

**T.C.  
İSTANBUL AYDIN ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**



**MOBİL HABERLEŞMEDEKİ MİKROŞERİT ANTEN  
TASARIMI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
İlkin İBRAHİMLİ**

**Elektrik-Elektronik Mühendisliği  
Ana Bilim Dalı**

**Elektrik-Elektronik Programı**

**HAZİRAN 2017**



**T.C.  
İSTANBUL AYDIN ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**



**MOBİL HABERLEŞMEDEKİ MİKROŞERİT ANTEN  
TASARIMI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Öğrenci: İlkin İBRAHİMLİ  
(Y1413.100006)**

**Elektrik-Elektronik Mühendisliği  
Ana Bilim Dalı**

**Elektrik-Elektronik Programı**

**Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Saeid KARAMZADEH**

**HAZİRAN 2017**





T.C.  
İSTANBUL AYDIN ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLER ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜ

**Yüksek Lisans Tez Onay Belgesi**

Enstitümüz İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı İnşaat Mühendisliği Tezli Yüksek Lisans Programı Y1413.100006 numaralı öğrencisi **İlkin İBRAHİMLİ**'nin "MOBİL HABERLEŞME İÇİN MİKROŞERİT ANTEN TASARIMI" adlı tez çalışması Enstitümüz Yönetim Kurulunun 12.06.2017 tarih ve 2017/13 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından *o.j.b.i.j.* ile Tezli Yüksek Lisans tezi olarak *kor.b.v.l.* edilmiştir.

Öğretim Üyesi Adı Soyadı

İmzası

Tez Savunma Tarihi : 21/06/2017

1) Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. SAEİD KARAMZADEH

2) Jüri Üyesi : Yrd. Doç. Dr. Oğuz ATA

3) Jüri Üyesi : Prof. Dr. Hasan Hüseyin BALIK

*[Handwritten signatures of Saeid Karamzadeh, Oğuz Ata, and Hasan Hüseyin Balık]*

Not: Öğrencinin Tez savunmasında **Başarılı** olması halinde bu form **imzalanacaktır**. Aksi halde geçersizdir.



## **YEMİN METNİ**

Yüksek Lisans tezi olarak sunduğum “MOBİL HABERLEŞMEDEKİ MİKROŞERİT ANTEN TASARIMI” adlı çalışmanın, tezin proje safhasından sonuçlanmasına kadarki bütün süreçlerde bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yardıma başvurulmaksızın yazıldığını ve yararlandığım eserlerin Bibliyografya’da gösterilenlerden oluştuğunu, bunlara atıf yapılarak yararlanılmış olduğunu belirtir ve onurumla beyan ederim. (22/06/2017)

**İlkin İbrahimli /**





*Aileme ve değerli hocama,*



## ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasında mobil haberleşme metotlarına bakılmıştır. Haberleşme için kullanılan antenler, onların parametreleri, kullanım alanları açıklanmıştır. GPS, WLAN ve WIMAX teknolojilerinde çalışan antenler incelenerek yeni yapılan çok bantlı anten önerilmiştir. Tez çalışmasının uygulama kısmında yüksek frekanslı yapı simulatörü programı kullanılarak antenin simulasyonu yapıldı. Oluşturduğumuz simulasyondan sonuçlar elde edildi.

Tüm eğitim hayatım boyunca desteklerini eksik etmeyen aileme ve yüksek lisans eğitimim süresince, çalışmalarımın her aşamasında bilgi ve tecrübelerini benimle paylaşan, desteğini esirgemeyen danışmanım, sayın, Yrd. Doç. Dr. Saeid KARAMZADEH'ye teşekkür ederim.

Haziran 2017

İlkin İbrahimli



## İÇİNDEKİLER

### Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER .....	ix
KISALTMALAR .....	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xv
ÖZET.....	xvii
ABSTRACT .....	xix
<b>1. GİRİŞ .....</b>	<b>1</b>
<b>2. MOBİL HABERLEŞME SİSTEMLERİNİN TARİHİ.....</b>	<b>3</b>
2.1 WPAN (Kablosuz Kişisel Alan Ağları) .....	4
2.2 WLAN (Kablosuz Yerel Alan Ağları) .....	5
2.3 WMAN (Kablosuz Metropolitan Alan Ağları) .....	5
2.4 WWAN (Kablosuz Geniş Alan Ağları).....	6
2.4.1 Birinci nesil (1G) .....	6
2.4.2 İkinci nesil (2G).....	7
2.4.2.1 GSM-R .....	7
2.4.3 2.5G.....	9
2.4.3.1 GPRS (Genel paket radyo servisleri) .....	9
2.4.3.2 EDGE (GSM için geliştirilmiş veri hızı) .....	10
2.4.4 Üçüncü nesil (3G).....	11
2.4.5 LTE (Uzun süreli evrim).....	13
2.4.5.1 Dördüncü nesil (4G Gelişmiş İMT) .....	13
<b>3. ANTENLER .....</b>	<b>15</b>
3.1 Tanım.....	15
3.2 Çeşitleri .....	17
3.2.1 Tel anten .....	17
3.2.2 Açıklık anten.....	18
3.2.3 Mikroşerit anten.....	18
3.2.4 Dizi anten.....	19
3.2.5 Yansıtıcı anten .....	20
3.2.6 Lens anten .....	21
3.3 Parametreleri .....	22
3.3.1 Işıma örüntüsü.....	23
3.3.1.1 Işıma örüntüsü kulakları.....	25
3.3.1.2 Alan bölgeleri.....	26
3.3.1.3 Radyan ve steradyan .....	28
3.3.2 Işıma güç yoğunluğu.....	29
3.3.3 Işıma şiddeti .....	30
3.3.4 Hüzme genişliği .....	30
3.3.5 Yönlülük .....	31

3.3.5.1 Yönlü örüntüler .....	32
3.3.5.2 Yönsüz örüntüler .....	33
3.3.6 Anten verimliliği .....	34
3.3.7 Kazanç .....	36
3.3.8 Bant genişliği .....	36
3.3.9 Kutuplanma .....	37
3.3.9.1 Doğrusal, dairesel ve eliptik kutuplanma .....	38
3.3.10 Giriş empedansı .....	39
3.3.11 Diziler .....	41
<b>4. MİKROŞERİT ANTENLER .....</b>	<b>43</b>
4.1 Mikroşerit Antenlerin Genel Yapısı .....	43
4.2 Mikroşerit Antenlerin Avantajları ve Dezavantajları .....	44
4.3 Mikroşerit Anten Çeşitleri .....	44
4.3.1 Mikroşerit yama antenler .....	45
4.3.2 Mikroşerit yarık antenler .....	45
4.3.3 Mikroşerit dipol antenler .....	46
4.4 Mikroşerit Antenlerin Besleme Çeşitleri .....	47
4.4.1 Mikroşerit besleme .....	47
4.4.2 Koaksiyel besleme .....	47
4.4.3 Açıklık kuplajlı besleme .....	47
4.5 Mikroşerit Antenlerin Önemli Parametreleri .....	48
4.5.1 Geri dönüş kaybı .....	48
4.5.2 Polarizasyon .....	48
4.5.3 Verimlilik .....	49
4.5.4 Yönlülük ve kazanç .....	50
4.5.5 Bant genişliği .....	50
<b>5. MOBİL HABERLEŞMEDE KULLANILAN ANTENLER .....</b>	<b>51</b>
5.1 Kablosuz Mobil Haberleşme İçin Anten Sistemleri .....	51
5.2 Mobil Antenlerin Gereksinimleri Ve Zorlukları .....	52
5.3 Mikroşerit Antenler .....	52
5.3.1 Uygulama çeşitleri .....	53
<b>6. MOBİL HABERLEŞMEDEKİ MİKROŞERİT ANTEN TASARIMI .....</b>	<b>55</b>
6.1 Anten Tasarımı .....	55
6.2 Adımlar .....	56
6.2.1 Birinci adım .....	56
6.2.2 İkinci adım .....	58
6.2.3 Üçüncü adım .....	60
6.2.4 Dördüncü adım .....	62
<b>7. SONUÇ VE ÖNERİLER .....</b>	<b>67</b>
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>69</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>73</b>

## KISALTMALAR

<b>AMPS</b>	: Advanced Mobile Phone System
<b>CDMA</b>	: Code Division Multiple Access
<b>EDGE</b>	: Enhanced Data Rates for Global Evolution
<b>ETSI</b>	: European Telecommunications Standarts Institute
<b>FDMA</b>	: Frequency Division Multiple Access
<b>FNBW</b>	: First Null Beam Width
<b>GPS</b>	: Global Positioning System
<b>GPRS</b>	: General Packet Radio Service
<b>GSM</b>	: Global System for Mobile Communications
<b>HPBW</b>	: Half Power Beam Width
<b>HSCSD</b>	: High Speed Circuit Switched Data
<b>HSPDA</b>	: High Speed Downlink Packet Access
<b>IMT 2000</b>	: International Mobile Telecommunications
<b>ISO</b>	: International Organization for Standardization
<b>IEC</b>	: International Electrotechnical Commision
<b>ISDN</b>	: Intergrated Services Digital Network
<b>IP</b>	: Internet Protocol
<b>IEEE</b>	: Institute of Electrical and Electronics Engineers
<b>ITU</b>	: International Telecommunication Union
<b>LTE</b>	: Long Term Evolution
<b>MIC</b>	: Microwawe Integrated Circuits
<b>NMT</b>	: Nordic Mobile Telephone
<b>NFS</b>	: Network File System
<b>OFDM</b>	: Orthogonal Frequency-Division Multiplexing
<b>PDA</b>	: Personal Digital Asistant
<b>PDC</b>	: Personal Digital Cellular
<b>PIFA</b>	: Planar Inverted-F Antenna
<b>RFID</b>	: Radio Frequency Identification
<b>SAR</b>	: Specific Absorption Rate
<b>TDMA</b>	: Time-Division Multiple Access
<b>TACS</b>	: Total Access Communication System
<b>UMTS</b>	: Universal Mobile Telecommunications System
<b>VSWR</b>	: Voltage Standing Wave Ratio
<b>WAP</b>	: Wireless Application Protocol
<b>WLAN</b>	: Wireless Local Ares Network
<b>WMAN</b>	: Wireless Metropolitan Area Network
<b>WIMAX</b>	: Worlwide Interoperability for Microwawe Access
<b>WWAN</b>	: Wireless Wide Area Network
<b>WPAN</b>	: Wireless Personal Area Network
<b>WIFI</b>	: Wireless Fidelity





## ÇİZELGE LİSTESİ

### Sayfa

<b>Çizelge 2.1</b> : Birinci Nesil şebekeleri ve kullanıldığı ülkeler .....	6
<b>Çizelge 2.2</b> : GSM frekans bantları .....	8
<b>Çizelge 2.3</b> : LTE spektrumu & ekosistemi – dünya genelinde LTE spektrumunun karşılaştırılması .....	14
<b>Çizelge 5.1</b> : Mikroşerit anten uygulamaları .....	54
<b>Çizelge 6.1</b> : Farklı boyutlardaki anten karşılaştırılması .....	66



## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

Şekil 2.1 : Mobil haberleşme sistemlerinin gelişimi .....	3
Şekil 2.2 : Kablosuz erişim teknolojileri .....	4
Şekil 2.3 : GSM sistem mimarisi .....	8
Şekil 2.4 : GSM sistemleri üzerinde GPRS altyapısı .....	10
Şekil 2.5 : ITU tarafından belirlenen İMT-2000 karasal telsiz arayüzleri.....	12
Şekil 2.6 : 3G (UMTS) genel yapısı .....	12
Şekil 3.1 : Antenin geçiş yapısı .....	16
Şekil 3.2 : Anten sisteminde iletim hattının Thevenin eşdeğeri .....	16
Şekil 3.3 : Farklı tel anten çeşitleri .....	17
Şekil 3.4 : (a) piramit huni, (b) konik huni ve (c) dikdörtken dalga klavuzu .....	18
Şekil 3.5 : Mikroşerit anten .....	19
Şekil 3.6 : (a) Yağ-İda dizi, (b) açıklık dizi, (c) mikroşerit yama dizi ve (d) yarıklı dalga klavuzu tipli dizi antenler .....	20
Şekil 3.7 : (a) ön beslemeli parabolik yansıtıcı, (b) Cassegrain beslemeli parabolik yansıtıcı ve (c) köçe beslemeli yansıtıcı dizi antenler.....	21
Şekil 3.8 : Lens anten yapısı .....	22
Şekil 3.9 : Anten analizi için koordinat sistemi .....	24
Şekil 3.10 : $d = 0.25\lambda$ aralıklı, 10 elemanlı bir doğrusal anten dizisinin iki boyutlu (a) normalize alan örüntüsü, (b) güç örüntüsü ve (c) güç örüntüsü (dB olarak).....	25
Şekil 3.11 : (a) Bir anten örüntüsünün ışınma kulakları ve hüzmeye genişlikleri, (b) Güç örüntüsünün, ilgili kulakların ve hüzmeye genişliklerinin doğrusal çizimi.....	26
Şekil 3.12 : Antenin elektrik ve manyetik alan düzlemi.....	27
Şekil 3.13 : Reaktif yakın alan bölgesinden uzak alan bölgesine doğru anten genlik örüntü şeklinin tipik değişimleri .....	28
Şekil 3.14 : (a) radyan ve (b) steradyan tanımları .....	29
Şekil 3.15 : $U(\theta) = \cos^2(\theta)\cos^2(3\theta)$ 'nın üç ve iki boyutlu güç örüntüleri.....	31
Şekil 3.16 : Simetrik ve simetrik olmayan ışınma örüntüleri için hüzmeye katı açıları .	33
Şekil 3.17 : (a) ikincil kulaklar varken ve (b) ikincil kulaklar yokken yönsüz örüntüler .....	34
Şekil 3.18 : Antenin referans terminalleri ve kayıpları.....	35
Şekil 3.19 : Antenin farklı genliklerdeki bant genişlikleri .....	37
Şekil 3.20 : Bir düzlem elektromanyetik dalga dönmesi ve zamanın bir fonksiyonu olarak $z = 0$ 'daki kutuplanma elipsi .....	38
Şekil 3.21 : Verici anten ve eşdeğer devreleri .....	41
Şekil 3.22 : Genel anten dizileri .....	42
Şekil 4.1 : Mikroşerit anten koordinat sistemi.....	43
Şekil 4.2 : Çeşitli mikroşerit yama antenler.....	45
Şekil 4.3 : Mikroşerit yama anten geometrileri .....	46
Şekil 4.4 : Mikroşerit dipol anten .....	46

<b>Şekil 4.5</b> : Mikroşerit antenler için farklı besleme çeşitleri.....	48
<b>Şekil 4.6</b> : Dikdörtken mikroşerit yama antenin taban malzemesine karşı verim ve bant genişliği .....	49
<b>Şekil 5.1</b> : Mikroşerit yama antenler.....	53
<b>Şekil 6.1</b> : Yeni yapılan anten.....	56
<b>Şekil 6.2</b> : İlk prototip .....	57
<b>Şekil 6.3</b> : İlk prototipde elde edilen S11.....	57
<b>Şekil 6.4</b> : İlk prototipde elde edilen 3-boyutlu radyasyon deseni.....	58
<b>Şekil 6.5</b> : İkinci prototip .....	59
<b>Şekil 6.6</b> : İkinci prototipde elde edilen S11 .....	59
<b>Şekil 6.7</b> : İkinci prototipde elde edilen 3-boyutlu radyasyon deseni.....	60
<b>Şekil 6.8</b> : Üçüncü prototip .....	61
<b>Şekil 6.9</b> : Üçüncü prototipde elde edilen S11.....	61
<b>Şekil 6.10</b> : Üçüncü prototipde elde edilen 3-boyutlu radyasyon deseni.....	62
<b>Şekil 6.11</b> : Dördüncü prototip .....	63
<b>Şekil 6.12</b> : Dördüncü prototipde elde edilen S11 .....	63
<b>Şekil 6.13</b> : Dördüncü prototipde elde edilen VSWR.....	64
<b>Şekil 6.14</b> : Dördüncü prototipde elde edilen 3-boyutlu radyasyon desenler. (a) 1.5 GHz , (b) 2.4 GHz, (c) 5.5 GHz.....	64
<b>Şekil 6.15</b> : Dördüncü prototipde elde edilen 2-boyutlu radyasyon desenler. (a) 1.5 GHz , (b) 2.4 GHz, (c) 5.5 GHz.....	65
<b>Şekil 6.16</b> : Antenlerin (1-4) S11 karşılaştırılması .....	65

## MOBİL HABERLEŞMEDEKİ MİKROŞERİT ANTEN TASARIMI

### ÖZET

Genel olarak haberleşme bilginin bir noktadan diğer bir noktaya aktarımı olarak bilinir. Mobil haberleşme sistemlerinde bilgi aktarımı, veriyi elektromanyetik bir dalgaya dönüştürerek elde edilir. Elde edilmiş bu dalga taşıyıcı rolünü oynar. Modüle edilmiş veya elektromanyetik bir dalgaya dönüştürülmüş taşıyıcı, varış noktasına ulaştığında sinyal demodüle edilerek yeniden veriye ulaşılır. Bu erişim kablolu ya da kablosuz, yani antenler ile, iki farklı şekilde yapılır.

Günümüzde haberleşme bağlantılarının en önemli bileşenlerini antenler oluşturmaktadırlar. İlk anten 1877 yılında Hamburg’lu bilim adamı Profesör Heinrich Rudolf Hertz tarafından icat edildi. Anten teorisindeki gelişmeler bu tarihten itibaren gelişmeye devam etti. Bu alandaki ilerlemeler günümüzde bile devam etmektedir. Antenler elektronik iletişim sistemlerinin vazgeçilmez bir unsuru olduğu için, elektronik mühendislerinin bu alanda iyi bir bilgi sahibi olmaları zorunludur.

WIFI ve WIMAX gibi yeni nesil teknolojiler mobil cihazlarda kullanılması için, mikroşerit antenleri tercih etmekte. Mikroşerit antenler sahip oldukları geometri, hafiflik, üretim zamanındaki ucuzluk ve kolay monte edilebilirliği nedeniyle en popüler anten tiplerindedir. Tüm bu sistem, bütün yanal yüzeyi açık olan bir rezonatördür. Mikroşerit antenlerin anten yapıları içerisinde önemli bir gelişme ve yenilik sağlamanın en temel sebebi daha çok elektriksel olmayan özelliklerinden kaynaklanmaktadır. Mikroşerit antenler düşük bir ağırlığa ve küçük ölçütlere sahiptir. Mikrodalga tümleşik devrelerine (MIC) rahatlıkla uyum sağlayabilirler. Devre elemanlarıyla aynı dielektrik katmanı paylaşabilmeleri ve küçük olmalarından dolayı kolayca entegre devre yapılarına uyum sağlayabilir ve cihazların boyutlarında büyütülme gibi zorunluluk yaşatmazlar. Eğer fabrikasyon giderleri ve malzeme engelleyici değilse sistem çok ucuza mal edilebilir. Elektriksel performansına bakıldığında temel mikroşerit antenler tel veya açıklık gibi geleneksel anten sistemleriyle karşılaştırıldığında, yüksek besleme devre kayıpları, dar band genişliği, düşük çapraz polarizasyon ve düşük güç kontrol kapasitesi gibi dezavantajlara sahiptirler. Bunlar araştırmalardaki performansı ve uygulama alanlarını kısıtlar. Yakın zamanda yapılmakta olan çalışmalar analiz aşamasında dikdörtgen ve dairesel geometriler için kullanılan transmisyon oyuk modeli, hat modeli, tam dalga analizi gibi gelişmekte olan uygulamalar üzerine odaklanmıştır.

Çalışmanın amacı olarak, mobil haberleşme için uygun görülen mikroşerit antenin özelliklerine bakılmış, küresel konumlama sistemi (GPS), kablosuz yerel alan ağları (WLAN) ve kablosuz geniş alan ağları (WIMAX) teknolojilerinde çalışabilecek çok bantlı anten tasarlanmıştır.

**Anahtar kelimeler:** anten, mikroşerit, haberleşme, GPS, WLAN, WIMAX, çok bantlı



## MICROSTRIP ANTENNA DESIGN IN MOBILE COMMUNICATION

### ABSTRACT

In general, communication is known as the transfer of information from one point to another. Information transfer in mobile communication systems is achieved by converting the data into an electromagnetic wave. This acquired wave plays the carrier role. When the carrier, which has been converted to a modulated or electromagnetic wave, reaches the destination, the signal is demodulated and reached again. This access is made in two different ways, with wired or wireless, with antennas.

Today, the most important components of communication links are antennas. The first antenna was invented in 1877 by the Hamburg scientist Professor Heinrich Rudolf Hertz. The developments in antenna theory have continued to evolve since this date. Progress in this area continues even today. Since antennas are an indispensable element of electronic communication systems, it is imperative that electronic engineers have good knowledge of this field.

New generation technologies such as WIFI and WIMAX will prefer to use microstrip antennas for use on mobile devices. Microstrip antennas are the most popular antenna types due to their geometry, light weight, low cost of production time and easy mounting. This whole system is a resonator whose entire lateral surface is open. Microstrip antennas are the main reason for significant improvement and innovation within antenna structures due to their non-electrical properties. Microstrip antennas have a low weight and small dimensions. They can easily adapt to microwave integrated circuits (MIC). Because they are small and they can share the same dielectric layer with the circuit elements ve they can easily adapt to the integrated circuit construction and do not have to be enlarged in size. If the fabrication costs and materials are not obstructive, the system can be very cheap. In terms of electrical performance, basic microstrip antennas suffer from disadvantages such as high feed-in circuit losses, narrow bandwidth, low cross-polarization and low power control capability when compared to conventional antenna systems such as wires or openings. These limit the performance and application areas of the research. Moreover, it is difficult to perform analysis of microstrip antennas due to the presence of the dielectric bottom layer supporting the conductors. Recent studies have focused on developing applications such as the transmission cavity model used for rectangular and circular geometry analysis, line model, full wave analysis.

The aim of the study is to design a multiband antenna which can be operated in global positioning system (GPS), wireless local area network (WLAN) and wireless wide area network (WIMAX) technologies and has been looked at as a suitable microstrip antenna for mobile communication

**Keywords:** antenna, microstrip, communication, GPS, WLAN, WIMAX, multiband





## 1. GİRİŞ

Genel olarak haberleşme bilginin bir noktadan diğer bir noktaya aktarımı olarak bilinir. Mobil haberleşme sistemlerinde bilgi aktarımı, veriyi elektromanyetik bir dalgaya dönüştürerek elde edilir. Elde edilmiş bu dalga taşıyıcı rolünü oynar. Modüle edilmiş veya elektromanyetik bir dalgaya dönüştürülmüş taşıyıcı, varış noktasına ulaştığında sinyal demodüle edilerek yeniden veriye ulaşılır. Bu erişim kablolu ya da kablosuz, yani antenler ile, iki farklı şekilde yapılır.

Günümüzde haberleşme bağlantılarının en önemli bileşenlerini antenler oluşturmaktadırlar. İlk anten 1877 yılında Hamburg'lu bilim adamı Profesör Heinrich Rudolf Hertz tarafından icat edildi (Rudolf, 1999, s. 29). Anten teorisindeki gelişmeler bu tarihten itibaren gelişmeye devam etti. Bu alandaki ilerlemeler günümüzde bile devam etmektedir. Antenler elektronik iletişim sistemlerinin vazgeçilmez bir unsuru olduğu için, elektronik mühendislerinin bu alanda iyi bir bilgi sahibi olmaları zorunludur.

WIFI ve WIMAX gibi yeni nesil teknolojiler mobil cihazlarda kullanılması için, mikroşerit antenleri tercih etmekte. Mikroşerit antenler sahip oldukları geometri, hafiflik, üretim zamanındaki ucuzluk ve kolay monte edilebilirliği nedeniyle en popüler anten tiplerindedir (Kai ve Kwai, 2011, s. 8). Tüm bu sistem, bütün yanal yüzeyi açık olan bir rezonatördür. Mikroşerit antenlerin, anten yapıları içinde önemli bir gelişme ve yenilik sağlamasının başlıca nedeni daha çok elektriksel olmayan özelliklerinden kaynaklanmaktadır. Mikroşerit antenler düşük bir profil ve ağırlığa sahiptir (Bahl ve Bhartia, 1982). Mikrodalga tümleşik devrelerine (MIC) rahatlıkla uyum sağlayabilir. Küçük olmalarından dolayı ve devre elemanlarıyla aynı dielektrik katmanı paylaşabilmeleri nedeniyle kolayca entegre devre yapılara uyum sağlayabilir ve taşınabilir cihazların boyutlarında büyütülme gibi zorunluluk yaşatmazlar. Eğer malzeme ve fabrikasyon giderleri engelleyici değilse sistem çok ucuza mal edilebilir. Elektriksel performansı, tel veya açıklık gibi geleneksel anten sistemleriyle karşılaştırıldığında ise temel mikroşerit antenler, dar band genişliği, yüksek besleme devre kayıpları, düşük çapraz polarizasyon ve düşük güç kontrol kapasitesi gibi

dezavantajlara sahiptirler (Munson, 1978, s. 74). Bunlar uygulama alanlarını ve araştırmalardaki performansı kısıtlar. Ayrıca iletkeni destekleyen dielektrik alt tabakanın varlığı nedeniyle, mikroşerit antenlerin analizini gerçeklemek zordur. Yakın zamanda yapılmakta olan çalışmalar analiz aşamasında dikdörtgen ve dairesel geometriler için kullanılan transmisyon hat modeli, oyuk modeli, tam dalga analizi gibi gelişmekte olan uygulamalar üzerine odaklanmıştır.

