

**UMTS VE WiMAX UYGULAMALARI İÇİN C
ŞEKİLLİ KOMPAKT MİKROŞERİT ANTEN
TASARIMI VE GERÇEKLEŞTİRİLMESİ**

**2016
YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRİK - ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ**

Cihat ŞEKER

**UMTS VE WiMAX UYGULAMALARI İÇİN C ŞEKİLLİ KOMPAKT
MİKROŞERİT ANTEN TASARIMI VE GERÇEKLEŞTİRİLMESİ**

Cihat ŞEKER

**Karabük Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü**

**Elektrik - Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında
Yüksek Lisans Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

**KARABÜK
Mayıs 2016**

Cihat ŞEKER tarafından hazırlanan “UMTS ve WiMAX UYGULAMALARI İÇİN C ŞEKİLLİ KOMPAKT MİKROŞERİT ANTEN TASARIMI VE GERÇEKLEŞTİRİLMESİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Yrd. Doç. Dr. A. Hayrettin YÜZER

Tez Danışmanı, Elektrik - Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı



Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Elektrik - Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 18/05/2016

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Doç. Dr. İsmail Hakkı TAYYAR (KBÜ)



Üye : Yrd. Doç. Dr. A. Hayrettin YÜZER (KBÜ)



Üye : Yrd. Doç. Dr. Akif DURDU (SÜ)

...../...../2016

KBÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Yüksek Lisans derecesini onamıőtir.

Prof. Dr. Nevin AYTEMİZ

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü





“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”

Cihat ŞEKER

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

UMTS VE WiMAX UYGULAMALARI İÇİN C ŞEKLİ KOMPAKT MİKROŞERİT ANTEN TASARIMI VE GERÇEKLEŞTİRİLMESİ

Cihat ŞEKER

Karabük Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Yrd. Doç. Dr. A. Hayrettin YÜZER

Mayıs 2016, 88 sayfa

Son yılların en popüler mobil haberleşme teknolojileri olarak görülen UMTS ve WiMAX, üçüncü ve dördüncü nesil kullanıcılara yönelik geliştirilen mobil telefonlar vasıtasıyla yüksek kaliteli ses ve veri iletimlerine olanak vermektedir. Bu sayede yeni nesil mobil telefonlar kullanıcılarına sesli ve yazılı görüşmenin yanı sıra görüntülü görüşme, görüntülü mesaj, müzik çalar, video oyunları, internet, veri transferi ve hatta ofis uygulamaları gibi diğer tüm bilgisayar işlevlerine ulaştırabilmektedir. Ancak sağlanan tüm bu servislerin yanında bir mobil telefondan beklenen en önemli özellik hafif ve küçük hacimli olmasıdır. Bu nedenle cihazlarda kullanılan elemanlar da bu profili bozmayacak derecede küçük boyutlarda tasarlanmalıdır.

Mobil telefonların boyut özelliklerini etkileyen elemanların başında antenler gelir. Eski modellerde genellikle harici anten yapıları kullanılırken, gelişmiş modellerde anten cihaz içerisine monte edilebilecek şekilde tasarlanır. Bundan dolayı mobil

telefonlarda genellikle baskı devre teknolojisi ile istenilen boyutlarda üretilebilen mikroşerit yama antenler kullanılmaktadır.

Bu çalışmada arzu edilen boyut özelliklerine sahip, 1900-2200 MHz UMTS bandında, 3400-3600 MHz WiMAX bandında verimli şekilde çalışabilecek sırasıyla 2.05 GHz merkez frekansı civarında rezonansa giren ve 3.5 GHz merkez frekansı civarında rezonansa giren iki adet mikroşerit yama anten tasarımı gerçekleştirilmiştir. Tasarlanan antenler; mikroşerit hat ile beslenmiş, dikdörtgenel iletken yamaya sahip, monopol anten karakteristiği gösteren antenlerdir. Tasarım aracı olarak elektromanyetik alan benzetim ortamı olan Ansoft HFSS paket programı kullanılmıştır. Antenler için tasarım süreci iki aşamada gerçekleştirilmiştir. İlk aşamada UMTS bandı içerisinde ve WiMAX bandı içerisinde ışına yapan monopol yapılar oluşturulmuştur. Sonrasında ise bu monopol yapılar üzerinde c şeklinde açıklıklar oluşturularak arzu edilen anten geometrileri tasarlanmış ve boyutlara ilişkin parametrelerin değerleri teker teker değiştirilerek antenler, UMTS bandını ve WiMAX bandını tamamen kapsayan verimli yapılara dönüştürülmüşlerdir. FR4 bakır plaket üzerine gerçekleştirilen UMTS anteninin boyutları $50 \times 50 \times 1.6 \text{ mm}^3$, WiMAX anteninin boyutları ise $33.25 \times 33.25 \times 1.6 \text{ mm}^3$ dir.

Anahtar Sözcükler : UMTS, WiMAX, 3N anten, 4N anten, kompakt mikroşerit anten, c-şekilli anten.

Bilim Kodu : 905.1.034

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

C-SHAPE COMPACT MICROSTRIP ANTENNA DESIGN AND FABRICATION FOR UMTS AND WiMAX APPLICATIONS

Cihat ŞEKER

**Karabük University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Electrical - Electronics Engineering**

Thesis Advisor:

Assist. Prof. Dr. A. Hayrettin YÜZER

May 2016, 88 pages

UMTS and WiMAX, known as the most popular mobile communication technologies, allows high quality sound and data transmission through mobile phones developed for third generation users. Thus, new generation mobile phones provides vocal and written communication as well as video calls, video messages, music player, video games, internet, data transfer and even other computer functions as office applications for their users. However, besides these services, the most important feature expected from a mobile phone is being light and low profile. For this reason, the components used in these devices must be designed in small sizes in order not to damage this profile.

Antennas are the most important components in the mobile phones that affect dimension features. While external antennas were used in old models, antenna is generally designed as mountable to device in developed models. For this reason,

microstrip patch antenna which can be produced in intended dimensions with printed circuit board technology is generally used in mobile phones.

In this research, designs of microstrip patch antennas can work efficiently in 1900-2200 MHz band for UMTS, 3400-3600 MHz band for WiMAX respectively enters around 2.05 GHz center frequency resonance and enters around 3.5 GHz center frequency resonance are achieved. Designed antennas are fed by microstrip lines, have rectangular conductive patch, show characteristics of monopole antenna. Ansoft HFSS packaged software which is full-wave electromagnetic field simulation environment is used as design tool. For antennas design processes are investigated in two phase. Firstly, create of monopole structure, which is used as servant, in UMTS band and in WiMAX are handled. Then, desirable antennas geometries are designed by forming c-shape slots in monopole structure and by changing parameter values related to dimensions one by one, antennas are converted into an effective structures which completely covers UMTS band and WiMAX band. Dimension of realized UMTS antenna on the FR4 copper plaque is 50 x 50 x 1.6 mm³ and dimension of realized WiMAX antenna on the FR4 copper plaque is 33.25 x 33.25 x 1.6 mm³.

Key Words : UMTS, WiMAX, 3G antenna, 4G antenna, compact microstrip antenna, c-shape antenna.

Science Code : 905.1.034

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının planlanmasında, araştırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalışmamı bilimsel temeller ışığında şekillendiren sayın hocam Yrd. Doç. Dr. A. Hayrettin YÜZER'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Antenlerin basılmasında ve geri dönüş kayıplarının ölçülmesinde tecrübelerinden istifade ettiğim Orta Doğu Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik - Elektronik Mühendisliği Bölümü laboratuvarı çalışanlarına teşekkürü bir borç bilirim.

Sevgili anne-babama manevi destekleri için, eşime hiçbir fedakarlığı esirgmeden yoğun çalışma sürecimde yanımda olduğu için tüm kalbimle teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xvi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xvii
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
1.1. TEZE GENEL BAKIŞ	3
BÖLÜM 2	5
3N VE 4N TEKNOLOJİLERİ.....	5
2.1. 3N VE 4N TEKNOLOJİLERİNİN GENEL ÖZELLİKLERİ	5
2.2. STANDARDİZASYON ÇALIŞMALARI	7
2.2.1. IMT-2000 Ve IMT Advanced Telsiz Arayüz Standartları	9
2.3. UMTS.....	11
2.4. WiMAX.....	12
2.5. UMTS VE WiMAX SERVİSLERİ.....	13
BÖLÜM 3	15
MİKROŞERİT ANTENLER	15
3.1. MİKROŞERİT ANTENLERİN GENEL YAPISI	17
3.2. MİKROŞERİT ANTENLERİN AVANTAJLARI VE DEZAVANTAJLARI	17
3.3. MİKROŞERİT ANTEN ÇEŞİTLERİ	18
3.3.1. Mikroşerit Yama Antenler	18

	<u>Sayfa</u>
3.3.2. Mikroşerit Slot (Yarık) Antenler	20
3.3.3. Mikroşerit Dipol Antenler	20
3.3.4. Mikroşerit Yürüyen Dalga Antenler	21
3.4. MİKROŞERİT ANTEN BESLEME ÇEŞİTLERİ.....	22
3.4.1. Mikroşerit Besleme.....	23
3.4.2. Koaksiyel Besleme	26
3.4.3. Açıklık Kuplajlı Besleme	28
3.4.4. Yakınlık (Elektromanyetik) Kuplajlı Besleme	30
3.4.5. Eşdüzlemsel Dalga Kılavuzu Beslemesi	31
3.5. MİKROŞERİT ANTENLERİN ÖNEMLİ PARAMETRELERİ.....	33
3.5.1. Geri Dönüş Kaybı	33
3.5.2. Gerilim Duran Dalga Oranı (Voltage Standing Wave Ratio, VSWR)	33
3.5.3. Yönlülük Ve Kazanç.....	34
3.5.4. Verim Ve Kalite Faktörü	35
3.5.5. Bant Genişliği	37
3.6. MİKROŞERİT ANTEN ANALİZ YÖNTEMLERİ	37
3.6.1. İletim Hattı Modeli (Transmission Line Model, TLM).....	37
3.6.2. Boşluk Modeli (Cavity Model).....	42
3.7. KOMPAKT MİKROŞERİT ANTENLER.....	45
BÖLÜM 4	47
UMTS VE WİMAX UYGULAMALARI İÇİN ANTEN TASARIMLARI VE ANALİZLERİ	47
4.1. ANSOFT HFSS PAKET YAZILIMI.....	47
4.2. C-ŞEKİLLİ KOMPAKT MİKROŞERİT ANTEN TASARIMLARI.....	48
4.2.1. Tasarlanacak Mikroşerit Antenlerin Yapısal Olarak Sahip Olması Gereken Özellikler	49
4.2.2. UMTS Anteni İçin Temel Anten Geometrisi Ve Tasarım Aşamaları	50
4.2.3. UMTS Bandında Çalışan Monopol Anten Yapısının Tasarlanması	52
4.2.4. UMTS Bandında Çalışan Mikroşerit Yama Anten Yapısının Tasarlanması	57

	<u>Sayfa</u>
4.2.5. WiMAX Anteni İçin Temel Anten Geometrisi Ve Tasarım Aşamaları	64
4.2.6. WiMAX Bandında Çalışan Monopol Anten Yapısının Tasarlanması	66
4.2.7. WiMAX Bandında Çalışan Mikroşerit Yama Anten Yapısının Tasarlanması	71
4.3. UMTS VE WiMAX UYGULAMALARI İÇİN TASARLANAN ANTENLERİN GERÇEKLEŞTİRİLMESİ.....	76
4.3.1. Antenlerin Ölçülmesi.....	78
4.3.2. Sonuçlar	79
BÖLÜM 5	82
TARTIŞMA VE ÖNERİLER.....	82
KAYNAKLAR	85
ÖZGEÇMİŞ	88

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1. GSM ve UMTS teknolojileri ve destekledikleri veri iletim hızları.	11
Şekil 2.2. Kablosuz haberleşme teknolojileri ve destekledikleri veri iletim hızları.	13
Şekil 3.1. Mikroşerit anten geometrileri.	16
Şekil 3.2. Bir DMA'nın genel yapısı.	17
Şekil 3.3. Bazı mikroşerit yama anten geometrileri.	19
Şekil 3.4. Bir dikdörtgen mikroşerit yama antenin ışıma mekanizması.	19
Şekil 3.5. Bazı mikroşerit slot anten geometrileri.	20
Şekil 3.6. Mikroşerit dipol anten.	21
Şekil 3.7. Mikroşerit yürüyen dalga anten örnekleri.	21
Şekil 3.8. Yama anten ile mikroşerit besleme hattı ara yüzeyindeki $H_{teğet}$ 'in, eşdeğer akım yoğunluğu J_z ile gösterimi.	23
Şekil 3.9. Mikroşerit besleme.	24
Şekil 3.10. Mikroşerit besleme.	24
Şekil 3.11. Mikroşerit besleme.	25
Şekil 3.12. Mikroşerit besleme.	25
Şekil 3.13. Koaksiyel besleme yapılmış mikroşerit anten.	26
Şekil 3.14. Prop indüktansının kompanze edilmesi için iletken yamada slot açılmış anten.	27
Şekil 3.15. Yama empedansının elektromanyetik kuplaj yoluyla dönüştürülmesi.	28
Şekil 3.16. Açıklık kuplajlı mikroşerit anten katmanları.	28
Şekil 3.17. Açıklık kuplajlı besleme.	29
Şekil 3.18. Yakınlık kuplajlı mikroşerit anten katmanları.	30
Şekil 3.19. Yakınlık kuplajlı mikroşerit besleme.	30
Şekil 3.20. Eşdüzlemsel dalga kılavuzu beslemeli mikroşerit anten.	32
Şekil 3.21. İletim hattı.	38
Şekil 3.22. İletim hattı modeli.	38
Şekil 3.23. İletim hattı modeline göre bir mikroşerit antende elektrik alan çizgileri.	39
Şekil 3.24. Mikroşerit hat beslemeli dikdörtgen mikroşerit anten.	39
Şekil 3.25. Mikroşerit antenin kenar uzaması.	40
Şekil 3.26. Mikroşerit yama antenin manyetik duvar modeli.	42
Şekil 3.27. Mikroşerit antende yük dağılımı ve akım yoğunluğu.	43

Şekil 3.28. KMA geometrileri.	46
Şekil 4.1. Tasarlanacak olan UMTS antenin yapısı (üst ve yan görünüş).	51
Şekil 4.2. Tasarlanacak olan UMTS antenin yapısı (alt görünüş).	51
Şekil 4.3. Yama uzunluğu ve genişliği 40 mm olan mikroşerit yama anten.	53
Şekil 4.4. Toprak zemin uzunluğu 34 mm, genişliği 50 mm olan mikroşerit yama anten.	53
Şekil 4.5. $L_1=40$ mm (yama uzunluğu), $L_2=40$ mm (yama genişliği), $L_1=34$ mm (toprak zeminin uzunluğu), $L_2=50$ mm (toprak zeminin genişliği) için mikroşerit yama antenin S_{11} grafiği.	54
Şekil 4.6. $L_1=50$ mm (yama uzunluğu), $L_2=50$ mm (yama genişliği), $L_1=34$ mm (toprak zeminin uzunluğu), $L_2=50$ mm (toprak zeminin genişliği) için mikroşerit yama antenin S_{11} grafiği.	55
Şekil 4.7. $L_1=60$ mm (yama uzunluğu), $L_2=60$ mm (yama genişliği), $L_1=34$ mm (toprak zeminin uzunluğu), $L_2=50$ mm (toprak zeminin genişliği) için mikroşerit yama antenin S_{11} grafiği.	55
Şekil 4.8. $L_1=50$ mm (yama uzunluğu), $L_2=50$ mm (yama genişliği), $L_1=29$ mm (toprak zeminin uzunluğu), $L_2=50$ mm (toprak zeminin genişliği) için mikroşerit yama antenin S_{11} grafiği.	56
Şekil 4.9. $L_1=50$ mm (yama uzunluğu), $L_2=50$ mm (yama genişliği), $L_1=39$ mm (toprak zeminin uzunluğu), $L_2=50$ mm (toprak zeminin genişliği) için mikroşerit yama antenin S_{11} grafiği.	57
Şekil 4.10. C şeklinde açıklık oluşturulmuş mikroşerit yama anten (üst ve yan görünüş).	58
Şekil 4.11. C şeklinde açıklık oluşturulmuş mikroşerit yama anten (alt görünüş). ..	58
Şekil 4.12. C şeklinde açıklık oluşturulmuş mikroşerit yama antenin S_{11} grafiği.	59
Şekil 4.13. Besleme noktasının koordinatları (-8, -39, 0) olan mikroşerit yama antenin S_{11} grafiği.	61
Şekil 4.14. Besleme noktasının koordinatları (-16, -39, 0) olan mikroşerit yama antenin S_{11} grafiği.	61
Şekil 4.15. Tasarlanan UMTS mikroşerit yama antenin VSWR grafiği.	62
Şekil 4.16. Tasarlanan UMTS mikroşerit yama antenin $Z_{giriş}$ grafiği.	63
Şekil 4.17. Tasarlanan UMTS mikroşerit yama antenin 2.08 GHz frekansında 3-Boyutlu ışınım (kazanç) diyagramı.	63
Şekil 4.18. Tasarlanan UMTS mikroşerit yama antenin 2.08 GHz frekansında E-Düzlemi ışınım (kazanç) diyagramı (dB) $\varphi = 0^\circ, 180^\circ$	64
Şekil 4.19. Tasarlanan UMTS mikroşerit yama antenin 2.08 GHz frekansında H-Düzlemi ışınım (kazanç) diyagramı (dB) $\varphi = 90^\circ, 270^\circ$	64
Şekil 4.20. Tasarlanacak olan WiMAX antenin yapısı (üst ve yan görünüş).	65

Şekil 4.21. Tasarlanacak olan WiMAX antenin yapısı (alt görünüş).	65
Şekil 4.22. Yama uzunluğu ve genişliği 23.25 mm olan mikroşerit yama anten.....	67
Şekil 4.23. Toprak zemin uzunluğu 20.25 mm, genişliği 33.25 mm olan mikroşerit yama anten.	67
Şekil 4.24. $L_1=23.25$ mm (yama uzunluğu), $L_2=23.25$ mm (yama genişliği), $L_1=20.25$ mm (toprak zeminin uzunluğu), $L_2=33.25$ mm (toprak zeminin genişliği) için mikroşerit yama antenin S_{11} grafiği.	68
Şekil 4.25. $L_1=33.25$ mm (yama uzunluğu), $L_2=33.25$ mm (yama genişliği), $L_1=20.25$ mm (toprak zeminin uzunluğu), $L_2=33.25$ mm (toprak zeminin genişliği) için mikroşerit yama antenin S_{11} grafiği.	68
Şekil 4.26. $L_1=43.25$ mm (yama uzunluğu), $L_2=43.25$ mm (yama genişliği), $L_1=20.25$ mm (toprak zeminin uzunluğu), $L_2=33.25$ mm (toprak zeminin genişliği) için mikroşerit yama antenin S_{11} grafiği.	69
Şekil 4.27. $L_1=33.25$ mm (yama uzunluğu), $L_2=33.25$ mm (yama genişliği), $L_1=18.25$ mm (toprak zeminin uzunluğu), $L_2=33.25$ mm (toprak zeminin genişliği) için mikroşerit yama antenin S_{11} grafiği.	70
Şekil 4.28. $L_1=33.25$ mm (yama uzunluğu), $L_2=33.25$ mm (yama genişliği), $L_1=22.25$ mm (toprak zeminin uzunluğu), $L_2=33.25$ mm (toprak zeminin genişliği) için mikroşerit yama antenin S_{11} grafiği.	70
Şekil 4.29. C şeklinde açıklık oluşturulmuş mikroşerit yama anten (üst ve yan görünüş).	71
Şekil 4.30. C şeklinde açıklık oluşturulmuş mikroşerit yama anten (alt görünüş). ...	72
Şekil 4.31. C şeklinde açıklık oluşturulmuş mikroşerit yama antenin S_{11} grafiği.	72
Şekil 4.32. Besleme noktasının koordinatları (-8, -25.25, 0) olan mikroşerit yama antenin S_{11} grafiği.	73
Şekil 4.33. Besleme noktasının koordinatları (-16, -25.25, 0) olan mikroşerit yama antenin S_{11} grafiği.	73
Şekil 4.34. Tasarlanan WiMAX mikroşerit yama antenin VSWR grafiği.....	74
Şekil 4.35. Tasarlanan WiMAX mikroşerit yama antenin $Z_{giriş}$ grafiği.	75
Şekil 4.36. Tasarlanan WiMAX mikroşerit yama antenin 3.49 GHz frekansında 3-Boyutlu ışınma (kazanç) diyagramı.	75
Şekil 4.37. Tasarlanan WiMAX mikroşerit yama antenin 3.49 GHz frekansında E-Düzlemi ışınma (kazanç) diyagramı (dB) $\varphi = 0^\circ, 180^\circ$	76
Şekil 4.38. Tasarlanan WiMAX mikroşerit yama antenin 3.49 GHz frekansında H-Düzlemi ışınma (kazanç) diyagramı (dB) $\varphi = 90^\circ, 270^\circ$	76
Şekil 4.39. Gerçekleştirilen UMTS anteni.	77
Şekil 4.40. Gerçekleştirilen WiMAX anteni.	77
Şekil 4.41. UMTS antenin ölçüm düzeneği.	78

Sayfa

Şekil 4.42. WiMAX anteninin ölçüm düzeneği 79
Şekil 4.43. Gerçekleştirilen UMTS anteninin benzetim ve ölçüm sonuçları 79
Şekil 4.44. Gerçekleştirilen WiMAX anteninin benzetim ve ölçüm sonuçları..... 80



ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 3.1. Mikroşerit antenlerin karşılaştırılması.	22
Çizelge 3.2. Çeşitli türlerdeki besleme yapılarının karşılaştırılması.....	32
Çizelge 4.1. C şeklindeki açıklığın genişliğinin anten parametreleri üzerine olan etkileri	59
Çizelge 4.2. C şeklindeki açıklığın orijin merkez kabul edilerek saat yönünde döndürülmesinin anten parametreleri üzerine olan etkileri.....	60



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

- D : Anten yönlülüğü
 E : Elektrik alan şiddeti
 e : Anten verimliliği
 f : Frekans
 f_0 : Rezonans frekansı
 H : Manyetik alan şiddeti
 λ : Dalga boyu
 λ_0 : Serbest uzay dalga boyu

KISALTMALAR

- CDMA2000 : Code Division Multiple Access (Kod Bölmeli Çoklu Erişim)
DECT : Digital Enhanced Cordless Telecommunications (Geliştirilmiş Sayısal Kablosuz Telekomünikasyon)
DMA : Dikdörtgen Mikroşerit Anten
EDGE : Enhanced Data Rates for GSM Evolution (GSM Evrimi İçin Geliştirilmiş Data Hızları)
FDD : Frequency-Division Duplexing (Frekans Bölmeli Çoğullama)
FDTD : Finite Difference Time Domain (Zaman Domeninde Sonlu Farklar)
GERAN : GSM/Edge Radio Access Network (GSM/Kenar Radyo Erişim Ağı)
GPRS : General Packet Radio Service (Genel Paket Radyo Servisi)
GSM : Global System for Mobile communications (Mobil İletişim İçin Küresel Sistem)
GSM-MAP : GSM Mobile Application Part (GSM Mobil Uygulama Kısmı)
HFSS : High Frequency Structural Simulator (Yüksek Frekans Yapısal Simülatörü)

HSCSD	: High-Speed Circuit-Switched Data (Yüksek Hızlı Paket Anahtarlama Veri)
IEEE	: The Institute of Electrical and Electronics Engineers (Elektrik Ve Elektronik Mühendisleri Enstitüsü)
IMT Advanced	: International Mobile Telecommunications Advanced (Uluslararası Mobil Telekomünikasyon Gelişmiş)
IMT-DS	: International Mobile Telecommunications - Direct Spread (Uluslararası Mobil Telekomünikasyon – Direkt Yayılma)
IMT-FT	: International Mobile Telecommunications - Frequency Time (Uluslararası Mobil Telekomünikasyon - Frekans Zaman)
IMT-MC	: International Mobile Telecommunications-Multi Carrier (Uluslararası Mobil Telekomünikasyon – Çok Taşıyıcılı)
IMT-SC	: International Mobile Telecommunications-Single Carrier (Uluslararası Mobil Telekomünikasyon – Tek Taşıyıcılı)
IMT-TD	: International Mobile Telecommunications-Time Division (Uluslararası Mobil Telekomünikasyon – Zaman Bölmeli)
IMT-2000	: International Mobile Telecommunications-2000 (Uluslararası Mobil Telekomünikasyon – 2000)
IP	: Internet Protocol (İnternet Protokol)
ITU	: International Telecommunication Union (Uluslararası Telekomünikasyon Birliği)
ITU-R	: ITU-Radiocommunication Sector (Uluslararası Telekomünikasyon Birliği – Radyokomünikasyon Sektörü)
KMA	: Kompakt Mikroşerit Anten
LTE	: Long Term Evolution (Uzun Süreli Evrim)
MAC	: Media Access Control (Ortam Erişim Yönetimi)
MIMO	: Multiple Input Multiple Output (Çoklu Giriş Çoklu Çıkış)
MMICs	: Monolithic Microwave Integrated Circuits (Monolitik Mikrodalga Entegre Devreler)
MoM	: Method of Moment (Moment Yöntemi)
MSC	: Mobile Satellite Communications (Mobil Uydu Haberleşmesi)
OFDM	: Orthogonal Frequency Division Multiplexing (Ortogonal Frekans Bölmeli Çoğullama)

PCS	: Personal Communication Systems (Kişisel Haberleşme Sistemleri)
PSK	: Phase Shift Keying (Faz Kaydırmalı Anahtarlama)
QPSK	: Quadrature Phase Shift Keying (Dörtlü Faz Kaydırmalı Anahtarlama)
TDD	: Time-Division Duplexing (Zaman Bölmeli Çoğullama)
TDMA	: Time Division Multiple Access (Zaman Bölmeli Çoklu Erişim)
TD-CDMA	: Time Division - Code Division Multiple Access (Zaman Bölmeli – Kod Bölmeli Çoklu Erişim)
TD-SCDMA	: Time Division Synchronous Code Division Multiple Access (Zaman Bölmeli Senkron Kod Bölmeli Çoklu Erişim)
UHF	: Ultra High Frequency (Ultra Yüksek Frekans)
ULTRA-FDD	: Ultra-Frequency Division Duplexing (Ultra-Frekans Bölmeli Çoğullama)
UMTS	: Universal Mobile Telecommunications System (Evrensel Mobil Telekomünikasyon Sistemi)
WiMAX	: Worldwide Interoperability for Microwave Access (Mikrodalga Erişim için Dünya Çapında Birlikte Çalışabilirlik)
WLAN	: Wireless Local Area Network (Kablosuz Yerel Alan Ağı)
W-CDMA	: Wideband Code Division Multiple Access (Geniş Bant Kod Bölmeli Çoklu Erişim)
1N	: Birinci Nesil
2N	: İkinci Nesil
3N	: Üçüncü Nesil
3GPP	: 3rd Generation Partnership Project (3. Nesil Ortaklık Projesi)
3GPP2	: 3rd Generation Partnership Project 2 (3. Nesil Ortaklık Projesi 2)
4N	: Dördüncü Nesil

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Teknolojinin büyük bir ivme ile gelişmesi, kişisel iletişim sistemleri (Personal Communication Systems, PCS), mobil uydu iletişimi (Mobile Satellite Communications, MSC), kablosuz yerel ağlar (Wireless Local Area Network, WLAN) ve diğer birçok kablosuz ve taşınabilir iletişim sistemlerinin boyutlarının küçülmesini sağlamıştır. Ayrıca, birden fazla cihaz ile yapılabilecek işlerin tek bir cihazla yapılabilmesi gibi gereksinimleri ortaya çıkarmıştır. Bu durum, küçük boyutlara sahip ve birkaç farklı uygulamada çalışabilecek anten ihtiyacını gerekli kılmaktadır.

Mikroşerit antenler küçük boyut, düzlemsel konfigürasyon, düşük maliyet, uyarlanabilir yapı, kolay üretim ve katıhal aygıtları ile bütünleşebilme gibi birçok avantajlarından dolayı kişisel iletişim sistemleri, mobil uydu haberleşmesi, karasal televizyon yayını, kablosuz yerel alan ağları ve küçük boyutlu anten kullanımı gerektiren diğer minyatür mikrodalga sistemlerinde geniş bir kullanım alanı bulmaktadır [1-4]. Bu avantajlarının yanında dar bant genişliği ve düşük güçlerde kullanılabilme gibi bazı dezavantajları da mevcuttur. Mikroşerit anten alanında literatürde mevcut çalışmaların çoğu daire, üçgen ve dikdörtgen gibi bilinen geometriler üzerinde yoğunlaşmıştır. Ultra yüksek frekans (Ultra High Frequency, UHF) bandında çalışan uygulamalar için bilinen geometrilere sahip mikroşerit antenlerin boyutları nispeten büyüktür. Bu frekanslarda çalışan mikroşerit antenlere göre daha küçük boyutlara sahip antenlere olan ihtiyaçtan dolayı, bilinen geometrilere sahip mikroşerit antenlerin iletken (yama ve toprak) kısımlarında modifikasyonlar yapılarak kompakt mikroşerit anten (KMA) önerilmiştir [1-22]. Bu yöntem ile aynı rezonans frekansı için KMA'nın iletken yama boyutu, mikroşerit antenin iletken yama boyutuna göre önemli oranda küçülmektedir. Anten boyutundaki bu küçülme ile birlikte verim ve bant genişliği performanslarında da

düşüş olabilmektedir [1-4]. Daire, üçgen ve dikdörtgen gibi bilinen geometrilere sahip mikroşerit antenler, boşluk modeli (Cavity Model) [1-4] ve transmisyon hattı modeli (Transmission Line Model, TLM) [23] gibi yöntemlerle analitik olarak analiz edilebilmektedir. Mikroşerit antenlerin analizinde kullanılabilen bu analitik yöntemler, geometrilerinin düzgün olmamasından dolayı KMA'ların analizinde kullanılamamaktadır. Bu nedenle KMA'ların analiz ve tasarımında, genellikle, MoM (Method of Moment) [24] ve FDTD (Finite Difference Time Domain) [25] gibi nümerik hesaplama yöntemlerine dayalı elektromanyetik benzetim programları kullanılmaktadır.

Literatürde C, E, H, L gibi çeşitli geometrilere sahip KMA tasarımları yer almaktadır [17-22]. Bu KMA'lar, baskın modda (TM_{10}) ışımayı sağlayan iletken yamanın ışımaya yapmayan kenarlarında C, E, H, L gibi harflere benzeyecek şekilde slotlar (yarık) açılması ile yapılmaktadır. KMA'lar, aynı boyutlar için daha büyük rezonans frekansı veya aynı rezonans frekansı için daha küçük bir anten elde edilmesini sağlamaktadır.

Mobil haberleşme sistemlerindeki teknolojik gelişim süreci günümüzde "nesil" kavramı ile isimlendirilmektedir. 1980'li yıllarda analog yapıda tasarlanan birinci nesil (1N) mobil haberleşme sistemleri, sonrasında sayısal tabanlı ikinci nesil (2N) mobil sistemlere dönüştürülerek 'Küresel Mobil Haberleşme Sistemi' (GSM) olarak isimlendirilmiştir. İkinci nesil kullanıcının ihtiyaçlarını karşılamak için tasarlanan GSM şebekeleri her ne kadar ses bilgisinin iletilmesi hususunda başarılı olsa da, çoklu ortam özelliklerinin kullanımı konusunda yetersiz kalmıştır. İkinci nesil mobil kullanıcıların ihtiyaçlarının zamanla çoklu ortam özelliklerinin kullanımı yönünde genişlemesi, üçüncü nesil mobil kullanıcı profilinin ortaya çıkmasına neden olmuş ve geniş bant hizmet verilmesine olanak sağlayacak 'Üçüncü Nesil' (3N) mobil haberleşme sistemlerinin geliştirilmesini beraberinde getirmiştir [26]. Ancak bu haberleşme sistemleri kullanıcıların çoklu ortam haberleşme kalitesinin artırılması ve yüksek veri transfer hızı beklentilerini karşılayamamıştır. Bu gereksinimleri yerine getirecek standartlar 2008 yılında ITU-R (ITU-Radiocommunication Sector) tarafından IMT Advanced olarak belirlenerek dördüncü nesil (4N) haberleşme sistemlerinin gelişimi planlanmıştır. 4N terimi sadece hücreli sistemleri değil aynı

zamanda WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access) gibi genişbant kablosuz erişim sistemlerini de içine alır. 4N sistemler 3N için süregelen problemleri çözmek için geliştirilmekle birlikte daha önceki sistemler ile geriye doğru uyumlu ve tamamen IP (Internet Protocol) tabanlıdır [27].

