

ELEKTRİK – ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ

BİTİRME ÖDEVİ

**PIFA (DÜZLEMSEL TERS F ANTEN)
ANTEN TASARIM**

DANIŞMAN

HAZIRLAYAN

G132

MAYIS 2019

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ**

**PIFA (DÜZLEMSEL TERS F ANTEN)
ANTEN TASARIM**

BİTİRME ÖDEVİ

G132

DANIŞMAN

Bu ödev .. / .. /20... tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.

.....
Jüri Başkanı

.....
Üye

.....
Üye

İÇİNDEKİLER

İÇİNDEKİLER.....	iii
ŞEKİLLER LİSTESİ	vi
TABLolar LİSTESİ	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	viii
BÖLÜM 1.	1
ANTENİN TARİHÇESİ.....	1
Giriş.....	1
1.1. Manyetik alan.....	2
1.2. Elektromanyetik dalga	2
1.3. Anten tanımı.....	3
1.4. Verici anten	3
1.5. Alıcı anten.....	3
BÖLÜM 2.	4
ANTEN PARAMETRELERİ VE TÜRLERİ	4
2.1. Anten parametreleri.....	4
2.1.1. Işıma örüntüsü	4
2.1.2. Yönlülük (D)	4
2.1.3. Hüzme genişliği	4
2.1.4. Verimlilik	4
2.1.5. Kutuplanma	4
2.1.6. Empedans	5
2.1.7. Band genişliği.....	5
2.1.8. Kazanç (G)	5
2.2. Anten türleri.....	5
2.2.1. Tel antenler	5
2.2.2. Yürüyen dalga antenler	6
2.2.3. Reflektör antenler	6
2.2.4. Mikroşerit antenler.....	6
2.2.5. Log-periyodik antenler.....	6
2.2.6. Diyafram antenler	6
2.2.7. Ters-f anten.....	6
2.2.8. Diğer Antenler	6

BÖLÜM 3.	7
DÜZLEMSEL TERS - F ANTEN (PIFA).....	7
3.1. PIFA anten tanımı	7
3.2. PIFA anten yapısı.....	7
3.3. PIFA anten geometrisi.....	8
3.4. PIFA antenin fiziksel parametreleri	8
3.4.1. Dielektrik malzeme	9
3.4.2 Farklı kısa devre levha genişliği	9
3.4.3. Farklı kısa devre levha yüksekliği	10
3.4.4. Farklı zemin düzlem boyutları.....	10
3.5 Geliştirilebilir PIFA anten tasarımları	10
3.5.1. Yarıklı yama PIFA tasarımı	10
3.5.2. Konik t-PIFA tasarımı.....	11
3.5.3. Yapılandırılabilir PIFA tasarımı	11
3.5.4. Toprak düzlemli PIFA tasarımı	12
3.5.5. Fraktal dairesel PIFA tasarımı	13
3.5.6. Kare yamalı PIFA tasarımı.....	13
BÖLÜM 4.	14
5G ANTEN TEKNOLOJİSİ	14
4.1. 5G nedir	14
4.2. 5G teknolojisinin avantajları.....	14
4.3. 5G teknolojisinin dezavantajları	15
4.4. 5G anten gelişimi ve tasarımı	15
4.5. 5G için kullanılan bandlar	16
BÖLÜM 5.	17
5G PIFA ANTEN TASARIMI	17
Giriş.....	17
5.1. 5G PIFA antenin fiziksel parametreleri.....	17
5.1.1. Zemin boyutu ve yama boyutunun hesaplanması.....	17
5.1.2. Dielektrik malzeme ve kısa devre pinin boyutlandırılması.....	18
5.1.3. Anten beslemesi.....	19
5.1.4 Analiz ve sonuçlar	19
5.2. 5G PIFA antende iyileştirme ve geliştirme	21
5.2.1. Yamanın yeniden boyutlandırılması	21
5.2.2. Yama yüksekliği hesaplanması	21
5.2.3. Analiz ve sonuçlar	22
BÖLÜM 6.	23

5G YARIKLI PIFA ANTEN TASARIMI	23
Giriş.....	23
6.1. Kısa devre pinin yapılandırılması	23
6.2. Yama yüksekliği hesaplanması.....	23
6.3. Yüzey akım diyagramı ve yamaya yarık açılması	23
6.4. Analiz ve sonuçlar	24
6.5. Üretilbilirlik ve maliyet analizi	25
6.6. Sonuç ve karşılaştırmalar.....	26
KAYNAKLAR.....	28

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. Elektromanyetik Dalga.....	2
Şekil 1.2. Elektromanyetik dalganın elektrik ve manyetik alan bileşenleri.....	3
Şekil 3.1. Düzlemsel ters -f anten.....	8
Şekil 3.3. PIFA antenin geometrisi.....	9
Şekil 3.4. PIFAnın üstten görünümü ve yamanın üzerine 4 tane yarık eklenmesi	11
Şekil 3.5. T-PIFA geometry	11
Şekil 3.6. Yapılandırılabilir PIFA tasarımı	12
Şekil 3.7. Toprak düzleminde PIFA	12
Şekil 3.8. Fraktal dairesel PIFA	13
Şekil 3.9. Kare yamalı PIFA tasarımı.....	13
Şekil 4.1. 5G teknolojisinin gelecek piramidi[11]	14
Şekil 4.2. 5G için kullanılacak 20-50 GHz frekans bandları [13].....	16
Şekil.5.1. Koaksiyel beslemenin boyutlandırılması	19
Şekil.5.2. Antenin önden görünümü	19
Şekil 5.3. Antenin yandan görünümü	20
Şekil 5.4. Simülasyon sonucunda elde edilen antenin S11 parametresi	20
Şekil 5.5. Geliştirilmiş antenin önden görünümü.....	22
Şekil 5.6. Geliştirilmiş antenin yandan görünümü	22
Şekil 5.7. Simülasyon sonucunda elde edilen antenin S1.1 parametresi	22
Şekil 6.1. Antenin yüzey akımları diyagramı.....	24
Şekil 6.2. Yarıklı antenin önden görüntüsü.....	24
Şekil 6.3. Yarıklı antenin önden görüntüsü.....	24
Şekil 6.4. Simülasyon sonucunda antenin S1.1 parametresi.....	25
Şekil 6.5. Tasarlanan anten-1 ve anten-2'ye ait S11 sonuçlarının karşılaştırılması.....	26
Şekil 6.6. Anten-1 üç boyutlu ışıma diyagramı.....	27
Şekil 6.7. Anten-1 iki boyutlu ışıma diyagramı	27
Şekil 6.8. Anten-2 üç boyutlu ışıma diyagramı.....	27
Şekil 6.9. Anten-2 iki boyutlu ışıma diyagramı	27

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 6.1. Anten-1 ve Anten-2'nin fiziksel parametreleri.....	25
Tablo 6.2. Antenin maliyet tablosu	26
Tablo 6.3. 5G için kullanılan çalışma frekansları [14]	26

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

H	Manyetik Alan
B	Manyetik Akı Yoğunluğu
E	Elektrik Alan
Hz	Hertz
GHz	Gigahertz
MHz	Megahertz
kHZ	Kilohertz
T	Tesla
kW	Kilowatt
G	Gauss
EM	Elektromanyetik
D	Yönlülük
dB	Desibel
m	Metre
G	Anten Kazancı
Ae	Etkin Alan
f	Taşıyıcı Frekans
C	Işık Hızı
λ	Dalga Boyı
ZA	Empedans
VA	Gerilim
IA	Akım
PIFA	Düzlemsel Ters F Anten
NFC	Near Field Communication
VHF	Very High Frequency
COMSAT	Communications Satellite Corporation
SMD	Surface Mount Device (Yüzey Montaj Teknolojisi)
WiMAX	Worldwide Interoperability For Microwave Access

USPCS	US Personal Communication System
WCDMA	Wideband Code Division Multiple Access
WLAN	Wireless Local Area Network
PCS	Personal Communications Service
DCS	Digital Cellular System
CST	Computer Simulation Technology
FR4	Dielektrik Malzeme
VSWR	Duran Dalga Voltaj Oranı
GSM	Global System for Mobile Communications
ITU	Uluslararası Telekomünikasyon Birliği

BÖLÜM 1.

ANTENİN TARİHÇESİ

Giriş

Telli telgrafın icadını gerçekleştiren Princeton Üniversitesi doğa bilimleri profesörlerinden Joseph Henry, 1842 yılında yaptığı deney sırasında üst kattaki mıknatıs ibresinin sapmasını gözlemledi. Henry uzaktan algılama olayını sezdikten sonra bir dizi deneyler yaptı. 7-8 mil uzaktaki yıldırım sebebiyle oluşan elektriksel işareti algıladı.

1875'te de Edison, elektrik devresindeki anahtarın açılıp kapanması sırasında oluşan elektrik arkını uzaktan algıladı ve hızlıca çalışmalarına devam ederek düşey konumlu tepesi yüklü ve topraklanmış antenler geliştirdi ve patent aldı.

1887 yılında H. Hertz ışıma olayının formüle edilmesi üzerine çalıştı, ilk kez polarizasyon kavramı üzerinde durdu. 1897'de Liverpool Üniversitesi fizik profesörlerinden Oliver J. Lodge bikonik anten ve anten devresinde ayarlı LC devresi için patent aldı. Empedans sözcüğünü literatüre kazandırdı.

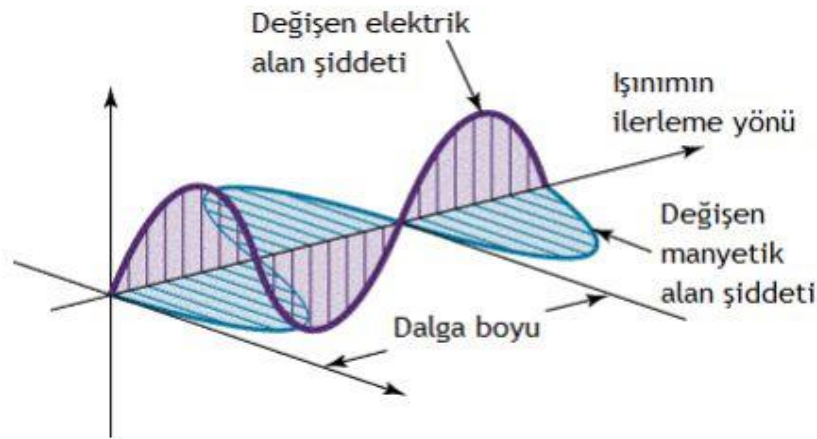
1900'lü yıllarda parabolik yansıtıcılar, mercek antenler, açıklık antenler, dalga kılavuzları mikrodalga frekanslarında kullanılmaya başlandı. Bu tarihten sonra antenlerin gelişmesi uzun bir süre durgunluk dönemi geçirdi. 1930'lardaki radyo elektroniğindeki gelişmeler mikrodalga antenlerini tekrar gündeme getirdi.

1901 yılında Marconi, 15 KW güçlü 820 KHz'lik fan monopol antenle İngiltere - Amerika arasında Atlantik üzerinden iletişimi gerçekleştirdi. 1907 yılında Zenneck sadece antenin iyi olmasını iletişimin için tek başına etkin olamayacağını, yer sisteminin de uygun şekilde yapılmasının anteni daha verimli kılabileceğini makalelerinde gösterir. 1916-1920 yılları arasında Marconi, iletkenlerle yapılmış parabolik reflektörün odağında aktif bir anteni kullanarak 3.5 m dalga boyunda elektromanyetik alan ışıması gerçekleştirdi ve ölçülen ışıma diyagramı ile hesaplanan ışıma diyagramının uyum içinde olduğunu gösterdi.

