dönüş kaybı ölçüm ve simülasyon sonuçları kıyaslama grafiği	63
Şekil 3.42. Tasarım 3’te önerilen antenin ön yüz, kesit ve arka yüz görüntüleri	64
Şekil 3.43. Tasarım 3’te önerilen antenin tasarım aşamaları: (a) 1. Aşama (Dikdörtgen yama anten) (b) 2 Aşama (Yarıkları bulunmayan anten) (c) 3. Aşama (Önerilen anten)	65
Şekil 3.44. Tasarım aşamasında ele alınan üç farklı yama antenin geri dönüş kaybı karakteristikleri	66
Şekil 3.45. F_L uzunluğu değişimine göre geri dönüş kaybı karakteristikleri	66
Şekil 3.46. W_L uzunluğu değişimine göre geri dönüş kaybı karakteristikleri	67
Şekil 3.47. $S_{w1} - S_{w2}$ uzunluğu değişimi geri dönüş kaybı karakteristiği	68
Şekil 3.48. $S_{1h} - S_{2h}$ uzunluğu değişimi geri dönüş kaybı karakteristiği	68
Şekil 3.49. Tasarlanan antene ait voltaj duran dalga oranı (VSWR) grafiği	69
Şekil 3.50. Önerilen antene ait ışıma örüntüleri (a) 3 GHz frekansındaki üç boyutlu ışıma örüntüsü, (b) 3 GHz (c) 6 GHz (d) 9 GHz frekansları için Azimut=0° açısında E-alan ışıma örüntüleri	70

Şekil 3.51. Önerilen antene ait ışıma örüntüleri, Azimut=90° açısında E-alan (a) 3 GHz (b) 6 GHz (c) 9 GHz, Elevasyon=90° açısında E-alan (d) 3 GHz (e) 6 GHz (f) 9 GHz	71
Şekil 3.52. (a) 6 GHz (b) 9 GHz frekansları için akım dağılım grafikleri.....	72
Şekil 3.53. Tasarım 3'te önerilen antenin laboratuvar ortamında gerçekleştirilmiş halinin ön yüz ve arka yüz görüntüleri	72
Şekil 3.54. Önerilen antenin geri dönüş kaybı ölçüm ve simülasyon sonuçları kıyaslama grafiği.....	73
Şekil 3.55. Tasarım 4'te önerilen antenin ön yüz, kesit ve arka yüz görüntüleri	74
Şekil 3.56. Önerilen antenin tasarım aşamaları: (a) 1. Aşama (Dikdörtgen yama anten) (b) 2. Aşama (Önerilen anten)	75
Şekil 3.57. Tasarım aşamasında ele alınan iki farklı yama antenin geri dönüş kaybı karakteristikleri.....	75
Şekil 3.58. F_L uzunluğu değişimine göre geri dönüş kaybı karakteristikleri	76
Şekil 3.59. Tasarım 4'te önerilen antenin yaması üzerinde açılan yarıkların geri dönüş kaybı karakteristiklerine etkisi	76
Şekil 3.60. Tasarım 4 antenine ait voltaj duran dalga oranı (VSWR) grafiği.....	77
Şekil 3.61. Önerilen antene ait ışıma örüntüleri (a) 3 GHz frekansındaki üç boyutlu ışıma örüntüsü, (b) 3 GHz (c) 6 GHz (d) 9 GHz frekansları için Azimut=0° açısında E-alan ışıma örüntüleri	78
Şekil 3.62. Önerilen antene ait ışıma örüntüleri, Azimut=90° açısında E-alan (a) 3 GHz (b) 6 GHz (c) 9 GHz, Elevasyon=90° açısında E-alan (d) 3 GHz (e) 6 GHz (f) 9 GHz	79
Şekil 3.63. (a) 6 GHz (b) 9 GHz frekansları için akım dağılım grafikleri.....	80
Şekil 3.64. Tasarım 4 anteninin laboratuvar ortamında gerçekleştirilmiş halinin ön yüz ve arka yüz görüntüleri	80
Şekil 3.65. Tasarım 4'te önerilen antenin geri dönüş kaybı ölçüm ve simülasyon sonuçları kıyaslama grafiği	81

GİRİŞ

KABLOSUZ HABERLEŞME SİSTEMLERİ

G.1. Yeni Nesil Kablosuz Haberleşme Sistemleri

Kablosuz haberleşme sistemleri son yirmi yıllık süreçte kullanıcı talepleri ile birlikte hızlı bir şekilde gelişmektedir. Gün geçtikçe kablosuz gezgin haberleşmeye olan ilgi daha da artmaktadır. Bu ilginin sebebi hiç şüphesiz kullanım kolaylığı ve hareket serbestliğinden kaynaklanmaktadır. Yeni nesil kablosuz haberleşme teknolojileri ile birlikte; ses, video, veri transferi, konum tespiti ve sağlık takibi gibi çeşitli uygulamaların mobil cihazlarda kullanılmasının önü açılmıştır. Kullanıcı talepleri doğrultusunda birden fazla cihaz ile yapılabilecek uygulamaların tek bir cihaz üzerinden gerçekleştirilebilmesi gibi gereksinimleri ortaya çıkarmıştır. Fakat frekans spektrum kullanımı, minyatürizasyon ve düşük güç tüketimi bu teknolojiyi sınırlayan faktörler olarak geliştiricilerin karşısına çıkmaktadır. Sınırlı bant genişliğinin ortak kullanımı, kablosuz cihazların güç tüketim sorunu, boyutları ve yüksek performans isteği araştırmacıları yeni teknolojiler geliştirmeye teşvik etmiştir.

Ultra Geniş Bant (UGB) haberleşme teknolojisi, düşük güç tüketimine ve yüksek veri hızına sahip kısa mesafeli bir kablosuz gezgin haberleşme sistemidir. Bu yetenekleri açısından UGB haberleşmesine akademik çevre tarafından ilgi gösterilmektedir. Çok yönlü yayılıma karşı dirençlilik, karmaşık olmayan alıcı-verici donanımı ve düşük girişim özellikleri UGB'nin diğer önemli avantajlarıdır [1]. 2002 yılında Amerika Birleşik Devletleri Ulusal Haberleşme Komisyonu (FCC) 3.1-10.6 GHz arası frekansları lisanssız ticari kullanıma açmasıyla [2] endüstriyel ve akademik çevrenin bu konuya ilgisi daha da artmıştır [3-14]. UGB haberleşme sisteminde alıcı ve verici arasında haberleşme kısa süreli ve çok dar bant genişliğine sahip darbeler aracılığı ile yapılmaktadır. Böylece iletişim çok geniş bant aralığında gerçekleşmektedir [3]. Ayrıca

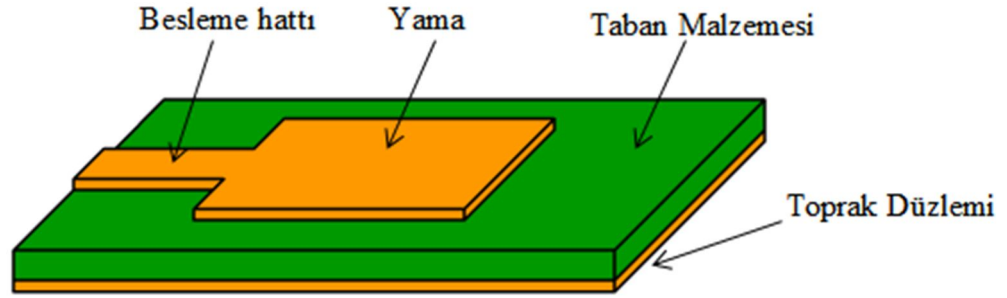
UGB sistemlerin düşük güç spektral yoğunluklarına sahip olmaları nedeniyle diğer sistemlerle minimum düzeyde girişimle ya da hiç girişim olmadan kullanılabilmekte ve diğer radyo frekans aygıtları tarafından beyaz gürültü şeklinde algılanmaktadırlar [4]. Tüm bu avantajlarla birlikte UGB kablosuz sistem geliştirmenin önünde çeşitli teknik engeller bulunmaktadır. Bunlar; UGB kanal modelleme, alıcı-verici tasarımı, diğer dar bant sistemlerle bir arada çalıştırma ve FCC tarafından sunulan spektral kısıtlamalara uygun optimum darbe tasarımı olarak sıralanabilir [5]. UGB sistemler incelendiğinde sağladığı avantajlar nedeniyle askeri, kişisel, endüstriyel ve medikal gibi çok çeşitli kullanım alanlarına sahiptir. Özellikle yüksek hızlı WPAN haberleşmesi, düşük güçte çalışan sensör uygulamaları, düşük güçlü gizli haberleşme uygulamaları, konumlandırma, yer tespiti uygulamaları ve radar sistemlerinde tercih edilmektedir [1].

UGB haberleşme sistemlerinde kullanılacak antenlerin 3.1 GHz–10.6 GHz frekanslarında geri dönüş kaybı -10 dB'nin altında gerçekleştirilmelidir ve frekans bandı boyunca yönsüz ışıma paternine sahip olmalıdır. Bu sebeple en uygun anten tipi mikroşerit yama antenlerdir. Hafif, ucuz, küçük hacimli, düzlemsel konfigürasyon, devrelere kolay uyum sağlaması, üretim kolaylığı ve iyi performans sergilemeleri sebebiyle mikroşerit yama antenler kablosuz haberleşme uygulamalarında ve küçük boyutlu anten gereksinimi olan minyatür mikrodalga sistemlerinde sıklıkla tercih edilmektedirler [3-30]. Bu avantajlara rağmen, dar banda sahip olmaları mikroşerit yama antenlerde üstesinden gelinmesi gereken bir problem olarak karşımıza çıkmaktadır. Literatürde yapılan çalışmaların çoğunda üçgen, daire ve dikdörtgen gibi bilinen ve hesaplamaları kolay antenler üzerinde yoğunlaşmıştır. Fakat yüksek frekanslarda kullanılan mikroşerit antenlerin düzgün geometrilerde tasarlanması boyutlarını da büyütmektedir. Mikroşerit antenlerin boyutlarını küçültmek amacıyla düzgün geometrilerde sahip ışıma yapan iletken yüzeyleri üzerinde çeşitli geometrilerde yarıklar açarak anten performansının artırıldığı literatürde birçok çalışmada görülmektedir [3-30]. Anten tasarımlarının boyutlarının küçültülmesi ışıma performansının düşmesine ve bant genişliğinin azalmasına yol açmaktadır. Yapılan modifikasyonlar sayesinde antenlerin minyatürize edilmesine olanak sağlanmaktadır. Literatür çalışmaları incelendiğinde, mikroşerit antenlerin performansını ve bant genişliğini etkileyen en önemli parametreler; empedans uyumu, anten geometrisi, dielektrik katsayısı ve taban malzemesinin kalınlığının olduğu görülmektedir [3-30].

Üçgen, daire ve dikdörtgen gibi bilinen geometrilere sahip antenlerin analizleri; iletim hattı modeli, boşluk modeli ve tam dalga modeli gibi analitik yöntemlerle yapılabilmektedir. Fakat düzgün olmayan ve üzerinde yarık bulunan antenler için bu tip analitik hesaplama yöntemleri yetersiz kalmaktadır. Bu yüzden modern teknoloji alt yapısı kullanan, sonlu elemanlar metodu (Finite Element Method-FEM) ve sonlu entegrasyon tekniği (Finite Integration Technique-FIT) gibi sayısal analiz yöntemlerini baz alan elektromanyetik simülasyon yapabilen programlar kullanılmaktadır.

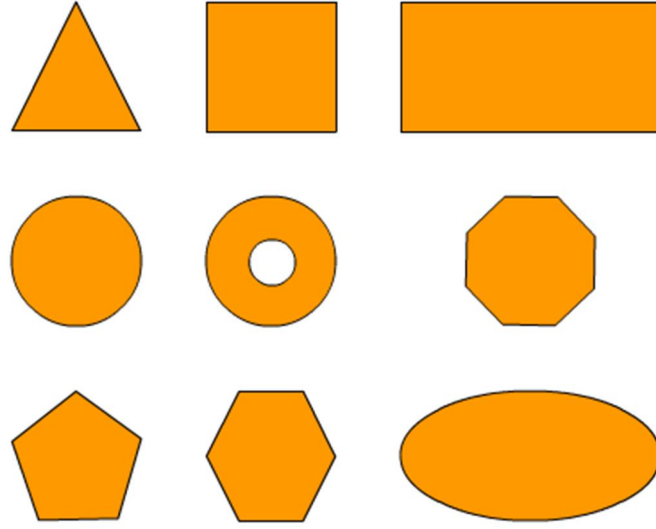
G.2 Literatür Taraması

İlk mikroşerit yama anten fikri Deschamps [6] tarafından 1953 yılında sunulmuştur. 1955 yılında ise Gutton tarafından ilk kez patenti alınmıştır [7]. Ancak, mikroşerit antenlerin ilk pratik uygulaması Howell [8] ve Munson [9] tarafından 1970’li yılların başlarında yapılmıştır. Baskı devre üretim tekniği ile imal edilen mikroşerit antenler, Şekil G.1’de gösterildiği gibi dielektrik (yalıtkan) taban malzemesi üzerine yerleştirilen iletken ışıma elemanından (yama), antenin toprak tabakasını oluşturan metal katmandan ve mikroşerit hat beslemesinden meydana gelmektedir.



Şekil G.1. Mikroşerit yama anten yapısı

Işımanın gerçekleştiği metalik yama çok iyi iletken olması gerektiği için düşük kayıplı altın, bakır gibi metalik malzemelerden seçilmektedir ve Şekil G.2’de gösterildiği gibi değişik geometrilere sahip olabilmektedir. Genellikle anten performans analizini kolaylaştıracak düzgün geometriler seçilir. Işıma elemanının boyutları, geometrisi, taban malzemesinin kalınlığı ve dielektrik sabiti antenin elektriksel performansını doğrudan etkileyen başlıca parametrelerdir [10].



Şekil G.2. Farklı geometrilerdeki yama anten şekilleri

Başlangıçta bu antenler mikroşerit hatlarla beslendiği için mikroşerit antenler olarak isimlendirilirken daha sonraki yıllarda yarık hatlar ve koplanar iletim hatları ile beslenmiş mikroşerit anten yapıları yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. İlerleyen yıllarda, geniş bant kablosuz haberleşme uygulamalarına ihtiyaç duyulmasıyla birlikte geniş bant ve UGB anten yapıları literatüre sunulmuştur. Yapılan literatür taramasında farklı geometrik boyutlarda tasarlanarak farklı fiziksel özellikler gösteren yapılar sunulduğu ve bu yapıların minyatürize edilerek daha kompakt yapılar elde edilmeye çalışıldığı görülmüştür [11-12].

Mikroşerit yama antenler, sahip oldukları avantajları sebebiyle günümüz haberleşme sistemlerinde sıkça kullanılan sistem elemanlarından olmuşlardır [3-30]. Mikroşerit antenlerin bu kadar popüler olmasının sebepleri; hafif, ucuz ve devrelere kolay uyum sağlamasından kaynaklanmaktadır [15]. Bu avantajlara rağmen dar banda sahip olmaları bu tip antenlerde üstesinden gelinmesi gereken bir özellik olarak karşımıza çıkmaktadır [16]. İyi bir anten tasarımı iletişim sisteminin performansını da olumlu biçimde etkilemektedir. Bu nedenle yama antenlerde, çalışma frekansı aralığı ve giriş empedans hesaplamaları önemlidir. Literatürde farklı geometrilere sahip anten şekilleri için çalışma frekansı hesaplamaları sunulmuştur. Bu hesaplamalar farklı yöntemler kullanılarak elde edilmiştir. Çalışma frekansı hesaplama yöntemlerine örnek olarak; iletim hattı modeli, boşluk modeli (Cavity Model), moment yöntemi (Method of Moment), zaman ekseninde sonlu farklar metodu (Finite Difference Time Domain

Method), sonlu entegrasyon tekniği (Finite Integration Technique) ve yapay sinir ağları modeli (Artificial Neural Networks model) verilebilir [17].

Mikroşerit yama antenin geri dönüş kaybı karakteristiğini etkileyen başlıca faktörler:

- Yama geometrisi seçimi,
- Parazitik yama kullanımı,
- Empedans uyumsuzluğu,
- Taban malzemesinin kalınlaştırılması,
- Dielektrik sabitinin düşürülmesi,
- Anten üzerine uygun boy ve genişlikte yarıklar açılması,
- Besleme tipinin seçimi,
- Fabrikasyon toleransları [18].

Literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde UGB haberleşme sistemlerinde kullanılmak üzere değişik geometrilerde tasarlanan birçok mikroşerit anten tasarımı bulunmaktadır [3-30].

İlk olarak Yang ve ark. tarafından 2007 yılında ultra geniş bantlarda çalışacak şekilde tasarlanan yandan mikroşerit beslemeli, yama anten incelenmiştir. Sunulan antende dielektrik katsayısı 4.2, yüksekliği 0.762 ve kayıp tanjantı 0.01 olan FR4 taban malzemesi kullanılmıştır. Tasarımın boyutları $45 \times 50 \text{ mm}^2$ olup simülasyonları IE3D ve HFSS programları ile yapılmıştır [19]. Elips şeklinde yama üzerine açılan daire biçimindeki yarık sayesinde antenin geri dönüş kaybı performansı arttırılmıştır. Oluşturulan daire şeklindeki yarığın elips şekline dönüştürülmesi ile değişen bant genişliği grafikleri incelenerek optimizasyon yapılmıştır.

Yapılan diğer bir çalışma Hayouni ve ark. tarafından 2011 yılında tasarlanan dikdörtgen şekilli kompakt anten tasarımıdır. Simülasyon çalışmaları HFSS programında incelenen dikdörtgen mikroşerit yama antenin alt köşeleri üzerinde çeşitli modifikasyonlar denenerek geri dönüş kaybı karakteristiği üzerine etkileri incelenmiştir. Literatüre sunulan antende dielektrik katsayısı 4.4, kayıp tanjantı 0.018 ve yüksekliği 1.6 olan $30 \times 35 \text{ mm}^2$ boyutlarında FR4 taban malzemesi kullanılmıştır [20].

Liu ve ark. tarafından 2013 yılında yayımlanan CPW beslemeli çift bant geçiren ultra geniş bant anten tasarımı altıgen şeklinde yama kullanılmıştır. Bant geçiren özelliğinin istenilen frekanslarda gerçekleşmesi için iki adet simetrik parazitik yama

kullanılmıştır. CPW beslemeli anten dielektrik katsayısı 4.4, kayıp tanjantı 0.02, yüksekliği 1.2, olan FR4 taban malzemesi ile gerçekleştirilmiştir. Tasarımın boyutları 30x40 mm² olup simülasyon çalışmaları HFSS programında yapılmıştır. Bu çalışmada sonuçlar geri dönüş kaybı (return loss) grafiği yerine performans ölçümüne eşdeğer olan voltaj duran dalga oranı (VSWR) grafiği sunulmuştur [21].

Bir diğer çalışma, Subbarao ve ark. tarafından tasarlanan WLAN bant geçiren UGB mikroşerit anten yapısıdır. Tasarlanan anten CPW beslemeli olup konik altıgen şeklinde yama kullanılmıştır. WLAN çalışan cihazlarla karışım vermenin önüne geçmek için antene 5.1–5.9 GHz frekanslarında bant geçiren özelliği kazandırmak için U şeklinde yarık açılmıştır. Önerilen anten dielektrik katsayısı 4, kayıp tanjantı 0.02, yüksekliği 0.8 olan FR4 taban malzemesi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Tasarımın boyutları 29x31 mm² olup simülasyon çalışmaları IE3D programı ile yapılmıştır [22].

Literatürde UGB antenlerle ilgili daha birçok çalışma bulunmaktadır [23-35]. Bu çalışmalarda, mikroşerit antenlerin ışıma yamaları farklı geometrik şekillerde tasarlanarak, toprak düzlemi üzerinde modifikasyonlar yaparak [23] veya ışıma yamaları üzerinde değişik geometrilerde yarıklar oluşturularak UGB haberleşme sistemine uygun antenlerin gerçekleştirilmesi amaçlanmaktadır. Genellikle tercih edilen geometrik şekillere örnek olarak üçgen [24], hilal [19], U [25], C [26], G [27] ve E [28] şekilli antenler gösterilebilir. Açılan yarıklar ve yama kenarı modifikasyonuna ise elmas şeklinde [29] ve yatay çubuk [30] şeklinde yarıklara sahip mikroşerit antenler örnek teşkil edebilir. Bütün bu çalışmalar incelendiğinde antenin yama, yarık geometrilerinin ve parametre optimizasyonunun UGB anten tasarımında önemli bir rol aldığı görülmüştür.

G.3. Tezin Amacı

Tezin amacı, kablosuz haberleşme uygulamalarında kullanılabilecek UGB yama antenler sunulması ve bunun yanı sıra mikrodalga mühendisliğinin temel çalışma alanlarından birisi olan minyatürleştirme işleminin de kablosuz haberleşme sistemlerinde kullanılan anten yapılarına uygulanmasıdır.

Bu amaçla, ilk olarak literatürde yer alan UGB standartlarına uygun antenler incelenmiştir. Elde edilen veriler doğrultusunda literatürde bulunan antenlerden farklı geometrik ve fiziksel özelliklere sahip UGB kablosuz haberleşme uygulamalarında kullanılabilecek özgün mikroşerit yama anten yapıları sunulmuştur. Literatürde bu anten yapıları mikroşerit veya eş düzlemlı dalga kılavuzu (CPW: Coplanar Waveguide) beslemeli olarak farklı besleme özelliklerine sahip olarak tasarlanmaktadır. Bu çalışmada yalnızca mikroşerit beslemeli UGB yama anten yapıları ele alınmıştır.

Tasarım çalışmalarında belirlenen anten geometrileri simülasyon programı ile analiz edilerek, çeşitli şekil denemeleri ve parametrik değişimlerin gerçekleştirilmesiyle uygulama frekanslarının, geri dönüş kaybı seviyelerinin ve voltaj duran dalga oranlarının istenilen değerlere optimizasyonu sağlanmıştır. Tasarım sürecinde, anten taban malzemesinin kalınlığı ve dielektrik sabiti, yama boyutları, yarık boyutları ve metalik yamaların konumları, toprak düzleminin konumu ve boyutları ile mikroşerit besleme hattının yapılandırılması optimize edilecek başlıca parametreler arasında yer almaktadır. Parametrelerin optimize edilmesi neticesinde temel tasarım aşamalarına göre UGB yama antenler tasarlanarak optimum performansı veren UGB mikroşerit yama antenler deneysel ortamda baskı devre kazıma yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. Prototip üretimleri yapılan mikroşerit antenlerin teorik analizlerinin doğrulanması için yansız odalarda network analizör ile ölçümleri yapılmıştır.

UGB haberleşme sistemlerinde kullanılmak üzere tasarlanan mikroşerit yama antenler ile ilgili literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde özellikle ülkemizde yapılan çalışmalar dünya çapındaki çalışmalara göre oldukça az olması tezin yapılma amaçlarından bir tanesidir. Bu bakımdan araştırmacılara yön göstermesi de hedeflenmektedir. Sonuç olarak günümüz haberleşme teknolojisinde önemli bir yeri bulunan ve sürekli gelişmekte olan UGB kablosuz haberleşme sistemlerinde kullanılabilecek dört adet yeni mikroşerit yama anten tasarımı literatüre sunulmuştur.

1. BÖLÜM

UGB HABERLEŞME SİSTEMLERİ VE MİKROŞERİT ANTENLER

1.1. UGB Haberleşme Sistemleri

UGB haberleşme teknolojisi, çeşitli avantajları sayesinde son yıllarda akademik çevrede ve endüstride kısa mesafe kablosuz gezgin haberleşme sistemleri arasında büyük bir ilgi çekmektedir. Bu teknolojinin avantajları; yüksek bant genişliği, düşük güç tüketimi, çok yönlü yayılımına karşı dirençlilik, az karışım verme özellikleri olarak sıralanabilir. UGB haberleşme sisteminde alıcı ve verici arasında haberleşme çok kısa süreli darbe şeklindeki sinyaller aracılığı ile yapılmaktadır. Bunun sonucu olarak çok büyük bir bant aralığında iletişim gerçekleşmektedir [3]. Ayrıca UGB sistemlerin düşük güç spektral yoğunluklarına sahip olmaları nedeniyle diğer sistemlerle minimum düzeyde girişimle ya da hiç girişim olmadan kullanılabilmekte ve diğer radyo frekans aygıtları tarafından beyaz gürültü şeklinde algılanmaktadırlar [4]. Sahip olduğu avantajların yanında UGB kablosuz sistem geliştirmenin önünde çeşitli teknik engeller bulunmaktadır. Bunlar UGB kanal modelleme, alıcı-verici tasarımı, diğer dar bant sistemlerle bir arada çalıştırılma ve FCC tarafından sunulan spektral kısıtlamalara uygun optimum darbe tasarımı olarak belirtilebilir [5].

UGB sistemleri incelendiğinde çok çeşitli uygulamalarda kullanıldığı görülmektedir. Bunlar; yüksek hızlı WPAN haberleşmesi, düşük güçte çalışan sensör uygulamaları, düşük güçlü gizli haberleşme uygulamaları, konumlandırma ve yer tespiti uygulamaları ve radar sistemleridir [1]. Aşağıda UGB haberleşme sistemlerinin tanımı, tarihçesi, avantajları, dezavantajları ve kullanım alanları ile ilgili daha detaylı bilgiler verilecektir.

1.1.1. UGB Haberleşme Sistemlerinin Tanımı

UGB haberleşme sistemleri, FCC tarafından yayılım sınırları belirlenmiş 500 MHz'den büyük bant genişliği ya da kesirli bant genişliği (fractional bandwidth) 0.20'den daha fazla olan darbe sinyalleridir [31].

Kesirli bant genişliği; dar bant, geniş bant ya da ultra geniş bant olarak sınıflandırılabilir ve aşağıdaki ifade ile elde edilir.

$$B_f = \frac{BW}{f_c} = \frac{(f_h - f_l)}{(f_h + f_l)/2} \quad (1.1)$$

Denklemde, BW bant genişliğini, f_c merkez frekansı, f_l ve f_h işaret gücünün 10 dB düştüğü alt ve üst kesim frekanslarını göstermektedir. Kesirli bant genişlikleri sınıflandırması gibi üç kısma ayrılmaktadır. Bunlar:

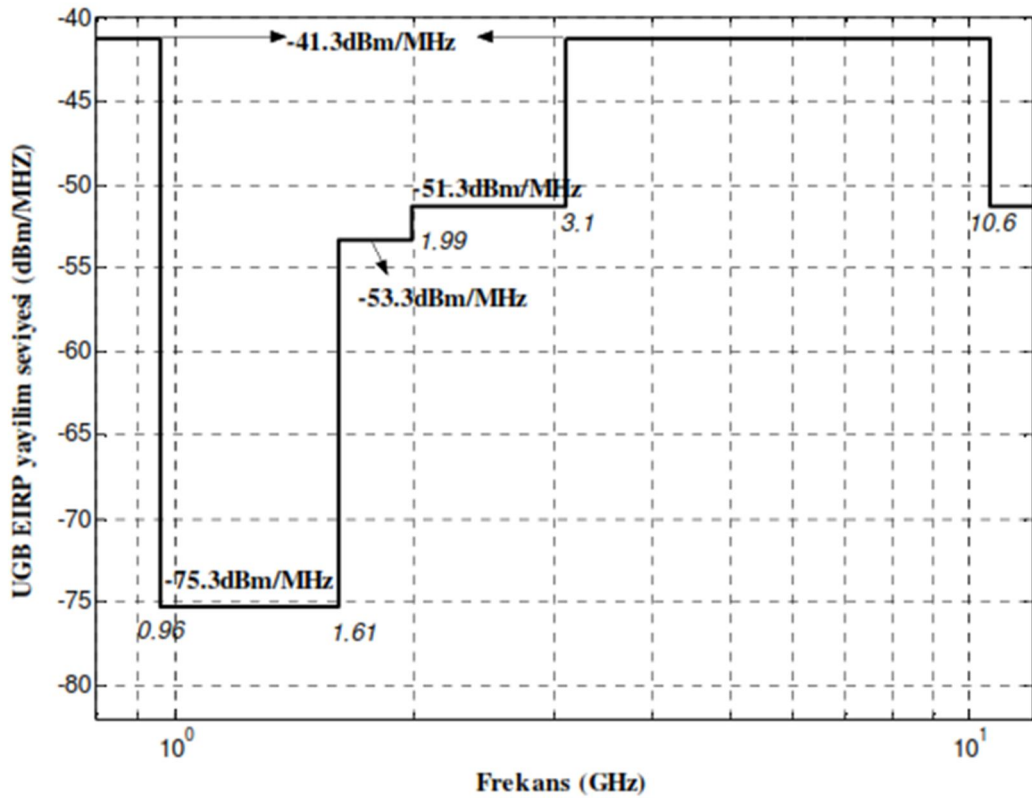
Dar Bant	$B_f < 1\%$
Geniş Bant	$1\% < B_f < 20\%$
Ultra geniş bant	$B_f > 20\%$

Kanal kapasitesi, haberleşme sistemlerinde saniyede iletilebilen maksimum bilgi miktarını ifade etmektedir. Shannon'un kapasite formülü aşağıdaki eşitlik ile ifade edilmektedir.

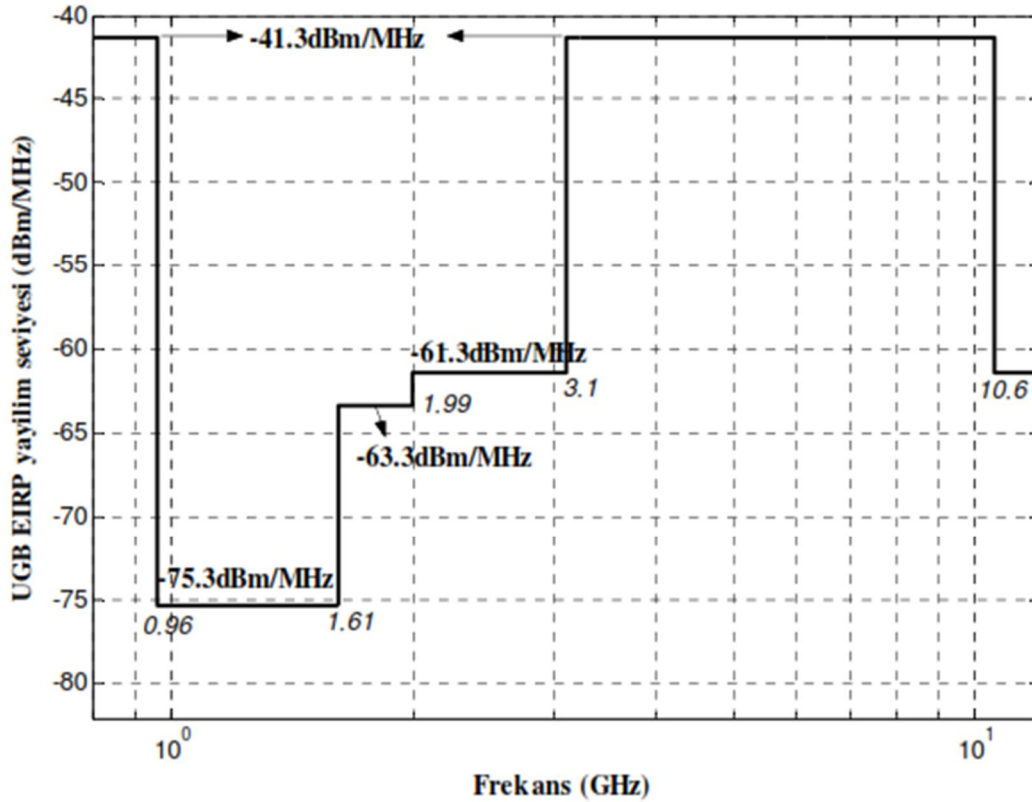
$$C = B \log_2(1 + SNR) \quad (1.2)$$

Bu denkleme göre; C maksimum kapasiteyi (birimi bps, bits per second), B bant genişliğini ve SNR işaret/gürültü oranını temsil etmektedir. Formülden de anlaşılaçağı üzere bant genişliği arttıkça, kapasitenin de doğrusal olarak artacağı görülmektedir. UGB sistemlerinin bant genişliğinin GHz mertebelerine ulaştığı düşünöldüğünde, C kanal kapasitesinin de Gbps'lara çıkacağı anlaşılmaktadır.

UGB haberleşme teknolojisi, 3.1 GHz ile 10.6 GHz arasındaki lisanssız geniş bir bandı düşük güç seviyelerinde kullanılır [2]. Bu yüzden diğer lisanslı ve lisanssız dar bant sistemlere girişim olmaz. FCC, mevcut kullanıcılar ve sistemlerde girişimi engellemek adına UGB sinyalleri için bir spektral maske kullanmaktadır. UGB cihazlarının yaymış olduğu maksimum güç FCC tarafından -41.3 dBm/MHz olarak belirlenmiştir [2]. İç ortam ve dış ortam olmak üzere iki çeşit maskeleme ilan edilmiştir. Eş yönlü efektif ışıma gücü (EIRP=Effective Isotropic Radiated Power), frekans grafiği iç ve dış ortam maskeleri sırasıyla Şekil 1.1 ve Şekil 1.2.'de gösterilmektedir.



Şekil 1.1. FCC bina içi (Indoor) maskesi



Şekil 1.2. FCC bina dışı (Outdoor) maskesi

1.1.2. UGB Haberleşme Sistemlerinin Tarihçesi

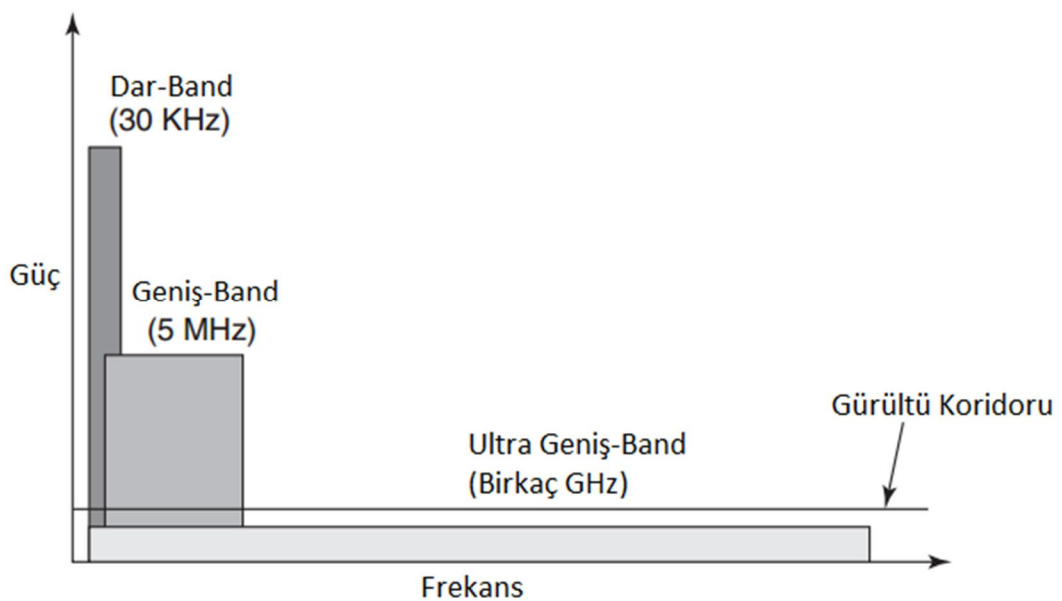
UGB haberleşmesinin temelleri ilk olarak Heinrich Hertz'in elektromanyetik dalga üretmek amacıyla yaptığı kıvılcım boşalması deneylerine dayanmaktadır. Hertz'in yapmış olduğu ilk deneylerle birlikte sonraki yaklaşık yirmi yıllık süreçte kıvılcım atlamaları ve karbon elektrotları arasındaki ark boşalmaları en yaygın dalga üreteçleri olarak kullanılmıştır [32]. Daha sonra Marconi tarafından mors alfabesini iletmek için kullanılan kısa süreli elektromanyetik darbelerin; 1960'ların başında nano saniye seviyelerinde darbe üretim tekniklerinin ve osilaskopun geliştirilmesiyle birlikte darbe sinyali iletişiminin çok kullanıcıli sistemlere uygulanması ve geniş spektrumların yararları düşünülerek UGB haberleşme teknolojisinde kullanılması üzerine araştırmalar hız kazanmıştır. 1960-1990 yılları arası Amerikan Savunma Bakanlığı tarafından geniş bantlı haberleşme sistemlerinin kullanımı kısıtlanarak kendileri tarafından gizli uygulamalarda kullanılmıştır. 2002 yılında Amerika Birleşik Devletleri Ulusal Haberleşme Komisyonu (FCC) tarafından 3.1-10.6 GHz arası frekansları lisanssız ticari

kullanıma açmasıyla endüstriyel ve akademik çevrenin bu konuya ilgisi daha da artmıştır [19-35].

