

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ



**KABLOSUZ HABERLEŞME UYGULAMALARI İÇİN FREKANSI
AYARLANABİLİR MİKROŞERİT ANTEN TASARIMI**

Erkam TOKGÖZ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ARALIK 2019

ANTALYA

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ



**KABLOSUZ HABERLEŞME UYGULAMALARI İÇİN FREKANSI
AYARLANABİLİR MİKROŞERİT ANTEN TASARIMI**

Erkam TOKGÖZ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ARALIK 2019

ANTALYA

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KABLOSUZ HABERLEŞME UYGULAMALARI İÇİN FREKANSI
AYARLANABİLİR MİKROŞERİT ANTEN TASARIMI

Erkam TOKGÖZ

ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

Bu tez 27/12/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği /Oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

Doç. Dr. S. Cumhur BAŞARAN (Danışman)

Prof. Dr. Selçuk HELHEL

Dr. Öğr. Üyesi Yusuf ÖZTÜRK



ÖZET

KABLOSUZ HABERLEŞME UYGULAMALARI İÇİN FREKANSI AYARLANABİLİR MİKROŞERİT ANTEN TASARIMI

Erkam TOKGÖZ

Yüksek Lisans Tezi, Elektrik Elektronik Müh. Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. S. Cumhur BAŞARAN

Aralık 2019; 47 sayfa

Bu çalışmada, kablosuz haberleşmenin farklı uygulama alanları için kıvrımlı yama elemanlarını temel alan monopol dört adet anten tasarımları gerçekleştirilmiştir. Bunun yanında kıvrımlı yama elemanları arasına elektronik anahtar kullanılarak frekansı yapılandırılabilir yeni anten tasarımı, üretimi ve elektromanyetik ölçümleri tez kapsamın da gerçekleştirilmiştir. Yapılan tasarımda temel ışıma elemanı olarak kıvrımlı şerit iletken yapıları kullanılmıştır. Söz konusu yapılar sayesinde uzun iletken yama elemanları kıvrımlı olarak küçük alanlara sığdırılabilmekte ve böylece elektriksel olarak küçük antenler elde edilebilmektedir. Bu tasarımda anahtar konumu açık ve kapalı iken iki ayrı frekans cevabı elde edilmiştir. Söz konusu antenler mikroşerit hat ile beslenmişlerdir. Antenin tasarım süreçleri ve parametrik çalışmaları sonlu elemanlar yöntemini baz alan Ansoft HFSS simülatörü ile yapılmıştır. Üretime geçmeden önce de CST programı ile doğrulanmıştır. Bu tasarımlardan bazılarının prototip üretimleride gerçekleştirilmiş olup geri dönüş kaybı ölçümleri yapılmış, simülasyon ve ölçüm sonuçları uyumlu olarak elde edilmiştir.

ANAHTAR KELİMELELER: Frekansı yapılandırılabilir anten, Geniş bant, Kıvrımlı mikroşerit yama, Monopol

JÜRİ: Doç. Dr. S. Cumhur BAŞARAN

Prof. Dr. Selçuk HELHEL

Dr. Öğr. Üyesi Yusuf ÖZTÜRK

ABSTRACT

FREQUENCY ADJUSTABLE MICROSTRIP ANTENNA DESIGN FOR WIRELESS COMMUNICATION APPLICATIONS

Erkam TOKGÖZ

M.Sc. Thesis, Department of Electrical and Electronic Engineering Supervisor:

Assoc. Prof. Dr. S. Cumhur BAŞARAN

December 2019; 47 pages

In this study, four monopole antenna designs based on me patch elements for different application areas of wireless communication have been realized. In addition to this, new antenna design, production and electromagnetic measurements which can be configured with electronic switch between the curved patch elements have been realized within the scope of the thesis. In the design, corrugated strip conductor structures are used as the basic radiating element. By means of these structures, the long conductive patch elements can be folded into small areas so that electrically small antennas can be obtained. In this design, two separate frequency responses are obtained when the switch position is on and off. The antennas are fed by microstrip line. The design processes and parametric studies of the antenna are carried out with Ansoft HFSS simulator based on finite element method. It was also validated with CST before production. Prototype production of some of these designs has been realized and return loss measurements have been made, simulation and measurement results have been obtained in harmony.

KEYWORDS: Frequency adjustable antenna, Wide band, Meandering microstrip patch, Monopol

COMMITTEE: Assoc. Prof. Dr. S. Cumhur BAŞARAN

Prof. Dr. Selçuk HELHEL

Ass. Prof. Dr. Yusuf ÖZTÜRK

ÖNSÖZ

Bu çalışmadan elde edilen sonuçların, kablosuz haberleşme sistemlerinde kullanılan mikroşerit anten tasarımlarının daha kompakt olmasını sağlayacağına ve ileriki aşamalarda ikiden fazla frekans ayarlamasında yapılacak olan çalışmalara vb. ürünlerin tasarımı ve üretimi konularında çalışan araştırmacılara ışık tutacağı düşünülmektedir.

Bu çalışmanın her aşamasında destek veren ve yardımlarını esirgemeyen kıymetli hocam Sayın Doç. Dr. S. Cumhur BAŞARAN'a (Akdeniz Üniversitesi Mühendislik Fakültesi) teşekkür ederim.

Ayrıca bu tez çalışmasının uygulamaları için Akdeniz Üniversitesi Endüstriyel ve Medikal Uygulamalar Mikrodalga Uygulama ve Araştırma Merkezi (EMUMAM) Laboratuvarları kullanılmıştır. Bundan dolayı EMUMAM Müdürlüğüne ve laboratuvar çalışmalarındaki katkılarından dolayı Arş. Grv. Atalay KOCAKUŞAK (Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü), ve antenin fiziksel üretiminde katkılarından dolayı Mühendis Ramazan GÜLCAN'a teşekkür ederim.

Son olarak her türlü zorlukta bana daima destek olan canım ailem Ebru, Kerim Emre ve Emin'e teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
ÖNSÖZ	iii
AKADEMİK BEYAN	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xi
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK TARAMASI	5
3. MATERYAL METOT.....	10
3.1. Mikroşerit Antenler	10
3.2. Mikroşerit Anten Çeşitleri.....	11
3.2.1. Mikroşerit yama antenler	11
3.2.2. Mikroşerit dipol antenler.....	12
3.2.3. Mikroşerit boşluklu antenler	13
3.2.4. Mikroşerit yürüyen dalga antenler	13
3.2.5. Halka antenler	14
3.2.6. Monopol antenler	15
3.3. Besleme Teknikleri.....	16
3.3.1. Mikroşerit besleme.....	16
3.3.2. Eş eksenli hat ile besleme	17
3.3.3. Yakınlık kuplajlı besleme	18
3.3.4. Boşluk kuplajlı besleme	19
3.3.5. Dc besleme yöntemleri.....	20
3.4. Mikroşerit, Antenlerin Üstünlük ve Dezavantajları	21
3.5. Kıvrımlı Yama Frekansı Ayarlanabilir Antenler.....	22
3.5.1. PIN diyot yöntemi	23
3.6. Frekansı Yeniden Ayarlanabilir Mikroşerit Anten Tasarımı.....	25
3.7. Kıvrımlı Yama Çift Bant Mikroşerit Anten Tasarımları.....	26
3.7.1. Kıvrımlı yama anten tasarımı 1	26
3.7.2. Kıvrımlı yama anten tasarımı 2.....	28
3.7.3. Kıvrımlı yama anten tasarımı 3.....	31
3.7.4. Kıvrımlı yama anten tasarımı 4.....	32
3.8. Optimizasyonları Tamamlanan Frekansı Yeniden Ayarlanabilir Kıvrımlı	

Yama Mikroşerit Anten.....	35
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	39
4.1. Optimizasyonları Tamamlanan Kıvrımlı Yama Geniş Bant Mikroşerit Antenin Üretimi ve Ölçüm Sonuçları.....	39
5. SONUÇLAR	42
KAYNAKLAR	45
ÖZGEÇMİŞ	



AKADEMİK BEYAN

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Kablosuz Haberleşme Uygulamaları İçin Frekansı Ayarlanabilir Mikroşerit Anten Tasarımı” adlı bu çalışmanın, akademik kurallar ve etik değerlere uygun olarak yazıldığını belirtir, bu tez çalışmasında bana ait olmayan tüm bilgilerin kaynağını gösterdiğimi beyan ederim.

27 / 12 /2019

Erkam Tokgöz



SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

ϵ_{rs}	:Anten taban malzemesinin bağıl dielektrik sabiti
ϵ_{ra}	:Yutucu bölge bağıl dielektrik sabiti
ϵ_{rs1}	:Birinci katmak taban malzemenin bağıl dielektrik sabiti
ϵ_{rs2}	:İkinci katmak taban malzemenin bağıl dielektrik sabiti
λ_0	:Boşluktaki dalga boyu
μ_{ra}	:Anten taban malzemesinin bağıl manyetik geçirgenliği
μ_{rs}	:Yutucu bölge bağıl manyetik geçirgenliği
S_{11}	:Yansımaya katsayısı
$\mathbf{E}$	:Elektrik alan vektörü
f	:Kaynak fonksiyonu
f_1	:Mikroşerit besleme hattının birinci aşamasının uzunluğu
f_2	:Mikroşerit besleme hattının ikinci aşamasının uzunluğu
f_3	:Mikroşerit besleme hattının üçüncü aşamasının uzunluğu
g	:İç içe olan halkalar arası mesafe
h	:Taban malzemenin kalınlığı
k_0	:Yayıma sabiti
L	:Yama uzunluğu
l	:Girinti uzunluğu
r	:Rezidü
t_a	:Yutucu bölgenin kalınlığı
$\mathbf{W}$	:Vektör baz fonksiyonu
W	:Yama Genişliği
d_1	:PIN diyot boyu
d_2	:PIN diyot eni
Z_0	:Boşluğun empedansı

Kısaltmalar

ABC	:Absorbing Boundary Condition
DCS	:Digital Communication Systems
FEM	:Finite Element Method
FDTD	:Finite Difference Time Domain
FE-BI	:Finite Element – Boundary Integral
FEMAS	:Finite Element Microstrip Antenna Simulator
GSM	:Global Systems for Mobile Communication
HFSS	:High Frequency Structure Simulator
PCS	:Personal Communication Systems
SRMA	:Split-Ring Monopole Antenna
TLM	:Transmission Line Matrix Method
MoM	:Method of Moments
PML	:Perfectly Matched Layer
UMTS	:Universal Mobile Telecommunication Systems
WLAN	:Wireless Local Area Network

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Kablosuz haberleşme kullanım alanları.....	2
Şekil 1.2. a) Tasarımı yapılan geniş bant mikroşerit monopol anten. b) Frekansı yeniden yapılandırılabilir mikroşerit monopol anten (W=26mm, L=40mm)	3
Şekil 2.1. Çoklu bant anten geometrisi (Hattan, Abutarboush ve Cheung 2010).....	7
Şekil 2.2. FET ile Tasarlanan frekansı yeniden ayarlanabilir antenin görünüşleri.....	8
Şekil 2.3. FET ile Tasarlanan frekansı yeniden ayarlanabilir antenin S_{11} cevabı.....	8
Şekil 2.4. Antenin diyotların kapalı, açık konumlarına göre geometrileri (Badamchi 2015).....	9
Şekil 2.5. Diyotların konumuna göre duran dalga voltaj grafikleridir.....	9
Şekil 3.1. Geleneksel dikdörtgen yama mikroşerit anten yapısı.....	10
Şekil 3.2. Mikroşerit yama anten tipleri	12
Şekil 3.3. Merkez beslemeli tipik bir mikroşerit dipol anten.....	13
Şekil 3.4. Mikroşerit boşluklu anten (Wang Maowen 2014).....	13
Şekil 3.5. Mikroşerit yürüyen dalga anten modelleri (Bhartia 2001)	14
Şekil 3.6. Mikroşerit halka yapılı anten modeli (Caetano 2016)	15
Şekil 3.7. Monopol yapılı anten modeli (microwavetools 2012).....	15
Şekil 3.8. Mikroşerit hatlı besleme	16
Şekil 3.9. Empedans uygunlaştırma yöntemleri; (a) girintili besleme, (b) kuplaj besleme.....	17
Şekil 3.10. Mikroşerit hat ile besleme(a) İletim hattı eşdeğer modeli(b).....	17
Şekil 3.11. Eş eksenli hat ile beslenmiş mikroşerit anten	18
Şekil 3.12. Yakınlık kuplaj beslemeli mikroşerit anten.....	19
Şekil 3.13. Boşluk kuplajlı beslemeli mikroşerit anten	19
Şekil 3.14. Dc besleme uygulamaları (Balanis 1997)	21

Şekil 3.15. Referans alınan mikroşerit antenin ön ve arka görünüşü (Başaran ve Erdemli 2007).....	23
Şekil 3.16. HPND-4028 diyotunun eşdeğer devre modeli.	24
Şekil 3.17. Bias Tee'nin alt, üst, perspektif görünüşü ve iç yapısı (Digikey 2016)	25
Şekil 3.18. Eş düzlemsel beslemelemeli mikroşerit anten tasarımı.....	27
Şekil 3.19. Eş düzlemsel beslemeli mikroşerit antenin geri dönüş kaybı.....	28
Şekil 3.20. Eş düzlemsel beslemeli mikroşerit antenin Merkez frekansdaki ışıma örüntüsü.....	28
Şekil 3.21. Çift bant kıvrımlı yama mikroşerit anten tasarımı 2.....	29
Şekil 3.22. Çift bant kıvrımlı yama mikroşerit anten 2'nin geri-dönüş kaybı (S ₁₁) karakteristiği.....	30
Şekil 3.23. Çift bant kıvrımlı yama mikroşerit antenin merkez frekansdaki ışıma örüntüsü.....	30
Şekil 3.24. Kıvrımlı yama çoklu bant antende yama optimizasyonu yapılmış anten geometrisi	31
Şekil 3.25. Kıvrımlı yama çoklu bant anten 3'ün geri-dönüş kaybı (S ₁₁) karakteristiği	32
Şekil 3.26. Kıvrımlı yama çoklu bant antenin ışıma örüntüsü.....	32
Şekil 3.27. Kıvrımlı yama geniş bant mikroşerit anten tasarımı 4.....	33
Şekil 3.28. Kıvrımlı yama geniş bant mikroşerit antenin ışıma örüntüsü.....	34
Şekil 3.29. Kıvrımlı yama geniş bant mikroşerit anten 4'ün geri-dönüş kaybı (S ₁₁) karakteristiği.....	34
Şekil 3.30. Kıvrımlı yama mikroşerit anten 4'ün geri-dönüş kaybı (S ₁₁) karakteristiği HFSS ve CST ölçümleri.....	35
Şekil 3.31. Frekansı yapılandırılabilir kıvrımlı yama mikroşerit anten	36
Şekil 3.32. Anahtar açık konumdaki geri-dönüş kaybı (S ₁₁) karakteristiği.....	37
Şekil 3.33. Anahtar kapalı konumda iken bilgisayar simülatörü tarafından elde	

edilen geri-dönüş kaybı (S_{11}) karakteristiği.....	37
Şekil 3.34. Frekansı yapılandırılabilir kıvrımlı yama mikroşerit antenin ışıma örüntüsü	
a) f:2.4 GHz, b) f:2.6 GHz, c) f:2.8 GHz, d) f:3.5 GHz	38
Şekil 3.35. Frekansı yeniden ayarlanabilir antenin üç boyutlu kazancı.....	38
Şekil 4.1. Üretilen kıvrımlı yama geniş bant mikroşerit anten	39
Şekil 4.2. üretilen kıvrımlı yama geniş bant antenin geri-dönüş kaybı (S_{11})	
karakteristiği simülasyon ve ölçüm sonuçları	40
Şekil 4.3. Frekansı yeniden yapılandırılabilir kıvrımlı yama mikroşerit anten	40
Şekil 4.4. Frekansı yeniden ayarlanabilir kıvrımlı yama mikroşerit antenin diyot açık	
ve kapalı durumdaki geri-dönüş kaybı (S_{11}) karakteristiği	41
Şekil 4.5. Frekansı yeniden yapılandırılabilir antenin kazancı	41
Şekil 5.1. Frekansı yeniden yapılandırılabilir anten prototipi.....	42

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1. Mikroşerit yama antenlerde değişik besleme tekniklerinin karşılaştırılması	20
Çizelge 3.2. Eşdeğer devre parametrelerinin değerleri.	24
Çizelge 3.3. Bias Tee çalışma değerleri.....	25
Çizelge 3.4. Eş düzlemsel beslemeli mikroşerit anten tasarımının ölçüleri	27
Çizelge 3.5. Çift bant kıvrımlı yama mikroşerit antenin ölçüleri	29
Çizelge 3.6. Frekansı yeniden yapılandırılabilir mikroşerit yama antenin ölçüleri.....	36
Çizelge 5.1. Kıvrımlı yama mikroşerit anten anten tasarımları	43

1. GİRİŞ

Mikroşerit yapıların anten olarak kullanılabileceği fikri ilk olarak Deschamps tarafından ortaya atılmıştır (Deschamps 1953). Bu konudaki ilk patent 1955 yılında (Gutton ve Baissinnot 1955) alınmış olmasına rağmen yaklaşık 20 yıl boyunca pratik bir anten üretilenmemiştir. Düşük kayıplı, mekanik ve ısı açıdan uygun dielektrik taban malzemelerinin geliştirilmesiyle 1970'li yılların başında Munson (Munson 1974) ve Howell (Howell 1975) tarafından ilk mikroşerit antenler gerçekleştirilmiştir. Üretilen bu antenler ince ve yüzeye uyumlu olacak şekilde tasarlanmış, uzay mekikleri ve füzelerde kullanılmışlardır.

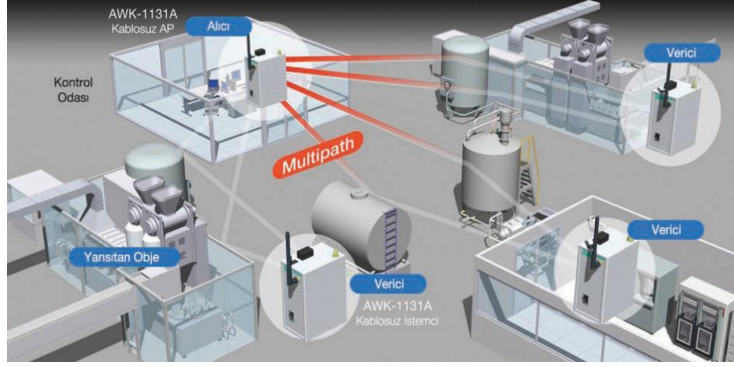
Diğer mikrodalga antenlere olan üstünlükleri nedeniyle araştırmacıların ilgi odağı haline gelen mikroşerit antenler, bugüne kadar çok büyük aşamalar kaydetmişlerdir. Az hacim kaplamaları, üretiminin kolay olması, fazla maliyet gerektirmemesi, ikili frekans ve polarizasyon özelliklerine sahip olması gibi avantajlarından dolayı tasarlandığı ilk yıllarda güdümlü füzeler, roketler, uydular gibi sadece askeri uygulamalarda kullanılan mikroşerit antenler, günümüzde kablosuz haberleşmenin hemen hemen her alanında kullanılmaktadırlar.

Ses, görüntü ve veri bilgisinin elektromanyetik olarak hızlı ve güvenli şekilde taşındığı kablosuz iletişim sistemleri uygulama alanlarına ve frekans bantlarına bağlı olarak çeşitlilik göstermektedir. GSM (Global Systems for Mobile Communication), DCS (Digital Communication Systems), PCS (Personal Communication Systems), UMTS (Universal Mobile Telecommunication Systems) ve WLAN (Wireless Local Area Network) kablosuz haberleşmenin başlıca uygulama alanlarındandır. Bu uygulamalarda kullanılan cep telefonu, dizüstü bilgisayar ve kablosuz modem gibi taşınabilir cihazlardaki çeşitliliğin artması, ilgili cihazlara adapte edilebilecek boyutlardaki fonksiyonel antenlerin tasarımını zorunlu hale getirmiştir. Ayrıca IEEE standartları uyarınca çeşitli frekans bantlarında gerçekleşen kablosuz haberleşme uygulamalarının tek bir anten elemanı ile sağlanabilmesi ancak ilgili antenin çoklu bant performans göstermesi veya frekansının yapılandırılması ile mümkün olabilmektedir. Küçük hacimli olmaları ve üretimlerinin kolay olması sebebiyle, mikroşerit antenler, kablosuz haberleşme uygulamalarında özellikle tercih edilmektedirler (Wong ve Tseng 2006).

Uygulama alanları gün geçtikçe artmasına rağmen bu uygulama alanları

- Askeri uygulama alanları
- Çevresel bilgilerin izlenmesi
- Sağlık
- Ev uygulamaları
- Endüstriyel uygulamalar

olmak üzere beş kategoride incelenebilir (Balık 2008).



Şekil 1.1. Kablosuz haberleşme kullanım alanları

Bu tez çalışmasında, kablosuz haberleşmenin değişik uygulamalarında kullanılmak üzere, kıvrımlı yama elemanlarını temel alan geniş bant ve çift bant performans sergileyebilen yeni monopol anten tasarımları gerçekleştirilmiştir.

Kıvrımlı yama yapıları elektriksel olarak küçük anten tasarımlarında kullanılmıştır. (Misman, ve diğerleri 2011)

Bunun yanında, kıvrımlı yama elemanları arasında optimum konumda yerleştirilen ve elektronik aç/kapa anahtarı görevi yapan bir metalik yama vasıtasıyla frekansı yapılandırılabilir bir anten tasarımı da gerçekleştirilmiştir. Pratik uygulamalarda elektronik aç/kapa anahtarı olarak RF PIN diyodu, RF MEMS veya FET elemanları kullanılmaktadır. Yapılandırılabilir anten tasarımları incelendiğinde maliyetlerinin düşük olması, yeterince hızlı olmaları ve antenlere olan entegrasyonlarının kolay olması gibi nedenler ile PIN diyodlarının özellikle tercih edildiği görülmektedir.