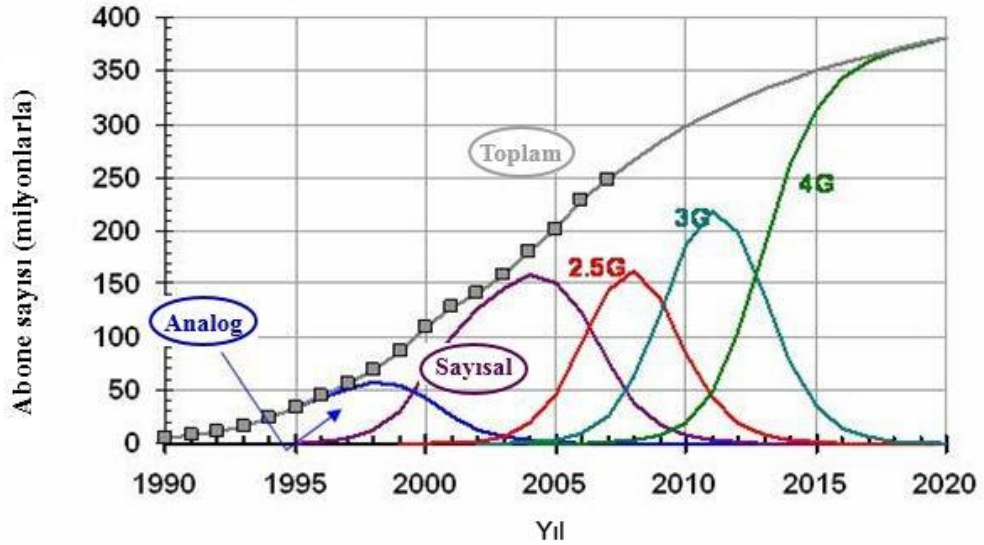
Çalışmamızın amacı mobil haberleşme teknolojileri için uygun olan çok bantlı mikroşerit anten tasarımı yapmaktır. Bu tez çalışması zamanı mobil haberleşme teknolojilerinin tarihine bakılmıştır. Geçmişten bugüne kullanılan yöntemler incelenmiştir. Verilerin taşınma yöntemlerindeki en önemli gelişimin haberleşmenin kablosuz, yani antenler ile yapılması göz önüne alınmıştır. Tez çalışmamız zamanı bu antenlerin çeşitlerini, ölçülerini, nasıl ve nerelerde kullanıldıklarını araştırdık. Mobil teknoloji cihazlarının ağırlık ve ölçülerinin giderek azaldığı, bunun tam aksine karakteristiklerinin arttığını müşahede ettik. Artan karakteristiklerden bahsedecek olursak küresel konumlama sistemi (GPS), kablosuz yerel alan ağırları (WLAN) ve kablosuz geniş alan (WIMAX) ağırlarını söyleyebiliriz. Bu gelişim cihazların tasarımında kullanılan elektronik parçalara da yansımıştır. Kullanılan parçaların oldukça küçük, dayanıklı, kolay kullanışlı, maliyeti düşük ve hafif olmaları gerekiyordu. Araştırmalar sonucu tez çalışmamız için en uygunu görülen mikroşerit antenler olduğunu bulduk (Srivastava v.d., 2013, s. 554–563).

Mikroşerit antenler oldukça küçük yapıları, hafifliği, kullanım kolaylığı sayesinde günümüzün mobil teknoloji cihazlarında kullanılmaya yararlı anten çeşitlerinden biridir. Fakat antenin avantajları yanında onun dezavantajları da mevcuttur. Bu dezavantajlar; dar bantgenişliği, düşük kazanç ve düşük polarizasyon olarak sıralanabilir.

Çalışmanın ilk bölümünde mobil haberleşme teknolojileri incelenecektir. Onların eşitleri, ölçüleri, nasıl kullanıldıklarına ve küresel konumlama sistemi, kablosuz yerel alan ağırları ve kablosuz geniş alan ağırları gibi protokollere bakılacaktır. İkinci bölümde antenler ve onların çeşitlerine yer verilecektir. Her çeşit antenin yapısı, radyasyon deseni, polarizasyonu, kazanç, avantaj ve dezavantajlarından bahsedilecektir. Sonuç olarak GPS, WLAN, WIMAX teknolojilerinde çalışabilecek çok bantlı anten tasarlanacaktır.

## 2. MOBİL HABERLEŞME SİSTEMLERİNİN TARİHİ

Mobil haberleşme sistemleri 1980. yılların başından itibaren gelişim göstermeye başlamıştır (Wesolowski, 2002, s. 387). Tüm bu sistemler FDMA teknolojisini kullanan analog sistemler idi. İlk olarak Birinci Nesil (1G), analog haberleşme sistemleri kullanılmaya başlanmış olup, 1990'lı yıllarda ise İkinci Nesil (2G), sayısal haberleşme sistemlerine geçilmiştir (Umeda, 2012, s. 737). Üçüncü Nesil (3G) genişband haberleşme sistemleri ise 2000 yıllarından gelişmiş ülkelerde devreye alınmış ve günümüzde yaklaşık 40 milyon kullanıcıya ulaşmıştır (Korhonen, 2003). Mobil haberleşme sistemlerinin gelişimi Şekil 2.1'de gösterilmiştir.

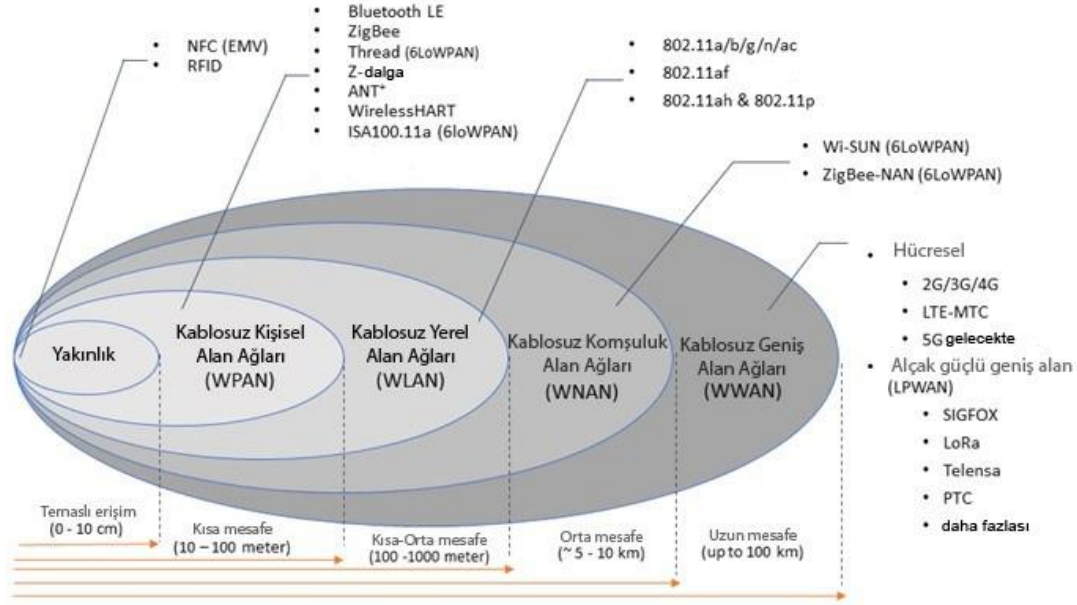


Şekil 2.1 Mobil haberleşme sistemlerinin gelişimi (Tachikawa, 2003)

Erişim, kablolu veya kablosuz teknolojiler kullanarak son kullanıcı ile devre anahtarlamalı veya paket anahtarlamalı sistemlerin bağlanmasını ve servislerin verilmesini sağlayan telekomünikasyon altyapısıdır.

Mevcut erişim teknolojileri Sabit ve Mobil olarak iki gruba ayrılmıştır.

Şekil 2.2'de kablosuz erişim teknolojilerinin türleri verilmiştir.



Şekil 2.2 Kablosuz erişim teknolojileri (Kuran ve Tugcu, 2007, s. 3013)

## 2.1 WPAN (Kablosuz Kişisel Alan Ağları)

Bu ağlarda kısa mesafede sınırlı sayıda aygıtlar ağa bağlanmaktadır. Bu kısa mesafe genelde 10 metreden azdır ve kişisel bağlantı hizmeti sunulması amaçlanmıştır. Bu bağlantılar arasında yazıcı, tarayıcı ve masa üstü bilgisayarlar gibi aygıtlar yer almaktadır. Bu kategoriye ait teknolojilere Bluetooth, RFID, NFS gibi erişim yöntemleri örnek verilebilir.

**Bluetooth** – kablo bağlantısını ortadan kaldıran kısa mesafe Radyo Frekansı (RF) teknolojisinin adıdır. Bu teknoloji 2.4 GHz frekans bandında çalışmakta olup, bu sistem üzerinden ses ve veri iletimi yapılabilmektedir. 721 Kbit/sn`ye kadar veri aktarabilen Bluetooth destekli cihazların etkin olduğu mesafe yaklaşık 10 metredir (Forshty, 2011, s. 139).

**RFID** - Radyo Frekansı ile Tanımlama Teknolojisi, radyo frekanslarını kullanarak nesnelere tanıma yöntemidir. RFID uygulamalarında en genel anlamıyla üç temel birim (tarayıcı anten, etiket ve okuyucu) mevcuttur. Alış-veriş merkezlerindeki ürünlerin kodlanması ve bilgilerinin yüklenmesi amacıyla kullanılmaktadır (Glover ve Bhatt, 2006, s. 88).

**NFC** – elektronik cihazlar arasında yakın mesafeli haberleşmeyi sağlar. ISO/IEC tarafından 8 Aralık 2003 tarihinden standart olarak kabul edilmiştir. NFC teknolojisi

cihazların birbirilerine dokunacak kadar (2-8 sm) yaklaştıkları zaman etkin olmakta ve cihazların birbirleri ile konuşabilmelerini sağlamaktadır (Saylor, 2012).

## **2.2 WLAN (Kablosuz Yerel Alan Ağları)**

Okul, bina, hastane gibi sınırlı bir coğrafi alanlarda bulunan çok sayıda kişisel bilgisayarın birbirleri ile irtibatlandırılmasını sağlayan ve iletişimin RF veya kızılötesi teknolojisi ile yapıldığı iletişim ortamıdır. WLAN sistemleri aşağıdaki çeşitli imkanları sağlamaktadır:

- kullanıcılarına kablosuz genişbant erişim,
- aynı ağa bağlı olan kullanıcılar arasında elektronik posta hizmeti,
- dosya paylaşımı.

Ayrıca cadde, sokak, parka benzeri açık alanlarda WLAN sistemleri başarılı bir şekilde kullanılmaktadır.

WIFI uygulamaları da bu kategoride ele alınabilecek uygulamalardır. WIFI, kablosuz Ethernet olarak da bilinen kablosuz veri haberleşmesi standardıdır. WIFI, dizüstü bilgisayarlar, kişisel elektronik ajandalar (PDA) ve diğer taşınabilir cihazların yakınlarındaki kablosuz erişim noktaları aracılığıyla yerel alan ağına bağlanabilmesini sağlar. WIFI, bugün birçok ev ve işyerinde kablo maliyeti ve bakımı gerektirmemesinden dolayı tercih edilmektedir.

## **2.3 WMAN (Kablosuz Metropolitan Alan Ağları)**

WMAN'lar genellikle geniş alana yayılmış yerleşim yerleri veya bir şehir büyüklüğündeki yerlerde kullanılan geniş alan şebekeleridir. WMAN'lar bu alanları birleştiren kablosuz bağlantılar kullanır. Örneğin bir üniversite kampüsünde bir kaç kilometrelik alanda bulunan WLAN'ları birleştiren bir WMAN olabilir ve bu WMAN aynı zamanda bir genişbant internet bağlantısı da tesis edebilir.

WMAN'ın en tipik uygulama örneği WIMAX'dır. Genişbant kablosuz haberleşme teknolojilerinde olduğu gibi WIMAX'ın da amacı, veriyi geniş kullanıcı kitlelerine her zaman, her yerden erişmesini sağlamaktır.

WIMAX, görüş hattında olan veya olmayan, noktadan noktaya, noktadan çok noktaya ve çok noktadan çok noktaya uygulamaları desteklemektedir.

WIMAX, 50 km'lik kapsama alanı içerisinde 75 Mbps hızlarda ses ve veri hizmeti gelişmiş güvenlik düzeyinde taşıyıp dağıtabilmektedir.

WIMAX, kablo, mevcut sayısal abone hattına (DSL) ve bununla beraber WIFI teknolojilerine alternatif olarak değerlendirilmektedir.

## 2.4 WWAN (Kablosuz Geniş Alan Ağları)

### 2.4.1 Birinci nesil (1G)

Günümüzde kablosuz erişim alt yapıları giderek çeşitlenmektedir. Bu erişim alt yapılarındaki gelişme genellikle “Nesil” olarak adlandırılmaktadır. Mobil Hücreli Sistemlerinin ilk nesili 1980’lerde ortaya çıkmıştır.

Mobil hücreli şebekelerde yayın alanı küçük hücrelere bölünür ve aynı frekanslar bozucu girişim olmadan şebekede çeşitli zamanlarda kullanılabilir. Birinci Nesil neredeyse tamamı ses olan trafik için analog iletim tekniklerini kullanmıştır. Bu nesilde kullanılan başarılı standartlar NMT, TACS ve AMPS’dir. Birinci Nesil standartların kullanıldığı ülkeler Çizelge 2.1’de verilmiştir.

**Çizelge 2.1** Birinci Nesil şebekeleri ve kullanıldığı ülkeler (Vakkas, 2006, s. 5)

SİSTEM	ÜLKELER
NMT-450	Andora, Avusturya, Belarus, Belçika, Bulgaristan, Hırvatistan, Çek Cumhuriyeti, Danimarka, Estonya, İzlanda, Finlandiya, Fransa, Almanya, Macaristan, Endonezya, İtalya, Malezya, Moldova, Hollanda, Norveç, Polonya, Romanya, Rusya, Slovakya, Slovenya, İspanya, İsveç, Tayland, Türkiye, Ukrayna
NMT-900	Kıbrıs, Danimarka, Finlandiya, Fransa, Hollanda, Norveç, İsveç, Tayland, İsviçre
TACS/ETACS	Avusturya, Azerbaycan, Bahreyn, Çin, Hong Kong, İrlanda, İtalya, Japonya, Kuveyt, Malezya, Malta, Filipinler, Singapur, İspanya, Sri Lanka, Birleşik Arap Emirlikleri, İngiltere
AMPS	Arjantin, Avustralya, Bangladeş, Brezilya, Burma, Kanada, Çin, Gürcistan, Hong Kong, Endonezya, Kazakistan, Kırgızistan, Malezya, Meksika, Yeni Zelanda, Pakistan, Papua Yeni Gine, Filipinler, Rusya, Singapur, Kuzey Kore, Sri Lanka, Tacikistan, Tayvan, Tayland, Türkmenistan, Amerika, Vietnam
C-NETZ	Almanya, Portekiz, Güney Amerika

NMT ilk adımda İskandinavya’da, daha sonra ise güney ve orta Avrupa’daki ülkelerde kullanılmıştır. NMT, uluslararası dolaşım olanağı sunmuştur. İki bantta; 450 ve 900

MHz bantlarında çalışmıştır. 1990 yıllarında NMT-450 şebekesi bir çok Doğu Avrupa ülkelerinde de kullanılmaya başlanmıştır.

TACS bir İngiltere standardıdır. Bazı orta doğu ve güney Avrupa ülkeleri tarafından kullanılmıştır. TACS, bir Amerika standardı sayılan ve 800MHz radyo bandını kullanan AMPS protokolüne dayanmasına karşın 900MHz bandını kullanmaktadır.

Dünya 3G şebekesine geçerken bile halen birinci nesil teknikleri kullanımdadır.

#### **2.4.2 İkinci nesil (2G)**

İkinci Nesil (2G) hücreli bir ağ sistemi kullanır. Bu yüzden Birinci ve İkinci Nesil sistemleri arasındaki temel fark analog/sayısal bölücü kullanılmalarıdır. 2G şebekeleri, Birinci Nesil sistemlerden daha yüksek kapasiteye sahiptir.

2. Nesil hücreli mobil altyapıların geliştirilmesi ihtiyacı;

- iletim kalitesinin,

- sistem kapasitesinin ve

- kapsamanın artırılması gereğinden ortaya çıkmıştır.

2G sisteminde kullanılan dört ana standart vardır (Vakkas, 2006, s. 6):

- GSM (Mobil Global Sistem) haberleşmesi ve türevleri,

- D-AMPS (Digital AMPS),

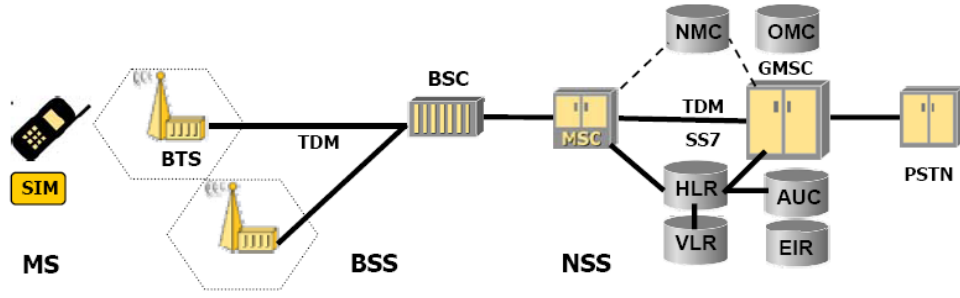
- CDMA (Kod Bölme Çoklu Erişim) IS-95,

- PDC (Kişisel Dijital Hücre).

##### **2.4.2.1 GSM-R**

GSM-R veri ve demiryolu güvenliğini artırmak için yolcu ve çalışanlara yeni hizmetler sunmak için ve mevcut sistemlerin fonksiyonlarını geliştirmek için ses iletim kapasitesine sahip bir GSM teknolojidir.

Sekil 2.3'de genel GSM sistem mimarisi görülmektedir. Mobil istasyon MS olarak gösterilmiştir. Hücre ise, BTS (baz alıcı verici istasyonu)'in radyo kapsama bölgesi olarak ifade edilmiştir.



**Şekil 2.3** GSM sistem mimarisi (Eberspächer v.d., 2009, s. 44)

GSM uluslararası dolaşım sağlayan en başarılı hücresel standartlardan biridir. GSM standardına dayalı hücresel teknoloji yaklaşık 190 ülkede, 600`den fazla şebekede 6 milyar`dan fazla abone tarafından kullanılmaktadır.

#### GSM`in bazı genel özellikleri ve avantajları

GSM`in avantajları, ETSI ve Group Speciale Mobile tarafından belirlenen özelliklerinde ortaya çıkar. GSM şebekesinin sayısal olması analog şebeke ile karşılaştırıldığında, düşük hata oranları ve yüksek kapasite, ilk akla gelen avantajlardır. GSM, ISDN (Bütünleşik Hizmetler Dijital Ağları)`in bir uzantısıdır. Mobil kullanıcı cihazı ile hücresel şebeke arasında sayısal bir radyo arabirimi kullanır. GSM frekans bantları Çizelge 2.2 de verilmiştir.

**Çizelge 2.2** GSM frekans bantları (Sauter, 2011, s. 22).

TİP	KANAL	GÖNDERİLEN [MHz]	İNDİRİLEN [MHz]
GMS 850 (Amerika)	128-251	824-849	869-894
GSM 900 Klasik Genişletilmiş	0-124, 955-1023 124 kanal +49 kanal	876-915 890-915 880-915	921-960 935-960 925-960
GSM 1800	512-885	1710-1785	1805-1880
GSM 1900 (Amerika)	512-810	1850-1910	1930-1990
GSM-R (Metro) Özel	955-1024, 0-124 69 kanal	876-915 876-880	921-960 921-925
GSM 450/480	-	450-458 479-486	460-468 489-496



### **2.4.3 2.5G**

2.5 Nesil, 2G şebekesinin gelişmiş özelliklerini içeren bir tasarımıdır. Genel olarak bir 2.5G GSM sistemi bu teknolojilerden en az birini içerir: Yüksek Hızlı Devre Anahtarlama Veri (HSCSD) ve Küresel Evrim İçin Geliştirilmiş Veri Hızları (EDGE).

2.5 G-GPRS özellikleri aşağıdakilerdir:

- 2.5 G-GPRS: Genel Paket Radyo Servisi,
- 3G için faz 0,
- 2G ağ üzerinde paket odaklı mobil veri hizmeti,
- kullanılmayan TDMA kanalları kullanarak, orta hızda veri aktarımı sağlar,
- katma değerli servisler, WAP teknolojisi,
- 114 kbps - 56 veri hızını sağlar.

2.75 G-EDGE GSM Evrimi için Geliştirilmiş Data Hızları

- 3G yönelik 1. Adım,
- üç kat sıradan bir GSM / GPRS bağlantısı ile karşılaştırıldığında kapasite ve performans artışı elde, radyo kanalı başına daha yüksek bit oranları sağlar,
- 384 kbps - 144 veri hızını sağlar.

#### **2.4.3.1 GPRS (Genel paket radyo servisleri)**

Genel Paket Radyo Hizmeti mevcut GSM altyapısı üzerinden yüksek hızlı ve uçtan uca paket veri iletişimini sağlayan bir teknolojidir.

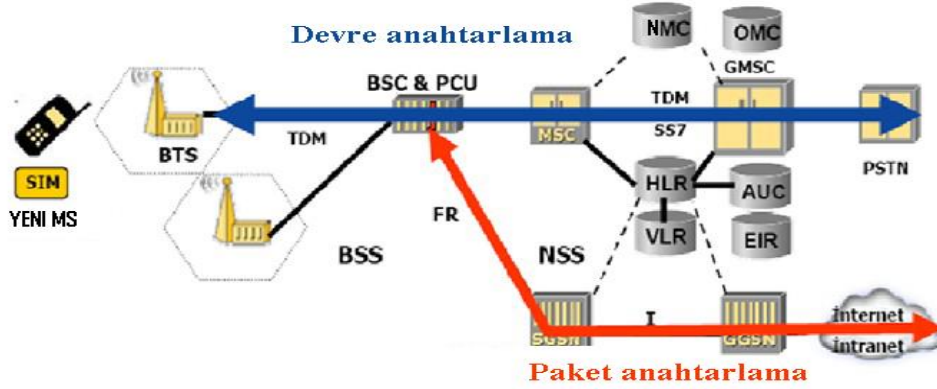
GPRS ile;

- Noktadan noktaya ve
- Noktadan çok noktaya veri iletimi yapılabilmektedir.

GPRS, ayrıca internet gibi paket veri altyapılarına telsiz erişimini basitleştiren ve geliştiren bir altyapıdır.

GPRS'de hız, normal GSM sistemine göre daha hızlı gerçekleşmekte ve özellikle paket veri iletiminde çok büyük kolaylık temin edilmektedir. Aşağıdaki Şekil 2.4'de

gösterildiği gibi GPRS; GSM altyapısı üzerinden fazla bir değişiklik gerektirmeden kurulabilmekte ve GSM sistemi üzerinden çalıştırılmaktadır.



**Şekil 2.4** GSM sistemleri üzerinde GPRS altyapısı (Victor v.d., 2014, s. 191)

Bu sistemde her bir kullanıcıya 8 kanal ve ya her kanala 16 kullanıcı tahsis edilebilmektedir. Veri hızı kuramsal olarak 9 ile 115 Kbit/sn arasındadır. Uygulamada ise veri hızı yaklaşık 50 Kbit/sn seviyelerindedir.

#### 2.4.3.2 EDGE (GSM için geliştirilmiş veri hızı)

EDGE, GSM’de kullanılan yeni bir modülasyon metodunu kullanan bir telsiz arayüzdür. EDGE, mevcut GSM sisteminin veri hızını 3 kat arttıracak potansiyele sahiptir. GPRS’e benzer şekilde bir kullanıcı 8 kanalı da kullanabilir. Her bir kanalda 48 Kbit/sn lik veri taşınabilen EDGE ile, veri hızı 384 Kbit/sn ye ulaşabilmektedir.

Hala Dünyadaki GSM işletmecilerinin tamamı EDGE teknolojisini desteklemektedirler. Mevcut teknolojide teorik olarak ulaşılan tepe değeri 384 Kbit/sn olmasına karşın, pratikte erişilen veri iletişim hızı ise 70 – 135 Kbit/sn aralığındadır.

EDGE teknolojisinin bir sonraki aşaması, Evrimleşmiş EDGE (Geliştirilmiş EDGE) isimlendirilmektedir.

3G sistemlerinin servis vermesine başlamasına rağmen, EDGE nin 2014 yılına kadar veri iletişim altyapısı olarak önemini koruyacağı düşünülmektedir.

#### 2.4.4 Üçüncü nesil (3G)

Üçüncü Nesil haberleşme sistemleri, cep telefonu, smart telefon gibi mobil terminallere yüksek hızlı internet erişimi ve bant genişliği gerektiren hizmetlerin ISDN, DSL gibi sabit şebeke kalitesinde iletebilmesi için tasarlanan hücrel haberleşme teknolojisinin ve standartlarının genel adıdır.

Analog hücrel sistemlerden (Birinci Nesil) sayısal hücrel sistemlere (İkinci Nesil) geçişin başlıca nedeni, abone sayısının beklentilerin üzerinde çoğalması ve iletişim alt yapısının bu artışa cevap veremez hale gelmesidir.

