



**BANT ÇENTİK ANAHTARLAMALI
ULTRA GENİŞ BANT ANTEN
TASARIMI VE PROTOTİPLENMESİ**

Mehmet YERLİKAYA

Yüksek Lisans Tezi

İleri Teknolojiler Anabilim Dalı

Elektrik Elektronik Mühendisliği Programı

Yrd. Doç. Dr. Abdurrahim TOKTAŞ

Temmuz-2017

**T.C.
KARAMANOĞLU MEHMETBEY ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BANT ÇENTİK ANAHTARLAMALI ULTRA GENİŞ BANT ANTEN
TASARIMI VE PROTOTİPLENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Mehmet YERLİKAYA**

Anabilim Dalı: İleri Teknolojiler

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Abdurrahim TOKTAŞ

KARAMAN-2017

TEZ ONAYI

Mehmet YERLİKAYA tarafından hazırlanan “**Bant Çentik Anahtarlamalı Ultra Geniş Bant Anten Tasarımı ve Prototiplenmesi**” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İleri Teknolojiler Anabilim Dalı’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Abdurrahim TOKTAŞ

Jüri Üyeleri

İmza

Prof. Dr. Ali AKDAĞLI



Yrd. Doç. Dr. Abdurrahim TOKTAŞ



Yrd. Doç. Dr. Ahmet KAYABAŞI



Tez Savunma Tarihi: 10/07/2017

Yukarıdaki sonucu onaylarım

Doç. Dr. Kamil ARI

Enstitü Müdür V.

TEZ BİLDİRİMİ

Yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu tezin yazılmasında bilimsel ahlak kurallarına uyulduğunu, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezin içerdiği yenilik ve sonuçların başka bir yerden alınmadığını, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, tezin herhangi bir kısmının bu üniversite veya başka bir üniversitedeki başka bir tez çalışması olarak sunulmadığını beyan ederim.

Mehmet YERLİKAYA

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

BANT ÇENTİK ANAHTARLAMALI ULTRA GENİŞ BANT ANTEN TASARIMI VE PROTOTİPLENMESİ

Mehmet YERLİKAYA

**Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İleri Teknolojiler Anabilim Dalı**

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Abdurrahim TOKTAŞ

Temmuz, 2017, 71 sayfa

Kablosuz sistemler, son yıllarda giderek yaygınlaşmış ve günlük yaşantımızın bir parçası haline gelmiştir. Kablosuz sistemlerin en önemli unsurları anten yapılarıdır. Kablosuz sistemlerin gelişmesi ve mobil cihazların küçülmesi ile birlikte birden fazla uygulamayı birlikte çalıştırabilen sistemlere ihtiyaç duyulmuştur. Bu gereksinimlerin karşılanması için geliştirilmiş olan ultra geniş bant (UGB) sistemler, düşük güç tüketimi ve yüksek veri hızı avantajlarına sahip yeni nesil kablosuz teknolojidir. UGB frekans spektrumunda çalışan ve UGB sistemlere girişim etkisi yapan Wi-MAX, WLAN ve C-bant uydu haberleşmesi gibi kablosuz standartlar bulunmaktadır. Bundan dolayı, bu standartların girişim etkilerini kaldırmak için, UGB anten tasarımlarında bu frekanslar için bant çentiği yapılması gerekmektedir. Mikroşerit antenler, küçük hacimli olma, hafiflik ve bant çentiği yapımının kolay olması gibi avantajları ile UGB sistemler için en uygun antenlerdir.

Bu tezde, UGB sistemler için G şeklinde bir yamadan oluşan mikroşerit bir anten tasarlanarak prototipi gerçekleştirilmiştir. Tasarlanmış anten sıklıkla kullanılan kablosuz standartlardan olan C-band uydu haberleşmesi standartının çalışma frekanslarında bant çentiği yapılmaktadır. Yapılan bu antenden önce, UGB anten çalışmalarına temel olması amacıyla 3 adet özgün UGB mikroşerit anten daha tasarlanmıştır. Tasarımlara ilk olarak, üçgen monopol bir yamadan oluşan anten yapısı ile başlanmıştır. Prototipi de üretilen anten, 2.6-18.2 GHz bandında çalışarak UGB bandını fazlasıyla kapsamıştır. İkinci anten tasarımında, birinci antende kullanılan yapıdan ilham alınarak üçgen bir yama kullanılmıştır. Bu antenin ilk antenden en temel farkı ise, dairesel polarizasyon (DP) ışına da yapmasıdır. Tasarlanan ikinci anten, 3.8-11.0 GHz frekans aralığında çalışarak UGB'yi desteklemektedir. bir anten olmuştur. Üçüncü anten yapısında ise, ilk iki yapıda kullanılan mikroşerit hat beslemeden farklı olarak eşdüzlemsel dalga kılavuzu besleme kullanılmıştır. Yay şeklinde monopol bir ışığı ve toprak yapısına sahip olan bu anten 3.1-17.2 GHz empedans bant genişliğine sahiptir. Son olarak bu tezin temel amacı olan, G şekilli bir yama ve dikdörtgen bir toprak düzleminden oluşan mikroşerit bir anten tasarlanmıştır. Tasarlanan anten, diğer üç antenden daha küçük boyutlu ve bant çentiği yapmak için ayarlamaya uygun yapıya sahiptir. Prototipi de üretilen antenin toplam boyutları $8.0 \times 27.5 \text{ mm}^2$ 'dir. G şeklindeki yamanın açıklık

kısına DC besleme ile anahtarlama yapan bir PIN diyot eklenerek antenin yeniden ayarlanabilmesi sağlanmıştır. Ölçüm sonuçlarına göre, PIN diyotun ON-State durumu olarak adlandırılan ileri yönlü beslemede diyot iletime geçerek 2.8-12.6 GHz frekans aralığında çalışan UGB bir anten elde edilmiştir. PIN diyotun OFF-State durumunda ise, çalışma bandının 3.5-4.95 GHz frekansları arasında ışıma yapmayarak bant çentikli bir anten özelliği sağlanmıştır.

Tez çalışmasında yapılan bütün anten tasarımları Moment Metodu (MoM) temelli HyperLynx 3D EM benzetim programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Tasarımlar sırasında, HyperLynx 3D EM programına entegre edilmiş optimizasyon modülünde genetik algoritma kullanılarak antenler optimize edilmiştir. Antenlerin performanslarının değerlendirilmesinde S_{11} , VSWR, ışıma örüntüsü, maksimum kazanç, toplam verimlilik ve yüzey akım dağılımı parametreleri dikkate alınmıştır. Tasarlanan antenlerin prototipleri, FR4 malzeme üzerine LPKF Protomat PCB makinesi ile gerçekleştirilmiştir. Prototipleri üretilen antenlerin S_{11} ölçümleri, Keysight PNA 5224A Network Analizör ile yapılırken; ışıma örüntüsü ve maksimum kazanç ölçümleri de network analizör cihazına bağlanan döner tabla kullanılarak yapılmıştır. Elde edilen ölçüm sonuçları ile de benzetim sonuçları doğrulanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Anten, Mikroşerit anten, Ultra geniş bant, UGB, Bant çentikli anten, Yeniden ayarlanabilir anten, Dairesel polarizasyon, Eşdüzlemsel dalga kılavuzu, FR4, PIN diyot.

ABSTRACT

Ms. Thesis

DESIGN AND PROTOTYPING OF SWITCHABLE BAND-NOTCHED ULTRA-WIDEBAND ANTENNA

Mehmet YERLİKAYA

**Karamanoglu Mehmetbey University
Graduate School of Natural and Applied Science
Department of Advanced Technologies**

Supervisor: Assistant Prof. Dr. Abdurrahim TOKTAŞ

July, 2017,71 pages

Wireless systems, have become increasingly common in recent years and are part of our daily lives. Antennas are the most important elements of wireless systems. With the development of wireless systems and the miniaturization of mobile devices, there is a need for systems that can work with multiple applications together. Ultra-wideband (UWB) systems, that developed to meet these requirements, are a new generation wireless technology with advantages such as low power consumption and high data rate. There are some wireless standards, such as Wi-MAX, WLAN and C-band satellite communications, which operate in the UWB frequency spectrum and interfere with UWB systems. Therefore, in order to remove interference effects of these standards, it is necessary to make a band-notches at these frequencies in UWB antenna designs. Microstrip antennas are the most suitable antennas for UWB systems with their advantages such as low profile, light weight and easy to make band-notches.

In this thesis, a microstrip antenna with G-shaped patch was designed for UWB systems. Proposed antenna have a band-notched characteristic at C-band satellite communication standard frequencies, which is widely used wireless standard. Before this antenna design, 3 other UWB microstrip antennas were designed in order to learning how to work UWB antennas. We started to antenna designs with a triangular monopole structure. The prototyped antenna operates at 2.6-18.2 GHz frequency band, which covers the UWB frequencies. In the second antenna, a triangular patch was used, which was inspired by the first antenna. The main difference of this antenna from the first one is that, this antenna radiates in circular polarization (CP). Also, this antenna supports the UWB by operating in the frequency range between 3.8-11.0 GHz. In the third antenna structure, a coplanar waveguide fed (CPW-fed) is used instead of the microstrip line fed which is main goal of this thesis. This antenna operates between 3.1-17.2 impedance bandwidth and has an arc-shaped monopole radiator and arc-shaped ground. Finally, a microstrip antenna with a G-shaped patch and a rectangular ground was designed which is the main as this thesis main objective. Proposed antenna is smaller in size than the first three antenna and suitable for reconfiguring the frequency to make a band-notch. The prototyped antenna has $8.0 \times 27.5 \text{ mm}^2$ overall dimensions. A PIN diode switch is integrated on G-shaped patch to reconfiguring the frequency

band-notch. With the forward bias, ON-State, of the PIN diode, the antenna operates between 2.8-12.6 GHz frequencies. When the PIN diode is in the OFF-State, the antenna make band-notch between the frequencies of 3.5-4.95 GHz.

In this thesis study, all antenna designs were made by using the HyperLynx 3D EM simulation program based on the Moment Method (MoM). Proposed antennas are optimized using genetic algorithm through optimization module that is integrated into HyperLynx 3D EM program. S_{11} , VSWR, radiation pattern, maximum gain, total efficiency and surface current distribution parameters are considered to antenna performance analysis. Prototypes of the proposed antennas were made on FR4 material with LPKF Protomat PCB machine. S_{11} measurements of prototyped antennas are made by using Keysight PNA 5224A Network Analyzer. The radiation pattern and maximum gain measurements were also made using a turn-table which is connected to the network analyzer. Simulation results are verified with the measurement results.

Key Words: Antenna, Microstrip antenna, Ultra wide band, UWB, Band notched antenna, Reconfigurable antenna, Circular polarization, Coplanar waveguide, FR4, PIN diode.

ÖNSÖZ

Yüksek lisans eğitimimde başta tez konusunun belirlenmesi, çalışmaların yürütülmesi ve tez yazımı aşaması olmak üzere beni yönlendiren ve yardımlarını benden esirgemeyen saygı değer hocam Yrd. Doç. Dr. Abdurrahim TOKTAŞ'a teşekkürü bir borç bilirim.

Yüksek lisans eğitimim sırasında sağladıkları destek ve gösterdikleri anlayıştan ötürü Elektrik-Elektronik Mühendisliği bölümü hocalarım; Yrd. Doç. Dr. Kadir SABANCI, Yrd. Doç. Dr. Enes YİĞİT ve Yrd. Doç. Dr. Ahmet KAYABAŞI'na ayrıca teşekkür ederim.

Yine tez çalışmam sırasında bana çok yardımcı olan iş arkadaşlarım Arş. Gör. Mustafa TEKBAŞ ve Arş. Gör. Hüseyin DUYSAK'a teşekkür ederim.

Son olarak, her daim maddi ve manevi destek olan eşim Sabire'ye, varlığıyla beni sonsuz mutlu eden oğlum Mustafa Zeki'ye ve aileme tüm kalbimle teşekkür ederim.

Mehmet YERLİKAYA
Temmuz-2017

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT	iii
ÖNSÖZ	v
İÇİNDEKİLER	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	x
SİMGELER VE KISALTMALAR	xiii
1. GİRİŞ	1
2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI	5
2.1. Kablosuz Sistemler	5
2.2. Ultra Geniş Bant Teknolojisi	5
2.2.1. UGB Sistemlerde Bant Çentikleme	9
2.3. Mikroşerit Antenler	10
2.3.1. Mikroşerit Anten Besleme Türleri	12
2.3.1.1. Koaksiyel Besleme	13
2.3.1.2. Mikroşerit Hat Besleme	13
2.3.1.3. Eşdüzlemsel Dalga Kılavuzu Besleme	14
2.3.1.4. Açıklık Kuplaj Besleme	14
2.3.1.5. Yakınlık Kuplaj Besleme	15
2.3.2. Mikroşerit Anten Analiz Yöntemleri	16
2.3.2.1. İletim Hattı Modeli	16
2.3.2.2. Boşluk Modeli	17
2.3.2.3. Sonlu Farklar Zaman Domeni Metodu	17
2.3.2.4. Sonlu Elemanlar Metodu	17
2.3.2.5. Moment Metodu	18
2.4. Anten Performans Parametreleri	18
2.4.1. S-parametreleri	19
2.4.2. Gerilim Duran Dalga Oranı	20
2.4.3. Empedans Bant Genişliği	20

2.4.4. Işıma Örüntüsü.....	21
2.4.5. Yönlülük.....	22
2.4.6. Verim.....	22
2.4.7. Kazanç.....	22
2.4.8. Polarizasyon.....	22
2.4.9. Eksenel Oran.....	23
2.5. Yeniden Ayarlanabilir Antenler.....	23
2.5.1. Anten Anahtarlama Teknolojileri.....	25
2.5.1.1. RF-MEMS Anahtarlar.....	25
2.5.1.2. Varaktör Diyot Anahtarlar.....	26
2.5.1.3. PIN Diyot Anahtarlar.....	26
2.6. Literatürde Önerilen Anten Tasarımları.....	28
2.6.1. UGB Anten Tasarımları.....	28
2.6.2. Bant Çentikli UGB Anten Tasarımları.....	30
2.6.3. Yeniden Ayarlanabilir Anten Tasarımları.....	31
2.6.4. UGB Yeniden Ayarlanabilir Anten Tasarımları.....	32
3. MATERYAL VE METOT.....	34
3.1. HyperLynx 3D EM Benzetim Programı.....	34
3.2. FR4 Malzeme.....	34
3.3. PCB Prototip Makinesi.....	35
3.4. Vektör Network Analizör.....	36
3.5. Döner Tabla.....	37
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	39
4.1. Üçgen UGB Mikroşerit Anten.....	39
4.1.1. Anten Tasarımı ve Prototipinin Gerçekleştirilmesi.....	39
4.1.2. Performans Analizi.....	42
4.2. Dairesel Polarizasyonlu Üçgen UGB Mikroşerit Anten.....	45
4.2.1. Anten Tasarımı.....	45
4.2.2. Performans Analizi.....	47
4.3. CPW Beslemeli UGB Yay Şekilli Açıklığa Sahip Monopol Anten.....	48
4.3.1. Anten Tasarımı ve Prototipinin Gerçekleştirilmesi.....	48
4.3.2. Performans Analizi.....	51
4.4. G Şekilli Bant Çentik Anahtarlmalı UGB Mikroşerit Anten.....	53

4.4.1. Anten Tasarımı ve Prototipinin Gerçekleştirilmesi.....	54
4.4.2. Performans Analizi.....	57
5. SONUÇ	61
6. KAYNAKLAR	64
7. ÖZGEÇMİŞ	70



ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
Çizelge 4.1 Üçgen UGB anten boyutları (mm).....	40
Çizelge 4.2 DP üçgen UGB anten boyutları (mm).....	46
Çizelge 4.3 CPW beslemeli UGB monopol antenin boyutları (mm).....	50
Çizelge 4.4 G şekilli bant çentik anahtarlamalı UGB anten boyutları (mm).....	55
Çizelge 4.5 Önerilen G şekilli anten ile literatürde yer alan bazı UGB bant çentik anahtarlamalı antenlerin karşılaştırması	60



ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Şekiller</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1. Frekans spektrumunda dar bant, geniş bant ve UGB sinyaller	7
Şekil 2.2. UGB frekans spektrumu ve diğer dar bant sistemler	9
Şekil 2.3. Mikroşerit anten yapısı	11
Şekil 2.4. Koaksiyel beslenmiş mikroşerit anten yapısı	13
Şekil 2.5. Mikroşerit hat ile besleme yapısı.....	14
Şekil 2.6. CPW ile beslenmiş mikroşerit anten yapısı.....	14
Şekil 2.7. Açıklık kuplaj ile beslenmiş mikroşerit anten yapısı	15
Şekil 2.8. Yakınlık kuplaj ile beslenmiş mikroşerit anten yapısı	15
Şekil 2.9. İki antenden oluşan bir sistem.....	19
Şekil 2.10. Yeniden ayarlanabilir antenlerde kullanılan teknikler.....	25
Şekil 2.11. Varaktör diyot: (a) yapısı (b) sembolü (c) eşdeğer devresi.....	26
Şekil 2.12. PIN diyot yapısı	27
Şekil 2.13. PIN diyot eşdeğer devreleri: (a) ileri yönlü (ON- State) (b) geri yönlü (OFF-State)	28
Şekil 2.14. PIN diyotun (a) ileri yönlü besleme direncinin (R_s) gerilime göre değişim grafiği (b) geri yönlü besleme kapasitansının (C_T) gerilimine göre değişim grafiği.....	28
Şekil 3.1. FR4 malzeme: (a) ham hali (b) yapısı	35
Şekil 3.2. LPKF Protomat H100 PCB prototip makinası	35
Şekil 3.3. Keysight Technologies PNA 5224A network analizör	36
Şekil 3.4. EBTRO EAMS-18 döner tabla.....	37
Şekil 3.5. Döner tabla bilgisayar yazılımı ekran görüntüsü	38
Şekil 4.1. Üçgen UGB anten tasarım aşamaları: (a) Anten1 (b) Anten2 (c) Anten3 (d) Anten4	40
Şekil 4.2. Üçgen UGB anten tasarım aşamaları S_{11} sonuçları grafiği.....	40
Şekil 4.3. Üçgen UGB anten yapısı: (a) 3 boyutlu görünüm (b) üstten görünüm (c) yandan görünüm	41
Şekil 4.4. Üçgen UGB anten prototipi	41
Şekil 4.5. Üçgen UGB anten S_{11} benzetim ve ölçüm sonuçları	42

Şekil 4.6. Üçgen UGB anten ışınma örüntüsü benzetim ve ölçüm sonuçları: (a) 2.7 GHz x - z düzlemi, (b) 2.7 GHz y - z düzlemi, (c) 8.1 GHz x - z düzlemi, (d) 8.1 GHz y - z düzlemi, (e) 11.9 GHz x - z düzlemi, (f) 11.9 GHz y - z düzlemi.....	43
Şekil 4.7. Üçgen UGB anten yüzey akım dağılımları: (a) 2.7GHz (b) 8.1GHz (c) 11.9 GHz.....	44
Şekil 4.8. Üçgen UGB antenin maksimum kazanç ve verimlilik grafiği	44
Şekil 4.9. DP üçgen UGB anten geometrisi: (a) 3 boyutlu görünüm (b) önden görünüm (c) arkadan görünüm	46
Şekil 4.10. DP üçgen UGB antenin S_{11} frekansa bağlı değişim grafiği	46
Şekil 4.11. DP üçgen UGB antenin frekansa bağlı EO grafiği	47
Şekil 4.12. DP üçgen UGB antenin ışınma örüntüleri: (a) 3.9 GHz (b) 7.2 GHz.....	47
Şekil 4.13. DP üçgen UGB antenin yüzey akım dağılımları: (a) 3.9 GHz (b) 7.2 GHz	48
Şekil 4.14. CPW beslemeli UGB anten tasarım aşamaları: (a) Anten1 (b) Anten2 (c) Anten3 (d)Anten4	49
Şekil 4.15. CPW beslemeli UGB anten tasarım aşamaları S_{11} sonuçları grafiği	49
Şekil 4.16. CPW beslemeli UGB anten geometrisi: (a) 3 boyutlu görünüm (b) üstten görünüm (c) yandan görünüm	50
Şekil 4.17. CPW beslemeli UGB anten prototipi.....	50
Şekil 4.18. CPW beslemeli UGB anten S_{11} ölçüm ve benzetim sonuçları grafiği.....	51
Şekil 4.19. CPW beslemeli UGB antenin ışınma örüntüleri: (a) 3.5 GHz x - z düzlemi (b) 3.5 GHz y - z düzlemi (c) 7.2 GHz x - z düzlemi (d) 7.2 GHz y - z düzlemi (d) 14.3 GHz x - z düzlemi (f) 14.3 GHz y - z düzlemi	52
Şekil 4.20. CPW beslemeli UGB antenin yüzey akım dağılımları: (a) 3.5 GHz (b) 7.2 GHz (c) 14.3 GHz.....	53
Şekil 4.21. CPW beslemeli UGB antenin maksimum kazanç ve toplam verimlilik değerlerinin frekansa bağlı değişimi	53
Şekil 4.22. G şekilli bant çentik anahtarlama UGB anten geometrisi.....	54
Şekil 4.23. G şekilli bant çentik anahtarlama UGB anten prototipi	55
Şekil 4.24. G şekilli bant çentik anahtarlama UGB antenin S_{11} ölçümleri.....	56
Şekil 4.25. G şekilli bant çentik anahtarlama UGB antenin S_{11} benzetim ve ölçüm sonuçları.....	56
Şekil 4.26. G şekilli bant çentik anahtarlama UGB antenin VSWR sonuçları grafiği .	57
Şekil 4.27. G şekilli bant çentik anahtarlama UGB antenin ışınma örüntüsü ölçümleri	57

Şekil 4.28. G şekilli bant çentik anahtarlamaalı UGB anten ON-State durumu ışına örüntüleri: (a) 3.5 GHz x - z düzlemi (b) 3.5 GHz y - z düzlemi (c) 5 GHz x - z düzlemi (d) 5 GHz y - z düzlemi (e) 8.5 GHz x - z düzlemi (f) 8.5 GHz y - z düzlemi.....	59
Şekil 4.29. G şekilli bant çentik anahtarlamaalı UGB anten yüzey akım dağılımları: (a) 3.5 GHz (b) 5.0 GHz (c) 8.5 GHz.....	59
Şekil 4.30. G şekilli bant çentik anahtarlamaalı UGB anten kazanç ve verimlilik grafikleri	60



SİMGELER VE KISALTMALAR

<u>Simge ve Kısaltmalar</u>	<u>Açıklama</u>
3D	3 Dimensions
ARIB	Association of Radio Industries and Businesses
B_f	Yüzdelik Bant Genişliği
BW	Bant Genişliği
CPW	Coplanar Waveguide
DARPA	Defense Advanced Research Projects Agency
dB	Desibel
dB_i	İzotropik Desibel
dB_m	Desibel milliwatt
DC	Direct Current
DoD	Department of Defense
DP	Dairesel Polarizasyon
ECC	Electronic Communications Committee
EIRP	Equivalent Isotropically Radiated Power
EM	Electromagnetic
EO	Eksenel Oran
FCC	Federal Communications Commission
FDTD	Finite Difference Time Domain
FEM	Finite Element Method
FET	Field Effect Transistor

FPGA	Field Programmable Gate Array
f_H	Üst Kesim Frekansı
f_L	Alt Kesim Frekansı
f_r	Rezonans Frekansı
GHz	Gigahertz
GPS	Global Positioning System
GSM	Global System for Mobile
h	Mikroşerit Anten Dielektrik Kalınlığı
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
LTE	Long-Term Evolution
MHz	Megahertz
MIC	Microwave Integrated Circuit
MIMO	Multiple Input Multiple Output
mm	Milimetre
MoM	Method of Moment
PCB	Printed Circuit Board
PIN	Positive Intrinsic Negative
PTFE	Poli Tetra Flor Etilen
RF	Radio Frequency
t	Mikroşerit Anten İletken Kalınlığı
UGB	Ultra Geniş Bant
VSWR	Voltage Standing Wave Ratio

Wi-Fi	Wireless Fidelity
Wi-MAX	Worldwide Interoperability for Microwave Access
WLAN	Wireless Local Area Network
Z_0	Karakteristik Empedans
ϵ	Dielektrik Sabiti
ϵ_{eff}	Efektif Dielektrik Sabiti
λ	Dalgaboyu
λ_0	Serbest Uzay Dalgaboyu
μm	Mikrometre
Ω	Ohm (Direnç değeri)

1. GİRİŞ

Günümüzde insanlar, modern kablosuz sistemlerinin günlük alışkanlıkları haline geldiği bir dünyada yaşıyor. Kablosuz sistemlerin kullanıcılara sunmuş olduğu kullanım kolaylığı ve hareket serbestliği gibi özellikler dolayısıyla kablosuz sistemlere olan talepler gün geçtikçe daha da artmaktadır. Antenler, hava ile kablosuz sistemler arasında yer alan ve elektriksel işaretleri elektromanyetik enerjiye ya da elektromanyetik enerjiyi elektriksel işarete çeviren elemanlardır (IEEE Std 145, 1983). Yüksek performans ihtiyacı duyan haberleşme sistemleri, biyomedikal sistemler, sensör uygulamaları, askeri sistemler ve konum tespiti uygulamaları gibi pek çok kablosuz sistem uygulamalarında küçük boyutlu, düşük maliyet ve üretim kolaylığı sunan düşük profil antenler tercih edilmektedir. Mikroşerit antenler, küçük hacimli, düşük maliyetli, düzlemsel veya düzlemsel olmayan yüzeylere kolay entegre edilebilir olması, baskı devre teknolojileri ile kolay üretilebilir olması ve mikrodalga entegre devreler (Microwave Integrated Circuits, MIC) ile uyumlu çalışması gibi avantajları nedeniyle kablosuz sistemlere oldukça uygun ve sıklıkla tercih edilen anten yapılarıdır.

Gelişen teknolojiyle birlikte kablosuz sistemlerde kullanılan cihazların boyutları giderek küçülmüş, kullanılan kablosuz standartlarının artması ile de daha geniş bant iletime imkan sağlayan sistemlere ihtiyaç duyulmuştur. Bu ihtiyaçlar araştırmacıları yeni sistem ve teknolojiler geliştirmeye yöneltmiştir (Balanis, 2008). Ultra Geniş Bant (UGB), düşük güç tüketimi, düşük spektral güç yoğunluğu ve yüksek veri iletim hızı gibi özelliklere sahip yeni nesil bir kablosuz teknolojidir. UGB sistemler, sahip oldukları avantajlar ile akademik ve ticari çevre tarafından yoğun ilgi görmektedir. Amerika'da bulunan ve kısa adı FCC olan Federal Haberleşme Komisyonu yayınladığı raporla, 3.1-10.6 GHz arasındaki frekansları UGB frekans bandı olarak belirleyerek -41.3 dBm/MHz'den düşük eşdeğer izotropik radyasyon gücü (Equivalent Isotropically Radiated Power, EIRP) için lisansız ticari kullanıma açmıştır (FCC, 2002). Daha sonraki yıllarda başta Japonya ve Avrupa Birliği olmak üzere diğer birçok ülkenin de benzer kuralları ortaya koymasıyla birlikte hem endüstriyel hem de akademik alandaki araştırmacıların UGB teknolojisine olan ilgisi daha da artmıştır (ARIB, 2006; ECC, 2006). Şüphesiz ki, UGB sistemlerinin performansı için en önemli unsurlardan birisi,

kullanılan anten yapılarıdır. UGB sistemlerde kullanılacak antenler, 3.1-10.6 GHz frekansları arasında -10 dB'den daha düşük S_{11} değerine sahip olmalıdırlar.

UGB frekans aralığında, UGB sistemlerin çalışmasına etki eden ve istenmeyen girişimlere (interference) neden olabilen WLAN, Wi-MAX ve C-bant sistemler gibi diğer kablosuz dar bant veya geniş bant standartları mevcuttur. Bu girişim etkisini gidermek için, UGB sistemlere band durduran filtre gibi yapılar eklenmesi gerekmektedir. Fakat band durduran filtre gibi harici yapıların eklenmesi sistem boyutlarını büyütmektedir. Bu nedenle, hem sistem boyutlarını küçük tutmak hem de girişimi engellemek için UGB antenlere, girişim olan frekanslarda bant çentik özelliği kazandırılması gerekmektedir. Mikroşerit antenlerde, bant çentiği özelliğini gerçekleştirmek için yama ve toprak düzlemlerine eklenen oyuk (slot) yapıları, parazitik elemanlar ya da rezonatörler kullanılabilir.

Geleneksel anten yapılarında her bir sistemin gereksinimlerini karşılamak için farklı bir anten gerekmektedir. Ancak, son yıllarda gelişen kablosuz teknolojileriyle birlikte farklı frekans ve ışınım karakteristiklerinde çalışan sistemlerin ortaya çıkması neticesinde yüksek performans ve çeşitlilik gösteren anten sistemlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Dar bant veya geniş bant antenler, bu taleplerin tümünü karşılamada her zaman yeterli olamamaktadır. Bu gereksinimlerin karşılanması için geliştirilen ayarlanabilir antenler, düşük maliyet ve esneklik gibi özellikleriyle birden çok kablosuz sistemin tek bir anten yapısı ile kullanımına imkân sağlayan yeni bir teknolojidir. Bir anten frekans, polarizasyon, ışınım örüntüsü veya bunlardan herhangi ikisinin kombinasyonu gibi temel parametrelerini değiştirecek şekilde tasarlandığında yeniden ayarlanabilir anten olarak tanımlanmaktadır. Bu teknolojinin kullanıma başlaması ile kablosuz sistemlerde ihtiyaç duyulan anten yapılarının boyutları azalırken işlevleri artmaktadır. Yeniden ayarlanabilir antenlerde, anten ışınım özelliklerini değiştirmek için elektriksel, optik ve mekanik anahtarlama gibi farklı anahtarlama teknikleri kullanılmaktadır. Mikroşerit antenlerde, Radyo Frekans Mikro Elektro Mekanik Sistem (RF-MEMS), varaktör ve PIN (Positive Intrinsic Negative) diyot gibi aktif elemanların kullanıldığı elektriksel anahtarlama teknikleri tercih edilmektedir.

Bu tez çalışmasının amacı; UGB frekans bandını kapsayan ve yapılan anahtarlama C-bant uydu haberleşme frekanslarında bant çentiği yapan küçük boyutlu bir mikroşerit

anten tasarımı yapmak ve prototipini üretmektir. Yapılan tez çalışmasında tasarlanan UGB bant çentikli antenin öncesinde, UGB antenlere alt yapı oluşturması açısından 3 farklı UGB mikroşerit anten yapısı daha tasarlanmıştır.

