

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**YAPAY MANYETİK İLETKEN TOPRAK YÜZEYLİ GENİŞBANT
MİKROŞERİT ANTEN TASARIMI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Mustafa ÇEKİNGEN**

Anabilim Dalı : Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği

Programı : Telekomünikasyon Mühendisliği

HAZİRAN 2011

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**YAPAY MANYETİK İLETKEN TOPRAK YÜZEYLİ GENİŞBANT
MİKROŞERİT ANTEN TASARIMI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Mustafa ÇEKİNGEN
(504081322)**

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 06 Mayıs 2011

Tezin Savunulduğu Tarih : 14 Haziran 2011

**Tez Danışmanı : Doç. Dr. Cevdet IŞIK (İTÜ)
Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Özcan KALENDERLİ (İTÜ)
Prof. Dr. Sedef KENT (İTÜ)**

HAZİRAN 2011

Aileme ve tüm sevdiklerime,

ÖNSÖZ

En başta yüksek lisans eğitimim boyunca bana yardımcı olan ve desteğini esirgemeyen herkese teşekkür ederim.

Bu yüksek lisans tez çalışması süresince bilgi ve tecrübesi ile beni hedefim doğrultusunda yönlendiren ve karşılaştığım zorlukları aşmamda bana yardımcı olan değerli danışman hocam Doç. Dr. Cevdet IŞIK'a teşekkür ederim. Laboratuvar ölçümlerinin gerçekleştirilmesinde yardımlarını esirgemeyen Doç. Dr. Bahattin Türetken'e teşekkür ederim.

Bugünlere gelmemde en büyük paya sahip olan ve beni her zaman destekleyen aileme, yoğun iş tempomuza rağmen bana her zaman yardımcı ve destek olan NETAŞ'taki değerli çalışma arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Yüksek lisans eğitimim boyunca maddi destekte bulunan TÜBİTAK'a teşekkür ederim.

Mayıs 2011

Mustafa ÇEKİNGEN

Elektronik ve Haberleşme Mühendisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	v
İÇİNDEKİLER	vii
KISALTMALAR	ix
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xi
ŞEKİL LİSTESİ.....	xiii
ÖZET.....	xv
SUMMARY	xvii
1. GİRİŞ	1
1.1 Tezin Amacı	2
1.2 Teze Genel Bakış	2
2. ANTENLER VE ÖZELLİKLERİ.....	5
2.1 Anten	5
2.2 Anten Özellikleri	6
2.2.1 Antenlerin eşdeğer devre ile gösterimi	6
2.2.2 Anten alan bölgeleri	8
2.2.3 Temel anten parametreleri	10
2.2.3.1 Işıma paterni	10
2.2.3.2 Anten polarizasyonu.....	11
2.2.3.3 Bant genişliği	12
2.2.3.4 Etkin anten uzunluğu.....	13
2.2.3.5 Anten faktörü	13
2.2.3.6 Yönlendiricilik	14
2.2.3.7 Yönlendiricilik kazancı	14
2.2.3.8 Işıma güç yoğunluğu	14
2.2.3.9 Işıma şiddeti	14
2.2.3.10 Kazanç.....	15
2.2.3.11 Anten ışıma direnci	15
2.2.3.12 Anten ışıma verimliliği	15
2.2.3.13 Etkin anten açıklığı	16
2.2.3.14 Açısal ışıma açıklığı (Huzme genişliği).....	16
2.2.3.15 Anten yansıma katsayısı.....	16
2.2.3.16 Anten giriş empedansı.....	16
2.2.3.17 Gerilim duran dalga oranı (VSWR).....	18
2.2.3.18 Anten geri dönüş kaybı	19
2.2.3.19 Anten kayıp faktörü.....	19
2.3 Işıma İçin Gerekli Koşullar	19
2.4 Anten Türleri	20
2.4.1 Tel antenler	20
2.4.1.1 Doğrusal tel antenler	20
2.4.1.2 Eğrisel tel antenler.....	21

2.4.2 Açıklık antenler	21
2.4.3 Mikroşerit antenler	21
2.4.4 Dizi antenler	21
3. MİKROŞERİT ANTENLER	23
3.1 Giriş	23
3.2 Mikroşerit Antenlerde Işıma Oluşumu	25
3.3 Mikroşerit Anten Çeşitleri	26
3.3.1 Mikroşerit yama antenler	26
3.3.2 Mikroşerit boşluk antenler	27
3.3.3 Mikroşerit yürüyen dalga antenler	27
3.3.4 Mikroşerit halka antenler	28
3.3.5 Mikroşerit monopol antenler	29
3.4 Mikroşerit Antenlerin Besleme Çeşitleri	30
3.4.1 Mikroşerit besleme	30
3.4.2 Koaksiyel besleme	31
3.4.3 Açıklık kuplajlı besleme	32
3.4.4 Yakınlık kuplajlı besleme	33
3.5 Mikroşerit Antenlerin Analiz Yöntemleri	34
3.5.1 İletim hat modeli	34
3.5.2 Zaman düzleminde sonlu farklar yöntemi	35
3.5.3 Sonlu elemanlar yöntemi	35
3.6 Mikroşerit Antenlerin Avantajları, Dezavantajları ve Uygulama Alanları	37
4. HABERLEŞME TEKNOLOJİLERİ VE METAMALZEMELER	41
4.1 Kablosuz Haberleşme Teknolojileri	41
4.1.1 Birinci nesil (1G) haberleşme teknolojisi	42
4.1.1.1 NMT – Nordic mobil telefon	43
4.1.1.2 AMPS – İleri mobil telefon sistemi	43
4.1.1.3 CDPD – Hücresele sayısal paket data	43
4.1.2 İkinci nesil (2G) haberleşme teknolojisi	43
4.1.2.1 GSM	44
4.1.3 Üçüncü nesil (3G) haberleşme teknolojisi	46
4.1.4 802.11 kablosuz ağ standartları	48
4.1.4.1 802.11b standardı ve özellikleri	48
4.1.4.2 802.11a standardı ve özellikleri	49
4.1.4.3 802.11g standardı ve özellikleri	50
4.2 Metamalzemeler	50
4.2.1 Yapay manyetik iletkenler (Artificial magnetic conductor - AMC)	54
5. ANTEN TASARIMI VE ANALİZİ	57
5.1 Ansoft HFSS Paket Programı	57
5.2 Geniş Bantlı Mikroşerit Monopol Anten Tasarımı	58
5.2.1 Mikroşerit monopol anten tasarımındaki temel parametreler	58
5.2.2 Geleneksel dairesel monopol anten tasarımı	59
5.2.3 Yapay manyetik iletken toprak yüzeyli dairesel monopol anten tasarımı	74
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	93
KAYNAKLAR	95
ÖZGEÇMİŞ	97

KISALTMALAR

GSM	: Global System for Mobil Communication
UMTS	: Univeral Mobil Telecommunication System
ISM	: Industrial Scientific Medical
1G	: First Generation
2G	: Second Generation
3G	: Third Generation
4G	: Fourth Generation
ITU	: International Telecommunication Union
ANSI	: American National Standards Institute
3GPP	: Third Generation Partnership Project
ARP	: Auto Radio Puhelin
MTSD	: Mobil Telephony System D
IMT	: International Mobile Telecommunication
RF	: Radio Frequency
WiFi	: Wireless Fidelity
PTFE	: Poly Tetra Fluoro Ethylene
FR-4	: Flame Resistant - 4
TE	: Transverse Electric
TEM	: Transverse Electric and Magnetic
FEM	: Finite Element Method
TLM	: Transmission Line Method
MoM	: Method of Moments
NMT	: Nordic Mobile Telephone
AMPS	: Advanced Mobile Phone System
CDPD	: Cellular Digital Packet Data
ISDN	: Integrated Services Digital Network
HSCSD	: High Speed Circuit Switched Data
GPRS	: General Packet Radio Service
EDGE	: Enhanced Data Rates for Global Evolution
FDMA	: Frequency Division Multiple Access
CDMA	: Code Division Multiple Access
WCDMA	: Wideband Code Division Multiple Access
GMSK	: Gaussian Modulation Shift Keyying
8PSK	: 8 Phase Shift Keyying
WLAN	: Wireless Local Area Network
AMC	: Artificial Magnetic Conductor
PEC	: Perfect Electric Conductor
EBG	: Electromagnetic Band Gap
FSS	: Frequency Selective Surface
HIS	: High Impedance Surface

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 5.1 : Önceki tasarımla aynı ölçülerdeki antenin diğer boyutsal değerleri. ...	76
Çizelge 5.2 : Boyutları küçültülmüş antenin boyutsal değerleri.....	77
Çizelge 5.3 : Optimize edilmiş antenin boyutsal değerleri.....	78

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Anten yapısı.....	6
Şekil 2.2 : Elektrik alan yayılımı.....	6
Şekil 2.3 : Verici antenin devre eşdeğeri.....	7
Şekil 2.4 : Alıcı antenin devre eşdeğeri.....	8
Şekil 2.5 : Anten alan bölgeleri.....	9
Şekil 2.6 : Işıma paterni.....	10
Şekil 2.7 : Anten pozisyonuna göre polarizasyon.....	11
Şekil 2.8 : Bant genişliği.....	13
Şekil 2.9 : Anten empedans dağılımı.....	17
Şekil 2.10 : Anten ışınma oluşumu.....	20
Şekil 3.1 : Mikroşerit antenin genel yapısı.....	24
Şekil 3.2 : Mikroşerit antende ışınma oluşumu.....	25
Şekil 3.3 : Mikroşerit yama anten tipleri.....	26
Şekil 3.4 : Mikroşerit beslemeli mikroşerit boşluk anten yapısı.....	27
Şekil 3.5 : Mikroşerit yürüyen dalga anten türleri.....	28
Şekil 3.6 : Çift T şekilli mikroşerit monopol anten örneği.....	29
Şekil 3.7 : Mikroşerit besleme yapısı.....	30
Şekil 3.8 : Anten konumuna göre mikroşerit besleme şekilleri.....	31
Şekil 3.9 : Koaksiyel besleme yapısı.....	32
Şekil 3.10 : Açıklık kuplajlı besleme yapısı.....	32
Şekil 3.11 : Yakınlık kuplajlı besleme yapısı.....	33
Şekil 3.12 : Tipik sonlu eleman örnekleri.....	36
Şekil 3.13 : 2B-FEM mikroşerit anten problem uzayı ve uzayın ayrıklaştırılması... ..	36
Şekil 4.1 : Kablosuz haberleşme teknolojilerinde gelişim.....	42
Şekil 4.2 : GSM 900 ve GSM 1800 için frekans kullanımı.....	45
Şekil 4.3 : Haberleşme teknolojileri ve destekledikleri veri hızları.....	46
Şekil 4.4 : UMTS frekans dağılımı.....	48
Şekil 4.5 : Metamalzeme türleri.....	52
Şekil 4.6 : Sievenpiper yüzeyi.....	55
Şekil 4.7 : AMC toprak yapıları.....	56
Şekil 5.1 : Geleneksel dairesel monopol anten yapısı.....	61
Şekil 5.2 : Tasarlanan antenin HFSS programındaki görünümü.....	62
Şekil 5.3 : Geleneksel dairesel monopol anten S_{11} grafiği.....	63
Şekil 5.4 : Geleneksel dairesel monopol anten VSWR grafiği.....	64
Şekil 5.5 : Geleneksel dairesel monopol anten Z_{in} grafiği.....	64
Şekil 5.6 : Tasarlanan antenin 1790 MHz frekansında 3-boyutlu kazanç grafiği.....	65
Şekil 5.7 : 1790 MHz frekansında 3-boyutlu yönlendiricilik grafiği.....	66
Şekil 5.8 : Tasarlanan antenin 2050 MHz frekansında 3-boyutlu kazanç grafiği.....	66
Şekil 5.9 : 2050 MHz frekansında 3-boyutlu yönlendiricilik grafiği.....	67
Şekil 5.10 : Tasarlanan antenin 2450 MHz frekansında 3-boyutlu kazanç grafiği.....	67
Şekil 5.11 : 2450 MHz frekansında 3-boyutlu yönlendiricilik grafiği.....	68
Şekil 5.12 : Tasarlanan antenin 3500 MHz frekansında 3-boyutlu kazanç grafiği.....	68

Şekil 5.13 : 3500 MHz frekansında 3-boyutlu yönlendiricilik grafiği.	69
Şekil 5.14 : 1790 MHz frekansında E-Düzlemi ışına diyagramı.	70
Şekil 5.15 : 1790 MHz frekansında H-Düzlemi ışına diyagramı.	70
Şekil 5.16 : 2050 MHz frekansında E-Düzlemi ışına diyagramı.	71
Şekil 5.17 : 2050 MHz frekansında H-Düzlemi ışına diyagramı.	71
Şekil 5.18 : 2450 MHz frekansında E-Düzlemi ışına diyagramı.	72
Şekil 5.19 : 2450 MHz frekansında H-Düzlemi ışına diyagramı.	72
Şekil 5.20 : 3500 MHz frekansında E-Düzlemi ışına diyagramı.	73
Şekil 5.21 : 3500 MHz frekansında H-Düzlemi ışına diyagramı.	73
Şekil 5.22 : Yapay manyetik iletken yapısındaki toprak düzlemi.	74
Şekil 5.23 : Yapay manyetik iletken toprak düzlemlili monopol anten yapısı.	75
Şekil 5.24 : AMC şerit genişliği (W_7) 1 mm olan antene ait S_{11} grafiği.	76
Şekil 5.25 : AMC şerit genişliği (W_7) 2 mm olan antene ait S_{11} grafiği.	77
Şekil 5.26 : Küçültülmüş boyutlardaki antene ait S_{11} grafiği.	78
Şekil 5.27 : Optimize edilmiş antene ait S_{11} grafiği.	79
Şekil 5.28 : Elde edilen antenin HFSS programındaki görünümü.	79
Şekil 5.29 : Optimize edilmiş antene ait VSWR grafiği.	80
Şekil 5.30 : Optimize edilmiş antene ait Z_{in} grafiği.	80
Şekil 5.31 : Optimize antenin 1790 MHz frekansında 3-boyutlu kazanç grafiği.	81
Şekil 5.32 : Optimize antenin 1790 MHz için 3-boyutlu yönlendiricilik grafiği.	81
Şekil 5.33 : Optimize antenin 2050 MHz frekansında 3-boyutlu kazanç grafiği.	82
Şekil 5.34 : Optimize antenin 2050 MHz için 3-boyutlu yönlendiricilik grafiği.	82
Şekil 5.35 : Optimize antenin 2450 MHz frekansında 3-boyutlu kazanç grafiği.	83
Şekil 5.36 : Optimize antenin 2450 MHz için 3-boyutlu yönlendiricilik grafiği.	83
Şekil 5.37 : AMC toprak yüzeyli antenin 1.79 GHz E-Düzlemi ışına diyagramı. ..	84
Şekil 5.38 : AMC toprak yüzeyli antenin 1.79 GHz H-Düzlemi ışına diyagramı. ..	85
Şekil 5.39 : AMC toprak yüzeyli antenin 2.05 GHz E-Düzlemi ışına diyagramı. ..	85
Şekil 5.40 : AMC toprak yüzeyli antenin 2.05 GHz H-Düzlemi ışına diyagramı. ..	86
Şekil 5.41 : AMC toprak yüzeyli antenin 2.45 GHz E-Düzlemi ışına diyagramı. ..	86
Şekil 5.42 : AMC toprak yüzeyli antenin 2.45 GHz H-Düzlemi ışına diyagramı. ..	87
Şekil 5.43 : Gerçeklenmiş antenin dairesel yama tarafı.	88
Şekil 5.44 : Gerçeklenmiş antenin AMC toprak yüzeyi.	88
Şekil 5.45 : Gerçeklenmiş antenin S_{11} grafiği.	89
Şekil 5.46 : 2050 MHz için E-Düzlemi ışına diyagramı ölçümü.	90
Şekil 5.47 : 2050 MHz için H-Düzlemi ışına diyagramı ölçümü.	90
Şekil 5.48 : 2450 MHz için E-Düzlemi ışına diyagramı ölçümü.	91
Şekil 5.49 : 2450 MHz için H-Düzlemi ışına diyagramı ölçümü.	91

YAPAY MANYETİK İLETKEN TOPRAK YÜZEYLİ GENİŞBANT MİKROŞERİT ANTEN TASARIMI

ÖZET

Bu çalışmada GSM 1800, UMTS ve ISM 2.4 teknolojilerini aynı anda destekleyen, yapay manyetik iletken yapısından oluşan toprak yüzeyine sahip geniş bantlı yeni mikroşerit anten tasarımı yapılmıştır. Ülkemizde ve dünyada uzun yıllardan beri yaygın olarak kullanılan GSM teknolojisinin yanında, son yıllarda 3G teknolojisi de kullanılmaya başlanmış ve günümüzde her iki teknoloji bir arada kullanılmaktadır. Düşük bant genişliği ve yavaş veri iletim hızının yeterli olduğu normal görüşmeler için GSM teknolojisi, yüksek bant genişliklerine ve veri iletim hızlarına ihtiyaç duyan görüntülü görüşme, görüntülü mesaj, video gönderimi ve paylaşımı, hızlı mobil internet erişimi gibi uygulamalar için 3G teknolojisi kullanılmaktadır. Böylece ilgili frekans bantları daha verimli kullanılmaktadır. ISM 2.4 teknolojisi ise, GSM veya 3G teknolojilerine ihtiyaç duymadan kablosuz yerel ağ şebekeleriyle bağlantı kurarak, yüksek hızlı internet erişimine olanak sağlamaktadır. Belirtilen bu üç haberleşme teknolojilerini destekleyebilen mobil cihazlar, kullanıcılar için büyük kolaylıklar sağlamaktadır. Fakat sağlanan bu kolaylıkların yanında bir mobil cihazdan beklenen en önemli özellik hafif ve küçük boyutlarda olmasıdır. Mobil cihazların boyutlarını belirleyen etkenlerin başında mobil cihazlarda kullanılan antenin boyutları gelmektedir. Bu nedenle küçük boyutlu, düşük ağırlıklı ve dayanıklı olmaları, geometrik yapılarının sağladığı montaj kolaylığı ve baskı devre teknolojisi ile kolay üretilebilmeleri gibi avantajlar mikroşerit antenlerin mobil cihazlarda yaygın olarak kullanılmasını sağlamıştır. Fakat mikroşerit antenler bu avantajlarının yanında, düşük güçle ışıyabilmeleri, bant genişliklerinin düşük olması, sinyal yaması doğrudan beslenince yüzey dalgaları ve sahte radyasyon oluşması gibi dezavantajlara sahiptirler.

Bu çalışma kapsamında, öncelikle kablosuz haberleşmenin temel parçalarından biri olan antenler, anten tipleri, antenlerin ışıma mekanizmaları ve temel anten parametreleri genel olarak tanıtılmıştır. Çalışmada tasarlanacak antene ilişkin temellerin daha iyi anlaşılabilmesi için mikroşerit antenlerin genel yapısı, özellikleri, türleri, besleme yöntemleri ve analiz yöntemleri incelenmiştir. Daha sonra, tasarlanacak antenin desteklemesini istediğimiz haberleşme teknolojileri hakkında ve anten tasarımında kullanacağımız yapay manyetik iletken yapısı ile ilgili genel bilgiler verilmiştir. Bu aşamalardan sonra anten tasarımı yapılmış, tasarlanan antene ait simülasyon ve ölçümlerden elde edilen sonuçlar yorumlanmıştır.

Bu çalışmada istenilen haberleşme teknolojilerini destekleyen, küçük boyutlu, düzgün ışıma paternine sahip mikroşerit anten tasarımı yapılmıştır. Tasarlanan anten yapısında toprak yüzeyi, bilinen toprak yüzeylerinden farklı olarak yapay manyetik iletken yapısından oluşmaktadır. Tasarım süreci iki aşamada gerçekleştirilmiş ve ilk önce istenilen haberleşme teknolojilerini destekleyebilen geleneksel dairesel monopol anten tasarımı yapılmıştır. Daha sonra yapay manyetik iletken yapısında

toprak yüzeyine sahip dairesel monopol anten tasarımı yapılmıştır. Tasarlanan antenler karşılaştırıldığında, yapay manyetik iletken toprak yüzeyi ile istenilen haberleşme teknolojilerini destekleyen, daha küçük boyutlarda ve daha düzgün her yönlü ışınım paternine sahip anten yapısı elde edilmiştir.

DESIGN OF A BROADBAND MICROSTRIP ANTENNA WITH ARTIFICIAL MAGNETIC CONDUCTOR GROUND PLANE

SUMMARY

In this study, supporting GSM 1800, UMTS and ISM 2.4 technologies at the same time, a novel broadband microstrip antenna with artificial magnetic conductor ground plane is designed. In our country and around the world, beside GSM technology which has been widely used for many years, 3G technology has been on use in recent years and today a combination of both technologies is used. Low bandwidth and slow data transmission speed of GSM technology is sufficient for normal calls, whereas 3G technology is used in cases where high data transmission rates and bandwidth is required such as video calling, video messaging, video sending and sharing applications. Thus, the frequency bands are used more efficiently. ISM 2.4 technologies is able to establish the connection to wireless local area networks (WLANs) without the need GSM or 3G technologies and allows high speed internet access. The specified mobile devices which can operate on these communication technologies provide great advantages for users. Beside these facilities that are provided by a mobile device, it is mostly desired for a mobile device to be light and in small size. The main factor that determines the size of mobile devices is the antenna's dimensions which are used in mobile devices. Microstrip antennas have some advantages like having low size, low weight, being durable, being mounted easily because of their geometry and being produced easily using printed circuit technique therefore they are widely used on mobile devices. But they have some disadvantages such as low radiation power, low bandwidth, surface waves and spurious radiation.

Within this thesis, initially it is given the antennas which are the primary pieces of wireless communication, antenna types, propagation mechanism of antennas and fundamental antenna parameters. It is examined the microstrip antennas' properties, general structure, types, analysis methods and supply methods. Then communication technologies which will be supported by the antenna to be designed and general data related to artificial magnetic conductor structure that we will use, are given. After these steps, antenna design is done and the results which are obtained from the simulation and measurements of designed antenna are evaluated.

In the study, microstrip antenna design in small size supporting desired communication technologies and having smooth propagation pattern is done. In the designed antenna structure, the ground plane is formed of artificial magnetic conductor unlike the known ground surfaces. Design process has realized in two stages and first of all conventional circular monopole antenna design which supports the desired communication technologies is done. In second process, circular monopole antenna with artificial magnetic conductor ground plane is designed. When compared the designed antennas, we have the antenna structure in smaller size

with smoother omni-directional propagation pattern and supporting the desired communication technologies with its artificial magnetic conductor ground plane.

1. GİRİŞ

İnsanoğlu gemişten günümüze başka insanlarla değişik yollar kullanarak iletişim kurmaya alışmıştır ve iletişim zaman içerisinde insanoğlunun zorunlu ihtiyalarından birisi haline gelmiştir. İnsanlar bu zorunlu ihtiyaçlarını gidermek ve kolaylık sağlamak için zaman içerisinde sürekli gelişme göstermişlerdir. İnsanlar ilk çağlarda uzak mesafeler arasında birbirlerine bağırarak haberleşmeye çalışmışlar, fakat insan sesi yetersiz olunca ve çeşitli aletlerle daha güçlü sesler çıkararak haberleşmişlerdir. Ateşin icadıyla birlikte ateş ve dumanı, daha sonraki yıllarda bayrak ve ışık gibi araçları uzak mesafelerle haberleşmek için kullanılmaya başlamışlardır. 1793 yılında gerçekleşen telgrafın icadını, 1837'de elektrikli telgraf ve 1876 yılında telefonun icadı izlemiş, artık insanlar seslerini elektrikli teller üzerinden uzak mesafelere göndermeye başlamışlardır. Daha sonraki yıllarda elektrik işaretleri arada tel olmadan daha uzak mesafelere gönderilmiş ve kablosuz haberleşme başlamıştır. Elektromanyetik kablosuz haberleşme, analog işaretleşmeden başlayıp sayısal işaretleşmeye dönüşen ve nesil (generation) terimi ile tanımlanan bir gelişim izlemiştir. Mobil haberleşmede teknolojik gelişmeler ile önce analog birinci nesil (1G), sonra sayısal ikinci nesil (2G) ve günümüzde sayısal nc (3G) ve dördüncü nesil (4G) haberleşme sistemleri ortaya çıkmıştır. Kablosuz haberleşmeyle birlikte, kablosuz haberleşmenin en önemli parçası olan anten sistemleri ortaya çıkmıştır ve kablosuz haberleşmedeki gelişmelerle birlikte kk boyutlu, düşük ağırlıklı ve dayanıklı, kolay üretilen ve montaj edilebilen anten sistemleri büyük önem kazanmıştır. Anten yapılarında istenilen bu özellikleri mikroşerit antenler en iyi şekilde karşılamakta ve bu nedenle kablosuz haberleşme sistemlerinde yaygın olarak kullanılmaktadırlar. Mikroşerit antenlerin düşük gle ışıyabilmeleri, bant genişliklerinin düşük olması, sinyal yaması doğrudan beslenince yüzey dalgaları ve sahte radyasyon oluşması gibi dezavantajları, çeşitli yöntemler kullanılarak yok edilmeye çalışılmaktadır.

1.1 Tezin Amacı

Bu çalışmada GSM 1800, UMTS ve ISM 2.4 teknolojilerini aynı anda destekleyen, yapay manyetik iletken yapısından oluşan toprak yüzeyine sahip geniş bantlı mikroşerit anten tasarımı yapılmıştır. Tasarım süreci iki aşamada gerçekleştirilmiş ve ilk önce istenilen haberleşme teknolojilerini destekleyebilen geleneksel dairesel monopol anten tasarımı yapılmıştır. Daha sonra toprak yapay manyetik iletken yapısında toprak yüzeyine sahip dairesel monopol anten tasarımı yapılmıştır. Tasarlanan antenler karşılaştırıldığında, yapay manyetik iletken toprak yüzeyi ile istenilen haberleşme teknolojilerini destekleyen, daha küçük boyutlarda ve daha düzgün ışımaya paternine sahip anten yapısı elde edilmiştir.

1.2 Teze Genel Bakış

İkinci bölümde antenler ve anten tipleri ile ilgili genel bilgiler verilmesi amaçlanmıştır. Antenin tanımı, tarihi gelişimi, bir yapının elektromanyetik dalga yayınlaması için gerekli olan koşullar ve bir anteni karakterize eden parametreler hakkında bilgi verilecektir. Daha sonra anten tipleri kısaca tanıtılacaktır.

Üçüncü bölümde mikroşerit antenler, türleri, besleme yöntemleri ve analiz yöntemleri hakkında genel bilgiler verilmesi amaçlanmıştır. İlk olarak mikroşerit antenlerin genel yapısı ve özellikleri anlatılacak, daha sonra ise mikroşerit anten türleri ve anten besleme yöntemleri incelenecektir. Sonraki aşamada ise mikroşerit antenlerin analizinde kullanılan yöntemler incelenecek, mikroşerit antenlerin avantajları, dezavantajları ve uygulama alanları hakkında bilgiler verilecektir.

Dördüncü bölümde önce haberleşme teknolojilerinin ortaya çıkışı, gelişimi ve çalışmamızda tasarlanacak olan antenin kullanılabileceği haberleşme teknolojileri hakkında genel bilgiler verilecektir. Daha sonra metamalzemeler ile ilgili temel kavramlar, elektromanyetik özellikleri ve türleri genel olarak anlatılacak ve metamalzeme yapıların bir türü olan ve çalışmamızdaki anten tasarımında kullandığımız yapay manyetik iletken (Artificial Magnetic Conductor - AMC) yapılar incelenecektir.

Beşinci bölümde çalışmanın asıl amacını oluşturan, yapay manyetik iletken yapısından oluşan toprak düzlemine sahip, geniş bantlı mikroşerit anten tasarımı gerçekleştirilecektir. İlk olarak antenin tasarımında ve simülasyonunda kullanılan

Ansoft HFSS tasarım ve simülasyon paket programı hakkında genel bilgiler verilecek ve daha sonra anten tasarımı konusuna geçilecektir. Tasarım bölümünde, amaçlanan mikroşerit anten yapısının sahip olması gereken özelliklerden, anten geometrisinden ve tasarım aşamalarından söz edilecektir. Daha sonra oluşturulacak anten yapısına ilişkin bazı önemli anten parametreleri incelenecek ve bu parametrelerin işlevsellikleri tartışılacaktır. Son olarak da üretilen antenin laboratuvar ortamında yapılan ölçümleri incelenecektir.

Altıncı ve son bölümde tasarlanan antenin HFSS paket programında elde edilen simülasyon sonuçları ile üretilen antenin laboratuvar ortamında yapılan ölçümlerinde elde edilen sonuçlar karşılaştırılacaktır. Daha sonra karşılaştırma sonuçları incelenecek ve elde edilen deneyimlere dayanılarak önerilerde bulunulacaktır.

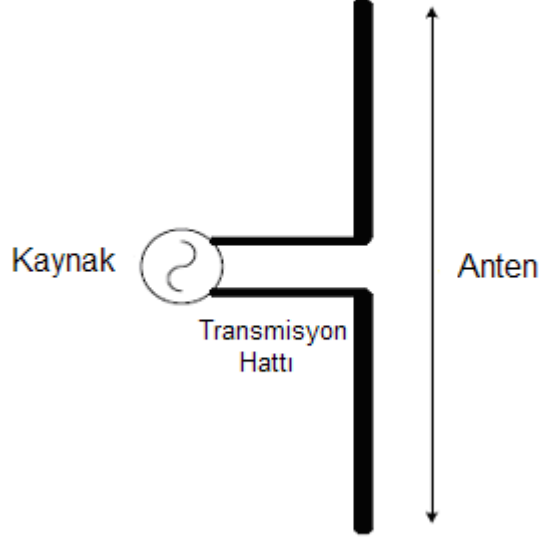
2. ANTENLER VE ÖZELLİKLERİ

Bu bölümde antenler ve anten tipleri ile ilgili genel bilgiler verilmesi amaçlanmıştır. Antenin tanımından, tarihi gelişiminden, bir yapının elektromanyetik dalga yayınlaması için ne gibi koşulların gerekli olduğundan bahsedilecek ve bir anteni karakterize eden parametreler hakkında bilgi verilecektir. Daha sonra anten tipleri kısaca tanıtılacaktır.

2.1 Anten

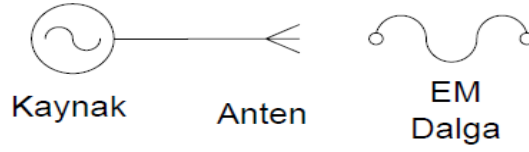
Anteni genel olarak, haberleşme sistemlerinde elektromanyetik dalgalar ve elektriksel işaretler arasındaki dönüşümden sorumlu devre elemanı olarak tanımlayabiliriz. İletim kanalı olarak boş uzay veya atmosferi kullanan haberleşme sistemlerinin, bu kanala açılan ara yüzüne anten denir. Antenlerin geçmişi, 1873 yılında James Clerk Maxwell'in çalışmasına kadar dayanmaktadır. Maxwell, yayınladığı çalışmalarında adı ile anılan "Maxwell Denklemleri"ni bulmuş ve elektromanyetik dalga hesaplamalarının temelini oluşturmuştur. Heinrich Rudolph Hertz ise 1886 yılında ilk kablosuz elektromanyetik sistemi oluşturmuştur. Anten teknolojisi, İkinci Dünya Savaşı sırasında Marconi ile büyük bir ivme kazanmıştır ve 1960'lı yıllarda bilgisayarla ortak kullanılan anten sistemleri geliştirilmeye başlanmıştır [1]. Elektrik alan dalgalarının metalik bir yapı ile atmosfere ışması ile günümüzdeki anten teknolojisi oluşmuştur.

Gönderilmek istenen işaret, üreteçten veya başka bir kaynaktan transmisyon hattına verilir. Daha sonra işaret transmisyon hattı sonundaki metalik bir yapı üzerinde ışıma yapar ve atmosfere elektromanyetik dalga olarak yayılır. Şekil 2.1'de yer alan transmisyon hattının sonundaki iki yönlü metalik yapı, transmisyon hattından aldığı işareti tüm yönlü olarak serbest uzaya yaydığı için dipol anten görevi görmektedir [2].



Şekil 2.1 : Anten yapısı.

Şekil 2.2’de ise antenden serbest uzaya gönderilen elektromanyetik dalga gösterilmiştir.



Şekil 2.2 : Elektrik alan yayılımı.

2.2 Anten Özellikleri

2.2.1 Antenlerin eşdeğer devre ile gösterimi

Alıcı ve verici anten tipleri için, Şekil 2.3’te verici antenin devre eşdeğeri, Şekil 2.4’te alıcı antenin devre eşdeğeri görülmektedir. Verici antenin devre eşdeğeri incelenirken aşağıdaki ifadeleri olduğunu göz önüne almak gerekmektedir.

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

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

R_r : Radyasyon direnci (Ohm)

R_L : Kayıp direnci (Ohm)

X_A : Anten reaktansı (Ohm)

V_g : Verici devrenin çıkış gerilimi (Volt)

Z_g : Verici devrenin empedansı (Ohm)

P_I : Antenin girişine ulaşan güç (Watt)

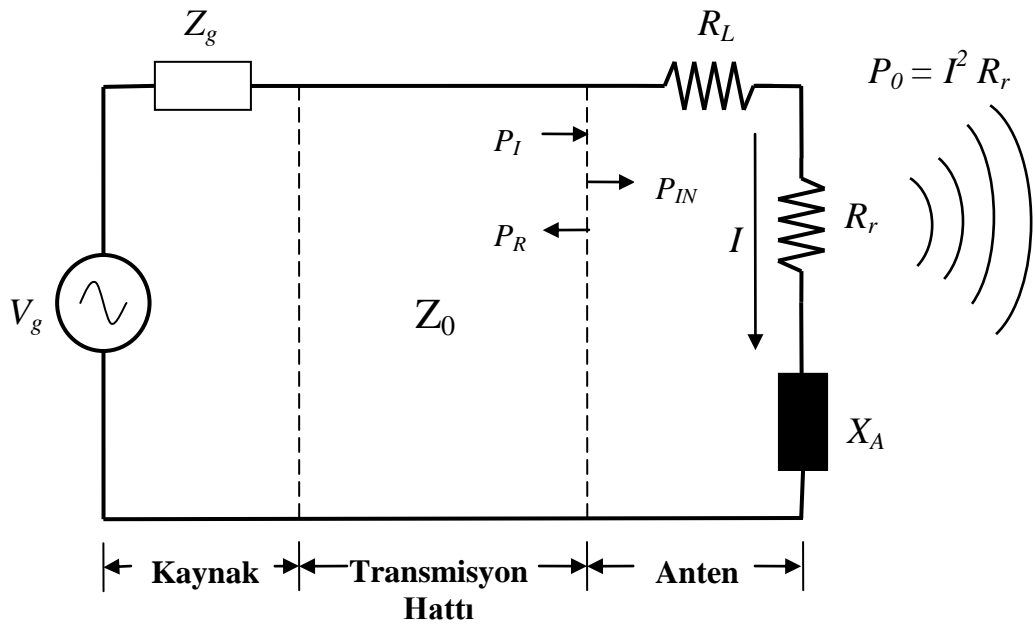
P_R : Anten girişinden verici devreye geri dönen güç (Watt)

$P_{IN} = P_I - P_R = I^2 R_A$: Antenin giriş gücü (Watt)

$P_0 = I^2 R_r$: Toplam ışıma gücü (Watt)

I : Antenin giriş akımı (Amper)

Z_0 : Antene giden hattın karakteristik empedansı (Ohm)



Şekil 2.3 : Verici antenin devre eşdeğeri.

Alıcı antenin devre eşdeğeri incelenirken aşağıdaki ifadeleri olduğunu göz önüne almak gerekmektedir.

$V_A = h_e E$: Gelen dalga ile indüklenen gerilim (Volt)

h_e : Etkin anten uzunluğu (metre)

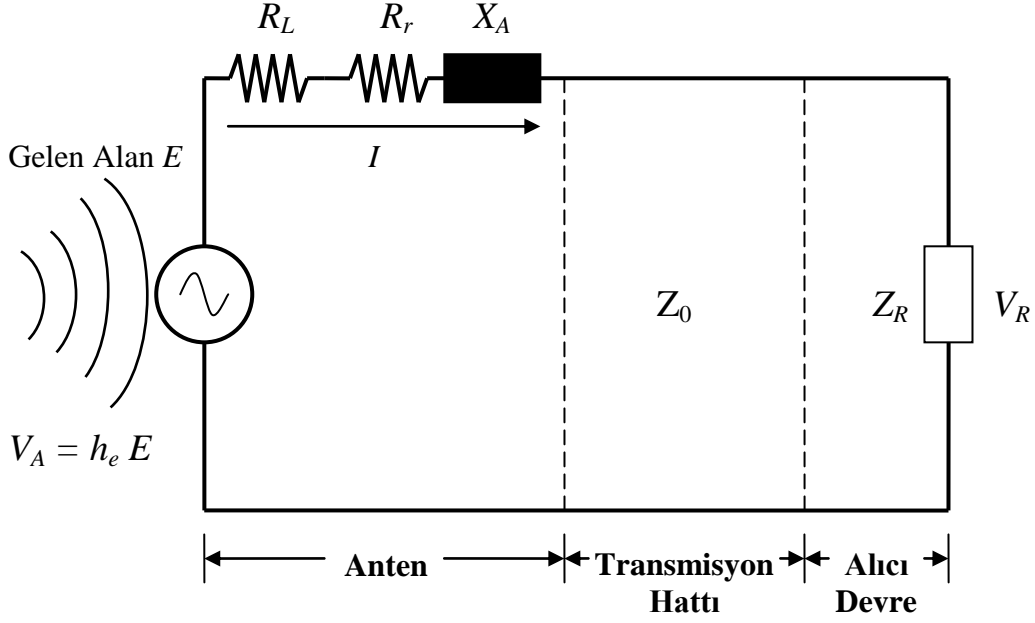
E : Gelen dalganın elektrik alan şiddeti (Volt/metre)

V_R : Alıcı devreye aktarılan gerilim (Volt)

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

R_R : Alıcı devre giriş direnci (Ohm)

X_R : Alıcı devre giriş reaktansı (Ohm)



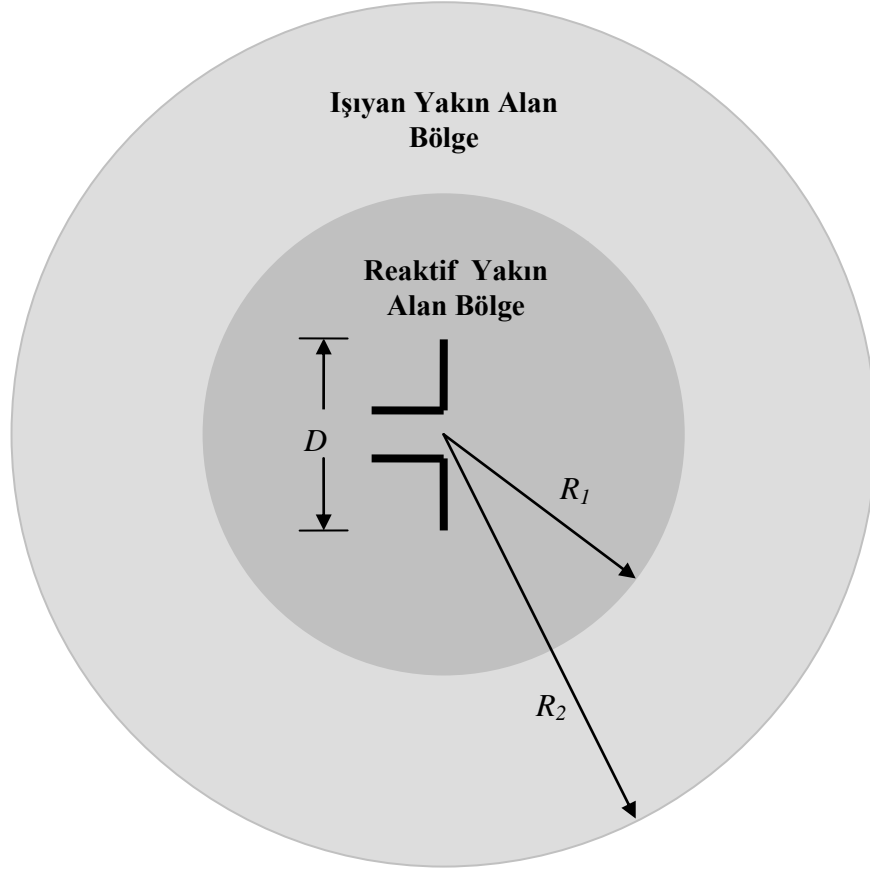
Şekil 2.4 : Alıcı antenin devre eşdeğeri.