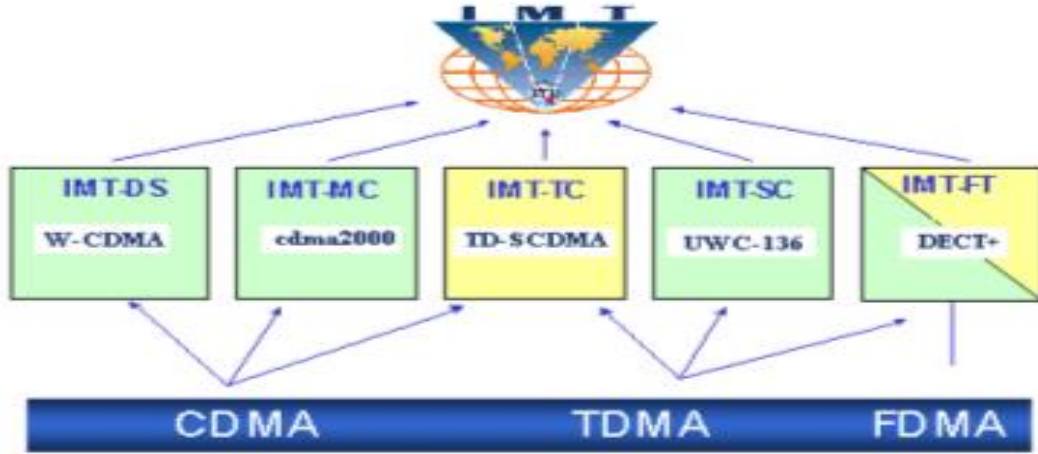
İkinci Nesilden Üçüncü Nesile geçiş nedenleri ise, Birinci Nesilden İkinci Nesile geçiş nedenlerinden tamamen farklıdır. Üçüncü Nesil kavramı mevcut İkinci Nesil alt yapısı artan abone sayısına cevap verebilecek yapıya sahip olmasına rağmen, aşağıda gösterilen gelişmelerden dolayı yeni bir mobil pazar oluşturma ve bunu destekleyecek yüksek hızlı ve büyük miktarda veri iletimini mümkün kılacak bir alt yapıya sahip olma amacıyla ortaya atılmıştır (Korhonen, 2003).

- İnternetin geldiği nokta ve IP'nin başarısı,
- Paket anahtarlama teknolojilerindeki gelişim,
- Mobil haberleşmeye olan ilginin beklentinin çok üzerinde olması,
- Mobil e-ticaret ve elektronik kavramlarının ortaya çıkması,
- Mevcut mobil şebeke üzerinden veri iletim miktarının artması ve bu artışı destekleyen WAP ve GPRS gibi teknolojilerin gelişmesi.

3. Nesil teknolojileri ve bunların standartları konusunda çalışan IMT-2000, ITU tarafından belirlenen ve küresel bir 3. Nesil kablosuz haberleşme standardıdır.

Bu konuda ITU'nun her birimi (ITU-D, ITU-R, ITU-T, Research and Analysis) kendi sorumluluk alanıyla ilgili çalışmaları yürütmektedir. ITU'nun belirlediği IMT-2000 vizyonu altında her ülke yada birlik kendine özgü standartları belirlemiştir (Şekil 2.5).

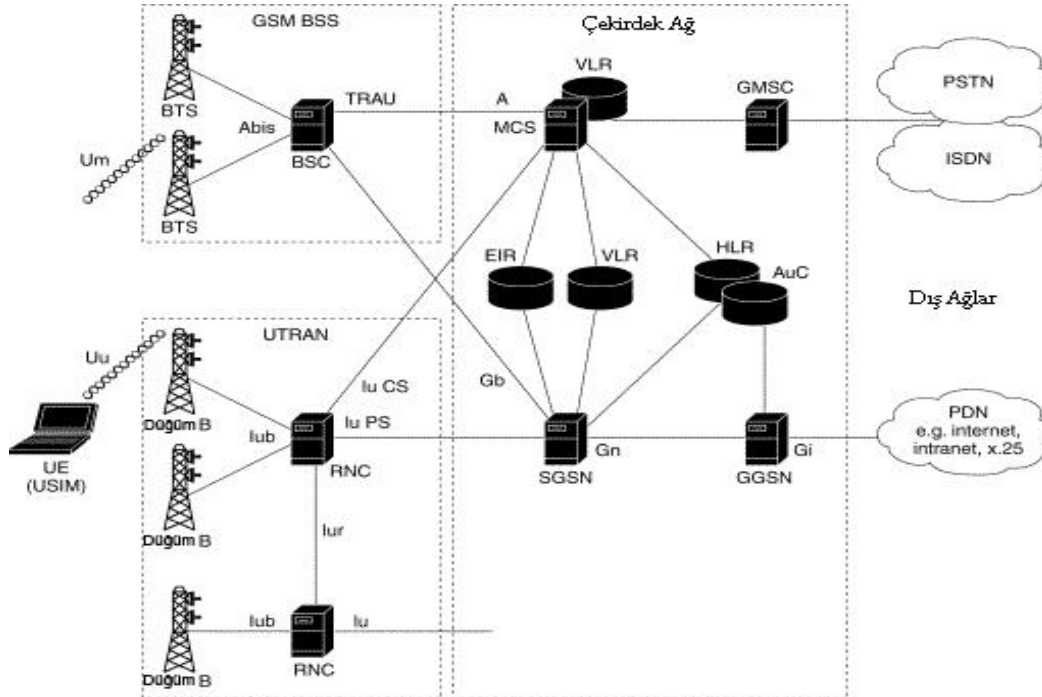
Bu kategorilerden CDMA radyo arayüzünün, Avrupa'da uygulanan W-CDMA (UMTS olarak da adlandırılır) ile Amerika'da uygulanan CDMA 2000 standardı en yaygın kullanılan standartlardır.



Şekil 2.5 ITU tarafından belirlenen İMT-2000 karasal telsiz arayüzleri (Candan, 2002)

Tipik bir 3G (UMTS) şebeke yapısı aşağıda gösterilmektedir (Şekil 2.6).

3G'nin en önemli getirisi, sağladığı yüksek bant genişliğidir. GSM sistemleri, GPRS ve EDGE gibi ilave teknolojilerle en fazla 384 Kbit/s veri hızına ulaşabilmektedir. Oysaki 3G ve 3G üzerinden uygulanabilecek HSDPA uygulaması ile bugün için 48 Mbit/sn'ye erişim hızlarında erişim sağlanmaktadır.



Şekil 2.6 3G (UMTS) genel yapısı (Victor v.d., 2014, s. 187)

#### **2.4.5 LTE (Uzun süreli evrim)**

LTE, 2009 yılında deneme sistemi olarak kurulmaya başlamıştır. LTE ile yeni servislerin desteklenebilmesi için, alt yapı kapasitesinin ve veri iletişim hızlarının artırılması ve gecikmenin azaltılması hedeflenmektedir. Halen dünyanın birçok ülkesinde insanlar HSPA uyumlu dizüstü bilgisayarlar, USB dongle veya 3G/HSPA uyumlu telefonlar kullanarak internete erişmekte, e-mail alıp vermekte, video ve müzik paylaşmaktadırlar.

LTE'de önümüzdeki süreçte;

- daha interaktif-TV,
- mobil video,
- geliştirilmiş oyunlar ve
- profesyonel servisler

gibi taleplere dayalı uygulamalar kullanılacaktır. LTE veri iletim maliyetlerini önemli oranda düşürecek yeni bir teknolojidir. Bu da LTE'nin geniş kitlelere ulaşmasını sağlayacaktır. LTE Tümüyle-IP (Full-IP) yapısında çalışacaktır. LTE mevcut 2G/3G frekanslarında uygulanabileceği gibi yeni 2,6 GHz, 800 ve 700 MHz frekans bantlarında da kullanılabilir (Kim v.d., 2015, s. 906).

Amerika'da 700 MHz bandı LTE için ihale ile satılmıştır. Halen Avrupa'da LTE için 800 MHz bandı kullanılmasına karşılık, 700 MHz bandı için de düzenleme çalışmaları devam etmektedir.

LTE teknolojisinin bazı özellikleri aşağıda verilmektedir:

- 20 Mhz bant genişliğinde 326 Mbit/sn'ye ulaşan alışı tepe değerleri, 86.4 Mbit/sn'ye ulaşan veri tepe değerleri,
- 20 MHz'e kadar ayarlanabilir bant genişlikleri (1.4, 3, 5, 10, 15, 20 MHz),
- 2 ile 4 kat artırılmış spektrum verimliliği.

##### **2.4.5.1 Dördüncü nesil (4G Gelişmiş İMT)**

LTE'nin ileri versiyonu olarak kabul edilen 4G, Gelişmiş LTE olarak tanımlanmaktadır. 4G ile performans ve hizmet kalitesinde önemli bir iyileşme sağlanarak, yüksek kaliteli multimedya uygulamaları için ilave yetenekler temin edilmiştir. 4G ayrıca;

- Bütünüyle IP tabanlıdır (paket tabanlı),
- Sabit alımı için 1 Gbps ve mobil alımı için 100 Mbps kapasitelidir,
- Esnek kanal bant genişliğine sahiptir ( 5-20 MHz veya 40 MHz),
- OFDM tabanlıdır (OFDM çoklu erişim),
- IPv6 desteğine sahiptir.

LTE spektrumu & ekosistemi – dünya genelinde LTE spektrumunun karşılaştırılması  
Çizelge 2.3’de gösterilmiştir.

**Çizelge 2.3** LTE spektrumu & ekosistemi – dünya genelinde LTE spektrumunun karşılaştırılması (Holma ve Toskala, 2009, s. 285)

<b>Dünya genelinde LTE spektrumunun karşılaştırılması</b>	
2600	Avrupa, APAC
2100	Japonya
1900 PCS	ABD
1800	Yenilenmiş GSM
1700/2100 AWS	Kanada
850	Güney Kore
800 (sayısal)	Avrupa, MEA
700 MHz üst, C	Verizon
700 MHz alt, B/C	AT&T

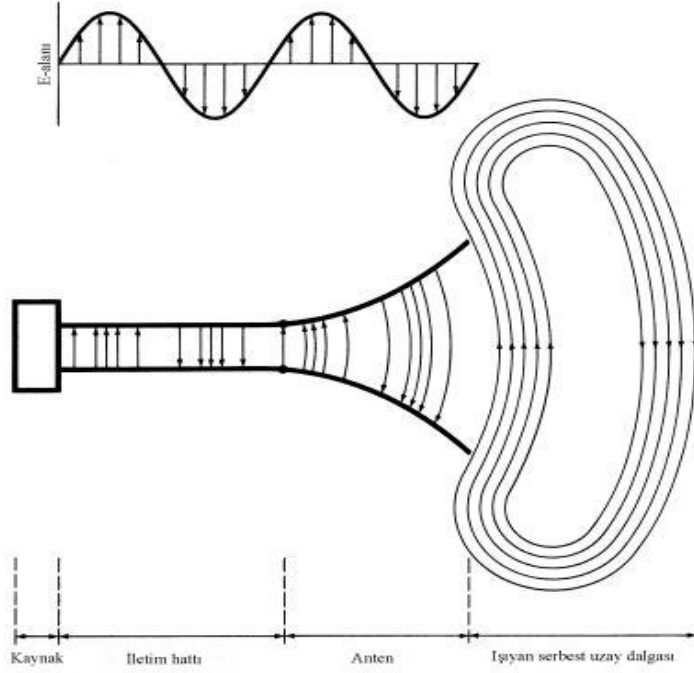
### 3. ANTENLER

#### 3.1 Tanım

Anten genelde metal olan, radyo dalgalarını iletmekte ya da almakta kullanılan bir cihazdır. Başka bir deyişle, Şekil 3.1’de gösterildiği gibi anten serbest uzay ve kılavuzlayan cihaz arasında geçiş yapısıdır. Kılavuzlayan cihaz (iletim hattı) koaksiyel hat ya da içi boş bir boru (dalga klavuzu) şeklinde olabilir ve iletim kaynağından antene ya da antenden alıcıya elektromanyetik enerjinin nakli için kullanılır.

Anten, latince böcek duyargası anlamına gelmektedir. Bir sistemden güç olarak çevresine elektromanyetik dalga yayan antene *verici* anten denir. Çevresindeki elektromanyetik dalgayı yutarak bir sisteme güç aktaran antene ise *alıcı* anten denir. Hem verici ve hem de alıcı antenler bağlı oldukları sisteme transmisyon borusu veya transmisyon hattı ile bağlı olurlar. İstenilen bir anten bu iki özelliği; verici ve alıcı anten özelliklerini aynı anda taşıyabilirler (Akkaya, 1997, s. 2).

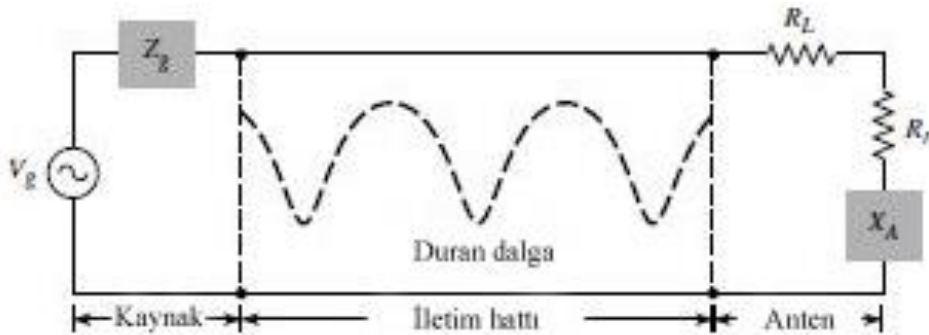
Şekil 3.1’de verilen anten sisteminde iletim hattının Thevenin eşdeğeri, Şekil 3.2’de gösterilmektedir. Anten, empedans değeri  $Z_A [Z_A = (R_L + R_r) + jX_A]$  olan temsili bir yük ile gösterilir ve iletim hattına bağlanır. Antenin yük direnci olan  $R_L$ , iletkenlik ve dielektrik kayıplarını temsil ederken,  $R_r$  ışıma direnci olarak adlandırılır ve antenin ışıma özelliğini temsil etmek için kullanılır.  $X_A$  reaktansı, empedansta antenin ışıma özelliğinin sanal kısmını temsil etmektedir. İdeal koşullar altında, kaynak tarafından üretilen enerji tamamen anten ışımasını temsil etmek için kullanılan ışıma direnci,  $R_r$ ’ye transfer edilmektedir. Ancak, pratik bir sistemde kayıplı iletim hattı ve anten doğası nedeniyle ortaya çıkan iletim ve dielektrik kayıplarının yanı sıra hat ve anten arasındaki arayüz nedeniyle yansıma kayıpları vardır.



**Şekil 3.1** Antenin geçiş yapısı (Constantine, 2005, s. 2)

Kaynaktan antene doğru giden dalgaların yanı sıra, arayüzden yansıyan dalgalar, iletim hattı içerisinde duran dalgalar yaratırlar. Şekil 3.2’de duran dalgalar gösterilmiştir. Eğer sistem düzgün tasarlanmamışsa iletim hattı bir dalga kılavuzu ve enerji taşıma cihazı olmak yerine enerji depolama alanı olarak çalışacaktır.

Kayıplar her türlü istenmeyen oluşumlardır. Hata bağlı kayıplar düşük kayıplı hatlar seçilerek minimize edilebilirken, antenden oluşan kayıplar kayıp direncini temsil eden  $R_L$  azaltılarak minimize edilebilir.



**Şekil 3.2** Anten sisteminde iletim hattının Thevenin eşdeğeri (Constantine, 2005, s.3)

Antenin enerjiyi alma veya iletme görevinden başka bir kablosuz sistemde ışınma enerjisini bazı yönlerde öne çıkarmak ve diğer yönlerde bastırması gibi görevi vardır.



Böylece yönü olan bir anten olarak hizmet edebilmektedir. Daha sonra belirli bir ihtiyaçları karşılamak için çeşitli biçimlerde kullanılır.

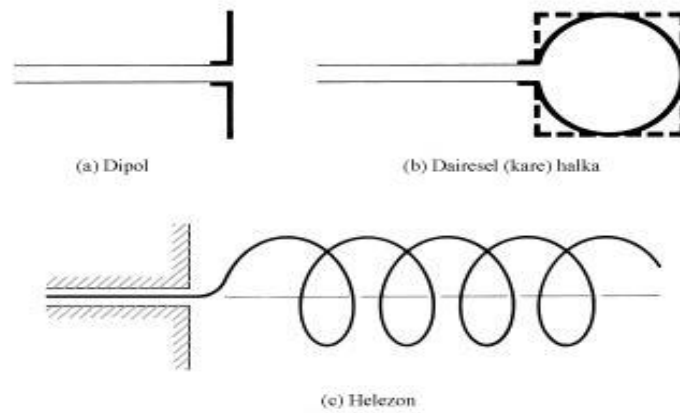
İdeal bir anten tüm gücün istenilen yön veya yönlerde iletilmesini sağlamaktadır. Uygulamalarda ideal bir anten elde edilemez ama yaklaşmak mümkün olmaktadır. Çeşitli tiplerde antenler vardır. Ve her türlü uygulamalar için özel olarak biçimlenebilirler.

### 3.2 Çeşitleri

300 kHz ve 300 MHz frekansları arasında olan frekans bölgesinde çalışan antenlere, yüksek frekans antenleri diyebiliriz. Telsiz, radyo ve televizyonda kullanılan bu çeşit antenleri oluşturan elemanlar, genel olarak iletken teller veya iletken çubuklardır. Bu iletken teller genel olarak silindirik geometrisi olan iletkenler gibi düşünebiliriz. Bu iletkenler ile farklı şekillerdeki düzenlemeler için çeşitli antenler yapılabilir (Akkaya, 1997, s. 45).

#### 3.2.1 Tel anten

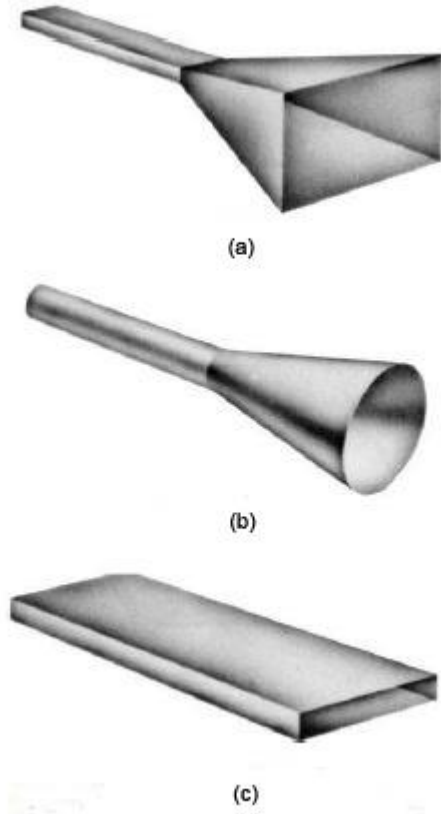
Tel antenler hemen hemen her yerde kullanılan ve tanınan bir anten çeşitidir. Kullanım yerlerini örnek olarak; otomobiller, uçaklar, gemiler, uzay araçları, evler ve s. verebiliriz. Şekil 3.3’de gösterildiği gibi bu tip antenler düz bir tel (dipol), helezon ve halka gibi değişik şekillerde olabilirler. Dikdörtken, kare, elips veya herhangi bir şekillerde de tasarlanabilirler. Bunların içerisinde en yaygın yapım basitliği nedeniyle dairesel halka tasarımıdır.



Şekil 3.3 Farklı tel anten çeşitleri (Constantine, 2005, s. 4)

### 3.2.2 Açıklık anten

Açıklık anten, yüksek frekanslarda çalışabilen ve daha karmaşık formlara sahip bir anten çeşididir. Açıklık antenlerin bazı formları Şekil 3.4’de gösterilmiştir. Bu antenler uzay araçlarının uygulamalarında çok yararlı sayılmaktadırlar. Bunun nedeni antenin uçak ve uzay araçlarına montajlı olarak kullanmaya uygun olmasındadır. Açıklık antenler tehlikeli çevre şartlarına uygun olarak bir yalıtkan malzemeler ile de kaplanabilirler.



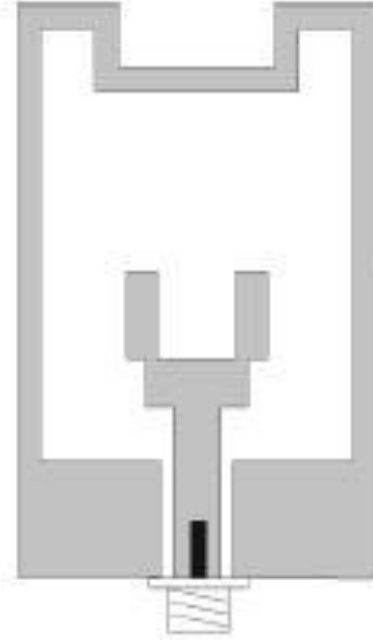
Şekil 3.4 (a) piramit huni, (b) konik huni ve (c) dikdörtken dalga klavuzu

(Constantine, 2005, s. 5)

### 3.2.3 Mikroşerit anten

Mikroşerit antenler 1970 yıllarında uzay uygulamaları için çok kullanışlı bir hal almıştır. Bu antenler metal bir yamanın topraklanmış bir alt tabaka üzerinde yerleştirilmesi ile oluşturulur. Metalik yamaların popüler olan dikdörtken ve dairesel formlarıdır. Bunlardan dikdörtken şekilli mikroşerit anten Şekil 3.5’te verilmiştir. Mikroşerit antenler düzlemsel olan ve olmayan yüzeylerde kullanılabilen, modern baskı teknolojisi ile ucuza imal edilebilen çok yönlü antenlerdir. İmalat kolaylığı,

küçüklüğü ve fazla kullanım yerleri olduğundan dolayı çekici bir anten şeklidir. Bu antenler, uzay aracı, füze, uydu, araba ve en popülerleri, cep telefonlarının yüzeylerine monte edilebilirler.

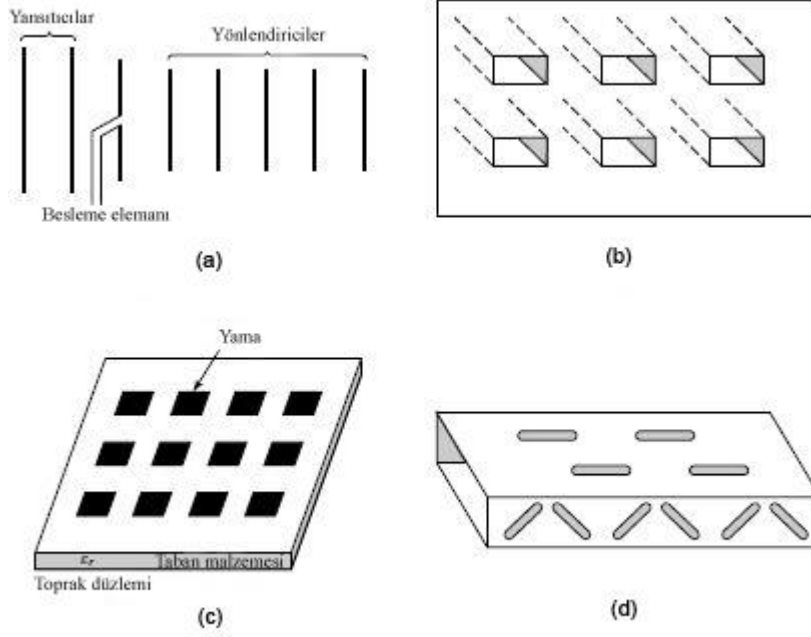


**Şekil 3.5** Mikroşerit anten (Liu v.d., 2012)

Bölüm 4’te daha detaylı bir şekilde anlatılmıştır.

### **3.2.4 Dizi anten**

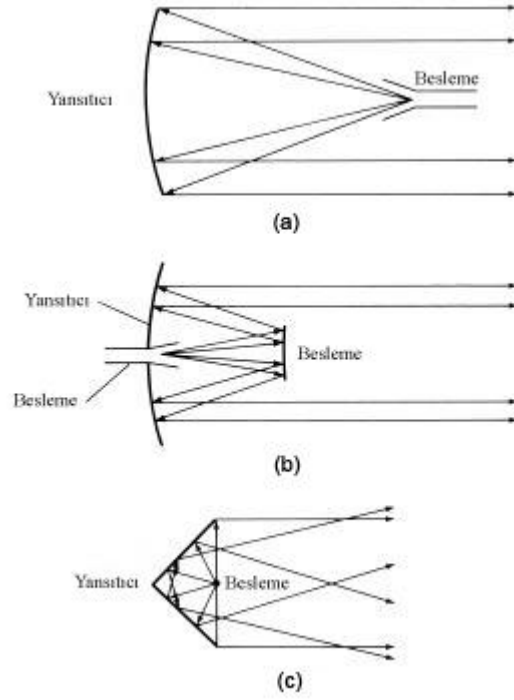
Dizi antenler, tek bir anten tarafından elde edile bilinmeyen ışıma özelliğinin artırılması ihtiyacı nedeniyle ortaya çıkmıştır. İstenilen ışıma özelliği elektriksel ve geometrik düzende antenlerden oluşan bir dizi oluşturarak mümkün olabilir. Bu antenler ve bu antenlerden oluşan tipik dizi örnekleri Şekil 3.6’da gösterilmiştir. Şekil 3.6(d)’da gösterildiği aynı terim gibi sürekli bir elemanın üzerine ışıma elemanlarının monte edilmesinde de kullanılabilirler.



**Şekil 3.6** (a) Yagi-Uda dizi, (b) açıklık dizi, (c) mikroşerit yama dizi ve (d) yarıklı dalga klavuzu tipli dizi antenler (Constantine, 2005, s. 7)

### 3.2.5 Yansıtıcı anten

Yansıtıcı anten, uzak mesafeler üzerinde iletişim kurmak için kullanılan bir anten çeşididir. Bu anten de popüler anten çeşitleri listesinde yer almaktadır. Şekil 3.7(a) ve (b)'de gösterilen parabolik yansıtıcı antenler en fazla kullanılan yansıtıcı antenlerdir. Bu tip antenler çapı 305 m büyüklüğüne kadar varan ölçütlerde tasarlanıyor. Bu kadar büyük bir antene ihtiyaç duyulmasının sebebi milyonlarca kilometre uzaklığa sinyal alıp verilmesi için yüksek anten kazancına ihtiyaç duyulmasıdır. Şekil 3.7(c)'de gösterilen köşe yansıtıcı antenler, parabolik yansıtıcı antenler kadar yaygın kullanılmamaktadır.



