

T.C.
DENİZ HARP OKULU
DENİZ BİLİMLERİ VE MÜHENDİSLİĞİ ENSTİTÜSÜ
ELEKTRONİK SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

VHF-UHF DAİRESEL DİZİ ANTEN TASARIMI

Yüksek Lisans Tezi

Ömür HANYALI

Tez Danışmanı: Dr. Demet S. ARMAĞAN ŞAHİNKAYA

İstanbul, 2011

© Çalışmanın Tüm Hakları Deniz Bilimleri ve Mühendisliği Enstitüsü'ne aittir, 2011

T.C.
DENİZ HARP OKULU
DENİZ BİLİMLERİ VE MÜHENDİSLİĞİ ENSTİTÜSÜ
ELEKTRONİK SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

VHF-UHF DAİRESEL DİZİ ANTEN TASARIMI

Yüksek Lisans Tezi

Ömür HANYALI

Tez Danışmanı: Dr. Demet S. ARMAĞAN ŞAHİNKAYA

İstanbul, 2011

VHF-UHF DAİRESEL DİZİ ANTEN TASARIMI

ÖMÜR HANYALI


Dz.Ütg.m.


ELEKTRONİK SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ
YÜKSEK LİSANS PROGRAMI

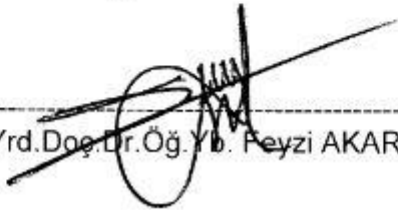
Yazar: 
Ömür HANYALI

Sınav Tarihi: 17/06/2011

Onaylayanlar:


Dr. Demet S. ARMAĞAN ŞAHİNKAYA (Danışman)


Doç. Dr. A. Arif ERGİN (Sınav Komitesi Üyesi)


Yrd. Doç. Dr. Öğ. Yrb. Feyzi AKAR (Sınav Komitesi Üyesi)

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimin boyunca bizleri anlayan ve bizler için emek sarf eden Yrd.Doç.Dr.Öğ. Yb.Feyzi AKAR'a,

Tezin hazırlanmasında sabırla yol gösteren, desteğini hiç esirgemeyen hocam Dr. Demet S. ARMAĞAN ŞAHİNKAYA'a,

Değerli zamanından yardıma ihtiyacım olduğunda sakınmayan Yük. Müh. Engin KURT'a

teőekkürü bir borç bilirim.

ÖZET

VHF-UHF DAİRESEL DİZİ ANTEN TASARIMI

Ömür HANYALI

Elektronik Sistemleri Mühendisliği Yüksek Lisans Tezi, 2011

Danışman: Dr. Demet S. ARMAĞAN ŞAHİNKAYA

Anahtar Kelimeler : Vivaldi Anten, Yarım Güç Huzme Genişliği, Gerilim Duran Dalga Oranı (VSWR), Düzgün Doğrusal Dizi, Düzgün Dairesel Dizi

Hızla gelişen uydu, kablosuz iletişim, uzaktan algılama ve radar sistemleri geniş bantlı anten yapılarına ihtiyaç duymaktadır. Teknolojinin hızla gelişimine paralel olarak askeri alanda geniş bantlı sistemler yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu sistemlerin yer alacağı platformun fiziksel boyutları göz önüne alındığında, tasarlanılacak antenin boyutları da önem arz etmektedir. Özellikle insansız hava araçları, uçaklar gibi küçük hacme sahip yapılarda düşük ağırlıkları, küçük boyutları ve yüksek verimlilikleri ile mikroşerit (microstrip) antenler yaygın olarak kullanılmaktadır.

Vivaldi antenler genişleyen yarık hatlı antenler sınıfında en yaygın kullanılan anten tipidir. Vivaldi antenler geniş bantlı ve yönlü ışımalarının yanı sıra düşük maliyetli ve kolay üretilen antenlerdir.

Pasif radar ve ESM sistemleri gibi geniş bantlı sistemlerde gelen sinyalin yüksek başarımla toplanması, sistemin anten tasarımı ile doğrudan ilişkilidir. Sinyal kaynaklarının tespiti için yön bulma gereksiniminin artması, anten elemanlarının fiziksel özellikleri nedeniyle her yöne eşit olarak ışımamaları ve hedeflenen doğrultuda daha fazla ışımaya kazancının istenmesi sebebiyle anten dizilerinin kullanımı yaygınlaşmaktadır.

Bu tez çalışmasında, geniş bantlı sistemlerde kullanılmak üzere 450-1500 MHz frekans bandında yanca düzleminde 360° kaplama alanı sağlayacak dizi anten tasarımı alışması yapılması hedeflenmiştir

ABSTRACT

VHF-UHF CIRCULAR ARRAY ANTENNA DESIGN

Ömür HANYALI

Master Thesis for Electronics Systems Engineering, 2011

Advisor: Demet S. ARMAĞAN ŞAHİNKAYA, Ph.D.

