



T.C.
KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



**ÇOK KATMANLI DİELEKTRİK YAPILARIN
FARKLI MATERYALLER İÇİN ANTEN
PERFORMANSLARININ İNCELENMESİ**

Miriam MUMPUTU

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Ağustos-2020
KONYA

TEZ KABUL VE ONAYI

Miriam MUMPUTU tarafından hazırlanan “Çok Katmanlı Dielektrik Yapıların Farklı Materyaller İçin Anten Performanslarının İncelenmesi” adlı tez çalışması 13/08/2020 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri**İmza****Başkan**

Dr. Öğr. Üyesi Özgür DÜNDAR

.....

Danışman

Doç. Dr. Seyfettin Sinan GÜLTEKİN

.....

Üye

Dr. Öğr. Üyesi Dilek UZER

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Saadettin Erhan KESEN
Enstitü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.



Miriam MUMPUTU
Konya -2020

ÖZET**YÜKSEK LİSANS****ÇOK KATMANLI DİELEKTRİK YAPILARIN FARKLI MATERYALLER İÇİN
ANTEN PERFORMANSLARININ İNCELENMESİ****Miriam MUMPUTU****Konya Teknik Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı****Danışman: Doç. Dr. Seyfettin Sinan GÜLTEKİN****2020, 69 Sayfa****Jüri****Doç. Dr. Seyfettin Sinan GÜLTEKİN
Dr. Öğr. Üyesi Özgür DÜNDAR
Dr. Öğr. Üyesi Dilek UZER**

Mikroşerit antenler, kompakt tasarımları ve ucuz maliyetleri sebebiyle en iyi anten yapıları olarak karşımıza çıkmaktadır. Özellikle son zamanlarda yığılmış çok katmanlı yapılar, sarmal, yarık, dipol ve aynı düzlem (coplanar) dalga kılavuzu (CPW) beslemeli antenler benimsenerek daha geniş bant genişliğine ulaşmaya çalışılmıştır. Bantgenişliği dielektrik sabiti ve geçirgenliği ile ters orantılıdır. Bunun yanında bantgenişliği ve ışınma deseni tanjant kaybına bağlıdır. Bu tez çalışmasında bu özelliklerde dikkate alınarak, tek ve çok katmanlı anten tasarımları yapılmış ve üretilmiştir. Simülasyon ve deneyler sonucunda geri dönüş kaybı (S_{11}), yüzde bantgenişliği (%BW) ve kazanç (G) gibi elektriksel parametreler ile performansları incelenmiştir. Böylelikle çok katmanlı ve farklı dielektrik malzemelerle yapıla antenler ve sonuçları literatüre sunulmuştur. Çok katmanlı anten yapıları, tek, iki, üç ve dört katlı olmak üzere alt tabakalar için yapılmıştır. Buna ek olarak antenlerden daha iyi performans alabilmek için yama üzerine dairesel ve dikdörtgen yarıklar açılmıştır. Antenlerin entegre devrelere uyumlu bir şekilde yerleştirilmesi amacıyla da fiziksel boyutlarının küçüklüğüne dikkat edilmiştir. Bu amaçlarla literatürde yaygın olarak kullanılan ve kayıp tanjant değeri ve dielektrik sabiti düşük malzemeler seçilmiştir. Bu malzemeler, FR4 Proxy, RT/Duroid, Köpük ve Teflon'dur. Antelerin çeşitli uygulamalardaki performanslarını görebilmek için 1 – 9 GHz arası frekanslarda taranmış ve analiz edilmiştir. Analizler sonucunda, 8-11 dB gibi yüksek kazançlı, %14-15 bantgenişliğine sahip ve 15-30 dB geri dönüş kayıplı antenler elde edildiği görülmüştür. Analiz ve modellemeler, sonlu elemanlar metoduna bağlı HFSS simülasyon (Ansoft Yüksek Frekanslı Yapı Simülatörü) yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Mikroşerit Antenler, Çok Katmanlı Yapılar, Kazanç, Bant genişliği, Geri Dönüş Kaybı, HFSS.

ABSTRACT**MS THESIS****INVESTIGATION OF MULTILAYER DIELECTRIC STRUCTURE OF DIFFERENT MATERIALS FOR THE PERFORMANCE OF ANTENNA****Miriam MUMPUTU****Konya Technical University
Institute of Graduate Studies
Department of Electric and Electronic****Advisor: Assoc. Prof Seyfettin Sinan GÜLTEKİN****2020, 69 Pages****Jury****Assoc. Prof Seyfettin Sinan GÜLTEKİN****Asts. Prof. Üyesi Özgür DÜNDAR****Asts. Prof. Üyesi Dilek UZER**

Microstrip antennas are the best antenna structures due to their compact design and low cost. Especially recently, a wider bandwidth has been tried to be reached by adopting stacked multi-layer structures, spiral, slit, dipole and coplanar waveguide (CPW) powered antennas. The bandwidth is inversely proportional to the dielectric constant and permeability. In addition, bandwidth and radiation pattern depend on tangent loss. In this thesis, single and multi-layer antenna designs have been made and produced by taking these features into account. As a result of simulation and experiments, electrical parameters such as return loss (S11), percentage bandwidth (% BW) and gain (G) and their performances were investigated. Thus, antennas made with multi-layered and different dielectric materials and their results are presented in the literature. Multi-layer antenna structures are made for substrates with single, double, triple and quadruple layers. In addition, circular and rectangular slots are made on the patch to get better performance from the antennas. In order to fit the antennas to integrated circuits, attention has been paid to the small physical dimensions. For these purposes, materials with low loss tangent value and dielectric constant and widely used in the literature were selected. These materials are FR4 Proxy, RT / Duroid, Foam and Teflon. In order to see the performance of antes in various applications, they were scanned and analyzed at frequencies between 1 - 9 GHz. As a result of the analysis, it was seen that antennas with high gain such as 8-11 dB, bandwidth of 14-15% and return loss of 15-30 dB were obtained. Analysis and modelling were carried out using HFSS simulation (Ansoft High Frequency Structure Simulator) software based on finite element method.

Keywords: Microstrip Antennas, Multilayer Structures, Gain, Bandwidth, Return Loss, HFSS.

ÖNSÖZ

Çalışmalarında değerli bilgi ve tecrübeleriyle bana yol gösteren, yardımlarını esirgemeyen, yüksek lisans tezim ile ilgili gerçekleştirdiğim çalışmalarda sonsuz sabır, hoşgörü ve ilmi ile yolumu aydınlatan danışmanım Konya Teknik Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü öğretim üyesi Doç. Dr. Seyfettin Sinan GÜLTEKİN'e teşekkürü bir borç bilirim.



Miriam MUMPUTU
KONYA-2020



İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
SIMGELER VE KISALTMALAR.....	ix
1. GİRİŞ	1
1.1 Kaynak Araştırması	2
2. TEMEL ANTEN TANIMI	7
2.1. Anten Tarihi	7
2.2. Elektromanyetik Dalgalar.....	8
2.2.1. Elektromanyetik Dalga Kaynakları.....	9
2.2.2. Elektromanyetik Dalga Parametreleri.....	10
2.2.3. Elektromanyetik Spektrum	10
2.2.4. EM Dalgaların Özellikleri	11
2.3. Antenler	13
2.3.1. Antenlerin rolü	13
2.4. Anten Karakteristikleri	14
2.4.1. Işıma örüntüsü	14
2.4.2. Yönlülük	15
2.4.3. Giriş empedansı.....	16
2.4.4. VSWR (Voltaj Duran Dalga Oranı).....	17
2.4.5. Geri dönüş kaybı	18
2.4.6. Kutuplanma (Polarizasyon).....	18
2.4.7. Bant genişliği.....	19
2.5. Anten Çeşitleri	20
2.5.1 Reflektör antenler.....	20
2.5.2 Temek antenler	21
2.5.3. Koni antenler	21
2.5.4. Mikroşerit antenler.....	21

3. MİKROŞERİT ANTENLER	23
3.1. Giriş	23
3.1.1. Mikroşerit antenlerin avantajları ve dezavantajları.....	26
3.2. Temel Çalışma Prensipleri	28
3.3 Mikroşerit Yama Antenlerin Besleme Teknikleri.....	29
3.3.1 Koaksiyel prob besleme.....	29
3.3.2 Mikroşerit iletim besleme hattı	30
3.3.3 Açıklık bağlaşımlı besleme	31
3.3.4 Yakınlık kuplajlı besleme.....	31
3.4 Mikroşerit Anten Uygulamaları	32
3.5 Anten Parametreleri	33
3.5.1 Bantgenişliği.....	33
3.5.2 Kutuplanma (Polarizasyon)	33
3.5.3 Geri dönüş kaybı	34
3.5.4 Işıma örüntüsü	34
3.5.5 Yönlülük	35
3.5.6 Kazanç	35
3.5.7 Eksensel oran.....	36
4. FARKLI DİELEKTRİKLER KULLANILARAK ÇOK KATMANLI MİKROŞERİT ANTEN TASARIMI VE ÖLÇÜMLERİ.....	37
4.1 Çok Katmanlı Mikroşerit Anten Yapısı.....	37
4.2 Anten Tasarımı ve Uygulamaları	39
4.2.1 Tek katmanlı yapı.....	41
4.2.2 Çift katmanlı Duroid ve FR4 yapısı	43
4.2.3 Üç katmanlı FR4, Duroid ve Köpük yapısı	45
4.2.4 Dört katmanlı anten.....	47
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	50
5.1 Sonuçlar	50
5.2 Öneriler	51
6. KAYNAKLAR	53
7. EKLER	56
8. ÖZGEÇMİŞ	60

SIMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

E	Elektrik Alanı
H	Manyetik Alanı
$\lambda/2$	Yarım Dalga Boyu
ρ	Yük Yoğunluğu
ε	Elektriksel Geçirgenlik
μ_0	Manyetik Geçirgenlik
σ	Elektriksel İletkenlik
c	Işık Hızı
λ_0	Boşluk Dalga Boyu
P	Yüzey Güç Yoğunluğu
D	Yönlülük
D_0	Maksimum Yönlülük
U	Radyasyon Yoğunluğu
U_{max}	Maksimum Radyasyon Yoğunluğu
U_0	İzotropik Kaynağın Radyasyon Yoğunluğu
P_{rad}	Toplam Radyasyon Gücü
Z_{in}	Giriş Empedans
f_r	Çalışma Frekansı
L	Dikdörtgen Mikroşerit Anten Eni
W	Dikdörtgen Mikroşerit Anten Boyu
h	Mikroşerit Anten Taban Yüksekliği
S_{11}	Geri Dönüş Kaybı
V_r	Yansıyan Dalganın Genliği
V_i	Olay Dalgasının Genliği
t	Mikroşerit Anten Yama Ve Toprak Düzlemi Kalınlığı
f_0	Rezonans Frekansı
Q	Kalite Faktörü
G	Kazanç
E_{rad}	Toplamı Radyasyon Verimi
E_{pol}	Polarizasyon Verimi

Kısaltmalar

CPW	Coplanar Dalga Kılavuzu
VSWR	The Voltage Standing Wave Ratio- Duran Dalga Oranı
BW	Bant Genişliği
HFSS	Ansoft Yüksek Frekanslı Yapı Simülatörü
CMPA	Dairesel Mikroşerit Yama Anten
FEM	Finite Element Method – Sonlu Elemanlar Metodu
MOM	Method Of Moments – Momentler Metodu
GPS	Küresel Konumlama Sistemi
LTCC	Düşük Sıcaklıkta Kabartmalı Seramik
CST	Computer Simulation Technology
YSA	Yapay Sinir Ağları
RHCP	Right Hand Circular Polarized - Sağ El Dairesel Polarize Portu
WiMAX	Worldwide Interoperability For Microwave Access
IEEE	The Institute Of Electrical And Electronics Engineers
GSM	Global System For Mobile Communications - Mobil İletişim İçin Küresel Sistem
UMTS	Universal Mobile Technology System - Yani Evrensel Mobil İletişim Sistemi
VNA	Vector Network Analyzer

1. GİRİŞ

Anten, elektrik sinyallerini elektromanyetik dalgalara veya elektromanyetik dalgaları elektriksel sinyallere dönüştürmek için kullanılan bir cihazdır. Bir anten alıcı ve verici olarak sınıflandırılabilir. Aynı antenin elektromanyetik dalgaları iletebilmesi ve alması için kullanılabilmesi de bilinmektedir. Bir antenin önemli özelliği, uzaya yayılan gücü odaklama ve şekillendirme yeteneğidir. Mikrodalga terimi, 1GHz ve 300GHz (Asad'ullah'Noor 2012) arasındaki frekans radyasyonları için kullanılmaktadır.

Mikroşerit antenin küçük olan boyutu; kolay entegrasyonu, hafif olması ve az yer kaplaması nedeniyle en çok tercih edilen anten türüdür (Asad'ullah'Noor 2012). Daha geniş bant genişliği elde edilebilmesi ve dar empedans bant genişliğinin sınırlandırılmasını gidermek için; oluklu yama anteni, yığılmış kısa devre yamaları, parazit yamaları, beslenen prob yığın anteni ve çok katmanlı mikroşerit yama anteni yapısı gibi farklı teknikler önerilmiştir.

Elektromanyetik dalgalar halinde yayılan ışınım; antenin yama şekline, dielektrik yapısına, frekans bölgesine göre değişiklikler arz etmektedir. Beklenen durum, hedef ve uygulama alanına göre değişmekle beraber genellikle; kazancı, verimi, yönlülüğü, bant genişliği, empedans uyumu ve geri dönüş kaybı gibi elektriksel parametrelerinin optimum değerlerde tasarlanması ve üretilmesi yönündedir. Bu parametreleri etkileyen en önemli unsurlar ise antenin iletken ve dielektrik yapısıdır. Bu yapı tek veya çok katmanlı olabilir. Elektriksel parametreleri birincil derecede etkileyen tek katmanlı bir dielektrik yapı üzerinde, farklı malzemeler ve farklı yama şekilleri denenerek en iyi sonuçların alınması amacıyla birçok çalışma yapılmış ve literatüre kazandırılmıştır.

Çok katmanlı dielektrik yapı üzerinde yapılan çalışmalar ise oldukça azdır. Çok katmanlı yapı üzerinde yayılan elektromanyetik dalga, dielektrik içinde değil, serbest alanda oluşmaktadır. Böylece daha küçük kayıplar ortaya çıkabilir (Moon, 2007). Kayıpların azalması ise elektriksel parametrelerin istenen seviyelere çekilmesi ve ideal bir antenin tasarlanması anlamına gelmektedir.

Bu tez çalışmasında, HFSS (High Frequency Structure Simulator) programı yardımıyla farklı materyaller kullanarak ve çok katmanlı dielektrik yapılar tasarlanarak, antenin elektriksel parametrelerinin en iyi hale getirilmesi amaçlanmıştır. Elde edilen sonuçlarla birlikte anten parametrelerinin performansları incelenecek, hesaplanan değerler teorik sonuçlarla karşılaştırılacak ve literatüre sunulacaktır.

1.1 Kaynak Araştırması

Ankita Wadhera, Vikas Tiwari, D.Arya (2015), çalışmalarında kablosuz iletişim için dairesel mikroşerit yama anten (CMPA) tasarımı yapmışlardır. Anten 1.3 GHz'de çok bantlı ve 2 yarık slot ile tasarlanmıştır. Tasarıma 3 yarık ve 6 yarık ile devam edilmiştir. Yapılan uygulamalar bant genişliği hedeflenerek yapılmıştır. Bant genişliği artışı yaklaşık olarak %63.3 iki, üç ve altı yarık yarık yamalarda ise sırasıyla %72.10 ve %37.5 olarak elde edilmiştir. Sonuçlar yariksiz tasarımla karşılaştırıldığında çoklu bant CMPA kablosuz iletişim için çok iyi bir örnek olduğu ortaya konulmuştur.

Rupesh Budharam Raut, V.D. Nagrale (2013), 2.4 GHz'de aralıklı mekanizmalı, yüksek kazançlı, çok katmanlı koaksiyel besleme mikroşerit yama antenini araştırmışlardır. Anten HFSS'te tasarlanmıştır. Önerilen antenin, geleneksel mikroşerit yama anteninin iki katı kazanca sahip olduğunu gösterilmiştir. Bu antenin ortaya çıkan boyutu, mobil ahizeyle bir uygulama için kullanılmasına izin verilmiştir. Sonuçlara göre bant genişliğinin % 40'tan büyük 450 ila 750 GHz ($S_{11} < 10\text{dB}$) olduğu gösterilmiştir. Kazanç 4.65 dB'ye ulaşmıştır. Geri dönüş kaybı, giriş empedansı eşleşmesi sayesinde bu antenin GPS uygulamalarında iyi bir şekilde kullanabileceği sonucuna varmışlardır.

Moon (2007), çalışmasında çok katmanlı, kompozit yapıya sahip, uydu haberleşmelerinde kullanılmak üzere bir mikroşerit antenin yüzey yapısını (SAS) tasarlamıştır. Yapıda anten elemanları katmanlar biçiminde yerleştirilmiştir. Rezonans frekansı 12.2 GHz olan antenin ölçümlerinin tasarım için elde edilen simülasyon verileriyle uyumlu olduğu görülmüştür. Antenin bükülme davranışı için dönerli 4 noktada bükme testi yapılmış olup elde edilen statik ve yorulma test verileri incelenmiştir. SAS için elde edilen yorulma eğrisi çıkarılarak, deneysel sonuçlarla tahmin denklemlerinin uyumlu olduğu tespit edilmiştir. Sonuç olarak uydu yüzeyinde kullanılmak üzere gövde panel üreticileri için rehber olabilecek bir anten tasarımı yapılmıştır.

Wadhera (2015), çalışmasında kablosuz iletişim için dairesel mikroşerit yama anten (CMPA) tasarımı yapmıştır. Anten 1.3 GHz'de çok bantlı ve 2 yarık slot ile tasarlanmıştır. Tasarıma 3 yarık ve 6 yarık ile devam edilmiştir. Bu uygulamalarda bant genişliği hedeflenerek yapılmıştır. Bant genişliği artışı yaklaşık olarak %63.3; iki, üç ve altı yarık yarık yamalarda ise sırasıyla %72.10 ve %37.5 olarak elde edilmiştir. Sonuçlar yariksiz

tasarımla karşılaştırıldığında çoklu bant CMPA kablosuz iletişim için çok iyi bir örnek olduğu ispatlanmıştır.

David M. Pozar ve Sean M. Duffy (1997), L_1 ve L_2 bantlarında, GPS uygulamalarında kullanılabilir çok katmanlı yapıda dikdörtgen mikroşerit anten tasarlamışlardır. Açıklık bağımlı besleme tekniği kullanılan bu çalışmada, 0.635 cm kalınlığında iki katman Duroid 5870 alttaşı kullanılmıştır. Bant genişliğini arttırmak, materyal maliyetini düşürmek ve ürün ağırlığını azaltmak amacıyla Duroid 5870 alttaşları altına Rohacell köpük malzemesi de eklenmiştir. Mikroşerit besleme için en alt tabakada ise besleme hattının üzerinde bulunduğu bir katman daha mevcuttur. Bu beş katmanlı yapıda dairesel polarizasyon gerekliliğini de sağlamak amacı ile Wilkonson güç bölücüleri tasarıma dâhil edilmiştir. Çalışma sonucunda üretilen antene ait aksel oran, ışınma örüntüsü ve grup gecikmesi grafikleri oluşturulmuştur.

