T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ASİMETRİK EŞ DÜZLEMSEL VİVALDİ ANTEN TASARIMI

Recep BAŞ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı

Haberleşme Programı

Danışman

Prof. Dr. Ahmet KIZILAY

Temmuz, 2022

T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ASİMETRİK EŞ DÜZLEMSEL VİVALDİ ANTEN TASARIMI

Recep BAŞ tarafından hazırlanan tez çalışması 01.07.2022 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı, Haberleşme Programı **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Ahmet KIZILAY
Yıldız Teknik Üniversitesi
Danışman

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Ahmet KIZILAY, Danışman
Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Doç. Dr. Peyman MAHOUTİ, Üye
Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Dr. Öğr. Üyesi Nurullah ÇALIK, Üye
İstanbul Medeniyet Üniversitesi _____

Danışmanım Prof. Dr. Ahmet KIZILAY sorumluluğunda tarafımca hazırlanan Asimetrik Eş Düzlemsel Vivaldi Anten Tasarımı başlıklı çalışmada veri toplama ve veri kullanımında gerekli yasal izinleri aldığımı, diğer kaynaklardan aldığım bilgileri ana metin ve referanslarda eksiksiz gösterdiğimi, araştırma verilerine ve sonuçlarına ilişkin çarpıtma ve/veya sahtecilik yapmadığımı, çalışmam süresince bilimsel araştırma ve etik ilkelerine uygun davrandığımı beyan ederim. Beyanımın aksinin ispatı halinde her türlü yasal sonucu kabul ederim.

Recep BAŞ

İmza

Bu çalışma, TÜBİTAK tarafından 119N196 numaralı proje ile desteklenmiştir.

Aileme

TEŞEKKÜR

Bu tezin hazırlanma süresince bana engin bilgileriyle destek veren tez danışmanım sayın Prof. Dr. Ahmet KIZILAY'a en derin saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Tezle ilgili zorlandığım anlarda bana desteğini esirgemeyen sayın Doç. Dr. Peyman MAHOUTİ'ye teşekkür ederim.

Yüksek lisans eğitim sürecimde gerek ders ortamında gerek ders dışında bana destek veren ve iyi bir eğitim almamı sağlayan tüm Yıldız Teknik Üniversitesi öğretim üyelerine teşekkür ediyorum.

Bu süreç boyunca bana fikir ve önerileriyle destek olan tez sürecinde de benden yardımlarını esirgemeyen yüksek mühendis Sezgin ÖRDEK, yüksek mühendis Hurrem ÖZPINAR ve yüksek mühendis Elif ALPAGU'ya teşekkür ediyorum.

Tez hazırlığında ve öncesinde anten simülasyonlarıyla ilgili bilgi ve birikimiyle bana destek olan, her fırsatta yardım eden arkadaşım mühendis Mert Can DALKIRAN'a teşekkür ediyorum.

Tezin son süreçlerinde anten ölçümleri için bana destek olan TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi, Malzeme Enstitüsü, Milimetre Dalga ve Terahertz Araştırmaları Laboratuvarı(MİLTAL) bünyesinde görevli Dr. İlhami ÜNAL'a ve ekibine en içten teşekkürlerimi sunarım. Bu ekipte yer alan ve bana o süreçte destek olan mühendis Şevval PEKEN, başteknisyen Mustafa KILIÇ ve uzman teknisyen Sertan SÜVARİ'ye teşekkür ediyorum.

Hayatımın her anında ve eğitimimde her zaman yanımda olan aileme şükranlarımı sunuyorum. Bu tezi mezun olmamı çok isteyen, kısa bir süre önce edebi hayata intikal etmiş olan merhum dedeme ithaf ediyorum.

Recep BAŞ

İÇİNDEKİLER

SİMGE LİSTESİ viii

KISALTMA LİSTESİ ix

ŞEKİL LİSTESİ x

TABLO LİSTESİ xii

ÖZET xiii

ABSTRACT xv

1 GİRİŞ 1

1.1 Literatür Özeti ... 1

1.2 Tezin Amacı ... 2

1.3 Orijinal Katkı ... 2

2 ANTEN PARAMETRELERİ 3

2.1 Genel Anten Parametreleri ... 3

2.2 Işıma Örüntüsü ... 3

2.2.1 Işıma Örüntüsü Kulakçıkları ve Hüzme Genişliği ... 4

2.3 Giriş Empedansı ... 6

2.4 Anten Verimliliği ... 7

2.5 Yönlendiricilik ... 8

2.6 Anten Kazancı ... 9

2.7 Bant Genişliği ... 10

2.8 Kutuplanma ... 10

2.9 Alan Bölgeleri ... 12

3 VİVALDİ ANTEN 14

3.1 Vivaldi Anten Türleri ... 14

3.2 Eş Düzlemsel Vivaldi Anten ... 14

3.3 Zıt Kutuplu Vivaldi Anten ... 15

3.4 Dengelenmiş Zıt Kutuplu Vivaldi Anten ... 16

4 TASARIM VE SİMÜLASYON 17

4.1 Tasarım Süreci ... 17

4.2 Geleneksel Eş Düzlemsel Vivaldi Anten Tasarımı ... 17

4.2.1 Matematiksel Eşitlikler ... 17

4.2.2 Tasarım ve Simülasyon ... 20

4.3 Asimetrik Eş Düzlemsel Vivaldi Anten 23
4.4 Vivaldi Antenlerin Uzak Alan Simülasyon Sonuçları 31
5 SONUÇ VE ÖNERİLER **36**
5.1 Anten Üretimi ve Ölçüm Sonuçları 36
5.1.1 Asimetrik Vivaldi Anten Geri Dönüş Kaybı Ölçümü 37
5.1.2 Asimetrik Vivaldi Anten Işıma Örüntüsü Ölçümü 40
5.2 Değerlendirme ve Öneriler 46
KAYNAKÇA **48**
TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR **53**

SİMGE LİSTESİ

Γ	Antenin giriş noktaları arasındaki gerilim yansıma katsayısı
λ	Dalga boyu
ε	Dielektrik sabiti
Z	Empedans
f	Frekans
c	Işık hızı

KISALTMA LİSTESİ

AVA	Antipodal Vivaldi Antenna(Zıt kutuplu Vivaldi anten)
AsCVA	Asymmetrical Coplanar Vivaldi Antenna(Asimetrik eş düzlemsel Vivaldi anten)
BAVA	Balanced Antipodal Vivaldi Antenna(Dengelenmiş zıt kutuplu Vivaldi anten)
CVA	Coplanar Vivaldi Antenna(Eş düzlemsel Vivaldi anten)
FBW	Fractional Bandwidth(Kesirli bant genişliği)
FNBW	First Null Beamwidth(İlk sıfır hüzme genişliği)
GHz	Giga Hertz
HPBW	Half-Power Beamwidth(Yarım güç hüzme genişliği)
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers(Elektrik ve Elektronik Mühendisleri Enstitüsü)
MHz	Mega Hertz
TÜBİTAK	Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu
VA	Vivaldi anten
VNA	Vector Network Analyzer(Vektör ağ analizörü)
VSWR	Voltage Standing Wave Ratio(Gerilim duran dalga oranı)

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1 Anten koordinat sistemi [37] 3
Şekil 2.2 Anten ışıma örüntüsü kulakçıkları ve hüzme genişliği [37] 5
Şekil 2.3 Kaynak ile anten arası bağlantı [37] 6
Şekil 2.4 Doğrusal, dairesel ve eliptik kutuplanma 11
Şekil 2.5 Antenin alan bölgeleri [37] 12
Şekil 3.1 Çeşitli açıklık daralma profileri [43] 14
Şekil 3.2 Eş düzlemsel Vivaldi anten yapısı [37] 15
Şekil 3.3 Zıt kutuplu Vivaldi anten yapısı [44] 15
Şekil 3.4 Dengelenmiş zıt kutuplu Vivaldi anten yapısı [45] 16
Şekil 4.1 Geleneksel eş düzlemsel Vivaldi anten arka yüzey parametreleri 18
Şekil 4.2 Geleneksel eş düzlemsel Vivaldi anten ön yüzey parametreleri 18
Şekil 4.3 Geleneksel eş düzlemsel Vivaldi anten genel görünüm 1 21
Şekil 4.4 Geleneksel eş düzlemsel Vivaldi anten genel görünüm 2 22
Şekil 4.5 Geleneksel eş düzlemsel Vivaldi anten S_{11} grafiği (simülasyon) 22
Şekil 4.6 Geleneksel eş düzlemsel Vivaldi anten kazanç grafiği (simülasyon) 23
Şekil 4.7 Eğrilik katsayısına göre Vivaldi anten şekil değişimi 24
Şekil 4.8 Eğrilik katsayısına göre Vivaldi anten S_{11} grafiğinin değişimi 25
Şekil 4.9 Asimetrik eş düzlemsel Vivaldi anten arka yüzey parametreleri 26
Şekil 4.10 Asimetrik eş düzlemsel Vivaldi anten ön yüzey parametreleri 27
Şekil 4.11 Asimetrik eş düzlemsel Vivaldi anten genel görünüm 1 28
Şekil 4.12 Asimetrik eş düzlemsel Vivaldi anten genel görünüm 2 28
Şekil 4.13 Asimetrik Vivaldi anten geri dönüş kaybı(S_{11}) grafiği (simülasyon) ..30
Şekil 4.14 Asimetrik Vivaldi anten kazanç grafiği (simülasyon) 30
Şekil 4.15 0.2, 0.5 ve 1 GHz için uzak alan grafikleri ($\theta=90°$) 32
Şekil 4.16 1.5, 2 ve 2.5 GHz için uzak alan grafikleri($\theta=90°$) 33
Şekil 4.17 0.2, 0.5, 1, 1.5 ve 2 GHz için üç boyutlu ışıma örüntüsü grafikleri 34
Şekil 4.18 2.5 GHz için üç boyutlu ışıma örüntüsü grafiği 35
Şekil 5.1 Üretilen antenin arka yüzey görünümü 36
Şekil 5.2 Üretilen antenin ön yüzey görünümü 37
Şekil 5.3 Test için kullanılan ağ analizörü (Anritsu MS4644A) 37
Şekil 5.4 Asimetrik eş düzlemsel Vivaldi antenin test düzeneğindeki görünümleri 38

Şekil 5.5 Üretilen antenin geri dönüş kaybı(S_{11}) grafiği.....39
Şekil 5.6 Dikey polarizasyon için kurulan ölçüm düzeneği 40
Şekil 5.7 Dikey polarize olarak yerleştirilen Vivaldi anten ve referans anten 41
Şekil 5.8 Yatay polarizasyon için kurulan ölçüm düzeneği.....41
Şekil 5.9 Yatay polarize olarak yerleştirilen Vivaldi anten ve referans anten.....42
Şekil 5.10 Dikey polarizasyon ışıma örüntüsü sonuçları 0.5 GHz.....42
Şekil 5.11 Dikey polarizasyon ışıma örüntüsü sonuçları 1 GHz.....43
Şekil 5.12 Dikey polarizasyon ışıma örüntüsü sonuçları 1.5 GHz.....43
Şekil 5.13 Dikey polarizasyon ışıma örüntüsü sonuçları 2 GHz.....43
Şekil 5.14 Dikey polarizasyon ışıma örüntüsü sonuçları 2.5 GHz.....44
Şekil 5.15 Yatay polarizasyon ışıma örüntüsü sonuçları 0.5 GHz.....44
Şekil 5.16 Yatay polarizasyon ışıma örüntüsü sonuçları 1 GHz.....44
Şekil 5.17 Yatay polarizasyon ışıma örüntüsü sonuçları 1.5 GHz.....45
Şekil 5.18 Yatay polarizasyon ışıma örüntüsü sonuçları 2 GHz.....45
Şekil 5.19 Yatay polarizasyon ışıma örüntüsü sonuçları 2.5 GHz.....45

TABLO LİSTESİ

Tablo 4. 1 Geleneksel Vivaldi anten tasarım parametreleri 20
Tablo 4. 2 Asimetrik Vivaldi anten tasarım parametreleri 29
Tablo 5. 1 Literatürdeki Vivaldi antenlerle karşılaştırma 46

ÖZET

Asimetrik Eş Düzlemsel Vivaldi Anten Tasarımı

Recep BAŞ

Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Prof. Dr. Ahmet KIZILAY

Haberleşme teknolojilerinin gelişmesiyle antenlere olan ihtiyaç gün geçtikçe artmaktadır. Günümüzde kullandığımız neredeyse her teknolojik alette karşımıza çıkan antenlerde performans kaybı olmadan boyut küçültme(minyatürleştirme) çalışmaları yapılması bir gereklilik haline gelmiştir.

Bu çalışmada 200 MHz ile 2.5 GHz arası çalışan geniş bantlı bir anten tasarımı amaçlanmaktadır. Bu frekans aralığında çalışmaya uygun olması, üretim kolaylığı ve geniş bant özelliklerinden ötürü bu çalışmada Vivaldi antenler üzerinde durulmuştur.

Bu çalışmanın ilk aşamasında literatürde kullanılan Vivaldi anten türlerinden biri olan eş düzlemsel Vivaldi anten ile bu frekans aralığı için bir tasarım yapılmıştır. Bu tasarımdaki antenin alt kesim frekansı 200 MHz olduğundan dolayı anten ölçüleri oldukça büyük çıkmıştır. Düşük frekanstan dolayı antende oluşan boyut dezavantajlarını gidermek adına parametrik analizler yapılmıştır.

Parametrik analizler sonucu anten boyutu küçülmüş ancak istenen geri dönüş kaybı değerleri elde edilemeyince antende bulunan eksponansiyel eğriler de parametrik analize dahil edilmiştir.

İki eğri farklı katsayılarda seçilerek asimetrik eğriler elde edilmiştir. Bu özelliklerle elde edilen ve eksponansiyel eğrileri asimetrik olan anten, asimetrik eş düzlemsel Vivaldi anten olarak adlandırılmıştır.

Ölçüleri ilk tasarlanan yapıya göre yaklaşık %33 daha küçük olan asimetrik eş düzlemsel Vivaldi anten ve geleneksel eş düzlemsel Vivaldi antenin simülasyon sonuçları karşılaşırıldığında sonuçların kazançta bir miktar düşüş olmasına ragmen geri dönüş kaybında büyük oranda benzerlik gösterdiği görülmüştür.

Simülasyon sonuçlarını doğrulamak adına antenin geri dönüş kaybı ve ışıma örüntüsü testleri yapılmıştır. Geri dönüş kaybı grafiği simülasyonla büyük oranda benzerlik göstermiş, ışıma örüntülerinde ise antenin hüzme yönlerinin hemen hemen aynı olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Asimetrik eş düzlemsel Vivaldi anten, geniş bant anten, açıklığı daralan anten, minyatürleştirme.

ABSTRACT

Asymmetrical Coplanar Vivaldi Antenna Design

Recep BAŞ

Department of Electronics and Communication Engineering

Master of Science Thesis

Supervisor: Prof. Dr. Ahmet KIZILAY

With the development of communication technologies, the demand for antennas is increasing day by day. Today it has become a necessity to make studies for size reduction(miniaturization) without performance loss in antennas that we encounter in almost every technological device we utilize.

In this study, it is aimed to design a broadband antenna operating between 200MHz and 2.5GHz. This study is focused on Vivaldi antennas due to their suitability for operation in this frequency range, ease of manufacture and wideband characteristics.

In the first stage of this study, a design was made for this frequency range with the coplanar Vivaldi antenna, which is one of the Vivaldi antenna types used in the literature. The antenna dimensions are quite large since the lower cut-off frequency of the antenna in this design is 200MHz. Parametric analyzes were carried out in order to eliminate the size disadvantages of the antenna due to low frequency.

As a result of the parametric analysis the antenna size was decreased but the desired return loss values could not be obtained, that's why the exponential curves in the antenna were also included in the parametric analysis.

Asymmetric curves were obtained by choosing two curves with different coefficients. The antenna obtained with these features and whose exponential curves are asymmetrical is called asymmetrical coplanar Vivaldi antenna.

The dimensions of the asymmetrical coplanar Vivaldi antenna are approximately 33% smaller than the first designed structure. The simulation results of this antenna and the traditional coplanar Vivaldi antenna were compared and it is seen that the results are quite similar in return loss values but there is a slight decrease in the gain.

In order to verify the simulation results, antenna return loss and radiation pattern tests were performed. The return loss graph showed a great similarity with the simulation and it was seen that the beam directions of the antenna were almost the same in the radiation patterns.

Keywords: Asymmetrical coplanar Vivaldi antenna, wideband antenna, tapered slot antenna, miniaturization.

1
GİRİŞ

1.1 Literatür Özeti

Vivaldi antenler geniş bir kullanım alanına sahiptir. Vivaldi antenler günümüzde mikrodalga görüntüleme uygulamaları [1-4], anten dizileri [5-8], yere nüfuz eden radar(ground penetrating radar) uygulamaları [9-12], duvar arkasındaki nesne görüntüleme uygulamaları [13-16] vb. birçok alanda kullanılmaktır.

Vivaldi anten ifadesi ilk olarak 1979 yılında Vivaldi Aerial adıyla Gibson tarafından literatüre kazandırılmıştır. Vivaldi antenler literatürde açıklığı daralan yarık anten(Tapered Slot Antenna) adıyla da bilinmektedir. Gibson, bu çalışmasında alüminyum oksit(alumina) dielektrik kullanarak eksponansiyel eğrileri olan bir anten tasarlamış ve 2 GHz ile 40 GHz frekansları arasında bant genişliği elde etmiştir [17].

1988 yılında Gazit tarafından bant genişliği daha fazla olan yeni bir Vivaldi anten türü literatüre kazandırılmıştır. Eksponansiyel eğrilerin bulunduğu iletken kısımların antenin dilektrik taban malzemesinin her iki yüzeyinde de bulunmasından ötürü bu anten zıt kutuplu Vivaldi anten(Antipodal Vivaldi Antenna) olarak adlandırılmıştır [18].

1993 yılına gelindiğinde zıt kutuplu Vivaldi anten, Langley ve arkadaşları tarafından daha da geliştirilmiştir. Antende akımları dengelemek amacıyla araya yeni bir tabaka eklenmesiyle dengelenmiş zıt Kutuplu Vivaldi anten(Balanced Antipodal Vivaldi Antenna) tanıtılmıştır. Bu yeni tasarım ile dengelenmiş zıt Kutuplu Vivaldi anten, faz dizilerinde kullanıma uygun hale gelmiş ve önceki yapılara göre daha düşük çapraz polarizasyon(cross polarization) elde edilmiştir [19].

1996 yılında Langley ve arkadaşları, dengelenmiş zıt kutuplu Vivaldi antenleri kullanarak faz dizileri tasarlamıştır. Bu çalışmada yüksek bant genişliği ve düşük çapraz polarizasyon elde edilmiştir [20].

1.2 Tezin Amacı

Bu tez kapsamında Vivaldi anten tasarımları için önerilen yeni bir yaklaşım ile geniş bantlı bir anten tasarımı amaçlanmaktadır.

Kolay üretim tekniği ve yüksek bant genişliği gibi özelliklerinden ötürü klasik Vivaldi anten tasarımından hareketle bu çalışma hazırlanmıştır.

Bu çalışmada 200 MHz ile 2.5 GHz frekansları arasında çalışabilen geniş bantlı bir Vivaldi anten tasarımı için alt kesim frekansının 200 MHz olmasından ötürü dalga boyunun büyük olması nedeniyle ortaya çıkan olumsuzlukları kaldırmak adına yeni bir Vivaldi anten türü tanıtımı amaçlanmaktadır.

1.3 Orijinal Katkı

Günümüze kadar yapılan çalışmalarda klasik Vivaldi anten yapısı farklı uygulamalarla geliştirilmiştir. Vivaldi antenlerin performansını iyileştirmek, çalışma frekansı aralığını arttırmak veya anten boyutlarını ufaltmak için çeşitli yöntemler kullanılmıştır. Bu yöntemler; antenin çeşitli bölgelerinde metamateryaller kullanılması [21-24], anten üzerinde ışımanın olduğu bölgelere çeşitli şekillerde yarıklar eklenmesi [25-28], antendeki çeşitli bölümlerin ölçülerinin parametrik analizle değiştirilmesi [29-32], antenin bakır olmayan yüzeylerine parazit yamalar(parasitic patch) eklenmesi [33-36] vb. şeklinde sıralanabilir.

Bu çalışmada tasarlanan Vivaldi antendeki eksponansiyel eğrilerin de optimizasyon parametresi olarak kullanılmasıyla ek bir parametre daha elde edilmiştir. Eğrilik oranının her iki eksponansiyel eğri için farklı değerlerde seçilmesiyle birlikte asimetrik eğriler elde edilmiştir. Bu şekilde yapılan parametrik analizlerle antenin boyutları düşürüldüğünde simülasyon sonuçlarının klasik Vivaldi antenin sonuçlarıyla benzerlik gösterdiği görülmüş ve bunun üzerine antenin üretimi gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma ile birlikte Vivaldi anten türlerinde asimetrik eğriler kullanılarak yeni çalışmalar yapılmasıyla daha iyi sonuçlar elde edileceği öngörülmektedir.

2
ANTEN PARAMETRELERİ

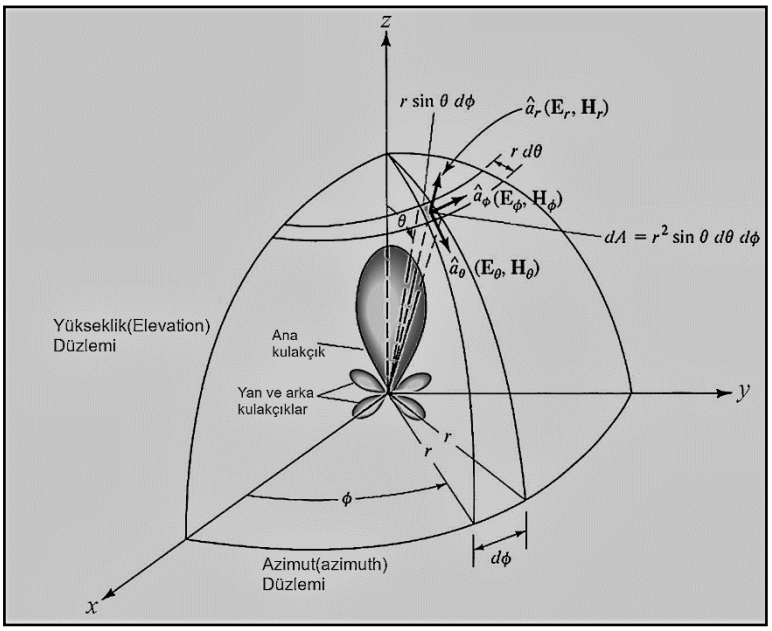
2.1 Genel Anten Parametreleri

Antenler iki farklı nokta arasında kablosuz olarak iletişim kurulmasını sağlayan araçlardır. Hem verici hem de alıcı olarak kullanılabilen antenler akımı elektromanyetik dalgalara dönüştürerek iletişimin sağlanmasına yardımcı olmaktadır.

Bu bölümde, tezin diğer bölümlerinde bahsedilecek olan konuların daha rahat anlaşılabilmesi adına gerekli olan temel anten parametrelerinden bahsedilecektir.

2.2 Işıma Örüntüsü

Bir antenin ışıma örüntüsü(radiation pattern), antenin ışıma özelliklerinin matematiksel ifadesi veya uzay koordinatlarında grafiksel gösterimi olarak tanımlanır. Işıma örüntüsü çoğu durumda uzak alan için tanımlanır. Işıma; güç akı yoğunluğu, ışıma şiddeti, alan gücü, yönlendiricilik, faz veya polarizasyon gibi özellikleri içermektedir. Şekil 2.1'de antenlerin analizi için kullanılan koordinat düzlemi gösterilmiştir.