Key Words : Vivaldi Antenna, Half Power Beam Width, Voltage Standing Wave Ratio (VSWR), Uniform Linear Array, Uniform Circular Array

Rapidly developing satellite, wireless communication, remote sense and radar systems need wide band antenna structures. Wide band antenna systems are commonly used in military applications in parallel with technological improvements. Considering the physical dimensions of the platform where this system is to be located, dimensions of the antenna to be designed will be very important. The microstrip antennas with being low in weight, having small dimensions and with having high efficiency rates, are commonly preferred to be used in small structures such as UAV's (Unmanned Air Vehicles) and aircrafts.

Vivaldi antennas are the most common used antenna type in tapered slot antenna class. Not only they are of wide band and directive but also cheap and simply produced antennas.

In wide band systems such as passive radar and ESM (Electronic Support Measurement), collection of the incoming signal with high success ratio is fully related to the design of the system's antenna.

As a result of increase in necessity for detection of signal sources, being unable to radiate equally on each direction due to the physical specifications of a single antenna element and requesting more radiation gain on targeted directions, the usage of antenna arrays has become more common.

The aim of this thesis study is to design an array antenna system which will provide a 360° covering in azimuth plane and also will run in 450-1500 MHz frequency band to be used in wide band systems.

“Bu alışmada yazarın ortaya koymuş olduğu ifadelerin hibiri T.C. Deniz Kuvvetleri'nin ve Deniz Harp Okulu ile Deniz Bilimleri ve Mühendisliği Enstitüsü'nün resmi görüşlerini ve politikalarını yansıtmamaktadır.”

İÇİNDEKİLER

DIŞ KAPAK.....	i
TELİF HAKLARI NOTU.....	ii
İÇ KAPAK	iv
JÜRİ ÜYELERİ KABUL VE ONAY SAYFASI.....	v
TEŞEKKÜR SAYFASI	vi
TÜRKÇE ÖZET.....	vii
İNGİLİZCE ÖZET	ix
SORUMLULUK NOTU.....	xi
İÇİNDEKİLER	xii
KISALTMALAR LİSTESİ.....	xiv
ÖNEMLİ TERİMLER AÇIKLAMA LİSTESİ.....	xv
TABLolar LİSTESİ.....	xvi
ŞEKİLLER LİSTESİ	xvii
I. GİRİŞ.....	1
A. TEZ KONUSU VE GEREKLİLİĞİ	2
B. TEZİN İÇERİĞİ.....	3
II. GENİŞ BANTLI ANTENLER.....	4
A. ÜÇGEN ANTENLER	4
B. VİVALDİ ANTENLER.....	6
1. Genişleyen Yarık Antenler (GYA).....	6
2. Işıma	7
3. Besleme Teknikleri.....	7
4. Vivaldi Anten Tasarım Parametreleri.....	11
III. DİZİ TEORİSİ.....	21
A. DÜZGÜN DAĞILIMLI DOĞRUSAL DİZİ ANTENLER.....	21
1. İki Elemanlı Doğrusal Dizi	21

2. N Elemanlı Düzgün Doğrusal Dizi	23
B. DÜZGÜN DAİRESEL DİZİ ANTENLER.....	25
C. KARŞILIKLI BAĞLAŞIM	27
IV. BENZETİMLER.....	29
A. BENZETİM PROGRAMLARI	29
B. DİPOL ANTEN İLE DÜZGÜN DAİRESEL DİZİ BENZETİMLERİ	30
C. ÜÇGEN ANTEN DİZİ BENZETİMLERİ.....	40
1. Üçgen Anten Benzetimleri	40
2. Üçgen Antenler İle Düzgün Dairesel Dizi Benzetimleri.....	43
Ç. VİVALDİ ANTEN DİZİ BENZETİMLERİ	50
1. Vivaldi Anten Benzetimleri.....	50
2. Vivaldi Antenler İle Düzgün Dairesel Dizi Benzetimleri.....	60
3. Vivaldi Antenler İle Düzgün Doğrusal Dizi Benzetimleri	65
D. ÖLÇÜMÜ YAPILAN VİVALDİ ANTENİN DİZİ BENZETİMLERİ	72
1. Ölçümü Yapılan Vivaldi Antenin Benzetimleri	72
2. Ölçümü Yapılan Düzgün Doğrusal Dizi Benzetimleri.....	75
D. ÖLÇÜM SONUÇLARI.....	79
V. SONUÇ VE TEKLİFLER.....	85
A. SONUÇLAR	85
B. TEKLİFLER	86
KAYNAKLAR	88
EKLER.....	91

KISALTMALAR LİSTESİ

<u>Kısaltmalar</u>	:	<u>Açıklama</u>	:
ESM	:	“Electronic Support Measurement”	
HPBW	:	“Yarım Güç Huzme Genişliği”.	
RADAR	:	“Radio Detecting and Ranging”.	
TSA	:	“Tapered Slot Antenna”.	
VSWR	:	“ Gerilim Duran Dalga Oranı”.	
GYA	:	“ Genişleyen Yarık Antenler”.	