Literatürde, UMTS ve WiMAX uygulamalarında çalışabilecek KMA tasarımı konusunda fazla sayıda çalışma yapılmıştır ancak yama üzerinde c-şeklinde açıklık oluşturularak geniş bant elde edilmiş çalışma sayısı çok daha azdır [5-14]. Bu tez çalışmasında, UMTS ve WiMAX uygulamalarında çalışabilecek kompakt mikroşerit antenlerin tasarlanması ve gerçekleştirilmesi amaçlanmıştır.

1.1. TEZE GENEL BAKIŞ

Çalışmaya 2. Bölüm'de anlatılan 3N ve 4N teknolojileri konusu ile devam edilmiştir. Bu bölümde öncelikle 3N ve 4N teknolojilerinin tarihsel gelişim süreci, 2N mobil sistemler üzerine getirdiği yenilikler ve genel özellikleri anlatılmıştır. Sonrasında ise, teknolojik gelişimin yanında, üzerinde en çok çalışılan konulardan birisi olan 3N ve 4N sistemlerin standardizasyonu hakkında bilgi verilmiştir. Son olarak da dünya genelinde yaygın bir kullanıma sahip olan UMTS ve WiMAX teknolojilerinin genel özelliklerinden ve sağladığı servislerden bahsedilmiştir. Bu bölümde, tasarım konusunda sık sık bahsedilmiş olan UMTS ve WiMAX konuları hakkında temel tanımlar verilmiştir.

3. Bölüm'de ise bu çalışmada tasarımı gerçekleştirilmiş olan mikroşerit yama antenlerin temel özellikleri açıklanmıştır. Bu bağlamda ilk olarak mikroşerit yama antenlerin temel yapısı ve genel özellikleri incelenmiştir. Ardından mikroşerit anten yapılarında kullanılan temel besleme tekniklerinden bahsedilmiştir. Sonrasında ise mikroşerit yama antenlerin analizinde kullanılan yöntemler açıklanmış ve bu yapıların karakteristiklerini belirleyen bazı parametreler anlatılmıştır. Bu bölümde, tasarımı gerçekleştirilmiş olan anten çeşidi hakkında temel teorik bilgiler verilmesi amaçlanmıştır.

Çalışmanın ana hedefini içeren 4. Bölüm’de ise gerçekleşmiş olan UMTS ve WiMAX bandlarında çalışan mikroşerit yama anten tasarımları verilmiştir. Burada ilk olarak, tasarımın gerçekleştirildiği Ansoft HFSS benzetim ortamı kısaca tanıtılmıştır. Sonrasında ise UMTS spektrumu içerisinde ve WiMAX spektrumu içerisinde arzu edilen performansta çalışabilen geniş bantlı mikroşerit yama antenlerin tasarım aşamaları belirtilmiştir. Bu aşamaların her biri bölüm içerisinde ayrıntılı bir şekilde aktarılmıştır. Bu bölümde UMTS ve WiMAX anten tasarımları gerçekleştirilirken tasarım sürecinde yapılan adımlar detaylı şekilde anlatılarak, yapılan çalışma tekrarlanmak istendiğinde eksik bir bölümün kalmaması amaçlanmıştır.

Tasarım sonuçları hakkında yapılacak olan yorumlar ve öneriler 5. Bölüm kapsamında tartışılarak çalışma bitirilmiştir.

BÖLÜM 2

3N VE 4N TEKNOLOJİLERİ

Bu bölümün amacı mobil haberleşme teknolojilerinin tarihsel gelişimini özetleyerek 21. yüzyıl ile ortaya çıkan 3N teknolojisini ve 4N teknolojisini temel hatlarıyla açıklamaktır. Bu sebeple ilk bölümde mobil haberleşme sistemlerinin tarihsel gelişiminden, 3N ve 4N teknolojilerinin temel özelliklerinden bahsedilmiştir. Sonraki bölümde ise yapılan standardizasyon çalışmaları anlatılmıştır. Son olarak da en popüler 3N ve 4N teknolojileri olarak görülen UMTS ve WiMAX konularına değinilerek bölüm sonlandırılmıştır.

2.1. 3N VE 4N TEKNOLOJİLERİNİN GENEL ÖZELLİKLERİ

Mobil haberleşme sistemleri 20. yüzyılın sonlarından başlayarak günümüze kadar çok hızlı bir ilerleme kaydetmiştir. Analog radyo teknolojisi kullanımına dayanan birinci nesil (1N) mobil sistemler, 1990'lı yıllarda yerini GSM teknolojisi olarak da bilinen ikinci nesil (2N) sayısal sistemlere bırakmıştır. Analog sistemlerin yerini sayısal sistemlerin alması, mobil haberleşme tarihinde devrim sayılabilecek nitelikte olup mobil sistemlerin gelişimini daha da hızlandırmıştır. Bu temel dönüşümün ardından gelişimine hızla devam eden 2N sistemler, günümüze kadar kullanımda olsalar da, geniş bant data hizmeti ihtiyacından dolayı 21. yüzyılın başlarında yerlerini üçüncü nesil (3N) mobil sistemlere bırakmaya başlamışlardır [26].

ITU (International Telecommunication Union) tarafından IMT-2000 (International Mobile Telecommunications 2000) standardı çerçevesinde tanımlanan ve yüksek hızlı veri iletimine olanak veren 3N sistemler, kullanıcılara yüksek kaliteli ses iletiminin yanında, mobil internet erişimi, oyun, müzik ve video gibi eğlence hizmetlerinden de faydalanabilme olanakları vermiştir. 3N sistemlerin genel özellikleri aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Her türlü telsiz ortam içerisinde 144 kbit/sn'den, kapsama alanı içerisinde 2 Mbit/sn'ye varan iletim hızlarını destekler,
- Simetrik ve asimetrik veri iletimini destekler,
- Paket anahtarlama ve gerçek zamanlı görüntü iletimini destekler,
- Yüksek ses kalitesi sunar,
- Spektrumu daha verimli kullanarak kapasite artışı sağlamıştır,
- Çoklu ortam hizmetleri ve beraberinde aynı anda birden fazla hizmet sağlar,
- 2N mobil sistemlerinde aynı anda kullanılabilmesine olanak verir [26].

Birinci nesil sistemlerden ikinci nesil sistemlere geçiş, analog sistemlerden sayısal sistemlere geçiş ile sağlandığından, bu sistemler arasında sunulan teknolojik altyapı ve hizmetler açısından belirgin bir farklılık olduğundan bahsedilebilir. Ancak 2N ve 3N sistemler arasında bu derece keskin bir çizgiden bahsedilemez. 2N sistemler ortaya koyduğu alternatif çözümler sayesinde 3N sistemlerin kapasitesine yaklaşabilmiş fakat daha ileriye götürememiştir. Bu nedenle yerini 3N sistemlere bırakması kaçınılmaz olmuştur [26].

3N sistemler ile 2N sistemlere oranla çok büyük gelişmeler kaydedilmiş olsa da hala birçok kısıtlama ve zorluklarla karşılaşmaktadır. Bunlardan bazıları aşağıdaki gibidir:

- Yüksek kaliteli multimedya servisleri sağlamak için daha yüksek veri hızları elde etmek ve bant genişliğini arttırmak güçtür.
- Frekans tayfının fiziksel sınırları kapasiteyi ve bant genişliğini sınırlar
- Farklı servisler ve farklı frekans bantlarında çalışan çevreler arasında dolaşmak güçtür.
- Gezgini ve sabit ağlar arasında saydam bir aktarma yoktur.

Bu kısıtlamalar sorun oluşturmuştur. Daha çok sayıda kullanıcının yüksek veri hızlarına, daha kaliteli iletişime, servislere alışması ve talep etmesiyle 3N sistemler yetersiz kalmaya başlamıştır. Bu yüzden 4N sistemlerin geliştirilmesine başlanmıştır [28].

4N iletişim sistemleriyle birlikte 3N sistemlerin var olan problemlerini çözümlenmek ve çok sayıda yeni servisi desteklemek amaçlanmıştır. Yüksek kaliteli ses, daha net görüntü ve daha yüksek hızlı kablosuz kanallar vb. uygulamalar gibi. 4N tanımı sadece hücresel telefon sistemlerini değil geniş bant kablosuz erişimli iletişim sistemlerinin birçok biçimini içerir. 4N sistemler ile sadece gezgin servisler değil ayrıca sabit kablosuz ağlar da desteklenebilmektedir [28].

2.2. STANDARDİZASYON ÇALIŞMALARI

2N sistemlerin gelişimi ve yaygın olarak kullanımını göz önünde bulunduran ITU üçüncü nesil (3N) mobil sistemlerinde kullanılacak olan ve IMT 2000 olarak isimlendirilen standartları tanımlamak üzere 1990'lı yıllarda çalışmalara başlamıştır. Bu kapsamda 2N sistemler için farklı ülkelerde ortaya çıkan farklı ve uyumsuz standartların ortadan kaldırılması ile tamamen evrensel nitelikte mobil haberleşme sistemi geliştirmek üzere çalışmalar 3GPP (3rd Generation Partnership Project) ve 3GPP2 (3rd Generation Partnership Project 2) şeklinde isimlendirilen iki farklı çalışma grubu tarafından gerçekleştirilmiştir [27].

3GPP grubu GSM standardının geliştirilmesi için çalışırken 3GPP2 grubu CDMA One (Code Division Multiple Access One) standardının gelişimini amaçlamıştır. Bu iki çalışma grubunun birbirleri arasındaki farklılıklar üzerinde uzlaşamaması nedeniyle 3N için de farklı standartlar ortaya çıkmıştır. Bu standartlar 3GPP tarafından geliştirilip Avrupa ve Asya'da kullanılan W-CDMA (Wideband CDMA), 3GPP2 tarafından 2002 yılından itibaren geliştirilerek Kuzey Amerika'da kullanılan CDMA2000 ve CATT (Chinese Academy of Telecommunications Technology) tarafından geliştirilip Çin'de kullanılan TD-SCDMA (Time Division Synchronous CDMA) standartları olmak üzere üç farklı grupta incelenebilir [27].

Dünya genelinde en fazla kullanılan W-CDMA standardı 5 MHz bant genişliğine sahip olup veri hızı mobil kullanıcılar için 144 Kbps, yaya olarak ve şehirsel kullanımda 384 Kbps, sabit kullanım için 2 Mbps olarak öngörülmüştür. 1.25 MHz bant genişliğine sahip CDMA2000 standardı 2N CDMA standardı ile geriye doğru uyumlu olarak 153 Kbps veri hızını destekler. QPSK ile 8PSK arasında uyarlamalı

modülasyon desteği ve 1.6 MHz bant genişliğine sahip TD-SCDMA için aşağı yönlü bağlantı veri hızı turbo kodlama ile maksimum 2 Mbps'dir [27].

Hem 3GPP hem de 3GPP2 standartları hâlen 3N standartlarının genişletilmesiyle elde edilecek tamamen IP (Internet Protocol) tabanlı ağ alt yapısına sahip teknolojilerin ortaya çıkması için geliştirilmektedir. 3N ötesindeki sistemler için başlıca ihtiyaç, multimedya haberleşme kalitesinin artırılması gereksinimi göz önünde tutulduğunda daha yüksek veri transfer hızı ve haberleşme kapasitesidir. Bu gereksinimleri yerine getirecek standartlar 2008 yılında ITU-R (ITU Radiocommunication Sector) tarafından IMT Advanced olarak belirlenerek dördüncü nesil (4N) haberleşme sistemlerinin gelişimi planlanmıştır. 4N terimi sadece hücreli sistemleri değil aynı zamanda WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access) gibi geniş bant kablosuz erişim sistemlerini de içine alır. 4N sistemler 3N için süregelen problemleri çözmek için geliştirilmekle birlikte daha önceki sistemler ile geriye doğru uyumlu ve tamamen IP tabanlıdır. Bu özelliği ile 4N sistemler geniş bant uydu sistemlerinden mevcut 3N sistemlere kadar pek çok sisteme bütünlük olarak çalışabilir hale gelmiştir [27].

4N sistemler daha yüksek veri hızı ve haberleşme kapasitesi yanında aynı zamanda daha fazla hareketlilik (mobility), servis kalitesi (QoS), güvenlik (security) imkânı ile düşük gecikme süresi (latency) sunar. IMT Advanced (International Mobile Telecommunications Advanced) standardı ile tanımlanan hareketlilik sınıfları sabit (0 km/h), yaya (0-10 km/h), araç (10-120 km/h) ve yüksek hızlı araç (120-350 km/h) şeklindedir. 4N sistemler mobil kullanıcıların sabit veya düşük hızlı hareketlilik (yaya ve sabit kullanıcı durumunda) için 1 Gbps, yüksek hızlı hareketlilik (araba ve trenle seyahat durumunda) için ise 100 Mbps gibi yüksek hızlarda veri transferine imkân sağlar. Sadece paket anahtarlama ile çalışan 4N sistemlerin yaygınlaşması ile kullanıcılara ultra geniş bant internet erişimi, internet üzerinden multimedya içerikli eğlence, yüksek kaliteli ses ve yüksek çözünürlüklü video gibi yeni nesil mobil servislerden faydalanma imkânı sağlanmıştır [27].

2.2.1. IMT-2000 Ve IMT Advanced Telsiz Arayüz Standartları

Bir önceki konuda da belirtildiği üzere 3N mobil sistemleri için IMT-2000 ile evrensel bir standardizasyon çalışmasına girişilmişse de, katılımcıların tarihsel, siyasi ya da teknolojik altyapı farklılıklarından kaynaklanan anlaşmazlıkları, IMT-2000 kapsamında birden fazla telsiz arayüzü belirlenmesini zorunlu hale getirmiştir [26].

Tercih edilen telsiz arayüzünün planlanacak olan mobil şebeke yapısı üzerindeki etkisi büyüktür. Mobil şebekenin kapasitesi yanında, mobil kullanıcıların bir baz istasyonundan diğerine geçişleri, çok yönlü yayılma ve parazit hususları da kullanılacak telsiz arayüzü ile doğrudan ilişkilidir [26].

İlgili telsiz ara yüzleri aşağıda belirtilmiştir:

- IMT-DS (Doğrudan Sıralamalı): W-CDMA ya da ULTRA-FDD olarak da bilinir, UMTS teknolojisi tarafından kullanılmaktadır.
- IMT-MC (Çoklu Taşıyıcı): CDMA2000 olarak da bilinir, 2N CDMA (IS-95) üzerine kurulmuştur.
- IMT-TD (Zaman Bölmeli): TD-CDMA ve TD-SCDMA olmak üzere iki türü vardır. 3GPP tarafından hazırlanan standartlar çerçevesinde UMTS için kullanılmaktadır.
- IMT-SC (Tekli Taşıyıcı): EDGE olarak da bilinir.
- IMT-FT (Frekans ve Zaman Bölmeli): DECT olarak da bilinir [26].

4N haberleşme sistemleri için telsiz arayüz standartları ITU (International Telecommunication Union) tarafından IMT-Advanced adı altında belirlenmiştir. ITU, IMT-Advanced olmaya aday olan teknolojilerin taşıması gereken özellikleri;

- İleri seviyeli hizmet ve uygulamaları desteklemek için veri transfer hızını artırmak (yüksek mobiliteli uygulamalar için 100Mbit/s, düşük mobiliteli uygulamalar için 1Gbit/s'lik veri iletişim hızları düşünülmektedir.)

- Yüksek seviyeli hizmet ve uygulamaların fiyat performans açısından kabul edilebilir düzeyde sunulması ile mobil uygulamaların herkes tarafından uygun fiyatlarla yaygın kullanımını sağlamak
- IMT (International Mobile Telecommunications) ailesinde yer alan mobil şebekeler ile sabit şebekeler için tanımlanmış servislerle tam uyumlu olmak
- Telsiz erişim sistemleri ile birlikte çalışabilme kabiliyetine sahip olmak
- Yüksek kaliteli mobil hizmetler sunmak
- Kullanıcı terminallerinin dünya çapında kullanıma uygun olması
- Kullanımı kolay uygulamalar, hizmetler ve cihazlar
- Dünya genelinde dolaşım yapabilme yeteneği

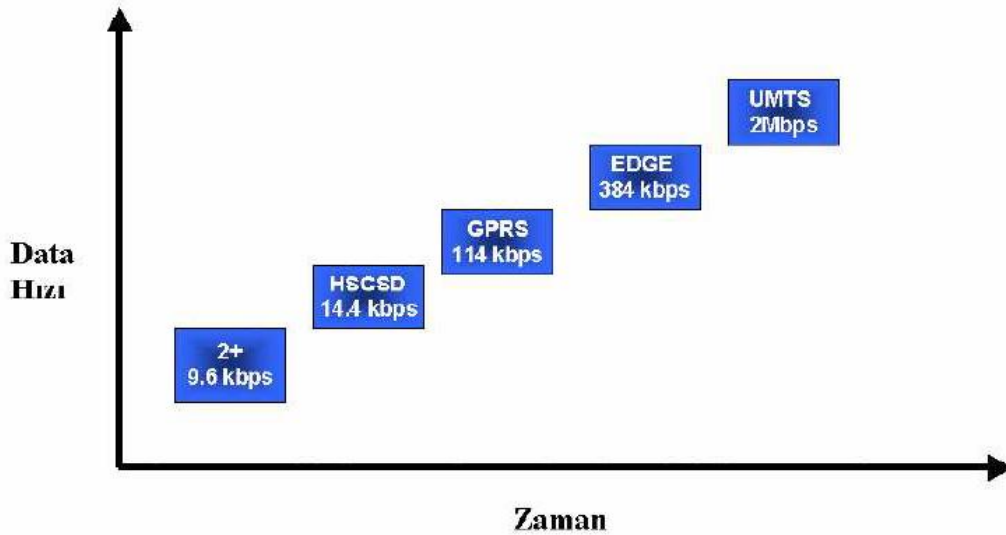
şeklinde tanımlamıştır. 4N' ye geçiş için belirlenen yol haritasında 3GPP' nin (3rd Generation Partnership Project) standartlaştırdığı LTE (Long Term Evolution) ve IEEE' nin (Institute of Electrical and Electronics Engineers) standartlaştırdığı Mobil WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access) teknolojileri karşımıza ara duraklar olarak çıkmaktadır. IMT-Advanced olabilmek için 3GPP LTE-Advanced ile IEEE ise WiMAX 802.16m ile ITU' ya adaylık başvurusu yapmıştır. Her iki teknolojide ITU tarafından IMT-Advanced olarak kabul edilmiştir [29].

IMT-Advanced telsiz ara yüzleri aşağıda belirtilmiştir:

- OFDM (Ortogonal Frekans Bölmeli Çoğullama): LTE ve mobil WiMAX teknolojilerinde kullanılmaktadır.
- MIMO (Çoklu Giriş Çoklu Çıkış): MIMO anten sistemleri kapasiteyi artırmak ve uzaysal çoğullamayı mümkün kılabilmek için LTE ve Mobil WiMAX gibi yeni nesil mobil haberleşme teknolojilerinde yaygın olarak kullanılmaktadır [29].

2.3. UMTS

İlk olarak 9.6 kbit/sn veri iletim hızını destekleyen GSM şebekeleri, HSCSD (High Speed Circuit Switched Data) standardının geliştirilmesiyle beraber daha hızlı veri iletebilmesine olanak vermiştir. Ancak buna rağmen devre anahtarlama teknolojisi üzerine inşa edilen GSM şebekeleri paket anahtarlama teknolojisine dayanan internet benzeri hizmetleri sunmakta yetersiz kalmıştır. Bu eksiklik, akabinde GPRS adında, paket verilerin 114 kbit/sn hız ile mobil şebeke ağı üzerinden iletebilmesine olanak veren yeni bir standart geliştirilmesini de beraberinde getirmiştir. Daha sonrasında ise çalışmalar veri iletim hızının artırılması üzerine yoğunlaşmış ve 384 kbit/sn veri iletim hızına olanak veren EDGE standardı ortaya çıkarılmıştır. EDGE standardı gerçekten de GSM şebekeleri açısından önemli bir teknolojik gelişim sağlamıştır ve evrimine 1920 kbit/sn veri iletim hızına olanak sağlayan GERAN standardına öncülük ederek devam etmiştir. EDGE teknolojisinin en önemli özelliği 2N sistemler ve 3N sistemler arasında köprü görevi görmesidir ve bu teknoloji servis sağlayıcılara yüksek maliyetli UMTS altyapısı olmaksızın yüksek hızlarda veri iletebilme olanağı sağlar. Ancak bu yenilik dahi UMTS teknolojisinin GSM teknolojisinin yerini almasına engel olamamıştır [26]. Şekil 2.1’de yukarıda bahsi geçen teknolojilerin kronolojik sıralaması ve destekledikleri veri iletim hızları görülmektedir.



Şekil 2.1. GSM ve UMTS teknolojileri ve destekledikleri veri iletim hızları [26].

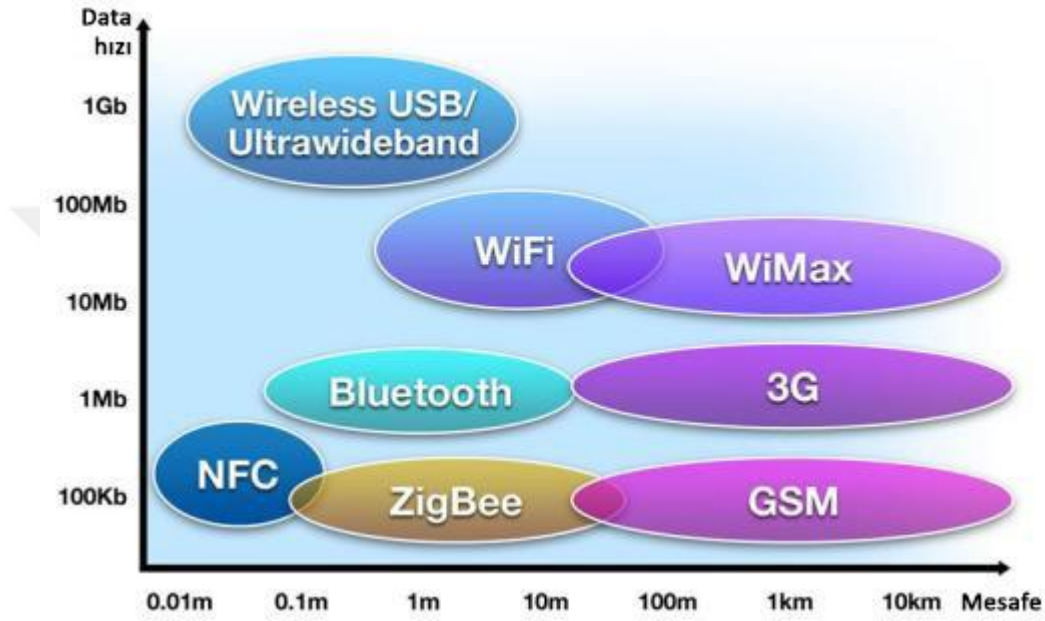
2.4. WiMAX

1999 yılında IEEE tarafından, kentsel alanda kullanılabilir, 10 – 60 GHz frekansları arasında, fiber optik haberleşmenin yerini alacak yüksek hızlı kablosuz iletişim için IEEE 802.16 standartları oluşturulmuştur. Yayınlanan ilk standart, tek taşıyıcı modülasyon tekniğini kullanan fiziksel katmana ek olarak zaman bölmeli ikilemeyi (Time Division Duplexing, TDD) veya frekans bölmeli ikilemeyi (Frequency Division Duplexing, FDD) destekleyen, ayrıca zaman bölmeli çoklu erişim (Time Division Multiple Access, TDMA) yapısını da barındıran medya erişim kontrolü (Media Access Control, MAC) katmanlı bir yapıya sahiptir. İlk standardın yayımlanmasından sonra mevcut standardın iyileştirilme ve geliştirilmesine yönelik çalışmalar yapılmıştır [30].

IEEE 802.16'nın, özellikleri oldukça geniş bir alana yayılmış standartlar topluluğuna dönüşmesi, aynı zamanda, tek bir standart isteyen sanayi için bir takım sorunlara yol açmıştır. Sertifikalaştırma ve standart fazlalığı sorununu çözmek, bunlara ek olarak standart tabanlı çözümler geliştirmek amacıyla, 2001 yılının haziran ayında, ticari olmayan bir organizasyon olan WiMAX Forum kurulmuştur. WiMAX Forum tarafından oluşturulan çözümler ve cihaz üreticilerinin birlikte çalışmaları sayesinde 2.5 GHz, 3.5 GHz ve 5.8 GHz frekans bantları, farklı devletler tarafından lisanslanarak kullanılmaktadır. 2.5 GHz frekansı Amerika, Filipinler, Libya, Lübnan, Peru, Rusya, Sri Lanka ve Yunanistan; 3.5 GHz frekansı Amerika, İzlanda, Kanada, Mısır, Peru, Rusya ve Sili; 5.8 GHz Gürcistan, İngiltere, İtalya ve Rusya gibi devletler tarafından lisanslanmıştır [30].

WiMAX, dik frekans bölmeli çoklama (Ortogonal Frequency Division Multiplexing, OFDM) tekniğini kullanan bir teknolojidir. WiMAX'ın başarımı, kullanılan kanal bant genişliğine bağlıdır. WiMAX, oldukça esnek gelişmelere izin veren ve 1.25 MHz'den 20 MHz'e kadar seçilebilen bir bant genişliği sunmaktadır. WiMAX teknolojisi, fiziksel katmanında OFDM kullandığından, kod bölmeli çoklu erişim (Code Division Multiple Access, CDMA) kullanan 3N teknolojisine göre daha yüksek hızlara ulaşılmasını sağlar. CDMA kullanan sistemlere göre daha iyi verimliliğe sahip olan WiMAX'ın bir avantajı da, çok girişli çok çıkışlı (Multiple

Input and Multiple Output, MIMO) uygulamalara olan yatkınlığıdır. Daha fazla kanal kapasitesine, daha yüksek veri aktarım hızına ve daha çok uygulama seçeneğine sahip olması, WiMAX'ın diğer avantajlarından [30]. Şekil 2.2'de çeşitli kablosuz haberleşme teknolojilerinin etkili oldukları mesafe ve destekledikleri veri iletim hızları görülmektedir.



Şekil 2.2. Kablosuz haberleşme teknolojileri ve destekledikleri veri iletim hızları [31].

2.5. UMTS VE WİMAX SERVİSLERİ

UMTS ve WiMAX teknolojileri sayesinde kullanılacak servislerin bir kısmı aşağıda belirtilmektedir:

- Eğlence: İnternet, video, kartpostal, fotoğraf, çoklu ortam mesajları,
- İş: Görüntülü konuşma, IP telefon, elektronik ticaret, bilgi paylaşımı, kişisel bilgi yönetimi, günlük, ajanda, not defteri, çift yönlü video konferans, rehber servisleri, seyahat asistanı, çalışma grubu, uzaktan erişim, ftp, sesli posta, renkli faks,
- Medya: gazete, dergi, reklam,

- Alışveriş: internet üzerinden ticaret, hesap kontrolü, kredi kartı, telefon bankacılığı, otomatik işlem, müzayede,
- Otomasyon: ev otomasyonu, cihazdan cihaza haberleşme,
- Seyahat: konuma bilgilendirme ve rehberlik, elektronik tur, elektronik bilet,
- Ek olarak: TV, radyo, PC, uzaktan erişim, MP3 çalar, MP4 çalar kamera [26].

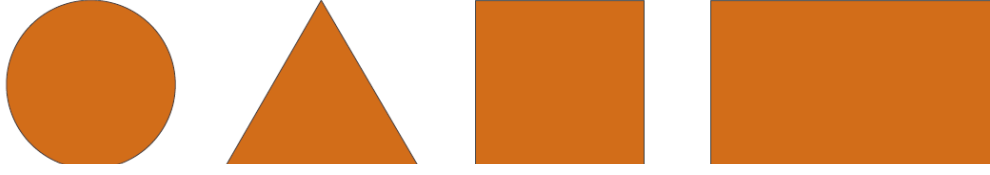


BÖLÜM 3

MİKROŞERİT ANTENLER

Bu bölümde çalışmanın devamı için temel oluşturacak nitelikte mikroşerit antenler hakkında genel bilgiler verilmiştir. Bu bağlamda ilk olarak mikroşerit antenlerin genel yapısı ve özellikleri, daha sonrasında ise mikroşerit anten çeşitleri anlatılmıştır. Sonraki aşamada ise mikroşerit antenlerin önemli bazı parametrelerinin incelenmesi ve analizinde kullanılan yöntemler listelenmiş ve kompakt mikroşerit antenler ile ilgili temel bilgi verilmiştir.

Mikroşerit antenler, genellikle yama, toprak düzlemi, alttaş ve besleme kısmı olmak üzere 4 ana kısımdan oluşan tek katmanlı antenlerdir. Mikroşerit antenin yama düzlemi, tek elemanlı bir anten olarak kabul edilebilir. Tek bir frekansta giriş empedansı ve ışınım diyagramı gibi karakteristik özellikler sabittir. Yama anten, iletken olmayan ince bir alttaşın bir tarafında, yüksekliği (t), serbest uzay dalga boyundan (λ_0) çok küçük olan ($t \ll \lambda_0$) ışınım yapan çok ince bir şerit düzlem ve alttaşın diğer tarafında yer alan, ışınım yapan düzlem ile aynı metalden oluşan toprak düzlemden meydana gelmektedir. Metalik yama, genelde, altın, kalay, nikel gibi korozyona karşı dirençli metaller ile kaplanmış ince bakır folyodan oluşmaktadır. Öncelikli amacı yama ile toprak düzlemi arasında mekanik destek ve düzgün aralık sağlaması amacıyla kullanılan alttaşın kalınlığı, genellikle, serbest uzay dalga boyunun (λ_0) %1 – 5'i olarak alınmaktadır. Mikroşerit antenlerde alttaş olarak genellikle, yüksek dielektrik sabitine (ϵ_r) sahip malzemeler ve kayıp tanjantı 0.005'ten daha az olan malzemeler tercih edilmektedir. Mikroşerit anten ile ilgili literatürde yer alan çalışmaların büyük bir kısmı, dikdörtgen, daire ve üçgen gibi, düzgün geometriler üzerinde yoğunlaşmıştır [1-4]. Bu geometriler Şekil 3.1'de verilmiştir.



Şekil 3.1. Mikroşerit anten geometrileri [30].

Alttaş malzemeler, dielektrik sabitine (ϵ_r) göre genellikle 3 kategoriye ayrılırlar:

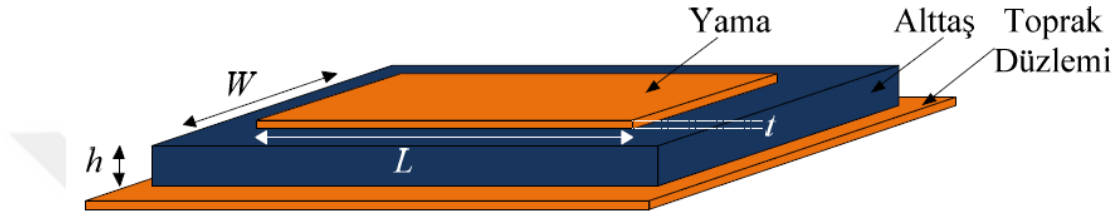
1. Dielektrik sabiti 1.0 ile 2.0 arasında olan malzemeler. Bu tür malzemeler hava, polistren köpük ya da dielektrik bal peteği olabilir.
2. Dielektrik sabiti 2.0 ile 4.0 arasında olan ve teflon takviyeli fiberglastan yapılan malzemeler.
3. Dielektrik sabiti 4.0 ile 10.0 arasında olan malzemeler. Malzeme seramik, kuartz veya alümin içerebilir.