Şekil 2.1 Anten koordinat sistemi [37]

Antenler için alan örüntüsü(field pattern) ve güç örüntüsü(power pattern) gösterilebilmektedir. Elektrik alanın veya manyetik alanın büyüklüğünün açıların fonksiyonu olarak sabit yarıçap ile gösterilmesine alan örüntüsü denilmektedir. Güç örüntüsü ise elektrik alanın veya manyetik alanın büyüklüğünün karesinin açıların fonksiyonu olarak sabit bir yarıçap ile gösterilmesine denilmektedir [37].

Alan örüntüsünde her bir bileşenin alan örüntüsünün maksimum değerine bölünmesiyle normalize alan örüntüsü(normalized field pattern) elde edilmektedir. Benzer şekilde güç örüntüsünde her bir bileşenin güç örüntüsünün maksimum değerine bölünmesiyle normalize güç örüntüsü(normalized power pattern) elde edilmektedir.

Alan örüntüsü ve güç örüntüsünün gösterimi için lineer ölçek(linear scale) kullanılabilmektedir. Ancak antende ana kulakçıkların büyüklüğüne göre ufak kalan yan ve arka kulakçıkların daha kolay gösterilmesi adına güç örüntüsü için logaritmik ölçekte dB cinsinden de gösterim yapılabilir.

2.2.1 Işıma Örüntüsü Kulakçıkları ve Hüzme Genişliği

Antenlerin ışıma örüntülerinde kulakçık(lobe) adı verilen bölgeler bulunmaktadır. Bunlar; ana kulakçık(main lobe), ikincil kulakçık(minor lobe), yan kulakçık(side lobe) ve arka kulakçık(back lobe) olarak sınıflandırılmaktadır. Işıma kulakçılığı, ışıma örüntüsünün görece olarak zayıf olduğu bölgelerle sınırlandırılmış bir kısmıdır [37].

Ana kulakçık, maksimum büyüklükteki ışımanın olduğu yöndeki kulakçıktır.

İkincil kulakçık, ana kulakçık dışında kalan kulakçıklara verilen isimdir.

Yan kulakçık, ana kulakçık etrafında oluşan ve arzu edilen ışıma yönünde olmayan kulakçıklardır. Büyüklüğü -20dB'den daha fazla olan yan kulakçıklar istenmez.

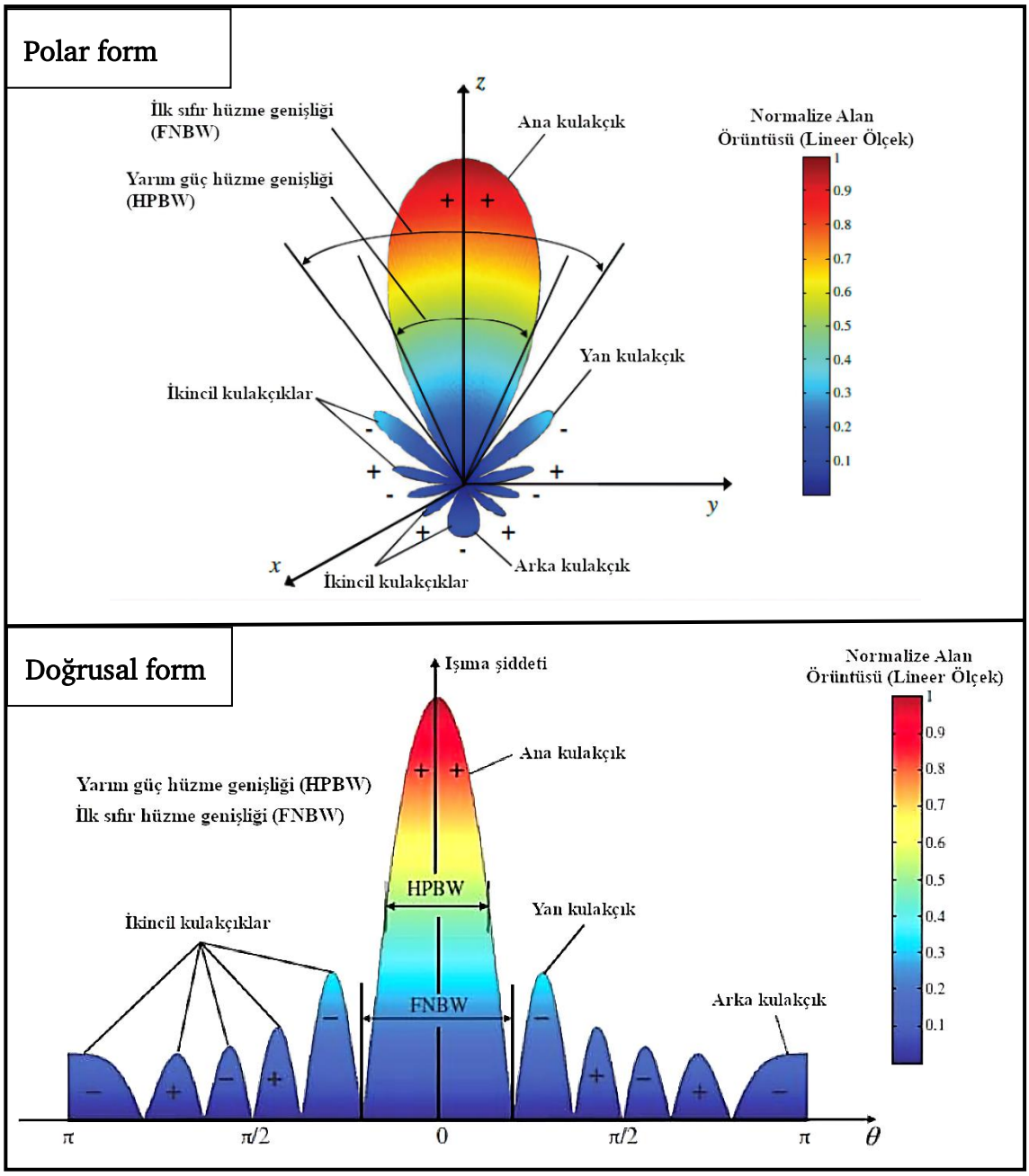
Arka kulakçık, antenin ışıma yönüne yaklaşık 180° açı ile oluşan kulakçıklardır.

Antenlerle ilgili bir diğer önemli parametre hüzme genişliği(beamwidth) olarak adlandırılmaktadır. Hüzme genişliği, antenin ışıma örüntüsünün maksimum düzeyde olduğu noktaya eşit mesafedeki iki özdeş nokta arasındaki açısal uzaklık olarak tanımlanabilir. Antenler için genellikle iki adet hüzme genişliği ifadesi kullanılmaktadır: İlk sıfır hüzme genişliği ve yarım güç hüzme genişliği.

İlk sıfır hüzme genişliği(FNBW: First Null Beamwidth): Antenin ışıma örüntüsünde maksimum hüzme yönünde gücün sıfıra düştüğü noktalar arasındaki açısal uzaklıktır.

Yarım güç güzme genişliği(HPBW: Half-Power Beamwidth): Antenin ışıma örüntüsünde, maksimum hüzmenin olduğu düzlemde gücün yarıya indiği iki nokta arasındaki açısal uzaklıktır.

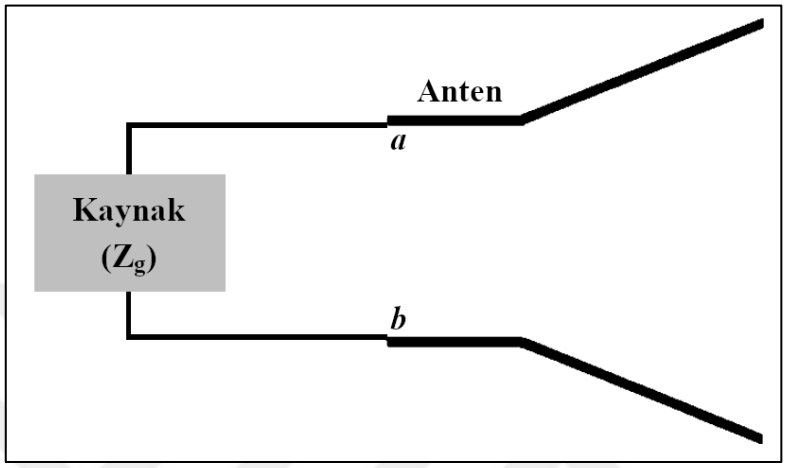
Tanımı yapılan bu bölgeler Şekil 2.2 gösterilmiştir.



Şekil 2.2 Anten ışıma örüntüsü kulakçıkları ve hüzme genişliği [37]

2.3 Giriş Empedansı

Anten ve antenin kaynak noktaları a-b arasında görülen empedansa giriş empedansı denir. Giriş empendansı aynı zamanda antenin a ve b noktası arasındaki gerilim değerinin akım değerine oranına eşittir. Kaynak noktası ile anten arasındaki bağlantı Şekil 2.3'te gösterilmiştir [37].



Şekil 2.3 Kaynak ile anten arası bağlantı [37]

Giriş empedansı şu şekilde ifade edilir.

$$Z_A = R_A + jX_A \tag{2. 1}$$

Bu eşitlikte Z_A antenin a-b noktaları arasındaki empendansını, R_A antenin a-b noktaları arasındaki direnci, jX_A antenin a-b noktaları arasındaki reaktansını göstermektedir. Eşitlikteki R_A ifadesinin iki bileşeni vardır. Bunlar ışıma direnci R_R ve antenin kayıp direnci R_L olarak ifade edilir.

$$R_A = R_R + R_L \tag{2. 2}$$

Her iki eşitlikte ifadeler birleştirildiğinde antenin giriş empendansı şu şekilde olur.

$$Z_A = R_r + R_L + jX_A \tag{2. 3}$$

Antende kayıpların mümkün olduğunca az olması için antenin giriş empedansı ile antenin kaynak empedansının sanal bileşenleri yani reaktansları birbirini yok edecek şekilde olmalıdır. Bu koşulun sağlanması halinde antenin kayıp direncinin de idealde sıfır($R_L = 0$) olduğunu varsayarsak kaynaktan gelen güç antene tam olarak iletilmiş olur.

2.4 Anten Verimliliği

Bir antenin verimliliğinden bahsederken çeşitli verimlilik ifadeleri kullanılmaktadır. Bunlar; e_0 toplam verimlilik, e_r yansıma verimliliği, e_c iletim verimliliği ve e_d dielektrik verimliliği olarak isimlendirilmektedir [37].

Toplam verimlilik, antenin giriş noktalarındaki kayıplar ve antenin iç yapısı ile ilgili kayıpları hesaba katmak için kullanılır. Bu kayıplar; iletim hattı ve anten arasındaki uyumsuzluk sonucu oluşan yansımalar ve I^2R kayıplarıdır.

Bir antenin toplam verimlilik ifadesi şu şekilde bulunmaktadır:

$$e_0 = e_r e_c e_d \tag{2. 4}$$

e_r : yansıma verimliliği $e_r = (1 - |\Gamma|^2)$ (boyutsuz)

e_c : iletim verimliliği (boyutsuz)

e_d : dielektrik verimliliği (boyutsuz)

Γ : Antenin giriş noktaları arasındaki gerilim yansıma katsayısı

$$\Gamma = \frac{Z_{in} - Z_0}{Z_{in} + Z_0} \tag{2. 5}$$

Z_{in} : Antenin giriş empedansı

Z_0 : İletim hattının(transmission line) karakteristik empedansı

$$VSWR = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|} \tag{2. 6}$$

VSWR : Gerilim duran dalga oranı(Voltage standing wave ratio)

Genellikle e_c ve e_d ifadelerinin hesaplanması zordur ancak ölçümlerle bu parametreler belirlenebilir. Ölçüm yapılsa bile bu iki ifade ayrılamamaktadır. Bu nedenle antenin tüm verimlilik eşitliğini şu şekilde yazmak daha uygundur:

$$e_0 = e_r e_{cd} = e_{cd}(1 - |\Gamma|^2) \tag{2. 7}$$

Yukarıdaki eşitlikte e_{cd} ifadesi antenin ışıma verimliğini göstermektedir ve şu şekilde hesaplanır:

$$e_{cd} = e_c e_d \tag{2. 8}$$

Antenin ışıma verimliliği, ayrıca antenin ışıma direnci R_R ve kayıp direnci R_L kullanılarak şu şekilde ifade edilebilir:

$$e_{cd} = \frac{R_R}{R_R + R_L} \ (boyutsuz) \tag{2. 9}$$

2.5 Yönlendiricilik

Antenlerin performansını ifade etmek için kullanılan parametrelerden biri de yönlendiriciliktir. 1983 yılında IEEE tarafından bildirilen tanıma göre yönlendiricilik, antenin bir yöndeki ışıma şiddetinin tüm yönlerdeki ortalama ışıma şiddetine oranıdır. Ortalama ışıma şiddeti, antenden yayılan toplam gücün 4π değerine bölünmesine eşittir. Yön belirtilmemiş ise ışımanın en yüksek değerde olduğu yön kastedilmektedir [38].

Bir antenin yönlendiriciliği, bu antenin belirlenen bir yöndeki ışıma şiddetinin izotropik kaynağın ışıma şiddetine bölünmesiyle bulunur. Matematiksel ifade şu şekildedir:

$$D = \frac{U}{U_0} = \frac{4\pi U}{P_{rad}} \tag{2. 10}$$

Yön belirtilmemiş ise ışımanın en yüksek değerde olduğu yöndeki yönlendiricilik ifadesi şu şekilde bulunur:

$$D_{max} = D_0 = \frac{U_{max}}{U_0} = \frac{4\pi U_{max}}{P_{rad}} \tag{2. 11}$$

D : Yönlendiricilik (boyutsuz)

D_0 : Maksimum yönlendiricilik (boyutsuz)

U : Işıma şiddeti (W/birim katı açı)

U_{max} : Maksimum ışıma şiddeti (W/birim katı açı)

U_0 : İzotropik kaynağın ışıma şiddeti (W/birim katı açı)

P_{rad} : Toplam ışınan(yayılan) güç (W)

2.6 Anten Kazancı

Bir antenin performansını ifade etmek için kullanılan en önemli parametrelerden biri de anten kazancıdır. Antenin kazancı antenin yönlendiriciğine bağlı olmasına karşın antenin verimliliği kadar yön yeteneklerini de hesaba katar [37].

Antenin belirtilen bir yöndeki kazancı, antenin o yöndeki ışıma şiddetinin anten tarafından alınan gücün her yöne eşit miktarda yayılmasıyla elde edilecek olan ışıma şiddetine bölünmesiyle elde edilir. Burada bahsedilen her yöne eşit miktarda yani izotropik olarak yayılan ışıma şiddeti, anten tarafından alınan(giriş) gücün 4π ile bölünmesiyle elde edilir:

$$G = 4\pi \frac{ışıma\ yoğunluğu}{toplam\ alınan\ güç} = 4\pi \frac{U(\theta, \Phi)}{P_{in}}\ (boyutsuz) \qquad (2.\ 12)$$

Bağıl kazanç (relative gain), bir antenin belirtilen bir yöndeki güç kazancının seçilen bir referans antenin referans yönündeki güç kazancına oranı olarak tanımlanır. Bu durumda her iki antene aynı miktarda güç girişi olmalı ve referans anten olarak kazancı bilinen bir anten kullanılmalıdır. Bu ifade matematiksel olarak şu şekilde yazılabilir:

$$G = \frac{4\pi U(\theta, \Phi)}{P_{in}(kayıpsız\ izotropik\ kaynak)}\ (boyutsuz) \qquad (2.\ 13)$$

Yön belirtilmediği takdirde güç kazancı genellikle en yüksek güç şiddetinun olduğu yönde hesaplanır.

Antenin ışıma verimliliği ile antenin toplam giriş gücü çarpımı sonucu ışınan güç ifadesi şu şekilde elde edilmektedir:

$$P_{rad} = e_{cd} P_{in} \qquad (2.\ 14)$$

Yukarıdaki eşitlik kullanılarak maksimum anten kazancı(G_0); antenin ışıma verimi ve yönlendiricilik cinsinden şu eşitliklerle yazılabilir:

$$G(\theta, \Phi) = e_{cd} D(\theta, \Phi) \qquad (2.\ 15)$$

$$G_0 = e_{cd} D_0 \qquad (2.\ 16)$$

2.7 Bant Genişliği

Bir antenin bant genişliği(bandwidth), antenin performasının istenen ya da kabul edilebilir değerlerde olduğu frekans aralığı olarak tanımlanabilir. Bir başka ifadeyle antenin bant genişliği, antenin istenen özelliklerde çalıştığı en yüksek ve en düşük frekansın arasındaki farktır. Bant genişliği şu ifadeyle bulunur:

$$Bant\ Genişliği\ =\ f_{max} - f_{min} \tag{2. 17}$$

Burada f_{max} en yüksek çalışma frekansını, f_{min} ise en düşük çalışma frekansını göstermektedir. Bu iki frekansın ortasındaki frekansa ise merkez frekansı denilmektedir. Merkez frekansı şu ifadeyle hesaplanmaktadır:

$$f_c\ =\ \frac{f_{max} - f_{min}}{2} \tag{2. 18}$$

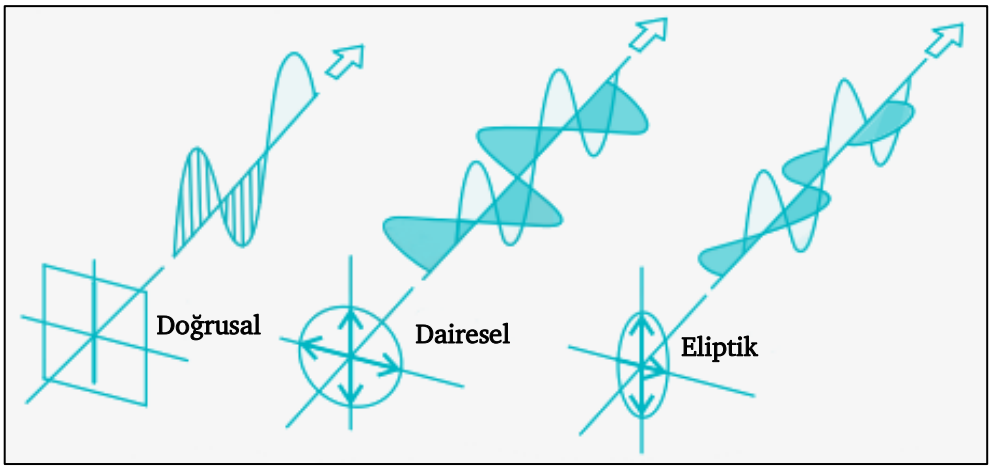
Kesirli bant genişliği(Fractional bandwidth(FBW)) ifadesi tezlerde ve makalelerde bant genişliği ile ilgili sık kullanılanılan ifadelerden biridir. Kesirli bant genişliği, genellikle anten bant genişliğini antenin merkez frekansının yüzdesi olarak göstermek için kullanılır ve şu şekilde hesaplanır:

$$FBW = \frac{f_{max} - f_{min}}{fc} \tag{2. 19}$$

Genellikle antenlerin bant genişliğinden bahsedilirken antenlerin S parametrelerine bakılır. Antenin geri dönüş kaybı olan S_{11} parametresinin -10dB seviyesinin altında olduğu en düşük ve en yüksek frekans değeri kullanılarak bant genişliği hesaplanır.

2.8 Kutuplanma

Bir antenin belirtilen bir yöndeki kutuplanması(polarization), anten tarafından iletilen(yayılan) dalganın kutuplanması olarak tanımlanır. Yön belirtilmediği takdirde kazancın en yüksek olduğu yön kullanılır. Pratikte yayılan enerjinin kutuplanması antenin merkezinden itibaren yönle değişir bu nedenle örüntünün farklı bölümlerinde farklı kutuplanmalar olabilir. Yayılan bir dalganın kutuplanması, elektrik alan vektörünün yönünün ve bağıl genliğinin zamana göre değişimini gösteren bir özelliktir [37].



Şekil 2.4 Doğrusal, dairesel ve eliptik kutuplanma

Kutuplanmalar; doğrusal kutuplanma, dairesel kutuplanma ve eliptik kutuplanma olarak sıralanabilir. Bahsedilen kutuplanma türleri Şekil 2.4' te gösterilmiştir.

Doğrusal kutuplanma: Elektrik alanı boşlukta zamanın bir fonksiyonu olarak tanımlayan vektörün sürekli bir doğru boyunca ilerlemesidir. Doğrusal kutuplanmanın sağlanabilmesi için alanın tek bir bileşeni ya da aralarında 180° zaman farkı olan iki dikey(orthogonal) doğrusal bileşeni olmalıdır.

Dairesel kutuplanma: Elektrik alanı boşlukta zamanın bir fonksiyonu olarak tanımlayan vektörün daire şeklinde bir iz oluşturmasıdır. Dairesel kutuplanmanın sağlanabilmesi için alanın iki dikey doğrusal bileşeni olmalı, bu bileşenler aynı genlikte olmalı ve aralarında 90°'nin tek katları kadar zaman farkı olmalıdır.

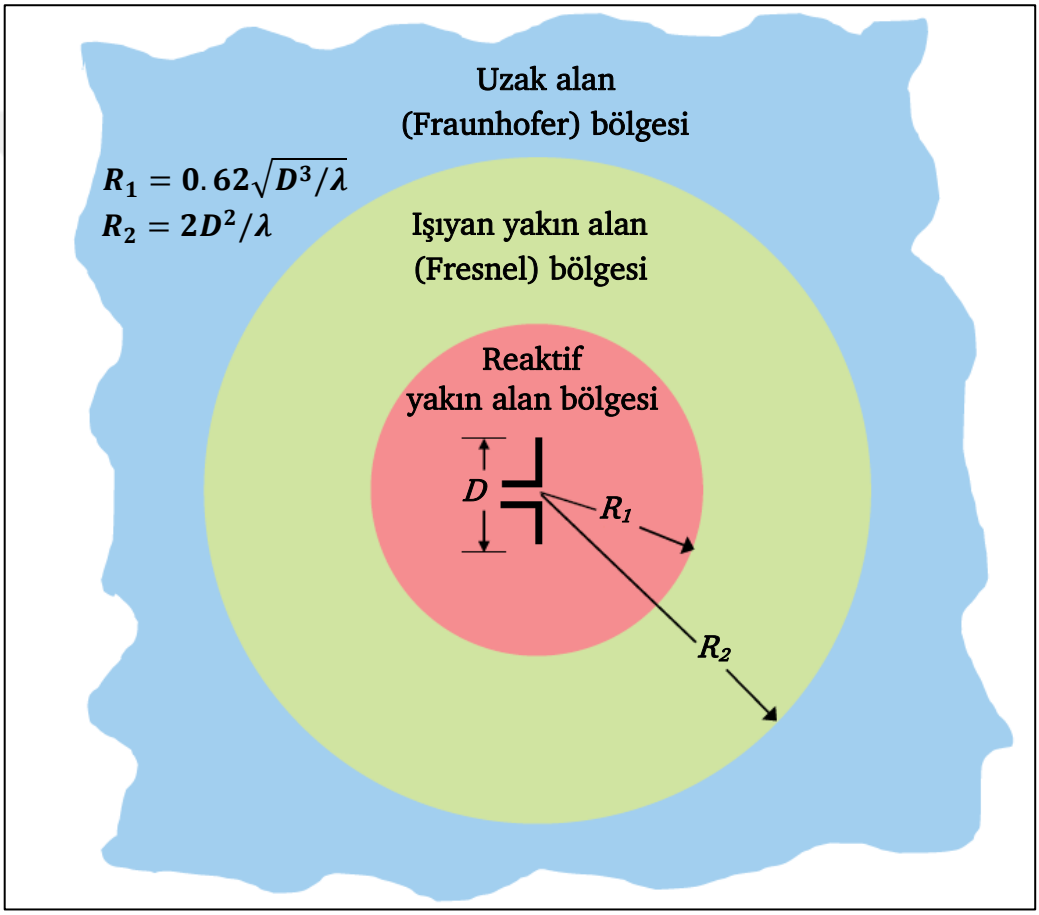
Eliptik kutuplanma: Elektrik alanı boşlukta zamanın bir fonksiyonu olarak tanımlayan vektörün elips şeklinde bir iz oluşturmasıdır. Bir dalga, doğrusal veya dairesel kutuplanma oluşturmuyorsa eliptik kutuplanma oluşturur. Pratikte doğrusal ve dairesel kutuplanma, eliptik kutuplanmanın özel bir türüdür.