1.1.3. UGB Haberleşme Sistemlerinin Avantajları Dezavantajları

UGB haberleşme sistemlerinin dar bant haberleşme sistemlerine göre en önemli avantajları yüksek bant genişliği ve çok düşük güç spektral yoğunluğu (Power Spectral Density, PSD) olarak belirtilebilir. Diğer avantajları ise aşağıdaki şekilde sıralanabilir: Ortak frekans spektrum paylaşımı, geniş kanal kapasitesi, düşük sinyal/gürültü oranı, çok yönlü kanallarda yüksek performans.

Ortak frekans spektrum paylaşımı: FCC'ye göre UGB haberleşme sistemlerinin MHz başına harcadığı güç sadece 75 nanoWatt'dır [33]. Düşük güç kısıtlaması ve tüketimi sayesinde aynı bantta bulunan diğer kablosuz sistemlerle birlikte karışım vermeden birlikte çalışabilmektedir. Diğer kablosuz sistemler tarafından beyaz gürültü olarak algılanmaktadır. Bu avantajı sayesinde ortak frekans spektrumu da kapsayacak şekilde geniş bir frekans spektrumunda veri transferi yapabilmektedir. UGB haberleşme sistemlerinin ve diğer sistemlerin Güç / Frekans ortak kullanım grafiği Şekil 1.3'te gösterilmektedir.



Şekil 1.3. UGB Sinyallerinin dar ve geniş bantlı sinyaller ile birlikte çalışması

Geniş kanal kapasitesi: Eşitlik 1.2’de Shannon kapasite formülünün açıklamasında bahsedildiği gibi bir saniyede gerçekleşebilecek veri transfer hızı bant genişliğine bağlı olarak, gigabit mertebelerine ulaşabilmektedir. Bu kapasite dar bantlı sistemlerin veri transfer hızından oldukça fazladır.

Düşük Sinyal/Gürültü Oranı (Signal/Noise Rate, SNR): Düşük güçlerde çalışma yeteneği ve diğer kablosuz sistemlerle az girişime uğraması sayesinde SNR çok düşük değerler alabilmektedir.

Çok yollu kanallarda yüksek performans: UGB haberleşme sistemleri çok kısa süreli darbeler kullandığı için çok yollu kanal bozulmalarına karşı daha az duyarlıdır. Bu durum, alıcıya direk gelen sinyal ile yansiyarak gelen sinyalin çarpışması için çok kısa sürelerinin olmasından kaynaklanmaktadır [28]. Yüksek bant genişliğinin, iyi zaman çözünürlüğü sayesinde daha iyi çok yollu dirençliliği sağlamaktadır. Ayrıca UGB sistemleri, yüksek frekansları ve büyük bant genişliği kullanılması nedeniyle sinyallerin malzemelerin içinden geçişinde dar bantlı sistemlere göre daha iyi performans sergilemektedir. [26]

UGB haberleşme sistemlerinin birçok avantajı olmasına rağmen çeşitli dezavantajları ve zorlukları bulunmaktadır. İlk olarak FCC standartlarının karşılanması, darbe şekillerinin belirlenmesi ve sistemde kullanılan güç azalırken iletişim mesafesinin de hızla azalması şeklinde belirtilebilir [34,35]. Ayrıca aşağıdaki maddeler sıralanabilir: [36]

- Darbe Bozulması, (Diğer servislerle bir arada var olma ve kuvvetli dar bant karışım verme)
- Çoklu Erişim Zorluğu, (Çoklu erişim kod tasarımı, çoklu erişim karışım azaltma, dar bant karışım sezimleme ve giderme)
- Yüksek Frekans Senkronizasyonu, (Çok kısa süreli darbelerin kullanılmasından dolayı alıcıda doğru senkronizasyonun zorluğu)
- Kanal Kestirimi, (UGB kanalların doğru bir şekilde modellenmesi, çok yollu kanal gecikmelerinin ve kanal katsayılarının kestirimi, uyarlamalı alıcı-verici tasarımı)

1.1.4. UGB Haberleşme Sistemlerinin Kullanım Alanları

UGB sistemler, düşük güç tüketimi, yüksek veri kapasitesi, çok yollu sönümlemelere karşı dirençlilik, düşük güç spektral yoğunluğu, algılama ve engellemelere karşı avantajlı yapısı ayrıca diğer radyo frekans cihazları tarafından beyaz gürültü şeklinde algılanmaları nedeniyle askeri, medikal ve düşük güçlü sensörler gibi çeşitli alanlarda yaygın bir kullanım alanına sahiptir.

Kablosuz Kişisel Alan Ağları, (Wireless Personal Area Network, WPAN) yakın mesafedeki elektronik cihazları birbirine bağlayan kablosuz ağlar olarak tanımlanmaktadır. Yüksek kalitede gerçek zamanlı ses ve video aktarımı, depolama cihazları arasında veri transferi ve ev eğlence sistemleri arasında kablo kullanma zorunluluğunu ortadan kaldırdığı için ev ağları olarak da bilinmektedirler. UGB haberleşme kısa mesafede (0-10 m) yüksek veri hızı, düşük güç tüketimi ve düşük maliyeti avantajları sayesinde WPAN'lar için kullanılabilecek ideal bir teknolojidir.

Kablosuz algılayıcılar, düşük güç tüketimine sahip cihazlardır. Tekil olarak kullanılacağı gibi çok sayıda kablosuz algılayıcının birbiriyle haberleşmeleri sağlanarak özel ağ yapıları da kurulabilir. Genellikle endüstriyel ve askeri olmak üzere pek çok alanda kullanımı mevcuttur. Konumlandırma, hareket algılama, çevresel görüntüleme, ortam koşullarını izleme (sıcaklık, nemlilik ve hareketlilik) gibi çeşitli uygulamalarda kablosuz algılayıcılar kullanılmaktadır. Bu tip algılayıcılar genellikle pille çalıştıkları için güç tüketiminin az olması önem arz etmektedir. UGB haberleşme teknolojisi de düşük güçlerde çalıştığı için kablosuz algılayıcı uygulamalarında tercih edilmektedir [34].

Konumlandırma ve yer tespiti, bir nesnenin ya da kişinin konumunun belirlenmesinde kullanılan teknolojidir. Kablosuz konum bulma ve yer tespiti sistemleri kullandıkları frekansa göre sınıflandırılabilir. Bu tip sistemlerde yüksek frekans kullanımı daha doğru konum tespiti sağlar. Konum belirlemede yaygın olarak kullanılan GPS (Global Positioning System) sistemlerinde UGB teknolojisinin kullanılması ile birlikte daha az hata payına sahip yer belirleme yapılabilmektedir. [34].

Radar sistemleri, radyo dalgalarının yansıması yardımıyla uzaktaki nesneleri, nesnelerin hızını, mesafesini ve konumunu tespit edebilen cihazlardır. UGB teknolojisinin karakteristik özelliği gereği yakın mesafede yüksek bant genişliği, sinyalin

malzemelerin içinden geçebilme özelliği sayesinde, özellikle indoor ve yakın mesafe radarlarda örneğin; toprağın altındaki nesnelerin tespitinde, duvar arkası görüntüleme sistemlerinde, arama kurtarma, madencilik alanlarında ve benzer birçok alanda kullanılabilir.

UGB sistemleri incelendiğinde çok çeşitli uygulama alanları olduğu görülmektedir. Özetle; yüksek hızlı WPAN haberleşmesi, düşük güçte çalışan sensör uygulamaları, düşük güçlü gizli haberleşme uygulamaları, konumlandırma ve yer tespiti uygulamaları ve radar sistemlerinde tercih edilmektedir [35].

1.2. Mikroşerit Antenler

Bu bölümde; mikroşerit antenler hakkında bilgiler verilmesi amaçlanmıştır. İlk olarak mikroşerit antenlerin genel yapısı ve özelliklerinden bahsedilecek daha sonra fiziksel özelliklerine göre ve besleme şekillerine kategorize edilip incelemeleri yapılacaktır.

1.2.1. Mikroşerit Antenlerin Genel Özellikleri

Mikroşerit antenler genel olarak Şekil G.1’de gösterildiği gibi 4 bölümden meydana gelmektedir. Bunlar, dielektrik taban malzemesi, taban malzemesinin üzerinde bulunan ısıma yapan iletken, taban malzemesinin altında bulunan ve antenin toprak tabakasını oluşturan iletken ve besleme hattıdır.

Mikroşerit antenlerde dielektrik taban malzemesinin seçimi anten performansı için önemli bir parametredir. Taban malzemesinin yüksekliği antenin verimine etki etmektedir. Bu yüksekliğin artması, istenmeyen yüzey dalgalarının oluşuna sebebiyet vermektedir. Taban malzemesinin dielektrik sabiti ise bant genişliği ve frekansa etki etmektedir. İyi bir anten performansı için düşük dielektrik sabitine sahip kalın bir taban malzemesi seçilmelidir. Böylece daha iyi ısıma sağlanarak daha yüksek verimli ve daha yüksek bant genişlikli anten elde edilebilir.

Mikroşerit antenlerde kullanılan taban malzemesinin dielektrik sabiti 2 ile 12 arasında değerlere sahiptir. Anten performansını olumlu yönde etkilediği için genellikle kayıp tanjantı daha düşük taban malzemeleri tercih edilmektedir. Taban malzemesinin dielektrik sabiti değerinin küçük olması, kenar alanlar etkisini artırarak antenin ısıma

performansında iyileşme sağlamaktadır. Fakat bu durumda aynı frekans cevabının elde edilmesi için daha büyük ısıma elemanının kullanılması gerekmektedir. Işıma elemanının büyümesi de antenin fiziksel olarak daha büyük olması anlamına gelmektedir. Mikroşerit antenlerin uygulama alanları düşünüldüğünde istenilmeyen bir durum olarak karşımıza çıkmaktadır. Taban malzemesinin dielektrik sabitinin küçük, kalınlığının ise büyük olması optimum ışımayı sağlamasının yanında bant genişliğinin artmasında sağlamaktadır. Ancak taban malzemesinin kalın olması, yüzey dalgalarının oluşumuna neden olarak antenin veriminin azalmasına ve ısıma örüntüsünün bozulmasına sebebiyet verebilmektedir.

Dielektrik taban malzemenin alt ve üst yüzeyinde yer alan iletkenler için düşük kayıplı metalik malzemeler tercih edilmektedir. Işıma elemanının boyutları ve geometrik şekli antenin performansını doğrudan etkileyen başlıca parametrelerden biridir. Mikroşerit antenlerde iletken elemanların kalınlığı 17.5-75 μm arasında değişmektedir. Altın, kalay, nikel, bakır vb. gibi çeşitli iletkenler kullanılabilir. Hem ucuz olması hemde iyi performans vermesi nedeniyle genellikle ısıma iletkeni olarak bakır kullanılmaktadır.

Besleme hatları da mikroşerit antenler için performansı belirleyen önemli parameterlerden biridir. Genellikle mikroşerit antenlerin uygulama alanlarına ve üretim kolaylığına göre çeşitli şekilde yapılabilmektedirler. İlerleyen bölümlerde ayrıntılı bir şekilde ele alınacaktır.

Çok geniş frekans çalışma aralığına sahip mikroşerit antenlerin avantajları aşağıdaki gibi sıralayabiliriz:

- Hafifliği, küçük hacimli olması,
- Kolay ve ucuz üretimi,
- Düzlemsel ve ince biçimliliği nedeniyle kullanışlı olması,
- Yönsüz ısıma yapabilmesi,
- İkili, üçlü ya da ultra geniş bant çalışabilmesi,
- Diğer devrelerle birlikte üretilebilmesi,
- Doğrusal ve dairesel kutuplanmış ısıma yapabilmesidir.

Mikroşerit antenlerin yukarıdaki avantajlarının yanı sıra bazı dezavantajları da şöyle sıralanabilir:

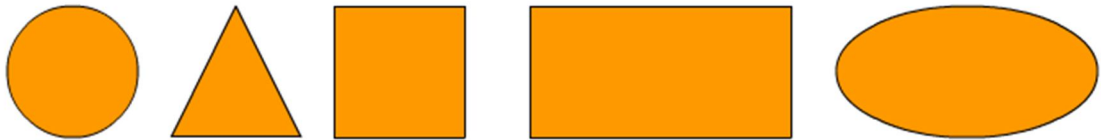
- Dar bant genişliğine sahip olması,
- Düşük kazançlı olması,
- Yüzey dalgaları uyarımı,
- Düşük güçle çalışması,

1.2.2. Mikroşerit Anten Çeşitleri

Mikroşerit antenlerin kolay üretilmesi pek çok farklı boyut ve geometrik yapıda üretilmelerine olanak sağlamıştır. Çeşitliliğin fazla olması mikroşerit antenleri belirli özelliklerine göre sınıflandırma ihtiyacını doğurmuştur. Bu bağlamda mikroşerit antenler, fiziksel özelliklerine ve besleme şekillerine göre kategorize edilip incelenmektedir.

1.2.2.1. Mikroşerit yama antenler

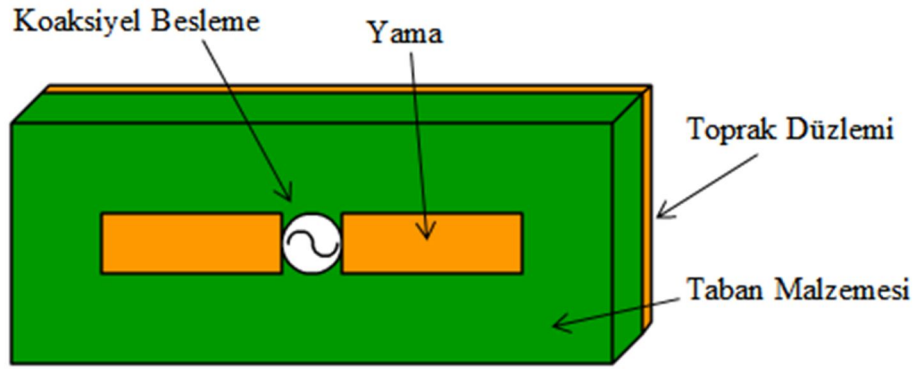
Mikroşerit yama antenler, ışımayı sağlayan çeşitli geometrilerdeki düzlemsel iletkenin dielektrik taban malzemesinin üzerine işlenmesi ile oluşturulmaktadır. Bu geometrik şekiller literatürde genellikle üçgen, kare, dikdörtgen, daire, elips gibi düzgün yapılardan meydana gelmektedir. Şekil 1.4’de literatürde sıklıkla rastlanan geometrik yapılar gösterilmektedir. Tipik olarak kazançları 5-6 dB seviyesinde olan mikroşerit yama antenler, 70° - 90° arasında 3 dB hüzme genişliğine sahiptirler [36].



Şekil 1.4. Sık kullanılan mikroşerit yama anten geometrileri

1.2.2.2. Mikroşerit dipol antenler

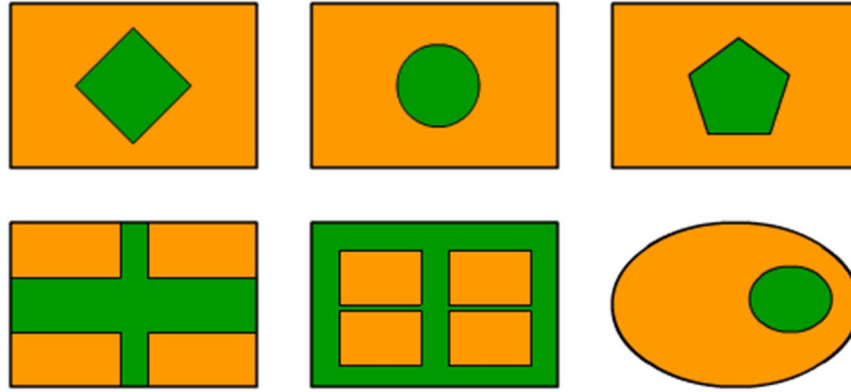
Mikroşerit dipol antenler, uzunluk-genişlik oranları nedeniyle dikdörtgen mikroşerit yama antenlerden farklıdır. Bir mikroşerit dipol antenin genişliği, genelde serbest uzay dalga boyunun 0.05 katından daha az olarak alınmaktadır. Akım dağılımlarının benzerliklerinden dolayı dipol ve dikdörtgen yama antenlerin ışıma örüntüleri benzerlik göstermektedir. Yine de ışıma dirençleri, bant genişlikleri ve çapraz polarizasyon ışıma örüntüleri büyük oranda farklılık göstermektedir [37]. Diğer mikroşerit antenlere kıyasla daha az yer kapladıklarından dolayı genellikle dizi anten uygulamalarında kullanılmaktadır. Küçük boyutlarının yanı sıra lineer polarizasyona sahip olmalarından dolayı da tercih edilmektedirler. Mikroşerit dipol antenler Şekil 1.5'te gösterildiği gibi genellikle merkez beslemeli olarak tasarlanmaktadır.



Şekil 1.5. Mikroşerit dipol anten

1.2.2.3. Mikroşerit yarık antenler

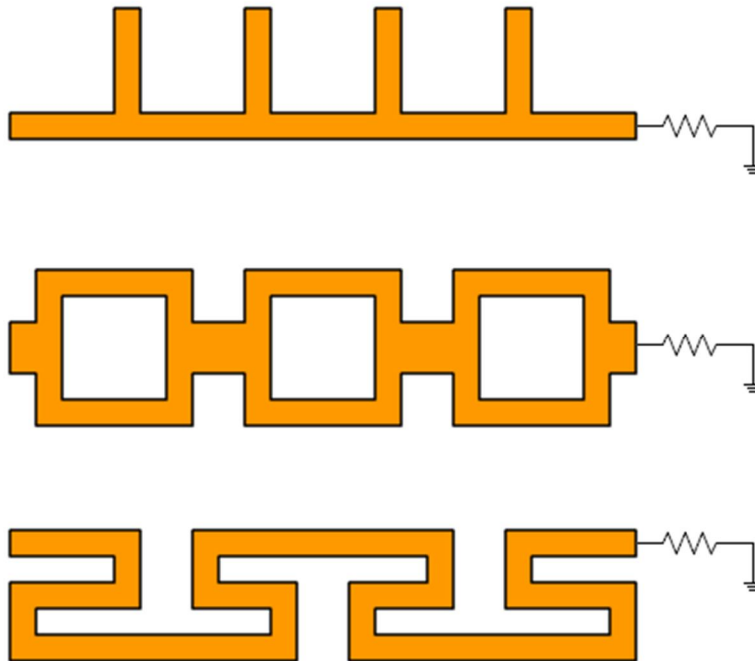
Mikroşerit yarık antenler, ortada bulunan dielektrik taban malzemesinin bir yüzeyinde mikroşerit besleme hattı diğer yüzeyinde ise geometrik bir şekilden oluşan ışıma boşluğuna sahip toprak düzlemi bulunmaktadır. Bu tip antenler besleme genellikle mikroşerit hat ya da eş düzlemsel dalga kılavuzu ile yapılmaktadır [36]. Bu tür antenlerde ışıma yarığın her iki tarafında gerçekleşmektedir. Bunun yanı sıra, yarığın bir yüzeyi kullanılarak iletken yansıtıcı ile tek yönlü ışıma da elde edilebilir. Şekil 1.6'da literatürde yer alan bazı yarık anten geometrileri gösterilmiştir.



Şekil 1.6. Bazı mikroşerit yarık anten geometrileri

1.2.2.4. Mikroşerit yürüyen dalga antenler

Yürüyen dalga antenler zincir şeklinde sıralanmış olup Şekil 1.7’de gösterildiği gibi birbirini tekrar eden yeterli genişliğe sahip uzun bir mikroşerit hattan meydana gelmektedir. Antenın diğer tarafı duran dalga oluşmasını engellemek için uyumlu rezistif bir yük ile sonlandırılmaktadır. Anten tasarımındaki değişiklikler sayesinde yatay ve düşey konum arasında istenilen açıda yayılım yapacak şekilde ayarlanabilirler [36].



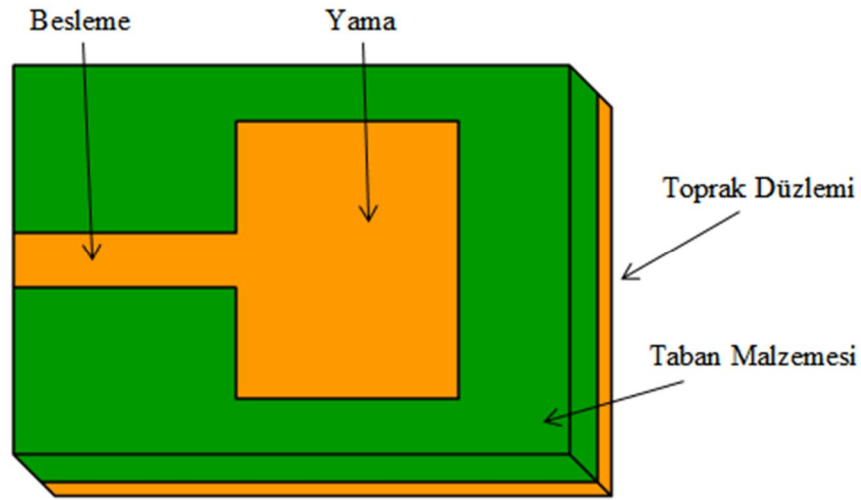
Şekil 1.7. Mikroşerit yürüyen dalga anten örnekleri

1.2.3. Besleme Teknikleri

Mikroşerit antenlerde besleme çeşitli yöntemlerle yapılabilir. Genel olarak sınıflandırılmak istenirse temaslı ve temassız olarak iki gruba ayrılabilir. Temaslı beslemelerde, elektriksel enerjinin taşındığı hat doğrudan ısıma elemanına bağlıdır. Temassız beslemelerde ise enerji aktarımı, enerji hattı ile ısıma elemanı arasında elektromanyetik kuplaj ile sağlanmaktadır. Besleme tekniğinin seçiminde dikkat edilmesi gereken noktalar vardır. Bunlardan birincisi gücün, besleme ile ısıma elemanı arasında verimli bir şekilde transfer edilmesidir. İki yapı arasındaki empedans uyumuna bağlı olan bu durum istenmeyen ışımların oluşumunu etkilemektedir. İkinci olarak ise tasarlanacak olan yapıya fiziksel uyumluluğudur. Mikroşerit antenlerde besleme dört farklı grupta incelenebilir. Aşağıda bu dört grubun genel özellikleri açıklanmaktadır.

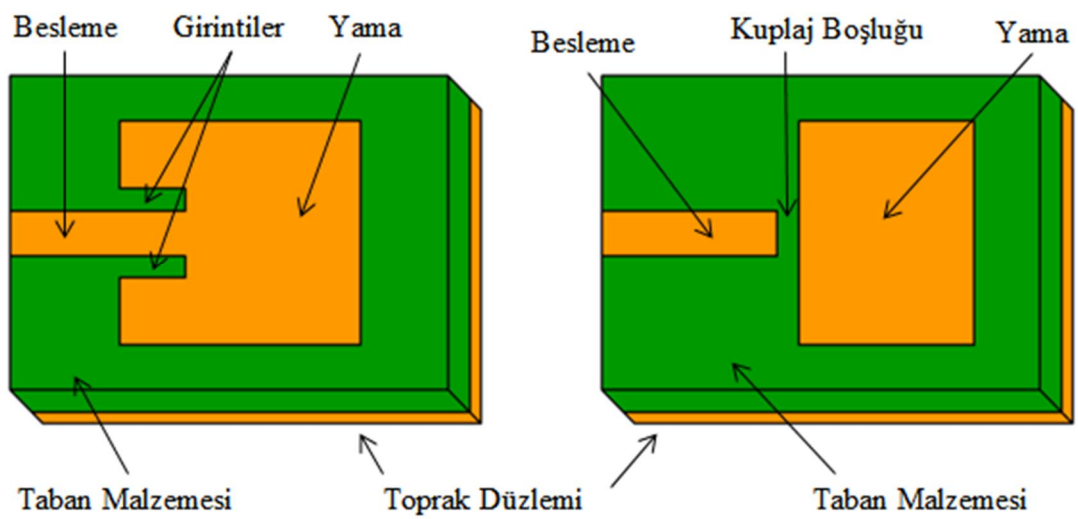
1.2.3.1. Mikroşerit besleme

Mikroşerit besleme tekniği, yama ve yarık antenlerdeki en basit besleme tekniğidir. Bu besleme tekniği Şekil 1.8’de görüleceği üzere mikroşerit yama ile aynı taban malzemesi üzerindedir. Böylece aynı anda üretilebilme avantajı sağlamaktadır. Bu tekniğin dezavantajı ise dar bant performans üretmektedir. Dar olan bant genişliğini arttırmak için taban malzemesi kalın seçilebilir. Fakat bu durum ise yüzey dalgaları ve besleme merkezli parazitik ışımlara neden olmaktadır [38]. Ayrıca mikroşerit besleme hattının genişliği yamanın genişliğine oranla daha az olduğu için empedans uyumluluğu da oldukça zordur. Mikroşerit besleme hattı ile yama arasındaki empedans uyumunu harici bir empedans uygunlaştırıcı devre kullanmaksızın sağlamanın iki çeşit yöntemi vardır.



Şekil 1.8. Mikroşerit hatlı besleme

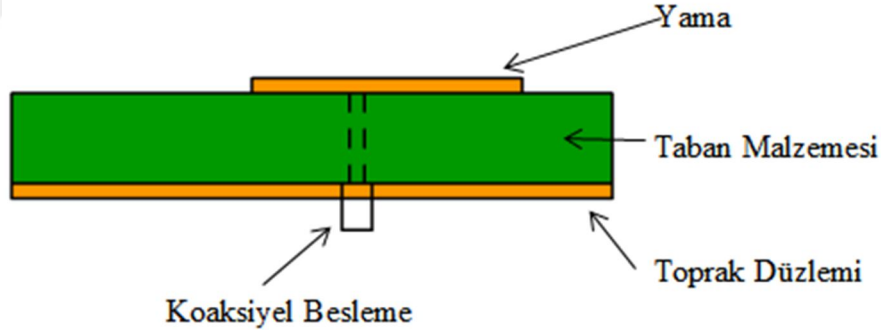
Şekil 1.9 (a)'da gösterilen yöntemde, besleme hattının mikroşerit yama ile birleştiği yerde girinti oluşturularak sağlanmaktadır. Girintinin konumu ve uzunluğu kullanılacak olan mikroşerit hattın empedansına uygun olacak şekilde seçilmelidir. Şekil 1.9 (b)'de gösterilen yöntemde ise, empedans uygunluğu mikroşerit besleme hattı ile yamanın birleştiği yerde boşluk bırakılarak yapılmaktadır. Daha etkin bir empedans uygunluğu sağlayan bu yöntemde, sinyal elektromanyetik kuplaj yolu ile yamaya aktarılmaktadır. Fakat boşluk mesafesini ayarlamak önemlidir ve boşluk mesafesi genişledikçe güç kaybı da artmaktadır. Ayrıca istenmeyen ışımalara da yol açmaktadır [36, 37].



Şekil 1.9. Empedans uygunlaştırma yöntemleri (a) Girintili besleme (b) Kuplaj besleme

1.2.3.2. Eş eksenli kablo ile besleme

Eş eksenli kablo (koaksiyel kablo) ile beslemede, güç koaksiyel kablo ile toprak düzleminde bağlanmaktadır. Burada koaksiyel kablunun iç iletkeninin toprak düzlemi ile bağlantısı yoktur, dielektrik taban malzemesinin içerisinde geçerek metalik yamaya ulaşmaktadır. Koaksiyel kablunun dış iletkeni ise Şekil 1.10'da gösterildiği gibi toprak düzlemine bağlanmaktadır. Yaygın olarak kullanılan bu yöntemde empedans uyumluluğu, beslemenin konumu değiştirilerek nispeten kolay bir şekilde sağlanabilmektedir. Fakat toprak düzleminin ve taban malzemesinin delinmesinin gerekmesi, iç iletkenin metalik yama ile lehimlenerek birleştirilmesinin gerekmesi pratikte bu besleme türünün kullanımını zorlaştırmaktadır. Ayrıca bu besleme tekniğine sahip antenlerin bant genişliği dar olmaktadır. Bunu aşmak için taban malzemesinin kalınlığı arttırılabilir fakat eş eksenli hattın uzunluğunun artmasına paralel olarak besleme merkezli istenmeyen ışımlar ve yüzey dalgaları artmaktadır [36].

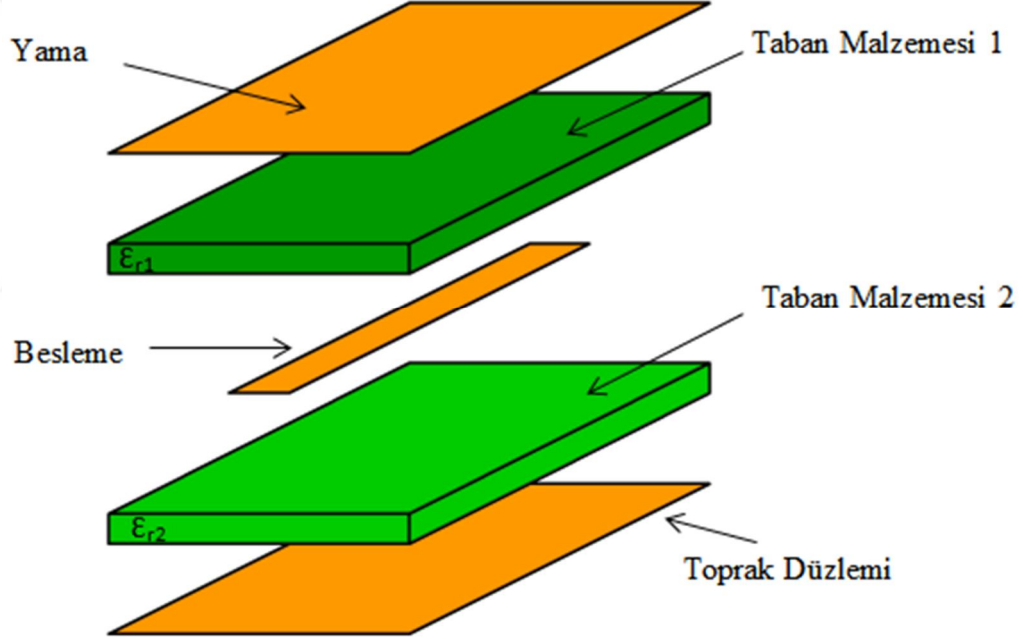


Şekil 1.10. Eş eksenli kablo ile beslenmiş mikroşerit anten

1.2.3.3. Yakınlık kuplajlı besleme

Yakınlık kuplajlı beslemede iki adet taban malzemesi kullanılmaktadır. Besleme hattı iki taban malzemesinin tam ortasında bulunmaktadır. Toprak düzlemi alttaki taban malzemesinin altında yani en altta bulunmaktadır. Işıma yapan metalik yama ise üst taban malzemesinin üzerinde yani en üstte bulunmaktadır. Şekil 1.11'de görüleceği gibi beş katmandan oluşmaktadır. Besleme hattı ile yama arasında bir bağlantı olmadığından

dolayı güç elektromanyetik kuplaj yolu ile iletilmektedir. Mikroşerit besleme ve eş eksenli beslemelerin asimetrik olmasından dolayı oluşan çapraz polarizasyon ve besleme merkezli parazitik ışımlar yakınlık kuplajlı besleme tekniği ile giderilmektedir. Ayrıca ısıma yapan metalik yamanın altındaki taban malzemesi kalın seçilerek oldukça yüksek bir bant genişliği sağlanabilmektedir. Besleme hattının uzunluğu, mikroşerit yamanın uzunluğu ve genişliği, dielektrik malzemelerin özellikleri ve kalınlığının ayarlanması ile empedans uygunluğu yapılabilir. Bu besleme yapısının üretimi, mikroşerit yama ve besleme hattının tam olarak hizalanmasını gerektirdiğinden zordur. Fakat herhangi bir lehimleme işlemine ihtiyaç duymaması büyük bir avantajdır [39-40].

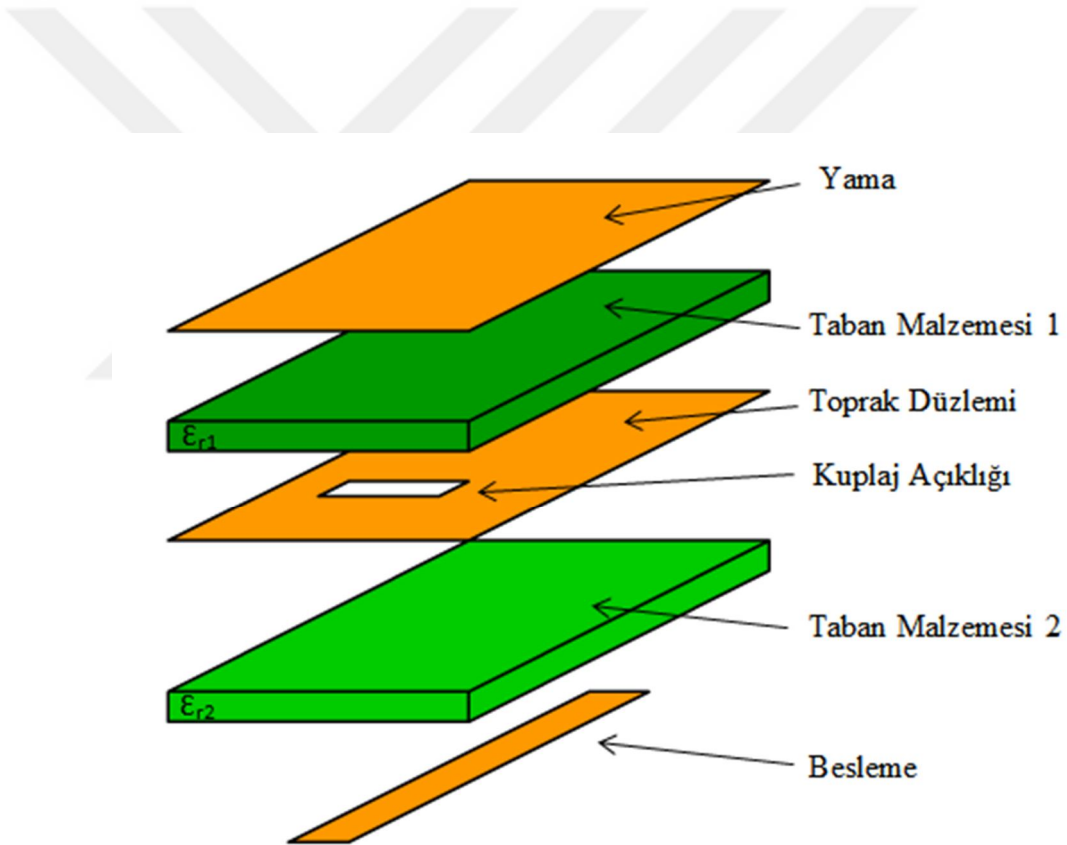


Şekil 1.11. Yakınlık kuplajlı mikroşerit anten katmanları

1.2.3.4. Açıklık kuplajlı besleme

Açıklık kuplajlı besleme, yakınlık kuplajlı besleme gibi beş katmandan oluşmaktadır. En önemli farkı Şekil 1.12’de gösterildiği gibi toprak düzlemi ile mikroşerit beslemenin yer değiştirmiş olması ve toprak düzleminde elektromanyetik kuplaj için bir boşluğun bulunmasıdır. Bu kuplaj boşluğu genellikle mikroşerit yamanın merkezine gelecek şekilde ayarlanarak simetri oluşturmak amaçlanmaktadır. Böylece çapraz polarizasyon

çok düşük seviyelere çekilebilmektedir. Ayrıca toprak düzleminde bulunan boşluğun geometrik şekli, boyutu gibi parametreleri değiştirilerek elektromanyetik kuplaj gücü, empedans uyumu ayarlanabilmekte ve bant genişliği artırılabilir. Toprak düzleminin ortada olmasının bir avantajı da besleme merkezli parazitik ışımları engellemesidir. Bu tip besleme yöntemlerinde; besleme hattının üzerindeki taban malzemesinin ince ve büyük değerli dielektrik sabitine sahip olması, yamanın altındaki taban malzemesinin ise kalın ve küçük değerli dielektrik sabitine sahip olması istenilmektedir. Boşluk kuplajlı beslemenin en önemli dezavantajı ise yine yakınlık kuplaj beslemede olduğu gibi çok katmanlı yapısından dolayı hizalanmasının zor olmasıdır.



Şekil 1.12. Açıklık kuplajlı mikroşerit anten katmanları

Tüm bu mikroşerit anten besleme yöntemleri tasarım özelliği, polarizasyon saflığı, üretim kolaylığı, dayanıklılık ve bant genişliği gibi çeşitli özelliklerine göre inceleme grafiği Tablo 1.1’de gösterilmiştir [41].