Tasarlanan ilk antende, ışımayı gerçekleştiren üçgen bir yama ve dikdörtgen bir toprak düzlemi yer almaktadır. 50Ω karakteristik empedansa sahip ve 3 mm genişliğinde bir mikroşerit hat ile beslenen antenin, toplam boyutları $23 \times 31 \text{ mm}^2$ 'dir. Tasarım aşamasından sonra prototipi üretilen anten, ölçüm sonuçlarına göre 2.6-18.2 GHz frekans aralığında çalışmakta ve 3.1-10.6 GHz aralığında tanımlanmış olan UGB frekans bandını fazlasıyla kapsamaktadır.

İkinci anten yapısında, ilk antende olduğu gibi üçgen şeklinde bir ışıyıcı yama bulunmaktadır. Toprak düzlemi ise, V şeklinde bir yapıdan oluşmaktadır. Üretilen anteni ilk antenden ayıran en önemli fark ise, antenin dairesel polarizasyon (DP) ışımaya yapabmesidir. Tasarlanan antende, DP ışımayı sağlamak için 50Ω karakteristik empedansa sahip mikroşerit besleme hattından ayrılan ve üçgen yamanın iki köşesine bağlanan 0.66 mm genişlikte iki mikroşerit hat yer almaktadır. Toplam boyutları $40.6 \times 40.9 \text{ mm}^2$ olan anten yapısı, ölçüm sonuçlarına göre 3.8-11.0 GHz empedans bant genişliği ile UGB frekans bandının neredeyse tamamını içine almaktadır. Bununla birlikte, önerilen antenin DP özelliğinin göstergesi olan aksel oran (EO) değeri 3.6-4.1 GHz ve 6.7-7.8 GHz frekansları arasında 3dB'nin altında yer alarak ve anılan frekans bantlarında DP ışımaya yapmaktadır.

Üçüncü antende, eş düzlemsel dalga kılavuzu (EDK, Coplanar Waveguide-CPW) besleme kullanılan bir yapı tasarlanmıştır. $16.8 \times 28.4 \text{ mm}^2$ boyutları ile ilk iki antenden daha küçük ebatlarda olan antenin yama ve toprak düzlemleri, birbirine bakan iki adet yay şeklinde yapıdan oluşmaktadır. Prototipi de üretilen anten ölçüm sonuçlarına göre, 3.1-17.2 GHz frekans aralığında çalışmaktadır.

Tez çalışmasının amacı olan son anten ise, $8 \times 27.5 \text{ mm}^2$ toplam boyutlarıyla yapılan diğer antenlere göre daha küçük yapıdadır. Antenin ışımayı gerçekleştiren yama yapısı, $8 \times 8 \text{ mm}^2$ büyüklüğünde G şeklinde bir monopol olarak tasarlanmıştır. Anten beslemesi, 3 mm genişliğinde ve karakteristik empedansı olan 50Ω mikroşerit bir hat ile yapılmıştır. Ayrıca, daha iyi bir empedans uyumu sağlamak için besleme hattı ile yama arasında 1 mm genişliğinde bir mikroşerit hat daha eklenmiştir. Bu anten, fiziksel

boyutları ve yama yapısı ile anahtarlama yapmaya oldukça uygundur. Anten anahtarlama G şeklindeki yama kısmında yer alan açıklığa eklenen PIN diyot ile sağlanmıştır. Prototipi de üretilen anten; PIN diyotun ileri yönlü DC beslenmesinde yani ON-State durumunda, 2.8-12.6 GHz arasında ışınım yaparak UGB bandını kapsamaktadır. PIN diyotun geri yönlü besleme hali olan OFF-State durumunda ise, 3.5-4.95 GHz frekansları arasında bant çentik özelliği sağlanmış ve 3.7-4.2 GHz frekanslarında çalışan C-bant uydu haberleşme standartının girişim etkisini engellenmiştir. Böylelikle kullanılan PIN diyot, yapılan doğru akım (DC) besleme ile bant çentik anahtarlama yaparak tasarlanan anteni frekansı yeniden ayarlanabilir UGB bir anten yapmıştır.

Tez çalışmasında yer alan bütün anten tasarımları ve benzetim sonuçları, moment metodu (MoM, Method of Moments) temelli HyperLynx 3D EM 3 boyutlu benzetim programı kullanılarak elde edilmiştir. Anten tasarımları, HyperLynx 3D EM programına bulunan optimizasyon araçlarında yer alan genetik algoritma ile optimize edilmiştir. Anten performansları incelenirken S_{11} , gerilim duran dalga oranı (Voltage Standing Wave Ratio, VSWR), ışınım örüntüleri, yüzey akım dağılımları, kazanç ve verimlilik değerleri göz önünde tutulmuştur. HyperLynx 3D EM programı ile elde edilen benzetim sonuçlarına göre uygun görülen antenlerin prototipleri LPKF Protomat H100 PCB makinası ile gerçekleştirilmiştir. Prototiplerin üretiminde, 1.6 mm kalınlığında, çift tarafı bakır kaplı, 4.4 dielektrik katsayısı ve 0.017 tanjant kaybı olan FR4 PCB malzeme kullanılmıştır. Anten prototiplerinin S_{11} ölçümleri Keysight PNA 5224A Vektör Network Analizör cihazı ile yapılırken; ışınım örüntüsü ve kazanç ölçümleri network analizöre eklenen ve EBTR0 EAMS 1-18 döner tabla (turn-table) cihazı ile yapılmıştır.

2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI

Bu bölümde; sırasıyla kablosuz sistemler, ultra geniş bant teknolojisi, mikroşerit antenler, mikroşerit anten besleme türleri, mikroşerit anten analiz teknikleri, anten performans parametreleri, yeniden ayarlanabilir antenler ve anahtarlama yapıları konularına değinilmiştir. Son olarak da, literatürde yapılan bazı UGB ve UGB bant çentikli anten çalışmaları verilmiştir.

2.1. Kablosuz Sistemler

Kablosuz sistemler son yıllarda artan kullanıcı talepleri ile birlikte hızlı bir şekilde gelişmektedir. Bu sistemlere olan ilginin artma sebebi, hiç şüphesiz kullanım kolaylığı ve hareket serbestliği sunmasından kaynaklanmaktadır. Kablosuz sistemlerin en önemli bileşenleri hiç şüphesiz anten yapılarıdır. Antenlerin temeli, James C. Maxwell'in 1865 yılında ortaya koyduğu ve kendi adı ile anılan "Maxwell Denklemleri"ne dayanmaktadır. Heinrich R. Hertz, bu denklemlerden yola çıkarak 1886 yılında yarım dalga dipol anteni bulmuş ve ilk radyoyu üreterek test etmiştir. Hertz'in ardından 1894 yılında Sir Oliver Lodge ilk bikonik anten yapısını tasarlarken, Guglielmo Marconi de 1895 yılında çeyrek dalga anteni üretmiş ve 1901 yılında transatlantik kablosuz telgraf haberleşmesinde kullanmıştır. 1897 yılında ise, J. Chandra Bose ilk horn anteni üretmiştir. Bu gelişmelerden sonra zamanla birçok değişik anten çeşidi ortaya çıkmıştır (Balanis, 2013).

Yeni nesil kablosuz teknolojileri ile birlikte; ses, video, veri transferi, konum tespiti ve sağlık takibi gibi çeşitli uygulamaların mobil cihazlarda kullanımının önü açılmıştır. Kullanıcı talepleri doğrultusunda birden fazla cihaz ile yapılabilecek uygulamaların tek bir cihaz üzerinden gerçekleştirilebilmesi gibi gereksinimleri ortaya çıkarmıştır. Sınırlı bant genişliğinin ortak kullanımı, kablosuz cihazların güç tüketim sorunu, cihaz boyutları ve yüksek performans isteği araştırmacıları yeni teknolojiler geliştirmeye teşvik etmiştir.

2.2. Ultra Geniş Bant Teknolojisi

Son yıllarda hızla gelişen teknoloji ile birlikte kablosuz sistemlerin yaygınlaşması, günlük hayatımızı önemli ölçüde etkilemektedir. Analog haberleşmeden sayısal

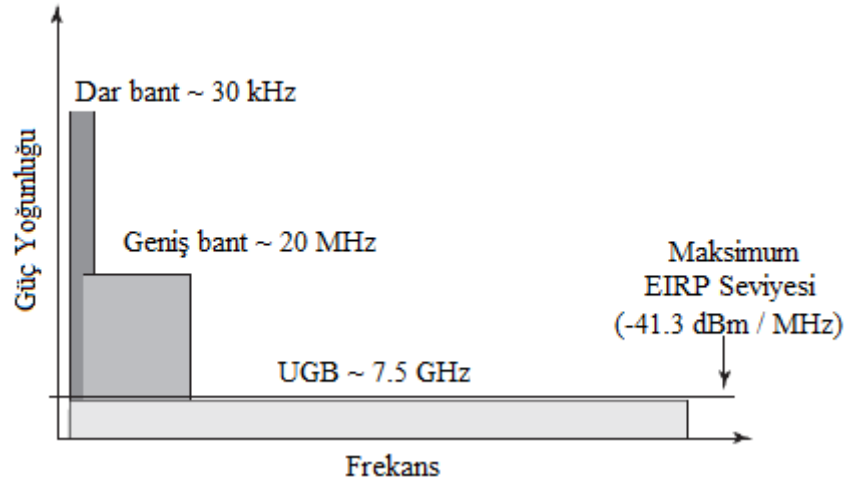
haberleşmeye geçişle birlikte yeni nesil kablosuz sistemlerin yükselmesi ve kablolu bağlantıların yerini GSM, Wi-Fi, Wi-Max ve Bluetooth gibi kablosuz sistemlerin alması kullanıcıların istedikleri yerde ve zamanda bilgiye erişmesini sağlamıştır. Bu değişim sonrasında kullanıcıların yüksek kapasite, hızlı ve güvenli kablosuz haberleşmeye olan talebi giderek artmakta ve talep edilen yeni geliştirilmiş kablosuz teknolojiler radyo frekansı (RF) spektrumunda daha zor yer bulmaktadır (Tashvigh, 2015).

Ultra Geniş Bant (UGB) teknolojisi, düşük güç tüketimine ve yüksek veri iletim hızına sahip kısa mesafeli yeni nesil bir kablosuz sistemdir. Bu teknolojinin temelleri Heinrich R. Hertz'in 1886 yılında elektromanyetik dalga üretmek için yaptığı kıvılcım boşalması deneylerine dayanmaktadır. Hertz'in çalışmalarını temel alan Guglielmo Marconi 1901 yılında anten sistemi ile ilk kez transatlantik haberleşmeyi gerçekleştirerek patentini almıştır. Yapılan haberleşmede büyük tel antenler kullanılarak mors alfabesini iletmek için kısa ve uzun darbe sinyalleri iletilmiştir. Her ne kadar yapılan bu çalışmanın asıl amacı dar bant işaretleri iletmek olsa da; gerçekleştirilen bu haberleşme UGB sistemler için öncü olmuştur (Kumar ve Ray, 2003).

Geniş bant kablosuz haberleşme kavramı, ilk olarak 1960'lı yıllarda ortaya atılmış ve giderek popüler konulardan birisi olmuştur. Ross (1973), temel bantta darbe sinyallerinin iletilmesi ve alınması üzerine yaptığı çalışmasıyla geniş bant haberleşmesi alanında ilk patenti almıştır. 1990'lara kadar Amerika Savunma Bakanlığı genişbant haberleşme teknolojilerinin kullanımını yalnızca askeri ve yüksek güvenli uygulamalar için sınırlandırmıştır. UGB kavramı, ilk olarak 1990 yılında kısa ismi DARPA olan Amerikan İleri Savunma Araştırma Projeleri Ajansı tarafından ortaya atılmıştır. 2002 yılında ise, yine Amerika'da bulunan Federal Haberleşme Komisyonu (FCC) 3.1-10.6 GHz frekansları arasını -41.3 dBm/MHz'den daha düşük güç seviyeleri için lisanssız kullanıma açmıştır (FCC,2002). FCC'nin yayımladığı raporda, UGB sinyallerinin bant genişliği 500 MHz'den daha büyük ya da kesirli bant genişliği her zaman %20'den daha büyük olması gerektiği belirtilmiştir. Bu tarihten sonra UGB sistemler ve bu sistemlerde çalışan antenler araştırmacıların daha çok ilgisini çekmeye başlamıştır (Nekoogar, 2005; Verbiest ve Vandenbosch, 2006; Zhou ve ark., 2008; Nouri ve Dadashzadeh, 2011; Karamanoğlu, 2014).

Ultra geniş bant (UGB) teknolojisi, mevcut kablosuz sistemler ile yeni geliştirilen teknolojiler arasındaki girişimi minimum seviyede tutarak RF spektrumundaki yoğunluğa çözüm sunan bir teknoloji olmuştur. Geleneksel dar bant sistemler, bilginin aktarılması için sürekli dalga formundaki RF sinyalleri belirli bir taşıyıcı frekansı ile modüle ederken; UGB sistemlerde alıcı ve verici arasında gerçekleşen haberleşmede taşıyıcısız, kısa süreli ve çok küçük çalışma çevrimine (duty cycle) sahip RF darbeler kullanılmaktadır. Dar bant sistemlere göre çok kısa süreli darbeler kullanılan UGB sistemlerin, dar bant sistemlerine göre pek çok avantajı bulunmaktadır (Nekoogar, 2005). Bu avantajların en önemlileri aşağıda verilmiştir:

- *Frekans Spektrumunda Girişim Yapmama:* UGB sistemler, FCC'nin maksimum -41.3 dBm/MHz olarak belirlediği ve 75 nanowatt / MHz'e eşit güç yoğunluğunda ışıma yapmasından dolayı monitör ve bilgisayar gibi istenmeyen zararsız ışıma yapan sistemler seviyesindedir. Bu güç kısıtlaması, UGB sistemlerinin tipik bir dar bant ve geniş bant alıcıların gürültü tabanının altında kalmasını sağlar ve UGB frekans spektrumunda yer alan mevcut radyo hizmetlerine hiç girişim yapmadan ya da minimum oranda girişim ile çalışmasını sağlar (Şekil 2.1).



Şekil 2.1. Frekans spektrumunda dar bant, geniş bant ve UGB sinyaller

- *Geniş Kanal Kapasitesi:* UGB sistemlerin en büyük avantajlarından birisi gelişmiş kanal kapasitesidir. Kanal kapasitesi veya veri hızı, bir iletişim kanalı üzerinden saniyede iletilebilecek maksimum veri miktarı olarak tanımlanır.

UGB kanal kapasitesi Eşitlik 2.1'de verilen Hartley-Shannon'un kapasite formülüne göre hesaplanır.

$$C = B \log_2(1 + SNR) \quad (2.1)$$

Bu formülde C maksimum kanal kapasitesini, B bant genişliğini ve SNR de sinyal/gürültü oranını temsil eder. Formülden de görüldüğü gibi, kanal kapasitesi bant genişliği ile lineer olarak artmaktadır. Bu nedenle, birkaç gigahertz bant genişliğine sahip olan UGB sinyalleri için saniyede bir gigabit (Gbps) veri hızı beklenebilir. Bununla birlikte, FCC'nin UGB haberleşmesi üzerindeki mevcut güç sınırlaması nedeniyle böyle yüksek bir veri hızı sadece 10 metreye kadar olan kısa mesafelerde kullanılabilir. Bu durum, UGB sistemlerini kısa mesafe ve yüksek veri hızı kablosuz uygulamaları için mükemmel aday yapmaktadır.

- *Düşük SNR Değerlerinde Çalışabilme:* Eşitlik 2.1'de verilen Hartley-Shannon formülü, kanal kapasitesinin logaritmik olarak sinyal/gürültü oranına (SNR) bağlı olduğunu gösterir. Bu nedenle, UGB haberleşme sistemleri oldukça geniş bir bantgenişliğinin sonucunda görülen düşük SNR'ler ile yoğun haberleşme kanallarında rahatlıkla çalışabilir.
- *Yansımalarından Oluşan Bozulmalara Karşı Yüksek Performans:* Kablosuz haberleşme kanallarında, iletilen sinyalin binalar, ağaçlar ve insanlar gibi çeşitli yüzeylerden çoklu yansımalarından kaynaklanan ve çoklu yol olarak bilinen durum kaçınılmazdır. UGB sistemlerde bu yansımalarından oluşan darbe bozunmaları dar bant sistemlere göre oldukça azdır. Bu durumun nedeni, UGB sistemlerde çok kısa süreli darbeler kullanıldığı ve iletim süresinin genellikle nanosaniye seviyelerde olduğu için yansıyarak gelen sinyalin (Non Line of Sight, NLOS) alıcıya direk gelen sinyal (Line of Sight, LOS) ile karışarak bozulmasına gerekli olan sürenin çok kısa olmasından kaynaklanmaktadır.

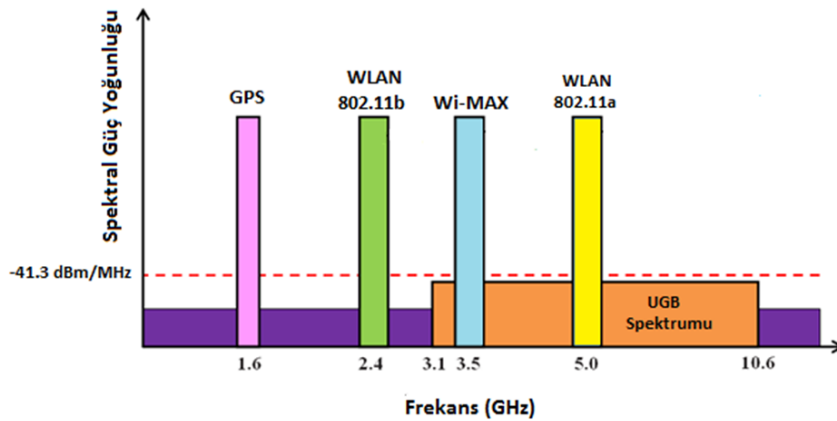
Tüm avantajlarına rağmen UGB teknolojisinin bazı dezavantajları da bulunmaktadır. UGB sistemlerde karşılaşılan başlıca zorluklar aşağıdaki şekilde sıralanabilir:

- UGB bandında çalışan diğer sistemlerden gelen sinyallerin girişim etkisi ile darbe şekli bozulması
- UGB alıcı sistemlerde yapılan ve gelen sinyalin bir önceki sinyal ile ilişkilendirilmesi olarak tanımlanan kanal kestiriminin darbe şeklinin bozulması durumunda yapılamaması
- Yüksek frekanslarda çalışan ve kısa süreli darbeler kullanan ve UGB sistemlerin alıcı ve verici istasyonları arasında oluşan senkronizasyon zorluğu
- UGB bandının lisanssız kullanıma açık olmasından dolayı, oluşabilecek çoklu kullanıcı durumlarında erişim zorluğu

UGB sistemlerin en çok kullanıldığı yerler; haberleşme uygulamaları, Tıbbi görüntüleme, biyomedikal uygulamalar, pozisyon tahmin uygulamaları, askeri sistemler ve sensör uygulamalarıdır. UGB sistemlerde, kullanılacak anten yapısı son derece önemlidir. UGB sistemlerin özelliklerine en uygun anten yapıları mikroşerit antenlerdir.

2.2.1. UGB Sistemlerde Bant Çentikleme

UGB sistemlerin bulunduğu 3.1-10.6 GHz frekans aralığında girişim etkisi yapabilecek bazı dar bant kablosuz standartlar bulunmaktadır. Bu standartların en yaygın olanları; 3.5 GHz frekansında çalışan Wi-MAX, 4 GHz'deki C-bant uydu haberleşmesi ve 5 GHz'de yer alan WLAN 802.11a standartıdır (Şekil 2.2.).



Şekil 2.2. UGB frekans spektrumu ve diğer dar bant sistemler

Wi-MAX, WLAN ve C-bant uygulamaları gibi dar bant ve geniş bant kablosuz sistemlerin UGB sistemler ve UGB çalışan antenler üzerindeki girişim etkisini ortadan kaldırmak için, bu gibi dar bant sistemlerin çalıştığı frekans bantlarında bant çentikleme

(band-notch) yapılmaktadır. Bir antenin bant çentikli yapmak için farklı teknikler mevcuttur. Bunlardan birisi, kullanılan anten ile kablosuz sistem arasına eklenen bant durduran filtre eklenmesidir (Chung ve ark., 2007). Fakat filtre eklemek hem ekstra maliyet eklediği hem de sistem yapısını büyüttüğü için küçük boyutlu olan mikroşerit anten yapılarında sorun teşkil etmektedir. Mikroşerit antenlerde filtre kullanmak yerine, anten geometrisi değişikliği ile istenilen frekanslarda bant çentiği sağlanabilir. Bu geometri değişikliği, yama ve toprak düzlemlerine eklenen oyuk yapıları, parazitik elemanlar ya da rezonatörler eklenerek yapılabilmektedir.

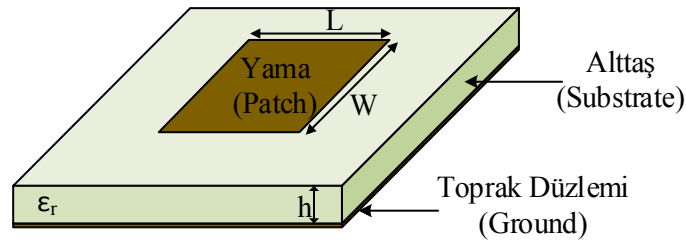
2.3. Mikroşerit Antenler

Günümüzün en çok kullanılan anten türlerinden birisi olan mikroşerit antenlerin geçmişi 1950’li yıllara dayanmaktadır. Mikroşerit anten kavramını ilk olarak Deschamps (1953) ortaya koymuştur. Gutton ve Baissinot (1955) ise, mikroşerit antenlerle ilgili ilk patenti “düz (flat) anten” ismi ile almışlardır. Bundan kısa bir süre sonra Lewin (1960), şerit ve mikroşerit hat düzensizlikleri üzerine çalışmalar yapmıştır. Başlarda fazlaca ilgi görmeyen bu antenlere olan ilgi baskı devre kartı (Printed Circuit Board-PCB) üretim tekniğinin geliştirilmesinden sonra 1970’li yıllarda başlayarak giderek artmıştır. Howell (1972), temel dikdörtgen ve dairesel yama yapıları üzerine çalışmalar yapmıştır. Bu çalışmaları temel alan Munson (1973), bir mikroşerit elemanın patentini almıştır. İnce bir malzeme üzerine ve birçok yüzeye uyumlu olacak şekilde üretilen bu antenler sonrasında uzay araçları ve füzelerde kullanılmıştır. Sanford (1974) ise, L band uygulamaları üzerine yaptığı çalışmada mikroşerit antenlerin dizi anten elemanı olarak kullanılabileceğini göstermiştir.

Baskı devre teknolojisinin gelişmesinden sonra ortaya çıkan mikroşerit antenlerin, ince bir malzeme üzerine ve birçok yüzeye uyumlu olacak şekilde üretilmesi, düşük profil, hafiflik, üretim kolaylığı, düşük maliyet ve MIC devrelere kolay entegre edilebilmesi gibi pek çok avantajları vardır. İlk başlarda füze, roket, radar gibi askeri uygulamalarda kullanılan bu antenler, günümüzde WLAN, GPS, GSM, LTE, Wi-Fi, WiMAX gibi gezgin haberleşme sistemleri, hava araçları, askeri sistemler ve biyomedikal teknolojiler gibi çok geniş bir kullanım alanına sahiptir (Balanis, 2013). Şekil 2.3’de gösterildiği gibi mikroşerit anten yapısı, fiziksel olarak düşük kayıplı, ince tabakalı dielektrik bir alttaş malzemesi ve bu malzemenin bir yüzeyinde ışmayı yapan iletken yama ile diğer

yüzeyinde iletken toprak tabakasından oluşmaktadır. Mikroşerit anten yapılarında kullanılan iletken yüzeylerin iletken kalınlığı (t) serbest uzay dalga boyundan (λ_0) oldukça küçük olup genelde 25-200 μm aralığında değişmektedir. Alttaş kalınlığı (h) ise yine küçük bir değer almakta ve çoğunlukla $0.003\lambda_0 \leq h \leq 0.05\lambda_0$ aralığında değişmektedir. Kullanılan alttaş malzemenin dielektrik sabiti (ϵ_r) ise, 2.2 ile 12 arasında değerler almaktadır (Balanis, 2013).

Mikroşerit antenlerin elektriksel performanslarının belirlenmesinde, ışımaya yapan yama ve toprak düzleminin şekli, boyutları, alttaş malzeme kalınlığı ve dielektrik sabiti doğrudan etkili faktörlerdir. Bu anten yapılarında alttaş malzemenin iki önemli işlevi vardır. Bunların birincisi, devre elemanlarının düzgün monte edilmesine imkan sağlayarak bu elemanlara mekanik açıdan destek olmak; diğeri ise iletim hattının bir parçası olarak dielektrik katsayısı ve kalınlığı ile antenin elektriksel özelliklerini belirlemektir (Garg ve ark., 2001). Mikroşerit anten yapımında alttaş malzeme olarak alümina, kuartz ve cam katkılı PTFE (Poli Tetra Flor Etilen) gibi yalıtkan malzemeler kullanılabilir. Ancak, bu malzemeler pahalı oldukları ve yüksek frekanslarda MIC devrelerle birleştirilmede kolaylık sağladığı için pratikteki mikroşerit anten yapılarında genellikle FR4 malzeme kullanılmaktadır. İletken metal yüzeylerde ise çoğunlukla bakır kullanılır ve alttaş üzerine kimyasal olarak yapıştırılır.



Şekil 2.3. Mikroşerit anten yapısı

Mikroşerit antenlerde ışımaya, antenin yama ve toprak düzlemleri arasındaki kenarlardan “saçak alanlar (fringing fields)” olarak bilinen elektrik alanlarla sağlanır. Mikroşerit antenler, açıklık antene benzer bir yapıda olduğundan saçak alanlar, sadece antenin polarizasyonunun doğrultusundaki kenarlar üzerinde oluşur. Bu saçak alanlar antenin etkin uzunluğunu anten uzunluğundan daha fazla göstermekte ve oluşturdukları alan çizgileri dielektrik malzemenin dışına çıktığından ışımaya gerçekleşmektedir. Mikroşerit antenlerde ışımaya çoğunlukla yama ve toprak düzlemi arasında gerçekleşmektedir. Bu

yüzden mikroşerit antenlerde seçilen yama ve toprak yapıları anten performansına doğrudan etki eden bir faktördür (Balanis, 2013).

Mikroşerit antenlerin avantajlarının yanında bazı dezavantajları da bulunmaktadır. Bu dezavantajlarının başında dar bant genişliği gelmektedir. Ancak, kullanılan altaş malzemenin değiştirilmesi, yama ve toprak yapılarında yapılacak değişiklikler ve kullanılan besleme teknikleri ile bu duruma çözüm bulunabilmektedir. Mikroşerit antenlerin diğer bir dezavantajı da, yama ve toprak düzlemleri arasındaki mesafe dalga boyundan çok küçük olduğu için düşük güçte ışıma yapmalarıdır. UGB sistemlerde düşük güçte ışıma yapan antenler talep edildiğinden, UGB anten tasarımlarında bu durum bir avantaj olmaktadır. Diğer bir dezavantaj ise, kullanılan dielektrik malzemeden ötürü oluşan kayıplar yüksek olduğu için anten kazancı ve verimi düşüktür (Balanis, 2013).

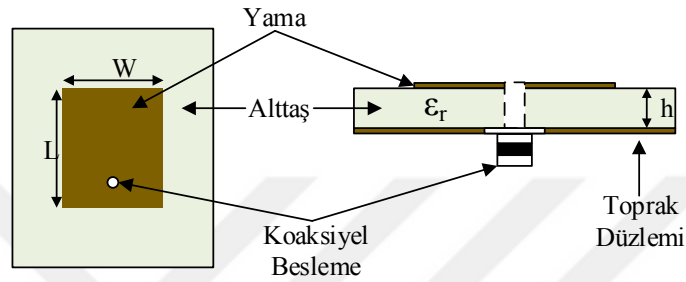
2.3.1. Mikroşerit Anten Besleme Türleri

Mikroşerit antenlerde, altaş malzeme seçimi, yama ve toprak kısımlarının tasarımından sonra en önemli etkenlerden birisi uygun bir anten besleme çeşidinin belirlenmesidir. Bu seçim birçok faktörü birlikte getirir. Bu faktörlerin en önemlisi ise, besleme yapısı ile ışıma yapısı arasındaki gücün verimli bir şekilde transfer edilmesi yani empedans uyumudur. Antenleri beslemede kullanılan konnektörlerin karakteristik empedansları (Z_0) genellikle 50 Ω olduğundan, empedans uyumunu sağlamak için besleme hattının da empedansının 50 Ω olması istenmektedir. Bu nedenle, anten beslemesinin seçiminde çalışılacak frekans ve polarizasyon gibi durumlar göz önüne alınarak en uygun besleme metodu seçilmelidir.

Mikroşerit antenlerde besleme türleri temaslı ve temassız besleme şeklinde sınıflandırılabilir. Temassız beslemede anten ışımasını gerçekleştiren yamaya temas yapılmadan yani kuplaj (coupling) yoluyla besleme yapılmaktadır. Bu şekilde yapılan beslemeler açıklık kuplaj ve yakınlık kuplaj olmak üzere iki çeşittir. Temaslı besleme şekillerinde ise, besleme yapısı doğrudan anten yamasına bağlanmaktadır. Koaksiyel, mikroşerit hat ve CPW besleme mikroşerit antenlerin tasarımında kullanılan temaslı besleme türleridir. Temaslı besleme türleri, antenlerin üretim aşamasındaki kolaylıklardan dolayı daha sık tercih edilmektedir (Garg ve ark., 2001).

2.3.1.1. Koaksiyel Besleme

Koaksiyel besleme, kullanımı kolay ve yüksek verimliliğe sahip olduğu için sıkça kullanılan temaslı bir beslemedir. Şekil 2.4’de görüldüğü gibi bu besleme türünde alttaş malzeme toprak düzlemi üzerinden delinerek ışıyıcı yama beslenmektedir. Beslemenin yapıldığı koaksiyel yapı, iç içe geçmiş iki iletkenen oluşmaktadır. İçteki iletken alttaş malzeme içinden geçerek yamaya bağlanırken dıştaki iletken toprak düzlemine bağlanır.