Mikroşerit anten için alttaş seçimi büyük önem taşımaktadır. Alttaşın yüksekliği anten verimini etkilerken dielektrik sabiti ise bant genişliğini ve rezonans frekansını önemli ölçüde etkilemektedir. Diğer yandan yüksekliğin artması, istenmeyen yüzey dalgalarını oluşturmaktadır.

Mikroşerit antenler, yama düzlemi kenarı ile toprak düzlemi arasındaki kaçak alanlar sayesinde ışıma yaparlar. İyi bir anten performansı için düşük dielektrik sabitine sahip kalın bir alttaş kullanılmalıdır. Böylece verim daha yüksek olacak, aynı zamanda daha yüksek bant genişliği ve daha iyi ışıma sağlanacaktır. Ancak böyle bir tasarım ise anten boyutlarının büyümesine sebep olacaktır. Kompakt bir mikroşerit anten elde etmek için yüksek dielektrik sabitine sahip olan bir alttaş tercih edilmektedir. ϵ_r değeri yüksek alttaş seçimi, dar bant genişliği ve daha düşük verime sebep olsa da boyutlarda küçülmeyi sağlamaktadır [3].

3.1. MİKROŞERİT ANTENLERİN GENEL YAPISI

Mikroşerit antenler, bir dielektrik alttaş ve bu alttaşın iki yüzeyinde yer alan iletkenlerden oluşmaktadır. Yapıyı anlamak için dikdörtgen mikroşerit anten (DMA) örneği verilebilir. DMA'lar, Şekil 3.2'de görüldüğü gibi, L uzunluğu, W genişliği ve h yüksekliğinde, ϵ_r dielektrik sabitine sahip bir alttaş ve bunun iki yanında yer alan yama ve toprak düzlemlerinden oluşmaktadır [3].



Şekil 3.2. Bir DMA'nın genel yapısı [30].

3.2. MİKROŞERİT ANTENLERİN AVANTAJLARI VE DEZAVANTAJLARI

Aerodinamik yapısı itibariyle yüksek performans ihtiyacı duyulan uçak, uzay aracı, uydu ve füze yapılarında, ya da mobil radyo ve kablosuz haberleşme sistemleri gibi ticari uygulamalarda küçük profilli, hafif, maliyeti düşük ve entegrasyonu kolay olan mikroşerit anten yapıları tercih edilmektedir. Bu yapıların avantajlı yönlerini aşağıdaki gibi sıralayabiliriz:

- Küçük profilli ve basit yapıdadırlar,
- Düzlemsel yüzeyler yanında düzlemsel olmayan yüzeylerle de uyumludurlar,
- Modern baskı devre teknolojisi kullanılarak üretilebilmeleri sayesinde üretim maliyetleri oldukça düşüktür,
- Mekanik olarak sağlamlıklarından dolayı esnek olmayan yüzeylere de monte edilebilirler,
- Tek parça halinde üretilen mikrodalga entegre devrelere (MMICs) de kolayca entegre edilebilirler,
- İstenilen rezonans frekansı, polarizasyon çeşidi, ışınım ve empedans özellikleri gibi temel anten parametreleri rahatlıkla oluşturulabilir [1].

Her ne kadar mikroşerit anten yapıları bir çok hususta kullanım kolaylıkları sunsa da, aşağıda belirtilen özellikler gibi bazı eksiklikleri de beraberinde getirir:

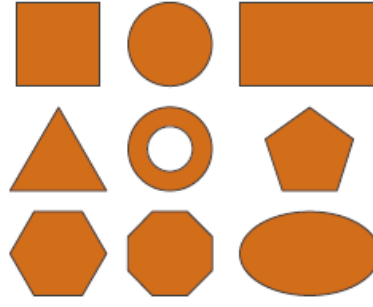
- Düşük verimlilik,
- Düşük kazanç,
- Yüksek kalite faktörü (Q),
- Düşük polarizasyon saflığı,
- Düşük tarama performansı,
- Besleme noktasından istenmeyen ışımlar,
- Dar bant genişliği [1].

3.3. MİKROŞERİT ANTEN ÇEŞİTLERİ

Mikroşerit antenlerin üretimlerinin kolay olması, mikroşerit anten tasarımlarının çok çeşitli şekillere sahip olmasına imkân tanımaktadır. Anten çeşitliliğinin yüksek olması, antenlerin belirli ortak özelliklerine göre kategorize edilmelerini gerektirmektedir. Mikroşerit antenler, geometrilerine göre sınıflandırılacakları gibi besleme çeşitlerine göre de sınıflandırılabilirler [3].

3.3.1. Mikroşerit Yama Antenler

Mikroşerit yama antenler, ışımayı sağlayan düzlemin, altaş üzerine istenilen geometride yerleştirilmesi ile oluşturulmaktadır. Yama ve toprak düzlemi, genellikle, düzgün geometrilere sahiptirler. Işımayı sağlayan yama geometrisi genellikle düzlemsel olmakla birlikte, düzlemsel olmayan geometriler de kullanılmaktadır. Çok sayıda yama anten için ışıma karakteristikleri hesaplanmıştır. Boyutları, çalıştıkları frekans ile ters orantılıdır ve göreceli olarak büyüktürler. Literatürde yer alan bazı mikroşerit yama anten geometrileri Şekil 3.3'de verilmiştir [3].

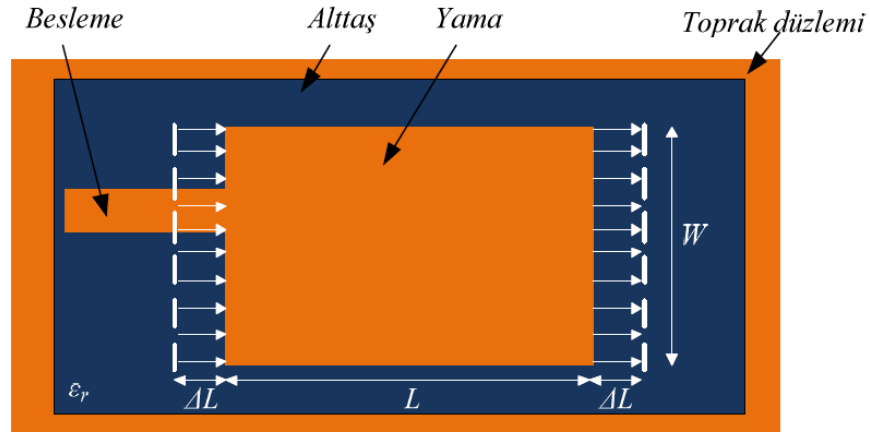


Şekil 3.3. Bazı mikroşerit yama anten geometrileri [30].

Literatürde yer alan çalışmaların çoğu, geometrilerinin ve analizlerinin kolaylığından dolayı, dikdörtgen ve dairesel mikroşerit antenler üzerinde yoğunlaşmıştır [3].

Tipik olarak kazançları 5-6 dB seviyesinde olan mikroşerit yama antenler, 70° - 90° arasında 3 dB hüzme genişliğine sahiptirler [3].

Bir dikdörtgen mikroşerit yama antenin ışınım mekanizması Şekil 3.4'te verilmiştir.

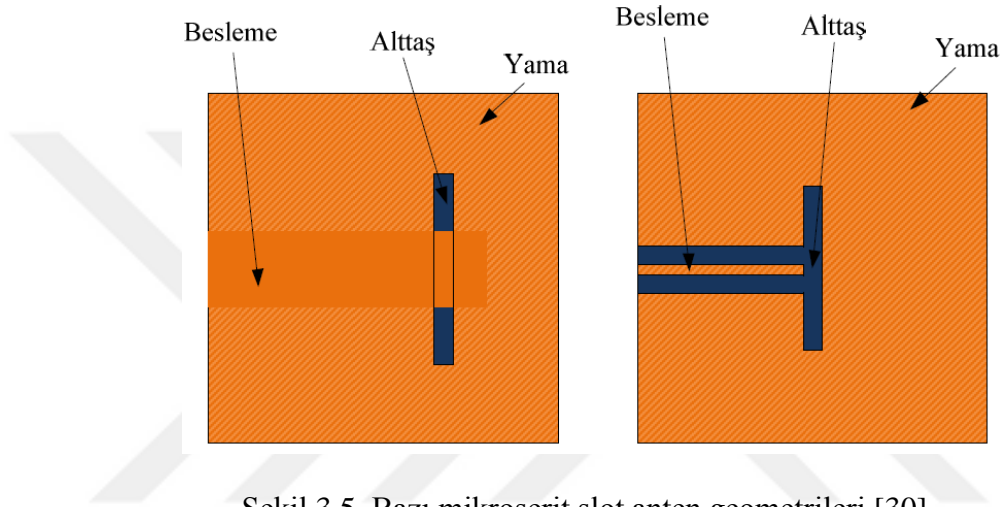


Şekil 3.4. Bir dikdörtgen mikroşerit yama antenin ışınım mekanizması [30].

Bir mikroşerit anten, baskın modda (TM_{10}) W genişliğindeki kenar boyunca ışınım yapmaktadır. Antenin ışınım yapmasını sağlayan kenar kaçak alanları, yama boyutunda elektriksel olarak bir uzamaya sebep olmaktadır. Bu uzama, Δl olarak gösterilir. Elektriksel uzamayı hesaplamak için literatürde çeşitli çalışmalar mevcuttur [3].

3.3.2. Mikroşerit Slot (Yarık) Antenler

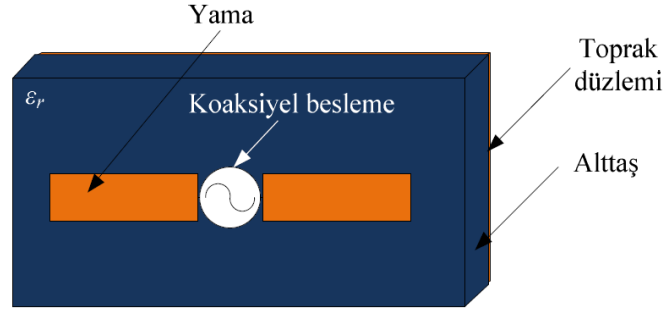
Mikroşerit slot antenler, alttaş üzerine yerleştirilen, ışımaya yapan yama üzerinde boşluklar açılması ile elde edilirler. Yama ve toprak düzlemi, genellikle, düzgün geometrilere sahiptir. Literatürde yer alan bazı mikroşerit slot anten geometrileri Şekil 3.5’te verilmiştir [3]. Genellikle mikroşerit hat veya eşdüzlemsel dalga kılavuzu ile beslenmektedirler.



Şekil 3.5. Bazı mikroşerit slot anten geometrileri [30].

3.3.3. Mikroşerit Dipol Antenler

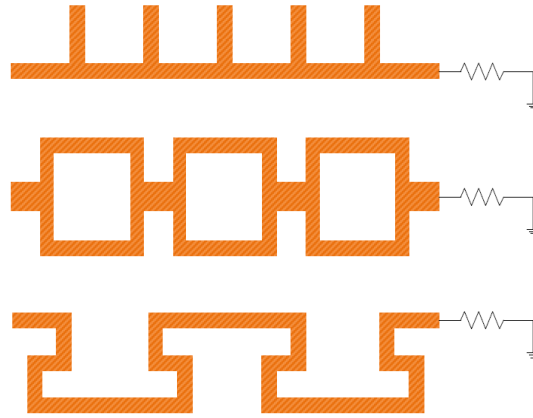
Mikroşerit dipol antenler, kenarlarının oranları nedeniyle dikdörtgen mikroşerit yama antenlerden farklıdır. Bir mikroşerit dipol antenin genişliği, genelde serbest uzay dalga boyunun 0.05 katından daha az olarak alınmaktadır. Mikroşerit dipol anten ile yama antenlerin ışımaya diyagramları, benzer akım dağılımları nedeniyle benzerlik göstermektedir. Ancak ısınma dirençleri ve çapraz polarizasyon ısınmaları birbirlerinden farklıdır. Dipol antenler, küçük boyutları ve lineer polarizasyona sahip olmaları nedeniyle tercih edilirler. Örnek bir mikroşerit dipol anten konfigürasyonu Şekil 3.6’da verilmiştir [3].



Şekil 3.6. Mikroşerit dipol anten [30].

3.3.4. Mikroşerit Yürüyen Dalga Antenler

TE modunu sağlamak için, zincir şeklinde sıralanmış, yeterli genişliğe sahip uzun bir mikroşerit hattın meydana gelen antenler, mikroşerit yürüyen dalga antenler olarak adlandırılırlar. Antenin bir tarafı, duran dalga oluşumunu engellemek için rezistif bir yük ile sonlandırılmaktadır. Zincir anten, kare döngü anten gibi mikroşerit yürüyen dalga antenler, dairesel polarizasyon için kullanılmaktadır. Mikroşerit yürüyen dalga antenlere örnekler Şekil 3.7’de verilmiştir [3].



Şekil 3.7. Mikroşerit yürüyen dalga anten örnekleri [30].

Mikroşerit antenlerin çeşitli özelliklerinin karşılaştırması Çizelge 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Mikroşerit antenlerin karşılaştırılması [30].

Karakteristik	Mikroşerit Yama Antenler	Mikroşerit Slot Antenler	Mikroşerit Dipol Antenler
Profil	İnce	İnce	İnce
Üretim	Çok Kolay	Kolay	Kolay
Polarizasyon	Lineer ve dairesel	Lineer ve dairesel	Lineer
Çift Frekansta Kullanım	Mümkün	Mümkün	Mümkün
Şekil Uyumluluğu	Herhangi bir şekil	Çoğunlukla dikdörtgen ve dairesel	Dikdörtgen ve üçgen
İstenmeyen Işıma	Mevcut	Mevcut	Mevcut
Bant Genişliği	%2 - %50	%5 - %30	≈ %30

3.4. MİKROŞERİT ANTEN BESLEME ÇEŞİTLERİ

Mikroşerit antenler, önceleri mikroşerit hat veya koaksiyel kablo kullanılarak beslenmekteydi. Teknolojinin gelişmesi ile ortaya çıkan ihtiyaçlar, araştırmacıları, besleme teknikleri üzerinde çalışma ve geliştirme yapmaya yöneltmiştir. Yapılan çalışmalar sonucu yeni besleme teknikleri geliştirilmiştir. Bu teknikler, başlıca 5 başlık altında toplanabilir:

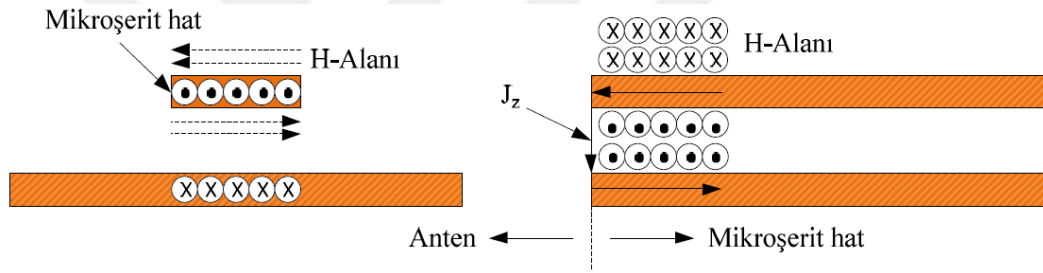
1. Mikroşerit (düzlemsel) besleme,
2. Koaksiyel besleme,
3. Açıklık kuplajlı besleme,
4. Yakınlık (elektromanyetik) kuplajlı besleme,
5. Eşdüzlemsel dalga kılavuzu beslemesi.

Besleme tekniğinin seçimi, bir takım faktörlere bağlıdır. Dikkat edilecek en önemli konu, gücün, besleme ile ışımaya yapısı arasında verimli bir şekilde transfer edilebilmesidir. Bunu sağlayan, iki yapı arasındaki empedans uyumudur. Empedans uyumsuzluğundan kaynaklanan istenmeyen ışımalar, ışımaya diyagramındaki yan lob seviyesinde ve çapraz polarizasyon genliğinde artışa sebep olabilir. İstenmeyen ışımaların en aza indirilmesi ve bunun ışımaya diyagramındaki etkileri, beslemenin seçimindeki önemli faktörlerden biridir. Dikkate alınması gereken bir diğer husus, beslemenin, uygulamaya uygunluğudur.

3.4.1. Mikroşerit Besleme

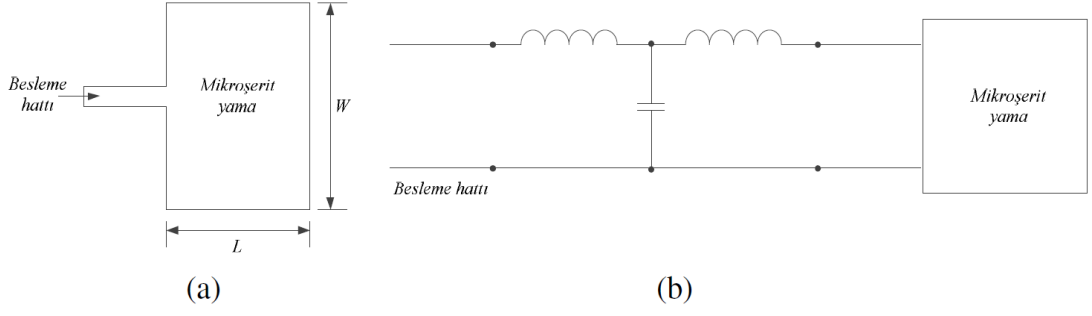
Mikroşerit antenin, aynı alttaş üzerinde mikroşerit besleme kullanılarak beslenmesi, yamanın, mikroşerit beslemenin uzantısı gibi görünmesinden dolayı, doğal bir seçenek olarak görünmektedir. Mikroşerit besleme kullanılarak beslenen mikroşerit anten, besleme ile aynı anda üretilebilmektedir. Fakat bu tekniğin bazı kısıtlamaları mevcuttur [3].

Yamanın kenar bağlantılı mikroşerit hat ile uyarılması, Şekil 3.8’de görüldüğü gibi, mikroşerit hattın birleşim düzlemindeki manyetik alanı H_y ile ilişkili olan eşdeğer elektrik akım yoğunluğu J_z cinsinden tanımlanabilir. Bu akım şeridinin genişliği, mikroşerit hattın efektif genişliği olarak alınmaktadır [3].

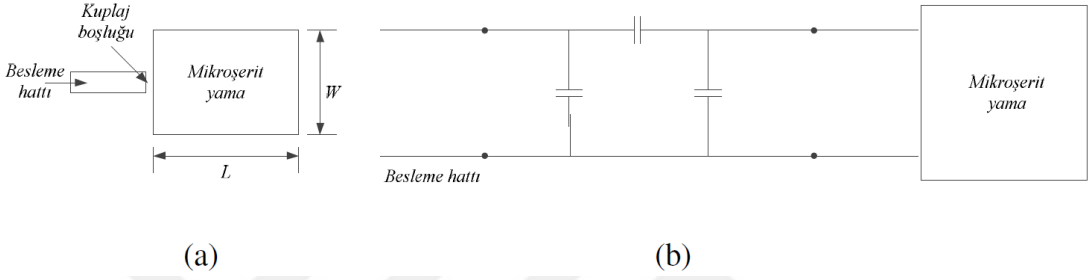


Şekil 3.8. Yama anten ile mikroşerit besleme hattı ara yüzeyindeki $H_{teğet}$ 'in, eşdeğer akım yoğunluğu J_z ile gösterimi [30].

Kenar bağlantılı mikroşerit besleme Şekil 3.9’da verilen eşdeğer devre ile modellenebilir. Benzer şekilde, boşluk kuplajlı mikroşerit besleme, Şekil 3.10’da verildiği gibi, boşluğa eşdeğer bir devre ile temsil edilebilir. Kenar bağlantılı beslemeyi ve FDTD yaklaşımını temel alan besleme analizleri literatürde mevcuttur [3].



Şekil 3.9. Mikroşerit besleme a) ışına yapan kenardan ve b) eşdeğer devresi [30].

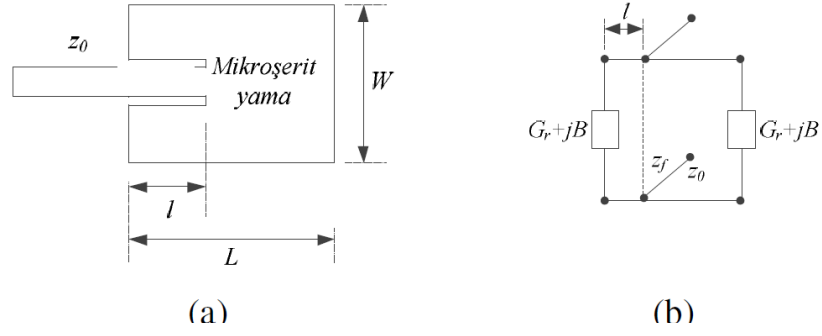


Şekil 3.10. Mikroşerit besleme a) boşluk kuplajlı ve b) eşdeğer devresi [30].

Kenar bağlantılı besleme, empedans uyumsuzluğu kısıtlamasından dolayı olumsuz yönde etkilenmektedir. Çünkü yamanın ışına yapan kenarının giriş empedansı, 50Ω 'luk besleme hattına göre oldukça yüksektir. Bundan dolayı, 50Ω 'luk mikroşerit hat ile yama kenarı arasında harici empedans uyumlandırma devresi kullanılmalıdır. Mikroşerit hat, yama ile birleşim yapılan kısımdaki ışınları engeller. Bu, milimetre-dalga frekanslarındaki, mikroşerit hat genişliği ile yama genişliğinin karşılaştırılabilir olduğu beslemelerde ciddi kısıtlama anlamına gelmektedir.

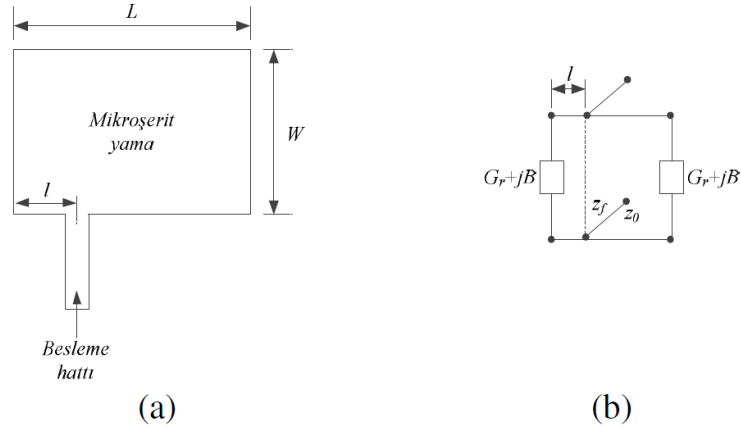
Boşluk kuplajlı besleme, güç kuplajının verimli olması için, boşluk genişliğinin dar olmasını zorunlu kılar. Ancak dar boşluk boyutu, antenin güç kullanma kabiliyetini kısıtlar. Diğer taraftan, açık uçlu mikroşerit besleme, istenmeyen ışınlar sebebiyet verir [3].

Düzlemsel beslemedeki bahsedilen bazı eksiklikleri gideren iyileştirme Şekil 3.11'de gösterilmiştir.



Şekil 3.11. Mikroşerit besleme a) ışıma yapan kenardan inset halde ve b) eşdeğer devresi [30].

Yukarıdaki şekilde mikroşerit besleme, yamanın içine eklenmiştir. Besleme pozisyonu, giriş empedansı 50Ω olacak şekilde seçilmiştir. Inset mikroşerit besleme için yaklaşık eşdeğer devre, yine aynı şekilde verilmiştir. Eşdeğer devre, iletim hattı modeline göre oluşturulmaktadır ve G_r ve B , iletim hattı modeline göre antenin empedanslarıdır. İletim hattının l uzunluğundaki inset kısmı, sonlu boyutlu toprak düzlemlili ve iletken destekli düzlemsel dalga kılavuzu olarak modellenmelidir. Direkt mikroşerit besleme için bir diğer konfigürasyon, Şekil 3.12’de gösterildiği gibi, besleme noktasının, yamanın ışıma yapmayan kenarında seçilmesi ile elde edilir [3].



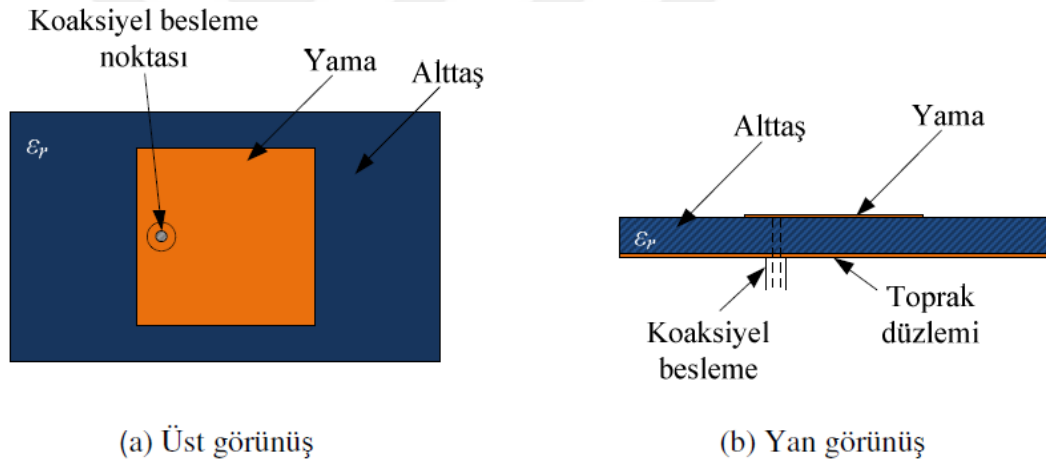
Şekil 3.12. Mikroşerit besleme a) ışıma yapmayan kenardan ve b) eşdeğer devresi [30].

Besleme noktasının, yamanın ışıma yapmayan kenarında seçilmesi durumunda çapraz polarizasyonlu ışıma yüksektir fakat yamanın W/L oranının yaklaşık 1.5 civarında seçilmesi ile en aza indirilebilir. Bu besleme tekniği için eşdeğer devre, yine Şekil 3.12’de verilmiştir.

Düzlemsel mikroşerit beslemenin tasarımı ve üretimi kolaydır. Ancak besleme hattı istenmeyen ışımalara sebep olabilmektedir. Bundan dolayı, bu tür besleme, performans ihtiyacının çok zorlayıcı olmadığı ve beslemenin, yama ile aynı düzlemde olmasını gerektiren uygulamalarda tercih edilir. Elde edilebilen bant genişliği %3 – 5 civarındadır [3].

3.4.2. Koaksiyel Besleme

Gücü bir prop vasıtasıyla iletmek, mikrodalga gücünü transfer etmek için en basit mekanizmalardan biridir. N tipi koaksiyel konnektörlü tipik mikroşerit anten Şekil 3.13'te verilmiştir.



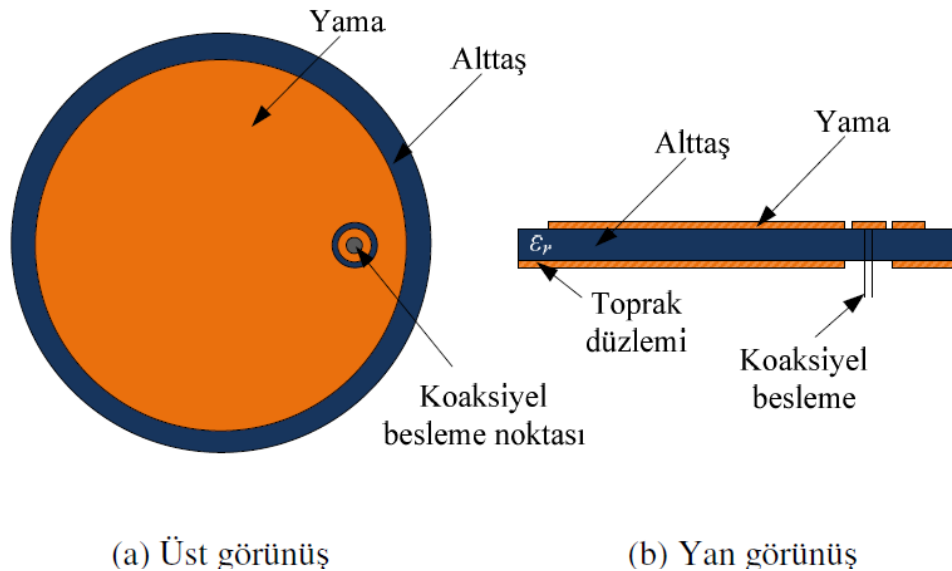
Şekil 3.13. Koaksiyel besleme yapılmış mikroşerit anten [30].

Koaksiyel konnektör baskı devre kartının arka tarafına sabitlenir ve besleme noktasında açılan delikten geçirilen koaksiyel kablunun merkez iletkeni, yama düzlemine lehimlenir. Besleme noktasının pozisyonu, verilen modda en iyi empedans uyumunun sağlandığı pozisyon olarak tespit edilir. Yamanın uyarıtımı besleme akımı J_z 'nin, yamanın E_z alanı ile kuplajlanması sayesinde oluşmaktadır. Kuplajlama sabiti:

$$Kuplaj\ Sabiti = \cos\left(\frac{\pi x_0}{L}\right) \quad (3.1)$$

ile verilir. Eşitlik (3.1)'de yer alan L , yamanın rezonans uzunluğunu, x_0 ise besleme noktasının yama kenarından olan uzaklığını temsil etmektedir. Eşitlik, koaksiyel beslemenin yamanın ışımaya yaptığı noktada olmasının ($x_0=0$ veya $x_0=L$), kuplajlamayı maksimum yapacağını göstermektedir [3].

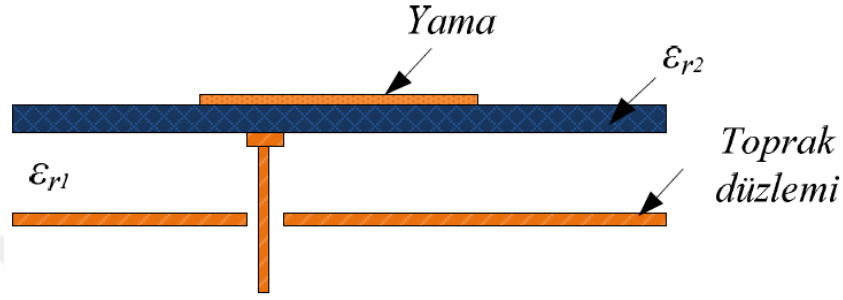
Koaksiyel beslemenin avantajlarından biri, giriş empedansının seviyesini besleme noktası aracılığı ile ayarlamaya imkân sağlamasıdır. Bunun yanında çok sayıda kısıtlamaya sahiptir. Bunlardan ilki, koaksiyel besleme kullanılacak bir anten dizisinin çok sayıda lehimleme noktasına ihtiyaç duyması ve bundan dolayı üretimin zorlaşmasıdır. İkincisi, yama antenin bant genişliğini artırmak için kalın alttaşın kullanılması, daha uzun prop kullanılmasını gerektirmektedir. Bu durum, propdan dolayı oluşacak istenmeyen ışımada, yüzey dalga gücünde ve besleme indüktansında artmaya sebep olur. Ancak, besleme indüktansı, seri bağlanacak kapasitörler ile kompanse edilebilir. Bir yaklaşıma göre seri kapasitör bağlamanın bir yolu, Şekil 3.14'te gösterildiği gibi, koaksiyel kablonun merkez iletkeninin, yama iletkeninde lehimlendiği noktanın çevresinde dairesel bir slot açmaktır [3].



Şekil 3.14. Prop indüktansının kompanse edilmesi için iletken yamada slot açılmış anten [30].