Tablo 1.1. Mikroşerit antenlerin farklı besleme şekillerinin karşılaştırması

Karakteristikler	Koaksiyel Prop Besleme	Yakınlık Kuplajlı Besleme	Açıklık Kuplajlı Besleme	Eşdüzlemsel Dalga Kılavuzu
Konfigürasyon	Eşdüzlemsel Olmayan	Düzlemsel	Düzlemsel	Düzlemsel
İstenmeyen besleme ışıması	Çok	Çok	Çok	Az
Polarizasyon saflığı	Zayıf	Zayıf	Mükemmel	İyi
Üretim kolaylığı	Delme ve lehimleme gerekli	Hizalama gerekli	Hizalama gerekli	Hizalama gerekli
Dayanıklılık	Lehimlemeden dolayı zayıf	İyi	İyi	İyi
Empedans uyumlandırma	Kolay	Kolay	Kolay	Kolay
Bant genişliği	≈%2-5	≈%13	≈%21	≈%3

1.2.4. Mikroşerit Antenlerin Önemli Parametreleri

1.2.4.1. Geri dönüş kaybı

Geri dönüş kaybı (Return Loss, S_{11} parametresi), kaynaktan antene gönderilen gücün ne kadarının geri döndüğünün bir ölçüsüdür. Antenin en önemli parametrelerinden biri olan bu parametre empedans uyumunu ve gücün maksimum transferini göstermektedir. Eğer empedans uyumu yok ise tüm güç yüke aktarılamayarak kayıp meydana gelecektir ve yansıma neden olacaktır. Logaritmik skalada gösterildiği için birimi dB cinsinden gösterilir. Bir antenin belirli bir frekans bölgesinde çalışıyor olabilmesi için o frekans aralığında geri dönüş kaybı -9.95dB'nin altında olmalıdır. Aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$RL = -20 \log_{10} |\Gamma| \quad (1.3)$$

$$RL = -20 \log_{10} \left| \frac{z_L - z_0}{z_L + z_0} \right| \quad (1.4)$$

Γ : Yansıma katsayısını, z_L : Yük empedansını, z_0 : İletim hattının karakteristik empedansını göstermektedir.

1.2.4.2. Voltaj duran dalga oranı

Bir antenin verimli çalışabilmesi için kaynaktan antene transfer edilen gücün maksimum olması gerekmektedir. Bu koşul kaynak ile anten arasındaki empedans uyumuna bağlıdır. Besleme kaynağı ile anten arasında empedans uyumu tam olarak sağlanamayan yapılarda geriye yansıyan dalgalar, ilerleyen dalgalar ile girişim oluşturur bu da hat üzerinde duran dalga oluşmasına neden olur. Voltaj duran dalga oranı (voltage standing wave ratio, VSWR) hat üzerindeki gerilim seviyesinin maksimum genliği ile minimum genliğinin oranıdır. Aşağıdaki formülle gösterilmektedir.

$$VSWR = \frac{V_{\text{maksimum}}}{V_{\text{minimum}}} = \frac{1+|\Gamma|}{1-|\Gamma|} \quad (1.5)$$

Yansıma katsayısı 0 ile 1 arasında değişmektedir. Buna göre VSWR değeri de 1 ile ∞ arasında bir değer alabilir. Pratik anten tasarımları için VSWR değerinin 2'den küçük olması yeterli kabul edilmiştir.

1.2.4.3. Yönlendiricilik ve Kazanç

Yönlendiricilik, antenin girişine gelen işareti ne kadar yönlendirebildiğinin göstergesidir. Bu ölçüt en genel hali ile bir $D(\theta, \phi)$ örüntüsü ile ifade edilen bir fonksiyondur. Fakat genellikle ifade kolaylığı açısından antenin ışıma yapması beklenen yöndeki değeri, yani ışıma örüntüsünün maksimum değeri şeklinde ifade edilir. Yönlü antenlerde bu değer yüksek olması, daha çok alanı kapsamaması istenen antenlerde ise düşük olması beklenir [42].

Bir antenin yönlendiriciliği, belirli bir yönde yaptığı ışıma yoğunluğunun tüm yönlerde yaptığı ortalama ışıma yoğunluğuna oranıdır. Bu nedenle yönlendiricilik, bir noktadaki ışıma gücünün aynı noktada izotropik bir antenin ışıma gücüne oranı olarak da tanımlanabilir [43].

Yönlendiricilik kazancı, antenin ışıma şiddeti yoğunluğunun, izotropik bir antenin ışıma şiddeti yoğunluğuna oranıdır. Antenin ışıma şiddeti yoğunluğu $U(\theta, \phi)$, yayınladığı toplam güç $P_{\text{ışıma}}$ olmak üzere aşağıdaki gibi tanımlanır ve özdeş birimlerde iki büyüklüğün bölümünden elde edildiği için birimsizdir.

$$D(\theta, \phi) = \frac{U}{U_{iso}} = \frac{U(\theta, \phi)}{P/4\pi} = 4\pi \frac{U(\theta, \phi)}{P_{ışma}} \quad (1.6)$$

1.2.4.4. Verimlilik

Anten verimini, antenin ışıma yaptığı gücün antene verilen güce oranı şeklinde tanımlayabiliriz.

$$e = \frac{P_{ışma}}{P_{giriş}} \quad (1.7)$$

Antenin verimliliği birden fazla verimlilik etkenin birleşiminden meydana gelmiştir. Besleme kaynağı ile anten arasındaki empedans uyumuna bağlı olarak gönderilen enerjinin hepsi antene aktarılamayacak bir kısmı geri yansıma yapacaktır. Yansıma kayıplarının neden olduğu bu durum, e_r yansıma verimliliği olarak tanımlanmaktadır. İletken verimliliğinden kaynaklı kayıplar için e_c ve son olarak dielektrik malzeme kaynaklı kayıplar için e_d olarak ifade edilmektedir. Toplam verimlilik aşağıdaki gibi gösterilmektedir [38].

$$e = e_r e_c e_d \quad (1.8)$$

Yansıma verimliliği de aşağıdaki gibi ifade edilmektedir.

$$e_r = 1 - |\Gamma|^2 \quad (1.9)$$

1.2.4.5. Bant genişliği

Bant genişliği, antenin elektromanyetik dalga yayımlayabildiği veya yakalayabildiği alt ve üst frekanslar arasındaki fark olarak tanımlanmaktadır. Antenin ışıma karakteristikleri, geri dönüş kaybı gibi birçok parametresi frekansa bağlı olarak değişmektedir bu yüzden önemli bir parametredir. Kablosuz haberleşme sistemlerinde genellikle alt ve üst frekanslar belirlenirken geri dönüş kaybı (return loss, S_{11}) grafiğinde -10 dB'nin altına indiği ve üstüne çıktığı frekanslar seçilir. Bununla birlikte voltaj duran dalga oranının (VSWR) 2.0'ın altında olması da sınır değer olarak belirtilmektedir [38].

Bant genişliği aşağıdaki gibi sırasıyla mutlak ve oransal olarak iki şekilde ifade edilmektedir.

$$BG = f_{üst} - f_{alt} \quad (1.10)$$

$$BG(\%) = \frac{f_{üst} - f_{alt}}{f_{merkez}} \times 100 \quad (1.11)$$



2. BÖLÜM

SAYISAL ANALİZ YÖNTEMİ

2.1. Giriş

Elektromanyetik problemlerin çözülmesinde analitik ve sayısal yöntemler kullanılmaktadır. Ancak analitik yöntemler basitleştirilmiş ve idealleştirilmiş yapılar için kullanıldığı için karmaşık elektromanyetik problemlerin çözümde yetersiz kalmaktadır. Günümüzde elektromanyetik problemleri zaman veya frekans ekseninde çözebilecek birçok sayısal yöntem bulunmaktadır. Bu sayısal yöntemlerin uygulanmasında; bellek kapasitesi, işlemci hızı, simülasyon süresi ve problemin optimize edilmesi gibi dikkat edilmesi gereken çeşitli noktalar vardır. Aksi takdirde seçilen yöntem doğru olsa bile kapasitenin yetersizliği ve verimsiz kullanılmasından dolayı çözüme ulaşmak zaman alabilmektedir.

Mikroşerit antenlerin analiz yöntemlerini iki gruba ayırabiliriz. İlk grup antenin kenarlarındaki eşdeğer manyetik akım dağılımı üzerinden analiz yapmaktadır. En sık kullanılan üç analiz tekniği; İletim Hattı Modeli, Oyuk Modeli ve Çoklu Network Modeli olarak belirtilebilir. Diğer grup ise, antenin yer düzlemi ve yamanın iletken düzlemi üzerindeki elektrik akım dağılımını temel almaktadır. En sık kullanılanları; moment metodu (Method of Moments - MoM), sınırlı farklı zaman alan metodu (Finite Difference Time Domain - FDTD), sonlu elemanlar metodu (Finite Element Method - FEM) ve sonlu entegrasyon tekniğidir (Finite Integration Technique - FIT) [44]. Tez çalışmasında, FIT yöntemini kullanan CST Microwave Studio simülasyon programı kullanılmıştır.

2.2. CST Microwave Studio Programının Özellikleri

Tasarımı yapılan antenlerin analizini teorik yöntemler ile yapmak oldukça zor ve çok vakit gerektiren bir iştir. Ayrıca teorik yöntemlerle elde edilen sonuçların doğruluğu bilgisayar programlarına göre düşüktür. Bu yüzden antenlerin tasarımlarının ve analizlerinin simülasyon programları ile yapılması hem zaman kaybını önleyecek hem de daha doğru sonuçlar elde etmemizi sağlayacaktır.

Anten tasarımlarında literatüre sunulan çalışmalarda en çok kullanılan simülasyon programlardan biri CST firması tarafından üretilen CST Microwave Studio'dur. CST MS programı anten, filtre, kuplör ve devre gibi cihazların yüksek frekanslarda elektromanyetik analizinin hızlı ve doğru yapılmasına olanak tanımaktadır. Ayrıca zaman domen çözücüsü ve frekansa domen çözücüsü gibi çeşitli çözücülerile analizler yapılabilir.

CST Microwave Studio, anten yapılarının üç boyutlu tasarımına ve analiz edilmesine imkân sağlamaktadır. Mikroşerit antenler genellikle elektromanyetik olarak simüle edilirler. Uygulama amacına göre herhangi bir geometrik şekil kullanılarak tasarlanan antenler sanal küçük parçalara bölünerek, hücreler topluluğu şeklinde analiz edilirler. Bu hücreler topluluğunun integral ve diferansiyel denklem çözümleri yapılarak tasarlanan geometriye bağlı olarak sonuçlar iki boyutlu ya da üç boyutlu grafikler şeklinde oluşturulabilir. Burada dikkat edilmesi gereken husus, yapı birim hücrelere ayrılırken anten boyutlarına göre birim hücre boyutlarının optimum değerde seçilmesidir aksi takdirde verimsiz sonuçlar elde edilebilir ya da simülasyon süresi çok uzayabilir [45].

CST MS programı üzerinden antenlerin performansını ölçmede etkili olan parametrelerden; geri dönüş kaybı, giriş empedansı, voltaj duran dalga oranı, elektromanyetik alan dağılımları, anten ışıma diyagramları ve akım dağılım grafikleri gibi bir çok simülasyon hızlı bir şekilde yapılabilir. Ayrıca parametrik geometri tasarımına olanak vermesi nedeniyle anten optimizasyon çalışmaları nispeten kolaylaşmaktadır.

2.3. Sonlu Entegrasyon Tekniği (FIT - Finite Integration Technique)

Sonlu entegrasyon tekniği, integral formda Maxwell denklemleri için tutarlı bir ayrıklaşma düzenidir. Ayrıklaştırılmış alanlardan elde edilen matris denklemleri etkin nümerik simülasyonu için kullanılabilir. Bu açıdan FIT, integral formda Maxwell denklemlerinin uyumlaştırılması için serbest cmler sunan nümerik simülasyon metodu olarak kullanılabilmektedir. Maxwell'in diferansiyel denklemlerini kullanan diğer yöntemlere göre (FEM, FDTD) en büyük avantajı hızlı ve doğru sonuçlar vermesidir.

Sonlu entegrasyon tekniği, uzay koordinatlarına bağlı ayrıık tabanlı bir metot olmakla birlikte elektromanyetik problemlerin zaman ve frekans domeninde cmnde kullanılır [46]. Bu metot elektromanyetik alan teorisinin temel özelliklerini sağlamının yanında sürekli denklemlerin, enerji ve yükün korunumu gibi temel topolojik karakteristiklerini de korur. FIT metodu, ilk olarak Thomas Weiland tarafından 1977 yılında önerilmiştir ve yıllar boyunca yapılan çalışmalar neticesinde sürekli geliştirilmiştir [47-51]. Maxwell denklemlerinin integral formda ayrıklaştırılmış formülasyonunu temel alan bu yöntem bilgisayarlı hesaplama yöntemleri için uygundur. Ayrıca karmaşık geometriye sahip gerçek dünya elektromanyetik alan problemlerinin benzetiminin yapılmasına olanak sağlamaktadır. Elektromanyetik hesaplamalarının tamamında (statikten yüksek frekansa kadar) ve optik uygulamalarda kullanılabilen bu yöntem, ticari simülasyon araçlarının temelini oluşturmaktadır.

Bu metot istenen frekans bölgesinde tam dalga elektromanyetik cm yapar. Metodun temel fikri, integral formda kademeli ızgaraları set ederek Maxwell denklemlerini uygulamaktır. FIT metodu, yüksek esnekliğe sahip sınır koşulları ve geometrik modellenebilmesinin yanı sıra malzeme çeşitliliği, eş yönsüzlük, doğrusal olmayan ve dağılım gibi malzeme özelliklerinin birleştirilerek kullanılabilmesinden dolayı yaygın olarak tercih edilmektedir [52-56]. Ayrıca kesin zaman entegrasyon düzeni ile bağlantılı olarak sürekli ikili dik ızgaralama kullanması özellikle radyo frekanslarının uyarlanmış geçici alan analizi için hesaplama süresini kısaltarak belleğin verimli kullanılmasını sağlamaktadır [57].

FIT metodunu oluşturan temel denklemler, ilişkili eşitlikler ve sınır koşulları baz alınarak elde edilmiştir. Kartezyen koordinatlarda pozisyon vektörü olarak $\underline{\mathbf{R}} = x_1 \underline{\mathbf{e}}_1 + x_2 \underline{\mathbf{e}}_2 + x_3 \underline{\mathbf{e}}_3 = x_1 \underline{\mathbf{e}}_{-i}$ olarak alınır. Burada $x_i; i = 1,2,3$ Kartezyen koordinatlarını, $\underline{\mathbf{e}}_i; i = 1,2,3$ üç ortonormal birim vektörlerini, $\mathbb{R}^3$ üç boyutlu öklit uzayını ve t zamanı ifade eder. Belirlenen sınır koşulları için [58-61].

$$\nabla_x \underline{\mathbf{E}}(\underline{\mathbf{R}}, t) = -\frac{\partial}{\partial t} \underline{\mathbf{B}}(\underline{\mathbf{R}}, t) - \underline{\mathbf{J}}_m(\underline{\mathbf{R}}, t) \quad (2.1)$$

$$\nabla_x \underline{\mathbf{H}}(\underline{\mathbf{R}}, t) = -\frac{\partial}{\partial t} \underline{\mathbf{D}}(\underline{\mathbf{R}}, t) - \underline{\mathbf{J}}_e(\underline{\mathbf{R}}, t) \quad (2.2)$$

olarak yazılır. Burada $\underline{\mathbf{E}}$, elektrik alan güç vektörünü, $\underline{\mathbf{B}}$, manyetik akı yoğunluk vektörünü, $\underline{\mathbf{J}}_m$, manyetik akım yoğunluk vektörünü, $\underline{\mathbf{H}}$, manyetik alan güç vektörünü, $\underline{\mathbf{D}}$, elektrik akı yoğunluk vektörünü, $\underline{\mathbf{J}}_e$, elektrik akım yoğunluk vektörünü tanımlar. ∇ gradient operatörü olarak adlandırılır. Malzemelerin özelliklerini karakterize eden temel denklemler çıkartılırsa;

$$\underline{\mathbf{D}}(\underline{\mathbf{R}}, t) = \underline{\underline{\boldsymbol{\varepsilon}}}(\underline{\mathbf{R}}) \cdot \underline{\mathbf{E}}(\underline{\mathbf{R}}, t) \quad (2.3)$$

$$\underline{\mathbf{H}}(\underline{\mathbf{R}}, t) = \underline{\underline{\boldsymbol{\mu}}}(\underline{\mathbf{R}}) \cdot \underline{\mathbf{B}}(\underline{\mathbf{R}}, t) \quad (2.4)$$

olarak yazılır. Burada $\underline{\underline{\boldsymbol{\varepsilon}}}$, ikinci rank tensör dielektrik permitiviteyi, $\underline{\underline{\boldsymbol{\mu}}}$, ikinci rank tensör manyetik geçirgenliği ifade eder. Bu çalışmadaki nümerik analizler ve simülasyonlar FIT metodunu temel alan CST Microwave Studio programı ile elde edilmiştir. Ulaşılan nümerik sonuçları doğrulamak için tasarlanan yapılar deneysel ortamda gerçekleştirilmiştir.

3. BÖLÜM

MİKROŞERİT YARIK ANTEN TASARIMLARI

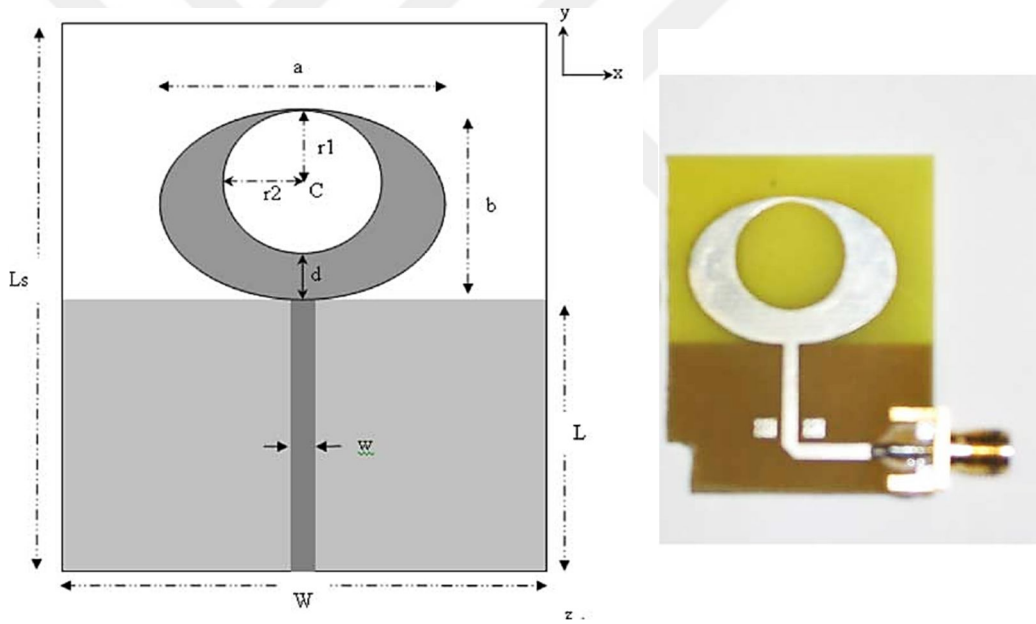
3.1. Giriş

Bu bölümde literatürde bulunan UGB haberleşme sistemlerinde kullanılan anten yapıları incelenerek, CST Microwave Studio simülasyon programında çizimi ve benzetimi yapılarak yayınlanan sonuçlar ile elde edilen sonuçların kıyaslanması yapılmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda, anten tasarımında ki önemli parametreler belirlenmiş geri dönüş kaybı karakteristiğini etkileyen faktörler tespit edilmiştir. Bunlar; empedans uyumu, yama şekli, açılan yarık etkisi ve yama kenarlarına yapılan modifikasyonlar olarak sıralanabilir. Bu kapsamda yirmiye yakın tasarım incelenerek anten yapılarında bu parametrelerin frekans cevabına olan etkileri anlaşılmaya çalışılmıştır. Ayrıca CST simülasyon programında bulunan bir çok benzetim parametresinin (mesh tanımları, sınır şartları, port tanımlamaları, transient solver ayarları vb.) işlevlerinin özellikleri tespit edilerek, özgün tasarımlar yapılırken bu unsurlar göz önünde bulundurulmuştur. Tez kapsamında önerilen anten yapılarının üç boyutlu tasarımları ve simülasyonları literatür çalışmalarında sıklıkla tercih edilen CST Microwave Studio paket programı kullanılmıştır. Simülasyon sonuçları, UGB sınır şartlarını sağlayan tasarımlar laboratuvarımızda bulunan Quick Circuit 7000 baskı devre kazıma cihazı kullanılarak üretilmiştir. Anten yapılarının ölçümleri ise TÜBİTAK UME merkezinde yansız odalarda network analizör kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

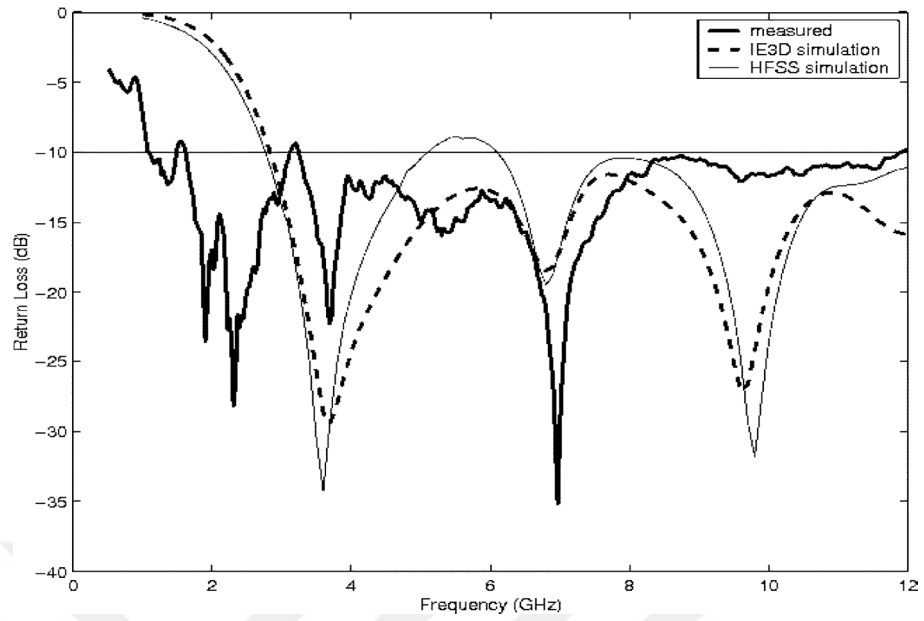
3.2. Literatürde Yapılmış Çalışmalar

3.2.1. Literatür 1. Anten

İlk olarak Yang ve ark. tarafından 2007 yılında ultra geniş bantlarda çalışacak şekilde tasarlanan mikroşerit hat beslemeli, yama anten incelenecektir. Şekil 3.1’de gösterilen bu çalışmada dielektrik katsayısı 4.2, kayıp tanjantı 0.01 ve yüksekliği 0.762 mm olan FR4 taban malzemesi kullanılmıştır. Tasarımın boyutları 45x50 mm² olup simülasyonları IE3D ve HFSS programları yapılmıştır. Şekil 3.2’de literatür çalışmasında paylaşılan ölçüm sonuçları ile simülasyon sonuçlarının geri dönüş kaybı karakteristikleri gösterilmiştir [19].

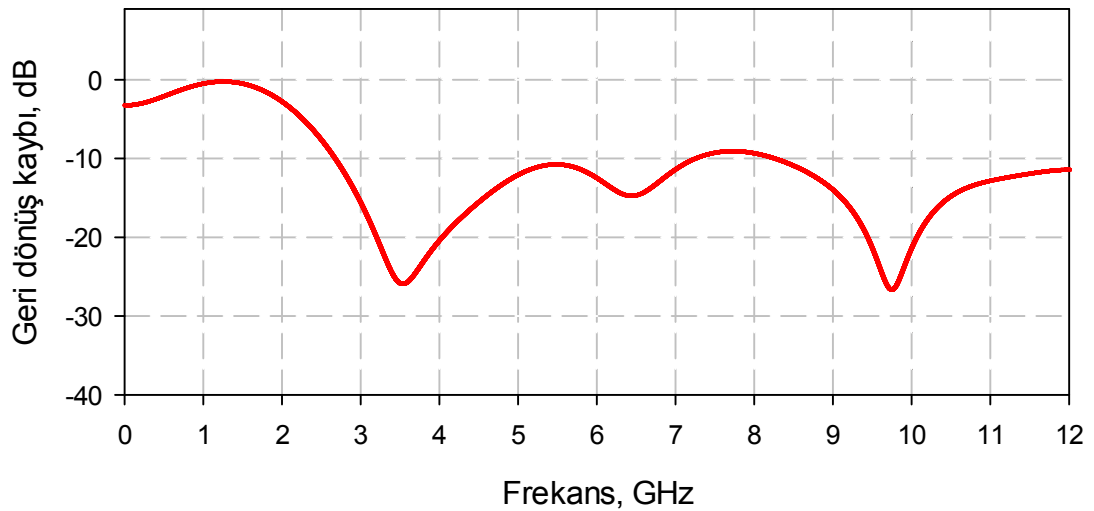


Şekil 3.1. Yang ve ark. tarafından tasarlanan yapı



Şekil 3.2. Yang ve ark. tarafından tasarlanan yapının geri dönüş kaybı grafiği
simülasyon ve ölçüm sonuçları

Bu tasarımda elips şeklindeki ana yama üzerine açılan daire biçimindeki yarığın antenin geri dönüş kaybı karakteristiğine etkisi irdelenmiştir. Oluşturulan daire şeklindeki yarığın elips şekline dönüştürülmesi ile değişen bant genişliği grafikleri incelenerek optimizasyon çalışmaları yapılmıştır.

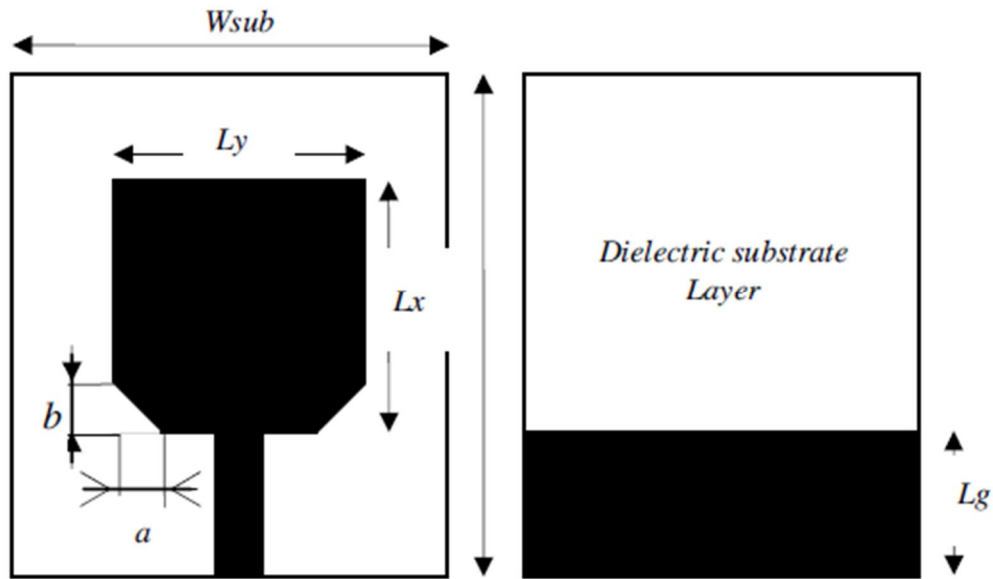


Şekil 3.3. Yang ve ark. tarafından tasarlanan yapının CST programında elde edilen geri
dönüş kaybı simülasyon sonuçları

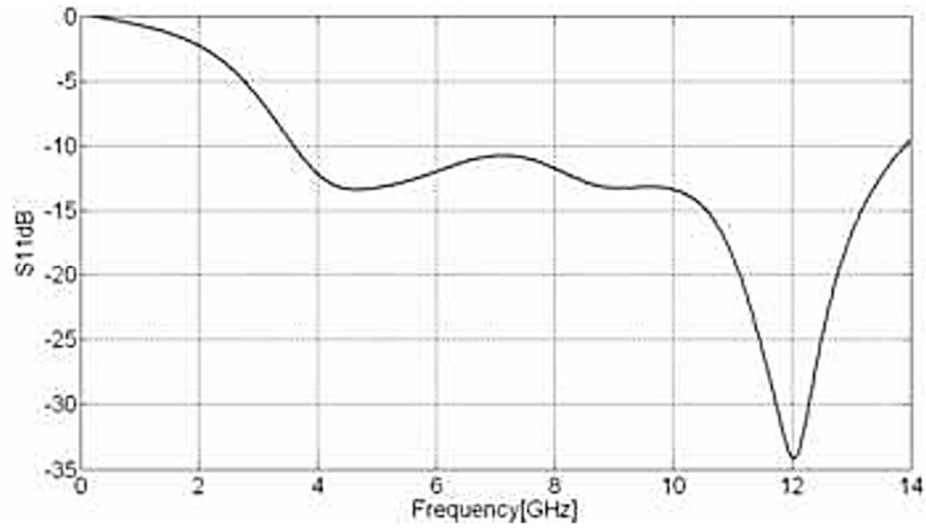
Bahsedilen anten yapısı makalede verilen ölçülere göre CST programında tekrar tasarlanarak simülasyonu yapılmıştır. Şekil 3.3'te elde edilen grafikte de görüleceği üzere makale sonuçları ile uyumlu olduğu gözlemlenmiştir.

3.2.2. Literatür 2. Anten

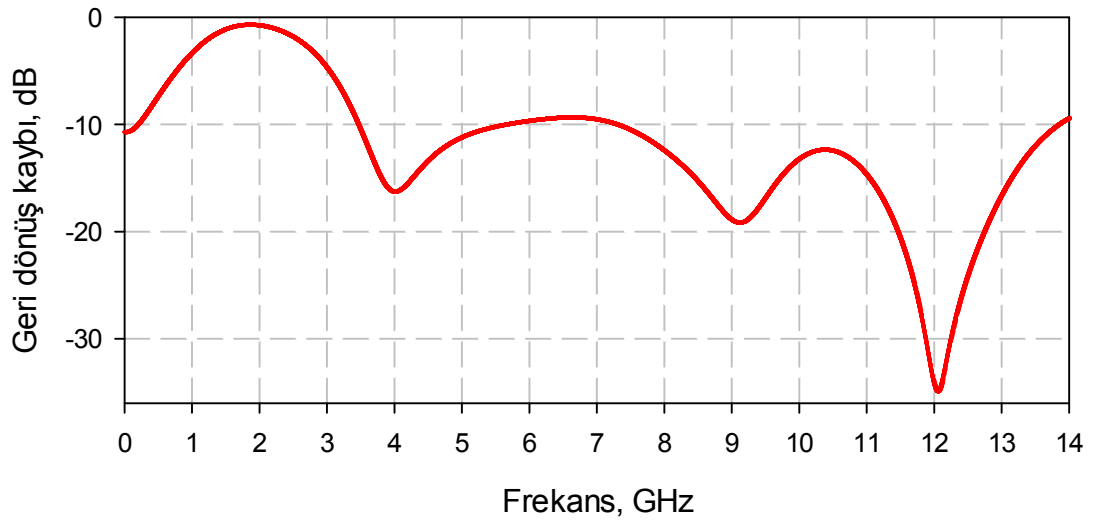
İkinci olarak Hayouni ve ark. tarafından 2011 yılında literatüre sunulan dikdörtgen şekilli kompakt anten tasarımı incelenmiştir. Bu çalışmada yapılan tasarımlarda ultra geniş bantlarda çalışması amaçlanan dikdörtgen şekilli mikroşerit anten yapıları önerilmiştir. Dikdörtgen mikroşerit yama antenin alt köşeleri üzerinde çeşitli modifikasyonlar denenerek geri dönüş kaybı karakteristiği üzerine etkileri incelenmiştir. Sunulan çalışmada dielektrik katsayısı 4.4, kayıp tanjantı 0.018 ve yüksekliği 1.6 mm olan FR4 taban malzemesi kullanılmıştır. Boyutları 30x35 mm² olan tasarımın simülasyonu için HFSS programı kullanılmıştır. Şekil 3.4 ve Şekil 3.7'de önerilen yapılar, Şekil 3.5 ve Şekil 3.8'de önerilen yapılara ait geri dönüş kaybı sonuçları gösterilmektedir [20]. Önerilen bu yapı verilen bilgilere göre CST programında tekrar tasarımı yapılarak dikdörtgen yamanın alt kenar köşelerine yapılan modifikasyonlar analiz edilmiştir.



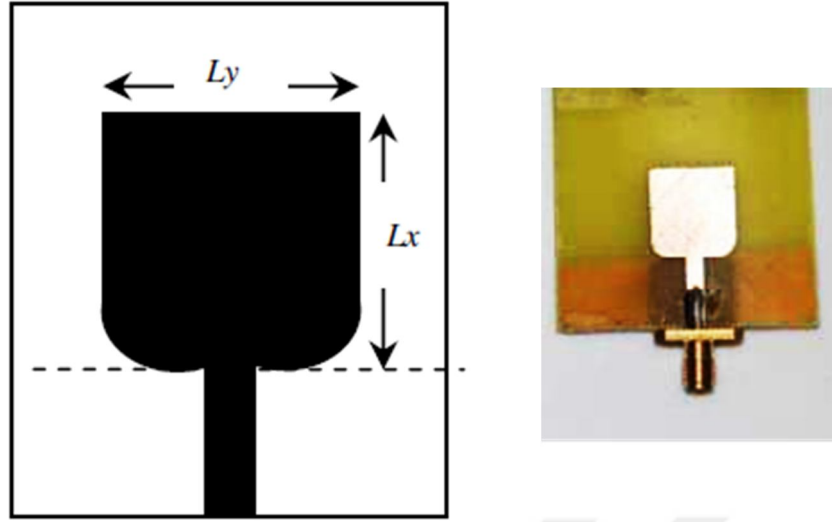
Şekil 3.4. Hayouni ve ark. tarafından tasarlanan yapı



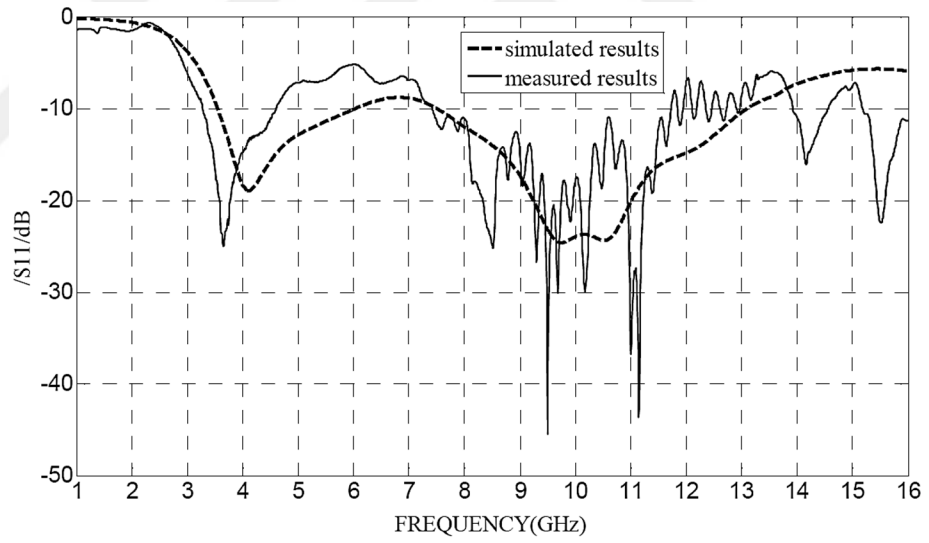
Şekil 3.5. Hayouni ve ark. tarafından tasarlanan yapının geri dönüş kaybı grafiği
simülasyon sonucu



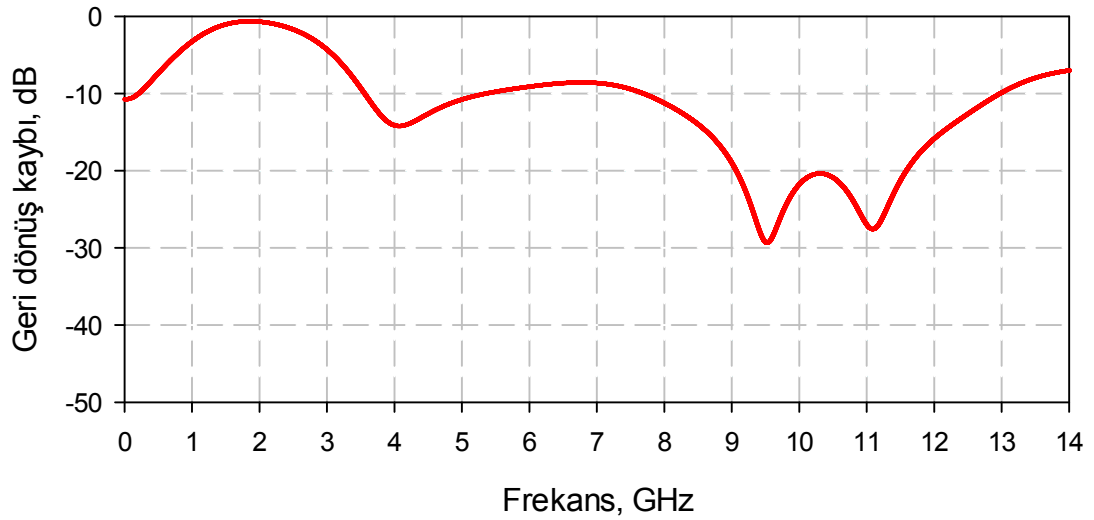
Şekil 3.6. Yang ve ark. tarafından tasarlanan yapının CST programında elde edilen geri
dönüş kaybı simülasyon sonuçları



Şekil 3.7. Hayouni ve ark. tarafından kenarları değiştirilerek tasarlanan yapı



Şekil 3.8. Hayouni ve ark. tarafından kenarları değiştirilerek tasarlanan yapının geri dönüş kaybı grafiği simülasyon ve ölçüm sonuçları

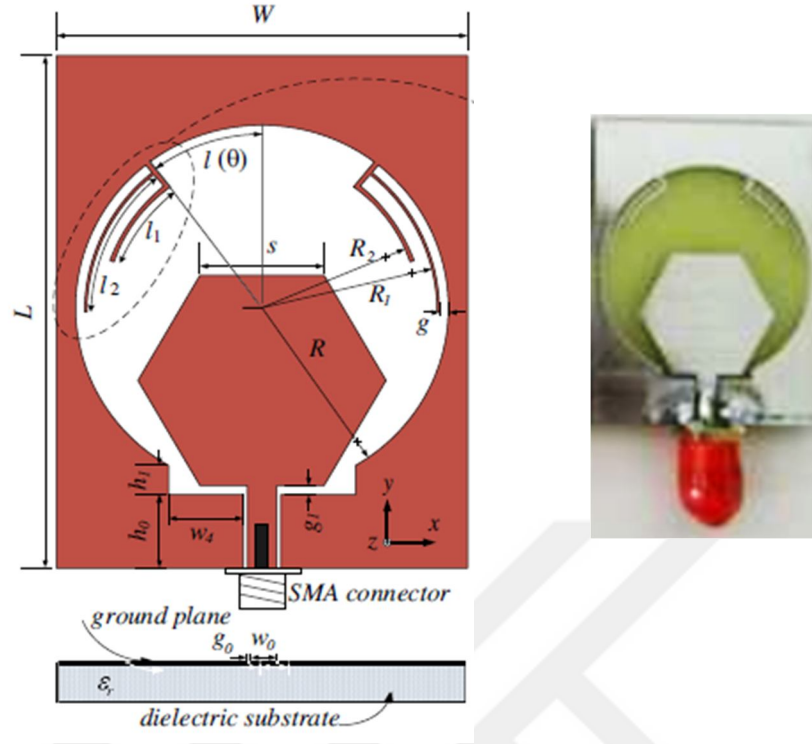


Şekil 3.9. Yang ve ark. tarafından kenarları değiştirilerek tasarlanan yapının CST programında elde edilen geri dönüş kaybı simülasyon sonuçları

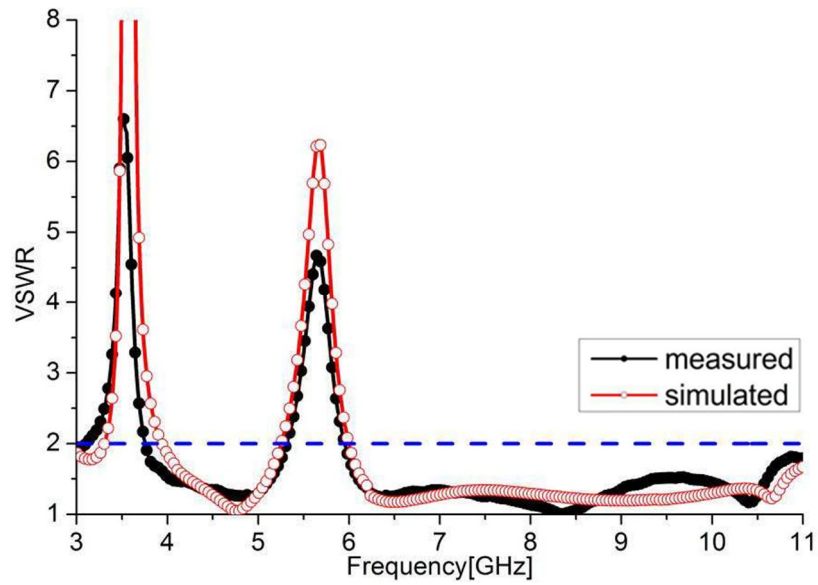
Bahsedilen iki anten tasarımı da CST programında tekrar çizilerek benzetim çalışmaları yapılmıştır. Şekil 3.10 ve Şekil 3.14’te de görüleceği üzere ölçüm sonuçları makalede ki ölçüm sonuçları ile örtüşmektedir.