1940-1945 yılları arası mikrodalga antenlerin ve radarların yoğunluk kazandığı dönemdir. 1945-1949 döneminde VHF yarık antenler, halka antenler, dipol ve dipol anten dizileri yoğun olarak kullanılmaya başlandı ve 1965'de COMSAT'ın ilk jeosenkronize uydusu yörüngeye oturtuldu. Bu uydu ile iletişim gelecek için büyük umutlar sergiliyordu. Yıl 1969, ve tarih 20 Haziran; aya yolculukta antenler ay üzerine yerleştirildi. O gün, elektronik tarihinin önemli kilometre taşlarından birisidir. [1]

1.1. Manyetik alan

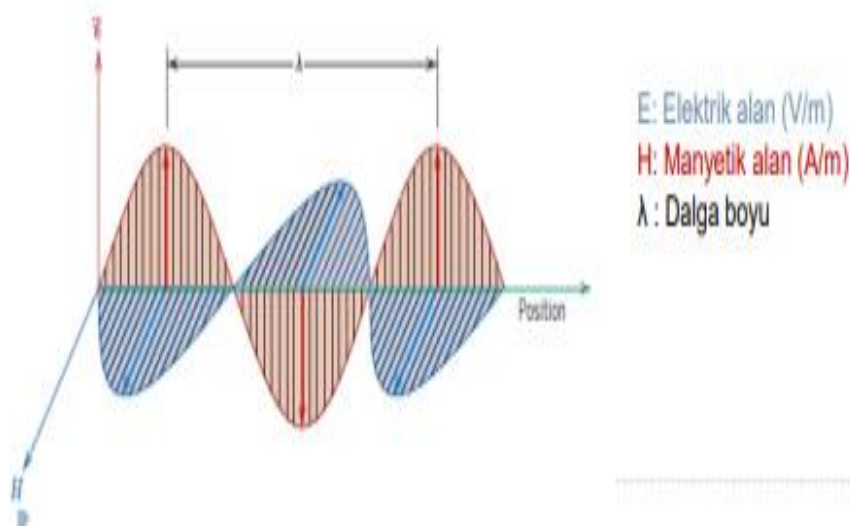
Manyetik alan; hareket eden elektrik yükleri tarafından, zamanla değişen elektrik alandan ya da parçacığın doğal yapısından kaynaklanmaktadır. Elektrik alan hareketsiz yükler etrafında oluşurken, manyetik alan hareketli yükler etrafında yani akım etrafında oluşur. Elektrik yükleri yer değiştirdiğinde, yani bir elektrik akımı akmaya başladığında manyetik alan ortaya çıkar. Elektrikli cihaz çalıştığında, elektrik alanının yanı sıra, akımın besleme kablosundan lambaya geçişinden kaynaklanan bir manyetik alan da oluşturur. Manyetik alanda, manyetik akı yoğunluğu birimi tesla(T) uluslararası birim olarak kullanılır. Manyetik alan ölçü birimi olarak Gauss (G) birimi de kullanılmaktadır. Akım ne kadar yüksekse, bunun bir sonucu olan manyetik alan da o kadar yüksek olur. Elektrik alanında olduğu gibi, manyetik alan şiddeti de mesafe ile hızla azalır. Fakat manyetik alan, elektrik alanında olduğu gibi engel teşkil eden nesnelerce neredeyse hiç engellenmez. Manyetik alan, elektrik alan, akım ve onları oluşturan yükler arasındaki bağıntı maxwell denklemleri olarak adlandırılır. Elektrik alandaki değişiklikler manyetik alanı etkilemektedir, yani elektrik alanın olduğu yerde manyetik alan da oluşabilmektedir. Manyetik alan, bir mıknatısın mıknatıssal özelliğini gösterebildiği alandır. Mıknatısın çevresinde oluşan çizgilere de manyetik alan çizgileri denir. Manyetik alanın çizgileri kuzeyden (N) güneye (S) doğrudur. [2]



Şekil 1.1. Elektromanyetik Dalga

1.2. Elektromanyetik dalga

Elektrik ve manyetik alan bileşenlerini içeren ve bulundukları ortamda yayılarak enerji taşıyan dalgalardır. Elektromanyetik dalgalarda elektriksel ve manyetik alan bileşenleri birbirine diktir. Yayılma, bu iki alanın oluşturduğu düzleme dik doğrultuda meydana gelir. [3]



Şekil 1.2. Elektromanyetik dalganın elektrik ve manyetik alan bileşenleri

1.3. Anten tanımı

Antenler, boşlukta yayılan yayılan elektromanyetik dalgaları toplayarak iletim kanalı içerisinde yayılmayı sağlamak (receiver) ya da boşluğa elektromanyetik dalgaları yaymak (transmitter) amacıyla tasarlanmışlardır.

Antenler, verileri yaydıkları dalgalar itibariyle kilometrelerce uzaklara taşıyabilirler. Bir antenin gönderme ve alma özellikleri aynıdır. Buna antenlerin karşılıklık (reciprocity) özeliği denir. Uydular arası iletişimde, aynı anten hem göndermede hem de almada kullanılır. [4]

1.4. Verici anten

Bir sistemden güç olarak çevresine elektromanyetik dalga yayan bir antene verici anten denir. Verici moddaki antenler kılavuzlanmış dalgaları serbest dalgalara dönüştürürler.

1.5. Alıcı anten

Çevresindeki elektromanyetik dalgalar tarafından uyarılarak bir sisteme güç aktaran antene alıcı anten denir. Alıcı moddaki antenler ortamdaki serbest dalgalar kılavuzlanmış dalgalara dönüştürürler. Yapı olarak verici ve alıcı antenler birbirlerine benzerler. Hatta bir anten hem verici hem de alıcı anten olarak kullanılabilir (Radar) [4]

BÖLÜM 2.

ANTEN PARAMETRELERİ VE TÜRLERİ

2.1. Anten parametreleri

2.1.1. Işıma örüntüsü

Işıma örüntüsü, antenin yaydığı gücün (elektromanyetik alan şiddetinin), antenin belirli uzak alanında oluşturmuş olduğu, sabit bir uzaklıktaki açısal değişimini gösteren bir grafiktir.

2.1.2. Yönlülük (D)

Antenin yönlülüğü, antenin maksimum ışıma yaptığı yöndeki güç yoğunluğunun aynı güçteki bir izotropik antenin aynı uzaklıkta oluşturduğu güç yoğunluğuna oranına denir.

2.1.3. Hüzme genişliği

Yönlü bir antenin hüzme genişliği, ışıma spektrumunda maksimum ışıma gücünün yarıya düştüğü yönler arasındaki açıdır.

2.1.4. Verimlilik

Anten verimliliği, ışıma verimliliği (radiation efficiency) olarak da bilinir, antenin yaydığı ışıma gücünün antene uygulanan elektriksel güce oranıdır

2.1.5. Kutuplanma

Antenin kutuplanması, antenden ışıyan elektrik alanı vektörünün tipine göre adlandırılır.

2.1.6. Empedans

Antenin giriş empedansı (input impedance), antenin besleme uçlarındaki gerilimin akıma oranıdır ($Z_A = V_A / I_A$). Anten direnci üzerindeki kayıpları minimuma indirmek ve böylece anten verimliliğini arttırabilmek için, anteni besleyen iletim hattının karakteristik empedansının anten empedansının karşılığı olarak seçilmesi gerekir ($Z_{\text{hat}} = Z_A$). Bu işleme empedans eşleştirme (impedance matching) denir.

2.1.7. Band genişliği

Antenin band genişliği, antenin önemli performans parametreleri'nin kabul edilebilir sınırlar içinde kaldığı frekans aralığıdır.

2.1.8. Kazanç (G)

Anten kazancı, antenin verimliliği (e_r) ile yönlülüğün (D) çarpımına eşittir. Kayıpsız bir antenin kazancı antenin yönlülüğüyle doğru orantılıdır. Anten kazancı, yaygın olarak dB (desibel) türünden (ya da izotropik antene göre olduğunu belirtmek için dBi türünden) verilir. Anten kazancı, antene uygulanan güce göre daha büyük bir çıkış gücünün elde edilmesini sağlamaz, anten çıkış gücünün belirli bir yöne doğru yönlendirilmesidir. Yani, ışınma gücü bazı yönlere doğru azaltılırken bir yöne doğru artırılmış olur.

Anten kazancı ile ilgili diğer bir kavram da antenin etkin alanıdır (effective area of an antenna). Antenin etkin alanı (A_e), antenin fiziksel boyutları ve şekli ile ilgilidir ve aşağıdaki formülden hesaplanır. [5]

$$G = \frac{4\pi \times A_e}{\lambda^2} = \frac{4\pi \times A_e \times f}{c^2} \quad (2.1)$$

G : Anten kazancı

A_e : Etkin alan

f : Taşıyıcı frekans

C : Işık hızı (3×10^8 m/s)

λ : Taşıyıcı dalga boyu

2.2. Anten türleri

2.2.1. Tel antenler

- Kısa Dipol Anteni
- Dipol Anteni
- Yarım Dalga Dipol

2.2.2. Yürüyen dalga antenler

- Helisel Antenler
- Yagi-Uda Antenleri
- Spiral Antenler

2.2.3. Reflektör antenler

- Köşe reflektörü,
- Parabolik Reflektör (Bulaşık Anteni)

2.2.4. Mikroşerit antenler

- Dikdörtgen Mikroşerit (Yama) Antenler
- Düzlemsel Ters-F Antenler (PIFA)

2.2.5. Log-periyodik antenler

- Papyonlu Antenler
- Log-Periyodik Antenler
- Log-Periyodik Dipol Dizisi

2.2.6. Diyafram antenler

- Yuvası Anteni
- Kavite Destekli Slot Anteni

2.2.7. Ters-f anten

- Oluklu dalga kılavuzu anten
- Boynuz Anteni

2.2.8. Diğer Antenler

- NFC Antenleri
- Fraktal Antenler [6]

BÖLÜM 3.

DÜZLEMSEL TERS - F ANTEN (PIFA)

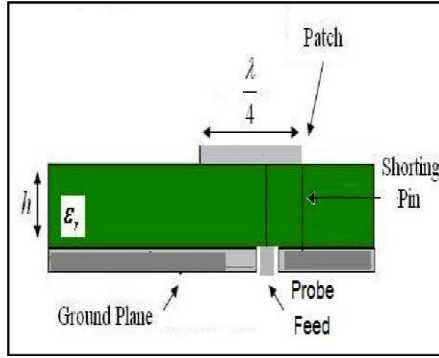
3.1. PIFA anten tanımı

1887 yılında Henry hertz elektromanyetik dalgalar ile kablosuz iletişim sistemi geliştirdi. Günümüzde kablosuz iletişim sistemleri çok hızlı ilerledi ve bilim insanları düşük profilli antenlere odaklandı. Bunun sonucunda her geçen gün anten boyutları giderek küçülmeye başladı. Günümüz teknolojisinde küçük boyutlu antenler ciddi bir ihtiyaçtır. Düzlemsel ters antenler ise yama antenlerinden geliştirildi. Yama antenine kısa devre pini eklenerek PIFA anteni oluşturuldu. Bu eklenen pin paralel endüktif bir empedans gibi davranır ve PIFA çeyrek dalga boyunda rezonans gösterdiği için diğer antenlere göre daha az yer kaplamaktadır. PIFA antenler yatayda ve dikeyde yüksek kazanç sağlar. Zemin düzleminin boyutları band genişliği tasarımında önemli bir rol oynar. PIFA antenlerde verimlilik yüksektir kayıplar azdır. PIFA düşük geri radyasyona sahiptir ve dolayısıyla elektromanyetik dalga emilimini en aza indirir.