Ancak, dairesel alandaki elektrik alan, ışımaya diyagramında çapraz polarize bileşenlere sebep olacaktır. Bu yaklaşımın bir başka çeşidi Şekil 3.15'te

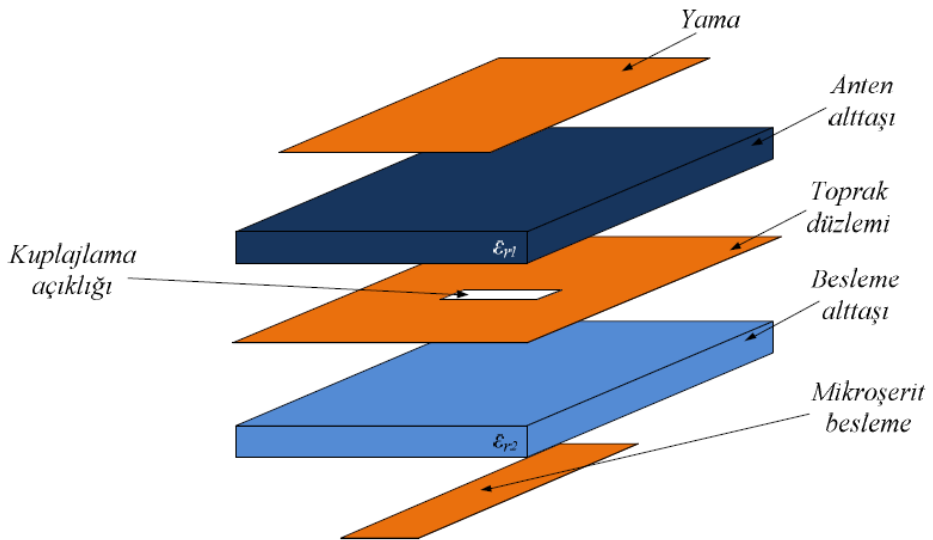
görülmektedir. Anten empedansı, yama ile prop arasında elektromanyetik kuplaj yapılarak istenen değere dönüştürülebilir. Kuplaj bölgesi, yamanın altında konumlandırılan bir disk ile sonlanan prop vasıtasıyla artırılabilir. Giriş empedansı disk boyutuna, disk ile yama arasındaki mesafeye ve prop pozisyonuna bağlıdır. Bu modifikasyon Şekil 3.15’te verilmiştir [3].



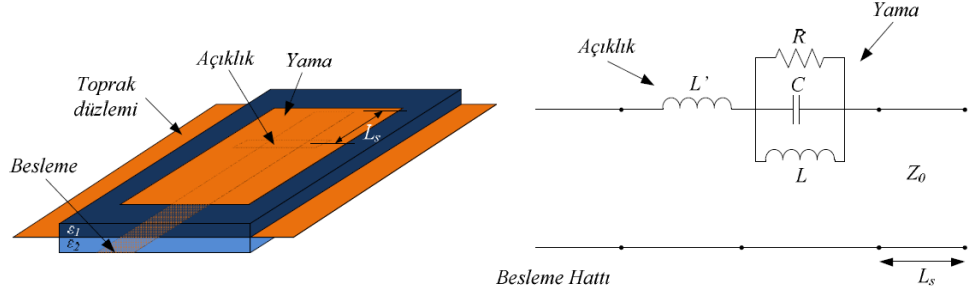
Şekil 3.15. Yama empedansının elektromanyetik kuplaj yoluyla dönüştürülmesi [30].

3.4.3. Açıklık Kuplajlı Besleme

Açıklık kuplajlı besleme konfigürasyonunun dikkate değer özellikleri bant genişliğinin yüksek olması ve besleme yapısından sızan ışımadan ışıma yüzeyini korumasıdır [3]. Bu beslemenin kullanıldığı anten yapısı katmanlar halinde Şekil 3.16’da, birleşik haldeki konfigürasyonu ise Şekil 3.17’de görülmektedir.



Şekil 3.16. Açıklık kuplajlı mikroşerit anten katmanları [30].



(a) Açıklık kuplajlı mikroşerit beslemeli anten

(b) Eşdeğer devre

Şekil 3.17. Açıklık kuplajlı besleme a) mikroşerit anten ve b) eşdeğer devresi [30].

Bu besleme türünde tasarlanan antende, şekilde görüldüğü gibi, ortak bir toprak düzlemi ile ayrılan iki alttaş kullanılmaktadır. Alt alttaşta mikroşerit besleme hattı yamaya, toprak düzlemindeki bir slot açıklığı boyunca elektromanyetik kuplajlıdır. Slot herhangi bir şekle ya da boyuta sahip olabilir ve slotun boyutları ve konumu, bant genişliğini artırmak için geliştirilebilir. İki katman için alttaş parametreleri, bir anlamda, besleme ve ışımaya fonksiyonlarını bağımsız olarak optimize edecek şekilde seçilir. Örneğin, besleme hattı için alttaşın ince ve büyük değerli dielektrik sabitine sahip olması gerekirken yama için alttaşın kalın ve küçük değerli dielektrik sabitine sahip olması gerekir. Bundan başka, besleme hattının açık sonundaki ışımaya, toprak düzleminin koruyucu etkisinden dolayı, yamanın ışımaya diyagramına girişmemektedir. Bu özellik ayrıca polarizasyon saflığını geliştirir.

Kuplajlama slotu, yamaya göre, yamanın manyetik alanının maksimum olduğu yere yakın bir şekilde merkezlenmiştir. Bu, yamanın manyetik alanı ve slot kenarındaki eşdeğer manyetik akım arasındaki manyetik kuplajı artırmak için yapılmaktadır. Kuplajlama sabiti (3.2) aracılığı ile hesaplanabilmektedir.

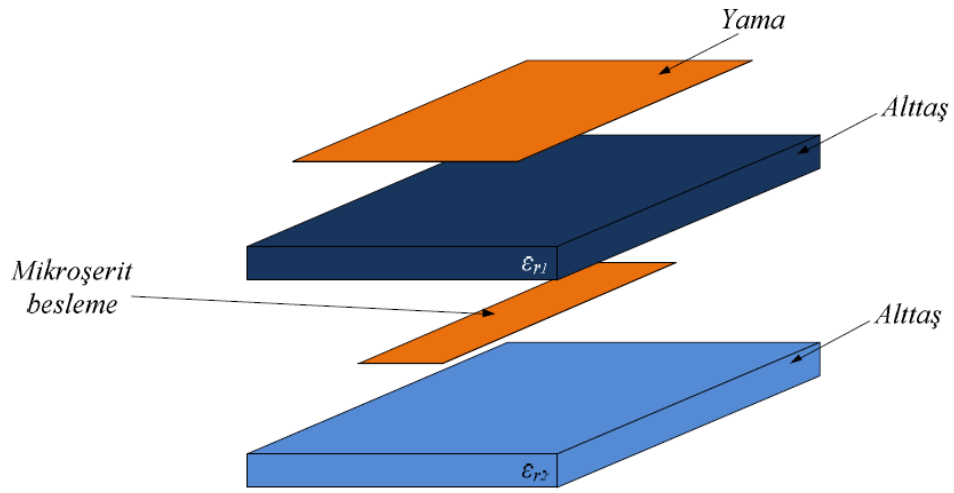
$$Kuplaj\ Sabiti = \sin\left(\frac{\pi x_0}{L}\right) \quad (3.2)$$

Eşitlik (3.2)'de yer alan x_0 , slot ile yama kenarı arasındaki mesafedir. Bu besleme konfigürasyonunda, yama anten, slot kuplajından dolayı beslemeye seri olmaktadır. Işıma yapmayan slot, yamanın RLC ağına seri bir indüktör ile temsil edilmektedir.

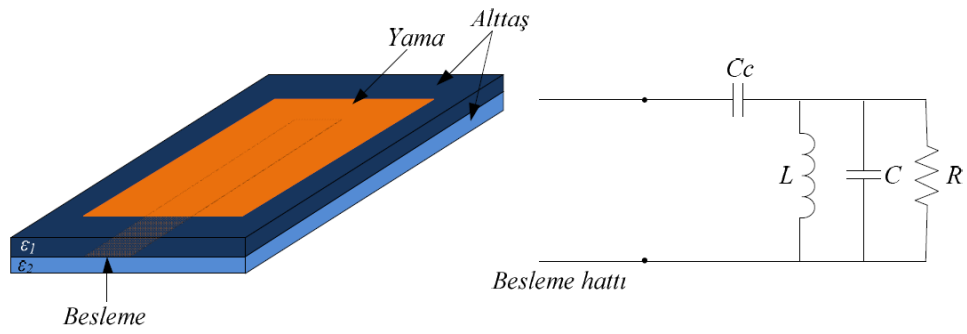
Açıklık kuplajlı besleme tekniği ile yapılan tasarımda kuplaj slotunun şekli, uzunluğu ve besleme hattının genişliği değiştirilerek bant genişliği artırılabilir.

3.4.4. Yakınlık (Elektromanyetik) Kuplajlı Besleme

Temas etmeyen ve eşdüzlemlı olmayan mikroşerit besleme konfigürasyonu kullanılan anten yapısı katmanlar halinde Şekil 3.18’de, birleşik halde Şekil 3.19’da verilmiştir.



Şekil 3.18. Yakınlık kuplajlı mikroşerit anten katmanları [30].



(a) Yakınlık kuplajlı mikroşerit beslemeli anten

(b) Eşdeğer devre

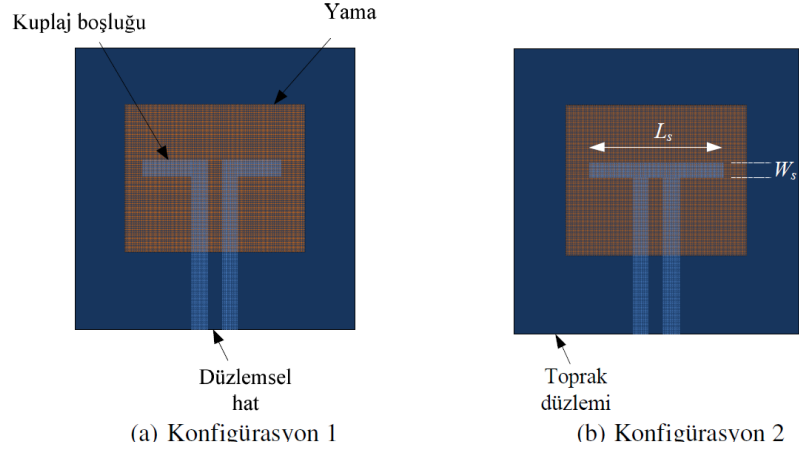
Şekil 3.19. Yakınlık kuplajlı mikroşerit besleme [30].

İki katmanlı alttas kullanan yakınlık kuplajlı beslemede, üstteki alttasta yama ve alttaki alttasda mikroşerit hat yer almaktadır. Besleme hattı, yamanın altında açık

sonludur. Bu besleme türü, elektromanyetik kuplajlı mikroşerit besleme olarak bilinmektedir. Yama ile mikroşerit besleme arasındaki kuplaj kapasitiftir. Yakınlık kuplajlı besleme için eşdeğer devre, Şekil 3.19'da verilmiştir. Eşdeğer devrede yer alan C_c , kuplaj kapasitörünü temsil etmektedir ve yama antenini tanımlayan RLC rezonans devresine seri olarak gösterilmektedir. Bu kapasitör, antenin empedans uyumunu sağlamak ve aynı zamanda antenin bant genişliğini ayarlamak için uygun değerde seçilebilir. Bu besleme tekniği kullanılarak %13 bant genişliği elde edilebilmiştir [32]. İki katmanın alttaş parametreleri, yamanın bant genişliğini artırmak ve mikroşerit beslemenin açık sonundan sızan istenmeyen ışınları azaltmak için uygun bir biçimde seçilebilmektedir. Bu beslemenin üretimi, yama ile besleme hattının tam olarak hizalanabilme zorunluluğundan dolayı biraz zordur. Ancak bu beslemede lehimleme işlemine ihtiyaç duyulmamaktadır [3].

3.4.5. Eşdüzlemsel Dalga Kılavuzu Beslemesi

Bir eşdüzlemsel dalga kılavuzu (Coplanar Waveguide, CPW) beslemesi, mikrodalga monolitik entegre devreler (Microwave Monolithic Integrated Circuits, MMICs) için iletim hattı olarak tercih edilmektedir [3]. Mikroşerit yama anten ve eşdüzlemsel dalga kılavuzu, düzlemsel geometriye sahiptir. Bu nedenle, mikroşerit antenleri MMIC'ler ile entegre ederken mikroşerit antenlerin, eşdüzlemsel dalga kılavuzu ile beslenmesi tercih edilir. Bu besleme tekniği örneği, Şekil 3.15'te görülmektedir. Burada eşdüzlemsel dalga kılavuzu beslemesi, mikroşerit antenin toprak düzleminde oluşturulmuştur. Kuplajlama, slot vasıtasıyla gerçekleştirilmiştir. Bu besleme uyartımı ile ilgili çeşitli konfigürasyonlar Şekil 3.20 (a) ve (b)'de görülmektedir. Şekil 3.20 (a)'da eşdüzlemsel dalga kılavuzu beslemesinin merkez iletkeni, kuplajlama slotunu ikiye bölmektedir. Şekil 3.20 (b)'de eşdüzlemsel dalga kılavuzu, L_s uzunluğunda bir slota dönüştürülmüştür. Şekil 3.20 (a)'da görülen eşdüzlemsel dalga kılavuzu ile yama arasındaki kuplaj indüktif, Şekil 3.20 (b)'de görülen eşdüzlemsel dalga kılavuzu ile yama arasındaki kuplaj kapasitiftir [3].



Şekil 3.20. Eşdüzlemsel dalga kılavuzu beslemeli mikroşerit anten [30].

Bu kuplajlama düzenlemesi, açıklık kuplajlamasına benzemektedir. Bu iki kuplajlama arasındaki tek fark, açıklık kuplajlı mikroşerit antende toprak düzlemindeki slot, bir mikroşerit hat ile beslenmektedir. Eşdüzlemsel dalga kılavuzu beslemesinin bir avantajı, besleme yapısından kaynaklanan ışımanın ihmal edilebilir düzeyde olmasıdır [3].

Mikroşerit antenlerin çeşitli türlerdeki besleme yapılarının karşılaştırılması Çizelge 3.2’de verilmiştir.

Çizelge 3.2. Çeşitli türlerdeki besleme yapılarının karşılaştırılması [30].

Karakteristikler	Koaksiyel Prop Besleme	İşma Yapan Kenar Kuplajlı	İşma Yapmayan Kenar Kuplajlı	Boşluk Kuplajlı Mikroşerit Besleme	İnset Mikroşerit Besleme	Yakınlık Kuplajlı Besleme	Açıklık Kuplajlı Besleme	Eşdüzlemsel Dalga Kılavuzu
Konfigürasyon	Eşdüzlemsel Olmayan	Eşdüzlemsel	Eşdüzlemsel	Eşdüzlemsel	Eşdüzlemsel	Düzlemsel	Düzlemsel	Düzlemsel
İstenmeyen besleme ışıması	Çok	Az	Az	Çok	Çok	Çok	Çok	Az
Polarizasyon saflığı	Zayıf	İyi	Zayıf	Zayıf	Zayıf	Zayıf	Mükemmel	İyi
Üretim kolaylığı	Delme ve lehimleme gerekli	Kolay	Kolay	Kolay	Kolay	Hizalama gerekli	Hizalama gerekli	Hizalama gerekli
Dayanıklılık	Lehimlemeden dolayı zayıf	Çok iyi	Çok iyi	Çok iyi	Çok iyi	İyi	İyi	İyi
Empedans uyumlandırma	Kolay	Zayıf	Kolay	Kolay	Kolay	Kolay	Kolay	Kolay
Bant genişliği (empedans uyumlandırma ile erişilmiş)	%2-5	%9-12	%2-5	%2-5	%2-5	%13 [32]	%21 [33]	%3

3.5. MİKROŞERİT ANTENLERİN ÖNEMLİ PARAMETRELERİ

3.5.1. Geri Dönüş Kaybı

Geri dönüş kaybı (Return Loss, S_{11} parametresi), bir antenin en önemli parametresidir. Bu parametre, empedans uyumu ve gücün maksimum transferi ile ilişkilidir ve kaynaktan antene gelen gücün ($P_{giriş}$), antenden besleme noktasına yansıyan güce oranını ($P_{yansıyan}$) göstermektedir. Bu ifade, (3.3)'te verilmiştir.

$$RL = 10 \log_{10} \frac{P_{yansıyan}}{P_{giriş}} \quad (3.3)$$

Kaynaktan besleme noktası aracılığı ile antene iyi bir güç transferi için $\frac{P_{yansıyan}}{P_{giriş}}$ oranının düşük olması gerekmektedir. Geri dönüş kaybının farklı matematiksel ifadeleri, (3.4) – (3.6) arasında verilmiştir.

$$RL = -20 \log_{10} |\Gamma| \quad (3.4)$$

$$RL = -20 \log_{10} \left| \frac{VSWR - 1}{VSWR + 1} \right| \quad (3.5)$$

$$RL = -20 \log_{10} \left| \frac{z_L - z_0}{z_L + z_0} \right| \quad (3.6)$$

Burada Γ , yansıma katsayısını; $VSWR$, gerilim duran dalga oranını (Voltage Standing Wave Ratio); z_L yük empedansını ve z_0 , antene bağlanan iletim hattının karakteristik empedansını temsil etmektedir.

3.5.2. Gerilim Duran Dalga Oranı (Voltage Standing Wave Ratio, VSWR)

Antenin verimli bir şekilde çalışabilmesi için verici sistem ile anten arasında maksimum güç transferi gerçekleşmelidir. Bu, sadece giriş empedansı ile vericinin

empedansı arasında uyum sağlandığı zaman mümkündür. Antenin verimli bir şekilde çalışabilmesi için çeşitli konfigürasyonlar hazırlansa dahi, gücün bir kısmı duran dalga olarak bulunacaktır. Bu, gerilim duran dalga oranı (Voltage Standing Wave Ratio, VSWR) ile karakterize edilir.

VSWR'nin matematiksel ifadesi:

$$VSWR = \frac{V_{maksimum}}{V_{minimum}} = \frac{1+|\Gamma|}{1-|\Gamma|} \quad (3.7)$$

olarak verilmiştir. Yansıma katsayısı 0 ile 1 arasında olduğuna göre VSWR değeri 1 ile ∞ arasında değişmektedir. Pratik tasarımlar için anten ile besleme arasında empedans uyumunun yüksek olması, VWSR değerinin 2'den küçük olması yeterli olarak kabul edilmektedir.

3.5.3. Yönlülük Ve Kazanç

Yönlülük, bir antenin verilen bir yöndeki yönlülüğü, o yöndeki ışına güç yoğunluğunun, antenin bütün yönlerdeki ışına güç yoğunluğunun ortalamasına oranıdır. Burada ışına güç yoğunluğunun, anten tarafından yayılan toplam gücün 4π 'ye bölümü olduğuna dikkat edilmelidir. Yönlülük her zaman 1'den büyüktür.

Bir antenin kazancı, verimlilik (anten verimi 3.6.4. numaralı başlıkta anlatılmıştır) ile yönlülüğün çarpımı ile belirlenmektedir. Antenin kazanç ifadesi:

$$G = eD \quad (3.8)$$

olarak verilmektedir. Burada e , antenin verimini ve D , antenin yönlülüğünü temsil etmektedir. Verim, 0 ile 1 arasında değiştiğinden dolayı kazanç en fazla yönlülüğe eşit olabilmektedir.

3.5.4. Verim Ve Kalite Faktörü

Bir yama anten için verim, antenin elektromanyetik dalgaya dönüştürdüğü enerjinin, antene verilen enerjiye oranı olarak tanımlanabilir. Dielektrik kaybı, iletim kaybı, yansıma kaybı, polarizasyon kaybı ve herhangi bir yükte dağılan güç antenin verimini etkileyen faktörlerdir.

Işıma veriminin genel ifadesi:

$$e = \frac{P_{ışma}}{P_{giriş}} \quad (3.9)$$

olarak verilmiştir. Burada $P_{ışma}$, antenden ışılan gücü ve $P_{giriş}$, antene verilen gücü temsil etmektedir. Verim, ayrıca, kalite faktörü Q cinsinden aşağıdaki şekilde verilebilir [1].

$$e = \frac{1/Q_{ışma}}{1/Q_{toplam}} = \frac{Q_{toplam}}{Q_{ışma}} \quad (3.10)$$

Buraya Q_{toplam} , toplam kalite faktörünü ve $Q_{ışma}$, ışıma kayıplarından dolayı oluşan kalite faktörünü temsil etmektedir. Toplam kalite faktörü ifadesi:

$$\frac{1}{Q_{toplam}} = \frac{1}{Q_{ışma}} + \frac{1}{Q_c} + \frac{1}{Q_d} + \frac{1}{Q_{sw}} \quad (3.11)$$

Burada Q_c , iletken kayıplarından kaynaklanan kalite faktörünü; Q_d , dielektrik kayıplarından kaynaklanan kalite faktörünü ve Q_{sw} , yüzey dalgalarından kaynaklanan kalite faktörünü temsil etmektedir. Mikroşerit antenlerin büyük kısmının verimi, %80 – 90 arasındadır.

Kalite faktörünün yaklaşık hesaplanması için kullanılan formüller [1]:

$$Q_c = h\sqrt{\pi f \sigma \mu} \quad (3.12)$$

$$Q_d = \frac{1}{\tan \delta} \quad (3.13)$$

$$Q_{ışıma} = \frac{2\omega \epsilon_r}{hG_t/l} K \quad (3.14)$$

olarak verilmişlerdir. Burada h , alttaşın yüksekliğini; f , rezonans frekansını; ω , açısal frekansı; $\tan \delta$, alttaşın kayıp tanjantını; σ , iletkenlerin iletkenliğini ve G/l , birim uzunluk başına toplam iletkenliği ifade etmektedir. TM_{010} baskın modunda çalışan bir dikdörtgen mikroşerit açıklık anten için [1],

$$K = \frac{L}{4} \quad (3.15)$$

$$\frac{G_t}{l} = \frac{G_{ışıma}}{W} \quad (3.16)$$

olmaktadır. Antenin toplam verimi,

$$e = e_r e_c e_d \quad (3.17)$$

olarak yazılabilir [15]. Burada e , toplam anten verimini; e_r , yansıma verimini; e_c iletim verimini ve e_d dielektrik verimini temsil etmektedir. Yansıma verimi,

$$e_r = 1 - |\Gamma|^2 \quad (3.18)$$

olarak ifade edilmektedir.

3.5.5. Bant Genişliği

Bant genişliği, anten performansının en iyi olduğu üst ve alt frekanslar arasındaki fark olarak tanımlanmaktadır [1]. Geniş bant antenler için bant genişliği, üst frekansın alt frekansa oranı olarak elde edilirken dar bantlı antenler için bant genişliği, yüzde olarak üst frekans ile alt frekans arasındaki farkın merkez frekansa oranı şeklinde hesaplanmaktadır.

$$BW_{geniş\ band} = \frac{f_{üst}}{f_{alt}} \quad (3.19)$$

$$BW_{dar\ band} (\%) = 100x \left[\frac{f_{üst} - f_{alt}}{f_{merkez}} \right] \quad (3.20)$$

3.6. MİKROŞERİT ANTEN ANALİZ YÖNTEMLERİ

Mikroşerit antenlerin analizi için birkaç metot mevcuttur. Bunlardan en çok kullanılanlar, mikroşerit antenin bir iletim hattı ya da iletim hattının parçası olarak kabul edilerek analizinin yapılmasına imkân tanıyan iletim hattı modeli (Transmission Line Model, TLM) [23] ile yamanın dielektrik yüklü boşluk olarak kabul edilerek analizinin yapılmasına imkan tanıyan boşluk (Cavity Model) modelidir [1-4].

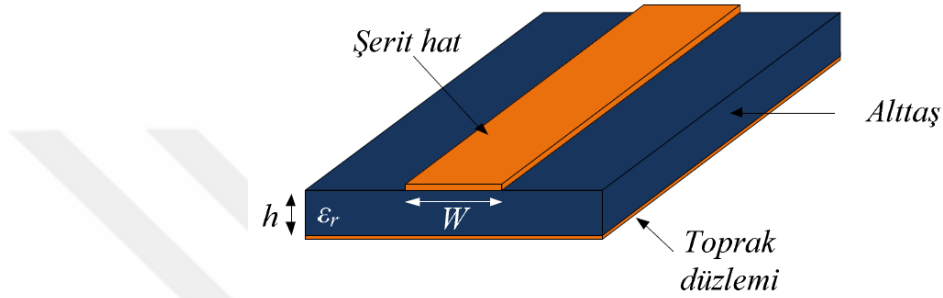
İletim hattı modeli, kullanımı kolay olan bir modeldir. Bu model aracılığı ile fiziksel açıklama iyi yapılabilir ancak model, daha az doğruluğa sahiptir. Kuplajlamayı modellemek oldukça zordur. İletim hattı modeli boşluk modeli ile karşılaştırıldığında iletim hattı modelinin, boşluk modeline göre, daha doğru fakat daha karmaşık olduğu söylenebilir.

3.6.1. İletim Hattı Modeli (Transmission Line Model, TLM)

İletim hattı modeli, mikroşerit anten çalışmaları için en kolay yoldur. Bu metotta mikroşerit anten, L uzunluğundaki düşük empedanslı iletim hattı tarafından iki slotlu

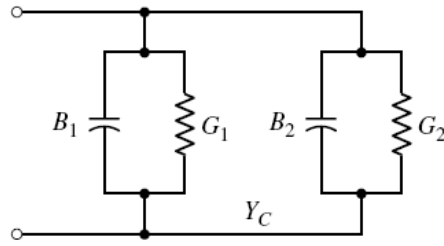
olacak şekilde ayrılmış olarak temsil edilmektedir. Bu model kullanılarak elde edilen sonuçlar, diğer metotlarla karşılaştırıldığında, en iyi sonuçlar değildir ancak model, anten tasarımında kullanılabilir yeterliliktedir [3].

İletim hattı modelinin açıklamasında kullanılacak olan anten, Şekil 3.21’de verilmiştir.



Şekil 3.21. İletim hattı [30].

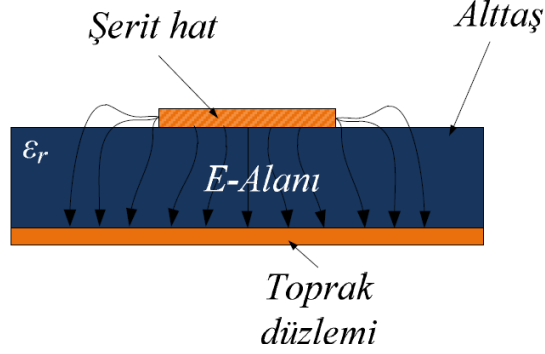
Verilen anten için iletim hattı modeli Şekil 3.22’de görülmektedir. Işıma boşlukları, düşük empedanslı iletim hattı olarak modellenmektedir [23].



Şekil 3.22. İletim hattı modeli [30].

Antendeki elektrik alan çizgilerinin çoğu altaş içerisinde oluşurken çok az bir kısmı altaştan havaya çıkmaktadır. Altaştaki çizgiler ile havadaki çizgilerin faz hızlarının farklı olmasından dolayı iletim hatları, TEM modunda iletimi desteklememektedir [3]. Elektrik alan çizgilerinin bir kısmının altaş içerisinde, bir kısmının da havada yayılmasından dolayı dielektrik sabitinden farklı olarak etkin dielektrik sabiti (ϵ_{reff})

hesaplanmalıdır. Etkin dielektrik sabiti, alttaşın dielektrik sabitinden biraz daha küçük bir değere sahiptir.

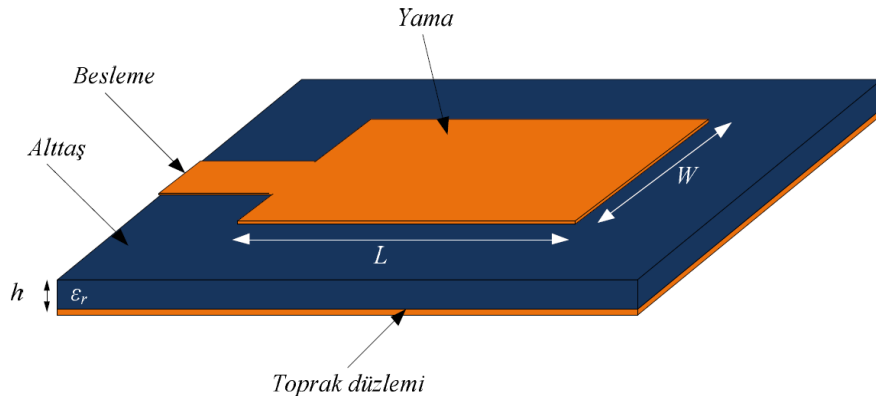


Şekil 3.23. İletim hattı modeline göre bir mikroşerit antende elektrik alan çizgileri [30].

Etkin dielektrik sabiti,

$$\epsilon_{reff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \sqrt{1 + 12 \frac{h}{W}} \quad (3.21)$$

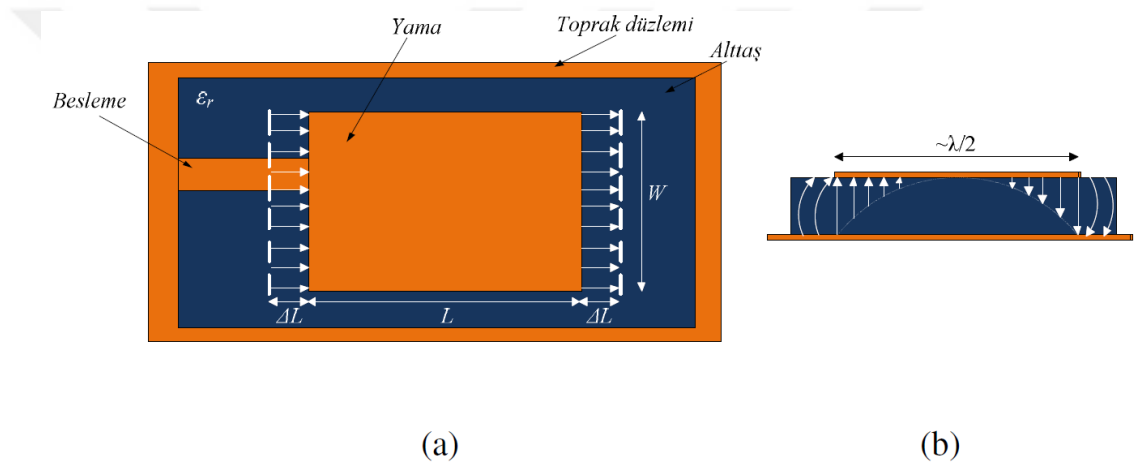
olarak hesaplanmıştır [20]. Burada ϵ_r , alttaşın dielektrik sabitini; h , dielektrik alttaşın yüksekliğini ve W , yamanın genişliğini temsil etmektedir. L uzunluğunda, W genişliğinde yamaya ve h yüksekliğinde alttaşa sahip bir dikdörtgen mikroşerit anteni göz önüne alalım.



Şekil 3.24. Mikroşerit hat beslemeli dikdörtgen mikroşerit anten [30].

Analiz için anten, TM_{10} gibi temel modda çalışıyor kabul edilirse, yama uzunluğu, dielektrik ortamdaki dalga boyunun (λ_d) yarısından az olacak şekilde seçilmelidir. Aynı zamanda uzunluk, $\lambda_0 / \sqrt{\epsilon_{reff}}$ değerine eşit olmalıdır. Burada λ_0 , serbest uzay dalga boyunu temsil etmektedir.

Mikroşerit yama anten, daha önce söylendiği gibi, L uzunluğunda bir iletim hattı ile ayrılmış iki slota sahiptir ve her iki ucu da açık devredir. Bu yüzden slotlarda gerilim en yüksek ve akım en düşük değerdedir. Kenarlardaki alanların teğet ve normal bileşenleri toprak düzlemine göre çözülmemektedir.



Şekil 3.25. Mikroşerit antenin kenar uzaması a) üst görünüşü b) yan görünüşü, elektrik alan çizgileri [30].