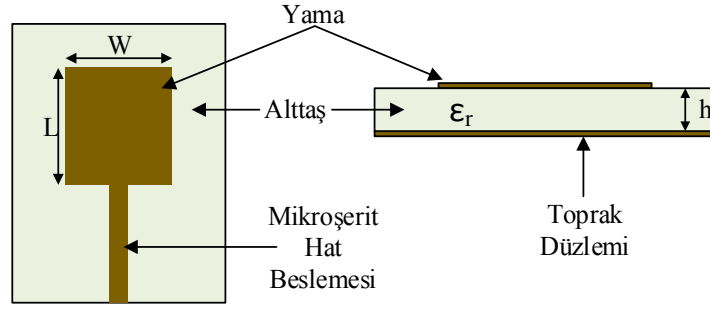
Şekil 2.4. Koaksiyel beslenmiş mikroşerit anten yapısı

Besleme yama üzerinden herhangi bir yerden yapılabilir. Bu noktanın seçimi, en iyi empedans uyumunu gerçekleştirecek şekilde belirlenir. Belirlenen besleme noktasına göre antenin ışımaya türü, çalışma frekansı ve bant genişliği değişmektedir.

Koaksiyel beslemenin en önemli dezavantajı, dar bant genişliğine sahip olmasıdır. Bant genişliğini artırmak için yapılan alttaş malzemenin kalınlaştırılması yöntemi, daha uzun bir iç iletken gerektirmekte; bu durum da sahte ışımaların yayılmasına, yüzey dalga gücünün ve besleme endüktansının artmasına neden olmaktadır.

2.3.1.2. Mikroşerit Hat Besleme

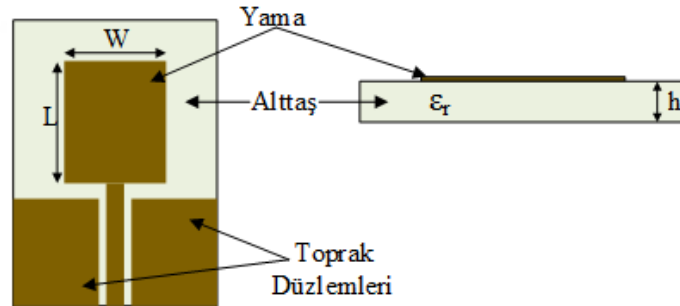
Mikroşerit antenlerde en yaygın kullanılan besleme metodu mikroşerit hat beslemedir. Bu besleme türünde anten, yamaya bağlı mikroşerit bir hat ile beslenmektedir (Şekil 2.5). Bu durumun en önemli avantajı, yama ve besleme hattının aynı yüzey üzerinde yer alması ile üretiminin kolay olmasıdır. Mikroşerit hat beslemenin dezavantajı ise, besleme hattından yapılan ışımaların hat üzerindeki akım yoğunluğunu artırabilmesi ve hat üzerinde istenmeyen ışımalara neden olabilmesidir. Ayrıca, yamanın besleme noktası sadece yama kenarlarından seçilebilmektedir.



Şekil 2.5. Mikroşerit hat ile besleme yapısı

2.3.1.3. Eşdüzlemsel Dalga Kılavuzu Besleme

Mikroşerit hat ile besleme şekli farklı olarak Şekil 2.6’da verilen bu besleme türünde, toprak düzlemi ile ışın yaması aynı düzlemde yer almaktadır. CPW beslemenin diğer besleme şekillerinden farkı, toprak levhaların ışımaya daha etkin katkı sağlıyor olmasıdır. Yani, bu levhalar üzerinde yapılan değişimler de empedans uyumunda direkt olarak etki etmektedir. Bununla birlikte, yamayı besleyen iletim hattı ile toprak levhaları arasındaki mesafe empedans uyumunu sağlamada kullanılabilir bir parametredir.

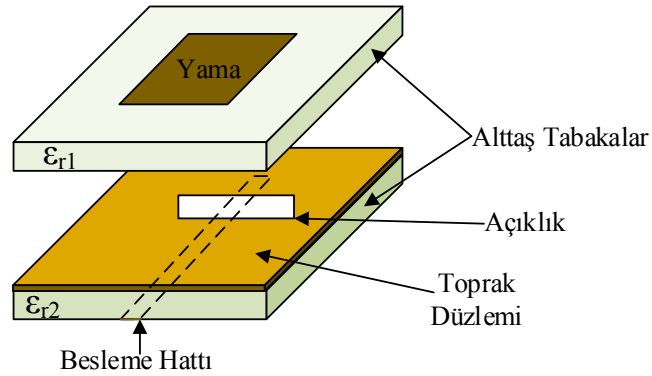


Şekil 2.6. CPW ile beslenmiş mikroşerit anten yapısı

2.3.1.4. Açıklık Kuplaj Besleme

Açıklık kuplaj beslemede, Şekil 2.7’de gösterildiği gibi farklı iki alttaş malzeme, bu malzemelerin dış yüzeylerinde yer alan ışınıcı yama ile besleme hattı ve iki malzeme arasında bulunan toprak düzlemi bulunmaktadır. Yama ve besleme hattı arasındaki etkileşim toprak düzlemindeki açıklıktan sağlanmaktadır. Kuplaj açıklığı genelde mikroşerit yamanın merkezine denk gelecek şekilde konularak antende bir simetri sağlanır ve böylece çapraz polarizasyon etkisi çok düşük seviyelere çekilir. Kuplaj yoluyla aktarılacak olan elektromanyetik enerjinin miktarında açıklık boyutları, şekli ve

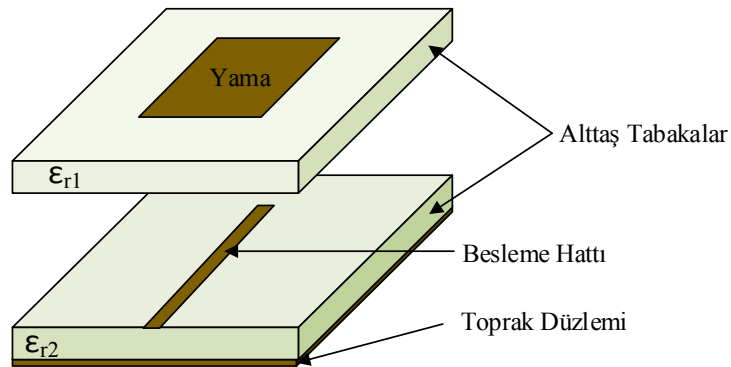
konumu gibi faktörler etkili olmaktadır. Empedans uyumu ise, açıklık uzunluğu ve mikroşerit besleme hattının genişliği ayarlanarak sağlanmaktadır.



Şekil 2.7. Açıklık kuplaj ile beslenmiş mikroşerit anten yapısı

2.3.1.5. Yakınlık Kuplaj Besleme

Bu besleme türünde de, açıklık kuplajda olduğu gibi birbiri üzerine eklenmiş farklı dielektrik özelliklere sahip iki altaş taban malzeme kullanılmaktadır. Yama ve toprak düzlemleri her iki altaşın dış yüzeylerinde yer alırken besleme hattı bu iki malzemenin arasında bulunmaktadır (Şekil 2.8). Bu sebeple yama ile besleme hattı arasında kapasitif bir bağlantı bulunmaktadır. Mikroşerit yamanın üzerinde bulunduğu altaş malzemenin kalın seçilmesi durumunda yüksek bir bant genişliği elde etmek mümkün olmaktadır. Besleme hattının uzunluğu ve mikroşerit yamanın boyutlarının değişimiyle de istenilen empedans uyumu yapılabilmektedir. Yakınlık kuplaj ve açıklık kuplaj besleme tekniklerinin en önemli dezavantajı, iki dielektrik katmanlı yapının düzgün bir şekilde üretilmesinin zor olmasıdır.



Şekil 2.8. Yakınlık kuplaj ile beslenmiş mikroşerit anten yapısı

2.3.2. Mikroşerit Anten Analiz Yöntemleri

Mikroşerit antenlerin analizinde kullanılan teknikler iki alt başlıkta incelenebilir. Bunlar; mikroşerit anten modelleme teknikleri ve eletromanyetik hesaplama teknikleridir. Dikdörtgen gibi düzgün şekildeki yamalardan oluşan geleneksel mikroşerit anten yapılarının analizlerinde iletim hattı modeli (transmission line model) ve boşluk modeli (cavity model) anten modelleme teknikleri kullanılmaktadır. Bu teknikler sadece basitleştirilmiş ve düzgün şekilli yapılar için kullanılabilir ve çözümleri yama kenarlarındaki eşdeğer manyetik akım dağılımına dayanır. Bu yöntemlerden iletim hattı modeli, ilk kez Munson (1974) tarafından kullanılmıştır. Boşluk modeli ise, ilk kez Lo ve arkadaşları (1979) tarafından kullanılmıştır (Çakır, 2004).

İletim hattı ve boşluk modeli analiz tekniklerinden elde edilen sonuçların güvenilirliğinin az olması ve düzgün olmayan yapılarda uygulanamaması nedeniyle, başta mikroşerit antenler olmak üzere karmaşık elektromanyetik problemin çözüm ve analizinde kullanılmak üzere birçok bilgisayar destekli elektromanyetik hesaplama tekniği geliştirilmiştir. Bu tekniklerin bir kısmı zaman domeninde bir kısmı da frekans ekseninde çözüm yapmaktadır. Ancak her bir teknik sadece belli koşullarda doğru sonuçlar verdiğinden, uygulanacak elektromanyetik probleme en uygun teknik tercih edilmelidir. En çok kullanılan elektromanyetik hesaplama teknikleri; sonlu farklar zaman domeni (SFZD, Finite Difference Time Domain-FDTD) metodu, sonlu elemanlar metodu (SEM, Finite Elements Method-FEM) ve moment metodu (MoM)'dur. Bu tür yöntemler, yama ve toprak düzlemlerindeki elektrik akımı dağılımı çözümünü yaparak sonuca ulaşmaktadır. Bu yöntemlerde, çözülmek istenen yapı ızgaralama (meshing) ile pek çok küçük parçaya ayrılarak çözüm yapılmaktadır (Guha ve Antar, 2010).

2.3.2.1. İletim Hattı Modeli

İletim hattı modeli genel olarak basit ve mikroşerit antenlerin temel performansının çözümünde kullanılacak bir yöntemdir. Diğer analiz yöntemlerine göre daha az hesaplamayı gerektiren yöntem, yalnızca dikdörtgen ve benzeri yapıların analizinde kullanılabilir. Anten parametrelerinin deneye dayalı formüllerle hesaplandığı iletim hattı modelinde, özellikle yüksek frekanslarda güvenilir sonuçlar elde edilememektedir. Buna rağmen iletim hattı modeli, ışınım mekanizmasının karakteristiği

için bile basit ifadeler verebildiğinden önceki çalışmalarda sıkça tercih edilen bir analiz yöntemi olmuştur. Bu yöntemin mikroşerit yapılarına uygulanmasında, mikroşerit ışıma yapan elemanlar iletim hattı rezonatörleri olarak görülür ve ışıma açık devre uçlarındaki saçak alanlarından yapılıdır (Sadıku, 2001).

2.3.2.2.Boşluk Modeli

Boşluk modeli, iletim hattı modeline göre doğruluk değerleri daha yüksek ancak daha karmaşık bir analiz yöntemidir. Boşluk modelinde, yama ile toprak düzlemi arasındaki bölge birer boşluk olarak ele alınır ve bu boşluk alt ve üst kısımlarının elektrik alanla, çevresinin de manyetik bir duvar ile çevrilmiş olduğu varsayılarak analiz yapılmaktadır. Bu yöntem, taban malzemesinin yüksekliğinin düşük olduğu yapılarda daha yüksek doğruluk değerlerine sahip sonuçlar vermektedir (Sadıku, 2001).

2.3.2.3.Sonlu Farklar Zaman Domeni Metodu

Diferansiyel formdaki Maxwell denklemlerinin doğrudan zaman domeninde ayrıştırılarak çözülmesi esasına dayanan FDTD yöntemi, elektromanyetik problemlerin çözümünde oldukça popüler bir sayısal analiz yöntemidir. İlk defa Yee (1966) tarafından ortaya atılan bu yöntem, en genel haliyle üç elektrik alan ve üç manyetik alan bileşeninin uzayın seçilen farklı noktalarında ve farklı zaman aralıklarında hesaplanmasına dayanır.

FDTD yönteminde, analizi yapılacak olan yapı x, y ve z eksenlerinde binlerce küçük hücreye bölünür. Yapılan hesaplamalardan sonra yapı içerisindeki elektromanyetik dalgaların nasıl ilerlediği görülür. Her bir hücre için ayrı hesaplama yapıldığı için, elektrik ve manyetik alanın fazla değişmediği bölgelerde yapının fazla hücreye bölünmesi gereksiz olarak işlem yükünü artırmaktadır. Elektrik ve manyetik alan değerlerinin hızlı değişim gösterdiği köşe ve uç gibi bölgelerin analizinde ise, belirtilen bölgelerin daha fazla hücreye bölünmesiyle daha doğru ve verimli sonuçlar elde edilebilmektedir (Sevgi, 1999).

2.3.2.4. Sonlu Elemanlar Metodu

İlk olarak makine ve inşaat mühendisliğindeki yapısal mekanik problemlerde kullanılan FEM, gerçek çözüme oldukça yakın olması ve istenilen geometriye kolayca

uygulanabilmesi açısından mikroşerit antenler için çok kullanışlı yöntemdir. İlk kez Courant (1943) ile elektromanyetik problemlerin çözümünde kullanılan FEM, vektör elemanların tanımlanmasıyla yaygın olarak kullanılmaya başlamıştır (Barton ve Cendes, 1987; Volakis ve ark., 1998). FEM, bir bölgenin küçük parçalara ayrılıp türevlerinin alınması ve daha sonra bu parçaların birleştirilerek bir bütün halinde çözülmesi esasına dayanmaktadır. FEM'in çalışma prensibi, öncelikle bir elemana ait ve sistem özelliklerini içeren denklemlerin çıkartılarak tüm sistemi temsil edecek şekilde eleman denklemlerini birleştirerek sisteme ait lineer denklemlerin elde edilmesi şeklindedir. Bölgesel yaklaşım kullanılan FEM yöntemi, hassas hesap ve büyük bölgeler için gerçek sonuçlara yakın büyük doğruluklarla çözümler vermektedir. Ancak bu yöntemin çözümünde çok sayıda denklemin çözümü gerektiği için hızlı ve işlevsel bilgisayarların kullanılması gereklidir (Sevgi, 1999).

2.3.2.5.Moment Metodu

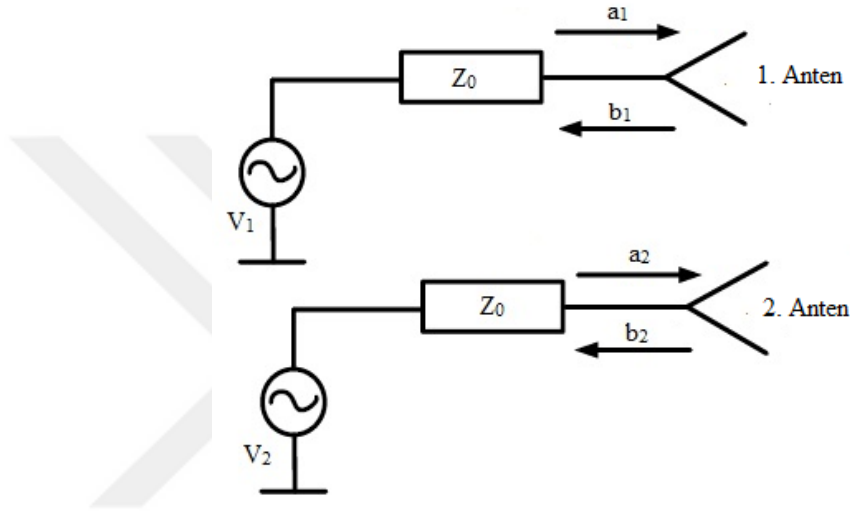
MoM, 1968 yılında Harrington tarafından geliştirilmiş ve birçok elektromanyetik problemin çözümünde uygulanan diğer bir sayısal analiz yöntemidir. MoM, özellikle saçılma ve ışınma problemlerinde sıklıkla kullanılmaktadır. Diğer sayısal yöntemlere göre düzlemsel anten yapılarına kolay uygulanabilmesi ve çözüm süresinin diğer yöntemlerden daha kısa olması sebebiyle, mikroşerit antenlerde oldukça sık tercih edilen bir yöntemdir (Harrington, 1993). MoM yönteminin ana formülasyonu, Gren fonksiyonları kullanarak elde edilen integral denklemleridir. MoM, frekans domeninde çözüm yapmakta ve genişletilmiş pulse ve dirac test fonksiyonlarını kullanmaktadır. MoM'da ilk olarak bir integral, matris denklemine dönüştürülür. Daha sonra ise, dalga boyuyla orantılı tel ızgaralarla modellenmiş katı yapılardan yayılan elektrik alan, parçalara bölünmüş teller üzerinde oluşturulan matrislerin çözümlerinin birleştirilmesiyle hesaplanır.

2.4. Anten Performans Parametreleri

Antenlerin performanslarının belirlenmesinde kullanılan pek çok parametre vardır. Bu tez çalışması kapsamında tasarlanan mikroşerit antenlerin değerlendirilmesinde kullanılan parametreler sırasıyla aşağıda verilmiştir.

2.4.1. S-parametreleri

S-parametreleri, bir elektrik sistemindeki terminaller (portlar) arasındaki giriş çıkış ilişkisini tanımlayan önemli anten parametrelerinden birisidir. S-parametreleri antenin empedans uyumunu ve ışıma performansını gösterir. Şekil 2.9'daki gibi iki terminal yani iki antenden oluşan bir yapı ele alındığında, S_{12} ikinci antenden (Port 2) birinci antene (Port 1) aktarılan gücü temsil eder. Aynı şekilde S_{21} 'de birinci antenden ikinci antene aktarılan gücü ifade eder.



Şekil 2.9. İki antenden oluşan bir sistem

S-parametrelerinin, antenlere iletilen ve antene geri dönen sinyallere göre ifadeleri aşağıdaki eşitliklerde verilmiştir.

$$S_{11} = \frac{b_1}{a_1} \quad (2.2a)$$

$$S_{12} = \frac{b_1}{a_2} \quad (2.2b)$$

$$S_{21} = \frac{b_2}{a_1} \quad (2.2c)$$

$$S_{22} = \frac{b_2}{a_2} \quad (2.2d)$$

S-parametreleri, genellikle dB cinsinden belirtilir ve Eşitlik 2.2'de bulunan gerçek oranlar kullanılarak Eşitlik 2.3'deki gibi hesaplanır.

$$|S_{xy}|_{dB} = 20 \log_{10} |S_{xy}| \quad (2.3)$$

Tek bir antenin bulunduğu anten uygulamalarında kullanılan tek S-parametresi S_{11} 'dir. S_{11} , bir antene verilen sinyalin ne kadarının yansıdığını gösterir ve yansıma katsayısı olarak ifade edilir. Bazı kaynaklarda ise, yansıma katsayısı yerine geri dönüş kaybı ifadesi kullanılmakta ve Γ ile gösterilmektedir. İdeal bir antende, antene giren bütün gücün ışınarak anten girişlerinde hiç geri dönen sinyal olmaması istenir. Eğer $S_{11} = 0$ dB ise, tüm güç antenden yansıtılır ve hiçbir sinyal iletilmez. Bir anten verilen sinyalin %90'ını ışınıyorsa yani antene verilen sinyalin %10'u geri yansıtırsa bu antenin S_{11} değeri yaklaşık -10 dB olur. Işıyan oran arttıkça geri dönüş kaybı daha da düşer. Anten tasarımlarında S_{11} değerinin -10 dB ve altında olması istenir.

2.4.2. Gerilim Duran Dalga Oranı

Gerilim Duran Dalga Oranı (VSWR) parametresi, antenin bağlı bulunduğu hat ile ne kadar iyi empedans uyumunun olduğunu sayısal olarak açıklayan bir ölçüttür. VSWR, antenin yansıyan gücünü tanımlayan ve anten yansıma katsayısı, Γ 'nin bir fonksiyonudur (Eşitlik 2.4).

$$VSWR = \frac{1+|\Gamma|}{1-|\Gamma|} \quad (2.4)$$

Antenler için VSWR, daima gerçek ve 1'den büyük pozitif bir sayıdır. Anten yansıma katsayısı (S_{11}) -10 dB olduğunda, Γ 'nin gerçek değeri 0.316'ya eşit olur. Bu Γ değeri için ise, VSWR değeri 2'ye yakın bir değere karşılık gelir. Yansıma katsayısı -10 dB'nin ne kadar altında olursa, ona karşılık gelen VSWR değeri de 1'e o kadar yaklaşır. Dolayısıyla, anten performanslarının değerlendirilmesinde VSWR değerinin en fazla 2 olması istenir.

2.4.3. Empedans Bant Genişliği

Empedans bant genişliği, bir antenin S_{11} değerinin -10 dB ve altında olduğu bölgeler olarak belirlenir. Bir antenin bant genişliğinin belirlenmesinde iki farklı değerlendirme kullanılmaktadır. Bunların ilki, Eşitlik 2.5a'da verilen, BW ile gösterilen ve frekans bant genişliği olarak ifade edilen bant genişliği; diğeri ise Eşitlik 2.5b'de hesaplaması verilen ve B_f ile gösterilen yüzdelik bant genişliğidir.

$$BW = f_{üst} - f_{alt} \quad (2.5a)$$

$$B_f(\%) = \frac{BW}{f_c} \times 100 = \frac{(f_{üst} - f_{alt})}{(f_{üst} + f_{alt})/2} \times 100 \quad (2.5b)$$

Burada $f_{üst}$ ve f_{alt} sırasıyla anten yansıma katsayısının -10 dB seviyesinde görüldüğü en yüksek ve en düşük kesim frekanslarını, f_c ise antenin merkez frekansını belirtmektedir. Bir antenin UGB bir anten olarak adlandırılabilmesi için, frekans bant genişliğinin (BW) 500 MHz'den büyük olması ya da frekans bant genişliğinin (B_f) %20'den daha büyük olması gerekmektedir (FCC,2002). Yüzdelik bant genişliğine göre işaretlerin sınıflandırılması;

$B_f < 1\%$ ise, dar bant
 $1\% < B_f < 20\%$ ise, geniş bant
 $20\% < B_f$ ise, ultra geniş bant

şeklindedir.

2.4.4. Işıma Örüntüsü

Işıma örüntüsü (radiation pattern), bir anten tarafından yayılan ışımının dış ortamındaki özelliklerini gösteren matematiksel ya da grafiksel fonksiyon olarak tanımlanabilir. Işıma örüntüsü genellikle uzak alan bölgeleri için geçerlidir ve bir antenin en önemli parametrelerinden birisidir. Bir antenin yaydığı ışıma alanı küresel bir yapı olarak düşünülürse birim vektörleri r , θ ve ϕ 'ye bağlı küresel bileşenlerin bir fonksiyonu olarak yazılabilir. Antenin maksimum ışıma yaptığı yöndeki ışıma bölgesine ana lop, diğer yönlere ışıma bölgelerine ise yan loplar denir. Ana lop üzerindeki ışıma, antenin istenen yöne doğru olan ışımalarını; yan loplar üzerindeki ışımalar ise, istenmeyen yönlere yapılan ışımaları gösterir.

Bir anten her yöne eşit seviyede ışıma yapıyorsa yani ışıma örüntüsü θ ve ϕ 'den bağımsız ise bu anten, izotropik ya da yön bağımsız bir anten olarak ifade edilir. Pratikte izotropik bir anten bulunmamakla birlikte, izotropik anten kavramı antenlerin karşılaştırmasında referans değer olarak kullanılır. Eğer bir antenin ışıma örüntüsü θ ya da ϕ 'den yalnızca birine göre değişiyorsa bu tür antenlere çok yönlü (omnidirectional) anten denir. Böyle antenlerde bağımlı olmadığı düzlemde alıcının yer değiştirmesi aldığı gücü değiştirmez. Bir anten sadece belirli bir yönde ışıma yapıyorsa bu anten yönlü (directional) bir antendir ve ışıma örüntüsü hem θ hem de ϕ 'ye bağlı olarak değişir.

2.4.5. Yönlülük

Bir antenin yönlülüğü o antenin maksimum ışıma yoğunluğunun izotropik antenin ışıma yoğunluğuna oranı ile hesaplanır. D ile gösterilen yönlülüğün birimi yoktur ve her zaman için 1'den büyüktür. İzotropik antenin ışıma yoğunluğu, ışılan toplam gücün 4π 'ye bölünmesiyle bulunur. Eşitlik 2.6'da yönlülüğün formülü verilmiştir.

$$D = \frac{U_{\max}}{U_{\text{izotropik}}} \quad (2.6)$$

2.4.6. Verim

Bir antenin verimi, Eşitlik 2.7'de verildiği gibi antenin elektromanyetik dalgaya dönüştürdüğü gücün antene giren güce oranı olarak tanımlanır. Verimlilik e ile gösterilir ve birimsizdir. İletkenlik kaybı, dielektrik kaybı, yansıma kaybı ve polarizasyon kaybı antenin verimini etkileyen faktörlerdir.

$$e = \frac{P_{\text{ışılan}}}{P_{\text{giren}}} \quad (2.7)$$

2.4.7. Kazanç

Bir antenin kazancı, belirli bir yöndeki ışıma yoğunluğunun izotropik bir kaynaktan çıkan ışıma gücüne oranı olarak tanımlanır ve G ile gösterilir. Kazanç değeride tıpkı yönlendiricilik ve verim gibi birimsizdir. Eşitlik 2.8'de verildiği gibi bir antenin kazancı, verimlilik ile yönlendiriciliğin çarpımına eşittir.

$$G = e \cdot D \quad (2.8)$$

2.4.8. Polarizasyon

Antenler için polarizasyon, belirli bir yönden yayılan ya da gönderilen dalga olarak ifade edilebilir. Dalga ilerlerken zamana bağlı elektrik alanın çizdiği şekil dalganın polarizasyonunu belirler. Üç çeşit polarizasyon vardır. Bunlar; doğrusal, dairesel ve eliptik polarizasyonlardır.

Eğer elektrik alan vektörü zamana bağlı olarak tanımlandığında yalnızca bir hat boyunca (yatay-dikey) ilerliyorsa buna doğrusal polarizasyon denir. Elektrik alan vektörü dairesel ilerleyerek her bir dalga boyunda 360° dönüyorsa dairesel

polarizasyon, elektrik alanın izlediği yol bir elips şeklindeyse eliptik polarizasyon olarak adlandırılır.

2.4.9. Eksenel Oran

Eksenel oran (EO) bir elektrik alanının ortogonal bileşenlerinin oranıdır. EO değeri DP antenler için kullanılan bir parametredir. DP antenlerde elektrik alan, eşit genlikte ve 90° faz farkı olan birbirine dik iki elektrik alan bileşeninden oluşur. Dairesel olarak kutuplanmış alanlar için EO'nun ideal değeri 0 dB'dir. Ancak pratikte bu oran 3 dB'nin altında olan değerler olarak belirlenmektedir.

2.5. Yeniden Ayarlanabilir Antenler

Kablosuz sistemlerin kullanımının günden güne artmasıyla, kullanıcılar istenilen amaca göre farklı kablosuz sistemlerde çalışabilen cihazlara ihtiyaç duymaktadırlar. Geleneksel anten yapıları ile bu işlem için aynı anda birden çok antene ihtiyacı olmaktadır. Ancak modern kablosuz sistemlerde kullanılan cihazların giderek küçülmesi ile, bu sistemlerde kullanılan antenlerin ağırlığını ve alanını en aza indirmek için farklı ışınım karakteristiklerinde çalışabilen tek bir anten elemanı geliştirilmesi arzu edilmektedir (Gökalp, 2008). Bu sebeple bu antenlerin, düşük profilli, hafif, gerçekleştirilmesi kolay, geniş bir frekans aralığında kullanılabilir ve değişen sistem gereksinimlerine göre ayarlanabilir olması gerekmektedir. Bu durum neticesinde, çalışma frekansı, polarizasyon veya ışınım örüntüsü gibi özelliklerini gerçek zamanlı olarak değiştirebilme yeteneğine sahip yeniden ayarlanabilir anten teknolojisi geliştirilmiştir. Yeniden ayarlanabilen antenler, geleneksel eşdeğerlerine kıyasla başta serbestliğin fazla oluşu ve anten ünitelerinin boyutlarının küçük olması gibi pek çok avantaja sahiptir (Christodoulou ve ark., 2012).

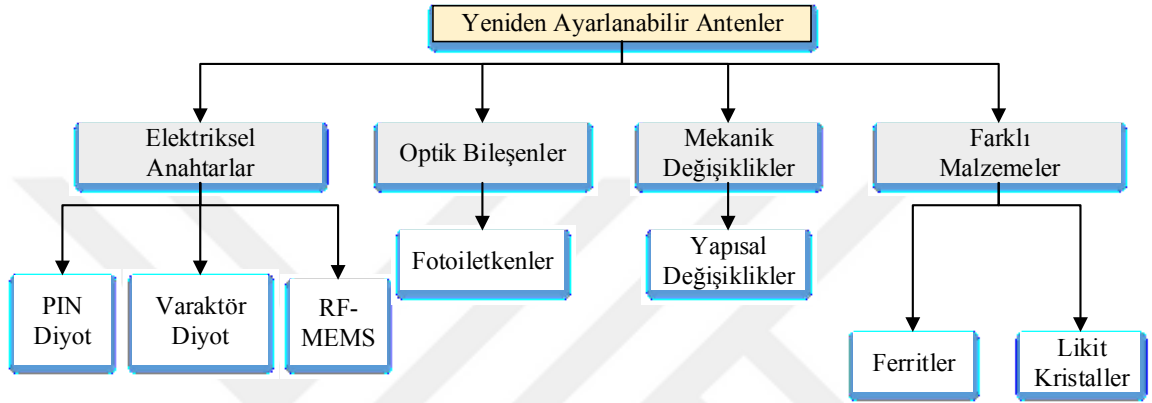
Antenin çalışma frekansının değiştirilerek farklı frekanslarda çalışan sistemlerin tek bir antenle kullanılabilmesi frekansı yeniden ayarlanabilir antenlerin geçmişi, Schaubert'in (1983), patentini aldığı ve kısa devre pimleri (Shorting Pins) kullanarak oluşturduğu mekanik ayarlanabilir anten yapısına dayanmaktadır. Schaubert, yaptığı çalışmada toprak ve yama düzlemleri arasına yerleştirdiği kısa devre pimleri ile anten üzerinde bir endüktans oluşturarak antenin rezonans frekansını artırmıştır. Dahale ve Lee (1985), ilk kez kendilerinin kullandığı ve diğer bir mekanik anahtarlama türü olan hava boşluğu

(Air-gap) metodu ile alttaş ve toprak düzlemi arasında hava boşlukları oluşturarak alttaşın kalınlığı üzerinde değişiklikler meydana getirerek antenin efektif dielektrik sabitini değiştirmiş ve yeni bir rezonans frekansı elde etmişlerdir. 1999 yılında DARPA, yeniden ayarlanabilir antenleri ve potansiyel uygulamalarını araştırmak için Amerika’da bulunan 12 tanınmış üniversite, araştırma enstitüsü ve firmaların yer aldığı kısaltması RECAP olan “Reconfigurable Aperture Program” adı altında bir bir çalışma grubu oluşturarak çalışmalar yapılmasını sağlamıştır (DARPA, 1999). Tüm bu gelişmeler üzerine yeniden ayarlanabilir antenler üzerine yapılan çalışmalar 2000’li yıllardan itibaren giderek artmıştır. Mikroşerit antenler, düşük profil, hafif, üretim kolaylığı, MIC devrelerine kolay entegre edilebilir olmaları, düzlemsel yapıları ile anahtarlama yapılarına uygun ve hemen her yüzeye monte edilebilmesi gibi avantajları nedeniyle yeniden ayarlanabilen antenler için oldukça iyi bir aday olmuştur (Huff ve Bernhard, 2008).