Bu tez çalışmasında önerilen özgün anten tasarımları (Şekil 1.2), ele alınmaktadır. İlgili antenlerde taban malzemesinin bir yüzeyi iki parça ve yarım halde toprak düzlemini oluştururken, ışıma yapan ön yüzeyinde kıvrımlı yama elemanları ve bu elemanların arasına yerleştirilen yamalar bulunmaktadır. Anten mikroşerit besleme diye tabir edilen antenin en alt kısmından ortalanacak şekilde akım probu ile beslenmektedir. Önerilen antenlerin hepsi 50 Ohm sistem empedansına uyumlu olması nedeniyle herhangi bir empedans uygunlaştırıcı elemanına ihtiyaç duyulmamaktadır.

Şekil.1.2(a)'da gösterilen frekansı yeniden ayarlanabilir mikroşerit antenin üst görünüşüdür. Diyot açık konumda iken 2400-2680 MHz frekanslarında WLAN bant aralığı elde edilmiştir. Diyot kapalı konumda ise 2550-3850 MHz frekanslarında WIMAX bant aralığının ikiside geniş bant şeklinde elde edilmiştir.

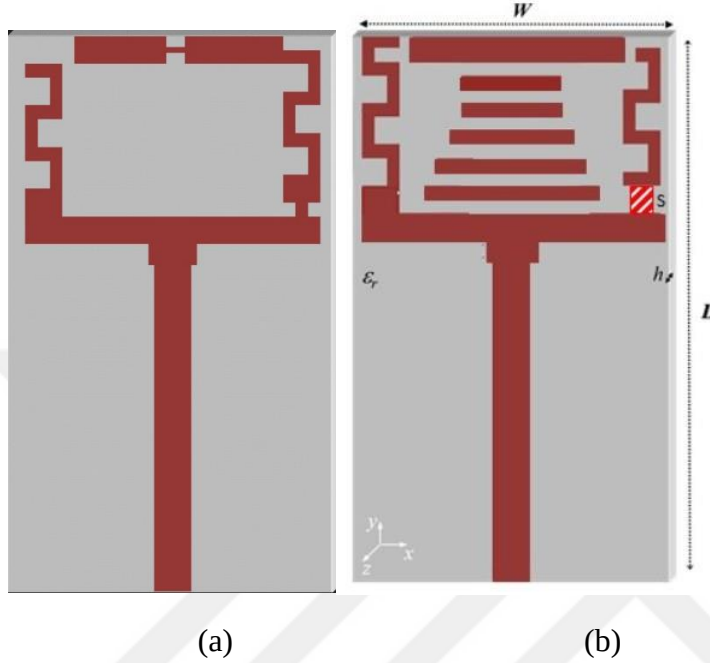
Bu çalışmadaki ilk anten tasarımı olan WLAN ve WIMAX bant aralıklarını kapsayan geniş bant anten ile frekansı yeniden ayarlanabilir anten tasarımlarında kullanılabileceği belirlenmiş, dolayısıyla frekansı yeniden ayarlanabilir anten tasarımlarına da temel teşkil etmiştir. Ayrıca ilgili anten, gerçekleştirdiğimiz mikroşerit anten simülatörünün doğruluk derecesinin test edilmesi için kullanılmıştır.

Şekil 1.2(a) frekansı yeniden ayarlanabilir antene en yakın olan geniş bant mikroşerit yama antenin üstten görünüşü verilmiştir. Şekil 1.2(b) de de şekil 1.2(a) da ki geniş bant antenden hareketle tasarımı gerçekleştirilen frekansı yeniden yapılandırılabilir monopol mikroşerit yama antenin üstten görünüşü verilmiştir.

Şekil 1.2(b) de metalik ped yerleştirilerek dinamik olarak frekans cevabı

değiştirilebilmektedir.

Bu özellikleriyle önerilen antenler IEEE 802.11a/b standartları uyarınca WLAN uygulamaları için tahsis edilmiş olan frekans bantlarını kullanmaktadırlar. Boyutları oldukça küçük(26x40mm) olan antende rezonans frekanslarında ışıma karakteristikleri oldukça düzgündür.



Şekil 1.2. a) Tasarımı yapılan geniş bant mikroşerit monopol anten. **b)** Frekansı yeniden yapılandırılabilir mikroşerit monopol anten ($W=26\text{mm}$, $L=40\text{mm}$)

Bu tez çalışmasında önerilerin antenlerin tasarım ve analizleri farklı sayısal yöntemleri temel alan Ansoft HFSS ve CST Microwave Studio benzetim yazılımları aracılığıyla gerçekleştirilmiştir. Tarih boyunca mikroşerit antenlerin analizlerine yönelik çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Genel olarak en çok kullanılan yöntemler, iletim hat modeli (Peus ve Van de Capelle 1984), boşluk modeli (Lo, Solomon ve Richards 1979) ve tam dalga analiz modelidir. Kare ve dikdörtgen yapıların analizinde kullanılabilen iletim hat modelinde, anten parametrelerine ampirik formüllerle ulaşıldığından dolayı özellikle yüksek frekanslarda güvenilir sonuçlar elde edilememektedir. (Lo, Solomon ve Richards 1979) tarafından geliştirilen boşluk modeli pek çok geometrik yapıya uygulanabilmekle birlikte, dielektrik taban malzemesinin kalınlığının dalga boyundan daha büyük olduğu durumlarda sağlıklı sonuçlar vermemektedir. İletim hattı ve boşluk modelleriyle yapılan analizlerde ancak belirli şartlar altında hassas sonuçlar elde edilebildiğinden, 1970’li yıllarda mikroşerit tam dalga analiz modelleri geliştirilmiştir.

İlk olarak Itoh ve Menzel tarafından tam dalga analizleri yapılan mikroşerit antenler (Itoh ve Menzel 1981), sayısal elektromanyetik konusundaki gelişmelere paralel olarak günümüzde pek çok farklı yöntemle analiz edilebilmektedir. Mikroşerit antenlerin analizlerinde kullanılan başlıca yöntemler diferansiyel denklem ve entegral denklem temelli olmak üzere iki grupta ele alınabilir. FEM (Finite Element Method), FDTD (Finite Difference Time Domain), ve TLM (Transmission Line Matrix Method) diferansiyel

denklem temelli metotlar, MoM (Method of Moments) ise entegral denklem temelli sayısal bir yöntemdir (Sadıku 1992). Hangi sayısal yöntem ya da çözüm tekniğinin kullanılacağını belirleyen pek çok faktör olmakla birlikte en temel kriterler, problemin karmaşıklığı ve depolamak için gerekli hafıza miktarıdır.

Diferansiyel formdaki Maxwell denklemlerinin çözümü esasına dayalı olan FEM ve FDTD yöntemlerinde oluşan katsayılar matrisi büyük ve seyrek yapıdadır. MOM metodu ise Integral formdaki Maxwell denklemlerinin çözümü esasına dayalı olup, çözüm aşamasında küçük ve yoğun matrislerle karşılaşmaktadır. FEM ve FDTD yöntemleri homojen, homojen olmayan ve anizotropik yapıların modellenmesini gerçekleştirebilirken, bölgesel modelleme imkânı sayesinde ani ve keskin değişimler de tanımlanabilmektedir. MoM metodunda ise genel modelleme yapıldığından sadece düz geometrilerde iyi sonuçlar alınabilmektedir. Ayrıca diferansiyel denklemlerin ayrıklaştırılmasının kolay olması, FEM ve FDTD tabanlı kod üretimlerini teşvik etmektedir (Uğurlu 2007).

Tez çalışması Giriş bölümüyle birlikte altı bölümden oluşmaktadır ve aşağıdaki şekilde organize edilmiştir.

Bölüm 2’de; kuramsal bilgiler ve kaynak taraması verilmekte, literatürdeki çalışmalar incelendi.

Bölüm 3’te; mikroşerit antenler hakkında genel bilgiler verilmekte, mikroşerit anten çeşitleri ve besleme teknikleri verildi.

Bölüm 4’te; önerilen antenin tasarımındaki material metot ve izlenilen yollar, her birine ait tasarım aşamaları verildi.

Bölüm 5’te; elde edilen bulgular özetlenerek, gelecekte yapılabilecek çalışmalar konusundaki görüş ve öneriler paylaşıldı.

Bölüm 6’da; elde edilen sonuçlar özetlenerek, gelecekte yapılabilecek çalışmalar konusundaki görüş ve öneriler tartışıldı.

2. KAYNAK TARAMASI

Gelişen teknoloji ve haberleşme cihazlarının kullanımının artması ve bu cihazlardaki kablosuz haberleşmede kullanılan anten sayılarını da arttırmıştır. Antenler taşınabilir cihazlarda fiziksel olarak daha çok yer kaplamıştır. Yapılan bu ve benzeri çalışmalarda amaç fiziksel olarak tek anten kullanmak ve bu tek anten üzerinden anahtarlama yardımıyla birden çok frekans cevabı elde etmektir. Böylece antenlerin elektriksel olarak küçültülmüş olacaktır. Sonuç olarakda bir anten birden fazla haberleşme frekansında kullanılabilecektir.

Literatüre bakıldığında anahtarlama yardımıyla frekansı yeniden yapılandırılabilen çalışmalar son yıllarda hız kazanmıştır. Bunun başlıca sebepleri tasarlanan antenin fiziksel olarak daha az yer kaplaması ve elektriksel olarak küçük olmasıdır. Böylece küçülen cihazlar daha işlevsel olmaktadır.

Kıvrımlı yama mikroşerit antenler ile alakalı literatürde birçok çalışma mevcuttur.

Bu çalışmalardan bir tanesi yeniden yapılandırılabilir çok girişli çoklu çıkış (MIMO) düzlemsel devrilmiş-F antenidir (PIFA). Üç farklı WiMAX bantları için sunulmuştur: 2,3-2,4 GHz, 2,5-2,7 GHz ve 3,4-3,6 GHz. Düşük karşılıklı kuplajı, yani yüksek izolasyonu sağlamak için, yeniden yapılandırılabilir anten arasında zemin düzleminde yarık çizgisi kullanılır. Yuva uzunluğunu elektriksel olarak kontrol etmek için yuva hattına uygun şekilde iki adet PIN-diyot bulunur. Yeniden yapılandırılabilir antenler için hem PIN diyotu hem de yeniden yapılandırılabilir yalıtım yuvasını ayarlanır. Önerilen anten aynı anda üç çalışma bandı için çalışma frekansı ve izolasyonun yeniden yapılandırılabilirliğini elde eder. Üç çalışma modu için optimize edilmiş alan uzunluklarını araştırmak için bir parametrik analiz gerçekleştirilir. Simüle edilen sonuçların tümü ölçümlerle kontrol edilir (Lim, ve diğerleri 2012). Buna benzer çalışmalar (Fakharian, Rezaei ve Orouji 2010) literatürde sıklıkla bulunmaktadır (Costantine, ve diğerleri 2015), (Yang, Lin ve Kong 2015).

Başka bir çalışmada frekans yeniden yapılandırılabilir çok girişli çoklu çıkış (MIMO) anten sunulmaktadır. Önerilen MIMO anteni, birleştirilmiş iletkenlere sahip iki yeniden yapılandırılabilir basılı monopole anten ve iki anten arasında yer alan bir izolasyon yapısı içermektedir. Çalışma frekansını değiştirmek için antenlere PIN-diyotlar yerleştirilmiştir. PIN diyodunun açık / kapalı durumuna göre, rezonans frekansı WLAN bandı (2400 - 2483 ve 5150 - 5350 MHz) ve m-WiMAX bandı (3400 - 3600 MHz). Simülasyon ve ölçüm sonuçları anten performansının yeterli olduğunu gösterir. 2,4 GHz'de 3,81 dBi, 5,2 GHz'de 1,87 dBi ve 3,5 GHz'de 5,15 dB'lik zirve kazanımları bulundu. Radyasyon efektleri tüm çalışma frekansı bantlarından% 58,85 daha fazladır. Bu değerler MIMO anten sistemlerinde kullanım için uygundur (Jin, Lim ve Yun 2012). Buna benzer çalışmalar (Yang, ve diğerleri 2014), (Kang ve Lim 2014) literatürde sıklıkla bulunmaktadır (Lotfi, Azarmanesh ve Soltani 2013), (Jin, Lim ve Yun 2012).

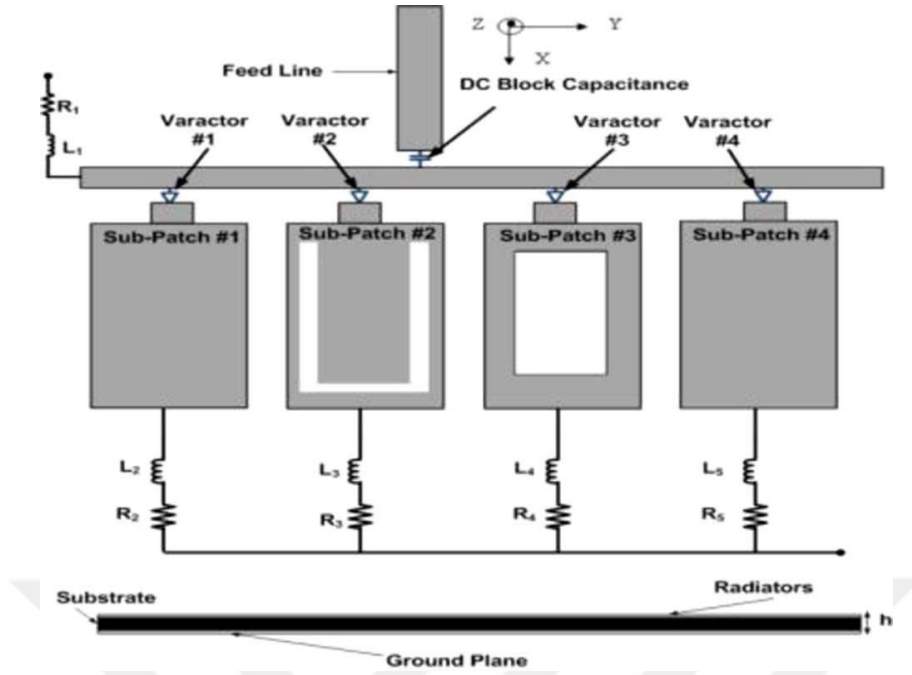
Başka bir çalışmada 14-16 mm boyutlu, kompakt, yeniden yapılandırılabilir, asimetric coplanar şerit (ACS) beslemeli monopole anten tasarlanmıştır. 3,2 ile 11 GHz arası geniş bantta (UWB) frekansta çalışabilen bir tamamlayıcı yeniden yapılandırılabilir performansa sahiptir. 3,3-4,2 ve 5-6 GHz'lik iki durdurma bandı ve 2,4-2,9, 3,6-4,4 ve 5-6 GHz'lik üçlü WLAN frekans bantları sunulmuştur. UWB anteni, katlanmış şekil boşluğu ve bu boşluklar içinde farklı geometriler ve basit bir düzleştirme yaması kullanır.

Mobil anten, yay şekilli saplama ve ters T şeklindeki saplamayı rezonant elemanlar olarak kullanır. Performans durumu ve yeniden yapılandırılabilirlik kabiliyetini yuvarlak bir dönme hareketi ile elde edilir. Antenin arkasındaki basit bir saat adım motoru, yamanın dönen kısmını kontrol etmek ve rezonant elemanları etkinleştirmek için kullanılır. Simülasyon sırasında sürüş motoru etkisi düşünüldü. Simüle edilmiş ve ölçülen anten özellikleri arasında iyi bir uyum görülmüştür (Parisa, Azarmanesh ve Soltani 2013).

Benzer bir çalışmada yeni, elektriksel olarak küçük, çift bantlı, yeniden yapılandırılabilir bir anten önerilmektedir. Kompakt bir alt katmanlı entegre dalga kılavuzu yapısı kullanılarak, kompakt bir anten tasarlandı. Bu anten ek olarak elektrikle küçük bir tamamlayıcı bölme halka rezonatör (CSRR) yapısı yükleyerek çift bantlı çalışmaya elverişli hale getirildi. Bu yapılar 1,575 GHz bant genişliklerinde yeterince uygun sonuçlar vermiştir. [global positioning system (GPS)] ve 2,4 GHz [kablosuz yerel ağ (WLAN)]. Dar bir bant genişliği elde etmek ve rezonant frekansın 2,4 GHz ile 2,5 GHz arasında sürekli değişmesini sağlamak için CSRR'yi bir varaktör diyot ile yüklendi. Böylece, WLAN standartlarına göre kullanılan bir kanal seçme fonksiyonunu gerçekleştirildi. Varaktör diyodu gerilimi değişse bile antenin rezonant frekansı değişmez, böylece anten farklı voltajlarda bile GPS bant genişliğinde sabit bir frekans korur. Sonuç olarak, DC öngerilim gerilimi 11,4 V'den 30 V'a değiştiğinden, WLAN bant genişliğinde rezonant frekans 2,38 GHz ile 2,5 GHz arasında sürekli değişir. Simüle edilen ve ölçülen s-parametre değerlerinin ve ışıma patern modellerinin birbirleriyle iyi bir uyumlu oldukları görüldü (Kang ve Lim 2014).

Başka bir çalışmada bu tez çalışmasına benzer bir yaklaşım koyulmakla beraber, anahtarlama olarak varaktör diyot kullanılmış, antenin yama geometrileri sadece mevcut yapı üzerinden değiştirilmiştir. Yani basit anahtarlama mantığı gözetilerek frekans değişimi izlenmiştir.

Şekil 2.1.'de ki çalışmada bağımsız ayarlamalı ve kompakt baskılı çoklu antenin kablosuz haberleşme sistemlerinde kullanılmak üzere frekansının yeniden yapılandırılması yapılmıştır (Hattan, Abutarboush ve Cheung 2010).



Şekil 2.1. Çoklu bant anten geometrisi (Hattan, Abutarboush ve Cheung 2010)

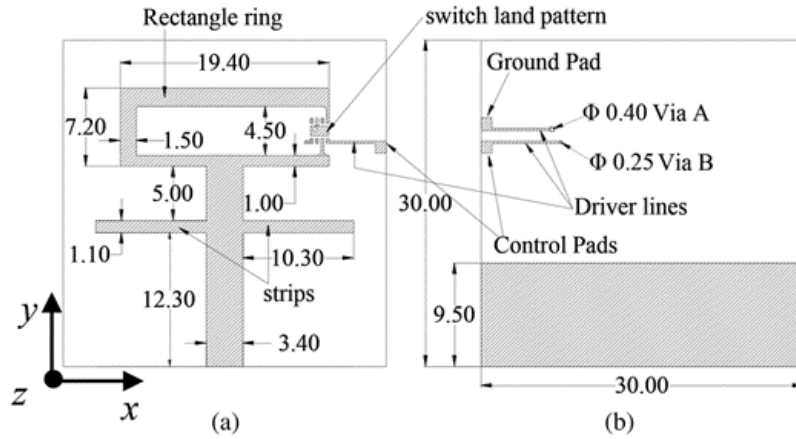
Bu çalışmada ana besleme dışında dört küçük besleme vardır. Yapı bu haliyle ağaç gövdesini andırmaktadır. Bir ana besleme, bu ana beslemeye bağlı dört besleme ve dört farklı anten geometrisi. Dört antenin olduğu beslemelerin önüne varaktör diyot koyularak anahtarlama yapılmak suretiyle birbirinden farklı dört anten elde edilmiştir. Anahtarlama ile 920 MHz ile 2990 MHz frekansları arasında değerler elde edilir. Sonuç olarak frekansı yeniden ayarlanmış anten ortaya çıkmasına karşın, elektriksel olarak küçük bir yapı meydana gelmemiştir. Çünkü her anahtarlama yama anten gurupları bağımsız kalmış ve hiçbir şekilde aralarında bağlantı olmamıştır.

Kıvrımlı yama miktoşerit antenlerde frekans ayarlaması yapabilmek için kullanılan anahtarlama elemanları PIN diyot, FET ve RFMEMS'dir. Bu bölümde RFMEMS ve FET'den kısaca bahsedilecek, PIN diyot ise material ve metot bölümünde anlatılacaktır.

RFMEMS anahtarlar, genellikle aralarına voltaj uygulanan iki metal plakanın elektrostatik kuvvet ile birbirlerini çekmesiyle hareket eden kısımlardan oluşur. Dolayısıyla bu yapılar, basitçe, iki metal plaka arasında oluşan değişken bir sığa olarak düşünülebilir. RFMEMS anahtarların tasarımında göz önünde bulundurulması gerekenler birkaç başlık altında toplanabilir. Anahtar kapalı ve açık durumlarda sığa gibi davrandığı için bu iki durumdaki sığaların oranı, bir RFMEMS anahtarın RF performansının bir ölçüsüdür. Çünkü bu sığa oranı, doğrudan anahtarın araya sokma yitimi ve yalıtımıyla ilintilidir. Mekanik olarak göz önünde bulundurulması gereken unsur ise hareket için gerekli olan voltajın değeridir. Çünkü hareket voltajının düşük olması, varolan sistemlere yapının yerleştirilmesi açısından önemlidir.