3.2.3. Literatür 3. Anten

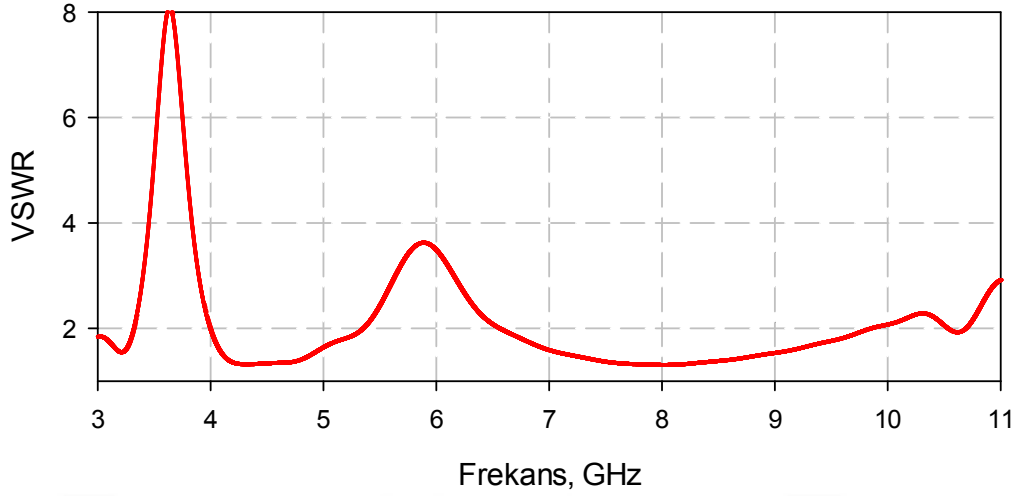
Üçüncü olarak Liu ve ark. tarafından 2013 yılında yayımlanan CPW beslemeli çift bant geçiren UGB yama anten tasarımı incelenmiştir. Önerilen antende altıgen yama ve geri dönüş kaybı karakteristiğini istenilen frekanslarda bant geçiren özelliği kazandırmak için iki adet simetrik parazitik yama kullanılmıştır. Şekil 3.10’da gösterilen bu tasarım dielektrik katsayısı 4.4, kayıp tanjantı 0.02, yüksekliği 1.2 mm olan FR4 taban malzemesi ile gerçekleştirilmiştir. Tasarımın boyutları 30x40 mm² olup simülasyon çalışmaları HFSS programında yapılmıştır. Bu çalışmada geri dönüş kaybı (return loss) grafiği yerine VSWR grafiği Şekil 3.11’de gösterildiği gibi paylaşılmıştır [21]. Bu yapı verilen boyutlara göre CST programı ile tasarlanarak Şekil 3.12’deki gibi VSWR grafiği sonuçları elde edilmiştir.



Şekil 3.10. Liu ve ark. tarafından tasarlanan yapı



Şekil 3.11. Liu ve ark. tarafından tasarlanan yapının voltaj duran dalga oranı (VSWR) ölçüm ve simülasyon sonuçları

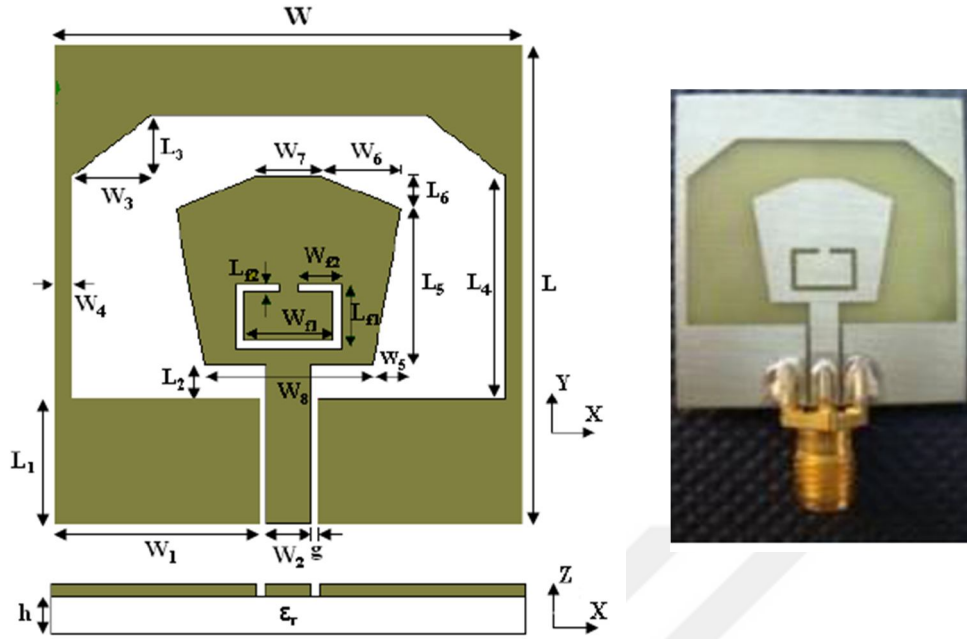


Şekil 3.12. Liu ve ark. tarafından tasarlanan yapının CST programında elde edilen voltaj duran dalga oranı (VSWR) simülasyon sonuçları

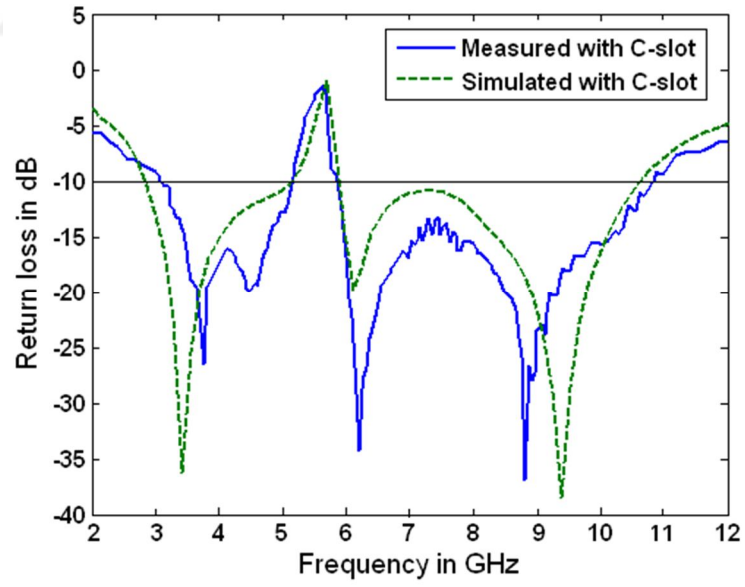
Sonuç olarak Şekil 3.12’ de verilen voltaj duran dalga oranı grafiği incelendiğinde CST simülasyon sonuçları ile makalede verilen sonuçların uyumlu olduğu gözlemlenmektedir.

3.2.4. Literatür 4. Anten

Son olarak Subbarao ve ark. tarafından tasarlanan WLAN bant geçiren UGB mikroşerit anten yapısı incelenerek CST programı ile çizim ve simülasyon çalışmaları gerçekleştirilecektir. Tasarlanan anten CPW beslemeli olup konik altıgen şeklinde yama kullanılmıştır. Antene istenilen frekanslarında bant geçiren özelliği kazandırmak için ters C şeklinde yarık açılarak optimizasyonu yapılmıştır. Şekil 3.13’de gösterilen bu tasarımda dielektrik katsayısı 4, kayıp tanjantı 0.02, yüksekliği 0.8 mm olan FR4 taban malzemesi kullanılmıştır. Şekil 3.13’te gösterilen tasarımın boyutları 29x31 mm² olup simülasyon çalışmaları IE3D programı ile yapılmıştır [22].

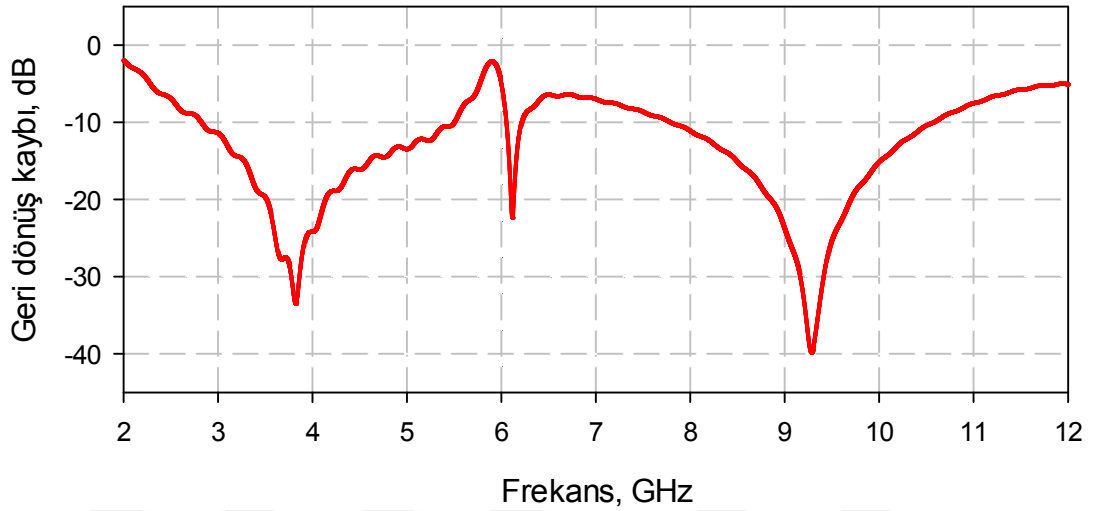


Şekil 3.13. Subbarao ve ark. tarafından tasarlanan yapı



Şekil 3.14. Subbarao ve ark. tarafından tasarlanan yapının geri dönüş kaybı simülasyon ve ölçüm sonuçları

Şekil 3.14'te geri dönüş kaybı ölçüm ve simülasyon sonuçları gösterilen bu yapı CST programında verilen bilgiler doğrultusunda tasarlanarak Şekil 3.15'de gösterilen sonuçlar elde edilmiştir. Sunulan çalışmada anten üzerindeki çeşitli parametrelerin optimizasyonu yapılarak bunların geri dönüş kaybı karakteristiğine olan etkileri incelenmiştir.



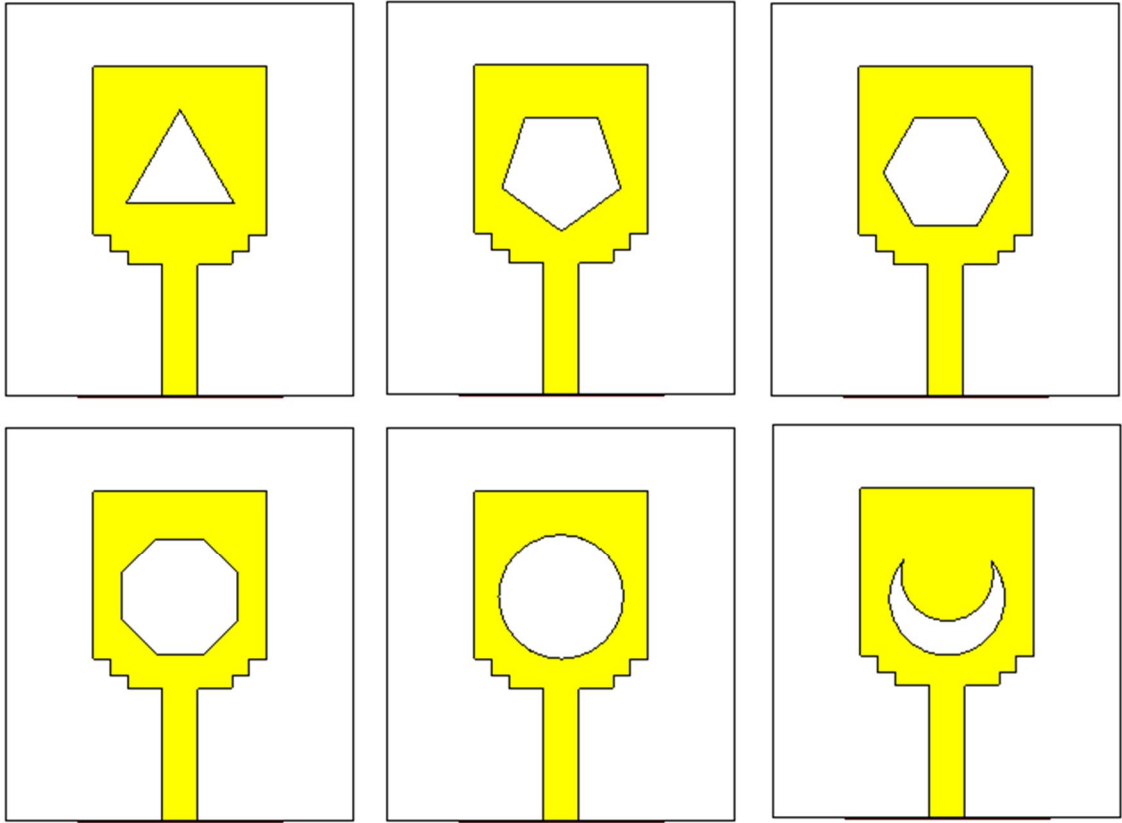
Şekil 3.15. Subbarao ve ark. tarafından tasarlanan yapının CST programında elde edilen geri dönüş kaybı simülasyon sonuçları

Literatürde paylaşılan sonuçlar ile Şekil 3.15'de gösterilen CST programında tekrar tasarlanarak elde edilen sonuçlar incelendiğinde uyumlu oldukları görülmektedir.

Yapılan tüm bu literatür çalışmaları sonucunda anten tasarımında önemli rol oynayan parametreler belirlenmiş ve geri dönüş kaybı karakteristiğini etkileyen faktörler anlaşılmaya çalışılmıştır. Ayrıca CST simülasyon programında bulunan benzetim parametrelerinin işlevleri ve özellikleri tespit edilerek, özgün tasarımlar yapılırken elde edilen bilgiler kullanılmıştır.

3.3. Teze özgü olarak tasarlanan anten yapıları

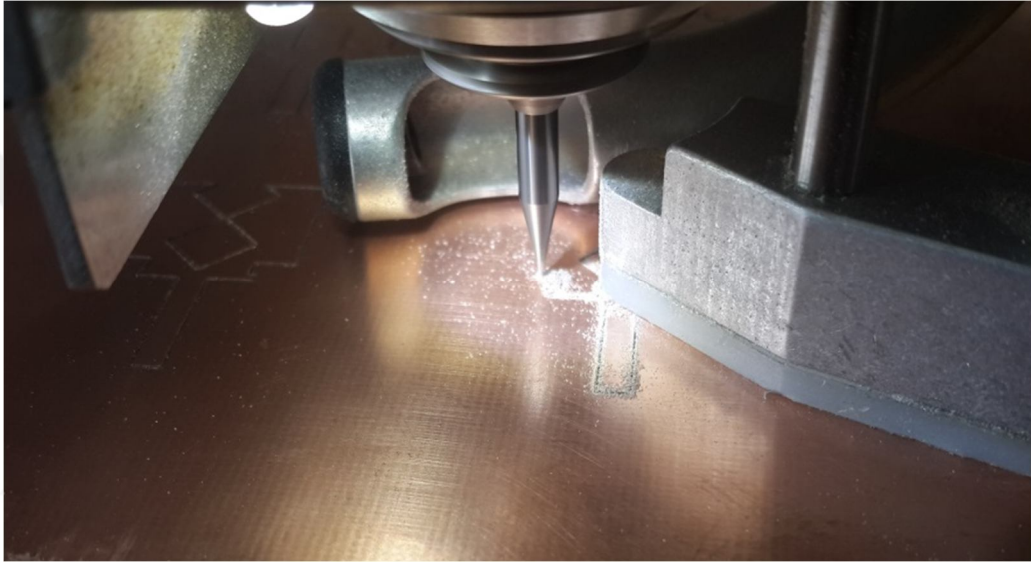
Bu tez çalışmasında UGB haberleşme sistemlerinde kullanılmak üzere dört adet farklı geometrilere sahip mikroşerit beslemeli kompakt yama antenlerin tasarımları, simülasyon çalışmaları ve prototiplerinin gerçekleştirilmesi amaçlanmıştır. Önerilen antenlerin tasarım ve simülasyonları; üç boyutlu çizime olanak sağlayan, geri dönüş kaybı (return loss), voltaj duran dalga oranı (VSWR), akım dağılım yoğunlukları ve ışıma paterni gibi birçok benzetim sonuçlarına ulaşmayı sağlayan CST programı ile yapılarak incelenmiştir. Bu bağlamda ilk olarak literatürde yer alan UGB mikroşerit antenler verilen bilgiler doğrultusunda CST programında tekrar tasarlanarak empedans uyumu, yama, yarık etkisi ve optimum simülasyon parametreleri belirlenmiştir. Bu bilgiler ışığında Şekil 3.16'da bazılarının gösterildiği gibi çok çeşitli geometrilere sahip mikroşerit anten tasarımları gerçekleştirilip simülasyon sonuçları incelenmiştir.



Şekil 3.16. Tasarlanan bazı mikroşerit anten geometrileri

Elde edilen simülasyon sonuçları neticesinde fabrikasyon kolaylığı da göz önünde bulundurularak çalışmalar sekiz adet anten üzerine yoğunlaşmıştır. Belirlenen sekiz

mikroşerit antenin detaylı optimizasyon çalışmaları sonucunda istenilen UGB sınır şartları elde edilerek laboratuvar ortamında gerçekleştirilmesine karar verilmiştir. Simülasyon çalışmaları bitirilen mikroşerit antenlerin üretimleri, laboratuvarımızda hali hazırda bulunan Quick Circuit 7000 baskı devre kazıma cihazı ile yapılmıştır. CST programında tasarlanan antenler uygun bir formata dönüştürülerek baskı devre kazıma cihazı ile birlikte çalışan ISOPRO isimli paket yazılımına aktarılarak Şekil 3.17’de gösterildiği gibi kazıma işlemleri tamamlanmıştır.

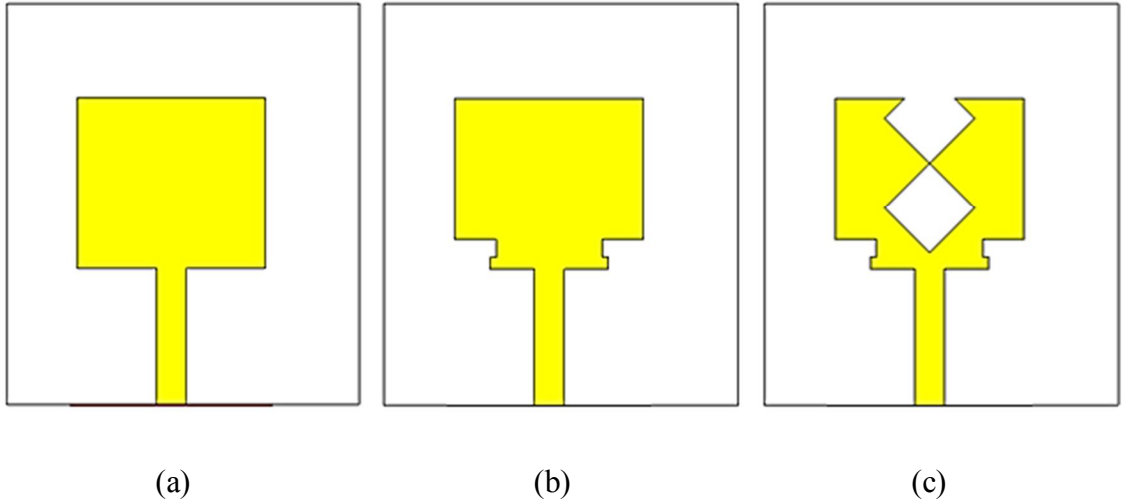


Şekil 3.17. Baskı devre kazıma cihazı ile önerilen antenlerin üretimi

Prototip üretimleri yapılan mikroşerit antenlerin ölçümleri TUBİTAK UME merkezine gönderilerek yansız odalarda network analizör yardımıyla yapılmıştır. Elde edilen ölçüm sonuçları, simülasyon sonuçları ile kıyaslanarak literatüre sunulmuştur. Bu çalışmalarda kullanılan CST programının lisansı ve kullanılan FR4 taban malzemesi Erciyes Üniversitesi BAP projesi kapsamında verilen destek ile karşılanmıştır.

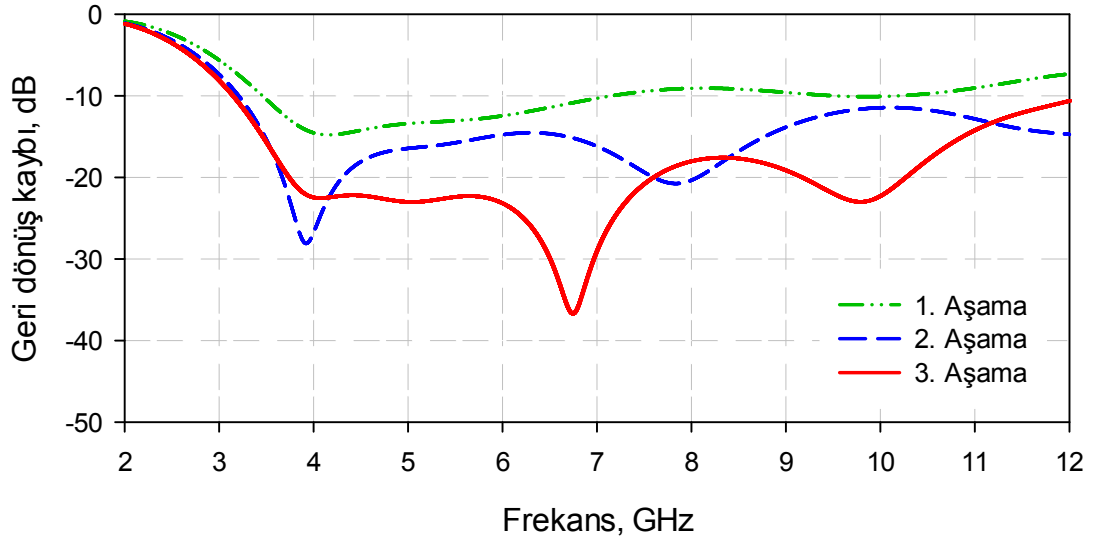
3.3.1 Tasarım 1

Bu bölümde; UGB haberleşme sistemlerinde kullanılması için önerilen birinci antenin geometrik şekli, tasarım aşamaları, parametre optimizasyonu, geri dönüş kaybı, voltaj duran dalga oranı, akım dağılım grafikleri ve ışıma paternleri değerlendirilerek prototip üretimi ölçüm sonuçları paylaşılmıştır. Şekil 3.18’de parametre optimizasyonu çalışmaları sonucunda tasarlanan antenin geometrisi ve antene ait parametrelerin



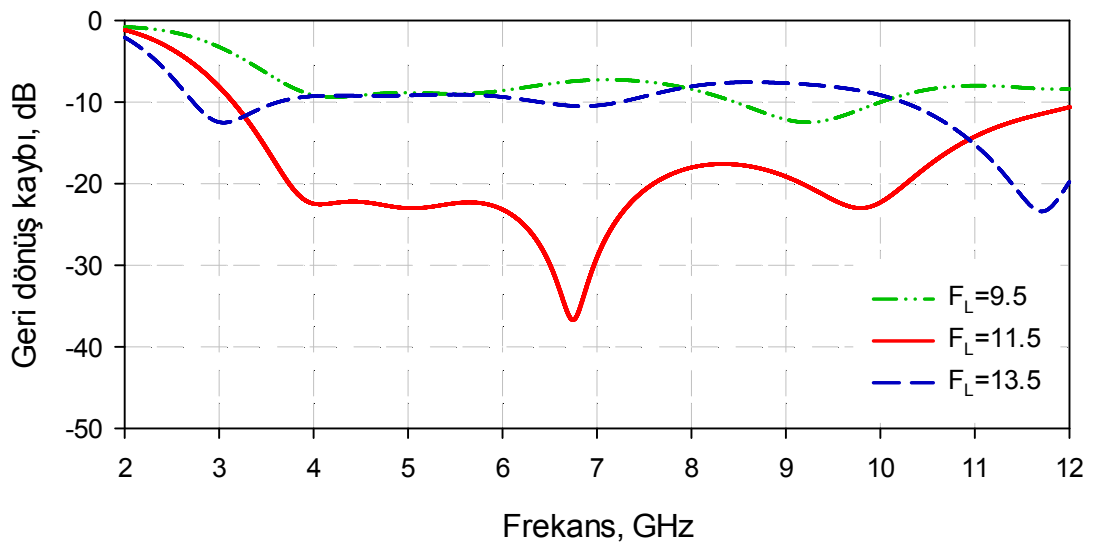
Şekil 3.19. Tasarım 1’de önerilen antenin tasarım aşamaları: (a) 1. Aşama (Dikdörtgen yama anten) (b) 2. Aşama (Elmas şeklinde yarıkları bulunmayan anten) (c) 3. Aşama (Önerilen anten)

Birinci aşamada Şekil 3.19. (a)’da gösterildiği gibi simetrik bir şekilde yamanın ortasında yer alan elmas şeklindeki yarıklar ve yamanın alt tarafındaki köşelerinde yer alan yarıkların olmadığı dikdörtgen bir anten tasarlanmıştır. Bu tasarıma ait geri dönüş kaybı karakteristiği grafikte yeşil renkli noktalı çizgi olarak gösterilmiştir. İkinci aşamada Şekil 3.19 (b)’de gösterildiği gibi yamanın alt taraf köşelerinde yer alan yarıklar açılmış fakat ortasında yer alan elmas şeklindeki yarıklar açılmamıştır. İkinci aşamaya ait geri dönüş kaybı karakteristiği grafikte mavi renkli kesikli çizgi ile gösterilmiştir. Grafikteki iki değişim incelendiğinde açılan yarıkların 4 GHz ve 8 GHz frekanslarında belirgin bir şekilde antenin performansına olumlu katkı sağladığı, tüm frekans bandı değerlendirildiğinde ise 3 GHz’den başlamak üzere 13 dB’ye kadar kazanç sağlandığı anlaşılmaktadır. Şekil 3.19 (c)’de gösterilen üçüncü aşamada ise yamanın ortasına simetrik olarak açılan elmas şeklindeki yarıklar ile birlikte önerilen antenin geometrisi sonuçlandırılmıştır. Bu tasarıma ait geri dönüş kaybı karakteristiği Şekil 3.20’de kırmızı renkli düz çizgi ile gösterilmiştir. Önerilen antenin frekans cevabı incelendiğinde, bir önceki tasarıma göre parametrelerin etkileşimlerinden dolayı 4 GHz ve 8 GHz bantlarında düşüşler gözlenmiş fakat frekans cevabının tamamı incelendiğinde 4.1-7.5 GHz arasında ve 8.4 GHz’den 11.1 GHz’e kadar kazanç sağlandığı grafikte açıkça görülmektedir.



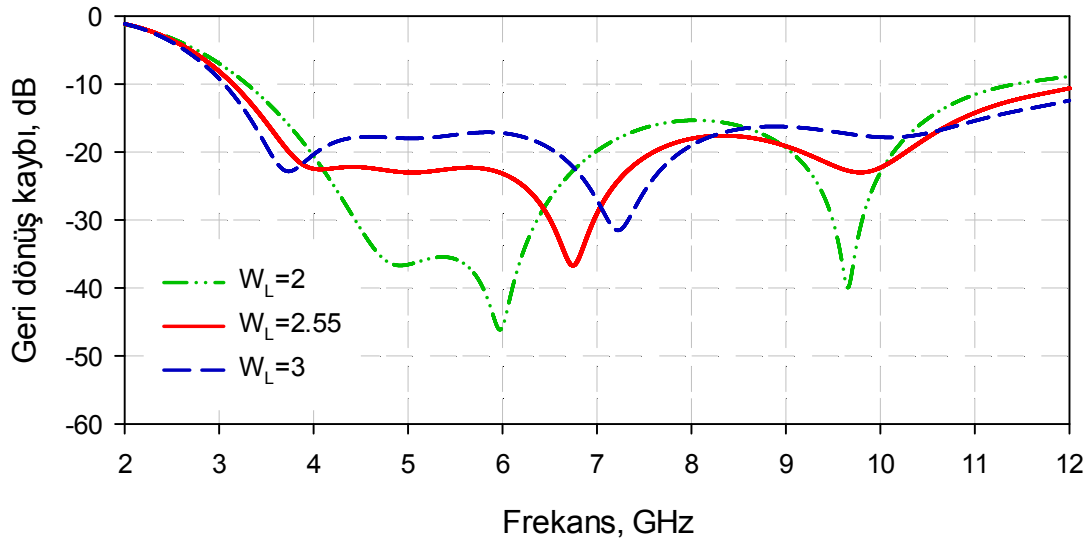
Şekil 3.20. Tasarım aşamasında ele alınan üç farklı yama antenin geri dönüş kaybı karakteristikleri

Antenlerin performansını etkileyen en önemli parametrelerden birisi empedans uyumsuzluğudur. Bu uyumsuzluğu ortadan kaldırmak amacı ile besleme hattının uzunluğunu ve genişliğini ayarlayarak antenin besleme empedansını, bağlanan konnektörle eşitleme çalışmaları yapılmıştır. Şekil 3.21'te besleme hattının uzunluğunun (F_L) değişiminin antenin geri dönüş kaybı üzerindeki etkisi incelenmiştir. Buna göre optimum frekans cevabının $F_L = 11.5$ mm'de iken sağlandığı grafikten açık bir şekilde anlaşılmaktadır.



Şekil 3.21. F_L uzunluğu değişimine göre geri dönüş kaybı karakteristikleri

Şekil 3.22’de besleme hattının genişliğinin (W_L) değişiminin antenin geri dönüş kaybı üzerindeki etkisi gösterilmiştir. Şekil 3.21 ve Şekil 3.22’de ki grafiklerinden görüleceği üzere besleme hattının uzunluğunun antenin geri dönüş kaybı karakteristiğini doğrudan etkilediği ve genişliğinin de anten rezonans frekansı üzerinde etkili olduğu görülmüştür.

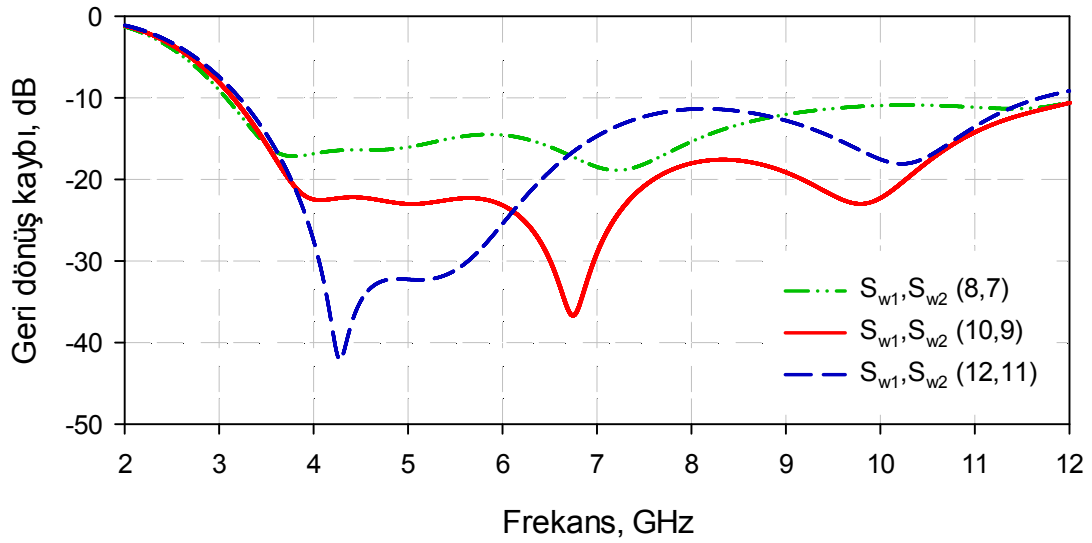


Şekil 3.22. W_L uzunluğu değişimine göre geri dönüş kaybı karakteristikleri

CST programın avantajlarından biri de otomatik parametre adımlama özelliğinin bulunmasıdır. Her bir parametre değişiminin tüm frekansları etkileyebileceği düşünüldüğünde parametre adımlama sayesinde optimum parametre uzunluğunun belirlenmesi nispeten kolaylıkla yapılabilmektedir. Tasarlanan antenin alt köşelerindeki yarıkların genişlikleri belirlenirken: S_{w1} parametresinin 8 mm’den 12 mm’ye kadar 2 mm aralıklarla; S_{w2} parametresinin ise 7 mm’den 11 mm’ye kadar 2 mm aralıklarla iterasyonları oluşturulmuştur. Tablo 3.2’de gösterilen 9 adet iterasyondan oluşan bu dizi simülasyonların frekans cevaplarından bazıları Şekil 3.23’te ortak grafikte gösterilmiştir. Yapılan tüm simülasyon çalışmaları sonucunda elde edilen geri dönüş kaybı karakteristikleri incelenerek $S_{w1} = 10$ mm ve $S_{w2} = 9$ mm’de optimum sonuçları verdiği gözlemlenmiştir ve tasarımda bu ölçüler kullanılmıştır.