**Şekil 3.7** (a) ön beslemeli parabolik yansıtıcı, (b) Cassegrain beslemeli parabolik yansıtıcı ve (c) köçe beslemeli yansıtıcı dizi antenler (Constantine, 2005, s. 8)

### 3.2.6 Lens anten

Lens antenler enerjinin istenmeyen yönler yayılmasının karşısını almak ve paralel bir şekilde dağılmasını sağlamak için kullanılır. Doğru geometrik şekillendirme ve ona uygun lens seçildiğinde, farklı yönlerdeki enerjinin düzlem dalgalara dönüşmesini sağlamak mümkündür. Parabolik yansıtıcı antenlerin kullanıldığı yüksek frekans gerektiren benzer uygulamalarda kullanılabilirler. Lenslerin ağırlıkları ve boyutları frekanslarla ters orantılıdır. Düşük frekanslarda ağırlık ve boyutlar son derece büyük olur (Constantine, 2005, s. 80).

Şekil 3.8’de lens antenin yapısı örnek olarak verilmiştir.



Şekil 3.8 Lens anten yapısı (Pifeiffer ve Grbic, 2010)

### 3.3 Parametreleri

Makroskopik seviyedeki elektrik ve manyetik alanlar Maxwell tarafından, *Maxwell denklemleri* adı altında 1873 yılında yayınlandı. Bu çalışma elektromanyetik durumu anlatıyordu. Elektromanyetik dalga yayılımı ile ilgili Hertz'in deneysel olarak keşfedilmesine yol açan elektriksel yer değiştirme akımının teorik kaygılarından hipotez aldı. Maxwell'in çalışması, Gauss, Amper, Faraday ve diğerleri tarafından geliştirilen teorik bilgilerin büyük bir gövdesine dayanıyordu (David, 1992). Maxwell denklemlerinin diferansiyel formu,

$$\nabla \cdot E = \frac{\rho}{\epsilon_0}, (1)$$

$$\nabla \cdot B = 0, (2)$$

$$\nabla \times E = -\frac{\delta B}{\delta t}, (3)$$

$$\nabla \times B = \mu_0 \left( J + \epsilon_0 \frac{\delta E}{\delta t} \right), (4)$$

olarak tanımlanır.

Burada,

- E, elektrik alan (V/m)
- B, manyetik alan (A/m)
- $\rho$ , serbest elektrik yük yoğunluğu ( $C/m^3$ )

- $J$ , iletkenlik akım yoğunluğu ( $A/m^2$ )
- $t$ , zaman

dır.

1 numaralı denklemde elektrik alan için, 2 numaralı denklemde ise manyetik alan için Gauss yasası gösterilmiştir. 3 numaralı denklemde Amper yasası verilmiştir. Burada zamana göre değişen manyetik alan, elektrik alanı oluşturuyor. Denklem 4 ise Faraday yasasına göre yazılmıştır. Burada ise zamana göre değişen manyetik alan, elektrik alanı oluşturmaktadır.

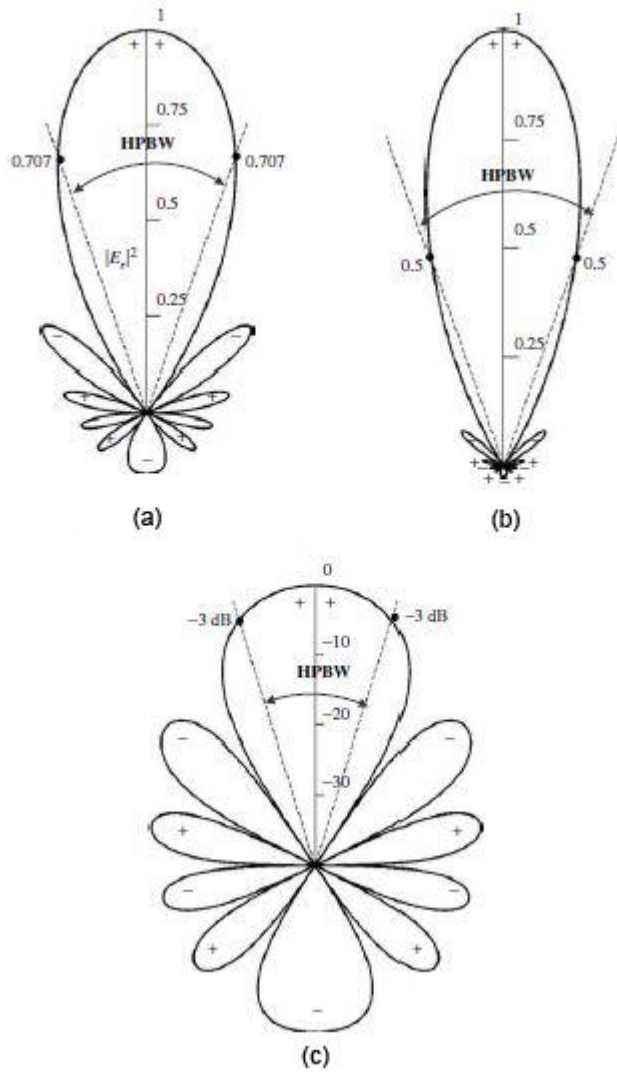
### 3.3.1 Işıma örüntüsü

Antenin ışıma örüntüsü, ışıma özelliklerinin uzay koordinatlarının bir fonksiyonu olarak grafiksel bir gösterimi veya matematiksel bir ifadesi olarak tanımlanır. Işıma özellikleri güç, akım yoğunluğu, alan genliği, ışıma şiddeti, yönlülük ve kutuplanmayı içerir (Blake, 1966, s. 289). İlgilenilen örüntülerin birçoğu bir yol veya sabit yarıçaplı bir yüzey boyunca gözlemcinin konumunun bir fonksiyonu olarak, ışıyan enerjinin iki veya üçboyutlu uzaysal dağılımından oluşur. Bu oluşum Şekil 3.9'de gösterilmiştir. Sabit bir yarıçapta alınan manyetik (elektrik) alan izi, genlik alan örüntüsü olarak adlandırılır. Sabit bir yarıçap boyunca alan güç yoğunluğunun uzaysal değişimine ait grafiğe ise güç örüntüsü denir. Güç örüntüsü logaritmik ölçekte veya daha yaygın, desibel (dB) cinsinden de çizdirilir.

Bir anten için, alan örüntüsü (doğrusal ölçekte), tipik olarak elektrik veya manyetik alanın açısız koordinatların fonksiyonu olan bir çizimini, güç örüntüsü (doğrusal ölçekte), tipik olarak elektrik veya manyetik alan genliğinin karesinin açısız koordinatların fonksiyonu olarak bir



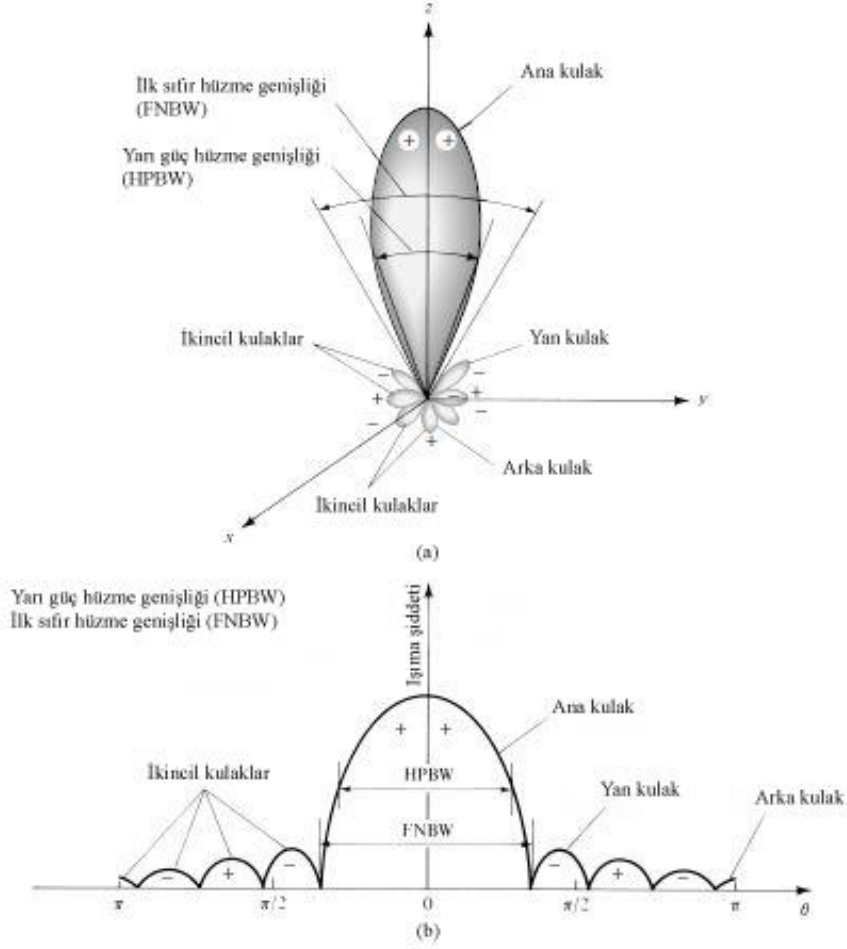




**Şekil 3.10**  $d = 0.25\lambda$  aralıklı, 10 elemanlı bir doğrusal anten dizisinin iki boyutlu (a) normalize alan örüntüsü, (b) güç örüntüsü ve (c) güç örüntüsü (dB olarak)  
(Constantine, 2005, s. 29)

### 3.3.1.1 Işıma örüntüsü kulakları

Işıma örüntüsünün kulakları denilen kavram örüntünün çeşitli kısımlarına verilen addır. Bunlar ana, ikincil, yan ve arka kulaklar olarak alt sınıflara bölünebilirler. Işıma kulağı, ışım örüntüsünün göreceli olarak daha zayıf ışım şiddetine sahip bölgelerle sınırlanmış bir parçasına denir. Şekil 3.11 (a, b)'de farklı, doğrusal iki boyutlu ve üç boyutlu kutupsal bir örüntüler gösterilmektedir.



**Şekil 3.11** (a) Bir anten örüntüsünün ışına kulakları ve hüzmeye genişlikleri, (b) Güç örüntüsünün, ilgili kulakların ve hüzmeye genişliklerinin doğrusal çizimi (Constantine, 2005, s. 30)

### 3.3.1.2 Alan bölgeleri

Anteni çevreleyen uzay genellikle Şekil 3.12’de gösterildiği gibi üç bölgeye ayrılır:

1. Reaktif yakın alan,
2. Işıyan yakın alan (Fresnel),
3. Uzak alan (Fraunhofer).

Reaktif yakın alan bölgesi, reaktif alanların baskın olduğu yakın alan bölgesinin, anteni hemen çevreleyen kısmı olarak tanımlanır. Bir çok anten için bu bölgenin dış sınırı

$$R < 0.62\sqrt{D^3/\lambda} \quad (5)$$

gibi belirlenir. Burada  $\lambda$  dalga boyu,  $D$  ise antenin en büyük boyutudur.

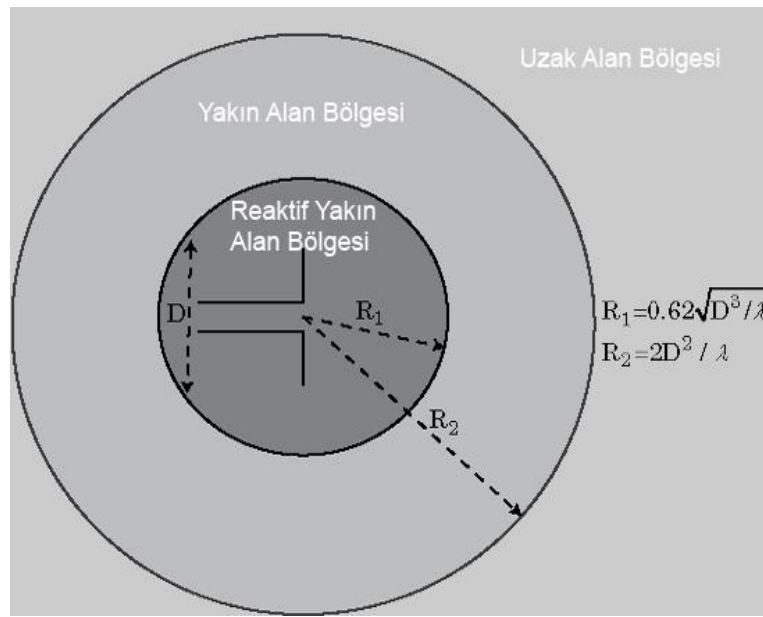
Işıyan yakın alan bölgesi, ışıyan alanların baskın olduğu, reaktif yakın alan kısmı ile uzak alan kısmı arasındaki bölge olarak tanımlanır. Bu bölge için

$$R \geq 0.62\sqrt{D^3/\lambda}, (6) \quad = \text{ iç sınır}$$

$$R < 2D^2/\lambda, (7) \quad = \text{ dış sınır}$$

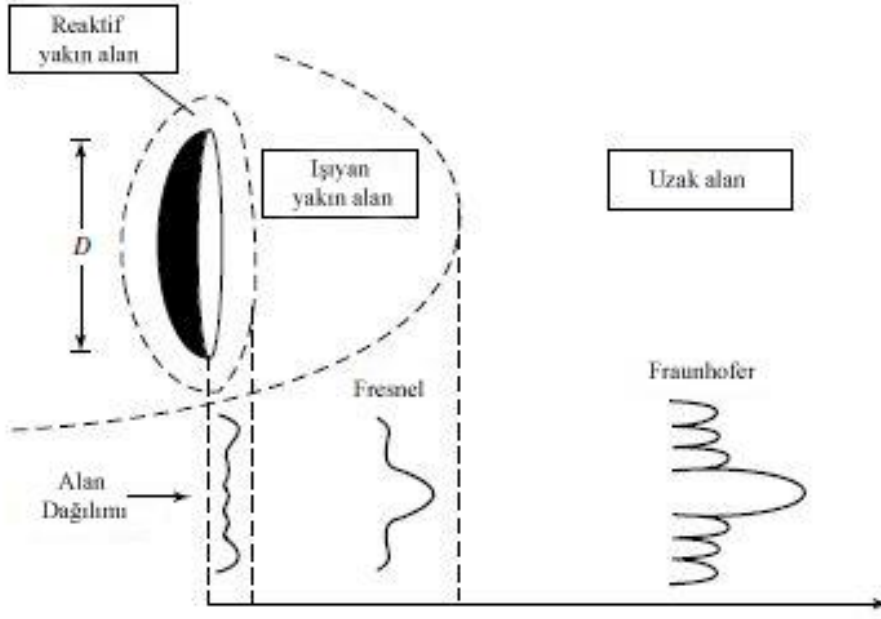
belirlenir.

Uzak alan bölgesi, bir antenin açısal alan dağılımının aslında, antenden olan mesafeden bağımsız olduğu alan bölgesidir. Denklem 5'te eger  $D > \lambda$  ise, uzak alan bölgesi antenden  $2D^2/\lambda$  mesafesi kadar büyük olan uzaklıklar için alınır.



Şekil 3.12 Antenin alan bölgeleri (Visser, 2005)

Bir antenin genlik örüntüsü, gözlem mesafesi reaktif yakından uzak alana değişirken alanların genlik ve fazından dolayı şekil değiştirir. Bu değişim Şekil 3.13'de gösterilmiştir.

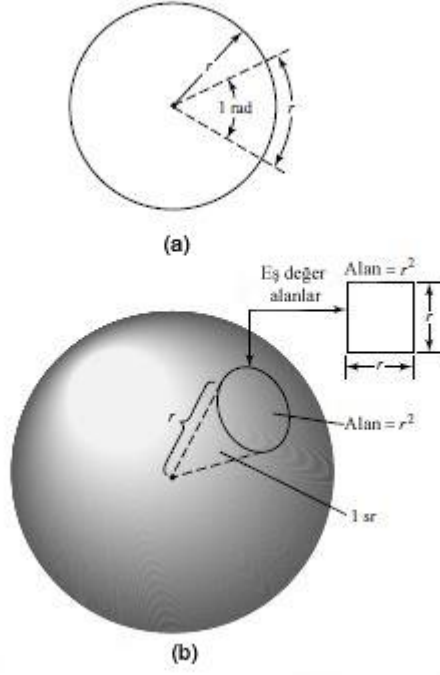


**Şekil 3.13** Reaktif yakın alan bölgesinden uzak alan bölgesine doğru anten genlik örüntü şeklinin tipik değişimleri (Rahmat-Samii, 1995)

### 3.3.1.3 Radyan ve steradyan

Radyan burada, antenin genlik örüntüsünün düzlem açısının ölçüsüdür.  $r$  yarıçaplı bir dairenin merkezinde bulunan ve uzunluğu  $r$  olan düzlem açısının değeri bir *radyan* olarak tanımlanır.

Steradyan ise burada, antenin genlik örüntüsünün katı açısının ölçüsüdür.  $r$  yarıçaplı bir dairenin merkezinde bulunan ve bir kenarı  $r$  olan karenin alanına eşit bir küresel alanı gören katı açısının değeri bir *steradyan* olarak tanımlanır. Şekil 3.14 (a, b)'de *radyan* ve *steradyanın* grafiksel gösterimleri verilmiştir.



Şekil 3.14 (a) radyan ve (b) steradyan tanımları (Constantine, 2005, s. 37)

### 3.3.2 Işıma güç yoğunluğu

Elektromanyetik dalgalar veriyi bir noktadan başka bir noktaya iletmekte kullanılırlar. Burada güç ve enerjinin elektromanyetik alanlarla ilgili olduğu düşünülmektedir. Elektromanyetik alanlarda güç,

$$\mathcal{W} = \mathcal{E} \times \mathcal{H} \quad (8)$$

ile tanımlanır. Burada,

- $\mathcal{W}$ , anlık Poynting vektörü ( $\text{W}/\text{m}^2$ )
- $\mathcal{E}$ , anlık elektrik alan şiddeti ( $\text{V}/\text{m}$ )
- $\mathcal{H}$ , anlık manyetik alan şiddeti ( $\text{A}/\text{m}$ )

dir.

Poynting vektörü bir güç yoğunluğudur. Bu yüzden kapalı bir yüzeyden geçen toplam güç, Poynting vektörünün normal bileşeninin tüm yüzey üzerinden integralinin alınması ile elde edilir. Bunun matematiksel ifadesi denklem 9'da verilmiştir.

$$\mathcal{P} = \oint_S \mathcal{W} \cdot d\mathbf{s} = \oint_S \mathcal{W} \cdot \hat{\mathbf{n}} da \quad (9)$$

Burada,

- $\mathcal{P}$ , anlık toplam güç (W)
- $\hat{n}$ , yüzeye dik birim vektörü
- $da$ , kapalı yüzeyin sonsuz küçük alanı ( $m^2$ )

olur (Constantine, 2005, s. 38-39).

### 3.3.3 Işıma şiddeti

Antenin ışıma şiddeti, verilen bir yöndeki birim kat açısına düşen antenden ışıyan güç olarak ifade edilir. Işıma şiddeti ışıma yoğunluğunun mesafesinin karesi ile çarpımından elde edilir.

$$U = r^2 W_{rad} \quad (10)$$

Denklem 10'da,

- $U$ , ışıma şiddeti (W/birim kat açısı)
- $W_{rad}$ , ışıma güç yoğunluğu ( $W/m^2$ )

dur (Constantine, 2005, s. 40-41).

### 3.3.4 Hüzme genişliği

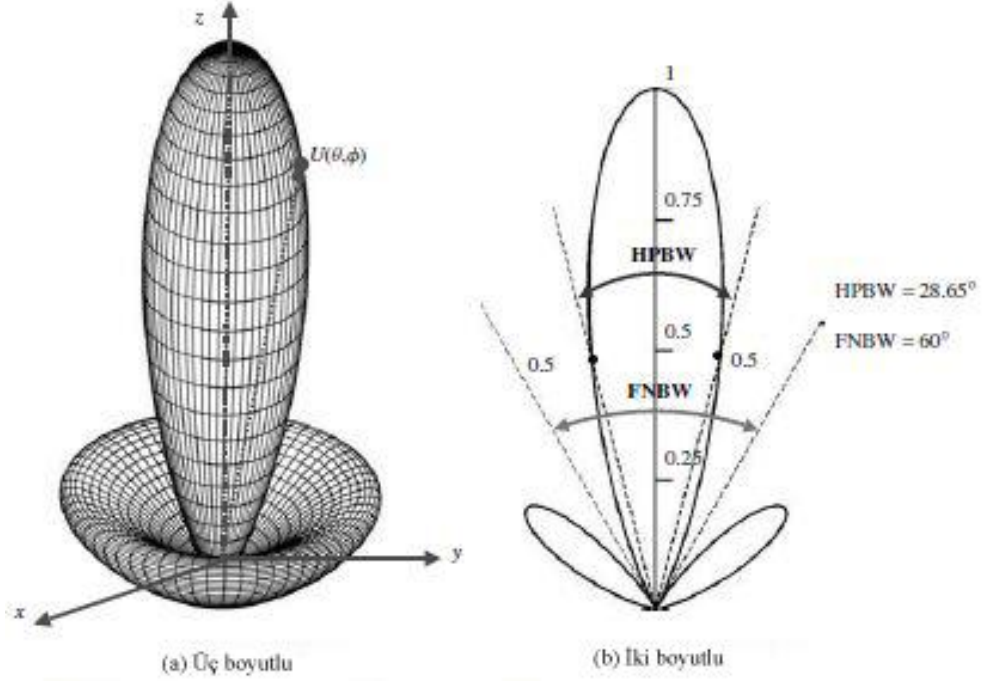
Bir anten örüntüsünde birkaç sayıda hüzme genişliği vardır. Bunlar arasında en yaygın olanı Şekil 3.15 (a, b)'de gösterilen yarı güç hüzme genişliği (HPBW) olup IEEE tarafından hüzme maksimumunun yönünü kapsayan bir düzlemde, ışıma şiddetinin yarıya düştüğü iki yön arasındaki açı olarak tanımlanmıştır (Kraus, 1966).

Öteki önemli hüzme genişliği çeşidiyse ilk sıfır hüzme genişliği (FNBW) adı verilen, örüntünün ilk sıfırları arasındaki açısal genişliğidir. Hem Yarı Güç hem de İlk Sıfır Hüzme Genişliği Şekil 3.15'de yer almaktadır.

Hüzme genişliği bir anten için çok önemli bir kalite ölçüsüdür ve hüzme genişliği azalırken yan kulak seviyesi artar veya tam tersi, hüzme genişliği artarken yan kulak seviyesi azalır. Buna ek olarak antenin hüzme genişliği, birbirine komşu iki ışıyan kaynağın ya da radar hedefinin birbirlerinden ayrılması zamanı çözünürlük kapasitesini tanımlarken de kullanılır. "Bir antenin iki kaynağı ayırabilmesi için çözünürlük kapasitesi, genelde yarı güç hüzme genişliği (HPBW) yaklaştırmak için kullanıldığı ilk sıfır hüzme genişliğinin (FNBW) yarısına eşittir" (Kraus, 1988).

Eğer ayırma daha küçük ise anten açısal ayırma mesafesini düzgünleştirmeye

çalışacaktır.



Şekil 3.15  $U(\theta) = \cos^2(\theta)\cos^2(3\theta)$ 'nin üç ve iki boyutlu güç örüntüleri (Warren, 1998)

### 3.3.5 Yönlülük

Bir antenin yönlülüğü, o antenin verilen yöndeki ışıma şiddetinin tüm yönlerdeki ortalama ışıma şiddetine oranı olarak kabul edilir. Ortalama ışıma şiddeti, antenden ışıyan toplam gücün  $4\pi$ 'ye oranı olarak bulunur. Eger yön belirtilmemişse, maksimum ışıma şiddetinin yönü kullanılır. Daha kolay dilde, bir yönbağımlı kaynağın yönlülüğü, ışıma şiddetinin verilen yöndeki yönbağımsız bir kaynağın ışıma şiddetine oranıdır. Matematiksel olarak ise,

$$D = \frac{U}{U_0} = \frac{4\pi U}{P_{rad}} \quad (11)$$

şeklinde yazılır. Eger belli bir yön tanımlanmamış ise maksimum ışıma şiddeti (maksimum yönlülük),

$$D_{max} = D_0 = \frac{U|_{max}}{U_0} = \frac{U_{max}}{U_0} = \frac{4\pi U_{max}}{P_{rad}} \quad (12)$$

gibi ifade edilir. Burada

- $D$ , yönlülük (boyutsuz)

- $D_{max}$ , maksimum ışımaya şiddeti (boyutsuz)
- $D_0$ , maksimum yönlülük (boyutsuz)
- $U$ , ışımaya şiddeti (W/birim kat açısı)
- $U_{max}$ , maksimum ışımaya şiddeti (W/birim kat açısı)
- $U_0$ , yönbağımsız kaynağın ışımaya şiddeti (W/birim kat açısı)
- $P_{rad}$ , toplam ışıyan güç (W)

olarak alınır (Constantine, 1997).

Yönbağımsız bir kaynak için yukarıdaki formüllerden açıkça görülebilir ki  $U$ ,  $U_{max}$  ve  $U_0$  birbirlerine eşit olduklarından dolayı yönlülük bire eşittir.

