



İSKENDERUN TEKNİK
ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**YÜKSEK
LİSANS
TEZİ**

**KAĞIT DIELEKTRİK
BAZLI ESNEK
ANTENLER**

Sevim SÖKMEN

**ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI**



**KAĞIT DİELEKTRİK BAZLI
ESNEK ANTENLER**

Sevim SÖKMEN

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**İSKENDERUN TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

OCAK 2022

Sevim SÖKMEN tarafından hazırlanan “KAGIT DIELEKTRİK BAZLI ESNEK ANTENLER” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ / OY ÇOKLUĞU ile İskenderun Teknik Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Unvanı Adı SOYADI

Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, İskenderun Teknik Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum.

.....
.....

Başkan: Unvanı Adı SOYADI

Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, İskenderun Teknik Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum.

.....
.....

Üye: Unvanı Adı SOYADI

Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, İskenderun Teknik Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum.

.....
.....

Üye: Unvanı Adı SOYADI

Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, İskenderun Teknik Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum.

.....
.....

Tez Savunma Tarihi:/...../...

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....

Doç. Dr. Ersin BAHÇECİ

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

İskenderun Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez üzerinde Yükseköğretim Kurulu tarafından hiçbir değişiklik yapılamayacağı için tezin bilgisayar ekranında görüntülediğinde asıl nüsha ile aynı olması sorumluluğunun tarafıma ait olduğunu,
 - Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
 - Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
 - Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
 - Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
 - Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,
- bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

İmza

Ad SOYAD

...../...../.....

KAĞIT DİELEKTRİK BAZLI ESNEK ANTENLER
(Yüksek Lisans Tezi)

Sevim SÖKMEN

İSKENDERUN TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

Ocak 2022

ÖZET

Günümüzde gelişen teknoloji sayesinde kablosuz haberleşme ve iletişim alanında önemli gelişmeler yaşanmıştır. Kablosuz haberleşme sisteminin en önemli yapısını ise antenler oluşturur. Her türlü yüzeye uyabilmesi sebebiyle gün geçtikçe esnek antenlere duyulan ilgi artmaktadır.

Bu tez çalışmasında değişik yüzeylere uygulanabilen esnek anten tasarımı yapılması amaçlanmıştır. Bunun için en uygun anten yapıları belirlenmiştir. Esnek yapıda olması için uygun malzemeler seçilmiştir. Esneklik sağlamak için dielektrik katman olarak kağıt, iletken olarak ise bakır kullanılmıştır. Bu çalışmada antenin herhangi bir yönde eğilip bükülmesine rağmen şeklini koruması, anten parametrelerinde herhangi bir değişiklik olmaması ve belirlenen çalışma frekansında ışıma yapması amaçlanmıştır. Çalışma frekansı için en çok tercih edilen haberleşme bandı olmasından dolayı 2.4 GHz frekansı seçilmiştir. Anten tasarımı için öncelikle FIT (Sonlu Entegrasyon Tekniği) tabanlı benzetim programı kullanılmıştır. Daha sonra simülasyonda tasarlanan antenler üretilmiştir. Üretilen antenlerin testi mikrodalga laboratuvarında vektör ağ analizörü kullanarak gerçekleştirilmiştir.

Simülasyon sonuçları ve test sonuçları karşılaştırılmış ve anten tasarımlarının performansı kontrol edilmiştir. Simüle edilen ve deneysel olarak ölçülen sonuçların uyumlu olduğu görülmüştür. Bu da esnek antenlerde dielektrik malzeme olarak kullanılan kağıdın medikal, tekstil, IOT (Internet of Things) vb. gibi çeşitli uygulama alanlarında kullanılabilirliğini göstermiştir.

Anahtar Kelimeler : Yama anten, kağıt dielektrik, esnek anten, giyilebilir anten

Sayfa Adedi : 53

Danışman : Prof. Dr. Muharrem KARAASLAN

PAPER DIELECTRIC BASED FLEXIBLE ANTENNAS
(M. Sc. Thesis)

Sevim SÖKMEN

ISKENDERUN TECHNICAL UNIVERSITY
INSTITUTE OF GRADUATE STUDIES

January 2022

ABSTRACT

Thanks to today's developing technology, important developments have been experienced in the fields of wireless communication . Antennas constitute the most important structure of the wireless communication system. The interest in flexible antennas is increasing day by day due to its ability to fit any surface.

In this thesis, it is aimed to design a flexible antenna that can be applied to different surfaces. For this reason, the most suitable antenna structures have been determined. Appropriate materials have been chosen to make the antenna flexible. In order to provide flexibility, paper is used as the dielectric layer and copper is used as the conductor. In this study, it was ensured that the antenna kept its shape despite being bent in any direction, did not change the antenna parameters and operated at the determined operating frequency. Since it is the most preferred communication band for operating frequency, 2.4 GHz communication band was chosen. Firstly, FIT (Finite Integration Technique) based simulation program was used for antenna design. Then, antennas designed in simulation were produced. Produced antennas were tested in the microwave laboratory using a vector network analyzer.

Simulation results and test results were compared and the performance of antenna designs was checked. It has been found that the simulated and experimentally measured results are close to each other. This shows that the paper used as a dielectric material in flexible antennas, is suitable to use applications on medical, textile, IOT etc. fields.

Key Words : Patch antenna, paper dielectric, flexible antenna, wearable antenna

Page Number : 53

Supervisor : Prof. Dr. Muharrem KARAASLAN

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans yaptığım sürece bana danışmanlık yapan, tez çalışmasının konusunun belirlenmesinde ve bu çalışmanın yürütülmesinde bana desteğini esirgemeyen değerli hocam Prof. Dr. Muharrem KARAASLAN' a ve tez çalışmasının tamamlanmasında büyük desteği ve emekleri için değerli hocam Arş. Gör. Fatih Özkan ALKURT' a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Bu tez çalışması süresince maddi manevi desteğini esirgemeyen beni her zaman motive eden sevgili eşim Şakip SÖKMEN' e, tüm hayatım boyunca bana bilgi ve tecrübesiyle yol gösterip destek olan değerli babam Abdullah TÜRKMEN' e, bana her zaman inanan her türlü desteğiyle yanımda olan annem Nur TÜRKMEN' e, evimin neşesi oğluma ve güzel kızıma çok teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	x
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xii
1. GİRİŞ.....	1
2. ANTENLER.....	2
2.1. Antenlerin Genel Yapısı.....	2
2.2. Antenin Işıma Örüntüsü.....	2
2.3. Anten Çeşitleri.....	3
2.4. Temel Anten Eşitlikleri.....	4
2.4.1. Anten yansıma katsayısı.....	4
2.4.2. Işıma güç yoğunluğu.....	5
2.4.3. Işıma şiddeti.....	5
2.4.4. Yönlendiricilik.....	5
2.4.5. Verimlilik.....	5
2.4.6. Anten kazancı.....	6
3. MİKROŞERİT ANTENLER.....	7
3.1. Giriş.....	7
3.2. Mikroşerit Yama Antenin Genel Yapısı.....	7
3.3. Mikroşerit Anten Tasarım Formülleri.....	9
3.4. Mikroşerit Yama Çeşitleri.....	10
3.5. Mikroşerit Antenlerde Besleme Analizi.....	11

	Sayfa
4. ESNEK ANTEN TASARIMI VE ANALİZİ.....	13
4.1. Esnek Antenlere Giriş.....	13
4.2. Dielektrik Yapı Olarak Kağıt Kullanılması.....	13
4.3. 2.4 GHz Esnek Dikdörtgen Mikroşerit Yama Anten.....	14
4.3.1. 2.4 GHz esnek dikdörtgen mikroşerit yama anten tasarımı.....	14
4.3.2. 2.4 GHz esnek dikdörtgen mikroşerit yama anten uygulaması.....	20
4.4. 2.4 GHz Esnek Dairesel Loop (Döngü) Anten.....	25
4.4.1. Loop (döngü) anten tanımı.....	25
4.4.2. 2.4 GHz esnek dairese loop (döngü) anten tasarımı.....	25
4.4.3. 2.4 GHz esnek dairese loop(döngü) anten uygulaması.....	34
4.5. 2.4 GHz Esnek Bowtie Anten Tasarımı.....	38
4.6. 2.4 GHz Esnek Bowtie Anten Uygulaması.....	41
4.7. 2.4 GHz' de Bowtie Anten ile Dairesel Loop Anten Arasındaki İletim Uygulaması.....	45
5. SONUÇ.....	49
KAYNAKLAR.....	51

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 4.1. Tasarlanan mikroşerit dikdörtgen yama antenin yapı özellikleri..... (devam)	15
Çizelge 4.2. Antenin tüm durumlar için rezonans frekansı ve S_{11} değeri.....	19
Çizelge 4.3. Esnek Dairesel Loop antenin yapısal özellikleri.....	26
Çizelge 4.4. Dairesel loop antenin farklı konumlardaki S_{11} ve rezonans frekans değerleri	33
Çizelge 4.5. Dairesel loop antenin tüm konumlar için S_{11} ve frekans test sonuçları...	37
Çizelge 4.6. Esnek Bowtie antenin yapısal özellikleri.....	38
Çizelge 4.7. Bowtie antenin simülasyondaki tüm konumlar için frekans ve S_{11} değerleri.....	41
Çizelge 4.8. Bowtie antenin testinde elde edilen frekans ve S_{11} değerleri.....	45
Çizelge 5.1. Tasarlanan antenlerin düz konumdayken simülasyon ve test sonuçları.	49

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Verici ve alıcı anten.....	2
Şekil 2.2. Anten ışıma örüntüsü.....	3
Şekil 2.3. Antenin thevenin eşdeğer devresi.....	4
Şekil 2.4. Empedans eşleşmesinin şema halinde gösterilmesi.....	4
Şekil 3.1. Mikroşerit yama anten yapısı.....	8
Şekil 3.2. Dikdörtgen mikroşerit yama anten yapısı.....	9
Şekil 3.3. Mikroşerit antenlerde kullanılan yama çeşitleri.....	11
Şekil 3.4. Mikroşerit yama anten besleme şekilleri.....	12
Şekil 4.1. Simülasyonda kullanılan dikdörtgen yama anten tasarımı görüntüsü.....	15
Şekil 4.2. 2.4 GHz frekansta S_{11} grafiği.....	16
Şekil 4.3. 3 boyutlu anten radyasyon görüntüsü.....	17
Şekil 4.4. Antenin a) dikey dış bükey, b) dikey iç bükey, c) yatay dış bükey, d) yatay iç bükey hali.....	18
Şekil 4.5. Antenin tüm yönler için S_{11} sonuç grafiği.....	18
Şekil 4.6. Antenin tüm yönlerde uzak alan ışıma örüntüsünün 2 boyutlu hali.....	19
Şekil 4.7. Anten uygulaması (a) önden (b) arkadan.....	21
Şekil 4.8. Mikroşerit anten düzken yapılan ölçüm.....	22
Şekil 4.9. Anten yatay iç bükeyken yapılan ölçüm.....	22
Şekil 4.10. Anten yatay dış bükeyken yapılan ölçüm.....	23
Şekil 4.11. Anten dikey iç bükeyken yapılan ölçüm.....	23
Şekil 4.12. Anten dikey dış bükeyken yapılan ölçüm.....	24
Şekil 4.13. Ölçümler sonucu oluşan S_{11} grafikleri.....	24
Şekil 4.14. Dairesel Loop(döngü) anten tasarımı.....	26

Şekil	Sayfa
Şekil 4.15. Dairesel Loop Antenin S_{11} geri dönüş kaybı grafiği.....	27
Şekil 4.16. Dairesel Loop antenin uzak alan ışıma örüntüsünün 2 boyutlu gösterimi...	27
Şekil 4.17. Dairesel Loop antenin yatay dış bükey hali.....	28
Şekil 4.18. Dairesel Loop antenin yatay dış bükeyken (a) S_{11} grafiği (b)ışıma örüntüsünün 2D hali.....	29
Şekil 4.19. Dairesel Loop antenin yatay iç bükey hali.....	29
Şekil 4.20. Dairesel Loop antenin yatay iç bükeyken (a) S_{11} grafiği (b) ışıma örüntüsünün 2D hali.....	30
Şekil 4.21. Dairesel Loop antenin dikey iç bükey hali.....	31
Şekil 4.22. Dairesel Loop antenin dikey iç bükeyken (a) S_{11} grafiği (b) ışıma örüntüsünün 2D hali.....	31
Şekil 4.23. Dairesel Loop antenin dikey dış bükey hali.....	32
Şekil 4.24. Dairesel Loop antenin dikey iç bükeyken (a) S_{11} grafiği (b) ışıma örüntüsünün 2D hali.....	32
Şekil 4.25. Dairesel loop antenin önden görüntüsü.....	34
Şekil 4.26. Dairesel loop antenin dikey iç bükey hali.....	35
Şekil 4.27. Dairesel Loop antenin dikey dış bükey hali.....	35
Şekil 4.28. Dairesel loop antenin yatay iç bükey görüntüsü.....	36
Şekil 4.29. Dairesel loop antenin yatay dış bükey görüntüsü.....	36
Şekil 4.30. Dairesel Loop anten tüm yönler için S_{11} grafiği.....	37
Şekil 4.31. Bowtie antenin önden görüntüsü.....	38
Şekil 4.32. Bowtie antenin S_{11} grafiği.....	39
Şekil 4.33. Bowtie antenin dikey iç bükeyken (a) görüntüsü (b) S_{11} grafiği.....	39
Şekil 4.34. Bowtie antenin dikey iç bükeyken (a) görüntüsü (b) S_{11} grafiği.....	40
Şekil 4.35. Bowtie antenin yatay dış bükeyken (a) görüntüsü (b) S_{11} grafiği.....	40
Şekil 4.36. Bowtie antenin yatay dış bükeyken (a) görüntüsü (b) S_{11} grafiği.....	40

Şekil	Sayfa
Şekil 4.37. Bowtie antenin düz halinin test aşaması.....	42
Şekil 4.38. Bowtie antenin yatay iç bükey halinin test aşaması.....	42
Şekil 4.39. Bowtie antenin yatay dış bükey halinin test aşaması.....	43
Şekil 4.40. Bowtie antenin dikey iç bükey halinin test aşaması.....	43
Şekil 4.41. Bowtie antenin dikey dış bükey halinin test aşaması.....	44
Şekil 4.42. Bowtie antenin S_{11} grafiği.....	44
Şekil 4.43. Bowtie anten ile Dairesel loop antenin düz konumdayken iletim testi.....	46
Şekil 4.44. Bowtie anten ile Dairesel Loop antenin dış bükeyken iletiminin testi.....	46
Şekil 4.45. Bowtie anten ile Dairesel Loop antenin iç bükeyken iletimlerinin test aşaması.....	47
Şekil 4.46. Bowtie anten ile Dairesel Loop antenin aralarındaki iletimin farklı konumlar için S_{11} grafiği.....	47

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler

Açıklamalar

Z_{in}	Antenin Giriş Empedansı
Z_0	Karakteristik Empedans
Z_A	Yük Empedansı
Γ	Yansıma Katsayısı
P_{rad}	Işıma Güç Yoğunluğu
E	Elektrik Alan Şiddeti
H	Manyetik Alan Şiddeti
U	Işıma Şiddeti
r	Antene Olan Uzaklık
D	Yönlülük
$D_{max}(D_0)$	Maksimum Anten Yönlendiriciliği
e	Toplam Işıma Verimliliği
e_{ref}	Yansıma Uyumsuzluk Verimliliği
e_c	İletim Verimliliği
e_d	Dielektrik Verimliliği
G	Anten Kazancı
L	Antenin Uzunluğu
W	Antenin Genişliği
t	Yamanın Kalınlığı
h	Yalıtkan Tabakanın Kalınlığı
ϵ_r	Bağlı Dielektrik Sabiti
c	Işık Hızı
f_c	Çalışma Frekansı
ϵ_e	Etkin Dielektrik Sabiti
Δl	Hattın Genişlemesi
ϵ_0	Vakum Dielektrik Sabiti

Simgeler**Açıklamalar** **μ_0**

Geçirgenlik Sabiti

BW

Band Genişliği

Kisaltmalar**Açıklamalar****AM**

Genlik Modülasyonu

EM

Elektromanyetik

RFID

Radyo Frekansı İle Tanımlama

1. GİRİŞ

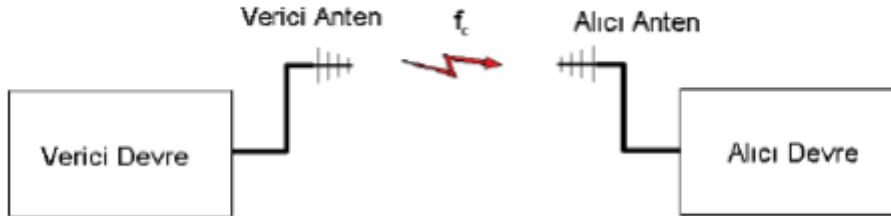
Günümüzde teknolojinin gelişmesiyle birlikte kablosuz haberleşme alanında önemli gelişmeler yaşanmıştır. Bu konuda çok çeşitli çalışmalar ve tasarımlar yapılmıştır. Kablosuz iletişim ve kablosuz veri iletimi için farklı yapıda anten ve sensör tasarım çalışmaları mevcuttur. İnsanların günlük hayatını kolaylaştırmaya ve her türlü ihtiyacını karşılamaya yönelik çeşitli alanlarda birçok çalışma vardır. Haberleşme, sağlık, tekstil, eğitim ve bunun gibi birçok alanda anten ve sensör tasarım çalışmaları yapılmaktadır. Monopol, dipol, horn, çanak, mikroşerit vb. birçok anten çeşidi mevcuttur. Esnek antenler birçok alanda insanların günlük yaşantılarını kolaylaştırabilir. Gün geçtikçe esnek antenlere duyulan ilgi artmaktadır. Tez çalışmasında değişik yüzeylere uygulanabilen esnek anten tasarımı yapılacaktır. Bunun için en uygun anten yapısı belirlenmiştir. Kullanıma uygun eğilip bükülebilen yapıda olması için uygun malzemeler seçilmiştir. Antenin tasarımı ilk önce bilgisayar ortamında hazırlanmıştır. Daha sonra simülasyonda belirlenen ölçülerde anten tasarımı yapılmıştır. Sonrasında anten laboratuvar ortamında test edilmiştir. Simülasyon ve test sonuçları karşılaştırılmış ve anten tasarımının performansı kontrol edilmiştir.

Teknolojinin gelişmesiyle birlikte üretilen cihazların boyutları küçülmektedir. Bu sebeple cihazlara entegre edilen malzemelerin de daha küçük boyutlarda ve daha hafif olması istenilmektedir. Bu sebeple olmalı ki gün geçtikçe üretilen antenlerin boyutları küçülmekte ve daha yüksek frekanslarda çalışması istenilmektedir. Değişik yüzeylere uygulanabilecek esnek yapıdaki antenlere de duyulan ilgi her geçen gün artmaktadır. Bu tezdeki çalışmada her türlü yüzeye uygulanabilir şekilde esnek yapıda anten tasarlanması amaçlanmıştır. Antenin esnek yapıda olması için uygun malzemeler belirlenmiştir. Bu çalışmada antenin herhangi bir yönde eğilip bükülmesine rağmen şeklini koruması, anten parametrelerinde herhangi bir değişiklik olmaması ve belirlenen çalışma frekansında çalışması amaçlanmıştır.