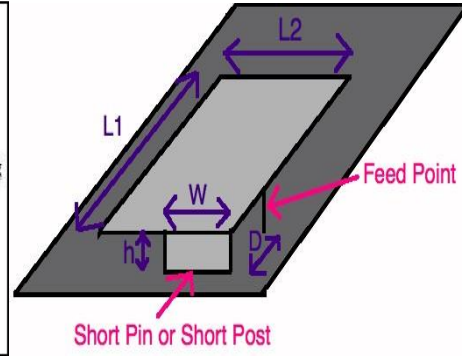
3.2. PIFA anten yapısı

PIFA antenler kompakt boyutundan dolayı mobil ve benzeri çeşitli uygulamalar için kullanışlıdır. PIFA, piyasadaki antenlerden biridir. PIFA, bir ters F'ye benzeyen yan yapının görünüşü ile isimlendirilmiştir. PIFA'nın çalışma uzunluğu, çalışma dalgaboyunun (λ) çeyreğidir. Ayrıca yapı, modül içindeki hassasiyeti azaltan bir metal zemin plakası içerir. PIFA sadece istenen iletme sahip metal iletken ve zemin plakasına kısa pozisyona ihtiyaç duyar, dolayısıyla imalat maliyeti daha düşüktür. Metal iletken tabakaya benziyorsa antenin görünümünü, gizleme tasarımına ulaşmak için yüzeye monte cihaz (SMD) elemanları kullanılabilir.

PIFA'nın empedansı, beslemenin mesafesiyle kısa devre pini (D) arasına kontrol edilebilir. Besleme kısa devre pinine ne kadar yakınsa, empedans azalır; empedans, kısa kenardan uzaklaşarak artırılabilir. PIFA, bu parametre ile ayarlanmış bir empedansa sahip olabilir. [7]



Şekil 3.1. Düzlemsel ters -f anten



Şekil 3.2. Kısa devre pinine sahip PIFA

3.3. PIFA anten geometrisi

Günümüz mobil teknolojilerine uygun antenlerin giderek küçülüp minyatürleşmesi gerekmektedir. Boyutlarını ve ağırlıklarını olabildiğince azaltmamız gerekmektedir. Maliyeti düşürüp yüksek kazanç elde edilmesi açısından PIFA antenler oldukça uygundur. Çift band için empedans band genişliği uygun olmalıdır. Entegre olmayan dahili antenler günümüz teknolojisinde giderek yaygınlaşmaktadır. Düzlemsel ters-f antenler (PIFA) en çok mobil cihazlarda yaygın olarak kullanılan antenlerdir.

Aşağıdaki formüllerde antenimizin rezonans frekansını belirleyen parametreler yama levha uzunluğu ve genişliğine bağlı olmakla birlikte diğer parametrelerde mevcuttur.

$$F_r = \frac{C}{4 \times (L + W)} \quad (3.1)$$

$$L = \frac{1}{4} \times \frac{C}{f \times \sqrt{\epsilon_r}} \quad (3.2)$$

$$W = \frac{C}{4 \times f} \times \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r + 1}} \quad (3.3)$$

C: Işık hızı (3×10^8 m/s)

W: Genişlik

L: Uzunluk

F_r : Rezonans frekansı

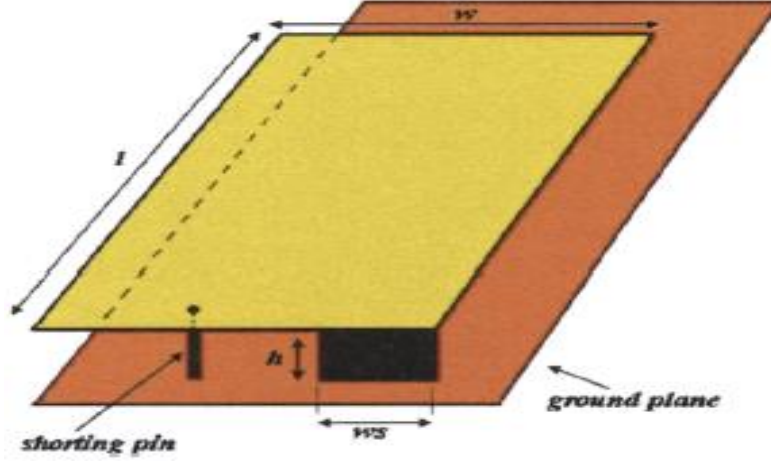
ϵ_r : Dielektrik sabiti

3.4. PIFA antenin fiziksel parametreleri

PIFA antenin fiziksel parametrelerinden kısa devre levha, zemin boyutunu değiştirerek rezonans frekansı, band genişliği ve geri dönüş kaybını en optimal seviyeye getirilebilir.

3.4.1. Dielektrik malzeme

İyi anten performansı yakalamak için, genelde düşük dielektrik sabitine sahip olan kalın dielektrik zemini tercih edilmelidir. Bu daha çok verimlilikle birlikte, daha büyük band genişliği ve daha güzel ışıma sağlayacaktır. Yüksek frekanslarda entegre devrelerle birleştirilme kolaylığı sağlamak amacıyla FR-4 malzeme kullanılır. Bundan dolayı malzemeye özgü bağıl dielektrik sabiti $\epsilon_r = 4.4$ kullanılmıştır. [8]



Şekil 3.3. PIFA antenin geometrisi

3.4.2 Farklı kısa devre levha genişliği

Şekil 3.3 'de ki örnek bir PIFA antenin tasarım parametrelerini optimize etmek için gerçekleştirilen ve benzetilmiş geri dönüş kaybı, band genişliği, empedans ve VSWR PIFA'nın bazı özellikleri açıklanmış ve antenin parametrik çalışması yapılmıştır.

Örnek PIFA anteninde kısa devre levhanın genişliği değiştirildiğinde frekans, band genişliği ve geri dönüş kaybının nasıl değiştiği gözlemlenmiştir.

70x30 mm zemin düzlem üzerine boyutları 23.4 x9 mm kesiti 0.25mm olan bakır yama levha ve koaksiyel besleme 50 ohm empedans ve yarıçapı 0.5 mm ile kısa devre levha yüksekliği sabit tutularak h=6mm ve ws ise 1.5mm ile 9mm arasında değiştirdiğimiz de rezonans frekansı artmıştır. Geri dönüş kaybı ise -10db altına inmiştir. Optimal değerler gelmiştir. [9]

3.4.3. Farklı kısa devre levha yüksekliği

PIFA antenin kısa devre levha yüksekliğini değişimi istenen değerlerin hangi yönde değiştiğini ve optimal seviyeye geldiği gözlemlenmiştir.

PIFA antenin kısa devre levha genişliği sabit tutuldu ama anten yüksekliği olan h yani kısa devre uzunluğu 2mm ile 10mm arasında değiştirildi. 6mm den 8mm çıkarılan yükseklik antende rezonans frekansını azaltmıştır. Buna karşın band genişliği artmıştır. Geri dönüş kaybı -20 dB den -27 dB çıkmıştır. Anten yüksekliği 6 mm'nin üzerinde olduğu zaman iyi bir empedans değeri elde edildi. Çünkü yükseklik(h) ne kadar küçük değerlerde ise yama ya çok daha yakın olacaktır. Buda yıkıcı etkilere neden olur anten ile yer düzlemi arasında kötü bir empedans uyumu oluşturur.

3.4.4. Farklı zemin düzlem boyutları

Şekil 3.3 'deki örnek PIFA antenin zemin düzlem ebatlarını küçülterek simülasyon sonucunda rezonans frekansı üzerindeki etki gözlemlenmiştir.

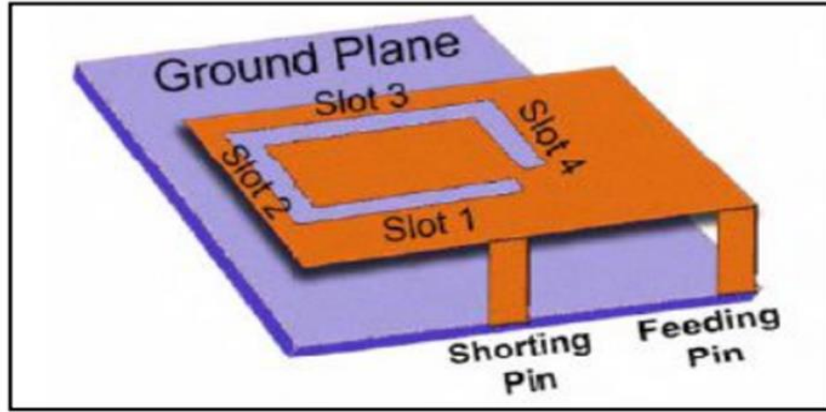
Antenin zemin boyutları 70x30 mm olarak belirlenmişti. 60x20mm küçültmeye gidilmiştir. Buna karşılık rezonans frekansımız artmıştır. Sonuç olarak anten boyutunun minyatürleşmesi rezonans frekansını artırmaya yönelik bir parametre değişikliğidir. Zemin boyutlarını değiştirmek frekans yanı sıra band genişliğinin de etkilendiği sonucuna varılmıştır.[9]

3.5 Geliştirilebilir PIFA anten tasarımları

PIFA anten gelecekteki haberleşme teknolojilerinde sıklıkla kullanılacak olması daha gelişmiş ve üstün özelliklere sahip olması için çeşitli yapılandırmalar gerekmektedir. Antenin zemin düzlemi veya yama, kısa devre pinin boyutlarının değişimi bazen yeterlilik sağlamayabiliyor. Ondan dolayı antene çeşitli yama eklentisi veya yamaya değişik yarık açma gibi yöntemler kullanılır. Buda PIFA antenin çoklu band yakalamasını rezonans frekansın daha yüksek ve istenen seviyelere ulaşmasını mümkün kılıyor.

3.5.1. Yarıklı yama PIFA tasarımı

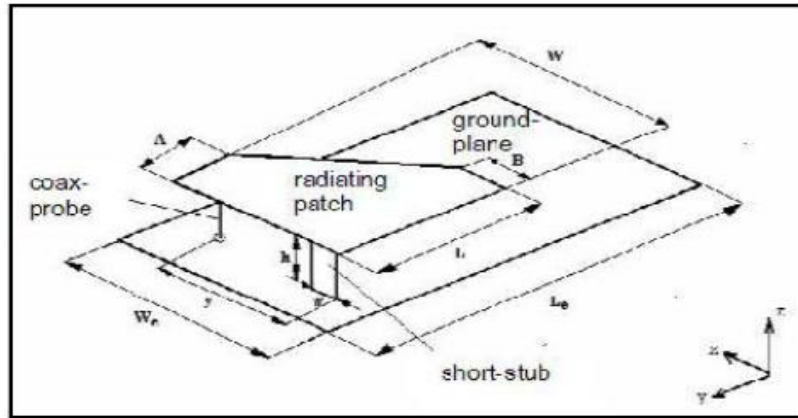
Wimax uygulamaları için çoklu band PIFA anteni tasarlanmıştır. Bu tasarımda yayıcı yamaya 4 tane yarık eklenmiştir. Üç band elde edilmiştir, bunların frekansı 2.6 GHz 3.6 GHz, 5.6 GHz dir. 4.cü yarığın eklenmesi sonucunda daha düşük bir rezonans frekansı elde edilmiştir. 3.cü yarık diğer iki yarıktan genişlik olarak büyüktür. Daha iyi bir band genişliği elde edilir.