Shridhar E. Mendhe ve Y.P. Kosta (2015), ultra geniş bant uygulamaları için parazitik yamalar ve alt yamaya beslenen tek bir prob bulunan üç katmanlı bir dikdörtgen mikroşerit yama anteni sunumunu yapmışlardır. Ultra geniş bant 3.1-10.6 GHz frekans bandı kullanılmıştır. Burada önerilen anten Ansoft tasarımcısı tarafından 5.5 GHz merkez frekansında simüle edilmiştir. Antenin bant genişliği 2,8GHz olup bant genişliği %50'ye ulaşmıştır. Antenin duran dalga oranı 1.27 ve dönüş kaybının (dB cinsinden S_{11}) 4,14 GHz ile 6,94 GHz üzerinde -10 dB'den az olduğu gösterilmiştir. Önerilen antenin UWB sektörü için gerekli olan temel gereksinimleri karşıladığı tespit edilmiştir.

Yashar Zehforoosh, Changiz Ghobadive Javad Nourinia (2006), çalışmalarında ultra geniş bant uygulamaları için Yığılmış Çoklu Rezonatör yamaları kullanılarak yeni çok katmanlı mikroşerit anten tasarlayıp bu anten simüle edilmiştir. Tasarlanmış anten, mobil uygulamalar için uygun bir yapı oluşturmada büyük bir başarı olduğunu söylenmiştir. Antenin alt kısmında üç dikdörtgen yama ve üst katmanlarda iki yama koyulmuştur. Elde edilen sonuçlara göre bant genişliği yaklaşık %50 mevcut ve maksimum kazanç yaklaşık 7.5 dB şeklinde bulunmuştur. Bu yapının ultra geniş bant ürünleri için kullanışlı bir tasarım olarak desteklenebilir olması gösterilmiştir. Anten, Ansoft tasarımcısı kullanılarak tasarlanmış, optimize ve simüle edilmiştir.

Khushboo Naruka, Prof. Dr. Sudhir Kumar Sharma, Devendra Soni (2014), çalışmalarında çift katmanlı mikroşerit yama anteninin bir tasarımı sunulmuştur. Bu anten Zeland yazılım Inc. tarafından elektromanyetik bir simülasyon paketi olan IE3D üzerinde deneysel olarak incelenmiştir. Çift katmanlı mikroşerit yama anteni, 1.524 mm kalınlığında ve

4.4 bağıl geçirgenliği olan bir FR4 alt tabakası üzerinde tasarlanmıştır. Bant genişliği içinde kazanç ve çapraz polarizasyon gibi kararlı model özellikleri ile %8.1'e varan yüksek bant genişliği elde edilmiştir. Önerilen anten için empedans bant genişliği, anten kazancı ve dönüş kaybı detaylı şekilde incelenmiştir. Elde edilen sonuçlarda; rezonans frekansını 9.14 GHz ve toplam kullanılabilir empedans bant genişliği önerilen antende %8 bulunmuştur. Rezonans frekansında minimum -34.67 dB geri dönüş kaybı mevcuttur. Tasarımda, hava boşluğu mikroşerit yama antenli tek bir prob beslemeli çift katın, rezonans frekansı 9.14 GHz ile Wi-max kablosuz iletişim sisteminde çalışan %8 empedans bant genişliğine sahip bir anten oluşturmak için kullanılabilmesi sonucuna varılmıştır.

Nivedita Shankar Mahadik ve Sheetal Bhujade (2015), çalışmalarında Wi-Max uygulaması için 5,8 GHz'de kazancın artırılmasıyla ilgili Çok Katmanlı Parazitik Mikroşerit Anten Dizisinin tasarımını yapmışlardır. Mikroşerit yama anten dizisi farklı substratlar kullanılarak tasarlanmıştır. Birinci katman FR4 substratından yapılırken, diğer katmanlar farklı substratlardan yapılmıştır. Anten HFSS ve CST'de tasarlanıp sonuçlar karşılaştırılması yapılmıştır. Yama için gerçekleştirilmiş ilk simülasyon 11mm x 11mm olup iyi bir sonuç alabilmek için 13mm x 14mm'ye kadar değiştirilmiştir. Birinci katman FR4 substratlı; ikinci katman RT-5880 substratlı; üçüncü katman yamaları ise kareden dikdörtgene dönüştürülmüştür. Simülasyonlardan sonra HFSS'de -27 dB geri dönüş kaybı kaydedilmiş ve CST'de -26.9 dB farkın mevcut olduğu tespit edilmiştir.

P. Malathi ve Raj Kumar (2009), çalışmalarında çok katmanlı dikdörtgen mikroşerit yamayı tasarlamak için Yapay Sinir Ağları (YSA) modelini geliştirmişlerdir. Tasarım prosedüründe, ileri besleme ağı olarak ve sentez YSA modeli kullanarak rezonans frekansı hesaplanmıştır. Mikroşerit antenini çok katmanlı bir ortamda tasarlamak için çok katmanlı Algılayıcı (MLP) Modeli kullanılmıştır. Ağ, başlangıç aşamasında istenen çıkışı elde edebilmesi için girişte bilinen parametre seti ile eğitilmiştir. Çalışmada, ağın eğitimi için performans hedefi 0.001, gizli düğüm sayısı 20 ve çıkış düğümü sayısı 1 olarak belirlenmiştir. Analiz aşında alt ve üst tabakanın frekans, yükseklik ve dielektrik sabitini girerek antenin geometrik parametrelerini elde etmek mümkündür. Analiz ağının giriş-çıkış verilerini tersine çevirerek sonuçlar belirlenmiştir. Bu model ile birlikte geniş bant genişliği olan yüksek kazançlı antenler tasarlayabilmek ve koruyucu katmanın etkisini inceleyebilmek için kullanılabilir olduğu sonucuna varılmıştır. Bu modelin, çevreden etkilenen tüm iletişim sistemlerinin tasarımı için uygunluğu belirlenmiştir.

Chen (2012), Kompakt Çift Bantlı (L_1/L_2) GPS Anten Tasarımı, bu çalışmada hem L_1 hem de L_2 bantları GPS sinyallerini alabilmek için geliştirilen küçük bir yarık açılmış, yama anten tasarımı yapılmıştır. Tasarım, bu iki bant kapsamında, L_2 bandı için yama modu, L_1 bandı için bir yuva modu kullanılarak yapılmıştır. Anten boyutunu 25,4 mm'ye indirebilmek için yüksek dielektrik malzeme ve kıvrımlı yarık hattı kullanılmıştır. RHCP (sağ el dairesel polarize portu), iki ortogonal modu küçük bir 0° ve -90° hibrit yonga ile birleştirerek elde edilmiştir. Hem yama hem de yuva modları, tek bir yakınlık probunu paylaşarak, antenin yanına yerleştirilmiştir.

Kurnia G.F. Nugroho B.S. ve Prasetyo A.D. (2014) tarafından yapılan çalışmada 2.2–2.5 GHz bandında uydu haberleşmesi uygulamasında kullanılacak Planar Inverted-F Antenna (PIFA) yapıda bir mikroşerit anten tasarlanmıştır. Dairesel polarizasyon, dört PIFA antenin bir çember oluşturacak şekilde ve aralarında 90 derece faz farkı olacak şekilde yerleştirilmesiyle sağlanmıştır. Aynı zamanda aksel oran değeri iyileştirmesi için köşe kesim yöntemi de kullanılmıştır.

Bing Bai, Jungang Miao ve Fengqin Lee (2007) tarafından L_1 ve L_2 bantlarında, GPS uygulamalarında kullanılacak çok katmanlı yapıda bir dikdörtgen mikroşerit anten tasarlanmıştır. Çift koaksiyel besleme tekniği kullanılan bu çalışmada dairesel polarizasyon, güç bölücüler kullanılarak sağlanmıştır. Çift besleme kullanarak maliyeti arttırılmasına rağmen üretimden kaynaklanabilecek hatalar en aza indirilmiş ve L_1 (1575.42 MHz) ve L_2 (1227.60 MHz) bantlarında yüksek bant genişlikleri ve L_1 ve L_2 bantlarında sırasıyla 250 MHz ve 100 MHz bant genişlikleri sağlanmıştır.

Chen C. (2010), Bu çalışmada, düşük sıcaklıkta kabartmalı seramik (LTCC) teknolojisini kullanarak, 1227 MHz (L_2) ve 1575 (L_1) MHz'de küresel konumlandırma uydu (GPS) işlemleri için tek besleme çift bantlı bir mikroşerit anten tasarımı sunulmuştur. GPS anten tasarımının detayları ve simülasyon ve deneysel sonuçları sunulmuş ve tartışılmıştır. Ölçülen sonuçların, tasarım sonuçları ile uyumlu olduğu görülmüştür. Sonuç olarak tasarlanan “çok katmanlı LTCC taban kullanılarak kompakt çift bant GPS mikroşerit anten”, L_1 ve L_2 bantlarında ve GPS uygulamalarında kullanılabilir. Ayrıca önerilen yapı, boşluk sınırlı bir ortam ve çok katmanlı dielektrik anten uygulamaları için uygulamalı bir örnektir.

S. Phani Varaprasad & R. Prasad RAO (Jan 2017) , Bu makalede mikro-band anteninin çok katmanlı substrat ve yama antenleri açısından etkili bir analizini sunulmuştur. Mevcut buluş genel olarak mikro bant antenlerin tasarımı ve yapımı ile ilgilidir. Daha özel

olarak buluş, çok katmanlı bir substratın ardışık katmanları üzerinde düzenlenmiş çok sayıda birbirine bağlı bölüm içeren mikro-bant antenler ile ilgilidir. Sayısal sonuçlarda, mevcut yöntem, çok katmanlı ortamlarda mikro-bant antenleri analiz etmek için etkili ve doğru bir şemadır. Genel olarak, antenin ışın genişliği substrat katmanlarının sayısındaki artışla artmıştır. Kiriş genişliği ile antenin yönelimi arasında bir değişim varmış. Bu çalışmada, kiriş genişliği yönlülüğün optimal değeri için artmış. Tek bir yama antenine sahip çok katmanlı bir substrat için yapılan sonuç analizi, tek katmanlı substrat ile karşılaştırılmış. Anten substratının şekli dikdörtgen olarak kabul edilmiş ve yamanın şekli, farklı kalınlıklarla dikdörtgen biçiminden dairesel şekle değiştirilmiştir. Substratın kalınlığı yaklaşık 1.6mm, 5mm, 8mm'dir, substrat malzemelerinin farklı geçirgenliği ile düşünülmüştür.

K.Jothilakshmi, Dr. P.Jothilakshmi (April 2017), çalışmasında çok katmanlı yapı yama anteni (MSPA) adı verilen yeni bir model önerilmiştir. Eşdeğer model, mevcut literatüre dayanılarak geliştirilmiştir ve geniş bant ve çok bant özellikleri elde etmek için ayrıntılı olarak analiz edilmiştir. Geniş bantlı MSPA'lar için, teorik maksimum bant genişliği VSWR kriteri altında türetilir. MSPA modeli tarafından elde edilen empedans özelliklerinin diğer dalga elektromanyetik simülasyonları ve ölçümleri ile karşılaştırılması için çalışılması ve valide edilmesi önerilmektedir. Önerilen anten, CST mikrodalga stüdyosu kullanılarak optimize edilmiştir.

2. TEMEL ANTEN TANIMI

Elektrik sinyallerini elektromanyetik dalgalara veya elektromanyetik dalgaları elektriksel sinyallere dönüştürmek için kullanılan cihazlardır. Alıcı ve verici anten fiziksel özellikleri bakımından farksızdır. Bilginin elektromanyetik bir dalgaya modüle edilmesini sağlayan birimlerin uç elemanları olan antenler için kayıpların olabildiğince azaltılması gerekir. Günümüzde teknolojisinin geldiği noktada bir antenin uygulama yüzeyi büyük önem kazanmıştır ve kullanım kolaylığı ortaya çıkan ürünün değerine doğrudan etki etmektedir.

2.1. Anten Tarihi

Anten buluşu belirli bir bilim adamına dayandırılmamalıdır. Çünkü çeşitli ülkelerden bilim adamlarının katıldığı araştırmaların birikimi sonucuyla anten ortaya çıkmıştır. İlk olarak araştırmacılar elektriksel ve manyetik olaylarla daha fazla ilgileniyorlardı:

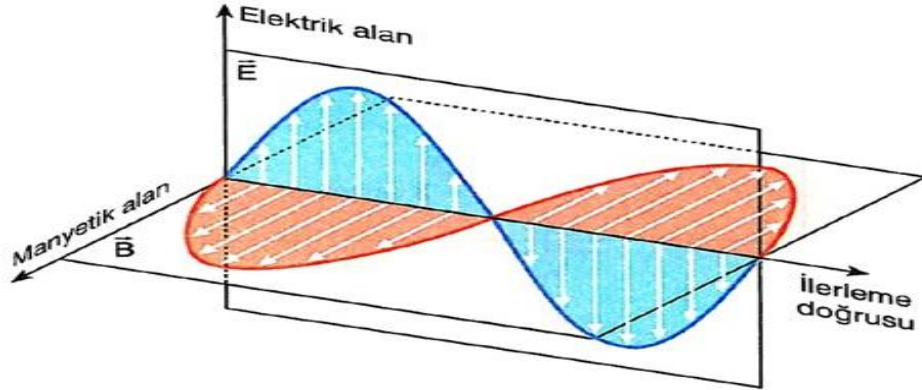
Faraday, kapalı bir döngü içinde bir mıknatısın yakınılaştırılması ya da uzaklaştırılması halinde, mıknatısın hareket süresince döngü içindeki metal telden bir akım aktığını keşfetmiştir.

Ampere, bir telde akan elektrik akımının yakındaki bir pusulanın iğnesini saptırdığını keşfetti. Ek olarak, elektromanyetizma ve fizikçi “ James Maxwell”in kurucu kuramı günümüzde 1860/1865 yıllarında günümüzde “ Maxwell denklemleri” olarak adlandırılan ünlü denklemleri formüle etmek için elektrik ve manyetik alan arasındaki çeşitli gözlemleri ve ilişkileri bir araya getirmeyi amaçladı ve daha sonra 1873 yayınlandı.

Alman fizikçi Heinrich Rudolf Hertz, 1886’da elektromanyetik dalgaların (wikipedia.org 2020) fiziksel varlığını 1GHz frekanstaki radyo dalgaları üreten cihaz üreterek gösterdi. Laboratuvarında 4m dalga boyunda yayan $\lambda / 2$ dipolün hava boşluğunda kıvılcım üretebildi ve daha sonra bu dipolün komşu bir ilmeğin hava boşluğunda (C. A. Balanis, 2005) kıvılcım olduğu tespit edildi. Daha sonra, 1901 yılında “Marconi”, ‘Anten’ terimini kullanan ilk kullanan kişi, deneyleri, boş alandaki radyo dalgalarının yayılmasıyla dünyanın iki noktası arasında bağlantı kurmanın mümkün olduğunu kanıtladı.

2.2. Elektromanyetik Dalgalar

Elektromanyetik dalga, iki alanın sonucu ortaya çıkmıştır: Elektrik alan [E] ve manyetik alan [H]. Zamansal varyasyonların sinüzoidal olan bu alanlar, ışık hızında vakum içindeki hareketi 300 000 km/s'dir. Bunların titreşimi, “Şekil-2.1”de temsil edilen sinüzoidal dalga hareketi olarak tanımlanmıştır. (www.elektrikrehberiniz.com 2019)



Şekil 2.1. Elektromanyetik Dalga

Herhangi bir yük ve herhangi bir yük sirkülasyonu, kendi çevrelerinde elektrik ve manyetik alan oluşturabilir ve böylece elektromanyetik radyasyon üretebilirler (uzayda özgürce yayılan bir elektromanyetik dalga oluşturulması) (Thomas. A. Milligan, 2005). İngiliz fizikçi “Maxwell”, fenomenlerine “Maxwell denklemleri” ortaya çıkararak biraz daha matematiksel bir çerçeve oluşturdu.

Genel durumda bu denklemler şu şekilde verilir:

- Maxwell- Gauss denklemi: $\vec{\nabla} \cdot \vec{E} = \frac{\rho}{\epsilon}$ (2.1)

- Maxwell-Thompson denklemi: $\vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0$ (2.2)

- Maxwell-Faraday denklemi: $\vec{\nabla} \wedge \vec{E} = - \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} = -\mu \frac{\partial \vec{H}}{\partial t}$ (2.3)

- Maxwell-Ampere denklemi: $\vec{\nabla} \wedge \vec{H} = \sigma \cdot \vec{E} + \epsilon \frac{\partial E}{\partial t}$ (2.4)

(1.3) ve (1.4) denklemlerini birleştirerek vakumda yayılma denklemleri olarak adlandırılan iki diferansiyel denklem yazmak mümkündür,

$$\vec{\nabla}^2 \cdot \vec{E} - \mu\epsilon \frac{\partial^2 E}{\partial t^2} = 0 \quad (2.5)$$

$$\vec{\nabla}^2 \cdot \vec{B} - \mu\epsilon \frac{\partial^2 B}{\partial t^2} = 0 \quad (2.6)$$

Simgeler;

- ρ : yük yoğunluğu
- ϵ : elektriksel geçirgenlik , $\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12} \text{ F/m}$: vakum içinde elektriksel geçirgenlik ve ϵ_r sahip olduğumuz göreceli elektriksel geçirgenlik $\epsilon = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r$
- μ : manyetik geçirgenlik, $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ H/m}$: vakum içinde manyetik geçirgenlik
- μ_r : sahip olduğumuz göreceli manyetik geçirgenlik $\mu = \mu_0 \cdot \mu_r$
- σ : elektriksel iletkenlik.

Böylelikle, dalga bir hız ile yayılır: $C = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}}$

2.2.1. Elektromanyetik Dalga Kaynakları

Elektromanyetik dalgalar, doğal kaynaklar ve yapay kaynaklar olmak üzere iki tür kaynak tarafından yayılırlar.

- İlki çevre tarafından doğal olarak üretilir, güneş aktivitesi (ışık emisyonu) ve atmosferik aktivite (bulutlarda elektrik yüklerinin varlığı) ve ayrıca canlı hücreler (kalp ve beyin) ile.
- İkincisi elektromanyetik dalgalar üreten elektrikli cihazlar (cep telefonu anteni, radyo, TV yayını, ev aletleri ve radyoloji gibi tıbbi cihazlar) tarafından üretilir. Bu kaynaklardan yayılan dalgalar frekans aralıklarına göre sınıflandırılır.

2.2.2. Elektromanyetik Dalga Parametreleri

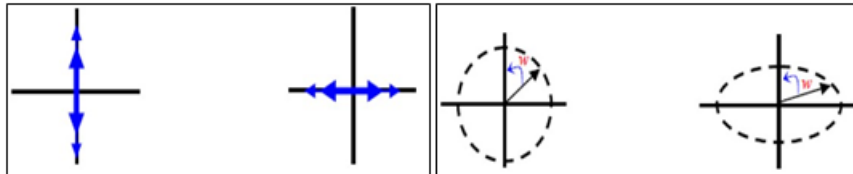
Elektromanyetik dalgalar, birbirine bağılı belirli parametrelerle karakterize edilir:

Dalga boyu λ : Metre (m) olarak ölçülen bir periyotta dalganın kat ettiği mesafedir ve dalga hızını C ve periyodunu T olarak adlandırırız : $\lambda = C \cdot T = C / f$.

Frekans: Hertz (Hz) cinsinden ölçülen bir saniyedeki dalga boyu sayısı.

Yüzey güç yoğunluğu: Birim yüzey başına alınan enerji akısı watt/m² cinsinden ifade edilir:
 $P = E^2 / 377$.