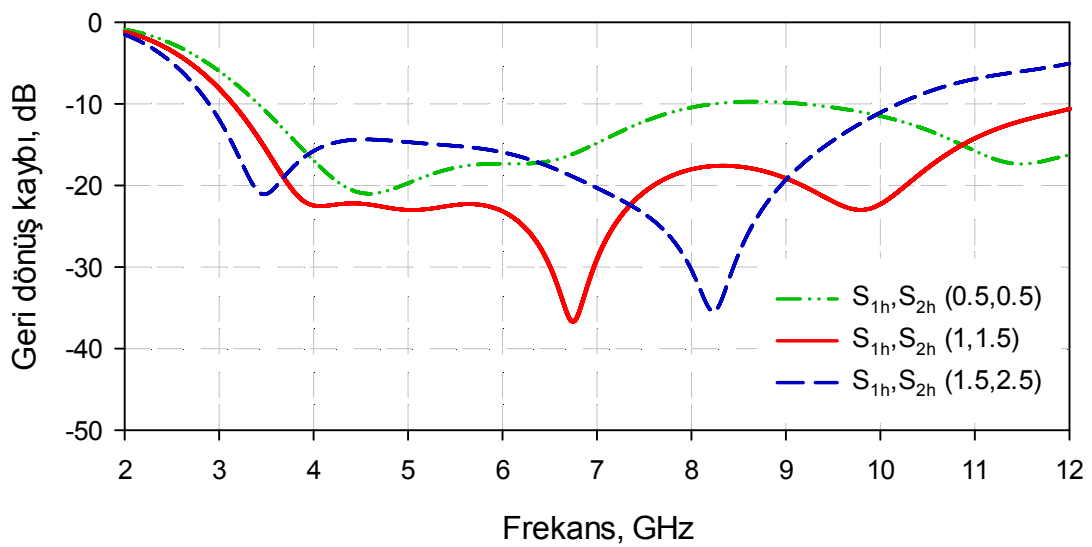
Tablo 3.2. $S_{w1} - S_{w2}$ parametrelerine ait iterasyonlar (mm)

Simülasyon No	1	2	3	4	5	6	7	8	9
S_{w1}	8	8	8	10	10	10	12	12	12
S_{w2}	7	9	11	7	9	11	7	9	11



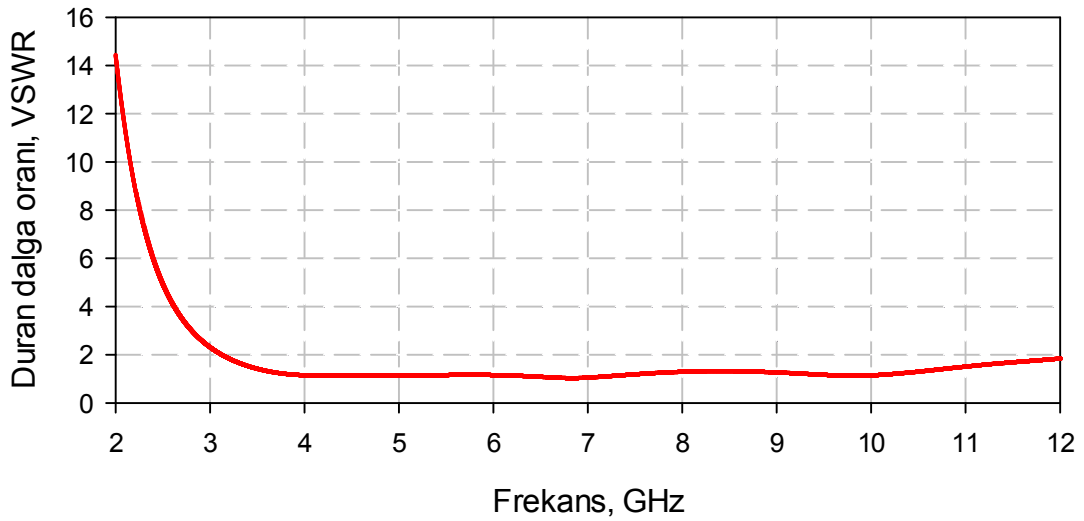
Şekil 3.23. $S_{w1} - S_{w2}$ uzunluğu değişimi geri dönüş kaybı karakteristiği

Benzer şekilde önerilen antenin alt köşelerine ait yarıkların uzunlukları belirlenirken: S_{1h} parametresi 0.5 mm'den 1.5 mm'ye kadar 0.5 mm aralıklarla; S_{2h} parametresi ise 0.5 mm'den 2.5 mm'ye kadar 1 mm aralıklarla 3'er adet iterasyon oluşturulmuştur. Bu değerlere göre koşturulan dizi simülasyonlardan bazılarının sonuçları Şekil 3.24'te gösterilmiştir. Simülasyonların sonuçları incelendiğinde optimum uzunluk değerleri $S_{1h}=1$ mm, $S_{2h}=1.5$ mm olarak elde edilmiştir.



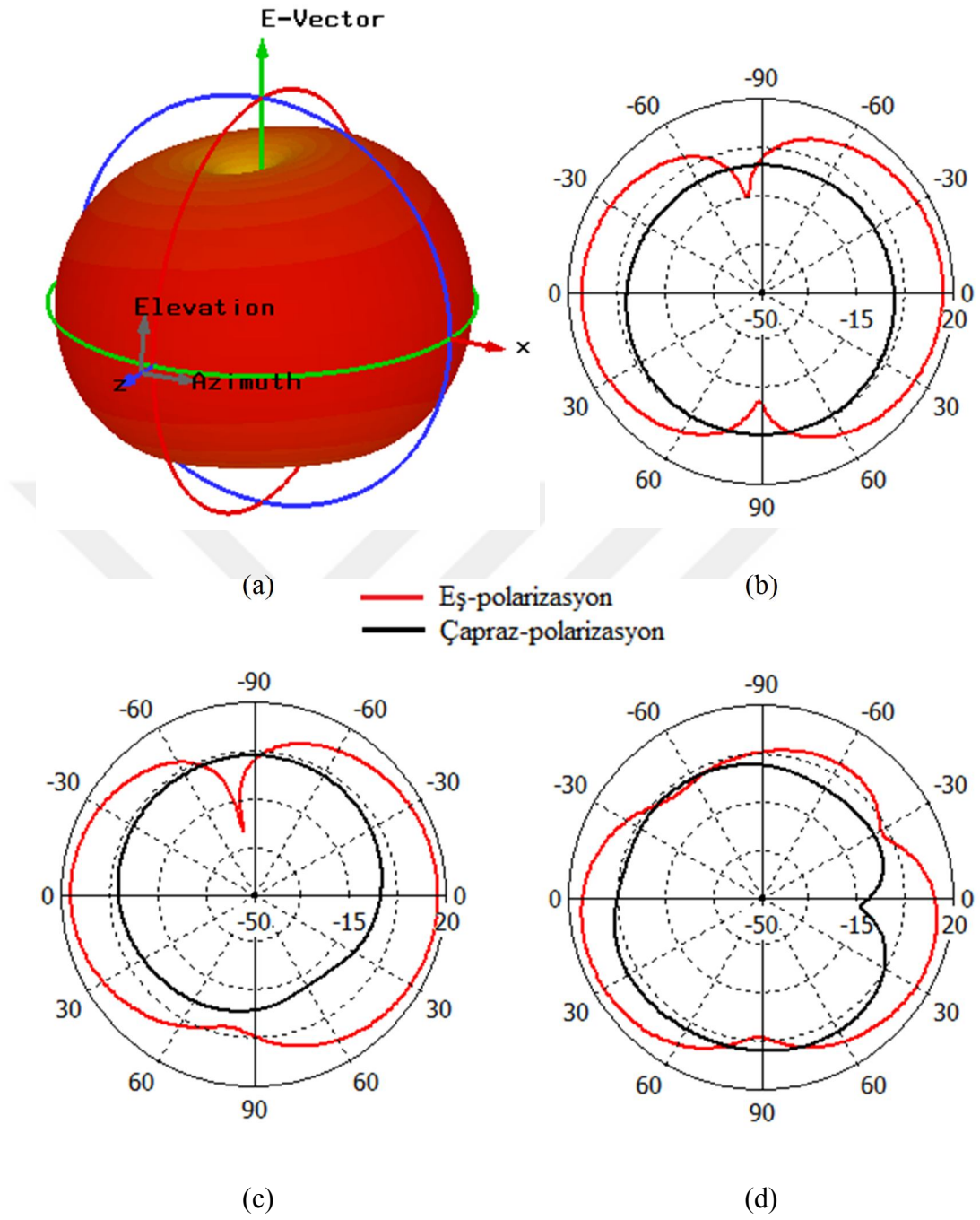
Şekil 3.24. $S_{1h} - S_{2h}$ uzunluğu değişimi geri dönüş kaybı karakteristiği

Önerilen antene ait voltaj duran dalga oranı grafiği Şekil 3.25'te gösterilmektedir. Antenin verimli çalışıp çalışmadığının bir ölçütü olan bu parametreye göre antenlerin çalışma frekanslarında VSWR değerinin 2'den küçük olması beklenmektedir. Şekil 6'da görüleceği üzere UGB frekans aralığı boyunca (3.1 GHz-10.6 GHz) bu değer 2'nin altında olduğu görülmektedir.

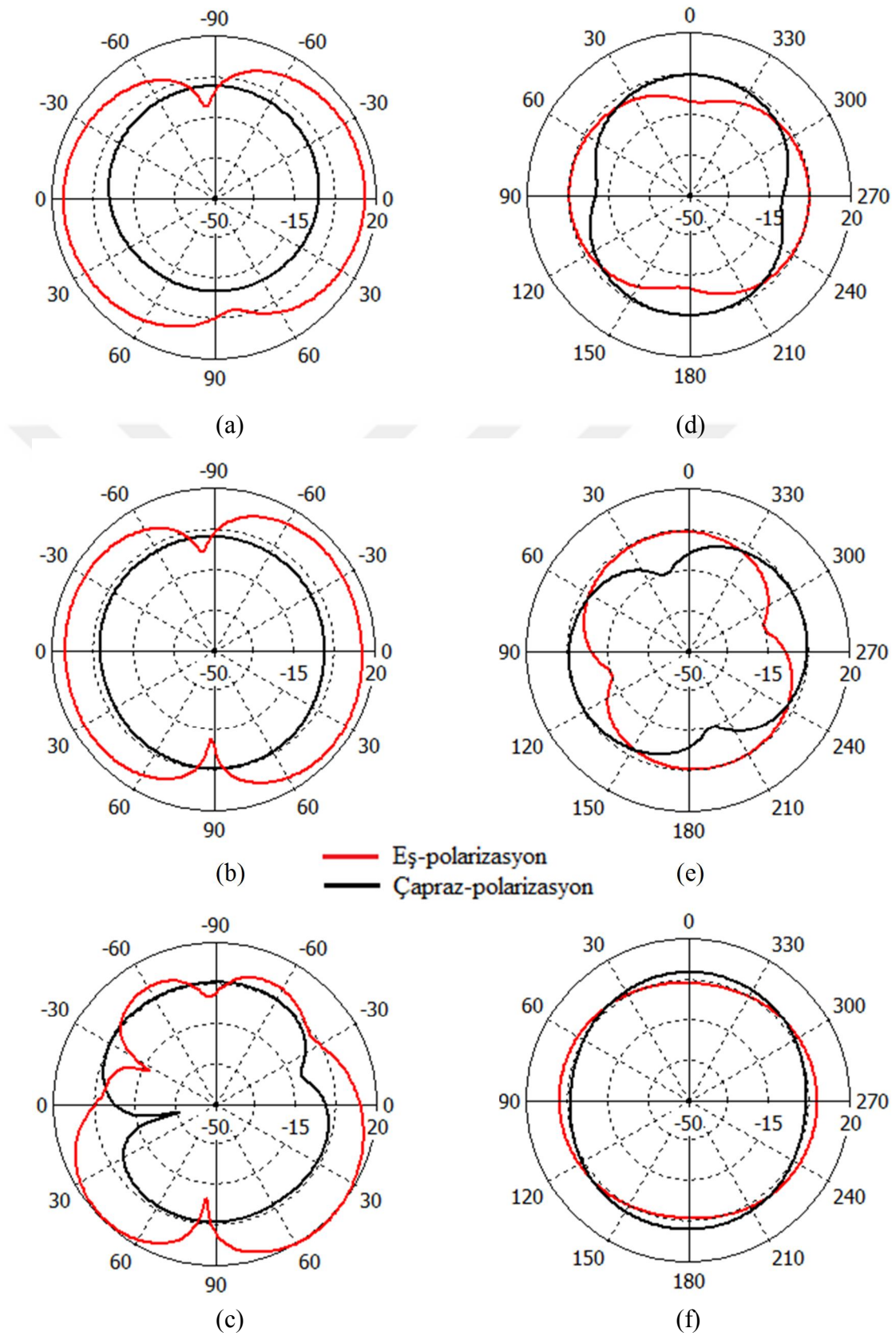


Şekil 3.25. Tasarım 1 antenine ait voltaj duran dalga oranı (VSWR) grafiği

Tasarım 1'de önerilen antene ait 3 GHz frekansında üç boyutlu omni-directional (her yöne) ışıma örüntüsü Şekil 3.26 (a)'da gösterilmiştir. 3 GHz, 6 GHz ve 9 GHz frekanslarına ait Azimut=0°'deki eş-polarizasyonu (co-polarization) ve çapraz-polarizasyonu (cross-polarization) içeren elektrik alan (E-alan) omni-directional ışıma örüntüleri ise sırasıyla Şekil 3.26 (b), (c) ve (d) olarak gösterilmiştir. Benzer şekilde 3 GHz, 6 GHz ve 9 GHz frekanslarına ait Azimut=90°, Elevasyon=90° açılarındaki elektrik alan (E-alan) ışıma örüntüleri de Şekil 3.27'de gösterilmiştir. Şekillerden de görüleceği üzere bu çalışmada önerilen anten kabul edilebilir derecede yönsüz ışıma yapmaktadır.

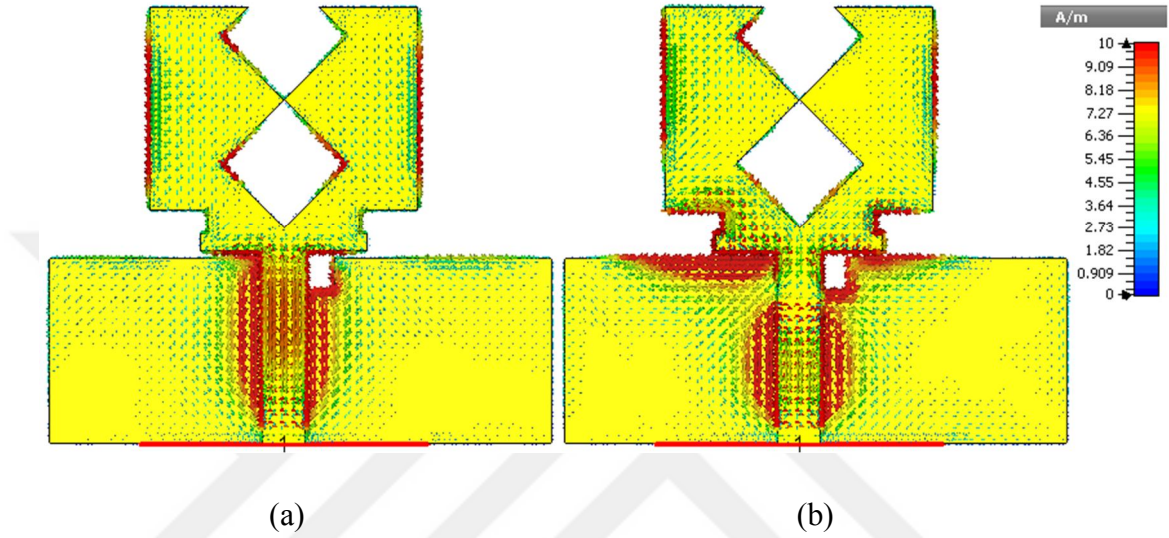


Şekil 3.26. Önerilen antene ait ışıma örüntüleri (a) 3 GHz frekansındaki üç boyutlu ışıma örüntüsü, (b) 3 GHz (c) 6 GHz (d) 9 GHz frekansları için Azimut=0° açısında E- alan ışıma örüntüleri



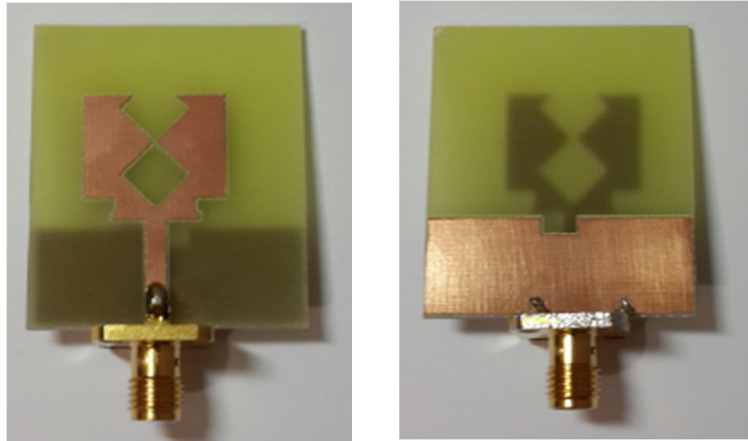
Şekil 3.27. Önerilen antene ait ışıma örüntüleri, Azimut= 90° açısında E-alan (a) 3 GHz (b) 6 GHz (c) 9 GHz, Elevasyon= 90° açısında E-alan (d) 3 GHz (e) 6 GHz (f) 9 GHz

Önerilen antenin 6 GHz ve 9 GHz frekanslarında akım dağılım grafikleri Şekil 3.28’de sırasıyla gösterilmiştir. Kırmızı ile gösterilen bölgeler akımın yoğunlaştığı bölgelerdir ve antenin ışıma karakteristiğini etkilemektedir. Açılan yarıkların olduğu bölgelerde akımın yoğunlaştığı şekillerden görülmektedir.

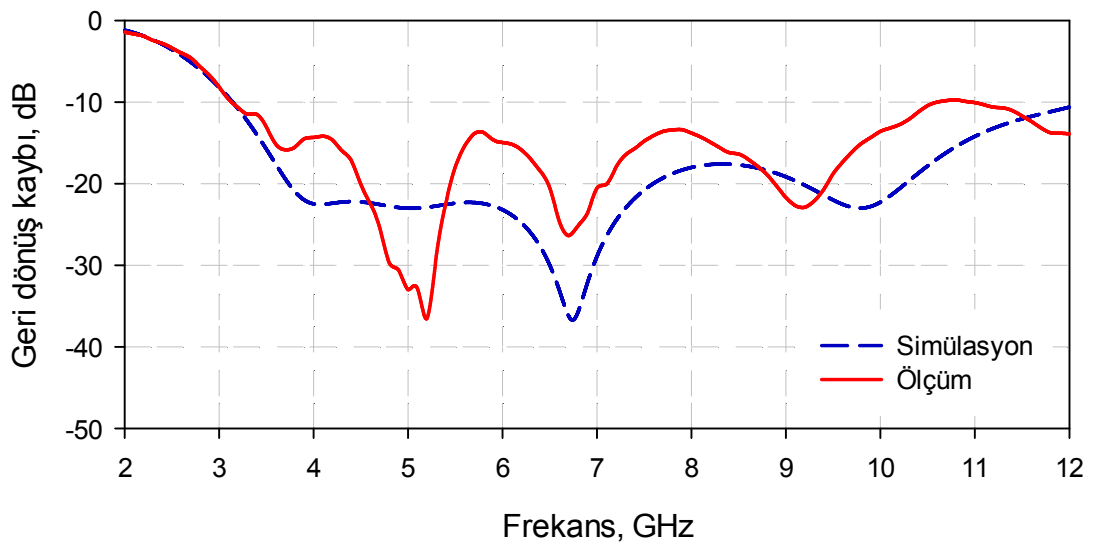


Şekil 3.28. (a) 6 GHz (b) 9 GHz frekansları için akım dağılım grafikleri

Tüm bu benzetim sonuçları incelenerek gerçekleştirilmesi kararlaştırılan Tasarım 1 isimli mikroşerit yama anten laboratuvar ortamında Quick circuit 7000 baskı devre kazıma cihazı ile FR4 taban malzemesi kullanılarak üretilmiştir. SMA konnektörleri lehimlenerek ölçüm yapılmaya hazır hale getirilen antenin son şekli Şekil 3.29’da gösterilmiştir. Üretilen antenin geri dönüş kayıpları TÜBİTAK UME’de yer alan yansısız odalarda ölçülmüştür. Elde edilen ölçüm sonuçları ve simülasyon sonuçlarının kıyaslanması Şekil 3.30’da yer almaktadır.



Şekil 3.29. Tasarım 1 antenin laboratuvar ortamında gerçekleştirilmiş halinin ön yüz ve arka yüz görüntüleri

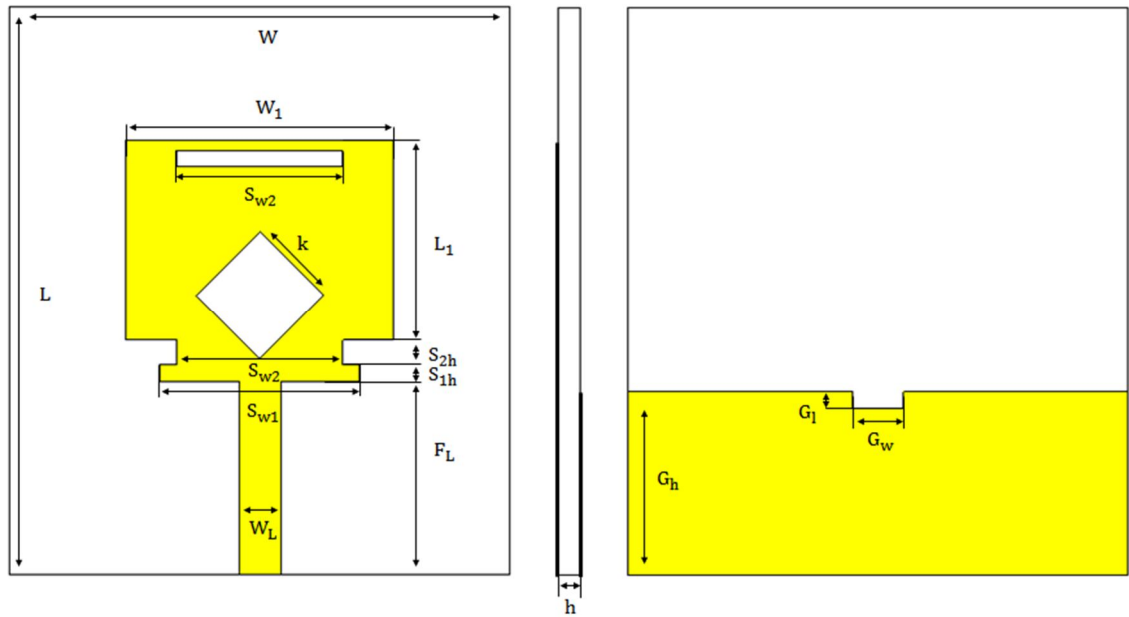


Şekil 3.30. Tasarım 1’de önerilen antenin geri dönüş kaybı ölçüm ve simülasyon sonuçları kıyaslama grafiği

Şekil 3.30’da gösterilen kıyaslama grafiğinden anlaşılabileceği üzere simülasyon ve ölçüm sonuçları oldukça iyi bir uyum içerisindedir. VSWR grafiği ve ışıma örüntüleri ele alındığında Tasarım 1 olarak önerilen anten UGB standartlarını karşılayacak niteliktedir [62]. Kıyaslama grafiğinde görünen farklılıklarının nedenleri fabrikasyon sırasında meydana gelen milimetrik farklılıklar, simülasyon parametrelerinin farklılıkları ve SMA konnektörün lehimlemesi kaynaklı pürüzler olarak belirtilebilir.

3.3.2 Tasarım 2

UGB haberleşme sistemlerinde kullanılması için tasarlanan ikinci yapı boyutları 30x34 mm² olan FR4 taban malzemesi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Taban malzemesinin dielektrik katsayısı $\epsilon_r = 4.3$, kayıp tanjantı $\tan\delta = 0.02$ ve kalınlığı $h = 1.3$ mm'dir. Diğer antenlerde olduğu gibi konnektör ile besleme hattının empedans uyumsuzluğunu ortadan kaldırmak için hattın giriş empedansı 50Ω olacak şekilde ayarlanmıştır. Şekil 3.31'de parametre optimizasyonu çalışmaları sonucunda tasarlanan antenin geometrisi ve antene ait parametrelerin sembolleri yer almaktadır. Tablo 3.3'de, önerilen antene ait parametrelerin mm cinsinden değerleri verilmiştir. Tasarım 2'de oluşturulan mikroşerit anten yapısı Tasarım 1'e benzerlik göstermektedir fakat yama üzerindeki yarıklar daha değişik geometrilerde açılarak parametre optimizasyonu yapılmıştır. Değişik geometrilerde açılan yarıklar neticesinde bazı parametreler aynı kalırken bazı parametrelerin ise optimum değerleri değişmiştir.

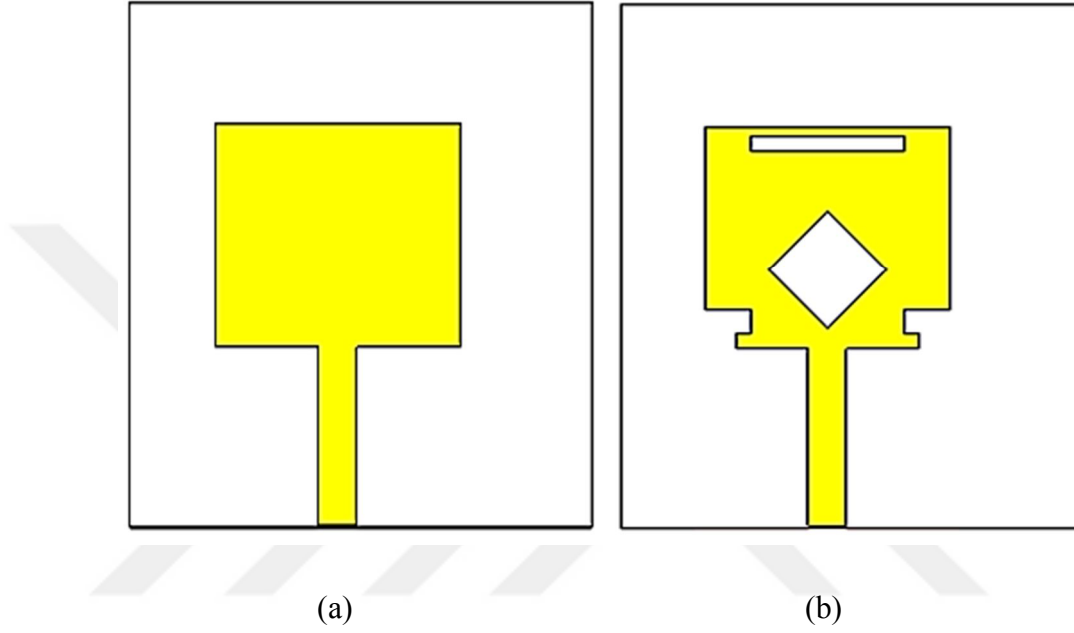


Şekil 3.31. Tasarım 2'de önerilen antenin ön yüz, kesit ve arka yüz görüntüleri

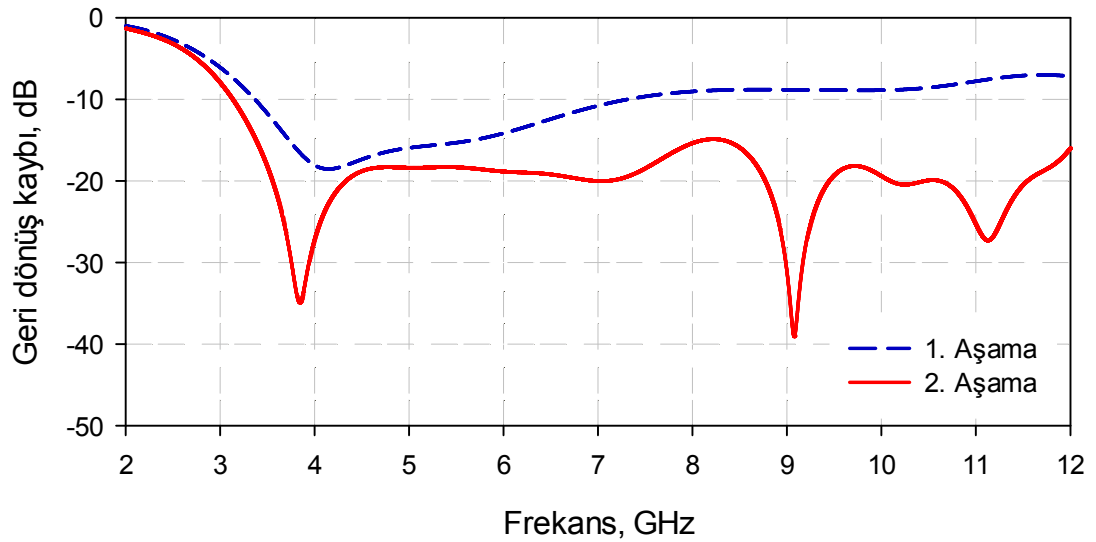
Tablo 3.3. Tasarım 2'de önerilen antene ait parametreler ve değerleri (mm)

F_L	G_l	G_h	G_w	h	k	L_1	L	S_{1h}	S_{2h}	S_{w1}	S_{w2}	W_1	W_L	W	S_L
11.5	1	11	3	1.3	5.4	12	34	1	1.50	12	10	16	2.55	30	6

Önerilen antenin iki temel aşaması ve bunlara ait geri dönüş kaybı kıyaslama grafiği sırasıyla Şekil 3.32’de ve Şekil 3.33’de verilmiştir. Kıyaslama grafiğinden açıkça görüleceği üzere yama kenarlarında yapılan modifikasyonların ve açılan yarıkların antenin bant genişliğini arttırarak frekans bandı boyunca antenin daha iyi performans vermesini sağlamıştır.

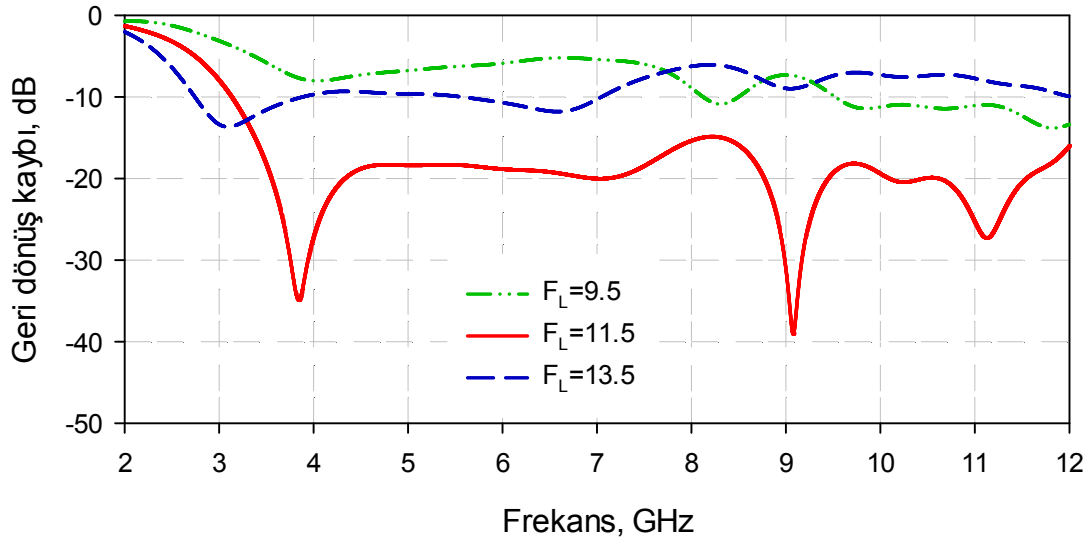


Şekil 3.32. Tasarım 2’de önerilen antenin tasarım aşamaları: (a) 1. Aşama (Dikdörtgen yama anten) (b) 2. Aşama (Önerilen anten)



Şekil 3.33. Tasarım aşamasında ele alınan iki farklı yama antenin geri dönüş kaybı karakteristikleri

Empedans uyumsuzluğunu kaldırma için Şekil 3.34'te gösterildiği üzere besleme hattının uzunluğu (F_L) değişiminin antenin geri dönüş kaybı üzerindeki etkisi incelenmiştir. Buna göre optimum frekans cevabının $F_L = 11.5$ mm'de iken sağlandığı grafikten açık bir şekilde anlaşılmaktadır.

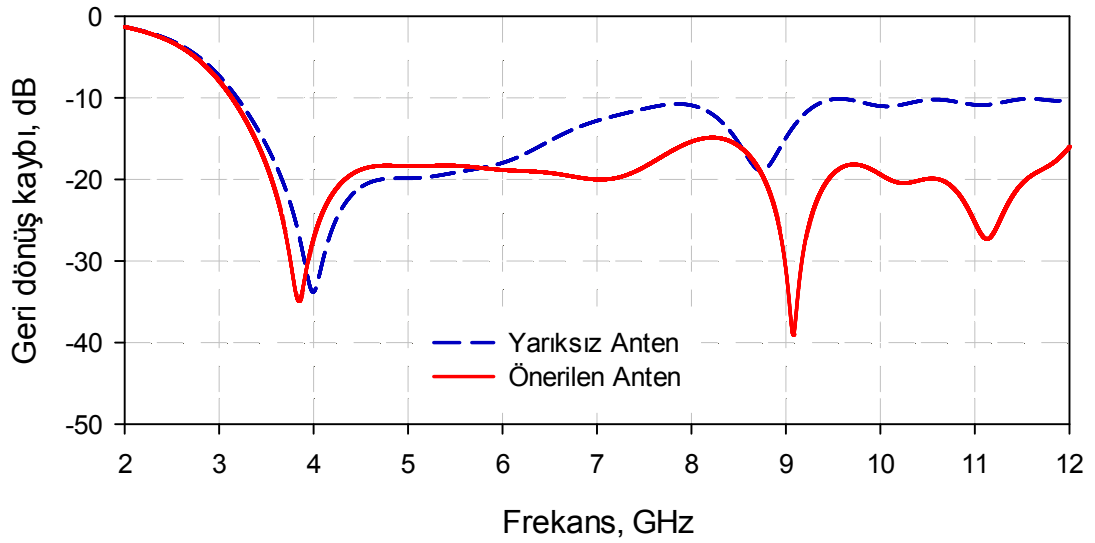


Şekil 3.34. F_L uzunluğu değişimine göre geri dönüş kaybı karakteristikleri

Önerilen antenin alt köşelerinde bulunan girintilerin uzunluklarının frekans cevapları incelendiğinde Tasarım 1'de ki antene göre girinti uzunlukları S_{1h} ve S_{2h} parametrelerinin yine aynı değerde optimum sonuçlar verirken ($S_{1h}=1$ mm, $S_{2h}=1.5$ mm) girinti genişliklerinin daha farklı değerlerde optimum frekans cevabına ulaştığı tespit edilmiştir ($S_{w1} = 12$ mm ve $S_{w2} = 10$ mm).

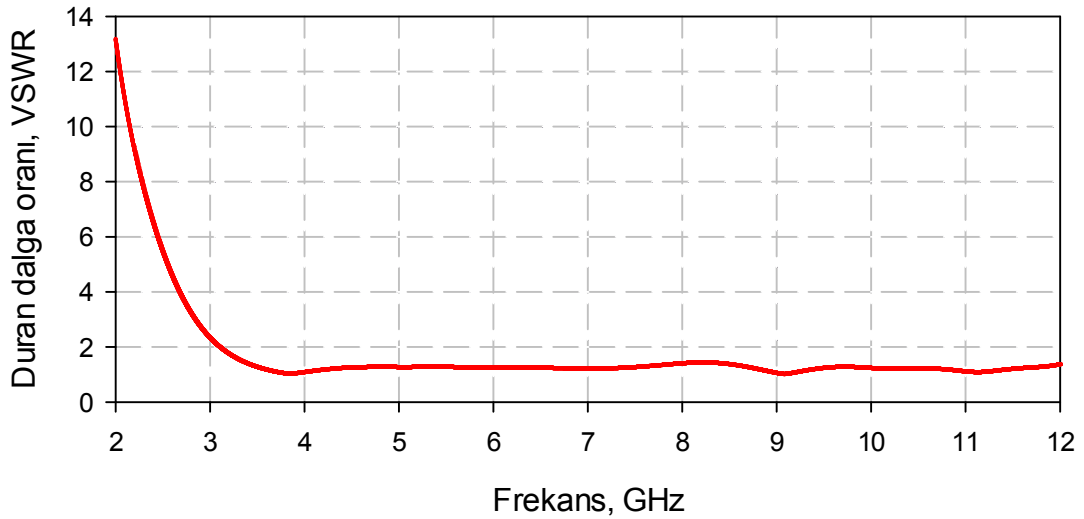
Tasarım aşamasında yapılan bir diğer çalışmada anten üzerine açılan elmas şeklinde ve yatay çubuk şeklinde açılan yarıkların antenin geri dönüş kaybı karakteristiğine etkisi incelenmiştir. Şekil 3.35'te görüleceği üzere açılan yarıklar sayesinde 6 GHz frekansından başlamak üzere geri dönüş kaybında belirgin bir kazanç sağlamıştır.