Şekil 3.25'ten görüldüğü gibi, alan çizgilerinin bir kısmı alttaş içerisinde kalırken bir kısmı havaya yayılmaktadır. Normal bileşenler birbirini yok ederken teğet bileşenler birbirlerini destekleyerek yapı yüzeyinde maksimum ışıma sağlamaktadır. Yama genişliği boyunca saçak alanlar, ışıma yapan boşluklar olarak alınmaktadır ve anten yaması, elektriksel olarak, tasarımdan biraz daha uzun görünmektedir. Bundan dolayı anten uzunluğu değişmektedir. Yama boyundaki uzama ΔL ile gösterilmektedir. Yama boyundaki uzamanın ve bunun yama boyuna etkisini gösteren L_{etkin} değerinin matematiksel ifadeleri [34]:

$$\Delta L = 0.412h \frac{(\epsilon_{reff} + 0.3) \left(\frac{w}{h} + 0.264 \right)}{(\epsilon_{reff} - 0.258) \left(\frac{w}{h} + 0.8 \right)} \quad (3.22)$$

$$L_{eff} = L + 2\Delta L \quad (3.23)$$

yaklaşık olarak verilmiştir. Belirli bir rezonans frekansına göre yama uzunluğunun hesabı,

$$L_{eff} = \frac{c}{2f_0 \sqrt{\epsilon_{reff}}} \quad (3.24)$$

olarak verilmiştir. Mikroşerit yama anten göz önüne alınırsa, TM_{mn} modu için antenin rezonans frekansı [1],

$$f_0 = \frac{c}{2\sqrt{\epsilon_{reff}}} \sqrt{\left[\left(\frac{m}{L} \right)^2 + \left(\frac{n}{W} \right)^2 \right]} \quad (3.25)$$

olarak verilmiştir. Burada, m ve n , mikroşerit yama antenin çalışma modunu temsil etmektedir. TM_{10} modunda rezonans frekansı denklemi [1],

$$f_0 = \frac{c}{2L\sqrt{\epsilon_{reff}}} \quad (3.26)$$

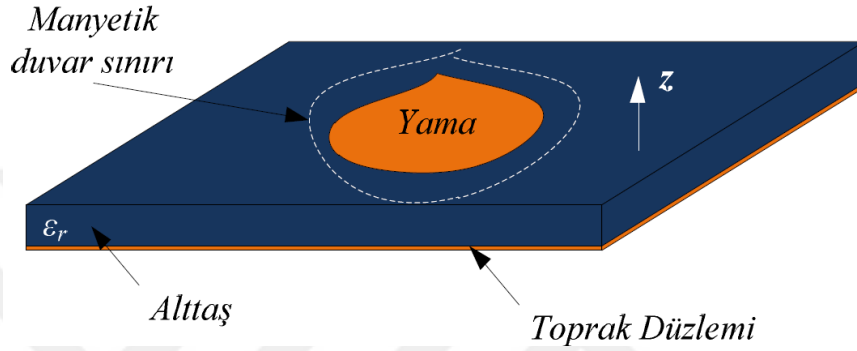
olmaktadır. Kenar uzamasını hesaba katmak için L yerine L_{eff} yerleştirildiğinde denklem,

$$f_0 = \frac{c}{2L_{eff}\sqrt{\epsilon_{reff}}} \quad (3.27)$$

olur.

3.6.2. Boşluk Modeli (Cavity Model)

Mikroşerit antenlerin analizinin yapılmasında boşluk modeli, mikroşerit yama ile toprak düzlemi arasındaki bölgenin, elektrik iletkenlerinin tavan ile tabanları ve Şekil 3.26'da görüldüğü gibi iletkenin kenarları boyunca manyetik duvarlarla sınırlanmış rezonans boşluğu varsayımı temeline dayanmaktadır [3].

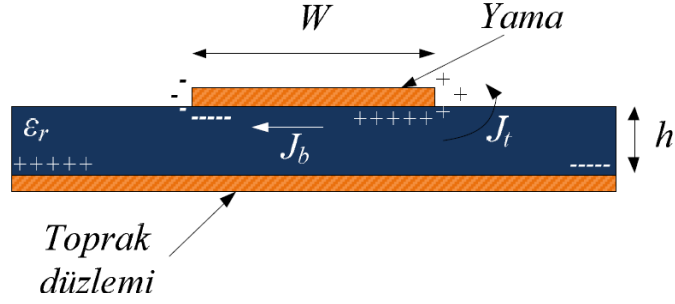


Şekil 3.26. Mikroşerit yama antenin manyetik duvar modeli [30].

Yukarıdaki varsayım, aşağıdaki gözlemleri temel almaktadır:

1. Boşluk ile ilişkili bölgede, \mathbf{E} 'nin z yönündeki bileşeni (E_z) ve \mathbf{H} 'in x ve y yönlerindeki bileşenleri (H_x, H_y) olmak üzere sadece üç alan bileşeni mevcuttur.
2. Altaş yüksekliğinin (h) çok küçük olmasından dolayı ($h \ll \lambda$), iç bölgedeki alan, bütün frekanslar için, z eksenini boyunca değişmemektedir.
3. Mikroşerit yamadaki elektrik akımı, yamanın kenarının herhangi bir noktasında dik bileşene sahip değildir.

Boşluktaki alanların hesaplamalarına geçmeden önce boşluk modelinin mekanizmasının incelenmesi faydalı olacaktır. Mikroşerit antenin Şekil 3.27'deki gibi olduğu varsayalım [3].



Şekil 3.27. Mikroşerit antende yük dağılımı ve akım yoğunluğu [30].

Mikroşerit anten bir mikrodalga kaynağına bağlandığında, yük dağılımı, şekilde görüldüğü gibi, antenin üst ve alt düzlemlerine yerleşecektir. Yük dağılımı itici ve çekici olmak üzere iki mekanizma ile kontrol edilmektedir. Çekici kuvvet, yama ve toprak düzlemindeki zıt işaretli yükler arasındadır. Bu kuvvet, yamanın altında, dielektrik içinde J_b akım yoğunluğu oluşturur. İtici kuvvet, aynı işaretli yüklerin, yamanın altından yama kenarları boyunca yamanın üstüne doğru birbirini itmesiyle oluşur ve J_t akım yoğunluğunu oluşturur.

Mikroşerit antende $W \gg h$ olduğu durumda çekici mekanizma baskın hale gelir ve yükler yamanın altında dielektrik alttaşı içerisinde toplanır. Bu durumda, yüksekliğin genişliğe oranının azalmasından dolayı akım akışı da azalacağından, kenar boyunca akım akışı ihmal edilebilir. Bu, kenarlardaki dört duvarın, idealde elektrik alanı ve manyetik alanı bozmayan mükemmel manyetik iletken yüzeyler olarak modellenmesine izin verir.

Daha önce, boşluk içindeki alanın, E_z , H_x ve H_y olmak üzere üç bileşene sahip olduğundan bahsedilmişti. Bunlara göre dalga denklemi,

$$\nabla_x \nabla_x \vec{E} - k^2 \vec{E} = -j\omega\mu_0 \vec{J} \quad (3.28)$$

$$\nabla^2 E_z + k^2 E_z = j\omega\mu_0 \hat{z} \cdot \vec{J} \quad (3.29)$$

olarak yazılabilir. Burada $k^2 (= \omega^2 \mu_0 \epsilon_0 \epsilon_r)$ dalga numarasını; \vec{J} , elektrik akım yoğunluğunu; \hat{z} yama düzlemine dik olan birim vektörü temsil etmektedir.

Eşitlik (3.28)'in karşılanması yanı sıra (3.30) ve (3.31.) ile verilen sınır koşullarının da sağlanması zorunludur. Üst ve alt iletkenler için,

$$n\vec{E} = 0 \quad (3.30)$$

ve duvarlar için,

$$n\vec{H} = 0 \quad (3.31)$$

olmalıdır. Bu tanımlamalardan sonra iç alanların hesaplanması kolaydır. Ancak bu alanlar, iç alanların belirlenmesinde dış alanlar tarafından üretilen yükleme etkisinin dâhil edilmemesinden dolayı, sadece birinci derecede doğrudur. İç elektrik alan dağılımı, boşluğun öz fonksiyonları (ψ) cinsinden elde edilebilir. Yama boşluğundaki elektrik alan,

$$E_z(x, y) = \sum_m \sum_n A_{mn} \psi_{mn}(x, y) \quad (3.32)$$

olmaktadır. Burada A_{mn} , elektrik alan mod vektörlerine veya öz fonksiyonlara karşılık gelen genlik katsayısıdır. Öz fonksiyonlar, (3.33) ve (3.34)'ün çözümüdür.

$$(\nabla^2 + k_{mn}^2) \psi_{mn} = 0 \quad (3.33)$$

$$\frac{\partial \psi_{mn}}{\partial n} = 0 \text{ (manyetik duvarlarda)} \quad (3.34)$$

Öz fonksiyonlar sadece yama iletkeninin şekline ve boyutlarına bağlıdır, alttaş parametrelerine bağlı değildir.

Eşitlik (3.32) (3.29)'da yerine yazılıp, eşitliğin iki tarafı ψ_{mn}^* ile çarpılırsa ve yama alanı üzerinden integrali alınırsa, genlik katsayıları (3.35)'de verildiği gibi elde edilir.

$$A_{mn} = \frac{jw\mu_0}{k^2 - k_{mn}^2} \frac{\iint J_s \psi_{mn}^* ds}{\iint \psi_{mn} \psi_{mn}^* ds} \quad (3.35)$$

Buna göre alanlar,

$$E_z = jw\mu_0 \sum_m \sum_n \frac{1}{k^2 - k_{mn}^2} \frac{\iint J_s \psi_{mn}^* ds}{\iint \psi_{mn} \psi_{mn}^* ds} \psi_{mn} \quad (3.36)$$

$$\vec{H} = \frac{1}{jw\mu_0} \hat{z} \times \nabla E_z \quad (3.37)$$

olmaktadır [17].

3.7. KOMPAKT MİKROŞERİT ANTENLER

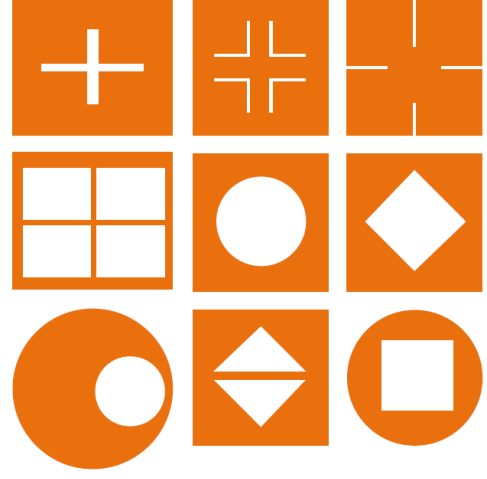
Kompakt mikroşerit antenler (KMA), dikdörtgen, daire, üçgen gibi düzgün geometrilere sahip mikroşerit yama antenlerin ışıma yapan düzlemlerinde çeşitli modifikasyonlar yapılması ile elde edilen, aynı frekans için mikroşerit yama antene oranla daha küçük boyutlara sahip olan mikroşerit antenlerdir. Genellikle düzgün geometrilere çeşitli slotlar açılması veya ekleme yapılması ile elde edilirler. Aynı boyutlara sahip antenlerden KMA, mikroşerit yama antene göre daha yüksek frekansta çalışabilmektedir. Yüksek frekans ve düşük boyut gerektiren uygulamalarda kullanımı yaygınlaşmaktadır. Ayrıca literatürde yer alan KMA çalışmaları gün geçtikçe artmaktadır [1-22].

Antende açılan boşlukların etkisiyle bant genişliği ve verim gibi anten performansını belirleyen parametreler de etkilenmektedir.

Literatürde yer alan çeşitli KMA geometrileri Şekil 3.28'de verilmiştir.



(a)



(b)

Şekil 3.28. KMA geometrileri a) harf benzeri şekilli KMA geometrileri ve b) slot KMA geometrileri [30].

BÖLÜM 4

UMTS VE WiMAX UYGULAMALARI İÇİN ANTEN TASARIMLARI VE ANALİZLERİ

Daha önceki bölümlerde sırasıyla 3N teknolojisi, 4N teknolojisi, UMTS, WiMAX ve mikroşerit yama antenlerin temel özellikleri açıklanmış, sonrasında ise kısaca kompakt mikroşerit anten yapılarından bahsedilmiştir. Bu bölümde ise çalışmanın asıl amacını oluşturan, UMTS spektrumunda ve WiMAX spektrumunda çalışabilecek nitelikte, gerçekleştirilmiş geniş bantlı mikroşerit yama anten tasarımları anlatılmıştır. Bu tasarıma yönelik ilk olarak bilgisayar ortamında elektromanyetik alan problemlerinin simülasyonunda kullanılan Ansoft HFSS paket yazılımından genel hatlarıyla bahsedilmiş, sonrasında ise UMTS anten tasarımı ve WiMAX anten tasarımı konularına geçilmiştir. Tasarım bölümünde, ortaya çıkarılması planlanan mikroşerit anten yapılarının sahip olması gereken özelliklerden ve sonrasında ise anten geometrileri ve tasarım aşamalarından söz edilmiştir. Son olarak da oluşturulan anten yapılarına ilişkin bazı önemli anten parametreleri teker teker ele alınarak bu parametrelerin işlevsellikleri tartışılmış, ve beraberinde UMTS spektrumunda ve WiMAX spektrumunda elde edilen analiz sonuçları paylaşılmıştır.

4.1. ANSOFT HFSS PAKET YAZILIMI

Literatürde, yer alan çalışmalarda yaygın bir şekilde kullanılan programlardan biri Ansys Corporation firması tarafından üretilen High Frequency Structural Simulator (HFSS)'dir. HFSS üç boyutlu pasif cihazların modellenmesinde kullanılan yüksek performanslı elektromanyetik (EM) alan benzetim ortamıdır ve Microsoft Windows grafik arayüzünün sağladığı avantajları da kullanmaktadır. Bu program, kolaylıkla öğrenilebilecek arayüzü sayesinde, üç boyutlu EM problemlerin hızlı ve doğru bir biçimde çözümlenmesini sağlamakta, ve çözüme ilişkin simülasyon, görüntüleme, pratik hal modellemesi ve otomasyon

gibi özellikleri de beraberinde sunmaktadır. Ansoft HFSS, analizleri sırasında sonlu elemanlar metodunu (FEM) kullanır ve ileri seviyedeki grafikleri sayesinde kullanıcının üç boyutlu yapı hakkında detaylı bilgiye sahip olmasını sağlar [35].

İlk olarak şubat 1990'da tanıtılan HFSS, mikrodalga tasarımlar konusunda yepyeni bir çığır açmıştır. Bu dönemden önce mikrodalga tasarımlar basit analizler ve pratik denemeler üzerine kuruluydu ve HFSS'nin ortaya çıkışıyla beraber bu analizlerin bilgisayar ortamında hızlı bir şekilde yapılması ve üç boyutlu prototiplerinin oluşturulması sağlandı. Bu sayede tasarımcı ilk defa yaratmak istediği cihazın EM özelliklerini ve pratikte nasıl çalışacağını yüksek doğrulukta sanal olarak gözlemledi. Sağladığı tüm bu kolaylıkların yanında HFSS, zaman ve para tasarrufu sağlamasıyla hemen her türden EM cihaz tasarımlarının önünü açmıştır [36].

Yukarıda bahsedilen avantajlı yönlerinden dolayı Ansoft HFSS elektromanyetik alan benzetim ortamı, bu çalışmada UMTS ve WiMAX anten tasarımları ve analizleri için kullanılmıştır.

4.2. C-ŞEKİLLİ KOMPAKT MİKROŞERİT ANTEN TASARIMLARI

Bu bölümde UMTS spektrumunda ve WiMAX spektrumunda çalışacak, c-şekilli kompakt mikroşerit antenlerin tasarımı anlatılmaktadır. Tasarım süreci sistematik olarak ele alınarak her bir aşama elden geldiğince eksiksiz aktarılmaya çalışılmıştır. Bu nedenle ilk olarak tasarlayacağımız mikroşerit yama antenlerin ne gibi özellikler sağlaması gerektiği incelenmiştir. Bunun için UMTS antenlerinin ve WiMAX antenlerinin temel özelliklerinden söz edilmiş, ve sonrasında tasarlanacak olan antenlerin temel geometrilerinden ve tasarım sürecinden bahsedilmiştir. Bu bölüme ilişkin son kısımda ise tasarım sürecinde yapılması planlanan çalışma gerçekleştirilmiştir.

4.2.1. Tasarlanacak Mikroşerit Antenlerin Yapısal Olarak Sahip Olması Gereken Özellikler

UMTS anteninde ve WiMAX anteninde bulunması gereken iki temel özellik şunlardır:

- UMTS spektrumunu ve WiMAX spektrumunu kapsayacak nitelikte bant genişliğine sahip olması gerekliliği,
- Mobil cihaz/telefon boyutlarına uyumlu olması gerekliliği.

UMTS spektrumu temel alınacak olursa, tasarlanacak UMTS anteninin 1900–2200 MHz frekans aralığını kapsaması gerekecektir.

$$f_{\text{merkez}} = \frac{(f_{\text{üst}} + f_{\text{alt}})}{2}, \text{ ya da } f_{\text{merkez}} = \sqrt{f_{\text{üst}} f_{\text{alt}}} \quad (4.1)$$

Bu nedenle (4.1) kullanılarak bulunan $f_0 = 2.05 \text{ GHz}$ değeri antenimizin çalışma frekansı olarak düşünülebilir. Bu frekans değeri aynı zamanda tasarlanacak olan antenimizin rezonans frekansı olarak da belirlenmiştir. Ayrıca (3.20)'den frekans bant genişliği hesaplanacak olursa (giriş yansıma katsayısı $\leq -10\text{dB}$ için) antenimizin bant genişliğinin $BW \sim 15\%$ olması gerektiği söylenebilir. Sonuç olarak ilerleyen bölümlerde UMTS teknolojisi için 15% (1900–2200 MHz) bant genişliğini kapsayan ve merkez frekansı $f_0 = 2.05 \text{ GHz}$ civarında olan mikroşerit yama anten tasarımı gerçekleştirilmiştir.

WiMAX spektrumu temel alınacak olursa, tasarlanacak WiMAX anteninin 3400–3600 MHz frekans aralığını kapsaması gerekecektir. Bu nedenle (4.1) kullanılarak bulunan $f_0 = 3.5 \text{ GHz}$ değeri antenimizin çalışma frekansı olarak düşünülebilir. Bu frekans değeri aynı zamanda tasarlanacak olan antenimizin rezonans frekansı olarak da belirlenmiştir. Ayrıca (3.20)'den frekans bant genişliği hesaplanacak olursa (giriş yansıma katsayısı $\leq -10\text{dB}$ için) antenimizin bant genişliğinin $BW \sim 6\%$ olması gerektiği söylenebilir. Sonuç olarak ilerleyen bölümlerde WiMAX teknolojisi için

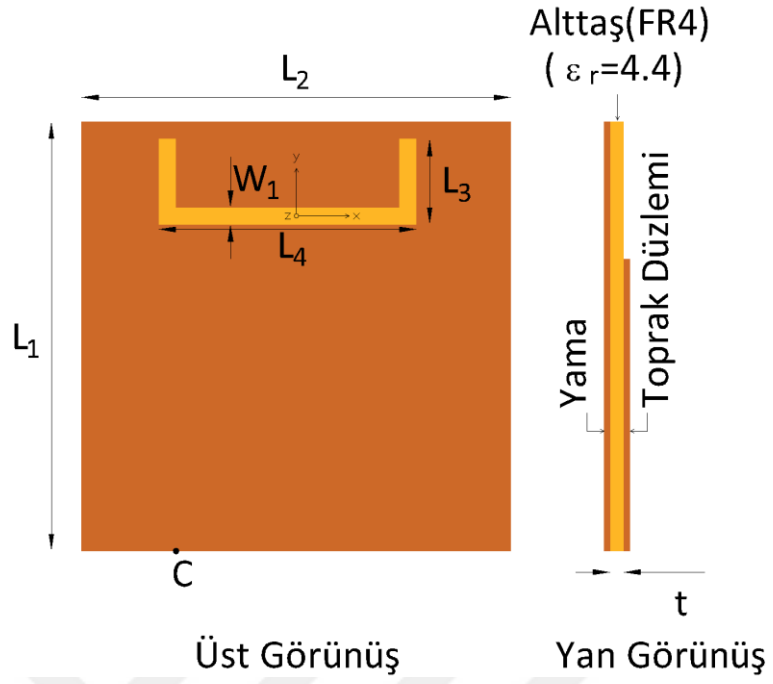
6% (3400–3600 MHz) bant genişliğini kapsayan ve merkez frekansı $f_0 = 3.5 \text{ GHz}$ civarında olan mikroşerit yama anten tasarımı gerçekleştirilmiştir.

Bir diğer önemli özellik de mobil cihazların boyutları ile uyumlu olunması gereğidir ve bu zorunluluk antenin çalışması gereken bant genişliği ile beraber düşünüldüğünde tasarımdaki en önemli sorun haline gelmektedir. Bilindiği gibi geleneksel mikroşerit anten yapıları maksimum 5% oranında bant genişliğini desteklediklerinden, bant genişliği ve anten boyutları arasında optimizasyon sağlanması gerekmektedir. Bu yöntemlerin en bilineni yama üzerinde açıklıklar oluşturarak bantın genişletilmesidir. Burada önemli olan husus yama üzerinde oluşturulan açıklığın boyutudur.

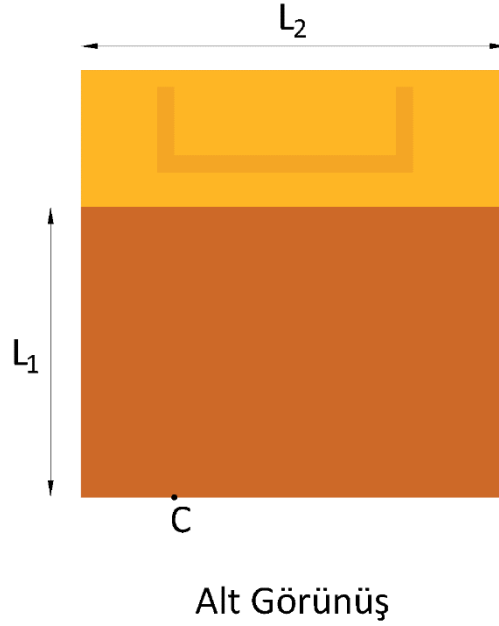
Sonuç olarak bu çalışmada hedeflenen, kabul edilebilir boyutlarda, UMTS spektrumu için; en az 15% (1900-2200 MHz) bant genişliğine sahip ve merkez frekansı $f_0 = 2.05 \text{ GHz}$ civarında olan, WiMAX spektrumu için ise en az 6% (3400-3600 MHz) bant genişliğine sahip ve merkez frekansı $f_0 = 3.5 \text{ GHz}$ civarında olan mikroşerit yama antenleri tasarlamaktır.

4.2.2. UMTS Anteni İçin Temel Anten Geometrisi Ve Tasarım Aşamaları

Bir önceki konu başlığı altında anlatılanlar doğrultusunda tasarlanacak olan c-şekilli kompakt mikroşerit antenlerin sahip olması gereken temel özellikleri belirlenmiştir. Bu tasarımlarda amaç, yama üzerinde c şeklinde açıklık oluşturarak geniş bantlı anten tasarlamaktır. Tasarımı gerçekleştirilecek olan UMTS anteninin temel yapısı, Şekil 4.1 ve 4.2’de gösterildiği üzere, mikroşerit hat ile beslenmiş bir monopollü antendir. Işıma yapan kısım ile toprak düzlemi arasındaki mesafenin değişmesiyle antenin performansının iyileştirilebilmesi mümkün olduğu için monopollü yapı tercih edilmiştir.



Şekil 4.1. Tasarlanacak olan UMTS antenin yapı (üst ve yan görünüş).



Şekil 4.2. Tasarlanacak olan UMTS antenin yapı (alt görünüş).

Şekil 4.1 ve Şekil 4.2’de verilen şekiller üzerinde gösterilen parametreler aşağıda açıklamaları ile listelenmiştir:

- L_1 : Yamanın uzunluğu (Şekil 4.1), toprak düzleminin uzunluğu (Şekil 4.2),

- L_2 : Yamanın genişliği (Şekil 4.1), toprak düzleminin genişliği (Şekil 4.2),
- L_3 : Dikey yarık uzunluğu,
- L_4 : Yatay yarık uzunluğu,
- W_1 : Yatay yarık genişliği,
- C: Besleme noktası,
- t: Alttaş kalınlığı.

Empedans uyumu, istenilen bant genişliği ve diğer parametreler yapılacak olan değişiklikler ile sağlanacaktır. Şekillerde görünen; turuncu renkli kısım bakır tabakayı, sarı renkli kısım ise dielektrik tabakayı temsil etmektedir.

Yapılacak olan tasarım iki aşamada gerçekleştirilmiştir. İlk aşamada yama boyutları ve toprak düzleminin boyutları üzerinde çalışılmıştır. Bu aşamada 1900-2200 MHz bandında ışınım yapan monopol anten yapısı oluşturulduktan sonra ikinci aşamaya geçilmiştir.

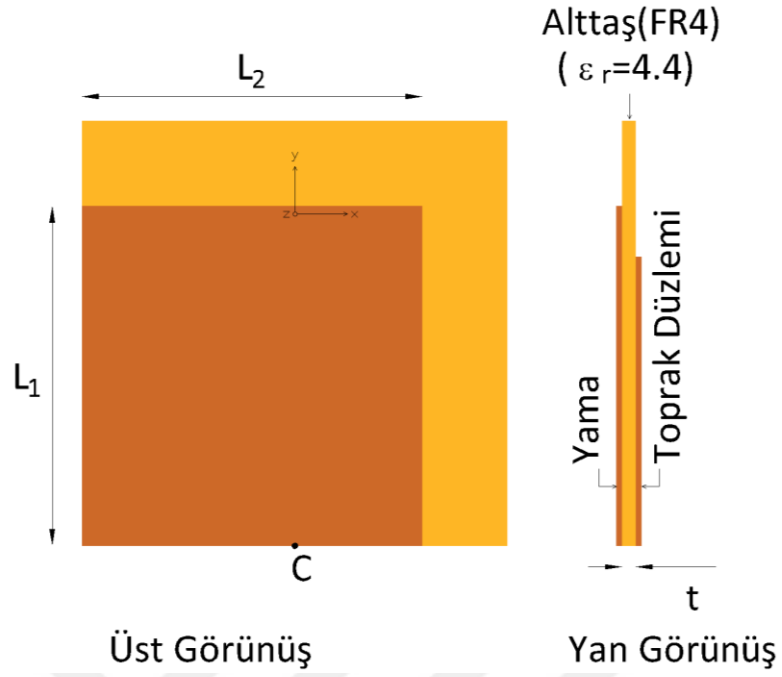
İkinci aşamada ise yama üzerinde c şeklinde açıklık oluşturularak ve besleme noktası üzerinde çalışılarak anten parametrelerinin iyileştirilmesi sağlanmıştır. Elde edilen sonuçlar ilk aşamada elde edilenler ile kıyaslanarak üzerlerinde tartışılmıştır.

Tüm aşamalar sırasında sonuçlar kadar geometrik parametrelerin anten karakteristiği üzerine etkilerinin incelenmesi de bu tez çalışması kapsamında yapılmıştır.

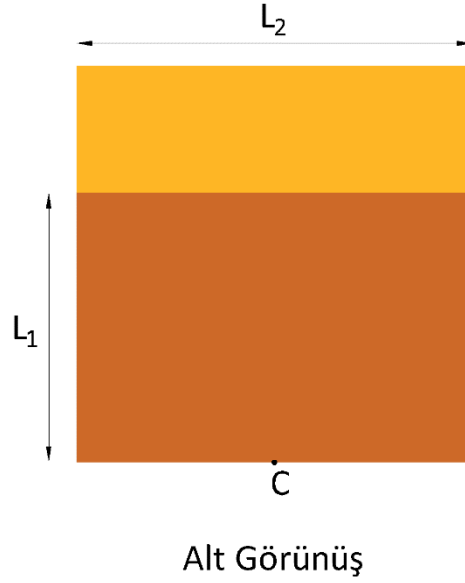
4.2.3. UMTS Bandında Çalışan Monopol Anten Yapısının Tasarlanması

Bu bölüm tasarım çalışmamızın ilk aşamasını oluşturmaktadır. Buradaki amaç sonraki aşamalarda da kullanılacak olan monopol yapının UMTS bandındaki çalışma karakteristiğinin incelenmesidir.

UMTS anten yapısının geometrisinden bahsetmek gerekirse Şekil 4.3'te gösterilen tasarımda kullanılacak olan yama 40 mm x 40 mm x 0.1 mm (uzunluk x genişlik x kalınlık) boyutlarında seçilmiştir. Şekil 4.4'te gösterilen toprak zemin ise 34 mm x 50 mm x 0.1mm (uzunluk x genişlik x kalınlık) boyutlarında seçilmiştir.



Şekil 4.3. Yama uzunluğu ve genişliği 40 mm olan mikroşerit yama anten.



Şekil 4.4. Toprak zemin uzunluğu 34 mm, genişliği 50 mm olan mikroşerit yama anten.

UMTS spektrumunu kapsayacak nitelikte bir monopol anten yapısı elde edilene kadar sayısız simülasyon yapılmıştır. Bu simülasyonlar esnasında değişen yama boyutlarının ve toprak zemin boyutlarının antenin rezonans frekansına, bant genişliğine ve geri dönüş kaybına olan etkileri gözlemlenmiştir. Yama

boyutlarında değişiklik yapılırken toprak düzleminin boyutları sabit tutulmuş, toprak düzleminin boyutlarında değişiklik yapılırken yama boyutları sabit tutulmuştur. Şekil 4.5'te yukarıda belirtilen yama boyutları ve toprak zemin boyutları için analiz sonucu verilmiştir.

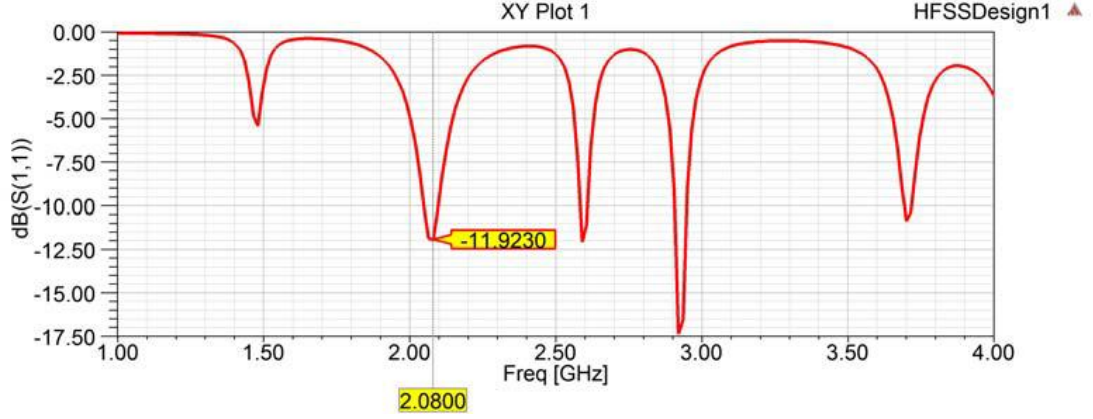


Şekil 4.5. $L_1=40$ mm (yama uzunluğu), $L_2=40$ mm (yama genişliği), $L_1=34$ mm (toprak zeminin uzunluğu), $L_2=50$ mm (toprak zeminin genişliği) için mikroşerit yama antenin S_{11} grafiği.

Anten, yama uzunluğunun ve genişliğinin 40 mm olduğu durumda 2.08 GHz rezonans frekansında -7.86 dB S_{11} değerine sahiptir. S_{11} değeri bant içinde -10 dB'nin altına düşmediği için bant genişliği belirlenememiştir.