Eliptik kutuplanmanın sağlanabilmesi için şu gereklidir:

- Alanın iki dikey doğrusal bileşeni olmalıdır.
- Bu iki doğrusal bileşenin genlikleri aynı veya farklı olabilir.
- İki bileşenin genliklerinin farklı olması durumunda, bileşenler arasındaki zaman farkı 0° veya 180°'nin katları şeklinde olmamalıdır.
- İki bileşenin genliklerinin aynı olması durumunda ise aralarındaki zaman farkı 90°'nin tek katları olmamalıdır.

2.9 Alan Bölgeleri

Anteni çevreleyen alan genellikle 3 alt bölgeye ayrılmaktadır. Bu bölgeler Şekil 2.5'te gösterilmiştir. Birinci bölgeye reaktif yakın alan(reactive near-field), ikinci bölgeye ışıyan yakın alan(radiating near-field) ya da Fresnel bölgesi, üçüncü bölgeye ise uzak alan(far-field) veya Fraunhofer bölgesi ismi verilmiştir. Bu bölgeler arasında keskin bir geçiş olmamakla birlikte her bölgenin belirgin farklılıkları vardır. Bölgeler arasındaki sınırlar kesin olmasa bile bu bölgeleri ayırmak için bazı koşullar oluşturulmuştur [37].



Şekil 2.5 Antenin alan bölgeleri [37]

Reaktif yakın alan bölgesi, anteni hemen çevreleyen yakın bölgede reaktif alanların baskın olduğu kısım olarak tanımlanmaktadır. Çoğu anten için bu bölgenin sınır koşulu aşağıdaki formülle belirtilir.

$$R < 0.62\sqrt{\frac{D^3}{\lambda}} \qquad (2.\ 20)$$

Anten yüzeyinden “R” kadar uzaklıktaki bir bölgenin reaktif yakın alan bölgesi olması için bu koşulu sağlaması gerekir. Burada λ dalga boyunu, D ise antenin en büyük boyutunu göstermektedir.

Işıyan yakın alan bölgesi veya Fresnel bölgesi, bir antenin reaktif yakın alan ve uzak alan bölgesi arasında kalan bölgedir. Bu bölgede ışıma baskındır ve açısal alan dağılımı antenden olan uzaklığa bağlı olarak değişmektedir. Bir antenin en büyük boyutu bu antenin dalga boyuna göre yeterince fazla değilse ışıyan yakın alan bölgesi oluşmayabilir. Bu alan için sınır koşulları aşağıda eşitlikte gösterilmiştir.

$$\frac{2D^2}{\lambda} > R \geq 0.62\sqrt{\frac{D^3}{\lambda}} \qquad (2.\ 21)$$

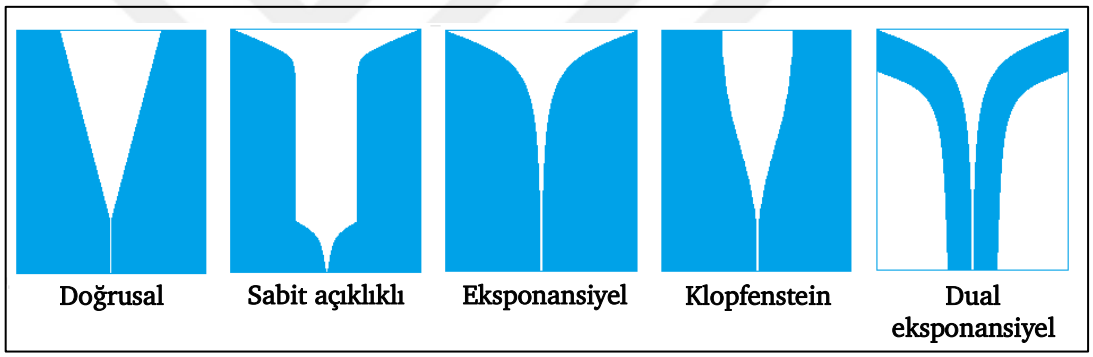
Uzak alan veya Fraunhofer bölgesi, açısal alan dağılımının antenden olan uzaklıktan bağımsız olduğu bölge olarak tanımlanır. Bu alan için iç sınır koşulu olarak aşağıdaki koşul sağlanmalıdır.

$$R \geq \frac{2D^2}{\lambda} \qquad (2.\ 22)$$

3
VİVALDİ ANTEN

3.1 Vivaldi Anten Türleri

Vivaldi anten aslında açıklığı daralan yarık anten(Tapered Slot Antenna) türlerinden biridir. Açıklığı daralan yarık antenlerde çeşitli daralma profilleri mevcuttur. Antenlerde genellikle doğrusal, sabit açıklıklı ve eksponansiyel daralma profilleri kullanılmasına karşın literatürde az da olsa Klopfenstein daralma profili [39, 40] ve dual eksponansiyel daralma profili [41, 42] gibi daralma profileri de kullanılmaktadır. Şekil 3.1'de bahsi geçen daralma profillerinin örnekleri gösterilmiştir.

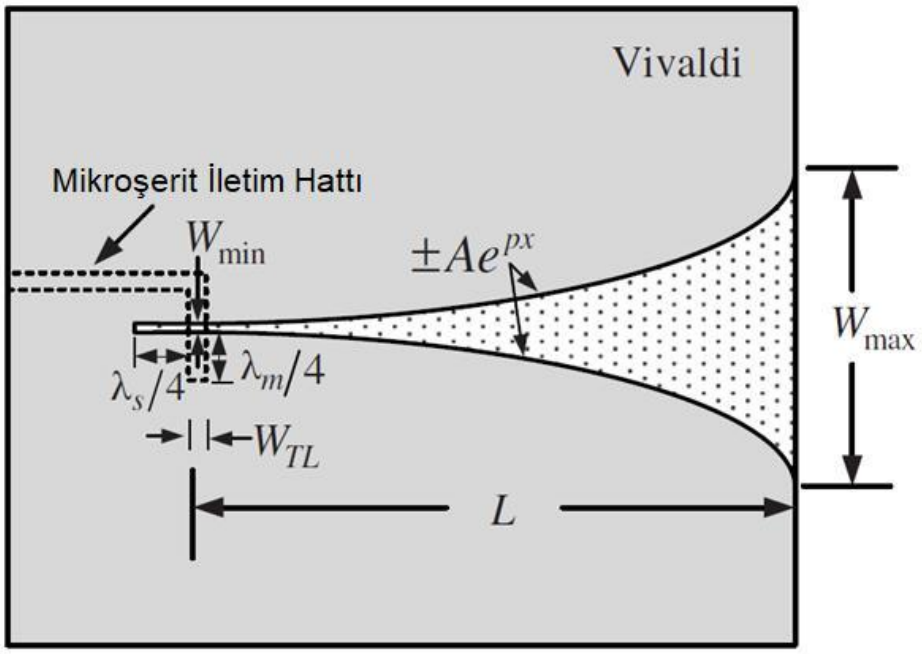


Şekil 3.1 Çeşitli açıklık daralma profileri [43]

Geçmişten günümüze kadar birçok farklı Vivaldi anten tasarımı yapılmıştır. Ancak literatürdeki çalışmalar incelendiğinde Vivaldi antenlerin temelde üç gruba ayrıldığı görülmektedir. Bunlar; eş düzlemsel Vivaldi anten, zıt kutuplu Vivaldi anten ve dengelenmiş zıt kutuplu Vivaldi anten şeklinde isimlendirilmiştir.

3.2 Eş Düzlemsel Vivaldi Anten

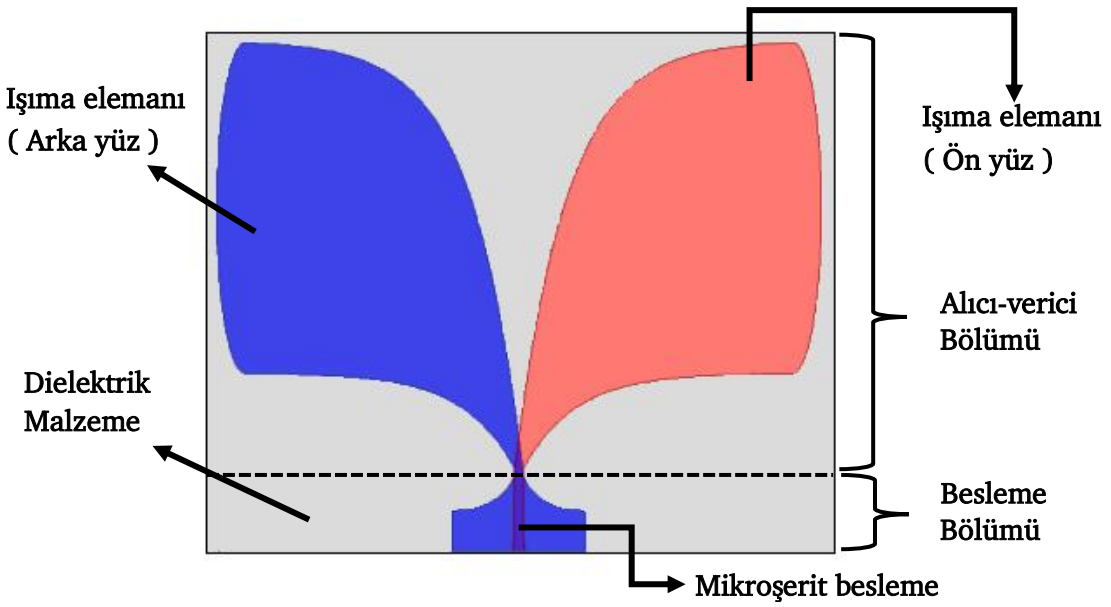
Eş düzlemsel Vivaldi anten yapısı ilk kez Gibson tarafından 1979 yılında sunulmuştur [17]. Temel olarak üç bölümden oluşmaktadır. Bunlar; besleme hattı, besleme hattıyla yarıklı bölüm arasındaki geçiş kısmı ve ışımanın gerçekleştiği yarıklı kısım şeklindedir. Işımanın gerçekleştiği yarıklı kısımda birbirine simetrik iki eksponansiyel eğri mevcuttur. Şekil 3.2'de örnek bir Eş düzlemsel Vivaldi anten yapısı gösterilmiştir.



Şekil 3.2 Eş düzlemsel Vivaldi anten yapısı [37]

3.3 Zıt Kutuplu Vivaldi Anten

Zıt kutuplu Vivaldi antende dielektrik malzemenin her iki tarafında da simetrik olarak yerleştirilen iletken kısımlar bulunmaktadır. İletken kısımlarda ise iki bölüm mevcuttur. Bunlardan birincisi besleme hattı, diğeri ise ışımayı sağlayan alıcı-verici bölümüdür. Bu yapı ilk kez 1988 yılında Gazit tarafından sunulmuştur [18]. Şekil 3.3'te örnek bir zıt kutuplu Vivaldi anten yapısı gösterilmiştir.

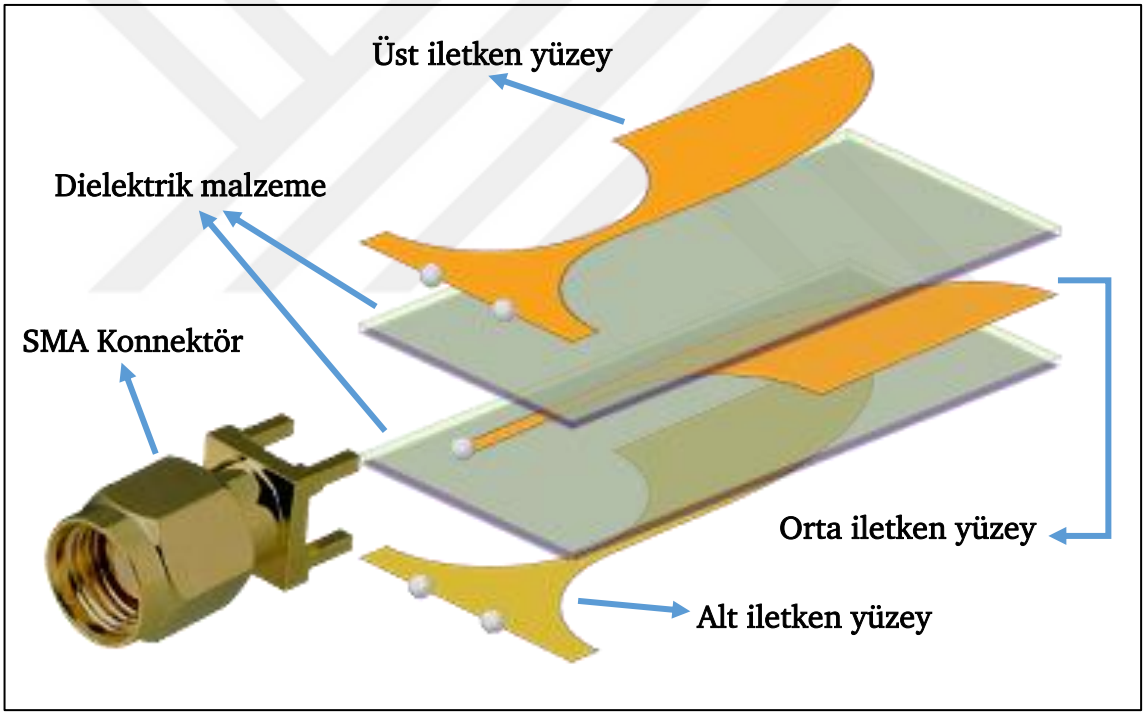


Şekil 3.3 Zıt kutuplu Vivaldi anten yapısı [44]

3.4 Dengelenmiş Zıt Kutuplu Vivaldi Anten

Dengelenmiş zıt kutuplu Vivaldi antende 3 adet iletken kısım mevcuttur. Dıştaki iletken yüzeyler ışıma için ortadaki iletken yüzey ise besleme için kullanılmaktadır. Alt iletken yüzey ve orta iletken yüzey arasında dielektrik malzeme bulunmatadır. Aynı dielektrik malzeme üst iletken yüzey ve orta iletken yüzey arasında da mevcuttur. Bu yapı ilk kez 1993 yılında Langley ve arkadaşları tarafından hazırlanan çalışmada literatüre girmiştir [19].

Bu yapının kullanılması sonucu zıt kutuplu Vivaldi antenlerde ortaya çıkan çapraz polarizasyon sorunu iyileştirilmiştir. Şekil 3.4'te örnek bir dengelenmiş zıt kutuplu Vivaldi anten yapısı gösterilmiştir. Bu şekil, anten katmanlarının patlatılmış halini göstermektedir.



Şekil 3.4 Dengelenmiş zıt kutuplu Vivaldi anten yapısı [45]

4
TASARIM VE SİMÜLASYON

4.1 Tasarım Süreci

Bu çalışmada amaç 200 MHz ile 2.5 GHz arasında çalışan kompakt ve ölçüleri küçük bir Vivaldi anten elde etmektir. Antenin düşük maliyetli olması istendiğinden tasarım ve üretim sürecinde dielektrik malzeme olarak FR4 materyali tercih edilmiştir.

Tasarım sürecinde ilk olarak geleneksel bir eş düzlemsel Vivaldi anten tasarımı yapılmış, ardından antenin boyutlarını düşürmek için parametrik analizlerden faydalanılmıştır. Son aşama olarak asimetrik eğriler kullanılarak asimetrik Vivaldi anten elde edilmiş ve her iki antenin simülasyon sonuçları incelenmiştir.

4.2 Geleneksel Eş Düzlemsel Vivaldi Anten Tasarımı

4.2.1 Matematiksel Eşitlikler

Bu bölümde geleneksel bir eş düzlemsel Vivaldi anten tasarımı için kullanılan bazı matematiksel eşitliklerden bahsedilecektir. Antendeki parametrelerin rahat anlaşılması adına Şekil 4.1 ve 4.2'de geleneksel bir Vivaldi antenin arka ve ön yüzeyleri ve bazı parametreleri gösterilmiştir.

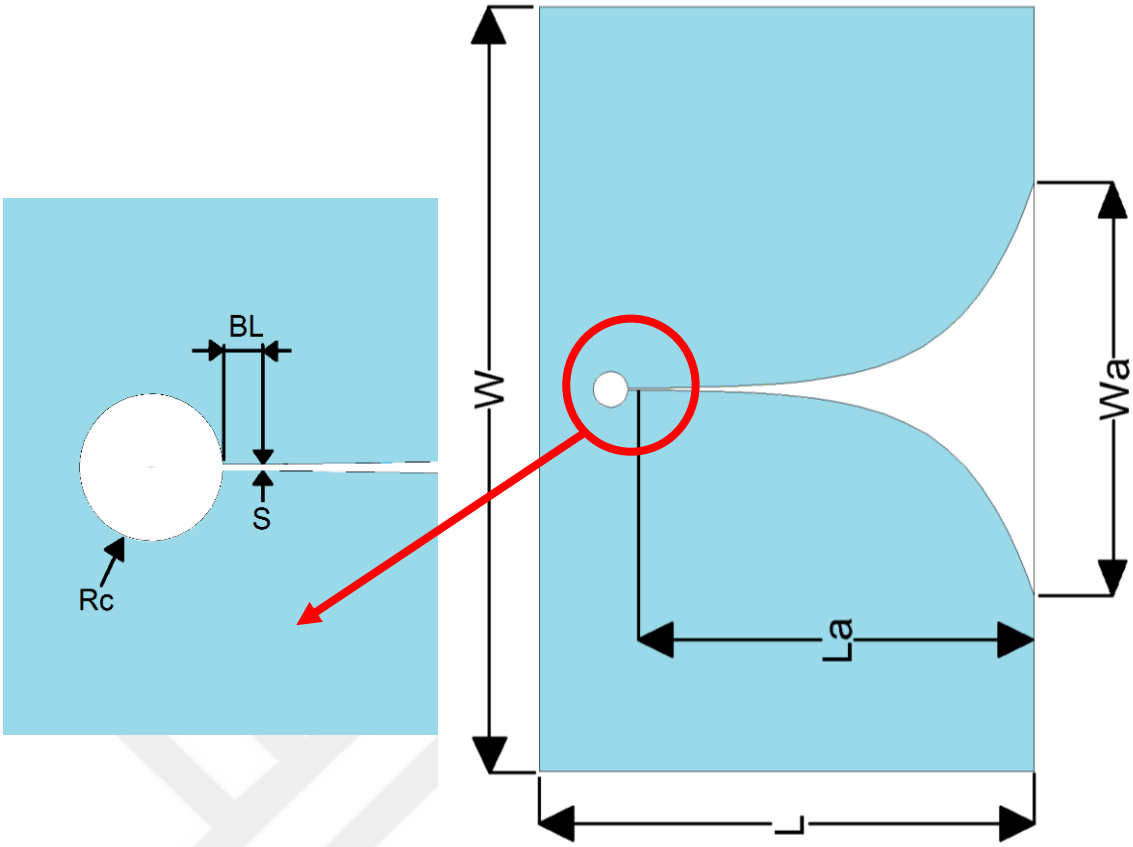
Bir Vivaldi antenin en önemli kısımlarından biri olan eksponansiyel eğriler şu denklemle ifade edilir:

$$y(x) = \pm Ae^{RX} \tag{4. 1}$$

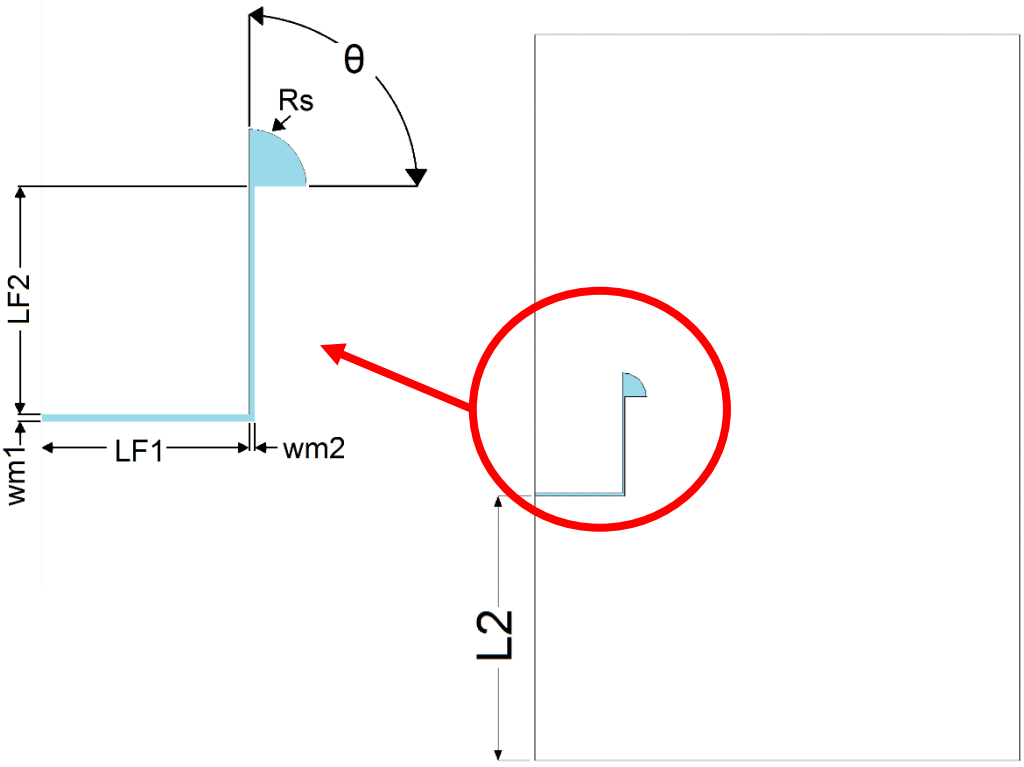
$$A = S/2 \tag{4. 2}$$

$$R = \frac{1}{L_a} \ln\left(\frac{W_a}{S}\right) \tag{4. 3}$$

Eşitlik 4.1'de *y(x)* fonksiyonu simetrik olan eksponansiyel eğrilerin fonksiyonudur. Burada, R parametresi eğrilik oranını göstermektedir, A parametresi ise bir sabittir. Eşitlik 4.2 ve Eşitlik 4.3 ile A ve R parametreleri hesaplanabilir [46].



Şekil 4.1 Geleneksel eş düzlemsel Vivaldi anten arka yüzey parametreleri



Şekil 4.2 Geleneksel eş düzlemsel Vivaldi anten ön yüzey parametreleri

Eşitlik 4.2 ve 4.3'te gösterilen parametrelerden S parametresi boğaz genişliği olarak adlandırılmaktadır. Boğaz genişliği iki eğri arasındaki en kısa mesafenin ölçüsüdür. Ağız açıklığı olarak ifade edilen Wa parametresi ise iki eğrinin anten üzerinde birbirine en uzak olduğu noktalar arasındaki mesafenin ölçüsüdür [46].