Küresel koordinat sistemi için, antenin  $\theta$  ve  $\phi$  dik bileşenleri için toplam maksimum yönlülük  $D_0$ ,

$$D_0 = D_\theta + D_\phi \quad (13)$$

gibi yazılabilir. Eşitlikteki  $D_\theta$  ve  $D_\phi$  kısmi yönlülüklerdir ve

$$D_\theta = \frac{4\pi U_\theta}{(P_{rad})_\theta + (P_{rad})_\phi} \quad (14)$$

$$D_\phi = \frac{4\pi U_\phi}{(P_{rad})_\theta + (P_{rad})_\phi} \quad (15)$$

olarak ifade edilirler. Burada,

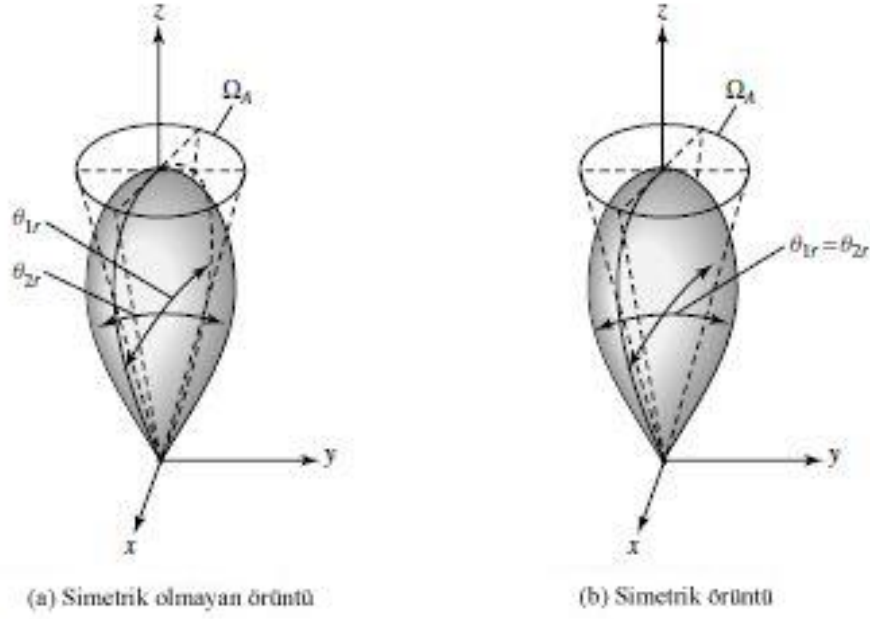
- $U_\theta$ , verilen yöndeki  $\theta$  alan bileşenine ait ışımaya şiddeti
- $U_\phi$ , verilen yöndeki  $\phi$  alan bileşenine ait ışımaya şiddeti
- $(P_{rad})_\theta$ , tüm yönlerdeki  $\theta$  alan bileşenine ait ışınan güç
- $(P_{rad})_\phi$ , tüm yönlerdeki  $\phi$  alan bileşenine ait ışınan güç
- $D_0$ , maksimum yönlülük

olarak alınır.

### 3.3.5.1 Yönlü örüntüler

Yönlülüğü hesaplamak için daha basit ifadeler türetmek olur. Dar bir ana kulağı ile ihmal edilebilecek derecede küçük yan kulakları olan antenler için hüzmeye katı açısı, Şekil 3.16 (a)'da gösterildiği gibi, iki dik düzlemde yarı güç hüzmeye genişliklerinin çarpımına yaklaşık olarak eşittir.





**Şekil 3.16** Simetrik ve simetrik olmayan ışınma örüntüleri için hüzme katı açıları  
(Constantine, 1992)

Şekil 3.16 (b)'de verildiği gibi bir dönüşsel simetriye sahip örüntüler için her iki dik düzlemde de bulunan yarı güç hüzme genişlikleri birbirlerinin aynısıdır.

Bu yaklaşım bilinen ifade

$$D_0 = \frac{4\pi}{\Omega_A} \approx \frac{4\pi}{\Theta_{1r}\Theta_{2r}} \quad (16)$$

ile yazılabilir.  $\Omega_A$  hüzme katı açısıysa yaklaşık olarak

$$\Omega_A \approx \Theta_{1r}\Theta_{2r} \quad (17)$$

ile ifade edilmiş olur. Burada,

- $\Theta_{1r}$ , bir düzlemde yarı güç hüzme genişliği (*rad*)
  - $\Theta_{2r}$ , diğer bir düzleme dik açılı olan düzlemde yarı güç hüzme genişliği (*rad*)
- dir.

### 3.3.5.2 Yönsüz örüntüler

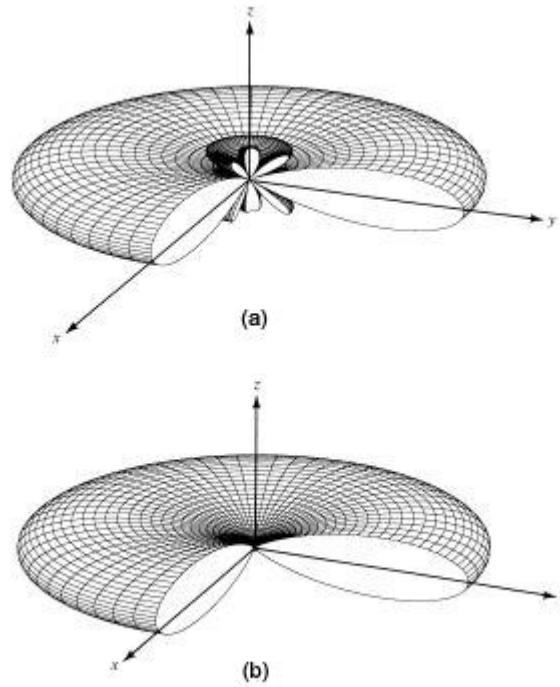
Dipoller, halkalar, enine ışınmalı diziler gibi bazı antenler yönsüz örüntüler sergilerler. Şekil 3.17'da bunlara örnek verilmiştir. Yönsüz örüntüler

$$U = |\sin^n(\theta)| \quad 0 \leq \theta \leq \pi, \quad 0 \leq \phi \leq 2\pi \quad (18)$$

ile gösterilebilir. Burada  $n$  hem tam sayı hem de tam sayı olmayan değerleri temsil etmektedir.

McDonalds tarafından bildirilmiş olan yönlülük formülü, enine ışmalı ve eş doğrultulu bir dizinin dizi faktörüne dayanılarak türetilir ve aşağıdaki ifade ile verilir (McDonald, 1978, s. 340-341):

$$D_0 \simeq \frac{101}{HPBW \text{ (derece)} - 0.0027 [HPBW \text{ (derece)}]^2} \quad (19)$$



**Şekil 3.17** (a) ikincil kulaklar varken ve (b) ikincil kulaklar yokken yönsüz örüntüler  
(Constantine, 2005, s. 56)

### 3.3.6 Anten verimliliği

Bir anten ile ilgili birkaç sayıda verimlilik vardır ve bunlar Şekil 3.18 kullanılarak tanımlanabilir. Genel olarak toplam verimlilik

$$e_0 = e_r e_c e_d \quad (20)$$

olarak ifade edilir. Burada,

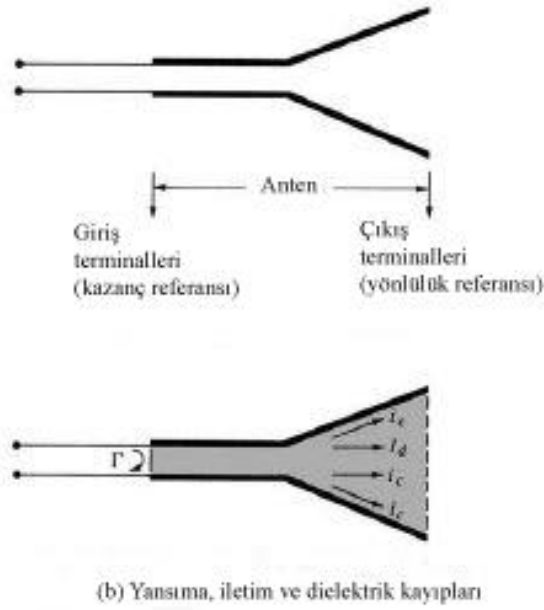
- $e_0$ , toplam verimlilik (boyutsuz)
- $e_r$ , yansımaya verimliliği =  $(1 - |\Gamma|^2)$  (boyutsuz)

- $e_c$ , iletim verimliliği (boyutsuz)
- $e_d$ , dielektrik verimliliği (boyutsuz)
- $\Gamma$ , antenin giriş terminallerindeki gerilim yansımaya katsayısıdır.

Genellikle  $e_c$  ve  $e_d$ 'yi hesaplamak zor oluyor ama deneysel olarak elde edilebilirler. Ölçümlerle dahi birbirilerinden ayırtılamazlar ve yukarıdaki ifadeyi

$$e_0 = e_r e_{cd} = e_{cd}(1 - |\Gamma|^2) \quad (21)$$

olarak yazmak daha iyi olur.



**Şekil 3.18** Antenin referans terminalleri ve kayıpları (Constantine, 2005, s. 65)

S-parametreleri - Bir elektrik sistemindeki portlar arasındaki giriş-çıkış ilişkisini tanımlar. Örneğin, 2 portumuz varsa  $S_{12}$ , Port 2'den Port 1'e aktarılan gücü temsil eder.  $S_{21}$  ise, Port 1'den Port 2'ye aktarılan gücü temsil eder. S-parametresi,

$$S_{11} = \ln \frac{\text{yansıyan güç}}{\text{toplam güç}} \quad (22)$$

şeklinde bulunur. Uygulamada, antenler açısından en çok belirtilen parametre  $S_{11}$ 'dir.  $S_{11}$ , antenin ne kadar güç yansımadığını gösterir ve dolayısıyla yansımaya katsayısı olarak da bilinir. Eğer yansıyan gücün toplam güce oranı  $2/3$ 'ten büyükse  $S_{11} > -10$  olur. O zaman gücün çoğu antenden yansıtılır ve hiçbirşey yayılmaz (Kim v.d., 2011, s. 2720-2724).

VSWR - Duran dalğanın voltaj oranı anlamına gelmektedir. Antene (verici veya alıcı)

güç sağlamak için radyo ve iletim hattının empedansı, antenin empedansı ile eşleşmesi gerekiyor. VSWR parametresi, antenin bağlı olduğu radyo veya iletim hattına ne kadar iyi eşleştirildiğini sayısal olarak açıklayan bir ölçüttür. Duran dalganın voltaj oranı matematiksel olarak denklem 23'te gösterilmiştir.

$$VSWR = \frac{1+|\Gamma|}{1-|\Gamma|} \quad (23)$$

Burada  $\Gamma$ , yansımaya katsayısıdır (Constantine, 2005, s. 65).

### 3.3.7 Kazanç

Antenin performansını gösteren başka bir yararlı ölçü de kazançtır. Antenin kazancının yönlülükle yakından ilişkisi olmasına rağmen antenin yönsel kabiliyetleri kadar onun verimliliğini de hesaba katar. Kazanç, ışımaya şiddetinin güç ışık veren anten tarafından yönbağımsız bir şekilde toplandığında bulunan ışımaya şiddetine oranı olarak kabul edilir ve

$$G = \frac{4\pi U(\theta, \phi)}{P_{in}(\text{kayıpsız yön bağımsız kaynak})} \quad (24)$$

olarak ifade edilir. Burada,

- $U$ , radyasyon yoğunluğu
- $P_{in}$ , toplam giriş gücü (W)
- $G$ , kazanç (boyutsuz)

tür.

İkinci bir kazanç ise yansımaya/uyumsuzluk kayıplarını da hesaba katan mutlak kazançtır. Mutlak kazanç  $G_{abs}$  ile gösterilir ve

$$G_{abs}(\theta, \phi) = e_r G(\theta, \phi) = (1 - |\Gamma|^2) G(\theta, \phi) = e_r e_{cd} D(\theta, \phi) = e_0 D(\theta, \phi) \quad (25)$$

ifade edilir. Burada,  $e_{cd}$  denklem 20'de tanımlanan radyasyon verimliliğidir.

Kazancın desibel formülü ise,

$$G_0(dB) = 10 \log_{10}[e_{cd} D_0(\text{boyutsuz})] \quad (26)$$

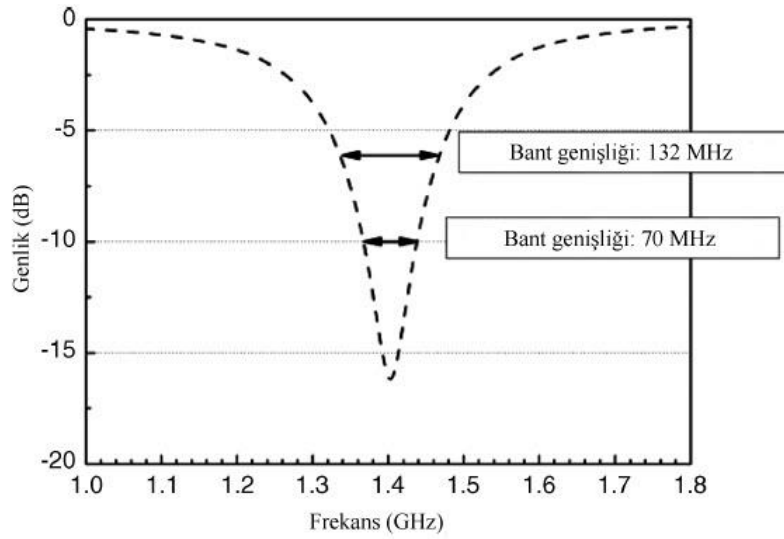
ile ifade ediliyor (Constantine, 2005, s. 65-69).

### 3.3.8 Bant genişliği

Bir antenin bant genişliği, bazı özelliklere göre tanımlanan anten performansının

tanımlanmış bir standarda uyduğu frekans aralığıdır. Yani anten karakteristiklerinin kabul edilebilir değerlerde olduğu merkez frekansının her iki yanı arasındaki frekansların arası olarak kabul edilir. Şekil 3.19’de antenin bant genişliği örnekleri verilmiştir. Bu karakteristikler; giriş empedansı, örüntü, hız genişliği, kutuplanma, yan kulak seviyesi, kazanç, hız yönü ve ışım verimliliği gibi özellikleridir.

Bant genişliği, geniş bantlı antenlerde genellikle uygun görülen çalışmanın şartlarının olduğu üst frekansın alt frekansa oranı olarak bulunur (Warren, 1998).

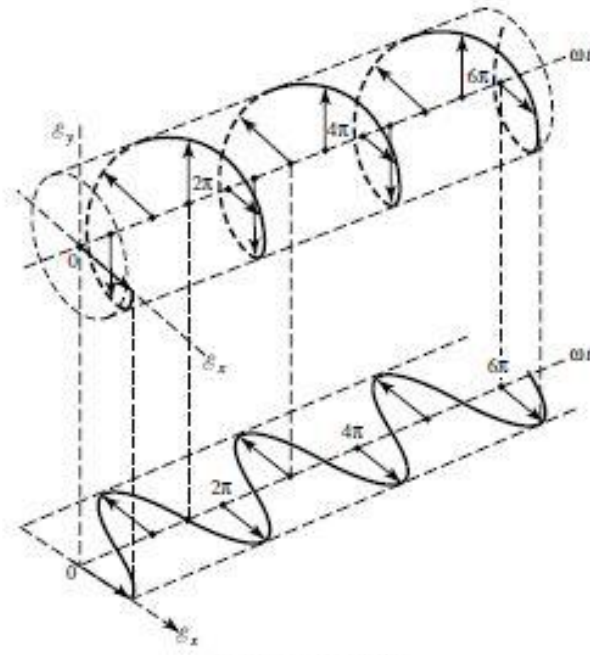


Şekil 3.19 Antenin farklı genliklerdeki bant genişlikleri (Kummer ve Gillespie, 1978)

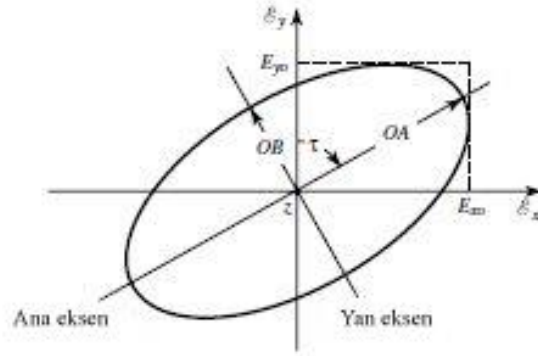
### 3.3.9 Kutuplanma

Verilen bir yöndeki antenin kutuplanması, anten tarafından ışınan dalganın kutuplanması olarak tanımlanır. Pratikte ışınan enerjinin kutuplaşması antenin merkezinden olan yöne göre değişir. Buna göre örüntüsünün farklı bölümleri farklı kutuplanmalara sahip olabilir.

Işınan dalganın kutuplanması, ani elektrik alanı temsil eden vektörün ucunun çizdiği eğridir. Zamanın fonksiyonu olan tipik bir iz Şekil 3.20’de gösterilmiştir.



(a) Dalganın dönmesi



(b) Kutuplanma elipsi

**Şekil 3.20** Bir düzlem elektromanyetik dalga dönmesi ve zamanın bir fonksiyonu olarak  $z = 0$ 'daki kutuplanma elipsi (Constantine, 2005, s. 71)

### 3.3.9.1 Doğrusal, dairesel ve eliptik kutuplanma

Doğrusal kutuplanma - eğer bir zaman harmonik dalganın uzayda verilen bir noktada elektrik (manyetik) alan vektörü, (sadece bir bileşene sahipse, iki dik doğrusal bileşen aynı fazda veya  $180^\circ$  faz dışı ise) zamanla daima aynı düz çizgi boyunca yönleniyorsa bu dalga doğrusal olarak kutuplanmıştır. Doğrusal kutuplanmaya sahip bir dalganın iki bileşen arasındaki zaman faz farkı

$$\Delta\phi = \phi_y - \phi_x = n\pi, \quad n = 0, 1, 2, 3, \dots \quad (27)$$

gibi ifade edilir.

Dairesel kutuplanma - eğer bir zaman harmonik dalganın uzayda verilen bir noktada elektrik (manyetik) alan vektörü, (alanın iki dik doğrusal bileşeni olmalı, bu iki bileşen aynı genlikte olmalı, bu iki bileşen  $90^\circ$ 'nin tek katlarında bir zaman faz farkına sahip olmalıdır) zamanın fonksiyonu olarak bir daire çiziyorsa bu dalga dairesel olarak kutuplanmıştır. Dairesel kutuplanma yalnızca iki bileşenin genlikleri aynı olduğu zaman ve zaman faz farkları  $\pi/2$ 'nin tek katları iken elde edilir ve

$$|\mathcal{E}_x| = |\mathcal{E}_y| \Rightarrow E_{xo} = E_{yo} \text{ iken}$$

$$\Delta\phi = \phi_y - \phi_x = \begin{cases} +\left(\frac{1}{2} + 2n\right)\pi, & n = 0, 1, 2, \dots \quad ; \text{saat yönü için (28)} \\ -\left(\frac{1}{2} + 2n\right)\pi, & n = 0, 1, 2, \dots \quad ; \text{saat yönünün aksi için (29)} \end{cases}$$

gibi ifade olunur. Burada,

- $E_{xo}$ , x bileşeninin maksimum büyüklüğü
- $E_{yo}$ , y bileşeninin maksimum büyüklüğü

dür. Dalga yayılımının yönü tersine çevrilirse denklem 28 ve 29'da yönler değiştirilmelidir.

Eliptik kutuplanma - eğer bir zaman harmonik dalganın uzayda verilen bir noktada elektrik (manyetik) alan vektörünün ucu (bu alanın iki dik doğrusal bileşeni olmalı, bu iki bileşen aynı veya farklı genliklere sahip olabilir) uzayda eliptik bir şekil izliyorsa bu dalga eliptik olarak kutuplanmıştır. Eliptik kutuplanma yalnızca iki bileşen arasındaki zaman faz farkı,  $\pi/2$ 'nin tam katlarından farklı olduğu ve genlikleri birbiri ile aynı olmadığı zaman elde edilir ve

$$|\mathcal{E}_x| \neq |\mathcal{E}_y| \Rightarrow E_{xo} \neq E_{yo} \text{ iken}$$

$$\Delta\phi = \phi_y - \phi_x = \begin{cases} +\left(\frac{1}{2} + 2n\right)\pi & ; \text{CW için (30)} \\ -\left(\frac{1}{2} + 2n\right)\pi & ; \text{CCW için (31)} \end{cases}$$
$$n = 0, 1, 2, \dots$$

şeklinde yazılır (Constantine, 1992).

### 3.3.10 Giriş empedansı

Bir antenin giriş empedansı, onun terminallerinde gösterdiği empedans,

terminallerindeki gerilimin akıma oranı veya bir noktadaki elektrik alanın manyetik alana oranı olarak tanımlanır ve

$$Z_A = R_A + jX_A \quad (32)$$

şeklinde ifade edilir. Burada,

- $Z_A$ ,  $a$ - $b$  terminallerindeki anten empedansı ( $\Omega$ )
- $R_A$ ,  $a$ - $b$  terminallerindeki anten direnci ( $\Omega$ )
- $X_A$ ,  $a$ - $b$  terminallerindeki anten reaktansı ( $\Omega$ )

şeklindedir. Şekil 3.21 (a)'da bu terminaller  $a$ - $b$  olarak belirtilmiştir. Direnç kısmı kendisi iki bileşen içerir:

$$R_A = R_r + R_L \quad (33)$$

Burada,

- $R_r$ , antenin ışıma direncini
- $R_L$ , antenin kayıp direncini

temsil etmektedir. Eger antenin iç empedansı,

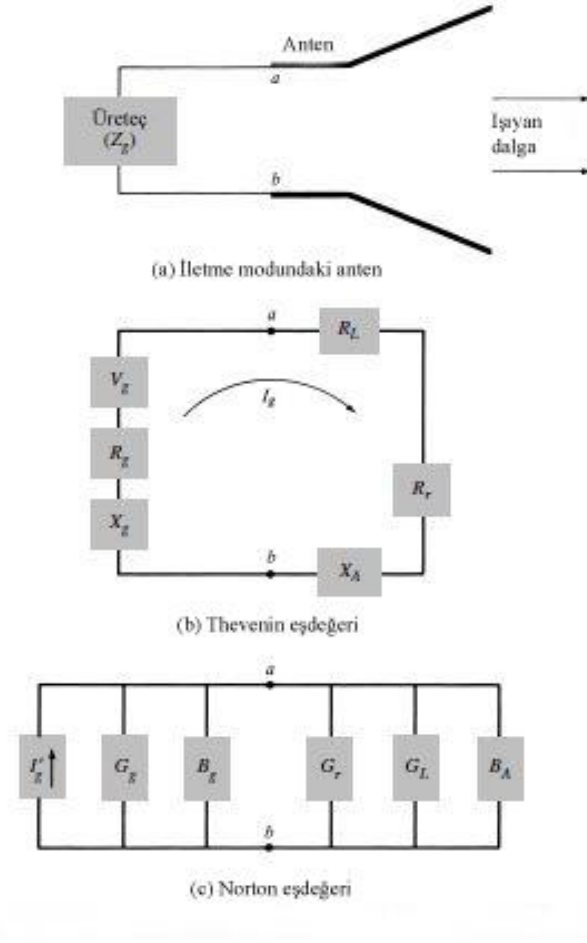
$$Z_g = R_g + jX_g \quad (34)$$

olan bir üretece bağlandığını farz edersek burada,

- $R_g$ , üreteç empedansının direnci ( $\Omega$ )
- $X_g$ , üreteç empedansının reaktansı ( $\Omega$ )

ise ve ayrıca anten iletme modunda kullanılıyorsa, anteni ve üreteci Şekil 3.21 (b)'de verilen bir eşdeğer devre ile ifade edebiliriz. Bu devre, küçük ve basit antenleri temsil etmekte kullanılabilir. Şekil 3.21 (c) ise, iletme modunda çalışan antenin ve kaynağın Norton eşdeğerini göstermektedir (Blake, 1966).





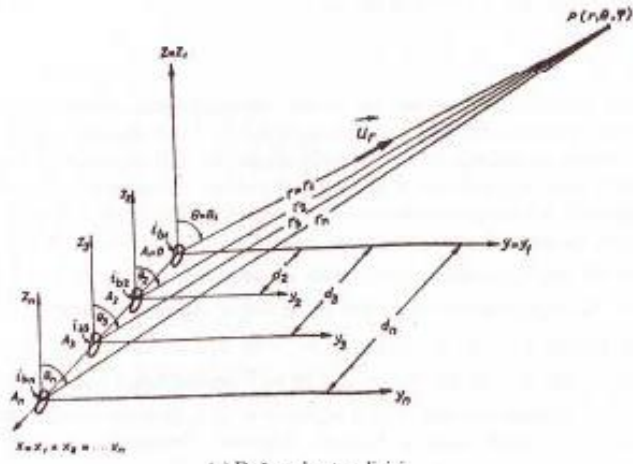
Şekil 3.21 Verici anten ve eşdeğer devreleri (Contantine, 2005, s. 81)

### 3.3.11 Diziler

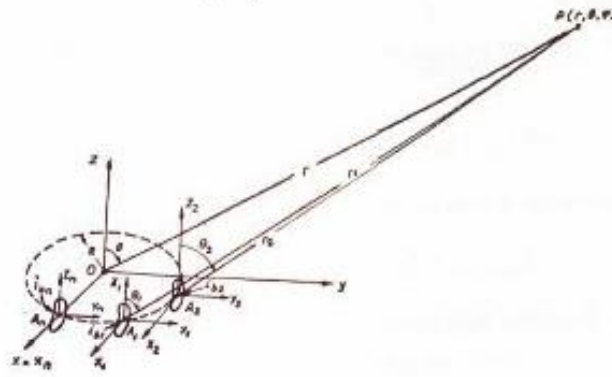
Bir antenin yöneltiliği için,

$$\vec{E}_{ışın} = \frac{e^{-jkr}}{r} f(\theta) \vec{u}_\theta \quad (35)$$

yapısından daha fazla kısıtlamalar konur. Bu kısıtlamaları sağlayabilmek için, eşit yapıda antenler birbirine paralel olarak sıralanırsa, elde edilen sisteme anten dizisi denir. En çok kullanılan anten dizileri iki tiptir. Bunlardan birincisinde, antenlerin besleme noktaları bir doğru üzerinde sıralanır. Bu tip dizilere *doğrusal (lineer)* diziler denir. İkinci tip dizide antenlerin besleme noktaları bir daire üzerinde sıralanır. Bu tip dizilere ise *dairesel* diziler denir. Her iki dizi örnekleri Şekil 3.22'da gösterilmiştir (Akkaya, 1997, s. 112-119).