2. ANTENLER

2.1. Antenlerin Genel Yapısı

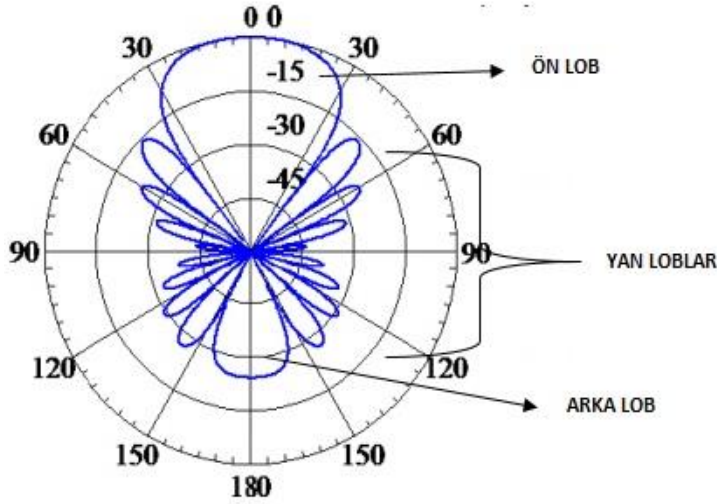
Kablosuz haberleşme sisteminin en önemli parçasını antenler oluşturur. Kablosuz haberleşmede antenler havada bulunan elektromanyetik dalgaları alarak elektriksel işarete dönüştürebilir veya elektriksel işaretleri elektromanyetik dalgalara dönüştürerek havaya yayabilir. Elektromanyetik dalgalar üzerine modülasyon yapılmış sinyaller eklenerek bir ortama yayılım yapar, bu yayılan elektromanyetik dalgalar da alıcı antenler ile alınarak haberleşme sağlanmış olur. Yani kısaca tanımlayacak olursak antenler elektromanyetik dalga - elektriksel işaretler arasındaki dönüşümü yapan cihazlardır. Antenler alıcı anten, verici anten ve alıcı-verici anten olabilir. Alıcı antenler boşluktaki elektromanyetik dalgaları alır ve bunları elektriksel işaretlere çevirir. Verici antenler ise bunun tersini yaparak elektriksel işaretleri elektromanyetik dalgalara dönüştürerek boşluğa verir. Hem alıcı hem de verici olabilen antenlere ise alıcı-verici anten denilmektedir. Şekil 2.1’ de verici ve alıcı anten şeması gösterilmiştir.



Şekil 2.1. Verici ve alıcı anten

2.2. Antenin Işıma Örüntüsü

Antenin ışınma örüntüsü bir antenin yaydığı gücün (elektromanyetik alan şiddetinin) uzak alan bölgesinde oluşturmuş olduğu ve sabit bir uzaklıktaki açısal değişimini gösteren grafik veya matematiksel bir ifadedir. Genellikle ışınma örüntüsü uzak alan bölgesinde belirlenir ve yön koordinatlarının bir fonksiyonu olarak ifade edilir (Balanis, 1997).



Şekil 1.2. Anten ışınma örüntüsü (Iliya, Adediran, Rahman, Abdulrahman, Uledi, ve Elijah, 2013)

Antenlerin ışınma örüntüsü sayesinde antenin hangi yönde ışınma yaptığı bulunabilir. Şekil 2.2' de antenin ışınma örüntüsüne bir örnek gösterilmiştir. Işınma örüntüsü ana lob, yan loblar ve arka lobdan oluşur. Her değişik anten tasarımı için farklı yapıda ışınma örüntüleri oluşur. Işınma örüntüsünün şekli antenin yapısına göre değişiklik gösterir. Bir ışınma örüntüsü antenin hangi yönde ve ne kadar iyi ışınma yaptığını gösterir. Ana lob ışınmanın hangi yönde olduğunu gösterir.

2.3. Anten Çeşitleri

Kablosuz haberleşmenin önemli bir yapısını oluşturan antenler birçok farklı türde olabilir. Bu anten türlerinin en bilinenlerden bazıları aşağıdaki gibidir.

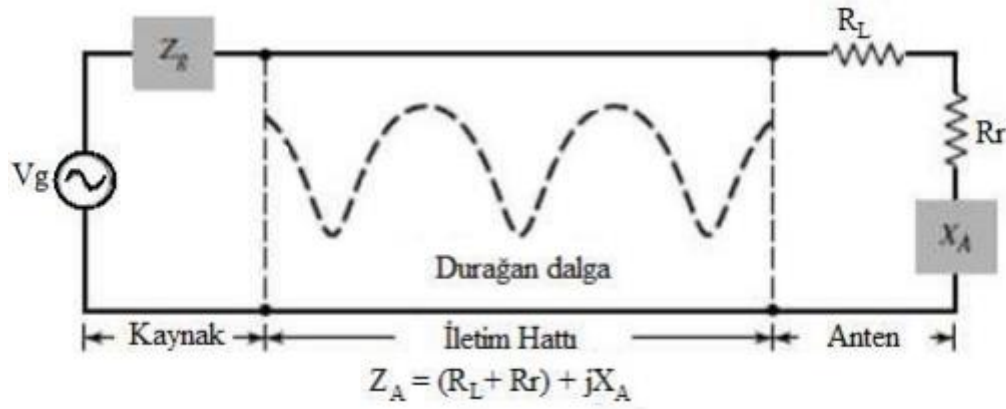
- Tel antenler (monopul antenler ,dipol antenler, halka antenler vb.)
- Açıklık antenler (horn antenler vb.)
- Reflektör antenler (çanak antenler vb.)
- Dizi antenler
- Entegre antenler
- Mercek antenler
- Mikroşerit antenler

Antenlerin bu kadar farklı yapılarda üretiliyor olmasının birçok sebebi vardır. Bunlar; farklı koşullarda kullanılmasının amaçlanması, farklı boyutlarda üretilmesi, farklı frekans değerlerinde çalışması ve bunlar gibi diğer koşulların istenilmesinden dolayıdır.

2.4. Temel Anten Eşitlikleri

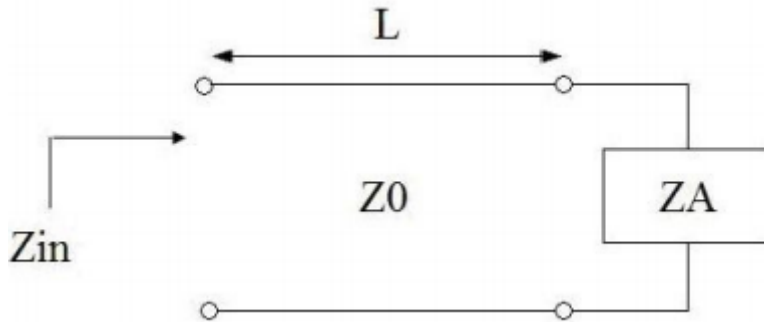
2.4.1. Anten yansıma katsayısı

Verici durumundaki antenin, Thevenin eşdeğer devresi Şekil 2.3’ de gösterildiği gibidir.



Şekil 2.3. Antenin thevenin eşdeğer devresi (Balanis, 2005)

Anten devresinin iletim hattına dönüştürülmesinde empedans uygunlaştırma yöntemi kullanılır. Şekil 2.3’ deki devrenin empedans eşleşmesinin şema halinde gösterimi Şekil 2.4’ de gösterildiği gibidir.



Şekil 2.4. Empedans eşleşmesinin şema halinde gösterilmesi

Z_{in} giriş empedansı, Z_0 iletim hattının karakteristik empedansı, Z_A yük empedansı olduğuna göre antenin yansıma katsayısı Eş 2.1’ de gösterildiği gibidir.

$$\Gamma = \frac{Z_A - Z_0}{Z_A + Z_0} \quad (2.1)$$

2.4.2. Işıma güç yoğunluğu

Antenin ışıma güç yoğunluğu; bir antenin yayınladığı elektrik alanın şiddeti \vec{E} , manyetik alan şiddeti \vec{H} olmak üzere Eş. 2.1' de verilen formülle bulunur.

$$P_{rad} = \frac{1}{2} \int Re (E \times H^*). ds \quad (2.2)$$

2.4.3. Işıma şiddeti

Işıma şiddeti, ışıma güç yoğunluğunun ölçüldüğü konumla anten arasındaki mesafenin karesi ile çarpılmasıyla bulunur. Denklem Eş. 2.3 de gösterilmiştir.

$$U = \frac{r^2}{2} \oint_s^\infty (E \times H^*). ds \quad (2.3)$$

2.4.4. Yönlendiricilik

Bir antenin maksimum ışıma yaptığı yöndeki güç yoğunluğunun aynı güçteki bir izotropik antenin aynı uzaklıkta oluşturduğu güç yoğunluğuna oranıdır (Balanis, 1997).

$$D_{max} = D_0 = \frac{4\pi \times U}{P_{rad}} \quad (2.4)$$

2.4.5. Verimlilik

Bir antenin çıkışındaki ışıma gücüyle antenin girişine uygulanan elektriksel gücün oranına denir. Antenler yayılım yaparken bir takım ışıma kayıpları meydana gelir. Bunlar da antenin verimliliğini etkilemektedir. Kayıplar ne kadar çok olursa anten verimliliği de o kadar az olur. Verimliliği hesaplarken bu kayıplar da göz önünde bulundurulur ve antenin toplam verimliliği antenin iletken, yansıma ve dielektrik verimliliklerinin çarpımı ile bulunur.

$$e = e_{ref} \cdot e_c \cdot e_d \quad (2.5)$$

Yukarıdaki denklemdeki e_{ref} Eş 2.6'daki gibi bulunur.

$$e_{ref} = (1 - |\Gamma|^2) \quad (2.6)$$

e_{ref} :Antenin yansıma verimliliği

e_c :İletim verimliliği

e_d :Dielektrik verimliliği

2.4.6. Anten kazancı

Antenin çalışma koşullarını etkileyen en önemi unsurlardan biri anten kazancıdır. Anten kazancı ne kadar artarsa elektromanyetik dalganın yayıldığı mesafe de bununla doğru orantılı olarak artar. Anten kazancı için kullanılan denklem Eş.2.7' de verilmiştir.

$$G = e \times D \quad (2.7)$$

G: Anten kazancı

e: Verimlilik

D: Yönlülük

3. MİKROŞERİT ANTENLER

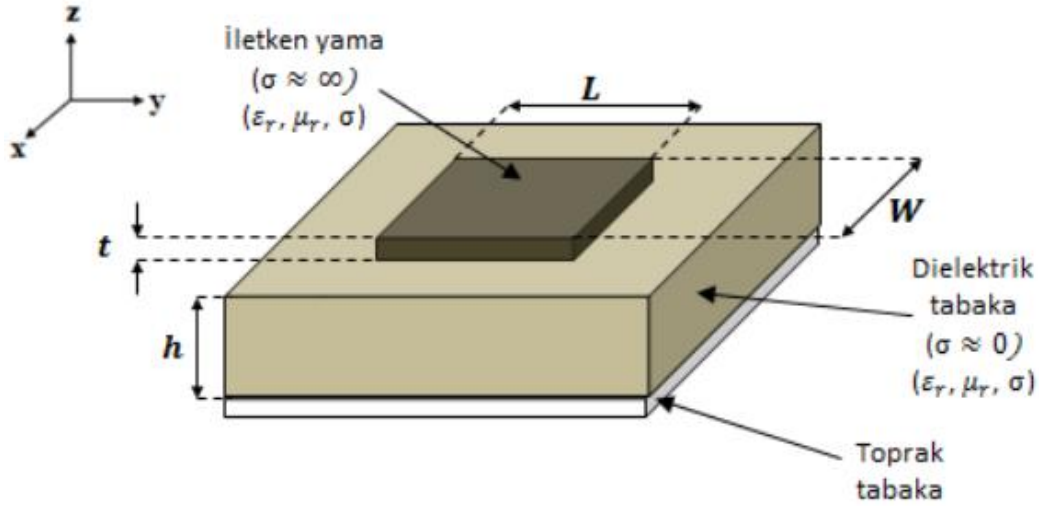
3.1. Giriş

Günümüzde sıkça kullanılan mikroşerit anten kavramı ilk kez 1953 yılında Deschamps tarafından ortaya atılmıştır (Deschamps ve Sichak, 1953). Ancak mikroşerit antenlerin patenti 1955 yılında Fransa'da Gutton ve Baissinot adına alınmıştır (Gutton ve Baissinot, 1955). 1970'li yıllarda ise teknolojinin de ilerlemesiyle birlikte mikroşerit anten tasarımında büyük bir gelişme yaşanmıştır. İlk olarak 1972 yılında kullanılabilir mikroşerit anten tasarımı Howell tarafından tanıtılmıştır (Howel, 1972). 1974 yılında ise Munson, füze ve roketlere monte edilmek üzere düşük profilli mikroşerit anten tasarlamıştır (Munson, 1974). Mikroşerit antenler yüksek performansları, düşük maliyetleri, hafiflikleri, istenilen yüzeye rahatlıkla entegre edilebilmeleri, küçük boyutlarda üretilebilmeleri, geniş uygulama alanına sahip olmaları ve gelişmeye elverişli olmalarından dolayı günümüzde en çok tercih edilen anten çeşitlerinin başında gelmektedir. Mikroşerit antenlerin bu avantajlarının yanında dezavantajları da vardır. Bunlar; dar bantlı ışıma yapıyor olması, düşük verimlilik ve düşük güçlü yapıda olmasıdır. Ancak günümüzde bu dezavantajları ortadan kaldıracak veya en aza indirecek çalışmalar geliştirilmektedir.

Bu dezavantajlarına rağmen mikroşerit antenler basit geometrik yapıları, düşük maliyetleri, hafiflikleri ve bunun gibi birçok avantajı sayesinde en çok tercih edilen antenlerin başında gelir. Mikroşerit antenler her türlü yüzeye kolaylıkla uyum sağlayabilir. Bu tez çalışmasında mikroşerit antenin yüzeylere uyumunu daha da fazla arttırmak için anten tasarımı esnek bir yapıda gerçekleştirilmiştir.

3.2. Mikroşerit Yama Antenin Genel Yapısı

Mikroşerit yama anten, en temel biçimiyle iki paralel iletkenin ince bir dielektrik profil ile birbirinden ayrılmasıyla oluşur. Üst yüzeyde ışıma amaçlı, alt yüzeyinde topraklama amaçlı paralel iletken malzemeler kullanılır. Bakır veya altın gibi iletkenlik özelliği taşıyan malzemelerin, çeşitli şekilleri baz alınarak farklı özelliklerde ışık antenler elde edilebilir. (Özdemir, 2009)



Şekil 3.1 Mikroşerit yama anten yapısı (Çodur, 2019)

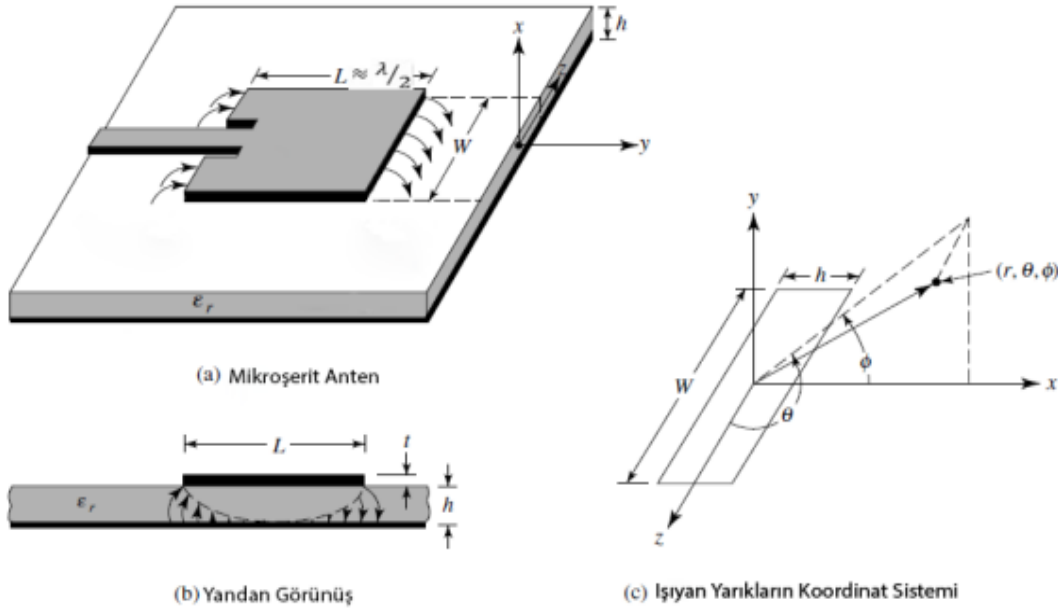
Mikroşerit dikdörtgen yama anten yapısı, Şekil 3.1’ de gösterildiği gibi toprak tabaka, dielektrik tabaka ve ışıma yapan iletken yama tabakadan oluşur. Yamanın bulunduğu ışıma katmanı düşük kayıplı bir metal (bakır, altın, gümüş vb.) malzemeden seçilir. Mikroşerit antenlerde yamanın uzunluğu (L), yamanın genişliği (W), yamanın kalınlığı (t), dielektrik tabakanın kalınlığı (h), bağıl dielektrik sabiti (ϵ_r) ve toprak tabakanın kalınlığı çalışma performansını etkileyen faktörlerdendir. En alttaki toprak tabaka ise mikroşerit antenin tek yönlü ışıma yapmasını sağlayan iletken bir malzemedir.

İşımanın gerçekleştiği yama “ $0 < t < 0,1 \text{ mm}$ ” aralığında değerler alırken, toprak düzlemi bakır, alüminyum gibi malzemelerden, yalıtkan tabaka ise seramik, teflon, hava, epoksi tekstil gibi farklı dielektrik sabiti ve tanjant kayıplarına sahip malzemelerden seçilebilir. Yalıtkan malzeme kalınlığı (h) “ $0.003\lambda \leq h \leq 0.05\lambda$ ” aralığında, bağıl dielektrik sabit $2.2 \leq \epsilon_r \leq 12$ aralığında seçilebilmektedir (Balanis, 2005).

Dielektrik malzemenin çeşidi; anten performansı, band genişliği, geri dönüş kaybı ve kazanç gibi birçok parametre için önemlidir. Yalıtkan malzemenin dielektrik değerinin küçük olması ve yüksekliğinin fazla olması, antende ideal ışımanın sağlanmasıyla beraber band genişliğini de arttırmaktadır. Malzeme kalınlığının artması ile yüzey dalgalarının meydana gelmesi anten veriminde azalmaya ve ışıma deseninde bozulmaya sebep olabilir (Pozar ve Schaubert, 1995).

3.3. Mikroşerit Anten Tasarım Formülleri

Mikroşerit antenlerde anten tasarımı yapmadan çalışılacak frekansı ve kullanılacak yalıtkan malzemenin dielektrik katsayıları belirlenmelidir. Şekil 3.2’ de dikdörtgen bir mikroşerit yama antenin görüntüsü verilmiştir (Keskin, Döken ve Kartal, 2017).



Şekil 3.2. Dikdörtgen mikroşerit yama anten yapısı (Keskin, Döken, ve Kartal, 2017)

Şekil 3.2 ‘de verildiği gibi W yamanın genişliği, L yamanın uzunluğu, h yalıtkan malzemenin kalınlığı, ϵ_r ise yalıtkan malzemenin bağıl dielektrik katsayısını belirtmektedir. Bunlardan yola çıkarak bazı eşitlikler elde edilir. Bunlar;

- Yamanın genişliği;

$$W = \frac{c}{2f_c} \left(\frac{\epsilon_r + 1}{2} \right)^{-\frac{1}{2}} \quad (3.1)$$

Eş.3.1 de verilen c ışık hızını f_c çalışma frekansını , ϵ_r bağıl dielektrik sabitini temsil etmektedir.