Elektromanyetik dalga kutuplaşması: E elektrik alanının yatay ile karşılaştığındaki yönüdür, eğer E yatay çizgiye paralel ise dalganın yatay bir polarizasyonu olduğunu söyler, eğer E dikey çizgiye paralel ise dalganın dikey bir polarizasyonu olduğunu söyler. E'nin yönü sabit kalırsa, kutuplaşmanın doğrusal olduğunu söyleriz (en yaygın durum), eğer yönü değişirse iki dairesel ya da eliptik moda sahip olacağız. (C. A. Balanis, 2005) “Şekil-2.2” farklı türlerin kutuplaşma temsilini verir.



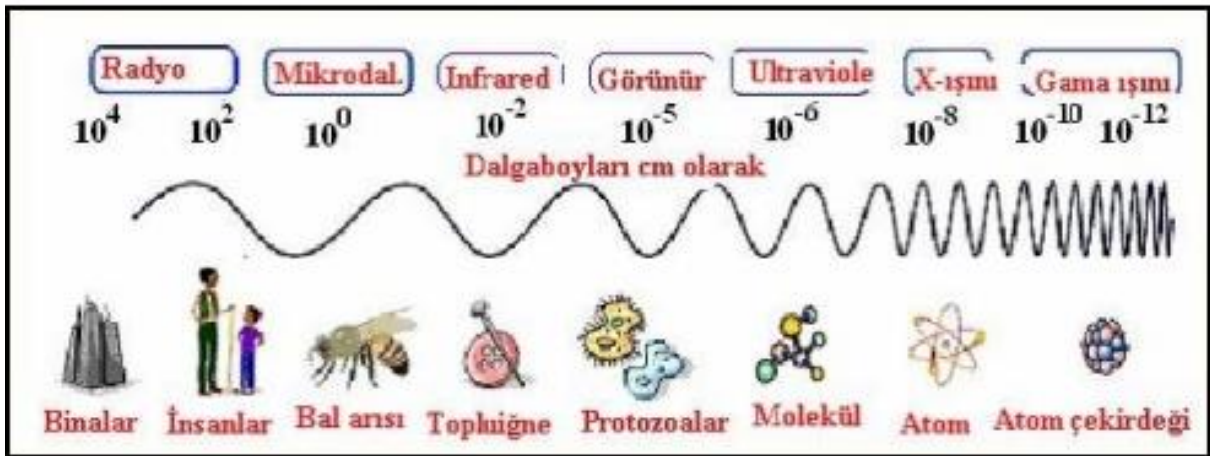
Şekil-2.2: Kutuplaşma Türü

2.2.3. Elektromanyetik Spektrum

Elektromanyetik spektrum “Şekil II.3. (www.elektrikrehberiniz.com 2019) elektromanyetik dalgaların dalga boylarına, frekanslarına ve enerjilerine göre dağılımıdır (E. KARACA, 2013). Yüksek enerjili gama ışınlarından düşük enerjili radyo dalgalarına kadar olan tüm ışınlar elektromanyetik spektrum olarak adlandırılır. Sonuç olarak, elektromanyetik dalga spektrumunda, dizi radyo dalgalarından başlar ve gama dalgalarıyla biter.

Elektromanyetik spektrum aşağıdaki resimde gösterilmektedir. Radyo dalgaları ya da gama ışınları iki şekilde yayılan elektromanyetik dalgalardır;

- Boş alanda (örneğin; dünya çevresindeki radyasyon yayılımı)
- Çizgilerde (yönlendirmeli yayılım, bir koaksiyel kabloda veya bir dalga kılavuzunda) ve frekans aralıkları 9KHz ile 30GHz arasındadır. Bu dalgalar radyo ve televizyon iletimi için kullanılır (C. A. Balanis, 2005) ve yayılma çeşitli şekillerde gerçekleşir.
- Doğrudan dalga ile doğal (dağ, atmosferik katmanlar) ya da yapay (binalar) engeller ile karşılaşmadan
- Yansıma ile dalga bir engelle karşılaştığında, yansımaları maruz kalır. Yani farklı bir yöne yayılır.



Şekil 2.3. Elektromanyetik spektrum

2.2.4. EM Dalgaların Özellikleri

- Bütün maddeler, sürekli hareket eden yüklü parçacıklar içerir. Bu yüzden, tüm nesnelere EM dalga yayılır.
- Malzemenin sıcaklığı arttıkça dalga boyları kısalır.
- Elektromanyetik dalgalar parlak enerji taşır.
- Tüm elektromanyetik dalgalar, uzayda bir saniyede 300.000 km yol alır. (Doğadaki ışık hızı)

Tüm elektromanyetik dalgalar, ışık hızında hareket eder. Işık hızı ise nesnenin dalga boyu ile kullanılan frekansın çarpımına eşittir.

$$C = \lambda \cdot f$$

Döngünün her saniyesindeki frekansını (Hertz veya Hz) ve dalga boyunu (m) hesaplırsak, ışık hızı m/s olarak hesaplanmış olacaktır. Ölçülen değer;

$$C = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$$

bu değere çok yakın olacaktır. Bilimsel gösterimi ise 3 sayısından sonra sekiz sıfır ya da 300.000.000 m/s şeklindedir. Bu demektir ki; saniyede yaklaşık 186.000 mil! Tüm elektromanyetik dalgalar vakum içinde aynı ışık hızında hareket eder. Eğer dalgalar hava ya da cam gibi bir malzemedan geçerse, daha düşük bir hızda hareket eder. Bu durumda, vakum içinde frekansta bir değişim olmaz, fakat dalga boyunda azalma olur. Çizelge 1'de bazı malzemelerin hızı gösterilmektedir.

Çizelge 1. Elektromanyetik Dalga Hızları

Material	Speed (km/s)
Vacuum	300,000
Air	<300,000
Water	226,000
Glass	200,000
Diamond	124,000

Dalga boyu ve frekans ters orantılıdır. Bunun anlamı, karakteristiklerden birisi artarken, diğeri azalır. Örneğin; frekans artarken, dalga boyu küçülür.

2.3. Antenler

Radyoelektrikte, anten elektrik enerjisinin elektromanyetik enerjiye veya tam tersi şekilde aktarılmasına izin veren pasif bir eleman olarak tanımlanabilir.

- Verici antenin rolü, yönlendirilmiş elektromanyetik gücü bir jeneratörden yayılan güce dönüştürmektir.
- Alıcı antenin rolü, yayılan güç bir alıcı anten tarafından alınabilir. Bu durumda anten, bir sensör ve yayılan gücün yönlendirilmiş elektromanyetik güce dönüştürülmesi olarak görünür.

Antenler, aynı yayma özelliklerine sahip alım veya iletim içinde kullanıldıkları için karşılıklı olarak da bilinirler. Çalışma prensibi, alternatif akımın bir iletken üzerinden geçerken oluşturduğu elektromanyetik alan ile ilgilidir. Alıcı antenler, boşlukta ilerleyen elektromanyetik dalgaları toplar ve bu dalgaların iletim hatlarında yayılmasını sağlar. Verici antenler, sinyallerin dalga olarak iletim hatlarından uzayda yayılmasını sağlar.

Kablo aracılığıyla uzun mesafeler arasında ses, görüntü ve benzeri bilgileri elde etmek zor ve masraflıdır. Ek olarak, uzun hatlarda ve kalıcı bakımlarda birçok teknik problemler var. Bilgi toplama sürecinde elektromanyetik dalgalar kullanıldığında, bu dalgaları yüksek enerjiyle atmosfere (veya uzaya) ulaştırabilen elementler gereklidir. Buda antenin önemini göstermektedir.

2.3.1. Antenlerin rolü

Antenin rolü, bir sinyalin elektrik enerjisini elektromanyetik dalga tarafından taşınan elektromanyetik enerjiye çevirmektir.



Şekil 2.4. Alıcı ve Verici Anten Modeli

Verici anten, vericiden elektrik sinyali alır ve elektromanyetik dalgayı yayar. Daha sonra bu dalgalar, antenin etrafındaki boşlukta yayılır. Kullanılan antenin şekline ve tipine bağlı olarak, belirli yayılma yönleri tercih edilebilir. Verici tarafından üretilen güç antene uygulanır ve uzayda yayılır, daha sonra alıcı anten bu gücün küçük bir kısmını yakalar ve elektriksel bir sinyale dönüştürür, bu da daha sonra iletilen alıcının girişine uygulanır.

2.4. Anten Karakteristikleri

Antenler, yönlülük, ışınma örüntüsü, bant genişliği, polarizasyon gibi çok sayıda parametreye göre sınıflandırılır.

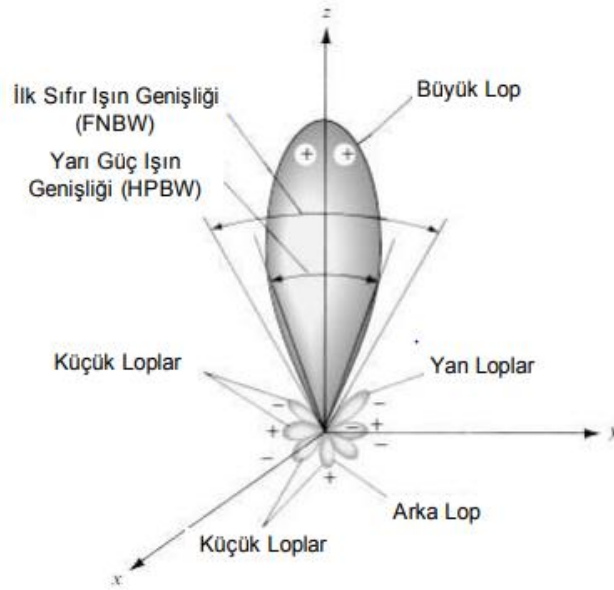
Ek olarak, bir antenin performansı, aşağıda açıklanan parametreler ile değerlendirilebilir.

2.4.1. Işınma örüntüsü

Antenin karakteristik fonksiyonunun grafiksel gösterimi “ışınma örüntüsü (radyasyon paterni)” olarak adlandırılır. Bu, gücün, kazancın veya elektrik alanının 2D veya 3D radyasyonunun gösterim şeklidir.

Genel olarak, radyasyon diyagramı iki düzlemde belirtilmiştir: E düzlemi (dikey düzlem) ve H düzlemi (yatay düzlem), bunlar sırasıyla elektrik ve manyetik alanların maksimum değerlerine ulaştığı düzlemlerdir (Thomas. A. Milligan, 2005). Çeşitli alan yönlerinde katı açı başına anteni yayan gücün varyasyonlarını temsil eden bir diyagramdır. Gerçekte, yayılan enerji uzayda eşit olmayan bir şekilde yayılır, belirli yönler tercih edilir ve bu yönler radyasyon loblarıdır.

Daha pratik bir tür yönlü antendir. Yönlü antenler, bazı yönlerde daha güçlü diğer yönlerde daha zayıf yayılır. Yönlü antenin Işınma örüntüsü “Şekil 2.5”da gösterilmiştir (Ç. AYDIN, 2011).



Şekil 2.5. Yönlü Anten Işıma Örüntüsü

- Ana lob: Maksimum enerji ve maksimum radyasyon yönünü içeren radyasyon lobudur.
- Açık açıklığı: yayılan güç, en uygun yönde yarım yayılan gücün yayıldığı yön açıdır. Bu açı ne kadar dar olursa anten o kadar yönlü olur.
- İkincil lob: Antenden gelen radyasyonu istenmeyen yönlerde temsil eder
- Arka lob: ana lobdan 180 ° ters yönde bulunan ikincil lobdur

Birçok radar sisteminde, düşük yan lob oranları, yan loblardan yanlış hedeflerin endikasyonlarını en aza indirmeye yardımcı olduğu için çok önemlidir. (örneğin, -30dB)

2.4.2. Yönlülük

Bir antenin yönlülüğü, antenin radyasyonunu belirli alan yönlerine yoğunlaştırma biçimini karakterize eder. Yönlülük şu şekilde tanımlanır: antenin bir yönündeki radyasyon yoğunluğunun izotropik kaynağın yayacağı güç yoğunluğuna oranı. Bu oran aşağıda ki gibi verilir (R. Rodrigo, 2010).

$$D = D(\theta, \varphi) = \frac{U(\theta, \varphi)}{U_0} = \frac{4\pi U(\theta, \varphi)}{P_{rad}} \quad (2.7)$$

Yön belirtilmediğinde, maksimum radyasyon yoğunluğunun yönü ima edilir.

$$D_{max} = D_0 = \frac{U}{U_0} = \frac{U_{max}}{U_0} = \frac{U_{max}}{U_0} = \frac{4\pi U_{max}}{P_{rad}} \quad (2.8)$$

Burada;

D: Yönlülük

D_0 : Maksimum yönlülük

U: Radyasyon yoğunluğu (W/sr)

U_{max} : maksimum radyasyon yoğunluğu (W/sr)

U_0 : İzotropik kaynağın radyasyon yoğunluğu (W/sr)

P_{rad} : toplam radyasyon gücü (W)

Dar bir ana loblu anten, geniş bir ana loblu olandan daha iyi yönetime sahiptir, bu yüzden daha yönlendiricidir.

2.4.3. Giriş empedansı

Anten empedansını değerlendirmek için, iletim sırasındaki anten, girişinde bir akım I_{in} ve bir voltaj V_{in} (C. A. Balanis, 2005) olan bir yüke eşittir. Bu iki değer oranın Z_{in} empedansını sağlar.

$$Z_{in} = \frac{V_{in}}{I_{in}} = R_{in} + jX_{in} \quad (2.9)$$

Z_{in} anten empedansı olduğunda, X_{in} anten reaktansıdır, bu empedans antenin yakın alanında depolanan gücün katsayısıdır. R_{in} anten direncidir ki iki bileşenden oluşur, bu radyasyon direnci R_r ve antenin terminallerinde bulunan kayıp direnci R_l ' dir. Radyasyon direnciyle ilişkili olan güç, aslında anten tarafından yayılan güç iken kayıp direncinde

dağıtılan güç, dielektrik veya iletken kayıpları nedeniyle antenin kendisinde ısı olarak kaybolur.

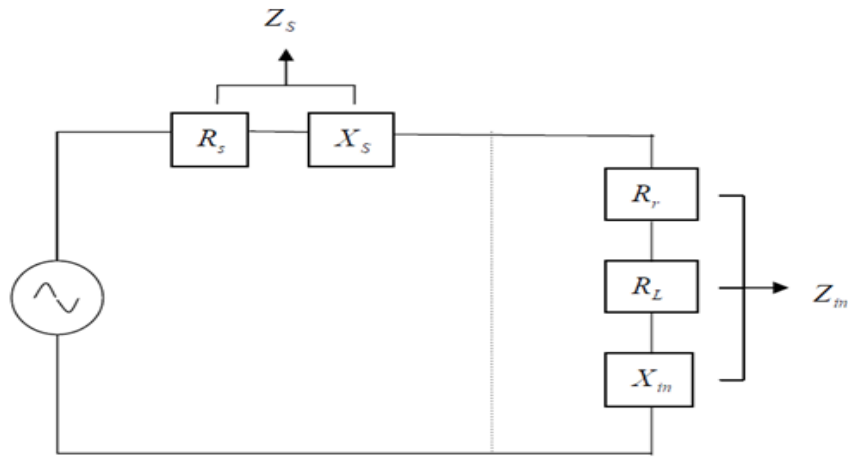
2.4.4. VSWR (Voltaj Duran Dalga Oranı)

Bir antenin etkin bir şekilde çalışması için, maksimum güç transferi, alıcı ile anten arasında olmalıdır. Bu transfer, anten girişi ile verici “Şekil 2.6” arasında herhangi bir adaptasyon yoksa bu transfer gerçekleşmez. Verici empedansı anten empedansının kombine kompleksi ise güç aktarılabilir.

$$Z_{in} = Z_s^* \quad (2.10)$$

Vericinin çıkış empedansı:

$$Z_s = R_s + jX_s \quad (2.11)$$



Şekil 2.6. Verici antenin eşdeğer devresi

Bu koşul yerine getirilmezse ve gücün bir kısmı yansıtılırsa, duran dalga oranı (VSWR) olarak adlandırılan parametre ile karakterize edilebilen duran dalgaların oluşumuna yol açar.

$$VSWR = \frac{1+|S_{11}|}{1-|S_{11}|} \quad (2.12)$$

$$S_{11} = \frac{V_r}{V_i} = \frac{Z_{in}-Z_s}{Z_{in}+Z_s} \quad (2.13)$$

V_r : Yansıyan dalganın genliği

V_i : Olay dalgasının genliği

2.4.5. Geri dönüş kaybı

Geri dönüş kaybı, antene gönderilen gücün ne kadarının geri döndüğünün bir ölçüsüdür. Esasında birimsiz olan bu büyüklüğün anlatmak için dB birimi ile anılır. Bir antenin geri dönüş kaybı -9.95'in altına düşmüşse, o anten, o frekans bölgesinde çalıştırılabilir demektir.

Yansıma katsayısının modülü genellikle desibel (dB) olarak ifade edilir ve $|S_{11}|$ olarak not edilir ve aşağıdaki gibi tanımlanabilir:

$$|S_{11}|_{dB} = 20 \log |S_{11}| \quad (2.14)$$

2.4.6. Kutuplanma (Polarizasyon)

Anten polarizasyonu elektrik alanının E yönünü (yayıdığı veya aldığı dalganın yönü) gösterir, üç tip polarizasyon vardır:

Lineer polarizasyon: Elektrik alan vektörünün yönü zamanla sabit kalır, yörüngesi bir çizgi segmentidir. Bir dipol geleneksel olarak doğrusal polarize edilmiş bir elektromanyetik dalga üretir. Antenin polarizasyonu doğrusal olduğunda, ışınma örüntüsü manyetik bir dipol ile aynıdır (E. KARACA, 2013).

Dairesel polarizasyon: Alan vektörü E zamanla bir daire çizdiğinde polarizasyon daireseldir. Bu E alanı genlikte ve fazda 90 ° kaydırılan iki bileşene sahiptir.

Eliptik polarizasyon: Alan vektörü E zamanla elips çizdiğinde polarizasyon eliptiktir. $\pi/2$ ile kaydırılan farklı genlik fazına sahip iki bileşen içeren bir E alanının genel durumuna karşılık gelir.

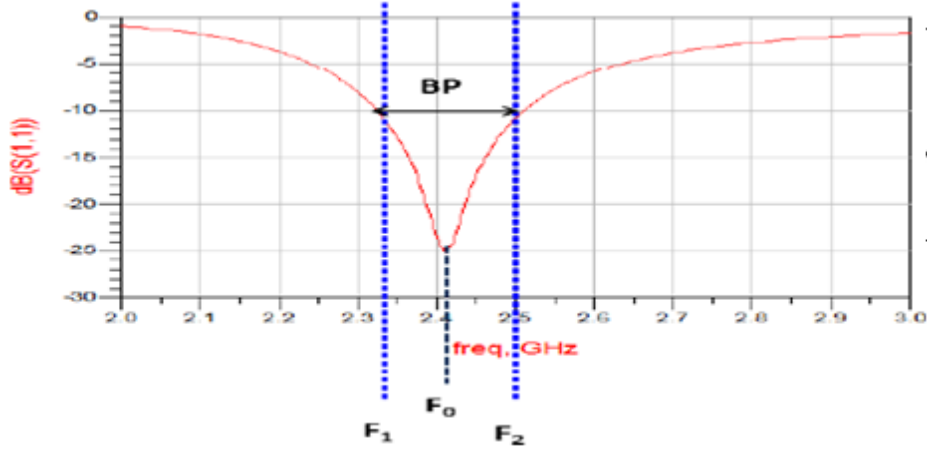
Bazı antenler eliptik veya dairesel polarizasyona sahiptir. Antenin polarizasyonu dalganın polarizasyonuna adapte edilmediğinde, sinyal sonsuza kadar çıkabilen bir zayıflamaya uğrar.