2.2.2 Anten alan bölgeleri

Anteni çevreleyen uzay “Reaktif Yakın Alan”, “Işıyan Reaktif Yakın Alan” ve “Uzak Alan” olmak üzere üç bölgeye ayrılır. Sabit dalgaların ve bu dalgalar tarafından depo edilen enerjinin dominant olduğu, antenin hemen etrafını saran ve anten alan tipini karakterize eden alan tipine “Reaktif Yakın Alan” denilmektedir. Uzak alan ve reaktif yakın alan arasında kalan, ışılan dalgalardan oluşan ve bu dalgalar tarafından iletilen enerjiyi belirten, antene olan uzaklığı alan dağılımını etkileyen ve anten alan tipini karakterize eden alan tipine “Işıyan Yakın Alan” denilmektedir [1].

Şekil 2.5’de anten alan bölgeleri yer almaktadır. Işıyan dalgalardan oluşan, antene olan uzaklığı diğer bölgelerden daha fazla olan ve antene olan uzaklığı ile ışınma alanı değişmeyen bölgeye uzak alan denilmektedir [1]. Yakın alanda elektrik ve manyetik alan bileşenleri düzlem dalga karakteri göstermezler. Bu nedenle yakın alan bölgede ilişkiler karmaşık ve ölçümler zordur. Uzak alanda ise düzlem dalga yaklaşımı yapılabilmektedir.

Uzak Alan Bölge



Şekil 2.5 : Anten alan bölgeleri.

Yakın ve uzak alan tanımları anten cinsine ve etkileşimlere göre frekans, anten boyutları gibi parametreler cinsinden belirlenmektedir.

D : Anten boyu

R_1 : Reaktif yakın alanı ifade eden dairenin yarıçapı

R_2 : Işıyan yakın alanı ifade eden dairenin yarıçapı

$$R_1 = 0.62\sqrt{\frac{D^3}{\lambda}} \quad (2.1)$$

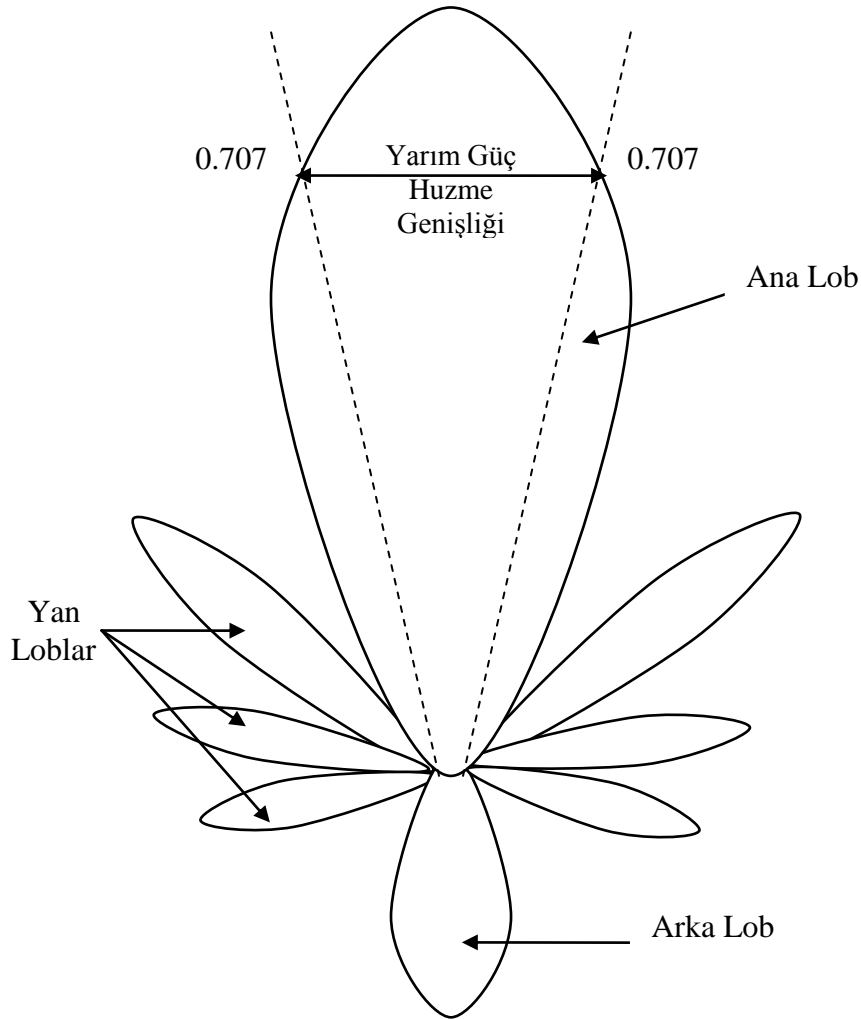
$$R_2 = \frac{2D^2}{\lambda} \quad (2.2)$$

(2.1) ve (2.2) formülleri incelendiğinde, R_1 ve R_2 ifadelerinin anten boyutuna ve frekansa bağlı olduğu görülmektedir [1].

2.2.3 Temel anten parametreleri

2.2.3.1 Işıma paterni

Işıma paterni veya anten paterni, bir antenin uzay koordinatlarının ve ışımaya özelliklerinin, grafikte ya da matematiksel ifadelerle belirtilmesidir [1]. Bir antenin ışımaya paternine bakılarak, antenin hangi yöne doğru ışımaya yaptığı görülebilmektedir. Şekil 2.6'da bir antenin ışımaya paterni verilmiştir. Işıma paterni ana lob, yan loblar ve arka lobdan oluşmaktadır. Ana lob, antenin ışımaya yaptığı yönü göstermektedir. Ana lobun 180 derece ilerisinde yani negatif yönünde arka lob bulunmaktadır. Yan loblar ise anten ışımaya yaparken yayılan elektromanyetik dalgaların saçılmasıyla oluşmaktadır ve antenin jeneratör ya da kaynaktan aldığı gücü harcadığı için istenmeyen ışımaya dağılımlarıdır.



Şekil 2.6 : Işıma paterni.

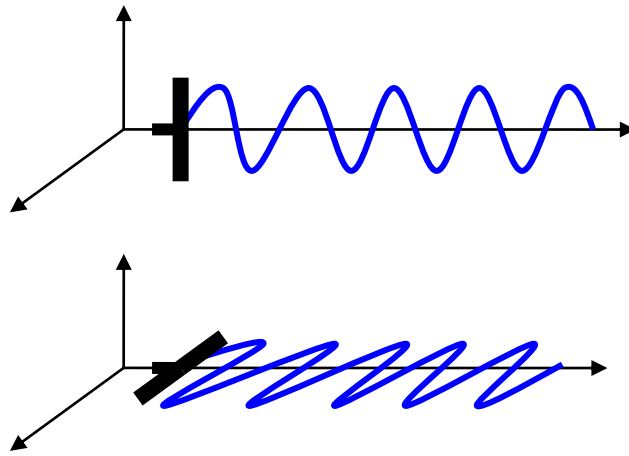
Genel olarak dört tip ışımaya patern şekli vardır [3]:

- Her yönlü (omni-directional) ışın,
- Kalem şekil ışın,
- Yelpaze şeklinde ışın,
- Şekillendirilmiş ışın.

Teorikte ideal kayıpsız bir anten için tüm yönlere yapılan ışıma eşittir, fakat gerçek hayatta kayıpsız bir anten olamaz. Çünkü anten etrafındaki fiziksel şartlar, antenin kullanım amacı ve tasarımcının isteği nedeniyle farklı ışıma şekillerine sahip antenler bulunmaktadır [1]. İzotropik bir antenin ışıma diyagramı “0 dB” olarak kabul edilir. Işıma diyagramı, izotropik anten ile birlikte çizilen bir antene bakıldığında izotropik antenin “-3 dB” değerine geldiği noktalarda gücünün yarıya düştüğü görülür. Antenler için çoğunlukla aktiflik bölgesini, “-3dB” üstünde kalan kısımlar oluşturmaktadır.

2.2.3.2 Anten polarizasyonu

Antenin pozisyonuna göre elektromanyetik dalganın elektrik alan vektörünün yönü anten polarizasyonu belirlemektedir. Antenden gönderilen işaretin polarizasyonu ile alıcı antenin polarizasyon uyumu çok önemlidir. Çünkü alıcı ve verici arasında polarizasyon uyumu sağlanamazsa gönderilmek istenen işaretle büyük kayıplar olacak ve istenilen verim ve kazanç sağlanamayacaktır. Şekil 2.7’de verildiği gibi antenin pozisyonuna göre elektrik alan bileşenlerinin yönü değişmektedir, dolayısıyla anten polarizasyonu da değişmektedir.



Şekil 2.7 : Anten pozisyonuna göre polarizasyon.

Elektromanyetik dalgalar doğrusal, dairesel ve eliptik polarizasyonlu olabilirler [1]. Bazı kaynaklarda eliptik polarizasyon, dairesel polarizasyona benzerliğinden dolayı ayrı bir polarizasyon türü olarak verilmemektedir.

$$\boldsymbol{\varepsilon}(z, t) = a_x \boldsymbol{\varepsilon}_x(z, t) + a_y \boldsymbol{\varepsilon}_y(z, t) \quad (2.3)$$

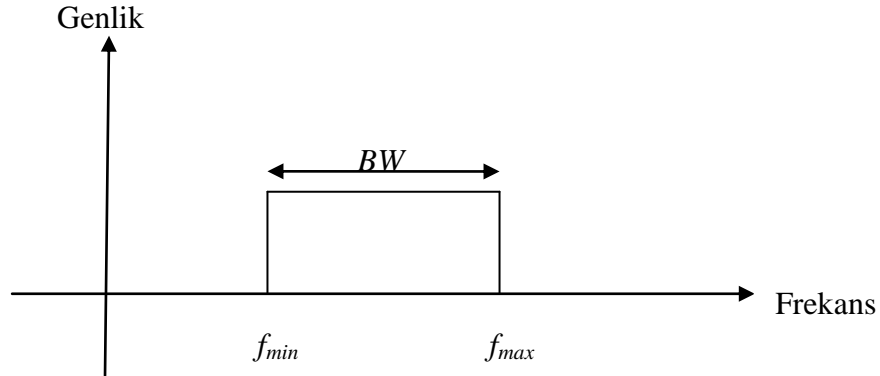
Polarizasyon denkleminin genel ifadesi (2.3)'de verildiği gibidir [1]. Doğrusal polarizasyon için polarizasyon denkleminde sadece bir bileşenin olması ve iki dik lineer bileşen arasındaki faz farkının 180 derece olması gerekmektedir. Doğrusal polarizasyon yatay ve düşey polarizasyon olmak üzere iki şekilde oluşmaktadır. Elektrik alan yatay polarizasyonda yeryüzüne paralel, düşey polarizasyonda ise yeryüzüne diktir. Dairesel polarizasyon için polarizasyon denkleminde iki bileşenin de olması ve bu bileşenlerin katsayılarının eşit olması ve bileşenler arasındaki faz farkının 90 derece olması gerekmektedir. Dairesel polarizasyonda elektrik alan z yayılma yönüne dik ve x-y eksenleri doğrultusunda dönerek ilerler. Eliptik polarizasyon, dairesel polarizasyonun özel bir şekli olarak gösterilebilir. Dairesel polarizasyondaki gibi iki bileşen bulunur ve bu bileşenler arası 90 derecedir. Fakat bileşenlerin katsayıları birbirine eşit değildir.

Alıcı ve verici antenlerin polarizasyon uyumu, işaretin doğruluğu açısından çok önemlidir, fakat coğrafi özellikler ve atmosfer özellikleri nedeniyle polarizasyonlarda sürekli kaymalar görülmektedir. Özellikle telsiz iletişimde kullanılan atmosfer tabakası olan iyonosferde büyük polarizasyon kaymaları ve işaretlerde sönümlenmeler görülmektedir. Oluşan bu kayma ve sönümlenmelere depolarizasyon adı verilmektedir. Bir bölgede polarizasyon kayıpları ile karşılaşılıyorsa, antenin polarizasyon türü değiştirilerek bu kayıplardan kurtulmaya çalışılır.

2.2.3.3 Bant genişliği

Bant genişliği, antenin elektromanyetik dalga yayınlatabildiği veya yakalayabildiği frekans bandının genişliği olarak tanımlanabilir. Bant genişliği çoğunlukla kullanıcının kullanım amacına bırakılan sınırlar ile belirlenir. Genellikle “s11” yani yansımaya değeri “-10dB” altında olan değerler için bant genişliği hesaplanmaktadır. Eğer yansımaya değeri “-10 dB” üzerinde bir değer alınır, alıcı ve verici antenler arasındaki veri iletimi büyük bir oranda etkilenecektir, çünkü verici antenden

gönderilen elektromanyetik dalgalar büyük bir oranda yansımaya uğrayacak ve doğru veri iletimi yapılmasını önleyecektir. Şekil 2.8’te bant genişliği görülmektedir.



Şekil 2.8 : Bant genişliği.

Şekilde yer alan frekans aralığını, antenin geri dönüş kaybının -10 dB’nin altında kaldığı frekans bölgesi olduğunu düşünürsek, antenin bant genişliği,

$$BW = f_{max} - f_{min} \quad (2.4)$$

2.2.3.4 Etkin anten uzunluğu

Bir antenin etkin uzunluğu, antenin çıkışında indüklenen etkin gerilimin antenin polarizasyonu doğrultusunda gelen elektrik alanın şiddetine oranıdır. Elektrik alanın şiddeti E , antenin çıkışında indüklenen etkin gerilim V_{OC} olmak üzere aşağıdaki gibi tanımlanır ve birimi metredir.

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

2.2.3.5 Anten faktörü

Anten faktörü, antenin polarizasyonu doğrultusunda yayınladığı elektrik alan şiddetinin, antenin girişine uygulanan etkin gerilime oranıdır. Elektrik alanın şiddeti E , antenin girişine uygulanan etkin gerilime V_R olmak üzere aşağıdaki gibi tanımlanır ve birimi (1/metre)’ dir.

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

2.2.3.6 Yönlendiricilik

Bir antenin yönlendiriciliği, belirli bir yönde yaptığı ışınım yoğunluğunun tüm yönlerde yaptığı ortalama ışınım yoğunluğuna oranıdır [1]. Bu nedenle yönlendiricilik, bir noktadaki ışınım gücünün aynı noktada izotropik bir antenin ışınım gücüne oranı olarak da tanımlanabilir [3]. Kayıpsız antenlerde yönlendiricilik aynı zamanda anten kazancıdır. Fakat kayıplı antenlerde kazanç, yönlendiricilik ile kayıp oranının (verimin) çarpımına eşittir. Anten tipine göre değişmektedir ve belli bir anten için sabit bir değerdedir. Ayrıca gözlem noktasından bağımsız ve birimsiz bir büyüklüktür. Antenin ana ışınım lobuna aktarabildiği gücün bir ölçüsü olarak önemli bir parametredir.

2.2.3.7 Yönlendiricilik kazancı

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

$$D(\theta, \phi) = \frac{U}{U_{iso}} = \frac{U(\theta, \phi)}{P/4\pi} = 4\pi \frac{U(\theta, \phi)}{P} \quad (2.7)$$

2.2.3.8 Işınım güç yoğunluğu

Bir antenin yayınladığı elektrik alanın şiddeti E , öz empedansı η olmak üzere uzak alan bölgesinde geçerli olacak şekilde aşağıdaki gibi tanımlanır ve birimi (Watt/m²)' dir.

$$W_{rad} = \frac{|E(r, \theta, \phi)|^2}{2\eta} \quad (2.8)$$

2.2.3.9 Işınım şiddeti

Belirli bir yöndeki ışınım şiddeti, birim katı açı (steradyan) başına antenden yayılan güç olarak ifade edilebilir. Antenin yayınladığı elektrik alanın şiddeti E , öz empedansı η ve ışınım güç yoğunluğu W_{rad} olmak üzere uzak alan bölgesinde geçerli olacak şekilde aşağıdaki gibi tanımlanır ve birimi (Watt/Steradyan²)' dir.

$$U = r^2 W_{rad} = r^2 \frac{|E(r, \theta, \phi)|^2}{2\eta} \quad (2.9)$$

2.2.3.10 Kazanç

Kazanç, anten ışınım şiddeti yoğunluğunun, aynı giriş gücü kayıpsız bir izotropik antene verildiğinde oluşan ışınım şiddeti yoğunluğuna oranı şeklinde ifade edilebilir. Anten kazancı, antenin ne oranda yönlü olduğunun bir göstergesidir. Bir antenin ışınım şiddeti yoğunluğu $U(\theta, \phi)$, antene giren güç P_{IN} olmak üzere aşağıdaki gibi tanımlanır ve birimsizdir.

$$D(\theta, \phi) = \frac{U(\theta, \phi)}{U_{iso}} = \frac{U(\theta, \phi)}{\frac{P_{IN}}{4\pi}} = 4\pi \frac{U(\theta, \phi)}{P_{IN}} \quad (2.10)$$

2.2.3.11 Anten ışınım direnci

Anten ışınım direnci, bir antenin dışarı yayınladığı toplam gücün, devreden çektiği akımın etkin değerinin karesine oranıdır. Antenin dışarı yayınladığı toplam güç P_{OUT} , çektiği akım I olmak üzere aşağıdaki gibi tanımlanır ve birimi ohm'dur.

$$R_r = \frac{P_{OUT}}{I^2} \quad (2.11)$$

2.2.3.12 Anten ışınım verimliliği

Antenin kaynaktan çektiği gücün bir kısmı ısı kayıp olarak antende harcanır. Işınım gücü ve ısı kayıpların toplamı kaynaktan çekilen güce eşittir. Anten verimi, ışınım gücünün kaynaktan çekilen güce oranıdır. Isıl kayıplar ne kadar az ise verim o kadar yüksek olur. Antenin giriş gücü P_{IN} , antenin yayınladığı toplam güç P_{OUT} , ısı kayıp direnci R_L ve ışınım direnci R_r olmak üzere aşağıdaki gibi tanımlanır ve birimsizdir.

$$e_r = \frac{P_{OUT}}{P_{IN}} = \frac{R_r}{R_r + R_L} \quad (2.12)$$

2.2.3.13 Etkin anten açıklığı

Anten etkin açıklığı, alıcı durumdaki bir antene gelen gücün, gelen dalganın güç yoğunluğuna oranıdır. Antene gelen güç P_R , gelen dalganın güç yoğunluğu W_R olmak üzere aşağıdaki gibi tanımlanır ve birimi metredir.

$$A_e = \frac{P_R}{W_R} = \frac{|I_r|^2 R_r / 2}{W_R} \quad (2.13)$$

2.2.3.14 Açısal ışınım açıklığı (Huzme genişliği)

Maksimum ışınım doğrultusundaki gücün yarıya (3 dB) düştüğü (yatayda veya düşeyde) açısal genişlik, anten ışınım açıklığı olarak tanımlanır ve yönlendiriciliği olan antenlerde yönlendiriciliğin bir ölçüsüdür [5]. Bir antenin açısal ışınım açıklığı ne kadar yüksekse, o kadar çok yöne işaret gönderebileceği veya o kadar çok yönden işaret yakalayabileceği söylenebilir.

2.2.3.15 Anten yansımaya katsayısı

Anten yansımaya katsayısı, antenden geri dönen gerilimin, antenin girişine gelen gerilime oranıdır. Antenin girişine ulaşan gerilim V_{INC} , antenden geri dönen gerilim V_{REFL} , anten empedansı Z_A ve antenin besleme hattının karakteristik empedansı Z_0 olmak üzere aşağıdaki gibi tanımlanır ve birimsizdir.

$$\rho = \frac{V_{REFL}}{V_{INC}} = \frac{Z_A - Z_0}{Z_A + Z_0} \quad (2.14)$$

Empedans uygunluğu sağlandığında, $Z_A = Z_0$ olacağı için anten yansımaya katsayısı sıfır olur ve gelen güç tamamen antene aktarılır.

2.2.3.16 Anten giriş empedansı

Giriş empedansı üç şekilde tanımlanabilmektedir. Anten terminallerinde bulunan empedans, antenin bir terminalinde bulunan gerilimin o noktadaki akımına oranı yada iletimde belirli bir noktada uygun elektrik alan ve manyetik alanların birbirine oranı olarak tanımlanabilmektedir [1]. İletim hattı ile anten arasındaki maksimum enerji transferini sağlayabilmek için, anten giriş empedansı ile iletim hattının karakteristik empedansı uygun olmalıdır. Anten giriş empedansı ile iletim hattı

$$I = \frac{V_g}{Z_t} = \frac{V_g}{Z_g + Z_A} = \frac{V_g}{(R_g + R_L + R_r) + j(X_g + X_A)} \quad (2.15)$$

Yukarıdaki ifadeyi incelediğimizde antene maksimum güç transferinin sağlanabilmesi için aşağıdaki eşitliklerin sağlanması gerekmektedir.

$$R_g = R_L + R_r \quad (2.16)$$

$$X_g = -X_A \quad (2.17)$$

Antenler için çoğunlukla reel değer “50 ohm” olarak seçilmektedir. Bunun nedeni, bir iletim hattında maksimum güç kapasitesi “30 ohm” değeri için oluşmaktadır ve iletim hattındaki minimum kayıp için ise empedans değeri “77 ohm” olmaktadır. Bu iki değer için ortalama değer alındığında, anten tasarımı için önerilen “50 ohm” empedans değerine ulaşılmaktadır.

2.2.3.17 Gerilim duran dalga oranı (VSWR)

Gerilim duran dalga oranı, iletim hattı boyunca oluşan maksimum gerilim ile minimum gerilim arasındaki orandır. Gerilim duran dalga oranı, antenin giriş empedansı ile iletim hattının karakteristik empedansının ne kadar uyumlu olduğunu gösterir. Gerilimin maksimum değeri V_{MAX} , minimum değeri V_{MIN} ve anten yansımaya katsayısı ρ olmak üzere, antenin duran dalga oranı üzere aşağıdaki gibi tanımlanır ve birimsizdir.

$$\Gamma = \frac{V_{MAX}}{V_{MIN}} = \frac{1+|\rho|}{1-|\rho|} \quad (2.18)$$

Empedans uygunluğu sağlanan antenlerde Γ değeri 1 olur. Empedansın en uygunsuz olduğu durumlarda ($\rho = 1$ veya $\rho = -1$) ise sonsuza gider.

2.2.3.18 Anten geri dönüş kaybı

Geri dönüş kaybı, antene gönderilen gücün ne kadarının geri döndüğünün bir ölçüsüdür. Bir antenin belirli bir frekans bölgesinde çalışıyor olabilmesi için o frekans aralığında geri dönüş kaybı -9.95 dB'in altında olmalıdır.

$$L_R = 10 \log_{10} \left(\frac{P_{REFL}}{P_{INC}} \right) = 20 \log_{10} (|\Gamma|) \quad (2.19)$$

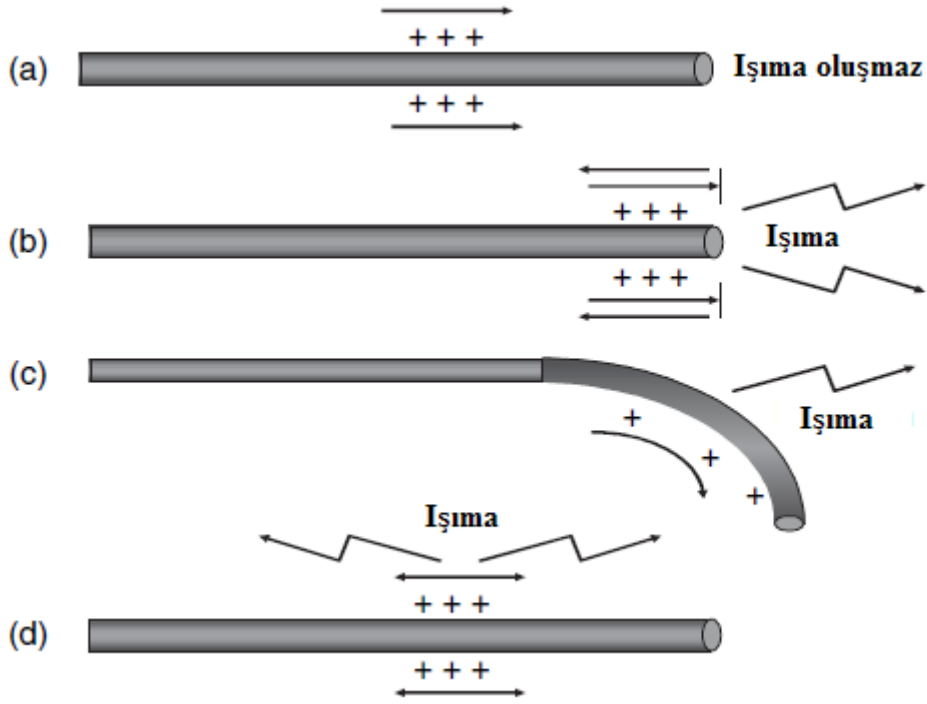
2.2.3.19 Anten kayıp faktörü

Antene gelen gücün ne kadarının istenmeyen ışımalara gittiğinin gösteren bir parametredir ve anten beslemesindeki kayıplar, anteni oluşturan parçalar arasındaki eklem noktalarındaki kayıplar tarafından belirlenir. Kayıp faktörü küçüldükçe, antenin işaretleme kalitesi artar ve aşağıdaki gibi tanımlanır.

$$L_F = -10 \log \left(\frac{P_{INC} - P_0}{P_{INC}} \right) \quad (2.20)$$

2.3 Işıma İçin Gerekli Koşullar

Elektromanyetik dalganın yayınlanması için temel şart, akım vektörünün zamana veya konuma bağlı olarak bir değişiklik göstermesidir. Buna göre düz bir kabloda sabit akımdan elektromanyetik yayılım doğmaz, bunun yanında aynı düz kabloda tetiklenen değişken bir akım elektromanyetik dalga yayılımına sebep olacaktır. Benzer şekilde sabit akım akıtan bir telin bükülmesi, bükülme noktasından elektromanyetik dalga yayınlanmasına yol açacaktır. Şekil 2.10(a)'da görülen yapıda akım vektöründe zamana veya konuma göre herhangi bir değişiklik olmadığı için ışıma oluşmaz. Şekil 2.10(b)-(d)'de görülen yapılarda akım hızı zamanla değiştiği için ışıma oluşur. Şekil 2.10(b)'de görülen yapıda akım anten ucuna ulaşır ve buradan geri döner. Şekil 2.10(c)'de görülen yapıda akım hızı sabittir fakat yönü değiştiği için ışıma oluşur. Şekil 2.10(d)'de görülen yapıda akım periyodik olarak salınım yaparak sürekli bir ışıma oluşturur [4].



Şekil 2.10 : Anten ışıma oluşumu.

2.4 Anten Türleri

2.4.1 Tel antenler

En yaygın kullanım alanına sahip anten türüdür. Otomobillerde, binalarda, gemilerde, uçaklarda ve uzay araçlarında yaygın olarak kullanılırlar. Tel antenler, geometrilerine göre Doğrusal Tel Antenler ve Eğrisel Tel Antenler olarak ikiye ayrılırlar.

2.4.1.1 Doğrusal tel antenler

Değişken akımla indüklenen, biri işaret, diğeri toprak ucu olmak üzere iki ucu bulunan, açık devre ile sonlanıyormuş gibi görünen tel antenlere lineer tel antenler denir. En yaygın örneği yarım-dalga dipol antendir. İşaret ucunun tel olup da toprak girişinin iletkenliği yüksek bir metal plakaya bağlandığı haline ise monopol tel anten denir. Analiz bakımından dipol antenden tek farkı daha az akım çekmesi, dolayısıyla daha az gücü elektromanyetik dalgaya aktarabilmesindedir, anten paterni dipolün aynısıdır.

2.4.1.2 Eğrisel tel antenler

Doğrusal tel antenlerden farklı olarak akımı bir doğru üzerine yerleştirilemeyecek bir tel üzerinden akıtmak vasıtası ile elektromanyetik dalga yayınlarlar. Bunlara örnek olarak kapalı bir çevrim yapan çevrimsel antenleri (kısa devre ile sonlanıyormuş gibi) ve helix antenleri gösterebiliriz.

2.4.2 Açıklık antenler

Açıklık antenler, elektromanyetik dalganın ışına yönünde açıklığa sahip antenlerdir. Bu açıklık bir veya daha fazla boyutta ve birkaç dalga boyu uzunluğa sahiptir. Bu anten türlerinde ışına paterni dar bir ana huzmeye sahiptir fakat kazanç oldukça yüksektir. Anten açıklık boyutları sabit tutulduğunda, frekans arttıkça ana huzme daralmaktadır. Bu tip antenler hava ve uzay araçlarına kolay monte edilebildikleri için, uzay ve havacılıkta sıklıkla kullanılırlar. Parabolik reflektör antenler, horn antenler, lens antenler ve dairesel açıklık antenler bu anten türüne örnek verilebilir. Reflektör antenlerde metaller elektromanyetik dalgaları yansıttıkları için, optik yasalarına benzer bir şekilde metal yüzeyler ayna gibi kabul edilerek yapılan tasarımlarla dalgalar toparlanıp odaklanarak yönlendiricilik kazancı yükseltilmiş olur. Horn, parabolik yansıtıcı veya lensli yapının tek başına elektromanyetik dalga yayınlama kabiliyeti mevcut değildir. Bu yüzden bu tip antenleri yardım alan antenler olarak adlandırabiliriz.

2.4.3 Mikroşerit antenler

Mikroşerit antenler, en temel biçimiyle iki paralel iletkenin, ince bir dielektrik profil ile birbirinden ayrılmasıyla oluşur. Üst yüzeyde ışına amaçlı, alt yüzeyinde topraklama amaçlı paralel iletken metaryaller kullanılır. Bakır veya altın gibi iletkenlik özelliği taşıyan metaryellerin, çeşitli şekilleri baz alınarak farklı özelliklerde ışılan antenler elde edilebilir. Bu çalışmada tasarlanan anten bir mikroşerit türü olduğu için mikroşerit antenler gelecek bölümde ayrıntılı şekilde anlatılacaktır.

2.4.4 Dizi antenler

Dizi antenler, bant genişliğini artırmak, yönlendiricilik kazancını veya çıkış gücünü yükseltmek gibi amaçlar için kendini belli bir benzerlik oranıyla tekrarlayan diziler şeklinde bir araya getirilmesi sonucunda ortaya çıkan anten yapılarıdır. Tel dipol

antenlerin dizilerine örnek vermek gerekirse Log-periyodik ve Yagi-Uda antenleri, tel dipol dizi anten türleridir. Log-periyodik antenlerde yüksek bant genişliği, Yagi-Uda antenlerde ise yüksek yönlendiricilik elde edilmektedir.

3. MİKROŞERİT ANTENLER

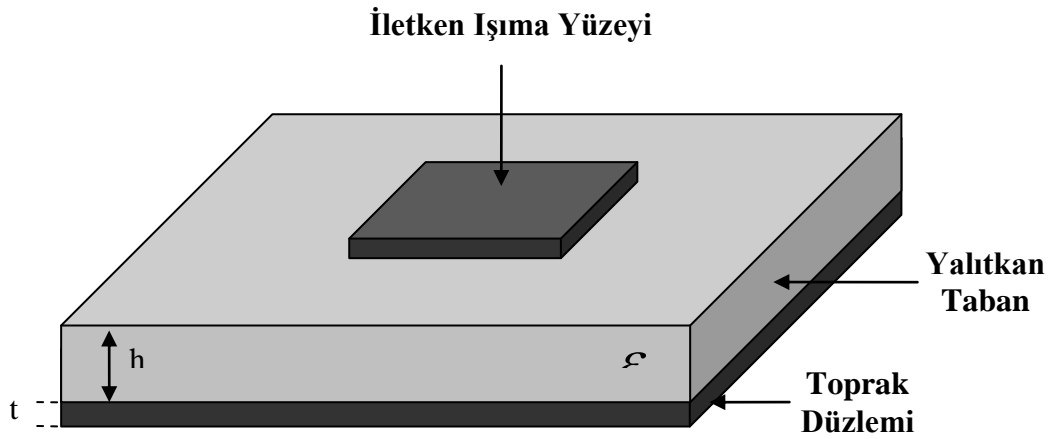
Bu bölümde mikroşerit antenler, türleri, besleme yöntemleri ve analiz yöntemleri hakkında genel bilgiler verilmesi amaçlanmıştır. İlk olarak mikroşerit antenlerin genel yapısı ve özellikleri anlatılacak, daha sonra ise mikroşerit anten türleri ve anten besleme yöntemleri incelenecektir. Sonraki aşamada ise mikroşerit antenlerin analizinde kullanılan yöntemler incelenecek, mikroşerit antenlerin avantajları, dezavantajları ve uygulama alanları hakkında bilgiler verilecektir.

3.1 Giriş

Mikroşerit yapıların ışıma yapan yayıcı bir eleman olduğu ve anten olarak kullanılabilceği fikri ilk olarak 1953 yılında Deschamps tarafından ortaya atılmıştır [6]. Bu konudaki ilk patent 1955 yılında Fransa'da Gutton ve Baissinot [7] tarafından alınmış olmasına rağmen yaklaşık 20 yıl boyunca pratik bir anten üretilmemiştir. Bunun ana nedeni iyi dielektrik tabanların mevcut olmamasıdır. Düşük kayıplı, mekanik ve ısı açıdan uygun dielektrik taban malzemelerinin geliştirilmesiyle 1970'li yılların başında Munson [8] ve Howell [9] tarafından ilk mikroşerit anten tasarımı yapılmıştır. Üretilen bu antenler ince ve yüzeye uyumlu olacak şekilde tasarlanmış, uzay mekikleri ve füzelerde kullanılmışlardır. Bu tasarımlardan sonra mikroşerit antenlerin üretiminin kolay ve düşük maliyetli olması, az hacim kaplamaları ve ikili frekans özelliklerine sahip olmaları gibi avantajlara sahip olduğunun görülmesiyle mikroşerit antenlerin tasarımlarının geliştirilmesi için pek çok araştırma yazısı yazılmıştır. Bahl, Bhartia, James, Hall ve Wood tarafından yazılmış çalışmalar ve Dubost tarafından da yapılmış birçok araştırma günümüzde halen güncelliğini korumakta ve kullanılmaktadır [10,11]. Yapılan birçok araştırma sonucu, araştırmalar arasında kopukluklar ve standart dışına çıkmalar söz konusu olmuştur, bundan dolayı 1979 yılında mikroşerit antenlerin malzemesi, tasarımı ve teorilerini konuşmak ve tartışmak amacıyla New Mexico State Üniversitesinde ilk uluslararası toplantı düzenlenmiştir [12,13]. Tüm bu aşamalardan geçilip 1970 yılından sonra mikroşerit antenlerin kullanımı artmıştır. 1980'li yıllarda ise önemli

araştırmaların yanı sıra mikroşerit antenlerin pratik gerçeklenmesinin ve mikroşerit antenlerin fabrikasyon işlemlerinin temeli oluşturulmuştur [14]. Mikroşerit antenler gunmzde üretilmesinin ve kullanılmasının kolaylığının yanında küçük yapıları ve yüksek frekansı destekleyen yapılarından dolayı elektronik cihazlarda ve bilgi iletiminde yoğun olarak kullanılmaya başlanmıştır.

Mikroşerit antenlerin genel yapısı Şekil 3.1’de görüldüğü gibi düşük kayıplı, yalıtkan, ince bir taban malzemesi, bu malzemenin bir yüzeyinde iletken ışıma yüzeyi, diğer yüzeyi ise iletken toprak tabakasından oluşur.



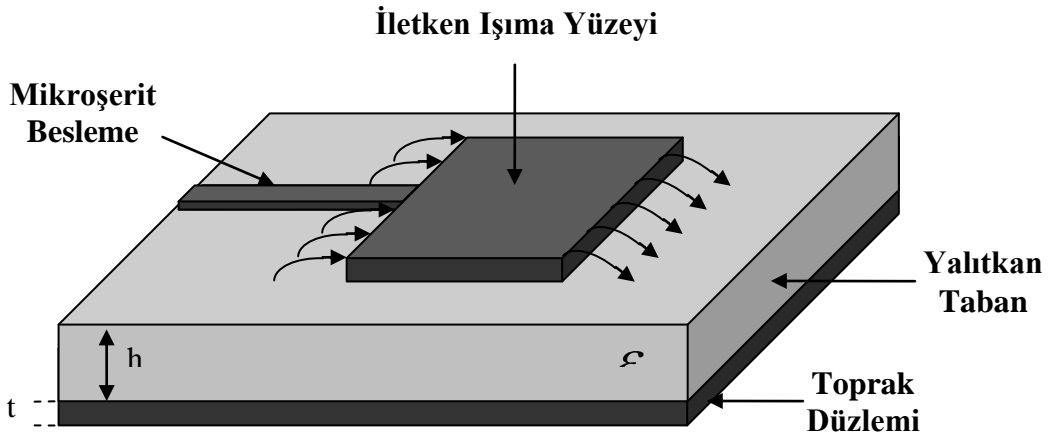
Şekil 3.1 : Mikroşerit antenin genel yapısı.

Işıma elemanının boyutları ve biçimi, taban malzemesinin kalınlığı ve dielektrik sabiti antenin elektriksel performansını doğrudan etkileyen başlıca parametrelerdir. Ayrıca taban malzemesi, devre elemanlarının uygun bir Şekilde monte edilmesine olanak sağlar ve mekanik açıdan bu elemanlara destek olur. Mikroşerit antenlerde ışıma ve toprak yüzeylerinde kullanılan metalik elemanların kalınlığı $t \ll \lambda_0$ (λ_0 , serbest uzay dalga boyu) olacak Şekilde 50–200 μm aralığında değerler alır. Metal olarak genellikle bakır kullanılır ve dielektrik taban malzemesine kimyasal yollarla yapıştırılır. Dielektrik taban ise isteğe göre seçilen yalıtkan bir malzemedir. Taban malzemesinin dielektrik sabiti (ϵ) 2.2–12 arasında, kalınlığı (h) $0.003 \lambda_0 - 0.05 \lambda_0$ arasında değerler almaktadır. Dielektrik taban malzemesi olarak alumina, kuantz, PTFE (politetrafloretillen) gibi malzemeler kullanılır. Fakat bu malzemeler pahalı olduklarından ve yüksek frekanslarda entegre devrelerle birleştirilmede kolaylık sağlamak için genellikle FR-4 malzeme kullanılır. Taban malzemesinin dielektrik sabitinin düşük olması ($\epsilon < 2.5$), kenar alanlar (fringe fields) etkisini artırarak

antenin ışımada performansında iyileşme sağlar. Fakat bu durumda, aynı frekans cevabının elde edilebilmesi için daha büyük ışımada elemanının kullanılması gerekir ve antenin fiziksel boyutları büyür [10]. Taban malzemesinin dielektrik değerinin küçük, kalınlığının büyük olması durumunda, antende ideal ışımada sağlanmakta ve frekans bant genişliğini de artmaktadır [1]. Fakat taban malzemesinin kalınlığının artırılması, yüzey dalgalarının oluşumunu tetikleyerek, antenin veriminin azalmasına ve anten ışımada paterninin bozulmasına neden olabilir. Dielektrik tabanların elektriksel özellikleri dielektrik sabiti ve kayıp tanjantı ile belirlenir. Kayıp tanjantı değeri arttıkça, anten verimi azalır. Bu nedenle dielektrik taban malzemesi olarak genellikle düşük tanjantlı malzemeler tercih edilir [1].