Eşitlik 4.4 ve 4.5 kullanılarak ağız açıklığı ve boğaz genişliği parametreleri hesaplanabilmektedir. Burada; ε_r parametresi dielektrik malzemenin katsayısını, c parametresi ışık hızını, f_h antenin maksimum çalışma frekansını, f_l antenin minimum çalışma frekansını göstermektedir.

$$Wa = \frac{c}{2\sqrt{\varepsilon_r}(f_l)} \tag{4. 4}$$

$$S = \frac{c}{2\sqrt{\varepsilon_r}(f_h)} \tag{4. 5}$$

Eşitlik 4.4 ve 4.5'e bakıldığında antenin çalışma frekans aralığını etkileyen en önemli parametrelerin ağız açıklığı ve boğaz genişliği olduğu görülmektedir. Genellikle bir Vivaldi antenin ağız açıklığı uzunluğu antenin alt kesim frekansına, boğaz genişliği uzunluğu ise antenin üst kesim frekansına etki etmektedir [46].

Antendeki bir diğer önemli parametre de antenin ön yüzeyinde bulunan mikroşerit besleme yapısıdır. Piyasada ve pratik uygulamalarda antenler için genellikle 50Ω konnektörler kullanılmasından ötürü konnektörlerin empedans değerine uygun mikroşerit hat kullanılması adına bu hesaplamalar önem teşkil etmektedir.

Mikroşerit hattın genişliğini hesaplamak için mikroşerit hat genişliğinin dielektrik taban malzemesinin kalınlığına oranına göre iki farklı hesaplama mevcuttur. Bu oranın birden küçük veya bire eşit olması durumunda Eşitlik 4.6 ve Eşitlik 4.7 kullanılmaktadır [47].

Mikroşerit hat genişliği w, dielektrik malzeme kalınlığı h olmak üzere w/h≤1 ise;

$$\varepsilon_{eff} = \frac{\varepsilon_r + 1}{2} + \frac{\varepsilon_r - 1}{2}\left[\frac{1}{\sqrt{1 + 12\left(\frac{h}{w}\right)}} + 0.04\left(1 - \left(\frac{w}{h}\right)\right)^2\right] \tag{4. 6}$$

$$Z_c = \frac{60}{\sqrt{\varepsilon_{eff}}}\left[\ln\left(8\left(\frac{h}{w}\right) + 0.25\left(\frac{w}{h}\right)\right)\right] \tag{4. 7}$$

Mikroşerit hat genişliğinin dielektrik taban malzemesinin kalınlığına oranına birden büyük veya bire eşit ise Eşitlik 4.8 ve Eşitlik 4.9 kullanılmaktadır [47].

Mikroşerit hat genişliği *w*, dielektrik malzeme kalınlığı *h* olmak üzere w/h≥1 ise;

$$\varepsilon_{eff} = \frac{\varepsilon_r + 1}{2} + \left[\frac{\varepsilon_r - 1}{2\sqrt{1 + 12\left(\frac{h}{w}\right)}}\right] \quad (4.\ 8)$$

$$Z_c = \frac{120\pi}{\sqrt{\varepsilon_{eff}}\left[\frac{w}{h} + 1.393 + 0.667\left(\ln\left(\frac{w}{h} + 1.444\right)\right)\right]} \quad (4.\ 9)$$

Eşitlik 4.6 ve 4.7 ya da Eşitlik 4.8 ve Eşitlik 4.9'dan uygun olan ikisi kullanılarak mikroşerit hat genişliği hesaplanabilmektedir.

ε_r : Dielektrik malzemenin dielektrik katsayısı

ε_{eff} : Dielektrik malzemenin etkin(effective) dielektrik katsayısı

Z_c : Mikroşerit hattın karakteristik empedansı

4.2.2 Tasarım ve Simülasyon

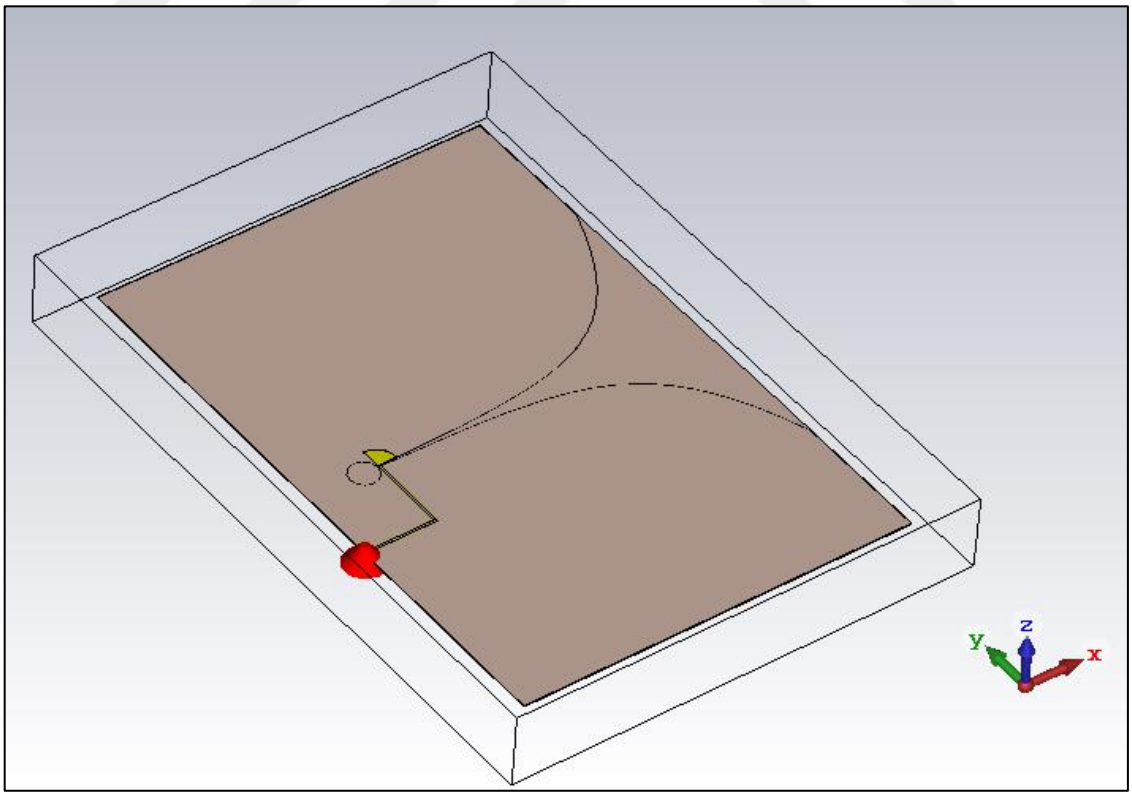
Tasarımın bu aşamasında Şekil 4.1 ve Şekil 4.2'de arka ve ön yüzeyleri gösterilen geleneksel eş düzlemsel Vivaldi anten CST Studio Suite 2020 programında modellenmiştir. Modellemelerin genel görünümleri Şekil 4.3 ve Şekil 4.4'te gösterilmiştir. Antenin tasarım ölçüleri ise Tablo 4.1'de gösterilmiştir. Analizlerin kolay yapılması adına tüm ölçüler parametrik olarak kullanılmış ve antenin geri dönüş kaybı(S_{11}) değerleri ve ışıma örüntüleri incelenmiştir.

Tablo 4. 1 Geleneksel Vivaldi anten tasarım parametreleri

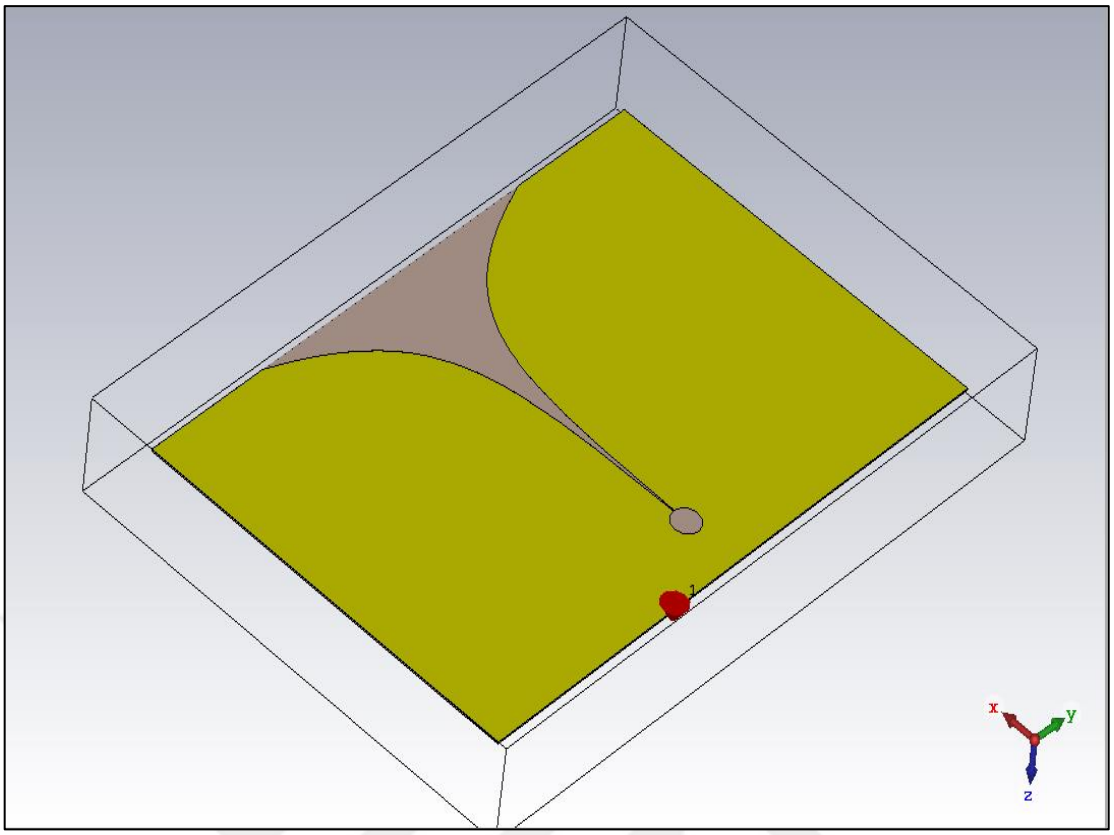
Parametre Tanımı	Parametre Adı	Değeri
Anten genişliği	W	750 mm
Anten uzunluğu	L	500 mm
Dairesel dilim yarıçapı	Rs	25 mm
Dairesel dilim açısı	θ	90°
Dairesel yarık yarıçapı	Rc	18 mm
Boğaz genişliği	S	1.5 mm

Tablo 4. 1 Geleneksel Vivaldi anten tasarım parametreleri (devamı)

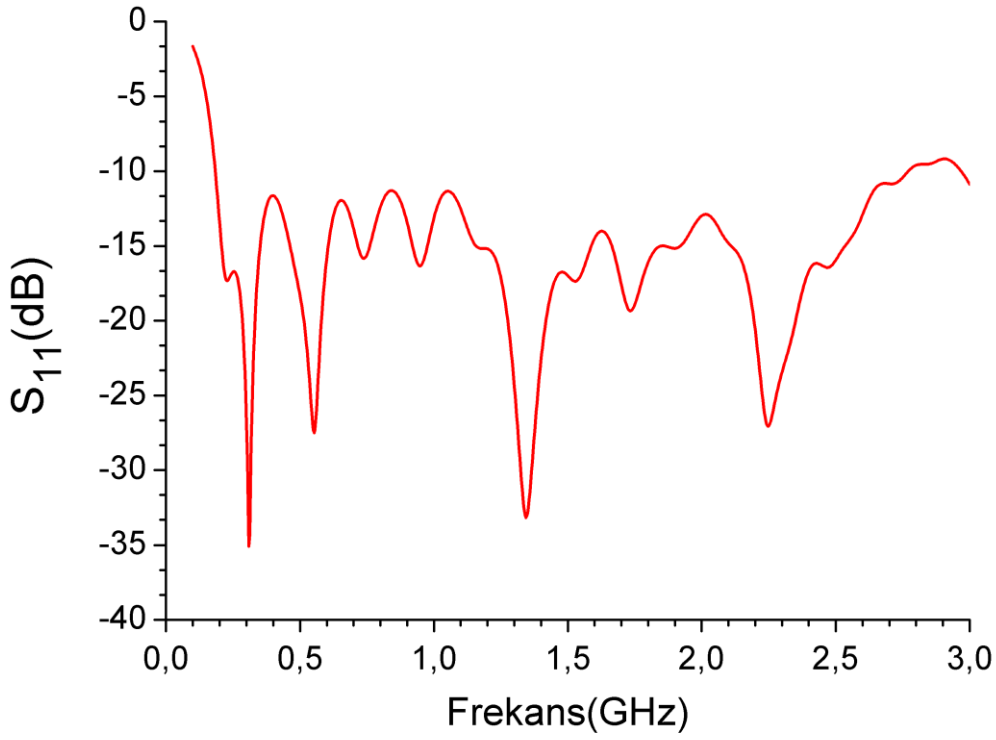
Boğaz uzunluğu	BL	10 mm
Ağız açıklığı	Wa	405.64 mm
Eksponansiyel eğrilerin eğrilik oranı	R	0.014
Eksponansiyel eğrilerin sabit katsayısı	A	0.75
Mikroşerit hat genişliği	wm1	3 mm
Mikroşerit hat ile dairesel dilim arasındaki geçiş bölümü iletken genişliği	wm2	2.5 mm
Mikroşerit hat ile bu hatta en yakın köşe arasındaki uzaklık	L2	273.50mm
Mikroşerit hat uzunluğu	LF1	92.50mm
Mikroşerit hat ile dairesel dilim arasındaki geçiş bölümü iletken uzunluğu	LF2	99.25mm
Bakır kalınlığı	t_copper	0.035mm
FR4 dielektrik sabiti	ε_r	4.3
FR4 dielektrik malzeme yüksekliği	h	1.6mm
FR4 dielektrik malzeme kayıp tanjantı (loss tangent)	tan(δ)	0.025



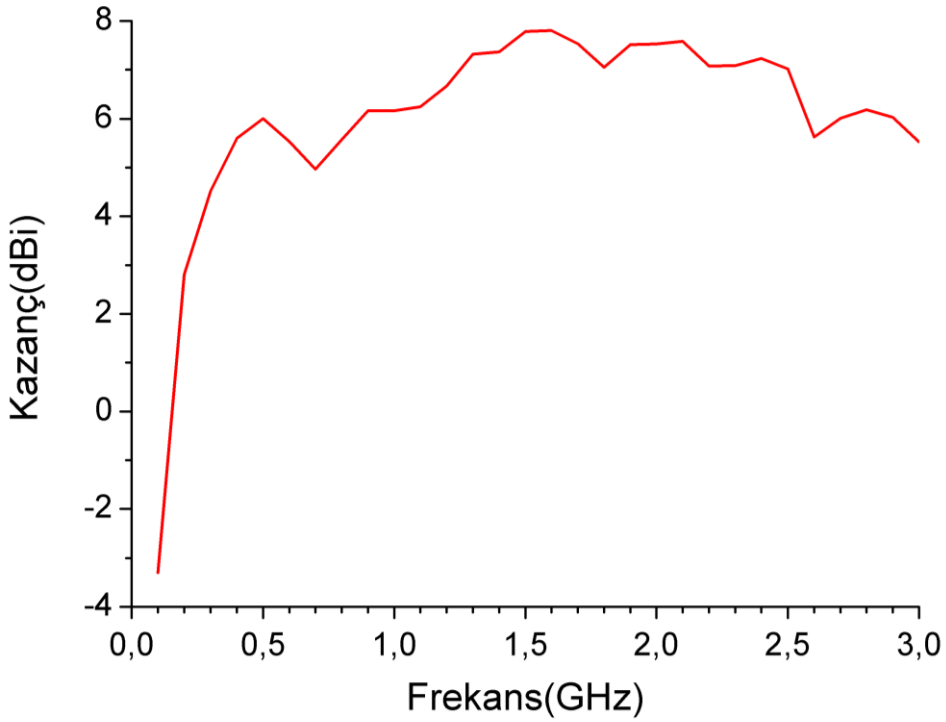
Şekil 4.3 Geleneksel eş düzlemsel Vivaldi anten genel görünüm 1



Şekil 4.4 Geleneksel eş düzlemsel Vivaldi anten genel görünüm 2



Şekil 4.5 Geleneksel eş düzlemsel Vivaldi anten S_{11} grafiği (simülasyon)



Şekil 4.6 Geleneksel eş düzlemsel Vivaldi anten kazanç grafiği (simülasyon)

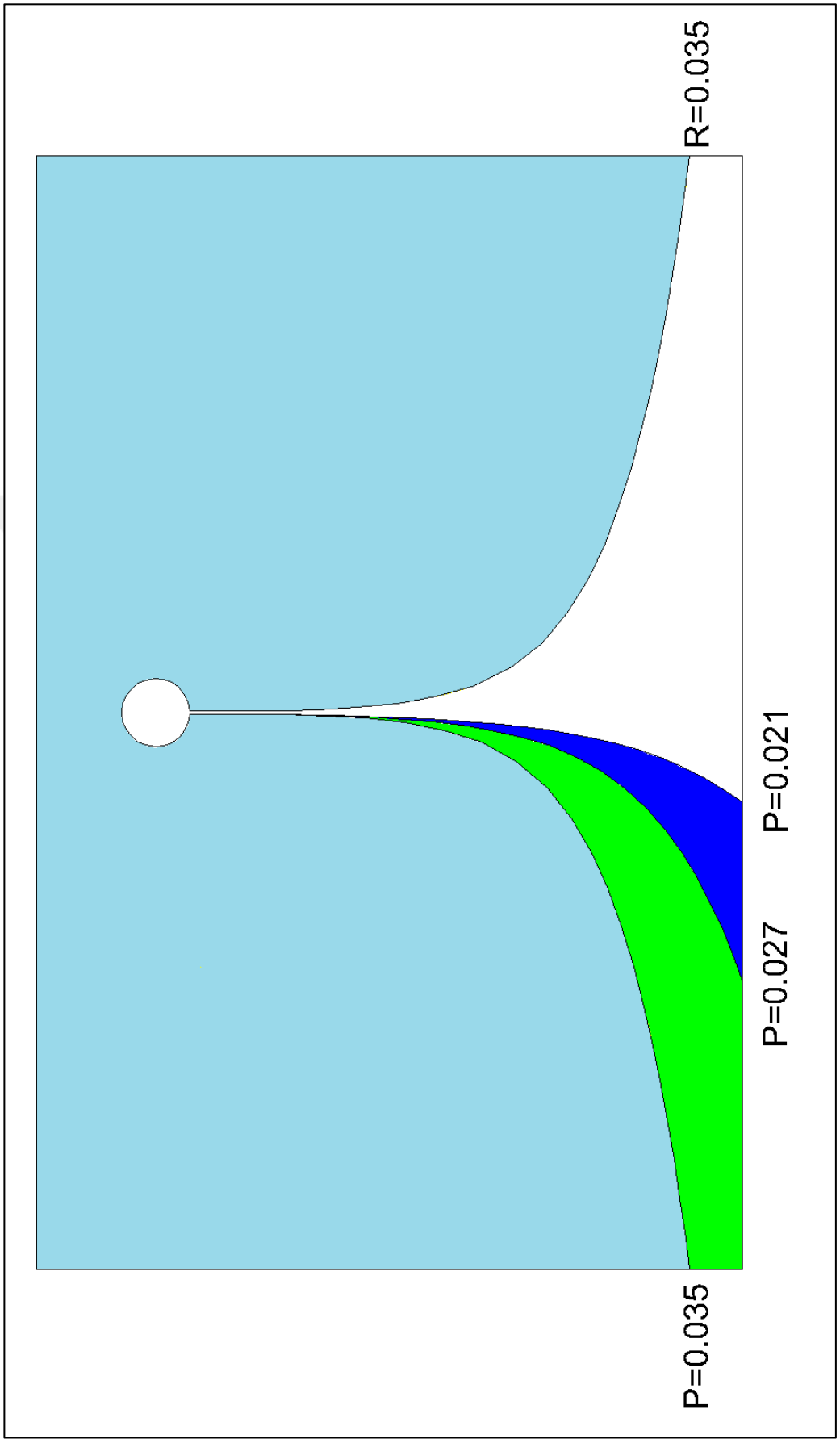
Geleneksel eş düzlemsel Vivaldi antenin tasarımı bittikten sonra simülasyon yapılarak antenin S parametreleri ve kazanç değerleri incelenmiştir. Şekil 4.5 antenin S_{11} parametrelerini, Şekil 4.6 ise antenin kazanç grafiğini göstermektedir.

S_{11} parametrelerine bakıldığında anten 185 MHz ile 2.77 GHz frekans aralığında çalışmaktadır ve bu aralıklarda S_{11} değeri -10dB seviyesinin aşağısındadır. Bu çalışmada hedeflenen minimum frekans değeri olan 200 MHz'de S_{11} değeri -12dB seviyesinden düşüktür. Aynı şekilde hedeflenen maksimum çalışma frekansı olan 2.5 GHz'de ise S_{11} -15dB seviyesinden düşüktür.

Antenin kazanç grafiği incelendiğinde kazancın 200MHz'de yaklaşık 2.8dBi seviyesinde olmasına karşın 900MHz ile 2.5GHz arasında 6dBi seviyesinin üzerinde olduğu görülmektedir.

4.3 Asimetrik Eş Düzlemsel Vivaldi Anten

Bir önceki bölüm 4.2'de tasarlanan antende genişlik ve uzunluk parametrelerinin arzu edildiği gibi olmadığı görülmektedir. 750mmx550mmx1.6mm ölçülerindeki bu Vivaldi anten, üretim ve maliyet açısından dezavantajlı konumdadır. Bu sorunu gidermek amacıyla parametrik analizler yapılmıştır.



Şekil 4.7 Eğrilik katsayısına göre Vivaldi anten şekil değişimi

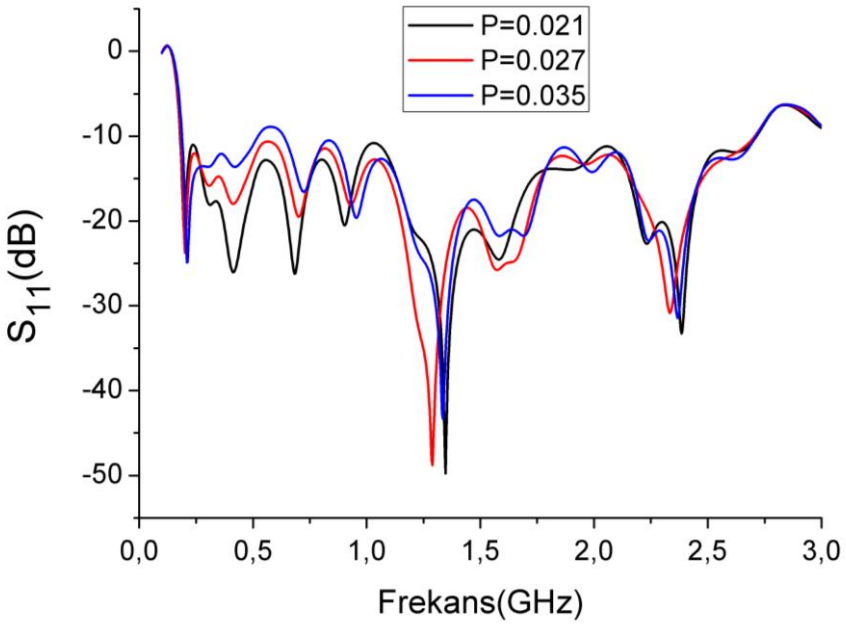
Antendeki ağız açıklığı parametresinin alt kesim frekansını, boğaz genişliği parametresinin ise üst kesim frekansını etkilediği bilinmektedir. Bu sebeple, bu iki uzunluğu çok değiştirmeden antenin diğer parametrelerinin değişimi üzerine analizler yapılmıştır. Bu analizlerde boğaz uzunluğu BL parametresinin ve eksponansiyel eğrilik oranı olan R parametresinin değişiminin antende kayda değer performans değişikliği sağladığı görülmüştür. Bunun üzerine boğaz uzunluğu biraz daha arttırılmış ve eğrilik katsayısı üzerine analizler yapılmıştır.