Yeniden ayarlanabilir antenler dört kategoriye ayrılabilir. Bunlar; frekans ayarlanabilen, polarizasyon ayarlanabilen, ışınma örüntüsü ayarlanabilen ve diğer üçünün kombinasyonları ile oluşan hibrit antenler şeklindedir (Guha ve Antar, 2010). Frekans yeniden ayarlanabilen anten olarak anılan birinci kategoride, antenin çalışma frekansının değiştirilebilmesi ya da anten çalışma bandında bazı kısımlarının bandının durdurması amaçlanmaktadır. Bu ayarlamalar antenin yansıma katsayısında yapılan değişikliklerle gerçekleştirilir. Bu antenlerin polarizasyon ya da ışınma örüntüleri bir banttan diğerine ayarlanırken değişmeden kalmalıdır. İkinci kategori olan polarizasyonu ayarlanabilen antenler, antenin çalışma frekansı ve ışınma modeli değişmeden kalırken, ışınma alanının polarizasyonunun yeniden yapılandırılması veya değiştirilmesi şeklinde kullanılmaktadır. Polarizasyon yeniden ayarlaması, haberleşme ortamında bulunan ve girişime neden olan sinyallerin engelleyici etkilerinden kurtulmak için yapılmaktadır. Işınma örüntüsü yeniden ayarlamasında ise; antenin çalışma frekansı ve polarizasyon özellikleri değişmeden kalacak şekilde antenin ışınma örüntüsü değiştirilmektedir. Bu değişiklik ışınma örüntüsünün şekil, yön veya kazanç değerlerindeki değişimler şeklinde olabilmektedir.

2.5.1. Anten Anahtarlama Teknolojileri

Aynı fiziksel boyutlarda ışına topolojisini değiştirebilen yeniden ayarlanabilen antenlerin en önemli parçası anten elemanlarını birbirine bağlayan anahtar yapılarıdır. Yeniden ayarlanabilir antenlerin ayarlanmasında Şekil 2.10'da gösterildiği gibi 4 farklı teknik kullanılmaktadır. Mikroşerit antenlerde, üretimi ve kullanım kolaylığı açısından elektriksel anahtarlar daha çok tercih edilmektedir (Constantine, 2009).



Şekil 2.10. Yeniden ayarlanabilir antenlerde kullanılan teknikler

Elektriksel olarak yeniden ayarlanabilen bir anten, yüzey akımlarını yeniden dağılımı ve antenin ışınıcı yama yapısı topolojisini ya da ışına kenarlarını değiştirmede kullanılan elektronik anahtarlama temeline dayanmaktadır. Anahtarların anten yapısına eklenebilmesi, anten tasarımcılarının uğraşmakta olduğu yeniden ayarlanabilen işlevselliğe erişmesini kolaylaştırır. Bu antenlerin performansını düşüren başlıca etkenler; eleman ekleme kaybı, anahtar elemanlarının nonlineer ve girişim etkileri, öngerilim değerinin negatif etkisi ve diğer kayıplar olarak verilebilir. Yeniden ayarlanabilen antenlerin elektriksel olarak ayarlanmasında sıklıkla kullanılan 3 anahtarlama türü vardır. Bunlar; RF-MEMS, varaktör ve PIN diyot anahtarlardır (Constantine ve ark., 2015).

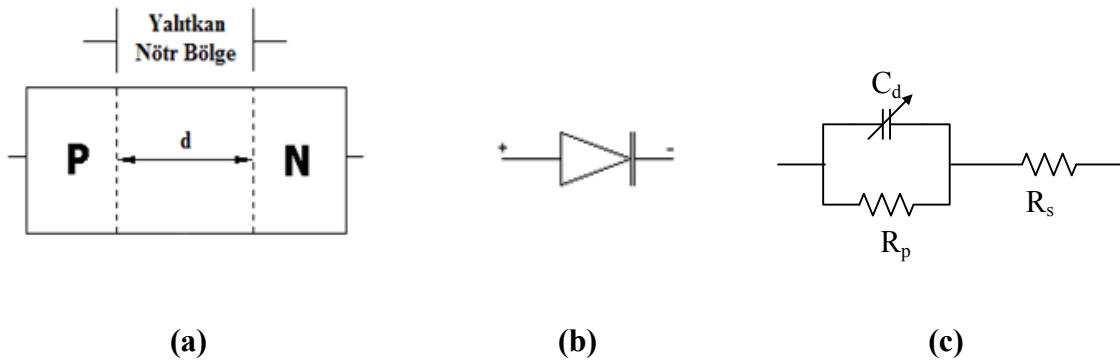
2.5.1.1.RF-MEMS Anahtarlar

RF-MEMS anahtarlar, mikrodalga uygulamalarında düşük maliyet ve yüksek performans özellikleri göstermesinden dolayı son zamanlarda önem kazanan bir teknolojidir. RF-MEMS anahtarlamanın geçmişi, 1998 yılında R. E. Brown'ın çeşitli

radio frekansı uygulamaları üzerine yaptığı çalışmalara dayanmaktadır (Brown, 1998). RF-MEMS anahtarlar, RF transmision hatlarında açık devre-kapalı devre şeklinde hareket etme imkanı sağlayan anahtarlama elemanlarıdır. Anahtarlama için gereken kuvvet elektrostatik, manyetostatik, piezo-elektrik veya termal tasarımlarla sağlanabilir. Bu anahtarlar yüksek güvenilirliğe sahip olmalarına rağmen, yüksek DC besleme gerektirmektedir. Ayrıca, RF-MEMS'in anahtarlama hızı, bazı uygulamalar için düşük kabul edilebilecek olan 1-200 us aralığındadır (Christodoulou ve ark., 2012). Bu sebeple, RF sistemlere uygulanmaları diğer anahtarlama türlerine göre daha zordur (Huang ve Boyle, 2008).

2.5.1.2.Varaktör Diyot Anahtarlar

Varikap olarak da bilinen varaktör diyotlar, beslemede uygulanan gerilimle değişen, küçük bir kapasitans değerine sahip ve RF devre uygulamalarında kullanılan önemli bir yarıiletken devre elemanıdır. Varaktör diyotlarda, değişken kapasitans özelliği pozitif (P) ve negatif (N) bölgeleri arasında kalan yalıtkan nötr bölgenin karakteristiğine bağlıdır. Şekil 2.11'de yapısı, devre sembolü ve eşdeğer devresi verilen varaktör diyotlar, bir P-N bağlantı diyotudur. Şekil 2.10c kısmında eşdeğer devresi verilen bir varaktör diyotun kapasitansı, besleme voltajı arttıkça azalır. Bu diyotların avantajları, düşük DC güç tüketimi ve sürekli ayarlama yapılabilmesidir.



Şekil 2.11. Varaktör diyot: (a) yapısı (b) sembolü (c) eşdeğer devresi

2.5.1.3.PIN Diyot Anahtarlar

Mikrodalga ve milimetre dalga anahtarlama için kullanılan PIN diyotların keşfedilmesi 1995 yılına dayanmaktadır. Alekseev ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada, PIN diyotlarının DC ve mikrodalga karakterizasyonlarına bakılmış ve düşük besleme

gerilimi, düşük ekleme kaybı ve yüksek frekanslarda anahtarlama gibi özelliklerinin olduğu görülmüştür (Alekseev ve ark., 1995). PIN diyot, mikrodalga frekanslarında değişken direnç olarak çalışan bir yarı iletken devre elemanıdır. PIN diyotlar, genellikle 100 ns'den daha hızlı anahtarlama süreleri ve yüksek akım taşıma kapasiteleri nedeniyle mikrodalga devre uygulamalarında oldukça popülerdir (Chang, 1994).

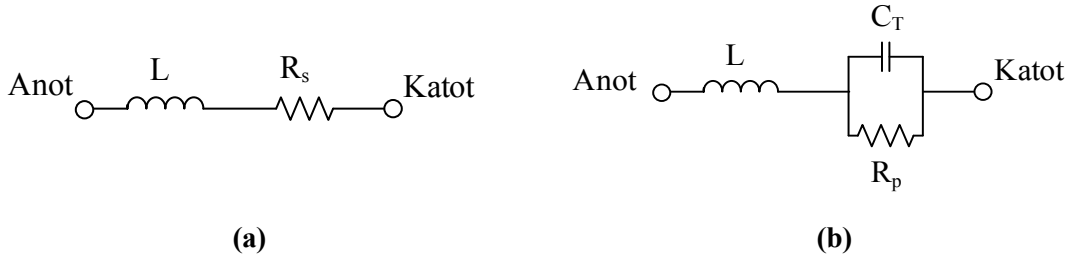
PIN diyot yapısı, anot ucuna bağlanan P (Positive) ve katot ucuna bağlanan N (Negative) yarı iletken kısımları ile bu kısımları birbirinden ayıran iç bölgedeki I (Intrinsic) rezistif kısımdan oluşmaktadır (Şekil 2.12). Diyotun performansının belirlenmesinde, P ve N kısımları arasından yer alan iç bölgenin (intrinsic) genişliği en önemli etkidir.



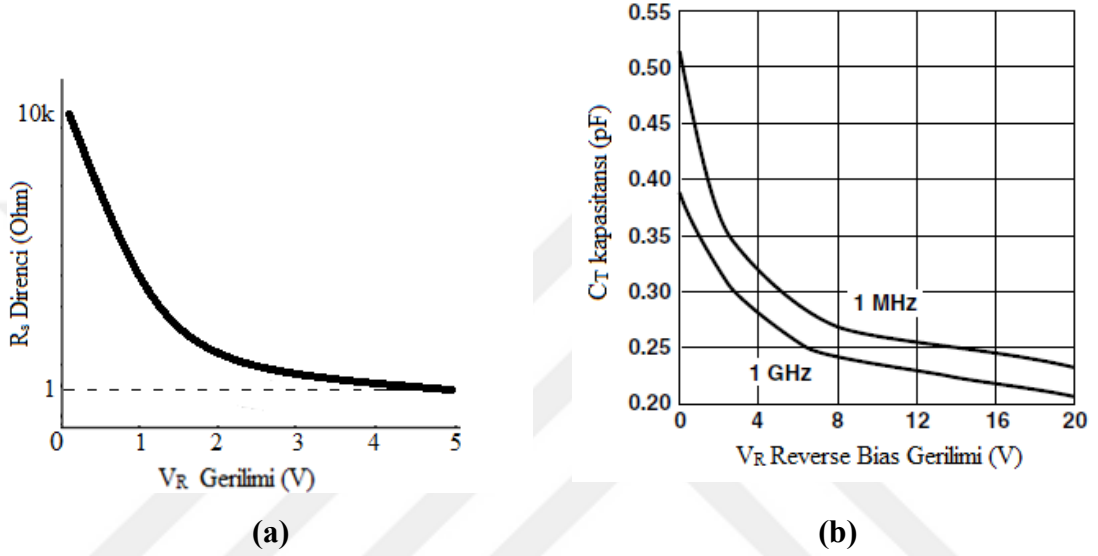
Şekil 2.12. PIN diyot yapısı

PIN diyotun en önemli özelliklerinden birisi, RF frekanslarında devamlı olarak direnç özelliği göstermesidir. Bu direnç, ileri yönlü beslemelerde küçük bir empedans değerine karşılık gelirken; geri yönlü beslemelerde büyük bir değer almaktadır.

PIN diyot ileri yönlü beslendiğinde (forward bias), elektronlar I bölgesinin içine doğru hareket ederek birbirine seri bağlı bir indüktör (L) ve bir direnç (R_s) gibi davranır (Şekil 2.13a). PIN diyot beslemesi sıfır ya da geri yönlü (reverse bias) olduğunda ise I bölgesinde depolanan bir yük olmaz ve diyotun eşdeğer devresi bir indüktöre (L) seri bağlanan birbirine paralel bağlanmış bir direnç (R_p) ve bir kondansatörden (C_T) oluşur (Şekil 2.13b). DC ve düşük frekanslarda PIN diyot geleneksel PN-bağlantı diyotlar gibi davranmakta ve diyotun gösterdiği direnç değeri genellikle 0.1Ω - $10k\Omega$ aralığında olmaktadır. Rf frekanslarda, diyota ileri yönlü besleme yapıldığında diyot RF enerjisinin akışına izin verirken; ters beslemede RF enerjisini bloke edilir. Bu durum, PIN diyotların çok çeşitli RF anahtar topolojilerinde kullanılması için temel oluşturmaktadır. PIN diyotlar, ileri yönlü beslemede gerilim kontrollü bir direnç gibi davranırken geri yönlü beslemede ise, gerilim kontrollü bir kapasitans gibi davranır (Şekil 2.14).



Şekil 2.13. PIN diyot eşdeğer devreleri: (a) ileri yönlü (ON- State) (b) geri yönlü (OFF-State)



Şekil 2.14. PIN diyotün (a) ileri yönlü besleme direncinin (R_s) gerilime göre değişim grafiği (b) geri yönlü besleme kapasitesinin (C_T) gerilimine göre değişim grafiği

2.6. Literatürde Önerilen Anten Tasarımları

Son yıllarda kablosuz sistemlerin yaygınlaşması ile bu sistemlerde kullanılan antenlere olan ilgiyi giderek arttırmıştır. Özellikle UGB ve yeniden ayarlanabilir anten gibi yeni teknoloji kablosuz sistemlerde kullanılan cihazların boyutlarının küçülmesi ve özelliklerinin artması, bu cihazlarda anten için ayrılan alanın da azalmasına neden olmuştur. Literatürde yer alan UGB antenler, bant çentikli UGB antenler ve yeniden ayarlanabilir antenlerle ilgili çalışmaların bazıları ayrı ayrı aşağıda sunulmuştur.

2.6.1. UGB Anten Tasarımları

UGB teknolojisi, 1990 yılında DARPA tarafından ortaya konmuş olsa da; FCC'nin 2002 yılında 3.1-10.6 GHz aralığını UGB bandı olarak tanımlaması ve lisanssız kullanıma açmasıyla yoğun ilgi görmeye başlamıştır. Literatürde UGB antenlerle ilgili pek çok çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmalardan bazıları şu şekildedir.

2004 yılında Suh ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada UGB düzlemsel ters koni anten (PICA) tasarımı sunulmuştur. Sunulan anten 76.2×76.2 mm² boyutlarında kare bir yapıdan oluşmaktadır. Belirtilen bu anten boyutları, UGB bir sisteme entegrasyonu açısından biraz büyük kalmaktadır. Verilen VSWR değerlerine göre, önerilen antenin 1 GHz'den başlayarak 9 GHz'e kadar olan frekans bandında çalıştığı görülmektedir. Önerilen anten, UGB bir anten olmakla birlikte UGB frekans bandının tamamını kapsamamaktadır.

Lin ve arkadaşlarının 2005 yılında yaptıkları çalışmada, üçgen bir yama ve dikdörtgen bir toprak düzleminden oluşan UGB bir anten önerilmiştir. Sunulan antenin 4-10 GHz frekans aralığında çalıştığı belirtilirken, VSWR değeri olarak 2.5'den küçük değerler alınmıştır. Aslında anten çalışmalarında VSWR değerinin 2 ve daha düşük olması tercih edilmektedir. Ayrıca, verilen anten 60×20 mm² boyutları ile nispeten büyük bir antendir.

Azenoi ve Yang (2007), mikroşerit hat beslemeli yarım hilal şeklinde bir yama kullanarak UGB frekanslarda çalışabilen mikroşerit bir anten tasarlamışlardır. 45×50 mm² boyutlarında tasarlanan antenin üretiminde, dielektrik sabiti 4.2 ve kalınlığı 0.762 mm olan bir FR4 taban malzemesi kullanılmıştır. Benzetim sonuçlarına göre 3-12 GHz aralığında çalıştığı belirtilen anten, ölçüm sonuçlarına göre 3.2-9.5 GHz frekans aralığında çalışmaktadır. Bu sonuçlara göre de, yapılan anten her ne kadar UGB bir anten olsa da ölçüm ve benzetim sonuçları arasında bir farklılık olduğu görülmektedir.

Sim ve arkadaşları (2010), kullandıkları T şeklindeki oyuk yapısı ile 3.1-11.45 GHz frekansları arasında çalışan UGB bir mikroşerit anten tasarlamışlardır. Önerilen antenin toplam boyutları 28×15 mm² olarak verilmiştir. Verilen antenin ışınma örüntüleri incelendiğinde, UGB antenler için istenilen çok yönlü bir örüntüden biraz uzak oldukları görülmektedir.

Gautam ve arkadaşları (2013) ise, CPW besleme ile yaptıkları kompleks anten yapısında 2.6-13.04 GHz çalışma aralığı ile UGB bir kapsama elde etmişlerdir. Sunulan anten 25×25 mm² boyutları ile oldukça küçük boyutta bir anten olmuştur. Prototipi de üretilen antenin 3, 6 ve 11 GHz frekanslarındaki ışınma örüntülerinin de çok yönlü olduğu görülmüştür.

2.6.2. Bant Çentikli UGB Anten Tasarımları

UGB frekanslarında çalışan sistemler için en önemli sorunlardan birisi, UGB frekans aralığında tanımlı diğer dar bant ve geniş bant sistemlerin varlığıdır. Özellikle 3.5 GHz'de çalışan Wi-MAX, 4 GHz'de çalışan C-bant ve 5 GHz'de çalışan WLAN 802.11a gibi standartlar, UGB sistemler üzerinde önemli bir girişim etkisi yapmaktadır. Bu girişim etkisinden kurtulmak için tasarlanan UGB antenlerin bu frekanslarda bant çentiği yapması istenmektedir. Bu amaçla yapılan UGB bant çentikli antenlerden bazıları aşağıda verilmiştir.

Abdollahvand ve arkadaşlarının (2010) yaptıkları çalışmada, $20 \times 18 \text{ mm}^2$ boyutlarında 2.8-11.8 GHz frekanslarında çalışan UGB bant çentikli anten tasarımı sunmuşlardır. Önerilen anten yapısı dikdörtgen bir oyukun bulunduğu dikdörtgen bir yamadan oluşmaktadır. Ayrıca oyuk yapısı içerisinde bant çentiği yapması için iki adet simetrik L şekilli eklentiler bulunmaktadır. Önerilen anten, 3.3-3.8 GHz ve 5.1-6.0 GHz frekans bantlarında bant çentiği yapmıştır.

Nouri ve Dadashzadeh'in yaptıkları çalışmada, yay şekilli yama ve bozunmuş toprak yapısı kullanarak elde edilmiş karmaşık yapıya UGB bir mikroserit anten sunulmuştur. Sunulan antenin, 1 mm kalınlığında ve 4.4 dielektrik katsayılı FR4 malzeme ile prototipi de üretilmiştir. Önerilen anten, $15 \times 18 \text{ mm}^2$ 'lik boyutları ile oldukça küçük, 3.1 ile 14 GHz çalışma aralığı ile UGB bir antendir. Ayrıca, önerilen antenin 5.1-6.1 frekansları arasında bant çentiği yaptığı görülmektedir (Nouri ve Dadashzadeh,2011).

Akbari ve arkadaşları (2013), bozunmuş toprak yapısı ve karmaşık bir yama yapısından oluşan Wi-MAX, C-bant ve WLAN frekanslarında bant çentikli UGB bir anten çalışması sunmuşlardır. Sunulan anten, $40 \times 47 \text{ mm}^2$ boyutlarında ve 1 mm kalınlıkta bir Duroid malzeme ile yapılmıştır. Önerilen antenin çalışma frekans aralığı ise, 3.0-10.6 GHz'dir

Liu ve arkadaşları (2013), yayımladıkları çalışmada CPW beslemeli, çift bant çentikli UGB bir anten tasarlamışlardır. Tasarımda dairesel bir oyuk içerisine yerleştirilmiş altıgen bir yama yapısı kullanmışlardır. Boyutları $30 \times 40 \text{ mm}^2$ olan antenin performans değerlendirmeleri VSWR üzerinden yapılmıştır. Önerilen antenin, 3.3-3.7 GHz ile 5.1-5.8 GHz frekans bantlarında bant çentiği yaptığı görülmüştür. Antende oluşan bant

çentiklerinin eklenen L şekilli parazitik unsurlar ile sağlandığı belirtilmektedir. Tasarlanan anten, 4.4 dielektrik katsayılı ve 1.2 mm yüksekliğindeki FR4 taban malzemesi üzerine basılarak prototiplenmiştir.

Sarkar ve arkadaşları (2014) ise, eliptik ve dikdörtgen rezonatörler kullanarak yay şekilli yama ve toprak yapısından oluşan UGB bant çentikli bir anten sunmuşlardır. Sunulan anten, 2.2 GHz ile 11.7 GHz frekansları arasında çalışırken; sırasıyla 3.3-3.8 GHz, 5.1-5.8 GHz ve 7.9-8.4 GHz bantlarında olmak üzere 3 adet bant çentiği yapmıştır. 1.6 mm kalınlığında ve 4.4 dielektrik sabiti ile sunulan antenin $35 \times 35 \text{ mm}^2$ toplam boyutları mevcuttur.

2015 yılında Yadav ve arkadaşlarının yaptıkları UGB anten çalışmasında ise, dikdörtgen bir yama üzerine eklenen L ve U şeklindeki oyuklar ile WLAN ve C-bant uydu haberleşme sistemlerinin çalışma frekanslarında bant çentiği sağlamışlardır. Çalışma frekansı 3.0-11.0 GHz olarak verilen antende 1.6 mm kalınlıklı FR4 malzeme kullanılırken; anten boyutları da $26 \times 30 \text{ mm}^2$ olmuştur.

2.6.3. Yeniden Ayarlanabilir Anten Tasarımları

Peroulis ve arkadaşları (2001), bir seri PIN diyot anahtardan oluşan mikroşerit hat beslemeli frekansı ayarlanabilen $66 \times 70.7 \text{ mm}^2$ boyutlarında bir oyuk anten tasarımını önermişlerdir. Çalışma frekansının ayarlanmasında kullanılan PIN diyotlar, oyuğun elektriksel uzunluğunu değiştirerek antenin 550MHz ile 950MHz arasında 4 farklı frekansta çalışmasını sağlamıştır. Önerilen antenin ışınma örüntüsü, polarizasyonu ve verimliliği frekans değişiminden etkilenmemiştir.

2006 yılında Jung ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmada, MEMS anahtarlardan oluşan ve hüzme taramada kullanılan ayarlanabilir dikdörtgen spiral anten tasarımını sunmuşlardır. Yine aynı yıl Huff ve Bernhard yaptıkları çalışmada RF-MEMS anahtarların kullanıldığı ve ışınma örüntüsü yeniden ayarlanabilir mikroşerit anten yapılarından bahsetmişlerdir (Jung ve ark., 2006; Huff ve Bernhard,2006).

Erdil ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, CPW beslemenin kullanıldığı RF-MEMS anahtarlamalı frekansı değişen bir mikroşerit antenin tasarım ve üretimini gerçekleştirmişlerdir. MEMS anahtarlar, 0-11.9 V aralığında uygulanan gerilim

değerleri ile elektronik olarak çalıştırılmıştır. Anten rezonans frekansı, uygulanan voltajın 0'dan 11.9 V'a yükseltilmesi ile lineer olarak 16.05 GHz'den 15.75 GHz'e düşerken ışınma örüntüsü ise değişmemiştir. Yapılan bu çalışmada sunulan anten, frekansı ayarlanabilen ilk mikroşerit anten olarak literatüre girmiştir (Erdil ve ark., 2007).

2008 yılında yapılan bir çalışmada Wu ve Ma, 3.5-6.5 GHz frekans aralığında ışınma örüntüsü ayarlanabilen CPW beslemeli bir anten üretmişlerdir. Sunulan CPW antenin toprak düzleminde fiyonk (bow-tie) şeklinde iki adet yuva oluşturulmuştur. Bu yuva kısımlarına eklenen 4 adet PIN diyot ile antenin ışınma örüntüsü yeniden ayarlanabilmektedir (Wu ve Ma, 2008).

Erfani ve arkadaşları (2012), 36×40 mm² boyutlarında yeniden ayarlanabilir bir oyuk anten tasarımı önermişlerdir. Tasarlanan antenin yama kısmı disk şeklinde bir monopollü ve monopollü içerisine yerleştirilmiş bir oyuktan oluşurken; toprak düzlemi ise, yarım disk şeklinde bir kısımdan oluşmaktadır. Anten anahtarlama için kullanılan varaktör diyot farklı besleme gerilimleri ile 5.0-6.0 GHz bandı arasında değişen farklı dar bant frekansları için yeniden ayarlanabilir özelliği göstermiştir.

2013 yılında Pazin ve Leviatan geniş bant aralığında değiştirilebilir çoklu bant yeniden ayarlanabilir bir oyuk antenin üretimini gerçekleştirmişlerdir. Üretilen anten, 6.0-10.6 GHz frekansları arasındaki UGB üst frekans bandında ve arka arkaya yer alan beş farklı frekans altbandında çalışmaktadır. Alt bantlar arası geçişler, eklenen beş adet PIN diyot anahtarı vasıtasıyla elektronik olarak yapılmıştır. Sunulan anten, tüm frekans alt bantlarında dikey polarizasyon ve neredeyse çok yönlü ışınma modeline sahiptir (Pazin ve Leviatan, 2013).

2.6.4. UGB Yeniden Ayarlanabilir Anten Tasarımları

Kalteh ve arkadaşları (2012), halka şeklinde bir yama ve dairesel oyuklu bir toprak düzleminde oluşan PIN diyot anahtarlama ayarlanabilir bant çentikli UGB bir anten sunmuşlardır. Önerilen anten, 45×40 mm² boyutlarında ve 1.6 mm kalınlıklı FR4 malzeme ile üretilmiştir. Önerilen antenin çalışma frekansı, 2.5 GHz'den başlayarak 10.8 GHz'e kadar gitmektedir. Sunulan anten, kullanılan PIN diyotlar ile 3.8-4.35 ve 5.0-5.5 frekansları arasında bant çentikleri yapmıştır.

Tasouji ve arkadaşları (2013) yaptıkları çalışmada, 20×20 mm² karesel boyutlarda yapı üzerine eklenen dairesel oyuk ile yeniden ayarlanabilir UGB bant çentikli bir anten önermişlerdir. Önerilen anten, 3-1-12.5 GHz çalışma bandına sahipken; kullanılan iki adet PIN diyot ile 3.1-3.8 GHz ve 5.0-6.0 GHz frekanslarında Wi-MAX ve WLAN girişimlerini engellemek için bant çentikleri yapmıştır. Karmaşık bir yapıya sahip olan anten, 0.8 mm kalınlıktaki FR4 malzeme ile prototiplenmiştir.

Badamchi ve arkadaşları (2014), UGB uygulamaları için değiştirilebilir tek bant ve çift bant, bant çentikli yeniden ayarlanabilir küçük bir mikroşerit oyuk anten sunmuşlardır. 20×20 mm² boyutları ve 2.7-10.7 GHz frekans aralığı ile UGB sistemler için uygun olan anten yapısında, dikdörtgen oyuk anten üzerine iki adet simetrik boşluk eklenmiştir. Daha sonra bu boşlukları birbirine bağlayan iki adet PIN diyot eklenerek anten, tek bant ve çift bant bant çentikli yeniden ayarlanabilir yapısını almıştır. PIN diyotların ön gerilim değerlerinin değiştirilmesi ile anten, UGB spektrum kapsamı, sadece 3.2-4.2 GHz bandının durdurulduğu UGB spektrum kapsamı, sadece 5.5-6.15 GHz bandının durdurulduğu UGB spektrum kapsamı ve bu bantlarının birlikte durdurulduğu UGB spektrum kapsamı olmak üzere dört farklı performans sergilemektedir.

Zheng ve arkadaşlarının (2014) optik anahtarlama kullandıkları çalışmada ise, 25×25 mm² boyutlarında ve 0.8 mm kalınlığında FR4 malzeme kullanarak, CPW beslemeli, bant çentikli UGB bir anten tasarlamışlardır. Sunulan antende, daire şeklindeki yama içerisinde yer alan çember şeklindeki oyuğa yerleştirilen optik anahtarlar bulunmaktadır. Önerilen anten, ölçüm sonuçlarına göre 3.0-11.0 frekansları arasında çalışmakta ve 3.2-4.7, 4.8-6.6 ve 7.5-8.7 frekans bantlarında bant çentikleme yapmaktadır.

Son olarak Sharbati ve arkadaşlarının (2016) yaptıkları çalışmayı incelediğimizde, 2.85-14.4 GHz frekans aralığında çalışan ve 3.25-4.25, 5.1-5.9 ve 7.1-7.8 bantlarında bant çentiği yapan UGB yeniden ayarlanabilir bir mikroşerit anten yapısı görülmektedir. Sunulan anten, 17×14 mm² boyutları ile oldukça küçük bir anten olmakla birlikte yama ve toprak düzlemler karmaşık birer yapıya sahiptir. UGB kapsama ve bant çentiği yapmak için anten üzerinde farklı oyuk ve parazitik unsurlar kullanılmıştır. Önerilen anten üzerinde bulunan PIN diyotlarla Wi-MAX/C-bant, WLAN ve X-bant frekansları için bant çentikleri sağlanmıştır.