2.4.7. Bant genişliği

Antenin bant genişliği, antenin düzgün çalışabileceği frekans aralığıdır. Bandın en yüksek frekansı F_2 , en düşük frekansı F_1 ve merkez frekans F_c ise, bant genişliği aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$BW = \frac{F_2 - F_1}{F_c} \times 100 \quad (2.15)$$

Tüm frekans aralığında çalışan antenin verimliliğini değerlendirmenin bir yolu VSWR' yi ölçmektir. $VSWR < 2$ ($S_{11} < -9,5\text{dB}$) ise antenin performansı iyidir. Antenin bant genişliğini ölçmek için bir yöntem “ Şekil 2.7”de gösterilmiştir.



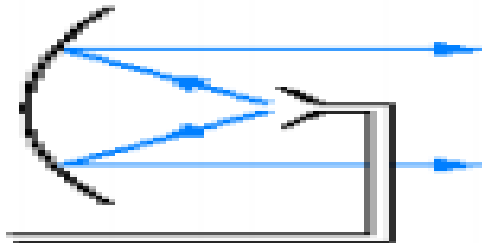
Şekil 2.7. Anten Bant Genişliği

2.5. Anten Çeşitleri

Anten, yönsüz (her yönde) ve yönlü (tek bir yönde) iletim yapabilir ve bu iki kategori antenin çoklu ya da ayrı türleridir. Fakat aşağıdaki gibi sınıflandırılabilirler:

2.5.1 Reflektör antenler

Mikrodalga frekanslarında, bazı antenler düz veya parabolik reflektörle optik benzeri düzenlemeler kullanabilir. Bunlar reflektör antenlerdir. Uydu televizyonda kullanımı ile en iyi bilinen parabolik anteni belirtiriz, reflektörün çapı ile ilgili yüksek bir kazancı vardır ve çok direktiflidir.



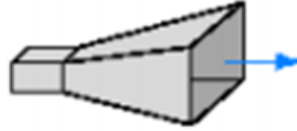
Şekil 2.8. Parabolik Reflektör

2.5.2 Temek antenler

Daha basit ve daha ucuz, bu tür antenler sadece lineer polarizasyona izin verir. Bir alıntı yapılabilir: izotropik antenler, dipol antenler ya da yarım dalga boyuna eşit uzunlukta bir iletken elemandan oluşan yarım dalga ikili ve dalga boyunun dörtte birine eşit uzunluktaki iletken bir elemandan oluşan tek kutuplu antenlerdir.

2.5.3. Koni antenler

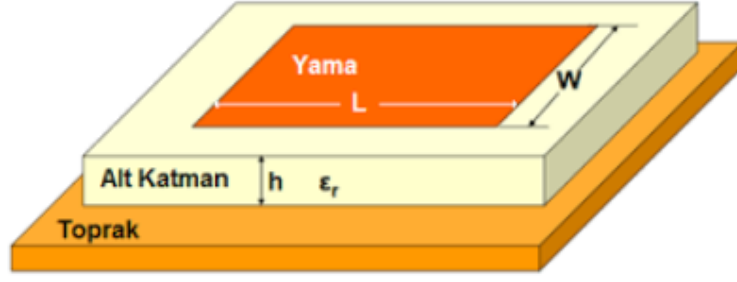
Mikrodalgada kullanılan koni antenler, bir kılavuz veya bir monopol tarafından uyarılan radyant bir açıklıktır, çok yönlendiricidir ve yüksek bir kazançla sahiptir. Ayrıca, elde edilmesi çok kolay olan bir kılavuzda açık olan dipol ağları olan yayılan yarık ağları tarafından oluşturulan yuva antenleri de vardır, özellikle deniz gözetimi için kullanılan radarlar alanında giderek daha fazla kullanılmaktadır.



Şekil 2.9. Koni Anten

2.5.4. Mikroşerit antenler

Yama anten olarak da bilinen yazdırılan anten, son zamanlarda kullanımı artan ve gelişen anten çeşididir. Dielektrik tabaka, bir yüzü metalik olan toprak tabakasından oluşur. Bir diğer yönden, metal gravür elektromanyetik radyasyon “Şekil 2.10” oluşturulan yüzey akımlarını (plaka) destekler. Akımlar bir mikro şerit hattı ile jeneratörden girişe getirilir.



Şekil 2.10. Mikro Şerit Anten yapısı

Sonuçta anten teorisinin ustalığı gereğinden fazladır, farklı frekans aralıklarındaki davranışlarını anlamamızı sağlıyor. Çünkü herhangi bir uygulama için belirtilen standarda uygun özellikler seçilmelidir.

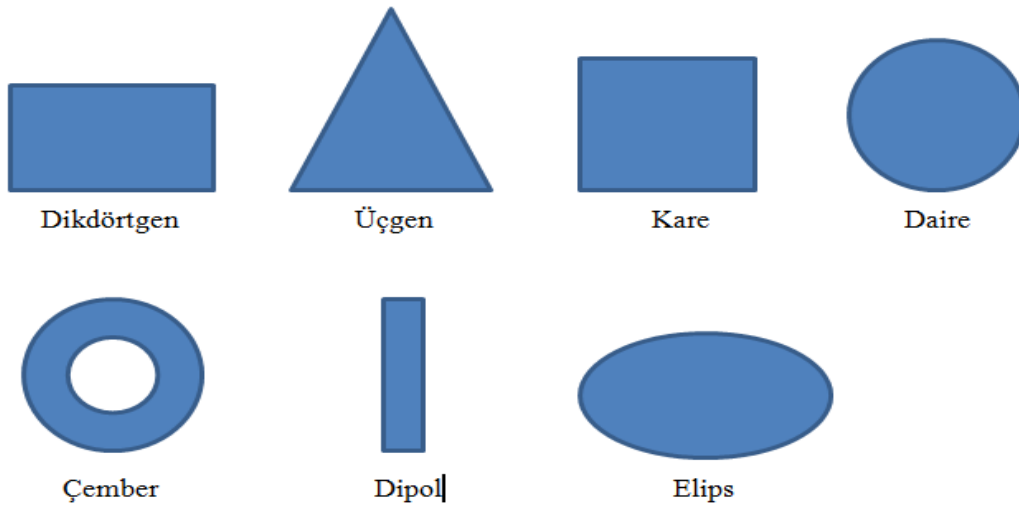
Bu bölümde antenlerin rolü, antenlerin ışıması ve antenlerle ilgili mevcut tüm bilgiler verilmiştir. Sonraki bölümde ise yama antenler hakkında ve farklı anten parametreleri ve bazı anten türleri hakkında bilgi verilmiştir.

3. MİKROŞERİT ANTENLER

3.1. Giriş

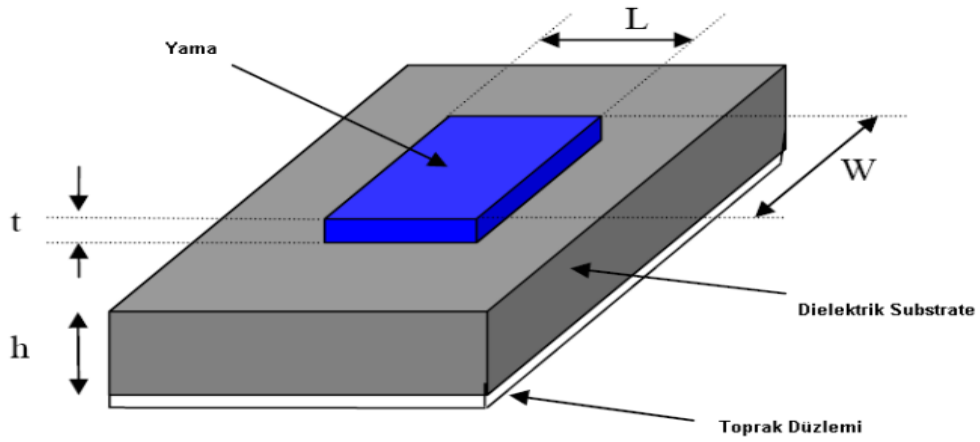
İlk yama anten kavramı Deschamps tarafından 1953 yılında önerilmiştir (E. KARACA, 2013), 1955 yılında ise Fransa'da Gutton ve Bassinot tarafından patentlenmiştir. İlk yama anten üretimi ise 1970 yılında Munson (M. ÇEKİNGEN, 2011) ve Howell tarafından yapılmıştır.

Mikroşerit antenler, mikrodalga frekansı aralığında en çok kullanılan anten türlerinden biridir. Ayrıca milimetre dalga aralığında da kullanılmaktadır. Mikroşerit anten yamalarında, bakır veya altın gibi iletken materyallerin, çeşitli şekilleri baz alınarak farklı profillerde ışıyan antenler elde edilebilmektedir. Yamalar, farklı geometrik şekillerde olabilmektedir. Dikdörtgen, üçgen, dipol, elips, dairesel, Kare, çembersel yamalı mikroşerit antenler yaygın olarak kullanılmaktadır (Şekil 3.1). Fakat performans hesapları ve matematiksel analiz basitleştirmek amacıyla genellikle üçgen, dikdörtgen, dairesel ve kare gibi şekillerde yamalar tercih edilir.



Şekil 3.1. Mikroşerit yama antenlerde kullanılan temel yama şekilleri yer almaktadır

Üretilen antenlerin kolay üretilibilmeleri nedeniyle alt katman (substrate-alttaşı) genellikle dielektrik sabiti 2.2 ϵ_r 12 aralığında olan materyallerden seçilmektedir (D. Pozar, 1992). Şekil 3.2' (E. Çetme 2009) gösterdiği gibi bir toprak düzlemi oluşturan alttaşı. Düşük dielektrik sabiti olan substratlar genellikle maksimum radyasyon için tercih edilmektedir. Alt katmanın kalın olması ve düşük dielektrik sabitine sahip olması, yüksek verim ve bant genişliği sağlamaktadır (D. Pozar 1992). Bir mikroşerit; anten uzunluğu, genişliği, giriş empedansı, polarizasyon, kazanç ve radyasyon düzenleriyle tanımlanmaktadır (C. A. Balanis, 2005).



Şekil 3.2. Mikro Şerit Anten Yapısı

Parametrelere göre, yükseklik h dalga boyundan (λ) küçük olmalıdır, fakat 0.05λ 'dan az olmamalıdır. Genişlik L merkez frekansı oluşturmada etkilidir:

$$L \approx \frac{c}{2f_c \sqrt{\epsilon_r}} = \frac{1}{2f_c \sqrt{\epsilon_0 \epsilon_r \mu_0}} \quad (3.1)$$

Mikroşerit antenlerde dielektrik alt yükleniciler olarak kullanılan Alümina ve kuvars gibi yalıtım malzemeleri $2.2 \leq \epsilon_r \leq 12$ arasında dielektrik sabit değerleri alır. Dielektrik sabiti, genişlik ve yükseklik ve bant genişliği arasındaki ilişki denklem 3.2'de gösterilmiştir:

$$BW \propto \frac{\epsilon_r - 1}{\epsilon_r^2} \frac{W}{L} h \quad (3.2)$$

W parametresi giriş empedansını kontrol etmek için önemlidir. Bant genişliği yüksek değerler kullanırken artar (E. KARACA, 2013). W parametresi analitik olarak 3.3 denkleminde bulunmuştur:

$$W = \frac{1}{2f_r \sqrt{\epsilon_0 \mu_0}} \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r + 1}} = \frac{c}{2f_r} \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r + 1}} \quad (3.3)$$

$$\epsilon_{reff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[\frac{1}{\sqrt{1 + \frac{12h}{w}}} + 0.04 \left(1 - \frac{w}{h}\right)^2 \right] \quad \frac{w}{h} < 1 \quad (3.4)$$

$$\epsilon_{reff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[\frac{1}{\sqrt{1 + \frac{12h}{w}}} \right] \quad \frac{w}{h} \geq 1 \quad (3.5)$$

W parametresinin h parametresine bağlı olarak 3.4 ve 3.5 denklemlerinde görülebildiği gibi etkin dielektrik sabit parametresini ifade etmenin iyi yolu vardır. Etkin dielektrik katsayısı, açık havadaki dielektrik sabitine göre 3.6 eşitsizliğini sağlayacak bir durumdur.

$$1 \leq \epsilon_{reff} \leq \epsilon_r \quad (3.6)$$

(2.6) denkleminin eşitsizliği bulunarak, L_{eff} 'in büyüklüğü 2.7'de ki denklem ile belirlenebilir:

$$L_{eff} = \frac{c}{2f_r \sqrt{\epsilon_{reff}}} \quad (3.7)$$

L_{eff} 'e ek olarak, saçak kenar faktörünün ΔL oluşumuna kayıplar ve yalıtım etkileri neden olur:

$$\Delta L = h * 0.412 \frac{(\epsilon_{reff} + 0.3) \left(\frac{w}{h} + 0.264\right)}{(\epsilon_{reff} - 0.258) \left(\frac{w}{h} + 0.8\right)} \quad (3.8)$$

(2.9)'daki denklem iletken yapının temel uzunluğunu göstermektedir:

$$L = L_{eff} - 2 * \Delta L \quad (3.9)$$

Mikro şerit antenlerde yama şekli ,bir çok şekilde verilebilir.Ancak, pratik dizaynlarda, dikdörtgenler, üçgenler, daireler ve eşkenarlar temel yapılar olarak dikkat çekmektedir (P. S. Kildal. 2009).

3.1.1. Mikroşerit antenlerin avantajları ve dezavantajları

Mikroşerit yama antenler, düşük profilli yapıları nedeniyle kablosuz uygulamalarda giderek daha fazla kullanılmaktadır. Bu nedenle, cep telefonları, çağrı cihazları (sadece mesajlaşma için kullanılır) vb. anten yamalarıdır. Başarılı bir şekilde kullanıldığı bir başka alan ise uydu iletişimidir (<http://ethesis.nitrkl.ac.in> 2019).

Mikroşerit anten 100MHz ve 100GHz frekans aralığında çalışmakta olup birçok avantaja sahiptir. En önemlileri aşağıdaki şekilde sıralanmıştır (D. Orban and G.J. K Moernaut, 2007);

- Düşük üretim maliyeti
- Hafif ve küçük hacimli olmaları
- Kavisli bir yüzeye kaplanabilir olması (araçlar, uçaklar, ...).
- Telekomünikasyon için doğrusal ve dairesel kutuplaşma
- Çok bantlı antenler, çoklu kutuplamaların mümkün olması
- Entegrasyonunun kolay olması
- Anten ile aynı anda üretilen güç ve adaptasyon ağları

- Osilatörler, yükselticiler, anahtarlar, modülatörler, karıştırıcılar vb. bu antenlerin tabanı gibi katı hal cihazları, bir dizi bileşik sistemin geliştirilmesi için geliştirilebilir.

Mikroşerit antenin önemli avantajları daha çok olsa da dezavantajları da mevcuttur. Bunlar aşağıda bulunmaktadır;

- Diğer anten yapılarına göre nispeten daha düşük bant genişliğine sahiptir (% 1 - %5)
- Düşük kazançlı
- Çoğu anten yalnızca yarım düzlemde yayılım gösterir
- Yüksek performanslı, baskılı devre ağları karmaşık güç sistemleri gerektirmektedir
- Işıma elemanı ve besleme arasında zayıf yalıtımın olması şeklindedir
- Düşük verimlilik
- Düşük güç tüketimi gibi dezavantajları mevcuttur.

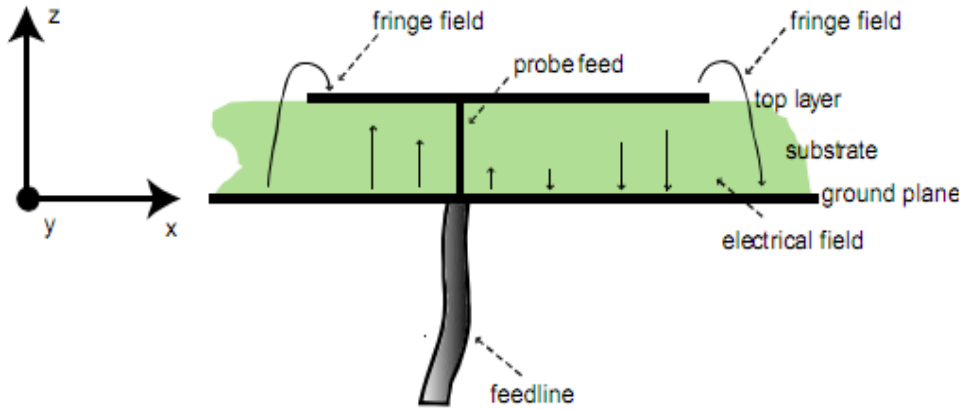
Mikroşerit yama antenlerde, yüksek kalite faktörü (Q) mevcuttur. Q , antenin birleşim noktalarındaki kayıpları sembolize eder. Q değerleri, dar band genişliği ve düşük verimlilik gibi anten performansında istemeyen sonuçlar verir. Dielektrik profilin kalınlığı artırılarak, Q değeri düşürülebilir, fakat kalınlığın artırılması, kaynaktan iletilen toplam gücün yüksek oranlarda yüzey dalgalarına dönüşmesine sebep olur (Garg, 2001). Mikroşerit yama antenleri, yama desenlerini yalıtım düzlemine yerleştirilerek oluşturulur. Yayılan yama geometrileri düzlemsel veya düzlemsel olmayan geometriler olabilir. Ortak geometriler dikdörtgenleri, üçgenleri ve daireleri içerir. Ek olarak, geometrik H ve E-şekilli yapılar da mevcuttur. Yamaların boyutu, çalıştıkları sıklık ile ters orantılıdır. Çoğunlukla dikdörtgen ve dairesel mikroşerit antenlere yoğunlaşan yama geometrisi ve analizinin kolaylığı nedeniyle, anten yapıları rezonans frekansı, bant genişliği ve ampirik formüllere dayalı kazançlar için tasarlanmıştır. Bununla birlikte, geometrik yapılarda yarıklar ve çentikler gibi değişikliklerle tasarlanmış anten yapılarının bant genişliğinin artırılması amaçlanmaktadır.

Araştırmaların devamında, mikroşerit antenlerin gelişimi, kullanımı, uygulama alanları sürekli genişlemektedir. Mikroşerit antenlerin bazı uygulama alanları;

- Kablosuz sistemler,
- Uydu haberleşmesi,
- Gezgin haberleşme,
- Güdümlü füzeler,
- Biyomedikal lmler,
- Uzaktan algılama sistemleri

3.2. Temel alıřma Prensipleri

şekil 3.3, bir yama antenin temel formunu göstermektedir: bir toprak düzleminde düz bir plaka. Bir koaksiyel kablonun merkezi iletkeni, yamanın içindeki veya dışındaki elektromanyetik enerjiyi birleştirmek için bir besleme probu işlevi görür. Uyarılmış bir dikdörtgen yamanın elektrik alanının temel modunda dağılımları da belirtilmiştir (D. Orban and G.J. K Moernaut, 2007).