3.2 Mikroşerit Antenlerde Işıma Oluşumu

Mikroşerit anten yapılarında iletken ışımada yüzeyinin kenarları açıklık gibi davranır ve yapı içerisindeki alan tarafından uyarılır. Bu uyarılma sonucunda iletken ışımada yüzeyinin kenarları ile en alttaki toprak düzlemi arasında elektromanyetik dalgalar oluşur. İletken ışımada yüzeyinin açık devre edilmiş kenarlarındaki kenar alanlarından maksimum seviyede ışımada oluşur [1, 15]. Şekil 3.2’de mikroşerit beslemeli mikroşerit yama antende elektromanyetik dalgalar oluşumu görülmektedir.



Şekil 3.2 : Mikroşerit antende ışımada oluşumu.

Normal transmisyona hatlarında ışımada kenarlar birbirine yakın olduğundan dolayı ışımada etkileri birbirini götürür ve sadece köşeler gibi süreksizlik bölgelerinden ışımada gerçekleşir. Bu nedenle mikroşerit anten yapılarında iletken ışımada yüzeyinin genişliği normal transmisyona hatlarının genişliğinden büyük seçilir. Işıımada yüzeyi, uçlar

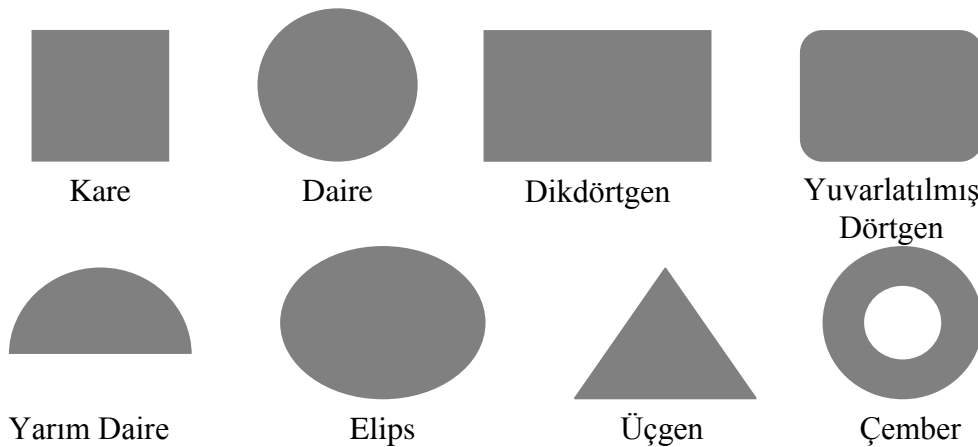
arasındaki kenarlardan ışımaya yapar ve yapının rezonansa girmesiyle beraber empedans uyumu sağlanmış olur. Bu sayede anten en üst verimlilik düzeyinde çalışır [15].

3.3 Mikroşerit Anten Çeşitleri

Mikroşerit antenler fiziksel parametrelerinin sağladığı çeşitlilik sayesinde diğer mikrodalga antenlere göre daha geniş bir yelpazede sınıflandırılmaktadırlar. Pek çok farklı boyut ve geometrik yapıda tasarlanabilen mikroşerit antenler, mikroşerit yama antenler, mikroşerit boşluk antenler ve mikroşerit yürüyen dalga antenler olmak üzere üç temel grupta ele alınmaktadır. Bu temel sınıflamalar dışında kalan özel mikroşerit anten tasarımları da vardır.

3.3.1 Mikroşerit yama antenler

Bu tip antenlerde dielektrik taban malzemenin bir yanı tamamen toprak düzlemi ile kaplanmış olup diğer yanında herhangi bir geometriye sahip düzlemsel iletken bir yama bulunmaktadır. Bu çeşit antenlerin karakteristik özelliğini ışımaya yüzeyindeki yamanın geometrisi belirler. Günümüzde çok farklı geometrik şekiller kullanılarak mikroşerit yama anten tasarımı yapılmaktadır. Bu geometrilerden en çok kullanılanları dörtgen, dairesel, eliptik, beşgen ve halka şeklinde olanlardır [10]. Şekil 3.3'te yaygın olarak kullanılan yama tipleri görülmektedir. Bunların dışında farklı şekillerde yama tipleri de bulunmaktadır.



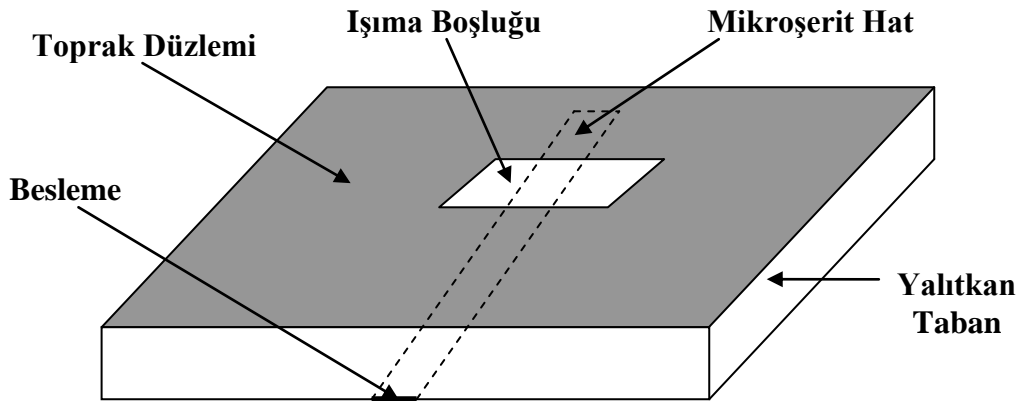
Şekil 3.3 : Mikroşerit yama anten tipleri.

Mikroşerit yama antenlerde ışımaya yüzeyindeki iletken yamanın geometrik şekli farklı olmasına rağmen ışımaya karakteristikleri benzerdir. Kazançları tipik olarak 5–6 dB

seviyelerinde olup, 70-90 derece arasında yarım güç huzme genişliğine sahiptirler [10].

3.3.2 Mikroşerit boşluk antenler

Mikroşerit boşluk anten kavramı mikroşerit hatların kullanımına yönelik çalışmalardan ortaya çıkmıştır. Bu tip antenlerde, dielektrik taban malzemesinin bir tarafında üzerinde ışıma boşluğu bulunan toprak düzlemi, diğer tarafında ise mikroşerit besleme hattı bulunmaktadır. Işıma boşluğu dikdörtgensel, dairesel veya dairesel halka şekillerinde olabildiği gibi daha farklı şekillerde de tasarlanabilmektedir. Boşluk antenlerde besleme çoğunlukla mikroşerit hat veya eş düzlemlili dalga kılavuzu ile yapılmaktadır. Diğer mikroşerit antenlerle karşılaştırıldığında çapraz-polarizasyon seviyeleri (~ -35 dB) oldukça düşüktür. Bu tür antenlerde ışıma boşluğunun her iki tarafından çift yönlü şekilde gerçekleşmektedir. Ayrıca boşluğun bir tarafında kullanılacak iletken yansıtıcı ile tek yönlü ışıma da elde edilebilir. Parça ve şerit yapısının birlikte kullanımı mikroşerit anten tasarımında oldukça az toleranslarla istenen polarizasyona göre ışıma yapan antenlerin tasarlanmasını sağlamıştır. Dikdörtgensel, halka ve uca doğru incelen boşluk antenler en yaygın kullanılan mikroşerit boşluk antenlerdir. Şekil 3.4'te tipik bir mikroşerit boşluk anten tasarımı görülmektedir.

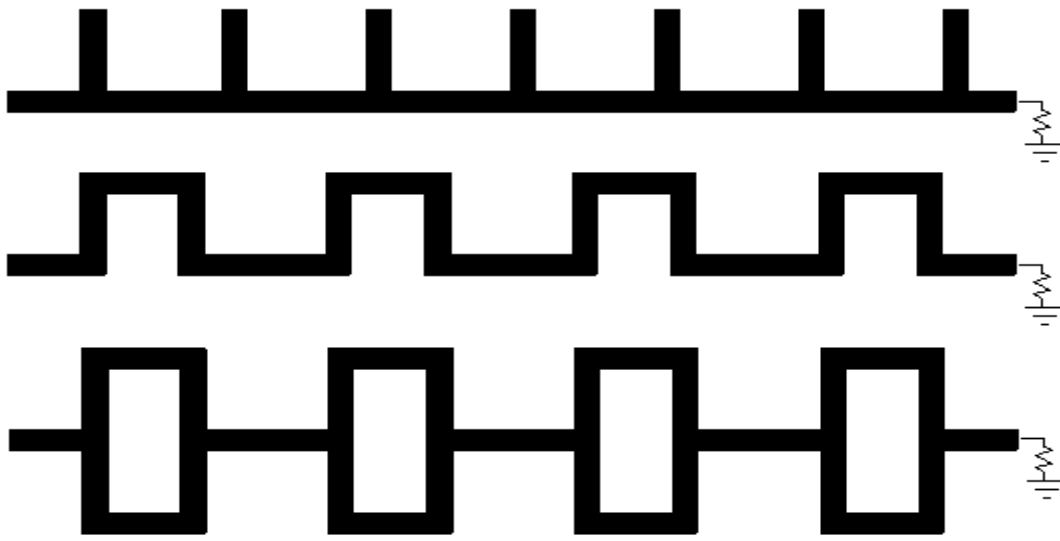


Şekil 3.4 : Mikroşerit beslemeli mikroşerit boşluk anten yapısı.

3.3.3 Mikroşerit yürüyen dalga antenler

Mikroşerit yürüyen dalga antenler, zincir şeklinde tekrarlanan iletkenlerden veya TE modu taşıyan bilinen uzun bir TEM hattın açık uç uyumlu bir dirençle sonlandırılmasından meydana gelir. Genel olarak periyodik yapıdadırlar. Mikroşerit

yürüyen dalga anten ve duran dalga anten olmak üzere iki grupta incelenirler. Mikroşerit yürüyen dalga antenler rezistif bir yüküle sonlandırılırlar ve istenen yöne ışımaya yapacak şekilde tasarlanabilirler. Duran dalga antenlerin ise sonu kapalı veya açık devre şeklindedir ve genellikle geniş kısım taraflarından ışımaya yaparlar. Anten yapısındaki değişikliklerle ana huzme yatay veya düşey konum arasında herhangi bir açıya yönlendirilebilir. Tarak-hatlı, trapezoidal-hatlı, rampa-hatlı, zincir-hatlı ve mikroşerit parça dizi anten en yaygın kullanılan mikroşerit yürüyen dalga anten türleridir. Şekil 3.5'te değişik tipteki yürüyen dalga mikroşerit antenler gösterilmektedir.



Şekil 3.5 : Mikroşerit yürüyen dalga anten türleri.

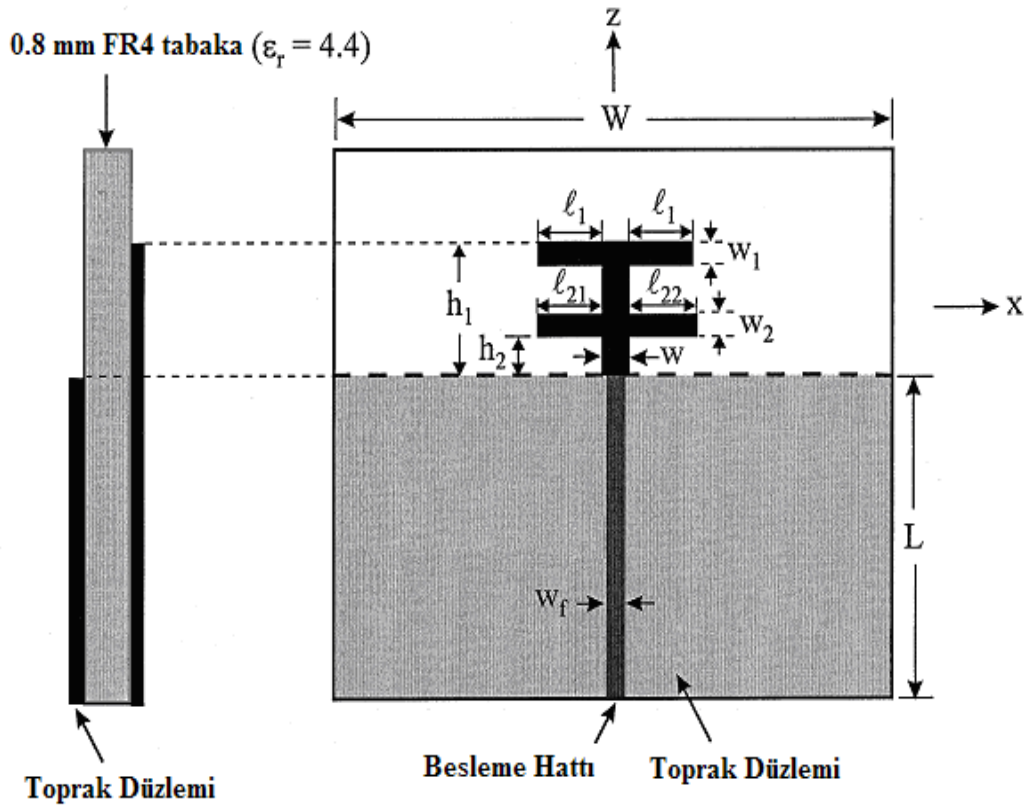
3.3.4 Mikroşerit halka antenler

Gelişen teknolojiyle birlikte, kablosuz haberleşmede kullanılan taşınabilir cihazların boyutlarının küçülmesi, bu cihazlara adapte edilebilecek özelliklerdeki anten tasarımlarını zorunlu hale getirmiştir. Yaygın olarak kullanılan dikdörtgen, daire ve üçgen şekilli mikroşerit yama antenlerde, yama boyutları tipik olarak yarım dalga boyu kadardır. Genellikle dikdörtgen ve daire biçimli halka yama kullanılarak tasarlanan mikroşerit halka antenlerde, yama boyutları çeyrek dalga boyu değerlerine kadar düşürülebilmektedir [16]. Ayrıca halka elemanın genişlik-uzunluk oranındaki geometrik esneklik sağlaması, taşınabilir cihazların uygun yerlerine adapte edilebilecek anten tasarımlarının yapılabilmesini sağlamıştır. Bu nedenle küçük boyutlu anten tasarımı çalışmalarında mikroşerit halka antenler ön plana

çıkılmaktadır. Halka antenler, halkanın uygun bir yerinde oluşturulan küçük bir yarık üzerinden eş eksenli hat ile doğrudan beslenebilmektedir [17, 18].

3.3.5 Mikroşerit monopol antenler

Farklı frekans bantlarında gerçekleşen kablosuz haberleşme uygulamalarının tek bir anten ile sağlanabilmesi için antenin çoklu-bant veya geniş-bant performans göstermesi gerekir. Mikroşerit monopol antenler, geniş bant aralığında ışıma yapabilmeleri ve uygun ışıma paternine sahip olmaları nedeniyle, kablosuz haberleşme uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır [19]. Mikroşerit monopol antenlerde taban malzemesinin bir yüzeyinde iletken yama ve yamaya doğrudan bağlı olan mikroşerit besleme hattı bulunmaktadır. Bu antenleri tipik mikroşerit yama antenlerden ayıran temel özellik, toprak düzleminin sadece mikroşerit besleme hattı boyunca olan kısmının metal ile kaplı olmasıdır. Bu yapı mikroşerit monopol antenlere her iki düzlemde de ışıma yapma özelliği sağlamaktadır. Ayrıca toprak düzleminin büyük olması rezonans frekansını düşürürken, empedans bant genişliğini de bir miktar etkilemektedir. Şekil 3.6'da mikroşerit monopol anten tasarımı yer almaktadır [19].



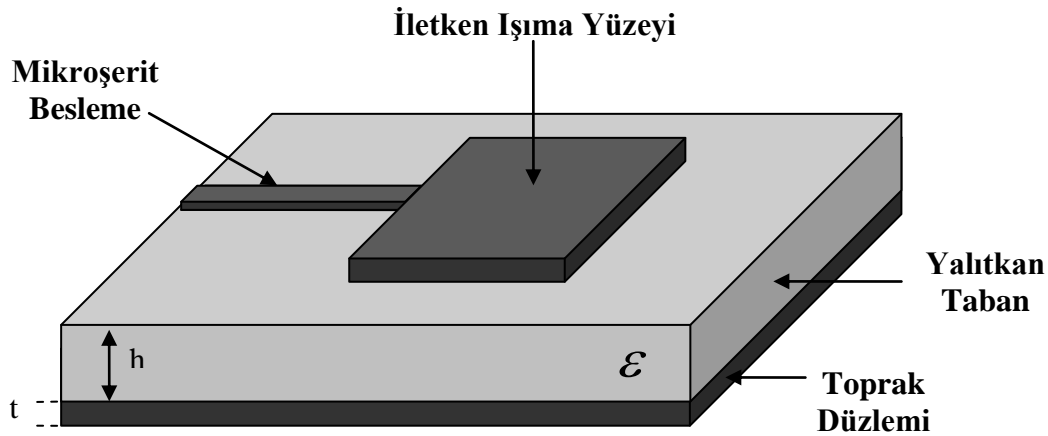
Şekil 3.6 : Çift T şekilli mikroşerit monopol anten örneği.

3.4 Mikroşerit Antenlerin Besleme Çeşitleri

Mikroşerit antenlerde besleme farklı yöntemlerle yapılabilmektedir ve genel olarak temaslı ve temassız olmak üzere iki ayrı sınıfta incelenebilir. Temaslı beslemede, elektriksel enerjinin taşındığı hat doğrudan ışıma elemanına bağlıdır. Mikroşerit ve koaksiyel besleme, temaslı besleme yöntemine örnek verilebilir. Temassız beslemede ise enerji hattı ile ışıma elemanı arasında elektromanyetik kuplaj ile enerji aktarımı yapılmaktadır. Açıklık kuplajlı ve yakınlık kuplajlı besleme, temassız besleme yöntemine örnek verilebilir. Antenin beslemesinde hangi tekniğin tercih edileceği genellikle tasarlanan anten yapısına bağlıdır ve kullanılan besleme yöntemi antenin giriş empedansı ve polarizasyonu üzerinde büyük önem taşır. Bu nedenle anten beslemesinde empedans uyumunun sağlanması gerekmektedir.

3.4.1 Mikroşerit besleme

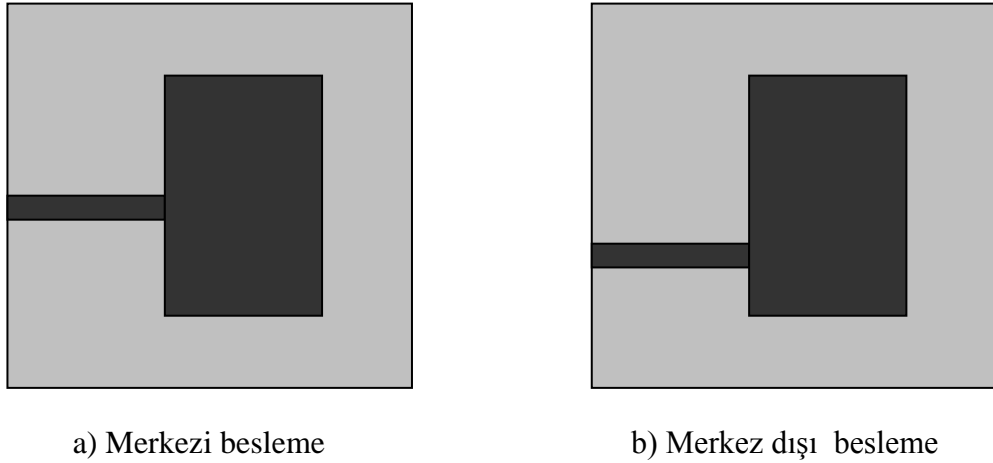
Besleme hattı ışıma yüzeyi ile aynı taban malzemesi üzerindedir ve doğrudan ışıma yüzeyinin bir kenarına bağlıdır. İletim hattının genişliği ışıma yüzeyine göre daha incedir. Basit yapısı, tasarım ve üretiminin kolay olması mikroşerit besleme yönteminin en önemli avantajıdır. Fakat dielektrik taban malzemesinin kalınlığı arttıkça, yüzey dalgaları ve besleme hattı üzerindeki sahte ışıma artar. Bunun sonucunda antenin bant aralığı daralır. Şekil 3.7’de mikroşerit besleme yapısı görülmektedir.



Şekil 3.7 : Mikroşerit besleme yapısı.

Mikroşerit beslemenin antene göre konumu göz önüne alındığında, merkezi ve merkez dışı besleme olmak üzere iki farklı mikroşerit besleme yöntemi vardır.

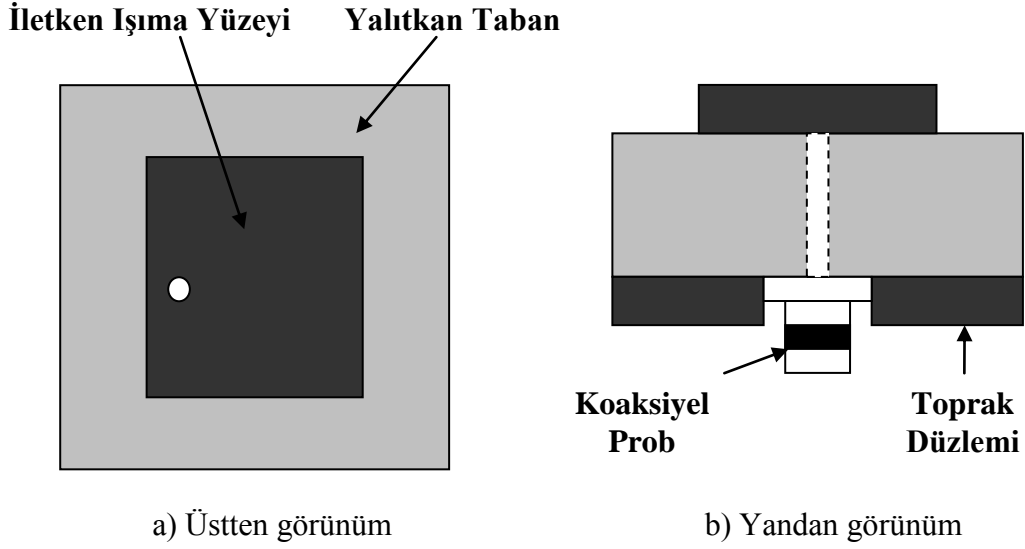
Besleme hattının konumunun değişmesi antenin rezonans frekansında kaymaya neden olur. Tasarlanan anten merkez beslemesinde istenen frekansta çalışmıyorsa, besleme yeri ile oynanarak istenen frekans düzeyine getirilmeye çalışılır. Merkez dışı besleme sadece istenen frekansı ayarlamak için değil, yer sıkıntısı ve elektronik cihazlara uyum sağlamak açısından da kullanılmaktadır. Elektronik cihazlar içine yerleştirilen antenlerde, her zaman istenen yerden besleme alınamayabilir, bundan dolayı besleme merkezden kaydırılır. Beslemenin merkezden kaydırılması rezonans frekansta kaymalara neden olmasına karşın ışırma görüntüsünde bir değişikliğe neden olmaz. Rezonans frekanstaki kayma, antenin veya anten üzerindeki iletken ışırma yüzeyinin boyutları değiştirilerek yok edilmeye çalışılır. Şekil 3.8'de anten konumuna göre mikroşerit besleme Şekilleri yer almaktadır.



Şekil 3.8 : Anten konumuna göre mikroşerit besleme Şekilleri.

3.4.2 Koaksiyel besleme

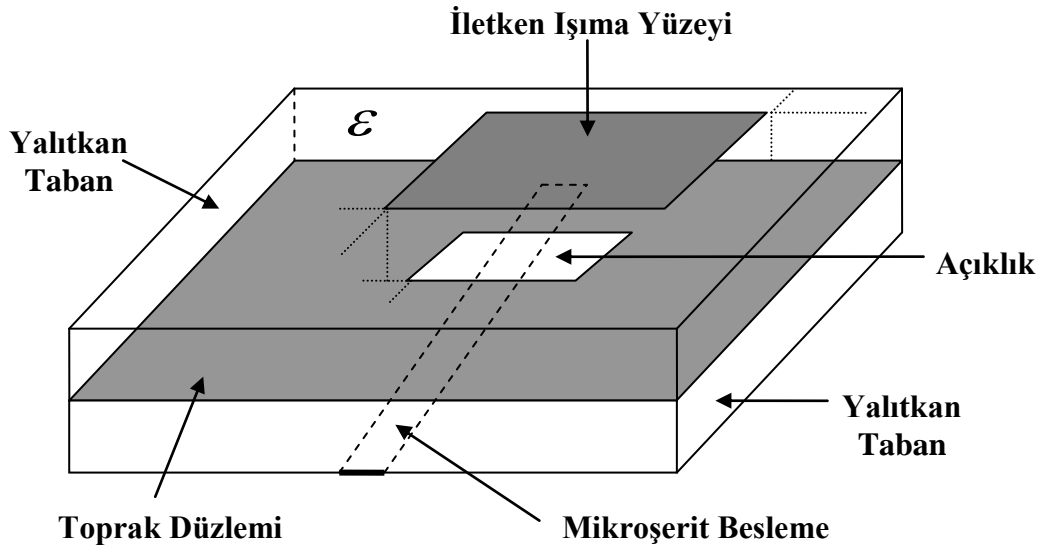
Koaksiyel besleme, koaksiyel kablonun ışaret taşıyan i ucunun iletken ışırma yüzeyine, topraklama için kullanılan dış kılıfının ise toprak düzlemine bağlanması ile gerçekleştirilir. Bunun için toprak düzlemi ile dielektrik taban üzerinde bir delik açılarak, koaksiyel kablonun i ucu bu delik içinden iletken ışırma yüzeyine ulaştırılır. Üretim ve empedans uydurmada kolaylık, yüzey dalgalarından kaynaklanan sahte ışırmanın az olması en önemli avantajlarıdır. Fakat bu besleme tekniğini kullanan antenlerin bant aralığı dardır. Ayrıca kalın dielektrik malzeme kullanımında modelleme zorlukları ve istenmeyen ışırmalar artmaktadır [1]. Şekil 3.9'da koaksiyel besleme yapısı yer almaktadır.



Şekil 3.9 : Koaksiyel besleme yapısı.

3.4.3 Açıklık kuplajlı besleme

Açıklık kuplajlı besleme, toprak düzlemin mikroşerit besleme hattı ile iletken ışıma yüzeyi arasında yerleştirilmesiyle oluşturulmaktadır. Mikroşerit besleme hattı alttaki yalıtkan tabakanın üstüne yerleştirilmiştir ve enerji, toprak yüzeyde oluşturulan açıklık üzerinden ışıma yüzeyine iletilmektedir. Genellikle üstteki yalıtkan tabaka düşük, alttaki yalıtkan tabaka ise düşük dielektrik sabitli malzemelerden seçilir. Şekil 3.10'da açıklık kuplajlı besleme yapısı yer almaktadır.

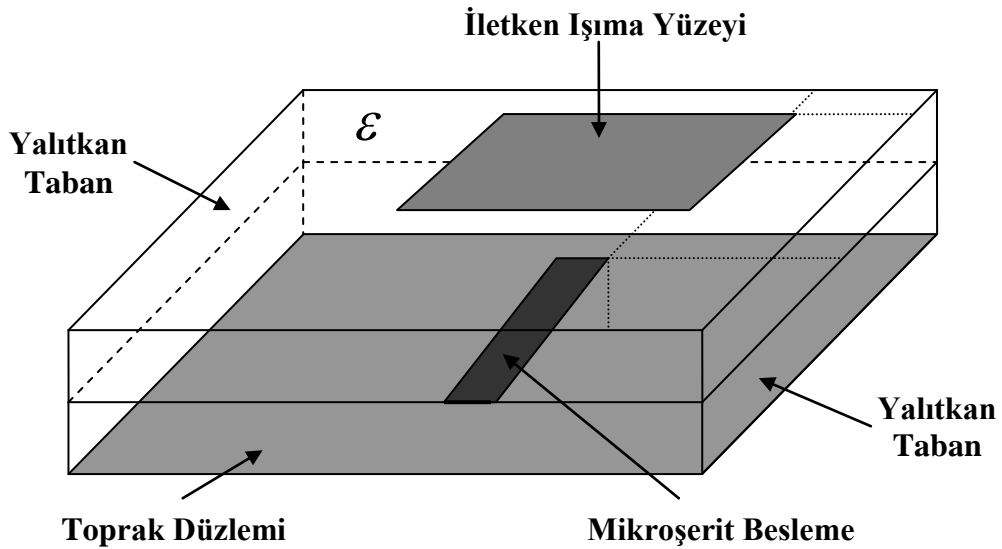


Şekil 3.10 : Açıklık kuplajlı besleme yapısı.

Bu besleme tipinde toprak tabakası, besleme hattını ışıma yüzeyinden izole ederek polarizasyon saflığını arttırırken ve istenmeyen ışımaların etkisini azaltır. Yapının modellenmesi kolay olurken, üretimi diğer bağlantılı besleme tekniklerine göre daha zordur. Bu besleme tekniğini kullanan antenlerin bant aralığı dardır. Empedans uyumu genel olarak besleme hat genişliğinin ve boşluk boyutlarının değiştirilmesiyle sağlanır [1].

3.4.4 Yakınlık kuplajlı besleme

Yakınlık kuplajlı besleme, mikroşerit besleme hattının iki dielektrik tabakanın ortasına yerleştirilmesiyle oluşturulmaktadır. Işıma yüzeyi, üstteki dielektrik tabakanın üstünde yer alır. Toprak düzlemi ise alttaki dielektrik malzeme tabakasının altında yer alır. İletken ışıma yüzeyi ile besleme hattı arasında doğrudan bağlantı mevcut değildir. Besleme hattına gelen elektriksel işaretler vasıtasıyla oluşan elektromanyetik dalgalar, iletken ışıma yüzeyini indükleyerek, elektromanyetik dalga yayınlamasına sebep olurlar. Bu besleme tekniğini kullanan antenler, en yüksek bant genişliğine ve en az sahte ışımaya sahip mikroşerit antenlerdir. Fakat bu besleme tekniğini kullanan antenlerin tasarımı ve üretimi, diğer besleme tekniklerini kullanan antenlere göre daha zordur. Şekil 3.11’de yakınlık kuplajlı besleme yapısı yer almaktadır.



Şekil 3.11 : Yakınlık kuplajlı besleme yapısı.

3.5 Mikroşerit Antenlerin Analiz Yöntemleri

Mikroşerit anten yapılarının analizlerine yönelik birçok yöntem geliştirilmiştir. İlk olarak Itoh ve Menzel tarafından mikroşerit antenlerin tam dalga analizleri yapılmıştır [20]. Bilgisayar sistemlerindeki gelişmelerle analitik yöntemlerin yerine sayısal yöntemler kullanılmaya başlanmıştır. Mikroşerit antenlerin analizlerinde kullanılan başlıca yöntemler diferansiyel denklem ve entegral denklem temelli olmak üzere iki grupta ele alınabilir. Sonlu Elemanlar Yöntemi (FEM), Zaman Düzleminde Sonlu Farklar Yöntemi (FDTD) ve İletim Hat Modeli (TLM) diferansiyel denklem temelli, Momentler Yöntemi (MoM) ise integral denklem temelli sayısal analiz yöntemleridir [21]. Bu analiz yöntemleri arasında iletim hat modeli [21], boşluk modeli [22] ve tam dalga analiz modeli en fazla tercih edilen analiz yöntemleridir. Anten analizinde hangi sayısal yöntem ya da çözüm tekniğinin kullanılacağını belirleyen pek çok faktör olmakla birlikte en temel kriterler, problemin karmaşıklığı ve depolamak için gerekli hafıza miktarıdır.

3.5.1 İletim hat modeli

İletim hat modeli, diğer analiz yöntemlerine göre daha az hesaplamayı gerektirir. Kare ve dikdörtgen yapıların analizinde kullanılabilen iletim hat modelinde, anten parametrelerine deneye dayalı formüllerle ulaşıldığından dolayı özellikle yüksek frekanslarda güvenilir sonuçlar elde edilememektedir. Buna rağmen bu yöntem, ışıma mekanizmasının karakteristiği için bile basit ifadeler verebildiğinden çoğu zaman tercih edilir. Transmisyon hat modeli ince dielektrik tabakalı antenler için kesinlik payı en yüksek olan iki metottan biridir. Modele göre, bir dikdörtgensel mikroşerit yama anten, W genişliğinde, h yüksekliğinde, L mesafesinde ışıyan iki dar yarık dizisi ile temsil edilebilir. Temel olarak, transmisyon hat modeli mikroşerit yama anteni L uzunluğundaki iletim hattını, Z_c gibi düşük bir empedans değeri ile ayıran iki yarık ile temsil eder [1]. Yamanın boyutlarının, sonlu uzunluk ve genişlikte olması nedeniyle, yama kenarlarındaki alanlar toprağa doğru saçaklama etkisi gösterir. Saçaklama etkisi yamanın uzunluğu ve genişliği boyunca gözlemlenir.

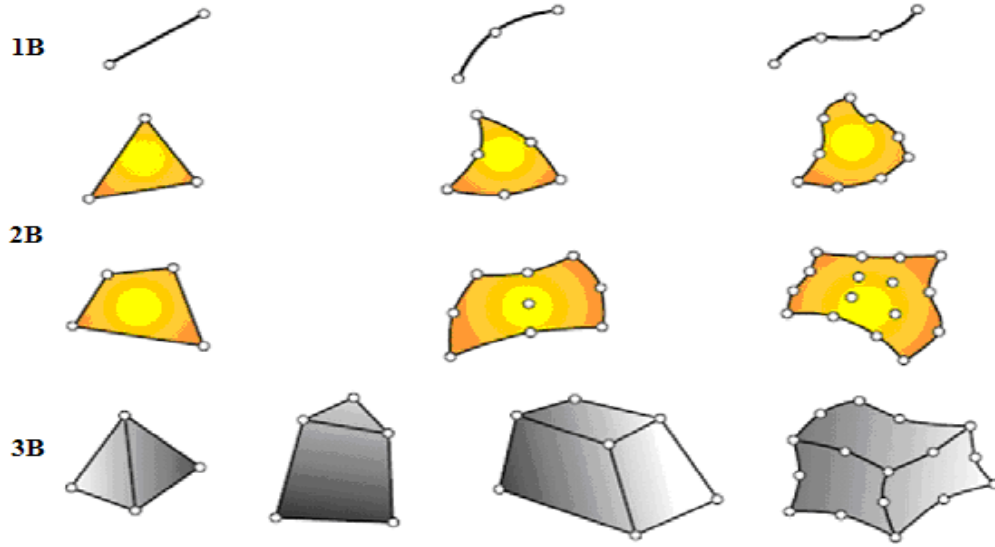
3.5.2 Zaman düzleminde sonlu farklar yöntemi

Zaman düzleminde sonlu farklar yöntemi, 1966 yılında Yee tarafından ortaya atılmıştır. Bilgisayar teknolojilerindeki gelişmelerle günümüzde her türlü elektromanyetik problem çözümlerinde kullanılan bir yöntem haline gelmiştir. Zaman düzleminde sonlu farklar yöntemi, Maxwell denklemlerindeki kısmi türev operatörlerinin sonlu farklar karşılıkları ile değiştirilip doğrudan zaman ve konum düzlemlerinde sayısallaştırılmasına dayanır [23].

3.5.3 Sonlu elemanlar yöntemi

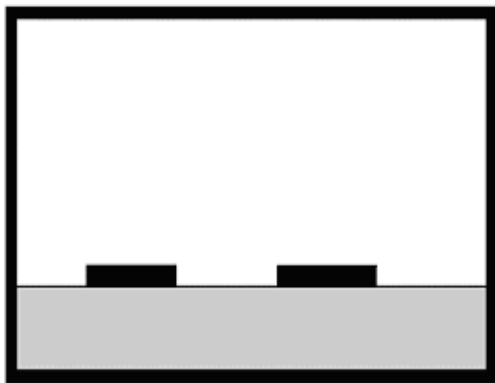
Elektromanyetik problemlerin yaklaşık olarak çözülmesindeki en güçlü sayısal yöntemlerden biri olan sonlu elemanlar yöntemi, sınır değer fonksiyonlarını polinomlara veya diğer parça yaklaşımlara ayıran bilgisayar destekli sayısal bir analiz yöntemidir. Sonlu elemanlar yöntemi geliştirilmeden önce, sınır değeri problemleri, Ritz varyasyonel ve ağırlıklı kalanlar (weighted residuals) olarak isimlendirilen yöntemler ile çözülmekteydiler. Problem geometrisinin karmaşık olduğu durumlarda Ritz ve ağırlıklı kalanlar yaklaşımları yetersiz kalabilmektedir. Bu yöntemlerde baz fonksiyonlarının her biri problem uzayının tamamında tanımlıdır. Bu yüzden iki ve üç boyutlu karmaşık yapıli problemlerin çözümünde baz fonksiyonları ile yeterli yakınsama sağlayabilmek için gerekli olan baz fonksiyonu sayısı çok fazla olabilmektedir. Bazı durumlarda ise tam olarak yakınsama mümkün olamamaktadır. Sonlu elemanlar yönteminde ise, baz fonksiyonları belirli bir sonlu eleman üzerinde tanımlandıklarından, her bir eleman için baz fonksiyonları ile yakınsama sağlanabilmektedir. Sonlu eleman boyutlarının problem uzayına oranla çok daha küçük olması, daha az sayıda baz fonksiyonu ile tanımlama yapılmasını sağlarken aynı zamanda yakınsamadaki doğruluk oranını da artırmaktadır [24].

Sonlu elemanlar yöntemi kullanıldığı uygulamalara göre bazı farklılıklar gösterse de aslında problem uzayının ayrıklaştırılması, baz fonksiyonlarının seçilmesi, denklem sisteminin oluşturulması ve denklem sisteminin çözülmesi olan dört temel aşamada gerçekleştirilmektedir. Sonlu elemanlar yönteminin ilk adımı olan ayrıklaştırma işleminde, W ile gösterilen problem uzayı W_e ($e=1, 2, \dots, N$) ile ifade edilen N tane sonlu elemana bölünmektedir. Sonlu elemanlar, problemin yapısına ve fiziksel özelliklerine göre farklı şekillerde olabilmektedir. Şekil 3.12’de tipik sonlu eleman örnekleri yer almaktadır.