3. MATERYAL VE METOT

Bu tez çalışmasında yapılan mikroşerit anten tasarımları, MoM tabanlı Hyperlynx 3D EM 3 boyutlu elektromanyetik benzetim programı ile gerçekleştirilmiştir. Tasarlanan antenlerin performans değerlendirmeleri sırasında S-parametreleri, VSWR, bant genişliği, ışınma örüntüsü ve kazanç değerleri göz önüne alınmıştır. Tasarım süreçlerinde istenilen gereksinimleri karşılayan antenlerin prototipleri, çift tarafı bakır kaplı FR4 PCB malzeme üzerine LPKF Protomat H100 PCB prototip makinesi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Prototipleri gerçekleştirilen antenlerin S-parametresi ölçümleri Keysight Technologies PNA 5224A Vektör Network Analizör cihazı ile yapılmıştır. Antenlerin ışınma örüntüleri ve maksimum kazanç ölçümleri ise, network analizör cihazına adapte edilen EBTR0 EAMS-18 döner tabla ile yapılmıştır.

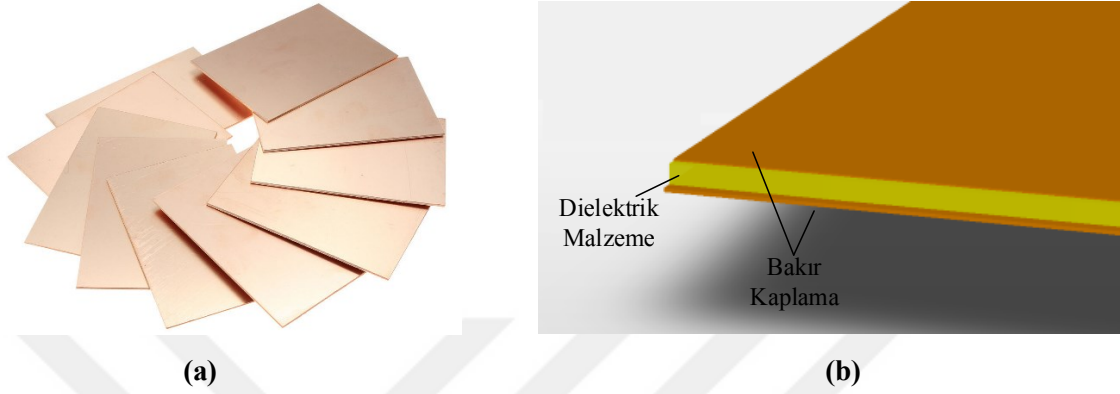
3.1. HyperLynx 3D EM Benzetim Programı

Elektromanyetik benzetim programları karmaşık mikrodalga, RF baskı devre ve anten gibi elektronik devre parçalarının doğru bir şekilde analizlerini ve tasarımlarını gerçekleştirebilen ileri teknoloji programlardır. Tez çalışması sırasında yapılan antenlerin tasarımları, 3 boyutlu MoM temelli bir paket yazılım olan HyperLynx 3D EM benzetim programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Tasarım süreçlerinde, anten boyutlarının optimize edilmesinde program içerisinde yer alan optimizasyon aracından yararlanılmıştır. Optimizasyon tekniği olarak ise, genetik algoritma kullanılmıştır. Çok yönlü, kolay kullanılabilir, etkin ve doğru bir elektromanyetik benzetim aracı olan HyperLynx 3D EM ile yakın ve uzak alan analizi, S-parametreleri, iki ve üç boyutlu ışınma örüntüleri, üç boyutlu yüzey akım dağılımı, kazanç, yönlendiricilik, verimlilik ve VSWR grafikleri elde edilebilmektedir.

3.2. FR4 Malzeme

Bu tez çalışmasında tasarlanan antenlerin prototipleri iki tarafı bakır kaplı FR4 PCB malzeme üzerine basılmıştır. Malzemenin ham hali ve yapısı Şekil 3.1'de verilmiştir. Kullanılan FR4 malzemeler, 1.6mm kalınlığında, 0.017 tanjant kaybı ve 4.4 dielektrik sabiti değerlerine sahiptir. Tez çalışmasında FR4 malzeme kullanılmasının nedeni, yaygın kullanılır olması, ucuz ve kolay bulunabilmesidir. Ayrıca FR4 malzeme baskı devre üretiminde de kullanıldığı için aynı kart üzerine antenle birlikte diğer entegre

devrelerin de yerleştirilebilir olması büyük bir avantajdır. FR4 malzemenin dezavantajı ise, tanjant kaybının yüksek olmasıdır. Bu dezavantajı sebebiyle, diğer özellikleri aynı sadece daha düşük tanjant kaybına sahip bir başka malzeme kullanılarak FR4'e göre daha yüksek kazanç elde edilebilir.



Şekil 3.1. FR4 malzeme: (a) ham hali (b) yapısı

3.3. PCB Prototip Makinesi

PCB prototip makinesi, anten ve devre kartı prototiplerinin üretiminde kullanılmaktadır. Bu tez çalışmasında tasarlanan antenlerin prototipleri, Şekil 3.2'de verilen LPKF Protomat H100 model PCB prototip makinası ile gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.2).



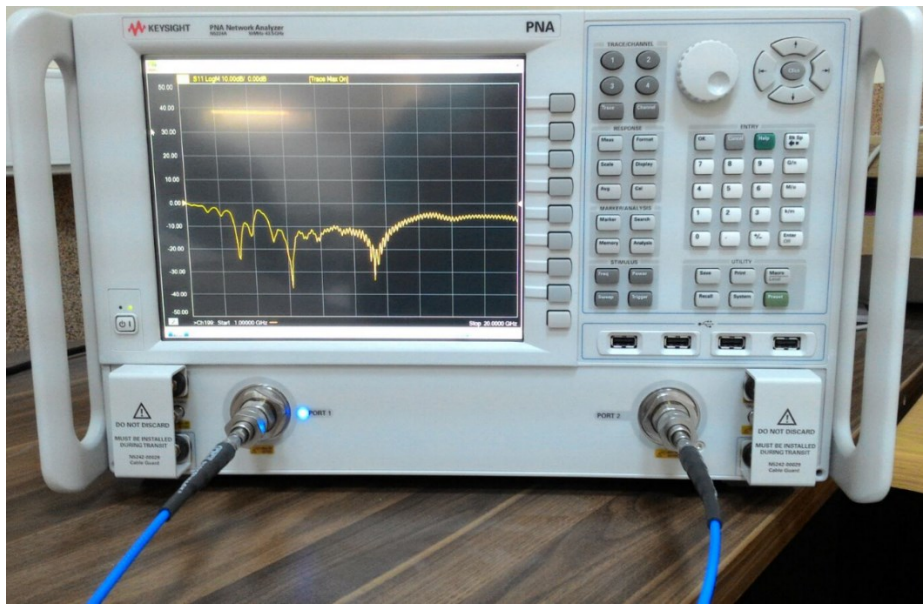
Şekil 3.2. LPKF Protomat H100 PCB prototip makinası

Cihaz, bir taban düzlemi, x ve y yönlü hareketi sağlayan sistem ve aşağı yukarı hareket edebilen bir çizici başlıktan oluşmaktadır. Makineye ait teknik özellikler aşağıda verilmiştir:

Hareket aralığı	: 380 mm x 365 mm x 14 mm
Çözünürlük	: 0,25 μ m
Tekrarlama doğruluğu	: \pm 0.001 mm
Makine mili	: 100,000 rpm (yazılım kontrollü)
Delme kapasitesi	: 120 adet / dakika
Hareket hızı	: 150 mm / saniye
X-Y sürücüsü	: 3 faz step motor
Z sürücüsü	: Pnömatik 14mm

3.4. Vektör Network Analizör

Vektör Network Analizör (VNA), RF uygulamalarında kullanılan ve mikrodalga cihaz ve sistemlerin s-parametresi ölçümlerinin yapılabilabildiği bir cihazdır. Tez çalışması sırasında tasarlanmış ve prototipleri gerçekleştirilmiş olan anten yapılarının s-parametrelerinin ölçülmesinde Keysight Technologies PNA 5224A Network Analizör cihazı kullanılmıştır (Şekil 3.3). Kullanılan PNA 5224A network analizörü 2 portlu (opsiyonel 4 port) ve 46.5 GHz'e (opsiyonel 1 THz) kadar ölçüm yapabilmektedir.



Şekil 3.3. Keysight Technologies PNA 5224A network analizör

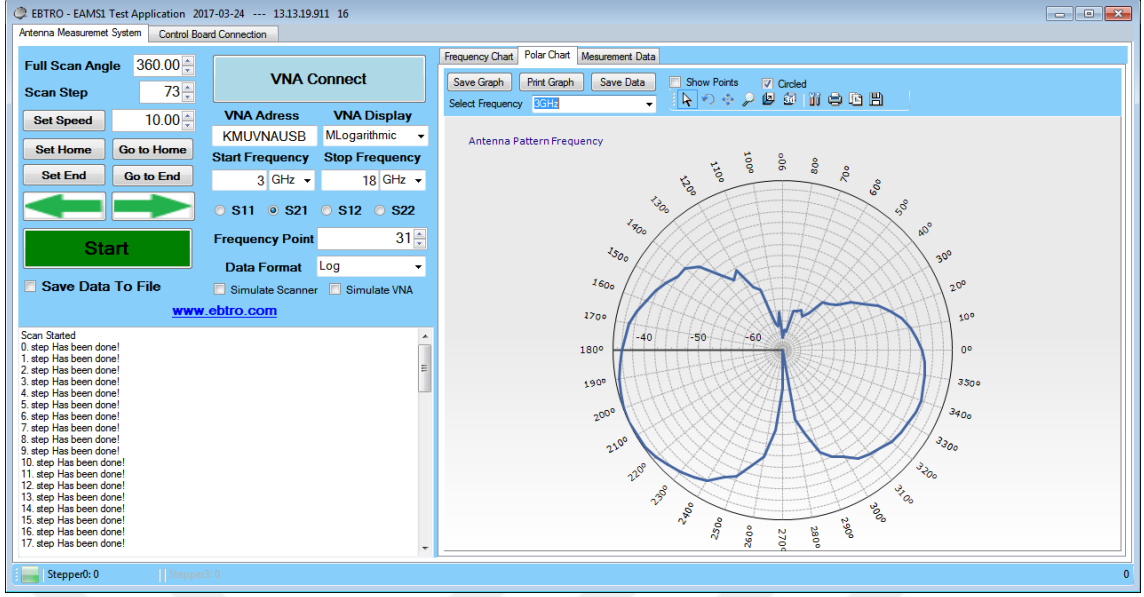
3.5. Döner Tabla

Döner tabla (turn-table), bir eksen (θ ya da φ) boyunca sürekli dönmeyi sağlayarak ışınım örüntüsü ölçümünde kullanılan test sistemidir. Tez çalışmasında prototipleri üretilen mikroşerit antenlerin ışınım örüntüsü ve kazanç ölçümleri, network analizöre entegre edilen tek eksenli (θ) ve bilgisayar kontrollü EBTRO EAMS1-18 model döner tabla kullanılarak gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.4).

Ölçüm yaparken, kullanılan network analizörün bir portuna referans anten diğer portuna ise döner tabla bağlanmaktadır. Daha sonra döner tabla bilgisayar yazılımı ile ölçüm başlatılır ve döner tabla azimuth (θ) ekseninde dönerek belirlenen açı aralığında S-parametresi değerlerini alır. Alınan değerler Şekil 3.5’de gösterildiği gibi bilgisayar yazılımının ekranında gösterilir.



Şekil 3.4. EBTRO EAMS-18 döner tabla



Şekil 3.5. Döner tabla bilgisayar yazılımı ekran görüntüsü

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu bölüm, tez çalışması süresince tasarlanan UGB mikroşerit anten tasarımlarının verildiği 4 kısımdan oluşmaktadır. Tez çalışması sürecinde tasarlanan 4 adet küçük boyutlu antenden ilk üçü, UGB anten tasarımını öğrenmek ve tez çalışmasına altyapı oluşturmak için yapılmıştır. Son anten ise, tez çalışmasının amacı olan bant çentikli UGB yeniden ayarlanabilir anten olarak gerçekleştirilmiştir.

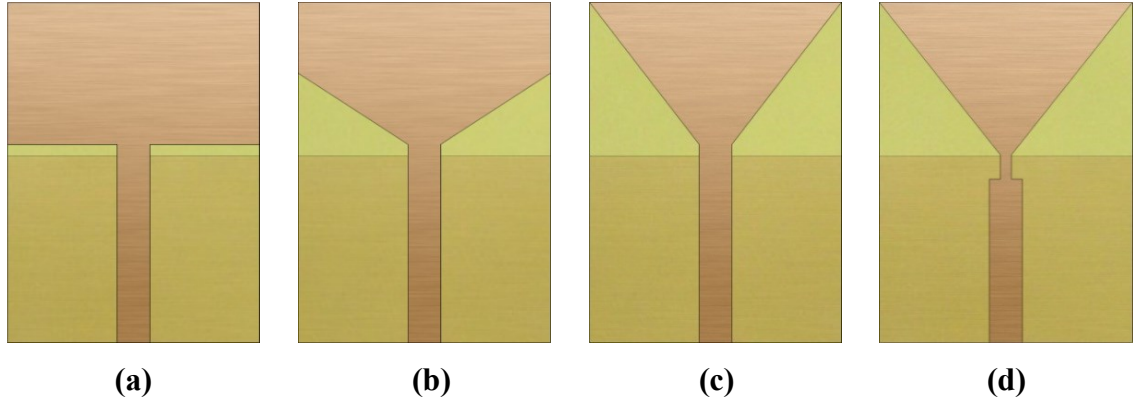
4.1. Üçgen UGB Mikroşerit Anten

Tez çalışmasında ilk olarak, monopul üçgen bir ışıyıcı yamaya ve dikdörtgen şekilli bir toprak düzlemine sahip düşük profilli UGB çalışan bir anten tasarlanmış ve prototipi üretilmiştir.

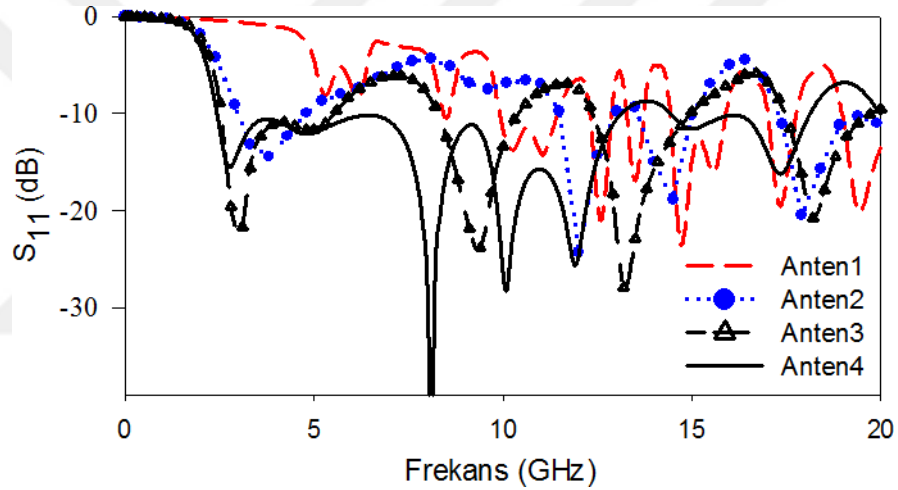
4.1.1. Anten Tasarımı ve Prototipinin Gerçekleştirilmesi

Anten tasarım sürecinde, toplam boyutları aynı olan 4 farklı yama anten mimarisi tasarlanmıştır (Şekil 4.1). Değerlendirilen 4 anten yapısının da tasarımları, benzetim programında gerçekleştirilmiş ve 20 GHz'e kadar olan frekans bandında elde edilen geri dönüş kaybı (S_{11}) sonuçları Şekil 4.2'de verilmiştir. Tasarım aşamasına ilk olarak 3 mm genişlikte 50 Ω 'luk mikroşerit iletim hattı ile beslenen dikdörtgen şekilli 14×23 mm²'lik bir yama ve 17×23 mm² dikdörtgen toprak kısmından oluşan antenle başlanmıştır. Tasarlanmış olan anten yapısı, benzetim sonuçlarına göre nispeten geniş bir bantta çalışmasına karşın UGB frekans bandını kapsamamıştır. Mikroşerit antenler ışımalarının büyük bölümünü yama ve toprak düzlemi arasında yapmasından dolayı ikinci antende, mikroşerit iletim hattı ile yamanın kesiştiği noktadan sağ ve sol tarafta eşit olarak yama yüksekliğinin yarısına kadar olan kısımdaki yama parçaları çıkarılmıştır. Elde edilen benzetim sonuçlarında, ilk antene göre daha iyi sonuç elde edilmiş olsa da tasarlanmış olduğumuz anten yine UGB bir anten olmamıştır. Üçüncü antende, yama ve toprak düzlemi arasındaki açıklığın daha da artırılması durumunda nasıl bir sonuç elde edileceğini görmek için yama kısmı tam olarak üçgen olacak şekilde yapılmıştır. Elde edilen benzetim sonuçlarına göre, bu antende ikinci antene göre çok daha iyi bir empedans uyumu yakalanmış ve anten iki nokta hariç neredeyse UGB bandını tam olarak kapsamıştır. Son olarak, empedans uyumunu iyileştirmek adına yama ve mikroşerit besleme hattı arasına 1mm genişliğinde bir iletim hattı eklenmiştir. Sonuçta

elde edilen anten yapısı, benzetim sonuçlarına göre 2.5-18.0 GHz arasında çalışmakta ve UGB frekans bandını fazlası ile kapsamaktadır.



Şekil 4.1. Üçgen UGB anten tasarım aşamaları: (a) Anten1, (b) Anten2, (c) Anten3, (d) Anten4

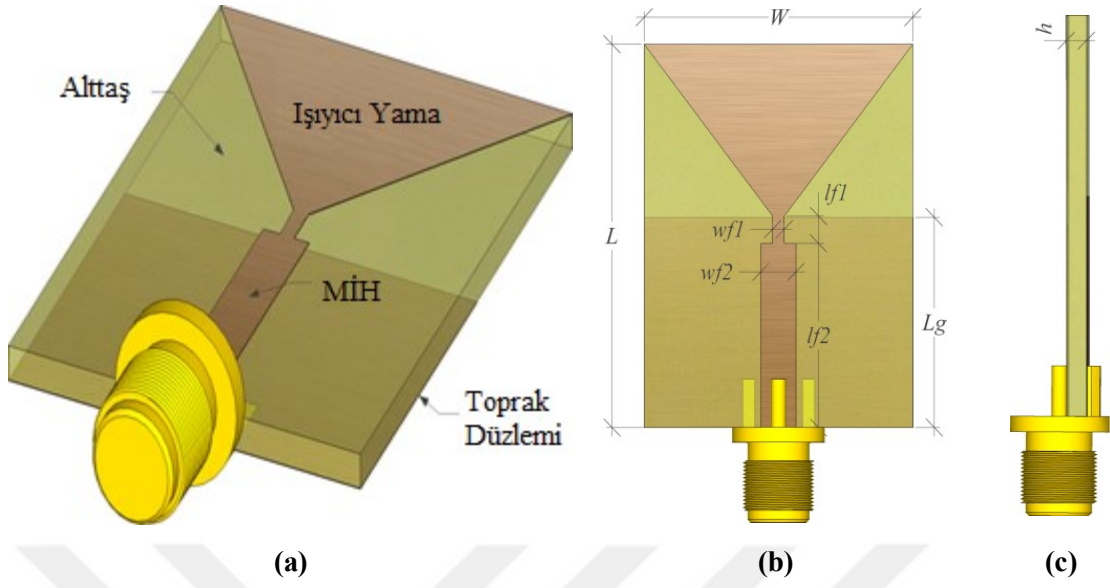


Şekil 4.2. Üçgen UGB anten tasarım aşamaları S_{11} sonuçları grafiği

Çalışılan tüm anten yapıları, 1.6 mm kalınlıkta ve 4.4 dielektrik sabitli bir taban malzemesi kullanılarak tasarlanmıştır. Dielektrik sabiti ve kalınlık değerlerin bu şekilde seçilme sebebi, piyasada kolay bulunan ve ucuz bir malzeme olan FR4 malzemenin bu değerlerde olmasıdır. Tasarım süreci sonunda elde edilen UGB antenin toplam boyutları $23 \times 31 \text{ mm}^2$, antenin üçgen yaması $23 \times 14 \text{ mm}^2$ ve toprak düzlemi de $23 \times 17 \text{ mm}^2$ ölçülerinde olmuştur. Sunulan anten tasarımının farklı açılardan görüntüleri Şekil 4.3'te verilirken antenin tüm boyutları da Çizelge 4.1'de paylaşılmıştır.

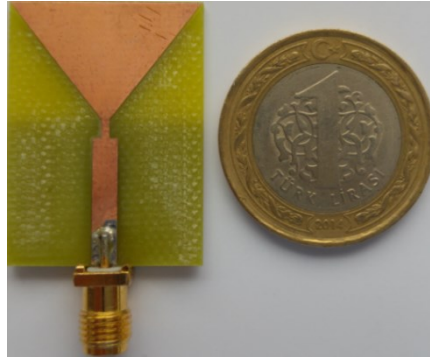
Çizelge 4.1 Üçgen UGB anten boyutları (mm)

h	W	L	Lg	w_{f1}	w_{f2}	l_{f1}	l_{f2}
1.6	23	31	17	1	3	2.2	14.9



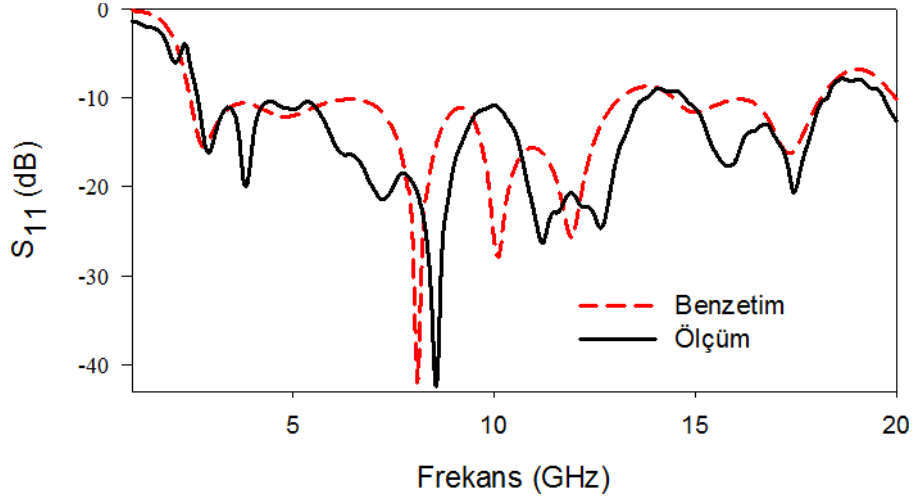
Şekil 4.3. Üçgen UGB anten yapısı: (a) 3 boyutlu görünüm, (b) üstten görünüm (c) yandan görünüm

Tasarım ve benzetim aşamaları tamamlanan antenin, Çizelge 4.1’de verilen değerlere göre prototip üretimi yapılmıştır. Anten baskı aşamasından sonra mikroşerit besleme hattına SMA (Sub Miniature A) konnektör lehimlenerek üretim aşaması da tamamlanarak Şekil 4.4’de gösterilen anten elde edilmiştir.



Şekil 4.4. Üçgen UGB anten prototipi

Son aşama olarak, üretimi yapılan antenin ölçümleri yapılmıştır. Anten bant genişliğini belirleyen S_{11} ölçüm sonuçlarına göre ürettiğimiz prototip anten, 2.6-18.2 GHz bandı arasında çalışarak UGB frekans bandını tamamen kapsamakta ve benzetim sonuçlarına uymaktadır. Şekil 4.5’de benzetim ve ölçüm S_{11} sonuçları grafiği karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

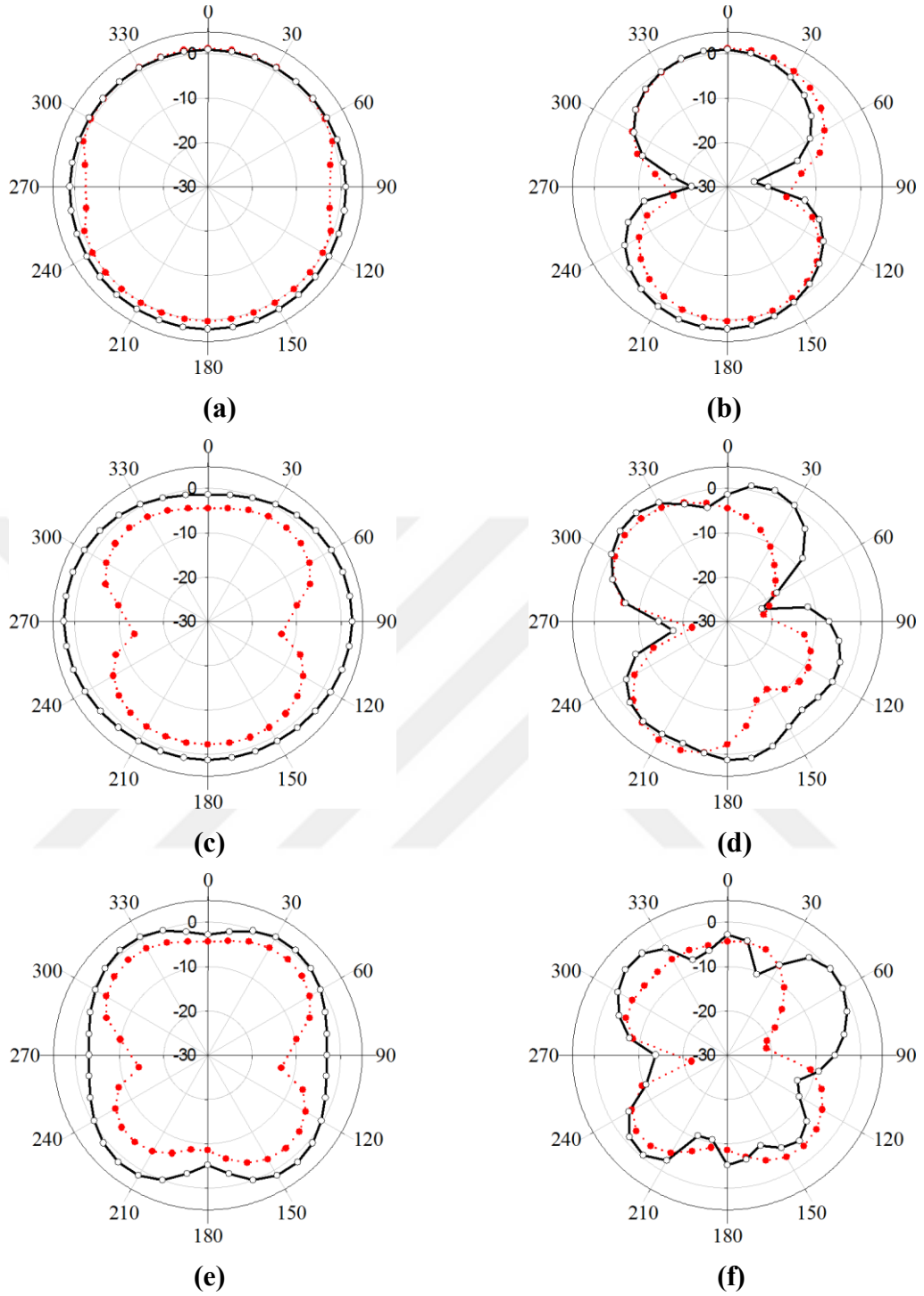


Şekil 4.5. Üçgen UGB anten S_{11} benzetim ve ölçüm sonuçları

Grafikten de görüldüğü üzere prototip anten ölçüm değerleri ile benzetim sonuçları arasında büyük ölçüde bir benzerlik bulunmaktadır. Oluşan ufak farklılık ise üretimde kullanılan malzeme kalitesi, lehimleme ve ölçüm için bağlanan SMA konnektör gibi koşulların etkisinden kaynaklanmaktadır.

4.1.2. Performans Analizi

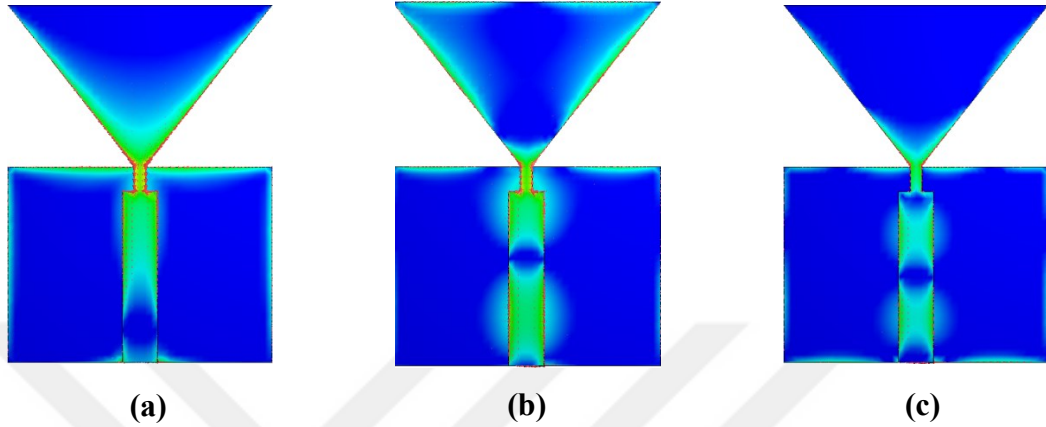
Üretilen antenin döner tabla ile ölçülen ışınım örüntüsü ve maksimum kazanç değerleri sonucuna göre, anten rezonans noktaları olan 2.7 GHz, 8.1 GHz ve 11.9 GHz frekanslarında 2 boyutlu ışınım örüntüsü grafikleri elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar ile benzetim programından alınan sonuçlar karşılaştırıldığında, ışınım örüntülerinin benzer şekilde olduğu görülmüştür (Şekil 4.6). Şekil 4.6'daki ışınım örüntüsü grafikleri incelendiğinde 2.7 GHz frekansında $x-z$ düzleminde 180° 'de 2.14 dB, $y-z$ düzleminde 185° 'de 2.2 dB maksimum kazanç elde edilirken; 8.1 GHz için kazanç değerleri $x-z$ ve $y-z$ düzlemleri için sırasıyla 90° 'de 2.42 dB ve 320° 'de 1.9 dB olmuştur. Aynı şekilde 11.9 GHz için ise 145° ve $x-z$ düzleminde 1.6 dB iken 45° ve $y-z$ düzleminde 0.2 dB olmuştur.