şekil 3.3 Mikroşerit Yama Antenin A Yönünden Görünüřü

Elektrik alanı yamanın ortasında sıfır, bir tarafta maksimum (pozitif) ve diğer tarafta minimum (negatif). Sinyal uygulamasının anlık fazına bağlı olarak minimum ve maksimum sürekli değişen tarafların belirtilmesi gerekir.

Elektrik alan, bir boşlukta olduğu gibi yamanın çevresinde aniden durmaz; Bunun yerine, alanlar dış çevreyi bir dereceye kadar uzatır. Bu alan uzantılarına saçak alanları denir ve yamanın radyasyonuna neden olur. Yama antenleri için bazı popüler analitik modelleme teknikleri, bu sızdıran boşluk kavramına dayanmaktadır.

Dikdörtgen bir yamanın temel modu genellikle boşluk teorisi TM₁₀ modu olarak belirlenir.

Bu gösterim genellikle karışıklığa neden olduğundan, TM'yi (manyetik alanın enine dağılımı) kısaca açıklayacağız. Bu, altı yerine yalnızca üç alan bileşeninin dikkate alındığı anlamına gelir. İlgili alan bileşenleri şunlardır: x ve y eksenlerinin zemin düzlemine ve z eksenine paralel olduğu Kartezyen bir koordinat sistemi kullanarak z yönünde elektrik alanı ve x ve y yönlerindeki manyetik alan bileşenleri diktir.

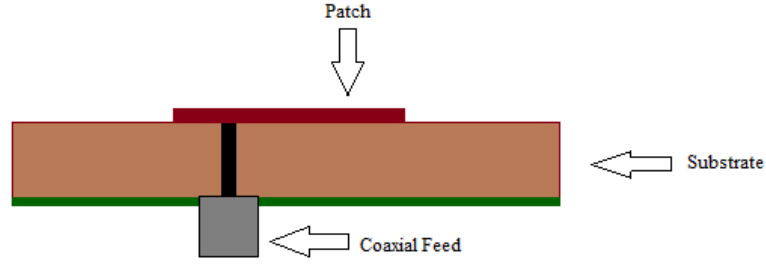
3.3 Mikroşerit Yama Antenlerin Besleme Teknikleri

Mikroşerit yama antenler için birçok besleme tekniği vardır.

- Koaksiyel prob besleme
- Mikroşerit iletim hattı
 - Köşeden besleme
 - Yayın ekleme
- Açıklık Bağlısımlı besleme
- Yakınlık Bağlısımlı besleme

3.3.1 Koaksiyel prob besleme

Koaksiyel besleme ya da prob besleme, mikroşerit antenleri beslemek için kullanılan çok uygun bir tekniktir. Koaksiyel konektörün iç iletkeni dielektrikten yamaya uzanırken, dış konektör toprak tabakasına bağlanır. Şekil 3.4' de bir mikroşerit antenin koaksiyel beslemesi gösterilmektedir (<http://ethesis.nitrkl.ac.in> 2019).

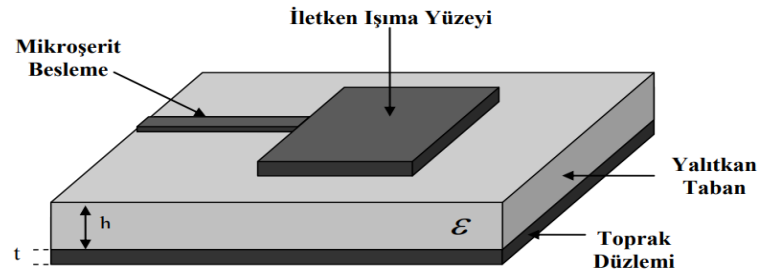


Şekil 3.4 Mikroşerit Antenin Koaksiyel Beslemesi

Bu besleme türünün ana avantajı, giriş empedansı uyumlandırmak için yama içinde herhangi bir yere yerleştirilebilir olmasıdır. Bu besleme yöntemini üretimi kolay ve radyasyon sapması düşüktür. Ancak, en büyük dezavantajı dar bir bant genişliği sunması ve modellemesinin zor olmasıdır. Çünkü katmana bir delik açılmalı ve toprak tabakasının dışına konektör çıkarılmalıdır (<http://ethesis.nitrkl.ac.in> 2019). Koaksiyel prob empedans karakteristiği genellikle 50 Ohm'dur. Yam antenin giriş empedansı, besleme koordinatına bağlı olarak çeşitlilik gösterir. Bu sebeple, probun koordinatı, uygun empedansı sağlamak için yama üzerinde uygun nokta seçilmelidir (E. KARACA, 2013).

3.3.2 Mikroşerit iletim besleme hattı

Mikroşerit besleme hattı en kolay yöntemlerden biri, yamaya bağlanan basit bir iletken şerit olması nedeniyle yamanın bir uzantısı olduğu düşünülebilir. Kesici ucun konumunu kontrol ederek eşleştirmek kolay ve modellemesi basittir. Bunun yanı sıra, bu yöntemin dezavantajı, tabakanın kalınlığı arttıkça, yüzey dalgalar ve parazitik radyasyon artmasıdır, bu da bant genişliğini sınırlar.

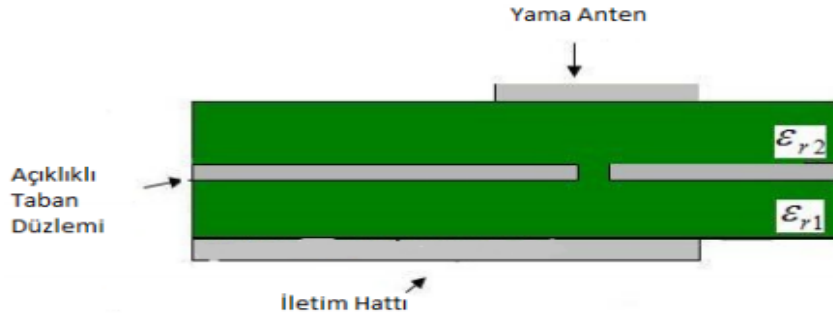


Şekil 3.5 Mikroşerit İletim Hattı Beslemesi

Mikroşerit hat beslemesi, Şekil 3.5’de görüldüğü gibi mikroşerit anten ile bağlıdır. Yama tiplerinde empedans değerleri genellikle 50 Ohm’dur (örneğin, 200 Ohm). Bu yüzden, Şekil 3.4’de çeyrek dalga dönüştürücü, empedans uyumlandırmak için kullanılır. Böylelikle, geniş giriş empedansları 50 Ohm ile uyumlandırılır.

3.3.3 Açıklık bağlaşımlı besleme

Açma bağlantısı, toprak tabakası tarafından ayrılan iki farklı tabaka içerir. Alt tabakanın alt kısımlarında, iki tabakayı ayıran toprak tabakasındaki bir yarık yoluyla yamaya bağlanan bir mikroşerit besleme hattı vardır. Bu düzenleme, besleme mekanizmasının bağımsız optimizasyonuna ve yayılan elemente izin verir. Normalde, üst tabaka, yüksek Dielektrik tabakasına sahip alt tabaka için düşük dielektrik sabitiyle kalın bir tabaka kullanır. Ortada bulunan toprak tabakası, radyasyon elemanın beslemesini izole eder ve desen oluşumu ve polarizasyonun saflığı için parazit radyasyonların girişimini en aza indirir. Şekil 3.6’de mikroşerit antenin açıklığına bağlanmış gücü göstermektedir.

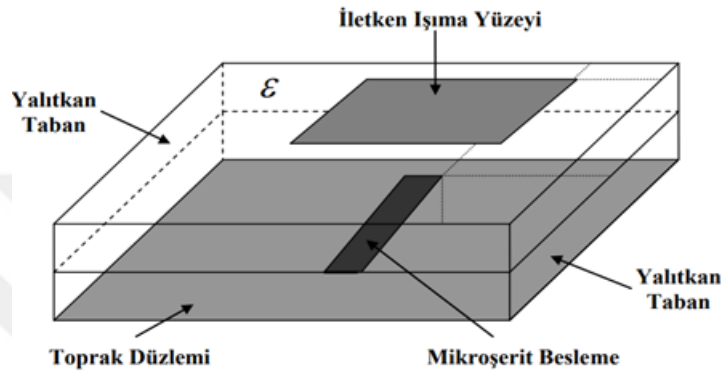


Şekil 3.6 Açıklık Bağlaşımlı Besleme

3.3.4 Yakınlık kuplajlı besleme

Yakınlık bağlantı gücü, mikroşerit güç hattını iki Dielektrik tabakanın ortasına yerleştirerek oluşturulur. Işınlama yüzeyi, üstteki Dielektrik tabakanın üzerinde bulunur. Toprak tabakası aşağıdaki Dielektrik malzeme tabakasının altında bulunur. İletken radyasyonun yüzeyi ile besleme hattı arasında doğrudan bir bağlantı yoktur. Besleme hattına

gelen elektrik sinyallerinin oluşturduğu elektromanyetik dalgalar, iletken radyasyon yüzeyini indükler, elektromanyetik dalganın difüzyonuna neden olur. Bu besleme tekniğini kullanan antenler, en yüksek bant genişliğine ve en az miktarda yanlış radyasyona sahip mikroşerit antenlerdir. Bununla birlikte, bu besleme tekniğini kullanan antenlerin tasarımı ve üretimi, diğer besleme tekniklerini kullanan antenlerden daha zordur. Şekil 3.7’de (M. ÇEKİNGEN, 2011) yakınlık kuplajlı besleme yapısı yer almaktadır.



Şekil 3.7 Yakınlık Kuplajlı Besleme Yapısı

3.4 Mikroşerit Anten Uygulamaları

Mikroşerit antenler çok çeşitli uygulamalara sahiptir. Bu alanlar arasında Küresel Konumlandırma Sistemi (GPS), Wimax, Bluetooth, Wifi uygulamaları, 802.11a,b, g bulunur. En popüler mikroşerit anten tasarımları dikdörtgen şeklindedir.

GPS uygulamaları, araç takibi, gemi takibi, araba trafiği navigasyon uygulamaları, mobil iletişimde konum bulma faaliyetleri gibi çok sayıda mikroşerit anten kullananlardır.

Mikroşerit antenler kablosuz ağ uygulamalarındaki birçok dikkat çekici uygulamada kullanılmaktadır. Kablosuz veri bağlantıları IEEE 802.11 a,b, g standartlarını kullanır. 802.11b ve 802.11g standartları lisanssız 2.4 GHz bant,802.11a standardı lisanssız 5 GHz bant kullanır (Ç. AYDIN, 2011). Bunun yanı sıra, Pazar kayıt sistemleri ve pazarlar, vb. Mikroşerit antenler, bazı alanlarda kullanılan RF tanımlama sistemlerinde de kullanılır. Bu amaçla kullanılan antenler çok yönlü radyasyon göstermelidir.

Mikroşerit antenler WIMAX teknolojisi uygulamalarında da kullanılır ve bu antenler çok yönlü radyasyon gösterebilir. Merkezi frekansı 2,3,2.5,3.5 ve 5.8 GHz olan bantlar Wimax uygulamalarında popüler bantlardır (E. KARACA, 2013). Mikroşerit antenler GSM ve UMTS gibi mobil iletişim uygulamalarında da kullanılır.

3.5 Anten Parametreleri

Anten parametreleri, antenlerin tasarımı ve ölçümü sırasında bir antenin performansını karakterize etmek için tanımlanmıştır. Bu bölümde bant genişliği, ışınma örüntüsü, kazanç, giriş empedansı gibi terimler açıklanmaktadır.

3.5.1 Bantgenişliği

Bant genişliği temel bir anten parametresidir. Giriş empedansı, ışınma örüntüsü, kutuplanma, yan lobların seviyesi ve kazanım gibi anten parametrelerinin, merkez frekansındaki kıyasla kabul edilebilir bir değer dâhilinde olduğu frekans aralığını açıklar. Genellikle istenen bant genişliği antene karar verirken kullanılan tanımlayıcı parametrelerden biridir. Örneğin, birçok anten tipi çok dar bant genişliğine sahiptir ve geniş bant çalışması için kullanılamaz (/www.antenna---theory.com/ 2019).

3.5.2 Kutuplanma (Polarizasyon)

Bir elektromanyetik alanın polarizasyonu, elektrik alan vektörünün yönü açısından tanımlanır. Elektrik alan vektörü hala bir düzlemdeyse, doğrusal olarak polarize olduğu söylenir. Özel durumlar, dikey düzlemde elektrik alanı vektörü için dikey polarizasyon ve yatay düzlemde elektrik alanı vektörü için yatay polarizasyondur (genellikle dünyanın yüzeyi referanstır.).

3.5.3 Geri dönüş kaybı

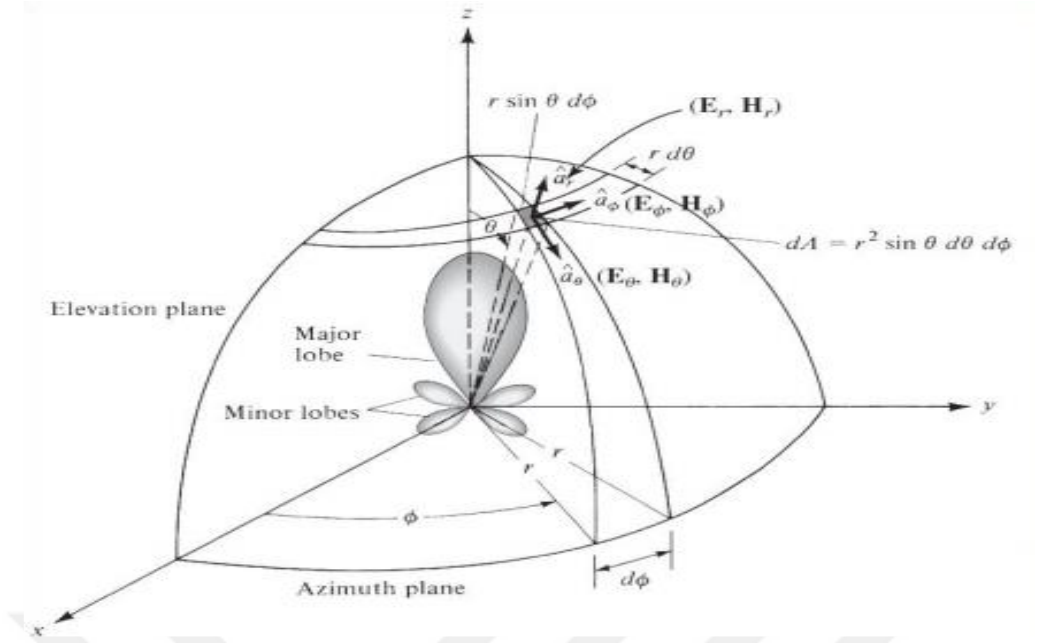
Anten bağlantısında geri dönüş kaybı önemli bir parametredir. Empedans adaptasyonu ve güç teorisinin maksimum transferi ile bağlantılıdır. Aynı zamanda, bir antenin kaynaktan antene enerji sağlamadaki verimliliğinin bir ölçüsüdür. Geri dönüş kaybı (RL), Pin antenin olay gücünün Pref (P. S. Kildal. 2009) kaynağının anteni tarafından yansıtılan güce oranı ile tanımlanır, matematiksel ifadesi;

$$RL = 10 \log_{10} \frac{P_{in}}{P_{ref}} \text{ (dB)} \quad (3.10)$$

İyi bir güç aktarımı için Pin/Pref oranı yüksek olmalıdır. Düşük RL'ye sahipsek, duran dalga fenomenlerinin (rezonanslar) oluşma riski vardır ve bu bir kazanç frekansı dalgalanması, vb. ile sona erecektir. Çoğu pratik devrede, RL değeri -10 dB yeterlidir.

3.5.4 Işıma örüntüsü

Işıma örüntüsü "antenin ürettiği elektromanyetik alanı karakterize eden bir miktarın uzaysal dağılımı" olarak tanımlanmaktadır (IEEE, 1993). Işıma örüntüsü, güç akısı yoğunluğu, radyasyon yoğunluğu, alan şiddeti, yönlülük, faz veya polarizasyonun iki boyutlu veya üç boyutlu uzamsal dağılımı olabilir. Işıma örüntüsü, bir yol veya sabit bir yüzey boyunca gözlemcinin konumunun bir fonksiyonudur (Balanis, 1997) ve maksimum radyasyonun meydana geldiği bir yönden geçer. Genellikle küresel koordinat sistemi radyasyon modelini görselleştirmek için kullanılır. İki boyutlu bir desen, sabit bir azimut açısında, yükseklik açısının bir fonksiyonu ϕ veya sabit bir ϕ değerinde a fonksiyonu olabilir (P. S. Kildal. 2009). Sistemin küresel koordinatı şekil 3.8'da gösterilmiştir.



Şekil 3.8 Anten Analizinde Spiral Koordinat Sistemleri

3.5.5 Yönlülük

Yönlülük, "antenin belirli bir yönündeki radyasyon yoğunluğunun her yöndeki ortalama radyasyon yoğunluğuna oranıdır" (IEEE, 1993). Yönün bir fonksiyonudur, ancak genellikle sadece ana lobun yönünde tanımlanır. Yönelme şu şekilde ifade edilebilir:

$$D = \frac{w}{pt/4\pi} = \frac{4\pi|E(r)|^2}{\int |E(r)|^2 d\Omega} \quad (3.11)$$

Ω , katı açı başına radyasyon yoğunluğu ve pt , anten tarafından iletilen toplam güçtür ve katı açıdır (Lindell ve Nikoskinen, 1995).

3.5.6 Kazanç

Yönlene bilirlilik ışınımın ışın yönündeki yoğunluğundan ve toplam yayılan güçten tanımlanmıştır. Anten yayılımı aynı tanıma sahiptir, ancak toplam yayılan gücün yerine anten portuna verilen toplam güç gelir (P. S. Kildal, 2009). Bu, aşağıdaki gibi yönlendirme kullanılarak ifade edilebilir:

$$G = e_{rad}e_{pol}D \quad (3.12)$$

e_{rad} , toplam radyasyon verimi ve e_{pol} ise polarizasyon verimidir.

3.5.7 Eksensel oran

Polarizasyon elipsi, zamanın dalğanın yayılma yönüne normal bir düzlemde değiştiğinde E alanının zirvesi açıklayan eğridir. Elips, maksimum ve minimum alan değerleri ile karakterize edilebilir, $|E_{max}|$ ve $|E_{min}|$, sırasıyla (P. S. Kildal, 2009). Elipsin eksensel oranı aşağıda ifade edilmiştir:

$$(AR)_{dB} = 10 \log \left| \frac{E_{max}}{E_{min}} \right|^2 \text{ dB} \quad (3.13)$$

İstenen dairesel bir polarizasyon için, dB cinsinden AR eksensel oranı ve çapraz kutupsal ve kutupsal alanların genlikleri şu şekilde bağlanır:

$$(AR)_{dB} = 10 \log \left[\frac{|E_{co}| + |E_{xp}|}{|E_{co}| - |E_{xp}|} \right]^2 \text{ dB} \quad (3.14)$$

4. FARKLI DİELEKTRİKLER KULLANILARAK ÇOK KATMANLI MİKROŞERİT ANTEN TASARIMI VE ÖLÇÜMLERİ

Mikroşerit antenler hakkında araştırma alanlarından biri bant genişliğinin artırılması yönündedir. Mikroşerit yama antenlerinin önemli özelliklerinden biri olan empedans bant genişliği, çok katmanlı bir dielektrik konfigürasyon kullanılarak önemli ölçüde geliştirebilme avantajına sahip olur. Kullanılan malzemelerin dielektrik özellikleri ile antenin elektriksel parametrelerinin performansı artırılabilir. Bu değişimler tez çalışması ile yapılan tek katmanlı (FR4), iki katmanlı (FR4 + Duroid), üç katmanlı (FR4 + Duroid + Köpük) ve dört katmanlı (FR4 + Duroid + Köpük + Teflon) mikroşerit anten yapıları (toplamda dört anten) için tasarımları yapılmış ve simüle edilmiştir. Yama üzerine daire ve yarık açılarak performansları artırılmıştır. En iyi simülasyon sonuçlarına ulaşılan antenler üretilip ölçümleri yapılmış ve sonuçları değerlendirilmiştir.