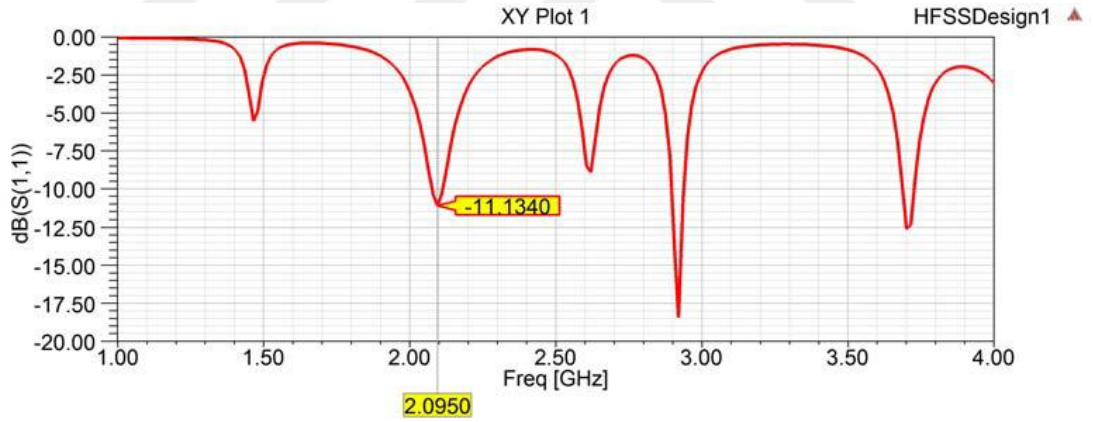
Antenin yama uzunluğu ve genişliği 10 mm artırılmıştır. Bu boyutlara sahip olan antenin analiz sonucu Şekil 4.6'da görölmektedir.

Yamanın uzunluğunun ve genişliğinin 50 mm olduğu durumdaki analiz sonucu (Şekil 4.6) ile bir önceki analiz sonucu (Şekil 4.5) kıyaslandığında rezonans frekansının değişmediği ancak bant içi en düşük S_{11} değerinin 4.06 dB artarak -11.92 dB olduğu görölmüştür. Bant genişliğinin ise 49.6 MHz olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 4.6. $L_1=50$ mm (yama uzunluğu), $L_2=50$ mm (yama genişliği), $L_3=34$ mm (toprak zeminin uzunluğu), $L_4=50$ mm (toprak zeminin genişliği) için mikroşerit yama antenin S_{11} grafiği.

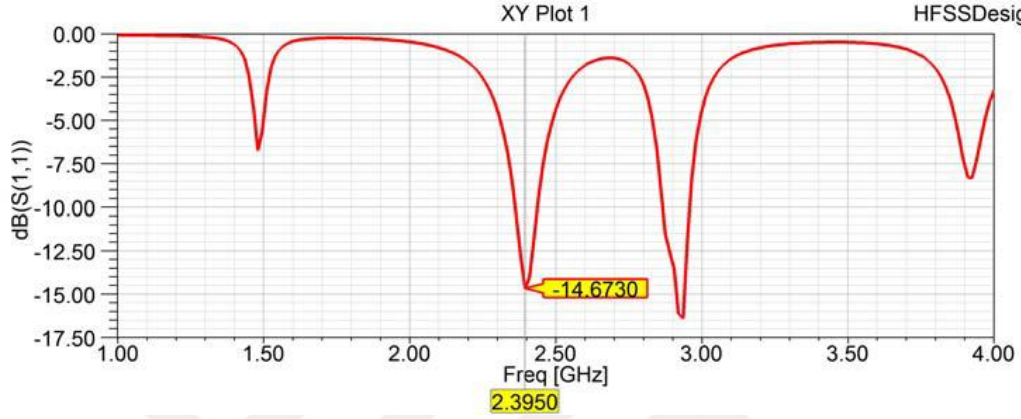
Antenin yama boyutlarının 60 mm x 60 mm x 0.1 mm (uzunluk x genişlik x kalınlık) olduğu durumda analiz sonucu Şekil 4.7'deki gibidir. Toprak zemin boyutları sabittir.



Şekil 4.7. $L_1=60$ mm (yama uzunluğu), $L_2=60$ mm (yama genişliği), $L_3=34$ mm (toprak zeminin uzunluğu), $L_4=50$ mm (toprak zeminin genişliği) için mikroşerit yama antenin S_{11} grafiği.

Yamanın uzunluğunun ve genişliğinin 60 mm olduğu durumdaki analiz sonucu ile bir önceki analiz sonucu kıyaslandığında rezonans frekansı 15 MHz artarak 2.095 GHz olmuştur. Bant içi en küçük S_{11} değeri 0.79 dB azalarak -11.13 dB olmuştur. Bant genişliği ise 7.4 MHz azalarak 42.2 MHz olmuştur.

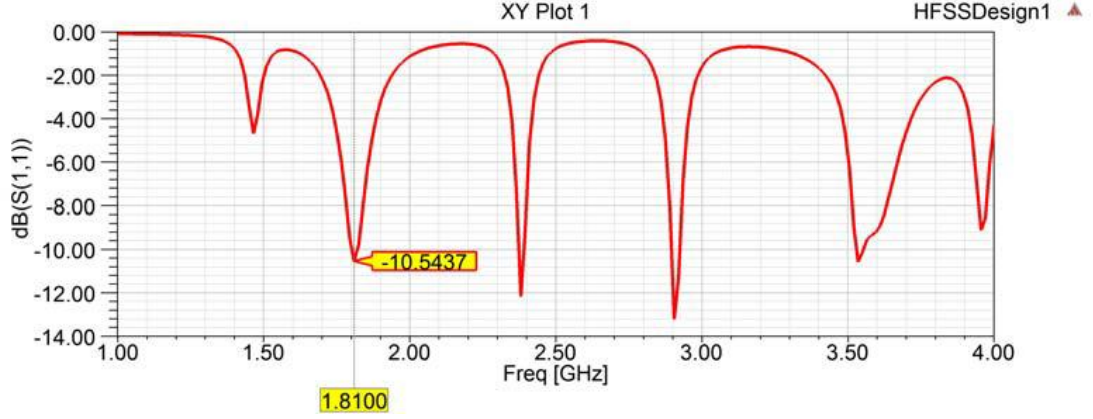
Değişen yama boyutlarının merkez frekansına, bant genişliğine ve geri dönüş kaybına olan etkileri incelenmiştir. Yama uzunluğu ve yama genişliği 40 mm'den başlayarak 60 mm'ye kadar 1 mm aralıklarla simüle edilmiş ve en uygun değer 50 mm olduğu görülmüştür. Yama boyutları sabit tutularak toprak zemin uzunluğu değiştirilmiş ve elde edilen S_{11} grafiği Şekil 4.8'de verilmiştir.



Şekil 4.8. $L_1=50$ mm (yama uzunluğu), $L_2=50$ mm (yama genişliği), $L_1=29$ mm (toprak zeminin uzunluğu), $L_2=50$ mm (toprak zeminin genişliği) için mikroşerit yama antenin S_{11} grafiği.

Toprak zemin uzunluğunun 29 mm olduğu durumdaki analiz sonucu ile 34 mm olduğu durumdaki analiz sonucu mukayese edildiğinde rezonans frekansı 315 MHz artarak 2.395 GHz olmuştur ve bant içi en küçük S_{11} değerinin 2.75 dB artarak -14.67 dB olduğu görülmüştür. Bant genişliğinin ise 24.6 MHz artarak 74.2 MHz olduğu gözlemlenmiştir.

Toprak zemin uzunluğu 39 mm seçilip Şekil 4.9'da analiz edilmiştir. Analiz sonucu ile optimum toprak zemin boyutlarının analiz sonucu kıyaslandığında rezonans frekansı 270 MHz azalarak 1.81 GHz olmuştur ve bant içi en düşük S_{11} değerinin 1.38 dB azalarak -10.54 dB olduğu görülmüştür. Bant genişliğinin ise 34.7 MHz azalarak 14.9 MHz olduğu gözlemlenmiştir.

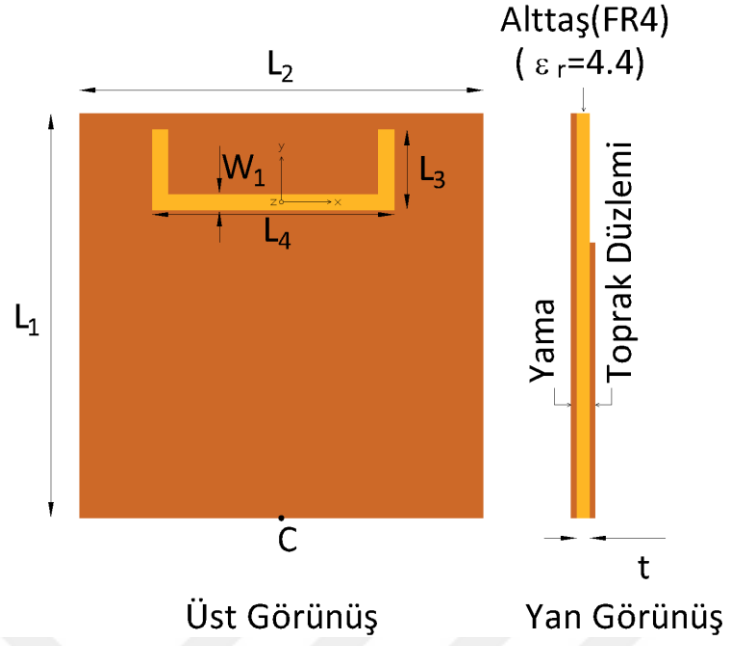


Şekil 4.9. $L_1=50$ mm (yama uzunluğu), $L_2=50$ mm (yama genişliği), $L_1=39$ mm (toprak zeminin uzunluğu), $L_2=50$ mm (toprak zeminin genişliği) için mikroşerit yama antenin S_{11} grafiği.

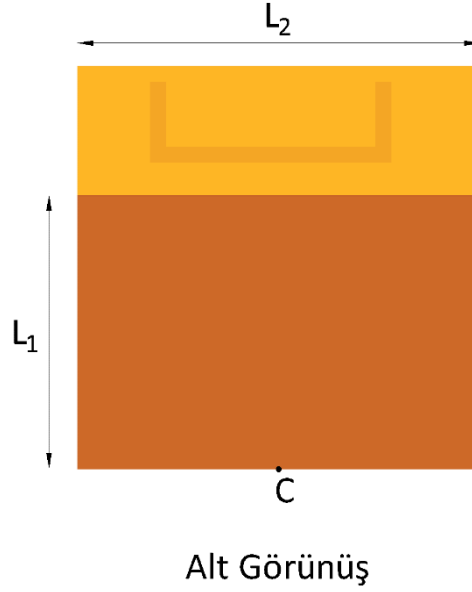
Toprak zemin uzunluğu 29 mm'den başlayarak 39 mm'ye kadar 1 mm aralıklarla simüle edilmiştir. Bu simülasyonlar sonucunda en uygun uzunluğun 34 mm olduğu anlaşılmıştır.

4.2.4. UMTS Bandında Çalışan Mikroşerit Yama Anten Yapısının Tasarlanması

UMTS bandında çalışan mikroşerit yama anten tasarımının ikinci aşamasını gerçekleştirmek için yukarıda tasarlanan monopul anten yapısında c şeklinde açıklık oluşturulmuş ve besleme noktası için en uygun pozisyon belirlenmiştir. İlk aşamada elde edilen rezonans frekansı, bant genişliği ve geri dönüş kaybı değerleri iyileştirilmiştir. Monopul yapı üzerinde c şeklinde açıklık oluşturulmuş ve ortaya çıkan anten yapısının üstten ve alttan görünüşleri sırasıyla Şekil 4.10'da ve Şekil 4.11'de verilmiştir.

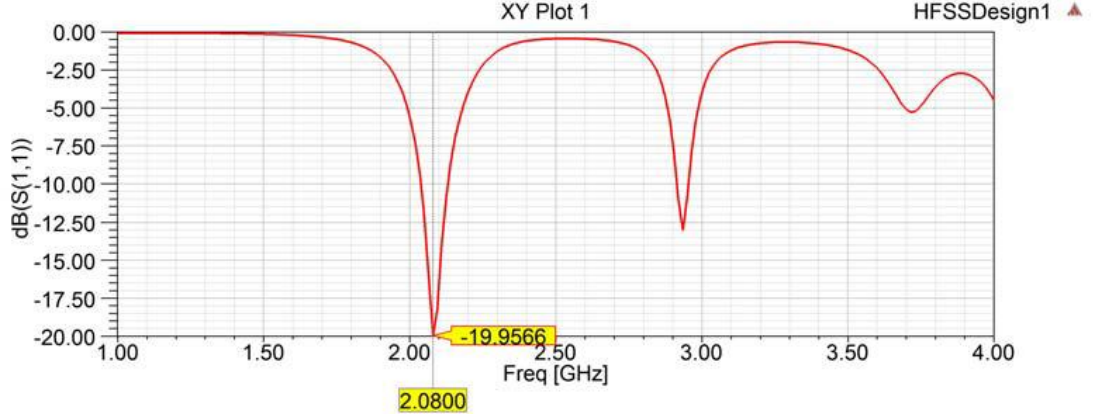


Şekil 4.10. C şeklinde açıklık oluşturulmuş mikroşerit yama anten (üst ve yan görünüş).



Şekil 4.11. C şeklinde açıklık oluşturulmuş mikroşerit yama anten (alt görünüş).

Tasarlanan antenin analiz sonucu Şekil 4.12'deki gibidir.



Şekil 4.12. C şeklinde açıklık oluşturulmuş mikroşerit yama antenin S_{11} grafiği.

Şekil 4.12 incelendiğinde rezonans frekansının 2.08 GHz, bant içi en iyi geri dönüş kaybının -19.95 dB, -10 dB değeri referans alındığında bant genişliğinin 93.4 MHz olduğu görülmüştür. Bu sonuç ilk aşamada elde edilen monopol yapının analiz sonucu ile karşılaştırıldığında rezonans frekansında bir değişiklik olmadığı, geri dönüş kaybının 65% arttığı, bant genişliğinin ise ~ 47% arttığı gözlemlenmiştir.

Şekil 4.10'da görülen monopol anten yapısı üzerine oluşturulmuş c-şeklindeki açıklığın genişliği her noktada aynı ve 2 mm'dir. Açıklığın genişliğinin (her noktada aynı olmak kaydı ile) anten parametreleri üzerine olan etkileri Çizelge 4.1 ile verilmiştir.

Çizelge 4.1. C şeklindeki açıklığın genişliğinin anten parametreleri üzerine olan etkileri.

C Şeklindeki Açıklığın Genişliği	Merkez Frekansı	Geri Dönüş Kaybı (S_{11})	Bant Genişliği ($S_{11} \leq -10\text{dB}$)
1 mm	2.08 GHz	-13.96 dB	62.4 MHz
3 mm	2.08 GHz	-18.41 dB	83.9 MHz
4 mm	2.08 GHz	-16.81 dB	78.1 MHz
5 mm	2.08 GHz	-15.75 dB	73.6 MHz
6 mm	2.08 GHz	-15.13 dB	70.1 MHz

Çizelge 4.1’de açıklığın genişliği 5 farklı değer için simüle edilmiştir. Simülasyon sonuçları birbirleri ile kıyaslanmıştır. C şeklindeki açıklığın optimum genişlik değerinin 2 mm olduğu gözlemlenmiştir.

C şeklindeki açıklık Şekil 4.10’da görülen koordinat sisteminin orijini merkez kabul edilerek saat yönünde 0° , 90° , 180° ve 270° döndürülmüştür. Yapılan bu işlemin antenin merkez frekansına, geri dönüş kaybına ve bant genişliğine olan etkileri Çizelge 4.2 ile verilmiştir.

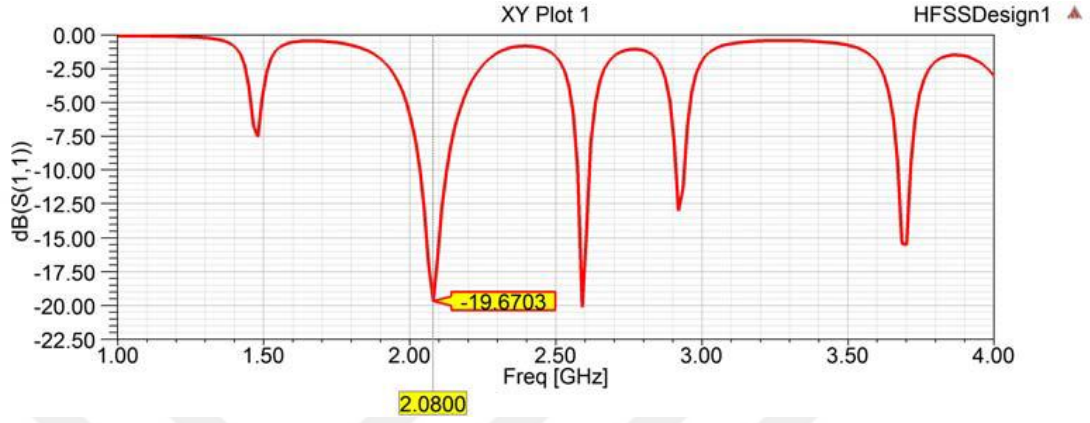
Çizelge 4.2. C şeklindeki açıklığın orijin merkez kabul edilerek saat yönünde döndürülmesinin anten parametreleri üzerine olan etkileri.

C Şeklindeki Açıklığın Orijine Göre Döndürülme Açısı	Merkez Frekansı	Geri Dönüş Kaybı (S_{11})	Bant Genişliği ($S_{11} \leq -10\text{dB}$)
0°	2.08 GHz	-19.95 dB	93.4 MHz
90°	2.095 GHz	-29.55 dB	170.2 MHz
180°	2.08 GHz	-17.44 dB	82.1 MHz
270°	1.99 GHz	-18.69 dB	147.9 MHz

Çizelge 4.2’de açıklık orijin merkez kabul edilerek saat yönünde dört farklı açı değeri için döndürülmüş ve simüle edilmiştir. Simülasyon sonuçları birbirleri ile kıyaslanmıştır. Çizelgeye göre en iyi geri dönüş kaybı ve bant genişliği değeri açıklığın saat yönünde 90° döndürüldüğü durumda elde edilmiştir. Ancak antenin merkez frekansındaki kayma kabul edilebilir sınırlar içerisinde değildir. Bu yüzden c- şeklindeki açıklığın orijine göre en iyi konumunun 0° döndürüldüğü durum olduğu görülmüştür.

Bir sonraki adımda antenin besleme noktasının yeri değiştirilerek anten parametreleri iyileştirilmeye çalışılmış ve bu değişikliğin parametreler üzerine olan etkisi incelenmiştir.

Şekil 4.10’da görüldüğü üzere koordinat sistemine göre besleme noktasının x eksenindeki değeri 0 mm’dir. Besleme noktası x ekseninde 8 mm sola kaydırılarak Şekil 4.13’te S_{11} grafiği çizdirilmiştir.



Şekil 4.13. Besleme noktasının koordinatları (-8, -39, 0) olan mikroşerit yama antenin S_{11} grafiği.

İlk duruma göre besleme noktası x ekseninde 8 mm sola kaydırılınca rezonans frekansında herhangi bir değişiklik olmamış ancak bant içi en iyi geri dönüş kaybı 0.28 dB azalarak -19.67 dB olmuştur. Bant genişliği ise 0.2 MHz azalarak 93.2 MHz olmuştur.

Besleme noktasının koordinatları (-8, -39, 0) iken x ekseninde 8 mm sola kaydırılmış ve Şekil 4.14’te geri dönüş kaybı grafiği çizdirilmiştir.



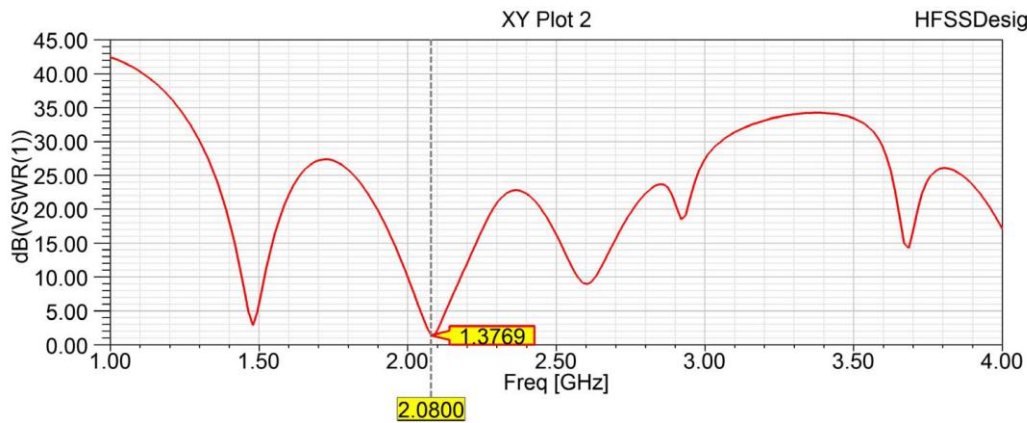
Şekil 4.14. Besleme noktasının koordinatları (-16, -39, 0) olan mikroşerit yama antenin S_{11} grafiği.

Şekil 4.14'ten görüldüğü üzere besleme noktasının koordinatları (-16, -39, 0) olan mikroşerit yama antenin merkez frekansı 2.08 GHz, bant içi en iyi geri dönüş kaybı -21.76 dB ve bant genişliği 98.4 MHz'dir. Bu sonuçlar besleme noktasının koordinatları (0, -39, 0) olan mikroşerit yama antenin analiz sonucu ile karşılaştırıldığında geri dönüş kaybında 2.03 dB'lik bir iyileştirme bant genişliğinde ise +5 MHz'lik bir iyileştirme olduğu görüldü.

UMTS antenin besleme noktası x ekseninde -24 mm'den başlayarak +24 mm'ye kadar 2 mm aralıklarla 25 değer için simüle edildi. Simülasyonlar sonucunda besleme noktası için x ekseninde en uygun değer -16 mm olduğu gözlemlendi.

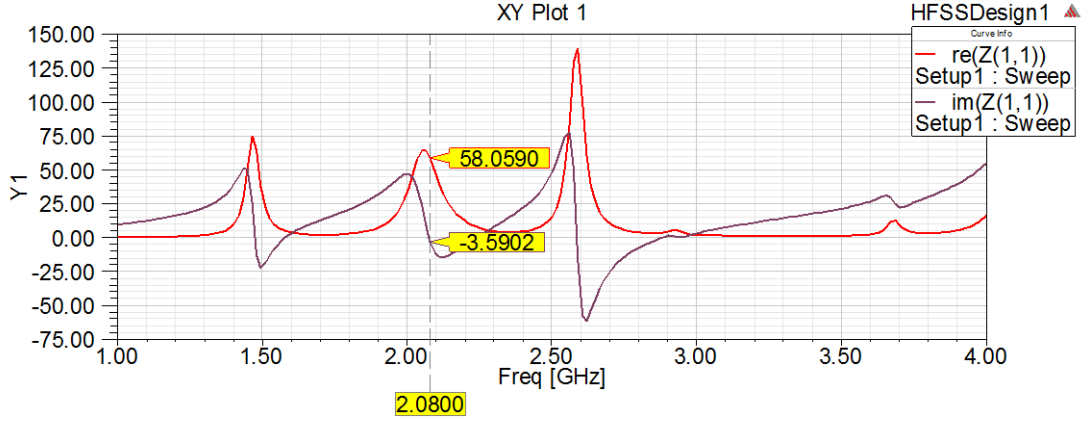
Yama boyutlarının, toprak düzlem uzunluğunun, yama üzerinde c şeklinde açıklık oluşturulmasının ve besleme noktasının x ekseninde yer değiştirmesinin rezonans frekansı, geri dönüş kaybı ve bant genişliği üzerine olan etkileri incelenmiştir. Herbir parametre için optimum değerler seçilerek tasarım tamamlanmıştır.

Tasarlanan antenin VSWR grafiği Şekil 4.15'te verilmiştir. Şekil 4.15'ten görüldüğü gibi $f_0 = 2.08$ GHz rezonans frekansında VSWR değeri ~1.38'e eşittir. Bu da empedans uyumunun mükemmel şekilde sağlandığını ve girişten yansıyan gücün 0'a yakınsadığını göstermektedir.



Şekil 4.15. Tasarlanan UMTS mikroşerit yama antenin VSWR grafiği.

Şekil 4.16'dan görüldüğü gibi $f_0 = 2.08$ GHz rezonans frekansında $Z_{giriş} = 58.05 - j3.59$ değerindedir.



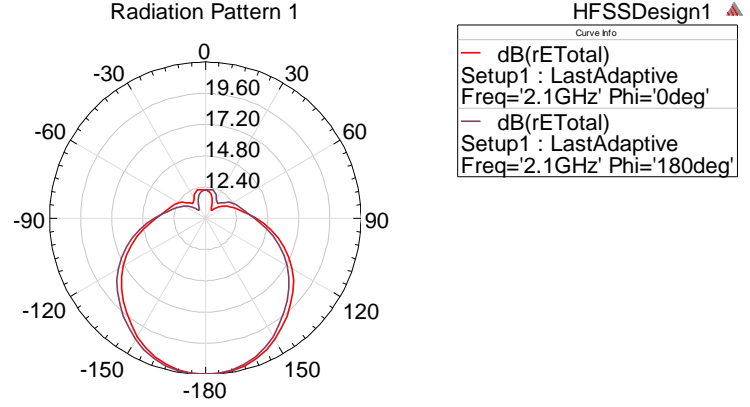
Şekil 4.16. Tasarlanan UMTS mikroşerit yama antenin $Z_{giriş}$ grafiği.

Antenin $f_0 = 2.08$ GHz rezonans frekansı civarındaki ışıma özelliklerine bakılacak olursa tasarlanan yapıya ait 3-Boyutlu kazanç diyagramı aşağıda Şekil 4.17’de gösterilmiştir. Görüldüğü gibi kazanç değeri -z ekseninde maksimum değerini alırken (Maks(K) = 4.28 dB) x-y düzlemi üzerinde minimum değerini almaktadır.

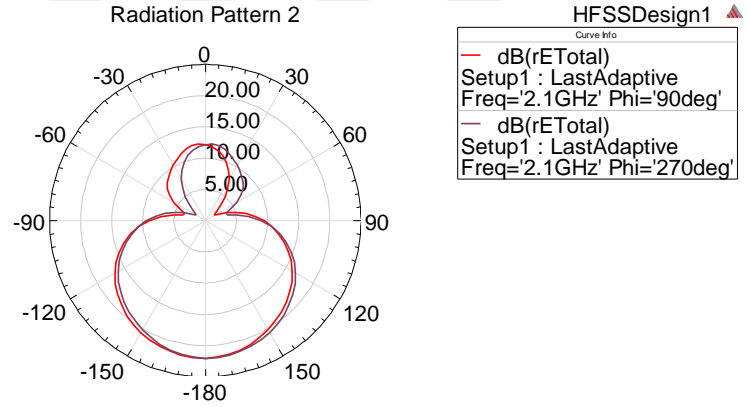


Şekil 4.17. Tasarlanan UMTS mikroşerit yama antenin 2.08 GHz frekansında 3-Boyutlu ışıma (kazanç) diyagramı.

Tasarlanan mikroşerit anten yapısına ilişkin 2-Boyutlu E-Düzlemi ve H-Düzlemi ışıma diyagramları sırasıyla Şekil 4.18 ve Şekil 4.19 ile gösterilmişlerdir. Şekil 4.18’deki E-Düzlemi ışıma diyagramları $\varphi = 0^\circ, 180^\circ$ sabit değerleri için kazancın θ ile değişimini göstermektedirler. Şekil 4.19’daki H-Düzlemi ışıma diyagramları ise $\varphi = 90^\circ, 270^\circ$ sabit değerleri için kazancın θ ile değişimini göstermektedirler.



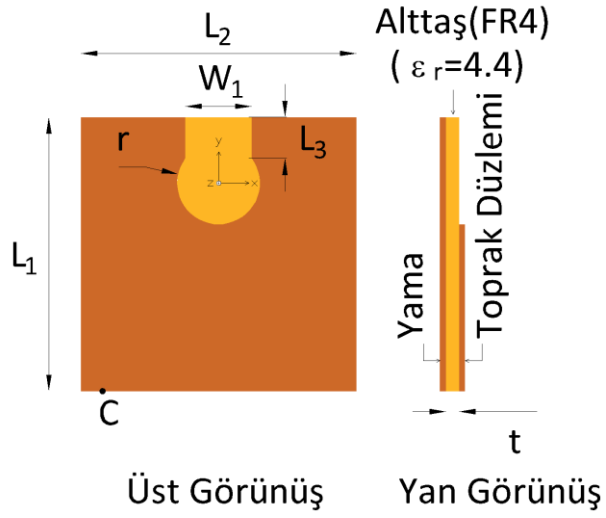
Şekil 4.18. Tasarlanan UMTS mikroşerit yama antenin 2.08 GHz frekansında E-Düzlemi ışınım (kazanç) diyagramı (dB) $\phi = 0^\circ, 180^\circ$.



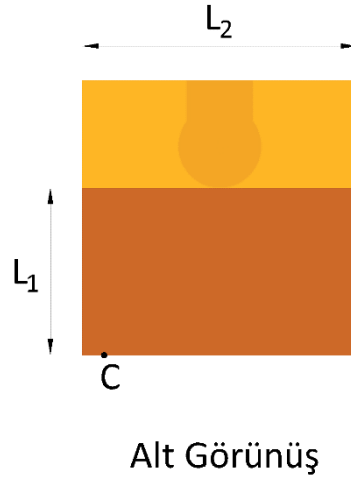
Şekil 4.19. Tasarlanan UMTS mikroşerit yama antenin 2.08 GHz frekansında H-Düzlemi ışınım (kazanç) diyagramı (dB) $\phi = 90^\circ, 270^\circ$.

4.2.5. WiMAX Anteni İçin Temel Anten Geometrisi Ve Tasarım Aşamaları

WiMAX antenin tasarımını büyük ölçüde UMTS antenin tasarımına benzer şekilde gerçekleştirilmiştir. WiMAX antenin temel yapısı, Şekil 4.20 ve Şekil 4.21’de gösterilmiştir. Anten mikroşerit hat ile beslenmiş monopollü bir antendir. Işınım yapan kısım ile toprak düzlemi arasındaki mesafenin değişmesiyle antenin performansının iyileştirilebilmesi mümkün olduğu için monopollü yapı tercih edilmiştir.



Şekil 4.20. Tasarlanacak olan WiMAX antenin yapıları (üst ve yan görünüş).



Şekil 4.21. Tasarlanacak olan WiMAX antenin yapıları (alt görünüş).

Şekil 4.20 ve Şekil 4.21'de verilen şekiller üzerinde gösterilen parametreler aşağıda açıklamaları ile listelenmiştir:

- L_1 : Yamanın uzunluğu (Şekil 4.20), toprak düzleminin uzunluğu (Şekil 4.21),
- L_2 : Yamanın genişliği (Şekil 4.20), toprak düzleminin genişliği (Şekil 4.21),
- L_3 : Dikey yarık uzunluğu,
- W_1 : Yatay yarık genişliği,
- r : Silindir yarık yarıçapı,
- C : Besleme noktası,
- t : Altaş kalınlığı.

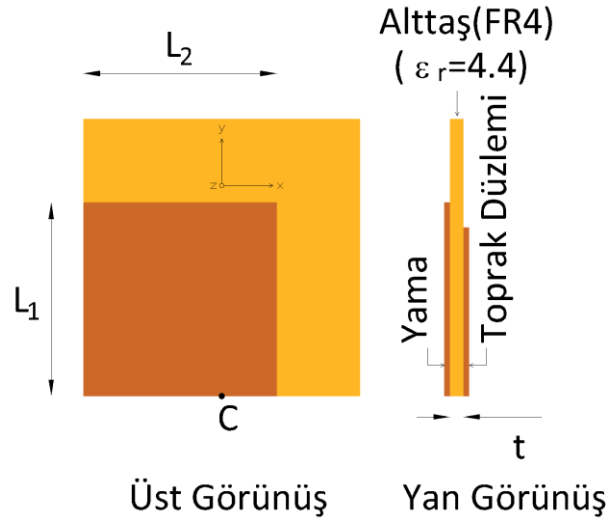
İstenilen rezonans frekansı, bant genişliği ve diğer parametreler yapılacak olan değişiklikler ile sağlanmıştır. Şekil 4.20 ve Şekil 4.21’de görünen; turuncu renkli kısım bakır tabakayı, sarı renkli kısım ise dielektrik tabakayı temsil etmektedir.