- Yamanın uzunluğu;

$$L = \frac{c}{2f_c\sqrt{\epsilon_e}} - 2\Delta l \quad (3.2)$$

Eş. 3.2’de verilen ϵ_e etkin dielektrik sabitini, Δl hat genişlemesini temsil etmektedir.

- Etkin dielektrik sabiti;

$$\epsilon_e = \frac{\epsilon_r+1}{2} + \frac{\epsilon_r-1}{2} \left[1 + \frac{12t}{W} \right] \quad (3.3)$$

- Uzunluğa bağlı frekans;

$$f_c = \frac{1}{2\sqrt{\epsilon_0\epsilon_r\mu_0}} \quad (3.4)$$

Eş.3.4 te verilen ; μ_0 geçirgenlik sabiti, ϵ_0 vakum yalıtkanlık sabitini ifade etmektedir. Bunlarda Eş.3.5 ve Eş.3.6’ da verilmiştir.

$$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ H/m} \quad (3.5)$$

$$\epsilon_0 = 8,85418 \times 10^{-12} \text{ F/m} \quad (3.6)$$

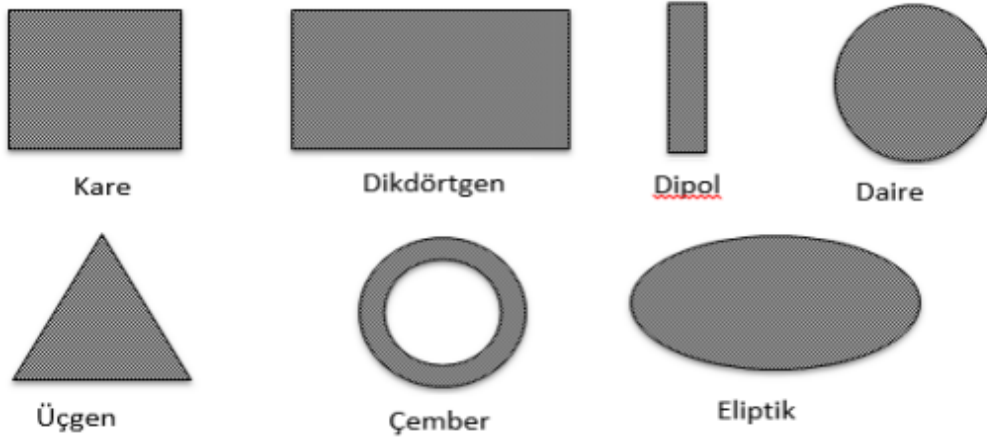
- Band genişliği;

$$BW = \frac{\epsilon_r-1}{\epsilon_r^2} \frac{W}{L} h \quad (3.7)$$

3.4. Mikroşerit Yama Çeşitleri

Mikroşerit antenlerde kullanılan yama; kare, dikdörtgen, dipol, daire, üçgen, çember, eliptik ya da bunlardan başka bir şekilde olabilir. Kare, dikdörtgen ve daire yama yapısı geometrik yapılarının, üretiminin ve analizinin kolay olmasından dolayı daha çok tercih edilmektedir. Bu yapılarda yapılan çentik ve yarık benzeri değişiklikler sayesinde band genişliği, çalışma

frekansı ve kazancı farklı antenler tasarlanabilir. Mikroşerit yama antenler için kullanılan yama şekillerinin bazıları aşağıdaki gibidir.



Şekil 3.3. Mikroşerit antenlerde kullanılan yama çeşitleri (Çetme, 2009)

3.5. Mikroşerit Antenlerde Besleme Analizi

Mikroşerit yama antenleri beslemek için birçok farklı yöntem geliştirilmiştir. Uygulanan besleme tekniği antenin çalışma performansını iyileştirmede önemli bir yere sahiptir. Besleme teknikleri, doğrudan (temaslı) besleme ve temassız besleme olarak iki ana başlık altında incelenebilir (Balanis, 1997).

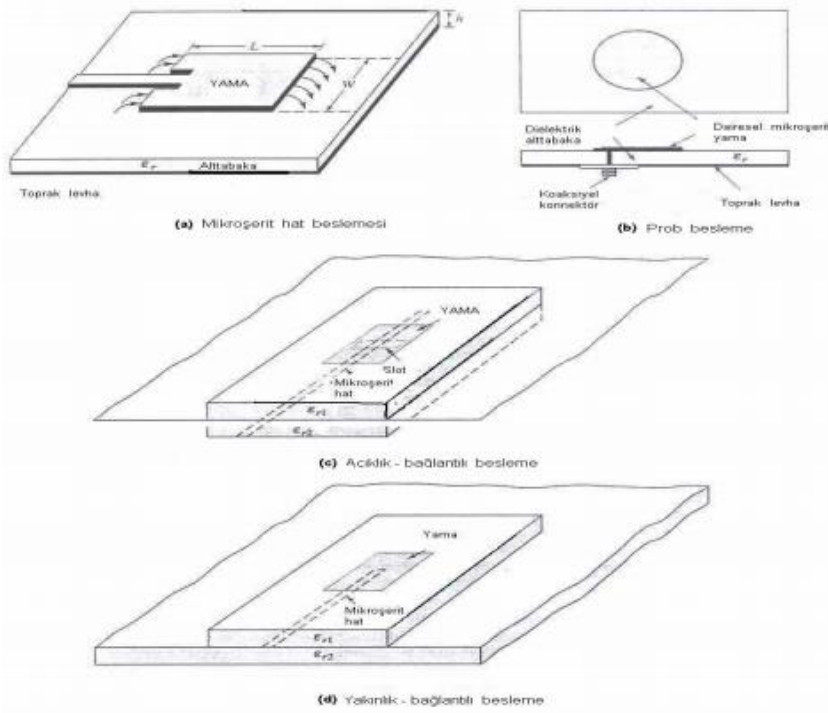
Doğrudan (Temaslı) Besleme Teknikleri

- 1 Mikroşerit Hat Besleme
- 2 Koaksiyel Besleme
- 3 Eş Düzlemsel Dalga Kılavuzu Besleme

Temassız Besleme Teknikleri

- 1 Açıklık Kuplajlı Besleme
- 2 Yakınlık Kuplajlı Besleme (Balanis, 1997)

Şekil 3.4’de mikroşerit yama antenlerin genel besleme teknikleri verilmiştir.



Şekil 3.4. mikroşerit yama anten besleme şekilleri (Balanis, 1997)

Mikroşerit antenlerde besleme yöntemleri içerisinde iletim hat, kavite ve tam dalga yöntemleri daha sık tercih edilir. Bunun sebebi ise bu yöntemlerin çözümleme koşullarının daha kolay olmasıdır.

4. ESNEK ANTEN TASARIMI VE ANALİZİ

4.1. Esnek Antenlere Giriş

Her geçen gün kablosuz haberleşme, sensör teknolojileri ve giyilebilir elektronik cihazlara duyulan ihtiyaç artmaktadır. Giyilebilir elektronik cihazlar, insan derisi ve kıyafetleri üzerinde çeşitli elektronik işlevleri yerine getirmek için kullanılır. Yüksek performanslarını korurken mekanik yumuşaklığı sürdürmeleri kritik önem taşır. Bu nedenle, giyilebilir elektronikler için olağanüstü yumuşaklığa ve yüksek elektriksel ve iyonik iletkenliğe sahip yeni malzemeler geliştirmeye ihtiyaç vardır (Lim, Shin, Jung, Kim, Lee, ve Kim, 2019). Bu sebeple daha hafif ve her yöne doğru eğilip bükülebilen esnek anten tasarımları her geçen gün gelişimini sürdürmektedir. Esnek anten sensörleri, kablosuz iletişim teknolojisinin gelişimini sağlamakta ve artırmaktadır. Esnek antenler özellikle giyilebilir uygulamalarda ve insan vücuduyla ilgili alanlarda gelecekteki iletişim sistemlerinin performansının minyatürleştirilmesine ve iyileştirilmesine katkıda bulunmak için umut verici cihazlardır (Wang, Hou, ve Wang, 2020).

Bilinen ilk esnek anten uygulamasını 1995 yılında Gagnarde ve arkadaşları gerçekleştirmiştir. (Gagnarde, Gagnarde, ve Fenelon, 1995). Esnek antenlerin; giyilebilir cihazlar, IOT, kişiselleştirilmiş tıp platformu, 5G teknolojisi, kablosuz sensör ağları ve daha küçük formulu iletişim cihazlarına olan talep nedeniyle bu konunun katlanarak büyümesine tanık olunmaktadır (Kirtania, Elger, Hasan, Wisniewska, Sekhar, Karacolak, ve Sekhar, 2020). Literatürde biyo-entegre elektronikleri için kullanıldığı görülmüştür (Xie, Avila, Huang, ve Rogers, 2019). Ayrıca literatürde esnek antenlerin 5G uygulamaları için 0,125 mm kalınlığında Polietilen tereftalat (PET) tabaka üzerine modifiye bir mikroşerit yama anteni olarak uygulandığı görülmüştür (Tighezza, Rahim, ve Islam, 2018). Bunlarla birlikte tekstil ürünlerinden yapılan yama anten yapıları da mevcuttur. Bunlar hem esnek hem de hava geçiren karakteristikte antenlerdir (Shahariar H., Soewardiman, ve Jur, 2017).

4.2. Dielektrik Yapı Olarak Kağıt Kullanılması

Tasarlanan antenin yapısının esnek olması için istenildiği gibi eğilip bükülebilen buna rağmen kırılmayan veya tahrip olmayan bir malzeme seçilmesi gereklidir. Esnek antenler

için alt tabakalarında düşük kayıplı dielektrik malzeme gereklidir ve verimli bir elektromanyetik radyasyon alımı-iletimi için iletkenler kullanılır. Giyilebilir ve esnek antenler için piyasaya sürülen son esnek alt tabakalar aşağıdakileri içerir; Kapton, PET, kağıt, likit kristal polimer, farklı kumaşlar ve benzersiz fiziksel, elektriksel ve mekanik özelliklerinden dolayı kağıt (Kirtania, ve diğerleri, 2020).

Esnek antenlerin üretiminde genellikle üç tip alt tabaka ortaya çıkmıştır: ince cam, metal folyolar ve plastik veya polimer tabakalar (Park, Park, Yang, ve Kam, 2019). Literatürde düşük dielektrik kaybı, daha düşük nem emilimi, yüksek frekanslı antenler için daha uygun oluşu, kimyasallara dayanıklılığı ve 300 °C sıcaklığa kadar dayanıklı olduğundan dolayı sıvı kristal polimer (LCP) 'in kullanıldığı esnek antenler mevcuttur (DeJean, Bairavasubramanian, Thompson, Ponchak, Tentzeris, ve Papapolymerou, 2005). Literatürde 3.2-30 GHz de IOT uygulamaları için bir eş düzlemlı dalga kılavuzu (CPW) beslemeli esnek UWB (Ultra Wide Band – Ultra Geniş Band) antende kağıt kullanıldığı görülmüştür (Scarpello, Kazani, Hertleer, Rogier, ve Vande Ginste, 2012). 2.4 GHz endüstriyel, bilimsel ve tıbbi radyo (ISM) bantlarında vücut içi teletıp sistemleri için kağıt alt tabanlı esnek anten tasarımı çalışmasının yapıldığı görülmüştür (Ullah, Islam, Alam, ve Ashraf, 2018).

Yapılan tez çalışmasında literatürde esnek antenler için kullanılan dielektrik katmanlar içerisinde bulunmasının kolay olması, az maliyetli olması ve fiziksel özelliklerinin tasarıma uygun olmasından dolayı kağıt seçilmiştir. Kağıdın bağıl dielektrik katsayısı 2.31'dir. Kağıdın seçilmesinin diğer bir sebebi üzerine eklenecek bakır katmanla birlikte herhangi bir yöne doğru eğilip bükülmesine rağmen yapısında herhangi bir değişiklik olmamasıdır. Ayrıca anten tasarımının test aşamasında bulunmasının kolay olması test işlemlerini kolaylaştırır.

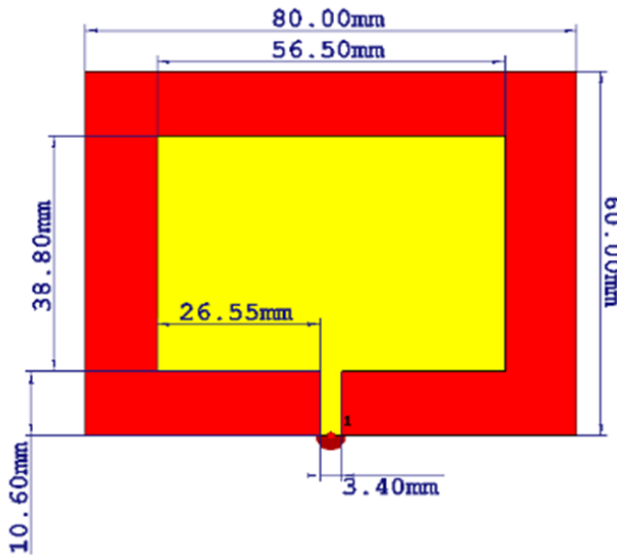
4.3. 2.4 GHz Esnek Dikdörtgen Mikroşerit Yama Anten

4.3.1. 2.4 GHz esnek dikdörtgen mikroşerit yama anten tasarımı

Bu çalışmada kağıt dielektrik bazlı esnek mikroşerit yama anten tasarımı yapılmıştır. Tasarım için, üretiminin ve analizinin kolay olmasından dolayı dikdörtgen yama seçilmiştir. Esneklik sağlamak için ise ara kat olarak kağıt kullanılmıştır. Alt tabaka ve yama bakır seçilmiştir. Bakırın iletkenliği 5.8×10^7 S/m, kalınlığı ise 0.035 mm'dir. Ara katman olarak

esnekliği sağlamak için kağıt seçilmiştir. Kağıdın bağıl dielektrik katsayısı 2.31'dir. Ayrıca kağıt, yapılacak deneysel testler için bulunması kolay bir madde olduğundan üretimi de kolaydır.

Bu çalışmada çalışma, frekansı olarak 2.4 GHz haberleşme bandı seçilmiştir. Bunun sebebi en çok tercih edilen kablosuz haberleşme bandı olmasıdır. Mikroşerit yama anten tasarımı gerçekleştirmek için FIT tabanlı benzetim programı kullanılmıştır. Simülasyonda doğru sonuç almak için çizim üzerinde boyut analizleri yapılarak 2.4 GHz için en uygun boyutlar belirlenmiştir. Bu belirlenen boyutlara ve seçilen katmanların yapısına uygun olarak bir anten tasarlanmıştır. Bu tasarım sonucunda FIT tabanlı benzetim programından elde edilen anten şekli şekil 4.1'de gösterilmiştir.



şekil 4.1 Simülasyonda kullanılan dikdörtgen yama anten tasarımı görüntüsü

Esnek dikdörtgen mikroşerit yama antenin yapısı ve boyutu izelge 4.1 de verilmiştir.

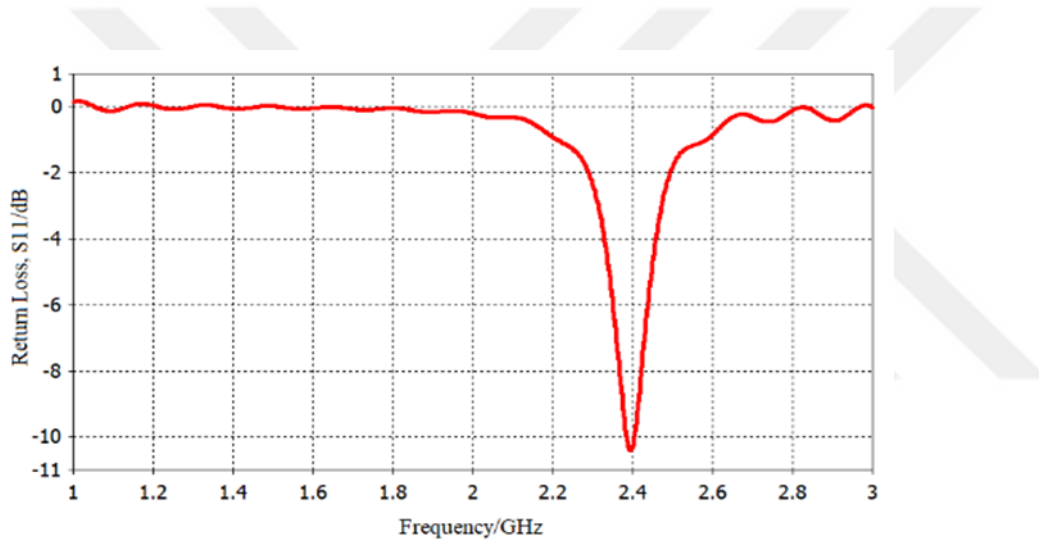
Çizelge 4.1. Tasarlanan mikroşerit dikdörtgen yama antenin yapı zellikleri

Anten yapısı zellikleri	Kullanılan malzeme	Kalınlık(mm)	Uzunluk(mm)	Genişlik(mm)
Alt tabaka	bakır	0,035	80	60

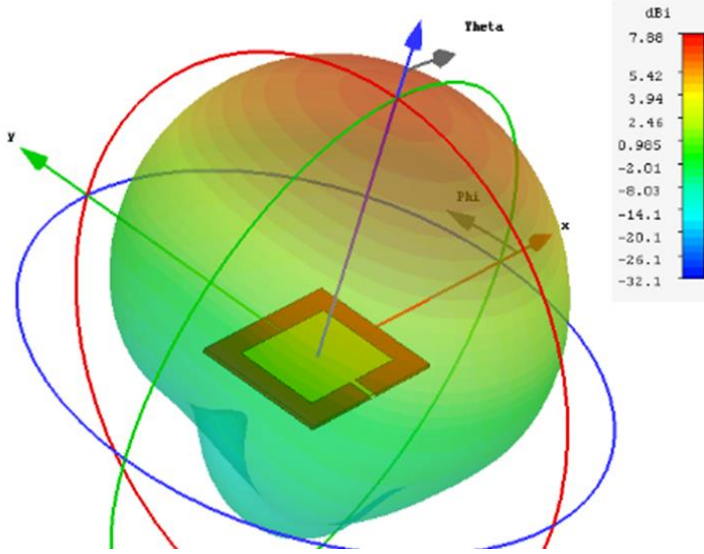
Çizelge 4.1. (Devam) Tasarlanan mikroşerit dikdörtgen yama antenin yapı özellikleri

Orta tabaka	kağıt	1,6	80	60
Yama	bakır	0,035	56,5	38,8
İletim hattı	bakır	0.035	10,6	3,4

Tasarlanan antenin S_{11} geri dönüş kaybının gösterildiği grafik ise Şekil 4.2’ de gösterilen gibidir. Buradaki grafik, antenin S_{11} parametresi yani antenin geri dönüş kaybı grafiğidir, bu grafiğe göre rezonans noktası olan 2.4 GHz’ de antenin doğru sonuç verdiği gösterilmiştir.

Şekil 42.2. 2.4 GHz frekansta S_{11} grafiği

Aşağıda verilen Şekil 4.3’ de 3 boyutlu anten radyasyonunu göstermektedir, buna göre anten beklenildiği gibi ileri yönlü yani yönlenmiş bir şekilde çalışmaktadır.