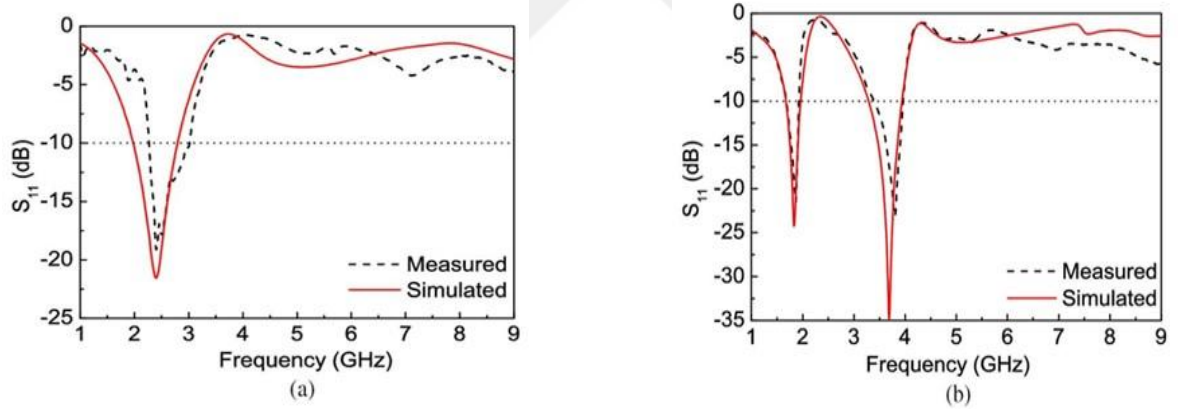
Başka bir literatür çalışmasında GaAS FET transistör yardımıyla kablosuz haberleşme uygulamalarında kullanılmak üzere frekansı yeniden ayarlanabilen anten tasarımı gerçekleştirmişlerdir. Buna göre şekil 2.2.'de antenin üst ve alt görünüşleri verilmiştir. Antenin yama kısmı FET yardımıyla tamamlanmış, anahtarlama yapılmak suretiyle anten

geometrisi değiştirilerek ışıma alanları da değişmiştir.



Şekil 2.2. FET ile Tasarlanan frekansı yeniden ayarlanabilir antenin görünüşleri **(a)** üstten görünüş, **(b)** alttan görünüş (Alireza Pourghorban Saghati 2008)

Anahtarlama sonucu oluşan S_{11} geri dönüş kayıplarının simülasyon ve ölçüm sonuçları aynı grafik üzerinde Şekil 2.3.'de verilmiştir. Buna göre anahtar açık konumdayken tek bant 2400 MHz merkez frekansında bulunurken, anahtar kapalı konumda çift bant 1800 MHz ve 3600 MHz merkez frekanslarında elde edilir.



Şekil 2.3. FET ile Tasarlanan frekansı yeniden ayarlanabilir antenin S_{11} cevabı **(a)** açık devre, **(b)** kapalı devre (Alireza Pourghorban Saghati 2008)

Başka bir çalışmadaysa Bahareh Badamchi ve arkadaşları 2015 senesinde yaptıkları yayında frekansı yeniden ayarlanabilir ultra geniş bantlı yarık anten tasarımı gerçekleştirmişlerdir. Malzeme olarak FR4 tercih edilmiş ve iki tane PIN diyot kullanılmıştır. İki PIN diyot sayesinde dört farklı yapı elde edilmiştir. Şekil 2.4.'de besleme yapısında dahil olmak üzere bütün anahtarlama için anten şekilleri verilmiştir.

Şekil 2.4.a''de sıradan slot anten verilmiştir.

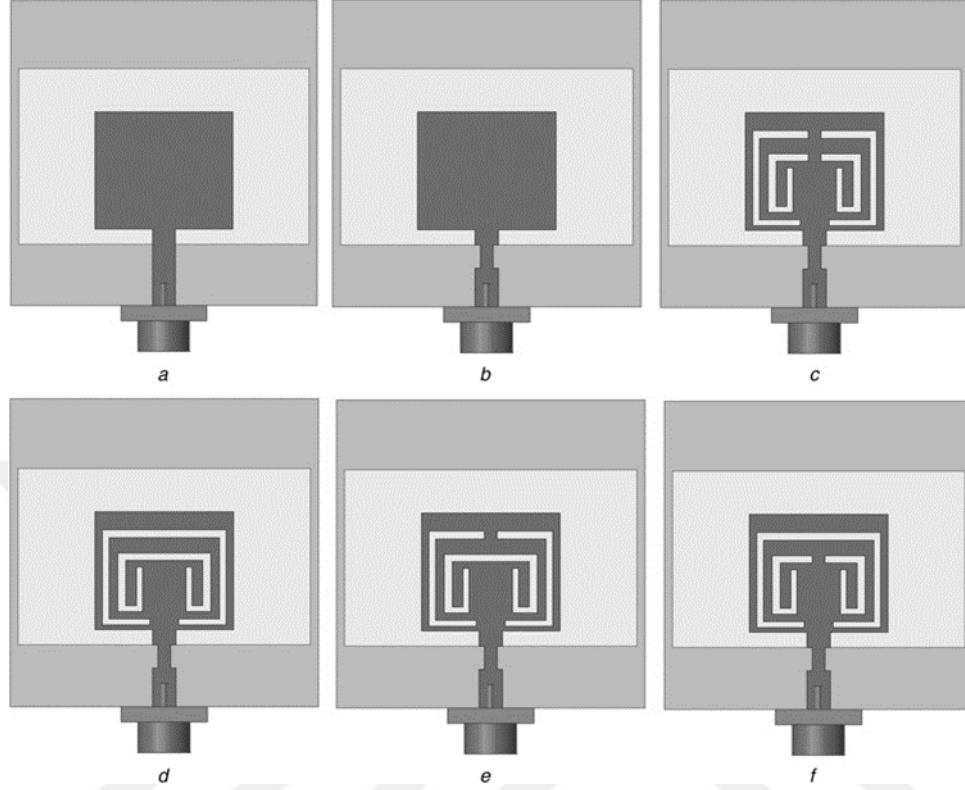
Şekil 2.4.b''de slot anten besleme hattı uyumlandırılmıştır.

Şekil 2.4.c''de her iki diyot kapalı konumda iken durumdur.

Şekil 2.4.d’de her iki diyot açık konumdaki durumdur.

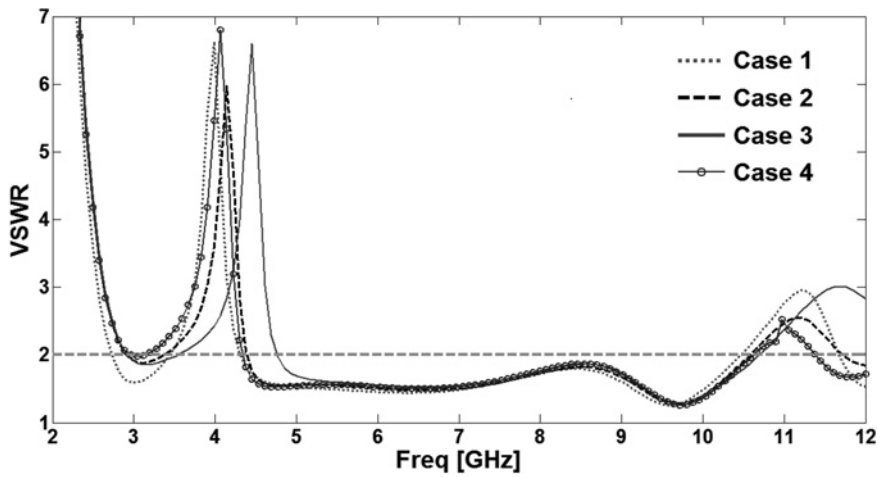
Şekil 2.4.e’de D1 kapalı konumda, D2 ise açık konumdadır.

Şekil 2.4.f’de D1 açık ve D2 kapalı konumdaki durumdur.



Şekil 2.4. Antenin diyotların kapalı, açık konumlarına göre geometrileri (Badamchi 2015)

Diyotun açık ve kapalı olduğu durumlara göre duran dalga voltaj oranı grafikleri şekil 2.5.’de verilmiştir.



Şekil 2.5. Diyotların konumuna göre duran dalga voltaj grafikleridir

V_{swr} ile S₁₁ arasında ters ilişki olduğuna göre 2 bölgesinin altında kalan kısımlar S₁₁ de 10 dB ve üstüne karşılık gelmektedir.

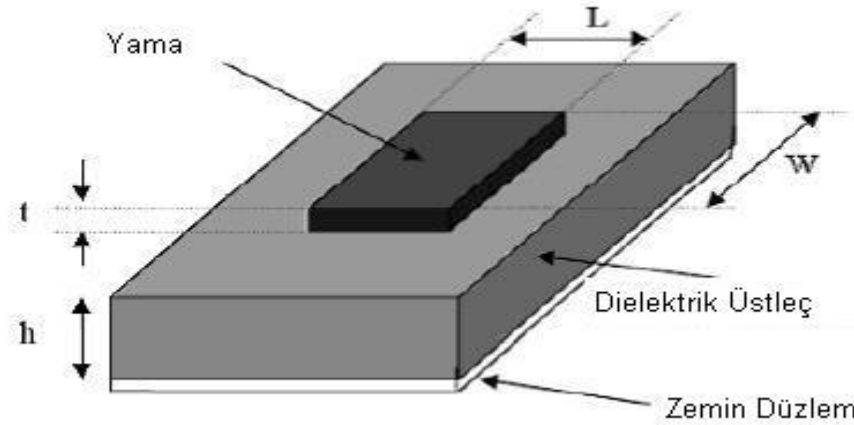
3. MATERYAL METOT

3.1. Mikroşerit Antenler

Geleneksel mikroşerit yama anteni temel olarak dielektrik zemin üzerinin tarafındaki ışıyan metal yama ile diğer tarafındaki toprak zemin düzleminden oluşmaktadır (Şekil 3.1.). Metal yama genelde bakır, gümüş veya altın olan iletken malzemeden yapılabilmektedir ve çok farklı şekiller alabilmektedir örneğin kare, dikdörtgen, dipol, dairesel, eliptik, üçgen, disk dairesel dilim, dairesel çember, ve çember dilim, ama bizim çalışmamızda kare yama kullanılmıştır çünkü bu analizlerin ve performansın önceden tahminlerini kolaylaştırmaktadır. Yinede, geleneksel kare, dikdörtgen ve dairesel mikroşerit yama antenleri aralarında en ünlü tipler olarak bilinirler çünkü fabrikasyonları kolay olmakla birlikte çapraz polarizasyon gibi ışıma karakteristiği ön planda tutmaktadır. Yamaların bulunduğu dielektrik zemin manyetik değildir. Bu tip anten L uzunluğuyla, W genişliğiyle ve H kalınlığıyla karakterize edilir (Şekil 3.1.).

İyi anten performansı yakalamak için, genelde düşük dielektrik sabitine sahip olan kalın dielektrik zemini tercih edilmelidir.

Çünkü bu daha çok verimlilikle birlikte, daha büyük bant genişliği ve daha güzel ışıma sağlayacaktır.



Şekil 3.1. Geleneksel dikdörtgen yama mikroşerit anten yapısı

Mikroşerit antenlerde metalik elemanların kalınlığı 50–200 μm aralığında değerler alırken, kullanılan taban malzemesinin dielektrik sabiti (ϵ_{rs}) ve kalınlığı (h) tipik olarak $2,2 \leq \epsilon_{rs} \leq 12$, $0,003\lambda_0 \leq h \leq 0,05\lambda_0$ arasında değerler almaktadır. Taban malzemesinin dielektrik sabitinin düşük olması ($\epsilon_{rs} < 2,5$), kenar alanlar (fringe fields) etkisini artırarak antenin ışıma performansında iyileşme sağlamasına karşın dielektrik sabitinin küçük olması durumunda, aynı frekans cevabının elde edilmesi için daha büyük ışıma elemanının kullanılması gerekeceğinden, ilgili antenin fiziki boyutları da büyümektedir (Garg, Bhartia, ve diğerleri 2001). Taban malzemesinin dielektrik değerinin küçük kalınlığının büyük olması, antende ideal ışımayı sağlamanın yanı sıra frekans bant genişliğini de artırmaktadır (Balanis 1997), (Pozar 1992). Fakat taban

malzemesinin kalınlığının artırılması, yüzey dalgalarının oluşumunu tetikleyerek antenin veriminin azalmasına ve anten ışıma örüntüsünün bozulmasına neden olabilmektedir.

Yukarıda fiziksel yapısından ve teknik özelliklerinden genel olarak bahsedilen mikroşerit antenler, küçük hacimli ve hafif olmaları nedeniyle yaygın olarak kullanılmaktadırlar. Bu özellikleri sayesinde entegre devre teknolojilerindeki gelişmelere paralel olarak imal edilen cm boyutlarındaki cihazların dışına ya da içine kolayca yerleştirilebilmektedirler. Yüzeye uyumlu olmalarından dolayı da uçak, füze ve uydu gibi özel hassasiyet gerektiren araçların aerodinamik yapısını bozmadan bu araçların üzerine monte edilebilmektedirler. Gerekğinde katı hal devreleri aynı taban malzemesi üzerine yerleştirilerek, elde edilen tümleşik anten sistemiyle daha ideal bir elektriksel performans sağlanabilmektedir. Ayrıca bu antenlerden çoklu-bant karakteristiği elde edilebilirken, besleme konumu kaydırılarak doğrusal veya dairesel kutuplanmış ışıma gerçekleştirilebilmektedir.

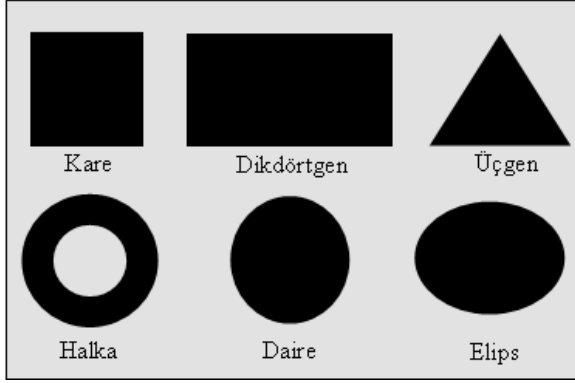
Mikroşerit antenlerin bütün bu avantajlarının yanı sıra başta bant genişliğinin sınırlı olması ($<5\%$) gibi bazı dezavantajları da bulunmaktadır. Antende taban malzemesinin kalın seçilmesi ile bu sorun aşıyor gibi görünse de, oluşan yüzey dalgaları nedeniyle antenin diğer elektriksel performansları olumsuz etkilenmektedir. Ayrıca, alt tabakanın toprak düzlemi olmasından dolayı bu antenler sadece üst yarı düzlemde ışıma yapmaktadırlar. Kazançlarının (~ 6 dB) düşük olması, yüzey dalga uyarımının bulunması ve yüksek çapraz-polarizasyon seviyesine sahip olması bu tür antenlerin diğer dezavantajlarındandır.

3.2. Mikroşerit Anten Çeşitleri

Fiziksel parametrelerinin çeşitliği sayesinde mikroşerit antenler diğer mikrodalga antenlere oranla daha geniş bir yelpazede sınıflandırılmaktadırlar. Pek çok farklı boyut ve geometrik yapıda tasarlanabilen mikroşerit antenler, mikroşerit yama antenler, mikroşerit dipoller, mikroşerit boşluk antenler ve mikroşerit yürüyen dalga antenler olmak üzere dört temel kategoride ele alınmaktadır. Bu temel sınıflama dışında kalan özel mikroşerit anten tasarımları da mevcuttur.

3.2.1. Mikroşerit yama antenler

Bu tip antenlerde dielektrik taban malzemenin bir yanı toprak düzlemi ile kaplanmış olup diğer yanında herhangi bir geometriye sahip düzlemsel iletken bir yama bulunmaktadır.

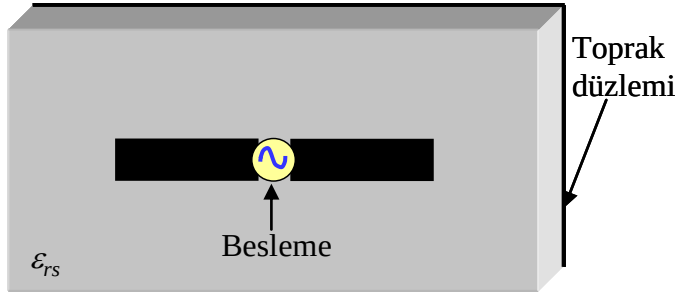


Şekil 3.2. Mikroşerit yama anten tipleri

Mikroşerit yama antenlerde iletken yamanın geometrik şekli farklı olsa da ışıma karakteristikleri benzerdir. Kazançları tipik olarak 5–6 dB seviyelerinde olup, 70° ve 90° arasında 3-dB hüzmeye genişliğine sahiptirler (Axelrod ve Kisliuk 1989). Şekil 3.2.’de literatürde sıklıkla rastlanılan ve yaygın olarak gerçekleştirilen mikroşerit yama anten tipleri görülmektedir. Bunların dışında farklı şekillerde yama tipleri de bulunmaktadır.

3.2.2. Mikroşerit dipol antenler

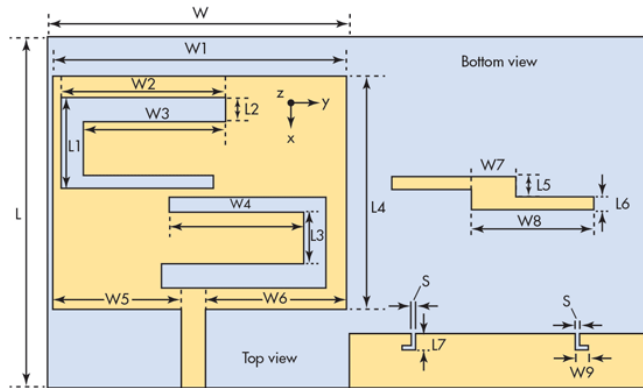
Dikdörtgen yama antenler uzunluk-genişlik oranına bağlı olarak iki ana kategoride sınıflandırılırlar. İletken yamanın dar olduğu ($< 0,05\lambda_0$) antenler mikroşerit ya da baskılı dipol anten olarak isimlendirilmektedir. Akım dağılımlarının benzerliklerinden dolayı dipol ve dikdörtgen yama antenlerin ışıma örüntüleri ile de benzerlik göstermektedir. Yine de ışıma dirençleri, bant genişlikleri ve çapraz-polarizasyon ışıması büyük oranda farklılık göstermektedir (Garg ve Reddy, 2003). Diğer mikroşerit antenlere oranla daha az yer kapladıklarından dolayı özellikle dizi anten uygulamalarında kullanılan mikroşerit dipoller, Şekil 3.3.’te gösterildiği gibi genellikle merkez beslemeli olarak tasarlanmaktadır.



Şekil 3.3. Merkez beslemeli tipik bir mikroşerit dipol anten

3.2.3. Mikroşerit boşluklu antenler

Bu tip antenlerde, dielektrik taban malzemesinin bir tarafında üzerinde ışıma boşluğu bulunan toprak düzlemi, diğer tarafında ise mikroşerit besleme hattı bulunmaktadır. Işıma boşluğu dikdörtgensel, dairesel veya dairesel halka şekillerinde olabildiği gibi daha farklı şekillerde de tasarlanabilmektedir. Boşluk antenlerde besleme çoğunlukla mikroşerit hat ya da eş düzlemlı dalga kılavuzu ile yapılmaktadır. Şekil 3.4.'te gösterildiği gibi genellikle yama ya da toprak bölgelerinde boşluk oluşturularak tasarım gerçekleştirilir.



Şekil 3.4. Mikroşerit boşluklu anten (Wang Maowen 2014)

Diğer mikroşerit yama antenlerle karşılaştırıldığında çapraz-polarizasyon seviyeleri (~ -35 dB) oldukça düşüktür (Yazdanboost ve Kohno 2005). Bu tür antenlerde ışıma yarığın her iki tarafından çift yönlü şekilde gerçekleşmektedir. Bunun yanı sıra, yarığın bir tarafında kullanılacak iletken yansıtıcı ile tek yönlü ışıma da elde edilebilir.

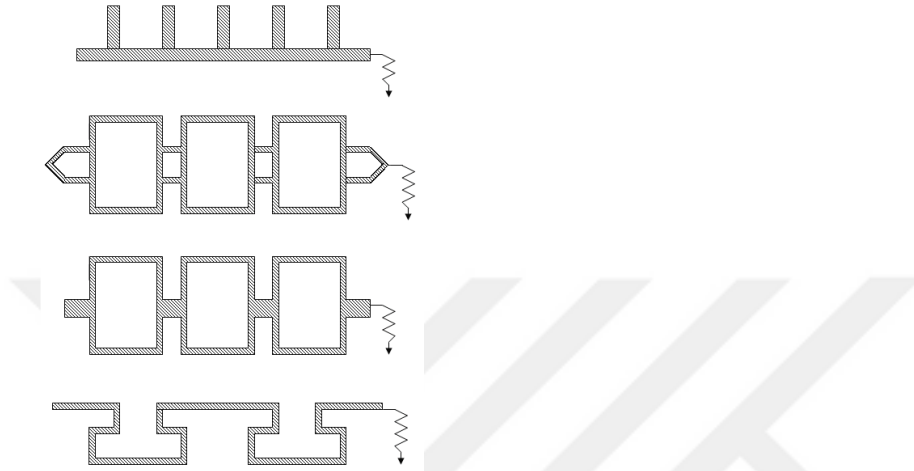
3.2.4. Mikroşerit yürüyen dalga antenler

Bu tip antenler, zincir biçimli tekrarlanan iletkenlerden ve hattın açık uç uyumlu bir dirençle sonlandırılmasından meydana gelir.

Mikroşerit yürüyen dalga antenler genel olarak periyodik yapıdadırlar. İki grupta incelenirler; yürüyen dalga anten ve duran dalga anten olarak. Yürüyen dalga antenler

rezistif bir yük ile sonlandırılırlar. Işıma yönü istenilen şekilde ayarlanabilir. Duran dalga antenlerde ise sonlandırma açık devre veya kısa devre olarak yapılır. Anten ışıması geniş kısım tarafından yaparlar. Antenin ana huzmesi yatay ya da düşey olarak anten geometrisine bağlı olarak yönlendirilebilirler. Mikroşerit parça dizi anten en yaygın kullanılan mikroşerit yürüyen dalga anten türleri; zincir-hatlı, trapezoidal-hatlı, tarak-hatlı, rampa-hatlıdır.

Yürüyen dalga mikroşerit anten tipleri şekil 'de verilmiştir.