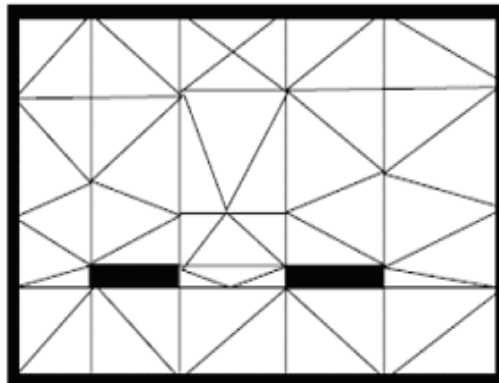


Şekil 3.12 : Tipik sonlu eleman örnekleri.

Bir boyutlu (1B) uygulamalarda genellikle birbirlerine eklenerek orijinal doğruyu oluşturan kısa doğru parçaları şeklinde iken, iki boyutlu (2B) uygulamalar için üçgen ve dörtgenlerden oluşan düzlemsel elemanlar kullanılmaktadır. Üç boyutlu (3B) uygulamalarda ise üçgen prizma, dört yüzlü veya dörtgen prizma gibi hacimsel elemanlar tercih edilmektedir. Şekil 3.13'te tipik bir 2B-FEM (iki boyutlu sonlu eleman) mikroşerit anten problem uzayının üçgen elemanlarla ayrıklaştırılma modeli yer almaktadır [24].



a) Tipik bir mikroşerit anten problem uzayı



b) Problem uzayının ayrıklaştırılma modeli

Şekil 3.13 : 2B-FEM mikroşerit anten problem uzayı ve uzayın ayrıklaştırılması.

Sonlu elemanlar analizinde, bilinmeyen fonksiyon değerleri, sonlu elemanların düğüm noktalarında veya ilgili kenarlar üzerinde tanımlanmaktadır. Elemanların düğüm noktaları; lineer doğru parçaları için doğruların iki ucu, üçgen veya dörtgen

gibi düzlem parçaları için köşe noktalarıdır. Problemden her bir sonlu eleman, düğüm noktalarının yerel ve genel koordinat bilgileriyle tanımlanmaktadır. Yerel numara düğüm noktasının ilgili eleman içindeki konumunu belirten koordinat değerini içerirken, genel numara sistemin bütünü içindeki konumu tanımlamaktadır. Numaralandırma işlemi çözümün son aşamasında elde edilen katsayılar matrisini doğrudan etkilediğinden, belirli bir sistematığe göre yapılarak işlemsel yük azaltılabilir [24].

Her bir sonlu eleman şekil veya baz fonksiyonu olarak adlandırılan yaklaşık enterpolasyon polinomlarıyla ifade edilmektedir. Baz fonksiyonları ele alınan probleme uygun olarak ilgili sonlu elemanın düğüm noktaları veya kenarları esas alınarak düğüm-tabanlı (node-based) veya kenar-tabanlı (edge-based) oluşturulmakta, çoğunlukla lineer, gerekli durumlarda ise yüksek mertebeden genişletilmiş şekilde olabilmektedir. Laplace, Poisson ve Helmholtz denklemleri gibi iki boyutlu statik alan problemlerinin çözümünde genellikle düğüm-tabanlı baz fonksiyonları kullanılırken ışınım ve saçılma gibi üç boyutlu elektromanyetik problemlerin çözümünde kenar-tabanlı baz fonksiyonları kullanılmaktadır [24].

Sonlu elemanlar yönteminin önemli bir aşaması olan denklem sistemin oluşturulmasında Ritz veya Galerkin yaklaşımlarından bir tanesi kullanılarak, lineer bir denklem sistemi elde edilir. Bu denklem sistemi çözülmeden önce tanımlanan sınır koşulları da sisteme dahil edilmelidir. Başlıca sınır koşulları Dirichlet ve homojen Neumann sınır koşullarıdır. Dirichlet sınır koşulu zorunlu bir sınır koşulu olup, bu koşul tanımlandığında geçerli olduğu noktalardaki değerler doğrudan yerine konmaktadır. Homojen Neuman sınır koşulu doğal sınır koşulu olduğundan çözüm işlemleri sırasında kendiliğinden sağlanmaktadır. Sonlu elemanlar yöntemi uygulanarak elde edilen denklem sisteminin çözülmesi ile bilinmeyen fonksiyon yaklaşık olarak elde edilmektedir. İlgili matrisin çözümünde bilinmeyen sayısının fazla olduğu durumlarda iteratif yöntemler kullanılırken, az olduğu durumlar için direkt çözümler tercih edilmektedir [24].

3.6 Mikroşerit Antenlerin Avantajları, Dezavantajları ve Uygulama Alanları

Mikroşerit antenler, diğer mikrodalga antenlere göre çeşitli avantajlara ve üstünlüklere sahiptirler. Mikroşerit antenlerin avantajlı yönlerini aşağıdaki gibi sıralayabiliriz;

- Küçük hacimli ve hafif bir yapıya sahiptirler.
- Kolay üretilebilirler ve üretim maliyetleri düşüktür.
- Yüksek mekaniksel dayanıklılığa sahiptirler.
- Mikroşeritler sayesinde çok küçük boyutlu yapıların içine veya dışına kolayca monte edilebilirler.
- Esnek taban malzemesi kullanarak, istenilen yüzeye uygun anten tasarlamak mümkündür.
- İnce yapıları sayesinde uzay araçlarının aerodinamiğini bozmazlar.
- Güdümlü füze, roket ve uydu yapılarında büyük değişikliklere neden olmadan, bu yapılara kolayca monte edilebilir.
- Radar kesit alanları düşüktür.
- Tek veya çoklu frekans bantlarında çalışabilirler.
- Besleme yerinde küçük değişikliklerle doğrusal veya dairesel polarizasyonlu ışına yapılabilirler.
- Modülör, kuvvetlendirici, değişken zayıflatıcı, anahtar, osilatör, karıştırıcı, faz değiştirici gibi yarı iletken elemanlar ile aynı taban malzemesi üzerinde yapılabilirler.

Mikroşerit antenlerin dezavantajlı yönlerini aşağıdaki gibi sıralayabiliriz;

- Bant genişlikleri dardır.
- Çeşitli kayıplar nedeniyle verimlilikleri ve kazançları düşüktür.
- Maksimum kazancın pratik sınırları yaklaşık 20 dB' dir.
- Işıma yapan elemanlar ve besleme arasındaki yalıtım zayıftır.
- Boyuna dizi ışına performansı zayıftır.
- Düşük polarizasyon saflığına ve tarama performansına sahiptirler.
- Mikroşerit antenlerin çoğu yarım bir uzaya ışına yaparlar.

Mikroşerit antenler konusunda yapılan araştırma ve geliştirmelerin devam etmesi ve mikroşerit anten kullanımının artmasıyla, mikroşerit antenlerin uygulama alanları sürekli genişlemektedir [1]. Mikroşerit antenlerin bazı uygulama alanları şunlardır;

- Kablosuz sistemler,
- Uydu haberleşmesi,
- Gezgin haberleşme,
- Gúdümlü füzeler,
- Biomedikal ölçümler,
- Uzaktan algılama sistemleri.

4. HABERLEŞME TEKNOLOJİLERİ VE METAMALZEMELER

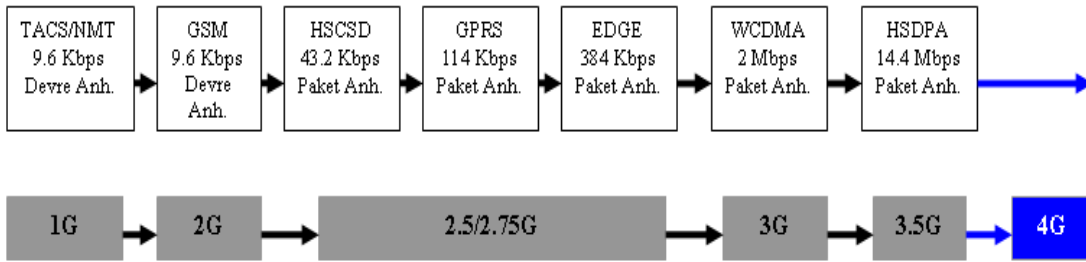
Bu bölümde önce haberleşme teknolojilerinin ortaya çıkışı ve gelişimi hakkında bilgiler verilecek, daha sonra çalışmamızda tasarlanacak olan antenin kullanılabileceği haberleşme teknolojileri hakkında genel bilgiler verilecektir. Daha sonra metamalzemeler ile ilgili temel kavramlar, elektromanyetik özellikleri ve türleri genel olarak anlatılacak ve metamalzeme yapıların bir türü olan yapay manyetik iletken (Artificial Magnetic Conductor - AMC) yapılar incelenecektir.

4.1 Kablosuz Haberleşme Teknolojileri

İnsanoğlu geçmişten günümüze başka insanlarla değişik yollar kullanarak iletişim kurmaya çalışmıştır ve iletişim zaman içerisinde insanoğlunun zorunlu ihtiyaçlarından birisi haline gelmiştir. İnsanlar bu zorunlu ihtiyaçlarını gidermek ve kolaylık sağlamak için zaman içerisinde sürekli gelişme göstermişlerdir. İnsanlar ilk çağlarda uzak mesafeler arasında birbirlerine bağırarak haberleşmeye çalışmış, ancak 5-10 watt kadar olan insan bağırma sesinin yetersiz olduğunu görmüşler ve çeşitli aletlerle daha güçlü sesler çıkararak haberleşmişlerdir. Ateşin icadıyla birlikte ateş ve duman, daha sonraki yıllarda bayrak ve ışık uzak mesafelerle haberleşmek için kullanılmaya başlanılmıştır. Claude Chappe 1793 yılında icat ettiği mesaj iletme makinesine, "uzaktan yazan" anlamında "telgraf" adını vermiştir. Tepeler üzerine kurulan, birbirini gören kuleler ve kule tepesine takılmış, 49 değişik konuma ayarlanabilen hareketli kolların kullanılmasıyla oluşturulan işaretler çok uzaklara gönderilebiliyordu. Her konum bir harfe veya bir rakama karşılık geliyor ve böylece mesaj anlaşılıyordu.

Elektrikle ilgili gelişmeler sonucu, ilk elektrikli telgraf 1837'de William Cooke ve Charles Wheatstone tarafından yapılmıştır. 1843'te Amerikalı bir ressam olan Samuel Morse, nokta ve çizgiden oluşan bir alfabe geliştirdi ve böylece hala kullanılmakta olan Mors alfabesi ortaya çıktı. 1858'de Wheatstone kağıt şeritlerin delinmesiyle sinyal gönderilen sistemi geliştirdi. Daha sonraları ses sinyallerine dönüştürülen işaretler direk olarak operatörün dinlemesi ve yazıya dökülmesi ile

alınmaya başlandı. 1876 yılında A.Graham Bell elektrik telleri üzerinden ilk insan sesini iletmeyi başarmış ve bu aletin adına “uzaktan konuşma” anlamında “telefon” adını vermiştir. 1885’de Heinrich Hertz bir kıvılcım makinası tarafından yayılan elektrik işaretlerinin arada tel olmadan daha uzak mesafelerden alındığını göstermiştir. İtalyan mucit Guglielmo Markoni yaptığı çalışmalar sonucu ilk radyo sayılabilecek cihazı geliştirmiş, Mors alfabesi ile haberleşen bu aygıtla 1901 yılında, İngiltere’deki Cornwall’dan Kanada’ya bağlı Newfoundland’e radyo sinyalleri göndermeyi başarmıştır. Böylece elektromanyetik dalgalar aracılığı ile Atlantik aşırı ilk kablosuz haberleşme gerçekleştirilmiştir. O tarihten günümüze kadar, elektromanyetik kablosuz haberleşme, analog işaretleşmeden başlayıp sayısal işaretleşmeye dönüşen bir gelişim izlemiştir. Mobil haberleşmede teknolojik gelişmeler genellikle “nesil (generation)” terimi ile tanımlanmaktadır. Şekil 4.1’de kablosuz haberleşme teknolojilerindeki gelişim yer almaktadır.



Şekil 4.1 : Kablosuz haberleşme teknolojilerinde gelişim.

4.1.1 Birinci nesil (1G) haberleşme teknolojisi

Birinci nesil haberleşme teknolojileri, 1980 yıllarında ortaya çıkan ve 2G sayısal telefonlar çıkıncaya kadar kullanılan analog tabanlı haberleşme teknolojileridir. 1G ve 2G mobil telefon sistemleri arasındaki en temel fark; 1G şebekelerinin analog, 2G şebekelerinin ise sayısal radyo sinyalleri kullanmasıdır. Bununla birlikte 1G ve 2G şebekelerinin her ikisinde de cep telefonları baz istasyonları ile sayısal olarak haberleşmektedir. Tek fark baz istasyonlarının şebekenin geriye kalanı ile haberleşme için kullandığı teknolojidir. Birinci nesil sistemlerin getirdiği en temel yenilik, hücreli haberleşme yapısıdır. Hücreler arası geçiş yapılabilmesi mobil haberleşmeyi sağlıyordu. Fakat bu sistemlerde analog işaretleşmenin getirdiği interferans problemi nedeni ile iletişim kalitesinde düşüklükler ve bilgi güvenliğinde açıklar oluşuyordu. Ayrıca bu sistemin sadece ses iletimi için tasarlanmış olması ve başka bir çoklu ortam verisi gönderilememesi diğer dezavantajlarıydı. Daha hızlı ve

kaliteli iletişim ihtiyacının oluşmasıyla ikinci nesil gezgin haberleşme sistemleri geliştirilmiştir [25].

4.1.1.1 NMT – Nordic mobil telefon

NMT, Nordic Haberleşme Firması tarafından 1970’de ortaya atılan, mobil telefon ağlarına olan yoğun ihtiyaç ve talep sonucunda 1981’de hizmet vermeye başlayan bir mobil telefon sistemidir. Bu hizmeti ilk kullananlar Finlandiya’dan ARP (150 MHz) ve İsveç, Norveç ve Danimarka da hizmet veren MTSD (450 MHz) şebekeleridir. NMT temeli analogdur (1G) ve NMT-450 ve NMT-900 olarak iki türü bulunur. Buradaki 450 ve 900 frekans bantlarını belirtmektedir [25].

4.1.1.2 AMPS – İleri mobil telefon sistemi

AMPS birinci nesil hücreli teknolojidir ve FDMA teknolojisini kullanır. FDMA teknolojisinde yapılan her konuşma farklı kanallar kullanılarak bölünür. Bu yönüyle eski 0G IMTS hizmetine benzemektedir. Fakat AMPS arama yönetimi, güç yönetimi ve frekans yönetimi açısından eski teknolojilerden üstündür. AMPS ile “hücre” teriminin ilk kez ortaya çıkmıştır ve sistemde küçük hücreler kullanılmıştır. Bu hücreler AMPS’i daha başarılı yapmıştır. Çünkü bu sistem frekansların tekrar tekrar kullanılmasını sağlamıştır, böylece sistemin farklı parçalarındaki insanlar birbirlerinin kullanımı engellemeden aynı frekansı kullanabilmişlerdir. Daha sonraki yıllarda GSM ve CDMA gibi daha yeni teknolojiler AMPS’nin yerini almıştır [25].

4.1.1.3 CDPD – Hücreli sayısal paket data

CDPD normal olarak AMPS mobil telefonlarında kullanılmayan 800 ve 900 MHz bantlarını veri transferi için kullanır. İletişim 19.2 kbit/s hızına kadar çıkabilir. 1990 yılının başlarında geliştirilen CDPD geleceğin teknolojisi olarak görülmekteydi. Fakat kullanıcılarına sunduğu seçenekler oldukça kısıtlı olmasından dolayı kendisinden sonra gelen 2G hizmetleriyle kıyaslandığında genel olarak başarısız kabul edilmektedir [25].

4.1.2 İkinci nesil (2G) haberleşme teknolojisi

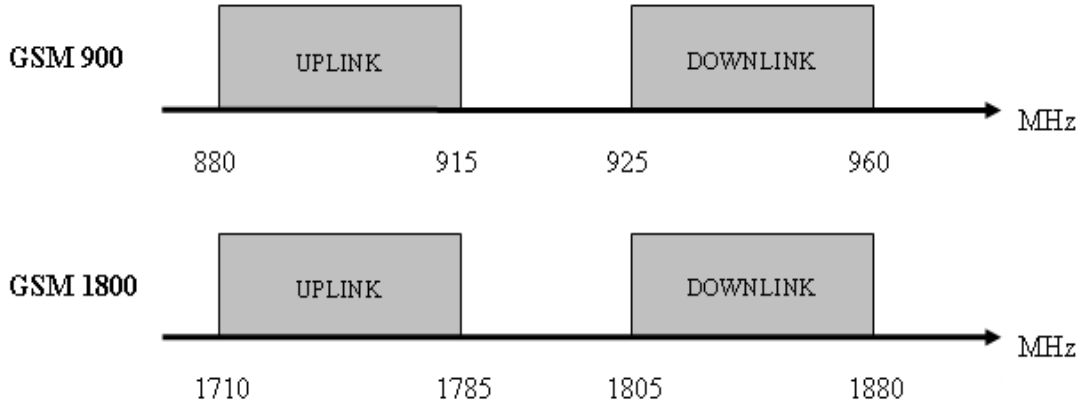
İkinci nesil mobil telefon teknolojisi, 1G teknolojisine benzer olarak hücreli bir ağ sistemi kullanır. 2G ile 1G arasındaki en büyük fark, analog veri yerine sayısal veri kullanılmaya başlanmış olmasıdır. Bu teknolojiye ISDN’e benzer bir yapı

kullanılmıştır. Tüm cihazlar, bağlantı ve durum verilerini aynı kanal üzerinden yollarlar. Bağlantı kurulduğunda, veri (veya ses) akışı bir kanal üzerinden yapılır. Her kullanıcı veri paketleri alıp verdiği sürece kanalı elinde tutar ve paylaşmaz. 2G'nin sağlamış olduğu en büyük yenilik olan sayısal teknoloji, daha yüksek ses kalitesi ve kapasite, sesi ve verileri şifreleme imkânı, kısa veri iletimi (kısa mesaj, hücre bilgisi, v.b.) birçok yeniliği de beraberinde getirmiştir. 2G standardı çıktığı zaman çok bant genişliği ve az işlemci vardı, dolayısıyla hattı kullanmazken bile meşgul eden bir teknoloji oluşturulması en büyük dezavantajıdır [25].

4.1.2.1 GSM

2G teknolojisi için en tipik örnek GSM'dir. GSM sistemi, Avrupa'daki sivil el ve araç telefonu kullanıcılarını tek sistem altında toplamak amacıyla 1982 yılında CEPT (European Conference of Postal and Telecommunications Administrations) tarafından geliştirilmesine karar verilen hücresel ve sayısal bir sistemdir. GSM, 1987 yılında 30 Avrupa ülkesi tarafından standart olarak kabul edilmiştir. İlk GSM standartları 1990 yılında yayınlanmıştır. Bir Avrupa standardı olarak başlamasına rağmen GSM kısa sürede dünyaca benimsenerek bir dünya standardı haline gelmiştir. ABD'de bu standartların kullanılabilmesi için ANSI (American National Standards Institute-Amerikan Ulusal Standartlar Enstitüsü) devreye girmiş ve GSM standartları ABD'de de yayınlanarak uygulamalarına başlanmıştır.

GSM'in getirdiği değişikliklerin başında ses iletiminin de sayısallaştırılması, kısa ileti hizmeti (SMS) ile ikincil bir veri tipinin iletilmesine olanak sağlaması sayılabilir. Sayısal iletme geçiş sayesinde daha kaliteli ses iletimine olanak sağlamış, ses taşıma kapasitesini de artırmıştır. Ayrıca GSM gönderilen ses ve verinin şifrelenmesine imkan sağlamıştır. GSM'in kullanılan frekans bantlarına göre GSM-900, GSM-1800 olmak üzere iki tipi mevcuttur. Şekil 4.2'de GSM-900 ve GSM-1800 için alım ve gönderim frekansları yer almaktadır.



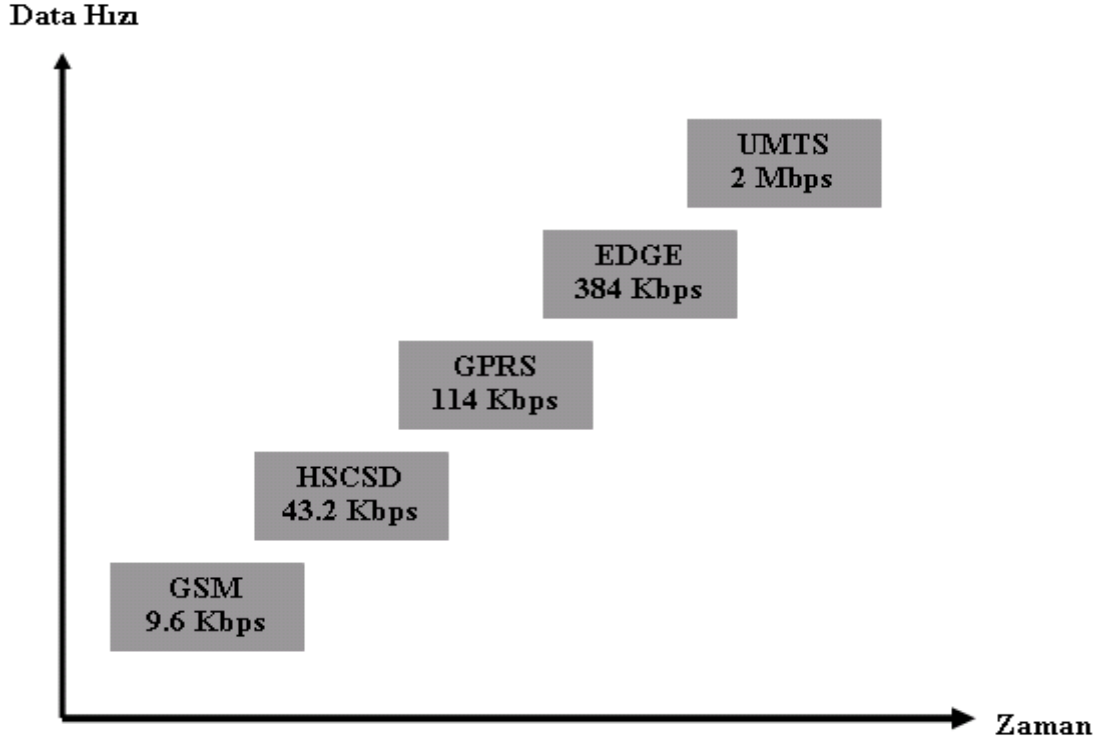
Şekil 4.2 : GSM 900 ve GSM 1800 için frekans kullanımı.

İnternet kullanımının yaygınlaşmasıyla birlikte GSM'in sunduğu 9.6 kbps veri taşıma kapasitesi yetersiz kalmaya başlamıştır. Bundan dolayı HSCSD standardı çıkartılmıştır. Bu standart ile bir cihaz, birçok kanalı aynı anda kullanarak 43.2 kbps'ye kadar veri iletişimi yapabilmektedir. Fakat HSCSD yapısı da aynı GSM gibi veri iletilmediği zamanlarda bile hattı meşgul ettiği için şebekelere sorun çıkartmıştır. Bunun üzerine bandın sadece veri iletilirken kullanıldığı GPRS standardı ortaya çıkartılmıştır. GPRS devre anahtarlama bağlantı yerine paket anahtarlama bağlantı kullanarak, veri iletimi yokken, zaman veya frekans kanalının gereksiz kullanımını önlemektedir.

GPRS ile cep telefonlarından internete erişmek mümkün hale gelmiştir. GPRS yalnız gezgin olarak internet'e erişimi sağlamakla kalmayıp, bu erişimi sabit hatların kapasitelerinin çok daha üzerindeki veri iletim hızlarıyla sağlayıp, 3G doğrultusundaki gelişim çizgisinin de önemli bir basamağı olmuştur. GSM şebekesi üzerinde tek bir trafik kanalının yalnız bir kullanıcıya tahsis edilmesi, şebekenin en meşgul olduğu saatlerde trafiğin de yüklü olmasına neden olur. Fakat GPRS'in tek trafik kanalını birden fazla abonenin kullanımına olanak veren paket anahtarlama yapısı, şebeke kapasitesinin artmasına imkân vermektedir ve GSM standardının kullandığı devre anahtarlama yapıya göre avantaj sağlamaktadır.

İkinci nesil teknolojilerde son olarak, GPRS'in hızını artırmak için GSM modülasyon tipi değiştirilerek EDGE teknolojisi yaratılmıştır. EDGE ile pratikte 384 kbps hızında veri transferi mümkündür. EDGE'nin iletim hızını öncüllerine göre bu kadar yükseltmesinin sebebi, GMSK modülasyonuna ek olarak, 8PSK modülasyonunu da gerektiğinde kullanabilmesidir. Getirdikleri değişikliklerle tipik ikinci nesil temsilcisi GSM'den oldukça ayrılan GPRS ile EDGE'ye sırasıyla 2.5G ve 2.75G olarak

adlandırılmaktadır [25]. Şekil 4.3'te haberleşme teknolojileri ve destekledikleri veri iletim hızları yer almaktadır.



Şekil 4.3 : Haberleşme teknolojileri ve destekledikleri veri hızları.

4.1.3 Üçüncü nesil (3G) haberleşme teknolojisi

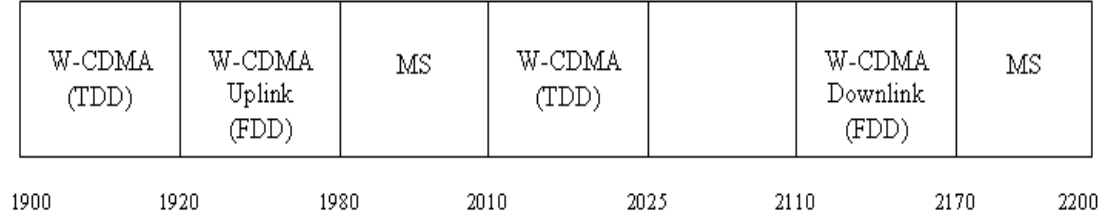
3G mobil telekomünikasyon sistemlerinin çerçevesi Uluslararası Telekomünikasyon Birliği (International Telecommunications Union - ITU) tarafından belirlenmiştir. ITU, hem karasal hem de uydu sistemlerini kullanabilen, 2G ve sabit sistemlerle uyumlu çalışabilen ve bunların yanı sıra, yüksek hareketlilik içeren her türlü telsiz ortamında 144 Kbit/sn, düşük hareketli ortamlarda 384 Kbit/sn, hareketsiz ortamlarda da 2 Mbit/sn veri iletimini sağlayabilen, çift yönlü veri iletebilme yeteneği olan, hem devre anahtarlamalı hem de paket anahtarlamalı veri iletimini destekleyebilen, daha kaliteli ses hizmeti sağlayabilen, spektrumu verimli kullanabilen, 2G sistemleri ile kesintisiz iletişim sağlayabilen, uluslararası dolaşım yeteneği bulunan, çoklu ortam uygulamaları için terminallere aynı anda birden fazla hizmet sunulabilen mobil telekomünikasyon sistemlerini 3G olarak kabul etmiştir. Bu sistemler ITU tarafından genellikle IMT-2000 sistemleri olarak ifade edilmektedir. IMT, Uluslararası Gezgin İletişim'i (International Mobile Telecommunication), 2000 ise hem bu alanda geliştirilmiş ilk deneme sistemleri için belirlenmiş tarihi, hem de bu standartlardaki sistemlerin çalıştığı 2000 Mhz

civarındaki frekans bölgesini temsil etmektedir [26]. Diğer taraftan, Avrupa Parlamentosunun ve 14 Aralık 1998 tarihli konseyin kararına göre UMTS, GSM gibi ikinci nesil sistemlerin yeteneklerinin ötesinde özellikle yenilikçi çoklu ortam hizmetlerini destekleme ve karasal ve uydu bileşenlerinin birlikte kullanılması yeteneğine sahip üçüncü nesil mobil ve telsiz iletişim sistemini ifade etmektedir. Bu sistemin en az aşağıdaki özellikleri desteklemesi gerekmektedir.

- Çoklu ortam yeteneği, farklı coğrafi alanlarda GSM gibi 2G sistemlerin yeteneklerinin ötesinde tam ve düşük mobiliteli uygulamalar,
- İnternete, iç ağlara ve diğer IP tabanlı hizmetlere verimli erişim,
- Sabit şebekelere eşit ve yüksek kaliteli ses iletimi,
- Ayrık IMT-2000/UMTS ortamları arasında, uygun olduğu durumlarda, hizmet taşınabilirliği (Ör: kamu/özel/iş; sabit/mobil),
- GSM'le ve IMT-2000/UMTS şebekelerinin karasal ve uydu bileşenleri arasında tam dolaşım ve kesintisiz bir ortamda çalışma,
- Telsiz erişim şebekesi: Tüm hizmetlere (eşzamansız trafiği destekleyen ve uyumlaştırılmış frekans bantlarında bant genişliği / isteğe bağlı veri hızına izin veren paket veri tabanlı hizmetler dahil) erişim için yeni karasal hava arayüzleri,
- Çekirdek şebeke: Sabit/mobil yakınsamasını dikkate alarak mevcut çekirdek şebeke sistemlerinin (ör: geliştirilmiş GSM şebekesi) evrimi üzerine kurulu tam bir dolaşım işlevi de dahil olmak üzere çağrı yönetimi, hizmet denetimi, konum ve mobilite yönetimi.

3G sistemlerinde iletim hızı herhangi bir hizmetin kalitesini belirleyen temel etkenlerden olsa da uluslararası dolaşımın desteklenebilmesi, spektrumun verimli kullanılması gibi ITU tarafından belirlenen diğer özellikler de 3G sistemlerinin taşınması gereken özelliklerindedir ve bunların hepsinin bir bütün olarak değerlendirilmesi gerekmektedir. Başlangıçta, IMT-2000 ile tek bir standart hedeflenmesine rağmen bölgesel ve ulusal farklılıkları çözmek amacıyla, 1998 yılında 3GPP (Üçüncü Nesil Ortaklık Projesi) kurulmuş ancak bu organizasyon Avrupalı GSM tedarikçilerinin etkisinde kalmıştır. Hemen ardından da ABD'li CDMA tedarikçilerinin desteklediği 3GPP2 (Üçüncü Nesil Ortaklık Projesi 2)

Forumu oluşturulmuş ve yine bölgesel farklılığa doğru bir gelişme görülmüştür. Birliktelik sağlamaya yönelik bu projelere rağmen, katılımcıların bölgesel ve ulusal menfaatlerini ön plana çıkarmaları sonucu tek bir IMT-2000 standardına erişmek imkansız hale gelmiştir. Bununla birlikte, Avrupa'nın desteklediği WCDMA ve Amerika'nın desteklediği CDMA2000 standartları günümüzde en çok kullanılan 3G standartlarını oluşturmaktadır. Şekil 4.4'te UMTS frekans dağılım şekli yer almaktadır.



Şekil 4.4 : UMTS frekans dağılımı.

Dünyanın birçok bölgesinde, UMTS/IMT-2000 operatörleri için ayrılmış olan spektrum WARC-92'de ve ITU-Telsiz Tüzüğü (Radio Regulations) içinde tanımlanan frekans bantlarıdır. UMTS/IMT-2000 için tanımlanan 1885-2025 MHz ve 2110-2200 MHz bandı sistemin ilk kurulduğunda, ana bantlar olarak değerlendirilmektedir [26].

4.1.4 802.11 kablosuz ağ standartları

802.11 standartlarının ISM (Industrial-Scientific-Medical) bantları olarak da adlandırılan 2.4 GHz (2.4 - 2.4835 GHz UHF) frekans bandı ile 5 GHz (5.15 - 5.825 GHz SHF) bandında çalıştığı söylenebilir. Bu frekans tayfları lisanssızdır ancak bazı ülkelerde 5 GHz bandının kullanımına birtakım kısıtlamalar getirilmiştir [27].

4.1.4.1 802.11b standardı ve özellikleri

WLAN standartları hazırlamak üzere IEEE 802 Yürütme Kurulu (Executive Committee) tarafından kurulan 802.11 Çalışma Grubu (Working Group) 1-2 Mbps data hızına sahip olan 802.11 standardının gelecekteki ihtiyaçları karşılamak üzere bir uzantısı olarak 802.11b standartlarını hazırlamıştır. 802.11a ile aynı tarihte açıklanmasına rağmen 802.11b standardı üreticiler ve kullanıcılar arasında büyük kabul görmüştür. 802.11b standardı Wi-Fi (Wireless Fidelity - Kablosuz Bağlılık, WLAN sistemleri veya IEEE 802.11b standardı için kullanılan ifadedir) olarak adlandırılmış ve üzerinde Wi-Fi logosu bulunan ürünler marka bağımsız olarak

birlikte uyumlu olarak çalışmaktadır. 2.4 GHz bandında 2400-2483.5 MHz frekans aralığı kullanılarak 11 Mbps'e kadar veri iletişim hızlarına ulaşılmaktadır. Kapsama alanı kapalı alanlarda 30-45 metredir. 802.11b standardı büyük bir başarı elde etmesine rağmen diğer sistemler tarafından yaratılan enterferansa maruz kalmaktadır. Çünkü aynı frekans bandı Bluetooth, HomeRF, mikrodalga fırınlar, kablosuz telefonlar ve amatör telsizler tarafından da kullanılmaktadır. Enterferans veri iletişim hızının düşmesine ya da kesilmesine neden olmaktadır. Gelecekte sadece WLAN sistemlerine tahsis edilmiş frekans bantlarında çalışan, daha yüksek veri iletişim hızına, daha iyi servis kalitesine ve güvenliğine sahip sistemlerin 802.11b standardının yerini alması tahmin edilmektedir [27].

4.1.4.2 802.11a standardı ve özellikleri

802.11a standardı, RF teknolojisi olarak daha yeni ve gelişmiş bir teknoloji olan OFDM modülasyon tekniği kullanarak 5.15-5.825 GHz SHF frekans bandında 54 Mbps veri iletişim hızı sağlamaktadır. Bu teknoloji 802.11b ile kıyaslandığında birçok üstünlüğe sahiptir. 802.11b'de 11 Mbps olan veri iletişim hızı 802.11a'da 5 kat artırılarak 54 Mbps'e ulaşmaktadır. Yüksek iletişim hızlarına ihtiyaç duyan sistemlerin yaygınlaşması 802.11a'nın önemini artırmıştır. OFDM modülasyon tekniği de benzer sistemlerden gelen enterferansa karşı duyarlıdır. Ancak 802.11a'nın çalıştığı 5 GHz frekans bandı diğer sistemler tarafından daha az kullanılmaktadır. Bu nedenle enterferans riski 2.4 GHz bandına oranla daha düşüktür.

802.11a standardı daha büyük bir kapasiteye sahiptir. Çünkü 5 GHz bandında enterferans yapmayan 12 kanal (Avrupa da 19 kanal) WLAN sistemleri için tahsis edilmiştir. 2.4 GHz bandında ise yalnızca 3 kanal bulunmaktadır. Toplam bant genişliği açısından bakıldığında ise 5 GHz'de bulunan 200 MHz (Avrupa da 455 MHz), 2.4 GHz'deki 83.5 MHz'e göre oldukça yüksektir. Ancak bütün bu avantajlarının yanında 802.11a standardının bazı dezavantajları da vardır. Bunlar aşağıda sıralanmıştır. RF teknolojisinde iletişim mesafesi çıkış gücü, frekans, anten kazancı ve benzeri birçok parametreye bağlı olarak değişmektedir. Diğer parametreler sabit kaldığında, frekansın artmasıyla iletişim mesafesini kısaltması 802.11a standardının en önemli dezavantajıdır. 802.11b standardı için 100 m olarak

belirtilen iletişim mesafesi 802.11a standardında 75 m olmaktadır. Kapsama alanı kapalı alanlarda 7,5- 22,5 metre şeklindedir [27].

4.1.4.3 802.11g standardı ve özellikleri

Teknolojik olarak 2.4 GHz bandında çalıştığı için 802.11b'nin özelliklerini taşır. 2.4-2.4835 GHz UHF spektrumunu kullanır ve toplam 54 Mbps bant genişliği sunar. 802.11g'nin yüksek hızı, 802.11a standardında da kullanılan OFDM modülasyonunu kullanmasıyla sağlanmaktadır. Kapsama alanı kapalı alanlarda 30-45 metredir. 802.11 b ürünleriyle uyumlu çalışabilir. Bu standart ile video uygulamaları da dahil olmak üzere, bir çok multimedya uygulaması desteklenebilir hale gelmektedir. 802.11g'nin dezavantajları 802.11b benzerlik taşımaktadır. Üst üste binmeyen sadece üç kanal kullanılması ve sinyalin hala kablosuz telefon ve mikrodalga fırınlardan etkilenmesi söz konusudur [27].

4.2 Metamalzemeler

Keşfedildikleri günden itibaren metamalzemelere olan ilgi her geçen gün artmaktadır. Metamalzemeler incelenmesi şu anda mühendislik ve fizik alanlarında en aktif konularından biridir. Yakın gelecekte günlük hayatımızı önemli ölçüde değiştirecek potansiyele sahip ve gelişmekte olan teknolojilerden biri olarak kabul edilmektedir. Doğal olarak elde edilebilen malzemelerin elektromanyetik özellikleri fiziksel nedenlerle sınırlıdır. Bu nedenle, doğal malzemelerde bulunmayan elektromanyetik özelliklere sahip yapay malzemelerle ilgili son yıllarda yapılan çalışmalar oldukça fazladır. Bu yapay karmaşık malzemeler, doğal malzemelerde bulunmayan olağanüstü elektromanyetik özellikleri elde edilmesine izin verir. Sıra dışı özelliklerinden dolayı bu yapay karmaşık malzemeler metamalzemeler olarak adlandırılırlar. Elektromanyetik araştırmalarda ve literatürde kullanılan metamalzeme (metamaterial) terimi ilk kez 1999 yılında R. M. Walser tarafından ortaya atılmıştır [28]. Walser metamalzemeleri “doğada bulunmayan, üç boyutlu, optimize kombinasyon oluşturmak için periyodik hücresel yapıda tasarlanmış, belirli bir uyarmada iki veya daha fazla yanıt üreten yapılar” olarak tanımlamıştır.

Metamalzemeler için günümüzde “belirli bir frekans aralığında olağandışı elektromanyetik özellikler (ters dalga yayılması, negatif kırılma, yasak bölgelerin varlığı,...) gösteren ve bu özellikleri bileşiminden çok yapısı sayesinde kazanmış olan

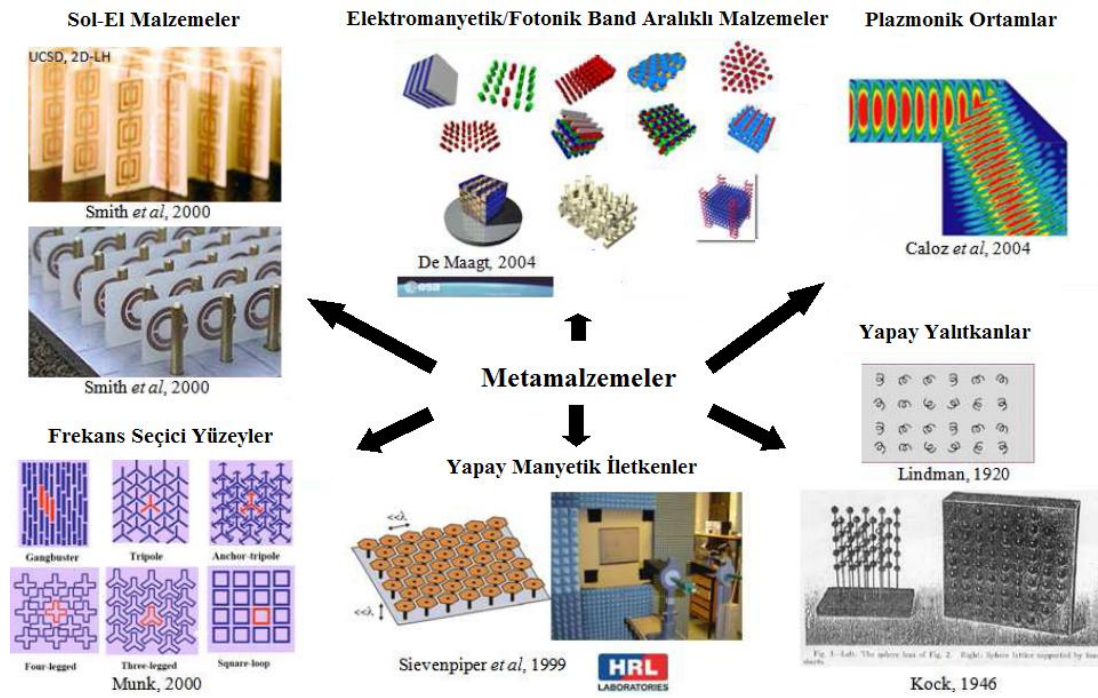
yapay yapı veya malzeme” şeklinde başka bir tanımlama da vardır [29]. Metamalzemeleri, diğer kompozit malzemelerden ayırt etmek için, metamalzeme tanımı genellikle alışılmadık özelliklere sahip bir malzemeler için kullanılır. Yukarıda yapılan tanımlamalardan da, metamalzeme teriminin genel bir kavram olduğu açıktır.