Şekil 4.6. Üçgen UGB anten ışınma örüntüsü benzetim ve ölçüm sonuçları: (a) 2.7 GHz x - z düzlemi, (b) 2.7 GHz y - z düzlemi, (c) 8.1 GHz x - z düzlemi, (d) 8.1 GHz y - z düzlemi, (e) 11.9 GHz x - z düzlemi, (f) 11.9 GHz y - z düzlemi
(Kesikli çizgiler (.....) ölçüm, düz çizgiler (—○—) benzetim sonuçlarını gösterir.)

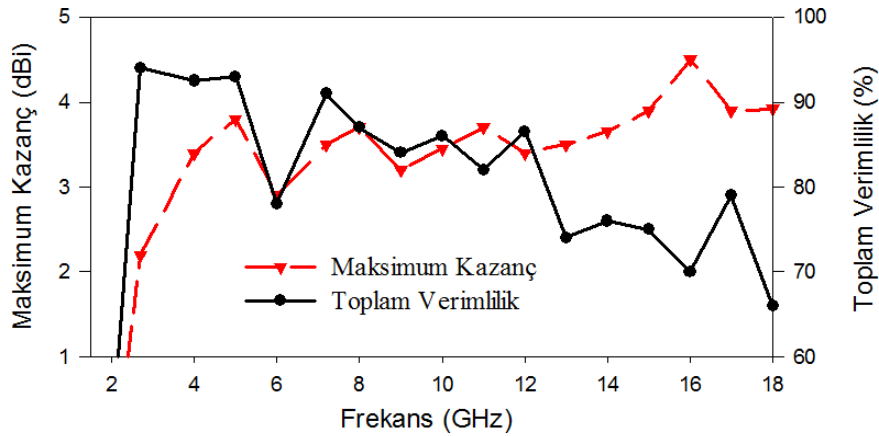
Tasarlanan üçgen yama antenin 2.7 GHz, 8.1 GHz ve 11.9 GHz frekans noktalarındaki yüzey akım dağılımlarının benzetim sonuçları Şekil 4.7'de verilmiştir. Bu frekanslardaki maksimum akım değerlerinin sırasıyla; 143.28 (A/m), 134.43 (A/m) ve 108.81 (A/m) olduğu görülmüştür. Şekil 4.7'de, bu frekanslardaki yüzey akım dağılımlarının birbirine

benzer şekilde olduğu açıkça görülmektedir. Daha önce belirtildiği gibi ışınım, toprak düzlemi ile karşı karşıya gelen yama kenarlarında olmaktadır. Antenin yüzey akım dağılımlarından görülebileceği gibi, ışınım yama yüzeyinin toprak düzlemine bakan kenarlarında yoğunlaşmaktadır.



Şekil 4.7. Üçgen UGB anten yüzey akım dağılımları: (a) 2.7GHz (b) 8.1GHz (c) 11.9 GHz

Antenin toplam verimlilik ve maksimum kazanç değerlerinin frekansa bağlı değişimi Şekil 4.8’de verilmiştir. Maksimum kazanç, ilgili frekans bandında 2.2 dBi ile 4.5 dBi seviyeleri arasında değişirken; kazancın minimum noktası 2.2dBi değeri ile 2.7 GHz’de, maksimum noktası ise 4.5 dBi ile 16 GHz’de görülmektedir. Toplam verimlilik değeri de, tüm çalışma bandı boyunca % 66’yı aşıyor. En yüksek toplam verimlilik noktaları 2.7 GHz ve 5 GHz’de, değerleri ise sırasıyla % 94 ve % 93’lük oranlarda olmuştur.



Şekil 4.8. Üçgen UGB antenin maksimum kazanç ve verimlilik grafiği

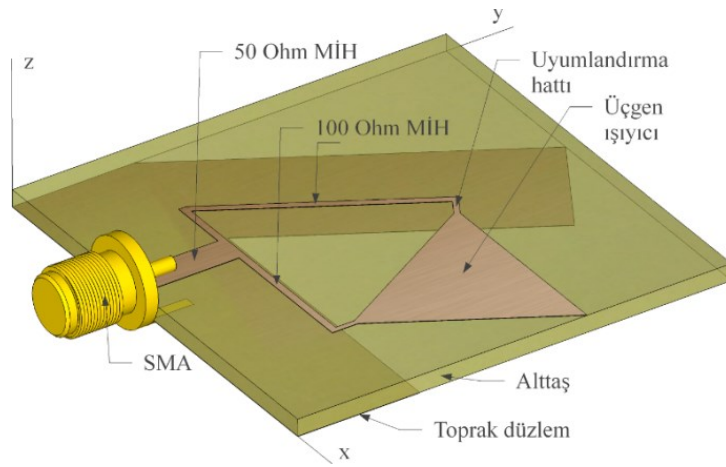
4.2. Dairesel Polarizasyonlu Üçgen UGB Mikroşerit Anten

Bu kısımda, bir önceki çalışmada verilen anten yapısının yama kısmından esinlenilerek tasarlanmış olan üçgen yamaya sahip, küçük boyutlu, DP UGB bir mikroşerit anten sistemi sunulmuştur.

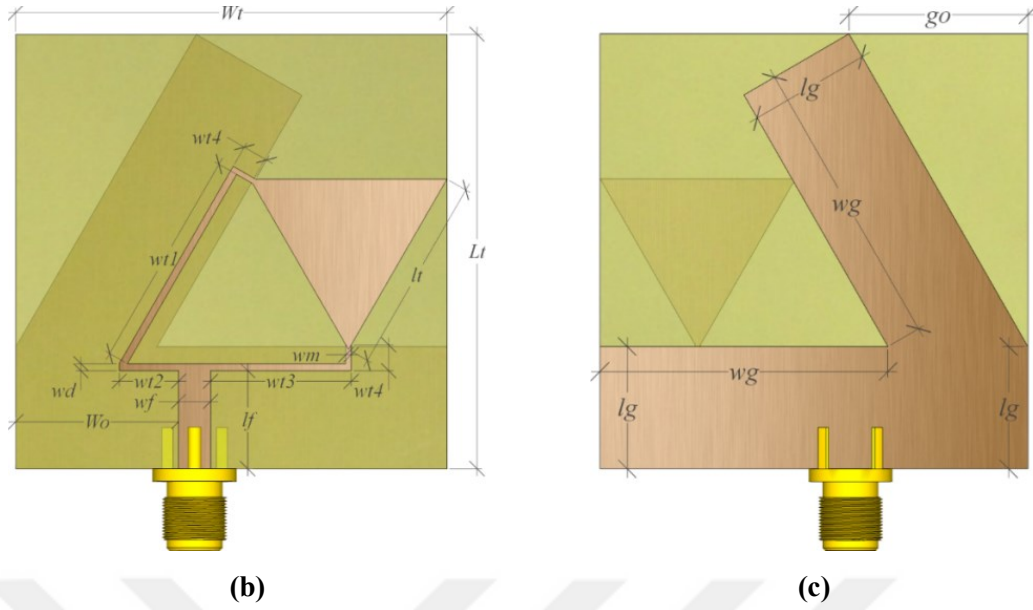
4.2.1. Anten Tasarımı

Tasarlanan anten, 18.53 mm kenar uzunluğu olan eşkenar üçgen bir yama ve V şeklinde bir toprak düzleminde oluşmaktadır. Sunulan anten, 50Ω 'luk ve 3 mm genişlikte mikroşerit iletim hattı ile beslenmiştir. Ayrıca, hem daha iyi bir empedans uyumu hem de DP ışımı sağlamak için mikroşerit iletim hattı ile üçgen yamanın iki köşesine arasına 0.66 mm genişliğinde farklı uzunluktaki iki mikroşerit hat ileve edilmiştir. Toplam boyutu $40.6 \times 40.9 \text{ mm}^2$ olan antenin tasarımında 1.6mm kalınlığında, 0.017 tanjant kaybı ve 4.4 dielektrik katsayısı olan alttaş malzeme kullanılmıştır. Sunulan antenin 3 boyutlu geometrisi ve fiziksel boyutları sırası ile Şekil 4.9'da ve Çizelge 4.2'de ayrıntılı olarak verilmiştir.

Antenlere DP özellik kazandırmak için gerekli olan 90° faz farkını sağlamada yaygın olarak kullanılan iki yöntem vardır. Bunların ilki, tek hat beslemeli olarak geometrik yapı üzerinde yapılan değişiklikler ile bu farkı sağlamaktır. İkincisi ise, bu çalışmada da kullanmış olduğumuz ikili besleme ağı yöntemidir. Bu yöntemde faz farkı farklı uzunlukta besleme hatları kullanılarak sağlanmaktadır (Gao ve ark., 2006).



(a)

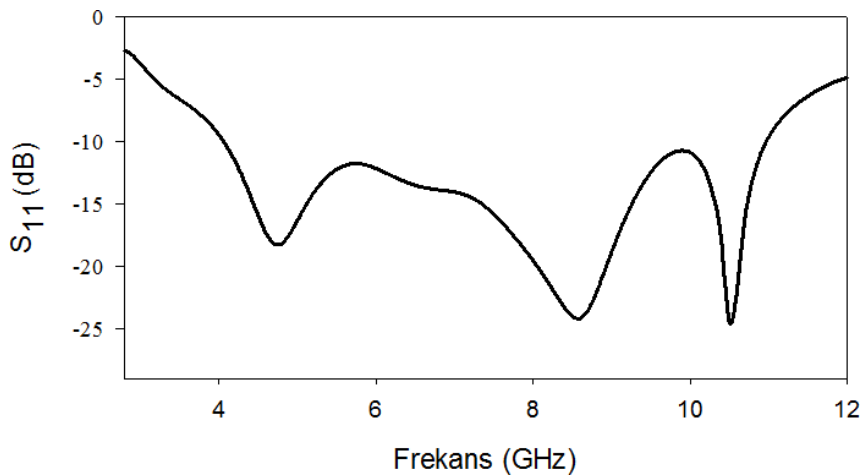


Şekil 4.9. DP üçgen UGB anten geometrisi: (a) 3 boyutlu görünüm (b) önden görünüm (c) arkadan görünüm

Çizelge 4.2 DP üçgen UGB anten boyutları (mm)

L_t	W_t	l_t	l_f	w_f	W_0	w_t1	w_t2	w_t3	w_t4	w_m	w_d	l_g	w_g	g_0
40.9	40.6	18.53	9.25	3	15.35	20.55	5.6	13.25	2.4	0.5	0.66	11.5	27.3	17

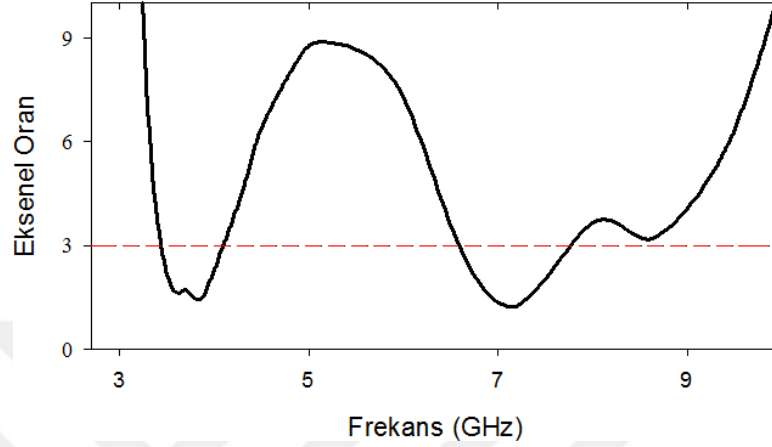
Benzetim programından alınan anten S_{11} 'in frekansa bağlı değişimi Şekil 4.10'daki grafikte verilmiştir. Grafığe göre, tasarlanan antenin S_{11} değerlerinin 3.8-11.0 GHz frekansları arasında -10 dB altında olduğu görülmektedir. Böylelikle tasarımı sunulan anten, UGB frekans bandını büyük ölçüde kapsamaktadır.



Şekil 4.10. DP üçgen UGB antenin S_{11} frekansa bağlı değişim grafiği

Antenlerin DP özellik gösterip göstermediğini belirleyen temel parametre EO parametresidir. Antenin EO eğrisi incelendiğinde 3.6–4.1 GHz ve 6.7–7.8 GHz frekans

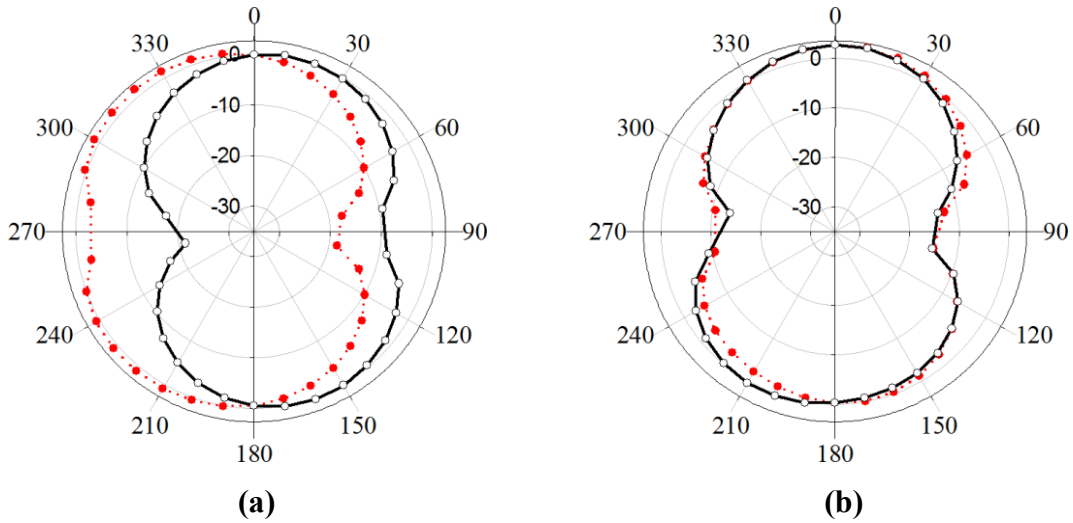
bantlarında $\theta=60^\circ$ ve $\phi=90^\circ$ açılarında 3dB seviyesinin altında olduğu görülmüştür (Şekil 4.11). Geçmişte yapılan çalışmalarda çoğunlukla bu kadar geniş bir EO bant genişliği seviyesi elde edilememiştir. EO minimum olduğu noktalar olan 3.9 GHz ve 7.2 GHz frekanslarındaki EO değerleri sırasıyla 1.53 ve 1.24'dür.



Şekil 4.11. DP üçgen UGB antenin frekansa bağlı EO grafiği

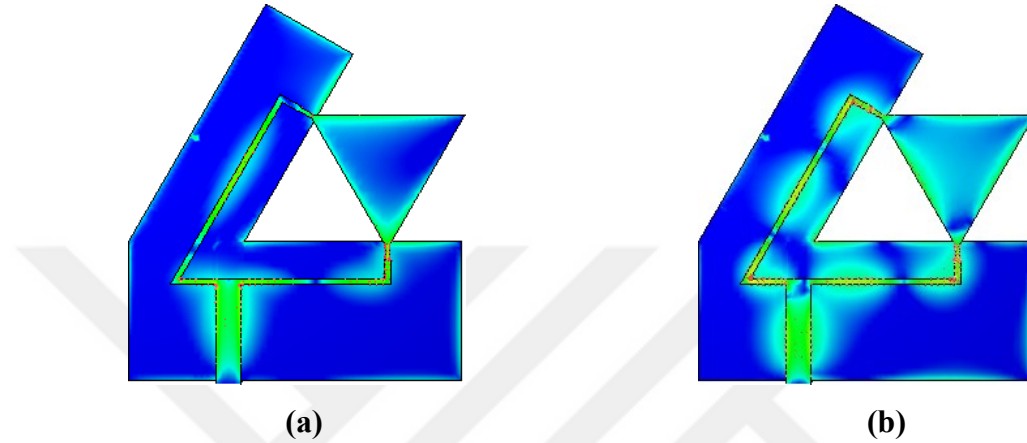
4.2.2. Performans Analizi

Tasarlanan antene ait ve EO'nun minimum değerlere sahip olduğu 3.9 GHz ve 7.2 GHz frekanslarında benzetim programından elde edilen ışınma örüntüleri incelendiğinde; antenin nerdeyse çok yönlü (near-omnidirectional) ışınma yaptığı görülmektedir (Şekil 4.12). DP antenin 3.9 GHz frekansında $x-z$ ve $y-z$ eksenlerinin azami kazançlarına bakıldığında, sırasıyla 330° 'de 1.5 dB ve 160° 'de 0.33 dB olurken; 7.2 GHz frekansında ise her iki düzlemde de azami kazançlar 360° 'de ve 2.69 dB'dir.



Şekil 4.12. DP üçgen UGB antenin ışınma örüntüleri: (a) 3.9 GHz (b) 7.2 GHz (Düz çizgiler (—) $x-z$ düzlemi, Kesikli çizgiler (---) $y-z$ düzlemi sonuçlarını gösterir.)

Tasarlanan DP UGB antene ait yüzey akım dağılımlarının benzetim sonuçları 3.9 GHz ve 7.2 GHz frekansları için elde edilmiştir (Şekil 4.13). Her iki frekans noktasına elde edilen akım dağılımları birbirine büyük ölçüde benzerken, ışımanın yoğun olduğu bölgeler olan yama kenarları ve besleme hattı kenarlarında akım yoğunlukları görülmektedir. Elektrik akımının maksimum değerleri; 3.9 GHz’de 123.48 (A/m) olurken, 7.2 GHz’de 126.07 (A/m) olarak ölçülmüştür.



Şekil 4.13. DP üçgen UGB antenin yüzey akım dağılımları: (a) 3.9 GHz (b) 7.2 GHz

4.3. CPW Beslemeli UGB Yay Şekilli Açıklığa Sahip Monopol Anten

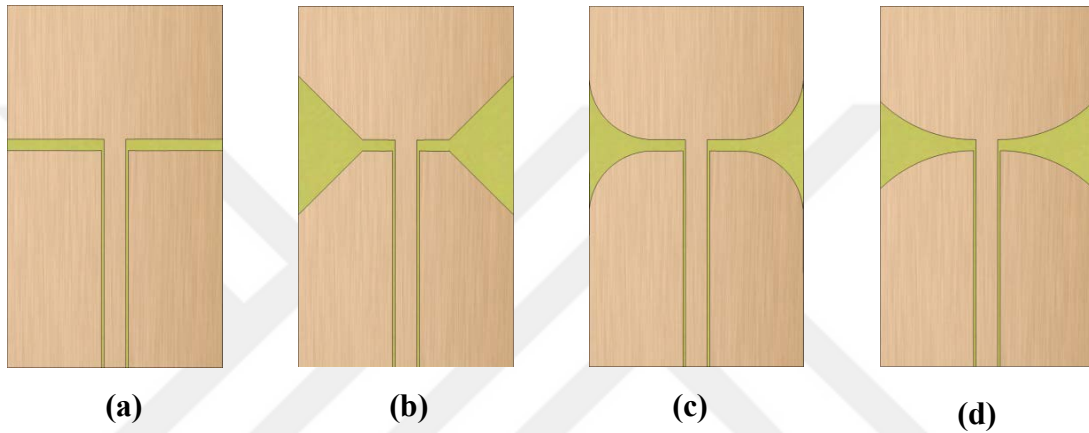
Bu kısımda yer alan anten, UGB frekanslarında çalışan, CPW beslemeli, yay şeklinde yama ve toprak düzlemi içeren monopol bir mikroşerit anten olarak tasarlanmıştır.

4.3.1. Anten Tasarımı ve Prototipinin Gerçekleştirilmesi

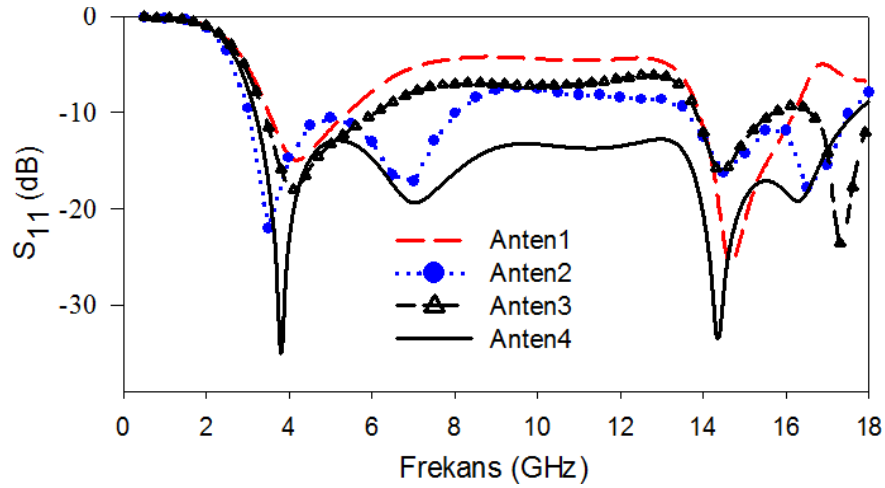
Anten tasarım sürecinde, daha iyi empedans uyumunu sağlamak amacıyla toprak ve yama yapıları kademeli olarak değiştirilen dört farklı anten üzerinde çalışılmıştır (Şekil 4.14). Tasarlanan antenlere ait giriş yansımaya katsayısı değerlerinin frekansa bağlı değişimi eğrileri grafiği Şekil 4.15’de verilmektedir.

Tasarıma $16.8 \times 10.5 \text{ mm}^2$ büyüklükte basit bir dikdörtgen yama ve besleme hattının her iki yanında $7.35 \times 17.0 \text{ mm}^2$ boyutlu iki dikdörtgen toprak düzleminden anten yapısı ile başlanmıştır (Şekil 4.14.a). Elde edilen anten, merkez frekansları 4.5 GHz ve 14.5 GHz olan iki frekans bandında çalışmakla beraber UGB bandını kapsamamıştır. Mikroşerit antenlerde ışımanın daha çok yama ve toprak düzlemi arasında olması nedeniyle, ikinci anten yapısında yama ve toprak düzlemleri arasındaki açıklıklar üçgen şeklinde yapılmıştır (Şekil 4.14.b). Yapılan bu değişiklik ile anten UGB özellik göstermeye

oldukça yaklaşmış ve ilk antene göre daha bir empedans uyumu ile çok daha geniş bant kapsama sağlamıştır. İkinci yapıda empedans uyumunda elde edilen başarıdan dolayı üçüncü antende, yama ve toprak düzleminin köşeleri çeyrek çember forma dönüştürülmüş ve empedans uyumunun arttığı gözlemlenmiş olmasına rağmen tasarlanan anten yine UGB bandı olan 3.1-10.6 GHz frekans bandını tam olarak kapsamamıştır (Şekil 4.14.c). Son olarak bu çalışmada sunulan toprak ve yama kısımları yay şeklinde açıklık olacak şekilde tasarlanmış ve 3.0-17.0 GHz frekansları arasındaki S_{11} değerleri -10 dB'nin altında yer almış ve UGB bandını kapsamıştır (Şekil 4.14.d).

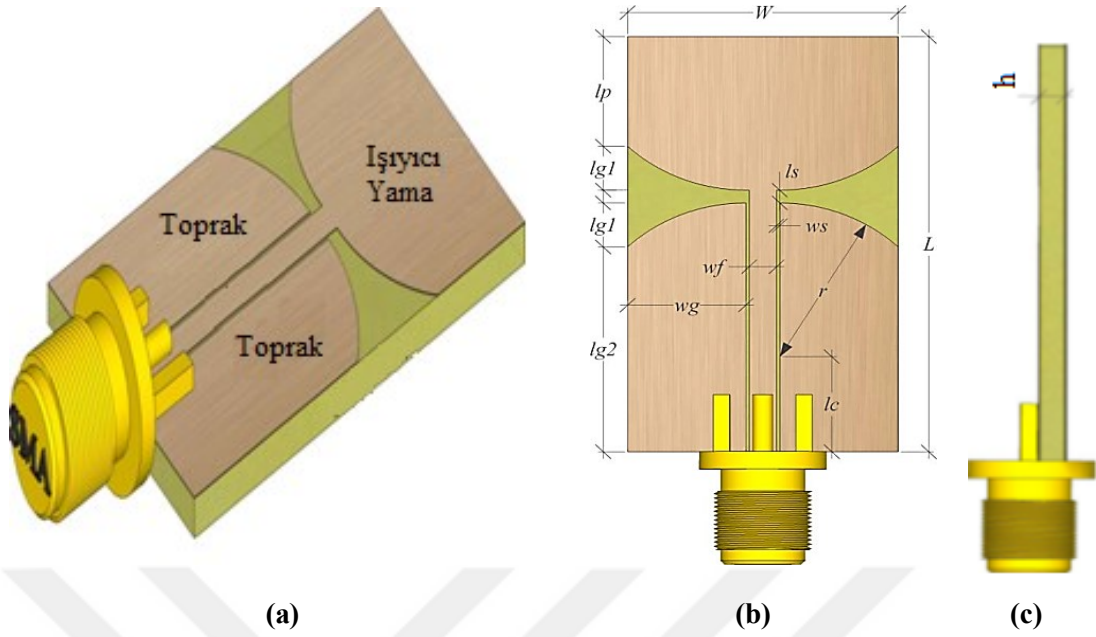


Şekil 4.14. CPW beslemeli UGB anten tasarım aşamaları: (a) Anten1 (b) Anten2 (c) Anten3 (d)Anten4



Şekil 4.15. CPW beslemeli UGB anten tasarım aşamaları S_{11} sonuçları grafiği

Tasarım süreci sonunda elde edilen ve toplam boyutları $16.8 \times 28.4 \text{ mm}^2$ olarak üretilen anten, yama ve toprak düzlemi arasında yay şeklinde açıklık içermektedir. Anten empedans uyumunu sağlamak için 50Ω 'luk CPW ile beslenmiştir (Şekil 4.16). Tasarlanan anten boyutları Çizelge 4.3'de verilmiştir.

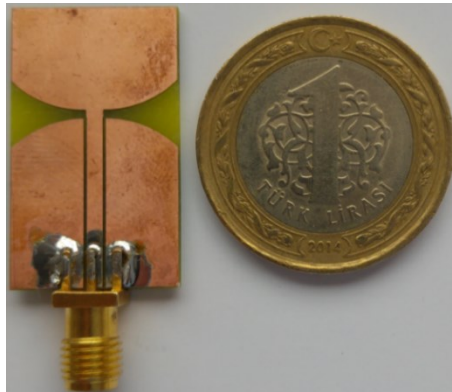


Şekil 4.16. CPW beslemeli UGB anten geometrisi: (a) 3 boyutlu görünüm (b) üstten görünüm (c) yandan görünüm

Çizelge 4.3 CPW beslemeli UGB monopül antenin boyutları (mm)

h	W	L	l_p	l_{g1}	l_{g2}	w_g	l_c	r	w_f	l_s	w_s
1.6	16.8	28.4	7.5	3	14	7.35	6.5	10.5	1.7	0.9	0.2

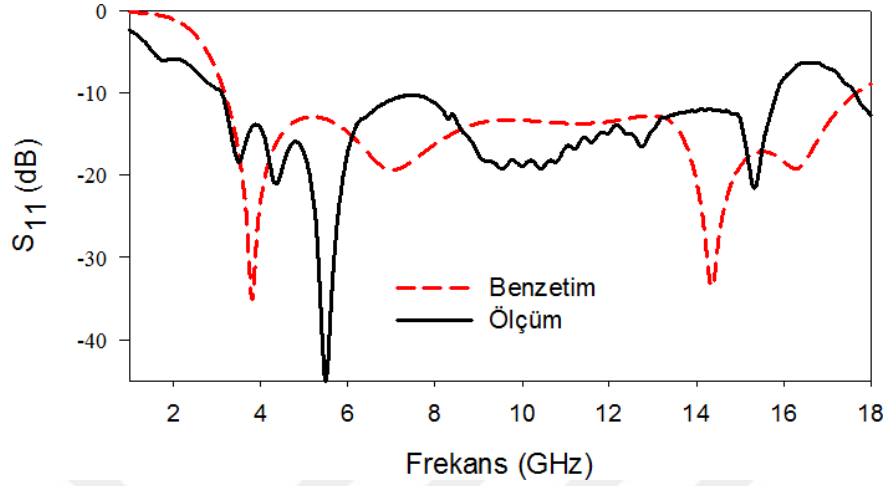
Tasarlanan antenin prototipi 4.4 dielektrik katsayılı 1.6 mm kalınlıktaki FR4 malzeme üzerine işlenerek üretilmiştir. Anten prototipinin görüntüsü Şekil 4.17’de verilmiştir.



Şekil 4.17. CPW beslemeli UGB anten prototipi

Üretilen UGB anten prototipinin yapılan ölçüm sonuçları ile benzetim programından elde edilen S_{11} değerlerinin karşılaştırmalı grafiği incelendiğinde birbirine oldukça benzeyen eğriler görülmektedir (Şekil 4.18). Grafikte görülen farklılıklar ise lehimleme

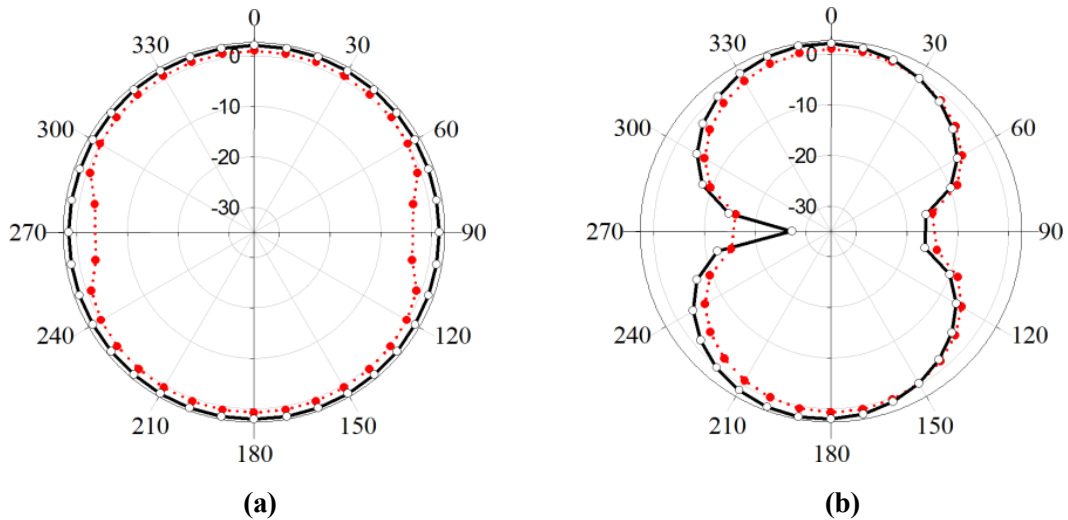
esnasında oluşan hatalar, SMA konektör bağlantısı, FR4 malzemenin dielektrik katsayısı ve kalınlık uyumsuzluğu gibi etkenlerden oluşmaktadır.