Tüm dört anten için frekans spectrumu 1 - 9 GHz aralığında taranmış ve her bir antenin rezonans frekansları belirlenmiştir. Bulunan rezonans bölgeleri için anten performansları incelenmiştir. Antenlerin performansları, önemli elektriksel parametreleri olan geri dönüş kaybı (S_{11}), kazanç (G), ve bant genişliği (BW) için değerlendirilmiştir.

Her bir antenin şekilleri, üretilmiş fotoğrafları ve S_{11} ve G grafikleri verilmiştir. Elde edilen değerler ise tablolar halinde sunulmuştur.

4.1 Çok Katmanlı Mikroşerit Anten Yapısı

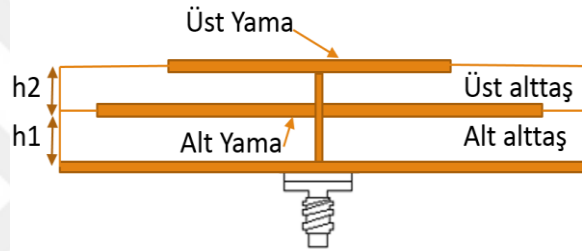
Genellikle çoklu frekans yama antenler çok katmanlı ve tek katmanlı olmak üzere iki gruba ayrılır. Çok katmanlı yapılar dairesel, açısız ve dikdörtgen yama antenleri de içermektedir. Çok katmanlı anten yapılarında dairesel polarizasyon ve uygun bant genişlikleri sağlanabilir. Özellikle çoklu frekans yapılarında başlıca iki yöntem mevcuttur. Bunlardan ilki, tek yama anten tasarımıdır.

Tek yama anten tasarımı farklı çalışma frekansları arasındaki oranın 1.5 ve üzerinde olduğu yapılarda daha sıklıkla kullanılmaktadır (Yang, 2001). İkinci yöntem olan yığın yama antenlerde ise çalışma frekanslarının birbirine daha yakın olması sağlanabilir (Sun, 2011).

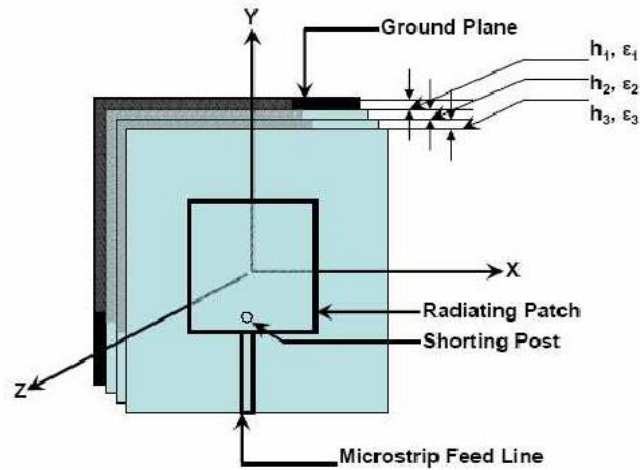
Özellikle sistemlerin farklı çalışma frekansları arasındaki oran 1.5 ve altında ise bu yapılarda tasarımlar tercih edilmektedir.

Bu yöntem uygulanırken antenlerin yan yana durması da sağlanabilir fakat bu şekilde bir yapı istenmeyen ışımalara neden olabileceği ve fazla alan kaplayacağı için üst üste yığın şeklinde antenlerin yerleşimi sağlanarak uygulanmaktadır. Bu şekilde istenmeyen ışımaların daha düşük seviyede kalabilmesi de sağlanabilmektedir (Chen, 2012).

Bu yapıdaki antenlerin iki frekansının da aynı polarizasyonda olması önemli bir gerekliliktir. Aynı yapıdaki çok katmanlı yapılar geniş bant genişliği sağlamak ve eksenel oranın 3 dB'nin altında olması için daha kullanışlıdır (Chen C., 2010). Bu yapıda tasarıma bir örnek Şekil 4.1 ve 4.2'de verilmiştir.



Şekil 4.1 Çift bant çok katmanlı mikroşerit anten yapısı



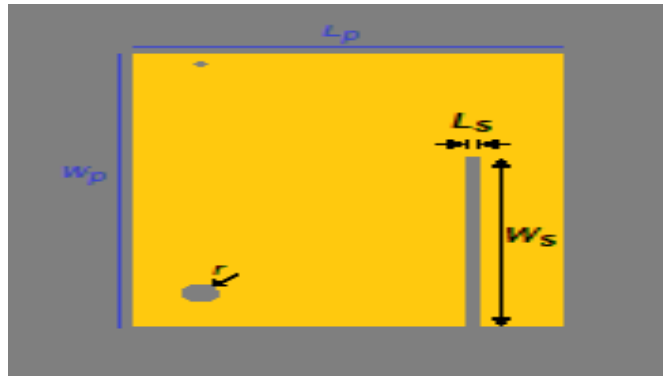
Şekil 4.2 Çok katmanlı dielektrik dikdörtgen yapısı

Tek besleme yöntemi genellikle harici güç bölücü kullanmanın zor olduğu tasarımlarda kullanılır. Bu yöntemle beslenen antenler genellikle doğrusal polarizasyonda ışımaya yaparlar. Dairesel polarizasyon sağlamak için belirli simetrilere uyarak yama üzerinde ufak değişiklikler yapılması gerekmektedir. Bu değişiklikleri sağlamak için genellikle kareye yakın yama yöntemi ya da köşe kesim yöntemi kullanılmaktadır (Chen C., 2010). Dairesel polarizasyon sağlamak için ayrıca kare yamaya kısa devre pini veya direnç de eklenebilir (Kumar, 2003). Bu özelliklerin hepsinin tek bir yapıda gerçekleştirilebilmesi ise genelde istenen durumdur. Bu yüzden bu yöntemler arasında çok katmanlı antenlerde literatürde sıklıkla tek besleme yöntemi kullanılmaktadır (Chen C., 2010).

4.2 Anten Tasarımı ve Uygulamaları

Mikroşerit anten simülasyonları HFSS (High Frequency Structural Simulator - Ansoft) programı yardımıyla gerçekleştirilecektir. HFSS programında iki tür analiz yöntemi vardır. Bunlardan ilki FEM (Finite Element Method-Sonlu elemanlar metodu) ve ikincisi MoM (Method of Moments-Momentler metodu)'dur.

Genellikle tasarımların analizi için FEM kullanılmaktadır. Dolayısıyla bu çalışmada da sonlu elemanlar metodu kullanılacaktır. Elde edilen en verimli anten, kazanç, ışımaya deseni, geri yansıma kaybı, rezonans frekansı ve band genişliği açısından değerlendirildikten sonra uygulaması gerçekleştirilecektir.



Şekil 4.3. Mikroşerit anten geometrik yapı

Anten boyutları aşağıdaki formüller kullanılarak hesaplanmıştır;

- Antenin genişliğinin hesaplanması,

$$W = \frac{c}{2f_r \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r + 1}}} \quad (4.1)$$

W: yamanın genişliği ve h: alt tabakanın yüksekliğidir.

- Dielektrik sabitinin etkin değerinin hesaplanması,

$$\epsilon_{eff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[1 + \frac{12h}{W} \right]^{-1/2} \quad (4.2)$$

- Uzunluğun etkin değerinin hesaplanması,

$$L_{eff} = \frac{c}{2f_r \sqrt{\epsilon_{eff}}} \quad (4.3)$$

Yama rezonans uzunluğu (L),

$$L = L_{eff} - 2\Delta L \quad (4.4)$$

İki katmanlı için dielektrik kalınlığı ve dielektrik sabiti aşağıdaki ifadeler kullanılarak hesaplanmıştır [18].

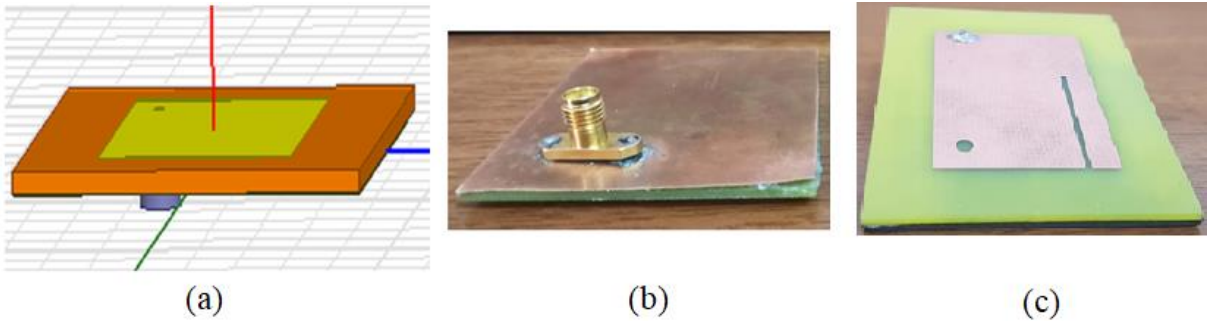
$$h = h_1 + h_2 \quad (4.5)$$

$$\epsilon_{eff} = (\epsilon_{eff1} + \epsilon_{eff2}) / 2 \quad (4.6)$$

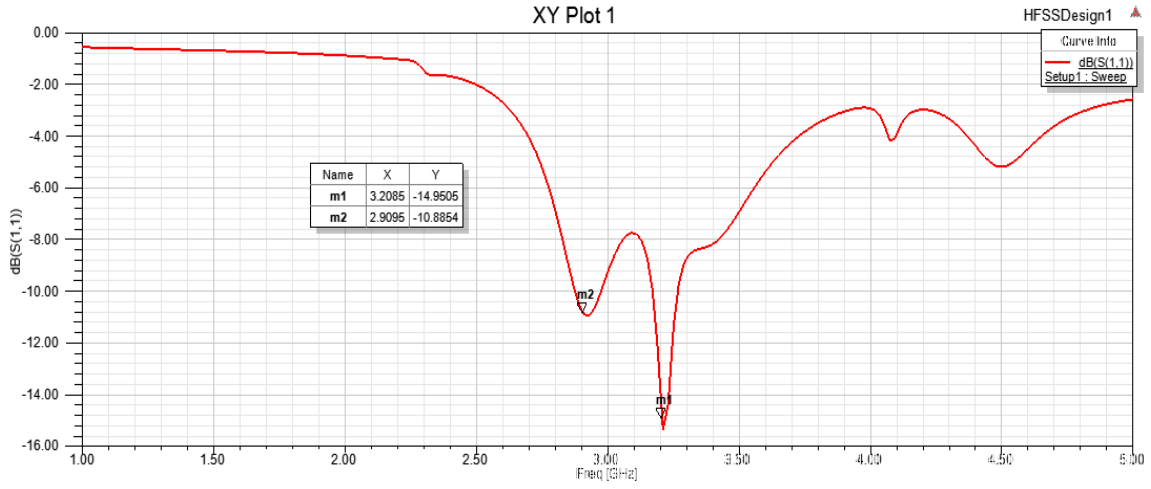
Önerilen anten iki, üç ve dört alt tabaka tabakası kullanılarak tasarlanmıştır: alt tabaka olarak Duroid (tm), köpük ve teflon üst tabaka olarak FR4 ile tasarlanmıştır. Antenin performansının getirebilmek için dairesel ve dikdörtgen yuva ile oluklu yama kullanılmıştır. Substratların boyutu, uzunluk $L = 50$ mm ve genişlik $W = 59$ mm. Dielektrik sabiti ve kayıp tangent, dielektrik malzeme maliyeti veya substrat seçilirken dikkate alınması gereken önemli parametrelerdir. Bu çalışmada düşük maliyet, düşük dielektrik sabiti, düşük kayıp tangent nedeniyle FR4, duroid, köpük ve teflon seçilmiştir. Kalınlık 1.6, 1.575, 0.8 ve 1 mm ve dielektrik sabitleri sırasıyla 4.4, 2.2, 2.1 ve 1.05'dir. Çok katmanlı mikroşerit anten yönetilen yamanın geometrik boyutları sırasıyla uzunluk $L_p = 30$ mm ve Genişlik $W_p = 40$ mm'dir. Şekil 4.4'te yama oluklu çok katmanlı mikroşerit antenin yapısını göstermektedir. Bu çalışmada koaksiyel yem seçilmiştir. Koaksiyel probun dış iletkeni toprak düzlemine bağlanır. İç iletken dielektrik ile uzatılır ve yamaya kaynak yapılmaktadır.

4.2.1 Tek katmanlı yapı

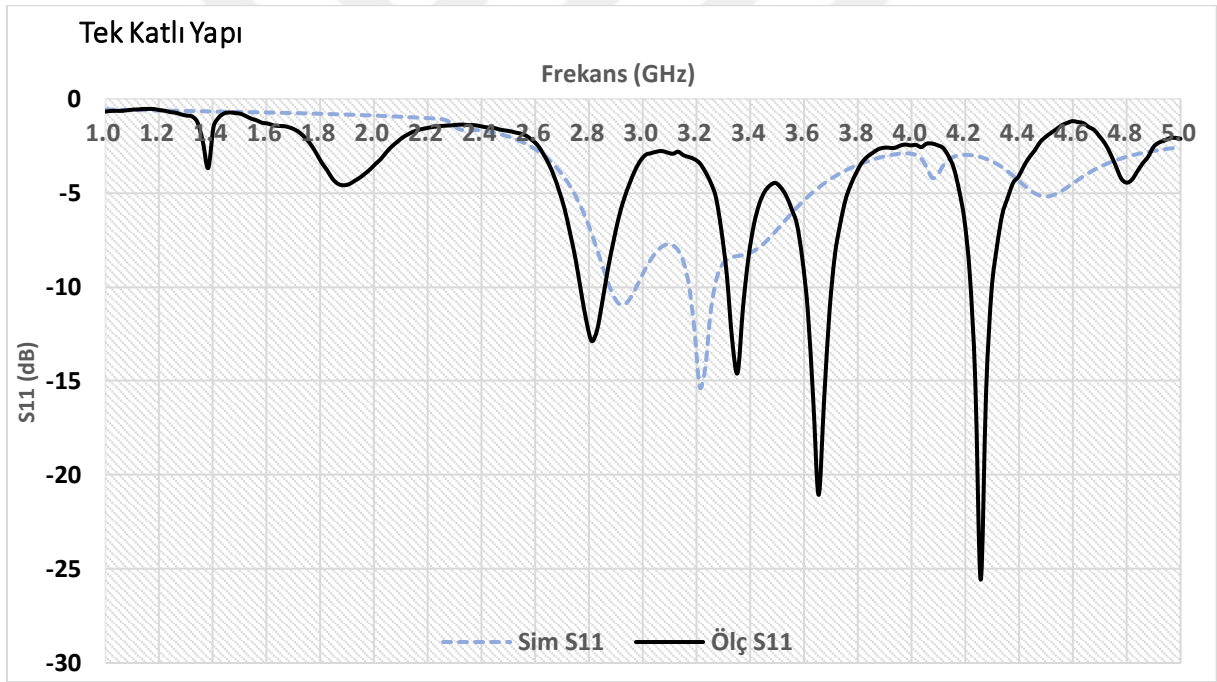
Bir mikroşerit anten, yayın yapan bir yama, arada bir dielektrik yapı ve dielektriğin diğer tarafında bir toprak hattından oluşur. Çalışmada FR4 dielektrik ve dikdörtgen yama tercih edilmiştir.



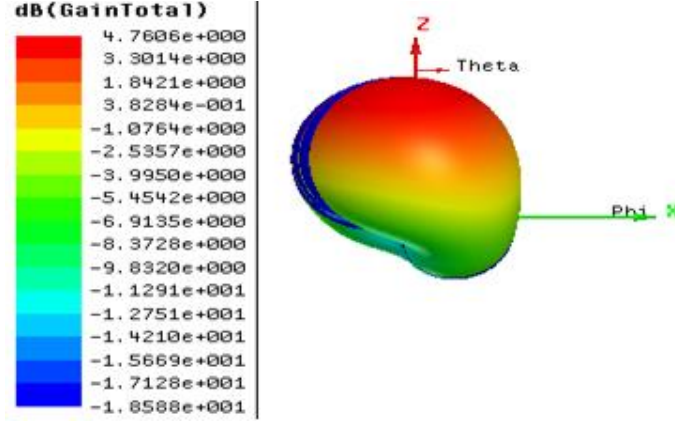
Şekil 4.4 Tek katmanlı mikroşerit anten yapısı (a) simülasyon, (b) arka yüz, (c) ön yüz (yama)



Şekil 4.5 Tek katmanlı yapıya ait S_{11} grafiği



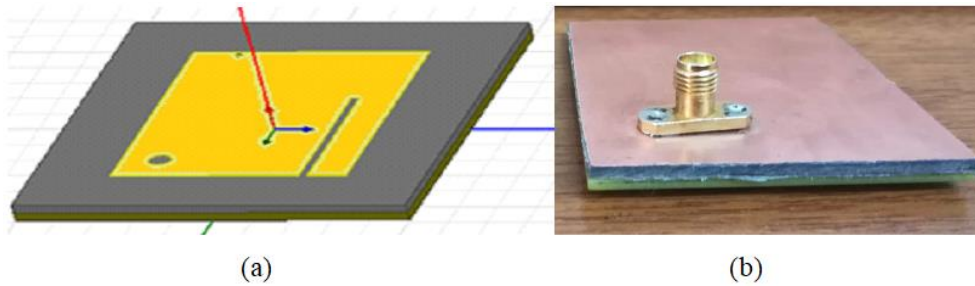
Şekil 4.6 Tek katmanlı yapıya ait simülasyon ve ölçüm S_{11} grafiği