Metamalzemeler, kendilerinin üretiminde kullanılan malzemelerden daha üstün elektromanyetik özelliklere sahip, periyodik yapılara sahip, yapay tasarlanmış karmaşık elektromanyetik işlevsel yapıları malzemelerdir. Ayrıca sahip oldukları bu özellikler doğada gözlenmeyen özelliklerdir. Metamalzemeler doğada gözlenmeyen bu elektromanyetik özellikleri elde etmek için insanlar tarafından tasarlanmışlardır. Bu özellikler metamalzemenin bileşenleri ve şekli ile belirlenemeyen, elektromanyetik alanlar ile özel etkileşimler sonucu ortaya çıkan yeni özelliklerdir. Başka bir deyişle metamalzemeler, kompozisyonu nedeniyle oluşan yeni özelliklere sahip malzemelerin ortak varlığıdır.

Metamalzemeleri tanımlayan "yapay tasarlanmış karmaşık elektromanyetik işlevsel yapıları malzemeler" ifadesini aşağıdaki gibi kelimelere ayırarak incelersek daha anlaşılır hale getirilebilir. Tanımdaki “yapay” kelimesi doğada varolmayan, “tasarlanmış” kelimesi belli özellikleri elde edebilmek için insanlar tarafından oluşturulan, “karmaşık elektromanyetik” kelimeleri malzemenin elektromanyetizma içerisinde farklı bileşenlerden oluştuğunu ve eşdeğer homojen geçirgenlik ve eşdeğer geçirgenlik açısından tarif edilebileceğini, “işlevsel” kelimesi malzemenin belli bir işlevi yerine getirmek için tasarlandığını, “yapılı malzemeler” kelimeleri ile mevcut malzemelerin akıllı kombinasyonları ile mekaniksel özelliklerde büyük gelişmeler elde edilebileceği anlatır.

Metamalzemeler birçok sınıfa ayrılmaktadırlar. Metamalzemeler kavramı araştırmacılar tarafından oldukça genel kabul edilir ve frekans seçici yüzeyler (frequency selective surfaces - FSS), elektromanyetik/fotonik bant aralıklı yapılar (electromagnetic/photonic bandgap - EBG/PBG), sol-el malzemeler (left-handed - LH), yapay manyetik iletkenler (artificial magnetic conductors - AMC) veya yüksek empedanslı yüzeyler (high-impedance surfaces - HIS), yapay yalıtkan malzemeler (artificial dielectrics - AD) ve plazmonik ortamlar (plasmonic medias) gibi modern konuları geniş bir yelpazede kapsar. Şekil 4.5'te metamalzeme yapıları ve her yapıya ait örnekler görülmektedir [30].

Frekans seçici yüzeyler (FSS), ön yüzeylerinde düzlemsel iletken yapılar, arka yüzeylerinde ise herhangi bir metal parçası içermeyen çok geniş tabakalardan oluşur. Düzlemsel iletken yapıların şekilleri keyfi olarak seçilebilir, fakat seçici bir yüzey içerisinde tüm elemanlar aynıdır. Metalik elemanlar, elektriksel olarak iletken malzemeler veya ön yüzeyde manyetiksel iletken yapı oluşturan periyodik boşluklar şeklindedir. Eğer seçici yüzeyin ön tarafı çeşitli frekanslardaki harmonik dalgalar tarafından aydınlatılıyorsa, bazı dalgalar en az zayıflama ile gönderilir, bazı dalgalar tamamen geri yansır, bazı dalgaların ise bir kısmı gönderilir, bir kısmı geri yansır. Bu nedenle yüzey gelen dalgalar üzerinde frekans seçimi yapar. Frekans seçici yüzeyleri, herhangi bir açıda gelen düzlem dalgalar için bir filtre gibi davranan yapılar olarak görülebilir [31].



Şekil 4.5 : Metamalzeme türleri.

Elektromanyetik/fotonik bant aralıklı (EBG/PBG) malzemeler, fotonik kristaller olarak da bilinir. Metal, yalıtkan veya metal-yalıtkan malzemelerden oluşurlar ve periyodik yapıdadırlar. Bu yapılar elektromanyetik dalgaların yayılımı üzerinde etkilidirler ve elektromanyetik dalgaların yayılımının kontrolü ve yönlendirilmesi için kullanılırlar. Bant aralıkları oluşturması ve yapının periyodikliğini bozarak frekans pencerelerini bant aralıkları içinde sınırlandırması, bu yapıların en önemli iki özelliğidir. İlk özellik bu yapıların frekans filtresi olarak kullanılmasını, ikinci özellik ise elektromanyetik dalgaların belirli frekansta ve yönde yayılmasını sağlar.

Frekans seçici yüzeyler bir, iki veya üç boyutlu yapılarda olabilir. Yapılar üzerindeki malzemelerin periyodikliği ve yalıtkan sabiti, elektromanyetik dalgaların hangi bant aralıklarında veya yönlerde ışımaya yapacağını belirler.

Yapay manyetik iletkenler (AMC veya yüksek empedans yüzeyler (HIS)), manyetik olmayan bileşenlerden oluşabilirler, manyetik tepki gibi yeni ortaya çıkan özelliklere sahiptirler. Bu malzemeler yüzeyleri ile dış alanları etkilerler.

Sol-el malzemeler, negatif kırılma indeksli malzemeler (negative refractive index - NRI), negatif indeksli malzeme (negative index material - NIM), çift negatif malzeme (double negative material - DNG) gibi çeşitli isimlerle adlandırılırlar. Bu malzemeler en ünlü metamalzemelerdir. Bu malzemeler aynı anda negatif dielektrik sabitine ve geçirgenliğe sahiptirler.

Yapay yalıtkan malzemeler, homojen bir ortam içinde dalga boyuna göre daha kısa uzunluktaki iletken metallere oluşan yapılardır. Bu yapıların metamalzeme olarak kabul edilmesindeki neden, yapısındaki metallere iletkenlik özelliklerinin makroskopik boyutta yalıtkan davranışlar göstermesidir. Manyetik malzemeler (mu-negative media - MNG) ve kiral ortamlar (chiral media) bu yapılara örneklerdir.

Plazmonik ortamlar veya epsilon negatif ortamlar (epsilon negative medias - ENG), elektromanyetik ışımaya ile bir metal ve bir yalıtkan madde arayüzündeki serbest elektronlar arasında belirli koşullar altında elde edilen rezonans etkileşiminden yararlanmak isteyen yapılardır. Bu etkileşim optik frekanslarda plasmon adı verilen ve dalga gibi davranan, elektronların yoğunluk dalgalarını üretir.

1997 yılından beri metamalzemelerin mikrodalga uygulamalarındaki kullanılabilirliği konusunda birçok analiz ve çalışma yapılmıştır. Bu yeni metamalzeme yapılar, elektromanyetikteki birbirinden farklı birçok problemin çözümünde yeni kavramlar ve çözümler getirmiştir. Metamalzemelerin kullanım alanları aşağıdaki gibidir;

- Antenler ve anten dizileri,
- Kontrollü dalga yayılımı,
- Filtreler,
- Görüntüleme sistemleri,
- THz uygulamaları,

- Lazerler için ışık yayan diyotlar,
- Dalga kılavuzlarının ve düzlem devrelerin boyutlarının küçültülmesi.

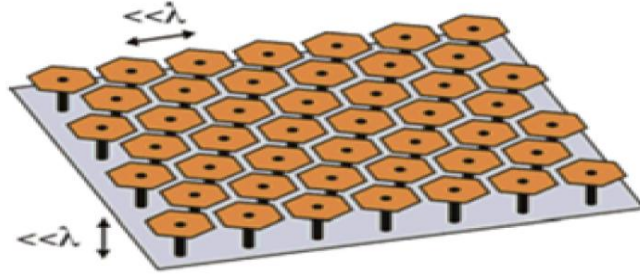
4.2.1 Yapay manyetik iletkenler (Artificial magnetic conductor - AMC)

Yapay manyetik iletken özelliği gösteren metamalzemeler, mikrodalga devre ve anten uygulamalarında görülen birçok problemin çözümü konusunda oldukça ilgi görmektedir. Kompleks yapay periyodik yüzeyler ile ışınım karakteristiğinin ve elektromanyetik alan sınır koşullarının kontrol edilebilmesi, bu yapıların anten tasarımında kullanımını artırmıştır. Yapay manyetik yüzeylere en basit örnek kıvrımlı, oluklu yüzeylerdir. Bu yapıda kıvrımları, oluğun alt kısmında kısa devrenin üst kısmında açık devreye dönüştüğü çeyrek dalga iletim hattı olarak düşünebiliriz. Bu yapı oluğa dik polarize elektrik alan için yüksek empedanslı, paralel polarize elektrik alan için düşük empedanslı sınır koşulları sağlar. Kıvrımları ise yapay manyetik yüzeyler için ilk örnek olarak düşünebiliriz.

Yapay manyetik iletken özellikli kıvrımlı düzlem ve dairesel yüzeyler ile ilgili uzun yıllardır araştırmalar yapılmaktadır. Bu yapıları kullanarak yüzey dalgalarını yönlendirilmesi ve düzlem antenler için farklı toprak yüzeyleri oluşturulması konularında birçok çalışma yapılmıştır. Kıvrımlı yapıların kullanılmasıyla elektromanyetik uyumluluk ile anten uygulamaları arasındaki bağımlılık azaltılmıştır. Böylece enine kıvrımlı yüzeyin söndürme bandı karakteristikleri, söndürme bandı sınırlarında varolan yüzey dalgaları gibi anlaşılır hale gelmiştir. Daha sonra bu yapıları kullanarak düşük çapraz polarizasyonlu ve dönebilen simetrik huzmelere sahip horn anten tasarımları yapılmaya çalışılmıştır [32]. Kıvrımlar, yüzeyde dikey alan bileşeni için sıfır sınır alan koşulunu oluşturmak ve yüzey boyunca ilerleyen dikey polarize dalgaları durdurmak için kullanılmıştır. Yüzeydeki yatay polarize alan ise oluklar arasındaki metalik çıkıntılar nedeniyle sıfırdır. Böylece horn antenin açıklığının E ve H düzlemlerinde sıfır sınır koşulları elde edilmiştir. Bunun sonucunda horn antende düşük çapraz polarizasyonlu dönebilen simetrik ışınım paterni elde edilmiştir.

1999 yılında Sievenpiper yüzeyinde yüksek empedansa sahip yeni tip periyodik elektromanyetik metalik yapıları geliştirmiştir. Bu düzlemsel yapılar, yalıtkan tabakanın üzerinde periyodik altıgen metal yamalardan oluşmakta ve iletken toprak

yüzey ile metal kanallar ile bağlanmaktaydı. Şekil 4.6’da Sievenpiper yüzeyinin şekli yer almaktadır.



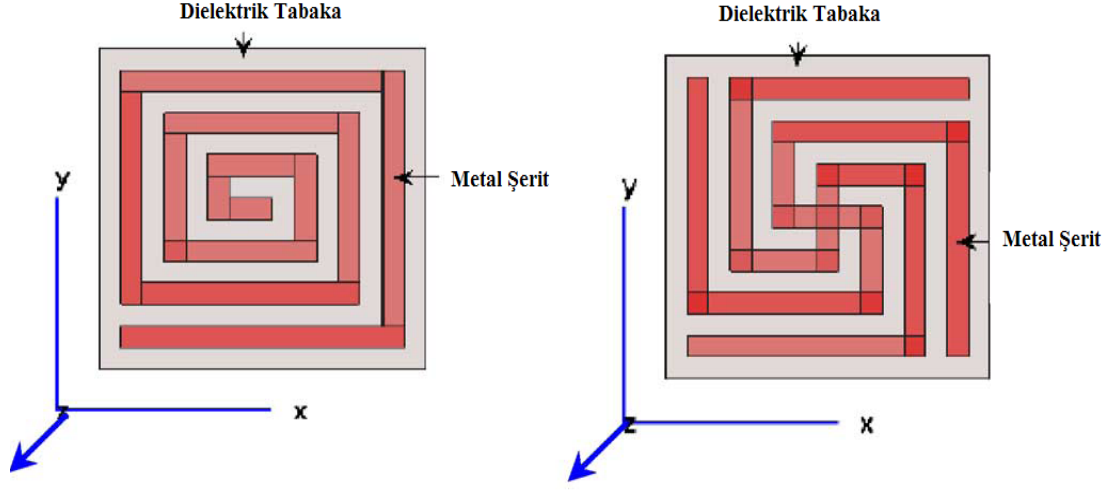
Şekil 4.6 : Sievenpiper yüzeyi.

Sievenpiper yüzeyi normal yansımada yüksek empedans gösterir ve yüzey boyunca ışıma geniş bir frekans bandı içinde yüzey dalga ve akımlarının ışıma yapamadığı yasak bant aralığı oluşturur. Sievenpiper yüzeyi yapay manyetik iletken yapıların gerçekleştirilebileceğini ve yüzey boyunca herhangi bir yönde ışılan yatay ve dikey polarize dalgaların durdurulabileceğini göstermiştir. Bu özellikler, EBG yapısının elektromanyetik yüzeyine denk olan özelliklerdir. Sievenpiper’ in tasarladığı AMC yapısından sonra, bu alandaki araştırmaların sayısında büyük bir artış olmuştur.

AMC yapıları temel anten uygulamalarında, düzlem AMC yapılardan oluşan toprak yüzeyi olarak kullanılmıştır. Toprak yüzeyindeki bu AMC yapılar birçok farklı özelliklere sahiptir. Birincisi özellik, AMC yüzeyindeki yansıma akımları, orijinal akımla aynı fazdadır. Bu özellik AMC yüzeylerin, antenlerde toprak yüzeyi olarak kullanılabilmesini ve ışıma elemanlarının AMC yapılı toprak yüzeyine yakın bir şekilde yerleştirilebilmesi mümkün kılar. Böylece daha küçük boyutlarda anten tasarımları yapılabilir. İkinci özellik ise, AMC yapısı yüksek empedanslı yüzey koşulları oluşturur ve böylece yüzey dalgaları bastırılabilir. Bu özellik ile ana dalga ile yüzey dalgaları arasındaki interferans ve buna bağlı sınır koşulları azaltılabilir. Bu fiziksel özellikler, yüksek anten verimliliğine sahip, geri ışımaların az olduğu, yüzey dalga ışımasının olmadığı yüksek kazançlı ve küçük boyutlarda anten tasarımlarına olanak sağlar.

AMC yapısındaki toprak düzlemler, anten boyutları küçültmek, çapraz polarizasyon etkisini azaltmak, bant genişliği ve kazancı artırmak için kullanılmaktadır. AMC toprak yüzeylerin anten karakteristiğine olan etkileri anten türüne göre değişmektedir. Çalışmamızda dairesel monopol anten yapısında AMC toprak yüzeyi

kullanıldığında anten özelliklerinde ne gibi değişiklikler olduğu incelenecektir. Şekil 4.7’de AMC toprak yapılarına örnekler yer almaktadır.



Şekil 4.7 : AMC toprak yapıları.

5. ANTEN TASARIMI VE ANALİZİ

Bu bölümde çalışmanın asıl amacını oluşturan, yapay manyetik iletken yapısından oluşan toprak düzlemine sahip, geniş bantlı mikroşerit anten tasarımı gerçekleştirilecektir. İlk olarak antenin tasarımında ve simülasyonunda kullanılan Ansoft HFSS tasarım ve simülasyon paket programından genel hatlarıyla bahsedilecek ve daha sonra anten tasarımı konusuna geçilecektir. Tasarım bölümünde, amaçlanan mikroşerit anten yapısının sahip olması gereken özelliklerden, anten geometrisinden ve tasarım aşamalarından söz edilecektir. Son olarak da oluşturulacak anten yapısına ilişkin bazı önemli anten parametreleri incelenecek ve bu parametrelerin işlevsellikleri tartışılacaktır.

5.1 Ansoft HFSS Paket Programı

Ansoft HFSS paket programı, Microsoft Windows grafik ara yüzünün sağladığı avantajları kullanan, üç boyutlu pasif cihazların modellenmesinde kullanılan yüksek performanslı tam dalga elektromanyetik alan benzetim ortamıdır. Bu program yardımıyla, üç boyutlu EM problemlerin hızlı ve doğru bir biçimde çözümlenmesini sağlamaktadır. HFSS ile, parazitik parametreler (S , Y , Z) çıkartılabilir, üç boyutlu elektromanyetik alanlar (yakın ve uzak alan) çizdirilebilir, geniş bant *SPICE* modeller oluşturulabilir ve dizayn performansları optimize edilebilir. Ansoft HFSS, analizleri sırasında üçüncü bölümde anlattığımız sonlu elemanlar metodunu (FEM) kullanır ve ileri seviyedeki grafikleri sayesinde kullanıcının üç boyutlu yapı hakkında detaylı bilgiye sahip olmasını sağlar.

HFSS paket programı hesaplamaları esnasında sinyal kalitesi, iletim yol kayıpları, empedans uyumsuzluğu nedeniyle oluşan yansıma kayıpları, parazitik kuplajlama ve ışıma durumlarını etkin bir şekilde değerlendirir. HFSS, basit bir monopol antenden, kompleks dizilerin dizaynında, optimizasyonunda ve performans görüntülemesinde tercih edilen bir yazılımdır. Antenlerin ışıma paternleri, demet genişliği, uzak-yakın alan istatistikleri, S parametreleri, VSWR, Smith Abağı gösterimleri gibi birçok elektriksel özellikleri HFSS ile görüntülenebilir ve optimize edilebilir [33].

İlk olarak 1990'da tanıtılan HFSS, mikrodalga tasarımlar konusunda yepyeni bir çağ 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 [34].

5.2 Geniş Bantlı Mikroşerit Monopol Anten Tasarımı

Bu bölümde GSM 1800, UMTS ve ISM 802.11b frekans bantlarında çalışacak, geniş bantlı mikroşerit monopol anten tasarımı yapılacaktır. İlk önce belirttiğimiz frekans bantlarını kapsayan geniş bantlı geleneksel dairesel monopol anten tasarımı yapılacaktır. Daha sonra tasarladığımız bu antenin toprak yüzeyi, çalışmamızın ana amacı olan, yapay manyetik iletken yapısından oluşan toprak yüzeyi ile değiştirilecektir. Böylece yapay manyetik iletken yapısının yer aldığı toprak yüzeyinin olumlu ve olumsuz etkileri incelenecektir.

5.2.1 Mikroşerit monopol anten tasarımındaki temel parametreler

Geniş bantlı mikroşerit anten tasarımında temel parametreler, çalışma frekansı, bant genişliği, dielektrik sabiti ve dielektrik tabakanın yüksekliğidir. Ayrıca tasarlayacağımız antenin aşağıdaki özellikleri sağlaması gerekmektedir;

- Belirtilen frekans bantlarını kapsayacak bant genişliğine sahip olması,
- Mobil cihazlarda kullanılabilecek boyutlarda olması,
- Düzlemsellik, montaj kolaylığı ve dayanıklılık.

Çalışmamızın dördüncü bölümünde anlatılan haberleşme teknolojilerini göz önünde bulundurursak, tasarlayacağımız antenin belirlediğimiz haberleşme teknolojilerinde kullanılabilmesi için, 1700-2500 MHz frekans aralığını kapsamaması gerekmektedir. (5.1) eşitliği kullanılarak, antenimizin çalışma frekansını 2100 MHz olarak belirlenmiştir ve 800 MHz bant aralığına sahiptir.

$$f_0 = (f_{üst} + f_{alt}) / 2 \quad (5.1)$$

Bir başka deyişle, çalışma frekansı antenin rezonansa gelmesi istenilen frekanstır ve antenin kullanılacağı sistemin gereksinim duyduğu frekans bandını kapsayacak bant genişliğini sağlaması ve yeterince verimle ışıma yapması için merkez frekans olarak baz alınır. VHF ve UHF frekansları ve alt frekanslarda anten boyutları çok fazla arttığı için, bu frekanslarda genellikle mikroşerit antenler tercih edilmemektedir. Seçilecek dielektrik profilin dielektrik sabiti sistem performansında oldukça etkilidir. Mikroşerit anten tasarımında tercih edilen dielektrik profillerin dielektrik sabitleri genellikle 2.2-12 aralığındadır. Antenin (çalışmamızdaki monopol anten yüzeyindeki dairenin çapı) boyutları dielektrik sabitine göre hesaplanır. Dielektrik sabiti arttıkça, antenin boyutları küçülür. Benzer şekilde yamanın kenarlarında oluşan saçaklama etkisini arttırarak, antenin elektriksel uzunluğunu arttıracaktır. Fakat boyutların artmasına rağmen, düşük dielektrik sabitine sahip dielektrik profiller ile yapılan dizaynlarda daha yüksek verim ve bant genişliği elde edilmektedir. Dielektrik tabaka, topraklama yüzeyi ile iletim yüzeyi arasındaki dielektrik tabakadır. Dielektrik tabakanın yüksekliğinin arttırılması (yüzey dalgalarının olmadığı durumlarda) verimliliği %90'lara, bant genişliğini ise %35'lere kadar arttırabilmektedir. Fakat yüksekliğin artmasıyla oluşan yüzey dalgaları istenmeyen bir durumdur. Çünkü ışıma için mevcut güç yüzey dalgalarında harcanarak, dielektrik profilin köşeleri gibi devamsızlık içeren noktalarda saçılmalar oluşturacak, anten ışıma paterni ve polarizasyon karakteristiklerinde bozulmalara neden olmaktadır. Kullanılan çeşitli yöntemlerle yüzey dalgaları giderilerek, yüksek bant genişliği değerleri korunur [1].

5.2.2 Geleneksel dairesel monopol anten tasarımı

Farklı frekans bantlarında gerçekleşen kablosuz haberleşme uygulamalarının tek bir anten ile sağlanabilmesi için antenin çoklu-bant veya geniş-bant performans göstermesi gerekir. Mikroşerit monopol antenler, geniş bant aralığında ışıma yapabilmeleri ve uygun ışıma paternine sahip olmaları nedeniyle, kablosuz haberleşme uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Mikroşerit monopol antenlerde taban malzemesinin bir yüzeyinde iletken yama ve yamaya doğrudan bağlı olan mikroşerit besleme hattı bulunmaktadır. Bu antenleri tipik mikroşerit yama antenlerden ayıran temel özellik, toprak düzleminin sadece mikroşerit besleme hattı boyunca olan kısmının metal ile kaplı olmasıdır. Bu yapı mikroşerit monopol antenlere her iki düzlemde de ışıma yapma özelliği sağlamaktadır. Ayrıca toprak düzleminin büyük olması rezonans frekansını düşürürken, empedans bant genişliğini

de bir miktar etkilemektedir. Mikroşerit monopol antenler, düzlemsel yapısı, hafifliği, küçük boyutları ve farklı frekans bantlarında gerçekleşen kablosuz haberleşme uygulamalarının tek bir anten ile sağlanabilmesi ve uygun ışınım paternine sahip olmaları nedeniyle mobil haberleşme cihazlarında yaygın olarak tercih edilmektedir. Tasarlayacağımız antenin istediğimiz frekans bandını kapsayabilmesi için çalışma frekansı f_0 , 2100 MHz seçilmiştir. Ucuz, kolay bulunabilir ve anten üretim aşamasının basit olması nedeniyle, dielektrik tabaka için 1.6 mm yüksekliğinde $\epsilon_r = 4.4$ olan, FR4 epoxy tercih edilmiştir. Bu doğrultuda, dizayn parametreleri şu şekilde seçilmiştir. Şekil 5.1'de geleneksel dairesel monopol anten yapısı yer almaktadır.

Geleneksel monopol anten için tasarım parametreleri aşağıdaki gibi seçilmiştir;

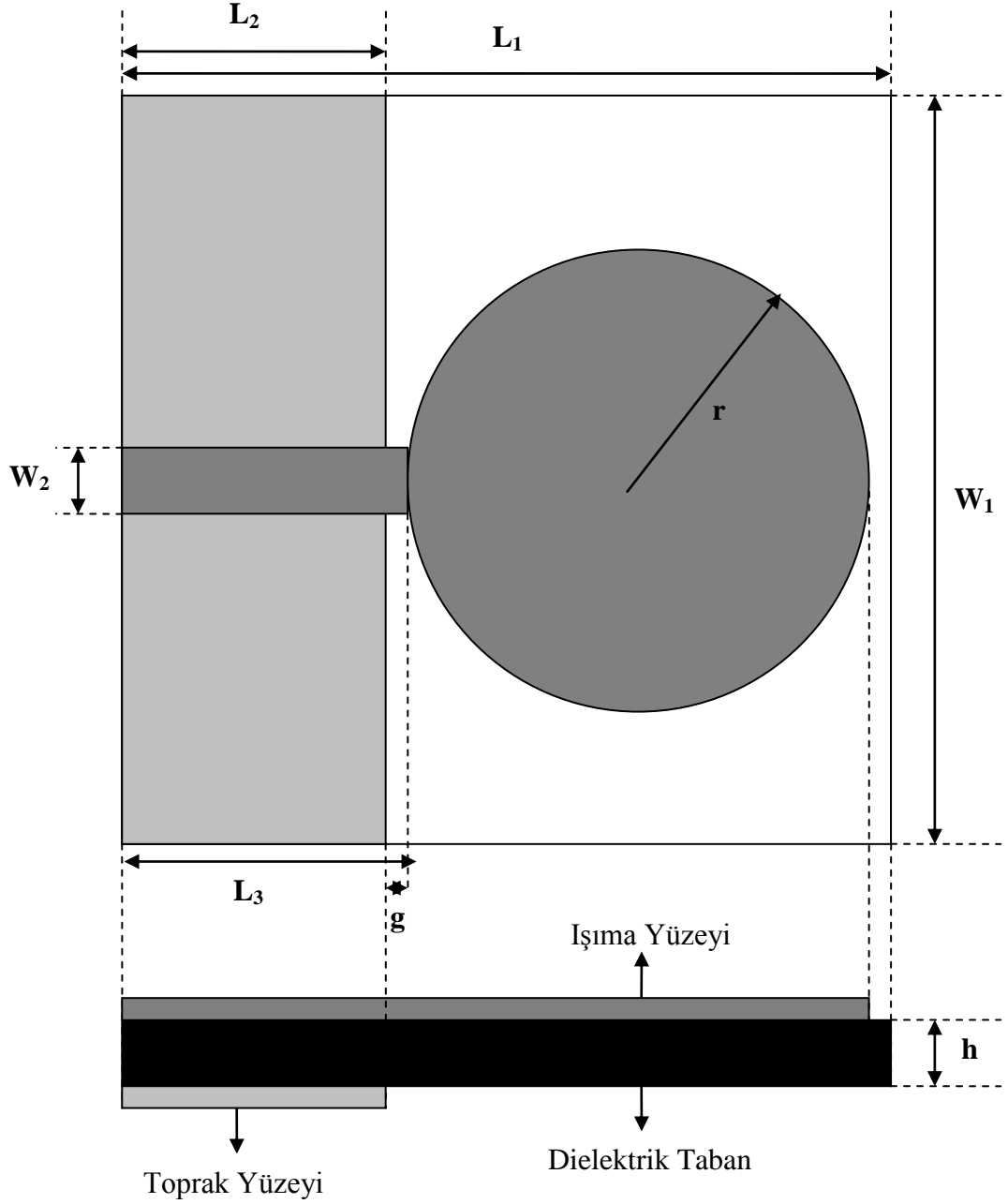
- Çalışma frekansı $f_0 = 2100$ Mhz
- Dielektrik tabakanın dielektrik sabiti, $\epsilon_r = 4.4$
- Dielektrik tabakanın yüksekliği, $h = 1.6$ mm

Dairesel monopol anten yapısında, dairenin yarıçapını hesaplamak için (5.2) dairesel anten eşitliği kullanılmıştır. Eşitlikte f_0 frekansı Ghz cinsinden kullanılmaktadır ve eşitlik yarıçapı milimetre cinsinden vermektedir [10].

$$r = \frac{87.94}{f_0 \sqrt{\epsilon_r}} \quad (5.2)$$

Eşitlikten de anlaşıldığı gibi çalışma frekansı, düşük frekans değerlerine indikçe, dairenin yarıçapı artmakta ve bunun sonucunda antenin boyutları artmaktadır. Eşitlik kullanılarak dairesel yamanın yarıçapı belirlenmiş ve diğer anten boyutları aşağıdaki gibi seçilmiştir;

- Dairesel yamanın yarıçapı, $r = 20$ mm
- Antenin boyutları, $W_1 = L_1 = 60$ mm



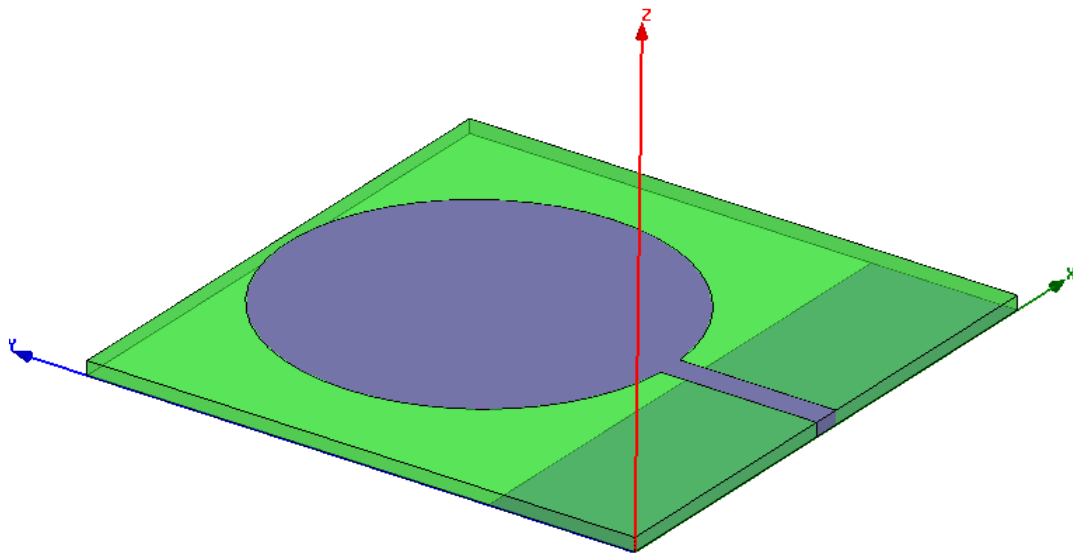
Şekil 5.1 : Geleneksel dairesel monopol anten yapısı.

Mikroşerit beslemeli antenlerde, besleme probu mikroşerit hattın başlangıç noktasına yerleştirilir ve güç akışı besleme probundan, mikroşerit hat boyunca ilerleyerek yamaya yayılır. Bu durumda maksimum verimle güç akışını sağlamak ve geri yansımaya kayıplarını minimize etmek amacıyla empedans uygunlaştırması yapmak gerekmektedir. Empedans uygunlaştırma işleminde probun besleme direnci, mikroşerit hattın karakteristik empedansı ve dolayısıyla yamanın (çalışmamızda dairesel yama) giriş empedansı eşitlenmelidir. Yamanın genişliği ve dielektrik profilin yüksekliği, antenin giriş empedansını etkileyen büyüklüklerdir. Yamanın

geniřlięi arttırılarak, antenin giriř rezistansı dūřürülebilir. Bunlarla birlikte antenin rezonans frekansı ve dielektrik profilin dielektrik sabiti ϵ_r de giriř empedansı deęerini deęiřtiren parametrelerdir. Benzer řekilde mikrořerit besleme hattının geniřlięi W_2 , uzunluęu L_3 , etkin dielektrik sabiti ϵ_r ve dielektrik tabaka yūkseklilięi h mikrořerit antenin karakteristik empedansını etkileyen būyūklūklere sahiptir. Toprak yūzeyi ile anten yaması arasındaki uzaklık g , empedans uyumunu etkileyen önemli bir parametredir. Ayrıca toprak yūzeyinin geniřlięi L_2 , empedans uyumunu ve bant geniřlięini etkilemektedir. Çūnkū toprak yūzeyinin geniřlięi arttıkça, mikrořerit besleme hattının uzunluęu artmaktadır. Bunun sonucunda antenin temel rezonans frekansı ve dięer harmonik frekansları etkilenmektedir. Geniř bantlı monopol antenler hem temel hem de harmonik frekanslarında rezonansa girmektedir. Dairesel monopol antenlerde antenin ilk rezonans frekansı, dairenin çapına baęlıdır. HFSS paket programı kullanılarak, antene ait dięer tasarım būyūklūklere ařaęıdaki gibi belirlenmiřtir;

- Mikroşerit hattın genişliği, $W_2 = 3$ mm
- Mikroşerit hattın uzunluğu, $L_3 = 17.4$ mm
- Toprak dūzlemi geniřlięi, $L_2 = 16$ mm
- Toprak dūzlemi ile dairesel yama arasındaki uzaklık, $g = 1$ mm

şekil 5.2’de tasarlanan antenin HFSS paket programındaki tasarımı yer almaktadır.



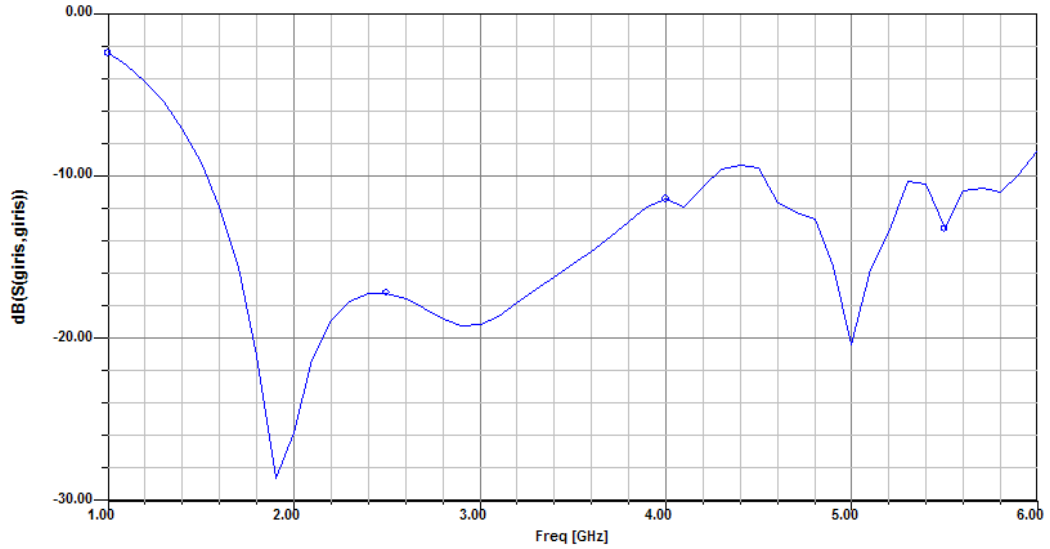
řekil 5.2 : Tasarlanan antenin HFSS programındaki gōrūnūmū.

Genellikle monopol anten tasarımlarında kısmi toprak düzlemi önerilmektedir, bu nedenle geleneksel monopol anten tasarımımızda bu türden bir toprak düzlemi kullanılmıştır. Şekil 5.3'te tasarlanan geleneksel dairesel monopol antene ait S_{11} değişimi gösterilmektedir.

01 May 2011

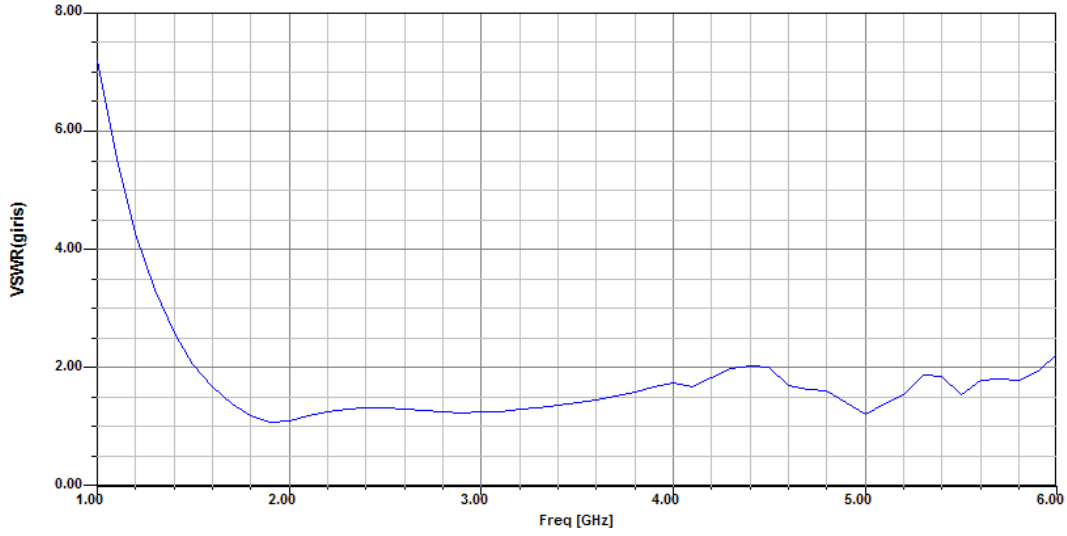
Ansoft Corporation
Dairesel Monopol Anten S11
HFSSModel1

03:35:28



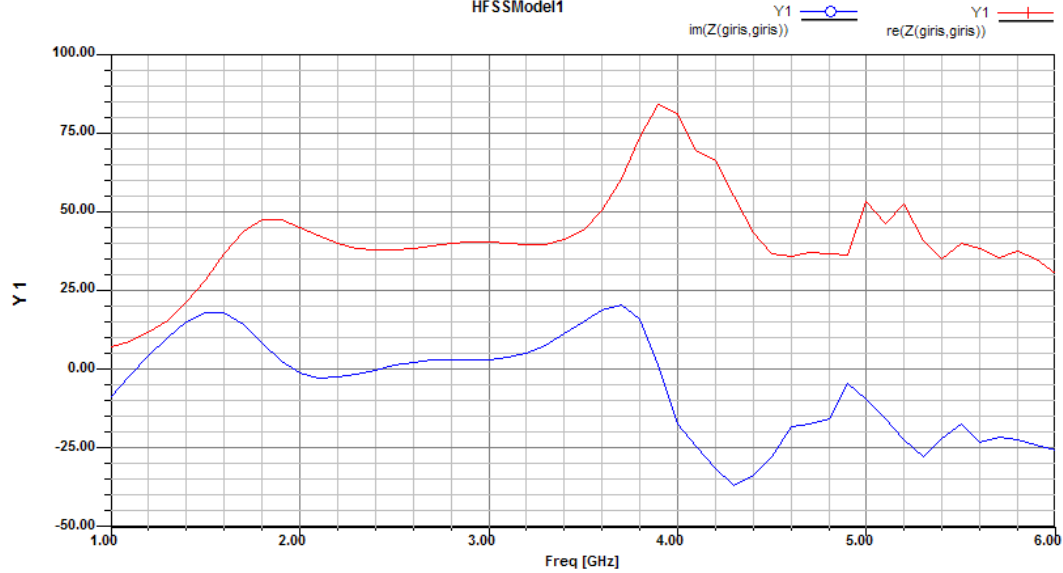
Şekil 5.3 : Geleneksel dairesel monopol anten S_{11} grafiği.