Şekil 3.5. Mikroşerit yürüyen dalga anten modelleri (Bhartia 2001)

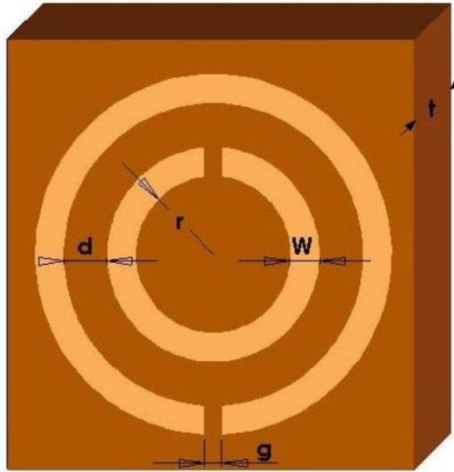
Anten yapısındaki değişikliklerle ana hüzme yatay veya düşey konum arasında herhangi bir açıya yönlendirilebilir.

Yürüyen dalga antenler baskı devre kart teknolojisi, düşük maliyet ve üretiminin kolaylığı dolayısıyla ayrıca diğer yüzeysel bileşenlerle uyumlu çalışması sayesinde günümüzde oldukça ilgi görmektedir.

3.2.5. Halka antenler

Kablosuz haberleşmede kullanılan taşınabilir cihazların gelişen teknolojiye paralel olarak her geçen gün daha küçük boyutlarda üretilmesi, bu aygıtlara adapte edilebilecek özelliklerdeki anten tasarımlarını zorunlu hale getirmiştir. Yaygın olarak kullanılan dikdörtgen, daire ve üçgen şekilli yama antenlerde, yama boyutları tipik olarak yarım dalga boyu kadardır. Küçük boyutlu anten tasarımı çalışmalarında halka antenler ön plana çıkmaktadır. Genellikle dikdörtgen ve daire biçimli halka yama kullanılarak tasarlanan halka-antenlerde, yama boyutları çeyrek dalga boyu değerlerine kadar düşürülebilmektedir (Kuo ve Wong 2003). Ayrıca halka elemanının genişlik-uzunluk oranındaki geometrik esnekliği sayesinde, dizüstü bilgisayar gibi taşınabilir cihazların uygun yerlerine adapte edilebilecek anten tasarımları mümkün olabilmektedir.

Şekil 3.6.'te gösterildiği gibi genellikle iç içe geçmiş halka yapıları oluşturularak tasarım gerçekleştirilir.



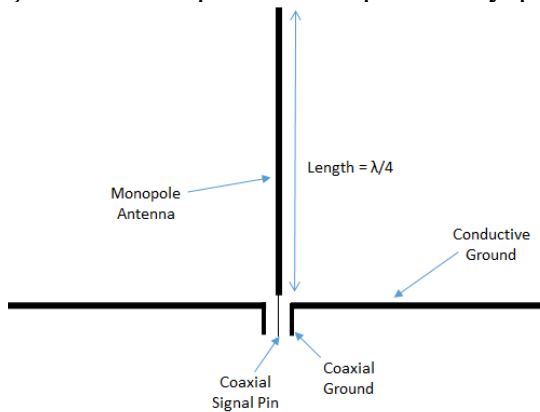
Şekil 3.6. Mikroşerit halka yapılı anten modeli (Caetano 2016)

Bu tip antenlerde, empedans bant genişliğindeki olumlu etkiden dolayı halkanın uygun bir yerinde küçük bir aralık (yarık) oluşturulmakta, ve ilgili antenler söz konusu yarıktan bir eş eksenli hat ile doğrudan beslenebilmektedir. Bu literatür çalışmasında, yukarıda genel özellikleri anlatılan halka elemanlarını temel alan yarık-halka mikroşerit anten tasarımları denenmiştir. İlgili tasarımlar oldukça küçük boyutlarda olmasına karşın, yarık-halka elemanların rezonant bir karakteristik sergilemeleri nedeniyle dar-bant performans elde edilebilmiştir.

3.2.6. Monopol antenler

IEEE standartları uyarınca çeşitli frekans bantlarında gerçekleşen kablosuz haberleşme uygulamalarının tek bir anten elemanı ile sağlanabilmesi ancak ilgili antenin çoklu-bant veya geniş-bant performans göstermesi ile mümkün olabilmektedir.

Şekil 3.7.'de tipik bir monopol anten yapısı gösterilmiştir.



Şekil 3.7. Monopol yapılı anten modeli (microwavetools 2012)

Geniş bant performans ve uygun ışıma örüntüsü sağlamaları nedeniyle, monopol antenler, kablosuz haberleşme uygulamalarında özellikle tercih edilmektedirler (Pan, Huang ve Homg 2005). Bu antenlerde taban malzemesinin bir yüzeyinde iletken yama ve yamaya doğrudan bağlı olan mikroşerit besleme hattı bulunmaktadır. Bu antenleri tipik

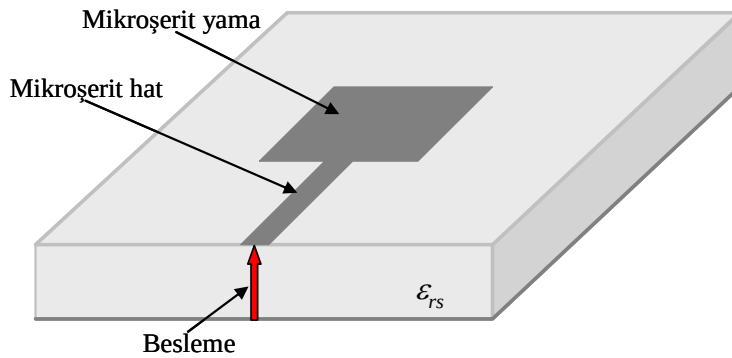
yama antenlerden ayıran başlıca özellik, toprak düzleminin sadece mikroşerit besleme hattı boyunca oluşturuluyor olmasıdır. Bu yapısından dolayı monopol antenlerde her iki düzlemde de ışıma gerçekleşmektedir. Ayrıca toprak düzleminin büyük olması rezonans frekansını düşürürken, empedans bant genişliğini de bir miktar etkilemektedir.

3.3. Besleme Teknikleri

Mikroşerit antenlerde besleme farklı yöntemlerle yapılabilmektedir. Besleme teknikleri en genel halde temaslı ve temassız olmak üzere iki ayrı sınıfta incelenebilir. Temaslı beslemede, elektriksel enerjinin taşındığı hat doğrudan ışıma elemanına bağlıken, temassız beslemede enerji hattı ile ışıma elemanı arasında elektromanyetik kuplaj ile enerji aktarımı yapılmaktadır. Hangi besleme tekniğinin tercih edileceği büyük oranda tasarlanan anten yapısına bağlıdır. Mikroşerit antenlerde besleme teknikleri dört ayrı grupta incelenebilir. Aşağıda ilgili teknikler genel özellikleri bakımından ele alınmaktadır.

3.3.1. Mikroşerit besleme

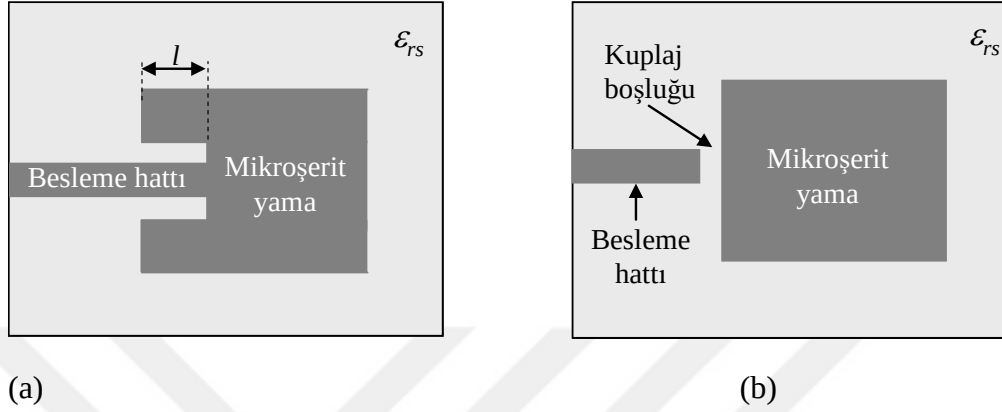
Mikroşerit antenlerde en basit besleme tekniğidir. Bu tip beslemede, Şekil 3.8.'de gösterildiği gibi besleme hattı mikroşerit yama ile aynı taban malzemesi üzerinde ve doğrudan mikroşerit yamanın bir kenarına bağlıdır. Basit yapısından dolayı tasarım ve üretiminin kolay olması en önemli avantajı olmasına rağmen, bu besleme tekniği dar-bant performans sağlamaktadır. Antenin bant genişliğini artırmak için taban malzeme kalın seçildiğinde ise, yüzey dalgaları ve besleme merkezli parazitik ışımlar artmaktadır. Ayrıca mikroşerit besleme hattının genişliği yamaya oranla daha düşük olduğundan empedans uygunluğu oldukça zordur. Mikroşerit hat ile yama arasındaki empedans uygunluğu herhangi bir empedans uygunlaştırıcı ara devreye ihtiyaç duyulmaksızın iki farklı şekilde sağlanabilmektedir.



Şekil 3.8. Mikroşerit hatlı besleme

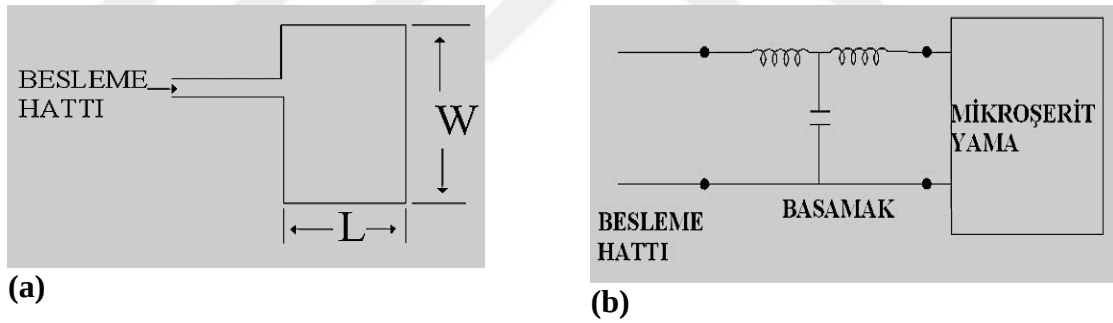
Şekil 3.9.(a)'da gösterilen yöntemde, mikroşerit yama üzerinde bir girinti oluşturularak empedans uygunluğu sağlanabilmektedir. Girintinin konumu ve uzunluğu

(l), kullanılan mikroşerit hattın empedansına uyumlu olacak şekilde seçilmektedir. Diğer yöntemde ise, empedans uygunluğu Şekil 3.9.(b)'de gösterildiği gibi mikroşerit besleme hattı ile yama arasında bir boşluk bırakılarak yapılmaktadır. Daha etkin bir empedans uygunluğu sağlayan bu yöntemde, sinyal elektromanyetik kuplaj yoluyla mikroşerit yamaya aktarılmaktadır. Fakat boşluk mesafesi genişledikçe güç kaybı artmaktadır.



Şekil 3.9. Empedans uyğunlaştırma yöntemleri; (a) girintili besleme, (b) kuplaj besleme

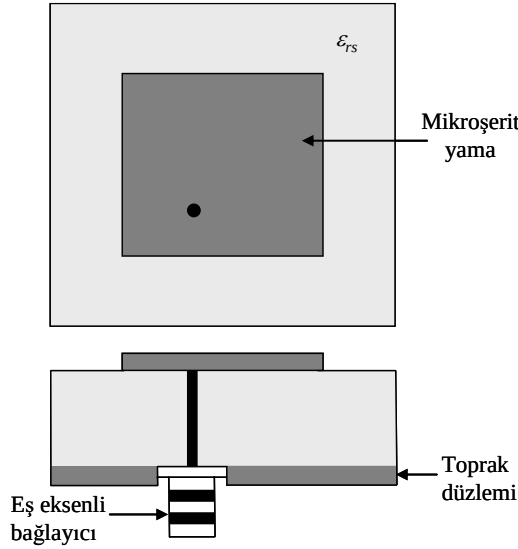
Şekil 3.10.'da besleme hattı yapının oluşturulması ve iletim hat eşdeğer modeli verilmiştir.



Şekil 3.10. Mikroşerit hat ile besleme(a) İletim hattı eşdeğer modeli(b)

3.3.2. Eş eksenli hat ile besleme

Bu tip beslemede, eş eksenli kablo (coaxial cable) antenin toprak düzleminin altında bulunur ve iç iletken, taban malzemesi içerisinde mikroşerit yamaya bağlanırken, dış iletken toprak düzlemine bağlanmaktadır (Şekil 3.11.).

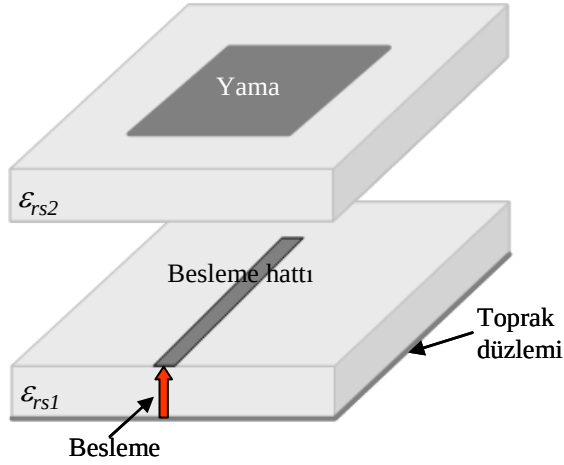


Şekil 3.11. Eş eksenli hat ile beslenmiş mikroşerit anten

Yaygın olarak kullanılan bu yöntemde empedans uygunluğu beslemenin konumu değiştirilerek kolayca sağlanabilmektedir. Fakat anten taban malzemesinin delinmesi ve bu delikten geçirilen iç iletkenin metalik yama ile lehimlenerek birleştirilecek olması, bu tür beslemenin gerçekleşmesini hayli zorlaştırmaktadır. Ayrıca bu besleme tekniği kullanılan antenler dar bantlıdır. Bant genişliğinin artırılması için taban malzemesi kalın seçildiğinde, eş eksenli hattın uzunluğunun artmasına bağlı olarak, besleme merkezli istenmeyen ışımlar ve yüzey dalgaları artmaktadır.

3.3.3. Yakınlık kuplajlı besleme

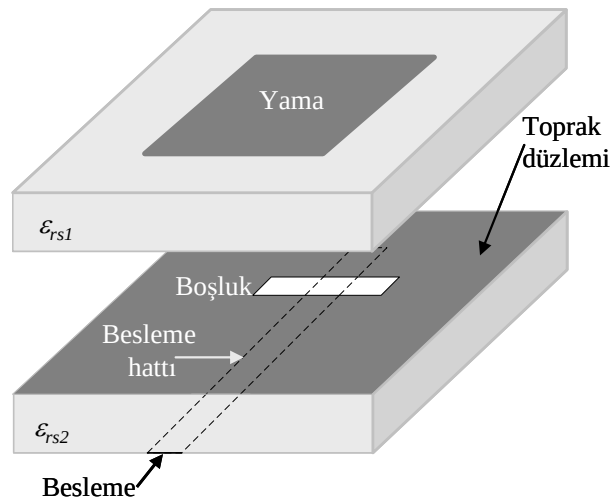
Şekil 3.12.'de gösterilen bu tarz beslemede, iki farklı taban malzemesi kullanılmaktadır. Besleme hattı bu iki malzemenin arasında kalırken, ışıma elemanı en üst yüzeyde bulunmaktadır. En alt yüzey ise toprak düzlemidir. Mikroşerit besleme ve eş eksenli beslemelerin asimetric yapılarından dolayı oluşan çapraz-polarizasyon ve besleme merkezli parazitik ışımlar bu besleme tekniği ile giderilmiştir. Ayrıca mikroşerit yamanın üzerinde bulunduğu taban malzemesi kalın seçilerek oldukça yüksek bir bant genişliği sağlanabilmektedir. Besleme hattının uzunluğu ve mikroşerit yamanın genişlik-uzunluk oranlarının ayarlanmasıyla empedans uygunlaştırma yapılabilmektedir. Bu besleme tekniğinin en önemli dezavantajı iki dielektrik katmanın hizalı şekilde üretilebilme zorluğudur.



Şekil 3.12. Yakınlık kuplaj beslemeli mikroşerit anten

3.3.4. Boşluk kuplajlı besleme

Bu besleme tipinde, Şekil 3.13.'de gösterildiği gibi ışına elemanı ile besleme hattı arasında toprak düzlemi bulunmaktadır ve aralarındaki etkileşim toprak düzlemindeki boşluktan sağlanmaktadır. Kuplaj boşluğu genellikle mikroşerit yamanın merkezine denk gelecek şekilde oluşturularak antende simetri sağlanmakta, böylece çapraz-polarizasyon çok düşük seviyelere çekilebilmektedir. Bunun yanında besleme hattı ile mikroşerit yama arasında toprak düzleminin olması besleme merkezli parazitik ışımları engellemektedir. Kuplaj yoluyla aktarılabacak elektromanyetik enerjinin miktarı, büyük oranda boşluğun boyutları, şekli ve konumuna bağlıdır. Ayrıca boşluğun uzunluğu ve mikroşerit besleme hattının genişliği ayarlanarak empedans uygunluğu sağlanmaktadır. En önemli dezavantajı ise, yakınlık kuplajlı beslemeye olduğu gibi çok katmanlı yapısından dolayı üretiminin oldukça zor olmasıdır.



Şekil 3.13. Boşluk kuplajlı beslemeli mikroşerit anten

Çizelge 3.1.'de mikroşerit antenlerde kullanılan farklı besleme tekniklerinin karakteristik özellikleri karşılaştırılmıştır.

Çizelge 3.1. Mikroşerit yama antenlerde değişik besleme tekniklerinin karşılaştırılması

Karakteristik	Mikroşerit Hatlı Besleme	Eş Eksenli Hat ile Besleme	Yakınlık Kuplajlı Besleme	Boşluk Kuplajlı Besleme
Tasarım	Eş düzlemsel	Düzlemsel olmayan	Düzlemsel	Düzlemsel
İstenmeyen Besleme Işınması	Az	Fazla	Fazla	Fazla
Üretim Kolaylığı	Kolay	Delme ve lehimleme gerekli	Hizalama gerekli	Hizalama gerekli
Empedans Uygunlaştırma	Kolay	Kolay	Kolay	Kolay
Bant Genişliği	% 2–5	% 2–5	% 13	% 21

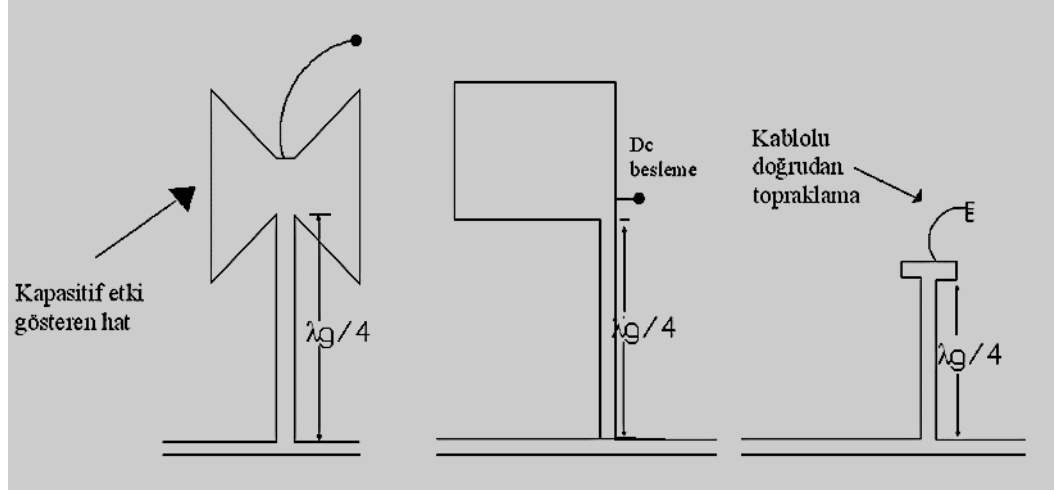
3.3.5. Dc besleme yöntemleri

Mikroşerit antenler için eğer aktif bir eleman kullanılıyorsa dc besleme devresi RF devreden iyi bir şekilde yalıtılmalıdır. Önemli olan sitemin fiziksel olarak gerçekleştirilebilir olmasıdır ve ısıma karakteristiğinin minimal olarak etkilenmesidir. Hat ince ve uzun seçilmelidir. (uzunluğu dalga boyunun dörtte biri olmalıdır.) Kapasitif etki gösteren geometrik şekil ya da yapılar kullanılmalıdır. Besleme gerilimi değiştikçe ısıma örüntüsü çok az değişir. Şekil 3.14.'de dc besleme uygulamaları yer almaktadır. Genel olarak üç tipi mevcuttur.

A: “Kelebek” şekilli besleme. Besleme genelde merkez noktadan yapılır.

B: Düşük empedanslı $\lambda/4$ açık devre stub hattı.

C: Kablo kullanılarak toprağa kısa devre yapılmış bağlantı şekli



Şekil 3.14. Dc besleme uygulamaları (Balanis 1997)

3.4. Mikroşerit, Antenlerin Üstünlük ve Dezavantajları

Yaklaşık olarak 100 MHz'den 50 GHz'e kadar geniş bir frekans aralığında kullanılan mikroşerit antenlerin bilinen mikrodalga antenlerine göre üstünlüklerini aşağıdaki

biçimde sıralayabiliriz.