(a) Doğrusal anten dizisi



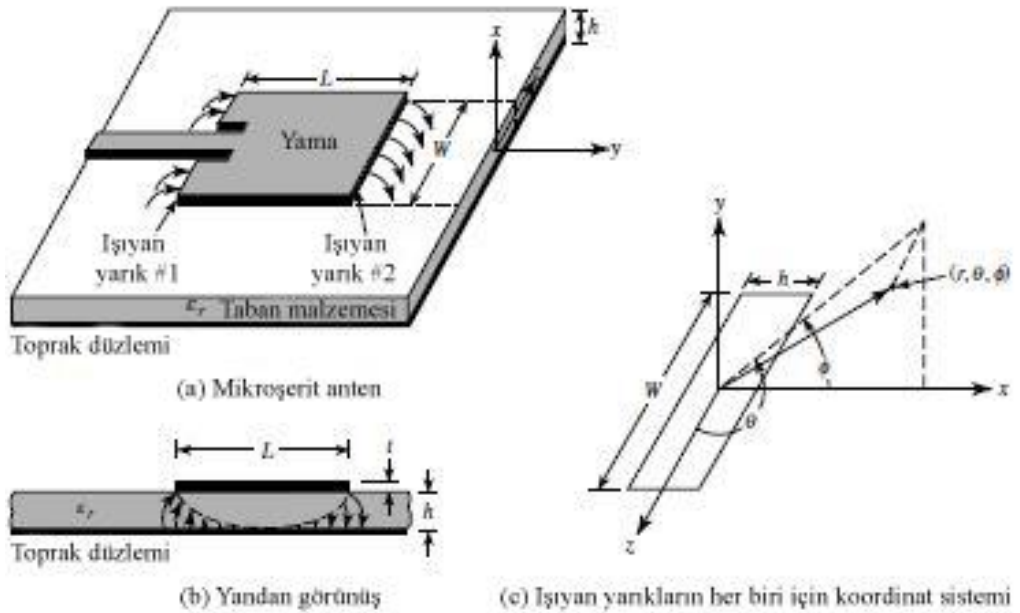
(b) Dairesel anten dizisi

Şekil 3.22 Genel anten dizileri (Akkaya, 1997, s. 113)

## 4. MİKROŞERİT ANTENLER

### 4.1 Mikroşerit Antenlerin Genel Yapısı

Günümüzde daha az maliyetli, kolay kurulumlu, küçük ve performansı yüksek anten çeşitlerine ihtiyaç duyulur. Bu ihtiyaçları karşılayan mikroşerit antenler, maliyeti az, ölçütleri küçük, hafif ağırlıkta ve kurulum kolaylığına rağmen yüksek performans sergileyen bir anten çeşididir. Yüksek performanslı uçak, uzay, uydu ve füze uygulamaları için kullanılır. Dünyada neredeyse her kes tarafından kullanılan kablosuz haberleşme cihazları; radyo ve telefonların yapısında da mikroşerit antenlerden yararlanılmaktadır. Şekil 4.1’de dikdörtken mikroşerit anten koordinat sistemi gösterilmiştir (Gark v.d., 2001, s. 875).



Şekil 4.1 Mikroşerit anten koordinat sistemi (Constantine, 2005, s. 812)

## 4.2 Mikroşerit Antenlerin Avantajları ve Dezavantajları

Mikroşerit antenlerin bir çok üstün özellikleri vardır:

- Küçük hacimli ve hafiftirler,
- Üretim maliyetleri düşüktür,
- Kolayca entegre edilebilirler,
- Besleme noktalarında yapılan küçük değişikliklerle, lineer ve dairesel polarizasyon sağlamak mümkündür,
- Boşluk desteği gerektirmez,
- Mikrodalga iletim hatlarına kolayca monte edilebilirler.

Bir çok antende olmayan avantajlarıyla geniş bir alanda kullanılması ve günümüzde kullanılan antenlerin yerini alması beklenilmektedir. Kullanılan bu geniş alanlar kablosuz sistemler, uydu haberleşmesi, biomedikal ışınlayıcılar, uzaktan algılama gibi birçok alanlardır (Bazan, 2010).

Bu avantajların yanında bulunan bazı dezavantajları da mevcuttur. Bunlardan:

- Düşük bant genişliği,
- Çok düşük kazançlar (-6 dB),
- Yarı düzlem içerisinde ışın yapmaları,
- Işın yapan elemanlarla besleme arasındaki yalıtım zayıflığı,
- Düşük güç kapasitesi (Munson, 1978),

gibi örnek özellikler verebiliriz.

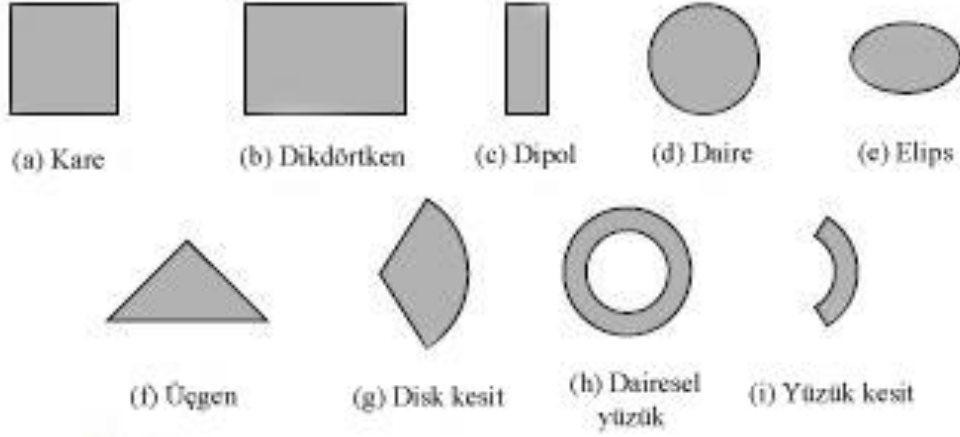
Bu türlü dezavantajlara sahip mikroşerit antenlerin yapılan araştırma ve geliştirmeler sonucunda farklı teknikler kullanılarak bu eksik yönlerin tamamen veya belli oranlarda giderilmesinin mümkün olduğu görülmüştür. En büyük eksikliği olan bant genişliğinin %60'tan fazla artırıldığı mümkün olmuştur (Sainati, 1996).

## 4.3 Mikroşerit Anten Çeşitleri

Mikroşerit antenlerin üretim kolaylığından dolayı tasarımlarının da çok çeşitli olabilmesi sağlanmaktadır. Geometrilerine göre çeşitlenebilecekleri gibi besleme yöntemlerine göre de çeşitlenebilmektedirler.

### 4.3.1 Mikroşerit yama antenler

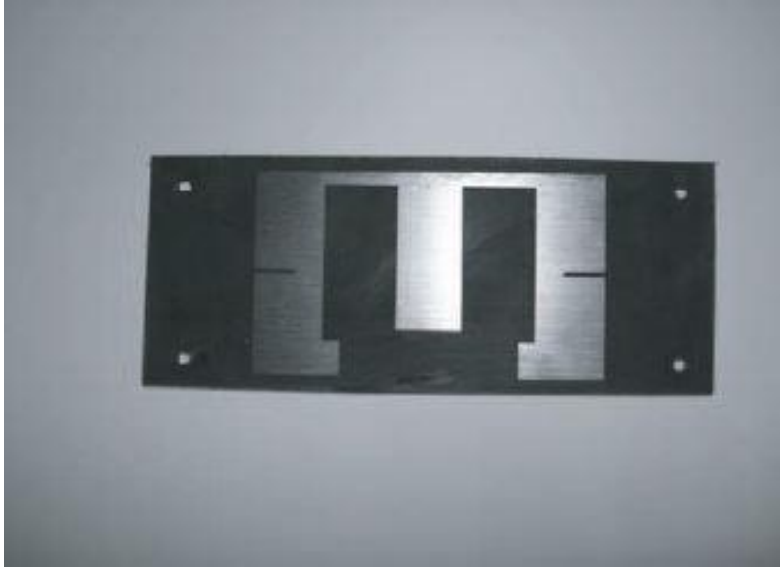
Mikroşerit yama antenler, ışımayı sağlayan metal yapının alttaş üzerine istenilen geometride yerleştirilmesi ile oluşturulmaktadır. Işımayı sağlayan metal yapının (yama) geometrisi genellikle düzlemseldir. Buna rağmen geometrisi düzlemsel olmayan yapılarda da kullanılmaktadır. Bazı mikroşerit yama antenlere örnekler Şekil 4.2’de verilmiştir.



Şekil 4.2 Çeşitli mikroşerit yama antenler (Katehi ve Alexopoulos, 1984, s. 1179-1186.)

### 4.3.2 Mikroşerit yarık antenler

Mikroşerit yarık antenler, alttaş üzerine yerleştirilen ışımayı sağlayan metal yapının (yama) üzerinde boşluklar açılması ile elde edilir. Yama ve toprak düzlemi genellikle düzgün geometrilere sahiptirler (Şekil 4.3).

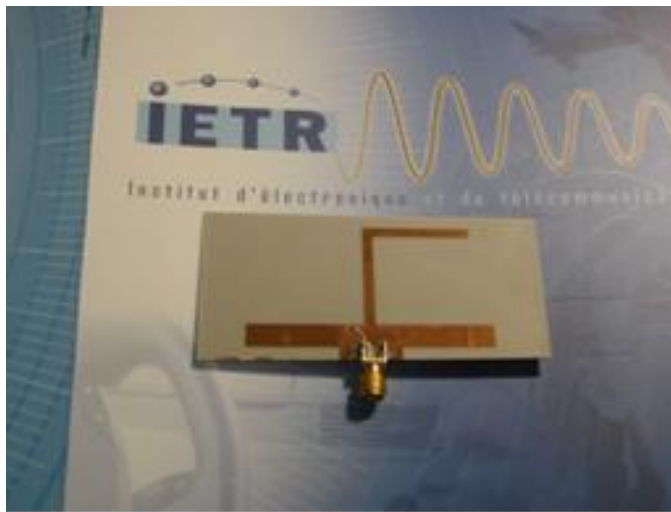


Şekil 4.3 Mikroşerit yama anten geometrileri (Islam v.d., 2009, s. 165)

#### 4.3.3 Mikroşerit dipol antenler

Mikroşerit dipol antenler, bir dikdörtken mikroşerit yama antenine benzer ama kenarlarının oranları farklı biçimdedir. Bu benzerlik mikroşerit yama ve mikroşerit dipol antenlerin ışıma diyagramlarının benzer akım dağılımlarından oluşur (James, 1989).

Mikroşerit dipol antenin genişliği, serbest uzay dalga boyunun 0.05 katından daha az olarak alınmaktadır. Şekil 4.4'de mikroşerit dipol antenin yapılandırılması gösterilmiştir.



Şekil 4.4 Mikroşerit dipol anten (Floc ve Sayed, 2012)

## **4.4 Mikroşerit Antenlerin Besleme Çeşitleri**

### **4.4.1 Mikroşerit besleme**

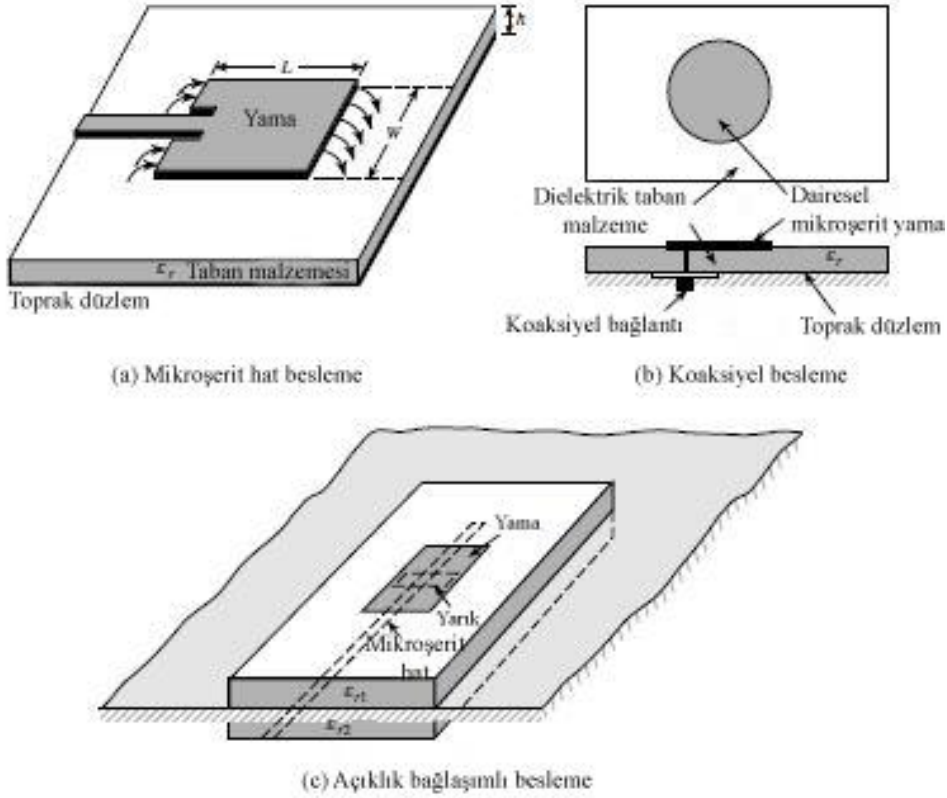
Mikroşerit beslemenin üretimi kolaydır ve modellemesi oldukça zahmetsizdir. Ama, taban malzemesinin kalınlığı arttırıldığında bant genişliğini sınırlayan (% 2-5) yüzey dalgaları ve beslemenin ışımaları artar (Şekil 4.5 (a)) (Carver ve Mink, 1981, s. 2-24).

### **4.4.2 Koaksiyel besleme**

Koaksiyel besleme yöntemi de oldukça yaygındır. İç iletken ışıyan yamaya eklendiği zaman dış iletkeni toprak düzleme bağlanır. Koaksiyel beslemenin de üretimi oldukça basittir ve az zahmet talep eder. Ama, koaksiyel besleme dar bant genişliğine sahiptir. Bunların kalın tabanlar ( $h > 0.02\lambda_0$ ) için modellemesi daha zordur (Şekil 4.5 (b)) (Bahl ve Bhartia, 1980).

### **4.4.3 Açıklık kuplajlı besleme**

Açıklık kuplajlı besleme toprak düzlemde ayrılmış iki tabandan oluşmaktadır. Modellemesi kolaydır. Bant genişliği düşük ve bu beslemeler içerisinde üretimi en zor olanıdır. En alttaki taban malzemesinin altında mikroşerit besleme vardır. Bu, toprak düzlem üzerindeki bir yarık boyunca metal yamaya enerjisini ötürür (Şekil 4.5 (c)) (Pozar, 1992, s. 79-81).



Şekil 4.5 Mikroşerit antenler için farklı besleme çeşitleri (Constantine, 2005, s. 814)

## 4.5 Mikroşerit Antenlerin Önemli Parametreleri

### 4.5.1 Geri dönüş kaybı

Antenin geri dönüş kaybı, yükün ne kadarının kaybolduğunu gösteren bir parametredir. Verici ile antenin empedansı uyuşmadığı zaman yansıyan dalgalar, duran dalgaların oluşmasına neden olur.

Verici ve anten empedansı arasındaki mükemmel uyumu sağlamak için yansıma katsayısının sıfır olması gerekir. Bu da gücün tamamen geçtiği anlamına gelir ki, pratikte bu mümkün değildir (Ahmad ve Jaralla, 2008).

### 4.5.2 Polarizasyon

Polarizasyon, belirli bir yönde ışılan dalganın polarizasyonunu gösterir. Eger yön belirtilmezse, polarizasyon, maksimum kazanç yönündeki polarizasyon olarak alınır. Polarizasyon, doğrusal, dairesel ve eliptik olmak üzere üç sınıfa ayrılır ve elektrik alan vektörü ile gösterilir (Ali v.d., 2005).



### 4.5.3 Verimlilik

Verimlilik, antenin elektromanyetik dalgaya dönüştürdüğü enerjinin, antene verilen enerjiye oranı olarak tanımlanır. Mikroşerit anten için verimlilik denklem 1'de verilmiştir.

$$e_{cdsw} = \frac{1/Q_{rad}}{1/Q_t} = \frac{Q_t}{Q_{rad}} \quad (1)$$

Burada,

- $Q_t$ , toplam kalite faktörünü
- $Q_{rad}$ , ışıma kayıplarından dolayı oluşan kalite faktörünü

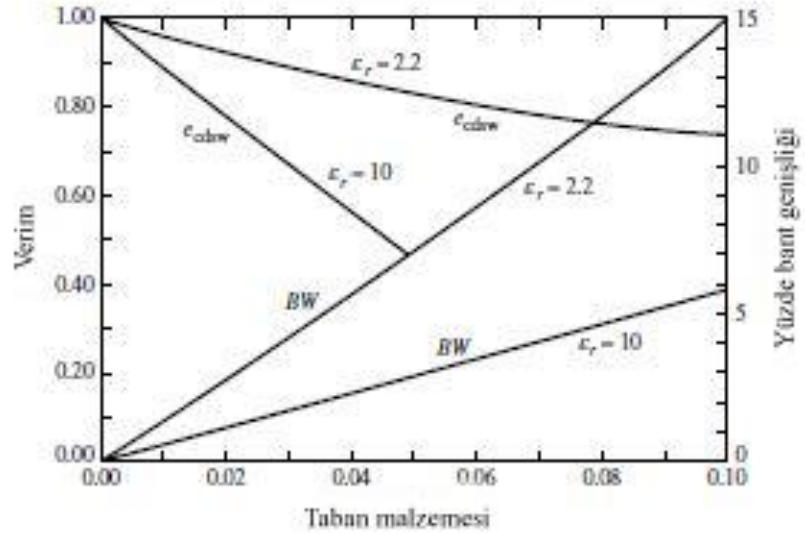
temsil etmektedir. Toplam kalite faktörü,

$$\frac{1}{Q_t} = \frac{1}{Q_{rad}} + \frac{1}{Q_c} + \frac{1}{Q_d} + \frac{1}{Q_{sw}} \quad (2)$$

oluşur. Burada,

- $Q_c$ , iletken kayıplarından oluşan kalite faktörü
- $Q_d$ , dielektrik kayıplarından oluşan kalite faktörü
- $Q_{sw}$ , yüzey dalgalarından oluşan kalite faktörü

temsil etmektedir (Şekil 4.6).



**Şekil 4.6** Dikdörtken mikroşerit yama antenin taban malzemesine karşı verim ve bant genişliği (Pozar, 1992)

#### 4.5.4 Yönlülük ve kazanç

Yönlülük, belirli bir yöndeki ışıma güç yoğunluğunun, antenin bütün yönlerdeki ışıma güç yoğunluğunun ortalamasına oranı ile ölçülür. Burada dikkat edilmesi gereken, ışıma güç yoğunluğunun anten tarafından yayılan toplam gücün  $4\pi$ 'ye bölümüdür.

Kazanç, verimlilik ile yönlülüğün çarpımı olarak belirlenir ve

$$G = eD \quad (3)$$

şeklinde ifade edilir. Burada,

- $e$ , antenin verimliliğini
- $D$ , antenin yönlülüğünü

temsil etmektedir.

#### 4.5.5 Bant genişliği

Mikroşerit antenin bant genişliği, onun performansının en iyi olduğu üst ve alt frekanslar arasındaki fark olarak tanımlanır. Bant genişliği, geniş ve dar olarak iki yöntemle hesaplanır. Geniş bant antenler için bant genişliği üst frekansın alt frekansa oranı ile

$$BW_{geniş\ bant} = \frac{f_{üst}}{f_{alt}} \quad (4)$$

elde edilir. Dar bant antenler için ise bant genişliği yüzde olarak üst frekans ile alt frekans arasındaki farkın merkez frekansa oranı ile

$$BW_{dar\ bant}(\%) = 100x \left[ \frac{f_{üst} - f_{alt}}{f_{merkez}} \right] \quad (5)$$

hesaplanır.

## **5. MOBİL HABERLEŞMEDE KULLANILAN ANTENLER**

Son yıllarda mobil haberleşme teknolojisinin trendinin ölçüsü ve çekisi hızlı bir şekilde inmiştir. Trendin bu gelişimine göre cep telefonlarının antenlerinin görünümü küçük, hafif çekide, düşük profilli, yatay düzende istikametsiz radyasyon modeline sahip olmalıdır (Ma ve Row, 2011). Ancak kullanıcıların el ve kafaları ile etkileşim süresinde antenlerin performanslarında bazı sorunlar vardı. Cep telefonlarının kullanılması zamanı kullanıcıların hareketi tez tez kazanç, radyasyon modeli ve giriş empedans değişimini idare ediyor. Bu nedenle antenler mobil cihazlarda kişisel iletişim için iki gerekli element gibi gelişim veya performans sisteminin kısıtlanabilir olabileceğini öğrendi. Özellikle bu bantgenişliği ve verimliliğin şartlarında doğrudur. Bu sebeple üstün performanslı özen gösterilmiş mobil cihazların anten sistemlerinin tasarımına mühendislerin dikkat etmesi gerekir (Elsadek, 2010).

Mobil haberleşmede mikroşerit anten uygulamaları Çizelge 5.1’de verilmiştir. Bu uygulama alanları WIFI, WIMAX gibi önemli teknolojileri kapsıyor (Zhu ve Eleftheriades, 2009).

### **5.1 Kablosuz Mobil Haberleşme İçin Anten Sistemleri**

Monopol antenler çeşitli otomobiller ve mobil cihazlar için en iyi seçim olarak bilinir. Bu nedenle ki hem dizayn kolaylığı sağlar ve hem de mobil iletişim için önemli özellikleri kendinde taşır. Anten tasarımcıları için her zaman eşsiz bir talep kompakt veya küçük antenler tasarlamaktır ki bu da çağdaş teknoloji ile uygundur.

Küçük mobil terminaller için şimdiye kadar kullanılan tipik anten elementleri monopol, dipol, heliks, PİFA, mikroşerit ve labirent hattıdır (). Son zamanlarda kullanılan monopol antenlerin yerine mobil telefonlarda sadece dahili anten kullanım eğilimi çoğalmıştır. Böyle ki küçük ölçülü, seramit kalıplı çip antenlerin kullanımı daha da popülerleşmiştir (Islam v.d., 2009).

## 5.2 Mobil Antenlerin Gereksinimleri Ve Zorlukları

Kablosuz iletişim ve veri transferi için artan büyük talep, cihaz ve kişisel iletişim araçlarının kullanımında herhangi kablosuz sistemlerin temel hissesi gibi, anten tasarımının gelişmesi için bir neden oluşturmuştur. Birçok durumda antenler küçük naylon kutulardadır. Bu, kullanıcının biyolojik beden dokularına ve etrafa elektromanyetik dalgaların yayılımını engelliyor. Aynı zamanda sistem düşük güç yaymalı, ses ve veri ulaşımında güvenilirliği tatmin etmelidir. Kullanıcılar ve servis sağlayıcıları kablosuz iletişimde düşük maliyete üretilen, kablosuz iletişim sistemleri ile kolay entegre edilebilen kompakt antenleri daha çok tercih ediyor. Anten tasarımcıları aynı zamanda aşağıda gösterilen antenin elektriksel özelliklerini dikkate almalıdır (Song, 2007). Bu özellikler,

- Çalışma frekansı,
- Giriş empedansı,
- Bantgenişliği,
- Kazan ve yönlülük,
- Radyasyon modeli,
- Türleri.

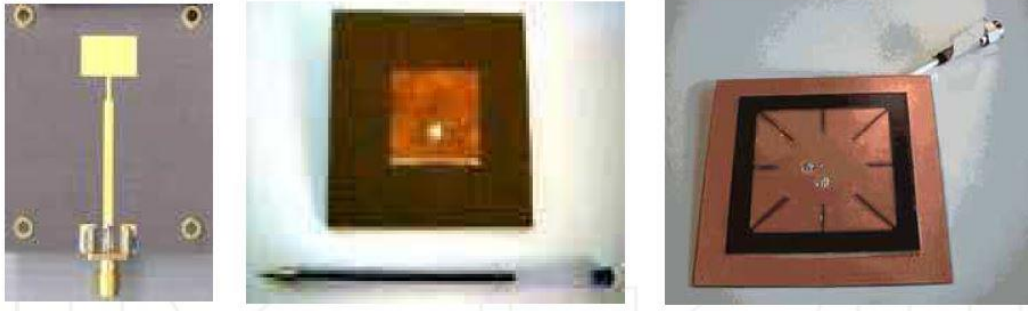
Önemli yeni değişimlere göre,

- Ana gövdenin ölçüleri,
- Antenin özgül soğurma oranı (SAR),  
gibi özelliklere de bakılmalıdır.

## 5.3 Mikroşerit Antenler

Kablosuz sistemlerin gereksinimlerini karşılayan en iyi antenlerden biri mikroşerit antenlerdir. Bu antenler el cihazlarının baz istasyonlarında çok yaygın bir şekilde kullanılır. Mikroşerit antenler çeşitli konfigürasyonlarda var ve şu anda anten araştırma ve geliştirme projelerinin en aktif konusu olmuştur. Mikroşerit yama antenlerin avantajları mobil ve uydu haberleşmesi sistemleri gibi kablosuz haberleşme sistemlerinin uygulamalarında da giderek genişleyen bir yelpazeye sahiptir. Basitçe söylemek gerekirse, mikroşerit antenin yapısı zemin düzlem olarak adlandırılan düşük kayıplı yalıtıp malzemesinden oluşan ince bir tabaka ile oluşur ve diğer tarafları devre veya anten modelleri ile kısmen metalize edilir (Yurduseven, 2013). Devrede

bileşenler ya toplu bileşenlerin yerleştirilmesi ya da Şekil 5.1’de gösterildiği gibi devre içinde doğrudan gerçekleştirilerek dahil edilebilir.



**Şekil 5.1** Mikroşerit yama antenler (Elsadek, 2010, s. 165)

Mikroşerit antenlerin avantajları;

- Kullanımı kolay ve ucuz; küçük ve hafif,
- Baskılı devrelerin düşük güç ve işleme yeteneği,
- Topolojik hususları: diğer devre cihazlarının içerisinde olması, dolayısıyla sistem güvenilirliğinin artırılması,
- Boyutunun azaltılması: baskılı devreler ince ve dolayısıyla dalga kılavuzu veya koaksiyel hat muadillerine göre daha az hacim gerektirir,
- Büyük ölçekli üretim: tasarımcı başta temel devre modelini geliştirir, devreyi gerçekleştirir ve başarılı olduğunu test eder. Ek kopyalar büyük seri üretiminde hızla ve sürekli olarak üretilebilir.