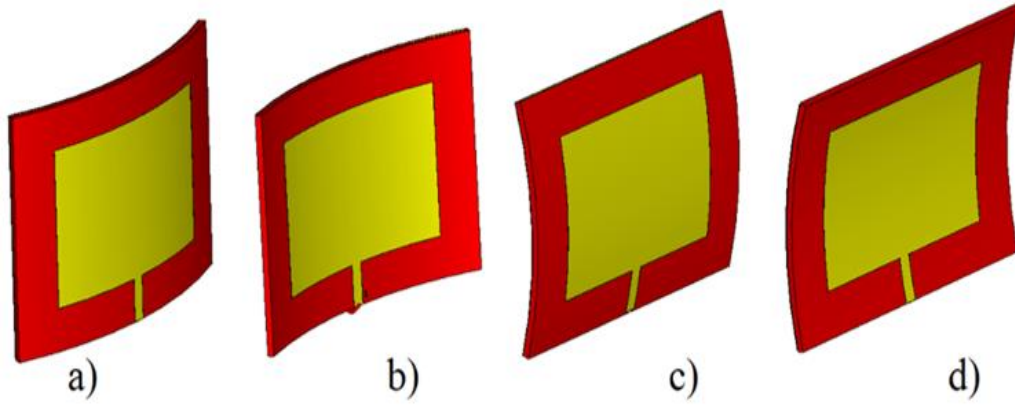


Şekil 4.3. 3 boyutlu anten radyasyon görüntüsü

Şekil 4.2 'deki S_{11} geri dönüş kaybı ve rezonans frekans grafiğinde elde edilen değerler incelendiğinde rezonans frekansının istenildiği gibi çalışma frekansı olan 2.4 GHz de çalıştığı görülmektedir. Buna karşılık gelen S_{11} değerinin ise -10.2 dB olduğu görülmektedir. Bu değerler anten performansının iyi olduğu ve antenin istenildiği gibi çalıştığını göstermektedir. Şekil 4.3 'deki simülasyon sonucunda ise antenin ışınma örüntüsünün 3 boyutlu görüntüsü verilmiştir. Buradaki şekilde ışınmanın ileri doğru yönelmiş olduğu ve belli bir alanda kararlı bir şekilde ışınma yapmakta olduğu görülmektedir. Bu sonuçlara göre önerilen yama antenin iletişim uygulamaları için kullanılabileceğini görülmektedir.

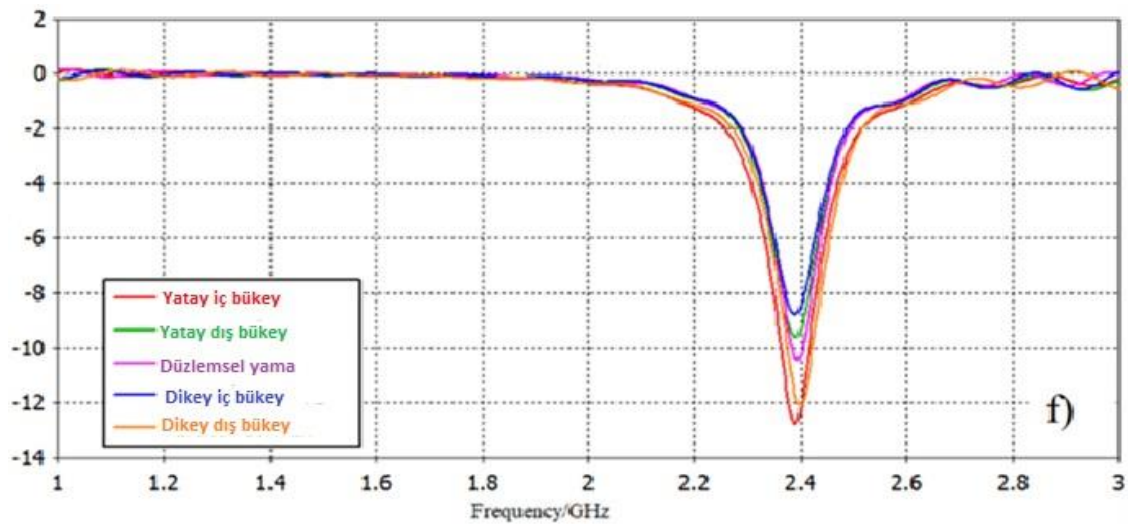
Tasarım kısmında geleneksel bir yama anten tasarımı seçilmiştir. Buradaki amaç geleneksel yama antene esneklik kazandırmak ve esneklik sonucunda da anten parametrelerinde bir bozulma olmamasını sağlamaktır. Tasarlanan mikroşerit anten yapısı önce FIT tabanlı benzetim programında çizilip S_{11} sonucu ve ışınma yönü kontrol edildikten sonra farklı yönlerde bükülüp aynı frekans aralığında ışınma özellikleri incelenmiştir. Anten yatay ve dikey dış bükey - iç bükey bükme işlemleri gibi çeşitli koşullar altında incelenmiştir. Bükme işlemi için FIT tabanlı benzetim programında 100 mm yarıçaplı bir silindir tasarlanmıştır. Bu silindir merkez kabul edilip tasarlanan anten silindiri saracak şekilde belirlenen yönlerde bükülerek farklı yönlerde bükülmüş anten şekilleri elde edilmiştir.

Aşağıda verilen Şekil 4.4' deki grafiklere bakacak olursak a) şekli dikey dış bükey, b) şekli dikey iç bükey, c) şekli yatay dış bükey, d) şekli de yatay iç bükey durumlarını göstermektedir. Tüm bu simülasyonlar FIT tabanlı benzetim programı ile yapılmıştır.



Şekil 4.4. Antenin a) dikey dış bükey, b) dikey iç bükey, c) yatay dış bükey, d) yatay içbükey hali

Şekil 4.5'de verilen grafik ise S_{11} yani geri dönüş kaybı grafiğidir. Bu grafiğe göre tüm yönlerdeki durumlarda anten rezonansı değişmemektedir ve -8.8 dB ile -12.8 dB arasındadır ve bu değerler anten performansının haberleşme için uygun olduğu bir aralıktadır.



Şekil 4.5. Antenin tüm yönler için S_{11} sonuç grafiği

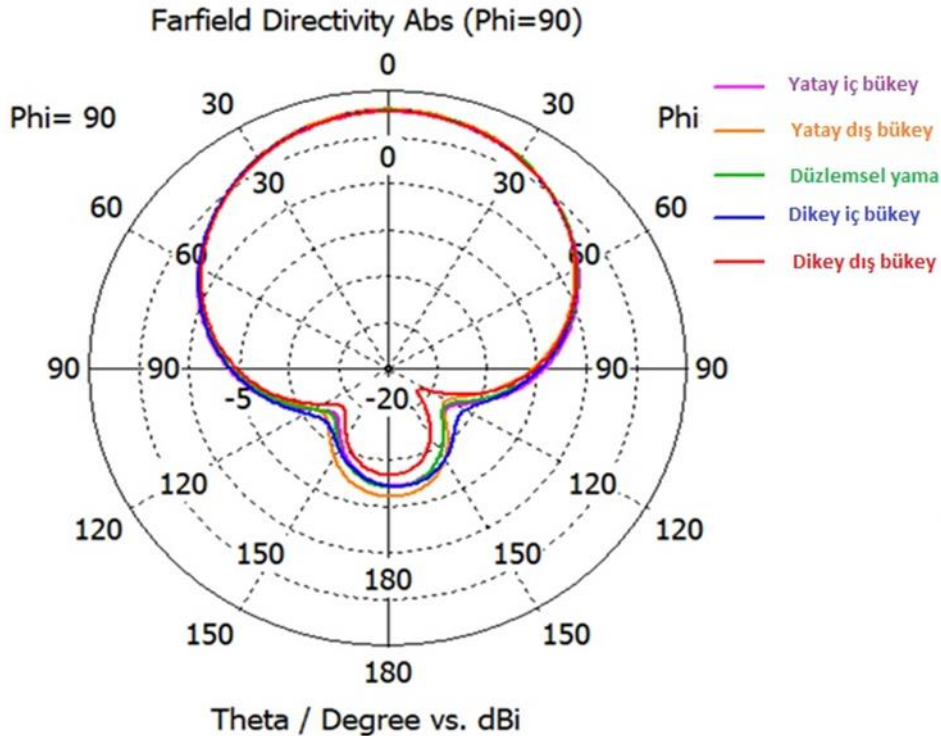
Şekil 4.5' de de görüldüğü üzere antenin simülasyonda herhangi bir yöne doğru büküldüğünde yine 2.4 GHz bandında sonuç vermektedir. Bu da önerilen yapının

simülasyonda yapılan anten uygulamasının istenen sonuçları ortaya koyduğu göstermektedir. Çizelge 4.2 'de antenin farklı yönlerdeki S_{11} ve rezonans frekansı değerleri verilmiştir.

Çizelge 4.2. Antenin tüm durumlar için rezonans frekansı ve S_{11} değeri

Antenin yönü	Rezonans frekansı	S_{11} (geri dönüş kaybı) değeri
Düz konumda	2.4 GHz	-10.2 dB
Dikey dışbükey	2.4 GHz	-12 dB
Dikey içbükey	2.4 GHz	-8.8 dB
Yatay dışbükey	2.4 GHz	-9.4 dB
Yatay içbükey	2.4 GHz	-12.8 dB

Ek olarak tüm eğilme durumlarına göre uzak alan ışınma örüntüleri elde edilmiş ve simülasyon sonucu Şekil 4.6'da gösterildiği gibidir.



Şekil 4.6. Antenin tüm yönlerde uzak alan ışınma örüntüsünün 2 boyutlu hali

Şekil 4.6'da anten radyasyonu iki boyutlu polar yani kutupsal formda gösterilmiştir. Radyasyon modellerinde gösterildiği gibi, bükme işlemlerinde radyasyon yönleri değişmez,

bu da esnek yama antenin yatay ve dikey dış bükey-iç bükey bükülme altında kararlı durumda olmasına neden olur. Buradan anlaşılan şudur ki anten farklı esneklik durumlarında yani farklı bükülme durumlarında da karşı yönlü yani yönelmiş olarak çalışmaktadır ve bu değerler değişmemektedir, böylece anten radyasyonu da değişmemektedir. Bu özellik, önerilen kağıt dielektrik esnek yama antenin esnek anten çalışmaları, özellikle giyilebilir anten uygulamaları için iyi bir aday olmasının yolunu açar.

Tasarlanan esnek antenin simülasyonunun istenildiği gibi çalıştığı herhangi bir yöne doğru büküldüğünde anten parametrelerinde bir değişiklik olmadığı ve 2.4 GHz çalışma frekansında çalıştığı pratikte ispatlanmış olup uygulanabilirliğini göstermek için deneysel bir test yapılmıştır.

4.3.2. 2.4 GHz esnek dikdörtgen mikroşerit yama anten uygulaması

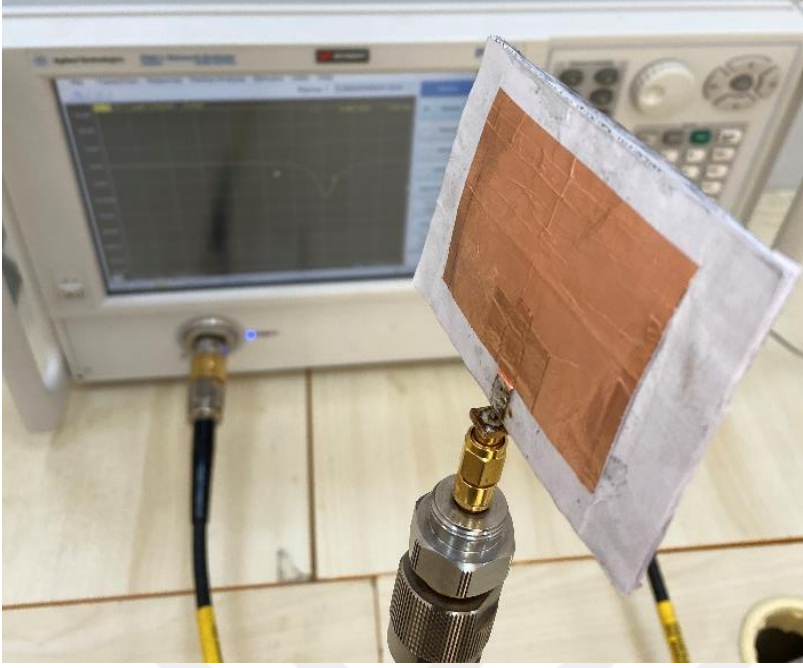
FIT tabanlı benzetim programında 2.4 GHz bandında çalışan esnek bir mikroşerit yama anten yapısı pratikte tasarlanmıştır. Herhangi bir yönde eğilip büküldüğünde yine belirlenen çalışma frekansında geri dönüş sağlanmıştır. Pratikte tasarlanan bu antenin uygulamada da aynı sonuçları verip vermediği test edilmiştir. Deneysel testlerin amacı üretilen esnek antenin iyi bir radyasyon özelliğine sahip olduğunu ve esnek anten uygulamalarında kullanılabileceğini göstermektedir. Yapılan deneyde mikrodalga laboratuvarında vektör ağ analizörü kullanılmıştır. Bu ağ analizörü 43 GHz frekansına kadar çalışmaktadır. Bu test uygulamasını yapmak için öncelikle tasarlanan antenin yapısı oluşturulmuştur. Üretim için A4 kağıt ve iletken bakır bant kullanılmıştır. A4 kağıdını FIT tabanlı benzetim programında belirlenen ölçülerde keserek ve belirlenen kalınlıkta olacak şekilde katmanları üst üste birleştirerek kullanılmıştır. İletken bakır bandı alt tabaka, yama ve iletim hattı için simülasyondaki ölçüler gibi kesilmiştir. Daha sonra kağıtla birleştirerek bir araya getirilmiştir ve böylece anten yapısı oluşturulmuştur. Şekil 4.7’de tasarlanan anten yapısının önden ve arkadan görüntüsü verilmiştir.



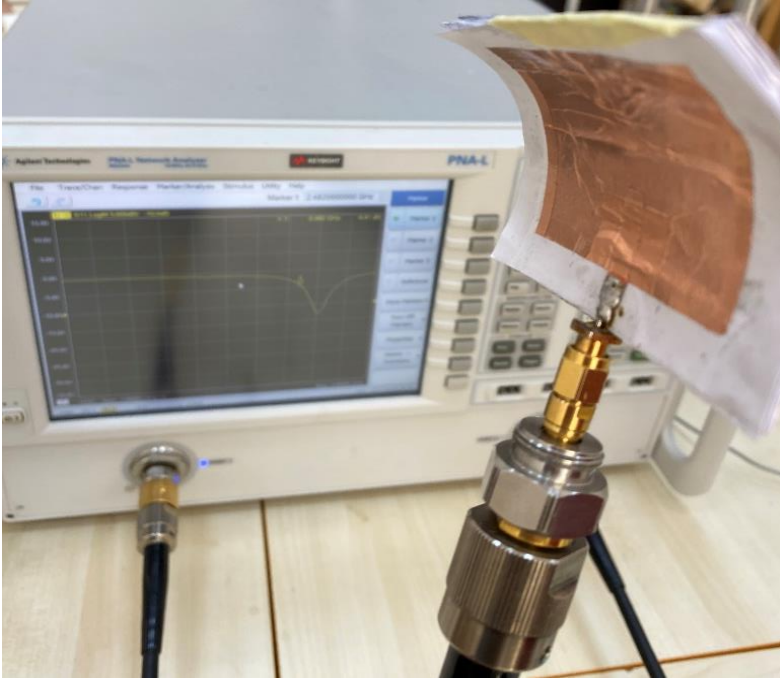
Şekil 4.7. Anten uygulaması (a) önden (b) arkadan

Şekil 4.7' de oluşturulan yama anten yapısına SMA portu lehimlenmiştir, bu port da vektör ağ analizörüne bağlanmıştır, bu işlemler yapılmadan önce vektör ağ analizörünün kalibrasyonu yapılmıştır. Bunun amacı da sonuçta elde edilen görüntüde gürültülerin oluşmasını engellemektir.

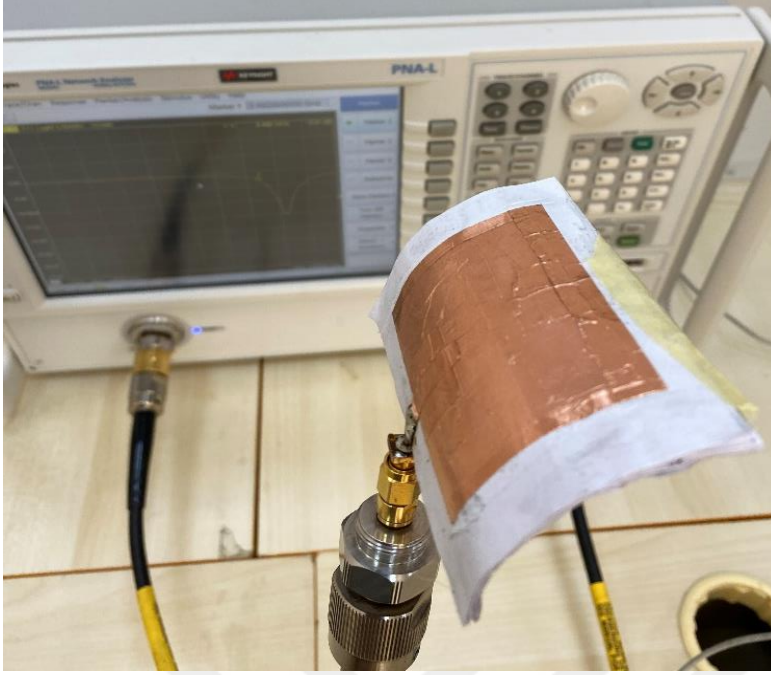
İlk önce antenin şekli değiştirilmeden cihaza bağlanmış, daha sonra FIT tabanlı benzetim programında uygulanan yönlerde sırasıyla yatay iç bükey, yatay dış bükey, dikey iç bükey ve dikey dış bükey yönlerinde bükülerek sonuçlar karşılaştırılmıştır. Bunlara ait şekiller aşağıda; Şekil 4.8, Şekil 4.9, Şekil 4.10, Şekil 4.11 ve Şekil 4.12'de verilmiştir.