- Hafifliği, küçük hacimli olması.
- Düşük üretim maliyeti.
- Düzlemsel biçimliliği nedeniyle kullanışlı olması,
- Çok ince biçimli yapılabilmesi nedeniyle uzay araçları için aerodinamik vaoısını bozmazlar.
- Bu tip antenler güdümlü mermiler, roketler ve uydular üzerine önemli değişikliklere neden olmaksızın yerleştirilebilirler.
- Düşük saçılma ara kesitine (scattering cross section) sahiptirler.
- Besleme konumundaki ufak değişikliklerle doğrusal ve dairesel kutuplanmış ışıma yapabilirler.
- İkili frekans antenlerinin kolaylıkla yapılabilir olması,
- Boşluk desteği gerekmez.
- Osilator, yükselteç, değişken zayıflatıcılar, anahtarlar, modulatörler, karıştırıcılar, faz değiştiricileri v.s. gibi katıhal araçları mikroşerit antenlerin alt taşına ilave edilerek, bileşik sistemler geliştirilebilir.
- Besleyici hatları ve uyumlandırma devreleri, antenle birlikte aynı zamanda üretilebilir biçimdedir.

Mikroşerit antenlerin yukarıdaki üstünlüklerinin yanı sıra bazı dezavantajları da şöyle sıralanabilir;

- Dar bant genişliği.
- Çeşitli kayıplar sonucu; düşük kazançlı olmaları.
- Mikroşerit antenlerin çoğu yarı düzlem içinde ışırlar.
- 20 dB olan en üst kazancın elde edilmesinde Pratik güçlükler olması.
- Düşük endfire ışıma performansı.

- f) Besleyici ve ısıma elemanı arasındaki zayıf yalıtım.
- g) Yüzey dalgaları uyarımının mümkün olabilmesi,
- h) Düşük güç kapasitesi olması.

Yukarıda belirtilen dezavantajlardan bazıları tasarım ve üretimde en düşük düzeye indirilebilirler.

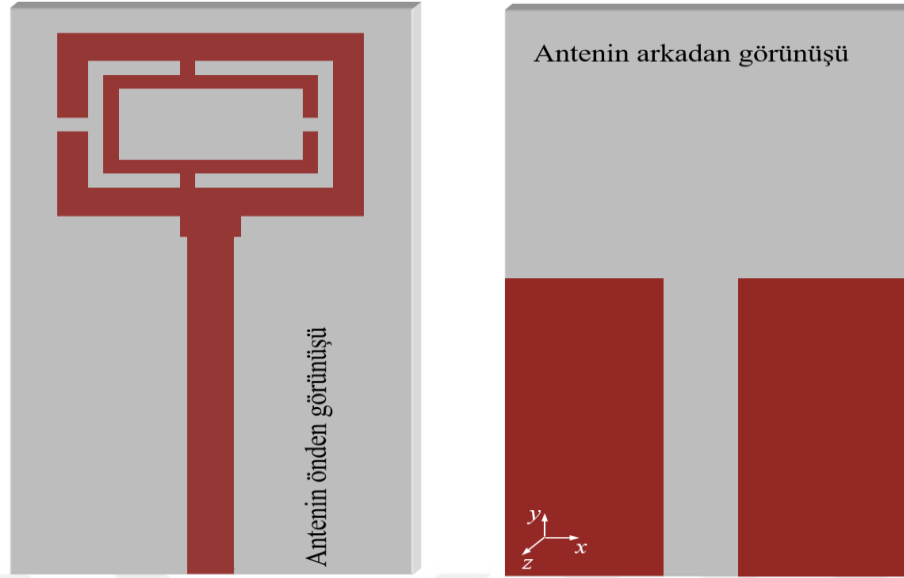
Bu çalışma kapsamında kablosuz haberleşme uygulamaları için özgün bir frekansı yapılandırılabilir anten tasarımı gerçekleştirilmiştir. Önerilen anten kıvrımlı mikroşerit yama elemanları ve bu elemanlar arasında optimum konumdaki bir anahtardan oluşmaktadır. Toprak düzlemi ve kıvrımlı yama elemanları arasında optimum konumda bir kısa devre işlevi ile metalik ped kullanıldı. Mikroşerit hat besleme tekniği kullanılarak antenin beslemesi gerçekleştirildi.

3.5. Kıvrımlı Yama Frekansı Ayarlanabilir Antenler

Frekansı ayarlanabilen antenlerde birden fazla frekans cevabı vardır. Normal şartlar altında çift bant yada çoklu bant antenlerde mevcut bütün bantlar aynı anda ortaya çıkar. Ancak frekansı ayarlanabilir antenlerde durum biraz farklıdır. Her ne kadar çoklu bant olsada bütün bantlar aynı anda ortaya çıkmaz. Kullanılan anahtarlama yöntemleriyle anahtarın açık yada kapalı olması durumuna göre farklı merkez frekanslar ortaya çıkar. Böylece frekanslar birbirine karışmaz ve ihtiyaç olmayan frekanslar ortaya çıkmaz.

Antende anlamlı bir frekans cevabı elde etmek için öncelikle hangi bant aralığında çalışma yapacağımızı belirlemeliyiz. Bu çalışmada kablosuz haberleşme bant aralıkları tercih edilmiştir. Öncelikle anlamlı bir frekans aralığı bulunduktan sonra ikinci bir frekans aralığı bulmak için geometride, ilk bulunan frekans cevabını kaybetmeyecek biçimde, belirli bir tecrübe dahilinde anten geometrisi değiştirildi. Optimizasyon sonunda birincisinden farklı ve anlamlı frekans cevabı elde edildi, iki frekans arasında anahtarlama yapabilecek şekilde geometri düzenlendi. Anahtarlama elemanın iletim durumunda kısa devre gibi davranmasından dolayı optimizasyonlarda kısa devre elemanı olarak metalik ped kullanıldı. Sonuç olarak anahtarın açık ve kapalı konumları için birbirinden farklı ve anlamlı frekans cevapları elde edildi.

İnceleme sonucunda ileriye dönük yeni anlamlı frekans aralığı olacağı düşünülen, daha öncesinde Dr. Başaran tarafından (Başaran, 2008) tasarlanmış geniş bant anten geometrisinden ilham alındı. Referans alınan anten iç içe geçmiş yarıklardan oluştuğundan öncelikle bu yarıklar kaldırıldı ve bu çalışmadaki kıvrımlı yama şekline getirildi. Temel yapı, şekil 4.1.'de ki geometriden referans alındı. Bu geometriye bakıldığında mikroşerit hat besleme ve bu besleme hattının önünde iç içe geçmiş kıvrımlı yamalar ve bu yamaların birleştiği iletken noktalar görülmektedir. Ayrıca toprak kısmında bant genişliğinin artırılması için monopol yapı tercih edilmiştir. Şekil 3.15.'de referans alınan antenin ön ve arka görünüşleri verildi.



Şekil 3.15. Referans alınan mikroşerit antenin ön ve arka görünüşü (Başaran ve Erdemli 2007)

Bu tez çalışmasında gerçekleştirilen anten de şekil 3.15’de görülen ve iç içe geçen yamalardan içerdeki yama kaldırılmış, dışardaki iletkende kıvrımlı yama şekline sokulmuştur. Ayrıca kıvrımlı yamanın orta kısmına da birbirinden bağımsız ve birbiriyle fiziksel teması olmayan mikroşerit yamalar koyulmuştur.

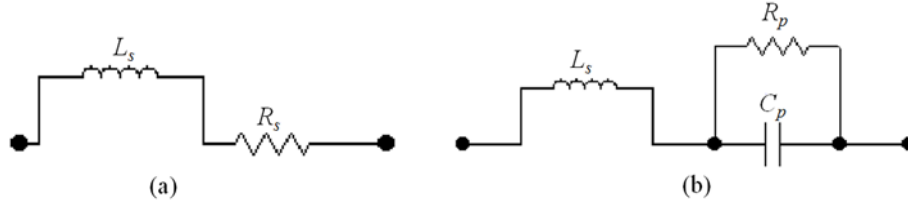
Frekans yapılandırmasında kullanılan belli başlı anahtarlama yöntemleri RFMEMS, FET ve PIN diyotludur. Bu yöntemlerden RFMEMS ve FET anahtarlama ile ilgili yeterli açıklama ve literatür bilgisini önceki bölümde verilmişti. Bu tez çalışmasında kullanmayı planladığımız ancak mücbir sebeplerden dolayı akamete uğradığından PIN diyot yöntemi hayata geçirilememiştir. İleriye dönük olarak PIN diyot yönteminden bahsedildi ve kullanımı anlatıldı.

3.5.1. PIN diyot yöntemi

Diyot kullanarak anahtarlama yöntemi diyotun temel anahtarlama mantığında çalışmaktadır. Diyot kapalı konumdayken ilettime geçer, açık konumdayken kesimdedir. Diyotun anahtarlama sırasında Bias T malzemesi kullanılır yada R, L, C elemanlarıyla modelleme yapılır.

Bu çalışmada PIN diyot ile anahtarlama yapılmıştır.

Optimum anten konfigürasyonuna PIN diyot eklenerek, frekans cevabının elektronik olarak değiştirilebildiği bir anten performansının elde edildi. Bu kapsamda, indüktif, kapasitif ve rezistif değerleri çok düşük olan HPND-4028 tipi PIN diyotu seçildi, simülasyonların ve optimizasyonların daha ızlı olması için metalik ped kullanıldı. Şekil 3.16.’de eş değer devresi ve Çizelge 3.2.’de ise devre parametrelerinin değerleri verildi.



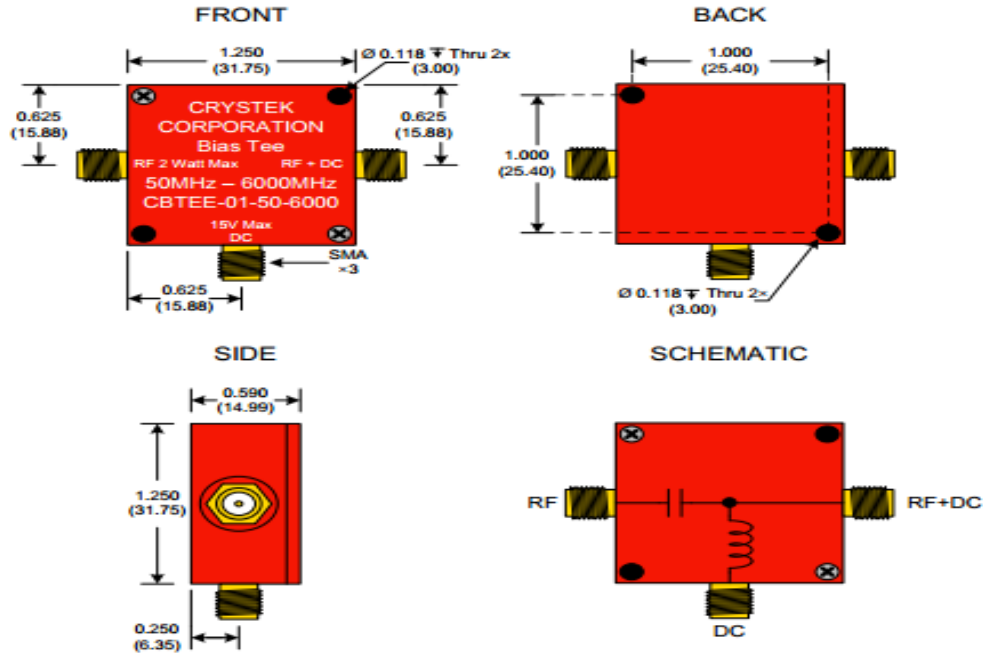
Şekil 3.16. HPND-4028 diyotunun eşdeğer devre modeli.

Çizelge 3.2. Eşdeğer devre parametrelerinin değerleri.

Element	Değeri
Seri İndüktans (L_s)	0.5 nH
Seri Rezistans (R_s)	2.3 Ω
Paralel Rezistans (R_p)	1 k Ω
Paralel Kapasitans (C_p)	0.02 pF

HPND-4028 diyotunun kataloğunda, ileri yöndeki eşik gerilimi 1,1 V iken taşıyabileceği maksimum akım 20 mA olarak verilmektedir.

PIN diyotu açıp kapamak için R L C elemanlarıyla devre kurmak yerine, RF ile DC yi kendisi ayırıştıran Bias Tee olarak adlandırılan bir malzeme seçildi. Bu Üç terminalli devre elemanıdır. RF ile DC girişin beraber olduğu terminal giriş kabul edilirse, bu girişteki sinyaller ayrılarak DC ve RF olmak üzere ayrı ayrı çıkış terminallerine verilir. Kullanılan Bias Tee'nin perspektif görünüşleri ve elektronik devre karşılığı aşağıdaki şekil 3.17.'de verilmiştir.



Şekil 3.17. Bias Tee'nin alt, üst, perspektif görünüşü ve iç yapısı (Digikey 2016)

Bias Tee'nin eşdeğer parametreleride aşağıdaki çizelge 3.3.'de belirtilmiştir.

Çizelge 3.3. Bias Tee çalışma değerleri

Element	Değeri
RF Gücü (max)	2 W
DC Giriş Voltajı (max)	15 V
Giriş Voltajı (max)	1 A
Çalışma Frekansı (hz)	50-6000Mhz

3.6. Frekansı Yeniden Ayarlanabilir Mikroşerit Anten Tasarımı

Çalışmanın başlangıç noktası olarak literatürde çalışılmış çift bant ve çoklu bant mikroşerit antenlerden esinlenerek üzerinde bazı değişiklikler yaparak frekans değişimleri incelendi. İnceleme sonucunda ileriye dönük yeni anlamlı frekans aralığı olacağı düşünülen, daha öncesinde Dr. Başaran (Başaran, Kablosuz Haberleşme Uygulamaları İçin Yarik Halka Mikroşerit Anten Tasarımı 2008) tarafından tasarlanmış geniş bant anten referans alındı. Frekansın yeniden yapılandırılabilmesi için öncelikle çift bant ya da geniş bant bir tasarımın gerçekleştirilmesi gerekir. Burada mantık, anahtarlama yöntemiyle çift bandın bir ya da iki bandını kaydırmak veya geniş bandın frekansını kaydırmaktır.

Kazanılan tecrübeler sonucunda kıvrımlı yama mikroşerit antende frekans değişimi yaparken anahtarlama yapıda geniş bantlı bir yapı ise, anahtar açık/kapalı konumlarında çoğu zaman açık ya da kapalı konumdan birisi diğerini kapsayacak şekilde

frekans cevabı elde edildi. Geniş bant frekans cevabı elde edildiği için anahtarlama yapmak yeni bir frekans cevabı oluşturmadiğundan çalışmanın amacı dışında kaldı.

Benzer şekilde çift bandlı antenlerde de anahtarın kapalı ya da açık olduğu durumlarda yine bir bant aynı bölgede ortaya çıktı veya birbirini kapsayan frekanslar oluştu.

Bütün bu durumları aşmak için kıvrımlı yama mikroşerit antenin besleme, yama ve diğer geometrileri adım adım tasarlandı. Tasarım aşamalarında toprak, yama, besleme hattı gibi kısımları her aşamada tekrar optimize edildi ve en iyi sonucu veren anten tasarımı gerçekleştirildi.

Optimizasyon işlemleri tekrarlanırken tasarlanan kıvrımlı yama antenler başlıklar halinde verildi.

Bu çalışmada kıvrımlı yama mikroşerit anten Rogers 3006 malzemesi ile tasarlandı. Bu malzemenin seçilmesinin iki ana sebebi vardır, birincisi ucuz ve kolay bulunabilmesi, ikincisi dielektrik sabitinin diğer(fr4) malzemelere göre yüksek olmasıdır. ($\epsilon_r:6.15$)

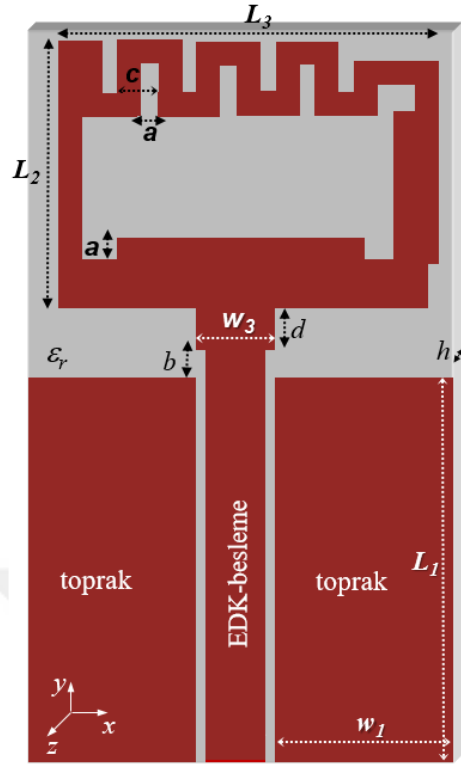
3.7. Kıvrımlı Yama Çift Bant Mikroşerit Anten Tasarımları

Frekansı yeniden yapılandırılabilir mikroşerit anten tasarımında son ürün tasarımına gelene kadar frekans cevabı olarak kablosuz haberleşme bandında kullanılabilecek anten tasarımları sırasıyla verildi.

3.7.1. Kıvrımlı yama anten tasarımı 1

Bu tasarımda önerilen anten yapısı; farklı boyutlardaki iletken şerit ve bu şeritleri doğrusal şekilde birleştiren kıvrımlı hat elemanından oluşan bir rezonatöre sahiptir. Eş düzlemsel dalga tekniği ile beslenen antende, mikroşerit besleme hattı farklı boyutlardaki iki aşamadan oluşmaktadır. Gerçekleştirilen tasarımda taban malzemesi olarak 26×40 mm² boyutlarında, kalınlığı 0.635 mm ve dielektrik sabiti 6.15 olan Rogers RO3006 kullanıldı. Eş düzlemsel beslemeli mikroşerit anten tasarımı, uygulama frekanslarının ve giriş empedans seviyelerinin istenilen değerlere optimizasyonu sonucu elde edildi. Bu süreçte anten taban malzemesinin boyutları, düz şerit elemanlarının boyutları, kıvrımlı şerit iletkenlerinin yapısı ve konumları, besleme ve toprak hattı optimize edilen başlıca parametrelerdir.

Şekil 3.18.'de önerilen anten tasarım konfigürasyonu, çizelge 3.4.'de anten parametrelerinin milimetre cinsinden değerleri verilmektedir.

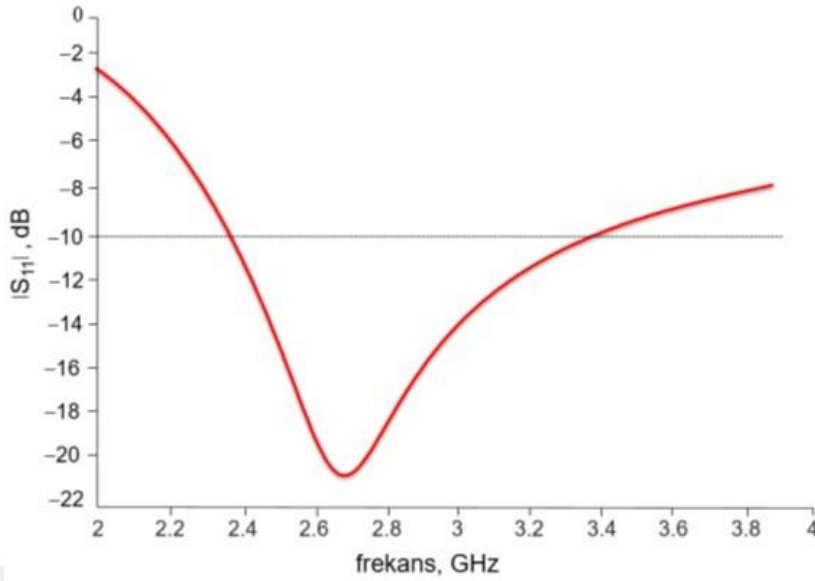


Şekil 3.18. Eş düzlemsel beslemelemeli mikroşerit anten tasarımı

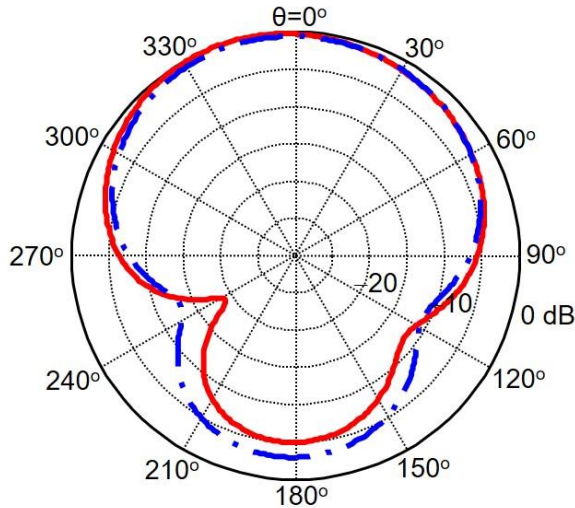
Çizelge 3.4. Eş düzlemsel beslemeli mikroşerit anten tasarımının ölçüleri

Parametre	Değer	Parametre	Değer	Parametre	Değer
L_1	22	W_1	11	a	1
L_2	14	W_2	3	b	2
L_3	21	W_3	4	c	3

Sayısal tasarım ve analizleri HFSS simülatörü aracılığıyla gerçekleştirilmiş olan antenin geri-dönüş performansı Şekil 3.19.' da verilmiştir. Görüldüğü üzere, önerilen anten, 2.75 GHz merkez frekansında %38 bant genişliği sağlamakta ve böylece WiFi ve WiMAX frekans bantlarını kapsamaktadır.



Şekil 3.19. Eş düzlemsel beslemeli mikroşerit antenin geri dönüş kaybı
Eş düzlemsel beslemeli mikroşerit antenin ışıma örüntüsü şekil 3.20.' de verilmiştir.