Mikroşerit antenlerin dezavantajları;

- Dar bantgenişliği,
- Düşük kazanç,
- Geniş besleme ağında büyük omik kayıp,
- Besleme radyasyonu radyasyon modeline katkıda bulunur,
- Yüzey dalgalarının uyarılması,
- Düşük polarizasyon.

### **5.3.1 Uygulama çeşitleri**

Mikroşerit anten ve dizilerin gelişiminin en hızlı ilerlemesi 1980 yıllarında gerçekleşti. İlk önce bu antenler savunma ve uzay uygulamaları tarafından tahrik edildi. Sonra bu teknoloji ticari sektörde hızla büyümeye başladı. Savunma ve uzay uygulamalarda

kullanılan mikroşerit antenler için özellikler, genellikle maliyetin küçülmesiyle maksimum performansın elde olunması idi. Öte yandan ticari uygulamalar azalmış elektriksel performans pahasına düşük maliyet unsurları talep ediyordu. Böylece ticari sistemler için mikroşerit antenler düşük maliyetli malzemeler, basit ve ucuz üretim teknikleri gerektiriyordu. Günümüzde ticari sistemlerde kullanılan bazı mikroşerit antenler aşağıdaki tabloda verilmiştir.

**Çizelge 5.1** Mikroşerit anten uygulamaları (Elsadek, 2010, s. 166)

UYGULAMA	FREKANS ARALIĞI
Küresel Konumlandırma Uydusu (GPS)	1575 MHz ve 1227 MHz
Mobil İletişim İçin Küresel Sistem (GSM)	890-915 MHz ve 935-960 MHz
Kablosuz Yerel Ağ (WLAN)	2.40-2.48 GHz ve 5.4 GHz
Hücresel Video	28 GHz
Direkt Yayınlı Uydu	11.7-12.5 GHz
Otomatik Ücret Toplama	905 MHz ve 5-6 GHz
Çarpışma Kaçınma Radarı	60 GHz, 77 GHz ve 94 GHz
Geniş Alan Bilgisayar Ağları	60 GHz

Çok bantlı antenlerin bir çok avantajları mevcuttur. En üstün avantajı tek bir anten ile bir ve daha fazlası frekans bantlarında çalışabilir bir durumda olmasıdır.

Mobil uygulamalar için frekans bantları oldukça geniştir. Bu nedenle cihazlarda çok bantlı mikroşerit antenlerin kullanımı hem maliyet bakımından hem de daha az yer kapsamından dolayı avantaj sağlamaktadır (Khan v.d., 2013).

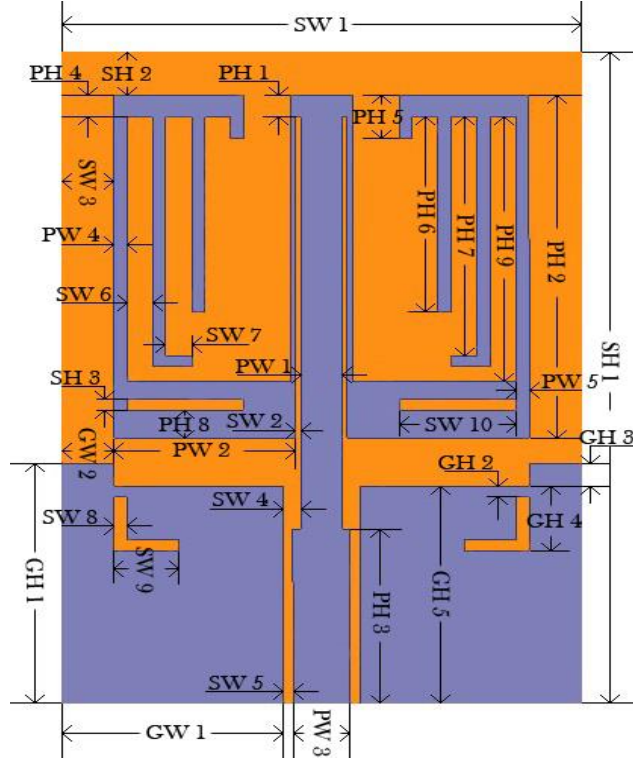
Önümüzdeki bölümde araştırdığımız makalelerden faydalanarak yeni bir çok bantlı anten tasarımı yer almıştır.

## 6. MOBİL HABERLEŞMEDEKİ MİKROŞERİT ANTEN TASARIMI

Bu bölümde üçlü bant uygulamaları, GPS/WLAN/WIMAX için yeni bir mikroşerit anten önerilmiştir (Elsheakh ve Abdallah, 2012) (Basaran v.d., 2013). Bu üç pratik frekans bantları üç dikdörtken parça üzerinde bir çift L-şekilli yarık ve dikdörtken yarıklarla sağlanmaktadır. Önerilen antenin simule edilmiş prototipi 30x25x0.8 mm ölçülere sahiptir. Simulasyondan elde edilen sonuçlar sunulan antenin üç bant için, 600 MHz (1.2-1.8 GHz), 400 MHz (2.2-2.6 GHz) ve 2000 MHz'de (4.5-6.5 GHz) ayrılmış üç empedans bant genişliklerini kapsayabileceğini göstermektedir ve bu bantlar her üç bant için (GPS için 1.5 GHz, WLAN için 2.4 GHz ve WIMAX için 5.5 GHz) de iyi bir şekilde uygulanmaktadır (Zhai, 2013).

### 6.1 Anten Tasarımı

Tasarımını verdiğimiz anten Şekil 6.1'de gösterilmiştir. Antenin alt tabaka malzemesi FR4-epoxy katmanından oluşmuş, malzemenin kalınlığı 0.8mm'dir. Besleme hattı CPW'dır. Antenin parametreleri: SW1 = 20, SW2 = 0.2, SW3 =2, SW4 =0.7, SW5 =0.4, SW6 =1, SW7 =1, SW8 =0.5, SW9 =2.5, SW10 =4.5, SH1 =30, SH2 =2, SH3 =0.5, PH1 =1, PH2 =15.8, PH3 =8, PH4 =1, PH5 =2, PH6 = 9, PH7 =11, PH8 =1.3, PH9 =12.2, PW1 =1.6, PW2 =7, PW3 =2.2, PW4 =0.5. PW5 =0.5, GH1 =11, GH2 =0.5, GH3 =1, GH4 =3, GH5 =10, GW1 =8.5, GW2 =2 (Tüm birimler milimetredir). Gösterdiğimiz bu ölçütlerde tasarımı verilen antenin en iyi bir performans göstermesi için antenimizde adım adım küçük değişiklikler yaptık ve bu adımları inceledik.



**Şekil 6.1** Yeni yapılan anten

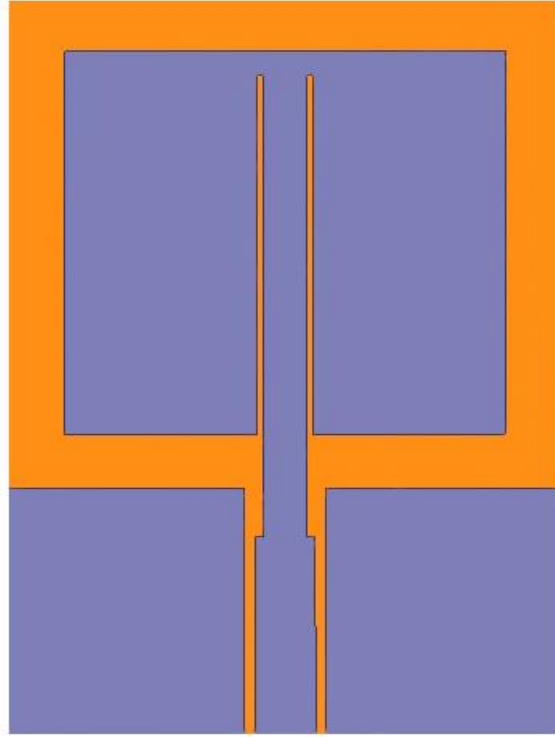
## 6.2 Adımlar

Tasarımın iyi olması amacıyla uygulama olarak Ansoft'un sunmuş olduğu HFSS'yi kullandık. Burada dört prototipin simülasyonları gösterilmiş ve her simülasyona uygun sonuçlar incelenmiştir. Tüm simülasyonlarda antenin SW1 ve SH1 ölçüleri eşittir.

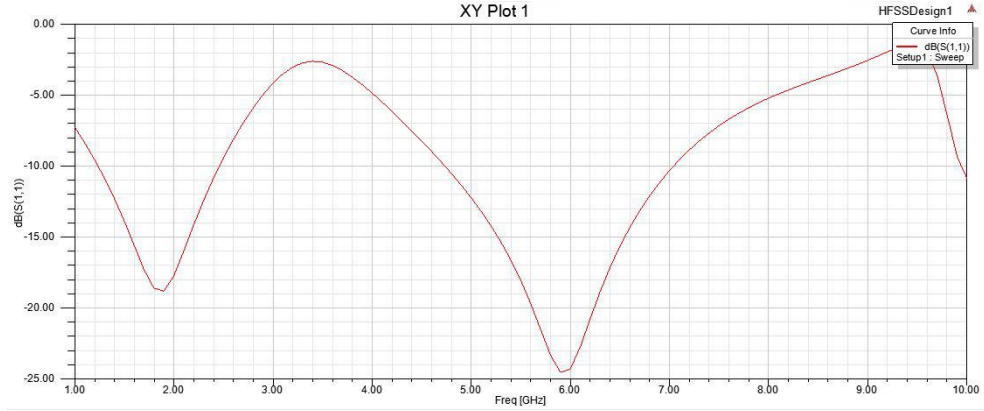
### 6.2.1 Birinci adım

Bu adımda üç dikdörtken şekilli parça kullanarak antenimizin ilk prototipini yarattık. Şekil 6.2'de aldığımız ilk prototip gösterilmektedir. Bu prototipe göre aldığımız sonuçlar aşağıda yer almaktadır. Şekil 6.3'de antenin S11 bakımından görüldüğü gibi iki frekans bandında rezonans alınmıştır. 1.2 GHz – 2.4 GHz ve 4.8 GHz – 7 GHz. Şekil 6.4'de antenin üç boyutlu radyasyon deseni verilmiştir.

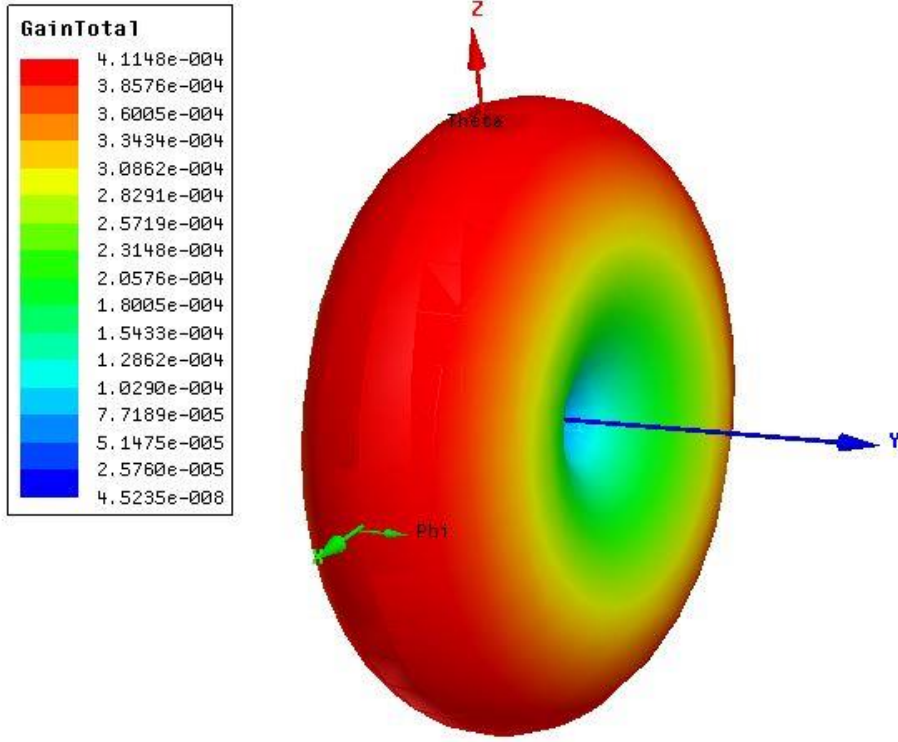




Şekil 6.2 İlk prototip



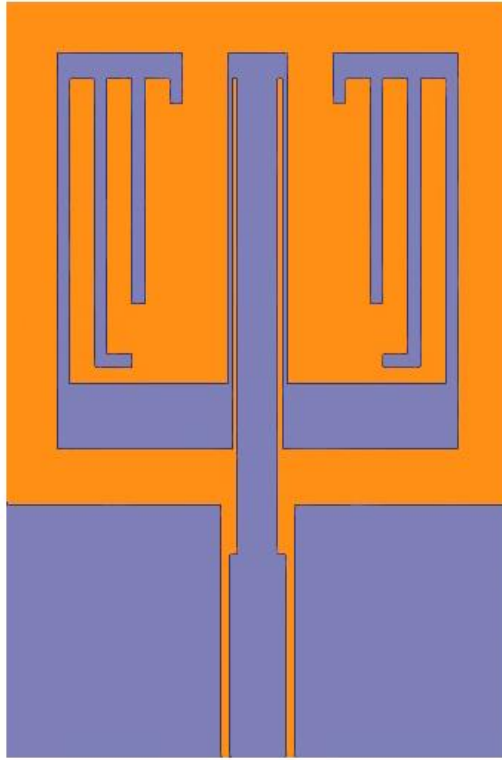
Şekil 6.3 İlk prototipde elde edilen S11



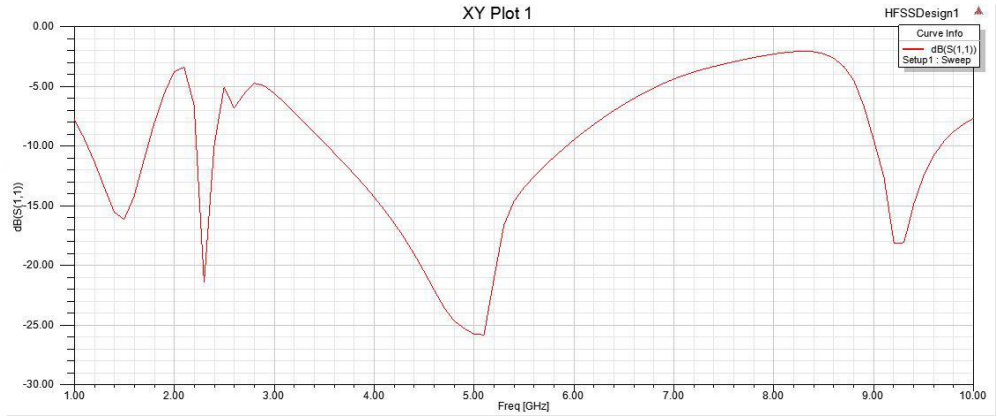
Şekil 6.4 İlk prototipde elde edilen 3-boyutlu radyasyon deseni

### 6.2.2 İkinci adım

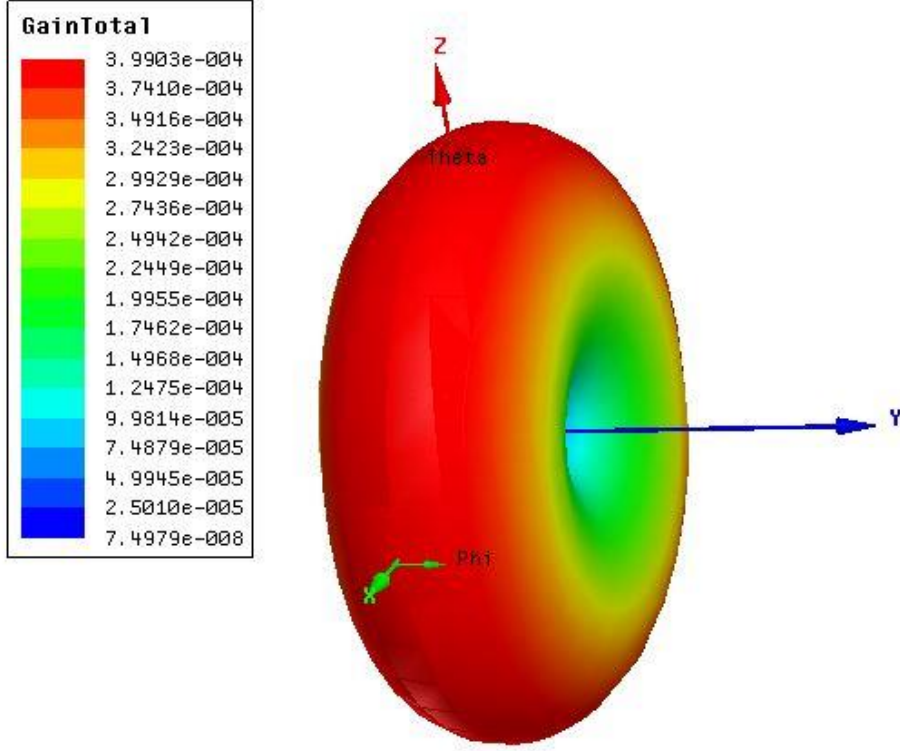
İkinci adımda yama üzerinde L-şekilli yarıklar oluşturduk (Şekil 6.5). S11 parametrenin yer aldığı Şekil 6.6'dan da görüldüğü gibi bu yarıklar bize 2GHz ve 3GHz frekansları arasında rezonans almamızı sağladı. Bu iyi bir adım sayılabilir fakat, bu da bizim istediğimiz sonuç değildir. Şekil 6.7'de radyasyon deseninde değişiklik göze alınmadığı farkediliyor (Moosazadeh ve Kharkovsky, 2014).



Şekil 6.5 İkinci prototip



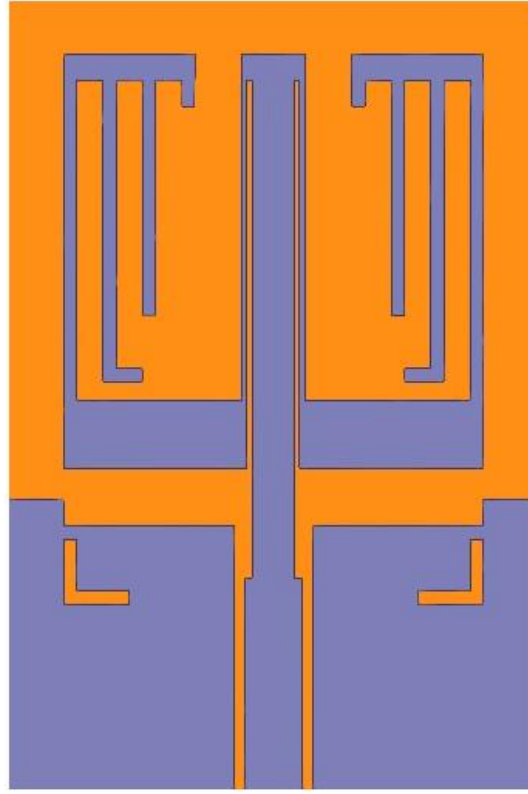
Şekil 6.6 İkinci prototipde elde edilen S11



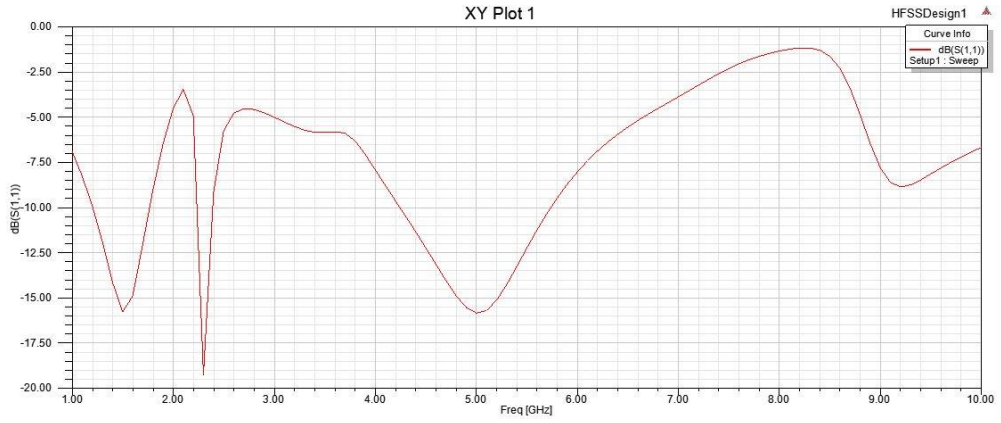
Şekil 6.7 İkinci prototipde elde edilen 3-boyutlu radyasyon deseni

### 6.2.3 Üçüncü adım

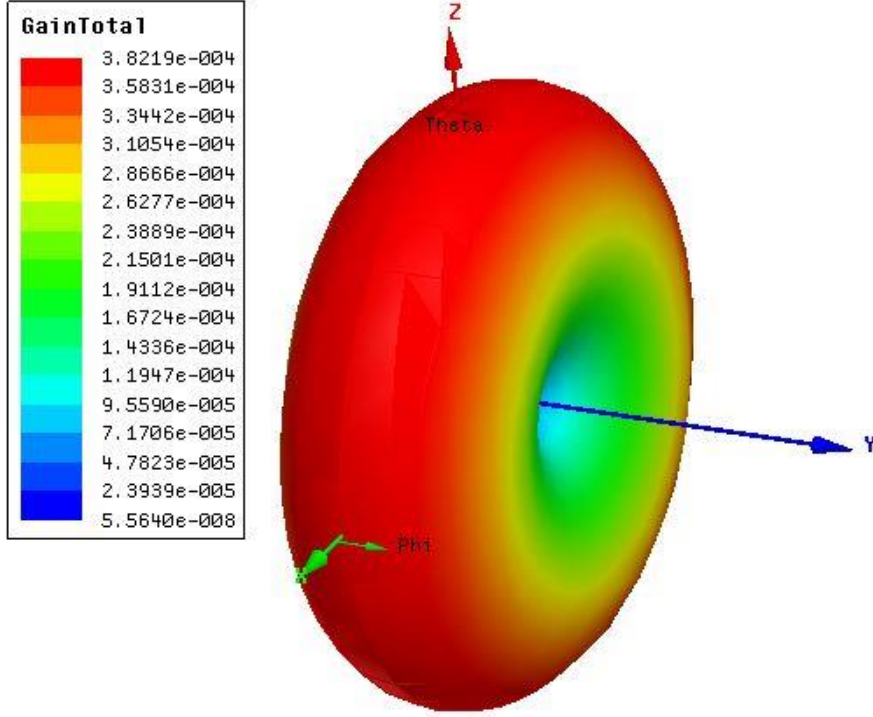
Bu adımda toprak kısmında L-şekilli simetrik yarıklar açtık. Ve aynı kısımlara dikdörtken parçalar ekledik. Aldığımız antenin prototipi Şekil 6.8’de gösterilmiştir. Bu değişiklik sonrası elde edilen sonuçlarda radyasyon desen gene çarpıcı değişikliğe uğramamış fakat, üçüncü aldığımız rezonans yukarı kısmından biraz sıkıştırılmıştır (Şekil 6.10). Şekil 6.9’da verilen S11 grafiği ile üçüncü aldığımız rezonansın sıkıştırılmış hali verilmektedir.



Şekil 6.8 Üçüncü prototip



Şekil 6.9 Üçüncü prototipde elde edilen S11



Şekil 6.10 Üçüncü prototipde elde edilen 3-boyutlu radyasyon deseni

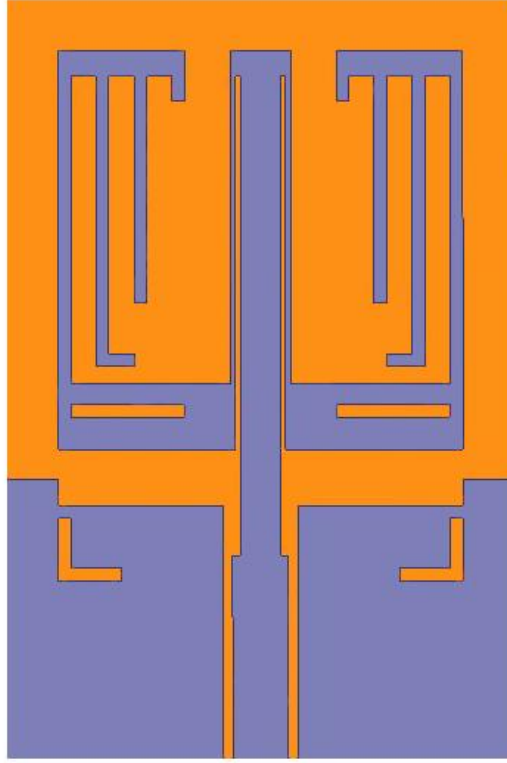
#### 6.2.4 Dördüncü adım

Toprak kısmında yaptığımız değişiklikler 5-6 GHz frekans bantları arasında istediğimiz rezonansa uygun sonuçlar vermedi. Bu yüzden, dördüncü ve sonucu aldığımız bu adımda yama üzerinde değişiklik yapmak kanaatine geldik. Şekil 6.11’de görüldüğü gibi gene simetrik olarak yatay şeritler açtık (Liu v.d., 2010). Açtığımız bu yarıklar sayesinde 5.4 GHz frekansına uzayan bir rezonans almayı başardık (Şekil 6.12).