Şekil 3.4. PIFAnın üstten görünümü ve yamanın üzerine 4 tane yarık eklenmesi

3.5.2. Konik t-PIFA tasarımı

Telefon ahizeleri için tasarlanan bir konik t PIFA antenidir. Konik bir yamadan oluşur. Konik bir üst plaka eklenmiştir. Bu tasarımlar wlan bandı içindir. Zeland yazılımı bu anten tasarımında kullanılmıştır. Bu anten tipi klasik PIFA anteninden rezonansa bağlı olarak frekansı ve boyutları ters orantılıdır. T-PIFA normal PIFA ile karşılaştırıldığında özgül emilim oranı daha yüksektir. Yüksek performans ve geniş band özellikleri gösterir. T-PIFA 1.8 ve 5.2 GHz band arasında işlevi vardır.

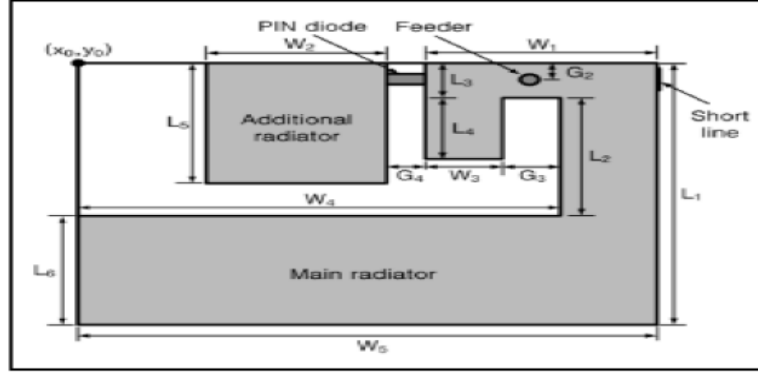


Şekil 3.5. T-PIFA geometry

3.5.3. Yapılandırılabilir PIFA tasarımı

Taşınabilir uygulamalar (handheld) için PIFA tasarımında değişken pin-diyot ve varaktör kullanılmıştır. Anten tasarımda USPCS (1.85 - 1.99GHz), WCDMA (1.92-2.18 GHz) ve WLAN (5.15-5.825 GHz) bu frekanslar kullanılmıştır. Bu anten PIFA olmasına rağmen multiband ve küçük boyut avantajı sunar ama dar band genişliğine sahiptir.

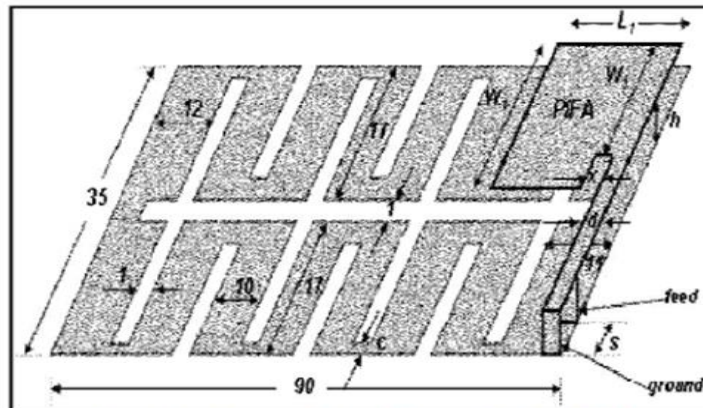
Bu sorunun üstesinden gelmek için yeniden yapılandırılabilir anten tasarlanmıştır. Anten sadece küçük boyut sağlar ancak daha geniş band genişliği sunar. Varaktörün kapasitesiyle oynayarak ayarı hasas frekanslara ulaşılır. Pin diyodun açık veya kapalı durumlarına göre farklı frekans bandlarında çalışmasını sağlar. Kapalı iken USPCS ve WLAN batlarında çalışır. Açıkken de WiMAX ve USPCS bandlarında çalışır. Gelecekteki cep telefonları için bu anten tasarımı kullanılacaktır.



Şekil 3.6. Yapılandırılabilir PIFA tasarımı

3.5.4. Toprak düzlemlı PIFA tasarımı

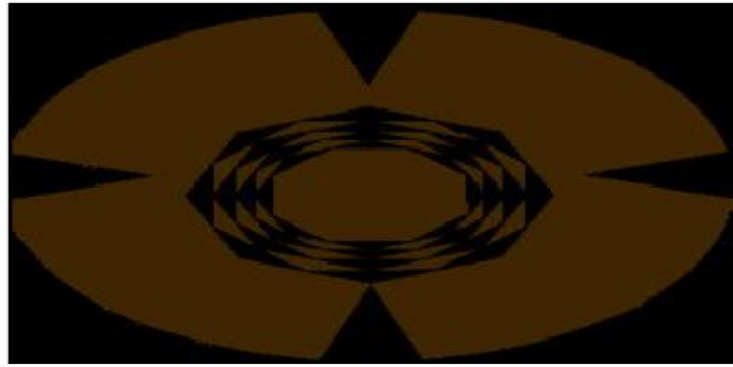
PIFA'nın bu tasarımında zemin düzlemine dar yarıklık dahil edilmiştir. Zemin desen geometrisi bir kıvrımlı hatta benzemektedir. Bu kıvrımlı hat bir dalga yapısı olarak düşünülebilir. Zemin düzleminden daha uzun olmasına rağmen fiziksel boyut değişmez. Bu teknik antenin band genişliğini sabit tutarken yüksekliğini %50 azaltır. Bu sistem bileşenleri sadece metalik kısma yerleştirilerek zemin düzlem ile pin arasında bağlantı sağlar.



Şekil 3.7. Toprak düzleminde PIFA

3.5.5. Fraktal dairesel PIFA tasarımı

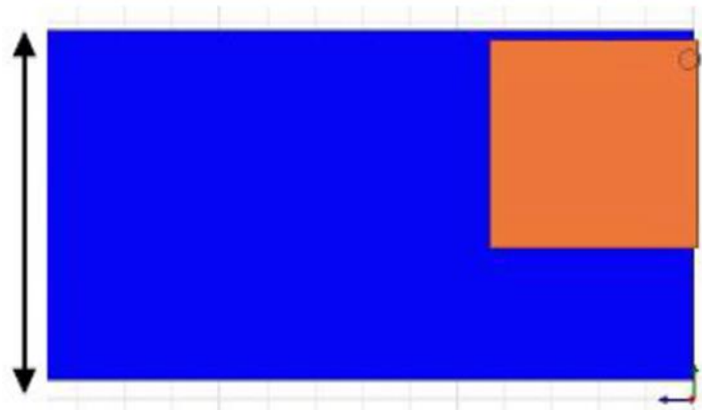
Bu tasarımda PIFAnın yama kısmına fraktal bir geometri tasarlanmıştır. Yama üzerindeki fraktal geometriler gelişmiş band genişliği ve verimlilik sağlar. Bu anten ile iyi bir empedans kazancı elde edilir. Mobil cihazlarda en çok bu PIFA anten çeşidi kullanılır. Çünkü çeyrek dalga boyunda rezonans sağladığından mobil telefonlarda daha az yer işgal edilir. Klasik PIFA dezavantajı dar band genişliği ve multiband özelliklerini gösterdiğinden üstesinden gelmek için fraktal PIFA tasarlanmıştır. Bu yüzden fraktal PIFA iyi verimlilik ve kazanç sağlar. Kazanç ve verimlilik yarıklı yamalar kullanılarak daha da artırılabilir. Fraktal PIFA daha geniş band sağlar. çoklu frekans kullanılır. Örneğin 2.3GHz, 2.6GHz, 3.7GHz, 4.5GHz ve 5.9 GHz olabilir



Şekil 3.8. Fraktal dairesel PIFA

3.5.6. Kare yamalı PIFA tasarımı

Mobil cihazlar için tasarlanan antende kâğıt kare yama kullanılmıştır. Kare bir yama, kısa devre pimi, zemin düzlem ve besleme kablosundan oluşur. Bu anten PCS-1900 bandları ve DCS-1800 ü kapatabilir. Klasik PIFA ile karşılaştırıldığında bu antende kare yama vardır ve bu sayede anten hacmi azalır. [10]



Şekil 3.9. Kare yamalı PIFA tasarımı

BÖLÜM 4.

5G ANTEN TEKNOLOJİSİ

4.1. 5G nedir

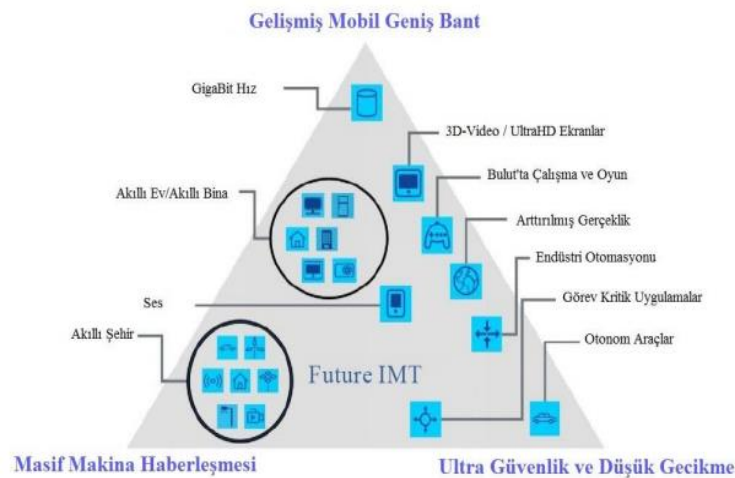
5G, mobil telefonların kullandığı hücresel ağlarda bulunan teknolojik alt yapının yeni kurallar ile yeniden yapılandırılmasıdır. Bu çerçevede radyo frekansları, işlemciler ve antenlerin kullanılma şeklinde yapılan değişiklikler ve kapasite yükselticiler ile yeni eklemelerdir.

Günümüzde 5G “Gelişmiş Mobil Geniş Band” olarak tanımlanıyor. Bu sayede çok büyük boyutlu veriler, özellikle yüksek çözünürlüklü ve 3 boyutlu videolar çok daha fazla insana yüksek hızlarda aktarılacaktır.

4.2. 5G teknolojinin avantajları

İletişim ve gecikme alanlarındaki bu hızların başta sanal gerçeklik uygulamaları olmak üzere pek alanda devrim niteliğinde gelişmelere kapı açması bekleniyor. Cihazların hafiflemesi, daha serbest ve mobil hale gelmesiyle sanal gerçeklik ve artırılmış gerçeklik uygulamalarının günlük hayatın bir parçası haline gelebileceği öngörülmüyor.

Örneğin, bir futbol maçını stadyumda izlerken sahaya telefonunuzun kamerası ve artırılmış gerçeklik gözlüğü ile baktığımızda oyuna ve oyunculara ilişkin görmek istediğimiz her bilgiyi gecikme ve bekleme yaşamaksızın anında görülebilecektir.



Şekil 4.1. 5G teknolojinin gelecek piramidi[11]

4.3. 5G teknolojisinin dezavantajları

5G hizmeti 2020 ila 2022 yılları arasında kullanmaya başlayabileceğiz ve bu teknolojinin de her teknoloji gibi bazı riskleri bulunuyor.