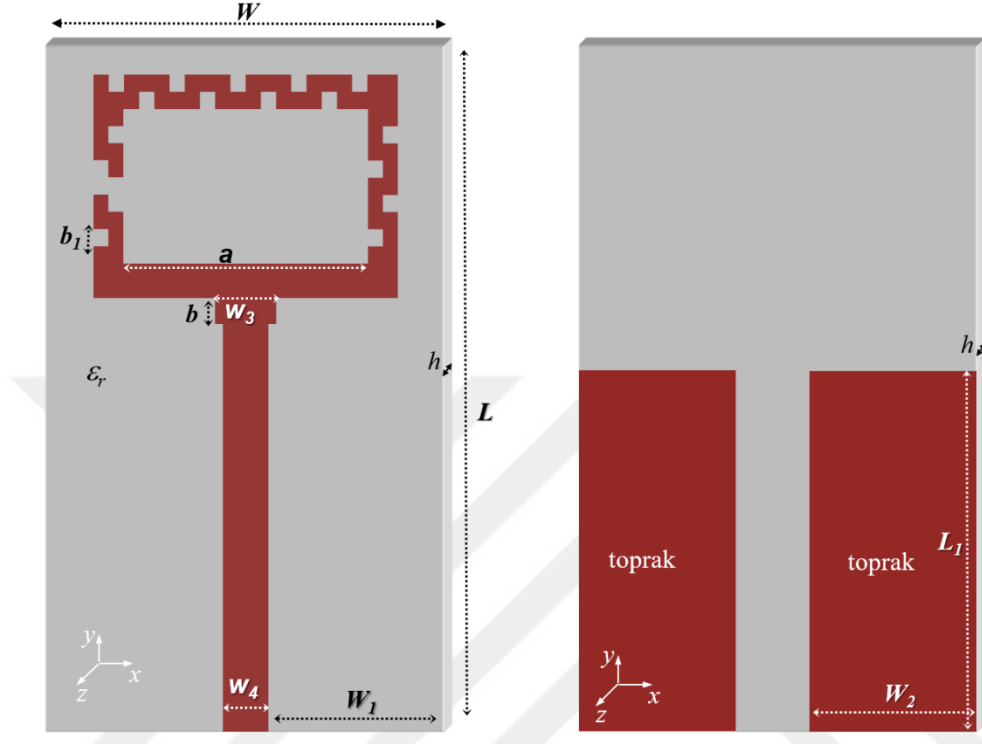


Şekil 3.20. Eş düzlemsel beslemeli mikroşerit antenin Merkez frekansdaki ışıma örüntüsü

3.7.2. Kıvrımlı yama anten tasarımı 2

Antenin ışıma yapan geometrisinde değişiklik yaparak çift bant bir yapı elde edildi. Bu tasarımda ağırlıklı olarak ışıma yapan yama bölgesi çalışıldı. Buna göre kıvrımlı yama tek halkaya indirildi, sonrasında birer milimetrelik adımlarla yamalar koyularak iletken yol uzatıldı. Bunun sonucunda elde edilen anten geometrisi şekil 3.21.'de verildi. Tasarıma bakıldığında toprak kısmın arkada iki parça olduğu görülmektedir. İki parçayı birleştiren bir iletken yolu da vardır. O yol SMA konnektör yardımıyla sağlanmaktadır. Eğer toprak kısımlar birleşmezse sonuç tamamen farklı çıkar. Bilgisayar simülasyonunda o kısım çizgisel olarak tasarlanmıştır. Bu bölümde başlangıçta kullanılacak yamanın tipi

belirlenmiştir, yani yama her 1mm’lik adımlarda kıvrım oluşturmuştur, bu kıvrım 1 mm’de değilde daha uzun 6 yada 7 mm için denendi ancak istenilen sonuç elde edilemedi. Daha sonraki bölümlerde kıvrımlı yama optimizasyonu nisbeten farklı biçimde tekrar yapıldı.



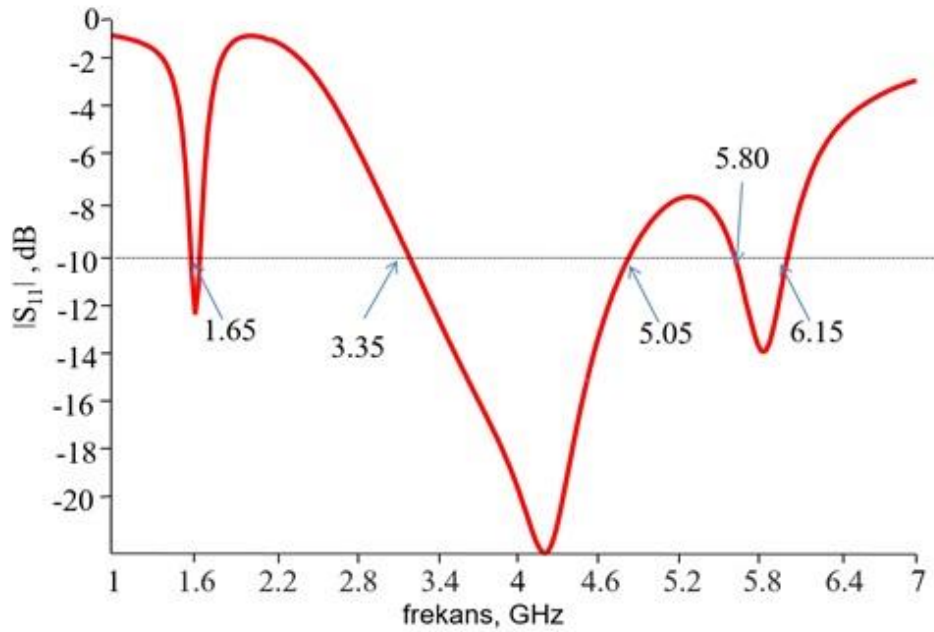
Şekil 3.21. Çift bant kıvrımlı yama mikroşerit anten tasarımı 2

Yama kısmında her adım bir milimetredir. Düz mikroşerit hat üzerinden besleme başlamış ancak bir miktar genişleyerek kıvrımlı yama bölgesine ulaşıldı. Geometrideki ölçüler çizelge 3.5.’de verildi.

Çizelge 3.5. Çift bant kıvrımlı yama mikroşerit antenin ölçüleri

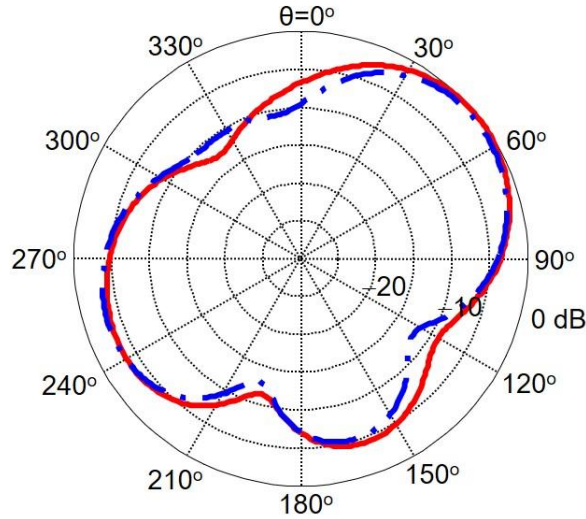
Parametre	Değer	Parametre	Değer	Parametre	Değer
A	24	B	1.5	W	26
L	40	b₁	1	W₁	11
L₁	22	H	0.64	W₂	11.5
ε_r	6.15			W₃	4

Bu optimizasyonda kıvrımların daha çok artırılması ya da iç içe kıvrımlar eklenmesi frekans cevabını daha iyi ve daha anlamlı yapmıyor. Toprak kısmın monopol özellikte olması da bant genişliğini nispeten arttırıyor. Bu antenin frekans cevabına bakıldığında şekil 3.22.’de üç farklı merkez frekans olma ihtimali gözüküyor ancak ilk frekans yeterince kuvvetli olmadığı için çift bant denildi. Başlangıçta frekans cevabı skalası geniş perspektifte düşünülmesi için 1GHz ile 7GHz aralığında tutuldu.



Şekil 3.22. Çift bant kıvrımlı yama mikroşerit anten 2'nin geri-dönüş kaybı (S_{11}) karakteristiği

Çift bant kıvrımlı yama mikroşerit antenin merkez frekansındaki ışıma örüntüsü şekil 3.23.'de gösterilmiştir.



Şekil 3.23. Çift bant kıvrımlı yama mikroşerit antenin merkez frekansdaki ışıma örüntüsü

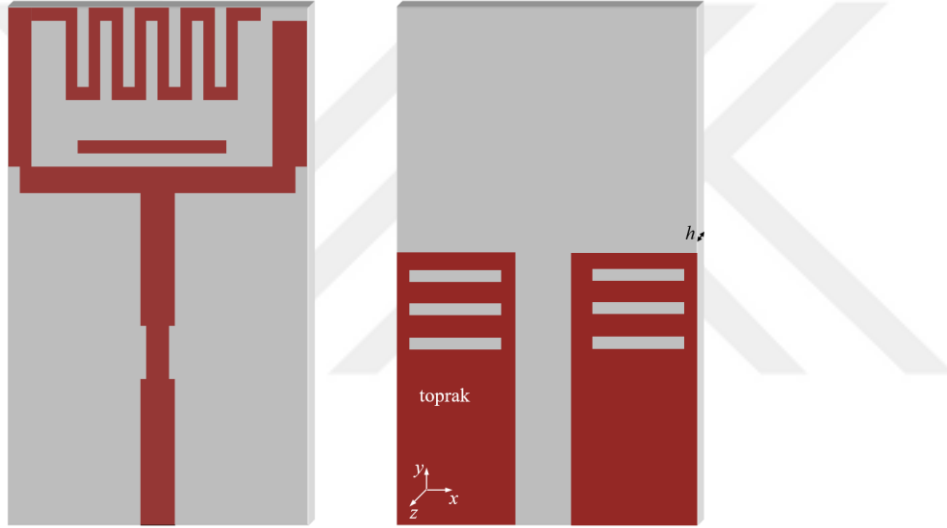
Daha sonra düz bir şerit şeklinde ilerleyen ışıma bölgelerine iletken yolun artırılması için kıvrımlı yamalar eklendi bize üzerinde çalıştığımız antenin toprak ve besleme gibi ışımaya etki eden kısımlarının iyileştirilmesi sonucu anahtarlamalı çift

bandın elde edileceğinin göstergesi niteliğindedir.

3.7.3. Kıvrımlı yama anten tasarımı 3

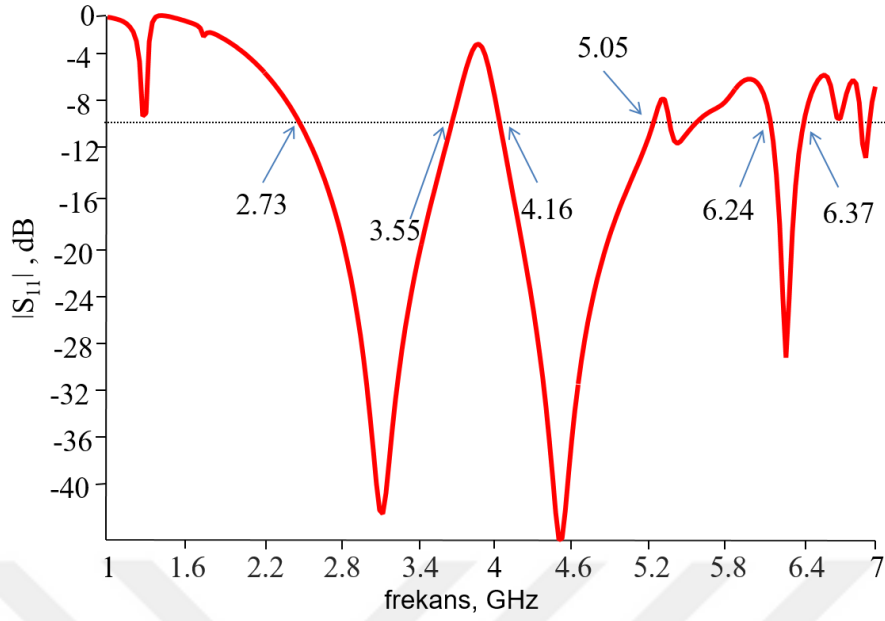
Anten yapılarında geometrinin değiştirilmesi sonucu ışıma frekansı bazen tamamen, bazende kısmen değişir. Bunun sonucu olarak yapılan en ufak bir değişikliğin meydana getirdiği olumsuz durumları, yine diğer bölgelerde yapılan değişikliklerle giderildi.

Bu bölümdeki yama optimizasyonu ile bölüm 3.7.2.'de ki kıvrımlı yama optimizasyonu nisbeten farklıdır. Bölüm 3.7.2.'de başlangıçta kullanılacak yamanın tipi belirlenmiştir, yani yama her 1mm'lik adımlarda kıvrım oluşturmıştır, bu kıvrım 1 mm'de değilde daha uzun ve antenin ışıma yapan bölgesinde, diğer ışıma elemanları ile fiziksel bağlantısı olmadan tasarım gerçekleştirildi. Şekil 3.24.'de görüleceği üzere anten toprak kısımlarında boşluklu yapılar karşılıklı olarak çoğaltıldı ve mikroşerit hat beslemeli kaynakda empedans uyumlama için tekrar optimize edildi.



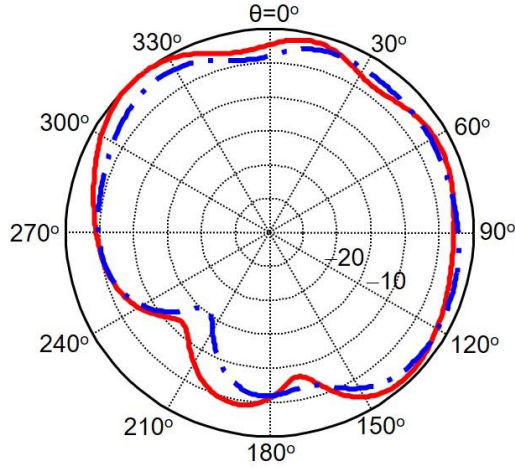
Şekil 3.24. Kıvrımlı yama çoklu bant antende yama optimizasyonu yapılmış anten geometrisi

Bu antende frekans cevabına bakıldığında ü bandlı yapı görülecektir. Ayrıca mikroşerit hat beslemede empedans uyumu çalışılması sonucu frekans cevabı genlik değeri daha iyi çıkmıştır. Şekil 3.25.'de optimize edilen antenin frekans cevabı verilmiştir.



Şekil 3.25. Kıvrımlı yama çoklu bant anten 3'ün geri-dönüş kaybı (S_{11}) karakteristiği

Kıvrımlı yama çoklu bant anten 3'ün ışıma örüntüsü şekil 3.26.'da verilmiştir.



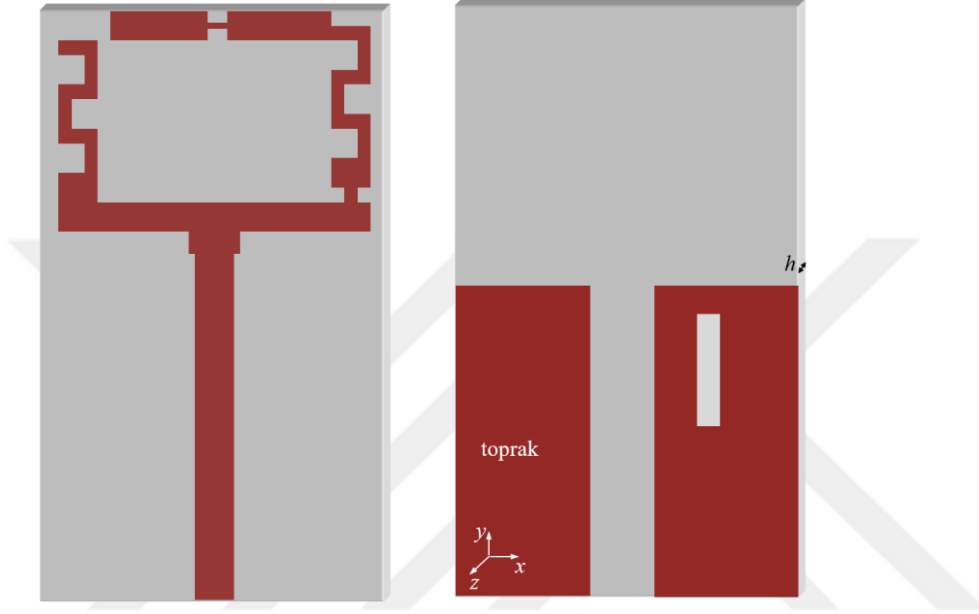
Şekil 3.26. Kıvrımlı yama çoklu bant antenin ışıma örüntüsü

Frekans cevabına bakıldığında çift bandın üçlü banda dönüştüğü görülmektedir. Bu da bize kullanılan antende yapılan optimizasyonların birçok yeni anten konfigürasyonlarına ulaşabileceğini gösterir. Bu çalışmada hedef frekansı yeniden ayarlanabilir mikroşerit yama anten olduğu için optimizasyon çalışmalarına o yönde devam edildi.

3.7.4. Kıvrımlı yama anten tasarımı 4

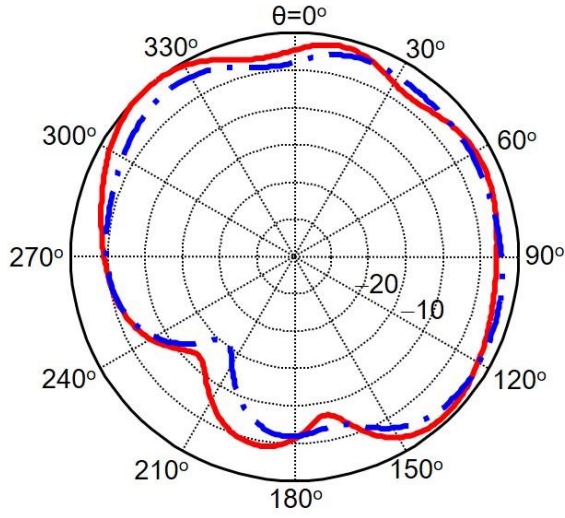
Kıvrımlı yama antende besleme, empedans uyumlaması için önemlidir. Bu tasarımda ağırlıklı olarak hat besleme optimizasyonu çalışıldı ve besleme geometrileri optimize edildi. Uygun besleme tipi ve geometrisi yardımıyla frekans cevabının dip seviyeleri desibel olarak daha iyi seviyelere çekildi. Böylece antenin yama, topak,

besleme kısımları tam bir uyum halinde en uygun biçimde çalıştırıldı. Mikroşerit hat besleme optimizasyonu yapılırken öncelikle hat tek parça ele alındı, sonrasında iki ve üç parçaya ayrılarak bu parçaların boyutları değiştirildi. Geniş başlayıp daralan, dar başlayıp genişleyen, biçimler ayrı ayrı incelendi. Ayrıca dar-geniş-dar, geniş-dar-geniş ve bunların kombinasyonları bilgisayar simülatörü tarafından parametrik olarak çalıştırıldı. Bütün bu sonuçlardan çift bant ve frekansı değiştirilebilecek düzeyde olan geometrilerden bazıları tekrar optimizasyon yapılmak üzere kaydedildi. Bunlarda en iyisi şekil 3.27.'de gösterilmiştir.

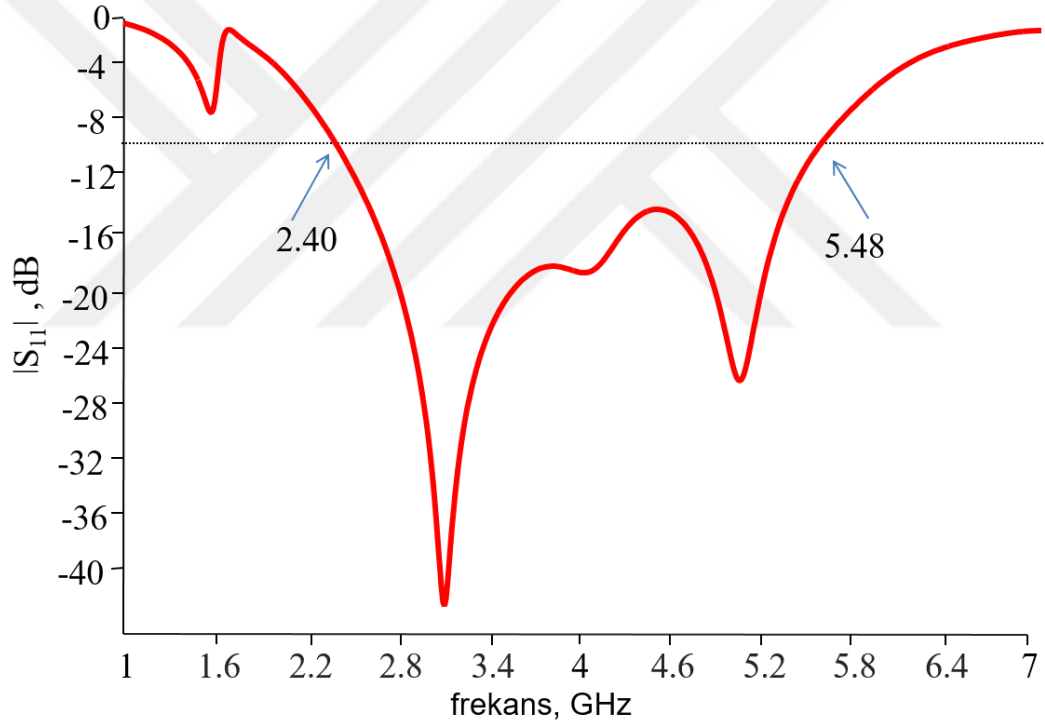


Şekil 3.27. Kıvrımlı yama geniş bant mikroşerit anten tasarımı 4

Şekil 3.28.'de kıvrımlı yama geniş bant mikroşerit antenin ışıma örüntüsü, şekil 3.29.'da frekans cevabı verilmiştir. Frekans cevabının -40 dB seviyelerininde aşağısına indiği görülmektedir. Ayrıca bant genişliğide daha da büyümüştür. Bu haliyle 2,40 GHz ile 5,48 GHz arasında bant oluşmuştur.