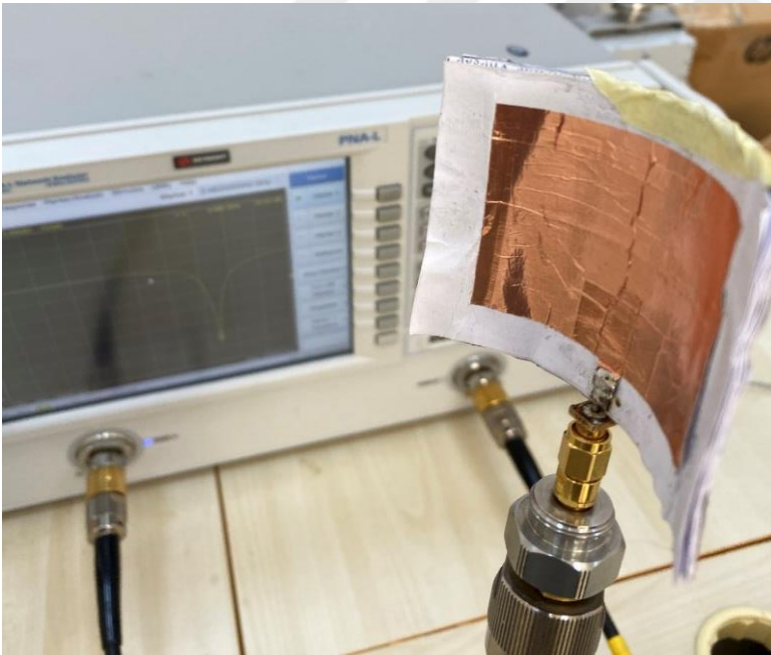
Şekil 4.8. Mikroşerit anten düzken yapılan ölçüm



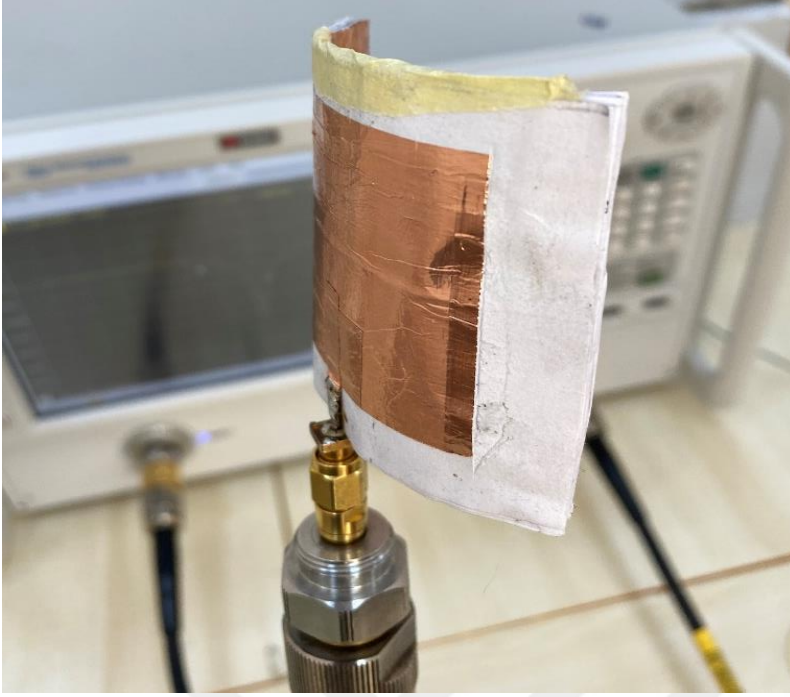
Şekil 4.9. Anten yatay iç bükeyken yapılan ölçüm



Şekil 4.10. Anten yatay dış bükeyken yapılan ölçüm

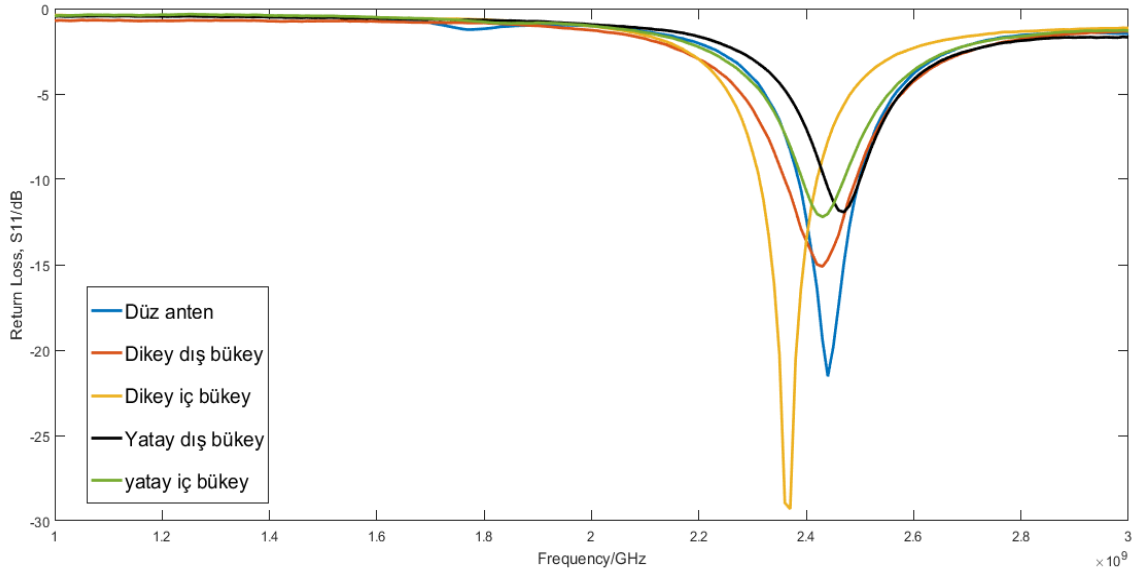


Şekil 4.11. Anten dikey iç bükeyken yapılan ölçüm



Şekil 43.12. Anten dikey dış bükeyken yapılan ölçüm

Yapılan tüm ölçümler karşılaştırılmıştır. Yapılan ölçümlerde çıkan S_{11} (geri dönüş kaybı) sonuçları Şekil 4.13' de gösterildiği gibidir.



Şekil 4.13. Ölçümler sonucu oluşan S_{11} grafikleri

Grafikte görüldüğü gibi S_{11} geri dönüş kaybı değerleri elde edilmiştir, görüldüğü gibi anten 2.4 GHz frekans bandında çalışmaktadır. Sonuçlarda küçük bir rezonans frekans kayması

oluşmuştur bu da deneysel hatalardan kaynaklanıyor olabilir. Örneğin lehimden veya kağıt katmanları arasında hava kalmasından kaynaklanıyor olabilir. Ancak sonuç olarak anten performansı istenilen seviyededir.

Sonuç olarak tasarlanan antenin simülasyon sonuçları ve deneysel olarak ölçülen sonuçları iyi bir uyum içindedir. Bu da kağıt dielektrik bazlı esnek yama antenini, medikal, tekstil, IOT (Internet of Things) vb. uygulamalar gibi çeşitli uygulama alanlarında kullanılabilirliğini göstermektedir.

4.4. 2.4 GHz Esnek Dairesel Loop (Döngü) Anten

4.4.1. Loop (döngü) anten tanımı

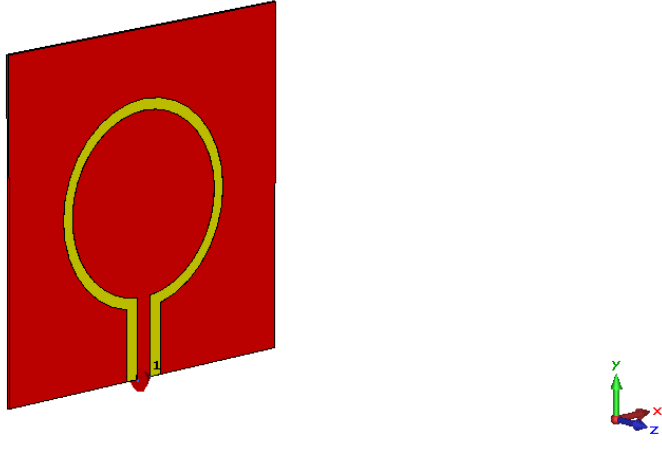
Kağıt dielektrik tabakalı esnek anten tasarımı için belirlenen ikinci tasarım dairesel loop (döngü) antenlerdir. Döngü antenler basit ve ucuz bir anten çeşididir. Genelde bir tarafından iletim hattına bağlanmış dairesel döngülerden oluşurlar. Küçük döngü antenleri dalga boylarından çok daha düşük boyutta olabilir; bu antenler genelde düşük frekanslarda sadece alıcı olarak kullanılır. Döngü antenlerde telin sargısı artırılarak ışıma direnci artırılabilir (Balanis, 2005).

Döngü antenler daha çok RFID (Radyo Frekansı Tanımlama) sistemlerinde kullanılır. Ayrıca bu antenler araba radyoları dışındaki neredeyse tüm AM (Genlik Modülasyon) radyo yayınları içerisinde bulunur ve telsizlerde yön bulmak için kullanılan çeşitleri de vardır. Döngü antenlerde küçük döngüler zayıf bir verimliliğe sahiptir ve çoğunlukla düşük frekanslarda alıcı anten olarak kullanılır.

4.4.2. 2.4 GHz esnek dairesel loop (döngü) anten tasarımı

2.4 GHz çalışma frekansı için belirlenen ikinci anten yapısı dairesel loop (döngü) antendir. Döngü antenleri seçilmesinin başlıca sebebi 2.4 GHz frekans bandı için uygulanabilir olması, ucuz ve basit bir yapıda olmasıdır. Bu tasarım için de dikdörtgen mikroşerit yama anten tasarımında olduğu gibi kağıt ve bakır kullanılmıştır. Alt tabakaya esnekliği sağlamak için kağıt kullanılmıştır. İletimi sağlamak için ise bakır kullanılmıştır.

Dairesel döngü anten tasarımı öncelikle FIT tabanlı benzetim programında 2.4 GHz çalışma frekansında uygun sonuçlar verecek şekilde tasarlanmıştır. Tasarlanan anten yapısı Şekil 4.14’ de gösterildiği gibidir.



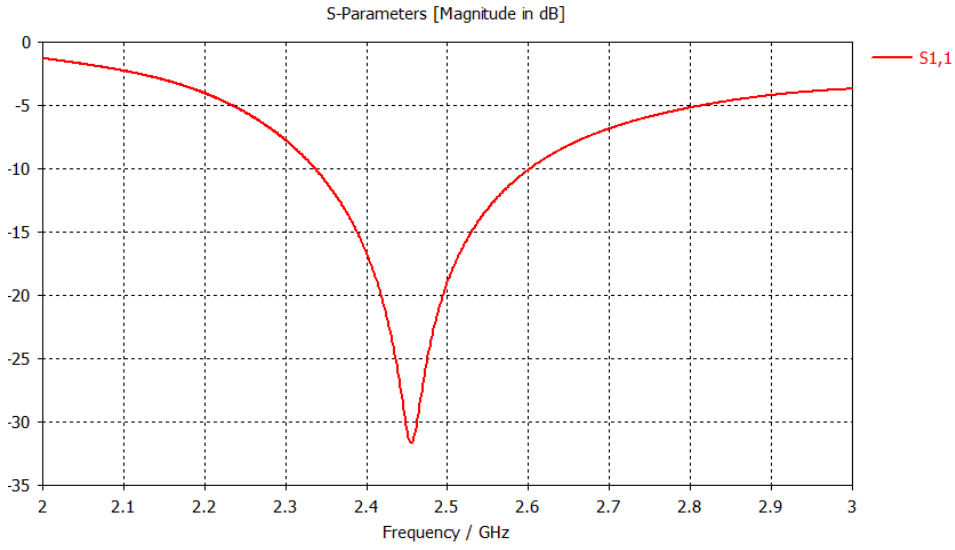
Şekil 4.14. Dairesel Loop (döngü) anten tasarımı

FIT tabanlı benzetim programında tasarlanan esnek dairese loop antenin yapı boyutu Çizelge 4.3’deki tabloda verilmiştir.

Çizelge 4.3. Esnek Dairesel Loop antenin yapısal özellikleri

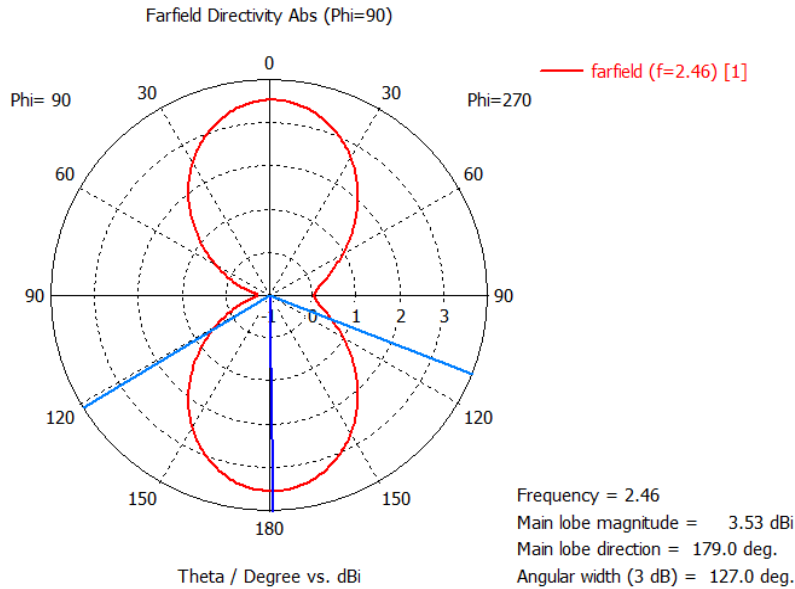
Dielektrik malzeme - Kağıt		İletken malzeme - Bakır	
Uzunluk	60 mm	Dış yarıçap	18 mm
Genişlik	60 mm	İç yarıçap	16 mm
Kalınlık	0,5 mm	İletim hattı uzunluğu	10 mm
		İletim hattı arası boşluk	3 mm

Tasarlanan dairese döngü antenin FIT tabanlı benzetim programındaki sonuçlarına göre S_{11} geri dönüş kaybı grafiği ise Şekil 4.15’ de verilmiştir.



Şekil 4.15. Dairesel Loop Antenin S₁₁ geri dönüş kaybı grafiği

Şekil 4.15' e bakıldığında dairesel döngü antenin çalışma frekansının 2.4 GHz 'e çok yakın olduğu görülüyor. Burada antenin geri dönüş kaybı değeri olan S₁₁ değeri ise -31.9 dB' dir. Bu da tasarlanan anten yapısının belirlenen çalışma frekansı için pratikte uygun olduğunu göstermektedir. Dairesel loop (döngü) antenin uzak alan ışınım örüntüsü de Şekil 4.16'da verilmiştir.

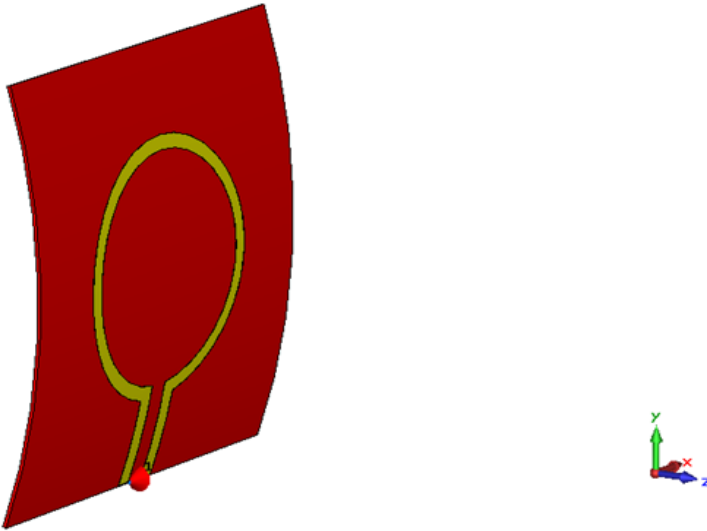


Şekil 4.16. Dairesel Loop antenin uzak alan ışınım örüntüsünün 2 boyutlu gösterimi

Şekil 4.16' da verilen Şekil antenin ışınım örüntüsünün 2 boyutlu halidir. Buradaki şekilde antenin ışınımının hangi yönde olduğu görülmektedir. Farklı yapıdaki anten tasarımları

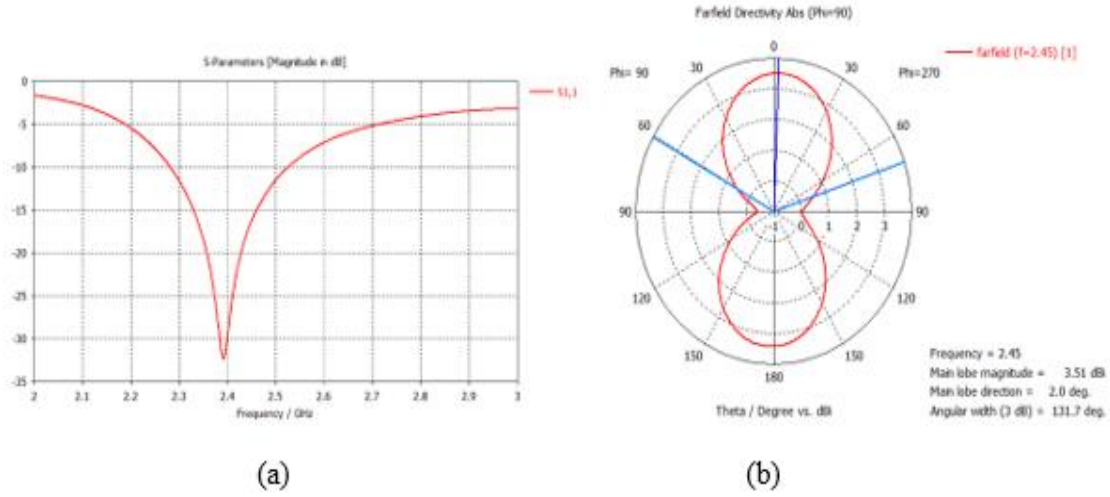
farklı yapıda ışımaya örüntüleri oluşturur. Işıma örüntüsünün şekli antenin yapısına göre değişiklik gösterir. Bir ışımaya örüntüsü antenin hangi yönde ve ne kadar iyi ışımaya yaptığını gösterir. Işıma örüntüsü incelendiğinde tasarlanan antenin 2.46 GHz’ de ileri ve geri yönde ışımaya yaptığı görülmektedir. Ayrıca ışımaya örüntüsünde görüldüğü gibi anten kazancı 3.53 dBi bulunmuştur. Ana lob yönü 179° ’ dir, açılmal genişlik ise 127° ’ dir.

FIT tabanlı benzetim programında tasarlanan anten yapısının esnekliğini göstermek için farklı yönlerde doğru bükme işlemi yapılmıştır. Bu işlem için 100 mm yarıçaplı bir silindir tasarlanmıştır. Daha sonra bu silindir merkez kabul edilip tasarlanan anten belirlenen yönlerde silindire doğru bükülerek farklı yönlerde bükülmüş anten şekilleri elde edilmiştir. Dairesel Loop antenin FIT tabanlı benzetim programı kullanılarak yatay yönde dış bükey olarak bükülmüş hali Şekil 4.17’ de gösterildiği gibidir.



Şekil 4.17. Dairesel Loop antenin yatay dış bükey hali

Dairesel loop antenin yatay yönde dış bükeyken S_{11} geri dönüş kaybı grafiği ve radyasyon ışımaya örüntüsünün 2 boyutlu yani kutupsal gösterimi aşağıda Şekil 4.18’de verilmiştir.



Şekil 4.18. Dairesel Loop antenin yatay dış bükeyken (a) S_{11} grafiği (b) ışına örüntüsünün 2D hali

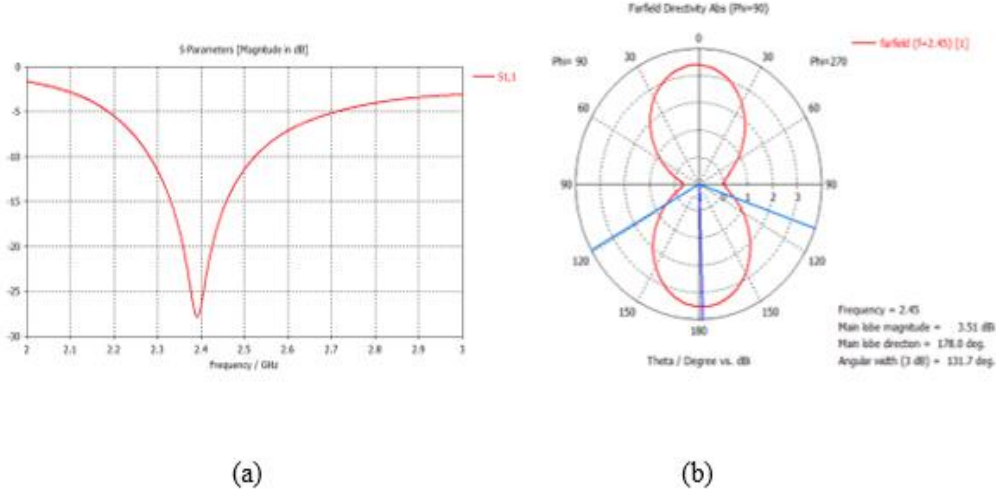
Şekil 4.18 incelendiğinde anten FIT tabanlı benzetim programında yatay yönde dışa doğru büküldüğünde rezonans frekans değeri 2.4 GHz'e çok yakın çıkmaktadır. S_{11} değeri ise -32.3 dB olarak elde edilmiştir. Işıma örüntüsü incelendiğinde yine düz konumda olduğu gibi 2.45 GHz için ileri ve geri yönde yönelmiş olduğu görülmektedir. Işıma örüntüsünden elde edilen sonuçlara göre anten kazancı 2.51 dBi, ana lob yönü 2° , açisal genişlik ise 131.7° dir.