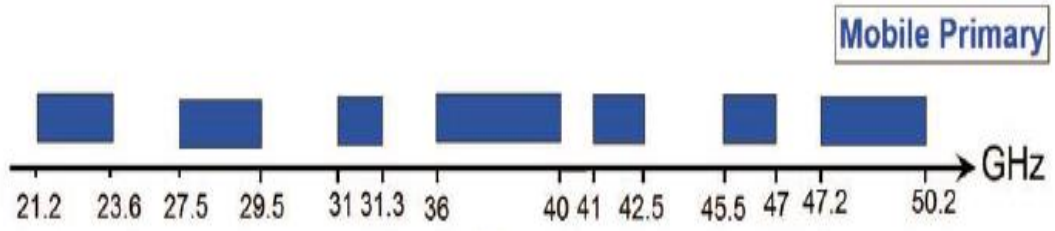
5G yüzbinlerce yeni anten ve baz istasyonu kurulmasını gerektirecektir. Buda yayılacak elektromanyetik dalgaların insan sağlığı üzerinde uzun vadeli etkilerinden endişe duyulmaktadır. Bunun yanında 5G bir önceki 4G'ye kıyasla daha yüksek güvenlik riskleri içeriyor çünkü daha fazla arka kapı uygulaması ve açıkların mevcut olması bekleniyor.[11]

4.4. 5G anten gelişimi ve tasarımı

Kablosuz haberleşme teknolojilerinin gelişmesiyle de kullanıcılar tarafından beklenen yüksek hız ve daha geniş kullanım alanları beraberlerinde geniş bir haberleşme bandı ihtiyacı doğurmaktadır. Bununla birlikte, kablosuz cihazların aynı anda ve hareketli ortamlarda kullanılmasının tercih edilmesi, taşınabilir boyutlarda tasarlanmaları ve uzun süre dayanacak güç kaynaklarına ihtiyaç duyulmuştur. Bu sebeple cihazlarda kullanılan elemanlarında düşük güç tüketimine sahip, küçük boyutlu ve yüksek band ihtiyacını karşılayabilecek özelliklerde olmaları arzu edilmektedir. Daha hızlı ve daha kaliteli haberleşme için büyük band genişliğine daima ihtiyaç duyulmaktadır. Bluetooth, GPS, doğrudan sayısal yayın, uydu haberleşmesi gibi kablosuz haberleşme uygulamalarında ve akıllı telefonlar gibi birden fazla frekansta çalışan cihazların üretilmesi ile tüm bu çalışma frekanslarını içine alacak büyük veri oranlarının sorunsuz iletilebilmesi gibi uygulamalarda geniş band kapasiteli antenlere ihtiyaç vardır. Kullanıcı sayısının artışı, cihazlarda ve yeni geliştirilen teknolojilerde istenilen düşük güç tüketimi ve iletim mesafesinin artması da geniş band ihtiyacını doğrudan etkileyen faktörler arasındadır. Ek olarak, modern kablosuz el cihazları, hücresele ses ve veri, Wi-Fi ve GPS gibi sistemlerin sorunsuz haberleşme ihtiyaçlarına cevap vermek amacıyla, çoğu kez çoklu bandlar üzerinden üç ya da daha fazla antenin işbirliği içerisinde çalışması ve dolayısıyla band genişliklerinin büyük olması beklenir. Ayrıca yüksek veri oranına sahip 5G teknolojisinin gelişimi ve uygulama tabanlı kullanımlarının artışıyla, çoklu hava kanalları üzerinden yapılan kablosuz haberleşmelerinde tasarımı yapılan mobil cihazların RF mimarisinde, geniş banda ihtiyaç duyulmaktadır. Dolayısıyla kablosuz ve geniş banda ihtiyaç duyan bu tür cihazların üretimlerinin hız kazanmasıyla tasarlanacak antenlerin de bu ihtiyaçlara cevap verebilecek yeterlilikte olmaları gerekmektedir.

5G anten tasarımında kullanılacak yöntemler ise en uygun özelliklere sahip dielektrik malzeme kullanımı, besleme yönteminin belirlenmesi, yama şeklinin belirlenmesi, toprak düzlemi boyutlarının belirlenmesi, yama üzerine yarık açma, kısa devre pini ilavesi ya da birden fazla yöntemin aynı anda kullanılmasıdır. Temelde hedef; elektriksel uzunluğu arttırmak, yüzey akımının takip ettiği yolu uzatmak ve birden fazla rezonans frekansının oluşmasını sağlayarak band genişliğini arttırmaktır. Bu tür yöntemler üretim aşamasını zorlaştırırsa da, ya da tasarımı karmaşık hale getirirse de, 5G haberleşme uygulamalarında ihtiyaç duyulan geniş band ihtiyacını karşılamak üzere göz ardı edilmemelidir. Bazı durumlarda tek bir band genişliğini arttırma yöntemi, arzu edilen performansı sağlayamamaktadır. [12]

4.5. 5G için kullanılan bandlar



Şekil 4.2. 5G için kullanılacak 20-50 GHz frekans bandları [13]

Dünya genelinde 5G ye geçen ülkelerde farklı band aralığında frekans tahsis edilmiştir. Yapılan araştırmalarda ve ITU ya sunulan raporlarda Amerika 27.5-28.35 GHz'i kullanırken, diğer ülkeler 26.5-29.5 GHz'i kullanmaktadırlar. Buna karşın Avrupa 24.5-27.5 GHz'i ilk 5G frekansı olarak tahsis edilmiştir.

Uluslararası Telekomünikasyon Birliğinin (ITU)'ya sunulan raporlarda 2019 yılı içerisinde Türkiye kısa vadede 24.25 – 27.5 GHz frekans bandını, orta vadede 40.5 – 43.5 GHz ve 66 – 71 GHz bandlarını kullanmayı öngörüyor.[14]

BÖLÜM 5.

5G PIFA ANTEN TASARIMI

Giriş

Bu kısımda hücreli telefon sistemleri için çift bandlı düzlemsel ters F anten (PIFA) tasarımını ve simülasyonunu inceleyeceğiz. Bu PIFA antenimiz zemin düzlem alttaşı, üzerine bir yama parçası, kısa devre pini ve koaksiyel beslemeden oluşur. Öncelikle antenimizi CST Microwave studio suite programında tasarlamaya çalıştık. Elde edilen simülasyon sonuçlarına göre rezonans frekansı, geri dönüş kaybı ve kazancı tartışıldı.

Önerilen anten çalışma frekansı, milimetre dalga bandı ve 5G teknolojileri için aday bir standart olan 28 ve 32 GHz'dir. Önerilen anten, iki farklı zemin malzeme kullanılmıştır. ve simülasyonu yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar optimum bir tasarım elde edilene kadar karşılaştırmış ve test edilmiştir. Önerilen antenin boyutları, parametrik optimizasyon tekniği kullanılarak en küçük boyutu yüksek verimlilikle elde etmek için ayrı zamanlarda iyileştirilmiştir. Geri dönüş kaybı, duran dalga oranı, üç boyutlu kutupsal ışıma diyagramı ve rezonans frekansı elde edilmiştir. Benzetim sonuçları, önerilen tasarımın 28 ve 32 GHz ler de iyi ışıma özelliklerine sahip olduğunu göstermiştir. Önerilen tasarım, gelecek 5G cihazlarında kullanılabilir.

5.1. 5G PIFA antenin fiziksel parametreleri

Antenin fiziksel parametreleri olan zemin, yama ve alttaşı boyutları hesaplanmıştır. Dielektrik malzeme olarak kolay bulunabilen ve ucuz bir malzeme olması nedeni ile FR4 tercih edildi. Anten beslemesi için koaksiyel kablunun etrafına teflon kaplanmıştır ve en dışa bakır kaplama yapılmıştır. Antenin 20 - 40 GHz aralığında iyi bir geri dönüş kaybı yakalamış, çoklu bandlarda çalışan anten tasarlanmış ve 5G teknolojilerinde çalışabilen bir PIFA anten elde edilmiştir.

5.1.1. Zemin boyutu ve yama boyutunun hesaplanması

Yama uzunluğu çalışmak istenilen frekansın dalga boyunun $\lambda/4$ boyutunda olmalıdır. Frekans ile dalga boyu ters orantılı olduğu için frekans ile yama boyutu ters orantılıdır. Alttaşı olarak ise dielektrik sabiti $\epsilon_r = 4.4$ olan FR4 malzeme kullanılmıştır. Sebebi ise (3.4.1) de ki açıklamada anlatıldığı gibi yüksek frekanslarda entegre devrelerle birleştirilme kolaylığı sağlamak amacıyla FR-4 malzeme kullanıldı.

$$C = \lambda \times f \quad (5.1)$$

$$f = \frac{C_0}{\lambda \times \sqrt{\epsilon_r}} \quad (5.2)$$

C_0 : Işık hızı (3×10^8 m/s)

W_p : Yama Genişliği

L_p : Yama Uzunluğu

ϵ_r : Dielektrik sabiti

F_r : Rezonans frekansı

W_s : Kısa devre pinin genişliği

t : Bakır plaka kesiti

$$\lambda = L_p + W_p - W_s \quad (5.3)$$

İlk olarak Anten-1'in çalışma frekansı 20 GHz olarak belirlendi. Değerleri formüle uygulanıp λ değeri hesaplanmıştır.

$$\lambda = \frac{C_0}{4 \times f \times \sqrt{\epsilon_r}} = \frac{3 \times 10^8}{4 \times 20 \times 10^9 \times \sqrt{4.4}} \quad (5.4)$$

$\lambda = 1.8 \times 10^{-3}$ m = 1.8 mm olarak hesaplanmıştır.

Öncelikle Eşitlik (5.3) temel alınarak hesaplanan değerler, üretilen model üzerinde yapılan optimizasyonlar ile $L_p = 1.4$ mm, $W_p = 1$ mm $W_s = 0.3$ mm olarak yama boyutlarını belirlendi.

W_g : Zemin düzlemin genişliği, L_g : Zemin düzlemin uzunluğu'dur

W_g : 2.3 mm, L_g : 3.5 mm olarak zemin düzlemin boyutları belirlenmiştir.

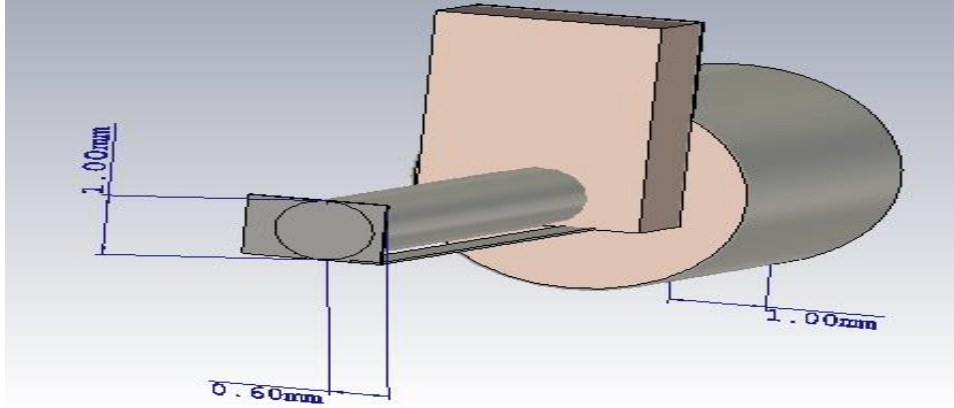
5.1.2. Dielektrik malzeme ve kısa devre pinin boyutlandırılması

Dielektrik malzeme olarak FR4 kullanılmıştır. Bu malzemenin dielektrik sabiti $\epsilon_r = 4.4$ 'dir. Dielektrik malzeme olarak kullanılan alüminyum yüksekliği ise ticari olarak temin edilebilen standart plaka kalınlıklarından biri olan $h_{sup} = 0.8$ mm olarak seçilmiştir. Bu değerler karşısında 20 ile 40 GHz seviyelerinde -10dB geri dönüş kaybının altına inmeye çalışıldı.