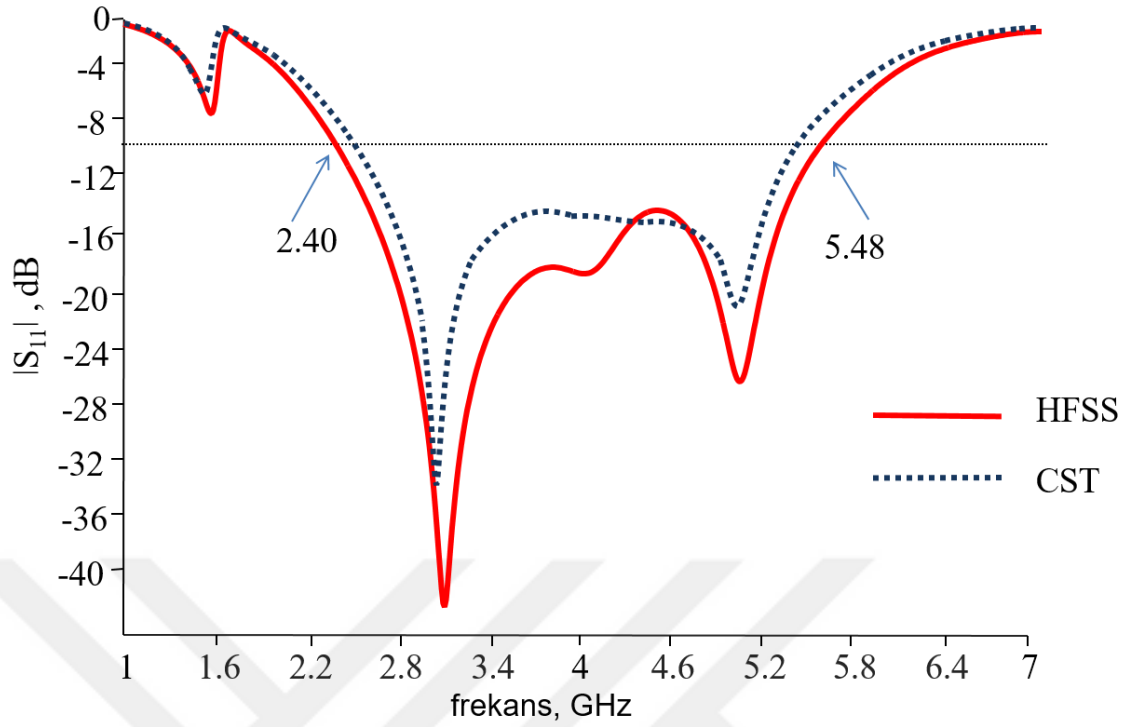
Şekil 3.28. Kıvrımlı yama geniş bant mikroşerit antenin ışıma örüntüsü



Şekil 3.29. Kıvrımlı yama geniş bant mikroşerit anten 4'ün geri-dönüş kaybı (S_{11}) karakteristiği

Bilgisayar simülatörü yardımıyla sıralı ve seri şekilde antenin yama, mikroşerit besleme, toprak bölgelerinde optimizasyon sonucunda frekansı yeniden ayarlanabilir anten tasarımında kullanılabilecek başlı başına özgün ultra geniş bant kıvrımlı yama mikroşerit anten (şekil 3.29.) elde edildi.

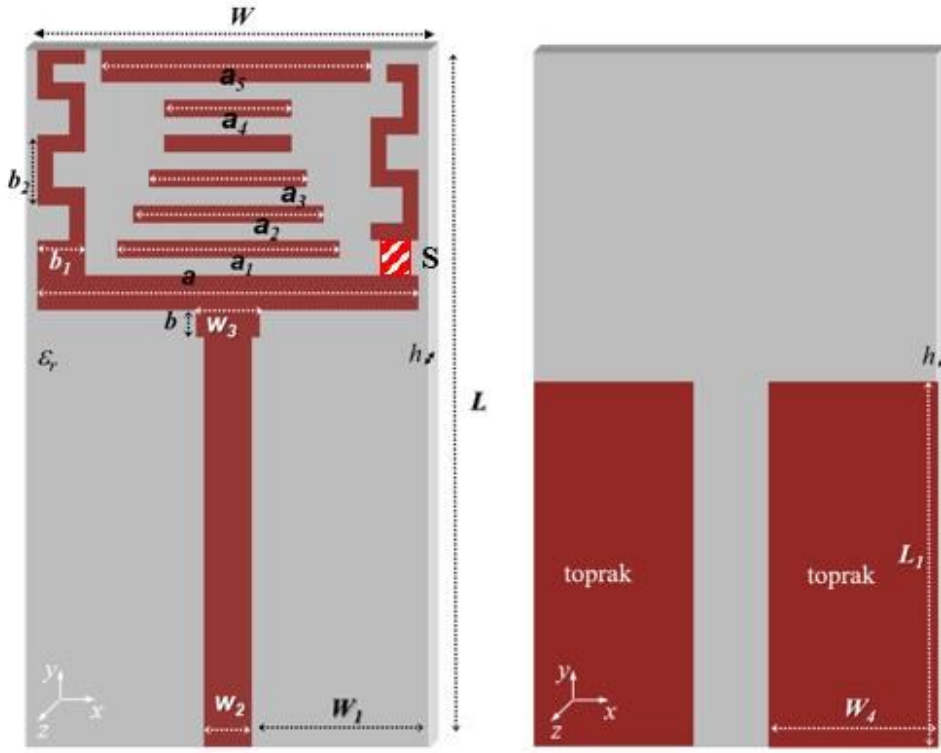
Tasarlanan bu anten üretimi yapılmadan önce Ansoft HFSS ve CST Studio bilgisayar simülatörleri tarafından ayrı ayrı analiz edilip frekans cevapları Matlab programında üst üste (şekil 3.30.) çizdirildi.



Şekil 3.30. Kıvrımlı yama mikroşerit anten 4'ün geri-dönüş kaybı (S_{11}) karakteristiği HFSS ve CST ölçümleri

3.8. Optimizasyonları Tamamlanan Frekansı Yeniden Ayarlanabilir Kıvrımlı Yama Mikroşerit Anten

Başlangıç noktası yarık halka mikroşerit anten olan geometrinin yama, toprak ve besleme bölgelerinde sürekli optimizasyonlar yapılması sonucu önce geniş bant sonrasında çift bant ve son olarakta anahtar yardımıyla frekansı yeniden yapılandırılabilir kıvrımlı yama mikroşerit anten tasarımı gerçekleştirildi. Şekil 3.31.'de metalik ped yerleştirilmemiş haliyle görünüşü verilmiştir. Tasarımda yama elemanı yoğun şekilde kullanılmıştır. Mikroşerit hat beslemede empedans uyumu için ince hat ile başlanmış yama kısmına gelince mikroşerit hat genişletilmiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda frekans sınırlarında hassas ayarlamalar antenin orta bölgesindeki bağımsız yamalar sayesinde gerçekleştirilmiştir. Bant genişliğinin artırılması içinde toprak bölgesi monopol tasarlanmıştır. Son olarak toprak kısmında oyuklu bölgelere ihtiyaç kalmadan optimizasyon hedefine ulaşmıştır.



Şekil 3.31. Frekansı yapılandırılabilir kıvrımlı yama mikroşerit anten

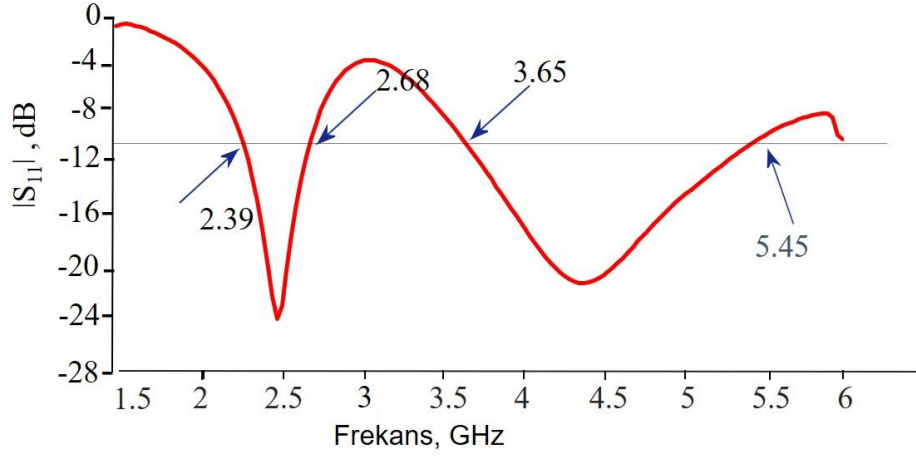
Anahtarın açık ve kapalı konumları için ayrı ayrı geometrileri, frekans cevabı, ışıma örüntüleri bilgisayar simülatörü tarafından analiz edildi. Çizelge 3.6.'da frekansı yeniden yapılandırılabilir mikroşerit yama antenin tam ölçüleri verilmiştir. Taban malzemesi olarak Rogers 3006 kullanıldı. Bu haliyle anahtarın kapalı ve açık konumları için birbirinden farklı ve anlamlı iki tane frekans cevabı elde edildi. Çizelgedeki değerler milimetre cinsindendir.

Çizelge 3.6. Frekansı yeniden yapılandırılabilir mikroşerit yama antenin ölçüleri

Parametre	Değer	Parametre	Değer	Parametre	Değer
A	24	b	1.5	W	26
a₁	14	b₁	3	W₁	11,5
a₂	12	b₂	4	W₂	3
a₃	10	d₁	0,5	W₃	4
a₄	8	d₂	2	L	40
a₅	17	ϵ_r	6,15	L₁	22
		W₄	11	h	0,64

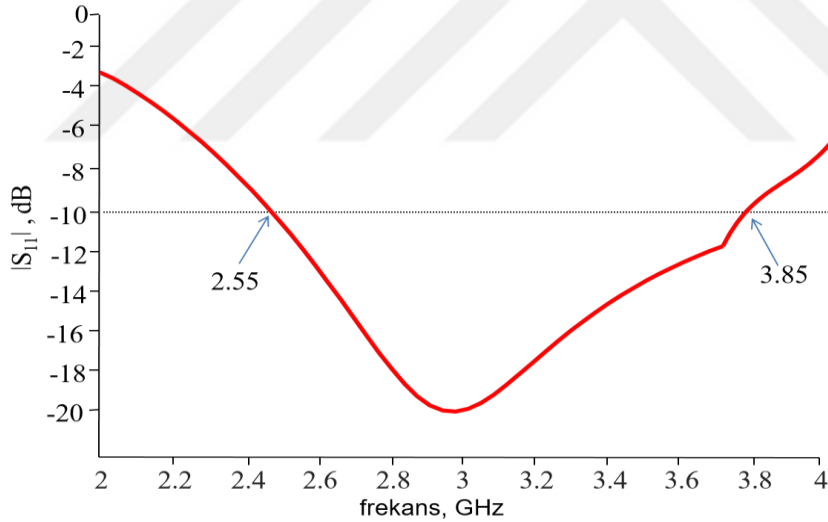
Buna göre anahtar açık konumda iken 2.39 GHz – 2.68 GHz frekans aralığında WLAN uygulamalarında kullanılmak üzere bir bant oluştuğu, ayrıca 3.65 GHz – 5.45

GHz aralığında da geniş bant frekans elde edildi (Şekil 3.32.).



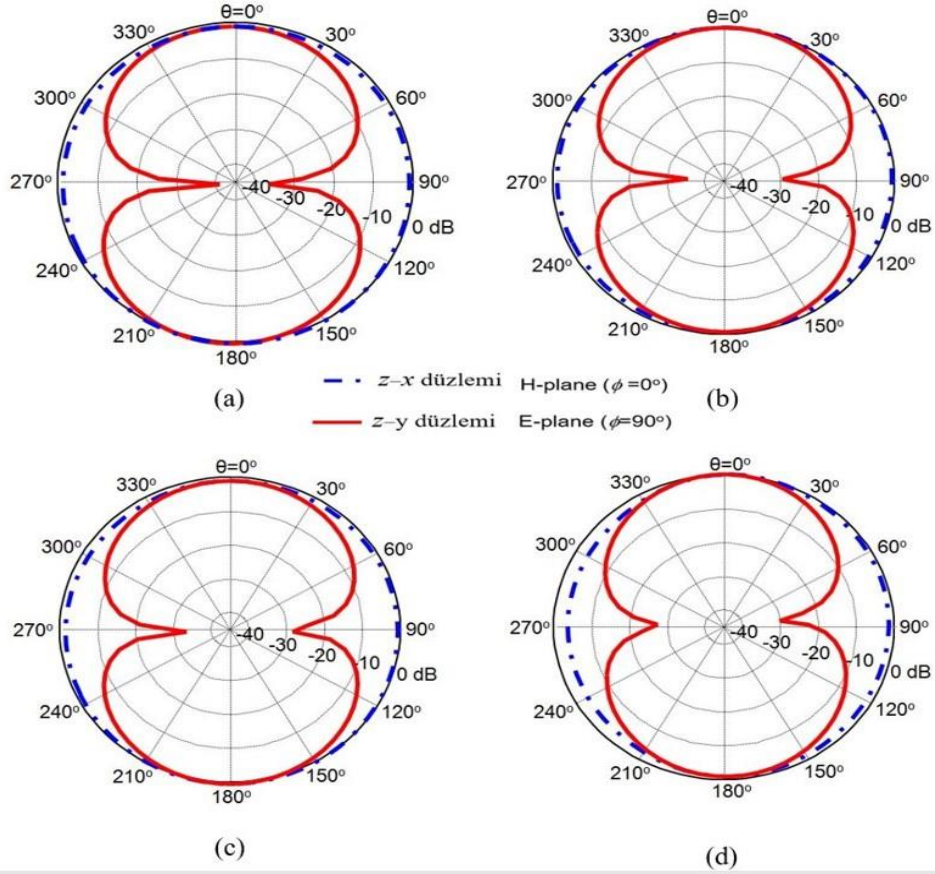
Şekil 3.32. Anahtar açık konumdaki geri-dönüş kaybı (S_{11}) karakteristiği

Anahtar kapalı konumdayken 2.55 GHz – 3.85 GHz frekans aralığında WIMAX uygulamalarında kullanılmak üzere WIMAX'in her iki bantını kapsayan geniş bant frekans cevabı elde edildi. (şekil 3.33.)



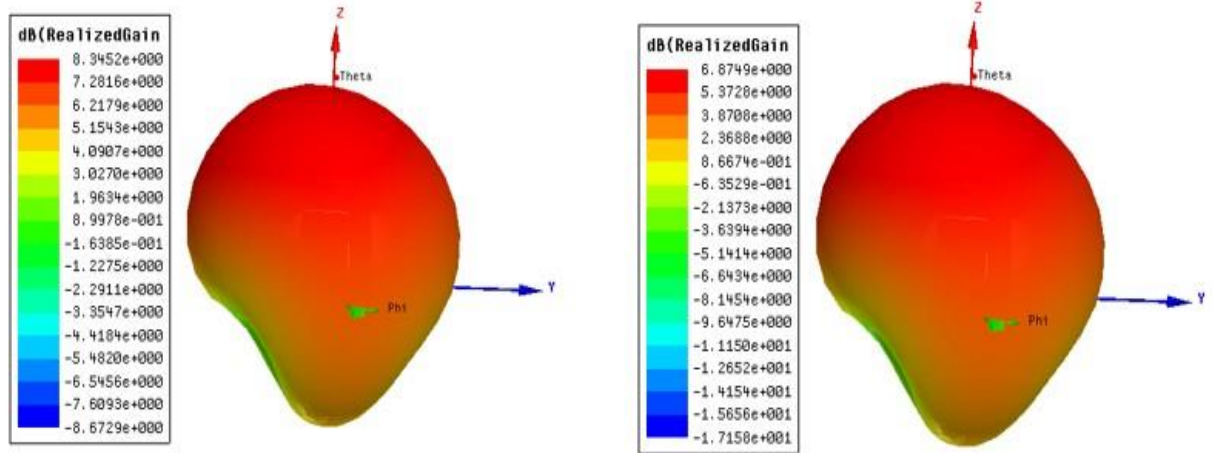
Şekil 3.33. Anahtar kapalı konumda iken bilgisayar simülasyonu tarafından elde edilen geri-dönüş kaybı (S_{11}) karakteristiği

Tasarlanan frekansı ayarlanabilir kıvrımlı yama mikroşerit antenin ışıma örüntüleri şekil 3.34.'de 2,4 GHz, 2,6 GHz, 2,8 GHz, 3,5 GHz frekansları için bilgisayar simülasyonu tarafından çizdirilmiştir.



Şekil 3.34. Frekansı yapılandırılabilir kıvrımlı yama mikroşerit antenin ışıma örüntüsü **a)** f:2.4 GHz, **b)** f:2.6 GHz, **c)** f:2.8 GHz, **d)** f:3.5 GHz

Metalik anahtarın açık olduğu durumda f:2.4 GHz için ve kapalı olduğu durumda f: 2.6 GHz için üç boyutlu kazanç grafikleri şekil 3.35.'de çizirilmiştir.



Şekil 3.35. Frekansı yeniden ayarlanabilir antenin üç boyutlu kazancı

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu bölümde tasarımı yapılan kıvrımlı yama geniş bant mikroşerit anten ve frekansı yeniden yapılandırılabilir kıvrımlı yama mikroşerit antenin üretimleri gerçekleştirildi. İlk olarak kıvrımlı yama geniş bant mikroşerit anten üretimi yapıldıktan sonra geri-dönüş kaybı (S_{11}) karakteristiği ölçülerek simülasyon sonuçları ile karşılaştırıldı.

4.1. Optimizasyonları Tamamlanan Kıvrımlı Yama Geniş Bant Mikroşerit Antenin Üretimi ve Ölçüm Sonuçları

Yıllardan beri üretim teknolojileri alanında yapılan çalışmalar sonunda, elektronik devre elemanları ucuza üretilmiştir. Bunun sonucu günümüzde birçok kişi elektroniği hobi olarak seçmiştir. Fakat yapılan devrelerin ucuzluğu yanında baskı devreye dökmek zahmetli ve pahalıdır. Bunun için bir çok baskı devre çıkarma teknikleri geliştirilmiştir. Bu tekniklerden bazıları;

Pozitif 20

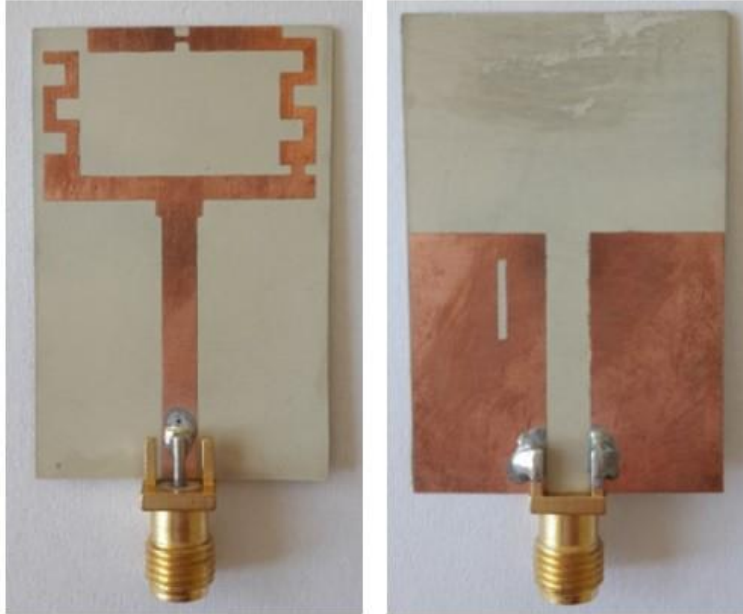
Ipek Baskı

Pnp Teknigi

Serigrafi

Baskı devre kalemi

Bu çalışmada pozitif20 yöntemi tercih edildi. Pozitif20 yönteminde öncelikle anten geometrisi bilgisayar simülatöründen gerber dosyası olarak alındı. Kullanılacak plaka üzerine yapıştırıldı. Sprey plakaya sıkıldıktan sonra kurutuldu. Sonrasında özel bir sıvıya atıldı. Böylece bakır yolları kalırken diğer kısımlar asit çözeltisi yardımıyla açılmış oldu. Pozitif20 yöntemiyle üretilen anten şekil 4.1.'de verilmiştir.

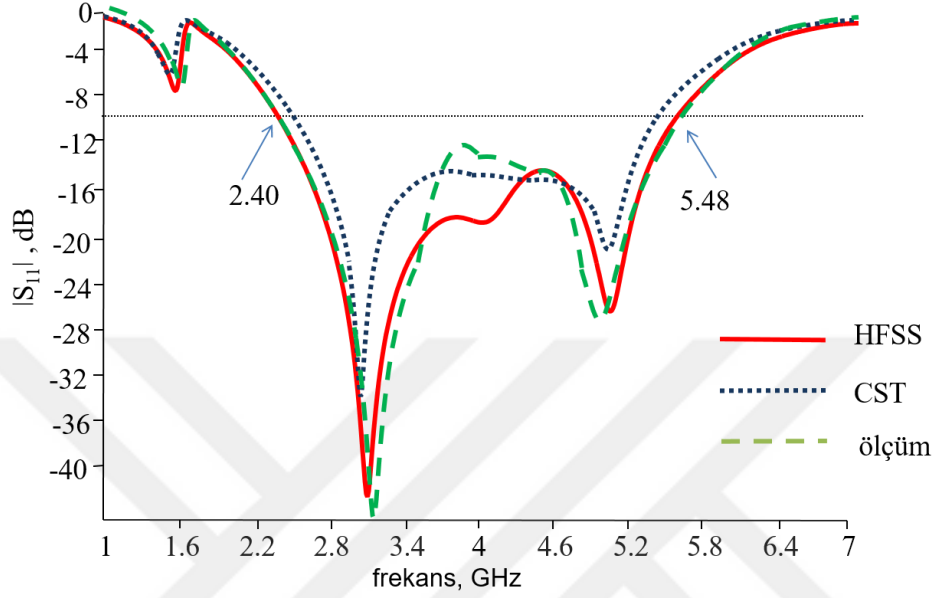


Şekil 4.1. Üretilen kıvrımlı yama geniş bant mikroşerit anten

Üretilen antenin frekans cevabının ölçüm ve simülasyonları çizdirilmiştir. Şekil

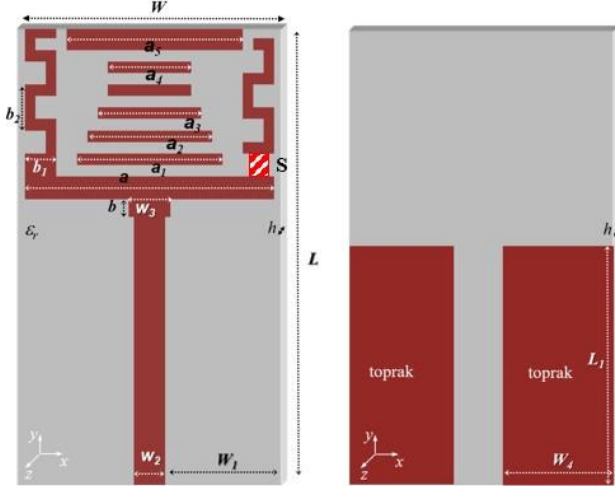
4.2.'de HFSS, CST ve ölçüm sonuçları aynı grafikte görülmektedir.