Antenimizin yatay yönde iç bükey halinin FIT tabanlı benzetim programındaki görüntüsü Şekil 4.19 'da gösterildiği gibidir.



Şekil 4.19. Dairesel Loop antenin yatay iç bükey hali

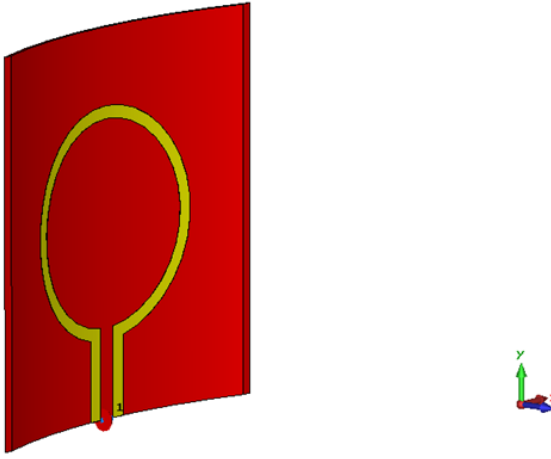
Dairesel Loop antenin FIT tabanlı benzetim programındaki S_{11} geri dönüş kaybı grafiği ve ışınma örüntüsünün 2 boyutlu sonucu Şekil 4.20'deki gibidir.



Şekil 4.20. Dairesel Loop antenin yatay iç bükeyken (a) S_{11} grafiği (b) ışınma örüntüsünün 2D hali

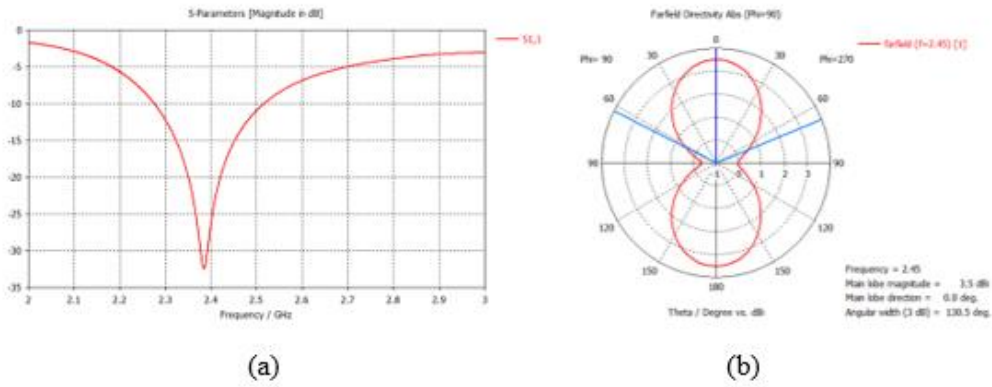
Şekil 4.20' de elde edilen grafik ve şekle göre tasarlanan anten FIT tabanlı benzetim programında yatay yönde içe doğru büküldüğünde rezonans frekans değeri 2.4 GHz'e çok yakın çıkmaktadır. S_{11} değeri ise -32.4 dB olarak elde edilmektedir. Tasarlanan antenin ışınma örüntüsü incelendiğinde 2.45 GHz de ileri ve geri yönde ışınma yaptığı görülmektedir. Işınma örüntüsü incelendiğinde anten kazancı 3.51 dBi bulunmuştur. Ana lob yönü 178° dedir, açısal genişlik ise 131.7° dir.

Dairesel Loop antenin dikey yöndeki iç bükey hali aşağıdaki Şekil 4.21'de gösterildiği gibidir.



Şekil 4.21. Dairesel Loop antenin dikey iç bükey hali

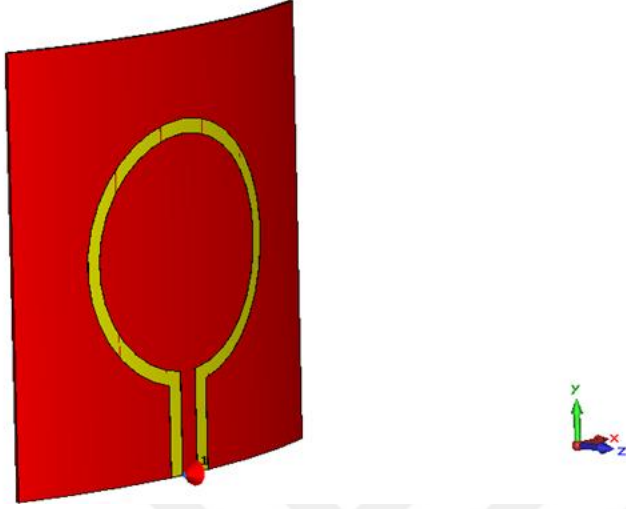
Tasarlanan antenin dikey yöndeki iç bükey halindeyken FIT tabanlı benzetim programı kullanılarak elde edilen S_{11} geri dönüş kaybı grafiği ve ışınma örüntüsünün 2 boyutlu gösterimi Şekil 4.22’ de verilmiştir.



Şekil 4.22. Dairesel Loop antenin dikey iç bükeyken (a) S_{11} grafiği (b) ışınma örüntüsünün 2D hali

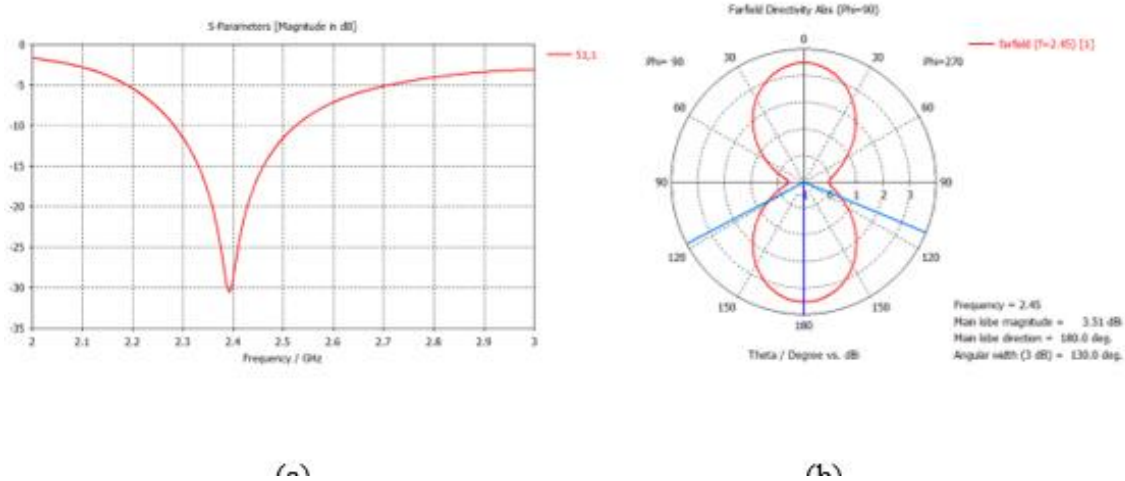
Şekil 4.22 incelendiğinde tasarlanan anten dikey yönde içeri doğru büküldüğünde rezonans frekans değeri 2.38 GHz çıkmaktadır. S_{11} değeri ise -32.4 dB olarak elde edilmiştir. Işınma örüntüsüne ait şekil incelendiğinde antenin ileri ve geri yönde ışınma yaptığı görülmektedir. Ayrıca ışınma örüntüsünde gösterildiği gibi anten kazancı 3.5 dBi bulunmuştur. Ana lob yönü 0°’ dir, açısal genişlik ise 130.5°’ dir.

Dairesel Loop antenimizin dikey yönde dış bükey olarak bükülmüş halinin FIT tabanlı benzetim programındaki gösterimi Şekil 4.23’de verilmiştir.



Şekil 4.23. Dairesel Loop antenin dikey dış bükey hali

Dairesel Loop antenin dikey dış bükey durumundayken S_{11} geri dönüş kaybı grafiği ve ışınma örüntüsünün 2 boyutlu hali Şekil 4.24’de verilmiştir.



Şekil 4.24. Dairesel Loop antenin dikey dış bükeyken (a) S_{11} grafiği (b) ışınma örüntüsünün 2D hali

Şekil 4.24 incelenecek olursa antenin dikey yönde dış doğru büküldüğünde rezonans frekans değeri 2.39 GHz çıkmaktadır. S_{11} değeri ise -30.09 dB olarak elde edilmiştir. Işınma

örüntüsü incelendiğinde yine düz konumda olduğu gibi 2.45 GHz' de ileri ve geri yönde ışıma yaptığı görülmektedir. Ayrıca ışıma örüntüsü incelendiğinde anten kazancı 3.51 dBi, ana lob yönü 180° ve açılal genişlik ise 130° dir. Dairesel loop antenlerin herhangi bir yönde eğilip bükülmesi halinde elde edilen S_{11} geri dönüş kaybı ve rezonans frekansı grafiğinin sonuçları Çizelge 4.4' de verilmiştir.

Çizelge 4.4. Dairesel loop antenin farklı konumlardaki S_{11} ve rezonans frekans değerleri

Dairesel Loop Antenin Konumu	Frekans	S_{11} (geri dönüş kaybı)
Düz	2.45 GHz	-31.9 dB
Yatay dış bükey	2.39 GHz	-32.3 dB
Yatay iç bükey	2.38 GHz	-32.4 dB
Dikey iç bükey	2.38 GHz	-32.4 dB
Dikey dış bükey	2.39 GHz	-30.09 dB

Dairesel Loop (döngü) anten için yukarıda verilen şekillerde elde edilen sonuçlar incelenecek olursa, yatay ve dikey yönlerde iç bükey ve dış bükey konumlarındayken S_{11} geri dönüş kaybı ve rezonans frekans değerleri incelendiğinde tüm yönlerde tasarlanan esnek antenin 2.4 GHz çalışma frekansında sonuç verdiği görülmüştür. Tasarlanan antenin radyasyon ışıma örüntüleri incelendiğinde ise herhangi bir yöne doğru bükme işlemlerinde radyasyon yönlerinin değişmediği görülmüştür. Bu da esnek antenin yatay ve dikey dış bükey - iç bükey bükülme altında kararlı durumda olduğunun göstergesidir. Rezonans frekans değeri ve S_{11} geri dönüş kaybı grafikleri incelendiğinde herhangi bir yönde eğilip büküldüğünde değişim fazla olmamıştır. Bunun nedeni seçilen anten yapısında kullanılan dielektrik malzeme olan kağıdın kalınlığının 0.5 mm kalınlığında seçilmesi ve dairese loop anten yapısının esnek anten tasarımı için uygun bir yapı olmasındandır. Yukarıda verilen şekiller ve verilen bilgiler doğrultusunda tasarlanan esnek dairese loop antenin pratikte üretime uygun olduğu ve 2.4 GHz de esnek anten tasarımı için belirlenen anten tasarımının belirlenen çalışma frekansı için uygun olduğu anlaşılmıştır.

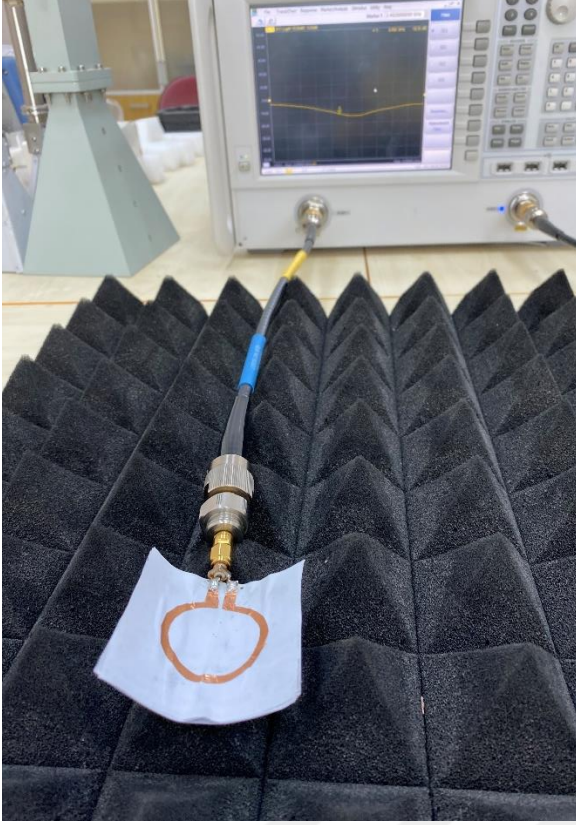
4.4.3. 2.4 GHz esnek dairesel loop(döngü) anten uygulaması

Esnek dairesel loop anten için 2.4 GHz de çalışan bir anten tasarlanmıştır. Bu anten FIT tabanlı benzetim programında tasarlanmış ve simülasyon programında çalıştırılmıştır. Simülasyon sonuçları 2.4 GHz çalışma frekansı için istenilen sonucu vermiştir. Simülasyon programında istenilen sonuçları veren bu antenin uygulamada da aynı sonuçlarla çalışabildiğini anlamak için laboratuvar ortamında test yapılmıştır. Bu testler için simülasyon programında tasarlanan yapı ve boyutta anten üretmek amaçlanmıştır. Simülasyonda tasarlanan anteni üretmek için bakır bant ve kağıt kullanılmıştır. Bakır bant ve kağıt FIT tabanlı benzetim programında belirlenen boyutlarda kesilip bir araya getirilmiş ve dairesel loop anten üretilmiştir. Şekil 4.25 'de üretilen loop antenin düz konumdaki görüntüsü verilmiştir.

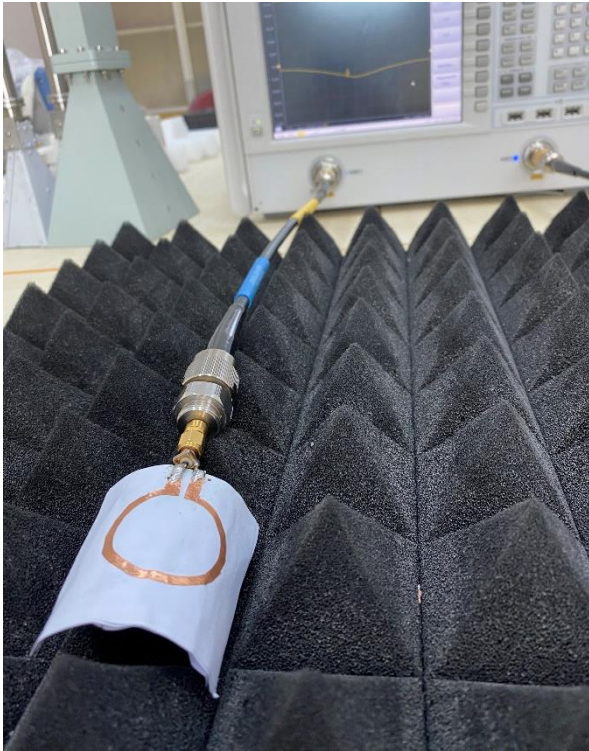


Şekil 4.25. Dairesel loop antenin önden görüntüsü

Dairesel loop (döngü) anten yapımızı ilk önce Şekil 4.25'de görülüşü gibi düz olarak herhangi bir yöne doğru esnetmeden cihaza bağlanıp ölçüm yapılmıştır. Daha sonra FIT tabanlı benzetim programında uygulanan yönlerde yatay iç bükey, yatay dış bükey, dikey iç bükey ve dikey dış bükey yönlerine doğru bükülerek cihaza bağlanıp ölçümler yapılmıştır. Bu yapılan testlere ait görüntüler aşağıda Şekil 4.26, Şekil 4.27, Şekil 4.28 ve Şekil 4.29'da verilmiştir.



Şekil 4.26. Dairesel loop antenin dikey iç bükey hali



Şekil 4.27 Dairesel Loop antenin dikey dış bükey hali

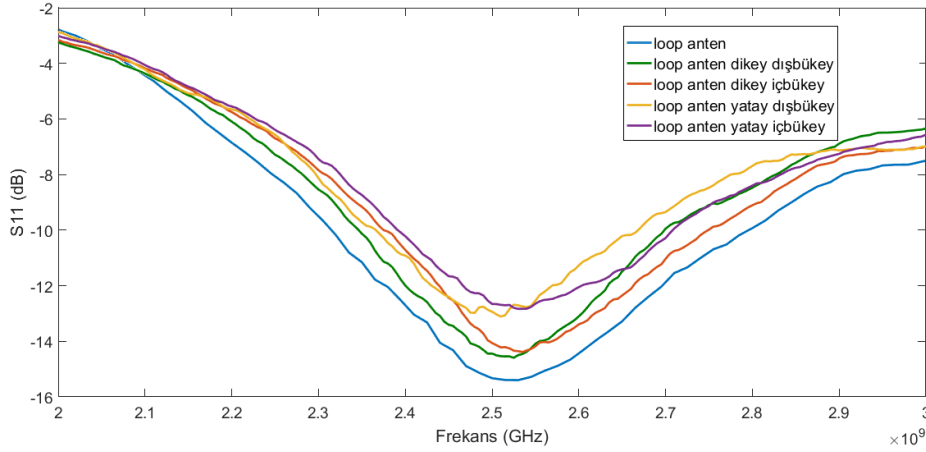


Şekil 4.28. Dairesel loop antenin yatay iç bükey görüntüsü



Şekil 4.29. Dairesel loop antenin yatay dış bükey görüntüsü

Yukarıdaki şekillerde de görüldüğü gibi antenimizi tüm belirlenen yönlerde bükülüp test edilmiştir. Bu testler sonucunda elde edilen çalışma frekansı ve S_{11} geri dönüş kaybı grafiği Şekil 4.30' da verildiği gibidir.



Şekil 4.30. Dairesel Loop anten tüm yönler için S_{11} grafiği

Yapılan testler sonucunda elde edilen grafik Şekil 4.30'daki gibidir. Bu grafikteki antenin herhangi bir konumda iken S_{11} ve rezonans frekans değeri Çizelge 4.5' de verilmiştir.

Çizelge 4.5. Dairesel loop antenin tüm konumlar için S_{11} ve frekans test sonuçları

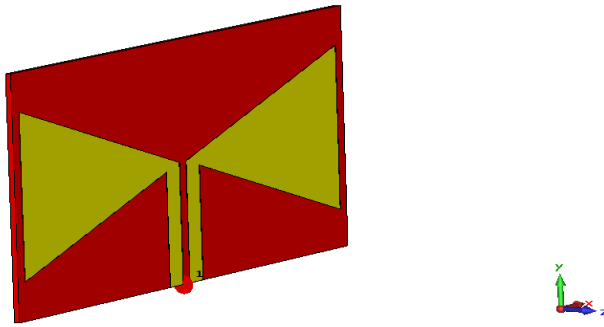
Dairesel Loop Antenin Konumu	frekans	S_{11} (geri dönüş kaybı)
Düz	2.53 GHz	-15.1 dB
Dikey dış bükey	2.52 GHz	-14.2 dB
Dikey iç bükey	2.56 GHz	-13.9 dB
Yatay dış bükey	2.51 GHz	-12.7 dB
Yatay iç bükey	2.55 GHz	-12.7 dB

Yukarıdaki tabloda da görüldüğü gibi tasarlanan dairesel loop anten istenilen çalışma frekansına çok yakın değerinde çalışmaktadır. FIT tabanlı benzetim programındaki elde edilen sonuçlar ile test sonuçları karşılaştırıldığında çok hafif bir frekans kayması söz konusudur. S_{11} değerlerinde de kayma olmuştur ama yine de tasarlanan anten haberleşme için uygun değerlerde sonuç vermektedir. Frekans ve S_{11} geri dönüş kaybı grafiklerindeki kaymanın sebebi test sırasında kağıt tabakaları arasında boşluk olmasından veya antenin cihaza

bağlandığı noktadaki temassızlıklardan dolayı olabilir. Buna rağmen kayma çok az olduğu için yapılan anten tasarımının başarılı olduğu kabul edilir.