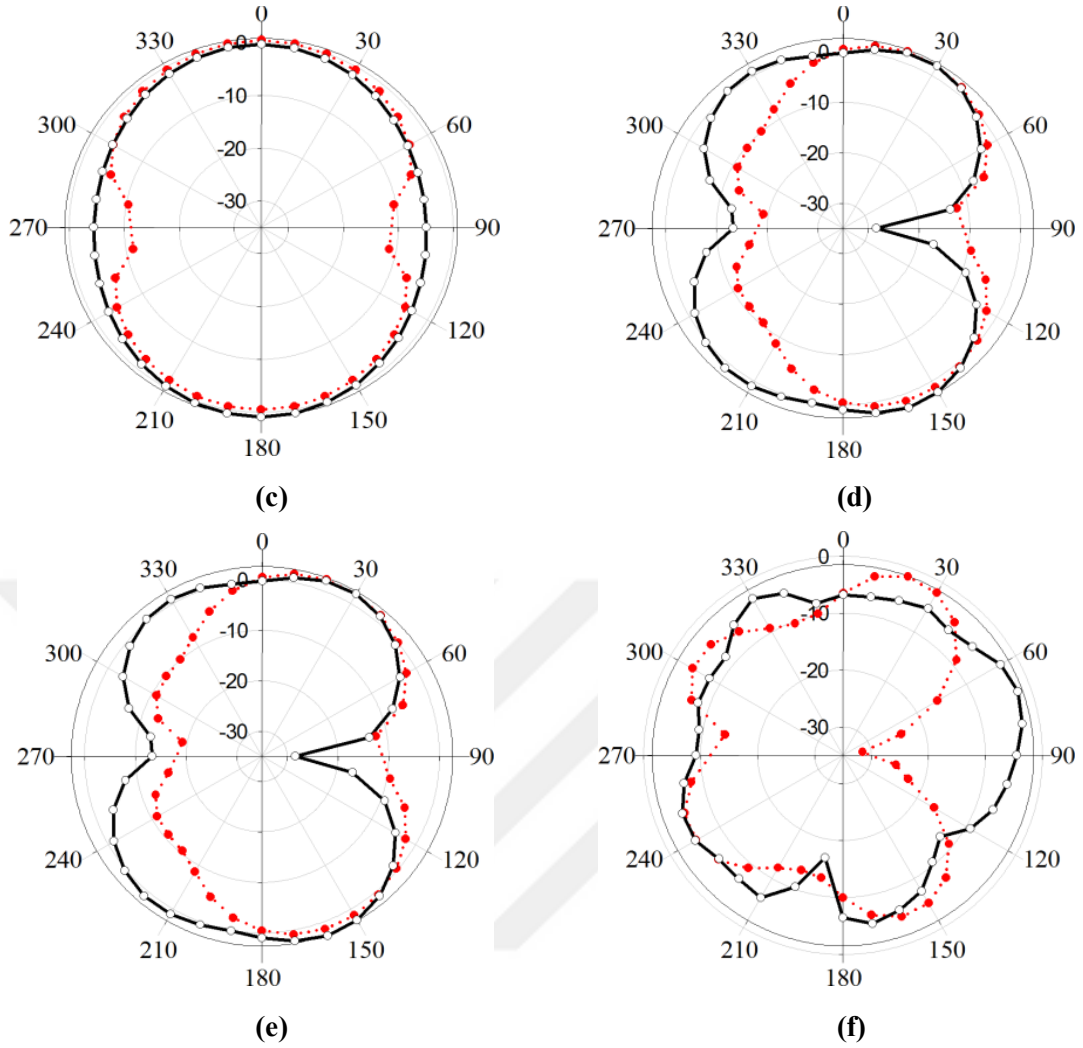


Şekil 4.18. CPW beslemeli UGB anten S_{11} ölçüm ve benzetim sonuçları grafiği

4.3.2. Performans Analizi

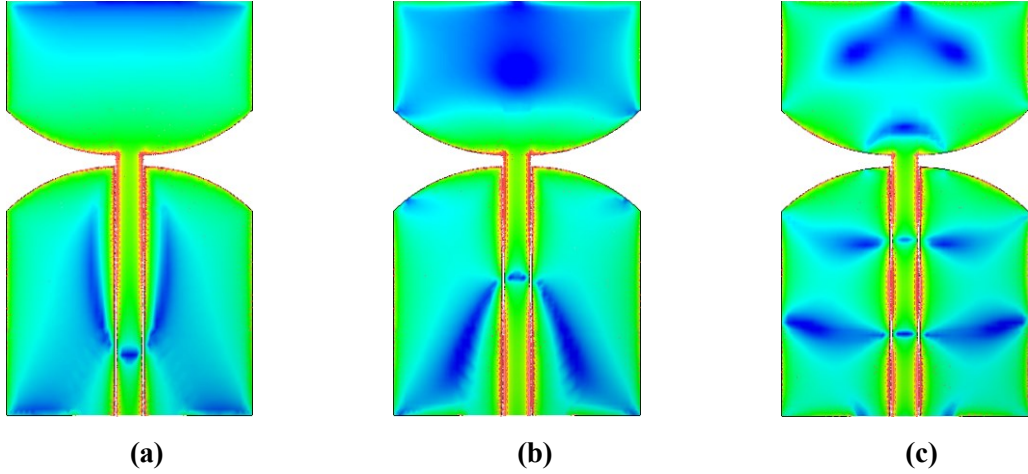
Tasarlanan CPW beslemeli UGB antene ait ışıma örüntülerinin benzetim ve ölçüm sonuçları 3.5 GHz, 7.2 GHz ve 14.3 GHz frekansları için elde edilmiştir. Şekil 4.19'da görüldüğü gibi üretilen anten nerdeyse çok yönlü (near-omnidirectional) ışımaya sahiptir. Anten maksimum kazancı, 3.5 GHz'de x - z düzleminde 180° 'de 2.1 dB iken y - z düzleminde 175° 'de 2.19 dB olmuştur. 7.2 GHz frekansına bakıldığında x - z düzleminde 180° 'de 0.96 dB olan maksimum kazanç, y - z düzleminde 160° 'de 2.84 dB ölçülmüştür. Son olarak 14.3 GHz frekansında ise; x - z ve y - z düzleminde sırasıyla 90° 'de 0 dB ve 70° 'de 2.3 dB olarak bulunmuştur.





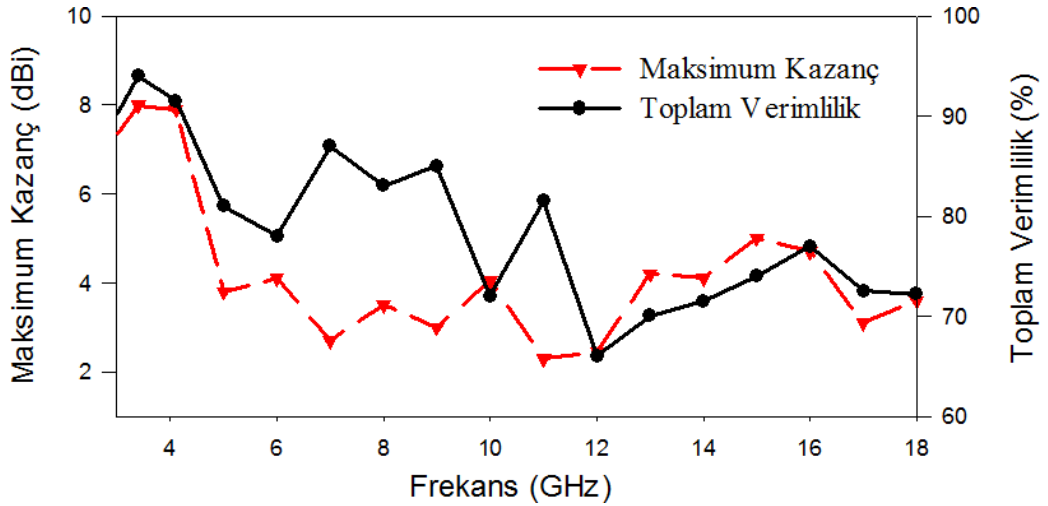
Şekil 4.19. CPW beslemeli UGB antenin ışıma örüntüleri: (a) 3.5 GHz x - z düzlemi (b) 3.5 GHz y - z düzlemi (c) 7.2 GHz x - z düzlemi (d) 7.2 GHz y - z düzlemi (e) 14.3 GHz x - z düzlemi (f) 14.3 GHz y - z düzlemi
(Kesikli çizgiler (.....) ölçüm, düz çizgiler (—○—) benzetim sonuçlarını gösterir.)

CPW beslemeli antenin 3.5 GHz, 7.2 GHz ve 14.3 GHz frekans noktalarındaki yüzey akım dağılımlarının benzetim sonuçları Şekil 4.20'de sunulmuştur. Şekilden görüldüğü gibi yüzey akım dağılımları birbirine benzer şekilde ve ışıma yoğunluklarının yay şeklindeki yama kenarlarında ve besleme hattının kenarlarında olduğu gözlemlenmektedir. Ölçüm yapılan 3.5, 7.2 ve 14.3 GHz frekanslarında maksimum elektrik alan değerleri, sırasıyla 100.4 (A/m), 96.8 (A/m) ve 106.2 (A/m) olmuştur.



Şekil 4.20. CPW beslemeli UGB antenin yüzey akım dağılımları: (a) 3.5 GHz (b) 7.2 GHz (c) 14.3 GHz

Şekil 4.21’de ise, tasarlanan CPW antene ait maksimum kazanç ve toplam verimlilik değerleri frekansa bağlı olarak verilmiştir. Şekilde görüldüğü üzere maksimum kazanç, ilgili frekans bandında 2.3 dBi ve 8 dBi arasında değişirken minimum kazanç 11 GHz’de 2.3 dBi, maksimum kazanç ise 3.5 GHz’de 8 dBi olmuştur. Diğer yandan, toplam verimlilik aynı bant boyunca % 66 ve üzerinde olmuştur. En yüksek verimlilik değerleri, sırasıyla 3.5 GHz ve 7.2 GHz’de % 94 ve % 87’dir. En düşük toplam verimliliğin ise 12 GHz’de % 66 olduğu görülmüştür.



Şekil 4.21. CPW beslemeli UGB antenin maksimum kazanç ve toplam verimlilik değerlerinin frekansa bağlı değişimi

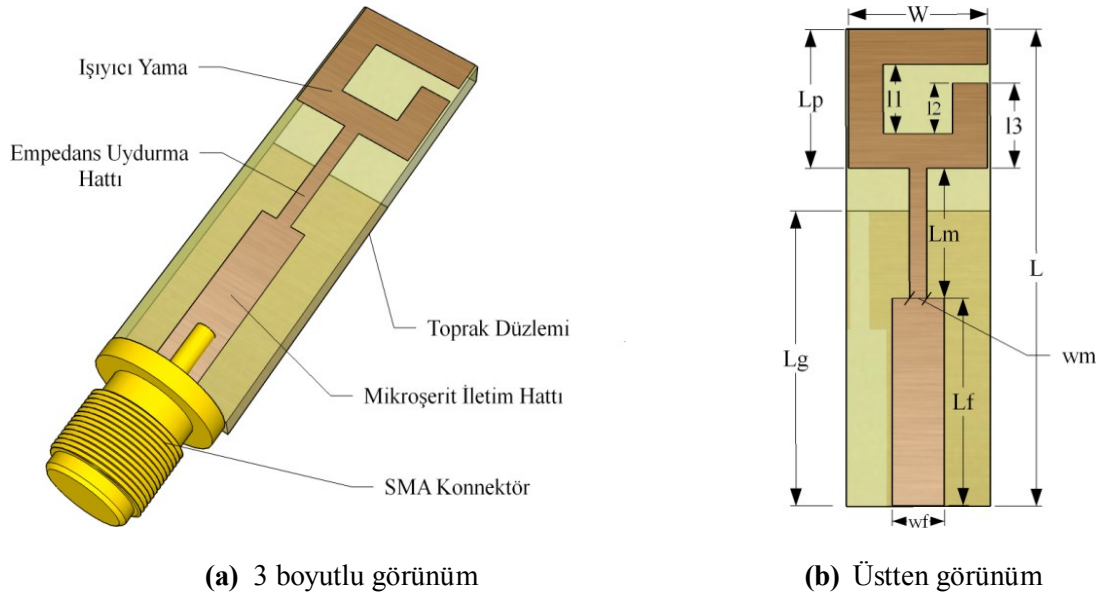
4.4. G Şekilli Bant Çentik Anahtarlama UGB Mikroşerit Anten

Son kısımda, tez çalışmasının amacı olan G şekilli bant çentik anahtarlama UGB mikroşerit anten tasarım, üretim ve ölçüm sonuçları ayrıntılı olarak verilmiştir.

4.4.1. Anten Tasarımı ve Prototipinin Gerçekleştirilmesi

Yapılan anten tasarımında tek noktadan mikroşerit hat ile beslenmiş G şekilli bir yama ve bu yamanın açıklık kısmında yer alan HSMP-389C RF PIN diyot kullanılmıştır. Böylelikle yapılan anahtarlama ile anten frekansı yeniden ayarlanabilmektedir. Sunulan antende kullanılan PIN diyot ile elektronik olarak anahtarlama yapılmış ve diyotun ileri yönde beslemesinde yani açık durumda (ON-State) iken UGB bandını kapsayan bir ışımaya yaparken; diyotun geri yönlü beslemesinde yani kapalı konumda (OFF-State) band durduran özellik göstermektedir.

Tasarlanan UGB yeniden ayarlanabilir antenin geometrisi tasarım parametreleri ile birlikte Şekil 4.22’de verilirken; antena ait fiziksel boyut parametreleri Çizelge 4.4’de verilmiştir. Çizelge 4.4’de görüldüğü gibi, toplam boyutları $8 \times 27.5 \text{ mm}^2$ olarak belirlenen anten yapısı $8 \times 8 \text{ mm}^2$ boyutlarında G şeklinde bir yama, 3 mm genişliğinde bir mikroşerit hat besleme ve $8 \times 16.5 \text{ mm}^2$ ’lik dikdörtgen bir toprak düzleminde oluşmaktadır. Ayrıca, antende daha iyi bir empedans uyumunu sağlamak için mikroşerit hat ile yama kısmı arasında 1 mm genişliğinde bir iletim hattı kullanılmıştır. Sunulan anten bu boyutları ile oldukça küçük bir boyuta sahip olması nedeniyle gezgin terminallerde kullanıma uygun bir yapıdadır.

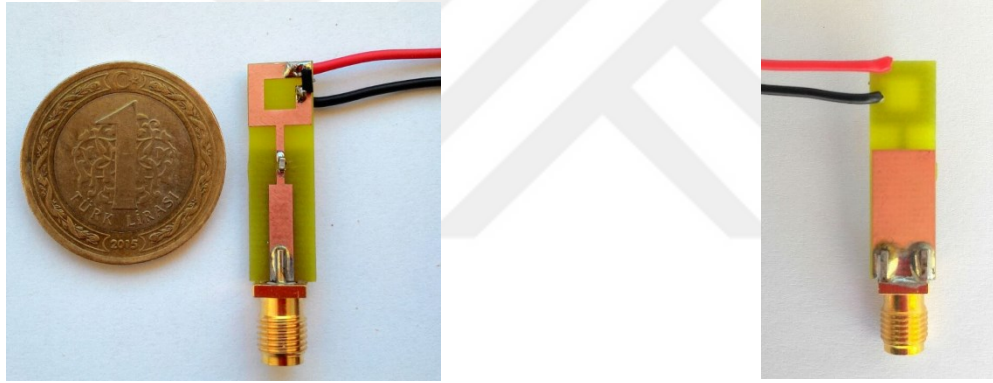


Şekil 4.22. G şekilli bant çentik anahtarlama UGB anten geometrisi

Çizelge 4.4 G şekilli bant çentik anahtarlamalı UGB anten boyutları (mm)

W	L	w_f	L_f	w_m	L_m	L_g	L_p	l_1	l_2	l_3
8.0	27.5	3.0	12.0	1.0	7.5	16.5	8.0	4.0	3.0	5.0

Tasarımı tamamlanan UGB antenin prototipi, Çizelge 4.4'deki fiziksel boyutlara göre gerçekleştirilmiştir. Anten prototipinde, tez çalışmasında yer alan diğer antenler gibi 1.6 mm kalınlığında, 4.4 dielektrik sabiti ve 0.017 tanjant kaybı olan çift taraflı FR4 PCB malzeme kullanılmıştır. Besleme için 50 Ω 'luk SMA konnektör ve frekans yeniden ayarlamasını yapmak için yama kısmına eklenen bir adet HSMP-389C RF PIN diyottan oluşan prototip antenin fotoğrafı Şekil 4.23'de verilmiştir. Ayrıca, anten ölçümlerinde PIN diyotun beslemesi yapılırken VNA'ya DC sinyal gitmemesi için ince iletim hattı üzerine 1 adet 10uF SMD kapasitör eklenmiştir.



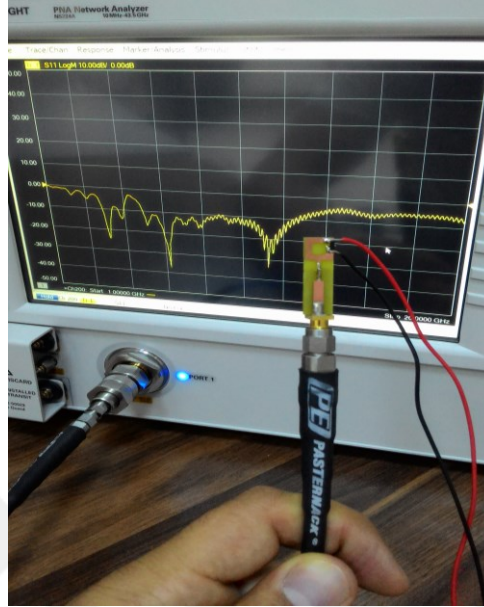
(a) Önden görünüm

(b) Arkadan görünüm

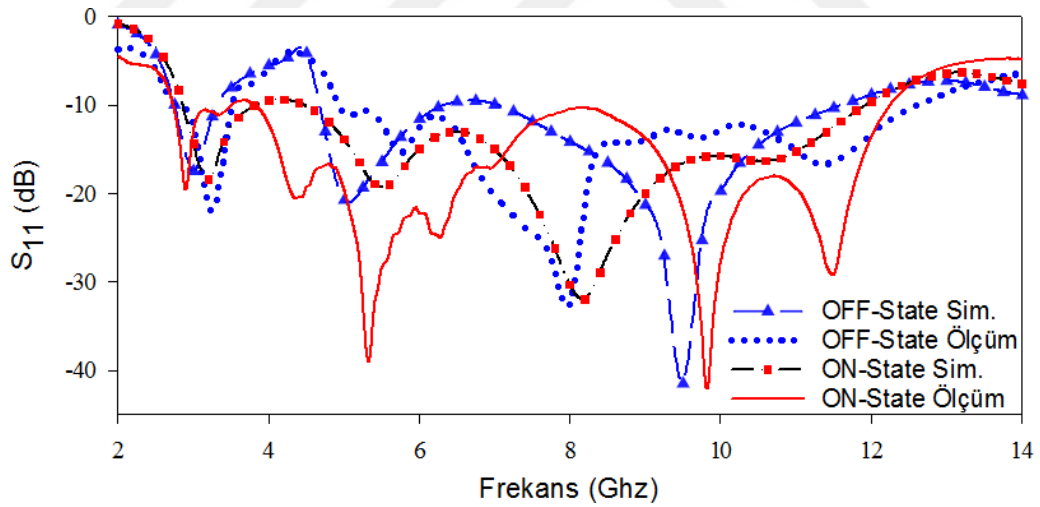
Şekil 4.23. G şekilli bant çentik anahtarlamalı UGB anten prototipi

Şekil 4.23'de görülen prototip antenin VNA ile yapılan S_{11} ölçümlerinden bir görüntü Şekil 4.24'de verilmiştir. S_{11} ölçümlerinden elde edilen sonuçlar ile benzetim programından alınan S_{11} sonuçları Şekil 4.25'de karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Şekilden de görüleceği üzere G şekilli anten, PIN diyotun ileri yönlü besleme yapılarak ilettime geçtiği ON-State durumunda 2.8-12.6 GHz frekans aralığında ışımaya yapmakta ve UGB bandını kapsamakta iken; PIN diyotun iletimde olmadığı OFF-State durumu ölçümlerinde 3.5-4.95 GHz aralığında ışımayı keserek UGB bandında bant durduran özellik göstermiştir. Böylelikle prototipi üretilen antenin, UGB bandında bant durdurarak yeniden ayarlanabilen bir anten olduğu doğrulanmıştır. Şekil 4.25'deki grafik incelendiğinde benzetim ve ölçüm sonuçlarının büyük ölçüde benzerlik gösterdiği de görülmektedir. Grafikte görülen farklılıklar ise SMA konnektör, diyot ve

kapasitör lehimlenmesi esnasında oluşan lehim hataları, pratikte kullandığımız FR4 malzemenin dielektrik katsayısı ve kalınlığındaki farklılıklar ve ölçüm esnasında çevreden oluşan alanlar gibi etkenlerden kaynaklanmaktadır.

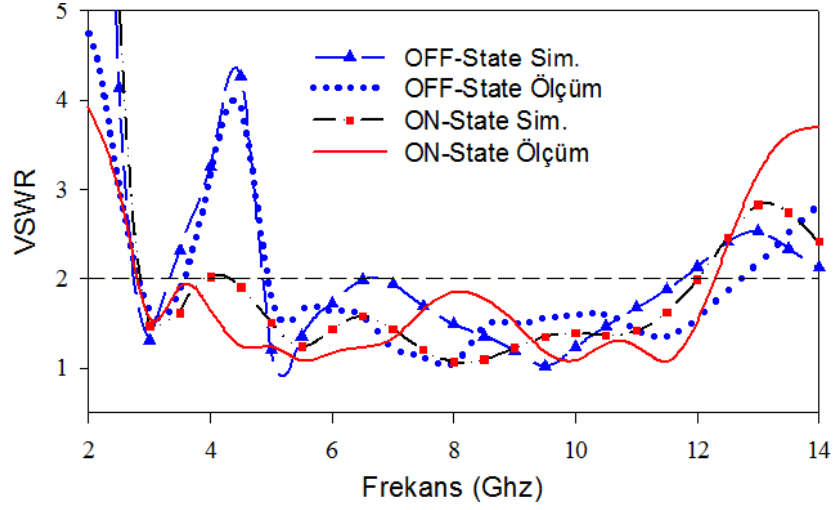


Şekil 4.24. G şekilli bant çentik anahtarlamalı UGB antenin S_{11} ölçümleri



Şekil 4.25. G şekilli bant çentik anahtarlamalı UGB antenin S_{11} benzetim ve ölçüm sonuçları

Bir antenin çalışma bant genişliğinin belirlenmesinde kullanılan diğer bir parametrede antenin gerilim duran dalga oranı (VSWR) değeridir. Tasarlanan bu antenin benzetim ve ölçüm sonuçlarına ait VSWR değerleri grafiği Şekil 4.26'da sunulmuştur. VSWR değerinin 2 ve altında olduğu bölgeler incelendiğinde Şekil 4.25'de verilen S_{11} değerleri ile birebir örtüştüğü görülmektedir.



Şekil 4.26. G şekilli bant çentik anahtarlamalı UGB antenin VSWR sonuçları grafiği

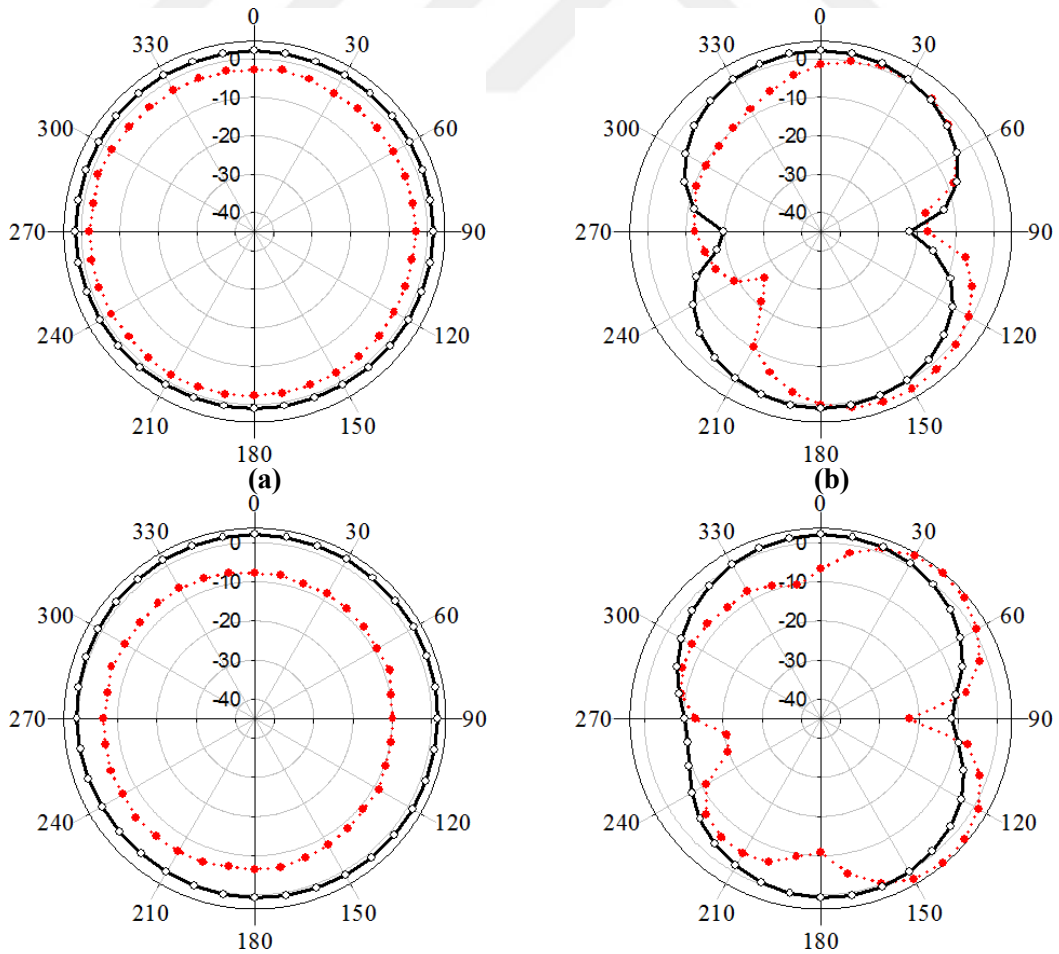
4.4.2. Performans Analizi

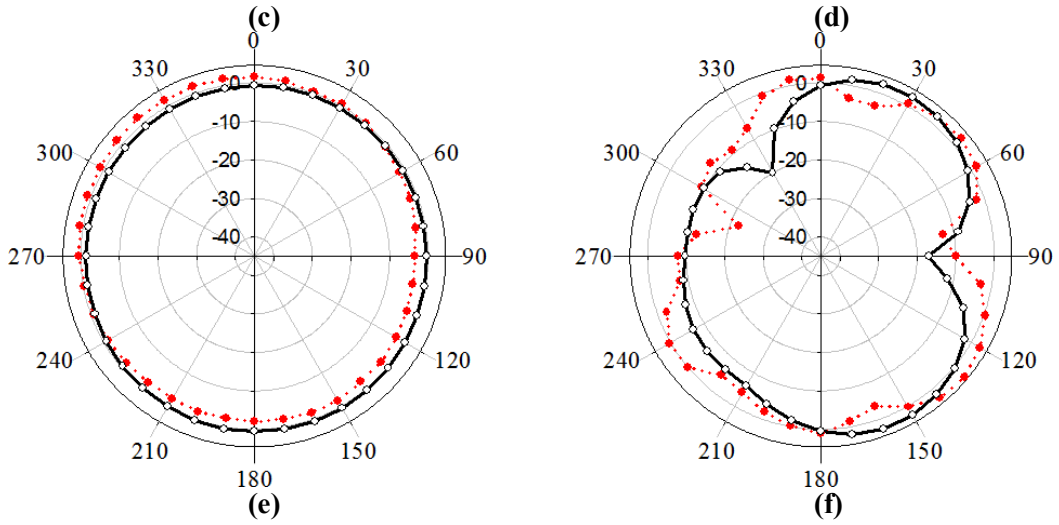
Üretilen G şekilli anten prototipinin ışınma örüntüsü ölçümleri network analizöre entegre edilen döner tabla ile gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen ölçüme ait fotoğraf Şekil 4.27’de verilmiştir.