S_{11} değişimi 1-6 GHz aralığında alınmıştır. Tasarlanan antenin ışına yapabilmesi için, $VSWR \leq 2$ ve $S_{11} \leq -10$ dB koşullarının geçerli olması gerekmektedir. Şekil 5.4'te tasarlanan antenin VSWR grafiği yer almaktadır. Bu koşullar ele alındığında tasarladığımız geleneksel dairesel monopol anten, 1560-4210 MHz ve 4500-5900 MHz frekans aralıklarında ışına yapmaktadır. Anten tasarımı sırasında amaçladığımız, GSM 1800, UMTS ve ISM 802.11b frekans bantlarının yanında WIMAX (3400-3600 MHz) ve ISM 802.11a frekans bantlarında da ışına yapmaktadır. Antenin ışına yaptığı bant genişliği içerisinde VSWR değerlerinin çok küçük değerlerde olduğu, empedans uygunlaştırmasının istenen frekanslar için oldukça iyi olduğu, mikroşerit iletim hattında geri yansımaların ve duran dalga oranlarının minimum değerlere yakınsadığı gözlenmektedir.



Şekil 5.4 : Geleneksel dairesel monopol anten VSWR grafiği.

Şekil 5.5'te tasarlanan antenin giriş empedansının frekansa göre değişimi yer almaktadır. Antenin ışıma yaptığı frekans aralıklarında giriş empedansının reel bileşeni 50Ω , sanal bileşeni ise 0Ω civarlarındadır.

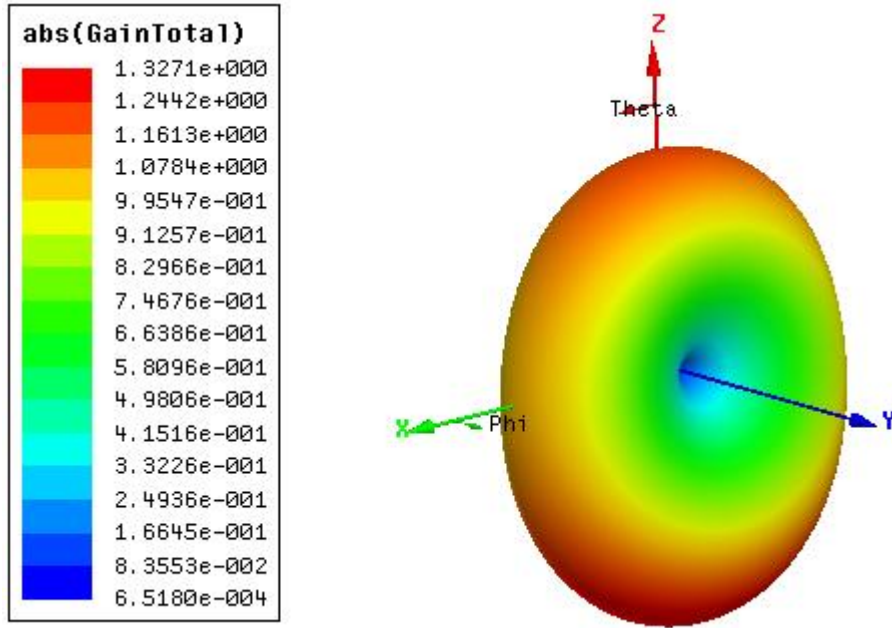


Şekil 5.5 : Geleneksel dairesel monopol anten Z_{in} grafiği.

Empedans uyumu ve rezonans frekansına ilişkin çizdirilen grafikler, tasarlanan mikroşerit anten yapısının amaçlanan frekans bantlarında rahatlıkla çalışabilecek düzeyde olduğunu göstermektedir. Ancak anten karakteristiğinin tam olarak anlaşılabilmesi için kullanılacak frekans bantlarının merkez frekanslarındaki antenin

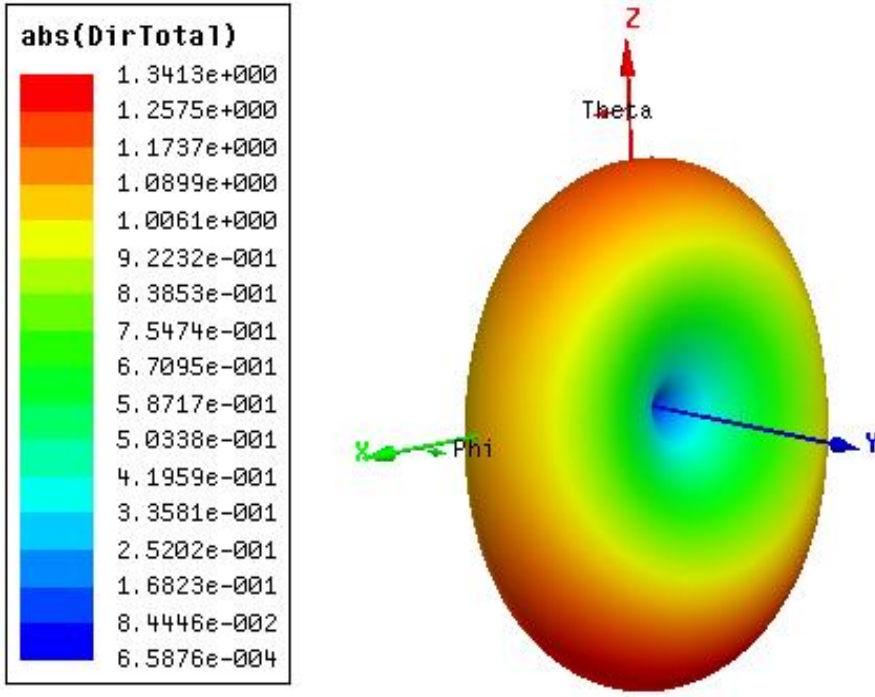
ışırma karakteristiğinin de incelenmesi gerekmektedir. Tasarlanan mikroşerit anten yapısına ilişkin 3-boyutlu kazanç ve yönlendiricilik diyagramları çizdirilerek antenin ışırma karakteristiği incelenmiştir.

şekil 5.6'da 1790 Mhz (GSM 1800 frekans bandı için merkez frekans) frekansı için 3-boyutlu kazanç diyagramı yer almaktadır. Görüldüğü gibi kazanç değeri x-z düzlemi üzerinde maksimum değerini alırken, y-ekseni üzerinde minimum değerler almaktadır. Görüldüğü gibi tasarlanan anten, dairesel monopol antenlerin karakteristik özelliği olan her yönlü (omni-directional) ışırma paternine sahiptir.



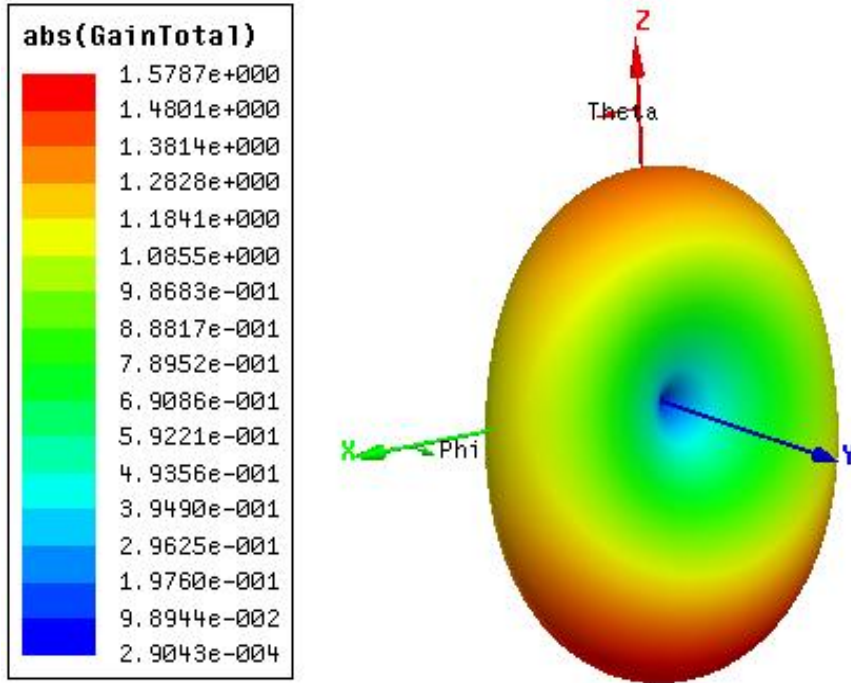
şekil 5.6 : Tasarlanan antenin 1790 MHz frekansında 3-boyutlu kazanç grafiği.

şekil 5.7'de 1790 Mhz (GSM 1800 frekans bandı için merkez frekans) frekansı için 3-boyutlu yönlendiricilik diyagramı yer almaktadır.



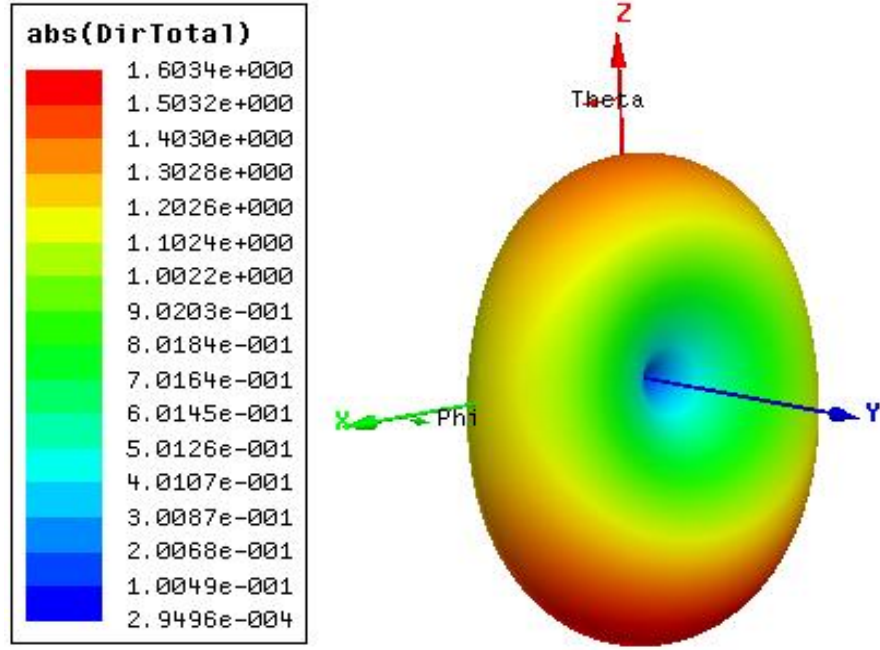
Şekil 5.7 : 1790 MHz frekansında 3-boyutlu yönlendiricilik grafiği.

Şekil 5.8’de 2050 MHz (UMTS frekans bandı için merkez frekans) frekansı için 3-boyutlu kazanç diyagramı yer almaktadır.



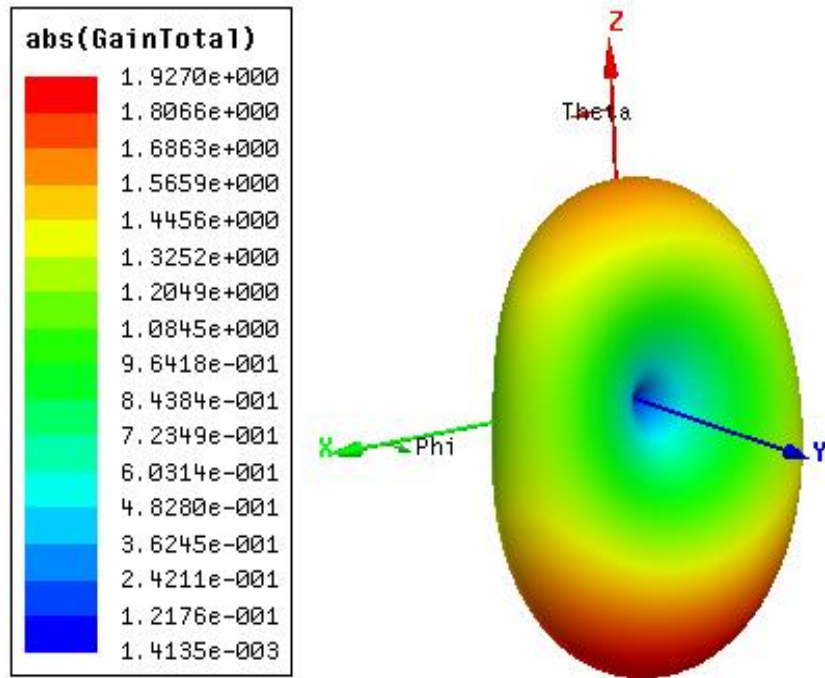
Şekil 5.8 : Tasarlanan antenin 2050 MHz frekansında 3-boyutlu kazanç grafiği.

Şekil 5.9’da 2050 MHz (UMTS frekans bandı için merkez frekans) frekansı için 3-boyutlu yönlendiricilik diyagramı yer almaktadır.



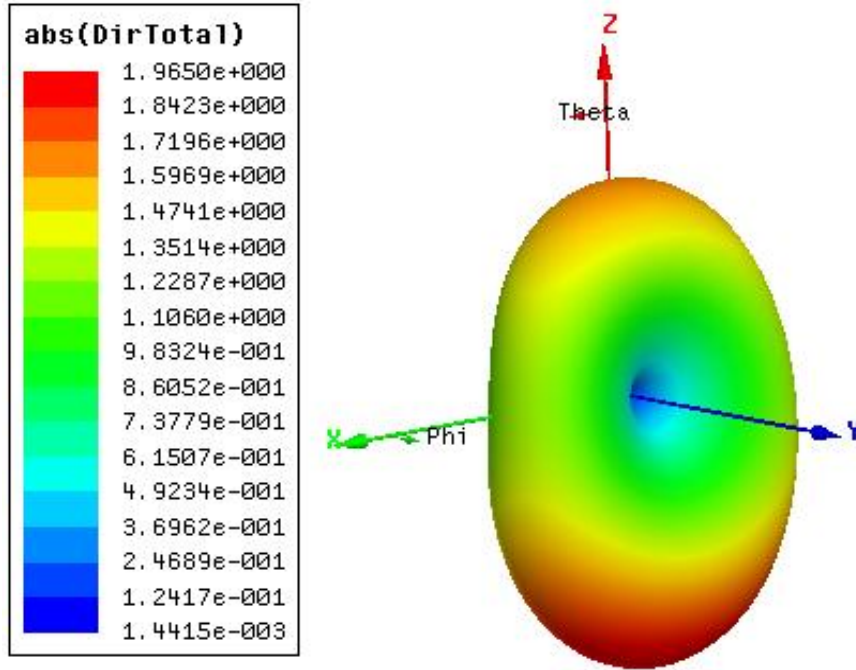
Şekil 5.9 : 2050 MHz frekansında 3-boyutlu yönlendiricilik grafiği.

Şekil 5.10’da 2450 MHz (ISM 802.11b frekans bandı için merkez frekans) frekansı için 3-boyutlu kazanç diyagramı yer almaktadır.



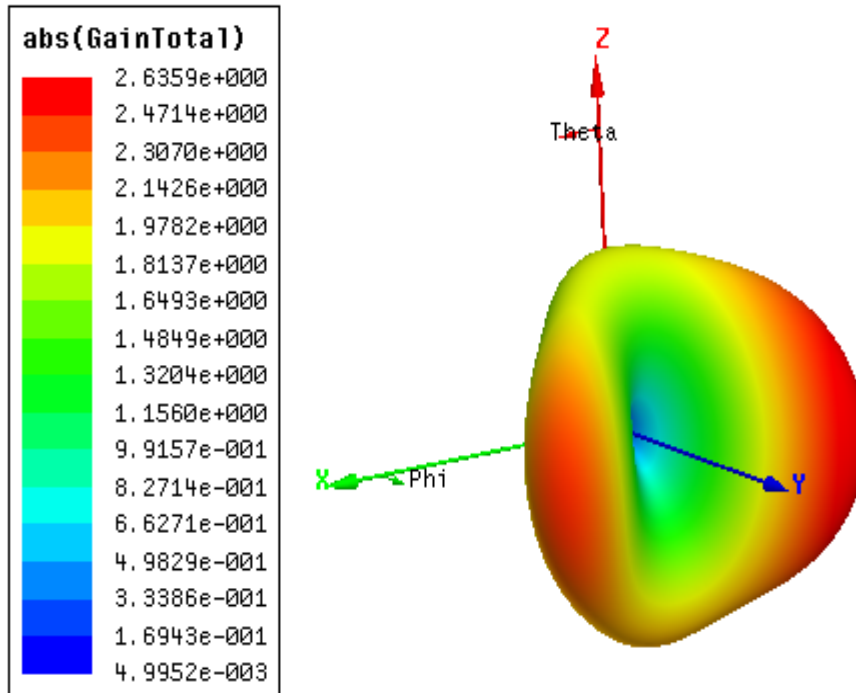
Şekil 5.10 : Tasarlanan antenin 2450 MHz frekansında 3-boyutlu kazanç grafiği.

Şekil 5.11’de 2450 MHz (ISM 802.11b frekans bandı için merkez frekans) frekansı için 3-boyutlu yönlendiricilik diyagramı yer almaktadır.



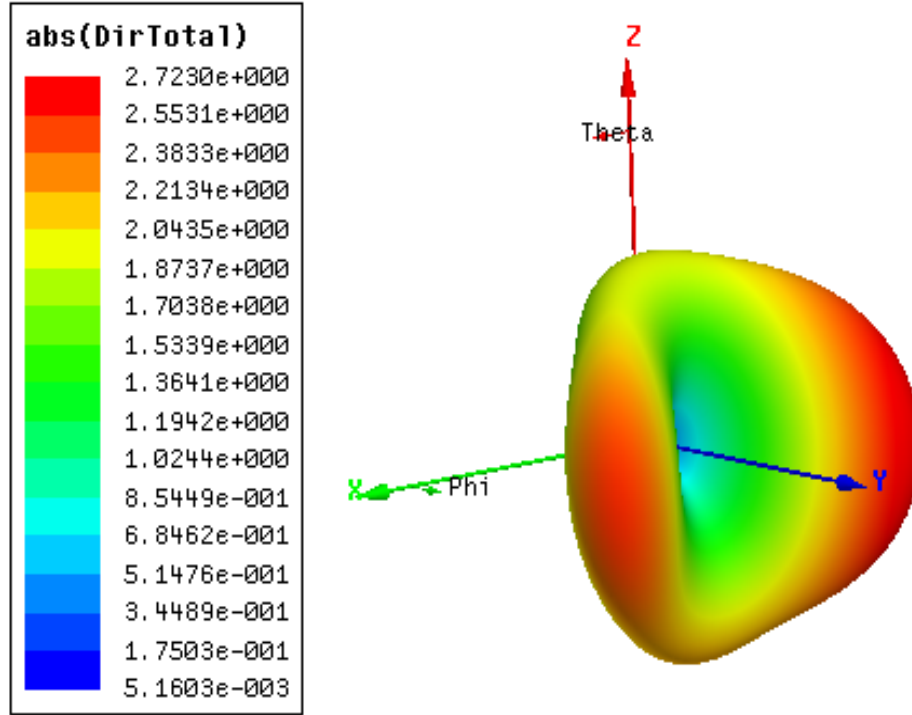
Şekil 5.11 : 2450 MHz frekansında 3-boyutlu yönlendiricilik grafiği.

Şekil 5.12’de 3500 MHz (WIMAX frekans bandı için merkez frekans) frekansı için 3-boyutlu kazanç diyagramı yer almaktadır.



Şekil 5.12 : Tasarlanan antenin 3500 MHz frekansında 3-boyutlu kazanç grafiği.

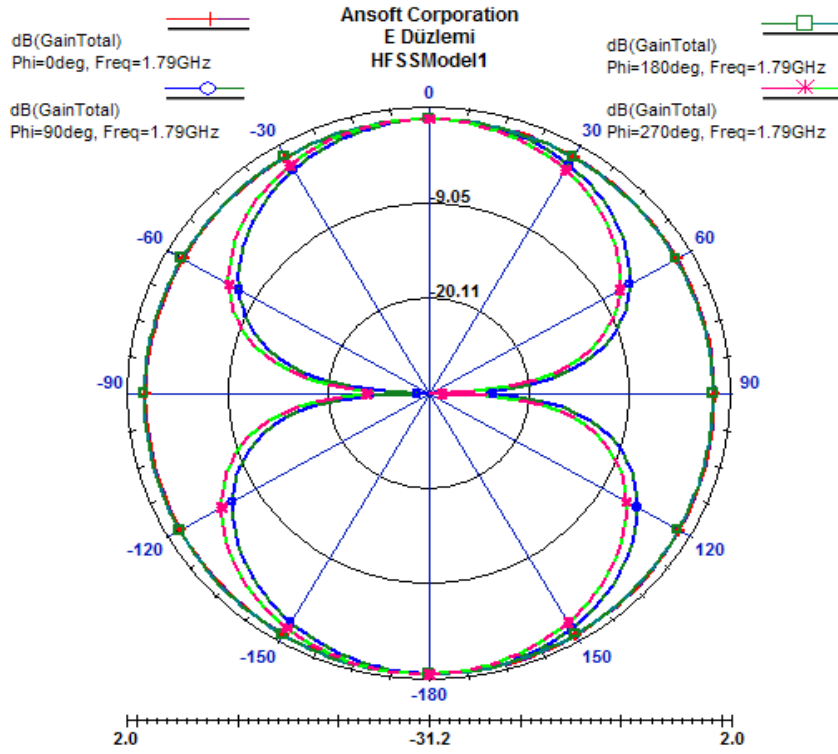
Şekil 5.13'te 3500 MHz (WIMAX frekans bandı için merkez frekans) frekansı için 3-boyutlu yönlendiricilik diyagramı yer almaktadır.



Şekil 5.13 : 3500 MHz frekansında 3-boyutlu yönlendiricilik grafiği.

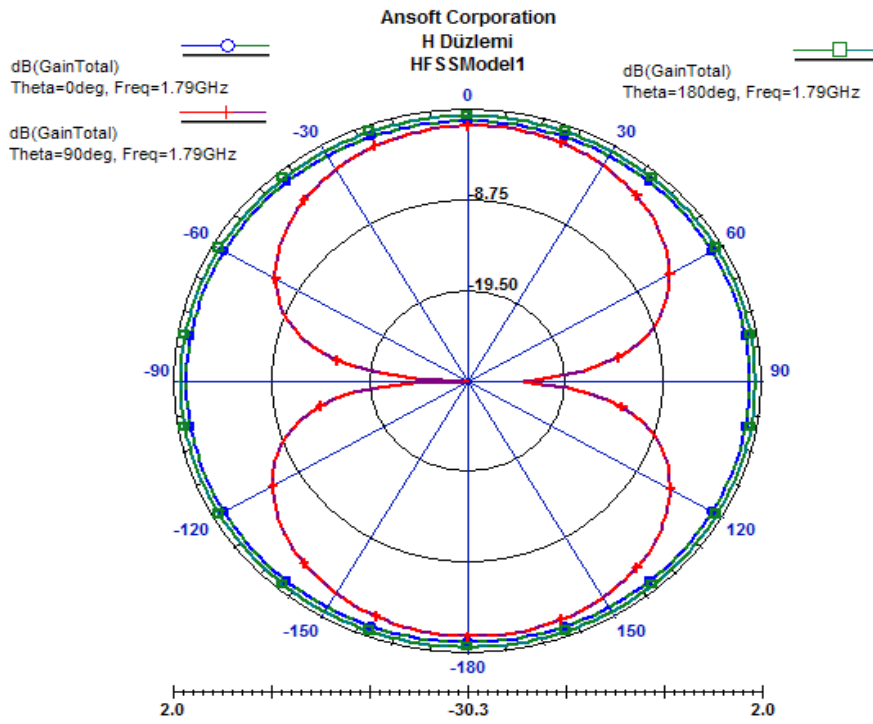
Tasarlanan antene ait farklı frekanslardaki ışın diyagramları incelendiğinde, frekans arttıkça antenin yönlendiriciliği artmaktadır. Bu nedenle yüksek frekanslara çıkıldıkça, anten x-z düzleminde bazı yönlerde daha güçlü ışın yapmakta ve antenin her yönlü ışın paterni bozulmaktadır.

Tasarlanan mikroşerit anten yapısına ilişkin 1790, 2050, 2450 ve 3500 MHz frekanslarında 2-boyutlu E-Düzlemi ve H-Düzlemi ışın diyagramları da çizdirilmiştir. Şekil 5.14'de 1790 MHz frekansı için, $\phi = 0^{\circ}, 90^{\circ}, 180^{\circ}, 270^{\circ}$ sabit değerlerinde, kazancın θ ile değişimini gösteren 2-boyutlu E-Düzlemi ışın diyagramı yer almaktadır.



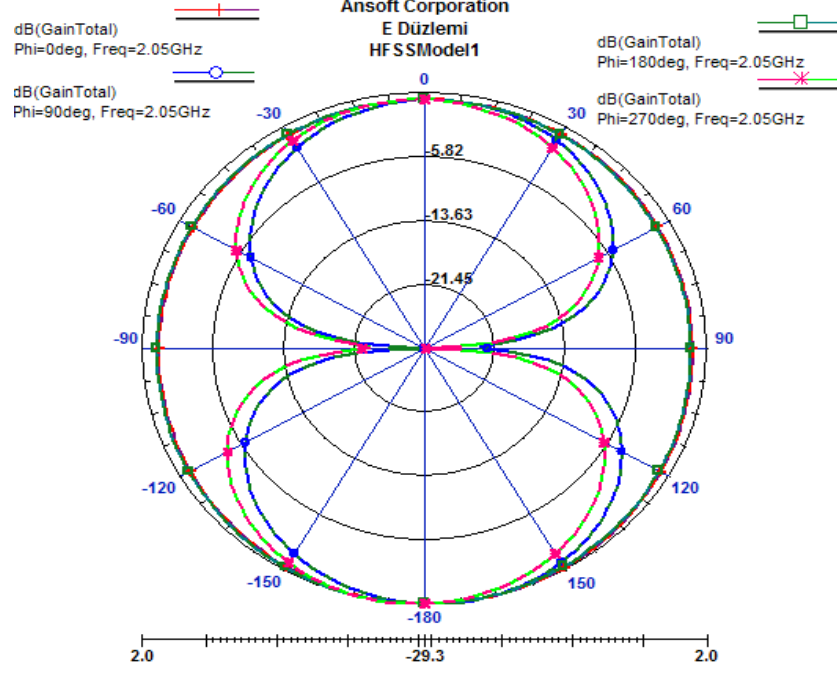
Şekil 5.14 : 1790 MHz frekansında E-Düzlemi ışın diyagramı.

Şekil 5.15'te 1790 MHz frekansı için, $\theta = 0^\circ, 90^\circ, 180^\circ$ sabit değerlerinde, kazancın ϕ ile değişimini gösteren 2-boyutlu H-Düzlemi ışın diyagramı yer almaktadır.



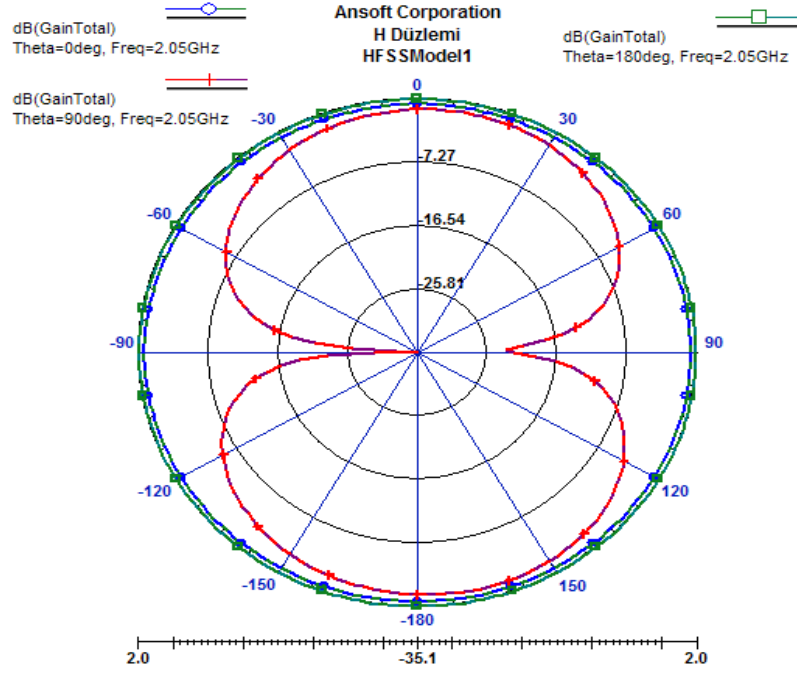
Şekil 5.15 : 1790 MHz frekansında H-Düzlemi ışın diyagramı.

Şekil 5.16'da 2050 MHz frekansı için, $\phi = 0^0, 90^0, 180^0, 270^0$ sabit değerlerinde, kazancın θ ile değişimini gösteren 2-boyutlu E-Düzlemi ışına diyagramı yer almaktadır.



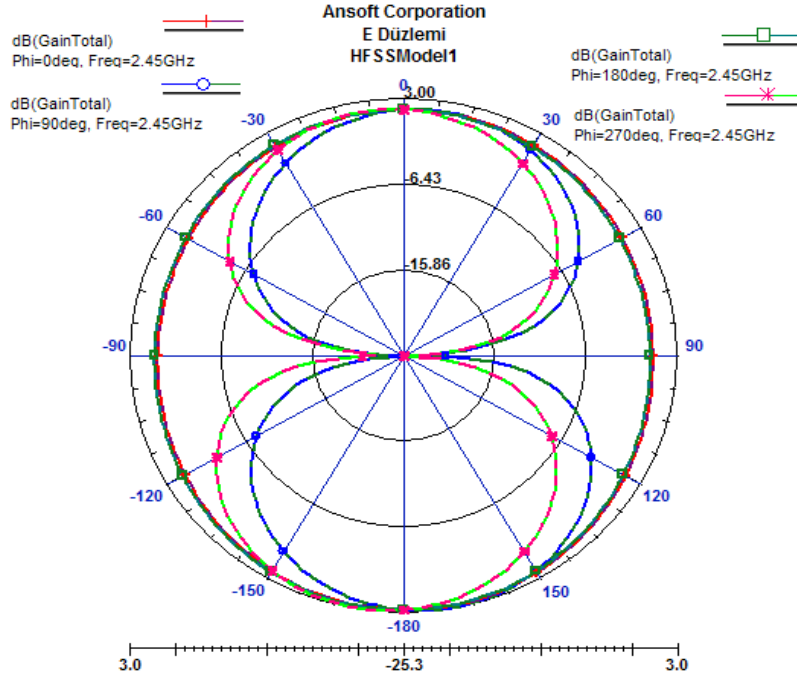
Şekil 5.16 : 2050 MHz frekansında E-Düzlemi ışına diyagramı.

Şekil 5.17'de 2050 MHz frekansı için, $\theta = 0^0, 90^0, 180^0$ sabit değerlerinde, kazancın ϕ ile değişimini gösteren 2-boyutlu H-Düzlemi ışına diyagramı yer almaktadır.



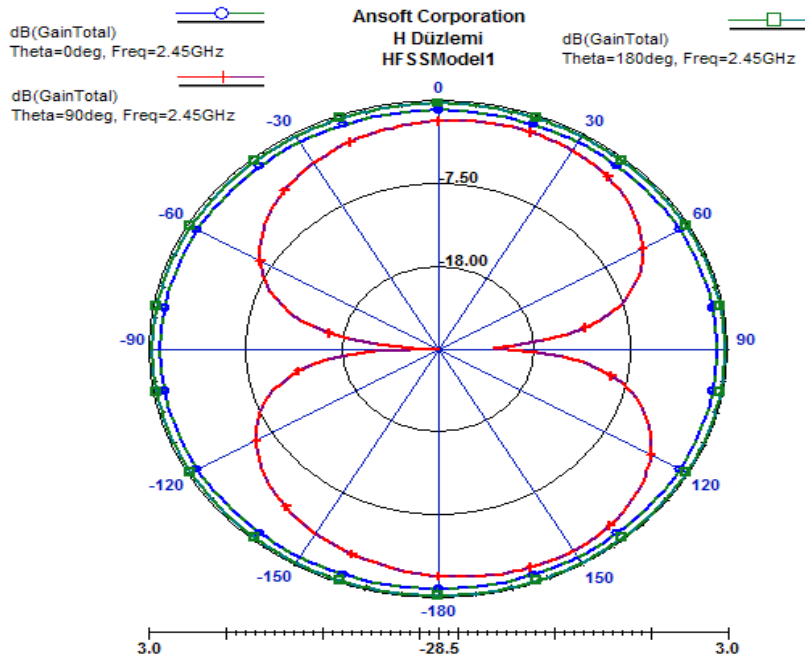
Şekil 5.17 : 2050 MHz frekansında H-Düzlemi ışına diyagramı.

Şekil 5.18’de 2450 MHz frekansı için, $\phi = 0^0, 90^0, 180^0, 270^0$ sabit değerlerinde, kazancın θ ile değişimini gösteren 2-boyutlu E-Düzlemi ışın diyagramı yer almaktadır.



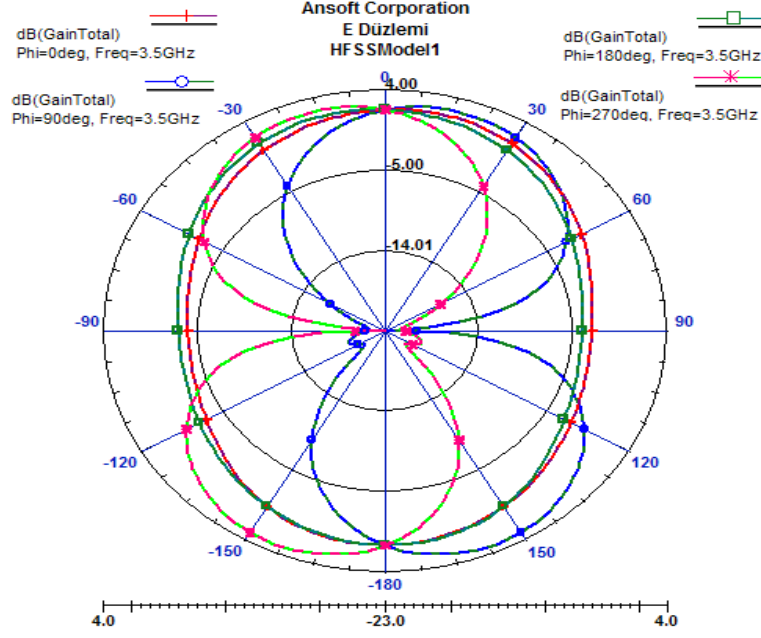
Şekil 5.18 : 2450 MHz frekansında E-Düzlemi ışın diyagramı.

Şekil 5.19’da 2450 MHz frekansı için, $\theta = 0^0, 90^0, 180^0$ sabit değerlerinde, kazancın ϕ ile değişimini gösteren 2-boyutlu H-Düzlemi ışın diyagramı yer almaktadır.



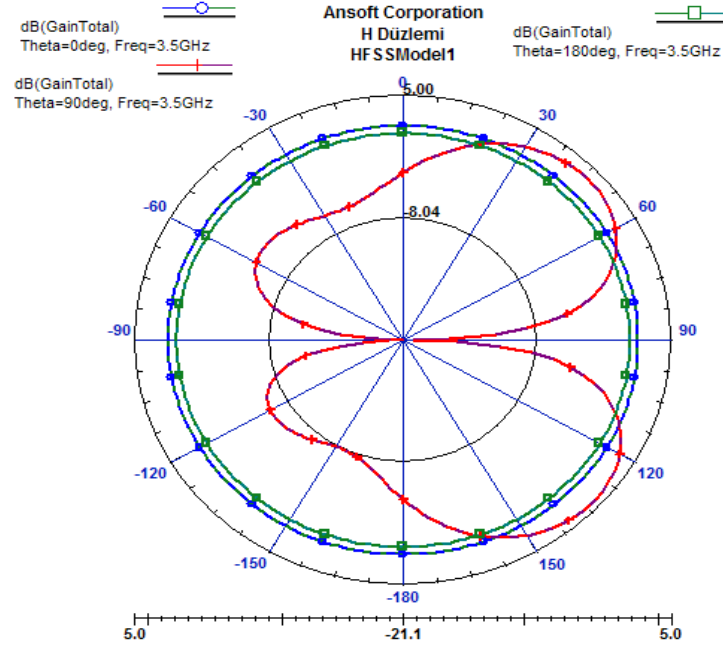
Şekil 5.19 : 2450 MHz frekansında H-Düzlemi ışın diyagramı.

Şekil 5.20’de 3500 MHz frekansı için, $\phi = 0^0, 90^0, 180^0, 270^0$ sabit değerlerinde, kazancın θ ile değişimini gösteren 2-boyutlu E-Düzlemi ışına diyagramı yer almaktadır.



Şekil 5.20 : 3500 MHz frekansında E-Düzlemi ışına diyagramı.

Şekil 5.21’de 2450 MHz frekansı için, $\theta = 0^0, 90^0, 180^0$ sabit değerlerinde, kazancın ϕ ile değişimini gösteren 2-boyutlu H-Düzlemi ışına diyagramı yer almaktadır.

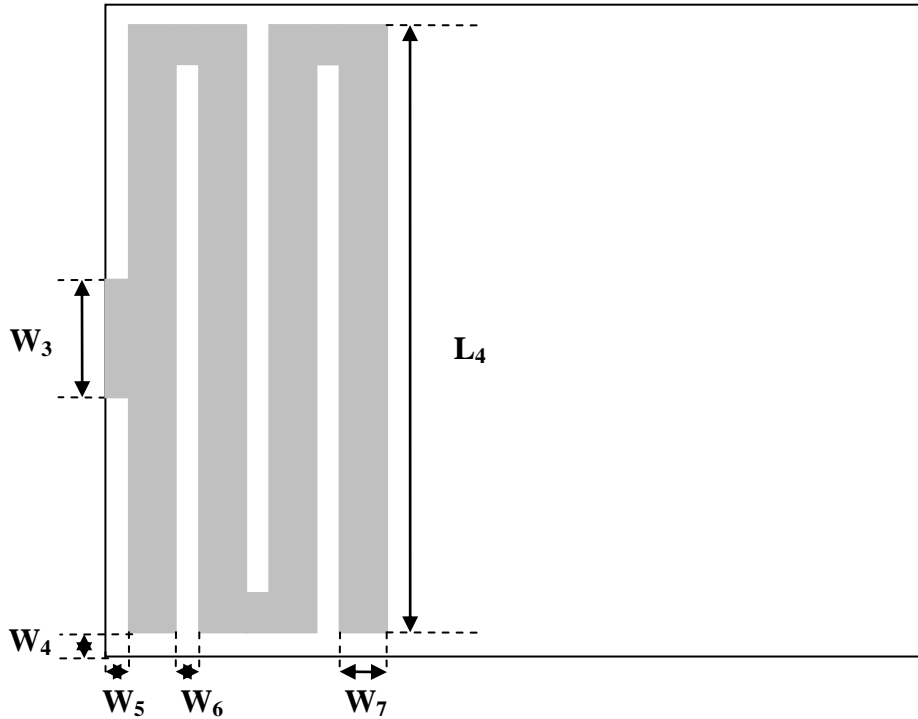


Şekil 5.21 : 3500 MHz frekansında H-Düzlemi ışına diyagramı.