4.5. 2.4 GHz Esnek Bowtie Anten Tasarımı

2.4 GHz çalışma frekansı için belirlenen diğer bir anten yapısı bowtie antendir. Bowtie antenler de seçilen diğer antenler gibi basit yapıda ve küçük boyutlarda üretilebileceğinden dolayı tercih edilen bir anten yapısıdır. Diğer anten tasarımlarında olduğu gibi yine kağıt dielektrik bazlı esnek anten tasarlanmak amaçlandığından malzeme olarak kağıt ve bakır malzemeleri seçilmiştir. Bowtie anten ilk önce FIT tabanlı benzetim programında bilgisayar ortamında tasarlanmıştır. Tasarlanan anten simülasyonda istenilen yönlerde bükülerek çalışma frekansı ve S_{11} geri dönüş sonuçları incelenmiştir. Daha sonraki test aşaması ise laboratuvar ortamında gerçekleştirilmiştir. FIT tabanlı benzetim programında üretilen bowtie anten Şekil 4.31’ de verilmiştir.



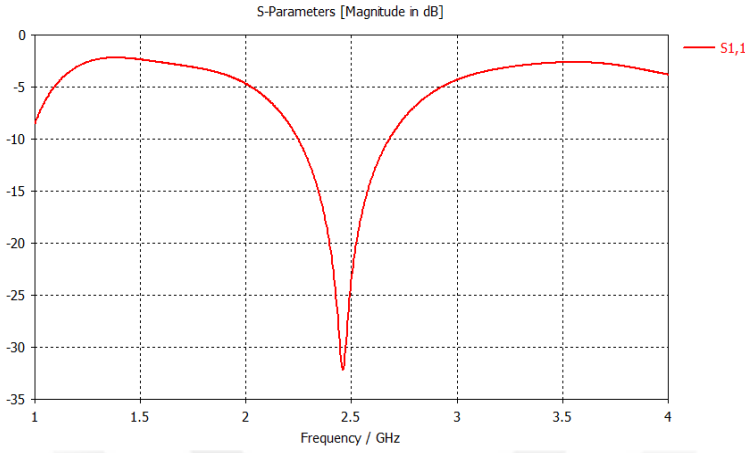
Şekil 4.31. Bowtie antenin önden görüntüsü

FIT tabanlı benzetim programında çizilen esnek Bowtie antenin yapı boyutu Çizelge 4.4 ‘de verilmiştir.

Çizelge 4.6. Esnek Bowtie antenin yapısal özellikleri

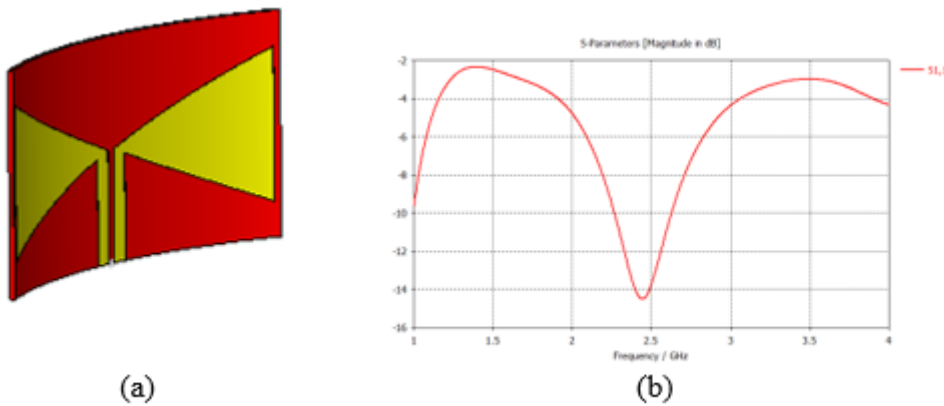
Dielektrik - Kağıt		İletken – Bakır	
Uzunluk	100 mm	Üçgen boyutu	45mm/45mm/32mm
Genişlik	50 mm	İletim hattı boyutu	27 mm
Kalınlık	1 mm	İletim hattı genişlik	4 mm
		İletim hattı arasındaki boşluk	3 mm

Bowtie anten düz konumdayken geri dönüş kaybı grafiği Şekil 4.32' de verilmiştir.

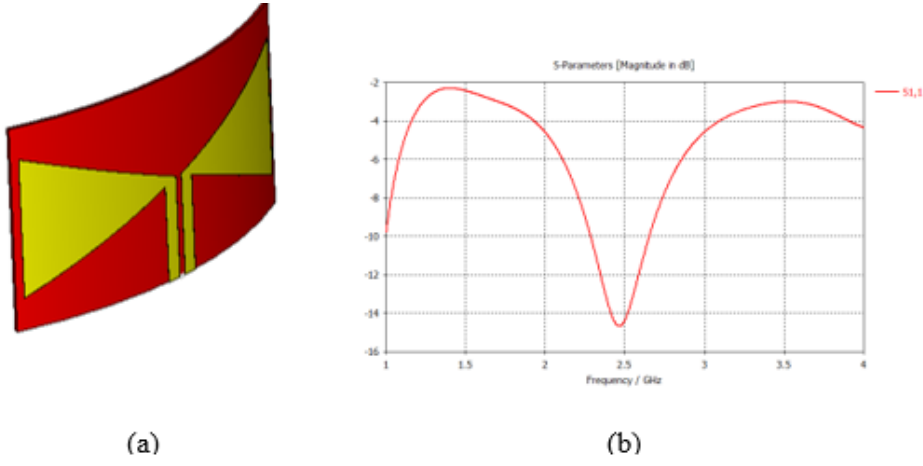


Şekil 4.32. Bowtie antenin S₁₁ grafiği

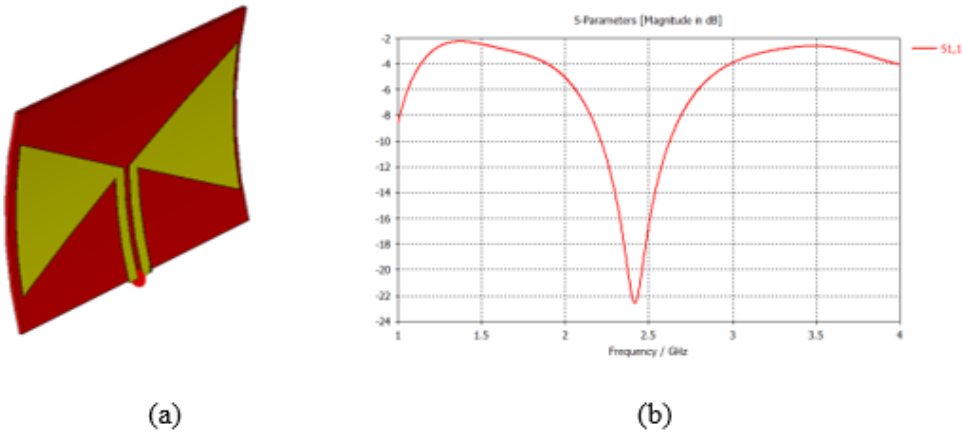
Yukarıdaki şekilde görüldüğü gibi tasarlanan anten yapısı istenildiği gibi 2.4 GHz çalışma frekansında çalışmaktadır. Diğer yönlere doğru eğilip büküldüğünde değişim olup olmadığını anlamak için simülasyon programında tasarlanan yapının yönünü değiştirerek sonuçlar elde edilmiştir. Tasarlanan anteni farklı yönlere doğru bükmek için FIT tabanlı benzetim programında ilk önce 100 mm yarıçapında bir silindir tasarlanmıştır. Daha sonra bu silindiri merkez kabul edilerek tasarlanan anten belirlenen yönlerde bu silindire doğru bükülmüştür. Bükme işleminde elde edilen şekiller sırasıyla dikey yönde içe doğru bükülmüş hali Şekil 4.33, dikey yönde dışa doğru bükülmüş hali Şekil 4.34, yatay yönde içe doğru bükülmüş hali Şekil 4.35 ve yatay yönde dışa doğru bükülmüş hali Şekil 4.36'da verilmiştir.



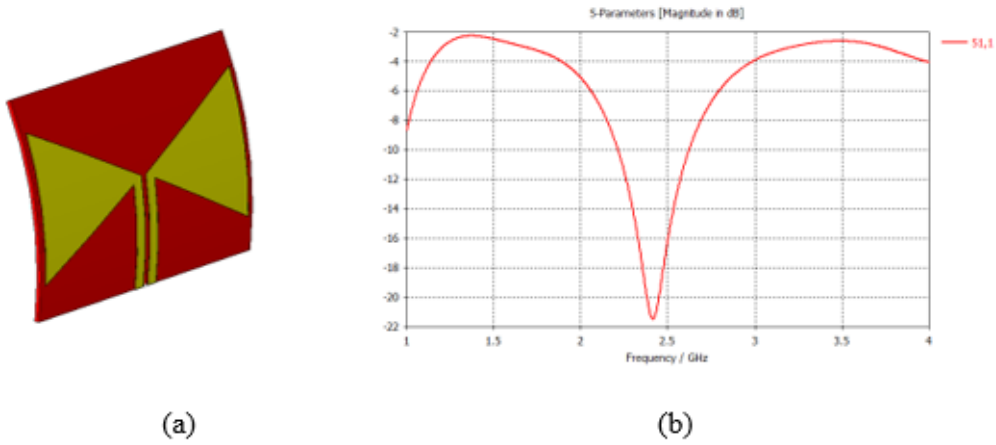
Şekil 4.33. Bowtie antenin dikey iç bükeyken (a) görüntüsü (b)S₁₁ grafiği



Şekil 4.34. Bowtie antenin dikey dış bükeyken (a) görüntüsü (b) S_{11} grafiği



Şekil 4.35. Bowtie antenin yatay iç bükeyken (a) görüntüsü (b) S_{11} grafiği



Şekil 4.36. Bowtie antenin yatay dış bükeyken (a) görüntüsü (b) S_{11} grafiği

FIT tabanlı benzetim programında elde edilen sonuçlara ait olan grafikler yukarıda verilmiştir. Bu sonuçlara göre FIT tabanlı benzetim programında bowtie antenin herhangi bir konumda elde edilen rezonans frekansı ve S_{11} değerlerini gösteren tablo Çizelge 4.7' de verilen gibidir.

Çizelge 4.7. Bowtie antenin simülasyondaki tüm konumlar için frekans ve S_{11} değerleri

Bowtie Antenin Konumu	Frekans	S_{11} (geri dönüş kaybı)
Düz	2.46 GHz	-32.5 dB
Dikey iç bükey	2.42 GHz	-14.2 dB
Dikey dış bükey	2.47 GHz	-14.9 dB
Yatay iç bükey	2.39 GHz	-22.3 dB
Yatay dış bükey	2.38 GHz	-21.9 dB

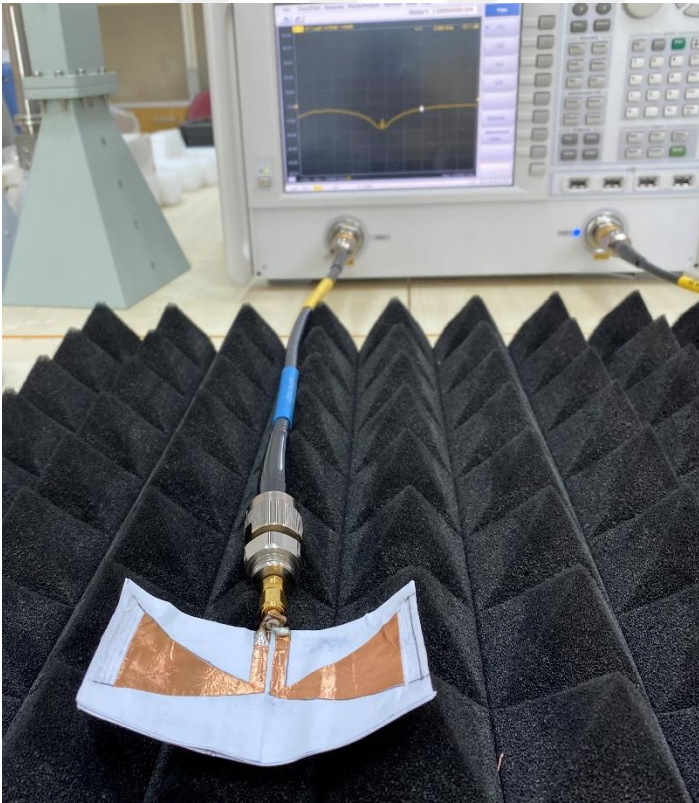
FIT tabanlı benzetim programı kullanarak elde edilen sonuçlara göre tasarlanan anten herhangi bir yöne doğru eğilip büküldüğünde de 2.4 GHz çalışma frekansında verimli şekilde çalışmaktadır. Bu aşamadan sonra antenin uygulamada da doğru şekilde çalışabilirliğini test etmek için tasarlanan yapı bilgisayar ortamında tasarlanan şekilde üretip laboratuvar ortamında test edilmiştir.

4.6. 2.4 GHz Esnek Bowtie Anten Uygulaması

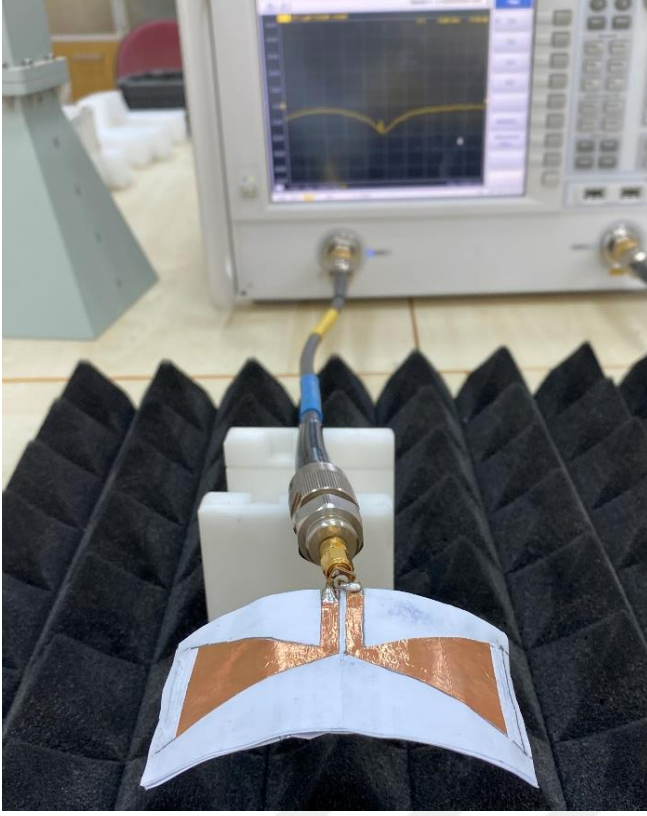
Esnek bowtie anten üretmek için öncelikle FIT tabanlı benzetim programında belirlenen çalışma frekansında çalışan bir anten tasarlanmıştır. Bu anten belirlenen çalışma frekansında verimli bir şekilde çalışmış olup uygulamada da aynı şekilde çalışıp çalışmadığını belirlemek için laboratuvar ortamında test edilmiştir. Bu antende de diğer üretilen anten yapılarında olduğu gibi esnekliği sağlamak için kağıt ve iletkenlik için ise bakır bant kullanılmıştır. Üretilen antenin boyutları simülasyonda tasarlanan boyutlarda kesilip bir araya getirilerek bowtie anten üretilmiştir. Üretilen anten laboratuvar ortamında öncelikle düz konumda daha sonra da dikey iç bükey, dikey dış bükey, yatay iç bükey ve yatay dış bükey yönlerde bükülerek vektör ağ analizörüne bağlanmıştır. Test aşamasında elde edilen görüntüler Şekil 4.37, Şekil 4.38, Şekil 4.39, Şekil 4.40 ve Şekil 4.41'de verilmiştir.



Şekil 4.37. Bowtie antenin düz halinin test aşaması



Şekil 4.38. Bowtie antenin yatay iç bükey halinin test aşaması



Şekil 4.39. Bowtie antenin yatay dış bükey halinin test aşaması

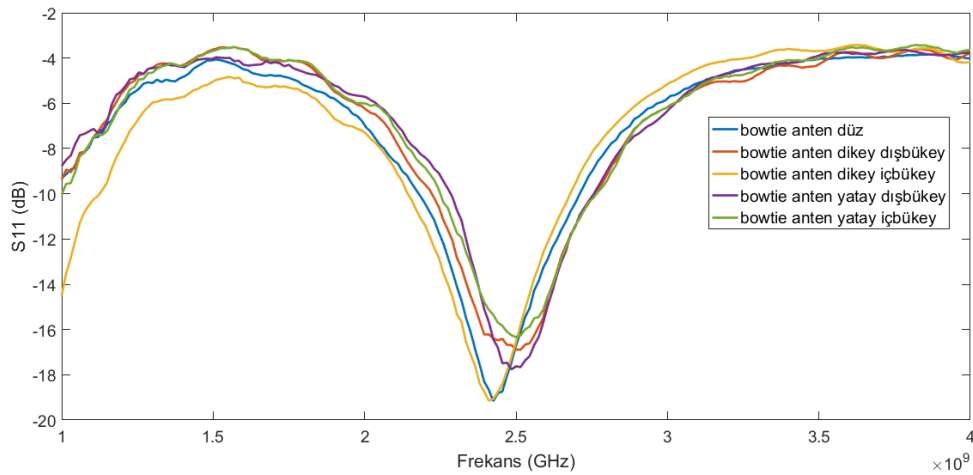


Şekil 4.40. Bowtie antenin dikey iç bükey halinin test aşaması



Şekil 4.41. Bowtie antenin dikey dış bükey halinin test aşaması

Yukarıdaki şekillerde görüldüğü gibi antenimiz tüm yönlerde bükülüp vektör ağ analizörüne bağlanarak test edilmiştir. Bu testler sonucunda elde edilen S_{11} geri dönüş kaybı ve rezonans frekansı grafiği Şekil 4.42’de verilmiştir.



Şekil 4.42. Bowtie antenin S_{11} grafiği

Yapılan test sonucunda tasarlanan antenin herhangi bir konumda iken elde edilen frekans ve S_{11} geri dönüş kaybı sonuçları Çizelge 4.8’ de verilmiştir.