Işıma yaması üzerinde yapılan gerek alt köşe modifikasyonları gerekse açılan yamalar sayesinde antenin geri dönüş kaybı karakteristiği istenilen UGB standartları seviyesine gelmiştir.



Şekil 3.35. Tasarım 2’de anteni üzerinde açılan yarıkların geri dönüş kaybı karakteristiklerine etkisi

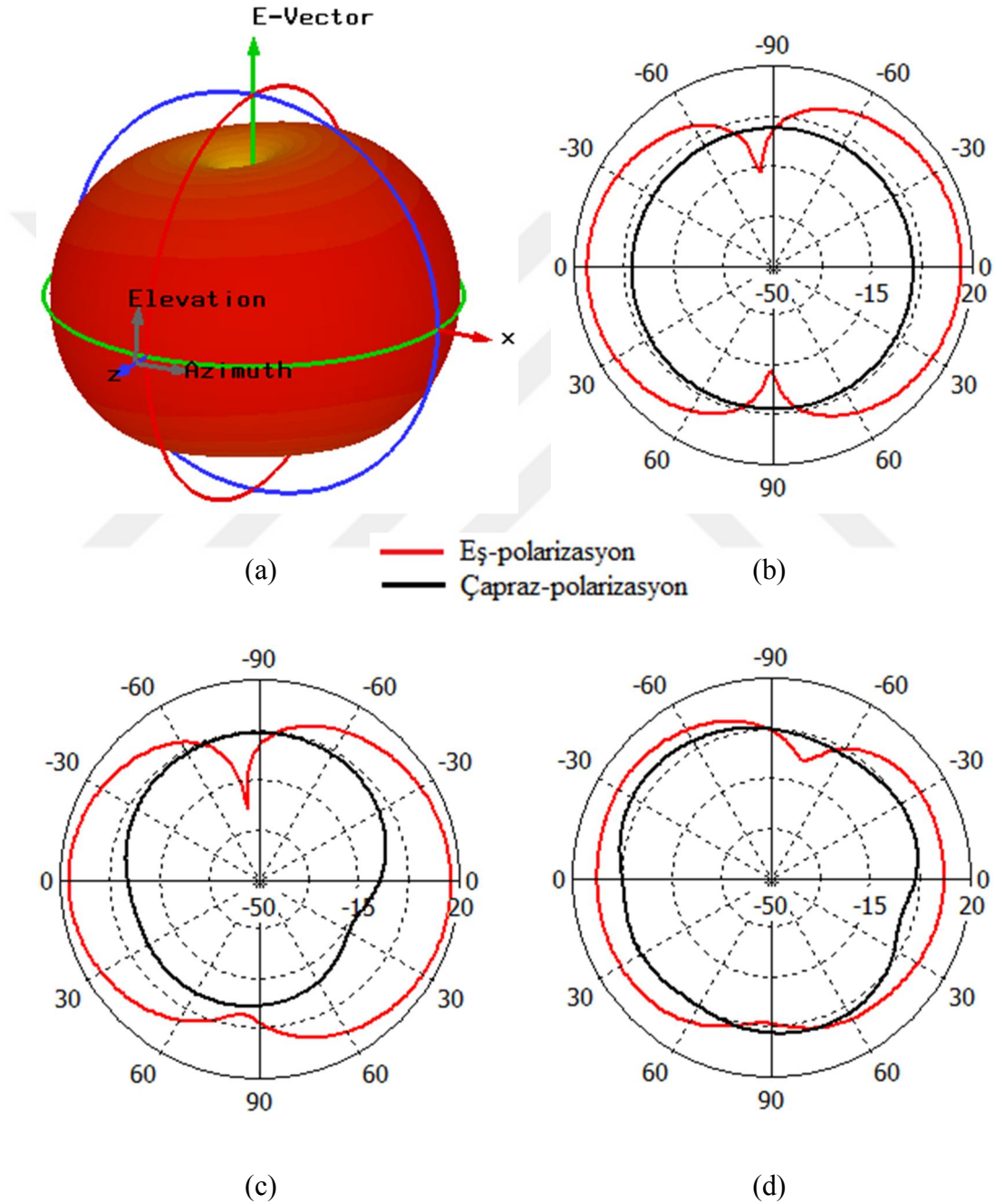
Tasarım 2’de önerilen antene ait voltaj duran dalga oranı grafiği Şekil 3.6’da görüleceği üzere UGB frekans aralığı boyunca (3.1 GHz-10.6 GHz) bu değerin 2’nin altında olduğu görülmektedir.



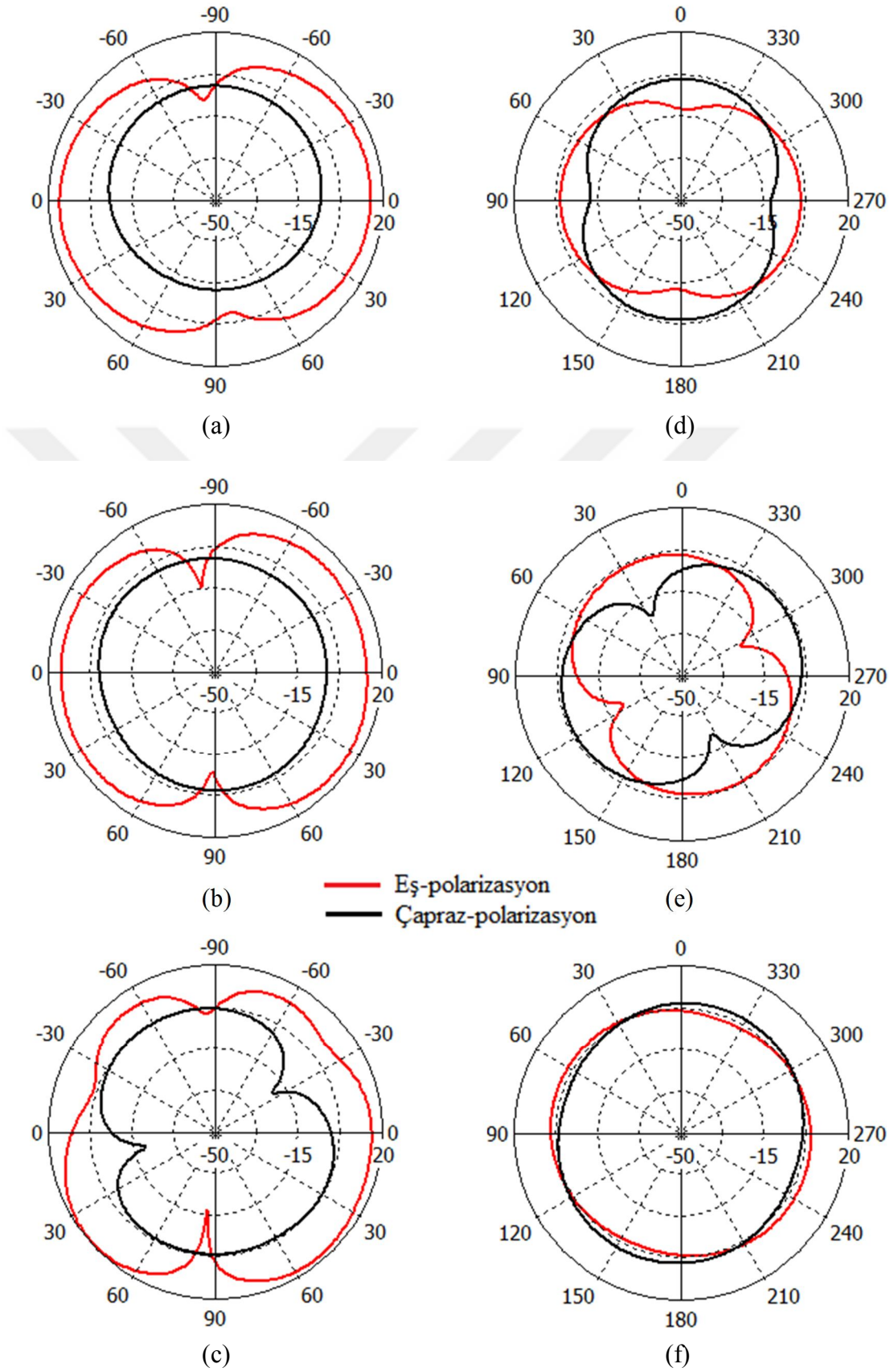
Şekil 3.36. Tasarım 2’ye ait voltaj duran dalga oranı (VSWR) grafiği

Tasarım 2’de önerilen antene ait 3 GHz’de üç boyutlu omni-directional ışıma örüntüsü Şekil 3.37 (a)’da gösterilmiştir. 3 GHz, 6 GHz ve 9 GHz frekanslarına ait Azimut=0°’deki eş-polarizasyonu (co-polarization) ve çapraz-polarizasyonu (cross-

polarization) içeren elektrik alan (E-alan) omni-directional ışıma örüntüleri ise sırasıyla Şekil 3.37 (b), (c) ve (d) olarak gösterilmiştir. Benzer şekilde antenin 3 GHz, 6 GHz ve 9 GHz frekanslarında Azimut=90°, Elevasyon=90° açılarındaki elektrik alan (E-alan) ışıma örüntüleri de Şekil 3.38’de gösterilmiştir. Şekillerden de görüleceği üzere bu çalışmada önerilen anten yönsüz bir şekilde ışıma yapmaktadır.

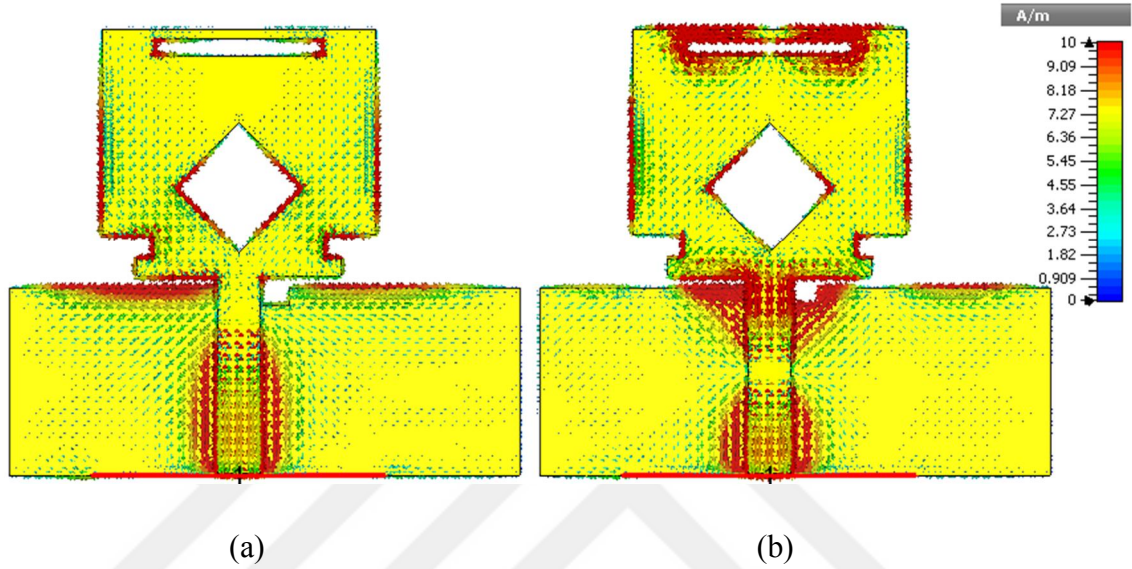


Şekil 3.37. Önerilen antene ait ışıma örüntüleri (a) 3 GHz frekansındaki üç boyutlu ışıma örüntüsü, (b) 3 GHz (c) 6 GHz (d) 9 GHz frekansları için Azimut=0° açısında E- alan ışıma örüntüleri



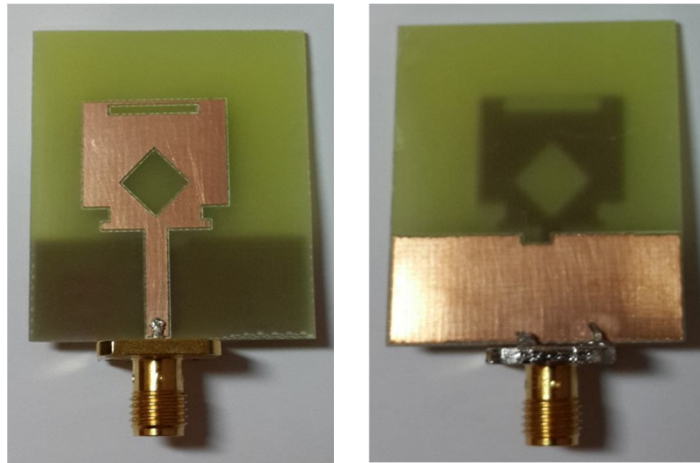
Şekil 3.38. Önerilen antene ait ışıma örüntüleri, Azimut= 90° açısında E-alan (a) 3 GHz (b) 6 GHz (c) 9 GHz, Elevasyon= 90° açısında E-alan (d) 3 GHz (e) 6 GHz (f) 9 GHz

Tasarım 2’de önerilen antenin 6 GHz ve 9 GHz frekanslarında akım dağılım grafikleri Şekil 3.39’da sırasıyla gösterilmiştir. Açılan yarıkların olduğu bölgelerde akımın yoğunlaştığı kırmızı renkte olan bölgeler şekillerden görülmektedir.

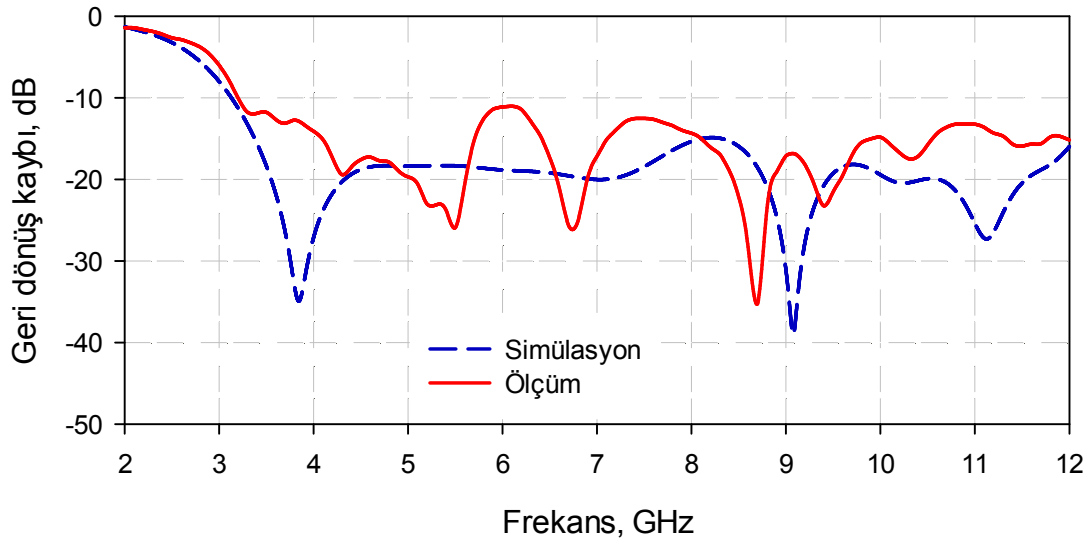


Şekil 3.39. (a) 6 GHz (b) 9 GHz frekansları için akım dağılım grafikleri

Yapılan tüm simülasyon sonuçları incelenerek üretimi kararlaştırılan mikroşerit anten, Şekil 3.40’da gösterildiği gibi laboratuvar ortamında gerçekleştirilmiştir. Yansısız odalarda network analizör vasıtası ile yapılan ölçüm sonuçlarının simülasyon sonuçları ile kıyaslanması grafiği ise Şekil 3.41’de gösterilmiştir.



Şekil 3.40. Tasarım 2 anteninin laboratuvar ortamında gerçekleştirilmiş halinin ön yüz ve arka yüz görüntüleri



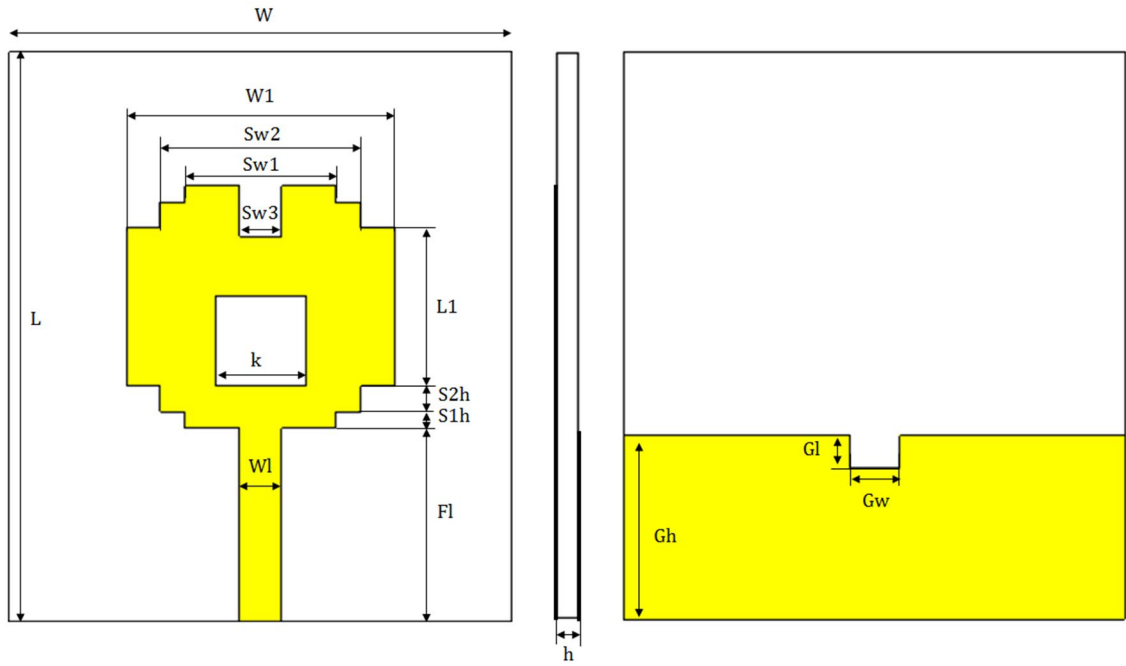
Şekil 3.41. Tasarım 2’de önerilen antenin geri dönüş kaybı ölçüm ve simülasyon sonuçları kıyaslama grafiği

Tasarım 2’de önerilen anten gerek yönsüz ışıma performansı sayesinde gerekse 3.13 GHz frekansında -10 dB altına düşerek 10.6 GHz’e kadar -10 dB’nin altında geri dönüş kaybı karakteristiğine sahip olduğu için kabul edilebilir derecede UGB standartlarını karşılayacak niteliktedir. Kıyaslama grafiğinde görünen farklılıkların nedenleri fabrikasyon sırasında meydana gelen milimetrik farklılıklar, simülasyon parametrelerinin farklılıkları ve SMA konnektörün lehimlemesi kaynaklı pürüzlerden kaynaklanmaktadır.

3.3.3 Tasarım 3

Ultra geniş bant haberleşme sistemlerinde kullanılması için tasarlanan üçüncü yapıda boyutları 30x34 mm² olan FR4 taban malzemesi kullanılmıştır. Taban malzemesinin dielektrik katsayısı $\epsilon_r = 4.3$, kayıp tanjanı $\tan\delta = 0.02$ ve kalınlığı $h = 1.3$ mm’dir. Tasarlanan antenin ölçümleri yapılması için 50 Ω ’luk SMA konnektör kullanıldığı için, empedans uyumsuzluğunu ortadan kaldırmak amacıyla hattın giriş empedansı 50 Ω olacak şekilde ayarlanmıştır. Şekil 3.42’de, parametre optimizasyonu çalışmaları sonucunda tasarlanan antenin geometrisi ve antene ait parametrelerin sembolleri yer almaktadır.

Tablo 3.4’de önerilen antene ait parametrelerin mm cinsinden değerleri verilmiştir. Buna göre “ k ” parametresi kare şeklindeki yarığın kenar uzunluğunu gösterirken “ S_{w3} ” parametresi de dikdörtgen yamanın üst tarafına açılan yarığın genişliğini göstermektedir. “ S_{1h} ” ve “ S_{2h} ” parametreleri antenin kenarlarını oluşturan basamak yapısının yüksekliğini belirtirken, “ S_{w1} ” ve “ S_{w2} ” parametreleri de basamak yapısının genişliğini temsil etmektedir.

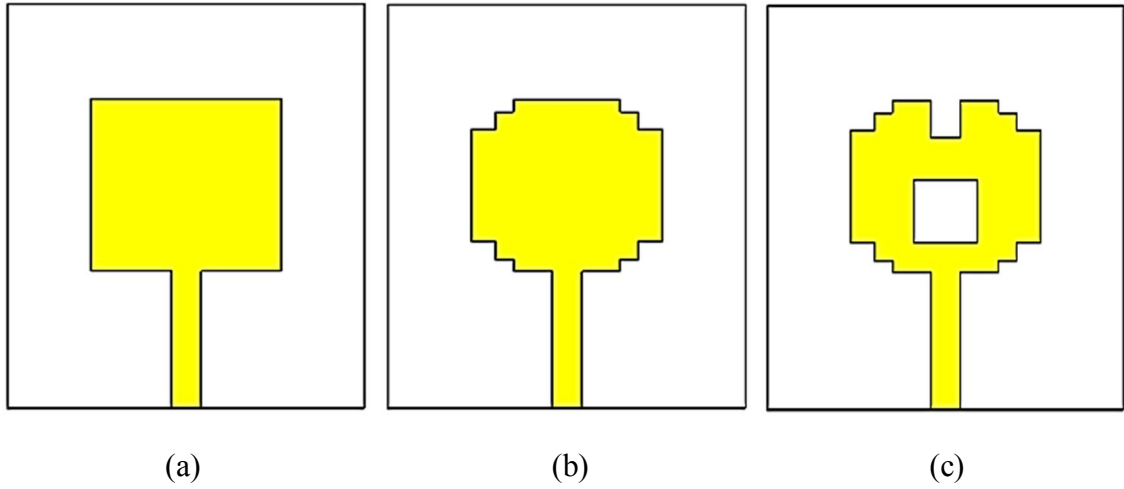


Şekil 3.42. Tasarım 3’te önerilen antenin ön yüz, kesit ve arka yüz görüntüleri

Tablo 3.4. Tasarım 3’te önerilen antene ait parametreler ve değerleri (mm)

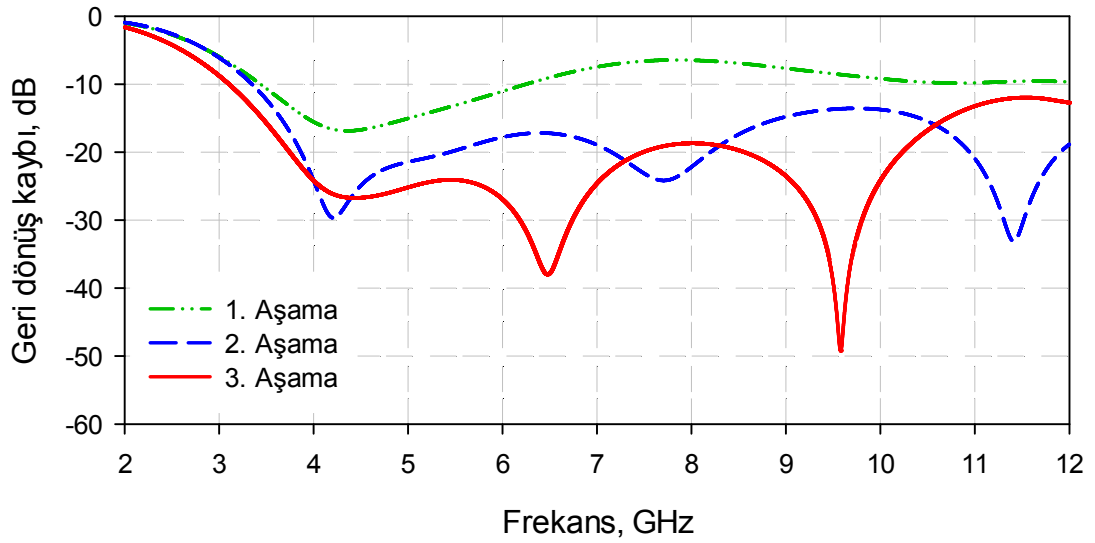
F_L	G_l	G_h	G_w	h	k	L_1	L	S_{1h}	S_{2h}	S_{w1}	S_{w2}	S_{w3}	W_1	W_L	W
11.5	2	11	3	1.3	5.4	9.5	34	1	1.50	9	12	2.5	16	2.55	30

Önerilen anten Şekil 3.43’te gösterildiği gibi üç temel aşamada tasarlanmıştır ve bunlara ait geri dönüş kaybı kıyaslama grafiği Şekil 3.44’te verilmiştir.



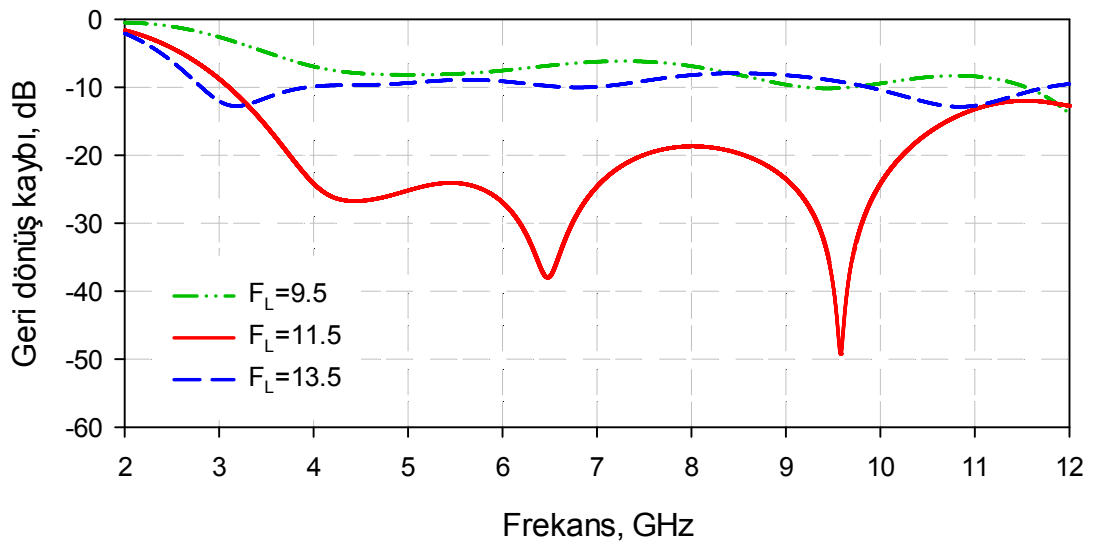
Şekil 3.43. Tasarım 3’te önerilen antenin tasarım aşamaları: (a) 1. Aşama (Dikdörtgen yama anten) (b) 2 Aşama (Yarıkları bulunmayan anten) (c) 3. Aşama (Önerilen anten)

İlk olarak Şekil 3.43 (a)’da gösterilen kenarları düz ve yarıkların (slot) olmadığı dikdörtgen yamaya sahip antenin frekans cevabı grafikte yeşil renkli noktalı çizgi ile gösterilmiştir. İkinci olarak Şekil 3.43 (b)’de gösterildiği gibi kenarlarında basamak şeklinde yarıkların bulunduğu fakat yamanın üzerindeki yarıkların olmadığı tasarımın frekans cevabı mavi renkli kesikli çizgiler ile gösterilmiştir. Buna göre köşelerde oluşturulan basamak yapıları antenin frekans cevabında; 4 GHz – 8 GHz ve 11.5 GHz frekanslarında 15 dB civarında olmak üzere, genel olarak tüm frekanslarda iyileştirme sağladığı fark edilmektedir. Son olarak Şekil 3.43 (c)’de gösterildiği gibi ana dikdörtgen yamanın ortasına ve üst kısmına yarıklar açılarak amaçlanan antene ulaşılmıştır. Bu antene ait geri dönüş kaybı karakteristiği grafikte kırmızı renkli düz çizgi ile gösterilmiştir. 4 GHz ve 8 GHz frekans cevaplarında ufakta olsa düşüş gözlenirse de tüm frekanslar incelendiğinde optimum frekans cevabının elde edildiği görülmüştür.

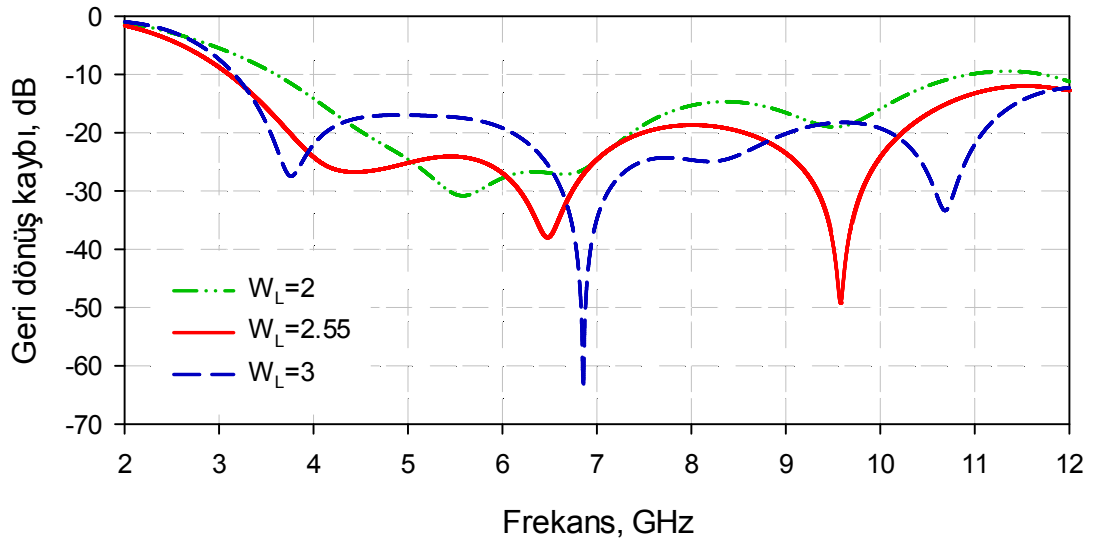


Şekil 3.44. Tasarım aşamasında ele alınan üç farklı yama antenin geri dönüş kaybı karakteristikleri

Antenlerin performansını etkileyen en önemli parametrelerden birisi empedans uyumsuzluğudur. Empedans uyumsuzluğunu ortadan kaldırmak amacı ile yapılan çalışmalar Şekil 3.45'te besleme hattının uzunluğunun (F_L) değişimi ve Şekil 3.46'de besleme hattının genişliğinin (W_L) antenin geri dönüş kaybı üzerindeki etkisi incelenmiştir. Buna göre optimum frekans cevabının $F_L = 11.5$ mm'de sağlandığı grafiklerden anlaşılmaktadır.



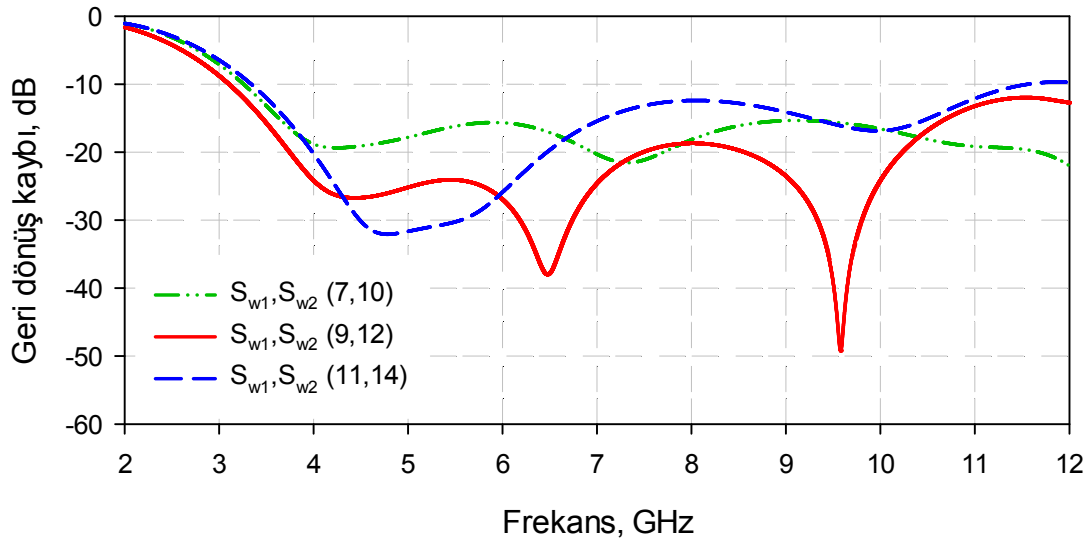
Şekil 3.45. F_L uzunluğu değişimine göre geri dönüş kaybı karakteristikleri



Şekil 3.46. W_L uzunluğu değişimine göre geri dönüş kaybı karakteristikleri

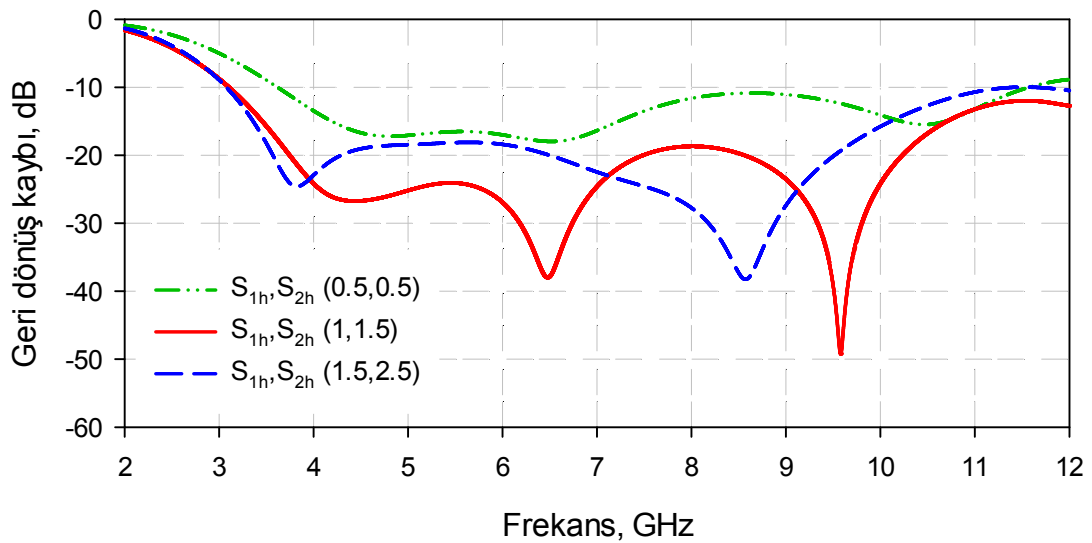
Antenin besleme genişliğini temsil eden W_L parametresine ait değişim grafiği incelendiğinde antenin rezonans frekansını etkilediği görülmektedir. UGB sınır şartları düşünüldüğünde, $W_L = 2.55$ mm iken optimum frekans cevabını sağlandığı Şekil 3.46. grafiğinde görülmektedir.

İlk tasarımda uygulanan parametre adımlama özelliği bu yapıya da uygulanarak alt ve üst köşelerde ki basamak şeklinde oluşturulan yarıkların optimum boyutları tespit edilmiştir. Buna göre: S_{w1} parametresinin 7 mm'den 11 mm'ye kadar 2 mm aralıklarla; S_{w2} parametresinin ise 10 mm'den 14 mm'ye kadar 2 mm aralıklarla iterasyonlar oluşturulmuştur. Bu iterasyonlar ile yapılan dizi simülasyonların sonuçlarından elde edilen geri dönüş kaybı karakteristiklerinden bazıları Şekil 3.47'de ki grafikte gösterilmiştir. Yapılan tüm simülasyon çalışmaları sonucunda elde edilen geri dönüş kaybı karakteristikleri incelenerek grafikte kırmızı düz çizgi ile belirtilen; $S_{w1} = 9$ mm ve $S_{w2} = 12$ mm değerlerinde optimum sonuçları verdiği gözlemlenmiştir ve tasarımda bu ölçüler kullanılmıştır.