UMTS antenin tasarımında olduğu gibi WiMAX anteninde tasarımı iki aşamada gerçekleştirilmiştir. İlk aşamada yama boyutları ve toprak düzleminin boyutları üzerinde çalışılmıştır. Bu aşamada 3400 – 3600 MHz bandında ışyan monopol anten yapısı oluşturulduktan sonra ikinci aşamaya geçilmiştir.

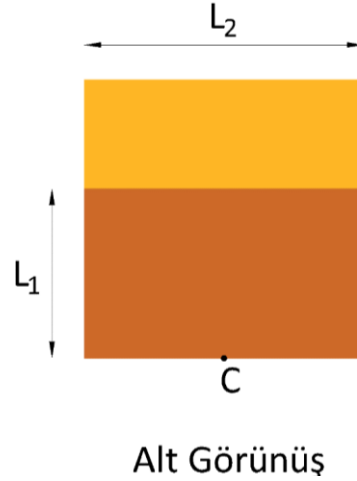
İkinci aşamada ise yama üzerinde c şeklinde açıklık oluşturularak ve besleme noktası üzerinde çalışılarak anten parametrelerinin iyileştirilmesi sağlanmıştır. Bu aşamada yama üzerinde oluşturulan c şeklindeki açıklık UMTS anteninde oluşturulan c şeklindeki açıklıktan geometrik olarak farklılık göstermektedir. Elde edilen sonuçlar ilk aşamada elde edilenler ile kıyaslanarak üzerlerinde tartışılmıştır.

4.2.6. WiMAX Bandında Çalışan Monopol Anten Yapısının Tasarlanması

WiMAX anten tasarımının ilk aşaması sonraki aşamalarda da kullanılacak olan monopol yapının WiMAX bandındaki çalışma karakteristiğinin incelenmesidir. WiMAX bandında çalışan monopol anten yapısı oluşturulurken Şekil 4.22’de gösterildiği gibi yama boyutları 23.25 mm x 23.25 mm x 0.1 mm (uzunluk x genişlik x kalınlık) olarak seçilmiştir. Toprak zemin boyutları ise 20.25 mm x 33.25 mm x 0.1 mm (uzunluk x genişlik x kalınlık) olarak seçilmiş ve Şekil 4.23’te gösterilmiştir.

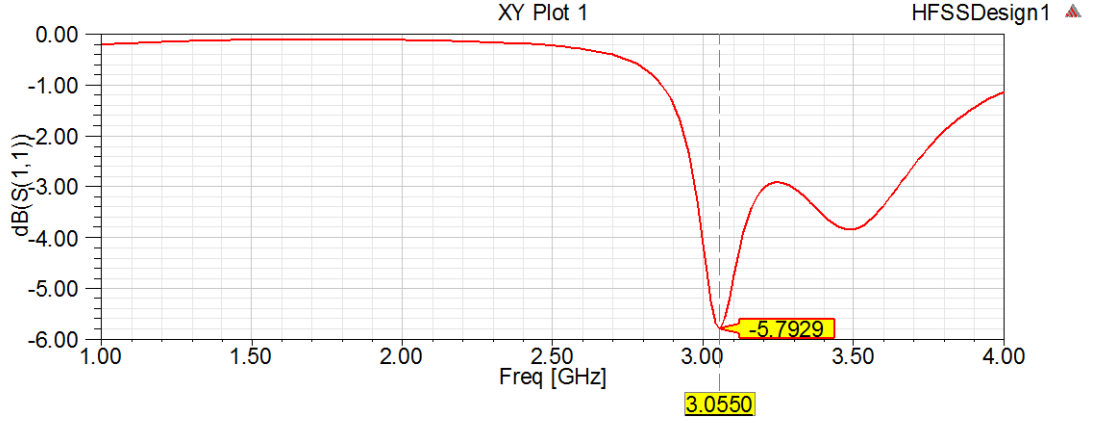


Şekil 4.22. Yama uzunluğu ve genişliği 23.25 mm olan mikroşerit yama anten.



Şekil 4.23. Toprak zemin uzunluğu 20.25 mm, genişliği 33.25 mm olan mikroşerit yama anten.

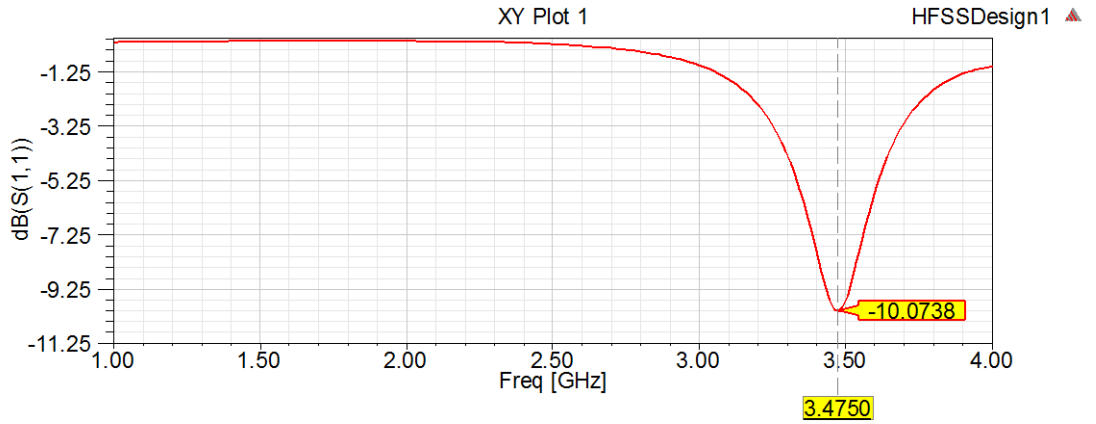
WiMAX spektrumunu kapsayacak nitelikte bir monopol anten yapısı elde edilene kadar birçok simülasyon yapılmıştır. Bu simülasyonlar esnasında değişen yama boyutlarının ve toprak zemin boyutlarının antenin rezonans frekansına, bant genişliğine ve geri dönüş kaybına olan etkileri gözlemlenmiştir. Yama boyutlarında değişiklik yapılırken toprak düzleminin boyutları sabit tutulmuş, toprak düzleminin boyutlarında değişiklik yapılırken yama boyutları sabit tutulmuştur. Yukarıda belirtilen yama boyutları ve toprak zemin boyutları için analiz sonucu Şekil 4.24'te verilmiştir.



Şekil 4.24. $L_1=23.25$ mm (yama uzunluğu), $L_2=23.25$ mm (yama genişliği), $L_1=20.25$ mm (toprak zeminin uzunluğu), $L_2=33.25$ mm (toprak zeminin genişliği) için mikroşerit yama antenin S_{11} grafiği.

Anten, yama uzunluğunun ve genişliğinin 23.25 mm olduğu durumda 3.055 GHz rezonans frekansında -5.79 dB S_{11} değerine sahiptir. Bant içinde S_{11} değeri -10 dB'nin altına düşmediği için bant genişliği belirlenememiştir. Antenin WiMAX bandında çalışabilmesi için rezonans frekansı 3.5 GHz olmalıdır.

Antenin yama uzunluğu ve genişliği 10 mm artırılmıştır. Bu boyutlara sahip olan antenin analiz sonucu Şekil 4.25'te görülmektedir.

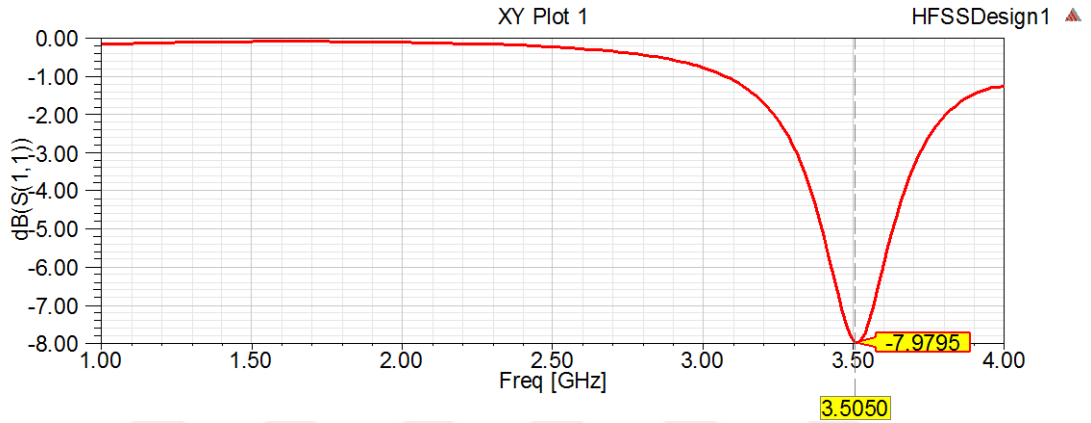


Şekil 4.25. $L_1=33.25$ mm (yama uzunluğu), $L_2=33.25$ mm (yama genişliği), $L_1=20.25$ mm (toprak zeminin uzunluğu), $L_2=33.25$ mm (toprak zeminin genişliği) için mikroşerit yama antenin S_{11} grafiği.

Yamanın uzunluğunun ve genişliğinin 33.25 mm olduğu durumdaki analiz sonucu ile bir önceki analiz sonucu karşılaştırıldığında rezonans frekansının 420

MHz artarak 3.475 GHz olduğu görülmüştür. Bant içi en iyi S_{11} değerinin 4.28 dB artarak -10.07 dB olduğu, bant genişliği ise 25.1 MHz olduğu gözlemlenmiştir.

Antenin yama boyutlarının 43.25 mm x 43.25 mm x 0.1 mm (uzunluk x genişlik x kalınlık) olduğu durumda analiz sonucu Şekil 4.26'daki gibidir. Toprak zemin boyutları sabittir.

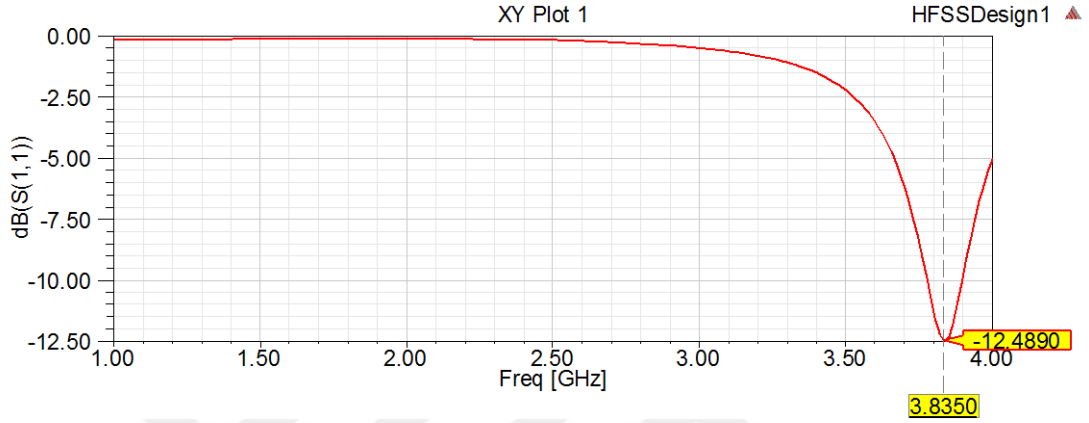


Şekil 4.26. $L_1=43.25$ mm (yama uzunluğu), $L_2=43.25$ mm (yama genişliği), $L_1=20.25$ mm (toprak zeminin uzunluğu), $L_2=33.25$ mm (toprak zeminin genişliği) için mikroşerit yama antenin S_{11} grafiği.

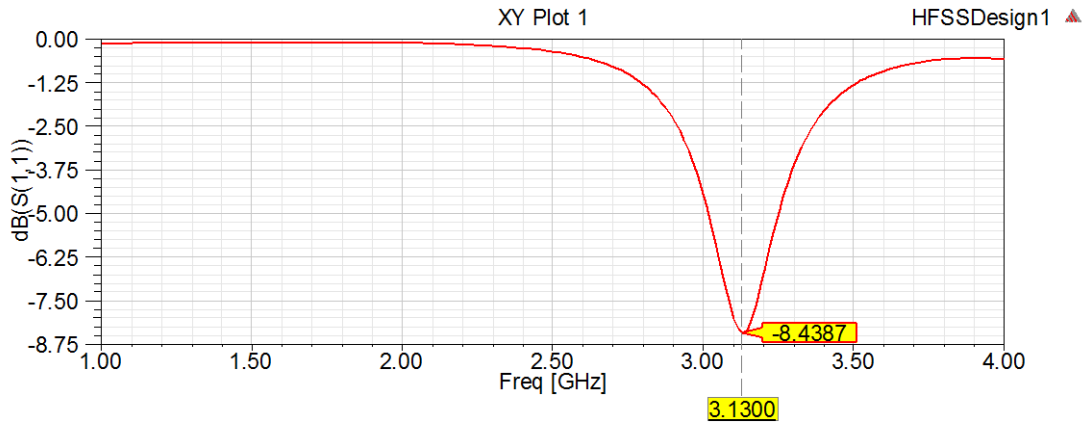
Yamanın uzunluğunun ve genişliğinin 43.25 mm olduğu durumdaki analiz sonucu ile bir önceki analiz sonucu kıyaslandığında rezonans frekansı 30 MHz artarak 3.505 GHz olmuştur. Bant içi en iyi S_{11} değeri 2.09 dB azalarak -7.97 dB olmuştur. S_{11} değeri -10 dB'den büyük olduğu için bant genişliği belirlenememiştir.

Değişen yama boyutlarının merkez frekansına, bant genişliğine ve geri dönüş kaybına olan etkileri incelenmiştir. Yama uzunluğu ve yama genişliği 23.25 mm'den başlayarak 43.25 mm'ye kadar 1 mm aralıklarla 21 değer için simüle edilmiştir en uygun değer 33.25 mm olduğu görülmüştür. Yama boyutları sabit tutularak toprak zemin uzunluğu değiştirilmiş ve S_{11} grafiği Şekil 4.27'de verilmiştir.

Toprak zemin uzunluğunun 18.25 mm olduğu durumdaki analiz sonucu (Şekil 4.27) ile 20.25 mm olduğu durumdaki analiz sonucu (Şekil 4.25) mukayese edildiğinde rezonans frekansı 360 MHz artarak 3.835 GHz olmuştur ve bant içi en iyi S_{11} değerinin 2.41 dB artarak -12.48 dB olduğu görülmüştür. Bant genişliğinin ise 92.3 MHz artarak 117.4 MHz olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 4.27. $L_1=33.25$ mm (yama uzunluğu), $L_2=33.25$ mm (yama genişliği), $L_1=18.25$ mm (toprak zeminin uzunluğu), $L_2=33.25$ mm (toprak zeminin genişliği) için mikroşerit yama antenin S_{11} grafiği.



Şekil 4.28. $L_1=33.25$ mm (yama uzunluğu), $L_2=33.25$ mm (yama genişliği), $L_1=22.25$ mm (toprak zeminin uzunluğu), $L_2=33.25$ mm (toprak zeminin genişliği) için mikroşerit yama antenin S_{11} grafiği.

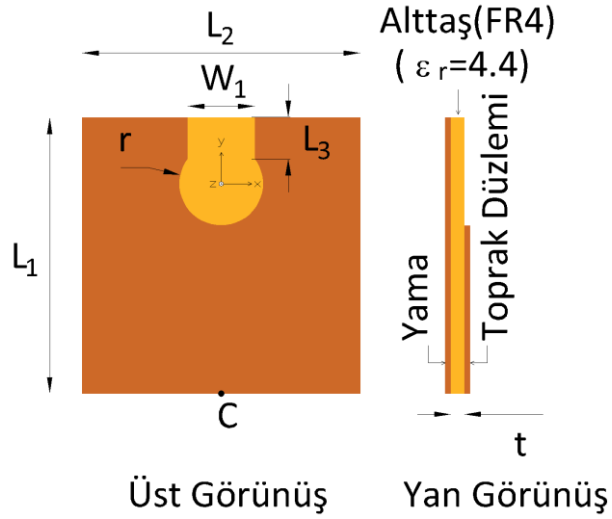
Toprak düzlem uzunluğu 22.25 mm seçilip analiz edilmiştir. Analiz sonucu ile toprak zemin uzunluğunun 20.25 mm olduğu durumdaki analiz sonucu mukayese edildiğinde rezonans frekansı 345 MHz azalarak 3.13 GHz olmuştur ve bant içi

en iyi S_{11} değerinin 1.63 dB azalarak -8.43 dB olduğu görülmüştür. Bant genişliğinin ise 34.7 MHz azalarak 14.9 MHz olduğu gözlemlenmiştir.

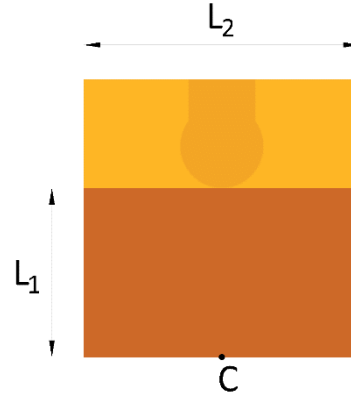
Toprak zemin uzunluğu 18.25 mm'den başlayarak 22.25 mm'ye kadar 0.25 mm aralıklarla 17 değer için simüle edilmiştir. Bu simülasyonlar sonucunda en uygun uzunluğun 20.25 mm olduğu görülmüştür.

4.2.7. WiMAX Bandında Çalışan Mikroşerit Yama Anten Yapısının Tasarlanması

Bu bölüm WiMAX anten tasarımının ikinci aşamasını oluşturmaktadır. Bu aşamada tasarlanan monopollü anten yapısında c şeklinde açıklık oluşturulmuş ve besleme noktası için en uygun pozisyon belirlenmiştir. İlk aşamada elde edilen rezonans frekansı, bant genişliği ve geri dönüş kaybı değerleri iyileştirilmiştir. Şekil 4.29'da monopollü yapı üzerinde c şeklinde açıklık oluşturulmuştur. Şekil 4.30'da oluşturulan monopollü antenin alt görünüşü verilmiştir.



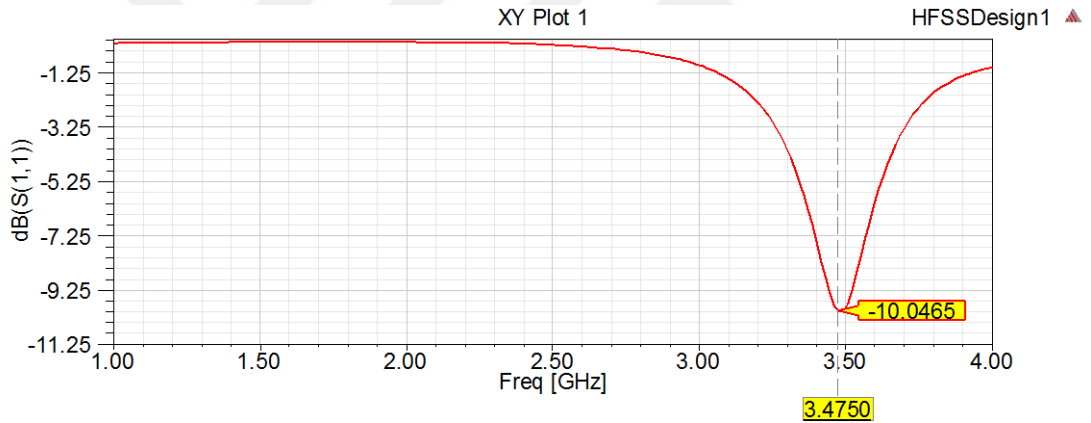
Şekil 4.29. C şeklinde açıklık oluşturulmuş mikroşerit yama anten (üst ve yan görünüş).



Alt Görünüş

Şekil 4.30. C şeklinde açıklık oluşturulmuş mikroşerit yama anten (alt görünüş).

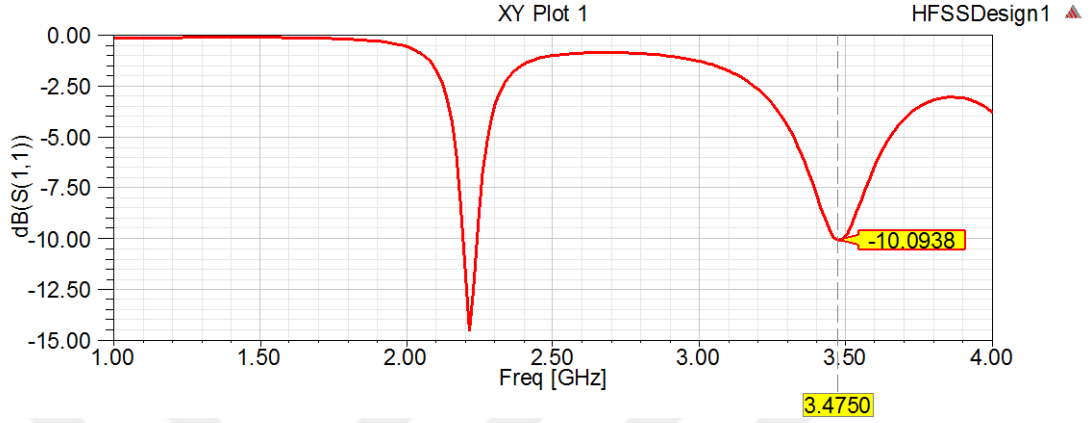
Tasarlanan WiMAX antenin analiz sonucu Şekil 4.31’de verilmiştir.



Şekil 4.31. C şeklinde açıklık oluşturulmuş mikroşerit yama antenin S_{11} grafiği.

Analiz sonucu incelendiğinde rezonans frekansının 3.475 GHz, en iyi geri dönüş kaybının -10.04 dB, -10 dB değeri referans alındığında bant genişliğinin 19.3 MHz olduğu görülmüştür. Bu sonuçlar ilk aşamada elde edilen monopul yapının analiz sonuçları ile karşılaştırıldığında rezonans frekansında bir değişiklik olmadığı, geri dönüş kaybının 0.058 dB azaldığı, bant genişliğinin ise 5.8 MHz azaldığı gözlemlenmiştir. Bir sonraki adımda antenin besleme noktasının yeri değiştirilerek anten parametreleri iyileştirilmeye çalışılmış ve bu değişikliğin parametreler üzerine olan etkisi incelenmiştir.

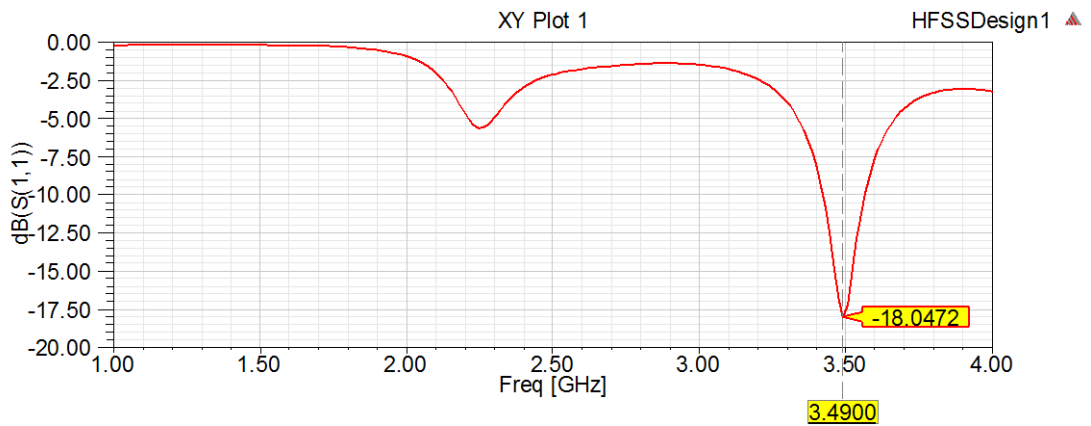
Şekil 4.29’da görüldüğü üzere koordinat sistemine göre besleme noktasının x eksenindeki değeri 0 mm’dir. Besleme noktası x ekseninde 8 mm sola kaydırılarak Şekil 4.32’de S_{11} grafiği çizdirilmiştir.



Şekil 4.32. Besleme noktasının koordinatları (-8, -25.25, 0) olan mikroşerit yama antenin S_{11} grafiği.

İlk duruma göre besleme noktası x ekseninde 8 mm sola kaydırılınca rezonans frekansında herhangi bir değişiklik olmamış ancak bant içi en iyi geri dönüş kaybı 0.047 dB artarak -10.09 dB olmuştur. Bant genişliği ise 5.8 MHz artarak 25.1 MHz olmuştur.

Besleme noktasının koordinatları (-8, -25.25, 0) iken x ekseninde 8 mm sola kaydırılmış ve geri dönüş kaybı Şekil 4.33’te çizdirilmiştir.



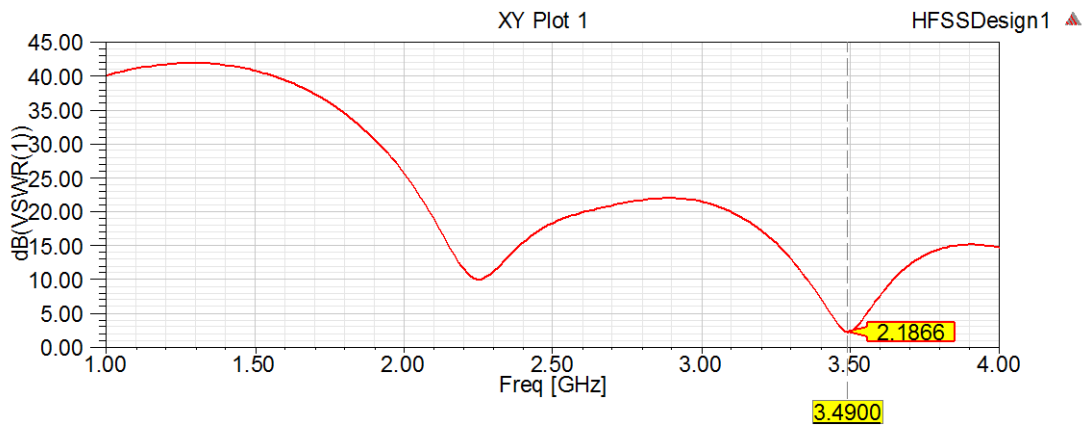
Şekil 4.33. Besleme noktasının koordinatları (-16, -25.25, 0) olan mikroşerit yama antenin S_{11} grafiği.

Şekil 4.33'ten görüldüğü üzere besleme noktasının koordinatları (-16, -25.25, 0) olan mikroşerit yama antenin merkez frekansı 3.49 GHz, bant içi en iyi geri dönüş kaybı -18.04 dB ve bant genişliği 143 MHz'dir. Bu sonuçlar besleme noktasının koordinatları (0, -25.25, 0) olan mikroşerit yama antenin analiz sonuçları ile karşılaştırıldığında rezonans frekansında 15 MHz'lik bir iyileştirme, geri dönüş kaybında 8 dB'lik bir iyileştirme bant genişliğinde ise 123.7 MHz'lik bir iyileştirme olduğu görüldü.

Antenin besleme noktası x ekseninde -16 mm'den başlayarak +16 mm'ye kadar 4 mm aralıklarla 9 değer için simüle edildi. Simülasyonlar sonucunda besleme noktası için x ekseninde en uygun değer -16 mm olduğu gözlemlendi.

Yama boyutlarının, toprak düzlem uzunluğunun, yama üzerinde c şeklinde açıklık oluşturulmasının ve besleme noktasının x ekseninde yer değiştirmesinin rezonans frekansı, geri dönüş kaybı ve bant genişliği üzerine olan etkileri incelenmiştir. Herbir parametre için optimum değerler seçilerek WiMAX anten tasarımı tamamlanmıştır.

Tasarlanan antenin VSWR grafiği Şekil 4.34'te verilmiştir. Aşağıdaki şekile bakılacak olursa $f_0 = 3.49$ GHz rezonans frekansında VSWR değeri 2.18'e eşittir. Bu da empedans uyumunun iyi bir şekilde sağlandığını göstermektedir.



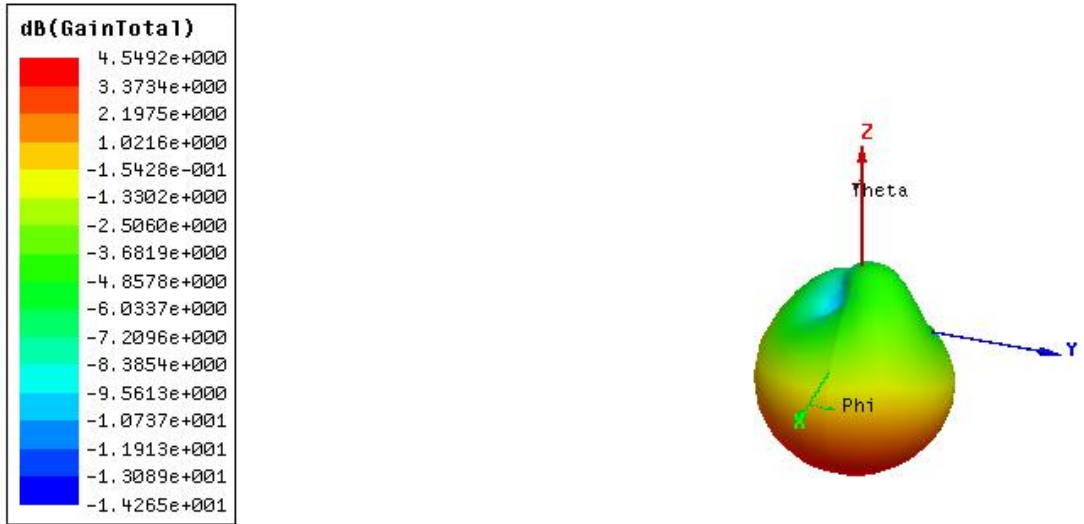
Şekil 4.34. Tasarlanan WiMAX mikroşerit yama antenin VSWR grafiği.

Şekil 4.35'ten görüldüğü gibi $f_0 = 3.49$ GHz rezonans frekansında $Z_{giriş} = 49.85 - j12.60$ değerindedir.



Şekil 4.35. Tasarlanan WiMAX mikroşerit yama antenin $Z_{giriş}$ grafiği.

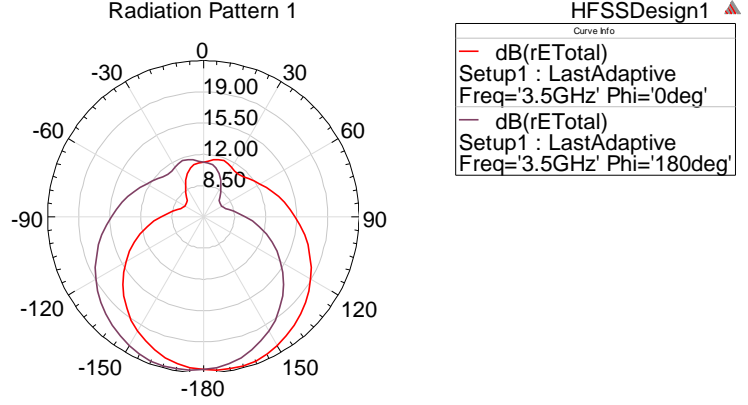
Antenin $f_0 = 3.49$ GHz rezonans frekansı civarındaki ışıma özelliklerine bakılacak olursa tasarlanan yapıya ait 3-Boyutlu kazanç diyagramı aşağıda Şekil 4.36'da gösterilmiştir. Görüldüğü gibi kazanç değeri -z ekseninde maksimum değerini almaktadır (Maks(K) = 4.54 dB). WiMAX antenin kazancının UMTS antenin kazancından 0.26 dB fazla olduğu görülmüştür.