Bu aşamada Vivaldi antenin parametrik analizinde ve tasarımında daha önce literatürde tercih edilmemiş olan yeni bir yaklaşım kullanılmıştır. Geleneksel Vivaldi antenlerde simetrik olan eğriler, Eşitlik 4.10 ve Eşitlik 4.11 kullanılarak asimetrik hale getirilmiştir. Bu anten, "asimetrik eş düzlemsel Vivaldi anten" olarak adlandırılmıştır. Şekil 4.7'de eğri katsayılarına göre antendeki eğrilerin asimetrik olarak değişmesi gösterilmektedir.

$$y1(x) = +Ae^{PX} \tag{4. 10}$$

$$y2(x) = -Ae^{RX} \tag{4. 11}$$

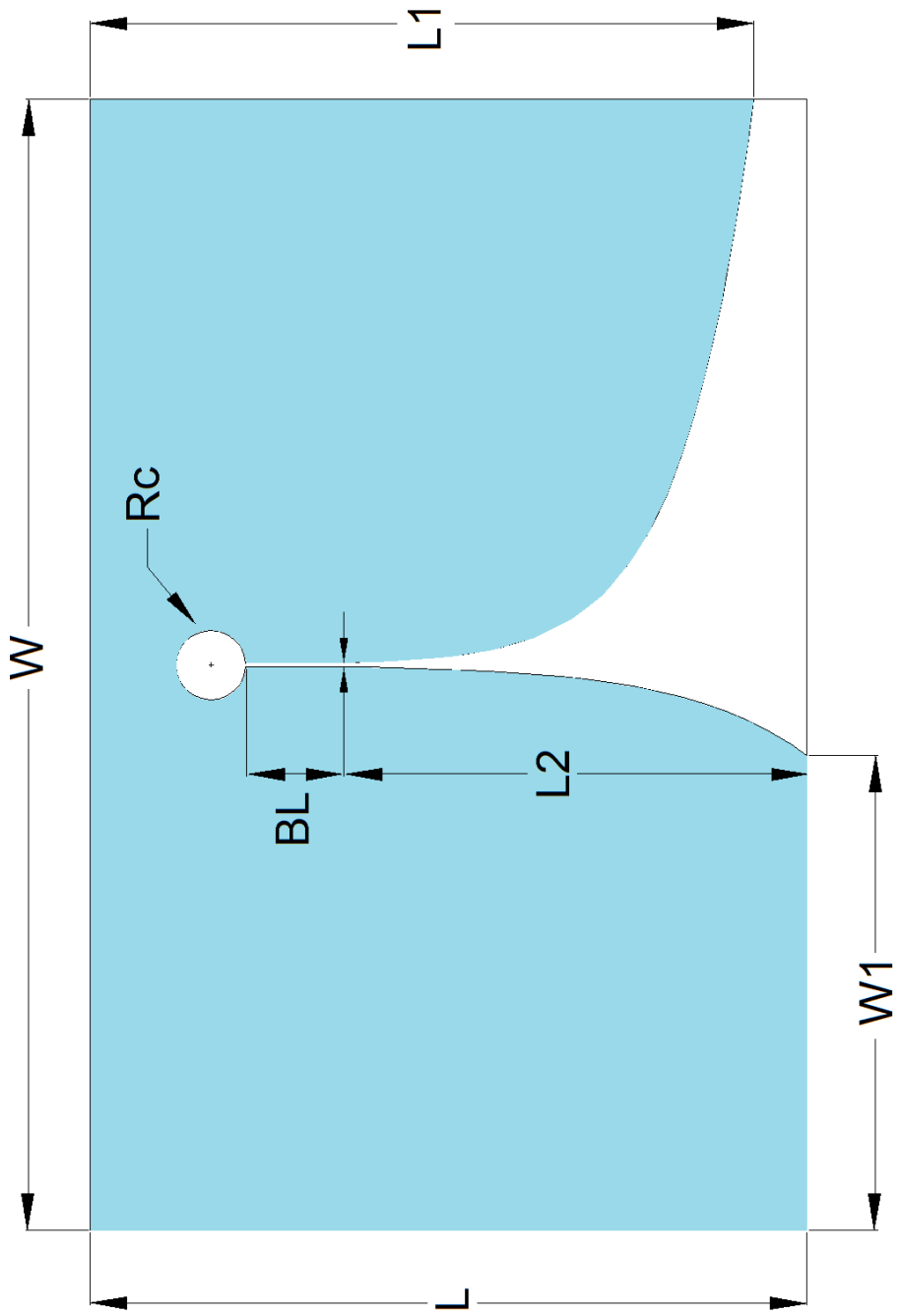
Bu eşitliklerde eğrilik katsayısı olan P ve R parametreleri farklı değerde seçilirse Vivaldi antende asimetrik eğriler elde edilmiş olur. İki parametrenin aynı olması durumunda ise anten geleneksel bir Vivaldi antenine dönüşür.



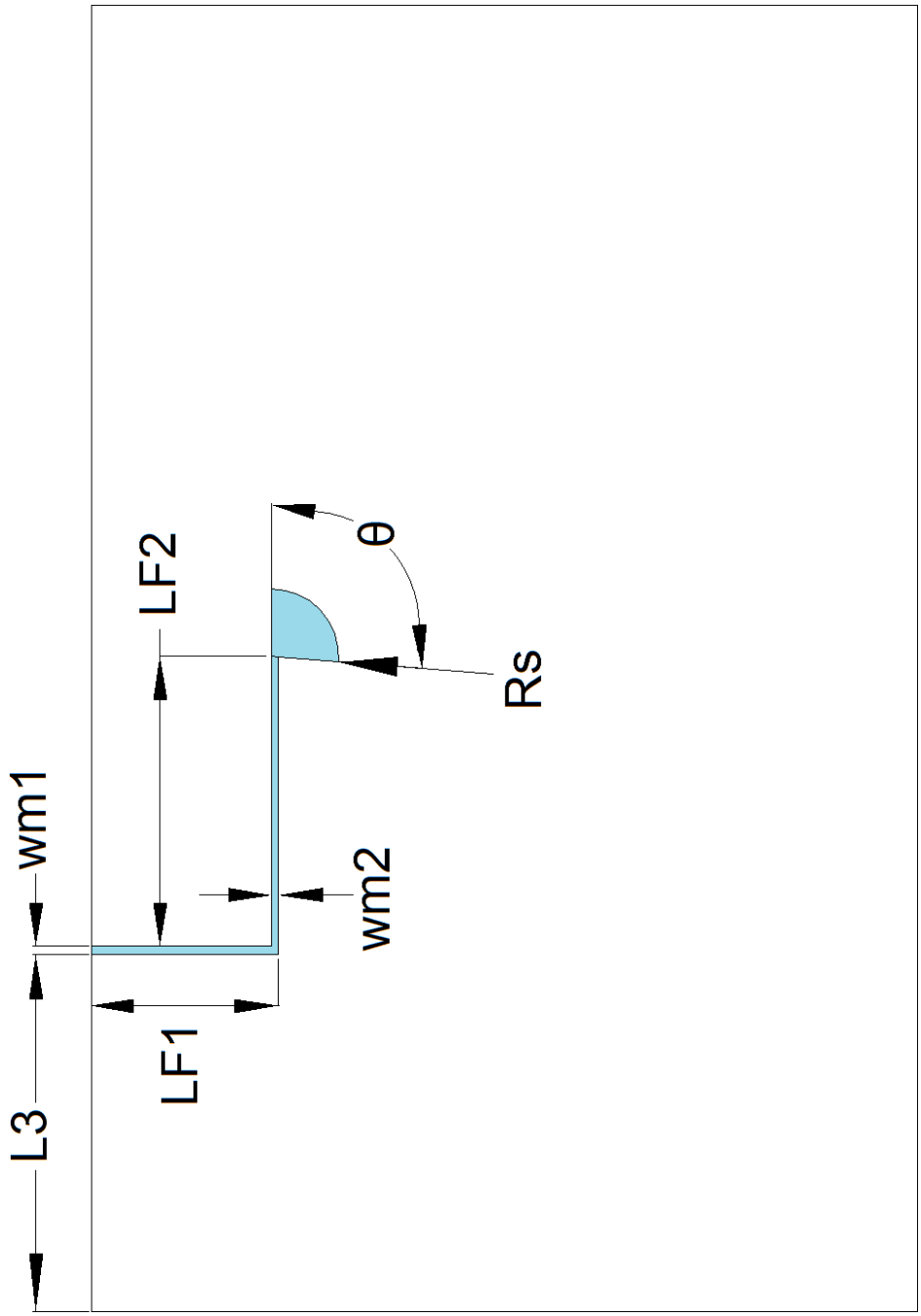
Şekil 4.8 Eğrilik katsayısına göre Vivaldi anten S_{11} grafiğinin değişimi

Şekil 4.8 farklı eğri katsayılarına göre antendeki geri dönüş kaybı(S_{11}) grafiğinin değişimini göstermektedir. İlk eğrinin eğrilik katsayısı olan P parametresinin R parametresinden daha ufak seçilmesiyle grafikte bir miktar iyileşme görülmüştür.

200 MHz ile 1 GHz arasında -10dB'e yakın seviyeler görüldüğünden parametrik analize devam edilmiş ve P parametresinin 0.021 olduğu grafikte daha stabil değerler görülmesi nedeniyle bu değer tercih edilmiştir.

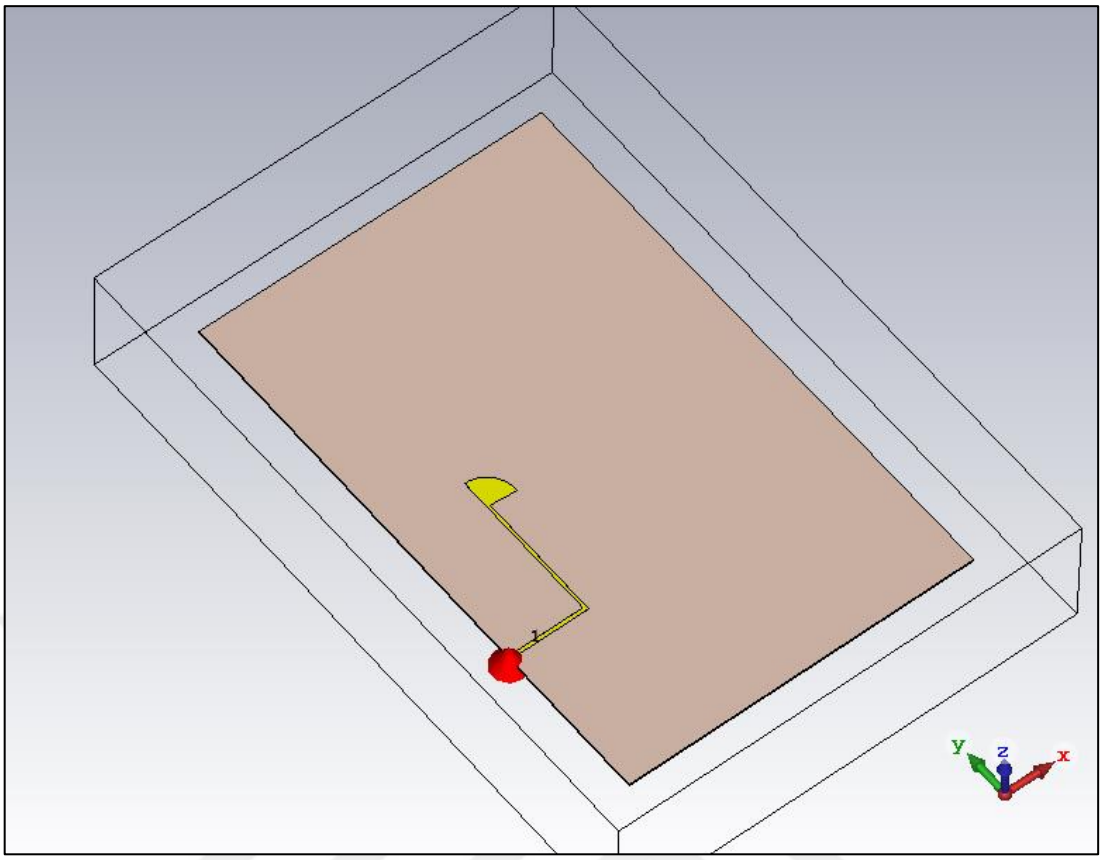


Şekil 4.9 Asimetrik eş düzlemsel Vivaldi anten arka yüzey parametreleri

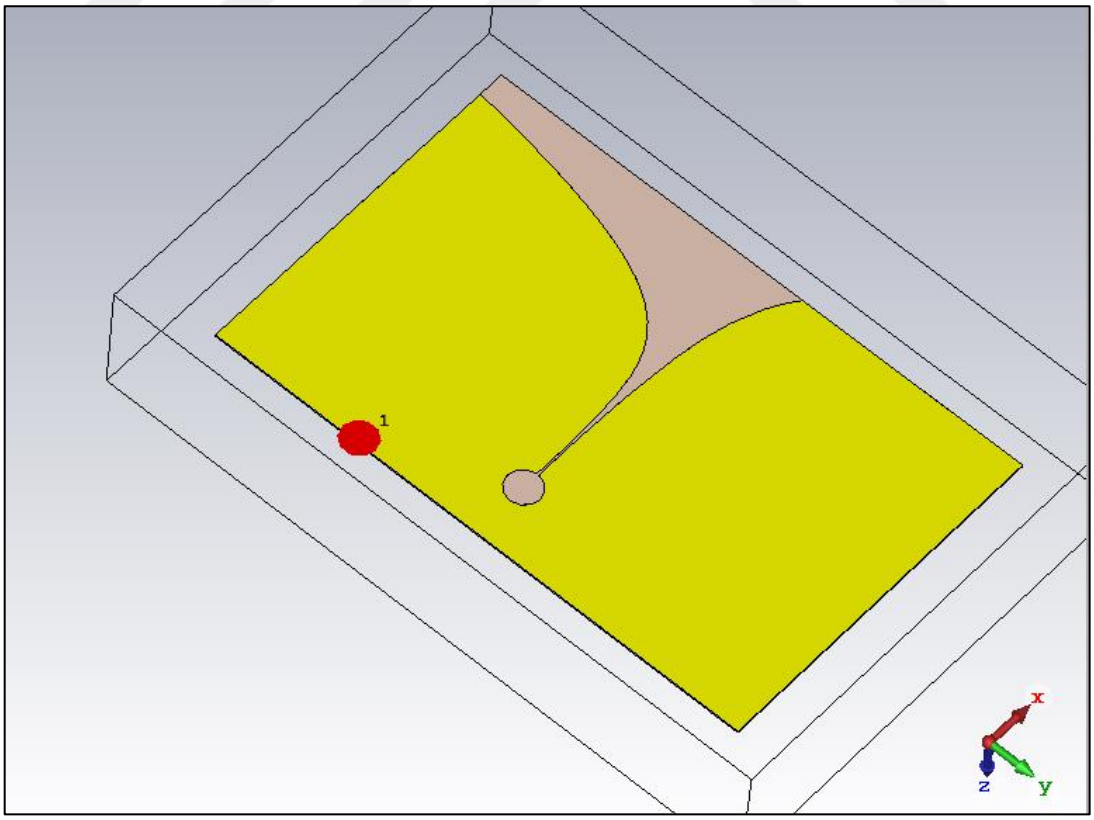


Şekil 4.10 Asimetrik eş düzlemsel Vivaldi anten ön yüzey parametreleri

Parametrik analizler sonrası tasarlanan asimetrik eş düzlemsel Vivaldi antenin arka yüzey ve ön yüzey parametreleri Şekil 4.9 ve Şekil 4.10'da gösterilmiştir. Asimetrik eş düzlemsel Vivaldi antenin tasarım parametreleri ise Tablo 4.2'de verilmiştir. Bu parametrelerle CST Studio Suite 2020 programında yapılan modellemeler Şekil 4.11 ve Şekil 4.12'de gösterilmiştir.



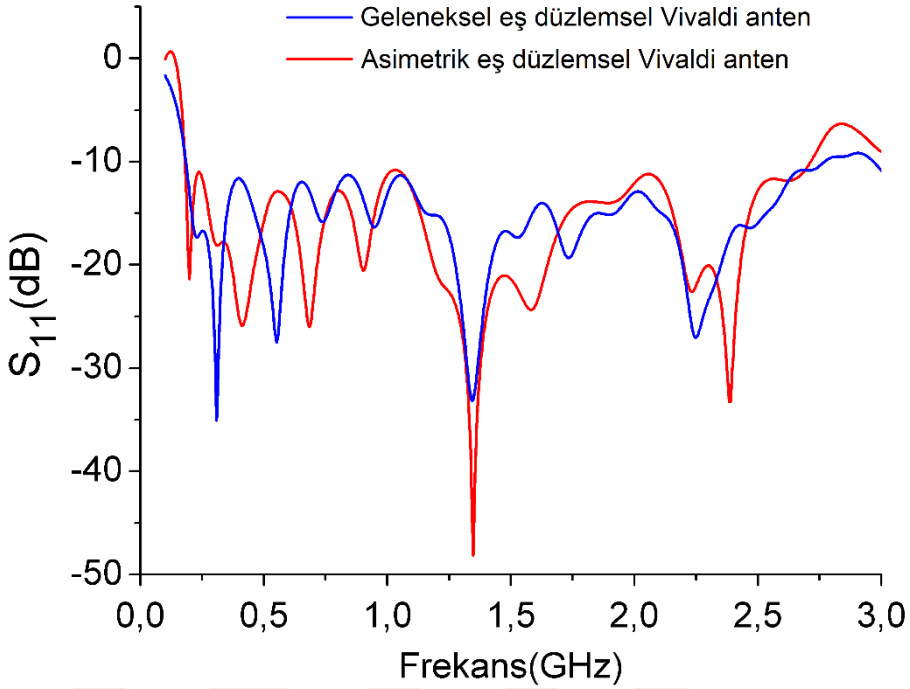
Şekil 4.11 Asimetrik eş düzlemsel Vivaldi anten genel görünüm 1



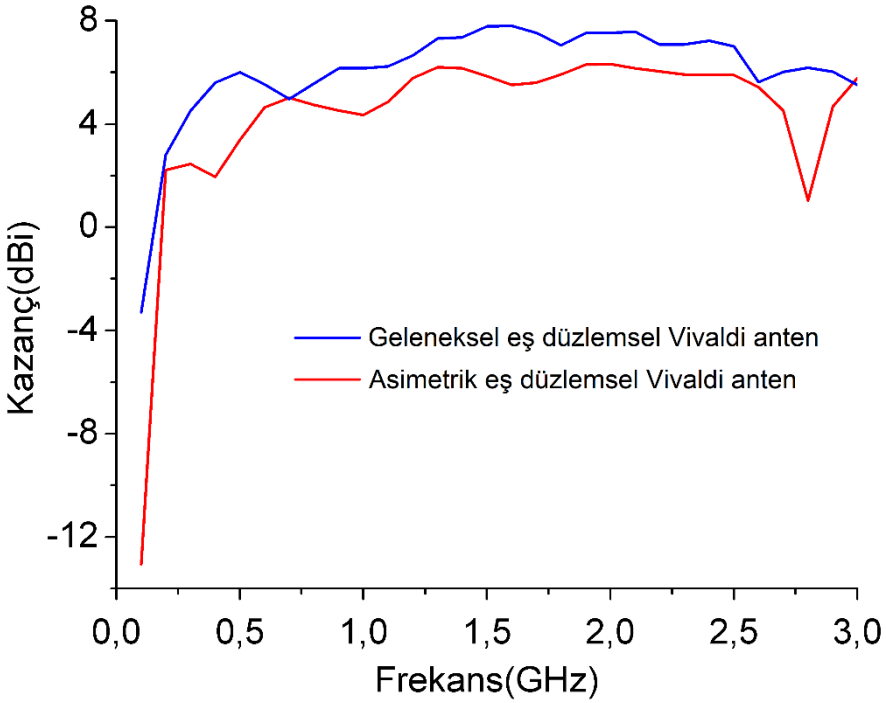
Şekil 4.12 Asimetrik eş düzlemsel Vivaldi anten genel görünüm 2

Tablo 4. 2 Asimetrik Vivaldi anten tasarım parametreleri

Parametre Tanımı	**Parametre Adı**	**Değeri**
Anten genişliği	W	447 mm
Anten uzunluğu	L	283 mm
Dairesel dilim yarıçapı	Rs	23.3 mm
Dairesel dilim açısı	θ	94.6°
Dairesel yarık yarıçapı	Rc	13.9 mm
Boğaz genişliği	S	1.54 mm
Boğaz uzunluğu	BL	38.42 mm
İlk eksponansiyel eğrinin bitiş noktası ve bu noktaya en yakın olan köşe arasındaki mesafe	W1	187.57 mm
İkinci ekponansiyel eğrinin bitiş noktası ve bu noktadan geçen kenarın bakır iletkenli olan köşesi arasındaki mesafe	L1	262.02 mm
İkinci ekponansiyel eğri başlangıç ve bitiş noktaları arasındaki mesafe	L2	183 mm
İlk eksponansiyel eğrinin eğrilik oranı	P	0.021
İkinci eksponansiyel eğrinin eğrilik oranı	R	0.035
Eksponansiyel eğrilerin sabit katsayısı	A	0.77
Mikroşerit hat genişliği	wm1	3 mm
Mikroşerit hat ile dairesel dilim arasındaki geçiş bölümü iletken genişliği	wm2	2.4 mm
Mikroşerit hat ile bu hatta en yakın köşe arasındaki uzaklık	L3	122 mm
Mikroşerit hat uzunluğu	LF1	64 mm
Mikroşerit hat ile dairesel dilim arasındaki geçiş bölümü iletken uzunluğu	LF2	99.27 mm
Bakır kalınlığı	t_copper	0.035mm
FR4 dielektrik sabiti	ε_r	4.3
FR4 dielektrik malzeme yüksekliği	h	1.6mm
FR4 dielektrik malzeme kayıp tanjantı(loss tangent)	tan(δ)	0.025



Şekil 4.13 Asimetrik Vivaldi anten geri dönüş kaybı(S_{11}) grafiği (simülasyon)



Şekil 4.14 Asimetrik Vivaldi anten kazanç grafiği (simülasyon)

Simülasyonda elde geri dönüş kaybı ve kazanç değerlerinin grafikleri Şekil 4.13 ve Şekil 4.14'te gösterilmiştir.

Asimetrik eş düzlemsel Vivaldi antenin geri dönüş kaybı parametresi S_{11} grafiğine bakıldığında antenin 181 MHz ile 2.71 GHz arasında çalıştığı görülmektedir ve bu frekans aralığında S_{11} değeri -10dB seviyesinin aşağısındadır. Hedeflenen minimum frekans değeri olan 200 MHz'de S_{11} değeri -20dB seviyesi civarındadır. Aynı şekilde hedeflenen maksimum çalışma frekansı olan 2.5 GHz frekansında ise S_{11} değeri -12dB seviyesinden bir miktar düşüktür.

Asimetrik eş düzlemsel Vivaldi antenin kazanç grafiği incelendiğinde kazancın 200MHz'de yaklaşık 2.2dBi seviyesinde olmasına karşın 600 MHz ile 2.7 GHz arasında 4dBi seviyesinin üzerinde olduğu görülmektedir.