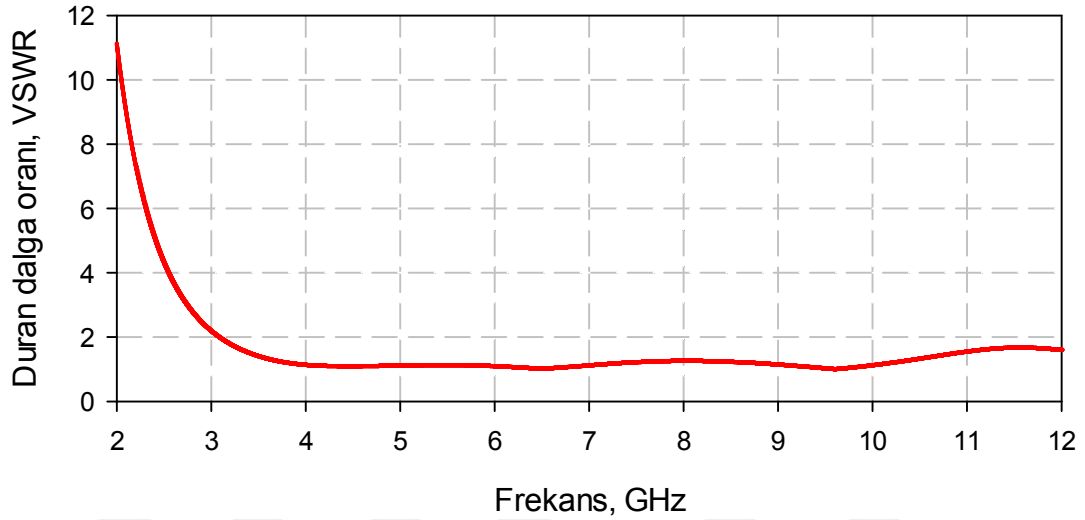
Şekil 3.47. $S_{w1} - S_{w2}$ uzunluğu değişimi geri dönüş kaybı karakteristiği

Önerilen antenin alt ve üst köşelerine ait yarıkların uzunlukları belirlenirken ise: S_{1h} parametresi 0.5 mm'den 1.5 mm'ye kadar 0.5 mm aralıklarla; S_{2h} parametresi ise 0.5 mm'den 2.5 mm'ye kadar 1 mm aralıklarla iterasyonları oluşturulmuştur. Bu değerlere göre koşturulan dizi simülasyonlardan elde edilen geri dönüş kaybı karakteristiklerinin bazılarının sonuçları Şekil 3.48'de gösterilmiştir. Simülasyon sonuçları incelendiğinde optimum uzunluk değerleri kırmızı düz çizgi ile gösterilen $S_{1h}=1$ mm, $S_{2h}=1.5$ mm ölçüleri seçilmiştir.



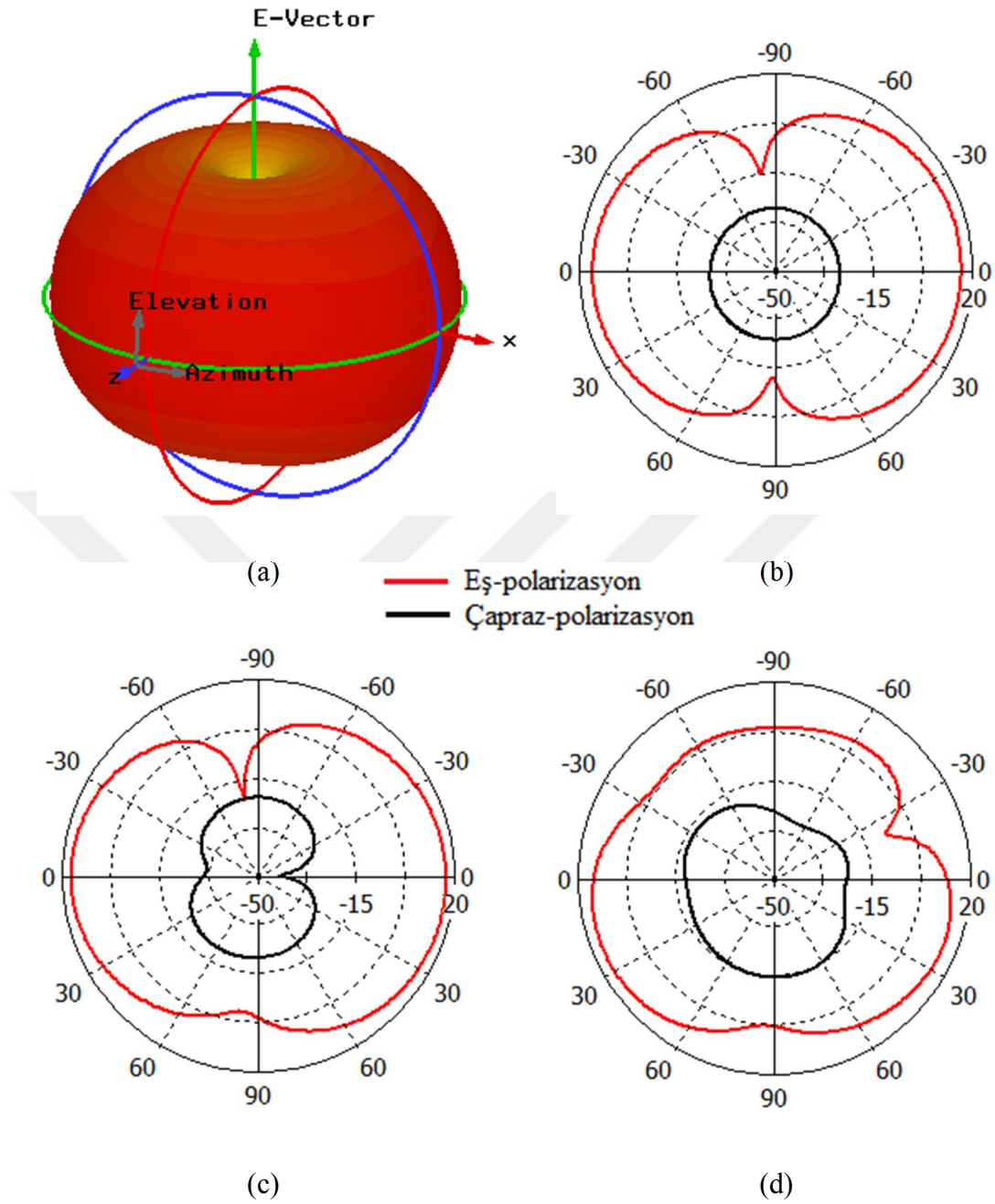
Şekil 3.48. $S_{1h} - S_{2h}$ uzunluğu değişimi geri dönüş kaybı karakteristiği

Tasarım 3 olarak önerilen antene ait voltaj duran dalga oranı grafiği Şekil 3.49'da gösterilmektedir. Antenin verimli çalışıp çalışmadığının bir ölçütü olan bu parametreye göre antenlerin çalışma frekanslarında VSWR değerinin 2'den küçük olması beklenmektedir. Şekil 3.49'da görüleceği üzere UGB frekans aralığı boyunca (3.1 GHz-10.6 GHz) bu değerin 2'nin altında olduğu görülmektedir.

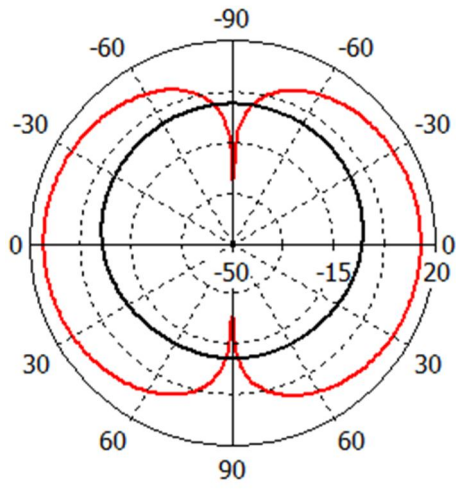


Şekil 3.49. Tasarlanan antene ait voltaj duran dalga oranı (VSWR) grafiği

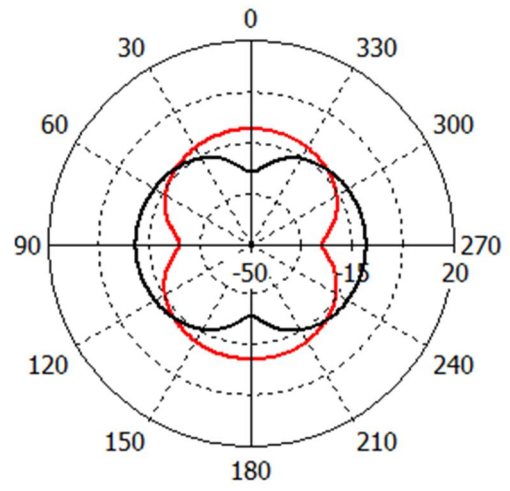
Tasarım 3'te önerilen antene ait 3 GHz'de üç boyutlu omni-directional ışıma örüntüsü Şekil 3.50 (a)'da gösterilmiştir. 3 GHz, 6 GHz ve 9 GHz frekanslarına ait Azimut=0°'deki eş-polarizasyonu (co-polarization) ve çapraz-polarizasyonu (cross-polarization) içeren elektrik alan (E-alan) omni-directional ışıma örüntüleri ise sırasıyla Şekil 3.50 (b), (c) ve (d) olarak gösterilmiştir. Benzer şekilde antenin 3 GHz, 6 GHz ve 9 GHz frekanslarında Azimut=90°, Elevasyon=90° ölçülerindeki elektrik alan (E-alan) ışıma örüntüleri de Şekil 3.51'de gösterilmiştir. Şekillerden de görüleceği üzere Tasarım 3'te önerilen anten kabul edilebilir derecede yönsüz bir şekilde ışıma yapmaktadır.



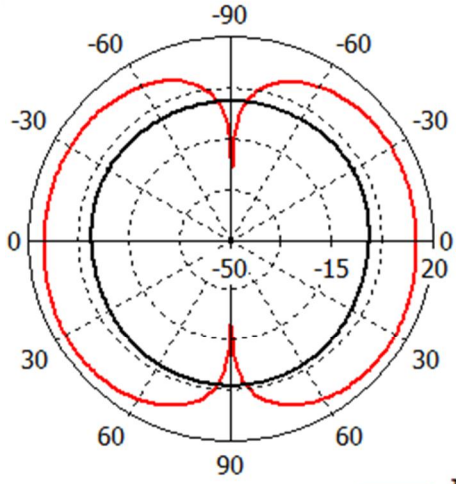
Şekil 3.50. Önerilen antene ait ışıma örüntüleri (a) 3 GHz frekansındaki üç boyutlu ışıma örüntüsü, (b) 3 GHz (c) 6 GHz (d) 9 GHz frekansları için Azimut=0° açısında E- alan ışıma örüntüleri



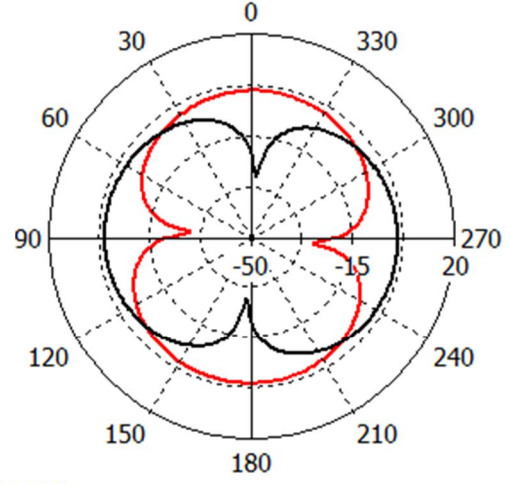
(a)



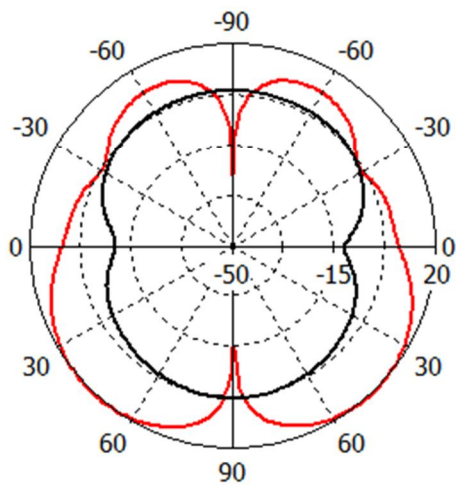
(d)



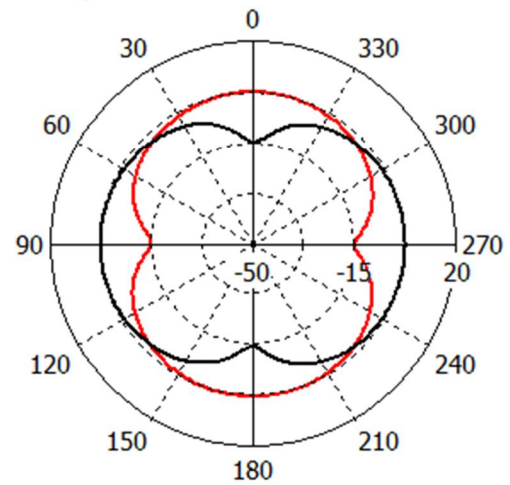
(b)



(e)



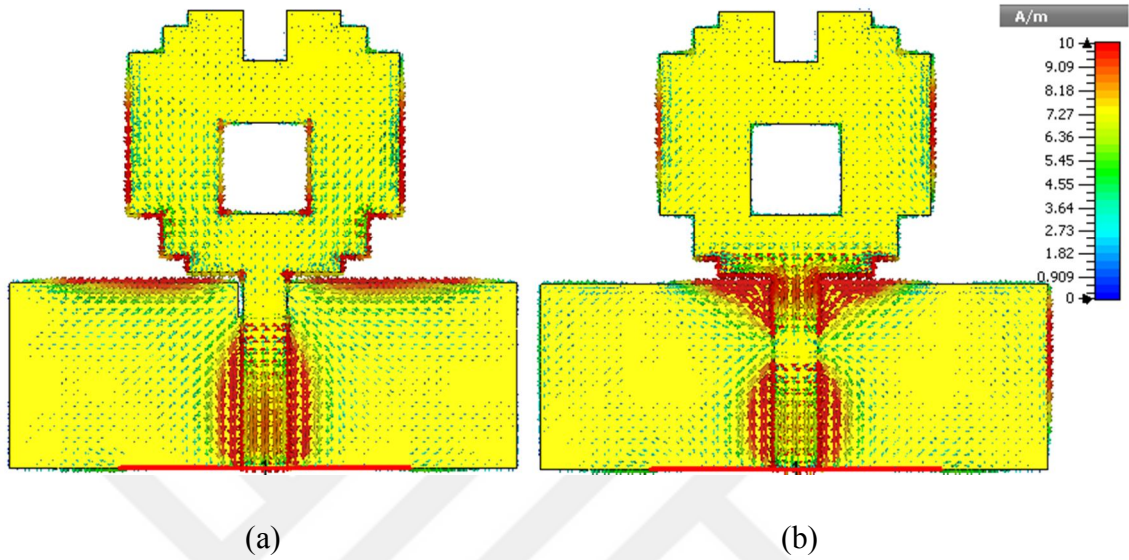
(c)



(f)

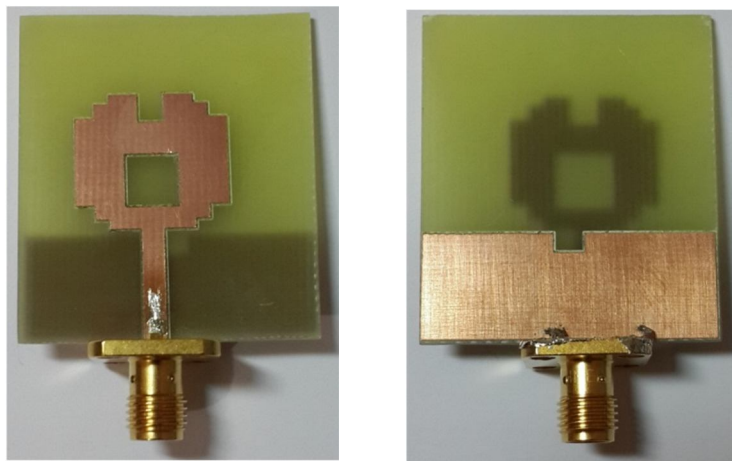
Şekil 3.51. Önerilen antene ait ışıma örüntüleri, Azimut=90° açısında E-alan (a) 3 GHz (b) 6 GHz (c) 9 GHz, Elevasyon=90° açısında E-alan (d) 3 GHz (e) 6 GHz (f) 9 GHz

Önerilen antenin 6 GHz ve 9 GHz frekanslarında akım dağılım grafikleri Şekil 3.28’de sırasıyla gösterilmiştir. Açılan yarıkların olduğu bölgelerde akımın yoğunlaştığı şekillerden görülmektedir.

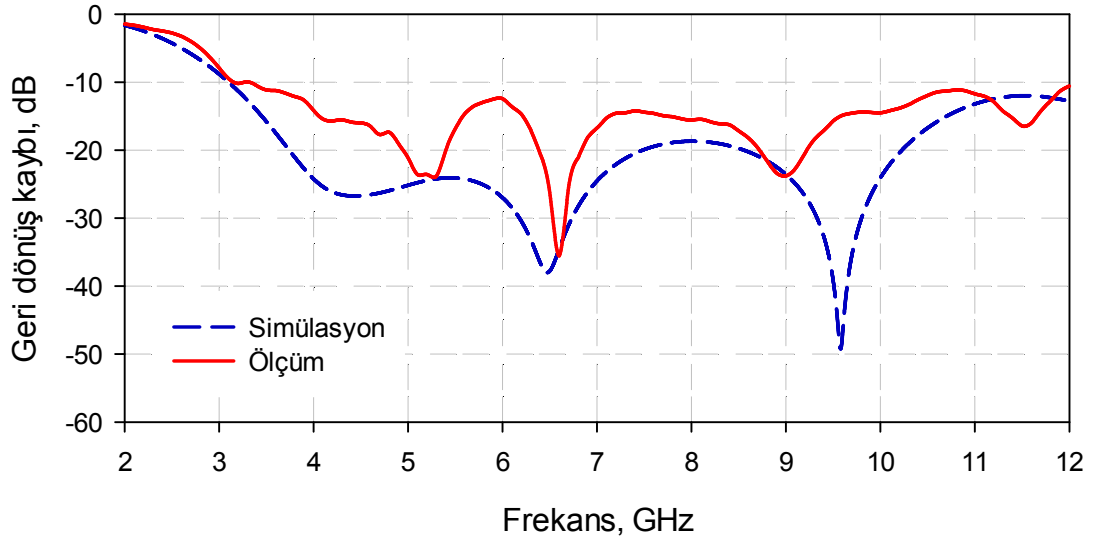


Şekil 3.52. (a) 6 GHz (b) 9 GHz frekansları için akım dağılım grafikleri

Yapılan tüm benzetim çalışmaları neticesinde üretimi kararlaştırılan mikroşerit anten, baskı devre kazıma tekniği kullanılarak Şekil 3.53’teki gibi deneysel ortamda gerçekleştirilmiştir. Yansımaz odalarda network analizör vasıtası ile yapılan ölçüm sonuçlarının simülasyon sonuçları ile kıyaslanması grafiği Şekil 3.54’te gösterilmiştir.



Şekil 3.53. Tasarım 3’te önerilen antenin laboratuvar ortamında gerçekleştirilmiş halinin ön yüz ve arka yüz görüntüleri

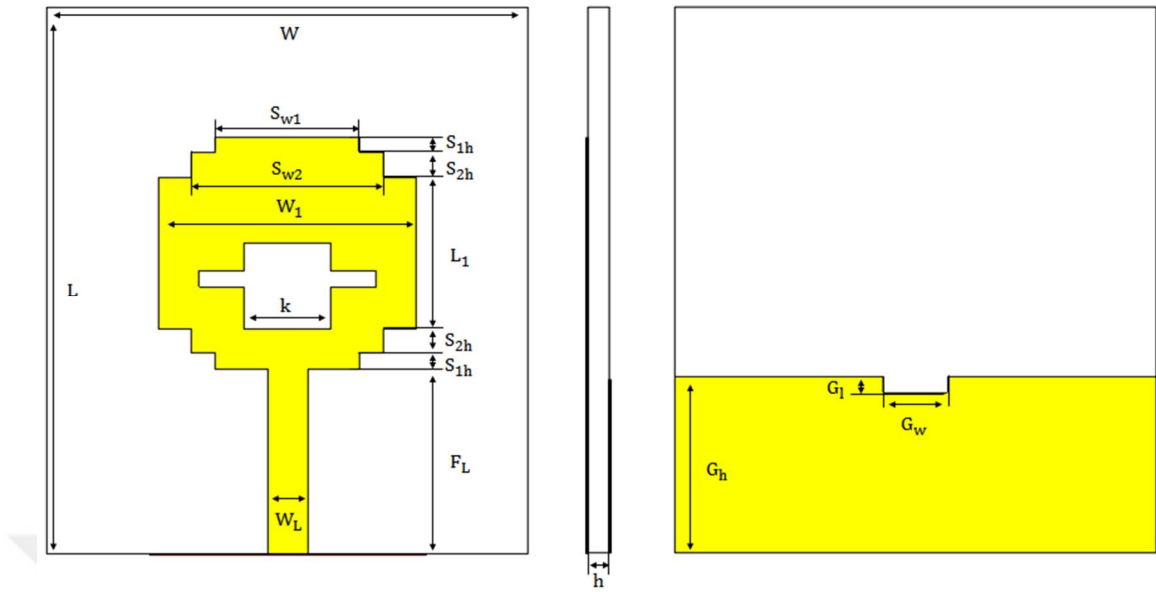


Şekil 3.54. Önerilen antenin geri dönüş kaybı ölçüm ve simülasyon sonuçları kıyaslama grafiği

Tasarım 3'te önerilen antene ait Şekil 3.54'te gösterilen kıyaslama grafiği incelendiğinde UGB haberleşme sistemlerinde kullanılabilecek nitelikte olduğu görülmektedir. Yapılan benzetim çalışmaları sayesinde teorik ve pratik çalışmaların sonuçlarının uyumlu bir şekilde elde edilmesi sağlanmıştır.

3.3.4 Tasarım 4

Son olarak UGB haberleşme sistemlerinde kullanılması için tasarlanan mikroşerit anten, boyutları 30x34 mm² olan FR4 taban malzemesi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Taban malzemesinin dielektrik katsayısı $\epsilon_r = 4.3$, kayıp tanjantı $\tan\delta = 0.02$ ve kalınlığı $h = 1.3$ mm'dir. Diğer antenlerde olduğu gibi konnektör ile besleme hattının arasındaki empedans uyumsuzluğunu ortadan kaldırmak için hattın giriş empedansı 50 Ω olacak şekilde ayarlanmıştır. Şekil 3.55'te, parametre optimizasyonu çalışmaları sonucunda tasarlanan antenin geometrisi ve antene ait parametrelerin sembolleri yer almaktadır. Tablo 3.5'te, önerilen antene ait parametrelerin mm cinsinden değerleri verilmiştir. Şekil 3.55'te görüleceği üzere Tasarım 3'e benzer bir yapı oluşturulmuştur fakat üzerindeki yarıklar daha değişik geometrilerde açılarak parametre optimizasyonu yapılmıştır. Açılan değişik geometrideki yarıklar neticesinde anten yapıları benzerlik gösterse de farklı geri dönüş kaybı karakteristikleri elde edilmiştir.

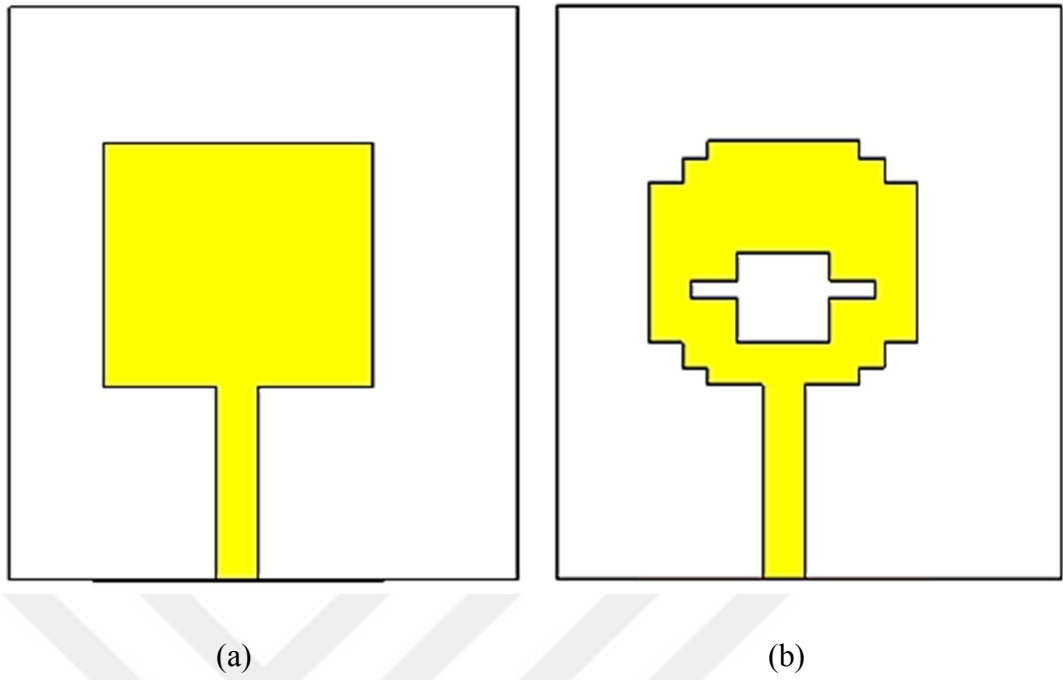


Şekil 3.55. Tasarım 4’te önerilen antenin ön yüz, kesit ve arka yüz görüntüleri

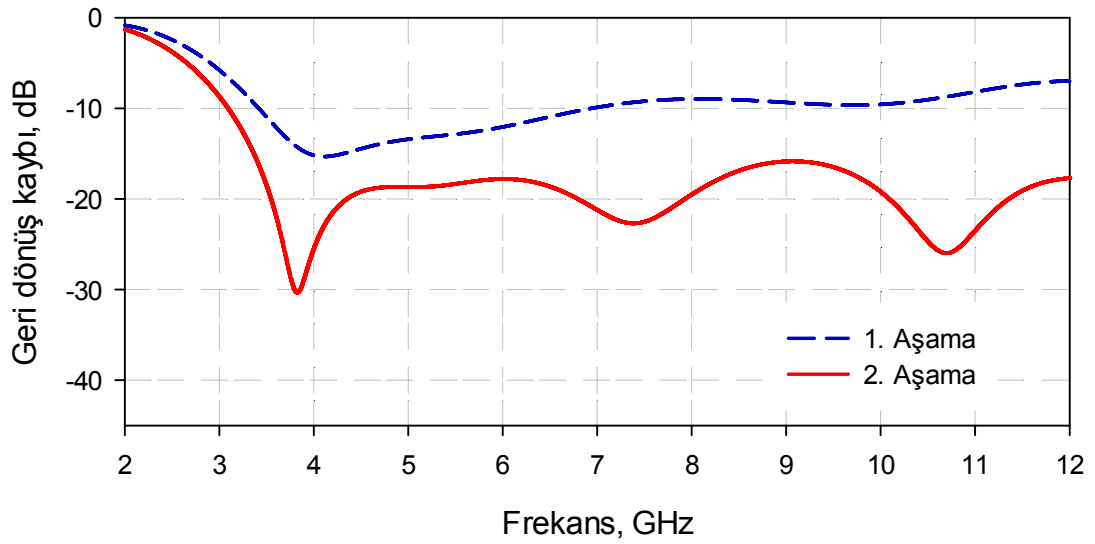
Tablo 3.5. Tasarım 4’te önerilen antene ait parametreler ve değerleri (mm)

F_L	G_1	G_h	G_w	h	k	L_1	L	S_{1h}	S_{2h}	S_{w1}	S_{w2}	W_1	W_L	W
11.5	1	11	3	1.3	5.4	9.5	34	1	1.50	9	12	16	2.55	30

Tasarım 4 olarak önerilen antenin düz yamaya sahip ilk hali ve son hali iki aşamada Şekil 3.56’da gösterilmiştir. Bu tasarımlara ait geri dönüş kaybı kıyaslama grafiği şekil 3.57’de gösterilmiştir. Kıyaslama grafiğinden açıkça görüleceği üzere açılan yarıklar antenin bant genişliğini arttırdığı ve frekans bandı boyunca antenin daha iyi geri dönüş kaybı performansı vermesini sağlamıştır.

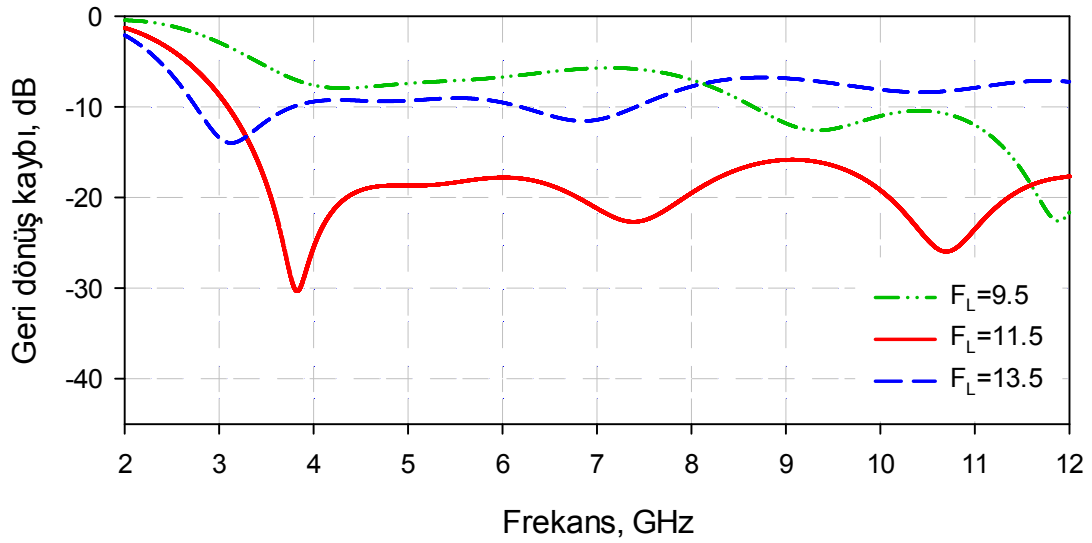


Şekil 3.56. Önerilen antenin tasarım aşamaları: (a) 1. Aşama (Dikdörtgen yama anten)
(b) 2. Aşama (Önerilen anten)



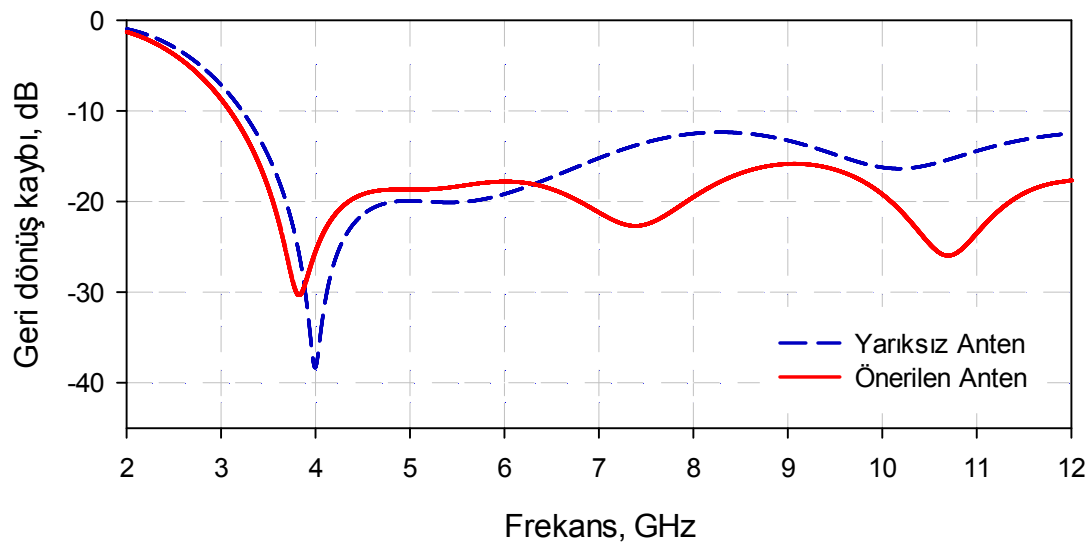
Şekil 3.57. Tasarım aşamasında ele alınan iki farklı yama antenin geri dönüş kaybı karakteristikleri

Empedans uyumsuzluğunu kaldırmak için yapılan çalışmada Şekil 3.58’de ki grafikte gösterilen besleme hattı uzunluğu (F_L) değişiminin antenin geri dönüş kaybı karakteristiği üzerindeki etkisi incelenmiştir. Buna göre optimum frekans cevabının $F_L=11.5$ mm’de iken sağlandığı grafikten açık bir şekilde anlaşılmaktadır.



Şekil 3.58. F_L uzunluğu değişimine göre geri dönüş kaybı karakteristikleri

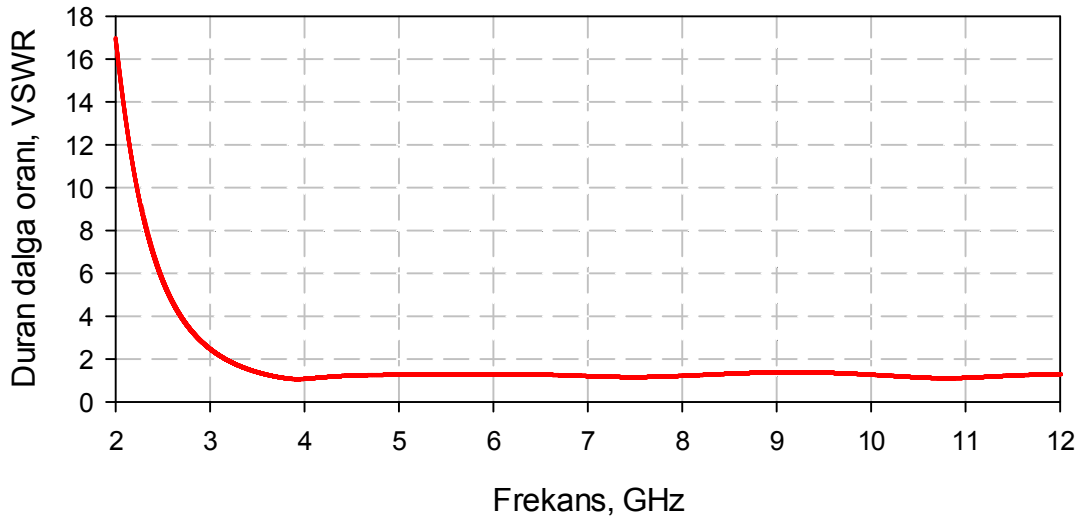
Tasarım 4'te önerilen antenin UGB sınır şartlarını sağlaması için yapılan bir diğer çalışmada, dikdörtgen yamanın kenarları basamak biçiminde şekillendirildikten sonra yamanın ortasına kare ve bu karenin üzerine gelecek şekilde yatay çubuk biçimde yarıklar açılmıştır. Yarık geometrilerinde yapılan parametre optimizasyon çalışmaları sonucunda Şekil 3.59'da görüleceği üzere antene UGB sınır frekanslarında çalışma özelliği kazandırılmıştır.