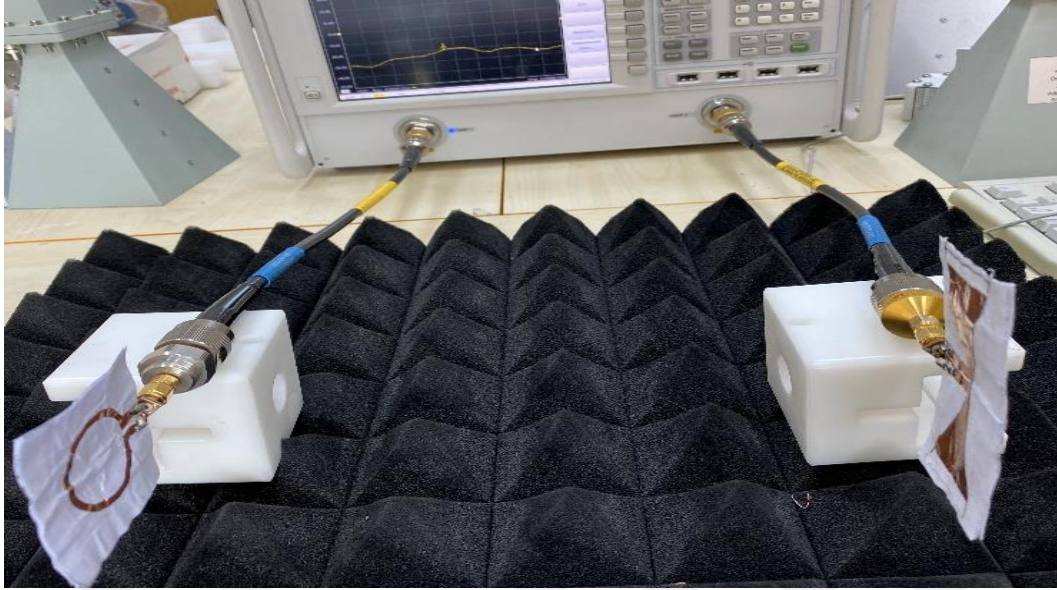
Çizelge 4.8. Bowtie antenin testinde elde edilen frekans ve S_{11} değerleri

Bowtie Antenin Konumu	Frekans	S_{11} (geri dönüş kaybı)
Düz	2.42 GHz	-19.1 dB
Dikey dış bükey	2.51 GHz	-16.8 dB
Dikey iç bükey	2.42 GHz	-19.1 dB
Yatay dış bükey	2.51 GHz	-17.9 dB
Yatay iç bükey	2.51 GHz	-15.9 dB

Bowtie anten için laboratuvar ortamında yapılan test sonuçlarında da görüldüğü üzere üretilen esnek bowtie antenin rezonans frekansı 2.4 GHz olan çalışma frekansına çok yakındır. FIT tabanlı benzetim programı sonuçları ile test sonuçları karşılaştırıldığında aralarında sonuçların birbiriyle uyumlu olduğu görülmektedir. Bu sonuçlar da tasarlanan bowtie anten yapısının esnek anten üretimi için uygun olduğunun kanıtıdır.

4.7. 2.4 GHz’ de Bowtie Anten ile Dairesel Loop Anten Arasındaki İletim Uygulaması

Tasarlanan esnek yapılarıdaki Bowtie anten ile Dairesel Loop anteni laboratuvar ortamında üretildi. Bu iki anten arasında değişik konumlarda nasıl bir iletim olduğu test edilmiştir. Test sonuçları aşağıdaki şekillerde görüldüğü gibidir. Şekil 4.43’ de her iki antende düz konumdayken test aşamasındaki görüntüsü verilmiştir.



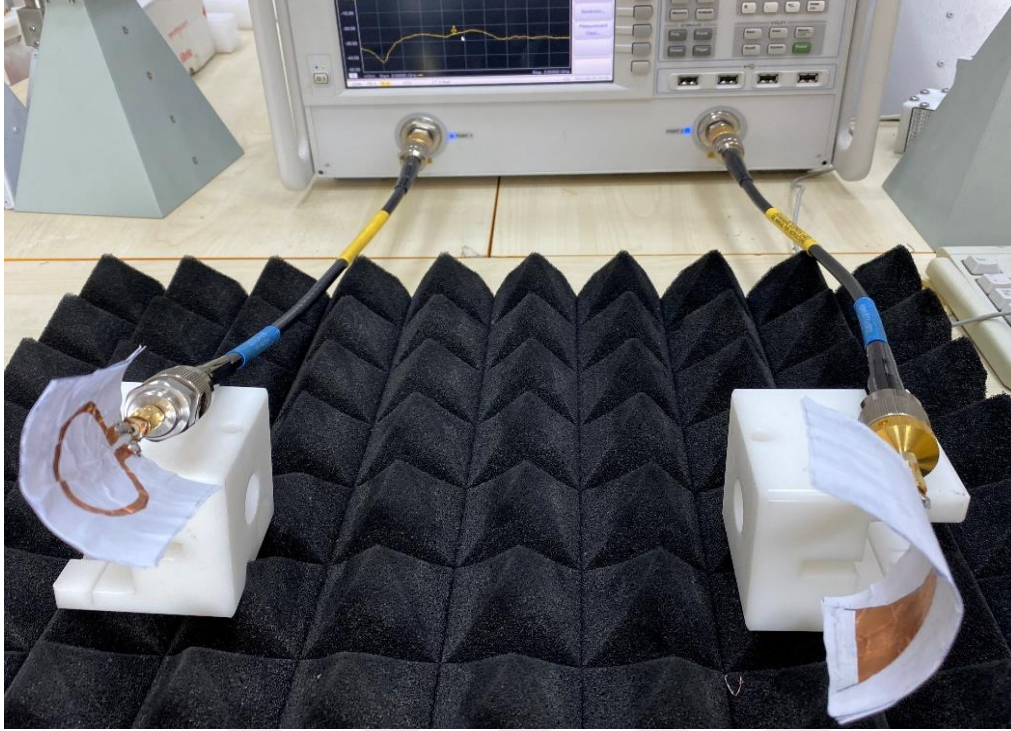
Şekil 4.43. Bowtie anten ile Dairesel loop antenin düz konumdayken iletim testi

Her iki antenin de konumları dışa doğru bükülmüşken yapılan testin görüntüsü Şekil 4.44’ de verilmiştir.



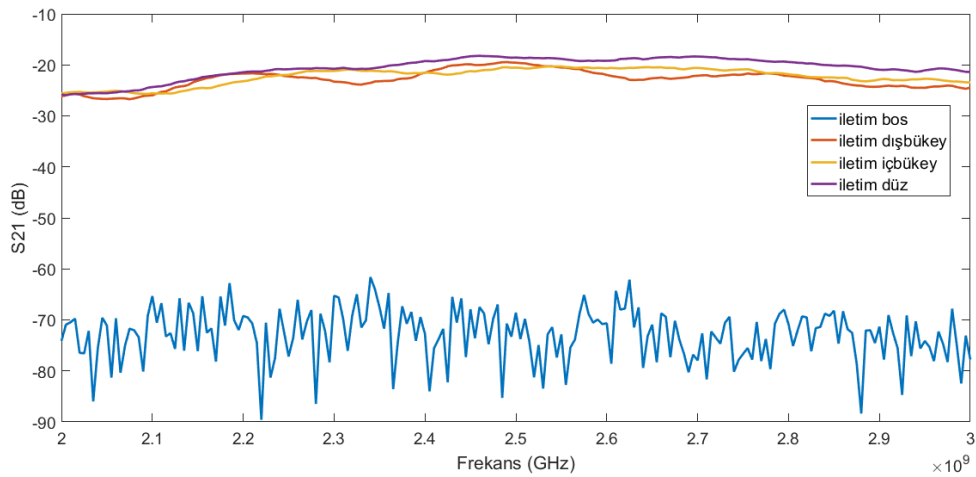
Şekil 4.44. Bowtie anten ile Dairesel Loop antenin dışbükeyken iletiminin testi

Her iki anten de iç bükey yönde büküldüğünde aralarındaki iletimin nasıl olduğunun test aşaması Şekil 4.45’ de verilmiştir.



Şekil 4.45. Bowtie anten ile Dairesel Loop antenin iç bükeyken iletimlerinin test aşaması

Esnek yapıdaki Bowtie antenin ve Dairesel Loop antenin düz konumda, dış bükey konumda ve iç bükey konumda iken aralarında iletim olup olmadığı test edilmiştir. Bu test sonucunda elde edilen çalışma S_{11} grafiği Şekil 4.46' da verilmiştir.



Şekil 4.46. Bowtie anten ile Dairesel Loop antenin aralarındaki iletimin farklı konumlar için S_{11} grafiği

Yapılan testler sonucunda elde edilen S_{11} grafiği yukarıda gör÷lmektedir. Test aşamasında iletim yokken yani iki prob girişine de anten bağlı değilken, her iki antende düz konumdayken, her iki antende dışa doğru bük÷ldüğünde ve her iki anten de içe doğru bük÷ldüğünde aralarındaki iletim test edilmiştir. S_{11} grafiğinden elde edilen sonuca göre tasarlanan esnek yapıdaki Bowtie anten ve esnek Dairesel Loop anten düz konumdayken veya herhangi bir yöne doğru bük÷lse bile yine de istenilen şekilde iletim yapabilmekte ve kararlı bir şekilde çalışmaktadır. Bu da tasarlanan anten yapılarının uygulanabilirliğini bize göstermektedir.



5. SONUÇ

Bu çalışmada tasarlanmak istenen esnek anten yapısı için çalışma frekansı olarak 2.4 GHz olarak seçilmiştir. Bu frekans değerinin seçilme nedeni kablosuz haberleşme alanında en çok tercih edilen frekans değeri olmasıdır. Esnek anten yapısını oluşturmak ve esnekliği sağlamak için maliyetinin düşük olması, kolay elde edilebilir olması, uygulanabilirliğinin kolay olması ve fiziksel özelliklerinin uygunluğu gibi nedenlerden dolayı kağıt seçilmiştir. Dielektrik olarak kullanılan kağıda ek olarak iletkenliği sağlamak içinde iyi bir iletken olan bakır kullanılmıştır.

Bu çalışmada esnek anten tasarlamak için değişik yapılardaki antenlerden faydalanılmıştır. Bu yapılar; mikroşerit dikdörtgen yama anten, dairesel loop anten ve bowtie antendir. Bu üç anten için de çalışma frekansı 2.4 GHz olarak belirlenmiş, anten yapısını oluştururken yine kağıt ve bakır malzemeleri kullanılmıştır. Anten tasarımları ilk önce FIT tabanlı benzetim programında bilgisayar ortamında gerçekleştirilmiştir. Daha sonra ise laboratuvar ortamında FIT tabanlı benzetim programında belirlenen boyutlarda üretilip vektör ağ analizörü kullanılarak test edilmiştir. Bu üç anten için de düz konumdayken elde edilen simülasyon ve uygulama sonuçları Çizelge 5.1’de verilmiştir.

Çizelge 5.1. Tasarlanan antenlerin düz konumdayken simülasyon ve test sonuçları

Anten çeşitleri	Simülasyon sonucu		Test sonucu	
	Frekans	Geri dönüş kaybı (S ₁₁ değeri)	Frekans	Geri dönüş kaybı (S ₁₁ değeri)
Mikroşerit dikdörtgen yama	2,4 GHz	-10,2 dB	2,49 GHz	-11,9 dB
Dairesel Loop	2,42 GHz	-31,9 dB	2,52 GHz	-12,17 dB
Bowtie	2,45 GHz	-32,4 dB	2,45 GHz	-19,11 dB

Yukarıdaki çizelgeyi inceleyecek olursak simülasyon sonucu ile test sonucunun birbirine çok yakın olduğu görülmektedir. Bu da tasarlanan antenlerin istenildiği gibi çalıştığını göstermektedir.

Yapılan çalışmada elde edilen diğer sonuçlar da incelendiğinde anten yapılarının farklı yönlerde eğilip büküldüğünde de yine aynı rezonans frekansında çalıştığı ve geri dönüş kaybının da grafikler incelendiğinde istenilen düzeyde olduğu görülmektedir. Çalışma incelendiğinde tasarlanan üç anten içinde herhangi bir yöne doğru esneme yapsa da sonucunun değişmediği görülmektedir. Bunlara ek olarak tasarlanan antenlerin tüm konumlara doğru eğilip büküldüğünde de anten parametrelerinde önemli bir değişiklik olmadığı, eğilip büküldükten sonra eski konumlarına döndüklerinde yine ilk durumdaki formlarını korudukları görülmektedir. Sonuç olarak her üç anten yapısı için de yatay ve dikey yönlerde içe ve dışa doğru büküldüğünde de belirlenen çalışma frekansında verimli ve kararlı bir şekilde çalıştığı görülmektedir. Ayrıca tasarlanan antenlerin aralarında iletim yapıp yapmadığı incelenmiştir. İletim yapıldığını test etmek için esnek dairesel loop anten ve esnek bowtie anten kullanılmıştır. Yapılan testlerde ise her iki antenin de herhangi bir yöne doğru bükülse de aralarında iletim yaptığı görülmüştür. Bu çalışma sonunda elde edilen sonuçlar esnek anten üretiminde kağıdın kullanılabilir bir malzeme olduğunu gösterir. Seçilen anten yapılarının da esnek anten üretimi için uygun olduğu görülmektedir. Bu çalışma sonucunda üretilen kağıt dielektrik bazlı esnek antenler daha da geliştirilerek giyilebilir antenler, IOT uygulamaları, biyo entegre elektronik uygulamaları gibi daha birçok farklı anten uygulama alanlarında kullanılabilir.

KAYNAKLAR

- Balanis, C. A. (1997). *Antenna Theory Analysis and Design*. John Wiley and Sons.
- Balanis, C. A. (2005). *Antenna Theory Analysis and Design*. New Jersey,USA: John Wiley and Sons.
- Çetme, E. (2009). Yarıklı Mikroşerit Yama Anten Dizaynı. İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi.
- Çodur, A. (2019). Konformal Yüzeyle Uygun Mikroşerit Yama. İstanbul: Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi.
- DeJean, G., Bairavasubramanian, R., Thompson, D., Ponchak, G. E., Tentzeris, M. M., and Papapolymerou, J. (2005). Liquid Crystal Polymer(LCP):A new organic material for the development of multilayer dual-frequency/dual-polarization flexible antenna arrays. *Antennas Wirel. Propg. Lett.*, 22-26.
- Deschamps, G. A., and Sichak, W. (1953). Microstrip microwave antennas. *3rd UASF Symposium on Antennas*.
- Gagnarde, I., Gagnarde, C., and Felon, J. P. (1995). Circular patch antenna sensor for moisture content measurement on dielectric material. *Electron Lett*, 1167-1168.
- Gutton, H., and Baissinot, G. (1955). *Flat aerial for ultra highfrequencies*. French patent,703113.
- Howel, J. (1972). Microstrip Antennas. *IEEE AP-S Int. Symp. Digest*, 177-180.
- Iliya, S. Z., Adediran, Y. A., Rahman, T. A., Abdulrahman, A. Y., Uledi, H., and Elijah, O. (2013). Comparison between MATLAB and CST Simulated Results of Helical Antenna Implemenration for Ku-band Application. *Cyber Journals:Journal of Selected Areas In Telecommunications*, 3-10.
- Keskin, U., Döken, B., and Kartal, M. (2017). Bandwidth improvement in microstrip patch antenna . *8th International Conference on Recent Advances in Space Technologies(RAST)* (s. 215-219). IEEE.
- Kirtania, S. G., Elger, A., Hasan, M., Wisniewska, A., Sekhar, K., Karacolak, T., and Sekhar, P. (2020). Flexible Antennas: A Review. *Micromachines*, 847.
- Lim, C., Shin, Y., Jung, J., Kim, J. H., Lee, S., and Kim, D. H. (2019). Stretchabl conductive nanocomposite based on alginate hydrogel and silver nanowires for wearable electronics. *APL Mater*.
- Munson, R. (1974). Conformal microstrip antennas and microstrip phased arrays. *IEEE Transactions on Antennas and propagation*, 74-78.
- Özdemir, D. (2009). Genişband GSM-UMTS Mikroşerit Yama Anten Tasarımı. İTÜ Yüksek Lisans Bitirme Tezi, İstanbul.

- Park, J., Park, S., Yang, W., and Kam, D. G. (2019). Folded aperture coupled patch antenna fabricated on FPC With vertically polarised end-fire radiation for fifth-generation millimetre-wave massive MIMO systems. *IET Microw. Antennas Propag.*, 1660-1663.
- Pozar, D. M., and Schaubert, D. H. (1995). *Microstrip antennas :the analysis and design of microstrip antennas and arrays*. John Wiley and Sons.
- Scarpello, M. L., Kazani, I., Hertleer, C., Rogier, H., and Vande Ginste, D. (2012). Stability and Efficiency of Screen-Printed Wearable and Washable Antennas. *Antennas Wirel. Propag. Lett.*, 838-841.
- Shahariar H., Soewardiman, H., and Jur, J. S. (2017). Fabrication and packaging of flexible and breathable patch antennas on textiles. *SoutheastCon2017* (s. 1-5). IEEE.
- Tighezza, M., Rahim, S. K., and Islam, M. T. (2018). Flexible wideband antenna for 5G applications. *Microwave and Optical Technology Letters*, 38-44.
- Ullah, M., Islam, M., Alam, T., and Ashraf, F. (2018). Paper-Based Flexible Antenna for Wearable Telemedicine Applications at 2.4 GHz ISM Band. *Sensors*.
- Wang, G., Hou, C., and Wang, H. (2020). *Flexible and Wearable Electronics for smart Clothing*. Hoboken,NJ,USA: John Wiley and Sons.
- Xie, Z., Avila, R., Huang, Y. S., and Rogers, J. (2019). Flexible and Stretchable Antennas for Biointegrated Electronics. *Advanced materials*.

DİZİN

A

Alıcı · 2, 24

B

Bakır · 7, 8, 14, 15, 20, 24, 33,
37, 41, 48
Biyo-entegre · 13, 48
Bowtie · 37, 38, 40, 41, 44, 45,
47, 48, 49

Ç

Çizelge · 15, 18, 25, 32, 36, 37,
40, 44, 48

D

Dielektrik · 6, 7, 8, 9, 13, 14, 19,
24, 48, 49

E

Elektromanyetik · 2, 6, 13
Esnek · 1, 7, 12, 13, 14, 15, 17,
19, 20, 24, 25, 27, 32, 37, 41,
44, 45, 47, 48, 49

G

Grafik · 2, 16, 17, 23, 29, 32, 36,
40, 49
Geçirgenlik · 10

H

Haberleşme · 1, 2, 3, 12, 14, 17,
36, 48

I

Işıma · 2, 3, 5, 6, 7, 8, 9, 17, 18,
19, 24, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32

İ

İletken · 6, 7, 8, 13, 14, 20, 41,
48

K

Kağıt · 13, 14, 19, 20, 24, 33, 36,
37, 41, 48, 49
Kazanç · 6, 8, 11, 14, 17, 27, 28,
29, 30, 32
Kayıp · 6, 8, 13

L

Loop · 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30,
31, 32, 33, 36, 45, 46, 47, 48,
49

M

Malzeme · 1, 4, 7, 8, 9, 13, 15, 25,
32, 37, 48, 49
Mikroşerit · 1, 4, 7, 8, 9, 11, 12,
13, 14, 15, 17, 20, 24, 48

P

Polimer · 13, 14

R

Radyasyon · 13, 16, 19, 20, 27,
32
Radyo · 14, 24
RFID · 24

S

Sensör · 1, 12, 13

U

Uzunluk · 15, 25, 37

V

Verimlilik · 6, 7, 9, 13, 24, 40,
41, 49

Y

Yalıtkan · 8, 9, 10
Yama · 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13,
14, 15, 17, 19, 20, 24, 48
Yansıma Katsayısı · 4, 5



TEKNOVERSITE



teknoversite **AYRICALIĞINDASINIZ**

İSTE