Kısa devre pinin genişliği Eşitlik (5.3) kullanılarak 0.3 mm olarak bulunmuştur. Kısa devre pininde bakır levha olarak belirlendi, uzunluğunu 5 mm genişliği ise 0.035 mm olacak şekilde belirlenmiştir.

5.1.3. Anten beslemesi

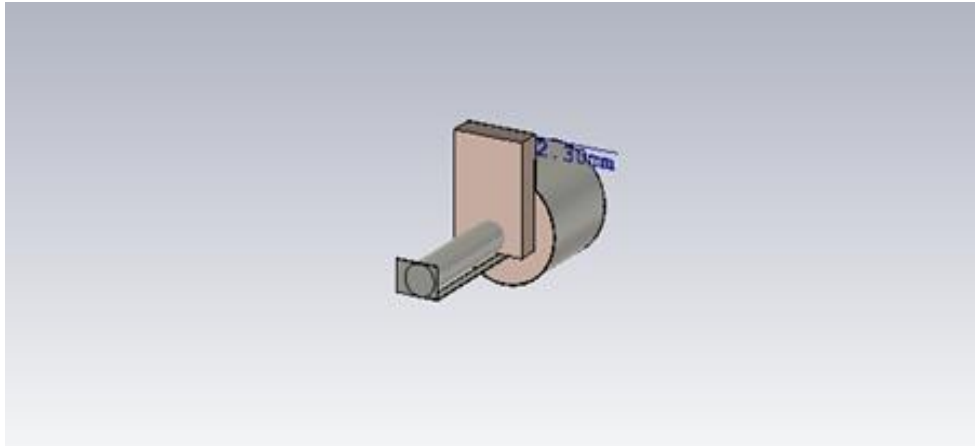
Anten-1 beslemesi için tasarım ve üretim kolaylığı nedeni ile koaksiyel hat besleme yöntemi seçilmiştir. Ancak burada besleme noktasının yeri son derece önemlidir. Besleme pinimizin merkezi antenimizin köşesinden 0.6 mm içeride ve 0.5 mm ilerisindedir. Çapı ise 1 mm'dir.



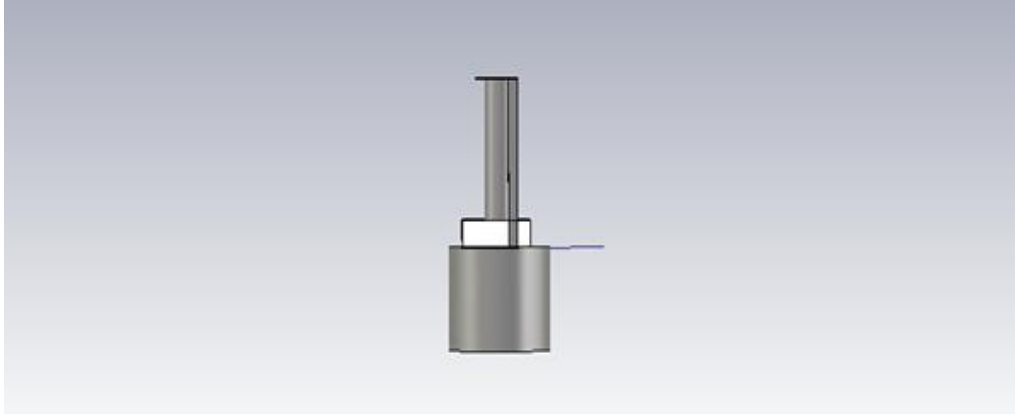
Şekil.5.1. Koaksiyel beslemenin boyutlandırılması

Anten-1 in koaksiyel beslemesi zemin düzlemin alt kısmı yarıçapı 1.7 mm olacak şekilde teflon malzeme ile kaplanmıştır. Onun üzeri de 0.035 mm bakır ile kaplanmıştır. Bu değerler standart bir SMA konnektör ile uyumlu olacak biçimde belirlenmiştir. Anten-1 in beslemesi en alttan verilip 20 ile 40 GHz arasında -10 dB altında bir rezonans frekansı elde edilmeye çalışılmıştır.

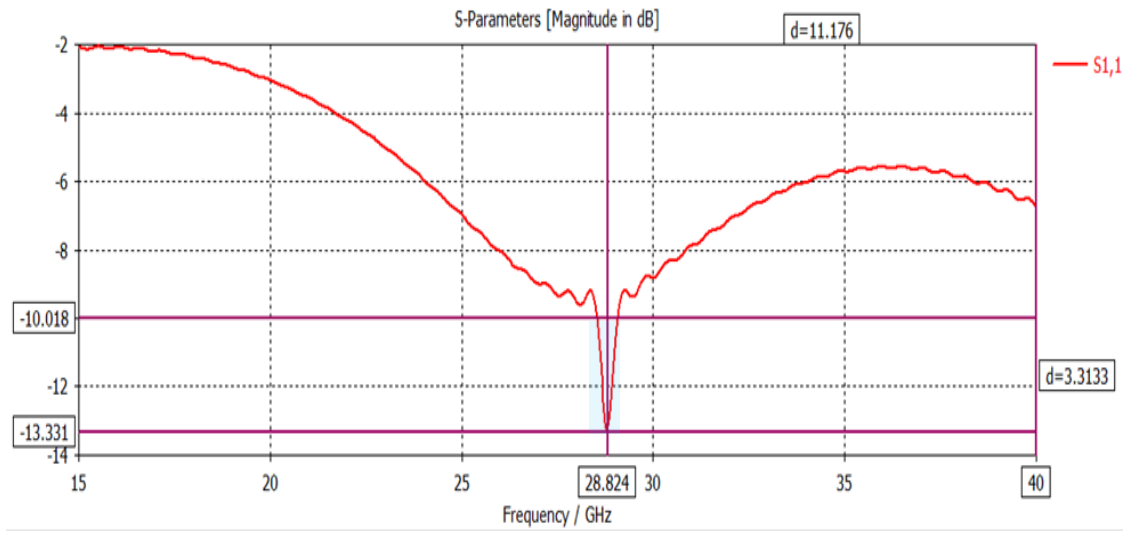
5.1.4 Analiz ve sonuçlar



Şekil.5.2. Antenin önden görünümü



Şekil 5.3. Antenin yandan görünümü



Şekil 5.4. Simülasyon sonucunda elde edilen antenin S11 parametresi

Şekil 5.4'deki sonuçlara göre,

Anten 1 tasarlandıktan sonra simülasyonunu yapılırken -10dB altına 28 GHz seviyelerine inilebilmiştir. Burada yakalanan pik sayesinde çalışabilecek tek bandlı bir rezonans frekansına sahip olundu. Anten 1 tasarlarken amacımız 5G band aralıklarında çalışabilen çoklu banda sahip ve 20 ile 40 GHz aralığında rezonans frekanslarını yakalayabilmektir. Yeterli iyileştirmeler sonucunda ikinci bir rezonans frekansı yakalamaya çalışılacaktır.

5.2. 5G PIFA antende iyileştirme ve geliştirme

Anten 1 in fiziksel parametrelerinden olan yama yeniden boyutlandırıldı ve yama yüksekliği değiştirildi. Tasarlanan antende yama kalınlığı 0.035mm'dir. Bu değer standart dielektrik malzemeler üzerindeki bakır kaplama kalınlığıdır. Tasarlanan antenin gerçekleştirilmesi için yama olarak alttaş için kullanılan tek yüzü bakır kaplı FR4 malzemenin bakır tarafı kullanılmış böylece hem ince bir anten yaması hem de mekanik destekte sağlanmıştır. Bu amaçla tasarlanan model için yamanın üzerine dielektrik malzeme yerleştirilmiştir. Bunun sonucunda daha iyi bir geri dönüş kaybı ve çoklu band elde edilmiştir. Bu sayede anten 5G teknolojsinin çalışma bölgelerine uyumlu hale getirilebilmiştir.

5.2.1. Yamanın yeniden boyutlandırılması

Anten 1 in önceki sonuçlarında görüldüğü üzere 28 GHz seviyelerinde bir rezonans frekansı yakalanmıştı ve 40 GHz ilerisinde iyileştirmelerle ikinci bir rezonans frekansı yakalanabilir. Öncelikle 20 ile 40 GHz arasında hesapladığımız rezonans frekansımız tekti. Yapılan iyileştirmelerle ikinci bir rezonans frekansı yakalamaya çalışıldı. Bu yüzden hesaplamalarla bulduğumuz yama boyutlarını büyüttüğümüzde ikinci bir rezonans frekansı 20 ile 40 GHz arasında gelebilir

Yama genişliği 1 mm den 2.3 mm ye çıkarıldı. Yama uzunluğu 1.4 mm den 2.5 mm ye çıkarıldı. Sonuç olarak simülasyon programının bize verdiği en optimal sonuçlar olarak gözlemlenmiştir.

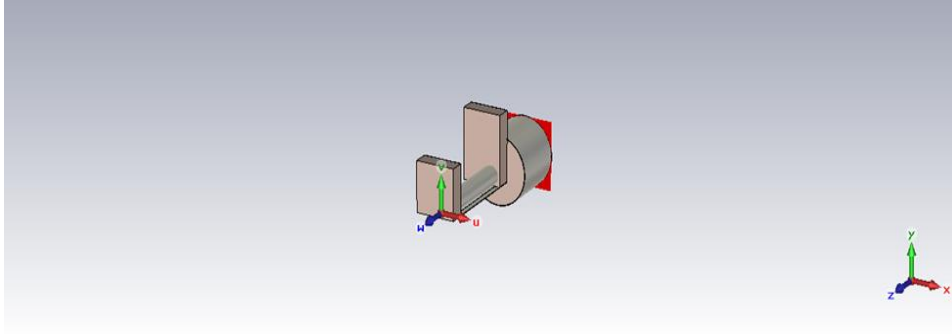
5.2.2. Yama yüksekliği hesaplanması

Yama ve alttaş arasındaki boşluk ayarlanarak besleme noktasının konumu, farklı yükseklik değerleri için, antene iyi bir empedans uyumu sağlanabilir. Anten 1 en uygun optimal yüksekliğin Eşitlik (5.2.2) sonucundan 4.23 mm civarında olduğu zaman iyi bir empedans değeri elde edilmiştir.

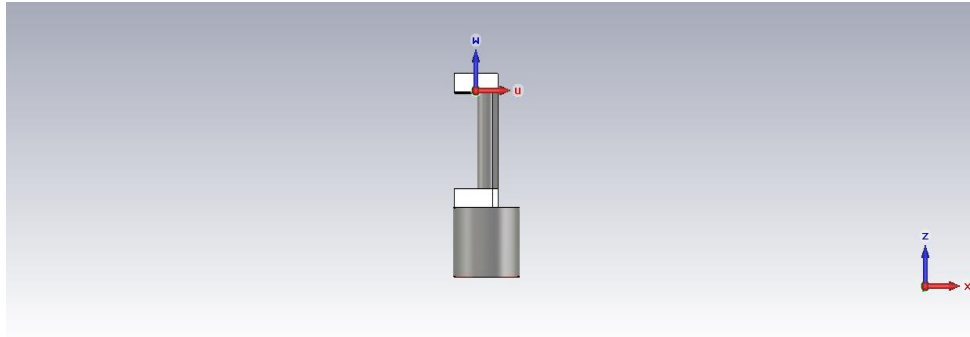
$$h_{yama} = 5 - h_{sub-2} \times t \quad (5.2.2)$$

Şeklinde formülize edilerek uygun bir h yüksekliği bulundu. Bu sonuçlar 4.23 mm yama ile alttaş arası uygun bir mesafe sağlamıştır. Yama zemine ne kadar yakın olursa empedans uyumu o kadar kötü olur. Rezonans frekansı ve geri dönüş kaybı değerimiz de istenilmeyen sonuçlar doğurabilir.