Asimetrik eş düzlemsel Vivaldi antenin geri dönüş kaybı(S_{11}) ve kazanç değerlerinin geleneksel eş düzlemsel Vivaldi antenin simülasyon sonuçları ile yakın olduğu görülmektedir. Geri dönüş kaybı grafiğinde 200 MHz ve 1 GHz arasında -10dB seviyesine yaklaşan noktalar genel olarak daha az olduğu için bu antenin geleneksel eş düzlemsel Vivaldi antene göre daha avantajlı olduğu söylenebilir. Kazanç değerleri 700 MHz ve 2.5 GHz'de birbirine çok yakın olmasına karşın geleneksel eş düzlemsel Vivaldi antenin daha avantajlı olduğu görülmektedir.

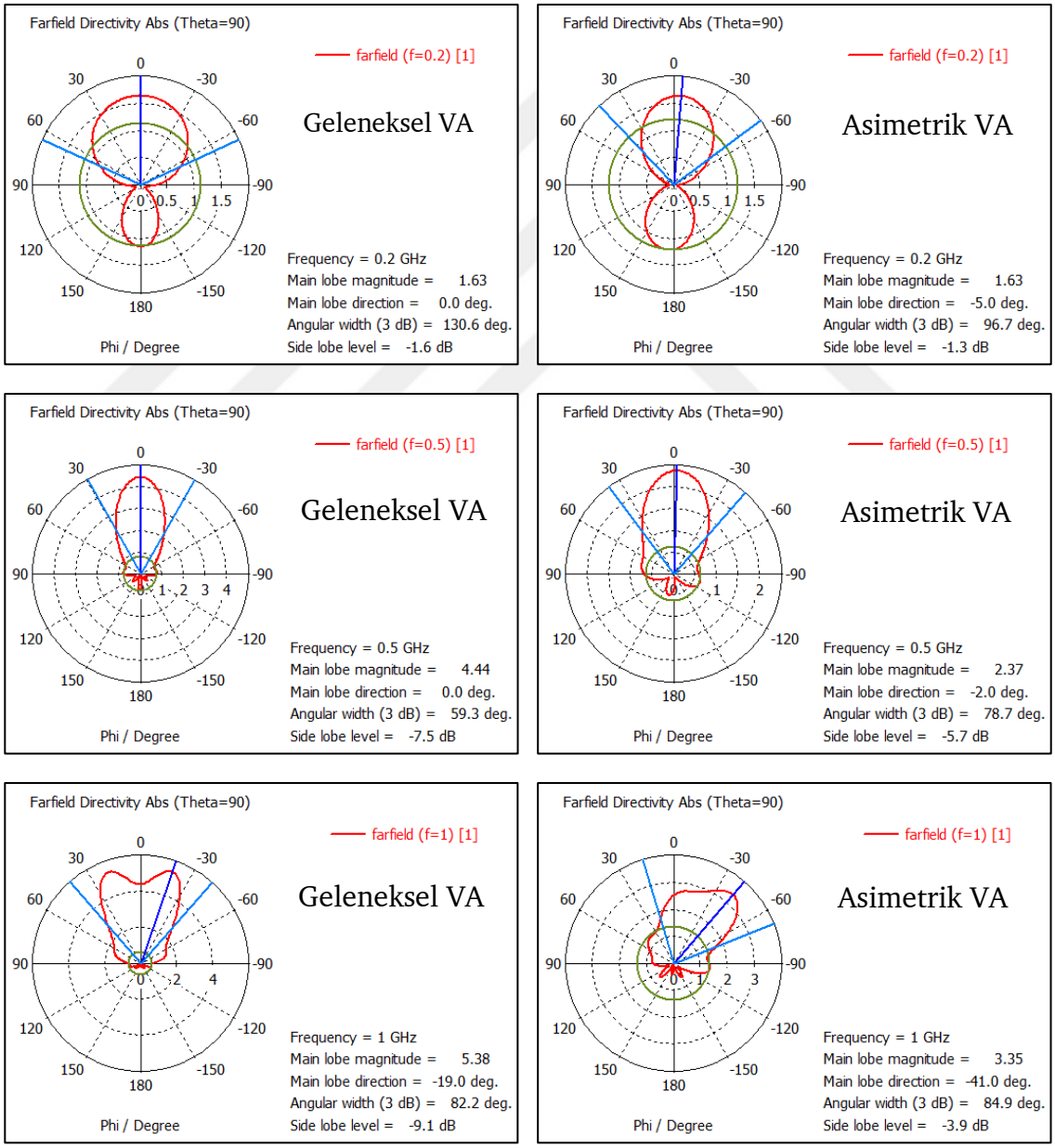
4.4 Vivaldi Antenlerin Uzak Alan Simülasyon Sonuçları

200 MHz ile 2.5 GHz frekansları arasındaki uzak alan(far-field) ışıma örüntüleri her iki anten için CST Studio Suite 2020 programında incelenmiştir. Işıma örüntüleri polar formda Şekil 4.15 ve Şekil 4.16'da gösterilmiştir. Bu grafiklerde Vivaldi anten(VA) kısaltması ile gösterilmiştir.

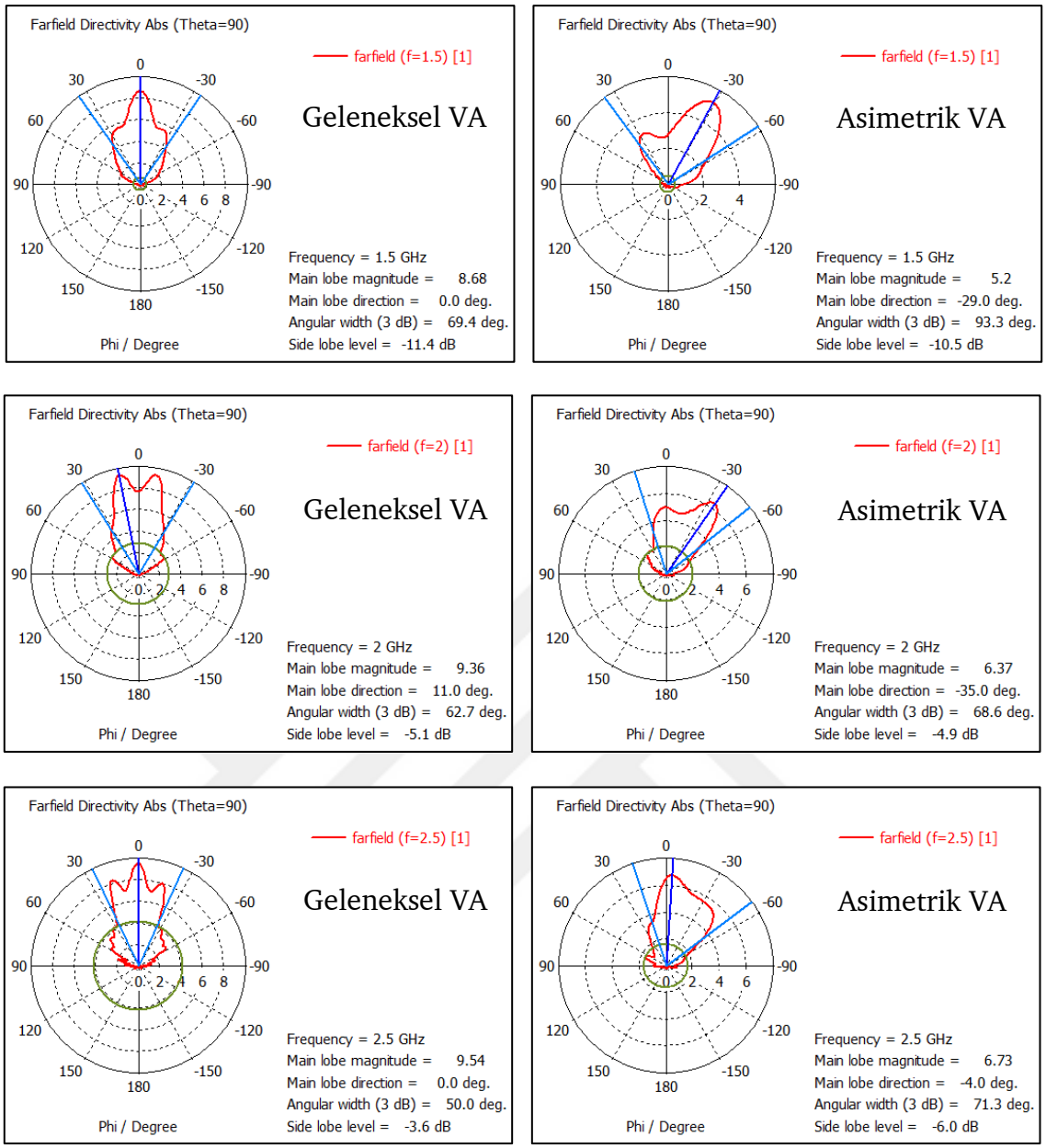
Geleneksel eş düzlemsel Vivaldi antenin ışıma örüntüleri incelendiğinde ana hüzme yönü 0° olarak görülmektedir ve bu değer birkaç yer hariç değişmemektedir. Asimetrik Vivaldi antende ise ana hüzme yönünün asimetrik eğrilerden eğrilik katsayısı daha büyük olanın olduğu yöne doğru değiştiği görülmektedir. Bu değişim, antenin yarım güç hüzme genişliğini 1, 1.5 ve 2 GHz frekanslarında geleneksel Vivaldi antene göre bir miktar arttırmıştır. 200 MHz ve 2.5 GHz frekanslarında ana hüzme yönünde çok ufak bir değişiklik olmasına rağmen 200 MHz'de geleneksel Vivaldi anten, 2.5GHz'de ise asimetrik Vivaldi anten daha geniş bir yarım güç hüzme genişliği elde etmiştir.

Asimetrik Vivaldi anten ve geleneksel Vivaldi antenin ana hüzme yönleri arasındaki fark 200 MHz, 500 MHz ve 2.5 GHz frekanslarında çok az olmasına karşın 1 GHz'de 22°, 1.5 GHz'de 29° ve 2 GHz'de ise 46° fark görülmektedir.

Grafiklere bakıldığında en büyük arka kulakçık(lobe) seviyesinin her iki anten için de 200 MHz'de oluştuğu görülmektedir. Yan kulakçık seviyeleri 200 MHz, 500MHz, 1.5GHz ve 2 GHz frekanslarında asimetrik Vivaldi antende diğer antene göre bir miktar fazladır ancak değerler birbirine yakındır. 1 GHz frekansında geleneksel Vivaldi antenin yan kulakçık seviyesi oldukça iyidir. 2.5 GHz'de ise asimetrik Vivaldi antenin yan kulakçık seviyesi diğer antene göre daha düşüktür.

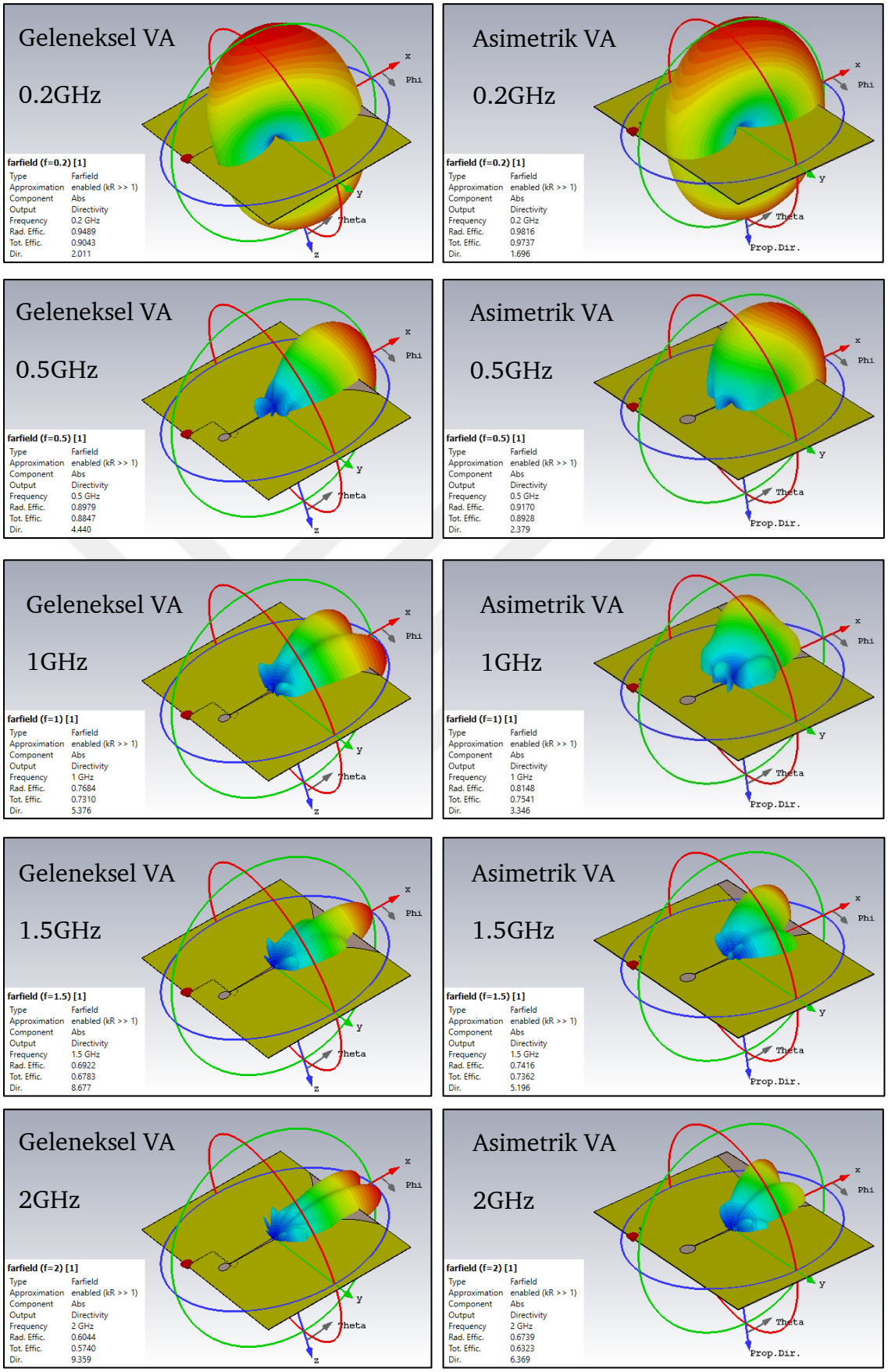


Şekil 4.15 0.2, 0.5 ve 1 GHz için uzak alan grafikleri (θ=90°)

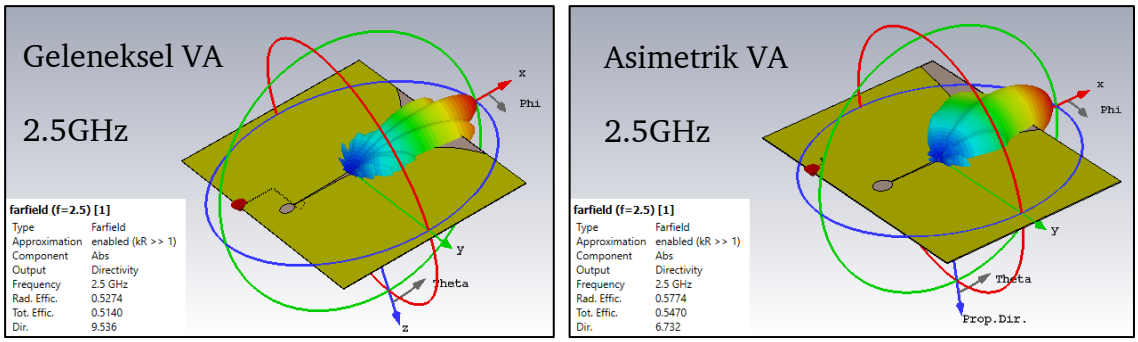


Şekil 4.16 1.5, 2 ve 2.5 GHz için uzak alan grafikleri(θ=90°)

Geleneksel eş düzlemsel Vivaldi anten ve asimetrik eş düzlemsel Vivaldi antenin uzak alan(far-field) ışıma örüntülerinin polar formda gösterimi Şekil 4.15 ve Şekil 4.16'da verilmiştir. Buradaki şekillerin daha rahat anlaşılması ve tezin sonuç ve öneriler bölümündeki bulguların desteklenmesi adına ışıma örüntülerinin üç boyutlu görünümleri Şekil 4.17 ve Şekil 4.18'de gösterilmiştir. Üç boyutlu görünümler antenlerde bulunan eksponansiyel eğrilerin olduğu düzlemi gösterecek şekilde tercih edilmiştir. Üç boyutlu ışıma örüntüleri incelendiğinde 1GHz, 1.5 GHz ve 2 GHz frekanslarında asimetrik Vivaldi anten ve geleneksel Vivaldi antenin ana hüzme yönleri arasındaki fark açıkça görülmektedir.



Şekil 4.17 0.2, 0.5, 1, 1.5 ve 2 GHz için üç boyutlu ışıma örüntüsü grafikleri



Şekil 4.18 2.5 GHz için üç boyutlu ışıma örüntüsü grafiği

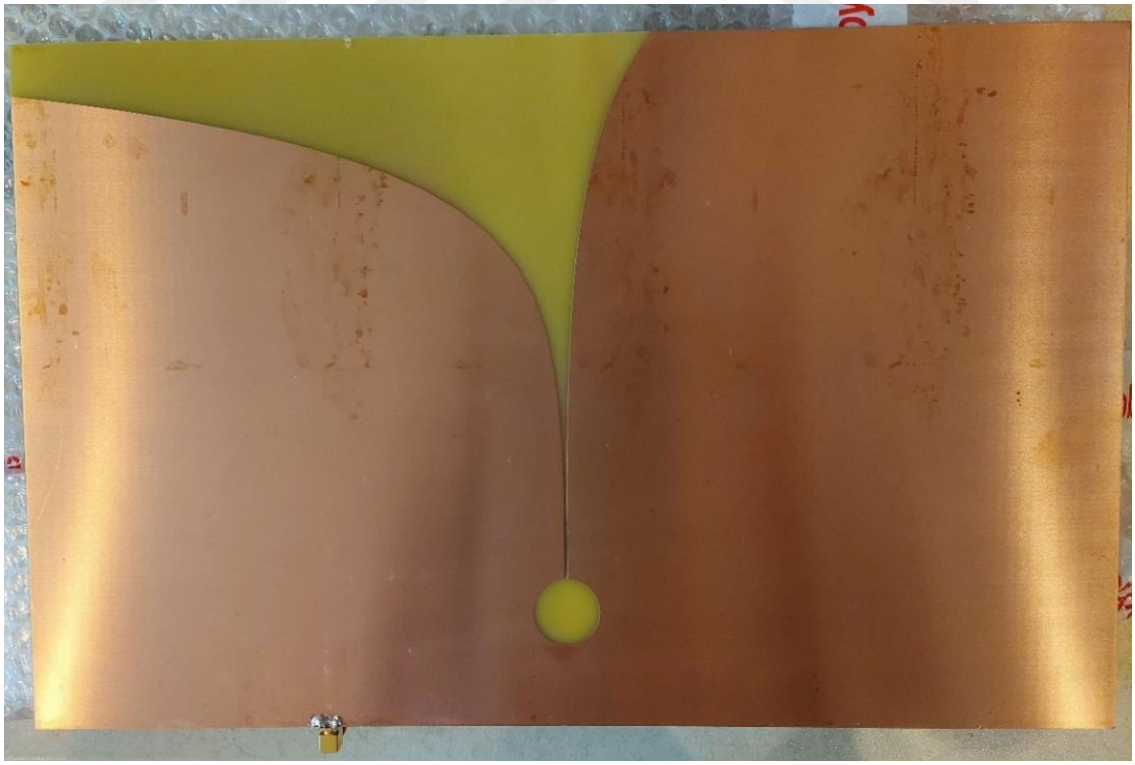
5
SONUÇ VE ÖNERİLER

5.1 Anten Üretimi ve Ölçüm Sonuçları

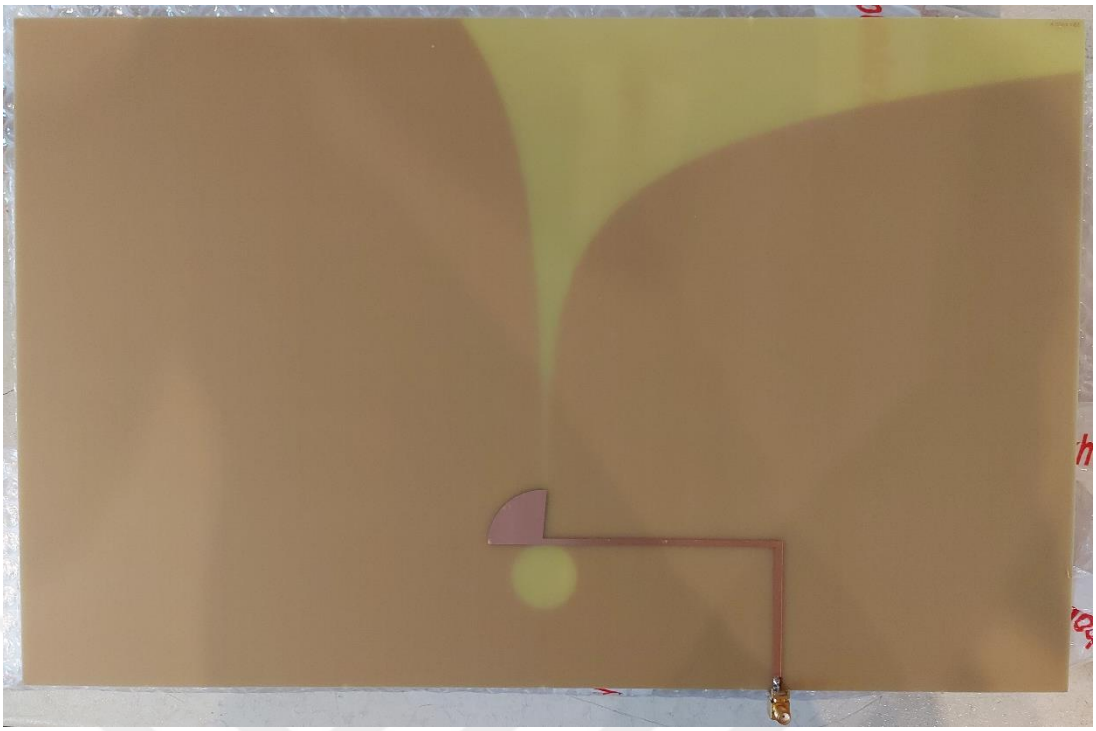
Tezin dördüncü bölümünde tasarlanan ve simülasyon sonuçları incelenen asimetrik eş düzlemsel Vivaldi anten prototipinin üretimi Tablo 4.2'de verilen ölçülere göre yapılmıştır.

Simülasyon programında dielektrik sabiti 4.3 olan FR4 taban malzemesi üretim sürecinde temin edilemediğinden dolayı antenin üretiminde 1 MHz'de dielektrik sabiti 4.6 ve kayıp tanjant(loss tangent) değeri 0.016 olan FR4 dielektrik malzeme kullanılmıştır.

Anteni beslemek amacıyla antenin giriş kısmına 50Ω SMA konnektör lehimlenmiştir. Üretilen antenin arka yüzey görünümü Şekil 5.1'de, ön yüzey görünümü ise Şekil 5.2'de gösterilmiştir.