Yapılan tasarım çalışması sonucunda istenilen bant genişliğine ve giriş yansımaya katsayısı değerlerine sahip geleneksel mikroşerit monopol anten tasarlanmıştır. Tasarlanan anten düşük frekanslarda düzgün her yönlü ışımaya paternine sahipken, frekans yükseldikçe kazanç ve yönlendiricilik değerlerinin arttığı ve bunun sonucunda her yönlü ışımaya paterninde bozulmaların olduğu görülmüştür.

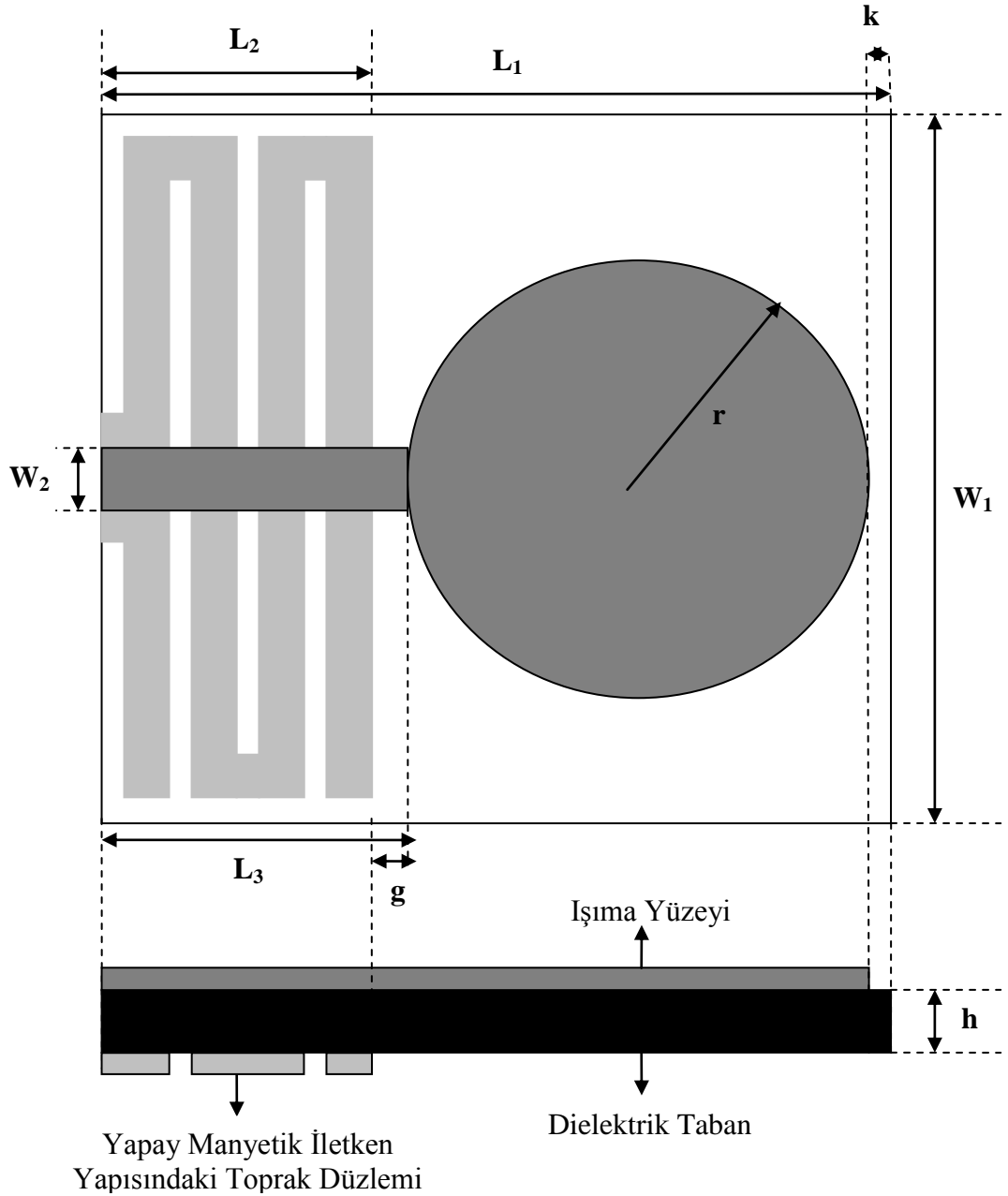
5.2.3 Yapay manyetik iletken toprak yüzeyli dairesel monopol anten tasarımı

Bu bölümde GSM 1800, UMTS ve ISM 802.11b frekans bantlarında çalışacak, yapay manyetik iletken toprak düzlemlili geniş bantlı mikroşerit monopol anten tasarımı yapılacaktır. Daha sonra tasarlanan antene ait anten parametreleri, daha önce tasarlanan geleneksel dairesel monopol anten sonuçları ile karşılaştırılacaktır. Böylece yapay manyetik iletken yapısının yer aldığı toprak yüzeyinin olumlu ve olumsuz etkileri incelenecektir. Tasarlayacağımız antenin istediğimiz frekans bandını kapsayabilmesi için çalışma frekansı f_0 , 2100 MHz seçilmiştir. Ucuz, kolay bulunabilir ve anten üretim aşamasının basit olması nedeniyle, dielektrik tabaka için 1.6 mm yüksekliğinde $\epsilon_r = 4.4$ olan, FR4 epoxy tercih edilmiştir. Bu doğrultuda, dizayn parametreleri şu şekilde seçilmiştir. Şekil 5.22'de yapay manyetik iletken toprak yapısı yer almaktadır.



Şekil 5.22 : Yapay manyetik iletken yapısındaki toprak düzlemi.

Şekil 5.23'te yapay manyetik iletken toprak düzlemlili monopul anten yapısı yer almaktadır.



Şekil 5.23 : Yapay manyetik iletken toprak düzlemlili monopul anten yapısı.

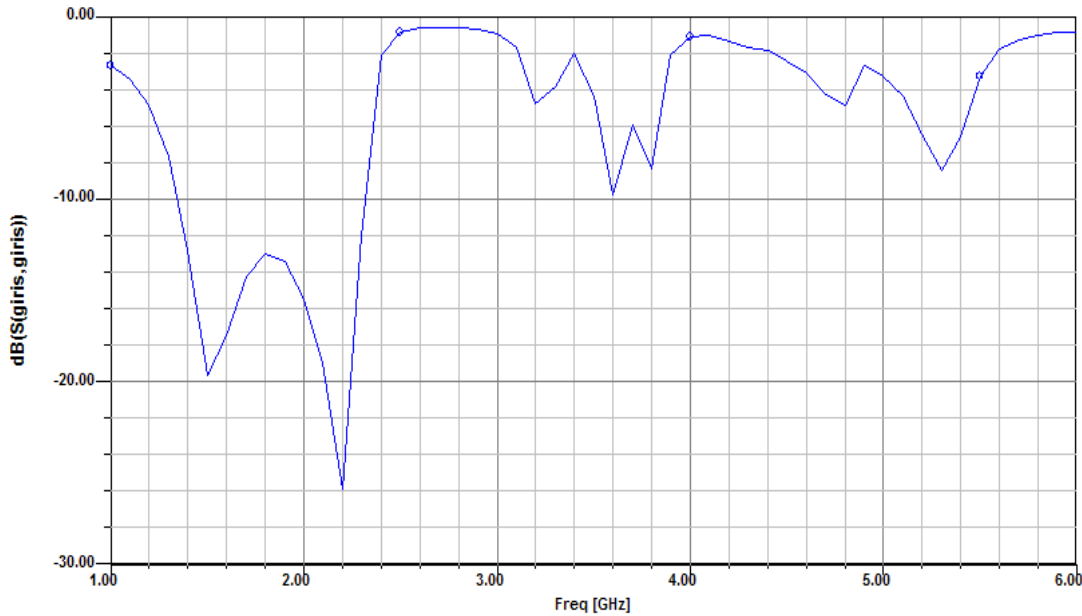
AMC yapısındaki toprak düzlemler, anten boyutları küçültmek, çapraz polarizasyon etkisini azaltmak, bant genişliği ve kazancı artırmak için kullanılmaktadır. Çalışmamızda AMC toprak yapısı olarak Şekil 5.22'de görülen yapı kullanılmıştır. Dairesel monopul anten yapısında AMC toprak yüzeyi kullanıldığında anten özelliklerinde ne gibi değişiklikler oluştuğu incelenecektir. Ayrıca AMC iletken şerit boyutları üzerindeki değişikliklerin anten karakteristiğini nasıl etkilediği incelenecek

ve en iyi sonuç elde edilmeye çalışılacaktır. Dairesel monopol antenlerde rezonans frekansı küçüldükçe, dairenin yarıçapı arttığı, dolayısıyla antenin boyutlarının arttığını, önceki kısımda tasarladığımız geleneksel daireysel monopol anten yapısında görmüştük. Burada AMC toprak yapısını kullanarak daha önce tasarladığımız antenin boyutlarını, istediğimiz frekans aralığında ışıma yapacak şekilde küçültmeye çalışacağız. Önceki tasarlanan antenin boyutları değiştirilmeden Çizelge 5.1’de milimetre cinsinden verilen ölçüler kullanılarak AMC toprak düzlemlili daireysel monopol anten tasarımı yapılmış ve Şekil 5.24’te verilen S_{11} değerleri elde edilmiştir.

Çizelge 5.1 : Önceki tasarımla aynı ölçülerdeki antenin diğer boyutsal değerleri.

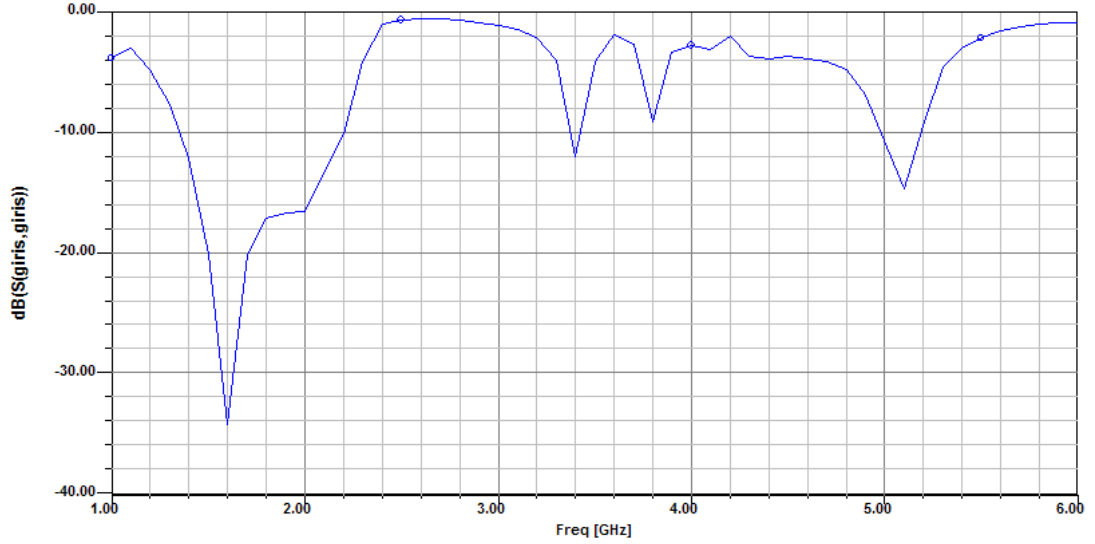
W_1	W_2	W_3	W_4	W_5	W_6	W_7
60	4	4	1	1	1	1
L_1	L_2	L_3	L_4	r	g	k
60	16	17.4	58	21	1	1

Şekil 5.24’te verilen S_{11} grafiği incelendiğinde, AMC yapılı toprak düzlemi rezonans frekansını daha düşük frekanslara indirmiş, fakat istenilen bant aralığı elde edilememiştir.



Şekil 5.24 : AMC şerit genişliği (W_7) 1 mm olan antene ait S_{11} grafiği.

Antenin boyutları değiştirilmeden AMC şerit genişliği W_7 , 2 mm yapılmış ve Şekil 5.25’te verilen S_{11} grafiği elde edilmiştir.



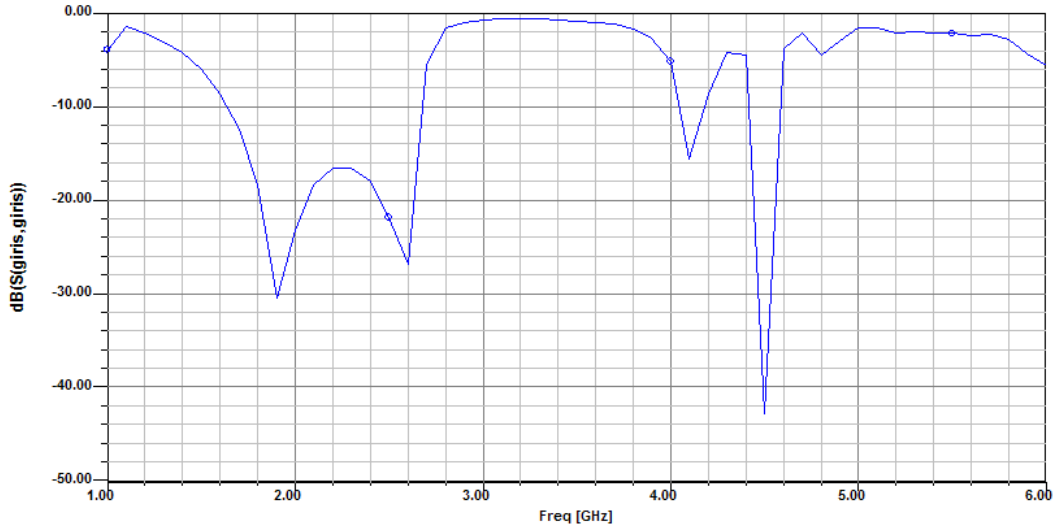
Şekil 5.25 : AMC şerit genişliği (W_7) 2 mm olan antene ait S_{11} grafiği.

Şekil 5.25'te verilen S_{11} grafiği incelendiğinde, AMC şerit genişliği 2 mm yapıldığı durumda bant genişliğinde değişme olmamış, fakat 1 mm olan şerit genişliğine göre daha iyi S_{11} grafiği elde edilmiştir. Tasarlanan antenin ışıma yaptığı frekans aralığını, AMC toprak düzleminin etkisiyle daha düşük frekanslara kaymıştır. Dairesel monopol antenin yarıçapı ile rezonans frekansı arasındaki ilişki (daire yarıçapı arttıkça rezonans frekansının küçülmesi) kullanılarak, dairenin yarıçapı küçültülmüş ve dolayısıyla anten boyutları da küçülmüştür. Çizelge 5.2'de boyutları küçültülmüş antene ait milimetre cinsinden ölçüler yer almaktadır.

Çizelge 5.2 : Boyutları küçültülmüş antenin boyutsal değerleri.

W_1	W_2	W_3	W_4	W_5	W_6	W_7
50	4.8	6	1	1	1	2
L_1	L_2	L_3	L_4	r	g	k
51	15	15.4	48	17.4	0	1

Şekil 5.26'da verilen S_{11} grafiği incelendiğinde, yeni boyutlarındaki antenin istenilen frekans aralığında ışıma yaptığı görülmektedir. Elde edilen anten tasarımı, daha önce tasarladığımız geleneksel dairesel monopol antene göre daha dar bant genişliğine sahiptir. Geleneksel monopol anten yüksek frekanslarda daha geniş bantlarda ışıma yapmaktayken, AMC toprak düzlemine sahip anten daha dar bantlarda ışıma yapmaktadır.



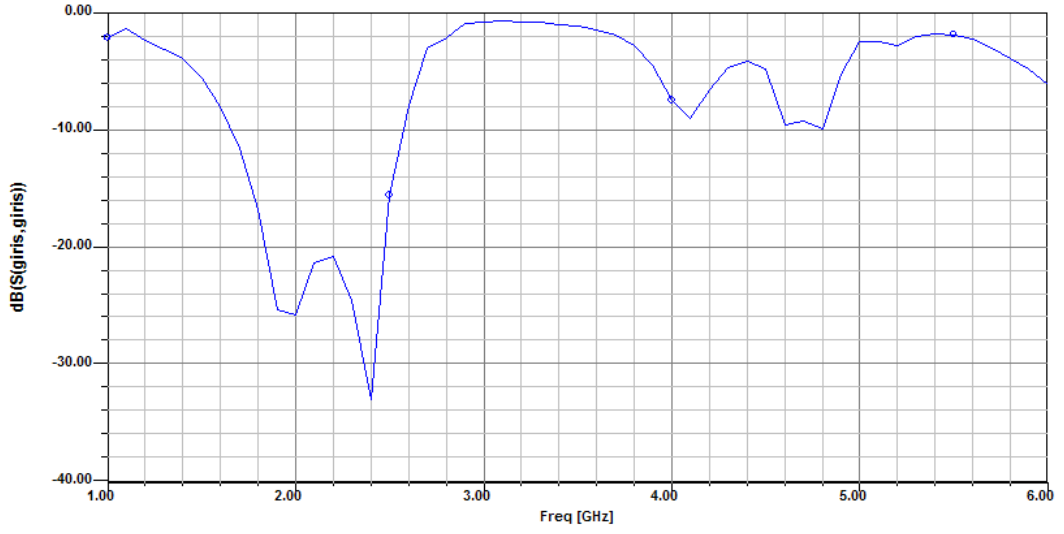
Şekil 5.26 : Küçültülmüş boyutlardaki antene ait S_{11} grafiği.

Daha sonra AMC yapısının boyutlarını değiştirerek, istediğimiz frekans aralığında daha iyi bir ışıma grafiğine sahip anten tasarımı hedeflenmiştir. AMC yapısındaki tüm boyutların sırayla anten karakteristiği üzerindeki etkileri incelenmiş ve en iyi tasarımı elde edebileceğimiz değerlere ulaşılmaya çalışılmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda Çizelge 5.3’de verilen anten boyutlarında istenilen frekans aralığında iyi bir ışıma grafiği elde edilmiştir.

Çizelge 5.3 : Optimize edilmiş antenin boyutsal değerleri.

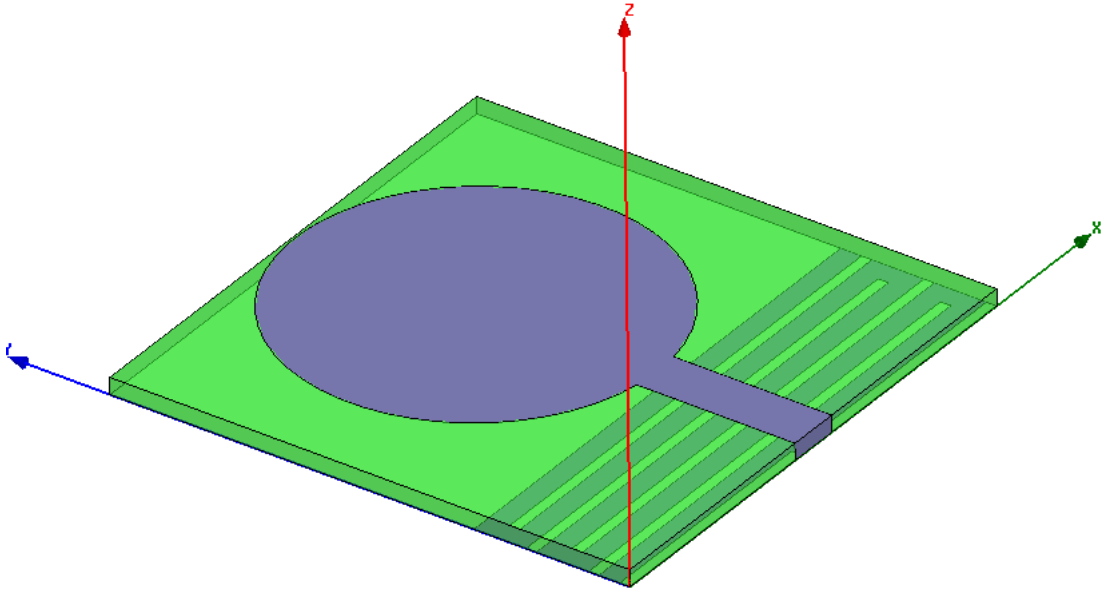
W_1	W_2	W_3	W_4	W_5	W_6	W_7
50	5	3	0	1	1	2
L_1	L_2	L_3	L_4	r	g	k
50	15	15.4	50	17.4	0	0.2

Anten optimizasyonundan sonra Şekil 5.27’de verilen S_{11} grafiği elde edilmiştir. Grafik incelendiğinde istenilen frekans aralığında anten için iyi bir ışıma grafiği elde edilmiş fakat yüksek frekanslardaki ışıma değerleri azalmıştır.



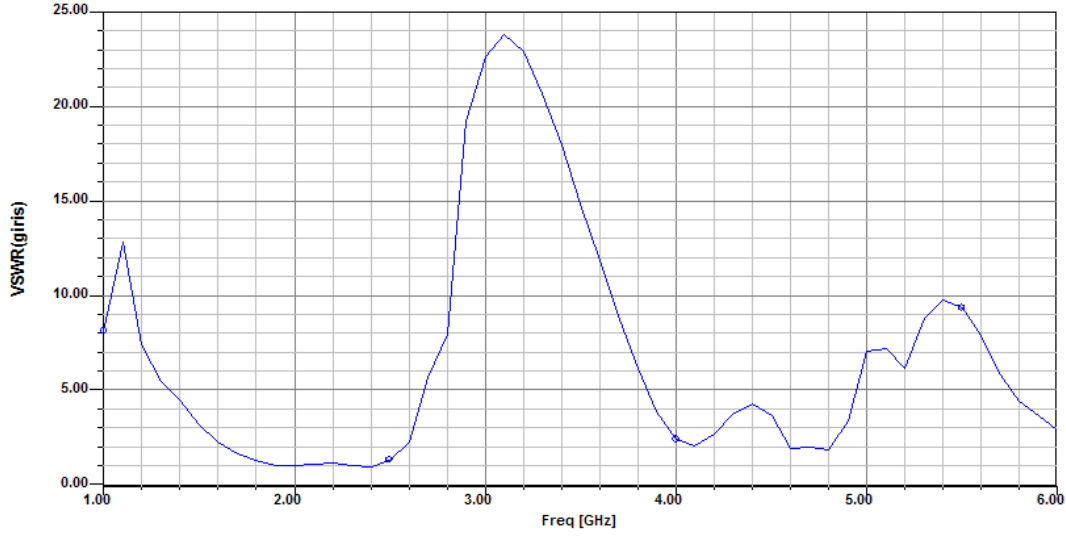
Şekil 5.27 : Optimize edilmiş antene ait S₁₁ grafiği.

Şekil 5.28’de tasarlanan antenin HFSS paket programındaki tasarımı yer almaktadır.



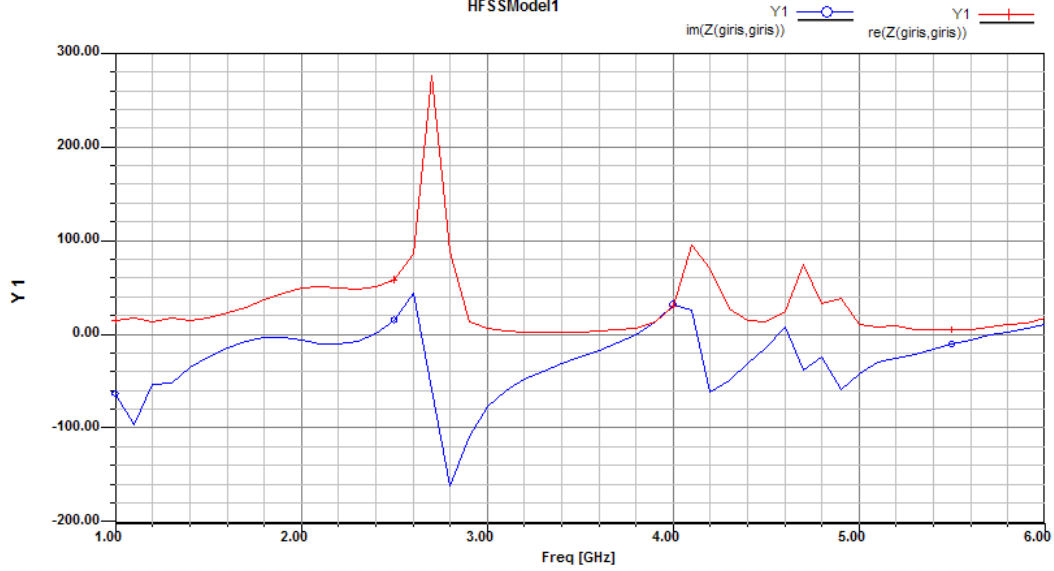
Şekil 5.28 : Elde edilen antenin HFSS programındaki görünümü.

Şekil 5.29’da optimize edilen antene ait VSWR grafiği yer almaktadır. Grafik incelendiğinde antenin ışıma yaptığı frekans aralığında VSWR değerinin 1’e çok yakın olduğu yani empedans uyumunun çok iyi olduğu, mikroşerit iletim hattında geri yansımaların ve duran dalga oranlarının minimum değerlere yakınsadığı görülmektedir.



Şekil 5.29 : Optimize edilmiş antene ait VSWR grafiği.

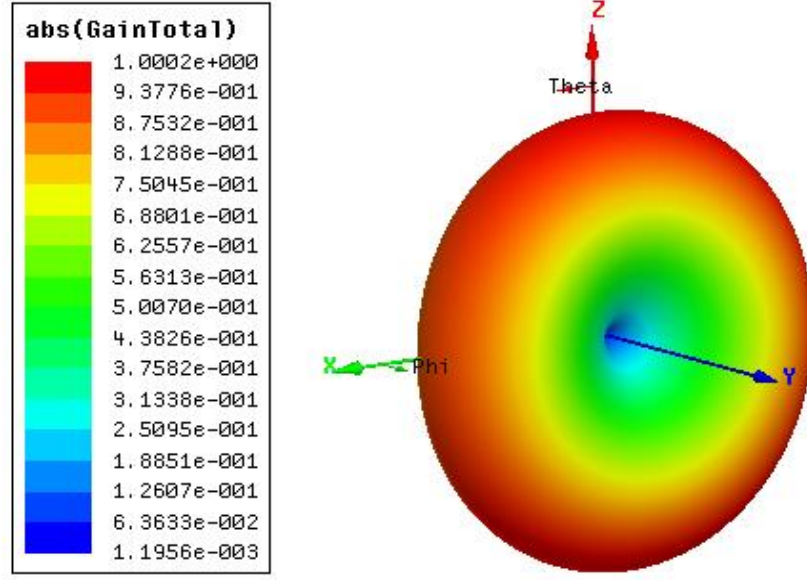
Şekil 5.30'da tasarlanan antenin giriş empedansının frekansa göre değişimi yer almaktadır. Antenin ışıma yaptığı frekans aralıklarında giriş empedansının reel bileşeni 50Ω , sanal bileşeni ise 0Ω civarındadır.



Şekil 5.30 : Optimize edilmiş antene ait Z_{in} grafiği.

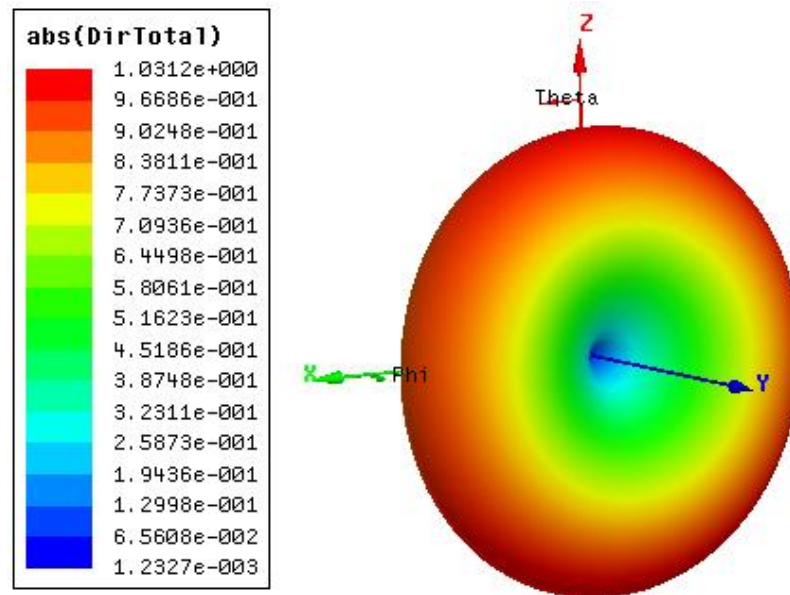
Empedans uyumu ve rezonans frekansına ilişkin çizdirilen grafikler, optimize edilen antenin amaçlanan frekans bantlarında rahatlıkla çalışabilecek düzeyde olduğunu göstermektedir. Tasarlanan mikroşerit anten yapısına ilişkin 3-boyutlu kazanç ve yönlendiricilik diyagramları çizdirilerek antenin ışıma karakteristiği incelenmiştir.

Şekil 5.31’de 1790 MHz (GSM 1800 frekans bandı için merkez frekans) frekansı için 3-boyutlu kazanç diyagramı yer almaktadır. Görüldüğü gibi AMC toprak yüzeyine sahip anten dairesel monopol anten, daha önce tasarlanan geleneksel dairesel monopol antene göre daha iyi her yönlü (omni-directional) ışım paternine sahiptir. Işımanın her yönde daha eşit oranda gerçekleşmesiyle doğal olarak antenin kazancı azalmıştır.



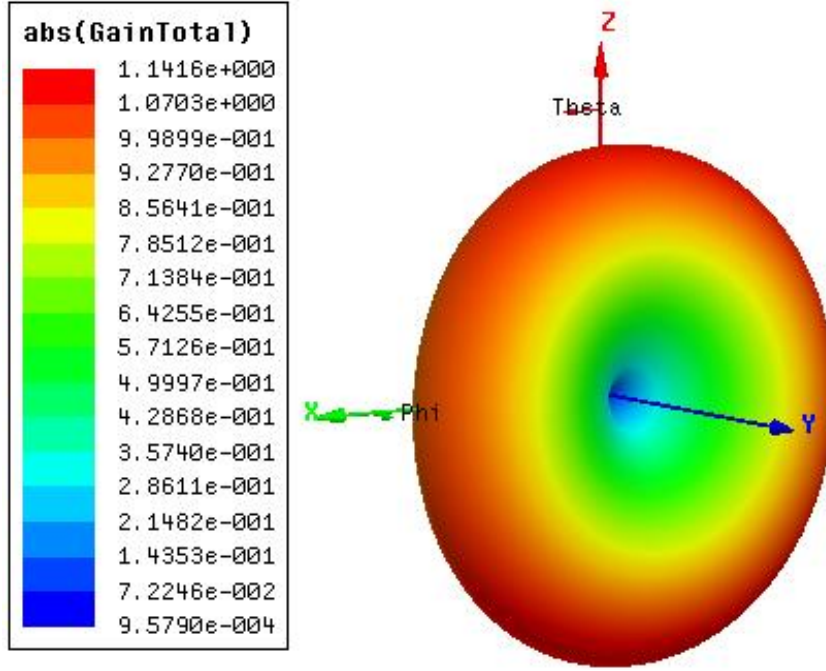
Şekil 5.31 : Optimize antenin 1790 MHz frekansında 3-boyutlu kazanç grafiği.

Şekil 5.32’de 1790 MHz (GSM 1800 frekans bandı için merkez frekans) frekansı için 3-boyutlu yönlendiricilik diyagramı yer almaktadır.



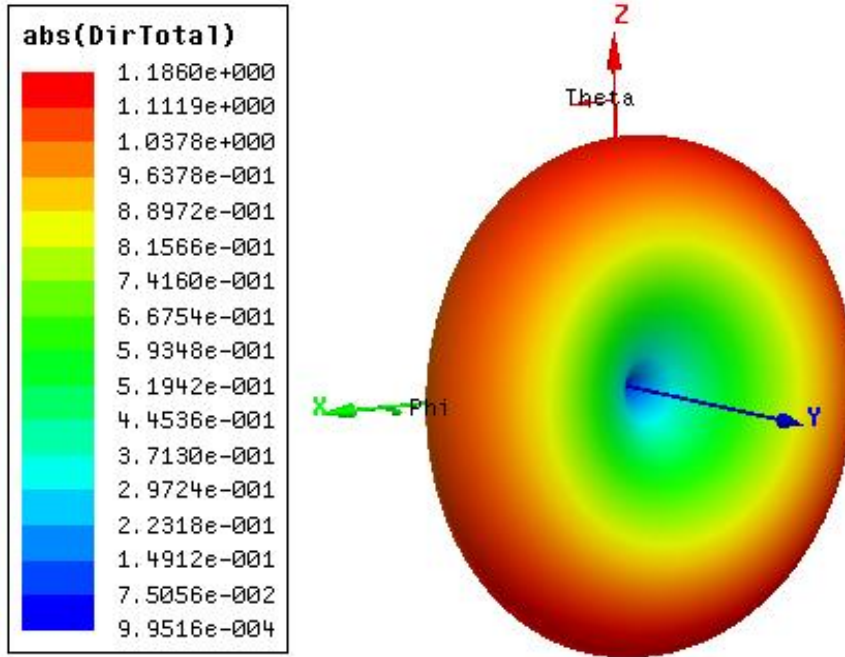
Şekil 5.32 : Optimize antenin 1790 MHz için 3-boyutlu yönlendiricilik grafiği.

Şekil 5.33’de 2050 MHz (UMTS frekans bandı için merkez frekans) frekansı için 3-boyutlu kazanç diyagramı yer almaktadır.



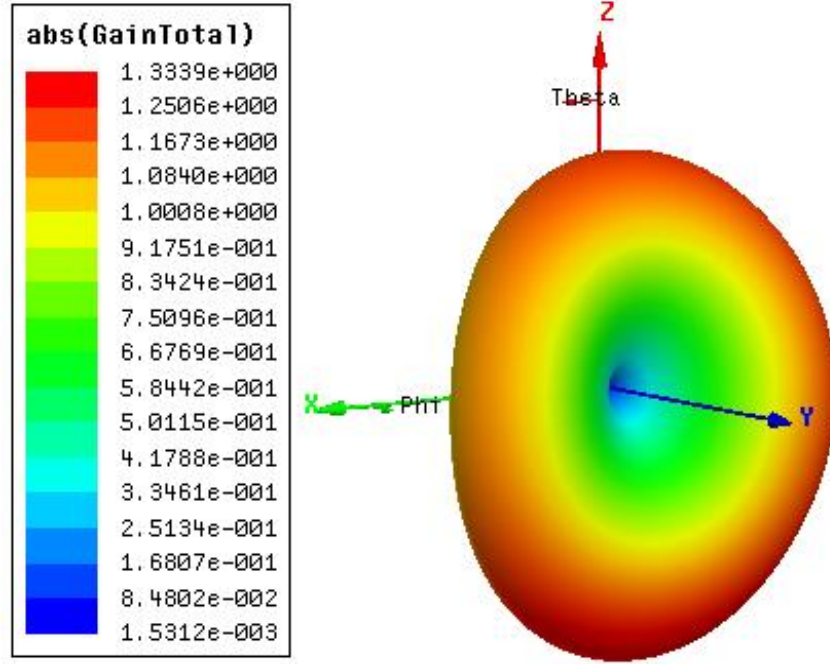
Şekil 5.33 : Optimize antenin 2050 MHz frekansında 3-boyutlu kazanç grafiği.

Şekil 5.34’te 2050 MHz (UMTS frekans bandı için merkez frekans) frekansı için 3-boyutlu yönlendiricilik diyagramı yer almaktadır.



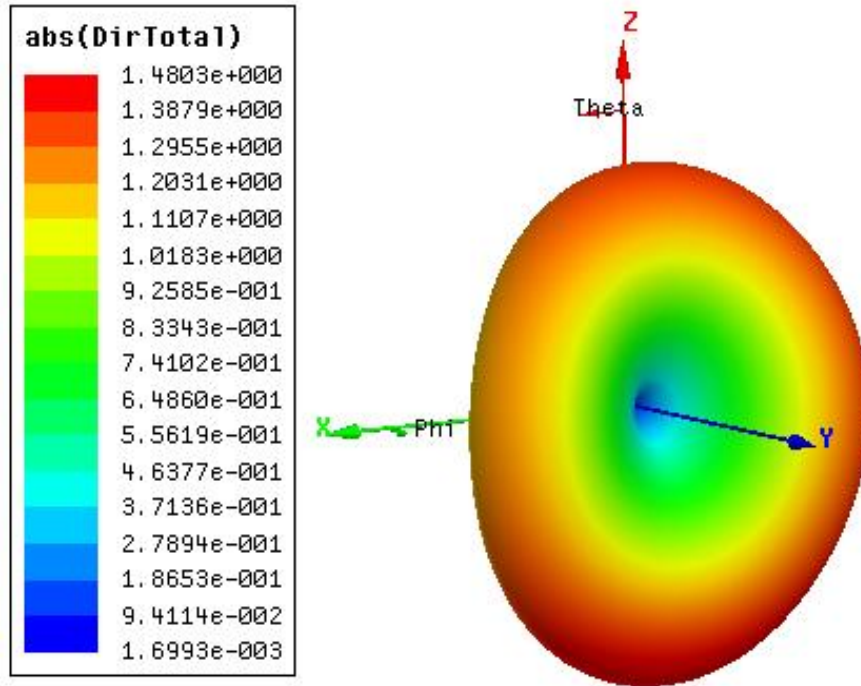
Şekil 5.34 : Optimize antenin 2050 MHz için 3-boyutlu yönlendiricilik grafiği.

Şekil 5.35'te 2450 MHz (ISM 802.11b frekans bandı için merkez frekans) frekansını için 3-boyutlu kazanç diyagramı yer almaktadır.



Şekil 5.35 : Optimize antenin 2450 MHz frekansında 3-boyutlu kazanç grafiği.

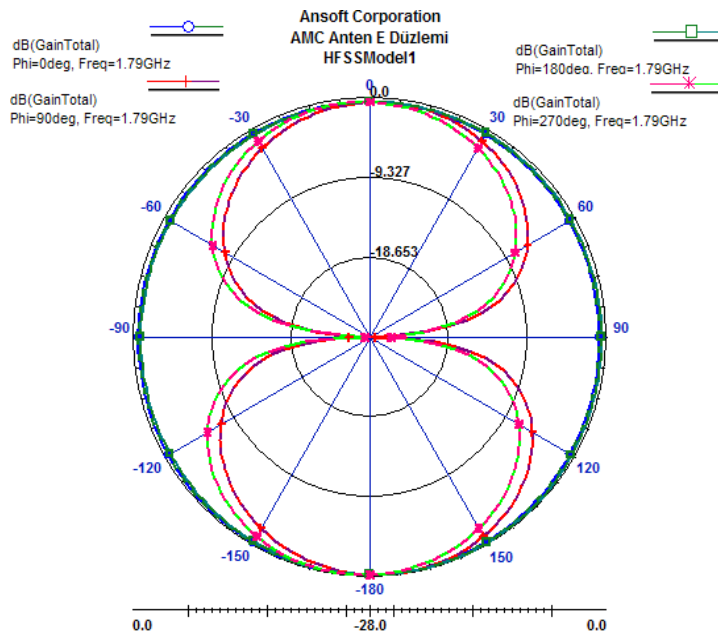
Şekil 5.36'da 2450 MHz (ISM 802.11b frekans bandı için merkez frekans) frekansını için 3-boyutlu yönlendiricilik diyagramı yer almaktadır.