Şekil 4.27. G şekilli bant çentik anahtarlamalı UGB antenin ışınma örüntüsü ölçümleri

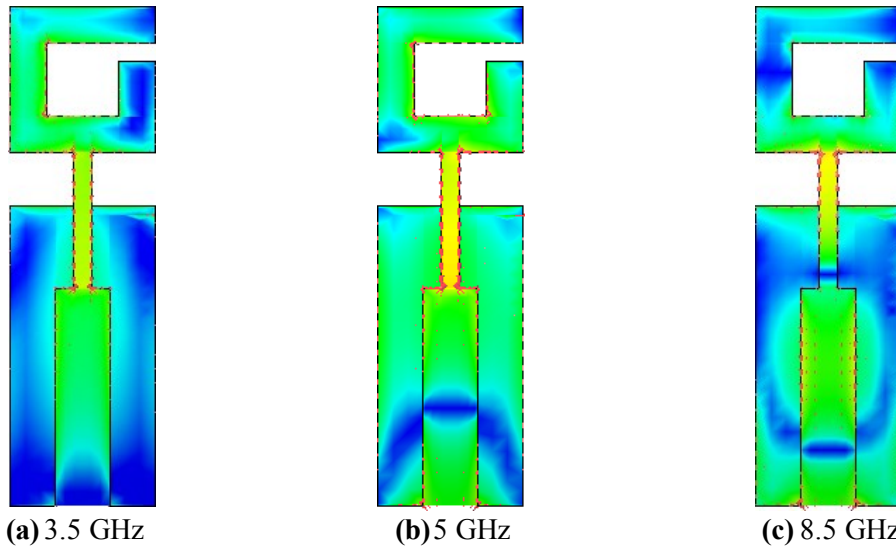
Şekil 4.25’de verilen S_{11} ve Şekil 4.26’da verilen VSWR grafiklerinde görülen ve 3.5 GHz, 5 GHz ve 8.5 GHz minimum frekans noktalarındaki benzetim ve ölçüm sonuçlarına ait 2 boyutlu ışınma örüntüleri, Şekil 4.28’de $x-z$ ve $y-z$ düzlemleri için ayrı ayrı verilmiştir. Şekil 4.28’de görüldüğü gibi prototop antenin ışınma örüntüleri, belirtilen 3 frekans noktası için $x-z$ düzleminde nerdeyse çok yönlü ışınma yaparak birbirine benzemektedir. Yine grafikten anlaşılacağı üzere, $x-z$ düzlemindeki ölçüm ve benzetim sonuçları birbiri ile büyük ölçüde örtüşürken; $y-z$ düzlemindeki benzetim ve ölçüm sonuçlarında bazı uyumsuzluklar bulunmaktadır. Bu durumun en önemli nedeni, ölçüm yapılan EBTRO EAMS-18 döner tabla sisteminin sadece azimut (θ) yönünde dönmesinden ötürü $y-z$ düzlemi ölçümlerinde anteni yataya çevirerek ölçüm yapmamız dolayısıyla ölçüm sırasında döner tabladan gelen istenmeyen ışınların bulunmasıdır. Hem $x-z$ hem de $y-z$ düzlemindeki ışınma örüntülerinde benzetim ve ölçüm sonuçları arasındaki farklılıkların diğer bir nedeni ise, ölçüm yapılan ortamın yansısız oda şeklinde olmaması ve etraftan doğrudan ya da yansiyarak gelen istenmeyen ışınların olmasıdır.





Şekil 4.28. G şekilli bant çentik anahtarlamalı UGB anten ON-State durumu ışına örüntüleri: (a) 3.5 GHz x-z düzlemi (b) 3.5 GHz y-z düzlemi (c) 5 GHz x-z düzlemi (d) 5 GHz y-z düzlemi (e) 8.5 GHz x-z düzlemi (f) 8.5 GHz y-z düzlemi (Kesikli çizgiler (---) ölçüm, düz çizgiler (—) benzetim sonuçlarını gösterir.)

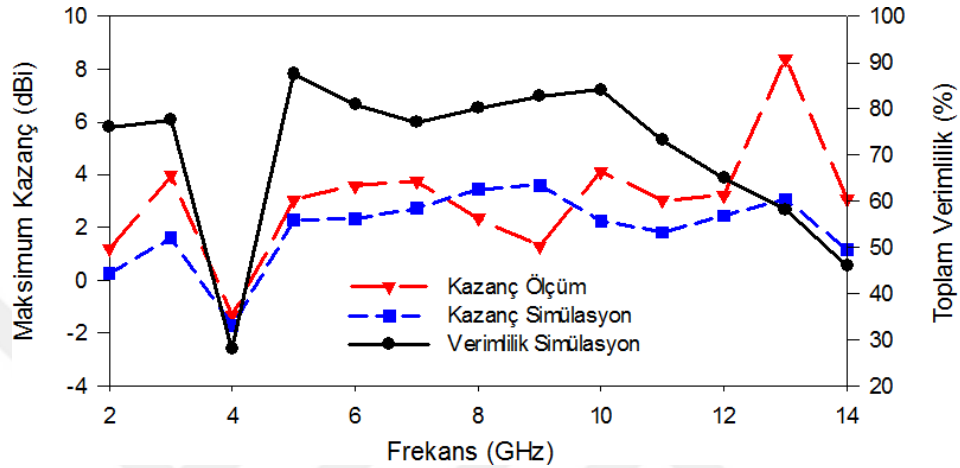
Tasarlanan G şekilli antenin akım dağılımlarını daha iyi anlamak için, Şekil 4.29’da ışına örüntüsünde incelenen 3.5, 5.0 ve 8.5 frekans noktalarında antene ait yüzey akım dağılımları verilmiştir. Anten yüzeyinde oluşan maksimum akımların, anılan frekanslar için sırasıyla 99.33, 98.58 ve 82.93 A/m olduğu görülmüştür. Antende ışıyan akımın yama ile toprak düzlemi arasındaki kenarlarda ve empedans uyumunda kullanılan 1mm’lik iletim hattında yoğunlaştığı görülmektedir. Elektrik alan çizgilerinin de beklendiği gibi yine bu bölümlerde yoğunlaşmaktadır.



Şekil 4.29. G şekilli bant çentik anahtarlamalı UGB anten yüzey akım dağılımları: (a) 3.5 GHz (b) 5.0 GHz (c) 8.5 GHz

Sunulan G şekilli yeniden ayarlanabilir antenin maksimum kazanç ve toplam verimlilik değerlerinin frekansa bağlı değişimleri Şekil 4.30’da verilmiştir. OFF-State durumu için

verilen kazanç ve verimlilik değerleri, 3.5-4.95 GHz frekansları arası hariç 2 dBi'nin üzerinde olurken aynı şekilde toplam verimlilik değerleri de kazanç için belirtilen frekanslar dışında %70 ve üzerinde olmuştur. Maksimum kazanç değeri 13 GHz'de 8 dBi olarak ölçülürken; toplam verimliliğin en yüksek olduğu nokta %90'ın üzerindeki değer ile 5 GHz frekasında elde edilmiştir.



Şekil 4.30. G şekilli bant çentik anahtarlamalı UGB anten kazanç ve verimlilik grafikleri

Bu tez çalışmasında önerilen UGB bant çentik anahtarlamalı anten ile literatürde yer alan bazı antenler de karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonuçları Çizelge 4.5'de verilmiştir. Karşılaştırmalarda anten boyutları, çalışma frekansları, bant çentik frekansları ve geometri basitliği kriterleri karşılaştırılmıştır. Her anten yapısı kendi içinde farklı özelliklere sahip olduğu için en iyi anteni belirlemek zordur. Bu tez çalışmasında yer alan antenin en belirgin özelliği yama ve toplam boyutlarının küçüklüğüdür.

Çizelge 4.5 Önerilen G şekilli anten ile literatürde yer alan bazı UGB bant çentik anahtarlamalı antenlerin karşılaştırması

Kaynak	Anten Boyutları (mm ²)	Çalışma Frekansları (GHz)	Bant Çentik Frekansları (GHz)	Geometri Basitliği
Önerilen anten	8×27.5	2.8-12.6	3.5-4.95	Basit
Kalteh ve ark. (2012)	45×40	2.5-10.8	3.8-4.35; 5.0-5.5	Orta
Tasouji ve ark. (2013)	20×20	3.1-12.5	3.1-3.8; 5.0-6.0	Karmaşık
Badamchi ve ark. (2014)	20×20	2.7-10.7	3.2-4.2; 5.5-6.15	Karmaşık
Zheng ve ark. (2014)	25×25	3.0-11.0	3.2-4.7; 4.8-6.6; 7.5- 8.7	Karmaşık
Sharbati ve ark. (2016)	17×14	2.85-14.4	3.25-4.25; 5.1-5.9;	Karmaşık

5. SONUÇ

Kablosuz sistemlerin yaygınlaşması ile birden fazla sistem haberleşmesinin tek bir cihaz üzerinden gerçekleştirilmesi gereksinimi ortaya çıkmıştır. Geleneksel anten yapıları ile karşılanamayan bu gereksinimler için geliştirilen UGB ve yeniden ayarlanabilir antenler, düşük maliyet ve esneklik gibi özellikleriyle kablosuz sistemlerin ihtiyaçlarına çözüm getiren yeni bir teknolojidir.

Literatürde sunulan anten çalışmaları incelendiğinde, küçük boyutlu, UGB ve frekansı ayarlanabilir yapısı ile çoklu kablosuz standartları destekleyen anten tasarımları oldukça azdır. Günümüzde kullanılan radar, füze ve uzay araçları gibi askeri sistemler, biyomedikal uygulamalar ve gezgin terminal gibi haberleşme sistemlerinde bu özellikleri sağlayan anten yapılarına olan ihtiyaç her geçen gün artmaktadır.

Bu tez çalışmasının amacı, UGB sistemler için WLAN 802.11a frekansında bant çentik anahtarlama yaparak frekansı yeniden ayarlanabilir kompakt bir mikroşerit anten tasarımı yapmak ve prototipini üretmek olmuştur. Bu bağlamda yapılan UGB anten tasarımına temel oluşturması amacıyla, 3 tane daha özgün UGB anten yapısı tasarlanmıştır.

Anten tasarımlarına ilk olarak üçgen bir ışıyıcı yamadan oluşan monopol anten ile başlanmıştır. Yapılan bu ilk çalışmada 2.6-18.2 GHz frekans aralığında çalışan kompakt bir UGB mikroşerit anten tasarlanmıştır. Mikroşerit hat ile beslenen üçgen yama ve dikdörtgen bir toprak düzleminden oluşan antenin toplam boyutları, $23 \times 31 \text{ mm}^2$ dir. Empedans uyumunu sağlamak için üçgen yama ile besleme hattı arasına daha ince bir mikroşerit hat eklenmiştir. Tasarlanan antenin prototip üretimi yapılarak S_{11} ve ışıma örüntüsü ölçümleri yapılmıştır. Ölçümlerden elde edilen sonuçlar ile benzetim sonuçları karşılaştırıldığında büyük oranda benzer oldukları görülmüştür.

Yapılan ikinci anten tasarımında, ilk antende olduğu gibi üçgen bir yama kullanılmıştır. Bu antende ilk antenden farklı olarak DP ışıma sağlanmıştır. Tasarlanan anten, 3.8-11.0 GHz empedans bant genişliğine sahip bir yapı olmuştur. $40.6 \times 40.9 \text{ mm}^2$ boyutlarındaki anten geometrisi, üst kısımda 18.53 mm kenar uzunluğuna sahip bir eşkenar üçgen

ışıyıcı yama, yamaya bağı çift mikroşerit hat besleme ve arka kısmında ise V şeklinde bir toprak kısımdan oluşmaktadır. Beslemeler arasında 90° faz farkı oluşturmak için iki besleme hattı arasında 12.8 mm uzunluk farkı eklenmiştir. Ayrıca, ilk yapıda olduğu gibi üçgen yama ile besleme hatları arasına empedans uyumunu artırmak için daha ince iletim hatları eklenmiştir.

Üçüncü çalışmada, CPW beslemeli yay şekilli kompakt bir monopol anten yapısı gerçekleştirilmiştir. Üretimi de gerçekleştirilen anten, 3.1-17.2 GHz'lik çalışma aralığı ile UGB'yi tam olarak kapsamaktadır. Toplam boyutları 16.8×28.4 mm² olan anten sistemi, ilk iki antenden daha küçük yapıda olmuştur. Tasarlanan antenin, küçük yapısının yanında benzetim ve ölçüm sonuçlarına göre üniform bir kazanç, iyi bir verimlilik ve çok yönlü bir örüntüye sahip olduğu görülmüştür.

Son olarak ise, tez çalışmasının temel hedefi olan, mikroşerit hat beslemeli G şekilli bir yama ve dikdörtgen bir toprak düzleminde oluşan UGB bir anten tasarımı yapılmıştır. Diğer antenlere göre daha küçük olan antenin toplam boyutları 8.0×27.5 mm²'dir. Üretimi de gerçekleştirilen bu anten, G şeklindeki yama kısmına eklenen PIN diyot anahtarlama ile C-bant uydu haberleşme standartlarının çalışma frekansı olan 4 GHz'de bant çentiği özelliği göstermiştir. PIN diyotun ileri beslemede olduğu ON-State durumunda 2.8-12.6 GHz frekans aralığında çalışan anten; PIN diyotun geri yönlü beslemede olduğu OFF-State durumunda ise 3.5-4.95 GHz frekans aralığında bant çentiği yapmıştır.

Tez çalışmasında yapılan tüm anten tasarımları, HyperLynx 3D EM 3 boyutlu benzetim programı ile gerçekleştirilmiştir. Antenlerin performanslarının değerlendirilmesinde; S₁₁, empedans bant genişliği, VSWR, ışımaya örüntüsü, yüzey akım dağılımı, kazanç ve verimlilik sonuçları göz önüne alınmıştır. Tasarım aşamasında kriterleri sağlayan anten yapıları, çift yüzü bakır kaplı, 1.6 mm kalınlığında ve 4.4 dielektrik sabitine sahip FR4 materyal üzerine LPKF ProtoMat H100 PCB makinesi kullanılarak prototiplenmiştir. Anten prototiplerinin S-parametresi ölçümleri, Keysight Technologies PNA 5224A network analizör cihazı kullanılarak yapılırken; kazanç ve ışımaya örüntüsü değerleri network analizöre entegre edilen EBTR0 EAMS1-18 döner tabla ile ölçülmüştür.

Sonuç olarak, sunulan tüm anten tasarımlarının UGB, yüksek verimlilik ve kazanç gibi ışımaya karakteristiğinin yanında küçük boyut ve gezgin terminallere yerleştirilebilme gibi

çok önemli fiziksel özelliklere sahip olduğu görülmüştür. Son anten yapısında tezin amacı olan küçük boyutlarda bant çentik anahtarlama UGB frekans ayarlanabilir bir mikroşerit anten yapısının gerçekleştirilmesinin literatüre önemli katkı sağlayacağı düşünülmüştür.

Bununla birlikte, anten sistemlerinin farklı anahtarlama ve farklı PCB malzemeler ile denenerek sonuçların karşılaştırılması gelecekte yapılabilecek çalışmalar olarak önerilmektedir.



6. KAYNAKLAR

- Abdollahvand, M., Dadashzadeh, G. ve Mostafa D., 2010. Compact Dual Band-Notched Printed Monopole Antenna for UWB Application. *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, 9(1), 1148-1151.
- Akbari, E.A., Azarmanesh, M.N. ve Soltani, S., 2013. Design of Miniaturised Band-Notch Ultra-Wideband Monopole-Slot Antenna by Modified Half-Mode Substrate-Integrated Waveguide. *IET Microwaves, Antennas and Propagation*, 7(1), 26-34.
- Alekseev, E., Hong, K., Pavlidis, D., Sawadai, D. ve Samelis, A., 1995. InGaAs/InP PIN diodes for Microwave and Millimeterwave Switching and Limiting Applications. *IEEE International Semiconductor Device Research Symposium Proceedings*, Virginia.
- ARIB, 2006. ARIB STD-T91: UWB (Ultra- Wideband) Radio Systems. *Association of Radio Industries and Businesses*.
- Azenui, N.C. ve Yang, H.Y., 2007. A Printed Crescent Patch Antenna for Ultrawideband Applications. *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, 6(1), 113-116.
- Badamchi, B., Nourinia, J., Ghobadi, C. ve Shahmirzadi, A., 2014. Design of Compact Reconfigurable Ultra-Wideband Slot Antenna with Switchable Single/Dual Band Notch Functions. *IET Microwaves, Antennas & Propagation*, 8(8), 541-548.
- Balanis, C.A., 2013. Anten Teorisi Analiz ve Tasarım. *Nobel Yayıncılık*, 1124 s, İstanbul.
- Balanis, C.A., 2008. Modern Antenna Handbook. *Wiley*, 1704 p, New York.
- Barton, M.L. ve Cendes, Z.J., 1987. New Vector Finite Elements for Three-Dimensional Magnetic Field. *Journal of Applied Physics*, 61(8), 3919-3921.
- Brown, R.E., 1998. RF-MEMS Switches for Reconfigurable Integrated Circuits. *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, 46(11), 1868-1880.
- Chang, K., 1994. Microwave Solid-State Circuits and Applications. *John Wiley & Sons*, 456 p, New York.
- Christodoulou, C.G., Tawk, Y., Lane, S.A. ve Scott, R.E., 2012. Reconfigurable Antennas for Wireless and Space Applications. *Proceedings of the IEEE*, 100(7), 2250-2261.

- Chung, K., Hong, S. ve Choi, J., 2007. Ultrawide-band Printed Monopole Antenna with Band-notch Filter. *IET Microwaves, Antennas & Propagation*, 1(2), 518-522.
- Constantine, J., 2009. Design, Optimization and Analysis of Reconfigurable Antennas. *Thesis of Doctorate, The University of New Mexico, New Mexico*.
- Constantine, J., Tawk, Y., Barbin, S. E. ve Christodoulou, C.G., 2015. Reconfigurable Antennas: Design and Applications. *Proceedings of the IEEE*, 103(3), 424-437.
- Courant, R., 1943. Variational Methods for the Solution of Problems of Equilibrium and Vibrations. *Bulletin of the American Mathematical Society*, 49(1), 1-23.
- Çakır, G., 2004. Gezgin İletişim Sistemleri İçin Hüzme Yönlendirmeli Mikroşerit Anten Tasarımı: Analitik Hesaplama, Bilgisayar Benzetimleri ve Ölçümleri. *Doktora Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli*.
- Dahele, J. ve Lee, K., 1985. Theory and Experiment on Microstrip Antennas with Airgaps. *IEEE Proceedings H - Microwaves, Antennas and Propagation*, 132(7), 455-460.
- DARPA, 1990. Assesment of Ultra Wideband (UWB) Technology. *Defense Advanced Research Projects Agency (DARPA), Virginia*.
- DARPA., 1999. Reconfigurable Aperture Antenna (RECAP). *Defense Advanced Research Projects Agency (DARPA), Virginia*.
- Deschamps, G.A., 1953. Microstrip microwave antennas. *Proceedings of 3th Symposium on USAF Antenna Research and Development. USA*.
- ECC., 2006. ECC Decision of 24 March 2006 on the Harmonised Conditions for Devices Using Ultra-Wideband (UWB) Technology in Bands Below 10.6 GHz. *CEPT - Electronic Communications Committee, Copenhagen*.
- Erdil, E., Topalli, K., Unlu, M., Civi, O.A. ve Akin, T., 2007. Frequency Tunable Microstrip Patch Antenna Using RF MEMS Technology. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 55(4), 1193-1196.
- Erfani, E., Nourinia, J., Ghobadi, C., Niroo-Jazi, M. ve Denidni, T.A., 2012. Design and Implementation of an Integrated UWB/Reconfigurable-Slot Antenna for Cognitive Radio Applications. *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, 11, 77-80.
- FCC, 2002. FCC First Report and Order on UWB Technology. *Federal Communications Commision, Washington DC*.
- Garg, R., Bhartia, P., Bahl, I. ve Ittipiboon, A., 2001. Microstrip Antenna Design Handbook. *Artech House*, 817 p, Boston.

- Gautam, A., Yadav, S. ve Kanaujia, B., 2013. A CPW-Fed Compact UWB Microstrip Antenna. *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, 12(1), 151-154.
- Godara, L.C., 2002. Handbook of Antennas in Wireless Communications. *CRC Press*, 936 p, New York.
- Gökalp, N., 2008. Beam Steerable Meanderline Antenna Using Varactor Diodes and Reconfigurable Antenna Designs by Mems Switches. *Yüksek Lisans Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara*.
- Guha, D. ve Antar, Y.M., 2010. Microstrip and Printed Antennas: New Trends, Techniques and Applications. *Wiley*, 504 p, New Jersey.
- Gutton, H. ve Baissinot, G., 1955. Flat aerial for ultra high frequencies. France, Patent No: 703113.
- Harrington, R.F., 1993. Field Computation by Moment Methods. *Wiley-IEEE Press*, 240 p, New York.
- Howell, J.Q., 1972. Microstrip Antennas. *International Symposium Antennas Propagation Society, Virginia*.
- Huang, Y., ve Boyle, K., 2008. Antennas: From Theory to Practice. *John Wiley & Sons*, 378 p., New York.
- Huff, G.H. ve Bernhard, J., 2006. Integration of Packaged RF MEMS Switches With Radiation Pattern Reconfigurable Square Spiral Microstrip Antennas. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 54(2), 464-469.
- Huff, G.H. ve Bernhard, J., 2008. Reconfigurable Antennas. Modern Antenna Handbook, Ed: C. A., Balanis. John Wiley & Sons, New York, 369-399.
- IEEE Std 145, 1983. IEEE Standard Definitions of Terms for Antennas. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, AP(31), 20.
- Jung, C.W., Lee, M.J., Li, G.P. ve Flaviis, F.D., 2006. Reconfigurable Scan-Beam Single-Arm Spiral Antenna Integrated With RF-MEMS Switches. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 54(2), 455-463.
- Kalteh, A.A., Dadashzadeh, G.R., Naser-Moghadasi, M. ve Virdee, B.S., 2012. Ultra-Wideband Circular Slot Antenna With Reconfigurable Notch Band Function. *IET Microwaves, Antennas ve Propagation*, 6(1), 108-112.
- Karamanoğlu, M., 2014. Oldukça Geniş Bandlı Düzlemsel Monopol Antenlerin Tasarımları. *Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul*.

- Khan, M.S., Capobianco, A.D., Naqvi, A., Shafique, M.F., Ijaz, B. ve Braaten, B.D., 2015. Compact Planar UWB MIMO Antenna with On-Demand WLAN Rejection. *Electronics Letters*, 51(13), 963-964.
- Kumar, G. ve Ray, K., 2003. Broadband Microstrip Antennas. *Artech House*, 451 p, Boston.
- Lewin, L., 1960. Radiation From Discontinuities in Strip-line. *Proceedings of the IEE - Part C: Monographs*, 107(12), 163-170.
- Lin, C.C., Kan, Y.C., Kuo, L.C. ve Chuang, H.R., 2005. A Planar Triangular Monopole Antenna for UWB Communication. *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, 15(10), 624-626.
- Liu, X., Yin, Y., Liu, P., Wang, J. ve Xu, B., 2013. A CPW-Fed Dual Band-Notched UWB Antenna with a Pair of Bended Dual-L-shape Parasitic Branches. *Progress In Electromagnetics Research*, 136, 623-634.
- Lo, Y. T., Solomon, D. ve Richards, W., 1979. Theory and Experiment on Microstrip Antennas. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 27(2), 137-145.
- Marconi, G., 1901. Apparatus for Wireless Telegraphy. USA, Patent No: US676332 A.
- Maxwell, J.C., 1865. A Dynamical Theory of the Electromagnetic Field. *Philosophical Transactions*, 155, 459-512.
- Munson, R.E., 1973. Single Slot Cavity Antenna Assembly. USA, Patent No: US 3713162 A.
- Munson, R.E., 1974. Conformal Microstrip Antennas and Microstrip Phased Arrays. *IEEE Transactions on Antennas Propagation*, 22(1), 74-78.
- Nekoogar, F., 2005. Ultra-wideband Communications: Fundamentals and Applications. *Prentice Hall*, 240 p, New Jersey.
- Nouri, A. ve Dadashzadeh, G., 2011. A Compact UWB Band-Notched Printed Monopole Antenna with Defected Ground Structure. *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, 10(1), 1178-1181.
- Pazin, L. ve Leviatan, Y., 2013. Reconfigurable Slot Antenna for Switchable Multiband Operation in a Wide Frequency Range. *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, 12, 329-332.
- Peroulis, D., Sarabandi, K. ve Katehi, L., 2001. A Planar VHF Reconfigurable Slot Antenna. *IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium*, Massachusetts.

- Ross, G., 1973. Transmission and Reception System for Generating and Receiving Base-Band Pulse Duration Pulse Signals without Distortion for Short Base-Band Communication System. USA, Patent No: US 3728632 A.
- Sadiku, M.N.O, 2001. Numerical Techniques in Electromagnetics. *CRC Press*, 760 p, New York.
- Sanford, G.G., 1974. Conformal Microstrip Phased Array for Aircraft Tests with AT-6. *Proceedings of National Electronic Conference*, Wisconsin.
- Sarkar, D., Srivastava, K.V. ve Saurav, K., 2014. A Compact Microstrip-Fed Triple Band-Notched UWB Monopole Antenna, *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, 13, 396-399.
- Schaubert, D., 1983. Frequency-Agile, Polarization Diverse Microstrip Antennas and Frequency Scanned Arrays. USA, Patent No: 4367474.
- Sevgi, L., 1999. Elektromanyetik Problemler ve Sayısal Yöntemler. *Birsen Yayınevi*, 213 s, İstanbul.
- Sharbati, V., Rezaei, P. ve Fakharian, M.M., 2016. A Planar UWB Antenna with Switchable Single/Double Band-Rejection Characteristics. *Radioengineering*, 25(3), 429-435.
- Shynu, S.V., 2006. Investigations on Reconfigurable Dual Frequency Microstrip Antennas Controlled by PIN Diodes and Varactors. *Doctorate Thesis, Cochin University of Science and Technology*, Cochin.
- Sim, C.Y.D., Chung, W.T. ve Lee, C.H., 2010. Compact Slot Antenna for UWB Applications. *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, 9(1), 63-66.
- Suh, S.Y., Stutzman, W.L. ve Davis W.A., 2004. A New Ultrawideband Printed Monopole Antenna: The Planar Inverted Cone Antenna (PICA). *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 52(5), 1361-1365.
- Taheri, M.M., Hassani, H.R. ve Nezhad, S.M., 2011. UWB Printed Slot Antenna with Bluetooth and Dual Notch Bands. *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, 10(1), 255-258.
- Tashvigh, V., 2015. Design of a New Ultra Wideband (UWB) Microstrip Antenna. *Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Toktaş, A., 2014. LTE, WiMAX ve WLAN İletişim Sistemleri için MIMO Anten Tasarımları ve Prototiplerinin Gerçekleştirilmesi. *Doktora Tezi, Mersin Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Mersin.

- Verbiest, J. ve Vandenbosch, G., 2006. Small-size Planar Triangular Monopole Antenna for UWB WBAN Applications. *Electronics Letters*, 42(10), 566-567.
- Volakis, J.L., Chatterjee, A. ve Kempel, L.C., 1998. Finite Element Method Electromagnetics: Antennas, Microwave Circuits, and Scattering Applications. *Wiley- IEEE Press*, 368 p, New Jersey.
- Wu, S.J. ve Ma, T.G., 2008. A Wideband Slotted Bow-Tie Antenna with Reconfigurable CPW-to-Slotline Transition for Pattern Diversity. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 56(2), 327-334.
- Yadav, A., Sethi, D., Kumar, S. ve Gurjar, S.L., 2015. L and U Slot Loaded UWB Microstrip Antenna: C-Band/WLAN Notched. *IEEE International Conference on Computational Intelligence & Communication Technology 2015*, Uttar Pradesh.
- Yee, K., 1966. Numerical Solution of Initial Boundary Value Problems Involving Maxwell's Equations in Isotropic Media. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 14(3), 302-307.
- Zheng, S.H., Liu, X. ve Tentzeris, M.M., 2014. Optically Controlled Reconfigurable Band-Notched UWB Antenna for Cognitive Radio Systems. *Electronics Letters*, 50(21), 1502-1504.
- Zhou, H., Sun, B., Liu, Q. ve Deng, J., 2008. Implementation and Investigation of U-shaped Aperture UWB Antenna with Dual Band-notched Characteristics. *Electronics Letters*, 44(24), 1387-1388.

7. ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı: Mehmet YERLİKAYA
Doğum Tarihi ve Yeri: 04.10.1986 / KONYA
Medeni Hali: Evli
e-mail: myerlikaya@kmu.edu.tr

Öğrenim Durumu

Derece	Alan	Üniversite	Yıl
Y. Lisans	İleri Teknolojiler Anabilim Dalı	Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi	-
Lisans	Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği	Yıldız Teknik Üniversitesi	2009

Projeler

Proje Türü	Görevi	Projenin Adı	Durumu
KMÜ-BAP Proje No:12-M-15	Araştırmacı	Gezgin Terminaller için Ayarlanabilir Mikroşerit Anten Tasarımı ve Prototipinin Gerçekleştirilmesi	Tamamlandı (2016)

Diğer İndeksler Tarafından Taranan Uluslararası Dergilerde Yayımlanan Makaleler

1. Toktas A., Yerlikaya M. ve Yigit E., 2016. Microstrip-fed Triangular UWB Microstrip Antenna Based on DGS. *International Journal of Applied Mathematics, Electronics and Computers (IJAMEC)*, Vol. 4(Special Issue), 43-47.

Uluslararası Bilimsel Toplantılarda Sunulan Bildiriler

1. Yerlikaya M. ve Toktaş A., 2015. Input and Output Matching Circuits Design for Low Noise Amplifiers by Using Tapered Microstrip Lines. *1st International*

Conference on Engineering and Natural Sciences (ICENS), 15–19 Mayıs 2015, Üsküp, MAKEDONYA.

2. Toktaş A. ve Yerlikaya M., 2016. A Coplanar Waveguide-Fed Ultra-Wideband Printed Antenna. *1st International Conference on Engeneering Technology and Applied Sciences (ICETAS)*, 21-22 Nisan 2016, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyon, TÜRKİYE.
3. Toktaş A., Yerlikaya M. ve Yiğit E., 2016. Design of an Ultra-Wideband Triangular Monopole Printed Antenna. *1st International Conference on Engeneering Technology and Applied Sciences (ICETAS)*, 21-22 Nisan 2016, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyon, TÜRKİYE.
4. Toktaş A., Yerlikaya M. ve Yiğit E., 2016. Defected Ground Structure-based Ultrawideband Triangular Patch Antenna. *3rd International Conference on Advanced Technology & Sciences (ICAT16)*, 01-03 Eylül 2016, Selçuk Üniversitesi, Konya, TÜRKİYE.
5. Toktaş A. ve Yerlikaya M., 2016. Low Profile Reconfigurable Ultra-wideband Monopole Patch Antenna. *4th International Symposium on Development of KOP Region (UNIKOP)*, 21-23 Ekim 2016, Karaman, TÜRKİYE.
6. Toktaş A. ve Yerlikaya M., 2016. Haberleşme Sistemleri İçin Dairesel Polarizasyonlu Ultra-geniş-bant Yama Anten Sistemi. *4th International Symposium on Development of KOP Region (UNIKOP)*, 21-23 Ekim 2016, Karaman, TÜRKİYE.
7. Toktaş A. ve Yerlikaya M., 2016. Compact Coplanar UWB Monopole Antenna with Arcshaped Tapered Apertures. *1st International Mediterranean Science and Engineering Congress (IMSEC)*, 26-28 Ekim 2016, Çukurova Üniversitesi, Adana, TÜRKİYE.