Şekil 5.1 Üretilen antenin arka yüzey görünümü



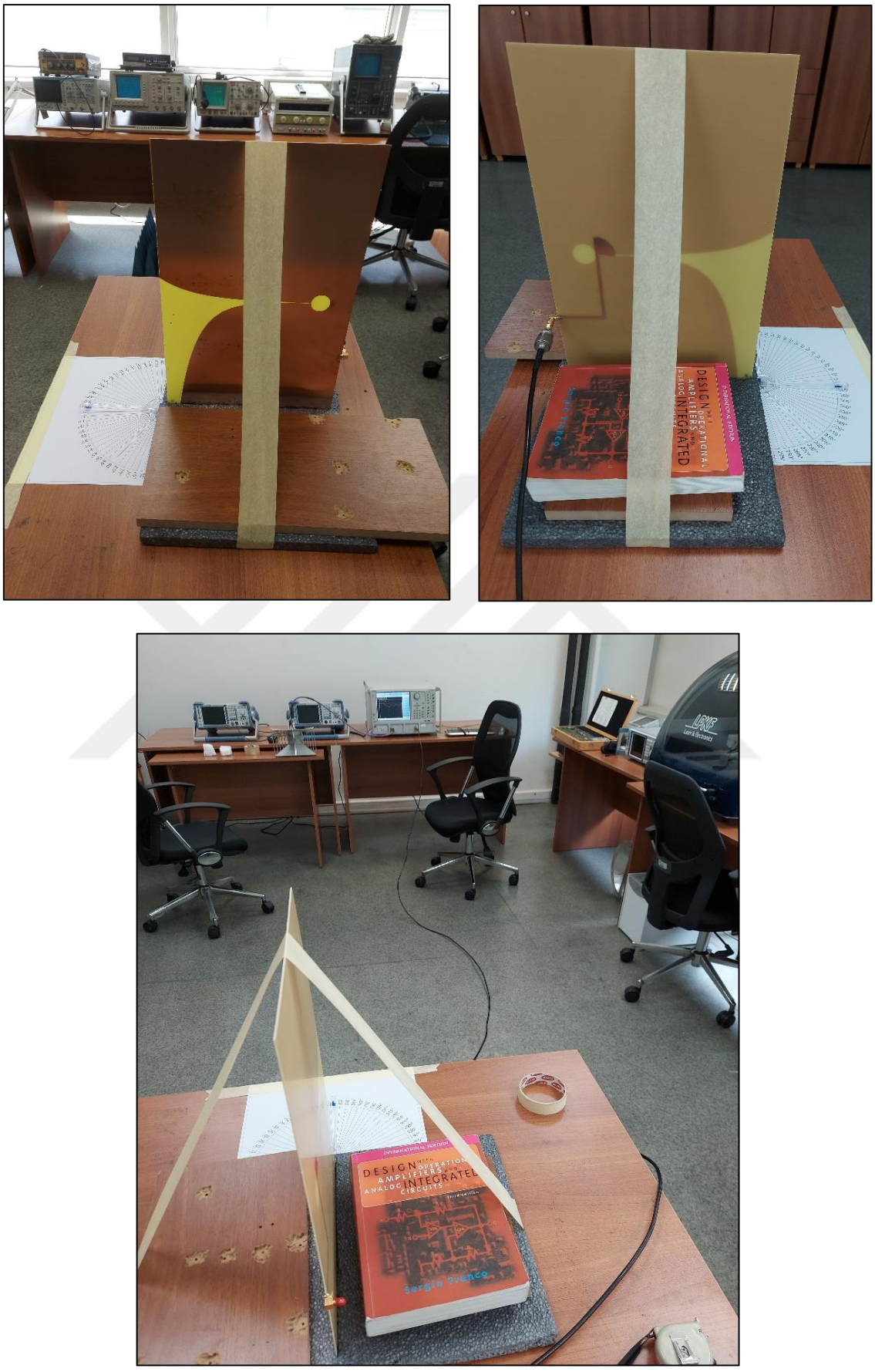
Şekil 5.2 Üretilen antenin ön yüzey görünümü

5.1.1 Asimetrik Vivaldi Anten Geri Dönüş Kaybı Ölçümü

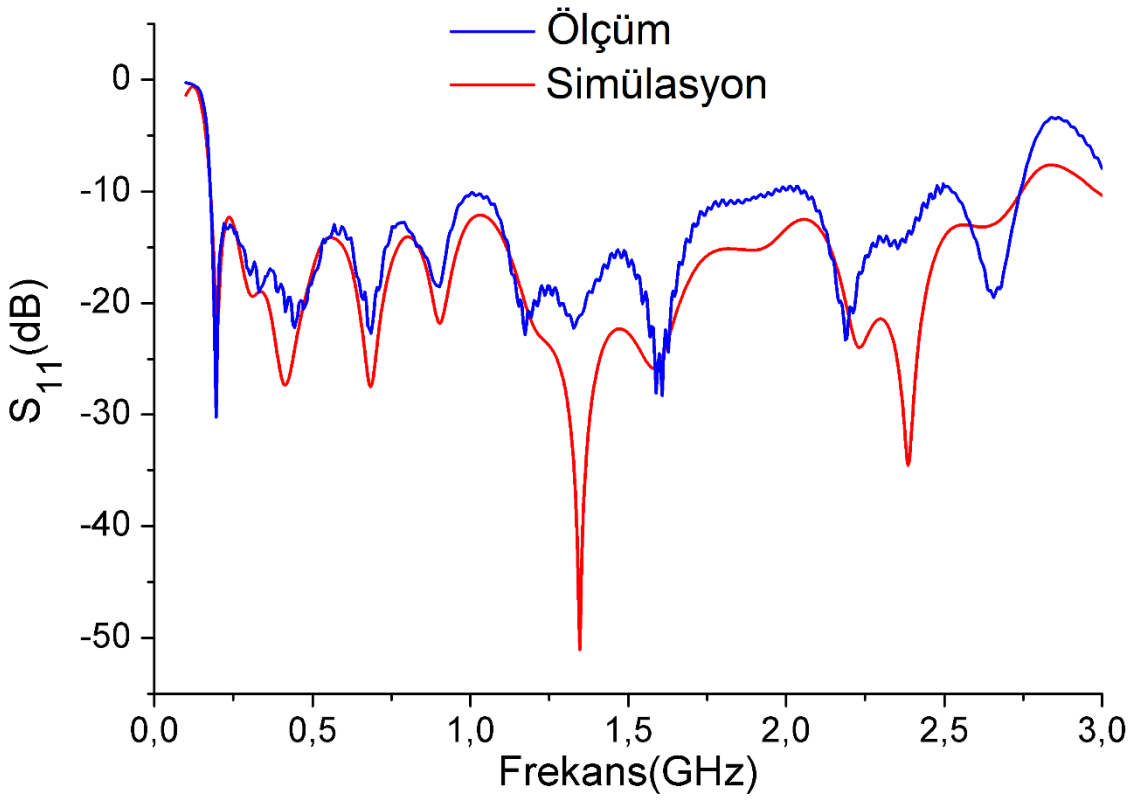
Üretim sürecinden sonra antenin geri dönüş kaybı parametresi(S_{11}) ölçümü için Yıldız Teknik Üniversitesi Haberleşme Laboratuvarında 4 Haziran 2021 tarihinde test yapılmıştır. Test sürecinde ağ analizörü olarak Şekil 5.3'te gösterilen Anritsu MS4644A VNA(Vector Network Analyzer) kullanılmıştır. Asimetrik eş düzlemsel Vivaldi antenin test düzeneğindeki görünümleri Şekil 5.4'te sunulmuştur.



Şekil 5.3 Test için kullanılan ağ analizörü (Anritsu MS4644A)



Şekil 5.4 Asimetrik eş düzlemsel Vivaldi antenin test düzeneğindeki görünümleri



Şekil 5.5 Üretilen antenin geri dönüş kaybı(S_{11}) grafiği

Ölçümlerde elde edilen sonuçlar Şekil 5.5'te verilmiştir. Bu sonuçlara göre asimetrik eş düzlemsel Vivaldi antenin 177 MHz ile 2.74 GHz frekansları arasında -10dB seviyesinden daha düşük geri dönüş kaybı olduğu görülmektedir. Simülasyon sonuçlarında ise bu değerler 181 MHz ile 2.71 GHz arasındadır. Antenin bant genişliği simülasyon sonucuna göre bir miktar daha fazla çıkmıştır.

Grafik incelendiğinde 1 GHz, 2 GHz ve 2.5 GHz frekansları civarında S_{11} değerinde -10dB seviyesinin biraz üstünde olan yerler mevcuttur. Bu değişimin sebebi için anten incelendiğinde antendeki eksponansiyel eğriliğin üretimde tam sağlanamamış olması, FR4 materyalinin dielektrik sabitinin simülasyondakine göre daha büyük olması gibi etkenlerden ötürü bu değerlerin normal olduğu görülmektedir.

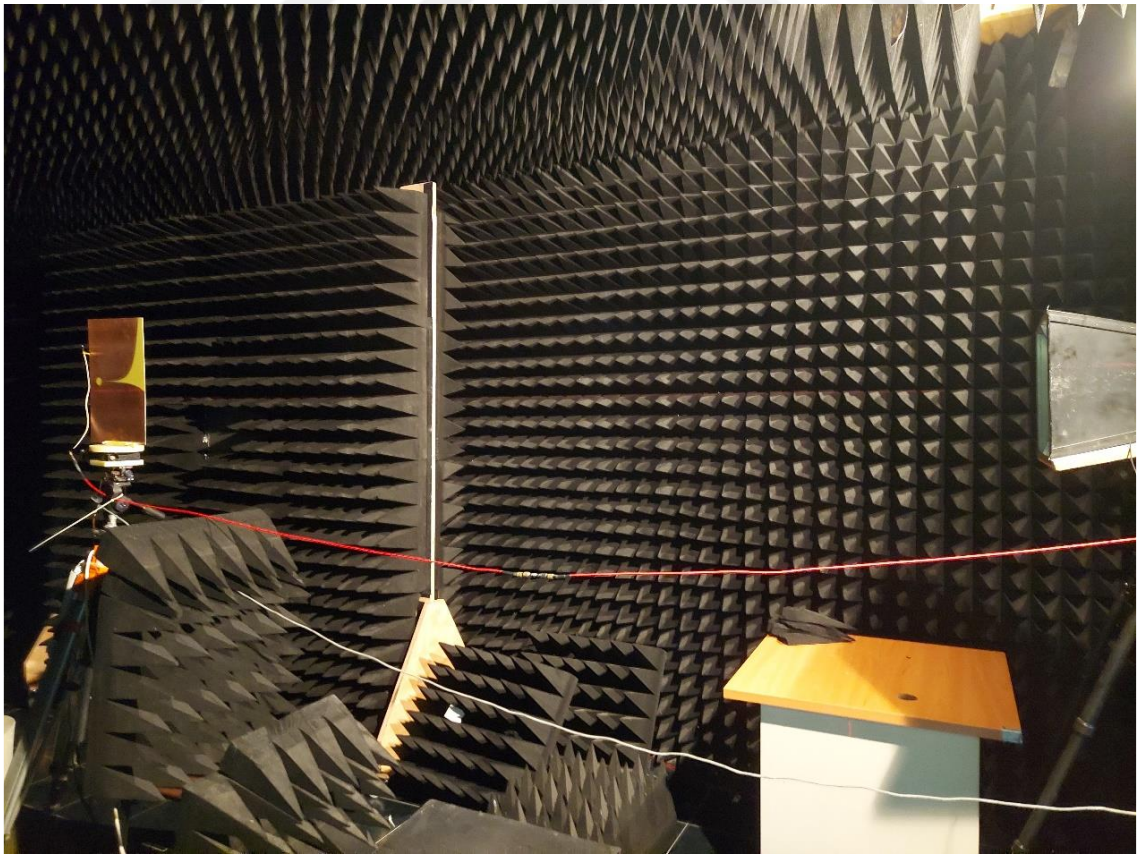
Sonuçlara göre tezin ilk bölümlerinde belirtilen bant genişliği hedefi olan 200MHz-2.5GHz aralığının 1GHz, 2GHz ve 2.5GHz frekansları civarında -10dB seviyesinin bir miktar üstüne çıkan bozulmalar hariç sağlandığı görülmektedir.

5.1.2 Asimetrik Vivaldi Anten Işıma Örüntüsü Ölçümü

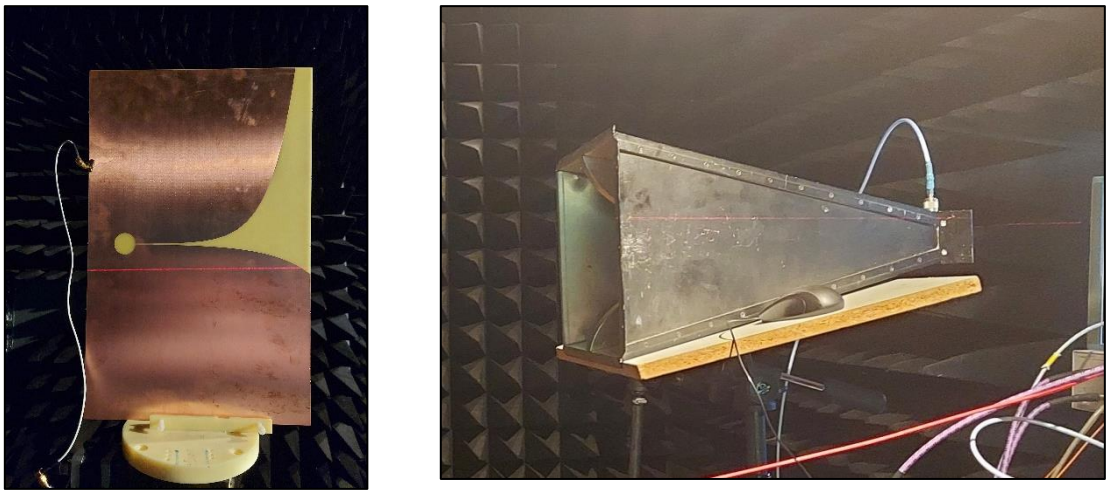
Asimetrik Vivaldi antenin ışıma örüntüsü ölçümleri 1 Haziran 2022 tarihinde TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi, Malzeme Enstitüsü, Milimetre Dalga ve Terahertz Araştırmaları Laboratuvarı(MİLTAL) içinde bulunan yansımasız odada gerçekleştirilmiştir.

Ölçümlerde referans anten olarak üretimi TÜBİTAK tarafından yapılmış olan 500MHz-5GHz arasında çalışabilen double-ridged horn anten kullanılmıştır. Ölçümlerde daha doğru sonuçlar alınması adına frekans aralığı 500MHz ile 3GHz arası olarak seçilmiştir. Ölçüm sonuçları için ağ analizörü olarak Agilent marka 20GHz VNA kullanılmıştır.

İlk ölçümde asimetrik eş düzlemsel Vivaldi anten dikey polarize olarak konumlandırılmış ve referans antenden 295cm uzaklıkta ölçümler yapılmıştır. Dikey polarizasyonda yapılan ölçümle ilgili görseller Şekil 5.6 ve Şekil 5.7'de verilmiştir.



Şekil 5.6 Dikey polarizasyon için kurulan ölçüm düzeneği

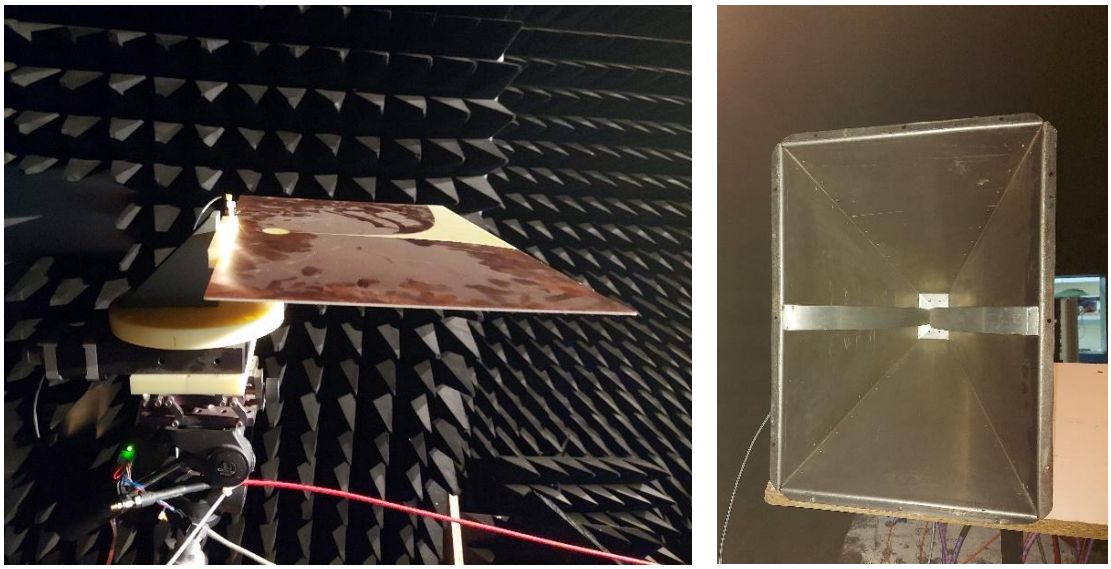


Şekil 5.7 Dikey polarize olarak yerleştirilen Vivaldi anten ve referans anten

İlk ölçüm tamamlandıktan sonra asimetrik eş düzlemsel Vivaldi anten ve referans anten bu kez yatay polarize olarak konumlandırılmıştır. Konnektör kablolarının anten dönerken zarar görmemesi ve sağlıklı bir ölçüm yapılması adına referans anten ile asimetrik Vivaldi anten arasındaki 295cm olan mesafe, yatay polarizasyon ölçümleri için 273cm'e düşürülmüştür. Yatay polarizasyonda yapılan ölçümle ilgili görseller Şekil 5.8 ve Şekil 5.9'te verilmiştir.



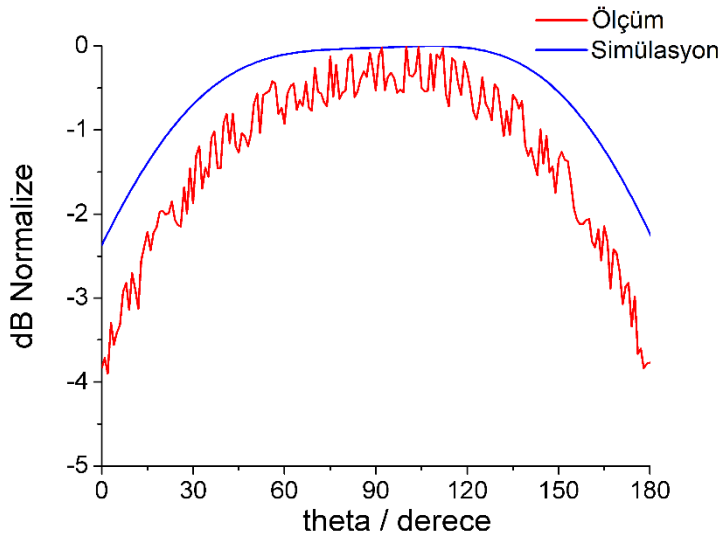
Şekil 5.8 Yatay polarizasyon için kurulan ölçüm düzeneği



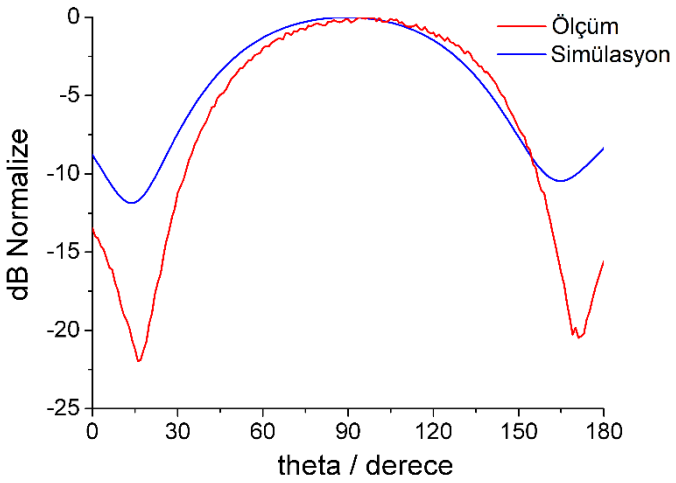
Şekil 5.9 Yatay polarize olarak yerleştirilen Vivaldi anten ve referans anten

Şekil 5.10-5.14 arasında dikey polarizasyonda yapılan ışıma örüntüsü ölçümlerinin phi=0° konumunda theta açısının değişimine göre kartezyen formda çizdirilen grafikleri gösterilmiştir.

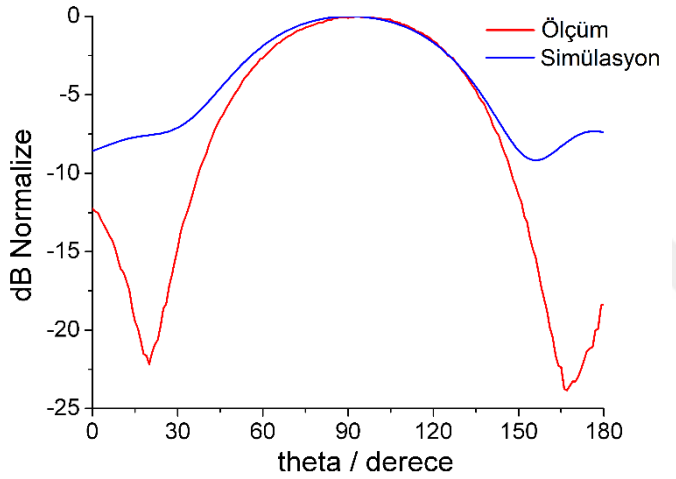
Şekil 5.15-5.19 arasında ise yatay polarizasyonda yapılan ışıma örüntüsünün ölçümlerinin theta=90° konumunda phi açısının değişimine göre kartezyen formda çizdirilen grafikleri gösterilmiştir. Grafikler karşılaştırıldığında ana hüzme yönünün genel olarak aynı olduğu ve simülasyon sonuçlarının ölçüm sonuçlarıyla çoğunlukla örtüştüğü görülmektedir.