Sonuç olarak yapılan çalışmada analiz ve üretim evreleri birbirini doğrulamaktadır ve bundan sonra üretimi yapılan ve ölçülecek olan frekansı yeniden yapılandırılabilir kıvrımlı yama mikroşerit antenin doğruluğu için de referans niteliğindedir.

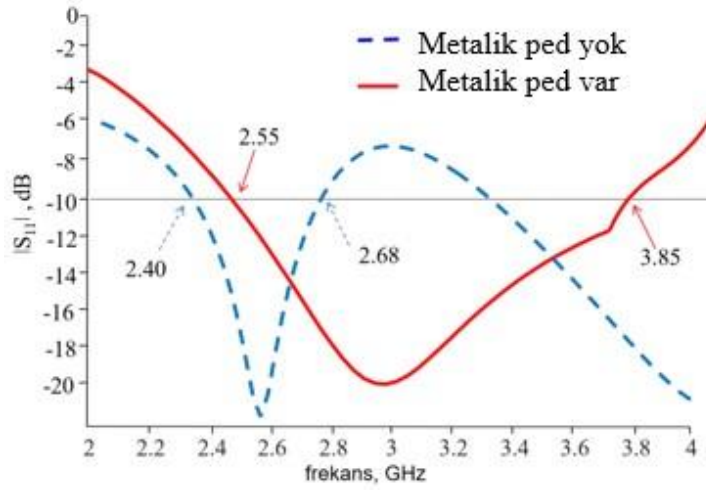


Şekil 4.2. üretilen kıvrımlı yama geniş bant antenin geri-dönüş kaybı (S_{11}) karakteristiği simülasyon ve ölçüm sonuçları

Tasarlanan antenin (şekil 4.3.) ışıma yapan bölgesinde metalik ped koyulmadan önce ve koyulduktan sonra frekans cevabı üst üste çizdirilmiştir.

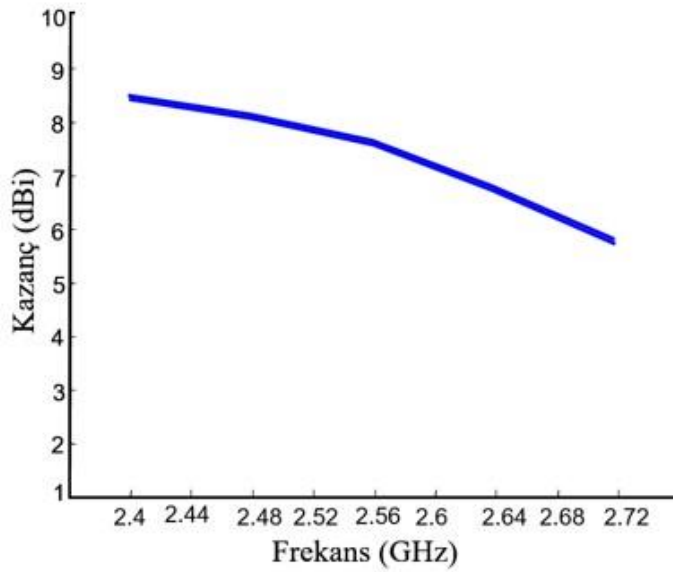


Şekil 4.3. Frekansı yeniden yapılandırılabilir kıvrımlı yama mikroşerit anten



Şekil 4.4. Frekansı yeniden ayarlanabilir kıvrımlı yama mikroşerit antenin diyot açık ve kapalı durumdaki geri-dönüş kaybı (S_{11}) karakteristiği

Kazanç değerlerine (şekil 4.5) bakıldığında 6 dB ile 9 dB arasında olduğu görülmektedir.

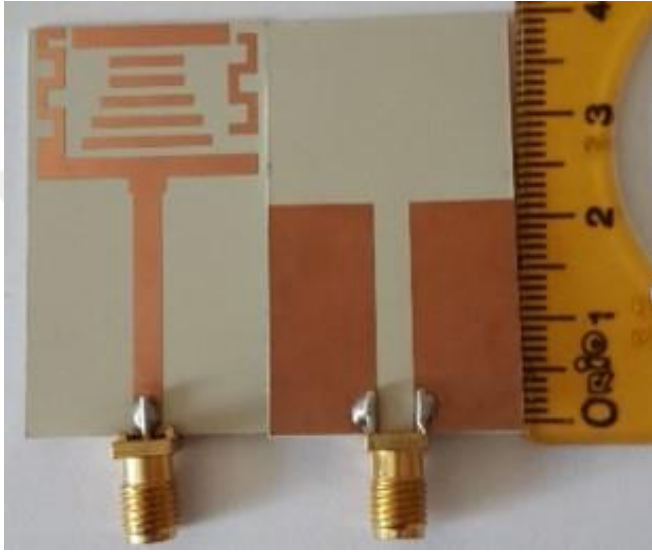


Şekil 4.5. Frekansı yeniden yapılandırılabilir antenin kazancı

5. SONUÇLAR

Bu tez çalışmasında günümüz kablosuz haberleşme uygulamalarında kullanılabilecek, kıvrımlı yama geniş bant, çoklu bant ve frekansı yapılandırılabilir versiyonunun prototip üretimi, EM ölçümleri gerçekleştirilmiştir.

Ayrıca Şekil 5.1.'de frekansı yeniden yapılandırılabilir kıvrımlı yama mikroşerit antenin üretim resimleri koyulmuştur. Metalik anahtarın açık ve kapalı konumlarını doğrulamak için bilgisayar simülatöründe metalik ped kullanılmıştır. Üretilen frekansı yeniden yapılandırılabilir mikroşerit antenin ölçümleride açık devre ve kapalı devre içinde metalik ped kullanılarak ölçülmüştür.



Şekil 5.1. Frekansı yeniden yapılandırılabilir anten prototipi

Tasarımı gerçekleştiren antenlerin, konfigürasyonları ve elektriksel değerleri çizelge 6-1.'de özetlenmektedir. Bu çalışmasının ürünü olan geniş bant, çoklu bant ve frekansı yeniden yapılandırılabilir mikroşerit anten tasarımı, Ansoft HFSS ve CST yazılımları ile simüle edilmiş, fabrikasyonu ve ölçümleri gerçekleştirilmiş anten prototipleri ile sonuçları doğrulanmıştır.

Sonuç olarak;

- Minyatür boyutlu yeni bir çift-bant anten tasarımı gerçekleştirilmiştir.
- Elektriksel olarak küçük geniş bant anten tasarımı gerçekleştirilmiştir.
- Frekansı yapılandırılabilir anten tasarımı yapılmıştır.
- Antenlerin üretimi ve EM ölçümleri yapılmış ve sonuçlarının bilgisayar simülatörü ile yüksek oranda aynı çıktığı görülmüştür.

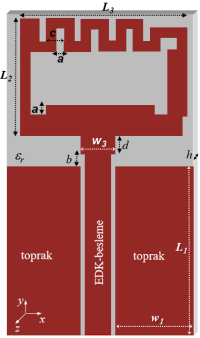
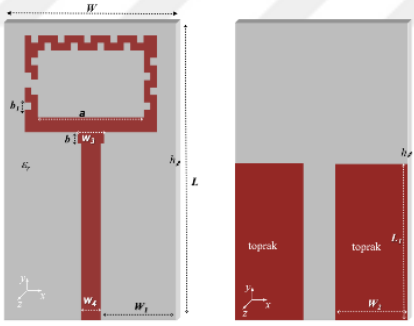
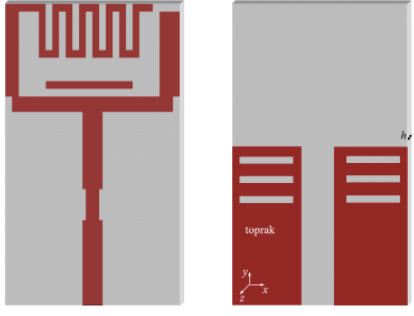
Ayrıca, Tasarlanmış olan frekansı yapılandırılabilir anten, tasarım süreci ve sonrasında elde edilen özgün çıktıları ile uluslararası literatürde önemli bir referans olarak yer alacağı düşünülmektedir. Bu kapsamda, başlıca makale ve bildiri olma potansiyeli taşıyacak çalışmalar şunlardır:

- Özgün bir çift bant kıvrımlı yama anten tasarımı ve üretimi,
- Anteninin frekansı yapılandırılabilir versiyonunun tasarımı ve üretimi,
- Önerilen antenlerin üretimi ve EM ölçümlerinin gerçekleştirilmesi.

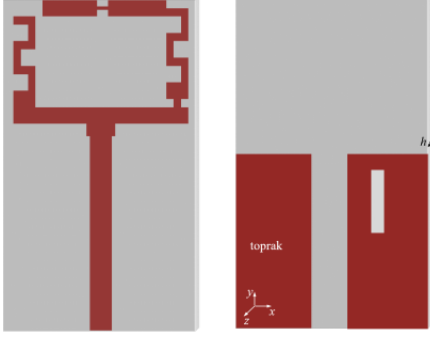
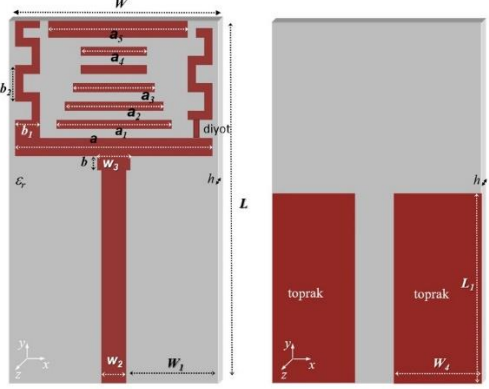
Bu tez çalışmasında SIU 2016' da bir adet poster bildirisi yayınlanmış olup,

ölçümlerin tamamlanmasının sonrasında tez çıktısı olarak en az 1 adet uluslararası dergi makalesi ve 2 adet (1 uluslararası, 1 ulusal) konferans bildirisi yayın çalışması beklenmektedir. Dergi makalelerinin SCI indekslerinde taranan Antennas and Wireless Propagation Letters veya Electronics Letters gibi dergilerde yayınlanması, konferans bildirilerinin ise, IEEE Antennas and Propagation Society gibi önemli konferanslarda sunulması planlanmaktadır. Ulusal bildirinin ise URSI, SIU veya ELECO gibi konferanslardan birinde sunumu gerçekleştirilecektir.

Çizelge 5.1. Kıvrımlı yama mikroşerit anten anten tasarımları

Tasarım	Performans
 Eş düzlemsel anten tasarımı 1	Geniş bant performansı (2.4/3.4 GHz) Bant genişliği; % 38 Düzgün ışıma karakteristiği
 Kıvrımlı Yama Anten Tasarımı 2	Çift-bant performans (3.35/6.15 GHz) Bant genişliği; I. bant: %3.8, II. bant: %2.3 Düzgün ışıma karakteristiği
 Kıvrımlı Yama Anten Tasarımı 3	Çift-bant performans (2.73/6.37 GHz) Bant genişliği; I. bant: %2, II. bant: %2.7 Düzgün ışıma karakteristiği

Çizelge 5.1. 'in devamı

 Kıvrımlı Yama Anten Tasarımı 4	Geniş-bant performans (2.40/5.48 GHz) Bant genişliği; %55 Kazanç; 6 dBi Düzgün ışıma karakteristiği
 Frekansı yeniden ayarlanabilir mikroşerit anten	Frekansı yeniden ayarlanabilir çift-bant performans anahtar kapalı (2.55/3.85) Bant genişliği; I. bant: %24.8 Anahtar açık (2.4/2.68) Bant genişliği; I. bant: %14.6 Kazanç; I. bant: 6 dBi, II. bant: 9 dBi Düzgün ışıma karakteristiği

KAYNAKLAR

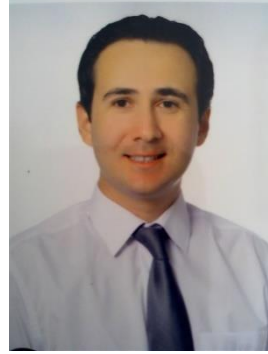
- Alireza Pourghorban Saghati, Mohammadnaghi Azarmanesh ve Reza Zaker. «A Novel Switchable Single- and Multifrequency Triple-Slot Antenna for 2.4-GHz Bluetooth, 3.5-GHz WiMax, and 5.8-GHz WLAN.» *IEEE*, 2008: 534-537.
- Axelrod, A., ve M. Kisliuk. «roadband microstrip-feed slot radiator.» *Microwave J.*, 1989: 81-94.
- Badamchi, A. Valizade, P. Rezaei. «A Reconfigurable Square Slot Antenna with Switchable Single Band, UWB and UWB with Band Notch Function Performances.» *IEEE*, 2015: 383-390.
- Balanis, C. A. *Antenna theory analysis and design*. Second Edition. John Willey & Sons, 1997.
- Balık, H. Y. «Kablosuz haberleşme uygulamalarının kullanım alanları.» *İstanbul Arel Üniversitesi Elektrik-Elektronik Müh.*, 2008: 24-30.
- Barton, M. L., ve Z. J. Cendes. «New vector finite elements for three-dimensional magnetic field computation.» *J. Applied Phys.*, no. 61 (1982): 3919-3921.
- Başaran, S. C. «Kablosuz Haberleşme Uygulamaları İçin Yarık Halka Mikroşerit Anten Tasarımı.» Kocaeli Üniversitesi, 2008.
- Başaran, S. C., ve Y. E. Erdemli. «Dual-band split ring antenna design for WLAN applications.» *5th International Conference on Electrical and Electronics Engineering*. 2007. 201-203.
- Bhartia, Garg ve Bhartia Garg ve. «Garg ve Bhartia.» 2001.
- Caetano, São. *J. Microw. Optoelectron. Electromagn. Appl.* vol.15 no.4, 2016.
- Costantine, J., Y. Tawk, E. B. Silvio, ve C. G. Christodoulou. «Reconfigurable Antennas:Design and Applications.» *IEEE ANTENNAS AND WIRELESS PROPAGATION LETTERS* 14 (2015): 807.
- Courant, R. «Variational methods for a solution of problems of equilibrium and vibrations.» *Bull. Amer. Math. Soc.*, 1943. 1-23.
- Deschamps, G A. «Microstrip microwave antennas.» *Proc. 3rd USAF Symposium on Antennas*. 1953.
- Digikey. «Bias Tee Data Sheet.» 2016.
- Fakharian, M., P. Rezaei, ve A. Orouji. «Reconfigurable Multiband Extended U-Slot Antenna With Switchable Polarization for Wireless Applications.» *Faculty of Electrical and Computer Engineering, Semnan University*, 2010: 19111.
- Garg, R., P. Bhartia, I. Bahl, ve A. Ittipiboon. *Microstrip antenna design handbook*. Artech House Antennas and Propagation Library, 2001.
- Garg, R., ve V. S. Reddy. «Edge feeding of microstrip ring antennas.» 2003. 1941-1947.
- Gutton, H, ve G Baissinnot. Flat aerial for ultra high frequencies. French Patent Patent: 70313. 1955.
- Hattan, F, R Abutarboush, ve S W Cheung. *IEEE TRANSACTIONS ON ANTENNAS AND PROPAGATION*,, 2010.
- Howell, Q. E. «Microstrip antennas.» *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, no. 23 (1975): 90-93.
- Itoh, T., ve W. Menzel. «A full-wave analysis of open microstrip structures.» *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, no. 29(5) (1981): 63-68.
- Jin, Z. J., J. H. Lim, ve T. Y. Yun. «Frequency reconfigurable multiple-input multiple-output antenna with high isolation.» *Published in IET Microwaves, Antennas & Propagation Received*, no. 6 (2012): 1095-1102.

- Jin, Z.-J., J.-H. Lim, ve T.-Y. Yun. «Frequency reconfigurable multiple-input multiple-Frequency reconfigurable multiple-input multiple-» *Department of Electrical and Computer Engineering, Hanyang University, Seoul 133-791, Korea*, 2012.
- Kang, H., ve S. Lim. «Electrically Small Dual-Band Reconfigurable Complementary Split-Ring Resonator (CSRR)-Loaded Eighth-Mode Substrate Integrated Waveguide (EMSIW) Antenna.» *IEEE TRANSACTIONS ON ANTENNAS AND PROPAGATION* (62) 5 (2014): 2368-2374.
- Kang, Hyunseong, ve Sungjoon Lim. «Electrically Small Dual-Band Reconfigurable Complementary Split-Ring Resonator (CSRR)-Loaded Eighth-Mode Substrate Integrated Waveguide (EMSIW) Antenna.» *IEEE TRANSACTIONS ON ANTENNAS AND PROPAGATION*, VOL. 62, NO. 5, 2014.
- Kuo, Y. L., ve K. L Wong. «Printed double-T monopole antenna for 2.4/5.2 GHz dual-band WLAN operations.» *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, 2003: 51(9).
- Lim, Jong-Hyuk, Zhe-Jun Jin, Chang-Wook Song, ve Tae-Yeoul Yun. «Simultaneous Frequency and Isolation Reconfigurable MIMO PIFA Using PIN Diodes.» *IEEE TRANSACTIONS ON ANTENNAS AND PROPAGATION*, VOL. 60, NO. 12, 2012.
- Lo, Y. T., D. Solomon, ve W. F. Richards. «Teory and experiments on microstrip antennas.» *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, no. 27(3) (1979): 137-145.
- Lotfi, P., M. Azarmanesh, ve S. Soltani. «Rotatable Dual Band-Notched UWB/Triple-Band.» *IEEE ANTENNAS AND WIRELESS PROPAGATION LETTERS* 12 (2013): 104-108.
- microwavetools. <http://www.microwavetools.com/monopole/>. 2012. (erişildi: 2019).
- Misman, D., M.Z.A. Abd Aziz, M.N. Husain, M.K. A. Rahim, ve P.J. Soh. «Design of dual beam meander line antenna.» *IEEE*, 2011: 2164-3342.
- Munson, R L. «Conformal microstrip antennas and microstrip phased arrays.» *IEEE Trans. Antennas Propogat.*, no. 22(1) (1974): 74-78.
- Pan, C. -Y., C. -H Huang, ve T. -S. Homg. «A new printed G-shaped monopole antenna for dual-band WLAN application.» *Microwave Opt. Techno. Lett.*, 2005: 295-297.
- Parisa, Lotfi, Mohammadnaghi Azarmanesh, ve Saber Soltani. «Rotatable Dual Band-Notched UWB/Triple-Band WLAN Reconfigurable Antenna.» *IEEE ANTENNAS AND WIRELESS PROPAGATION LETTERS*, VOL. 12, 2013.
- Peus, H., ve A. Van de Capelle. «Accurate transmission-line model for the rectangular microstrip antenna.» *IEEE proc.*, no. 131 (1984): 334-340.
- Pozar, D. *Microstrip antennas*. Proc. IEEE, 1992.
- Sadiku, N. O. *Numerical Techniques in Electromagnetics*. Second edition. CRC Press, 1992.
- Uğurlu, E. «İki irisli paralel levhali dalga kılavuzunun sonlu elemanlar metodu kullanılarak incelenmesi.» *Yüksel Lisans Tezi*. Gebze: Gebze İleri Teknoloji Enstitüsü, 2007. 1-20.
- Volakis, J. L., A. Chatterjee, ve L. C. Kempel. *Finite element method for electromagnetics*. IEEE Press & Oxford University Press, 1998.
- Wang Maowen, Cao Jianzhong, and Peng Wenjuan. *Aces journal*, 2014.
- Wong, K., ve T. Tseng. «Thin internal GSM/DCS patch antenna for a portable mobile terminal.» *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, no. 54(1) (2006): 238-242.
- Yang, X., J. C. Lin, ve F. L. Kong. «Frequency Reconfigurable Antenna for Wireless Communications.» *IEEE ANTENNAS AND WIRELESS PROPAGATION LETTERS* (14), 2015: 708.

- Yang, Z. X., H. C. Yang, J. S. Hong, ve Y. Li. «Bandwidth Enhancement of a Polarization- Reconfigurable Patch Antenna With Stair-Slots on the Ground.» *IEEE ANTENNAS AND WIRELESS PROPAGATION LETTERS*, no. 13 (2014): 579-584.
- Yazdanboost, K. Y., ve R. Kohno. «Ultra wideband L-loop antenna.» *IEEE Int. Conf.* 2005. 201-205.



ÖZGEÇMİŞ
ERKAM TOKGÖZ
erkamtokgoz@hotmail.com



ÖĞRENİM BİLGİLERİ

Yüksek Lisans	Akdeniz Üniversitesi
2014-2020	Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Elektronik Ana Bilim Dalı., Antalya
Lisans	Pamukkale Üniversitesi
2001-2006	Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Antalya

MESLEKİ VE İDARİ GÖREVLER

Mühendis	Özel Sektör
2016-Devam Ediyor	Antalya
Öğretim Görevlisi	Akdeniz Üniversitesi
2009-2016	Elmalı MYO, Elektronik Teknolojisi Programı, Antalya