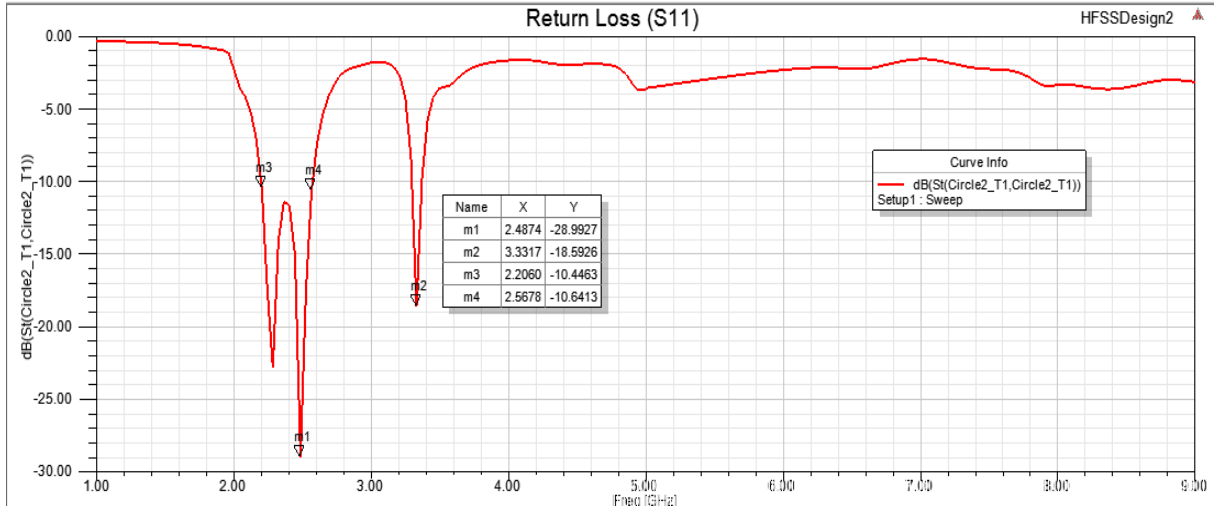
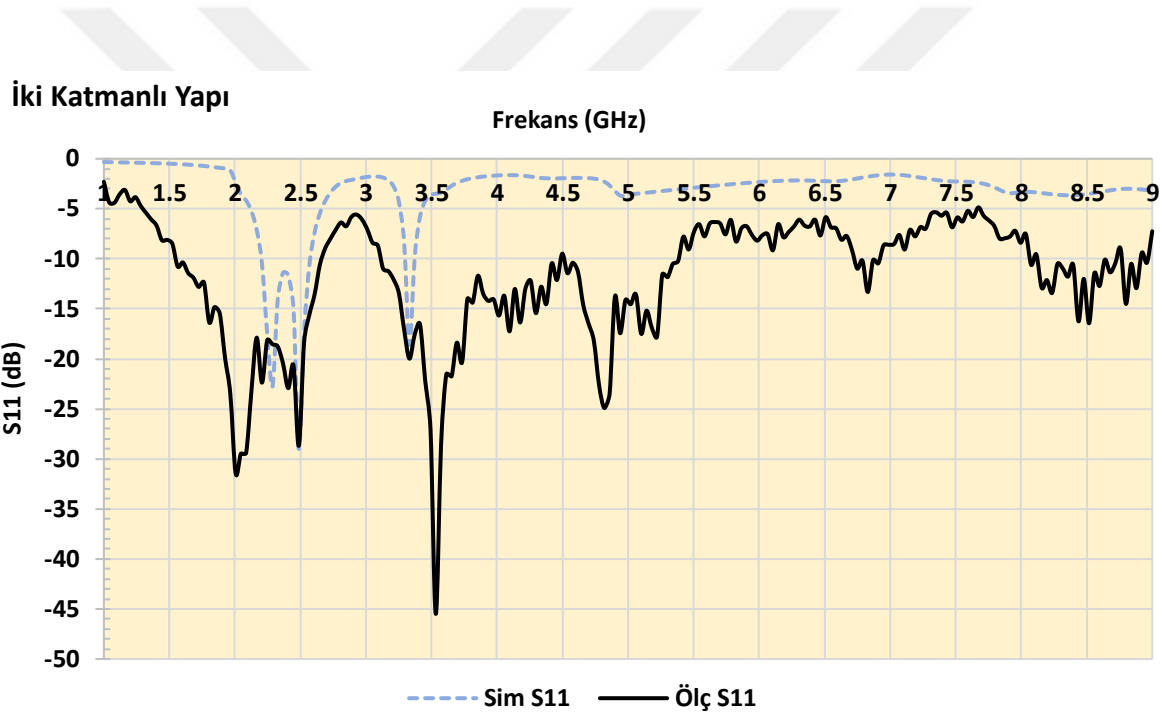
Şekil 4.6 Tek katmanlı yapıya ait G grafiği

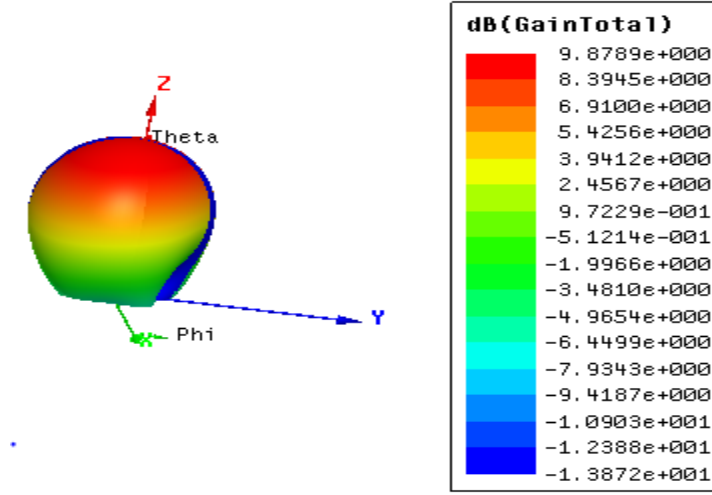
4.2.2 Çift katmanlı Duroid ve FR4 yapısı

Bir mikroşerit anten, yayın yapan bir yama, arada çift dielektrik yapı ve dielektriklerin diğer tarafında bir toprak hattından oluşur. Çalışmada FR4 ve Duroid dielektrikleri ve dikdörtgen yama tercih edilmiştir.



Şekil 4.7 Çift katmanlı mikroşerit anten yapısı (a) simülasyon, (b) arka yüz (üretim)

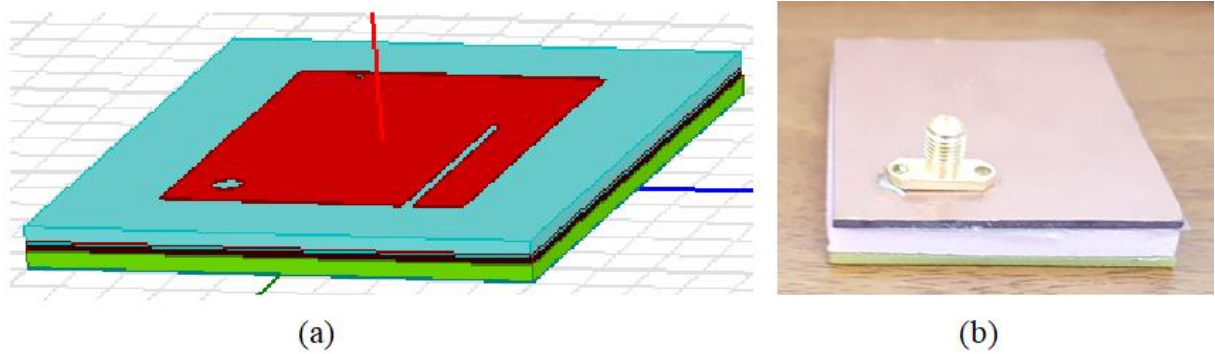
Şekil 4.8 Çift katmanlı yapıya ait S_{11} grafiği



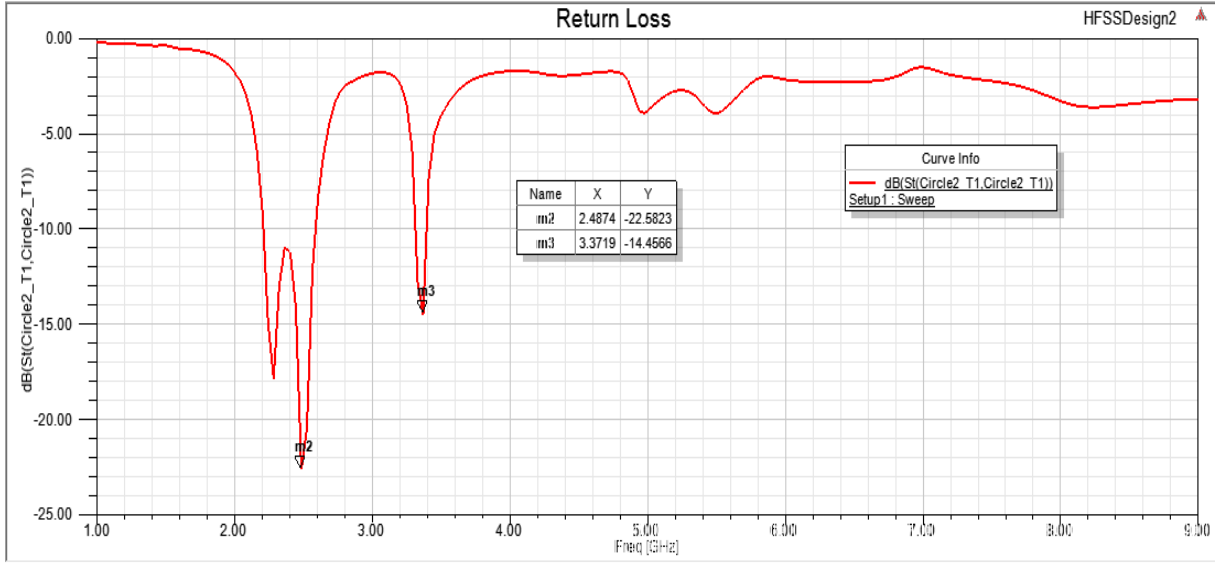
Şekil 4.9 Çift katmanlı yapıya ait G grafiği

4.2.3 Üç katmanlı FR4, Duroid ve Köpük yapısı

Bir mikroşerit anten, yayın yapan bir yama, arada üç katmanlı dielektrik yapı ve dielektriklerin diğer tarafında bir toprak hattından oluşur. Çalışmada FR4, Duroid ve Köpük dielektrikleri ve dikdörtgen yama tercih edilmiştir.

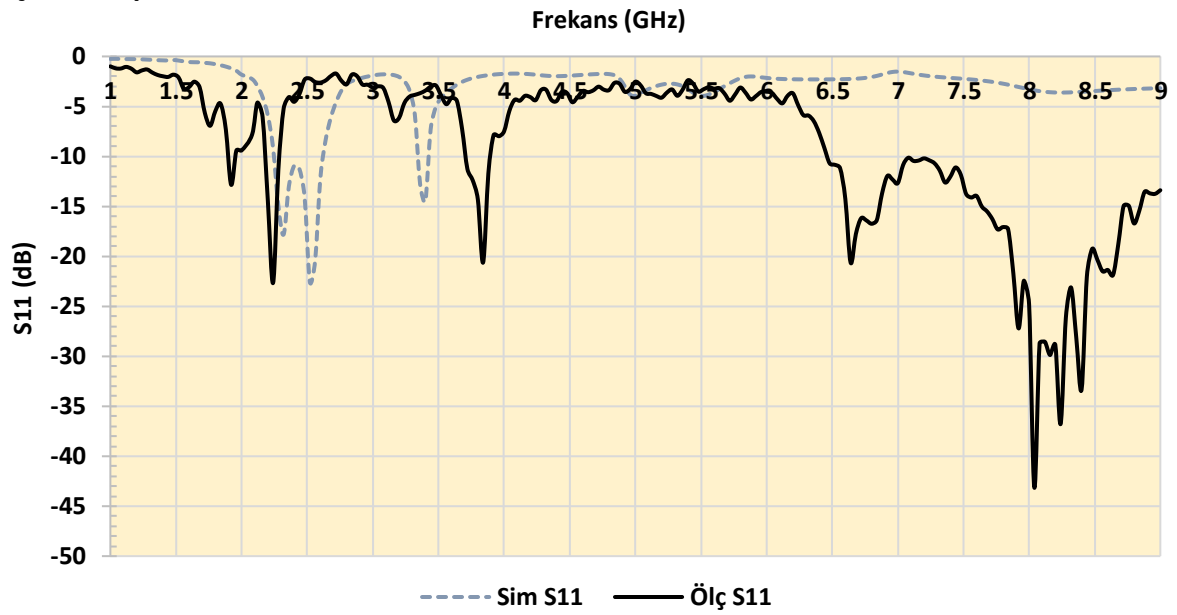


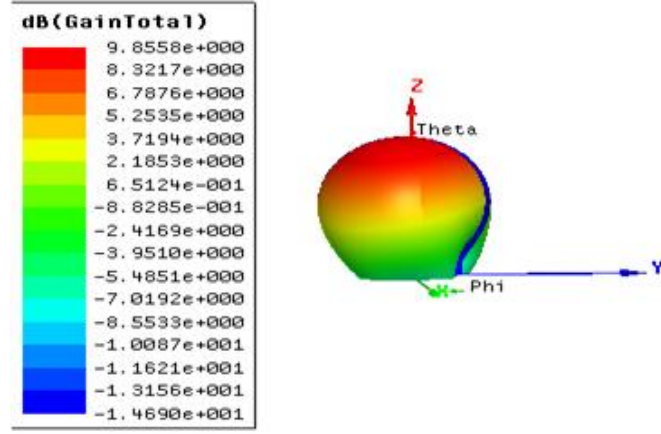
Şekil 4.10 Üç katmanlı mikroşerit anten yapısı (a) simülasyon, (b) üretim



Şekil 4.11 Üç katmanlı yapıya ait S_{11} grafiği

Üç Katlı Yapı

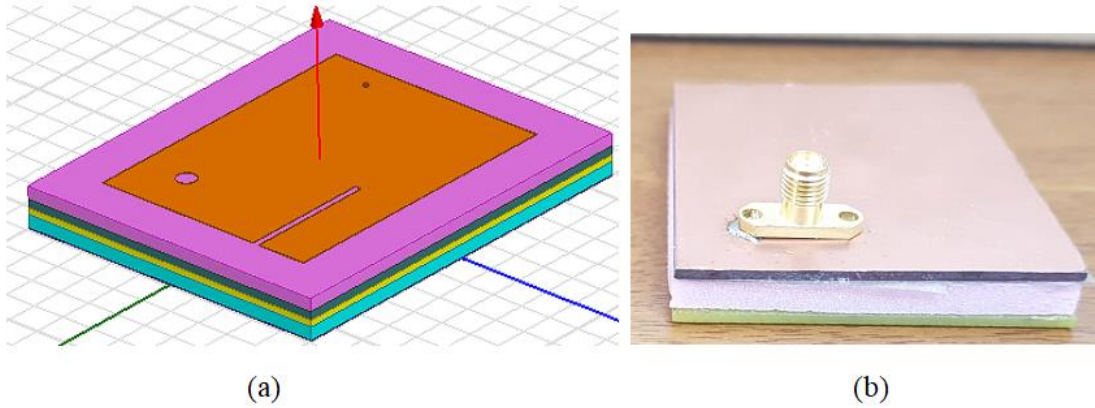




Şekil 4.12 Üç katmanlı yapıya ait G grafiği

4.2.4 Dört katmanlı anten

Bir mikroşerit anten, yayın yapan bir yama, arada dört katmanlı dielektrik yapı ve dielektriklerin diğer tarafında bir toprak hattından oluşur. Çalışmada FR4, Duroid, Köpük ve Teflon dielektrikleri ve dikdörtgen yama tercih edilmiştir.

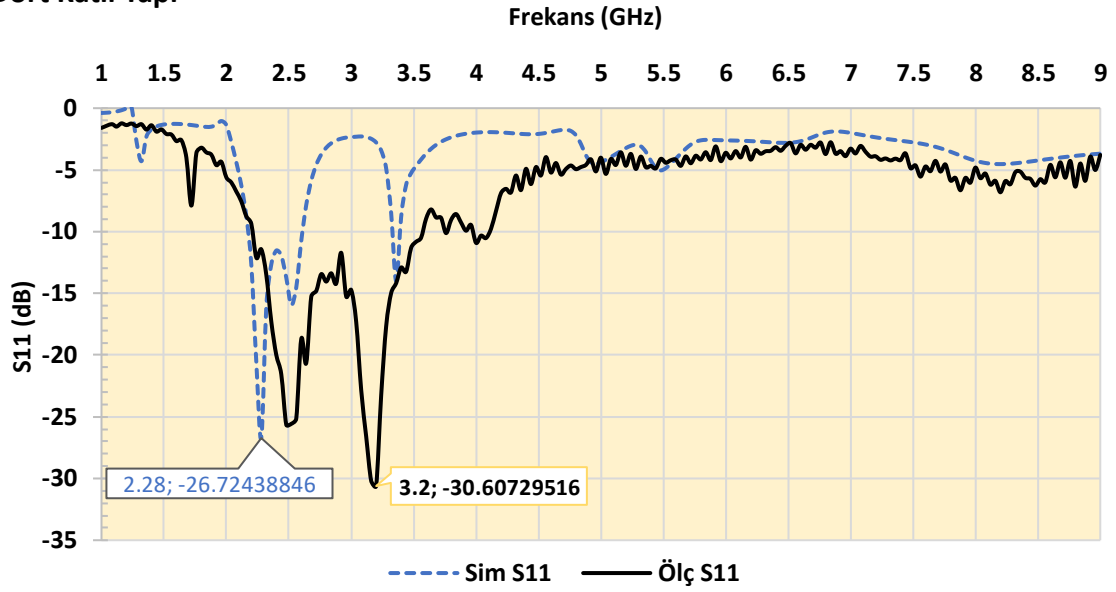


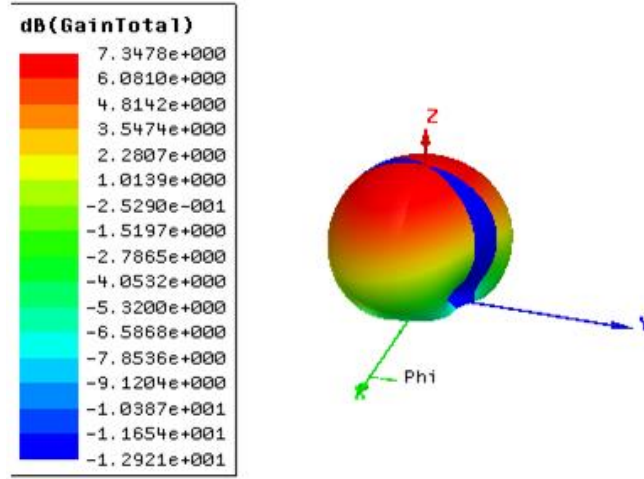
Şekil 4.13 Dört katmanlı mikroşerit anten yapısı (a) simülasyon, (b) üretim



Şekil 4.14 Dört katmanlı yapıya ait S_{11} grafiği

Dört Katlı Yapı





Şekil 4.15 Dört katmanlı yapıya ait G grafiği



5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1 Sonuçlar

Çizelge 2. Tek, çift, üç ve dört katmanlı dikdörtgen mikroşerit antenlerin f_0 , %BW, S_{11} ve G simülasyon ve ölçüm değerleri

Katman Sayısı	f_0 (GHz, Sim)			f_0 (GHz, Ölç)			f_2 (GHz, Sim)			f_2 (GHz, Ölç)			f_3 (GHz, Sim)			f_3 (GHz, Ölç)		
	f_{01}	f_{02}	f_{03}	f_{01}	f_{02}	f_{03}	f_{21}	f_{22}	f_{23}	f_{21}	f_{22}	f_{23}	f_{31}	f_{32}	f_{33}	f_{31}	f_{32}	f_{33}
Tek (FR4)	2.80	2.95	2.92	2.24	2.30	2.27	3.16	3.26	3.20	4.38	4.65	4.52	-	-	-	7.72	8.83	8.02
Çift (FR4 + Duroid)	2.20	2.56	2.48	1.75	3.10	2.49	3.20	3.38	3.33	3.60	5.40	4.20	-	-	-	5.60	6.50	5.80
Üç (FR4 + Duroid + Köpük)	2.20	2.60	2.48	2.10	2.60	2.23	3.30	3.41	3.37	4.40	4.60	4.50	-	-	-	7.80	8.70	8.20
Dört (FR4 + Duroid + Köpük + Teflon)	2.15	2.58	2.49	2.25	3.20	2.49	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Katman Sayısı	%BW					
	Sim1	Sim2	Sim3	Ölç1	Ölç2	Ölç3
Tek (FR4)	5.14	3.13	-	2.6	6	13
Çift (FR4 + Duroid)	14.52	5.63	-	54	43	16
Üç (FR4 + Duroid + Köpük)	16.13	3.26	-	22	4	109
Dört (FR4 + Duroid + Köpük + Teflon)	17.27	-	-	38	-	-

Katman Sayısı	S_{11} (dB)					
	Sim1	Sim2	Sim3	Ölç1	Ölç2	Ölç3
Tek (FR4)	-11	-14.95	-	-16.78	-20.08	-18.05
Çift (FR4 + Duroid)	-22.85	-28.99	-18.59	-28.15	-32.00	-28.00
Üç (FR4 + Duroid + Köpük)	-18	-22.58	-14.46	-22.08	-20.00	-20.10
Dört (FR4 + Duroid + Köpük + Teflon)	-26.72	-15.95	-13.99	-29.00	-	-

Katman Sayısı	G (dB)
Tek (FR4)	4.76
Çift (FR4 + Duroid)	9.88
Üç (FR4 + Duroid + Köpük)	9.86
Dört (FR4 + Duroid + Köpük + Teflon)	7.35

Bu tez çalışmasında; mikrodalga antenleri içerisinde kullanım alanı oldukça yaygınlaşan ve özel bir çeşidi olan, kolay optimize edilebilme, yüksek bant genişliği sağlayabilme gibi özellikleriyle ön plana çıkan, çok katmanlı mikroşerit anten yapısı incelenmiştir. Anten modelinin geometrik özellikleri, HFSS yazılımı ile parametrize edilerek simülasyonu yapılmış ve sonuçlar yorumlanmıştır. Anten tasarımı yapıldıktan sonra, uygulamaları gerçekleştirilmiştir. Ölçümler VNA ile alındıktan sonra, anten performanslarının incelemesi için grafikleri düzenlenmiştir.