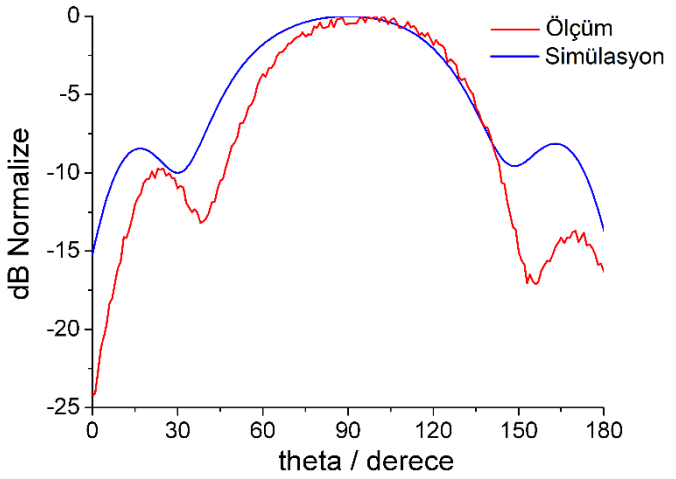
Şekil 5.10 Dikey polarizasyon ışıma örüntüsü sonuçları 0.5 GHz



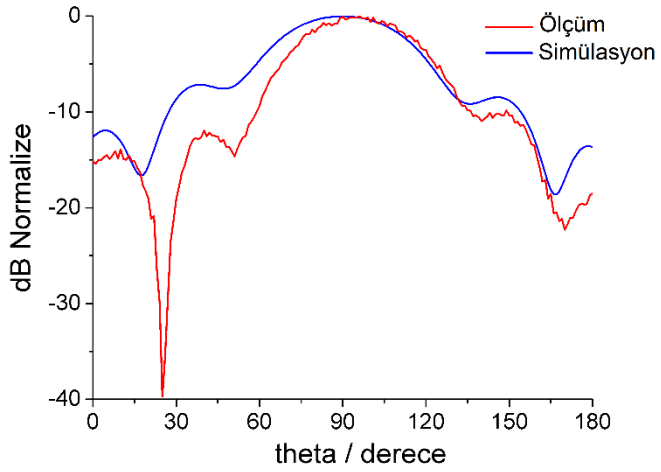
Şekil 5.11 Dikey polarizasyon ışıma örüntüsü sonuçları 1 GHz



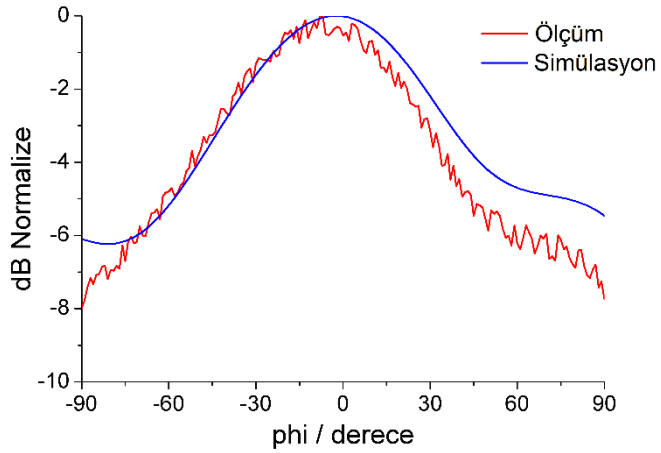
Şekil 5.12 Dikey polarizasyon ışıma örüntüsü sonuçları 1.5 GHz



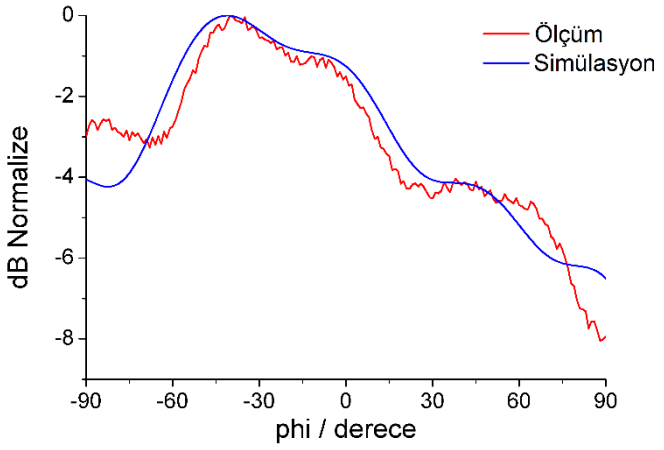
Şekil 5.13 Dikey polarizasyon ışıma örüntüsü sonuçları 2 GHz



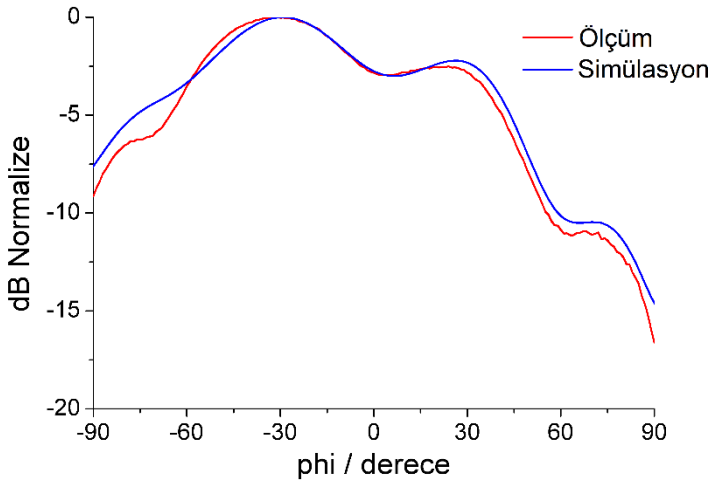
Şekil 5.14 Dikey polarizasyon ışıma örüntüsü sonuçları 2.5 GHz



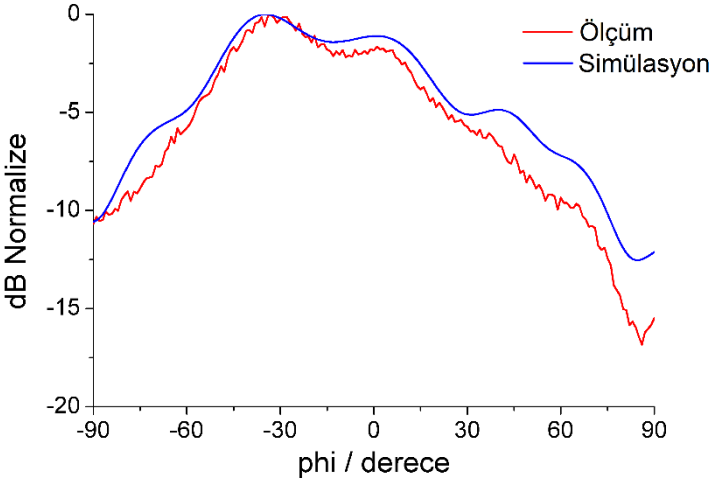
Şekil 5.15 Yatay polarizasyon ışıma örüntüsü sonuçları 0.5 GHz



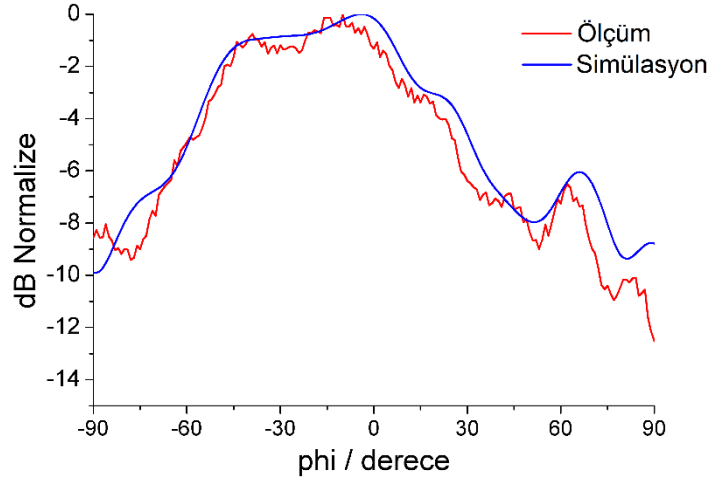
Şekil 5.16 Yatay polarizasyon ışıma örüntüsü sonuçları 1 GHz



Şekil 5.17 Yatay polarizasyon ışıma örüntüsü sonuçları 1.5 GHz



Şekil 5.18 Yatay polarizasyon ışıma örüntüsü sonuçları 2 GHz



Şekil 5.19 Yatay polarizasyon ışıma örüntüsü sonuçları 2.5 GHz

5.2 Değerlendirme ve Öneriler

Bu çalışmada öncelikle asimetrik eş düzlemsel Vivaldi anten yapısının tasarımı sunulmuş ardından bu antenin protipi üretilerek ölçümler yapılmıştır. Ölçüm sonuçları simülasyon sonuçlarıyla büyük oranda benzerlik göstermektedir ancak bazı frekanslarda oluşan kayıplar için yeni çalışmalar yapılması gerekmektedir.

Literatürde benzer frekanslar için yapılmış diğer Vivaldi anten yapıları ve bu çalışmadaki antenin özellikleri Tablo 5.1'de verilmiştir. Bu tabloda CVA(Coplanar Vivaldi Antenna) eş düzlemsel Vivaldi anteni, AVA(Antipodal Vivaldi Antenna) zıt kutuplu Vivaldi anteni ve AsCVA(Asymmetrical Coplanar Vivaldi Antenna) ise asimetrik eş düzlemsel Vivaldi anteni göstermektedir.

Diğer Vivaldi antenlerle kıyaslandığında asimetrik eş düzlemsel Vivaldi antenin elektriksel uzunluğunun daha iyi olduğu görülmektedir. Örnek olarak [52] numaralı çalışmadaki antenin elektriksel boyutu daha düşük olmasına karşın bant genişliği bu çalışmadaki antene kıyasla daha azdır. Ayrıca [44] numaralı çalışmadaki antene bakıldığında düşük dielektrik katsayılı taban malzemesi kullanılması ve daha büyük elektriksel uzunluğu olmasına rağmen bant genişliği bu çalışmadaki antene göre daha fazladır. Dielektrik sabitinin azalmasıyla daha geniş bant elde edebileceği düşünülürse bu çalışmadaki anten daha düşük dielektrik katsayılı bir dielektrik malzemeden imal edilmesi ile anten bant genişliği ve elektriksel uzunluk yönünden daha avantajlı olacaktır.

Tablo 5. 1 Literatürdeki Vivaldi antenlerle karşılaştırma

Referans numarası	Dielektrik sabiti	Anten türü	Anten boyutları	Çalışma frekansı(GHz)	Bant genişliği(%)
[44]	2.55	AVA	0.3λ × 0.38λ	0.72 - 17	183.74
[48]	4.4	AVA	0.68λ × 0.59λ	0.8 - 6	152.94
[49]	4.3	CVA	0.7 λ × 0.65 λ	0.7 - 2.1	100
[50]	3.38	AVA	0.6λ × 0.45 λ	0.3 – 2	147.82
[51]	3.38	AVA	0.76λ × 0.481λ	0.95 - 11	168.2
[52]	4.4	CVA	0.17λ × 0.16λ	0.4 – 10	184.61
Bu çalışma	4.6	AsCVA	0.16λ × 0.26λ	0.177 - 2.74	175.72
λ en düşük çalışma frekansındaki dalga boyu					

Bu çalışmanın sonucunda 177 MHz ile 2.74 GHz frekansları arasında çalışabilen yeni bir Vivaldi anten yapısı sunulmuştur. Bu anten geleneksel eş düzlemsel Vivaldi yapılarından farklı olarak asimetrik eğrilere sahiptir. Aynı frekans aralığı için tasarım geleneksel eş düzlemsel Vivaldi antenle 750x500x1.6mm^3 ölçülerinde yapılabilirken asimetrik eş düzlemsel Vivaldi antende bu ölçüler yaklaşık %33 azalmış ve 447x283x1.6mm^3 olmuştur. Elektriksel boyut olarak $0.16\lambda \times 0.26\lambda$ uzunluklarında olan asimetrik eş düzlemsel Vivaldi anten yapısı çalışma frekans aralığına göre oldukça avantajlı bir konumdadır.

Vivaldi antenlerle ilgili gelecek çalışmalarda asimetrik eğrilerin optimizasyon parametresi olarak kullanılması, daha geniş bant aralığına sahip ve daha düşük boyutlu Vivaldi antenler yapımı için faydalı olabilir. Anten boyutlarının küçültülmesi sonucu imalatı kolaylaşan antenler faz dizilerinde kullanılarak kazanç ve yönlendiricilik gibi özellikleri daha iyi hale getirilebilir. Asimetrik eş düzlemsel Vivaldi antenlere literatürde bilinen diğer yöntemlerin uygulanmasıyla bu antenlerin kazanç ve yönlendiricilik gibi özellikleri iyileştirilebilir.

KAYNAKÇA

[1] M. Moosazadeh and S. Kharkovsky, “Design of ultra-wideband antipodal Vivaldi antenna for microwave imaging applications,” 2015 IEEE International Conference on Ubiquitous Wireless Broadband (ICUWB), 2015, pp. 1-4.

[2] M. Abbak, M. N. Akıncı, M. Çayören and İ. Akduman, “Experimental microwave imaging with a novel corrugated Vivaldi antenna,” in IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol. 65, no. 6, pp. 3302-3307, June 2017.

[3] A. M. de Oliveira et al., “A fern antipodal Vivaldi antenna for near-field microwave imaging medical applications,” in IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol. 69, no. 12, pp. 8816-8829, Dec. 2021.

[4] M. Wang, L. Crocco and M. Cavagnaro, “On the design of a microwave imaging system to monitor thermal ablation of liver tumors,” in IEEE Journal of Electromagnetics, RF and Microwaves in Medicine and Biology, vol. 5, no. 3, pp. 231-237, Sept. 2021.

[5] H. Liu, Y. Liu, W. Zhang and S. Gao, “An ultra-wideband horizontally polarized omnidirectional circular connected Vivaldi antenna array,” in IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol. 65, no. 8, pp. 4351-4356, Aug. 2017.

[6] S. Zhu, H. Liu and P. Wen, “A new method for achieving miniaturization and gain enhancement of Vivaldi antenna array based on anisotropic metasurface,” in IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol. 67, no. 3, pp. 1952-1956, March 2019.

[7] M H. Kähkönen, J. Ala-Laurinaho and V. Viikari, “Dual-polarized Ka-band Vivaldi antenna array,” in IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol. 68, no. 4, pp. 2675-2683, April 2020.

[8] J. Ghimire, F. D. Diba, J.-H. Kim, and D.-Y. Choi, “Vivaldi antenna arrays feed by frequency-independent phase shifter for high directivity and gain used in microwave sensing and communication applications,” Sensors, vol. 21, no. 18, p. 6091, Sep. 2021.

[9] M. A. Pumallica-Paro, J. Luis Arizaca-Cusicuna and M. Clemente-Arenas, “Optimizing cutoff frequency in an antipodal Vivaldi antenna for GPR applications through a novel balun,” 2018 IEEE XXV International Conference on Electronics, Electrical Engineering and Computing (INTERCON), 2018, pp. 1-4.

[10] H. -H. Sun, Y. H. Lee, A. C. Yücel, G. Ow and M. L. M. Yusof, "Compact dual-polarized Vivaldi antenna for ground penetrating radar (GPR) application," 2020 IEEE International Symposium on Antennas and Propagation and North American Radio Science Meeting, 2020, pp. 25-26, doi: 10.1109/IEEECONF35879.2020.9329581.

[11] M. A. Pumallica-Paro, J. L. Arizaca-Cusicuna and M. Clemente-Arenas, “A multiobjective genetic algorithm for analysis, design and optimization of antipodal Vivaldi antennas,” 2019 IEEE-APS Topical Conference on Antennas and Propagation in Wireless Communications (APWC), 2019, pp. 316-321.

[12] M. García Fernández, G. Álvarez Narciandi, A. Arboleya, C. Vázquez Antuña, F. L. -H. Andrés and Y. Álvarez López, “Development of an airborne-based GPR system for landmine and IED detection: Antenna Analysis and Intercomparison,” in IEEE Access, vol. 9, pp. 127382-127396, 2021.

[13] Z. Hu et al., “Design and analysis of a UWB MIMO radar system with miniaturized Vivaldi antenna for through-wall imaging,” Remote Sensing, vol. 11, no. 16, p. 1867, Aug. 2019.

[14] R. Cicchetti, V. Cicchetti, A. Faraone, L. Foged and O. Testa, “A compact high-gain wideband lens Vivaldi antenna for wireless communications and through-the-Wall Imaging," in IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol. 69, no. 6, pp. 3177-3192, June 2021.

[15] J. Zhang, H. Lan, M. Liu and Y. Yang, “A handheld nano through-wall radar locating with the gain-enhanced Vivaldi antenna,” in IEEE Sensors Journal, vol. 20, no. 8, pp. 4420-4429, 15 April15, 2020.

[16] A. Kuriakose, T. A. George and A. S, “Improved high gain Vivaldi antenna design for through-wall radar applications,” 2020 International Symposium on Antennas & Propagation (APSYM), 2020, pp. 58-61.

[17] P. J. Gibson, “The Vivaldi Aerial,” 1979 9th European Microwave Conference, 1979, pp. 101-105.

[18] E. Gazit, “Improved design of the Vivaldi antenna”, in IEE Proceedings H (Microwaves, Antennas and Propagation), vol. 135, no. 2, pp. 89-92, 1988.

[19] J. D. S. Langley, P. S. Hall and P. Newham, “Novel ultrawide-bandwidth Vivaldi antenna with low crosspolarisation,” Electronics Letters, vol. 29, no. 23, pp. 2004-2005, 1993.

[20] J. D. S. Langley, P. S. Hail and P. Newnam, “Balanced antipodal vivaldi antenna for wide bandwidth phased arrays,” IEE Proceedings - Microwaves, Antennas and Propagation, vol. 143, pp. 97-102, Apr. 1996.

[21] X. Li, H. Zhou, Z. Gao, H. Wang and G. Lv, “Metamaterial slabs covered UWB antipodal Vivaldi antenna,” in IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, vol. 16, pp. 2943-2946, 2017.

[22] S. El-Nady, H. M. Zamel, M. Hendy, A. A. Zekry, and A. Attiya, “Gain enhancement of a millimeter wave antipodal Vivaldi antenna by epsilon-near-zero metamaterial,” Progress In Electromagnetics Research C, Vol. 85, pp. 105-116, 2018.

[23] Z. Wang, M. Guo, X. Zhao, L. Guo, Z. Yang and L. Chen, “Metamaterial slabs enhanced modified antipodal Vivaldi antenna,” International Journal of RF and Microwave Computer-Aided Engineering, vol. 31, no. 7, pp. 1268-1277,2021.

[24] A. Dixit and S. Kumar, “Gain enhancement of antipodal Vivaldi antenna for 5G applications using metamaterial,” Wireless Personal Communications, vol. 121, no. 4, pp. 2667-2679, 2021.

[25] S. A. AbdelBaky and H. F. Hammad, “Modified elliptical antipodal Vivaldi antenna with elliptical tapered slot edge and circular loads,” 2017 International Workshop on Antenna Technology: Small Antennas, Innovative Structures, and Applications (iWAT), 2017, pp. 199-202.

[26] Z. Tahar, X. Derobert, and M. Benslama, “An ultra-wideband modified Vivaldi antenna applied to through the ground and wall imaging,” Progress In Electromagnetics Research C, Vol. 86, 111-122, 2018.

[27] Z. Yin, X. Yang and T. Lou, “A high gain UWB vivaldi antenna loaded with elliptical slots”, 2018 International Applied Computational Electromagnetics Society Symposium - China (ACES), 2018, pp. 1-2.

[28] X. Song and E. Li, “A 2-18G ultra-wideband double-slot structure for antipodal Vivaldi antenna,” 2021 International Conference on Microwave and Millimeter Wave Technology (ICMMT), 2021, pp. 1-3.

[29] I. T. Nassar and T. M. Weller, “A novel method for improving antipodal Vivaldi antenna performance,” in IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol. 63, no. 7, pp. 3321-3324, July 2015.

[30] J. Shan, A. Xu and J. Lin, “A parametric study of microstrip-fed Vivaldi antenna,” 2017 3rd IEEE International Conference on Computer and Communications (ICCC), pp. 1099-1103, 2017.

[31] P. Kambham and H. K. Paik, “Tapered slot Vivaldi antenna for phased array applications,” 2017 International Conference on Inventive Computing and Informatics (ICICI), 2017, pp. 343-345.

[32] Z. Yin, G. He, X. -X. Yang and S. Gao, “Miniaturized ultrawideband half-array mode Vivaldi antenna based on mirror image theory,” in IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, vol. 19, no. 4, pp. 695-699, April 2020.

[33] Z. Guo, S. Yang, Z. Shi and Y. Chen, “A miniaturized wideband dual-polarized linear array with balanced antipodal Vivaldi antenna,” 2016 IEEE MTT-S International Microwave Workshop Series on Advanced Materials and Processes for RF and THz Applications (IMWS-AMP), 2016, pp. 1-4, doi: 10.1109/IMWS-AMP.2016.7588343.

[34] B. Sivashanmugavalli and B. Vijayalakshmi, “Performance measures of Vivaldi antenna with parasitic elements,” 2017 International Conference on Wireless Communications, Signal Processing and Networking (WiSPNET), 2017, pp. 25-28.

[35] W. Wang and Y. Zheng, “Improved design of the Vivaldi dielectric notch radiator with etched slots and a parasitic patch,” in IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, vol. 17, no. 6, pp. 1064-1068, June 2018.

[36] Z. Liao, Y. Z. Che, G. Q. Luo, Z. H. Zhang, Y. H. Qian and B. G. Cai, “Enhanced radiation characteristics for Vivaldi antenna using spoof surface plasmon Polaritons,” in IEEE Transactions on Plasma Science, vol. 49, no. 9, pp. 2730-2736, Sept. 2021.

[37] C. A. Balanis, “Antenna Theory: Analysis and Design 4th Edition,” John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, USA, 2016.

[38] “IEEE Standard Definitions of Terms for Antennas,” in IEEE Std 145-1983 , vol., no., pp.1-31, 22 June 1983

[39] M R. W. Klopfenstein, “A transmission line taper of improved design,” in Proceedings of the IRE, vol. 44, no. 1, pp. 31-35, Jan. 1956.

[40] W. Jin, O. SiHua, L. YanKui, Y. YuePeng and L. XinYu, “C-band spatially power combiner using Klopfenstein tapered slot antenna arrays in waveguide,” 2008 China-Japan Joint Microwave Conference, 2008, pp. 371-375.

[41] J. J. Lee and S. Livingston, “Wide band bunny-ear radiating element,” Proceedings of IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium, pp. 1604-1607 vol.3, 1993.

[42] Chen Xu, Fang Lina and He Chunjiu, “Design of a compact dual exponentially tapered slot antenna,” 2016 IEEE International Conference on Microwave and Millimeter Wave Technology (ICMMT), 2016, pp. 671-673.

[43] E. Uğurlu, “Çok amaçlı açıklığı daralan yarık anten tasarımı ve performans artırımına yönelik anten parametrelerin optimizasyonu,” Doktora tezi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Selçuk Üniversitesi, Konya, 2016

[44] M. M. Honari, M. S. Ghaffarian and R. Mirzavand, “Miniaturized antipodal Vivaldi antenna with improved bandwidth using exponential strip arms”, Electronics, vol. 10, no. 1, p. 83, Jan. 2021.

[45] “Radar Temelleri - Vivaldi Anten,” radartutorial.eu, https://www.radartutorial.eu/06.antennas/Konik%20Oluk%20Anten.tr.html , [Erişim: 19 Haziran 2022].

[46] L. N. Thalluri, A. R. Nallapu, R. Konda, S. S. deep and K. N. Harsha, “Design and performance analysis of Vivaldi antenna for medical applications,” 2020 International Conference on Communication and Signal Processing (ICCSP), 2020, pp. 1021-1026.

[47] I.J. Bahl and D.K. Trevedi, “A Designer’s Guide to Microstrip Line,” Microwaves, p. 175, May 1977.

[48] X. Huang, J. Cao, W. Zhong and X. Jin, “High gain antipodal Vivaldi antenna with novel V- shaped air- slot”, International Journal of RF and Microwave Computer-Aided Engineering, vol. 31, no. 11, 2021.

[49] H. Cheng, H. Yang, Y. Li and Y. Chen, “A compact Vivaldi antenna with artificial material lens and sidelobe suppressor for GPR applications”, IEEE Access, vol. 8, pp. 64056-64063, 2020.

[50] J. Guo, J. Tong, Q. Zhao, J. Jiao, J. Huo and C. Ma, “An ultrawide band antipodal Vivaldi antenna for airborne GPR application”, IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, vol. 16, pp. 1560-1564, Oct. 2019.

[51] M. Guo et al., “High- gain antipodal Vivaldi antenna with metamaterial covers”, IET Microwaves, Antennas & Propagation, vol. 13, no. 15, pp. 2654-2660, 18 Dec. 2019.

[52] D. N. Elsheakh and E. Abdallah, “Compact ultra- wideband Vivaldi antenna for ground- penetrating radar detection applications”, Microwave and Optical Technology Letters, vol. 61, no. 5, pp. 1268-1277, May 2019.

TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR

Konferans Bildirileri

1. R. Baş ve A. Kızılay, “Asymmetrical Coplanar Vivaldi Antenna Design,” 2nd International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences (ICAENS), Mar. 10-13 2022, s. 517.

Makaleler

1. R. Baş ve A. Kızılay, “Asymmetrical Coplanar Vivaldi Antenna Design,” Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, sayı 34, ss. 724-728, Mar. 2022.