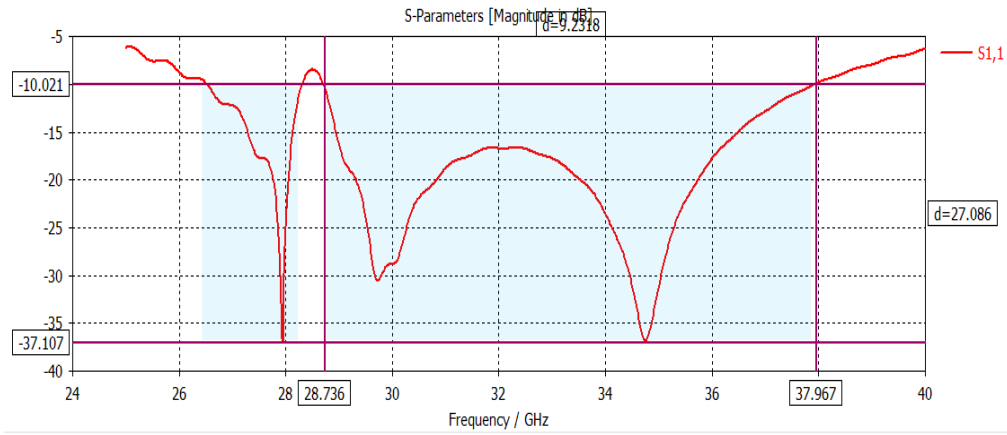
5.2.3. Analiz ve sonuçlar



Şekil 5.5. Geliştirilmiş antenin önden görünümü



Şekil 5.6. Geliştirilmiş antenin yandan görünümü



Şekil 5.7. Simülasyon sonucunda elde edilen antenin S1.1 parametresi

Şekil 5.7’de görüldüğü gibi ikinci bir rezonans frekansı antende iyileştirmeler ile yakalanmıştır. 5G teknolojisi için 20 ile 40 GHz aralıklarında çalışan çoklu bantta sahip bir anten 1 tasarlanmıştır. Fakat bu antenin yapım aşamasında fiziksel olarak olumsuz koşullar ortaya çıkacaktır. Kısa devre pin kalınlığı 0.035 mm olarak gerçek hayatta fiziksel olarak gerçekleşmesi bir hayli zordur. Bu durumlar için rezonans frekansı tekrardan incelenecektir.

BÖLÜM 6.

5G YARIKLI PIFA ANTEN TASARIMI

Giriş

Tasarlanan Anten-1'in frekanslarında çalışabilen fakat üretim aşaması daha kolay ve fiziksel olarak imalata uygun bir anten tasarlamak için yeniden geliştirmeler yapılacaktır. İlk tasarımda kısa devre pininin kalınlığı 0.035 mm olduğundan üretim aşamasında teknik problemler yaşanabileceğinden kısa devre pininin 0.035 mm'den 0.2 mm çıkarılması üzerine Anten-1'in çalışma frekansları olan 28 GHz ve 32 GHz frekanslarında çalışmamaktadır. İstenen bölgelerde tekrar bu frekans aralıklarında çalışabilen Anten-2 tasarlanıp belirli iyileştirmeler ve geliştirmeler denenecektir.

6.1. Kısa devre pinin yapılandırılması

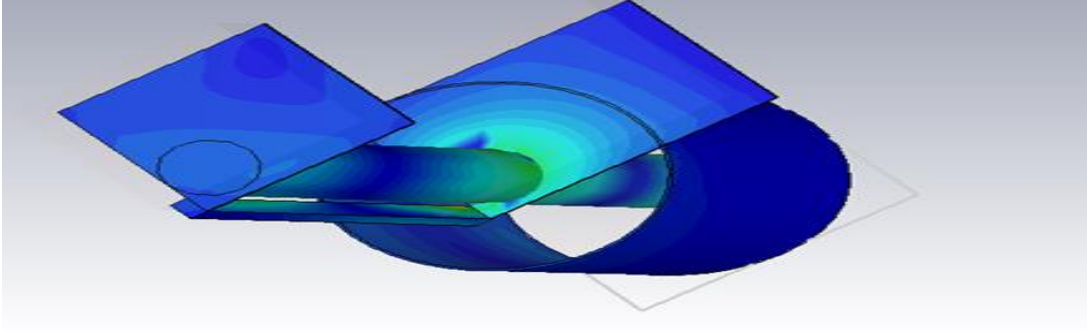
Kısa devre pini olarak kullanılan saf bakır sayesinde Anten-2 çalışma frekansı olan 28 GHz ve 32 GHz bölgesine az bir farkla yaklaşması sağlanmıştır ve kısa devre pininin genişliğini 0.2 mm ye çıkarılarak üretilebilir olması sağlandı fakat ilk tasarladığımız anten gibi 28 ve 32 GHz lerde çalışabilmesi için birkaç yöntem daha denendiğinde iyileştirme sağlanacaktır.

6.2. Yama yüksekliği hesaplanması

Daha önce tasarlanan anten 1 in $h_{yama} = 5 - h_{sup} - 2x_t$ formülünden bulduğumuz sonuç iyi bir geri dönüş kaybı ve istenilen rezonans frekansları sağlanmıştı. Buradan da yama yüksekliğini yaklaşık 4.3 mm olarak ayarlanmıştı. Bu formülden anten 2 nin yama yüksekliği 3.63 mm olarak hesaplanmıştır.

6.3. Yüzey akım diyagramı ve yamaya yarık açılması

Öncelikle yamaya açılacak yarıkları belirlemeden önce yama üzerinde oluşan yüzey akımları incelenerek yamaya açılacak yarıkların yerleri belirlendi.

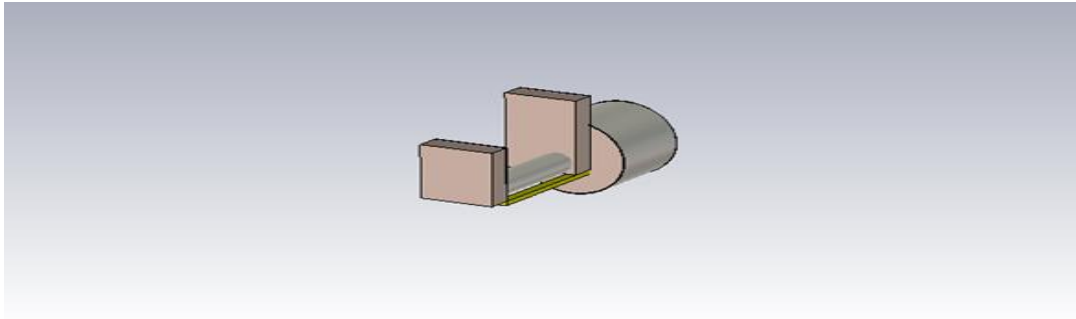


Şekil 6.1. Antenin yüzey akımları diyagramı

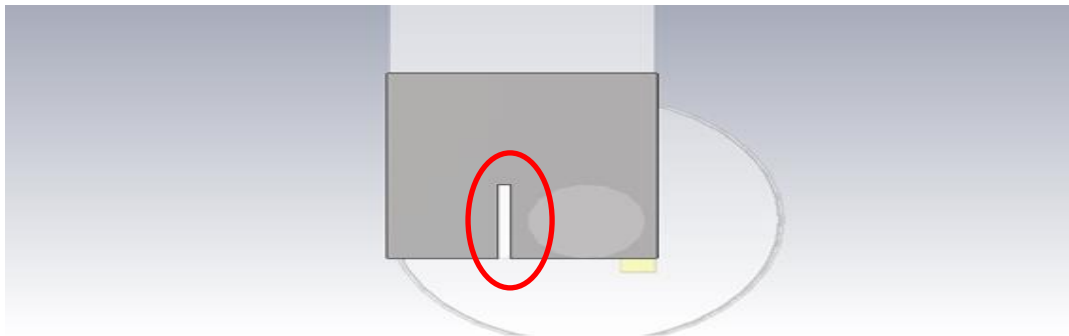
Yüzey akımları diyagramından Şekil 6.1’de görüleceği üzere yamadaki akımlar birbirlerine çok yakın ve yoğundur. Bu kısımlardan yarıklar açılırsa rezonans frekansı yükselecektir. Açık renkli kısımlardan yarık açılırsa frekans azalacaktır. Anten 2 de hedeflenen çalışma bölgemiz olan 28 GHz ve 32 GHz çalışma frekansları yakalanacaktır.

Yüzey akımları diyagramına bakınca tek bir yarığın açılmasını uygun görülmüştür. Yüzey akımlarının azaldığı tek yer koaksiyel beslemenin etrafı olduğu görülmüştür. Açılan yarık koaksiyel beslemenin yanında 0.1 mm uzaklığında, 0.1 mm genişliğinde ve 1 mm uzunluğunda yarık açıldı.

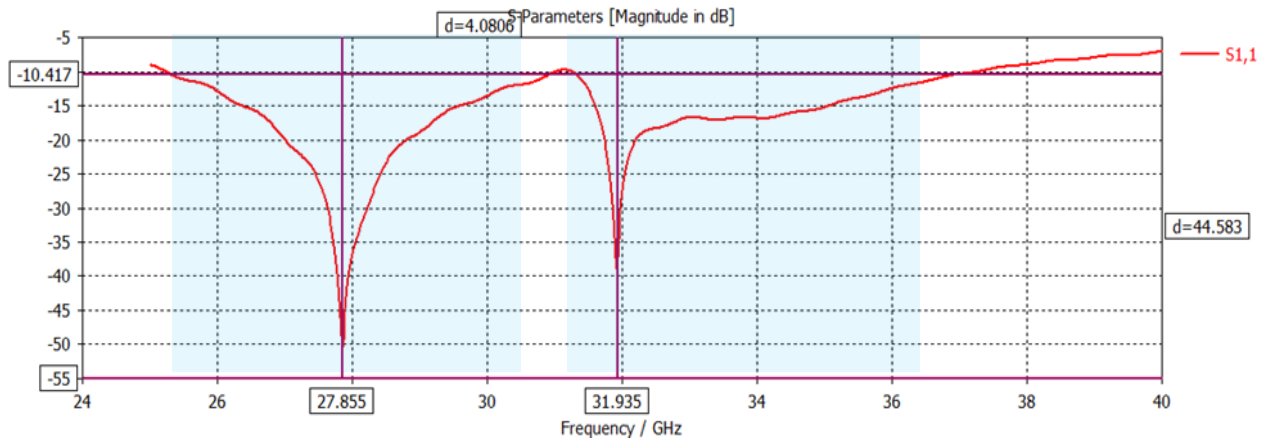
6.4. Analiz ve sonuçlar



Şekil 6.2. Yarıklı antenin önden görüntüsü



Şekil 6.3. Yarıklı antenin önden görüntüsü



Şekil 6.4. Simülasyon sonucunda antenin S1.1 parametresi

28 GHz ve 32 GHz frekanslarında çalışabilen çift band bir anten tasarlandı. Tasarlanan ilk antene göre üretilmesi daha kolay olacaktır. GSM sistemler için 5G frekanslarında çalışacak olan antenimiz oldukça minyatürleşmiştir. Buda geleceğin 5G mobil GSM teknolojilerinde PIFA antenlerin oldukça önemli bir yer edinmesini sağlayacaktır.