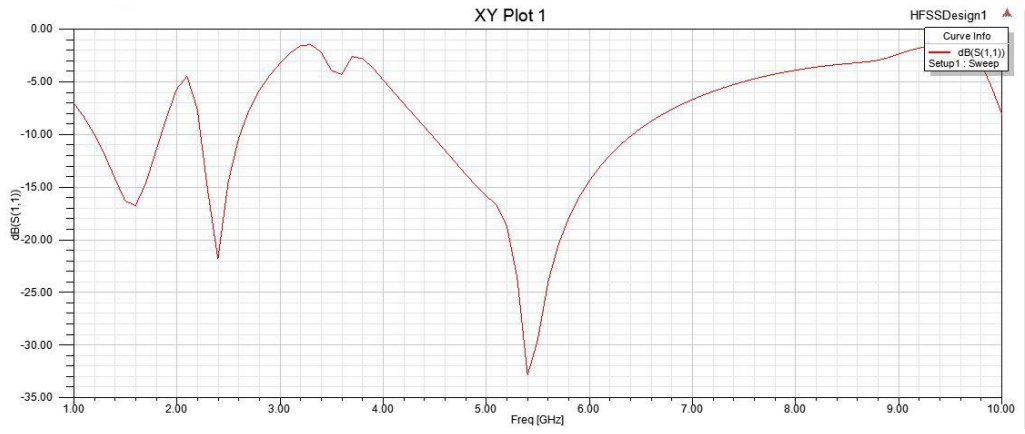
Aşağıda, tasarımını yapmış olduğumuz mikroşerit antenin sonuçları verilmiştir. Şekil 6.13’de antenin duran dalga voltaj oranının grafiği gösterilmiştir. Grafikten de görüldüğü gibi anten çalışabilir durumda olması için uygun görülmektedir.

Şekil 6.14’de üç boyutlu radyasyon desenler yer almaktadır. Yönü olmayan ve dalgayı kenarlarına tam bir yuvarlak şekilde yansıtabilir olması gözükmektedir.

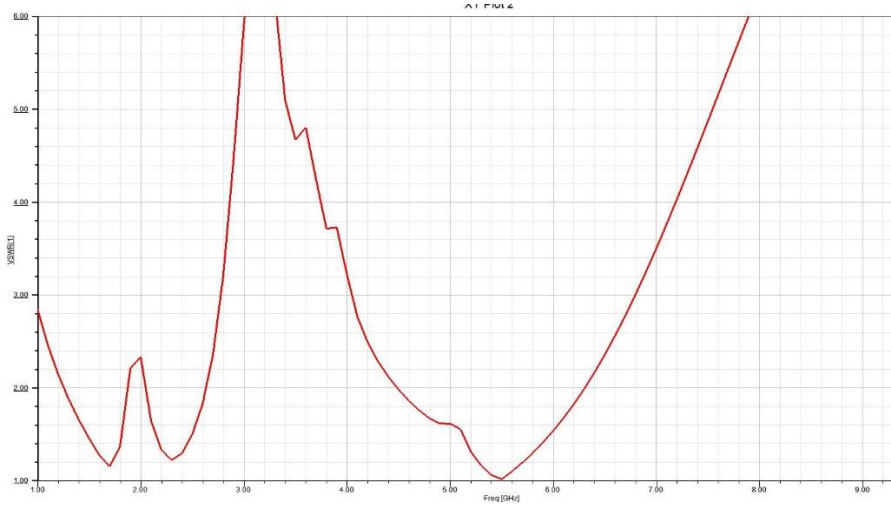
Şekil 6.15’de S11 karşılaştırılması verilmiştir. Burada tüm adımlar tek bir grafikte karşılaştırılmıştır. Grafiğe bakarsak en iyi rezonansların sonuncu adımda alındığını açıkça görebiliriz.



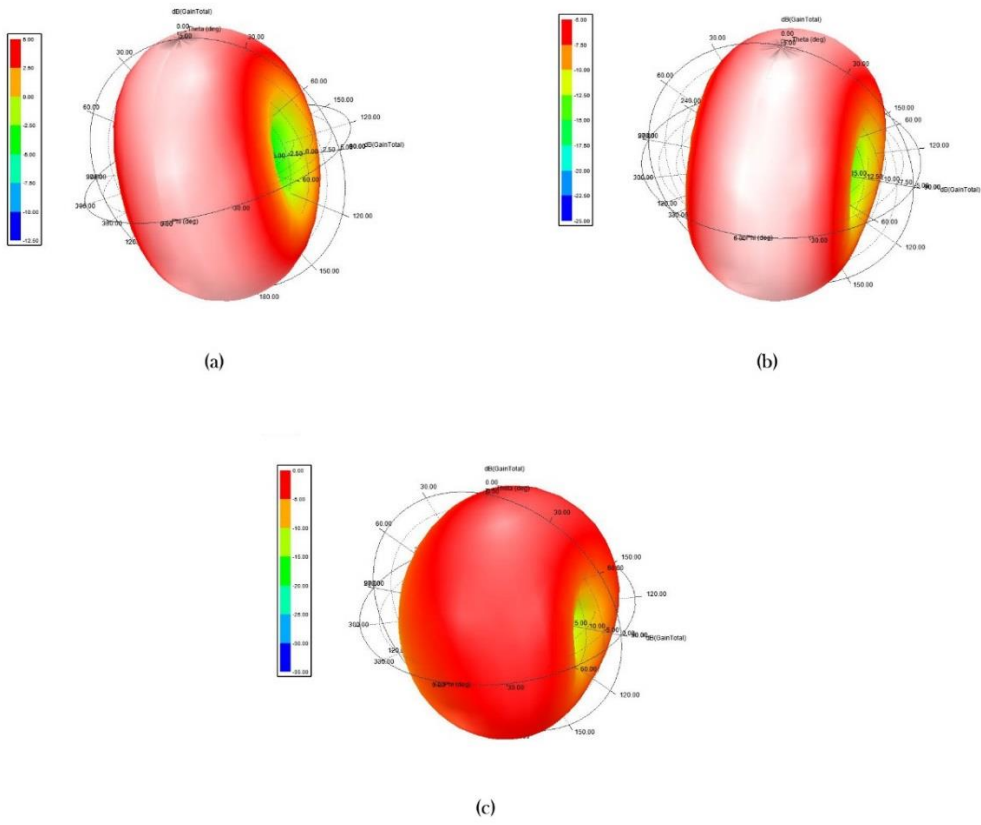
Şekil 6.11 Dördüncü prototip



Şekil 6.12 Dördüncü prototipde elde edilen S11



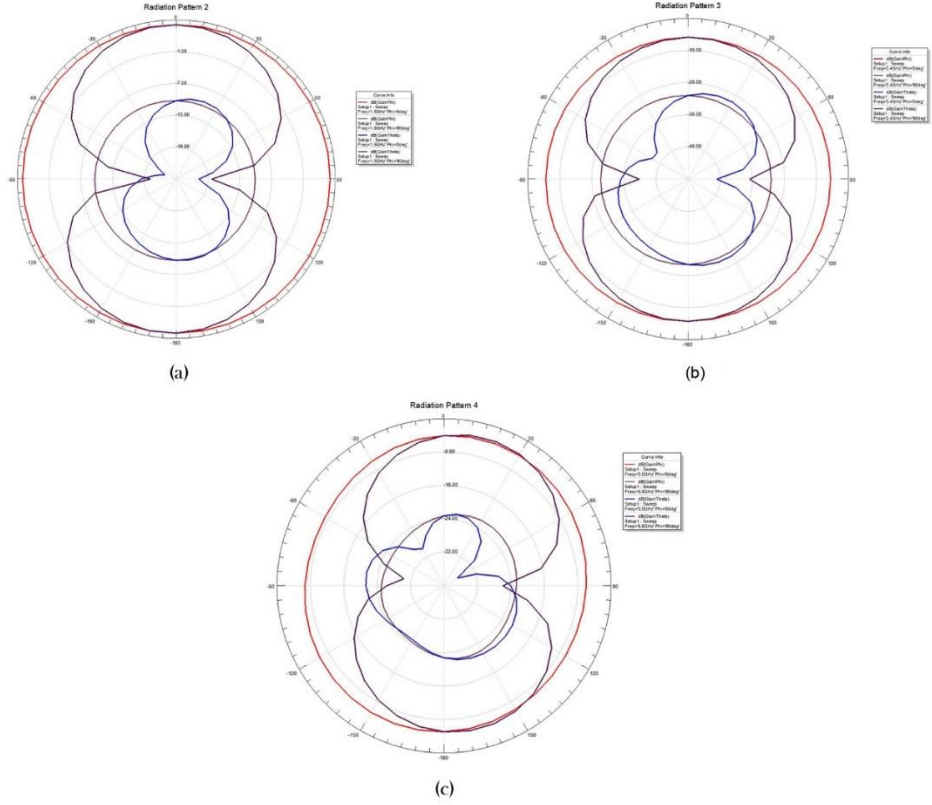
**Şekil 6.13** Dördüncü prototipde elde edilen VSWR



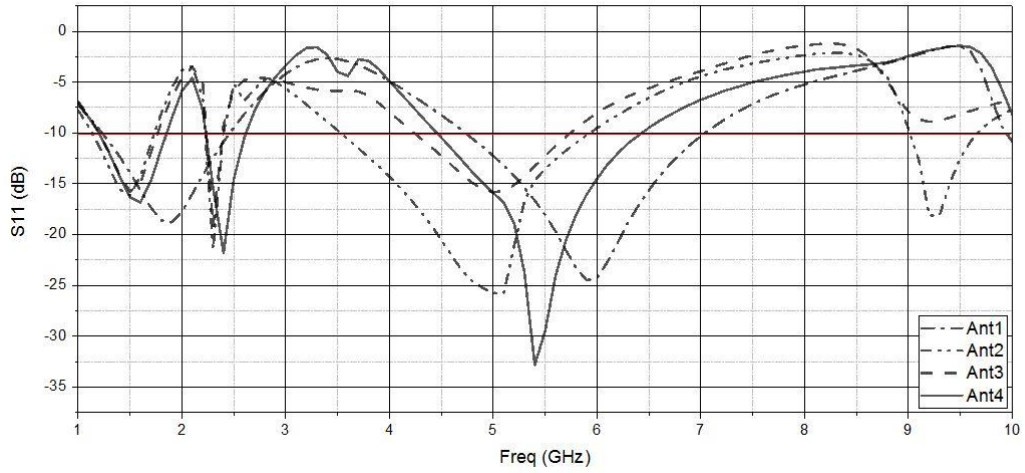
**Şekil 6.14** Dördüncü prototipde elde edilen 3-boyutlu radyasyon desenler.

(a) 1.5 GHz , (b) 2.4 GHz, (c) 5.5 GHz





**Şekil 6.15** Dördüncü prototipde elde edilen 2-boyutlu radyasyon desenler.  
(a) 1.5 GHz, (b) 2.4 GHz, (c) 5.5 GHz



**Şekil 6.16** Antenlerin (1-4) S11 karşılaştırılması

**Çizelge 6.1** Farklı boyutlardaki anten karşılaştırılması

<b>REF</b>	<b>ÖLÇÜ</b> <b>(mm<sup>3</sup>)</b>	<b>GPS</b> <b>Fr(GHz)</b>	<b>WLAN</b> <b>Fr(GHZ)</b>	<b>WIMAX</b> <b>Fr(GHz)</b>
(Liu v.d., 2010)	30x25x1.6	-	2.4	-
(Liu v.d., 2012)	23x36.5x0.8	-	2.4	3.5
(Huang ve Yu, 2011)	50x30x1.6	-	2.4	-
(Lu ve Huang, 2010)	25x30x1.6	-	-	5.5
Amaçlanmış anten	30x20x0.8	1.5	2.4	5.5

Çizelge 6.1’de farklı ölçütlere sahip antenler referansları ile birlikte verilmiştir. 23x36.5x0.8 ölçütlerine sahip ikinci referansta gösterilen anten hem geniş alan ağları (WIMAX) ve hem de yerel alan ağlarında (WLAN) çalışabilir durumda olmasına rağmen, küresel konumlama sistemlerinde (GPS) çalışmamasından dolayı dezavantaj sağlamaktadır.

## 7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Tez çalışması boyunca bir çok farklı çeşitte, farklı ölçütte ve farklı uygulamalar için tasarlanan antenleri inceledik. Antenlerin avantaj ve dezavantajlarına baktık. Bu antenler arasında bazılarının kapsama alanı büyük fakat, antenin ölçüleri de büyük olduğundan dolayı avantajlı olmaması görüldü. Bazılarının ideal ölçüsü olmasına rağmen tek bantta çalışmasının ona dezavantaj sağladığını farkettilik. Veya kolay montaj edilebilmesi açısından bazılarının mikroşerit değil de CPW olması dikkatimizi çekti.

Bu Tez çalışmasında kablosuz mobil haberleşmede yeni nesil teknolojiler (GPS/WLAN/WIMAX) için kullanılabilircek üç bantlı, 1.5 GHz, 2.4 GHz ve 5.5 GHz merkez frekanslı mikroşerit anten tasarlamak amaçlanmıştır. Yapılan çalışmada daha kolay montaj edilebilmesi açısından en uygunu görülen CPW anten tipinden kullanıldı. Ölçülerini fazlasıyla küçük tutmaya çalıştık. Anten simulyasyonu HFSS programında tasarlandı. Aldığımız sonuçların çeşitli yöntemlerine bakıldı.

İncelemeler sonucu ideal anten için gereken bazı önemli parametreler aşağıda listelenmiştir:

- Kapsama alanının tam yuvarlak olması,
- Düşük masraflara erseye gelmesi,
- Hafif ve küçük olması,
- Kolay monte edilebilmesi,
- Eğer tek bantta çalışacaksa daha büyük bant genişliği olması,
- Eğer çok bantlı olacaksa yüksek rezonans sağlaması.



## KAYNAKLAR

- Akkaya, İ.** (1997). *Antenler ve Propagasyon*, Sistem Yayıncılık Mat. San., Yayın No. 112, ISBN: 975-7397-82-2.
- Ahmad, A. H. ve Jaralla, B. K.** (2008). *Design and Simulation of Broadband Rectangular Microstrip Antenna*, Eng. Tech. Vol. 26, No 1.
- Ali, M., Dougal, R., Yang, G., Hwang, H.S.** (2005). *A Wideband Circularly Polarized Microstrip Patch Antenna for 5-6 GHz Wireless LAN Applications*, Microwave and Optical Technology Letters, Vol. 45, Cilt 4, s. 279-285.
- Blake, L. V.** (1966). *Antennas*, Wiley, New York.
- Bazan, G. A. S.** (2010). *Design of a Circularly Polarized Patch Antenna for Satellite Mobile Communications in L-Band*, Polytechnic University of Cataluña.
- Bahl, I. J. ve Bhartia, B.** (1980). *Microstrip Antennas*, Artech House, Dedham, MA.
- Bahl, I. J. ve Bhartia, B.** (1982). *Microstrip Antennas*, Artech House.
- Basaran, S. C., Olgun, U., Sertel, K.** (2013). *Multiband Monopole Antenna with Complementary Split-Ring Resonators for WLAN and WiMAX Applications*, IEEE Electronics Letters, Vol. 49, Cilt 10.
- Candan, M.** (2002). *Üçüncü Nesil Mobil Telekomünikasyon Sistemleri için Türkiye'de uygulanacak frekans bandı, lisans, servisler, uygulamalar ve ülkemizdeki durumu*, Uzmanlık Tezi, Telekomünikasyon Kurumu.
- Constantine, A. B.** (2005). *Antenna Theory: Analysis and Design*, John Wiley & Sons Ltd, Hoboken, New Jersey, No. 3, Canada.
- Constantine, A. B.** (1997). *Antenna Theory: Analysis and Design*, İkinci Baskı, John Wiley & Sons Ltd.
- Constantine, A. B.** (1992). *Antenna Theory: A Review*, Proc. IEEE, Cilt 80, No. 1.
- Carver, K. ve Mink, J. W.** (1981). *Microstrip antenna technology*, IEEE Transactions on Antennas and Propagation, Vol. 29, Cilt 1.
- David, M. P.** (1992). *Microstrip Antennas*, Proc. IEEE, Cilt 80, No. 1.
- Eberspächer, J., Hans-Joerg, V., Bettstetter, C., Hartmann, C.** (2009). *GSM - Architecture, Protocols and Services*, John Wiley & Sons Ltd, ISBN: 978-0-470-03070-7.
- Elsadek, H.** (2010). *Microstrip Antennas for Mobile Wireless Communication Systems, Mobile and Wireless Communications Network Layer and Circuit Level Design*, Salma Ait Fares and Fumiyuki Adachi (Ed.), ISBN: 978-953-307-042.

- Elsheakh, D. M. ve Abdallah, E. A.** (2012). *Compact Multiband Multifolded-Slot Antenna Loaded With Printed-IFA*, IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, Vol. 12.
- Forshty, M.** (2011). *The etymologicon*, Icon Books Ltd, London N79DP.
- Floc, H. J. M., Sayed, E. A.** (2012). *Dual-Band Printed Dipole Antenna with Parasitic Element for Compensation of Frequency Space Attenuation*, International Journal of Electromagnetics and Applications, P-ISSN: 2168-5037.
- Garg, R., Bhartia, P., Bahl, I., Ittipiboon, A.** (2001). *Microstrip Antenna Design Handbook*, Artech House, London.
- Glover, B. ve Bhatt, H.** (2006). *RFID essentials*, O'Reilly Media, Inc. , ISBN 0-596-00944-5.
- Holma, H. ve Toskala, A.** (2009). *LTE for UMTS – OFDMA and SC-OFDMA Based Radio Access*, John Wiley & Sons Ltd, ISBN: 978-0-470-99401-6.285.
- Huang, C. Y. ve Yu, E. Z.** (2011). *A slot-monopole antenna for dual-band WLAN applications*, IEEE Antennas Wireless Propagation Letters, Vol. 10, s. 500–502.
- Islam, M. T., Shakib, M. N., Misran, N.** (2009). *Broadband E-H Shaped Microstrip Patch Antenna for Wireless System*, Progress In Electromagnetics Research, PIER 98, s. 163-173.
- James, J. R.** (1989). Hall, *Handbook of Microstrip Antennas*, Cilt 1 ve 2, Peter Peregrinus, London, UK.
- Katehi, P. B. ve Alexopoulos, N. G.** (1984). *On the Modeling of Electromagnetically Coupled Microstrip Antennas-The Printed Strip Dipole*, IEEE Trans. Antennas Propagat., Cilt AP-32, No. 11.
- Kim, S. H., Wang, S. J., Kwak, J. G.** (2011). *Measurement of Antenna S-Parameters and Application to the Analysis of Resonance Loop System for the ICRF Heating of Fusion Plasmas*, IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, Vol. 60, Cilt 7.
- Kraus, J. D.** (1988). *Antennas*, McGraw-Hill Book Co., New York.
- Kraus, J. D.** (1966). *Radio Astronomy*, McGraw-Hill Book Co.
- Korhonen, J.** (2003). *Introduction to 3G Mobile communications 2nd ed.*, Artech House, London, 1-5, 49-70.
- Kai, F. L. ve Kwai, M. L.** (2011). *Microstrip Patch Antennas*, World Scientific, , ISBN 184816453X.
- Kuran, M. S. ve Tugcu, T.** (2007). *A survey on emerging broadband wireless access technologies*, Vol 51, Cilt 11.
- Kim, H., Choi, I., Byun, W., Lee, J., Kim, J.H.** (2015). *Distributed CRC Architecture for High-Radix Parallel Turbo Decoding in LTE-Advanced Systems*, IEEE Transactions on Circuits and Systems II: Express Briefs, Vol. 62, Cilt 9.

- Khan, O. M., Islam, Z. U., Rashid, I., Bhatti, F. A., Islam, Q. U.** (2013). *Novel Miniaturized Koch Pentagonal Fractal Antenna for Multiband Wireless Applications*, Progress In Electromagnetics Research, Vol. 141, s. 693-710.
- Liu, W. C., Wu, C. M., Chu, N. C.** (2010). *A Compact CPW-Fed Slotted Patch Antenna for Dual-Band Operation*, IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, Vol. 9.
- Liu, P. Y., Zou, B. X., Liu, X., Sun, B.** “Compact CPW-fed tri-band printed antenna with meandering split-ring slot for WLAN/WiMAX applications,” *IEEE Antennas Wireless Propag. Lett.*, vol. 11, pp. 1242–1244, 2012.
- Liu, W. C., Wu, C. M., Chu, N. C.** (2010). *A compact CPW-fed slotted patch antenna for dual-band operation*, IEEE Antennas Wireless Propagation Letters, Vol. 9, s. 110–113.
- Lu, J. H. ve Huang, B. J.** (2010). *Planar multi-band monopole antenna with L-shaped parasitic strip for WiMAX application*, IEEE Electronics Letters, Vol. 47, Cilt 12, s. 671–672.
- Ma, S. L. ve Row, J. S.** (2011). *Design of Single-Feed Dual-Frequency Patch Antenna for GPS and WLAN Applications*, IEEE Transactions on Antennas and Propagation, Vol. 59, Cilt 9.
- Moosazadeh, M. ve Kharkovsky, S.** (2014). *Compact and Small Planar Monopole Antenna With Symmetrical L- and U-Shaped Slots for WLAN/WiMAX Applications*, IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, Vol. 13.
- Munson, R. E.** (1978). *Conformal Microstrip Antennas and Microstrip Phased Arrays*, IEEE Trans. on Antennas and Propagation, Vol. AP\_22, s. 74\_7.
- Munson, R.E.** (1978). *Conformal Microstrip Antennas and Microstrip Phased Arrays*, IEEE Trans. on Antennas and Propagation, Vol. AP\_22.
- McDonald N. A.** (1978). *Approximate Relationship Between Directivity and Beamwidth for Broadside Collinear Arrays*, IEEE Trans. Antennas Propagat., Cilt AP-26, No. 2.
- Pozar, D.M.** (1985). *A Microstrip Antenna Aperture Coupled to a Microstripline*, Elec. Letters, Vol. 21.
- Pozar, D. M.** (1992). *Microstrip Antennas*, Proc. IEEE, Cilt 80, No. 1.
- Pfeiffer, C. ve Grbic, A.** (2010). *A Printed, Broadband Luneburg Lens Antenna*, IEEE Transactions on Antennas and Propagation, Vol. 58, Cilt 9, s. 3055-3059.
- Rahmat-Samii, Y., Williams, L. I., Yoccarino, R. G.** (1995). *The UCLA Bi-polar Planar-Near-Field Antenna Measurement and Diagnostics Range*, IEEE Antennas & Propagation Magazine, Cilt 37, No. 6.
- Rudolf, G. F.** (1999). *Modern Dictionary of Electronics*, Newnes,
- Saylor, M.** (2012). *The Mobile Wave: How Mobile Intelligence Will Change Everything*, Perseus Books/Vanguard, ISBN 978-1593157203.
- Sauter, M.** (2011). *From GSM to LTE: An Introduction to Mobile Networks and Mobile Broadband*, John Wiley & Sons Ltd, ISBN: 978-0-470-66711-8.
- Sainati, R. A.** (1996). *CAD of Microstrip Antenna for Wireless Application*, Attech House, London.

- Srivastava, S., Singh, V.K., Ali, Z., Singh, A.K.** (2013). *Duo Triangle Shaped Microstrip Patch Antenna Analysis for WiMAX lower band Application*. Procedia Technology 10.
- Song, Y., Jiao, Y. C., Zhao, G., Zhang, F. S.** (2007). *Multiband CPWFED Triangle Shaped Monopole Antenna for Wireless Applications*, Progress In Electromagnetics Research, PIER 70, 329–336.
- Tachikawa, K.** (2003). *A perspective on the evolution of mobile communications*, IEEE communications magazine, Vol 41, Cilt 10.
- Umeda, N.** (2012). *Evolution of mobile broadband and smart-phones*, IEEE Conference Publications.
- Üstüner, F.** (2011). *Three Dimensional Safety Distance Analysis around a Sellular Base Station*, Vol. 7, No. 3.
- Vakkas, Ş.** (2006). *Mobil Haberleşme Sistemlerinin Gelişimi ve Genişband CDMA Performans Testi*, (YL), Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, ANKARA.
- Vladimir, V. ve Sementsov, D. I.** (2017). *An Introduction to Applied Electromagnetics and Optics*, CRC Press, Taylor & Francis Group, ISBN: 978-1-4987-7629-5.
- Visser, H. J.** (2005). *Array and Phased Array Antenna Basics*, John Wiley & Sons Ltd, New York, ISBN 0750698667.
- Victor, C. M., Chen, M., Wan, J., Zhang, Y.** (2014). *Testbeds and Research Infrastructure: Development of Networks and Communities*, Springer, ISBN: 978-3-319-13325-6.
- Wesolowski, K.** (2002). *Mobile Communication Systems*, John Wiley&Sons Ltd., England.
- Warren, L. S. ve Gary A. T.** (1998). *Antenna Theory and Design*, John Wiley & Sons Ltd, New York.
- Yurduseven, O., Smith, D., Pearsall, N., Forbes, I.** (2013). *A Solar Cell Stacjed Slot-Loaded Suspended Microstrip Patch Antenna with Multiband Resonance Characteristics for WLAN and WIMAX Systems*, Progress In Electromagnetics Research, Vol. 142, 321–332.
- Zhai, H., Ma, Z., Han, Y., Liang, C.** (2013). *A Compact Printed Antenna for Triple-Band WLAN/WIMAX Applications*, IEEE Antennas and Wireless Propagaton Letters, Vol. 12.
- Zhu, J. ve Eleftheriades, G. V.** (2009). *Dual-band metamaterial-inspired small monopole antenna for WiFi applications*, Electronic Letters, Vol. 45, Cilt 22.



## ÖZGEÇMİŞ



**Ad-Soyad** : İlkin İbrahimli  
**Doğum Tarihi ve Yeri:** 16.12.1992, Bakü, Azerbaycan  
**E-posta** : [ilkin.ibrahimli@live.com](mailto:ilkin.ibrahimli@live.com)

### ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2014, Azerbaycan Devlet Petrol Akademisi, Üretim Süreçlerinin Otomasyonu, Üretim Süreçlerinin Otomasyonu Mühendisliği
- **Yüksek Lisans** : 2017, İstanbul Aydın Üniversitesi, Fen Bilimleri Entitüsü, Elektrik-Elektronik Mühendisliği