Şekil 5.36 : Optimize antenin 2450 MHz için 3-boyutlu yönlendiricilik grafiği.

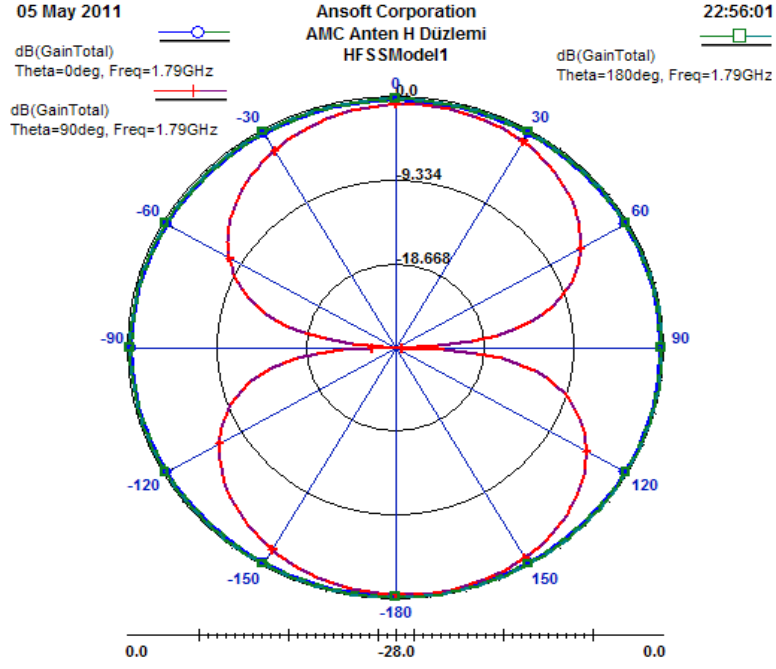
Tasarlanan antene ait farklı frekanslardaki ışımaya diyagramları incelendiğinde, daha önce tasarlanan geleneksel dairesel monopollü antenin aynı frekanslarda daha düzgün her yönlü (omni-directional) ışımaya diyagramına sahiptir. Bunun sonucunda doğal olarak kazanç ve yönlendiricilik değerleri daha azdır. Tasarlanan AMC toprak yüzeyli mikroşerit anten yapısına ilişkin 1790, 2050 ve 2450 MHz frekanslarında 2-boyutlu E-Düzlemi ve H-Düzlemi ışımaya diyagramları da çizdirilmiştir.

Şekil 5.37’de 1790 MHz frekansı için, $\phi = 0^0, 90^0, 180^0, 270^0$ sabit değerlerinde, kazancın θ ile değişimini gösteren 2-boyutlu E-Düzlemi ışımaya diyagramı yer almaktadır.



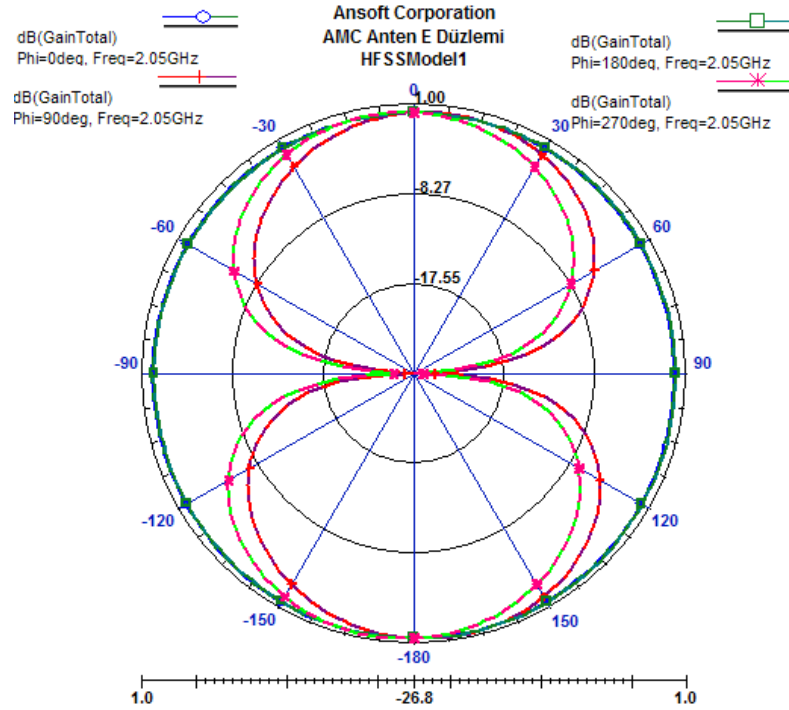
Şekil 5.37 : AMC toprak yüzeyli antenin 1.79 GHz E-Düzlemi ışımaya diyagramı.

Şekil 5.38’de AMC toprak yüzeyli antenin 1790 MHz frekansı için, $\theta = 0^0, 90^0, 180^0$ sabit değerlerinde, kazancın ϕ ile değişimini gösteren 2-boyutlu H-Düzlemi ışımaya diyagramı yer almaktadır.



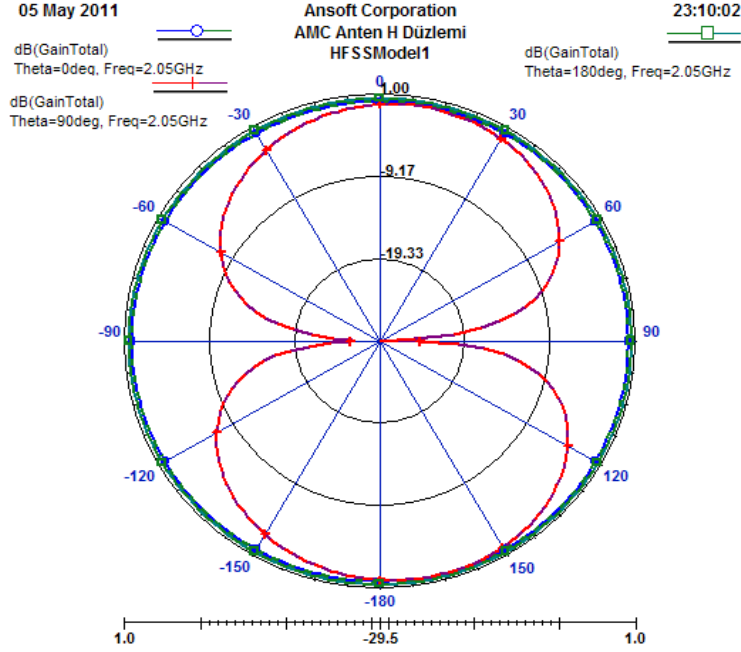
Şekil 5.38 : AMC toprak yüzeyli antenin 1.79 GHz H-Düzlemi ışına diyagramı.

Şekil 5.39'da 2050 MHz frekansı için, $\phi = 0^0, 90^0, 180^0, 270^0$ sabit değerlerinde, kazancın θ ile değişimini gösteren 2-boyutlu E-Düzlemi ışına diyagramı yer almaktadır.



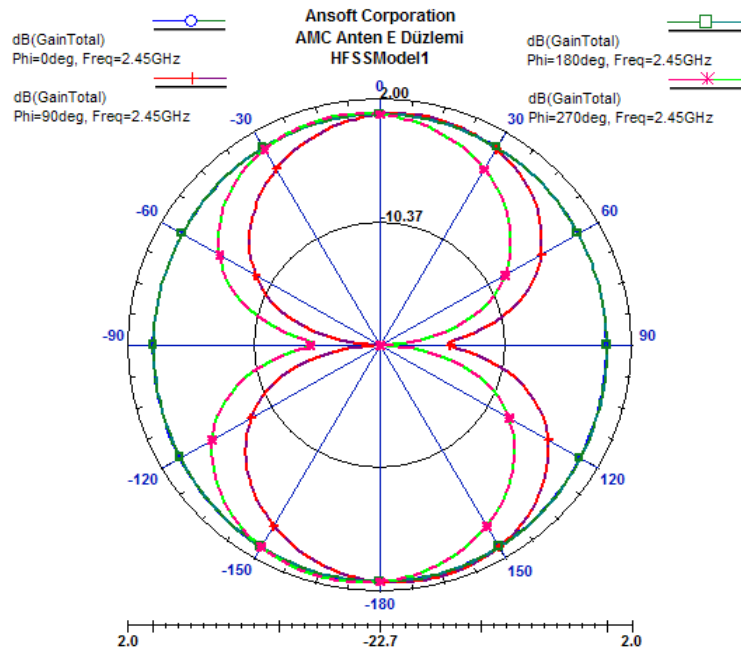
Şekil 5.39 : AMC toprak yüzeyli antenin 2.05 GHz E-Düzlemi ışına diyagramı.

Şekil 5.40'ta AMC toprak yüzeyli antenin 2050 MHz frekansı için, $\theta = 0^0, 90^0, 180^0$ sabit değerlerinde, kazancın ϕ ile değişimini gösteren 2-boyutlu H-Düzlemi ışıma diyagramı yer almaktadır.



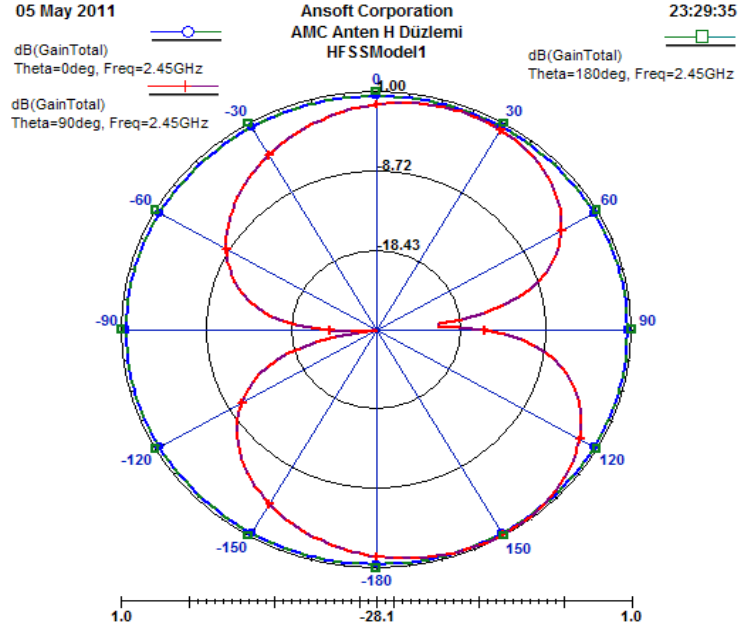
Şekil 5.40 : AMC toprak yüzeyli antenin 2.05 GHz H-Düzlemi ışıma diyagramı.

Şekil 5.41'de 2450 MHz frekansı için, $\phi = 0^0, 90^0, 180^0, 270^0$ sabit değerlerinde, kazancın θ ile değişimini gösteren 2-boyutlu E-Düzlemi ışıma diyagramı yer almaktadır.



Şekil 5.41 : AMC toprak yüzeyli antenin 2.45 GHz E-Düzlemi ışıma diyagramı.

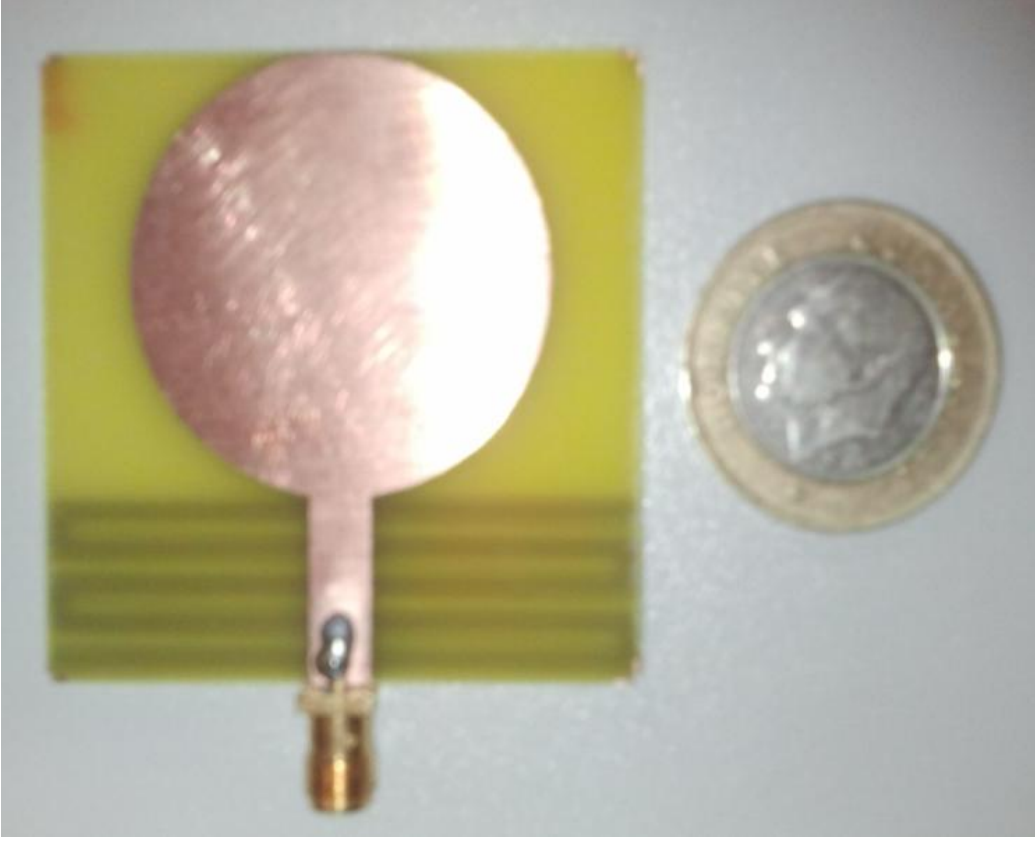
Şekil 5.42’de AMC toprak yüzeyli antenin 2050 MHz frekansı için, $\theta = 0^0, 90^0, 180^0$ sabit değerlerinde, kazancın ϕ ile değişimini gösteren 2-boyutlu H-Düzlemi ışıma diyagramı yer almaktadır.



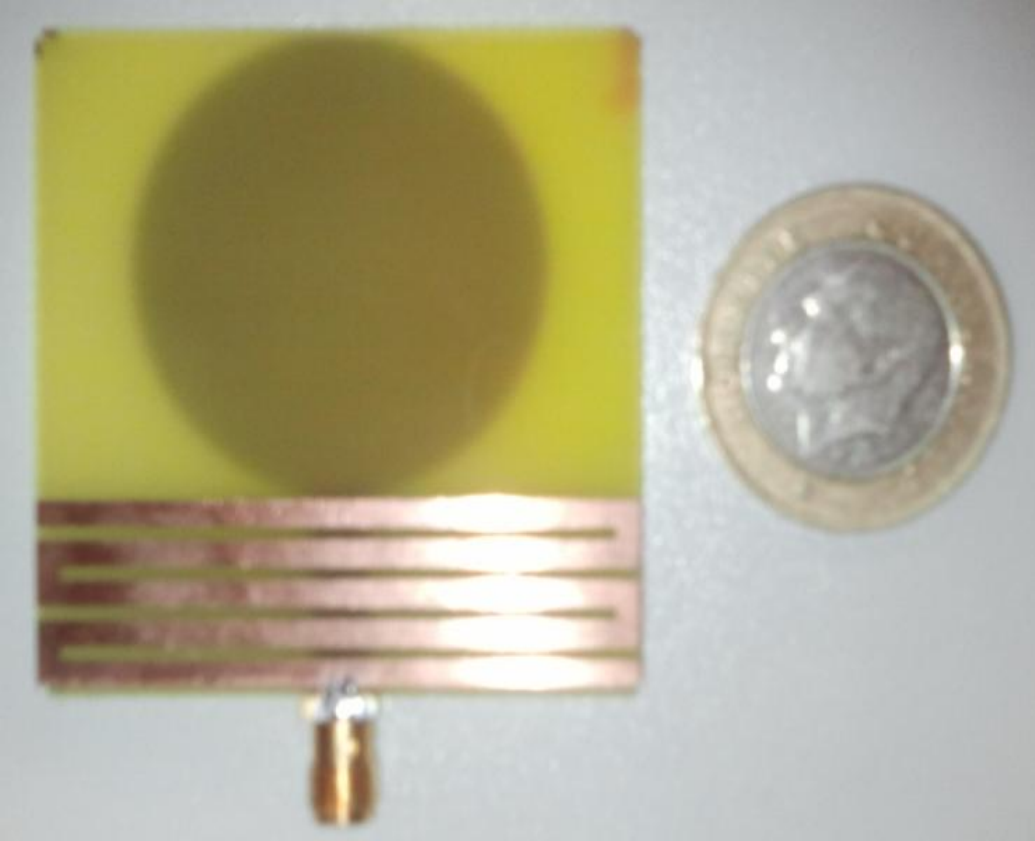
Şekil 5.42 : AMC toprak yüzeyli antenin 2.45 GHz H-Düzlemi ışıma diyagramı.

Verilen diyagramlar incelendiğinde AMC toprak yüzeyi ile istenilen frekans aralığında daha iyi her yönlü ışıma paternine sahip genişbant dairesel monopol anten yapısının elde edildiği görülmüştür. Toprak düzlemini mükemmel elektrik iletken (Perfect Electric Conductor - PEC) olarak düşündüğümüzde, elektrik alan toprak düzlemine dik, manyetik alan ise toprak düzlemine paraleldir. AMC toprak yüzeyi kullanarak toprak yüzeyine dik manyetik alanlar elde edilmiştir. Geleneksel dairesel monopol anten yapısındaki toprak yüzeyi yerine AMC toprak yüzeyini kullandığımızda, eşdeğer endüktans artmış ve antenin daha düşük frekanslarda rezonansa girmesi sağlanmıştır.

Tasarlanan anten laboratuvar çalışmaları için gerçekleştirilmiştir. Şekil 5.43’te gerçekleştirilmiş antenin dairesel yama tarafı, Şekil 5.44’te antenin yapay manyetik iletken yüzeyli toprak yüzeyi yer almaktadır.

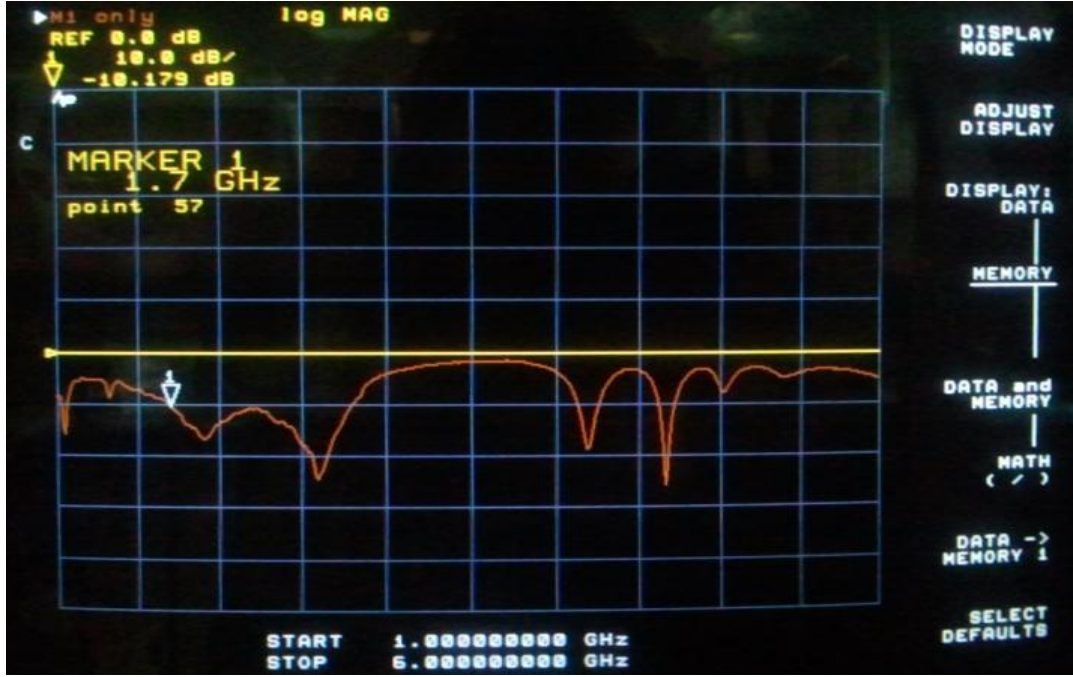


Şekil 5.43 : Gerçeklenmiş antenin dairesel yama tarafı.



Şekil 5.44 : Gerçeklenmiş antenin AMC toprak yüzeyi.

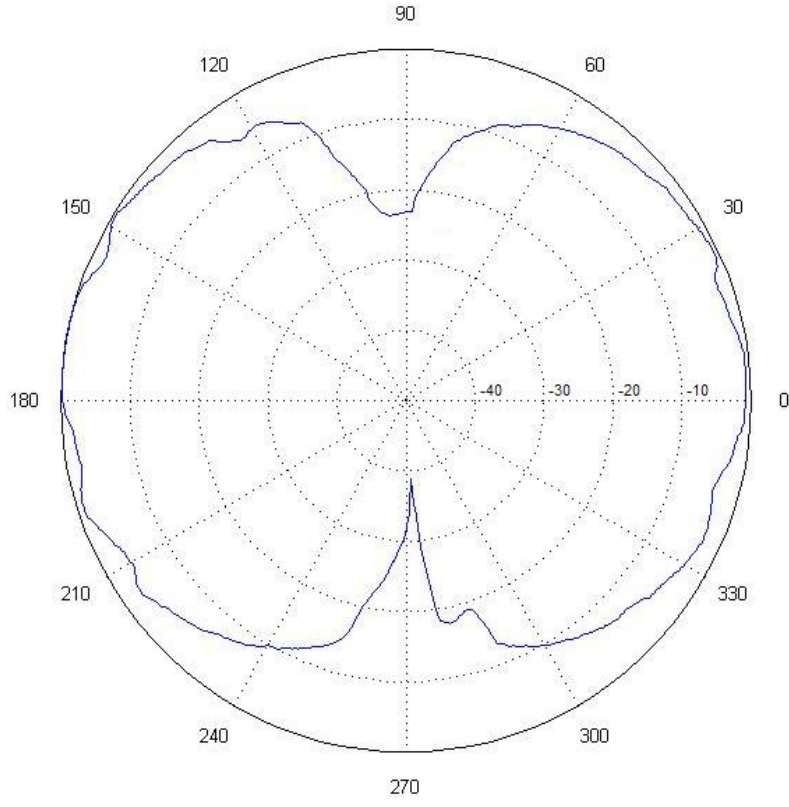
Daha sonra laboratuvar ortamında, gerçekleştirilmiş antenin S_{11} parametresi ve ışım paterni ölçümleri yapılmıştır. Yapılan ölçümlerde S_{11} parametresi Şekil 5.45'te görüldüğü gibi gözlenmiştir.



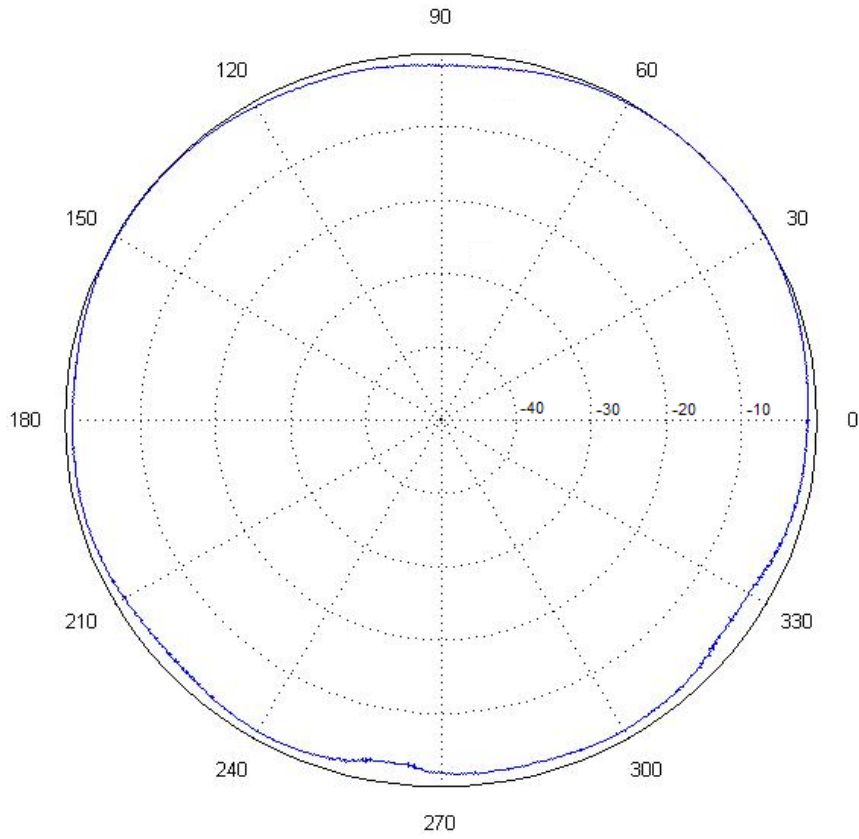
Şekil 5.45 : Gerçeklenmiş antenin S_{11} grafiği.

Elde edilen grafik incelendiğinde gerçekleştirilmiş anten 1700-2800 MHz aralığında ışım yapmaktadır ve istenilen haberleşme teknolojilerini desteklemektedir. Tasarım sürecinde elde edilen S_{11} simülasyon sonuçları ile S_{11} ölçüm sonuçları arasındaki farkın nedenleri olarak, tasarımda kullanılan paket programın hata payı ve anten üretim aşamasında oluşan hatalar olarak açıklayabiliriz.

Şekil 5.46'da 2050 MHz için E-Düzlemi ışım diyagramı, Şekil 5.47'de 2050 MHz için H-Düzlemi ışım diyagramı ölçümleri yer almaktadır.

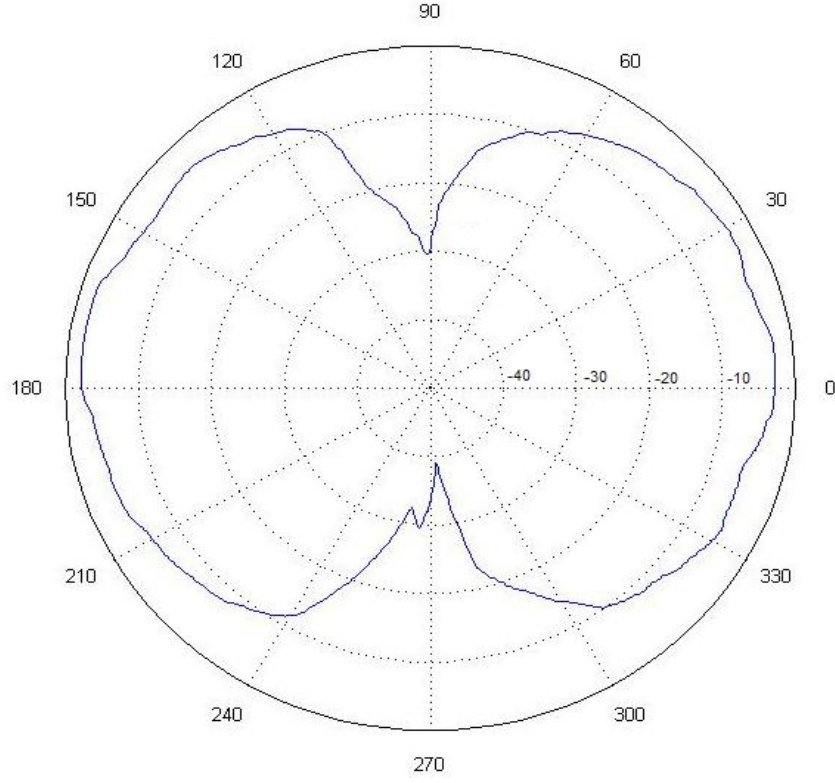


Şekil 5.46 : 2050 MHz için E-Düzlemi ışınma diyagramı ölçümü.

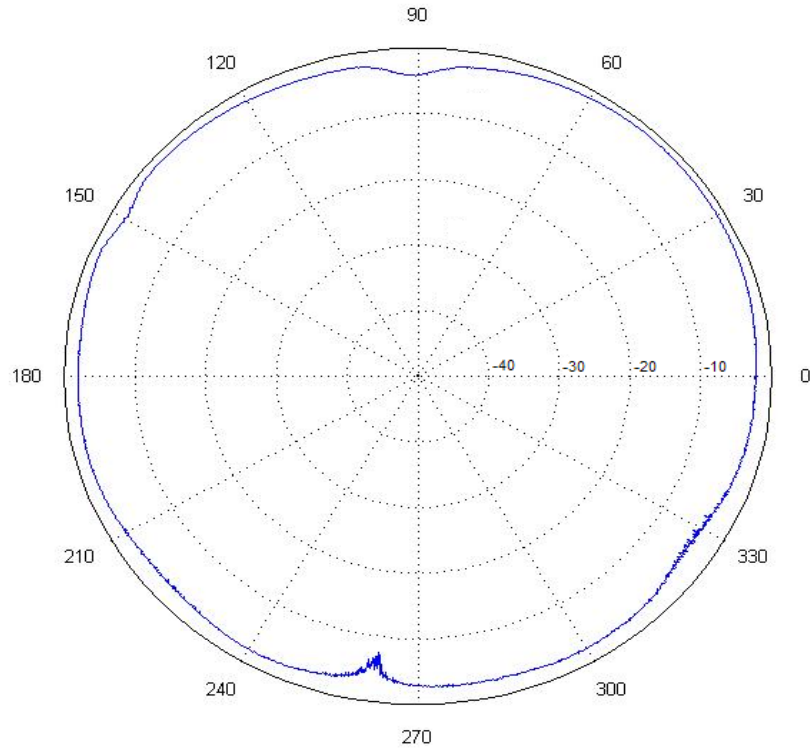


Şekil 5.47 : 2050 MHz için H-Düzlemi ışınma diyagramı ölçümü.

Şekil 5.48’de 2450 MHz için E-Düzlemi ışın diyagramı, Şekil 5.49’da 2450 MHz için H-Düzlemi ışın diyagramı ölçümleri yer almaktadır.



Şekil 5.48 : 2450 MHz için E-Düzlemi ışın diyagramı ölçümü.



Şekil 5.49 : 2450 MHz için H-Düzlemi ışın diyagramı ölçümü.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada GSM 1800, UMTS ve ISM 2.4 teknolojilerini aynı anda destekleyen, yapay manyetik iletken yapısından oluşan toprak yüzeyine sahip geniş bantlı yeni mikroşerit anten tasarımı yapılmıştır. Dairesel monopol mikroşerit antenlerin bilinen toprak yüzeyi yerine yapay manyetik iletken toprak yüzeyi kullanmak, yapay manyetik iletken yapıların anten tasarımındaki olumlu etkileri (anten boyutları küçültme, çapraz polarizasyon ve yüzey dalga etkisini azaltma, bant genişliği ve kazancı artırma) elde edilmeye çalışılmıştır. HFSS paket programı kullanılarak yapılan anten tasarım çalışmalarında yapay manyetik iletken toprak yüzeyinin ışıma frekansını düşük frekanslara çektiği görülmüştür. Bu özelliği kullanarak, geleneksel dairesele monopol antenlerin düşük frekanslarda ışıma yapabilmesi için dairesele yamanın çapının artması ve bunun sonucunda antenin boyutlarının artması problemi giderilmiş ve daha küçük boyutlarda ve istenilen frekans aralığında çalışan anten tasarımı yapılmıştır. Elde edilen antenin boyutları, geleneksel dairesele monopol antene göre %18 daha küçüktür. Ayrıca yapay manyetik iletken toprak yüzeyine sahip dairesele monopol antenin, geleneksel dairesele monopol antene göre istenilen frekans aralığında daha iyi her yönlü ışıma diyagramına sahip olduğu görülmüştür. Son olarak elde edilen anten 50mm x 50mm x 1.6mm boyutlarında ve 1700-2800 MHz aralığında ışıma yapmaktadır. Elde edilen sonuçlara göre tasarlanan anten, istediğimiz haberleşme teknolojilerini destekleyebilecek bant genişliğine ve mobil cihazlarda kullanılabilecek uygun boyutlara sahiptir. Anten tasarımı sırasında elde edilen simülasyon sonuçları ile laboratuvar ortamında yapılan ölçüm sonuçları arasındaki farkın nedenlerini, simülasyon için kullanılan paket programın hata payı ve antenin üretimi sırasındaki etkenler olarak ifade edebiliriz.

HFSS paket programı ile yapılan anten tasarım çalışmaları sırasında, manyetik iletken toprak yüzeyinin boyutları değiştirildiğinde, ışıma frekansları ve bant genişliği değişmektedir. Elde edilen bu özellik ile daha dar bant genişliği gerektiren uygulamalarda (örneğin sadece UMTS veya ISM 2.4) daha küçük boyutlarda ve daha iyi ışıma grafiğine sahip anten tasarımları yapılabildiği görülmüştür. İleriki

Çalışmalarda farklı Őekillerdeki yapay manyetik iletken yapılar, farklı anten yapılarında kullanılarak daha iyi özelliklere sahip anten tasarımları yapılabilir.

KAYNAKLAR

- [1] **Balanis, C. A.**, 2005: Antenna Theory: Analysis and Design, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey.
- [2] **Kraus, J. D.**, 1950: Electrical and Electronic Engineering Series: Antennas, McGraw-Hill Inc., New York.
- [3] **Johnson, R. C.**, 1993: Antenna Engineering Handbook, McGraw-Hill, Inc., New York.
- [4] **Saunders, S. R., Zavala A. A.**, 2007: Antennas and Propagation for Wireless Communication Systems, John Wiley & Sons Ltd., New York.
- [5] **Sevgi, L.**, 2005: EMC veAntenler, Endüstri & Otomasyon, 101, s.71-79.
- [6] **Deschamps, G. A.**, 1953: Microstrip Microwave Antennas, Proc. 3rd USAF Symposium on Antennas, Illinois, USA.
- [7] **Baissinnot, G., Gutton, H.**, 1955: Flat Aerial for Ultra High Frequencies, French Patent, 70313.
- [8] **Munson, R. L.**, 1974: Conformal Microstrip Antennas and Microstrip Phased Arrays, IEEE Trans. Antennas Propogot., AP-22, s. 74-78.
- [9] **Howell, Q. E.**, 1975: Microstrip Antennas, IEEE Trans. Antennas Propagat., s. 23, 90-93.
- [10] **Bahl, I., Bhartia, P., Garg, R., Ittipiboon, A.**, 2001: Microstrip Antenna Design Handbook, Artech House, Boston-London, s. 1,2,8,340.
- [11] **James J. R., Hall P. S., Wood C.**, 1981: Microstrip Antenna Theory and Design, IEE and Peter Peregrinus, London and New York.
- [12] **Proc. Workshop on Printed Circuit Antenna Technology**, 1979: Paper 31, New Mexico State University, Las Cruces, s. 480.
- [13] **Carver K. R., Mink J.W.**, 1981: Microstrip Antenna Technology, IEEE Trans. On Antennas and Propagation, Vol. AP-29, No. 1, s. 24.
- [14] **Hall P. S., James J. R.**, 1989: Handbook of Microstrip Antennas, Volume 1, Peter Peregrinus Ltd, London.
- [15] **Milligan, T.A.**, 2005: Modern Antenna Design, John Wiley & Sons Publication, New Jersey.
- [16] **Garg, R., Reddy, V. S.**, 2003: Edge Feeding of Microstrip Ring Antennas, IEEE Trans. Antennas Propagat., 51(8), s. 1941-1947.
- [17] **Chen, A. C., Lu, Z. H., Tang, C. L.**, 2005: A Loop Antenna for WLAN Application”, IEEE Asia-Pacific Conf. Proc., s. 2, Taipei, Taiwan.
- [18] **Kohno, R., Yazdanboost, K. Y.**, 2005: Ultra Wideband L-Loop Antenna”, IEEE Int. Conf., s. 201-205, Zurich, Switzerland.

- [19] **Kuo, Y. L., Wong, K. L.**, 2003: Printed Double-T Monopole Antenna for 2.4/5.2 GHz Dual-Band WLAN Operations, *IEEE Trans. Antennas Propag.*, 51, 9, s. 2187-2192.
- [20] **Itoh, T., Menzel, W.**, 1981: A Full Wave Analysis of Open Microstrip Structures, *IEEE Trans. Antennas Propag.*, AP-29, s. 63-68.
- [21] **Sadiku N. O.**, 1992: Numerical Techniques in Electromagnetics, Second edition, CRC Press, s. 135-562, New York.
- [22] **Lo, Y. T., Richards, W. F., Solomon, D.**, 1979: Teory and Experiments on Microstrip Antennas, *IEEE Trans. Antennas Propag.*, 27(3), s. 137-145.
- [23] **Yee K. S.**, 1966: Numerical Solution of Initial Boundary Value Problems Involving Maxwell's Equations in Isotropic Media, *IEEE Trans. Antennas Propag.*, AP-14, s. 302-307.
- [24] **Uğurlu, E.**, 2007: İki İrisli Paralel Levhalı Dalga Kılavuzunun Sonlu Elemanlar Metodu Kullanılarak İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gebze İleri Teknoloji Enstitüsü, Gebze, s. 1-20.
- [25] **Dayak E.**, 2007: 3. Nesil Gezgin Telefonlar Üzerinde Multimedya Destekli Güvenlik Artırım Tekniklerinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Sütçü İmam Üniversitesi, Kahramanmaraş, s. 1-11.
- [26] **Candan, M.M.**, 2002: Üçüncü Nesil Mobil Haberleşme Sistemleri İçin Türkiye'de Uygulanacak Frekans Bandı, Lisans, Servisler, Uygulamalar Ve Ülkemizdeki Durumu, Uzmanlık Tezi, Telekomünikasyon Kurumu.
- [27] **MEGEP**, 2008: Kablosuz Ortam, Mesleki Eğitim ve Öğretim Sisteminin Güçlendirilmesi Projesi, Ankara, s. 3-17.
- [28] **Walser R. M.**, 2001: Electromagnetic Metamaterials. *Proc. SPIE*, vol. 4467, s. 1-15.
- [29] **Lapine M.**, 2007: The Age of Metamaterials. *Metamaterials*, vol. 1, s. 1.
- [30] **Gonzalez J. M. F.**, 2008: Application of Metamaterial Structures in Design, Analysis and Prototyping of Planar Antennas, Universidad Politecnica De Madrid, Doktora Tezi, s. 15-40.
- [31] **Munk B. A.**, 2000: Frequency Selective Surfaces Theory and Design, John Wiley and Sons and IEEE Press, New York.
- [32] **Clarricoats P. J. B., Saha P. K.**, 1971: Propagation and Radiation Behaviour of Corrugated Feed, *Proc. Inst. Elec. Eng.*, vol. 118, s. 1167_1176.
- [33] **Ansoft HFSS V9 User's Guide**, 2003: HFSS, Ansoft Corporation, Pittsburgh.
- [34] **HFSS Software for Next-Generation Design**, 2003: HFSS, Ansoft Corporation, Pittsburgh.

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Mustafa ÇEKİNGEN

Doğum Yeri ve Tarihi: Bartın, 01.04.1987

**Adres: İTÜ Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü 34469
Maslak/İstanbul**

Lisans Üniversite: Yıldız Teknik Üniversitesi