Anten simülasyonu 1– 9 GHz frekans aralığında tarama yapılarak sonuçlar elde edilmiştir. Ancak 2 – 3.3 GHz aralığında çalışabilmesi hedeflenmiştir. Ayrıca anten alt katmanları olarak; dayanıklı, düşük maliyetli olan dielektrikler maddeler seçilmiş ve ince bir tabaka halinde kullanılmıştır. Sonuç olarak çok katmanlı mikroşerit antenlerle alınan sonuçların tek katmanlı antene göre daha iyi sonuç verdiği görülmüştür. (S_{11} ve kazanç) verebilmesini fark edildi.

5.2 Öneriler

Literatürde yoğun olarak kullanılan FR4, Duroid, Köpük ve Teflon gibi dielektrik malzemeler bu tez çalışması için seçilmiş ve dikdörtgen yama üzerinde daire ve yarık açılarak tek ve çok katmanlı mikroşerit anten yapıları oluşturulmuştur. Yapıların tasarımları yapılarak üretilmiş ve S_{11} , %BW ve G gibi elektriksel parametrelerin performanslarına bakılmıştır.

Tez çalışması için dört malzeme seçilmiştir. Fakat bu sayı arttırılabilir ve daha geniş analizler yapılabilir. Örneğin seramik malzemeler ve dolayısıyla yüksek dielektrik değerli malzemeler çalışılmamıştır. Bu tür malzeme seçimleri yapılarak çalışma geliştirilebilir.

Bu çalışmada özellikle frekans bölgesi seçimi hedeflenmemiştir. Sonraki çalışmalarda uygulamada yaygın frekans bölgeleri seçilerek çalışmalar daha özel hale getirilebilir.

Çalışmada dikdörtgen yapı düşünülmüştür. Diğer geometrik yapılar üzerine de benzer çalışmalar yapılabilir.

Çalışmada üç parametre (S_{11} , %BW ve G) ile anten performansı incelenmiştir. Duran dalga, ışınma deseni, yöneltilik gibi parametrelerle de performan analizleri yapılabilir.

Katman sayısı dört ile sınırlandırılmıştır. Yüksek performanslı bilgisayar kullanılarak bu sayı arttırılabilir.

Aynı tez fikri dizi antenler içinde düşünülebilir.

Bu çalışma tüm bu tür araştırmalara yol göstereceği ve temel teşkil edebileceği düşünülmektedir.



6. KAYNAKLAR

Aydın Ç., (2011), Yeni Nesil Rfid Sistemlerinde Kullanılan Minyatür Anten Tasarımları Yüksek Lisans Tezi.

Balanis C.A., 2005, "Antenna Theory Analysis and Design", *John Wiley & Sons*, New York.

Chen M. and Chen C.C., 2012, A Compact Dual-Bant (L_1/L_2) GPS Antenna Design, *Proceedings of the 2012 IEEE International Symposium on Antennas and Propagation*, Chicago, IL, USA. DOI: 10.1109/APS.2012.6348972.

Chen C., Liu G., Chen X., Lin T., Liu X., and Duan Z., (2010) "Compact Dual-Bant GPS Microstrip Antenna Using Multilayer LTCC Substrate", *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, vol. 9.

Çekingen M., (2011), "Yapay Manyetik İletken Toprak Yüzeyle Genişbant Mikroşerit Anten Tasarımı", *Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*.

Çetme E., (2009), "Yarıklı Mikroşerit Yama Anten Dizaynı", *Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*.

Gupta S.D. and Srivastava M.C., (2012), Multilayer Microstrip Antenna Quality Factor Optimization for Bandwidth Enhancement: *Journal of Engineering Science and Technology*, Vol. 7, No. 6.

Güngör İ., (2012), "Frekans Seçici Yüzeyle Kullanarak İki Farklı Frekansta İstenilen Işıma Desenlerine Sahip Reflektör Anten Tasarımı", *Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul*.

<https://www.elektrikrehberiniz.com/elektrik/elektromanyetik-dalga-nedir-13180/>

[https://en.wikipedia.org/wiki/Antenna_\(radio\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Antenna_(radio)).

http://ethesis.nitrkl.ac.in/1043/1/final_copy.pdf 2019.

<http://www.antenna---theory.com/> 2019.

Karaca E., (2013), "Dairesel Polarizasyonda Çalışan L Şeklinde Çevrilmiş Şeritlere Sahip Eş

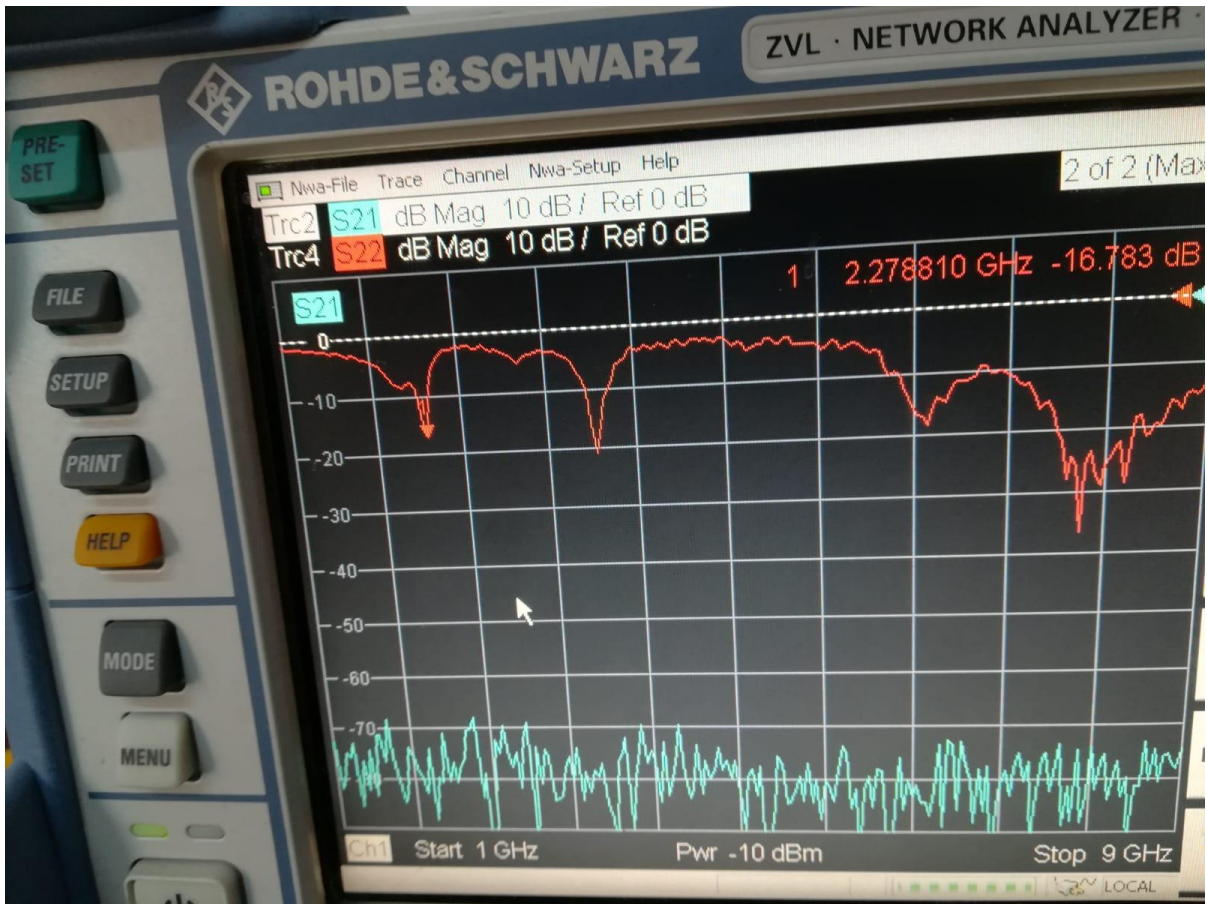
- Düzlemsel Dalga Kılavuzu Beslemeli Kare Slot Anten Tasarımı”, *Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.*
- Kildal P.S., (2015), *Foundations of Antenna Engineering: A Unified Approach for Line-of-Sight and Multipath*, Artech House, 476 sayfa.
- Küpeli M., (2017) "Çift Bant Mikroşerit Gps Anten Analizi ve Tasarımı" *Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.*
- Malathi P. and Kumar R., (2009), Design of Multilayer Rectangular Microstrip Antenna Using Artificial Neural Networks, *International Journal of Recent Trends in Engineering*, Vol. 2, No. 5.
- Mithila R.G., Khedkar A.P., Indulkar P.U., (2014), Analysis of Performance Parameters for Microstrip Antenna Using Novel Hybridization Method, *International Journal of Computer Applications*, Vol., 95– No.19.
- Noor, A.U., (2012), “Design of Microstrip Patch Antennas at 5.8 GHz”, *Master Thesis, Kapsch Traffic Comm AB, Jönköping, Sweden.*
- Orban D. and Moernaut G.J.K., (2009) “The Basics of Patch Antenna.” RF Globalnet.
- Pozar, D.M. (1992). *Microstrip Antennas*, Proceedings of the IEEE, vol. 80(1), 79-81.
- Rodrigo R., (2010), *Fundamental Parameters of Antennas.*
- Sim D.U. and Choi J.I., (2005), A Compact Wideband Modified Planar Inverted F Antenna (PIFA) for 2.4/5 GHz WLAN Applications, *IEEE.*
- Sun X., Zhang Z. and Feng Z., (2011), Dual-Bant Circularly Polarized Stacked Annular-Ring Patch Antenna for GPS Application”, *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, Vol. 10.
- Thomas. A. Milligan, July (2005), "Modern Antenna design", Wiley, IEEE.
- Yang K.P. and Wong K.L. (2001), Dual-Bant Circularly-Polarized Square Microstrip Antenna”, *IEEE Transactions On Antennas and Propagation*, Vol. 49, No. 3.

Zehforoosh Y., Ghobadi C. and Nourinia J., (2006), Antenna Design for Ultra Wideband Application Using a New Multilayer Structure, PIERS online, Vol. 2, No. 6
Department of Electrical Engineering, Urmia University, Iran.

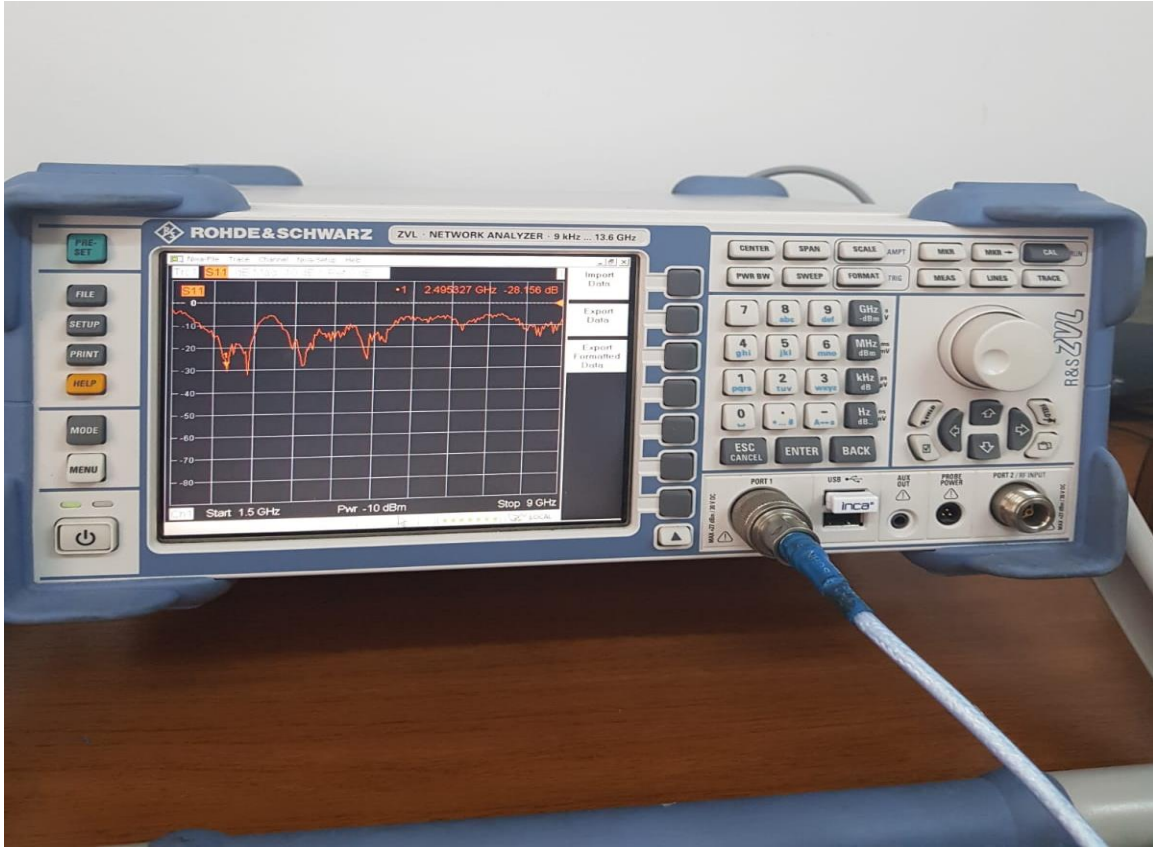


7. EKLER

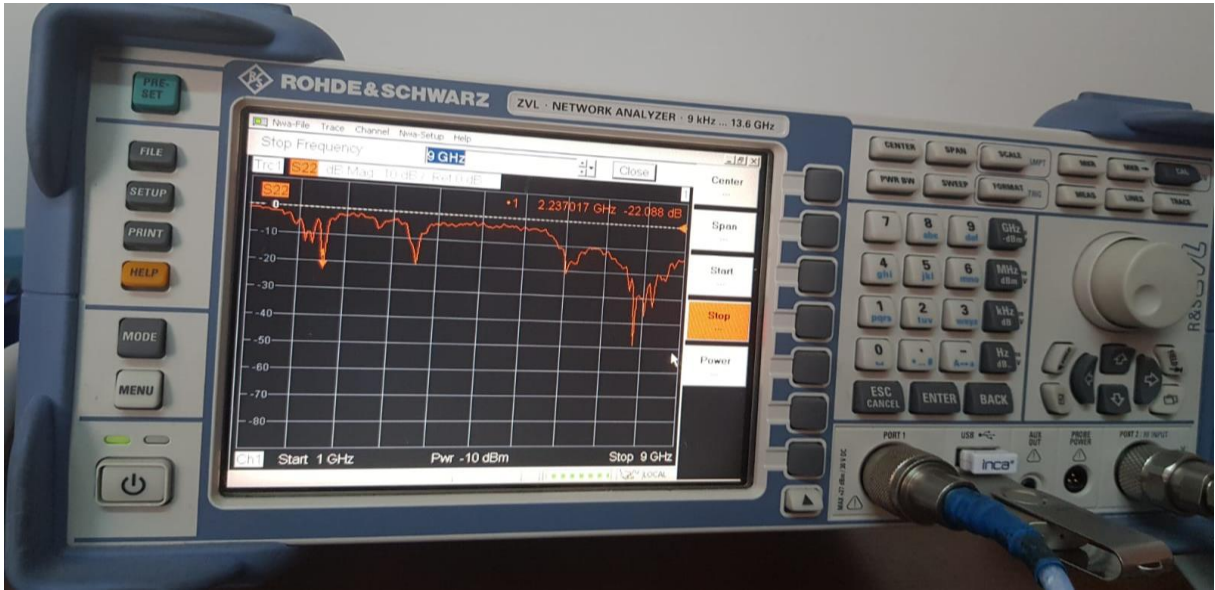
Ek-1. Tek katmanlı yapıya ait S_{11} VNA ekran görüntüsü



Ek-2. Çift katmanlı yapıya ait S_{11} VNA ekran görüntüsü



Ek-3. Üç katmanlı yapıya ait S_{11} VNA ekran görüntüsü



Ek-4. Dört katmanlı yapıya ait S_{11} VNA ekran görüntüsü



8. ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı	:	Miriam MUMPUTU
Uyruğu	:	Kongo
Doğum Yeri ve Tarihi	:	Kikwit, 08/09/1992
Telefon	:	553 077 67 57
e-mail	:	Mumputum2016@gmail.com

EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	: Sadisana lisesi	2010
Üniversite	: Kinşasa Üniversitesi Elk.Elt Müh	2015
Yüksek Lisans	: Konya Teknik Üniv. LEE Elk.Elt. Müh. ABD	Devam

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görev
2016	International Busness Machine (Ibm)	IT Junior
2018	Özen İş/ Konya	Dış Ticaret Sorumlusu

UZMANLIK ALANI

Telekomünikasyon, Elektromanyetik, Antenler

YABANCI DİLLER

Fransızca, İngilizce, Türkçe

BİLGİSAYAR BİLGİSİ

HFSS, SPSS, MATLAB, HTML & CSS, PHOTOSHOP, PHP

SERTİFİKALAR

Türkçe sertifikası

İngilizce sertifikası

Uyumakademi katılım sertifikası

YAYINLAR

- **Miriam Mumputu**, S.Sinan Gültekin, Dilek Uzer and Özen Bayraktar, “Two-Layer Microstrip Patch Antenna Performance Using Two Different Dielectric Materials”, The International Aluminium-Themed Engineering and Natural Sciences Conference in Seydişehir/TURKEY (IATENS’19), October 4-6 2019.
- **Miriam Mumputu**, S.Sinan Gültekin, Dilek Uzer and Özen Bayraktar, “Effect of Dielectric Materials on Antenna Performance”, The International Aluminium-Themed Engineering and Natural Sciences Conference in Seydişehir/TURKEY (IATENS’19), October 4-6 2019.