6.5. Üretilbilirlik ve maliyet analizi

PIFA antenler, belirli bir dielektrik sabitine sahip alttaş malzemesi, iletken yama ve toprak düzleminden oluşur. Alttaş ve toprak düzlemine kıyasla yamanın boyutları küçüktür. PIFA antenin boyutları, kullanılan malzemenin dielektrik sabiti ve hedeflenen rezonans frekansına bağlıdır. Aşağıdaki tabloda tasarlanan Anten-1 ve Anten-2'ye ait tasarım parametreleri verilmiştir. Kolay imalatı ve yüksek performansı ile 5G teknolojilerinde kullanılabilecektir.

Tablo 6.1. Anten-1 ve Anten-2'nin fiziksel parametreleri

Parametreler	Anten1	Anten2
Wg	2.3 mm	2.3 mm
Lg	3.5 mm	3.5 mm
t	0.035 mm	0.035 mm
Hsup	0.8 mm	0.8 mm
Wp	2.3 mm	2.3 mm
Lp	2.5 mm	2.5 mm
Hair	4.23 mm	3.63 mm
Ws	0.3 mm	0.3 mm
tk	0.035 mm	0.2 mm

Tasarlanan antenlerimizde standart olarak temin edilebilen üretimi kolay malzemeler kullanılmıştır. Anten-2'de kullanılan kısa devre pini 0.2 mm olduğundan üretilmesi daha kolaydır.

Tablo 6.2. Antenin maliyet tablosu

FR4 plaka fiyatı (A4 boyutunda)	13.20 TL
0.2 mm bakır plaka kg fiyatı	45.6 TL
SMA konnektör fiyatı	6.85 TL

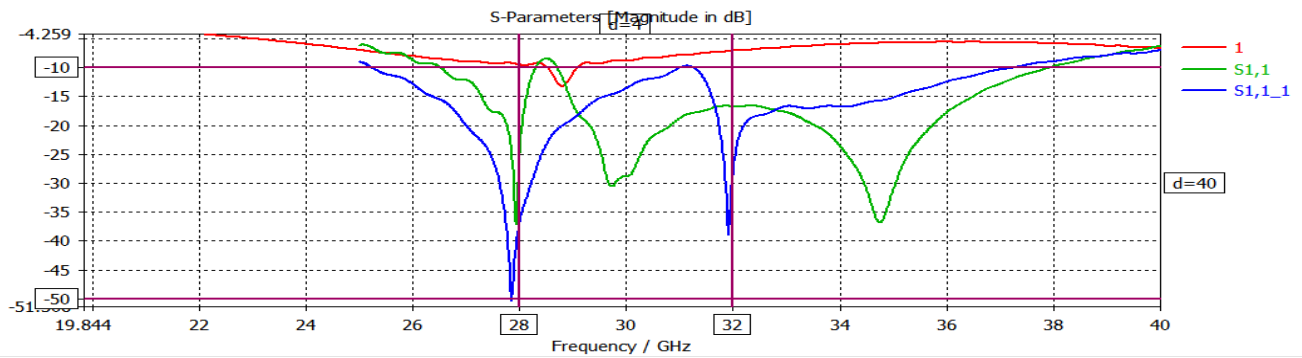
Hedeflediğimiz 28 ve 32 GHz rezonans frekansları için standart olarak temin edilebilen malzemeler ile üretilebilir ve ekonomik olarak uygun anten tasarlandı.

6.6. Sonuç ve karşılaştırmalar

Tablo 6.3’de 5G teknolojileri için hedeflenen frekans aralıkları ülkelere göre gösterilmiştir. Tasarlanan Anten-1 ve Anten-2 27.5 – 29.5 GHz bant aralığı ve 31.8 – 33.4 GHz bant aralığında çalışmak için uygundur.

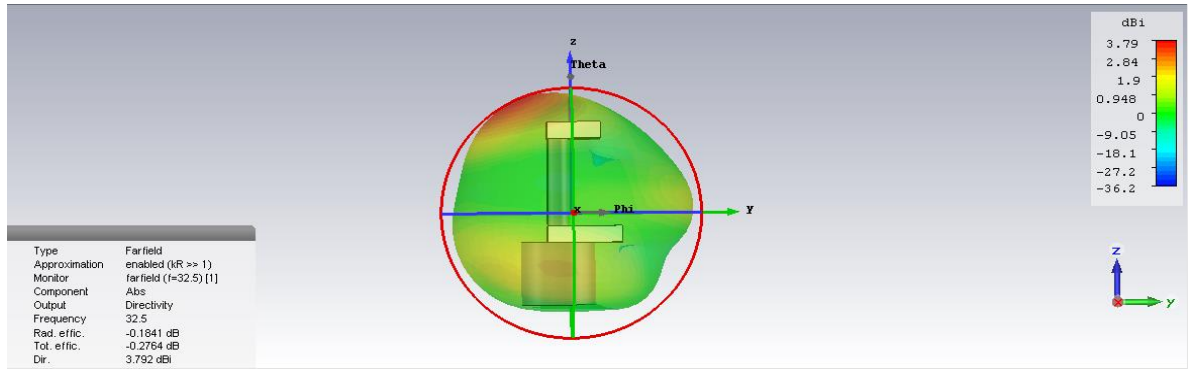
Tablo 6.3. 5G için kullanılan çalışma frekansları [14]

Frekans bantları	Kullanılan ülkeler		
5.725 - 5.85 GHz	Amerika	Kore	Çin
24.25 - 27.5 GHz	Avrupa	Çin	-
27.5 - 29.5 GHz	Amerika	Kore	-
31.8 - 33.4 GHz	Avrupa	Kore	-
40.5 - 43.5 GHz	Avrupa	Kore	-

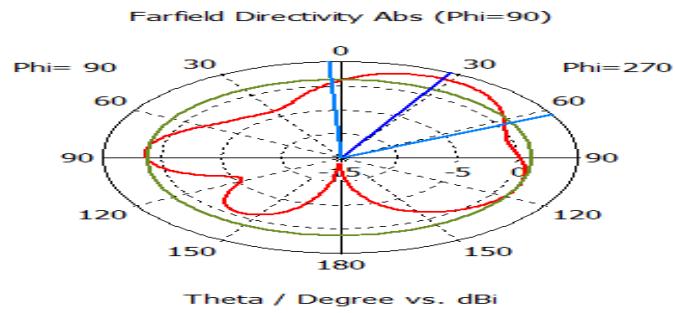


Şekil 6.5. Tasarlanan anten-1 ve anten-2’ye ait S11 sonuçlarının karşılaştırılması

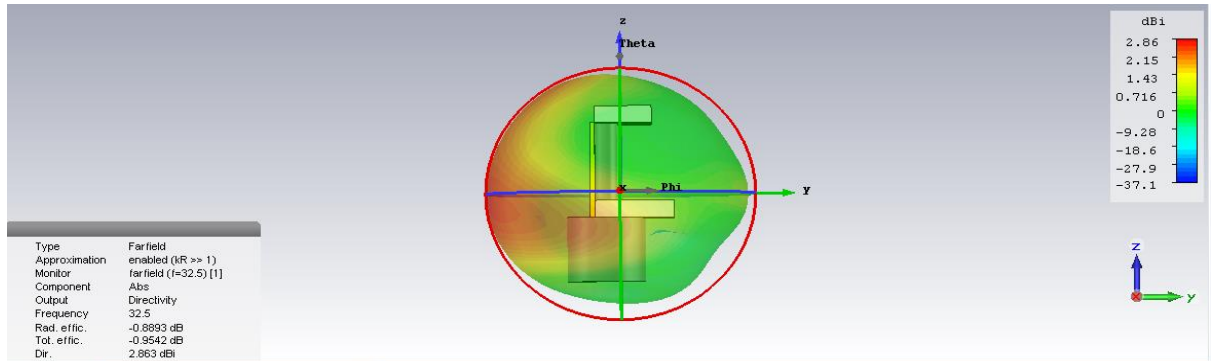
Şekil 6.5’de hesaplamalar ile elde edilen değerler kullanılarak tasarlanan ilk anten ile yapılan optimizyon ve iyileştirmeler ile ulaşılan Anten-1 ve Anten-2’ye ait geri dönüş kaybı grafikleri verilmiştir. Buradan da kolayca görüldüğü gibi hedeflenen çalışma frekansları 28 – 32 GHz için bant genişlikleri sırası ile 27.5 – 29.5 ve 31.8 – 33.4 GHz olarak elde edilmiştir. Tasarlanan Anten-2 daha iyi bir geri dönüş kaybı sağlar. Kısa devre pini ve antenin yama kısmında kullanılan 0.2mm kalınlığa sahip bakır plaka ile Anten-1’e göre daha kolay üretilebilir.



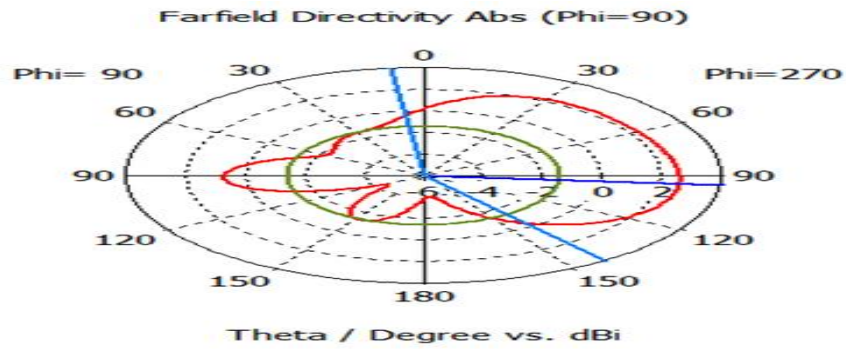
Şekil 6.6. Anten-1 üç boyutlu ışıma diyagramı



Şekil 6.7. Anten-1 iki boyutlu ışıma diyagramı



Şekil 6.8. Anten-2 üç boyutlu ışıma diyagramı



Şekil 6.9. Anten-2 iki boyutlu ışıma diyagramı

KAYNAKLAR

- [1] KARAKUŞ, C. www.ckk.com.tr Anten Tarihi. 1998
- [2] ÇEREZCİ, O. Elektromanyetik Alan Kirliliği. 2017
- [3] ONUR, A, ONUR, M. İ, TÜRKMEN, M, & KAYA, S. 2015
- [4] KAYA, S. Antenler 2016
- [5] BALANİS, C. A. Antenna Theory: Analysis and Design. 2005
- [6] ÖZDEMİR, D. Geniş GSM-UMTS Mikroşerit Yama Anten Tasarımı. 2009
- [7] Planar Inverted F-Antenna www.antenna-theory.com/antennas. 2009
- [8] TANSARIKAYA, İ. Geniş Bandlı Yama Anten Tasarımı. 2007
- [9] AZREMİ, N.A, SAİDATUL, R. B. Planar Inverted F Antenna (PIFA) for WLAN Application. 2008
- [10] SAİNİ, S. , SİNGH, S. , KUMAR, N. A Review of Various Planar Inverted F Antenna. 2015
- [11] BAYAR, S. 5G Mobil İletişim Teknolojileri. 2016
- [12] UZER, D. Geniş Band Mikro Şerit Anten Tasarımı. 2016
- [13] SHEN, M. , PEDERSEN, G. F 28 GHz FR-4 Compatible Phased Array Antenna for 5G Mobile Phone Applications. 2013
- [14] ERGEN, M. 5G Frekans Tahsisi. 2016