Şekil 3.59. Tasarım 4'te önerilen antenin yaması üzerinde açılan yarıkların geri dönüş kaybı karakteristiklerine etkisi

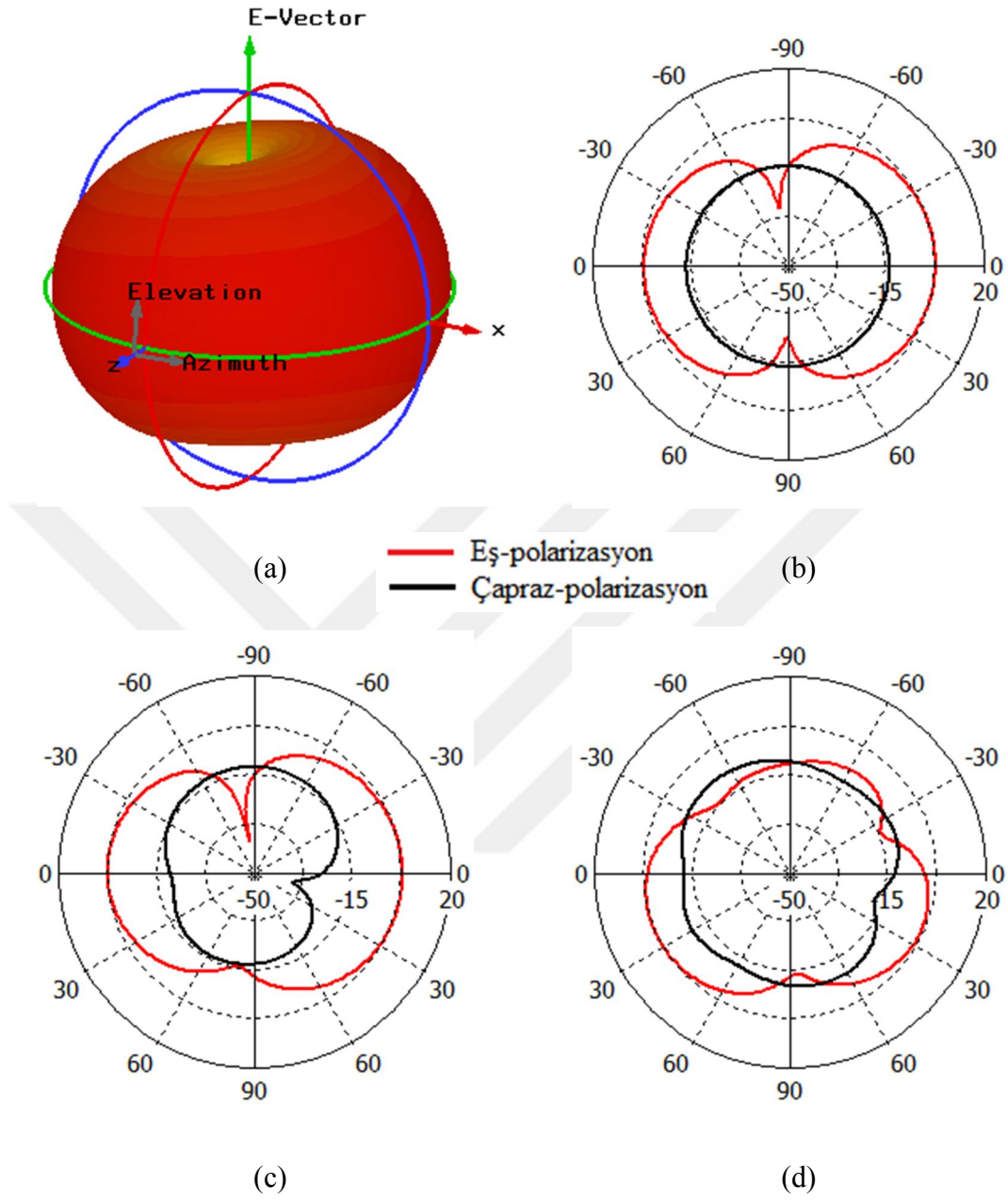
Bu bağlamda Şekil 3.59’te görüleceği üzere 3.05 GHz frekansında geri dönüş kabının - 10 dB’nin altına düşmesi sağlanmış ve 6.3 GHz frekansından itibaren geri dönüş kaybı karakteristiğinde belirgin bir iyileşme sağlanmıştır.

Önerilen antene ait voltaj duran dalga oranı grafiği Şekil 3.60’da gösterilmektedir. Verilen grafikte görüleceği üzere UGB frekans aralığı boyunca (3.1 GHz-10.6 GHz) VSWR değerinin 2’nin altında olduğu görülmektedir.

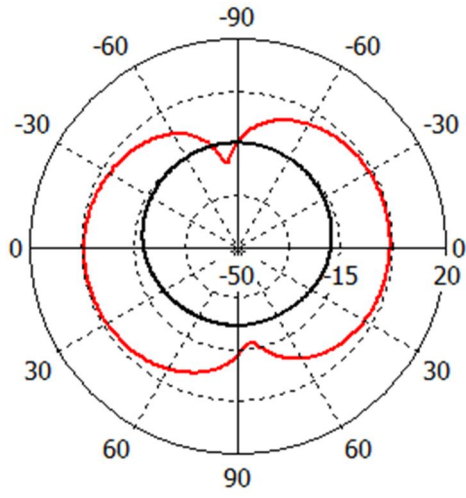


Şekil 3.60. Tasarım 4 antenine ait voltaj duran dalga oranı (VSWR) grafiği

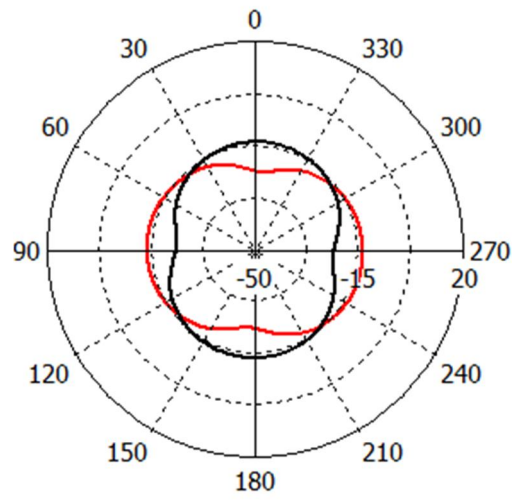
Tasarım 4’te önerilen antene ait 3 GHz’de üç boyutlu omni-directional ışıma örüntüsü Şekil 3.61 (a)’da gösterilmiştir. 3 GHz, 6 GHz ve 9 GHz frekanslarına ait Azimut=0°’deki eş-polarizasyonu (co-polarization) ve çapraz-polarizasyonu (cross-polarization) içeren elektrik alan (E-alan) omni-directional ışıma örüntüleri ise sırasıyla Şekil 3.61 (b), (c) ve (d) olarak gösterilmiştir. Benzer şekilde antenin 3 GHz, 6 GHz ve 9 GHz frekanslarında Azimut=90°, Elevasyon=90° açılarındaki elektrik alan (E-alan) ışıma örüntüleri de Şekil 3.62’de gösterilmiştir. Şekillerden de görüleceği üzere bu çalışmada önerilen anten kabul edilebilir derecede yönsüz bir şekilde ışıma yapmaktadır.



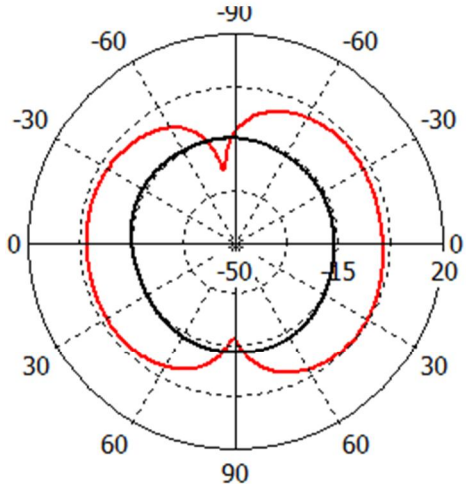
Şekil 3.61. Önerilen antene ait ışıma örüntüleri (a) 3 GHz frekansındaki üç boyutlu ışıma örüntüsü, (b) 3 GHz (c) 6 GHz (d) 9 GHz frekansları için Azimut=0° açısında E-alan ışıma örüntüleri



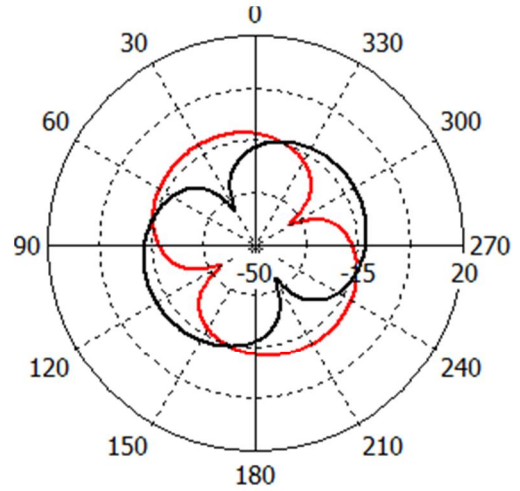
(a)



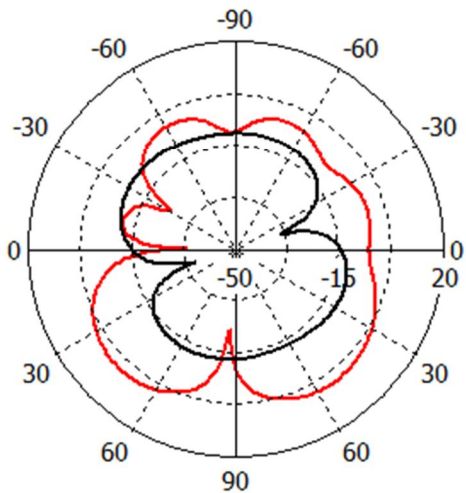
(d)



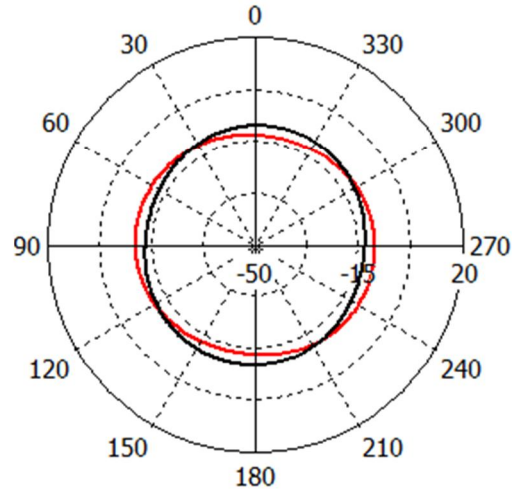
(b)



(e)



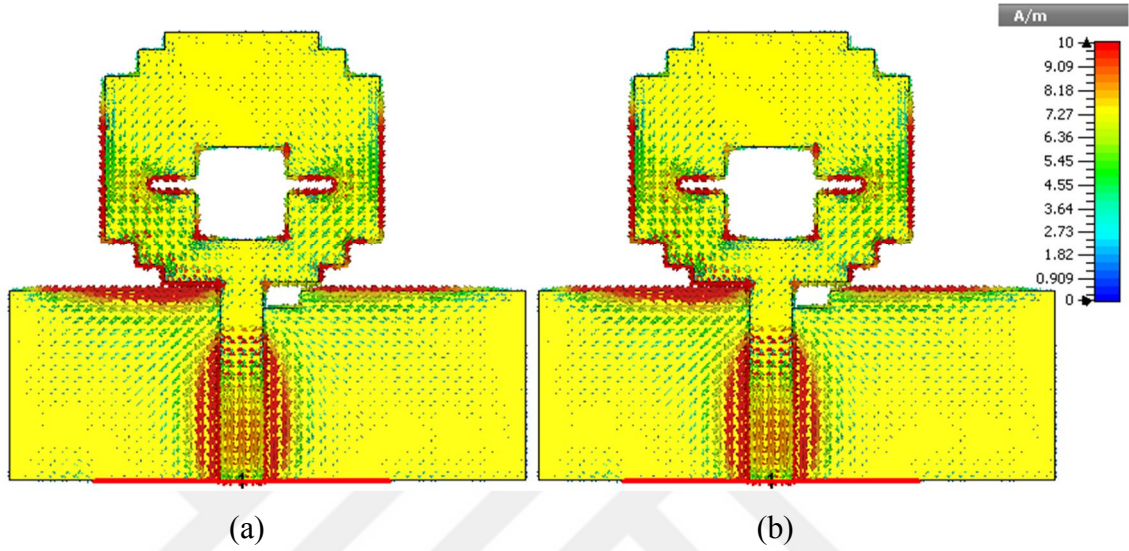
(c)



(f)

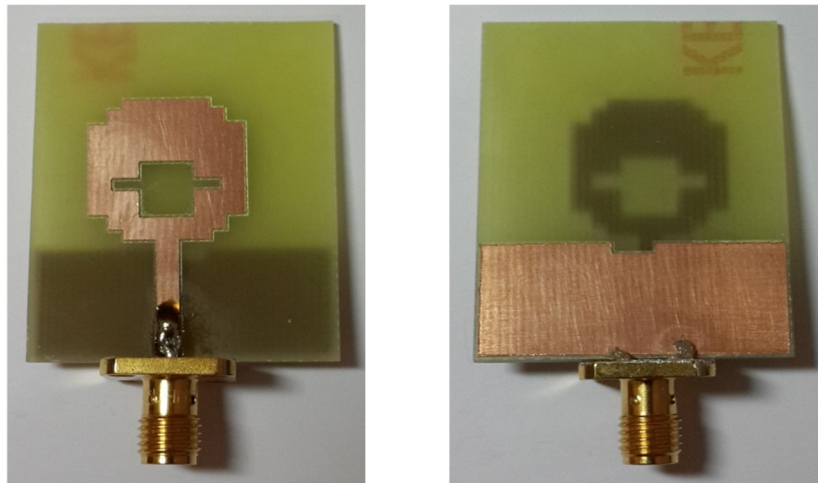
Şekil 3.62. Önerilen antene ait ışıma örüntüleri, Azimut=90° açısında E-alan (a) 3 GHz (b) 6 GHz (c) 9 GHz, Elevasyon=90° açısında E-alan (d) 3 GHz (e) 6 GHz (f) 9 GHz

Önerilen antenin 6 GHz ve 9 GHz frekanslarında akım dağılım grafikleri Şekil 3.63’de sırasıyla gösterilmiştir. Açılan yarıkların olduğu bölgelerde akımın yoğunlaştığı kırmızı renkte olan bölgeler şekillerden görülmektedir. Bu bölgeler antenin ışıma karakteristiğini etkileyen kısımlardır.

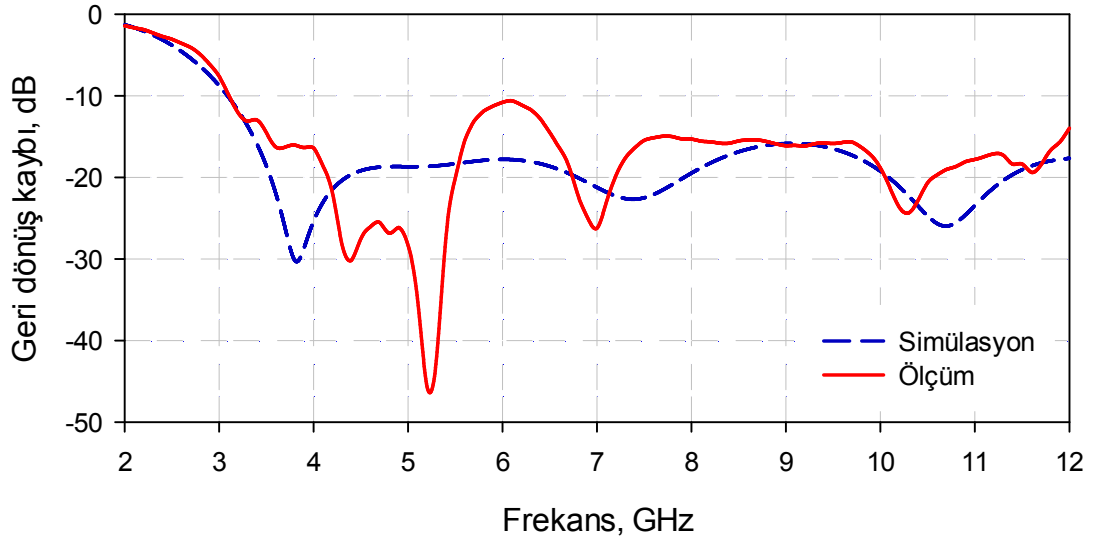


Şekil 3.63. (a) 6 GHz (b) 9 GHz frekansları için akım dağılım grafikleri

Yapılan tüm simülasyon sonuçları incelenerek üretimi kararlaştırılan Tasarım 4 isimli mikroşerit anten, baskı devre kazıma tekniği ile Şekil 3.64’teki gibi gerçekleştirilerek SMA konnektörleri lehimlenmiştir. Yansısız odalarda network analizör vasıtası ile yapılan ölçüm sonuçlarının simülasyon sonuçları ile kıyaslanması grafiği ise Şekil 3.65’te gösterilmiştir.



Şekil 3.64. Tasarım 4 antenin laboratuvar ortamında gerçekleştirilmiş halinin ön yüz ve arka yüz görüntüleri



Şekil 3.65. Tasarım 4’te önerilen antenin geri dönüş kaybı ölçüm ve simülasyon sonuçları kıyaslama grafiği

Grafikte de görüleceği gibi Tasarım 4 olarak adlandırılan mikroşerit antenin simülasyon ve ölçüm sonuçları UGB standartlarını karşılayacak nitelikte olup sonuçlar benzerlik göstermektedir. Simülasyon sonuçlarının ve ölçüm sonuçlarının farklılık göstermesinin nedenleri; fabrikasyon hataları, benzetim parametrelerinin bire bir ayarlanamaması, konnektör bağlanması ve lehimleme kaynaklı pürüzlüklerden kaynaklanmaktadır.

Yapılan literatür araştırması neticesinde UGB haberleşme sistemleri için tasarlanmış birçok mikroşerit yama tasarımının olduğu görülmüştür. Kullanılan taban malzeme özelliklerine göre değişik avantajları bulunan bu antenlerin asıl amacı FCC tarafından belirlenmiş UGB haberleşme standartlarını karşılarken aynı zamanda tasarımı minyatürize ederek kolay üretilebilir bir anten oluşturmaktır. Bu bağlamda literatür incelemeleri yapılan antenler ile önerilen antenlerin kıyaslaması yapılırsa öncelikle kullanılan taban malzemelerin avantajları irdelenmelidir. İncelenen tüm tasarımlarda FR4 taban malzemesi kullanılmış olmasına rağmen Tablo 3.6’da gösterildiği gibi dielektrik katsayıları, kayıp tanjantları, taban malzemesi kalınlıkları birbirinden farklı değerlerdedir.

Tablo 3.6 Önerilen antenlerin literatür antenleri ile kıyaslanması

Anten Adı	Dielektrik katsayısı	Kayıp Tanjant	Taban malzemesi kalınlığı (mm)	Taban malzemesi	Anten Boyutu En/Boy (mm)
Literatür 1. anten	4.2	0,010	0.762 mm	FR4	45x50 mm ²
Literatür 2. anten	4.4	0,018	1.600 mm	FR4	30x35 mm ²
Literatür 3. anten	4.4	0,020	1.200 mm	FR4	30x40 mm ²
Literatür 4. anten	4.0	0,020	0.800 mm	FR4	29x31 mm ²
Önerilen antenler	4.3	0,020	1.300 mm	FR4	30x34 mm ²

Taban malzemesinin parametrelerinden biri olan dielektrik katsayısı, antenin ışıma performansını önemli ölçüde etkilediği için tasarıma başlamadan önce titizlikle seçilmelidir. Dielektrik katsayı ne kadar yüksek olursa taban malzemesinden geçen elektromanyetik alan dalgaları da o ölçüde olumsuz olarak etkilenmektedir. Dielektrik katsayısı değerlerine bakıldığında önerilen antenlerin, Literatür 2. Anten ve Literatür 3. Antene göre avantajlı olduğu fakat Literatür 1. Anten ve Literatür 4. Antene göre ise dezavantajlı olduğu görülmektedir. Aynı şekilde kayıp tanjant değerinin de küçük olması anten performansını arttıran bir parametredir. Literatür 1. Anten ve Literatür 2. Antenin kayıp tanjant değerlerinin diğerlerine göre daha avantajlı olduğu görülmektedir. Bir diğer parametre olan taban malzemesi kalınlığında ise kalınlığının artması ışımayı arttırmasına rağmen yüzey dalgalanmalarına neden olacağı için ışıma örüntüsünde bozulmalara yol açacaktır. Bu yüzden çok büyük değerlerdeki taban malzemesi kalınlığı UGB antenleri için tercih edilmeyen bir durumdur. Tasarlanan antenlerin küçük ve ergonomik olması istenildiği düşünüldüğünde; minyatürizasyon çalışmaları neticesinde önerilen antenlerin Literatür 4. Antenden sonra ikinci sırada en küçük boyutlara sahip olduğu gözlenmektedir. Yapılan tüm bu incelemeler sonucunda önerilen antenlerin literatürdeki diğer UGB antenlerle eşdeğer düzeyde olduğu bazı özelliklerinin daha üstün olduğu ve UGB haberleşme sistemleri için uygun birer aday olduğu anlaşılmaktadır.

4. BÖLÜM

SONUÇ

4.1. Sonuç

Tez çalışması kapsamında, UGB haberleşme sistemlerinde kullanılmak için dört adet yeni tasarıma sahip mikroşerit yama anten önerilmiştir. Mikroşerit antenler, dielektrik taban malzemesi üzerine yerleştirilen düzlemsel iletken ışıma elemanından, antenin toprak tabakasını oluşturan metal katmandan ve mikroşerit hat beslemesinden meydana gelmektedir. Düzlemsel iletken ışıma elemanlarına baskı devre kazıma yöntemi ile çeşitli geometrik şekiller verilerek ve yarıklar açılarak antenlere ultra geniş bant özelliği kazandırılmıştır. Ayrıca besleme hattının genişliğinin antenlerin rezonans frekanslarını etkilediği, uzunluğunun ise geri dönüş kaybı karakteristiğini genel olarak büyük ölçüde etkilediği tespit edilerek, empedans uyumunu ayarlama da önemli rol oynadıkları gözlenmiştir.

Tez kapsamında sunulan antenler UGB frekanslarında çalışma özelliğine sahip, üretimi kolay ve kompakt bir yapıya sahiptir. Kablosuz haberleşme sistemlerinde kullanılacak antenlerin verimli çalışıp çalışmadığının bir ölçütü olarak; geri dönüş kaybının çalışma frekanslarında -10 dB'den küçük olması ve voltaj duran dalga oranının da 2'den daha küçük bir değerde olması beklenmektedir. Ayrıca UGB frekansları boyunca yönsüz ışıma örüntüsüne sahip olması gerekmektedir. Bu amaçla, ilk olarak anten tasarımı için yirmiye yakın literatür çalışması incelenmiştir. Yapılan literatür incelemelerinin sonucu olarak; anten tasarımında en önemli parametrelerden birinin besleme hattı empedans uyumu olduğu ayrıca mikroşerit antenin ana gövdesini oluşturan yamanın geometrik şekli, boyutu ve köşelerine yapılan modifikasyonların geri dönüş kaybı karakteristiğini

etkilediği anlaşılmıştır. Frekans cevabını etkileyen diğer bir önemli nokta ise ışıma oluşturan yamanın üzerinde açılan yarıkların geometrisi, boyutu ve konumunun olduğu görülmüştür. Antenlerin tasarımında bu hususlar değerlendirilerek çalışmalar bu yönde ilerletilmiştir. Elde edilen bilgiler doğrultusunda antenlerin geometrik şekilleri adım adım tasarlanarak antenlerin UGB sınır değerlerini karşılamaları için yama köşelerinde çeşitli modifikasyonlar yapılmış ve yama üzerinde yarıklar açılmıştır. Genel hattı belirlenen anten tasarımları üzerinde yapılan değişikliklerin etkileri geri dönüş kaybı karakteristiklerine göre kıyaslanarak geometrik parametrelerin optimizasyonu üzerinde çalışılmıştır. Yapılan parametre optimizasyon çalışmaları neticesinde antenlerin UGB standartlarını karşılayacak şekilde düzgün ışıma örüntüsü sergilediği, geri dönüş kaybı karakteristiğinin 3.1 GHz ile 10.6 GHz frekansları arasında -10 dB'nin altında ve voltaj duran dalga oranının da 2'nin altında kaldığı görülmüştür. Önerilen antenlerin prototip üretimleri yapılarak simülasyon sonuçları, ölçüm sonuçlarıyla doğrulanmıştır.

Tez çalışması kapsamında UGB haberleşme sistemlerinde kullanılması için önerilen dört adet mikroşerit yama antenin geometrik şekilleri, tasarım aşamaları, parametre optimizasyonları, geri dönüş kayıpları, voltaj duran dalga oranları, akım dağılım grafikleri ve ışıma örüntüleri değerlendirilmiştir. Tüm bu benzetim sonuçları incelenerek gerçekleştirilmesi kararlaştırılan antenler laboratuvar ortamında Quick circuit 7000 baskı devre kazıma cihazı ile FR4 taban malzemesi kullanılarak üretilmiştir. Antenlerin geri dönüş kayıpları TÜBİTAK UME'de yer alan yansısız odalarda ölçülmüştür. Elde edilen ölçüm sonuçlarının ve simülasyon sonuçlarının kıyaslaması yapılarak birbirleriyle uyumlu oldukları tespit edilmiştir. Sonuçlar arasındaki farklılıkların nedenleri fabrikasyon sırasında meydana gelen milimetrik değişimler, simülasyon parametreleri ve lehimleme pürüzlerden kaynaklanmaktadır. Yapılan değerlendirmeler sonucunda sunulan antenlerin UGB haberleşme sistemlerinde kullanıma uygun olduğu görülmüştür.

Sonuç olarak tez çalışması kapsamında dört farklı yeni mikroşerit antenin teorik ve deneysel çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Benzetim çalışmaları FIT tabanlı çalışan CST paket simülasyon programı ile yapılarak üretimine karar verilen anten yapıları piyasada ve literatür çalışmalarında sıkça kullanılan FR4 taban malzemesi kullanılarak hayata geçirilmiştir. Tezin amacına uygun olarak önerilen antenler UGB haberleşme

sistemlerinde kullanılmak üzere 3.1 GHz – 10.6 GHz frekansları arasında beklenen özellikleri karşılayacak nitelikte oldukları tespit edilmiştir.



KAYNAKLAR

1. Yılmaz, E., 2008. İki Kutuplu Doğrudan Dizili Ultra Geniş Bant Sistemleri Benzetimi. Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak, 80s.
2. First Report and Order, Revision of Part 15 of The Commission's Rules Regarding Ultra-wideband Transmission Systems FCC, 2002.
3. Rafi, G. Z., Shafai L., 2004. Wideband V-slotted diamond-shaped microstrip patch antenna. **Electronics Letters**, **40** (19): 1166-1167.
4. Sadat S., Fardis, M., Geran, F., Dadashzadeh, G., 2007. A compact microstrip square-ring slot antenna for UWB applications. **Progress In Electromagnetics Research**, **67**: 173–179.
5. Akogun, A. E., 2005. Theory and Application of Time Reversal Technique to Ultra Wideband Wireless Communications, Tennessee Technological University , Department of Electrical and Computer Engineering, Master Thesis, Cookeville, TN, 107s.
6. Deschamps, G. A., 1953. Microstrip microwave antennas, 3rd. USAF Symposium on Antennas, October 18-22 1953.
7. Gutton, H., Baissinnot, G., 1955. Flat aerial for ultra high frequencies. French Patent, 70313.
8. Howell, J. Q., 1975. Microstrip antennas. **IEEE Transactions on Antennas and Propagation**, **23** (1): 90-93.
9. Munson, R. E., 1974. Conformal microstrip antennas and microstrip phased arrays. **IEEE Transactions on Antennas and Propagation**, **22** (1): 74-78.
10. Basaran, S. C., 2008. Kablosuz Haberleşme Uygulamaları için Yarı Halka Mikroşerit Anten Tasarımı. Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 79 s.
11. Martinson, R. M., Kuester, E. F. 1988. Accurate analysis of arbitrarily shaped patch resonators on thin substrates, **IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques**, **36**: 324-331.
12. Dang, L., Lei, Z. Y., Xie, Y. J., Ning, G. L., Fan, J. 2010. A compact microstrip slot triple-band antenna for WLAN/WiMAX applications, **IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters**, **9**: 1178-1181.

13. Aydın, E., Can, S., 2010. Modified resonant frequency computation for tunable equilateral triangular microstrip patch. **IEICE Electronics Express**, **7** (7): 500-505.
14. Gao, S. C., Li, L. W., Yeo T. S., Leong M. S., 2001. A dual-frequency compact microstrip patch antenna. **Radio Science**, **36** (6): 1669-1682.
15. Basaran, S. C., Sertel, K., 2013. Dual wideband CPW-fed monopole antenna with split-ring resonators. **Microwave and Optical Technology Letters**, **55**: 2088-2092.
16. Kapusuz, K.Y., Can, S., 2013. Neural network based resonant frequency solver for rectangular shaped shorting pin-loaded antennas. **Microwave and Optical Technology Letters**, **12** (55): 3025-3028.
17. Chung, K., Nam, Y., Yun, T., Choi, J., 2006. Reconfigurable microstrip patch antenna with switchable polarization. **ETRI Journal**, **28** (3): 379-382.
18. Tansarıkaya, İ., 2007. Geniş Bandlı Yama Anten Tasarımı. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 56 s.
19. Azenoui, N. C., Yang, H. Y. D., 2007. A printed crescent patch antenna for ultrawideband applications. **IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters**, **6** (1): 113-116.
20. Hayouni, M., Choubani, F., Denden, M., Vuong, T. H., David, J., 2011. A Novel Compact Ultra-wideband Rectangular Shaped Antenna, pp. 381-385, Progress In Electromagnetics Research Proceedings, March 20–23, Morocco,
21. Liu, X., Yin, Y., Liu, P., Wang, J., Xu, B., 2013. A CPW-Fed dual band-notched UWB antenna with a pair of bended dual-L-shape parasitic branches. **Progress In Electromagnetics Research**, **136**: 623-634.
22. Subbarao, A., Raghavan, S., 2013. Coplanar waveguide-fed ultra-wideband planar antenna with WLAN-band rejection. **Journal of Microwaves, Optoelectronics and Electromagnetic Applications**, **12** (1): 50-59.
23. Eryılmaz, G. M., 2013. Kablosuz Haberleşme Uygulamaları İçin Mikroşerit Beslemeli Yarık Anten Tasarımı. Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Kayseri, 60s.
24. William, J., Nakkeeran, R., 2010. CPW-Fed UWB slot antenna with triangular tuning stub. **International Journal of Computer and Electrical Engineering**, **2** (4): 788-792.

25. Zhou, H.J., Sun, B.H., Liu, Q. Z., Deng, J.Y., 2008. Implementation and investigation of U-shaped aperture UWB antenna with dual band-notched characteristics. **Electronics Letters**, **44** (24): 1387-1388.
26. Satthamsakul, S. Puntheeranurak, S., Benjankaprasert, C., Anantrasirichai, N., 2010. Improvement Microstrip Patch Antenna for Ultra-Wideband by C-Shaped Wide Slot. International Conference on Control, Automation and Systems (ICCAS), 2214 – 2217.
27. Pan, C. Y., Huang, C. H., Horng, T. S., 2005. A new printed G-shaped monopole antenna for dual-band WLAN applications. **Microwave and Optical Technology Letters**, **45** (4): 295-297.
28. Chen, Y., Yang, S., Nie, Z., 2010. Bandwidth enhancement method for low profile E-shaped microstrip patch antennas. **IEEE Transactions on Antennas and Propagation**, **58** (7): 2442-2447.
29. Lee, C. P., Chakrabarty, C. K., 2011. Ultra wideband microstrip diamond slotted patch antenna with enhanced bandwidth. **International Journal of Communications, Network and System Sciences**, **4**: 468-474.
30. Kasi, B., Ping, L. C., 2011. A compact microstrip antenna for ultra wideband applications. **European Journal of Scientific Research**, **67** (1): 45-51.
31. Yesbek, S. M., 2008. Kablosuz Algılayıcı Ağlarında UWB Tekniği Kullanılarak Enerji Tasarrufu Sağlanması. Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Kayseri, 66 s.
32. Ghavami, M., Michael, L. B., Kohno, R., 2007. Ultra Wideband Signals and System in Communication Engineering. Second Edition, John Wiley & Sons, 297 p.
33. Nekoogar, F., 2006., Ultra-wideband Communications: Fundamentals and Applications. Prentice Hall PTR, 216 p.
34. Arslan, H., Chen, Z. N., Di Benedetto, M. G., 2006. Ultra Wideband Wireless Communication, Wiley, 481 p.
35. Ullah, S., Ali, M., Hussain, A., Kwak, K. S., 2009. Applications of UWB Technology (Web sayfası: <https://arxiv.org/pdf/0911.1681.pdf>), (Erişim tarihi: Nisan 2016)
36. Toktas, A., Bicer, M. B., Akdagli, A., Kayabasi, A., 2011. Simple formulas for calculating resonant frequencies of C and H shaped compact microstrip antennas

obtained by using artificial bee colony algorithm. **Journal of Electromagnetic Waves and Applications**, **25** (11-12): 1718-1729.

37. Garg, R., 2001. Microstrip Antenna Design Handbook. Artech House, Boston, 875 p.
38. Balanis C. A., 2005. Antenna Theory Analysis and Design. Wiley Interscience, New Jersey, 1117 p.
39. Bahl, I. J., Bhartia, P., 1980. Microstrip Antennas. Artech House, Dedham, MA, 348 p.
40. Sainati, R. A., 1996. CAD of Microstrip Antennas for Wireless Applications. Artech House, Norwood, MA, 255 p.
41. Biçer, M. E., 2011. WLAN/WIMAX Uygulamaları İçin Kompakt Mikroşerit Anten Tasarımı ve Gerçekleştirilmesi. Mersin Üniversitesi, Fen bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Mersin, 96 s.
42. Uysal, A., 2015. Bir Dairesel Polarizasyonlu Mikroşerit Antende Eksenel Oran Frekans Bant Genişliğinin Mantar Biçimli Bir Elektromanyetik Bant Aralığı Yapısı İle Artırılması. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 90 s.
43. Çekingen, M., 2011. Yapay Manyetik İletken Toprak Yüzeyle Geniş Bant Mikroşerit Anten Tasarımı. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 97 s.
44. Sevgi, L., 1999. Elektromanyetik Problemler ve Sayısal Yöntemler, Birsan Yayınevi, İstanbul, 222 s.
45. CST Microwave Studio in CST Studio Suite 2011 User's Manual, (Web page: www.cst.com), (Erişim tarihi: Nisan 2016).
46. Dinçer, F., 2015, Metamalzemeler, Bakımsız Ortam ve Mikrodalga Uygulamaları. Hatay Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Hatay, 171 s.
47. Weiland, T., 1977. A discretization model for the solution of Maxwell's equations for sixcomponent fields. **Electronics and Communications AEUE**, **31** (3): 116-120.
48. Bartsch, M., Dehler, M., Dohlus, M., Ebeling, F., Hahne, P., Klatt, R., Krawczyk, F., Marx, M., Min, Z., 1992. Solution of Maxwell's equations. **Computer Physics Communications**, **72**: 22-39.

49. Weiland, T., 1996. Time domain electromagnetic field computation with finite difference methods. **International Journal of Numerical Modelling: Electronic Networks, Devices and Fields**, **3**: 295-319.
50. Clemens, M., Schuhmann, R., Weiland, T., 1999. Algebraic properties and conservation laws in the discrete electromagnetism. **Frequenz: Zeitschrift für Telekommunikation**, **53** (12): 219-225.
51. Clemens, M., Gjonaj, E., Pinder, P., Weiland, T., 2000. Numerical simulation of coupled transient thermal and electromagnetic fields with the finite integration method. **IEEE Transactions on Magnetics**, **36**: 1448-1452.
52. Weiland, T., 1977. A Discretization method for the solution of Maxwell's equations for six-component fields. **Electronics and Communications**, **31** (3): 116-120.
53. Rokhlin, V., 1985. Rapid solution of integral equations of classic potential theory. **J. Computational Physics**, **60**: 187-207.
54. Greengard, L., Rokhlin, V., 1987. A fast algorithm for particle simulations. **Journal of Computational Physics**, **73**: 325-348.
55. Mohammadian, A. H., Shankar, V., Hall, W. F., 1991. Computation of electromagnetic scattering and radiation using a time-domain finite-volume discretization procedure. **Computer Physics Communications**, **68**: 175-196.
56. Thoma, P., Weiland, T., 1995. A subgridding method in combination with the finite integration technique. **Microwave Conference, 25th European**, **2**: 770-774.
57. Wikipedia, 2016. Finite Integration Techniques, (Web sayfası: <https://en.wikipedia.org>), (Erişim tarihi: Mayıs 2016).
58. Miklowitz, J., 1980. The Theory of Elastic Wave Guides, Second Edition, Amsterdam, North-Holland, 586 p.
59. Ben-Menahem, A., Singh, S. J., 1981. Seismic Waves and Sources, New York, Springer, 1108 p.
60. Chen, H. C., 1983. Theory of Electromagnetic Waves: A coordinate-Free Approach, New York, McGraw-Hill, 448 p.
61. Achenbach, J. D., 1984. Wave Propagation in Elastic Solid, Amsterdam, North-Holland, 440 p.
62. Altuntas, F., Develi, I., Turkmen, M., 2016. UWB haberleşmesi için elmas şeklindeki ayarlama yarıklarına sahip mikroşerit yama anten tasarımı, s. 1317-

1320. 24. Sinyal İşleme ve İletişim Uygulamaları Kurultayı (SIU), 16-19 May 2016, Türkiye.



ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı, Soyadı: Feyzullah ALTUNTAŞ
Uyruğu: Türkiye (TC)
Doğum Tarihi ve Yeri: 14 Ekim 1986, Kırşehir
Medeni Durumu: Bekâr
Telefon numarası: +90 507 445 10 93
E-mail: feyz.altuntas@gmail.com
Yazışma Adresi: Anafartalar Cad. Alsancak Sok. B Blok No: 4
Türk Telekom Binası Altındağ /Ankara

EĞİTİM

Derece	Kurum	Mezuniyet Tarihi
Yüksek Lisans	EÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Müh.	-
Lisans	EÜ Müh. Fak. Elektrik-Elektronik Müh.	2009
Lise	H.F.E Anadolu Lisesi, Kırşehir	2004

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görev
2011-Halen	Türk Telekom A.Ş.	Uzman Mühendis
2009-2010	Petlas Lastik San. Tic. A.Ş.	Mühendis

YABANCI DİL

İngilizce

YAYINLAR

Altuntas, F., Develi, I., Turkmen, M., 2016. UWB haberleşmesi için elmas şeklindeki ayarlama yarıklarına sahip mikroşerit yama anten tasarımı, s. 1317-1320. 24. Sinyal İşleme ve İletişim Uygulamaları Kurultayı (SIU), 16-19 May 2016, Türkiye.