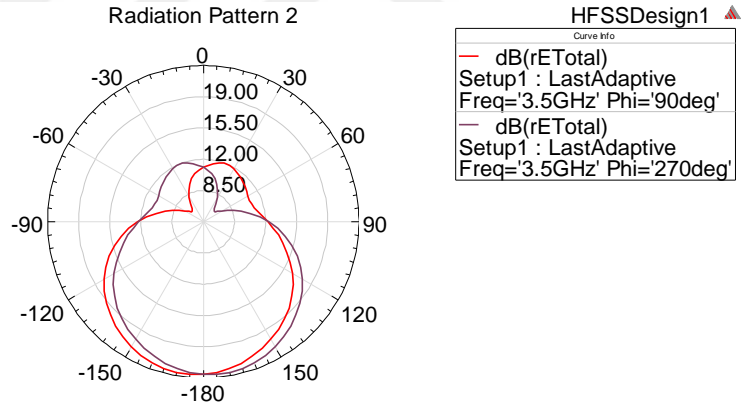
Şekil 4.36. Tasarlanan WiMAX mikroşerit yama antenin 3.49 GHz frekansında 3-Boyutlu ışıma (kazanç) diyagramı.

Tasarlanan mikroşerit anten yapısına ilişkin 2-Boyutlu E-Düzlemi ve H-Düzlemi ışıma diyagramları sırasıyla Şekil 4.37 ve Şekil 4.38 ile gösterilmişlerdir. Şekil 4.37'deki E-Düzlemi ışıma diyagramları $\varphi = 0^\circ$, 180° sabit değerleri için kazancın

θ ile değişimini göstermektedirler. Şekil 4.38'deki H-Düzlemi ışma diyagramları ise $\varphi = 90^\circ, 270^\circ$ sabit değerleri için kazancın θ ile değişimini göstermektedirler.



Şekil 4.37. Tasarlanan WiMAX mikroşerit yama antenin 3.49 GHz frekansında E-Düzlemi ışma (kazanç) diyagramı (dB) $\varphi = 0^\circ, 180^\circ$.

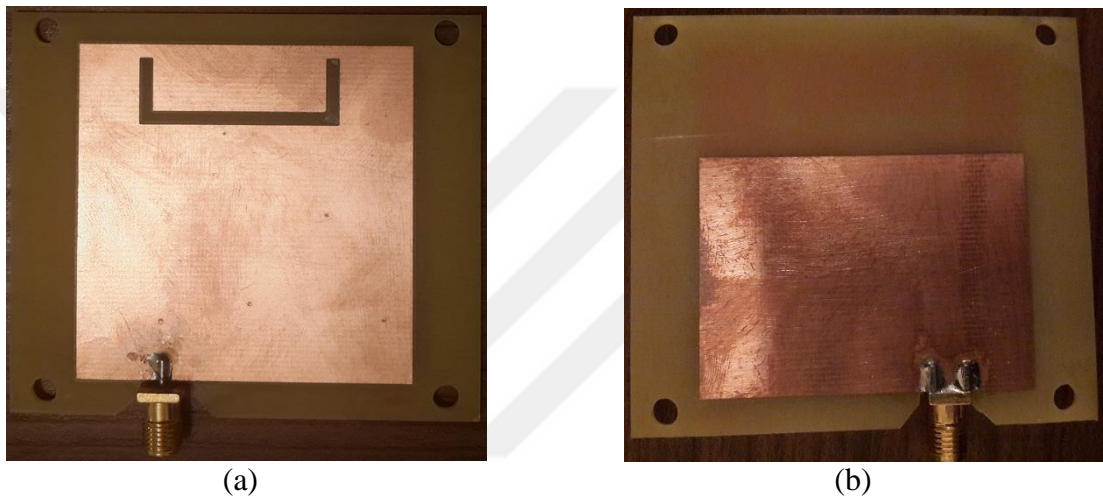


Şekil 4.38. Tasarlanan WiMAX mikroşerit yama antenin 3.49 GHz frekansında H-Düzlemi ışma (kazanç) diyagramı (dB) $\varphi = 90^\circ, 270^\circ$.

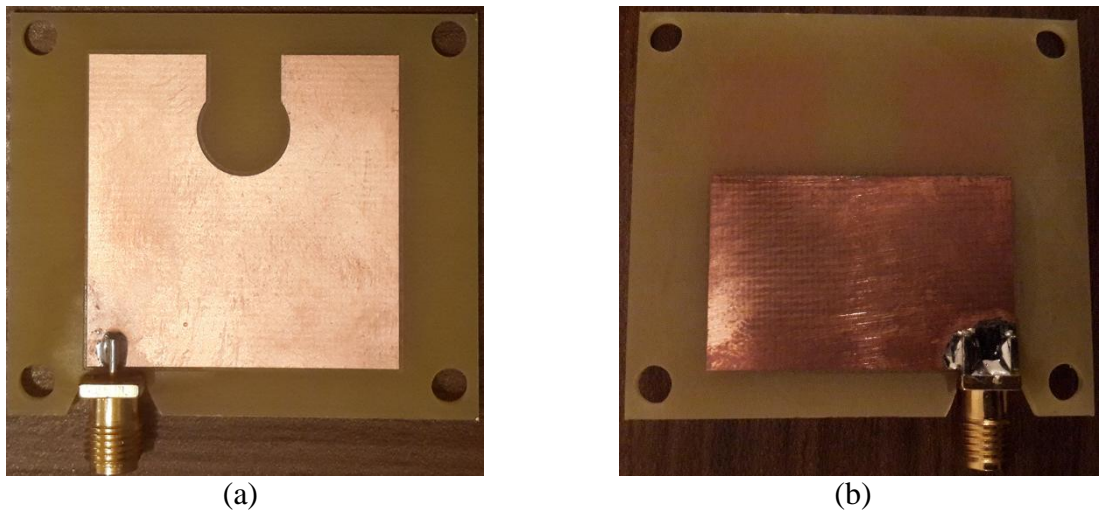
4.3. UMTS VE WİMAX UYGULAMALARI İÇİN TASARLANAN ANTENLERİN GERÇEKLEŞTİRİLMESİ

Benzetimi yapılan antenlerin gerçekleştirilmesine, DXF dosyalarının benzetim ortamından export edilmesi işlemi ile başlanmıştır. Export edilen dosyalar taşınabilir belleğe aktarılmıştır. Üniversitemizde antenlerin gerçekleştirilip, ölçümlerinin yapılabileceği laboratuvar ortamı bulunmadığı için Orta Doğu Teknik Üniversitesi'nin laboratuvar imkanları kullanılmıştır. Taşınabilir bellekte olan DXF

dosyaları laboratuvar ortamında baskı devre üretim cihazına bağı olan bilgisayara aktarılmıştır. Bilgisayar bir yazılım vasıtasıyla baskı devre üretim cihazını kontrol etmektedir. Cihaz, benzetim ortamında tasarlanan antenlerin ışına yapacak olan yüzeylerini birebir ölçülerde FR4 bakır plaket üzerine oluşturmuştur. Işıma yapmayacak olan bakır kısımlar maket bıçağı yardımıyla plaket üzerinden kaldırılmıştır. Antenlerin gerçekleştirilmesi, SMA konnektörlerin lehimleme işlemleri ile tamamlanmıştır. Gerçekleştirilen antenlerin fotoğrafları **Hata! Başvuru kaynağı bulunamadı.**39 ve **Hata! Başvuru kaynağı bulunamadı.**40'ta verilmiştir.



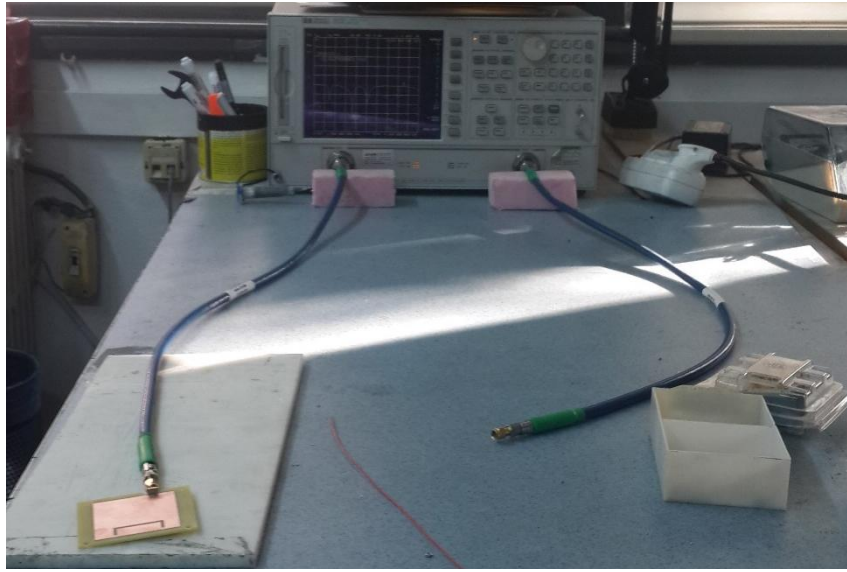
Şekil 4.39. Gerçekleştirilen UMTS anteni a) üst görünüşü b) alt görünüşü.



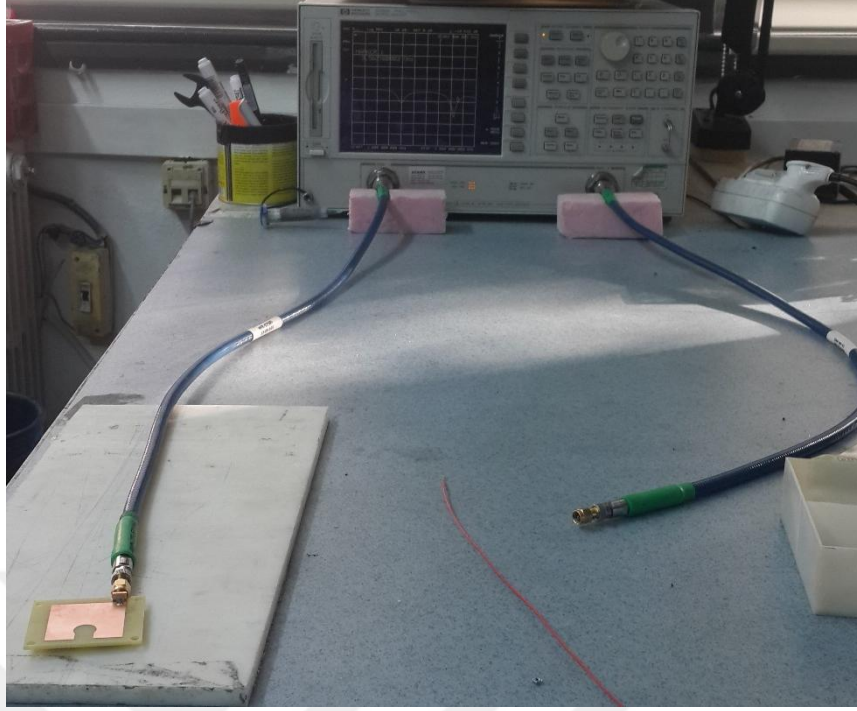
Şekil 4.40. Gerçekleştirilen WiMAX anteni a) üst görünüşü b) alt görünüşü.

4.3.1. Antenlerin Ölçülmesi

Gerçekleştirilen antenlerin ölçümü, HEWLETT PACKARD 8720D Network Analyzer cihazı aracılığı ile yapılmıştır. Bu cihaz, iki porta sahiptir ve 50 MHz'den 20 GHz'e kadar geniş bir frekans aralığında ölçüm yapabilmektedir. Antenler ile ilgili geri dönüş kaybı ölçümünü yaparak, üzerinde yer alan ekranda gösterebilmekte, disket aracılığı ile bilgisayara aktarabilmektedir. Ölçüm işlemi sırasında öncelikle cihaz, S_{11} değerini logaritmik ölçekte ölçecek şekilde ayarlanmıştır. Ardından, ölçülmek istenen frekans aralıkları belirlenmiş ve bu aralıkta kaç adet frekans için ölçüm yapılacağı ayarlanmıştır. Bundan sonra kalibrasyon işlemi yapılmıştır. Bütün ayarlamalar ve kalibrasyon işlemleri tamamlandıktan sonra antenler sırasıyla, düşük kayıplı bir kablo ile cihazın PORT1 girişine bağlanmıştır. Cihazın ekranında ölçüm sonucu anlık olarak görülmektedir. Doğru bir ölçüm yapılabilmesi için antenlerin çevresinde, antenlerden kaynaklı olmayan, harici geri yansımalara sebebiyet vermemesi için, geniş boş bir alan bulunmalıdır. Ölçüm sonucu, cihaz tarafından bir diskete yazdırılmıştır. Diskette yer alan ölçüm sonuçları bilgisayar vasıtası ile taşınabilir bir belleğe aktarılmıştır. Daha sonra MATLAB ortamında yazılan kod aracılığı ölçüm sonuçları ile simülasyon sonuçları karşılaştırılmıştır. Antenlerin ölçüm düzenekleri Şekil 4.41 ve Şekil 4.42'de verilmiştir.



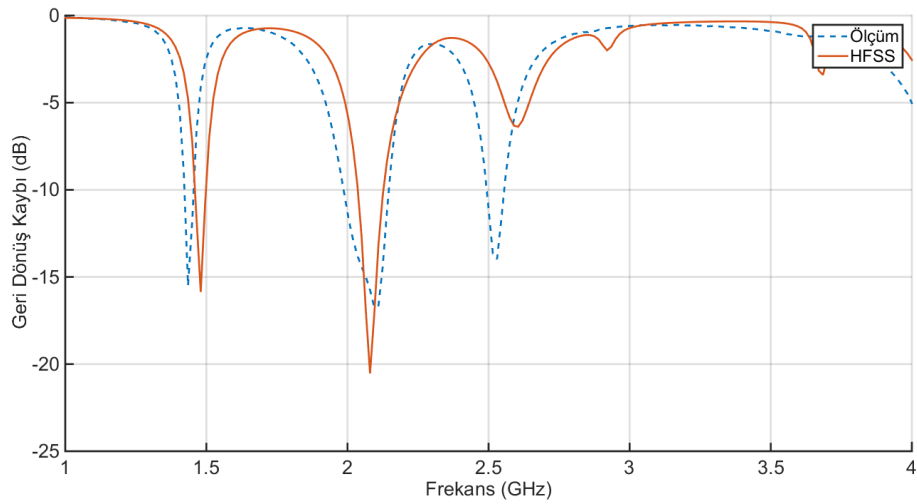
Şekil 4.41. UMTS anteninin ölçüm düzeniği.



Şekil 4.42. WiMAX antenin ölçüm düzeneği.

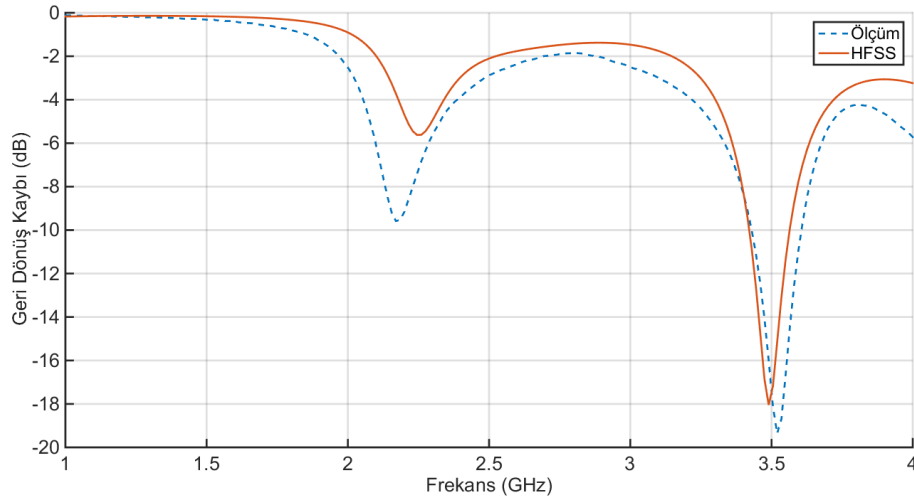
4.3.2. Sonuçlar

Gerçekleştirilen antenlerin geri dönüş kaybı (S_{11}), HEWLETT PACKARD 8720D Network Analyzer cihazı aracılığı ile ölçülmüştür. Benzetim ve ölçüm sonuçları, Şekil 4.43 ve Şekil 4.44'te verilmiştir.



Şekil 4.43. Gerçekleştirilen UMTS antenin benzetim ve ölçüm sonuçları.

Şekil 4.43'te görüldüğü gibi gerçekleştirilen UMTS anteni, 1.38 GHz frekansında -3 dB değerinin altına düşmüş yani rezonansa girmeye başlamıştır. Anten, 1.42 GHz frekansında -10 dB değerine sahiptir ve bu frekanstan 1.45 GHz frekansına kadar verimli çalışmaktadır. Bu aradaki bant genişliği 30 MHz değerine sahiptir. 1.45 GHz ile 1.88 GHz arasında ışıma yapmayan anten, 1.88 GHz frekansında rezonansa girmeye başlayıp, 1.99 GHz frekansından başlayarak 2.15 GHz frekansına kadar yüksek verimle çalışmaktadır. Bu aradaki bant genişliği 160 MHz değerine sahiptir. 2.15 GHz ile 2.42 GHz arasında ışıma yapmayan anten, 2.42 GHz frekansında rezonansa girmeye başlayıp, 2.49 GHz frekansından başlayarak 2.56 GHz frekansına kadar verimli olarak çalışmaktadır. Bu aradaki bant genişliği 70 MHz değerine sahiptir. Antenin ölçüm sonuçları, benzetim sonuçlarına oldukça yakındır.



Şekil 4.44. Gerçekleştirilen WiMAX antenin benzetim ve ölçüm sonuçları.

Şekil 4.44'te görüldüğü gibi gerçekleştirilen WiMAX anteni, 2.05 GHz frekansında -3 dB değerinin altına düşmüş yani rezonansa girmeye başlamıştır. Anten, 2.05 GHz frekansından 2.48 GHz frekansına kadar ışıma yapmıştır ancak -10 dB değerinin altına düşmemiştir. 2.48 GHz ile 3.11 GHz arasında ışıma yapmayan anten, 3.11 GHz frekansında rezonansa girmeye başlayıp, 3.43 GHz frekansından başlayarak 3.60 GHz frekansına kadar yüksek verimle çalışmaktadır. Bu aradaki bant genişliği 170 MHz değerine sahiptir. Antenin ölçüm sonuçları, benzetim sonuçlarına oldukça yakındır.

Elde edilen antenler, çalışmanın başlangıcında belirlenen hedeflere yakın bir performans sergilemektedir ve UMTS, WiMAX uygulamaları için IEEE tarafından oluşturulmuş standartlarda yer alan frekans ve bant genişliği kriterlerini sağlamaktadır.



BÖLÜM 5

TARTIŞMA VE ÖNERİLER

20. yüzyılın son çeyreğinde kablosuz haberleşme sistemlerine olan eğilimin ve tecrübenin artması sonucunda geliştirilen birinci nesil (1N) mobil haberleşme sistemleri, gelişimine dur durak bilmeksizin devam ederek önce ikinci nesil (2N) mobil haberleşme sistemlerinin, sonra da bu çalışma kapsamında daha ayrıntılı olarak incelenen üçüncü nesil (3N) ve dördüncü nesil mobil haberleşme sistemlerinin ortaya çıkarılmasına önayak olmuştur. Temelinde kullanıcıların birbirleri ile her an her yerde coğrafi engellerden bağımsız olarak haberleşme ihtiyaçlarını karşılamak olan mobil haberleşme sistemleri, paralelinde gelişen devre teknolojisi ve elektromanyetik dalga teorisi sayesinde yeni nesil teknolojiler üzerinde yapılan çalışmaların odak noktası haline gelmiştir. Bu sistemlerin kullanıcıya sağladığı en önemli özellik anlaşılacağı üzere hareket kabiliyetidir ve bu durum son kullanıcı cihazlarının boyutlarını pazarlama stratejileri açısından en temel talep unsuru haline dönüştürerek, cihaz boyutları üzerinde yapılan çalışmaların akademik düzeye kadar taşınmasını sağlamıştır.

Üçüncü nesil teknolojiler ile birlikte, mobil haberleşme sistemlerinde ses iletiminin yanında çoklu ortam özelliklerinin de desteklenmeye başlanması, dördüncü nesil teknolojilere geçişle beraber yüksek veri iletim hızlarına ulaşılması mobil cihazlarına entegre edilebilecek boyutlarda geniş bantlı çalışabilen anten yapılarının tasarımlarını zorunlu hale getirmiştir. *Bu çalışmanın da amacı 3N teknolojisi durumundaki UMTS sistemleri ve 4N teknolojisi durumundaki WiMAX sistemleri ile uyumlu mobil telefon cihazlarına monte edilebilecek nitelikte mikroşerit yama anten tasarımlarının gerçekleştirilmesidir.*

Mikroşerit yama antenler, boyut özellikleri ve üretim teknikleri göz önünde bulundurulduğunda mobil telefon cihazlarına en kolay entegre edilebilecek yapılar

olarak karşımıza çıkarlar. Ancak bu özelliğin yanında geleneksel mikroşerit yapılar dar bantlı karaktere sahiplerdir ve bantın genişletilmesi aynı zamanda anten boyutlarının da büyümesi anlamına gelmektedir.

Bu çalışma kapsamında tasarlanmış olan mikroşerit yama anten yapılarında, bant genişliği engelinin aşılabilmesi için yama üzerinde c-şeklinde açıklık oluşturulmuş ve optimum besleme noktasının koordinatları araştırılmıştır. Bu nedenle, iki aşamada ele alınan tasarım sürecinde ilk olarak monopol yapıların UMTS spektrumundaki (1900-2200 MHz) ve WiMAX spektrumundaki (3400-3600 MHz) davranışları incelenmiştir. HFSS benzetim ortamında tasarlanan monopol yapıların $S_{11} \leq -10\text{dB}$ için (1.99 – 2.03 GHz), (3.46 – 3.48 GHz) değerlerini sağlayabildiği görülmüştür.

İkinci aşamada yama üzerinde c-şeklinde açıklık oluşturulmuş ve besleme noktasının koordinatları optimize edilmiştir. Bu aşamada antenlerin rezonans frekansı, geri dönüş kaybı ve bant genişliği parametrelerinde iyileştirme yapılmıştır. UMTS ve WiMAX antenlerinin boyutları sırasıyla $50 \times 50 \times 1.6 \text{ mm}^3$, $33.25 \times 33.25 \times 1.6 \text{ mm}^3$ 'dir. HFSS benzetim ortamında tasarlanan antenlerin verilen boyutlarda $S_{11} \leq -10\text{dB}$ için (2.03 – 2.13 GHz), (3.42 – 3.56 GHz) bant genişliği değerlerini sağlayabildiği görülmüştür. Bu frekans bandları istenildiği gibi UMTS bandını (1900 – 2200 MHz) ve WiMAX bandını (3400 – 3600 MHz) kapsamaktadır.

Tasarlanan anten yapıları laboratuvar çalışması sonucunda gerçekleşmiş ve $S_{11} \leq -10\text{dB}$ için bant genişlikleri HEWLETT PACKARD 8720D Network Analyzer cihazı kullanılarak (1.99 – 2.15 GHz), (3.43 – 3.60 GHz) olarak ölçülmüştür. Ölçüm sonuçları ve benzetim ortamında elde edilen sonuçların birbirine oldukça yakın olduğu gözlemlenmiştir.

Çalışma sonucunda elde edilen anten yapılarının boyut ve bant genişliği gibi özellikleri mobil telefonlar açısından kabul edilebilir düzeydedir. İleriki çalışmalarda bu yapı üzerinde bant genişliğini artırabilecek farklı yöntemler denenerek anten karakteristiği ve boyutları daha da iyi seviyelere çekilebilir. Burada geleneksel mikroşerit yama antenlerdekinden farklı olarak c-şeklinde açıklıklı geniş bantlı

kompakt mikroşerit antenler kullanılmıştır. UMTS spektrumu ve WiMAX spektrumu dahilinde anten boyutları kabul edilebilir düzeye çekilebilmiştir.



KAYNAKLAR

1. Balanis, C. A., "Antenna Theory: Analysis and Design", *Wiley Interscience*, 1136 (2005)
2. James, J. R. and Hall, P. S., "Handbook of Microstrip Antennas", *Peter Peregrinus Ltd.*, London, 1312 (1989).
3. Garg, R., Bhartia, P., Bahl, I. and Ittipiboon, A., "Microstrip Antenna Design Handbook", *Artech House*, London, 875 (2001).
4. Kumar, G. and Ray, K.P., "Broadband Microstrip Antennas", *Artech House*, London, 409 (2003).
5. Ye, L.-H. and Chu, Q.-X., "Compact dual-wideband antenna for wlan/wimax applications", *Microwave and Optical Technology Letters*, 52 (6): 1228-1231 (2010).
6. Ku, C.-H., Li, L.-K. and Mao, W.-L., "Compact monopole antenna with branch strips for wlan/wimax operation", *Microwave and Optical Technology Letters*, 52 (8): 1858-1861 (2010).
7. Huang, J.-X., Zhang, F.-S., Zhang, F., Wang, Y., Yang, Y.-B. and Dong, K., "Compact groove-loaded triband antenna for wlan/wimax applications", *Microwave and Optical Technology Letters*, 52 (11): 2588-2592 (2010).
8. Chou, J.-H. and Su, S.-W., "Cost-effective metal-plate shorted dipole antenna with wide bandwidth for wlan/wimax applications", *Microwave and Optical Technology Letters*, 49 (12): 3044-3046 (2007).
9. Liu, H.-W. and Ku, C.-H., "Novel planar triple band monopole antenna for wimax/wlan applications", *Microwave and Optical Technology Letters*, 52 (11): 2405-2408 (2010).
10. Zaker, R., Ghobadi, C. and Nourinia, J., "A modified microstrip-fed two-step tapered monopole antenna for uwb and wlan applications", *Progress In Electromagnetics Research*, 77: 137-148 (2007).
11. Mahatthanajatuphat, C., Saleekaw, S., Akkaraekthalin, P. and Krairiksh, M., "A rhombic patch monopole antenna with modified minkowski fractal geometry for umts, wlan, and mobile wimax application", *Progress In Electromagnetics Research*, 89: 57-74 (2009).

12. Shin, Y.-S. and Park, S.-O., "A compact loop type antenna for bluetooth, sdmb, wibro, wimax, and wlan applications", *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, 6: 320-323 (2007).
13. Al-Husseini, M. Tawk, Y. El-Hajj, A. and Kabalan, K.Y., "A low-cost microstrip antenna for 3g/wlan/wimax and uwb applications", *Advances in Computational Tools for Engineering Applications (ACTEA) '09*, Lebanon, 68-70 (2009).
14. Jeong, Y. S., Lee, S. H., Yoon, J. H., Lee, W. Y., Choi, W. Y. and Yoon, Y. J., "Internal mobile antenna for lte / gsm850 / gsm900 / pcs1900 / wimax / wlan", *IEEE Radio and Wireless Symposium (RWS)*, New Orleans, 559-562 (2010).
15. Gao, S. C., Li, L. W., Leong, M. S. and Yeo, T. S., "Analysis of an H-Shaped patch antenna by using FDTD method", *Progress in Electromagnetics Research*, 34: 165-187 (2001).
16. Sheta, A. F., Mohra, A. and Mahmoud, S. F., "Multi-band operation of a compact H-shaped microstrip antenna", *Microwave Opt Technol Lett*, 35: 363–367 (2002).
17. Deshmukh, A. and Kumar, G., "Formulation of resonant frequency for compact rectangular microstrip antennas", *Microwave Opt Technol Lett.*, 49: 498-501 (2007).
18. Akdagli, A., Bicer, M. B. and Ermis, S., "A novel expression for resonant length obtained by using artificial bee colony algorithm in calculating resonant frequency of C-shaped compact microstrip antennas", *Turk J Elec Eng & Comp Sci*, 19 (4): 597-606 (2011).
19. Toktas, A., Bicer, M. B., Akdagli, A. and Kayabasi, A., "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 (12): 1718-1729 (2011).
20. Akdagli, A. and Toktas, A., "A novel expression in calculating resonant frequency of H-shaped compact microstrip antennas obtained by using artificial bee colony algorithm", *Journal of Electromagnetic Waves and Applications*, 24: 2049-4061 (2010).
21. Chen, Y., Yang, S. and Nie, Z., "Bandwidth Enhancement Method for Low Profile E-Shaped Microstrip Patch Antennas", *Antennas and Prop. – IEEE Trans*, 54 (7): 2442-2447 (2010).
22. Ma, J., Yin, Y., Li, Z. and Shi, S., "Broadband Microstrip Patch Antenna with a Novel L-Shaped CPW-Fed for Wibro/Bluetooth/S-DMB Operation", *Wireless Communications Networking and Mobile Computing (WiCOM)*, 1-4 (2010).

23. Bhattacharyya, A. K. and Garg, R., “Generalized transmission line model for microstrip patches”, *IEEE Proc. Microwave Antennas Propagation*, 132 (2): 93-98 (1985).
24. Harrington, R.F., “Field Computation by Moment Methods”, *Wiley-IEEE Press*, NJ, 240 (1993).
25. Taflove, A., “Computational Electrodynamics: The Finite-Difference Time Domain Method”, *Artech House, London*, 1038 (2005).
26. Gökçe, B., “UMTS uyumlu cep telefonları için mikroşerit yama anten tasarımı”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 5-8 (2009).
27. Soy, H., Özdemir, Ö., Bayrak, M., “Gelecek nesil mobil haberleşme sistemleri: 3G, 4G ve ötesi”, *Akademik Bilişim’12 – XIV. Akademik Bilişim Konferansı Bildirileri*, 214 (2012).
28. Engiz, B. K., “4. kuşak telsiz iletişim sistemleri için radyo kanalı yayılım özelliklerinin incelenmesi”, *Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 5-6 (2007).
29. Urfalıoğlu, R., “4. nesil mobil haberleşmenin standartlaşma sürecinde aday teknolojiler LTE ve Mobil WiMAX’in karşılaştırmalı analizi, Türkiye için geçiş stratejisi önerileri”, Bilişim Uzmanlığı Tezi, *Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu*, 1-9 (2011).
30. Biçer, M., B., “WLAN/WiMAX uygulamaları için kompakt mikroşerit anten tasarımı ve gerçekleştirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Mersin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 7-8 (2011).
31. İnternet: Revolution Wi-Fi “Comparing Wireless Technology Range and Data Rates”, <http://revolutionwifi.blogspot.com.tr/2012/02/graphic-comparing-wireless-technology.html>
32. Schneider, M. V., “Microstrip lines for microwave integrated circuits”, *Bell Syst. Tech.*, 48: 1421-1444 (1969).
33. Karaboga, D., “An idea based on honey bee swarm for numerical optimization”, *Technical Report-TR06*, Erciyes University, Kayseri, Turkey (2005).
34. Hammerstad, E. O., “Equations for microstrip circuits design”, *Proc. Fifth European Microwave Conf.*, 268-272 (1975).
35. HFSS, “Ansoft HFSS V9 User’s Guide”, *Ansoft Corporation*, Pittsburgh, USA (2003).
36. HFSS, “HFSS Software for Next-Generation Design”, *Ansoft Corporation*, Pittsburgh, USA (2003).

ÖZGEÇMİŞ

Cihat ŞEKER 1989'da Sivas'ta doğdu; ilk, orta ve lise öğrenimini Sivas'ta tamamladı. Üniversite öğrenimine 2008 yılında Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü'nde başladı; 2012'de mezun olduktan sonra bir yıl kadar bir KOSGEB projesinde yönetici olarak çalıştı. 2013 yılında Karabük Üniversitesi Elektrik - Elektronik Mühendisliği Bölümü'nde yüksek lisans eğitimine başladı. 2014 yılında Karabük Üniversitesi Tıp Mühendisliği Bölümü'nde Araştırma Görevlisi olarak göreve başladı. 2013 yılında, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik - Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı'nda başladığı yüksek lisans eğitimini sürdürmektedir.

ADRES BİLGİLERİ

Adres : Karabük Üniversitesi
Demir-Çelik Kampüsü
Mühendislik Fakültesi
Balıklarkayası Mevkii 78050 KARABÜK

Tel : (554) 287 87 74

E-posta : cihatseker@karabuk.edu.tr