ÖNEMLİ TERİMLER İÇİN AÇIKLAMALAR LİSTESİ

Genişleyen Yarık Anten	: “Tapered Slot Antenna”.
Yarık Hat	: “Slot Line”.
Mikroşerit Hat	: “Microstript Line”.
Şerit Hat	: “Stripline”.
Işıma Örüntüsü	: “Radiation Pattern”.
Yarım Güç Huzme Genişliği	: “Half Power Beam Widht”.
Gerilim Duran Dalga Oranı	: “Voltage Standing Wave Ratio ”.
Karşılıklı Bağlaşım	: “Mutual Coupling”.

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo		Sayfa
2.1 :	Tasarlanan Vivaldi Antenin Değerleri.	20
4.1 :	Sabit Kabul Edilen Vivaldi Anten Değerleri	50
4.2 :	Ölçümü Yapılan Vivaldi Antenin Değerleri	73

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil	Sayfa
2.1 : Üçgen Anten.	4
2.2 : Genişleyen Yarık Antenler.	6
2.3 : Eşksenli Kablo- Yarık Hattı Bağlantısı	8
2.4 : Mikroşerit-Yarık Hat Geçişi.	9
2.5 : Radyal Çeyrek Dalga Stabları.	9
2.6 : Taban Tabana Zıt Yarık Hattı.	10
2.7 : Dengeli Taban Tabana Zıt Yarık Hattı.	11
2.8 : Mikroşerit Hat Beslemeli Vivaldi Anten.	11
2.9 : Genişleyen Yarık Hat.	18
3.1 : İki Elemanlı Doğrusal Dizisi.	21
3.2 : İki Elemanlı Doğrusal Dizide Uzak Alan Kabulü.	22
3.3 : N Elemanlı Doğrusal Dizi.	24
3.4 : N Elemanlı Dairesel Dizi.	26
4.1: 8 Adet Dipol Anten İle Oluşturulan Düzgün Dairesel Dizi.	30
4.2: 8 Adet Dipol Anten İle Oluşturulan Düzgün Dairesel Dizinin Işıma Örüntüsü ($Ka=5$).	31
4.3: 8 Adet Dipol Anten İle Oluşturulan Düzgün Dairesel Dizinin Işıma Örüntüsü ($Ka=8$).	32

4.4:	8 Adet Dipol Anten İle Oluşturulan Düzgün Dairesel Dizinin Işıma Örüntüsü($Ka=10$).	32
4.5:	12 Adet Dipol Anten İle Oluşturulan Düzgün Dairesel Dizinin Işıma Örüntüsü ($Ka=5$).	34
4.6:	16 Adet Dipol Anten İle Oluşturulan Düzgün Dairesel Dizinin Işıma Örüntüsü ($Ka=5$).	34
4.7:	12 Adet Dipol Anten İle Oluşturulan Düzgün Dairesel Dizinin Işıma Örüntüsü ($Ka=10$).	35
4.8:	16 Adet Dipol Anten İle Oluşturulan Düzgün Dairesel Dizinin Işıma Örüntüsü ($Ka=10$).	35
4.9:	Ortasına Silindir Yerleştirilmiş Dairesel Dizi	36
4.10:	Ortasına Silindir Yerleştirilmiş 8 Adet Dipol Anten İle Oluşturulan Düzgün Dairesel Dizinin Işıma Örüntüsü ($Ka=5$ $Sh=0.35m$ $Sr= 0.1 m$ $\theta = 81$).	37
4.11:	Ortasına Silindir Yerleştirilmiş 8 Adet Dipol Anten İle Oluşturulan Düzgün Dairesel Dizinin Işıma Örüntüsü ($Ka=5$ $Sh=0.35m$ $Sr= 0.35 m$ $\theta = 80$).	37
4.12:	Ortasına Silindir Yerleştirilmiş 8 Adet Dipol Anten İle Oluşturulan Düzgün Dairesel Dizinin Işıma Örüntüsü ($Ka=5$ $Sh=0.35m$ $Sr= 0.4 m$ $\theta = 81$).	38
4.13:	Ortasına Silindir Yerleştirilmiş 8 Adet Dipol Anten İle Oluşturulan Düzgün Dairesel Dizinin Işıma Örüntüsü ($Ka=5$ $Sr=0.35 m$ $Sh= 0.16 m$ $\theta = 81$).	39

4.14:	Ortasına Silindir Yerleştirilmiş 8 Adet Dipol Anten İle Oluşturulan Düzgün Dairesel Dizinin Işıma Örüntüsü (Ka=5 Sr=0.35 m Sh= 0.76 m $\theta = 81$).	39
4.15:	Ortasına Silindir Yerleştirilmiş 8 Adet Dipol Anten İle Oluşturulan Düzgün Dairesel Dizinin Işıma Örüntüsü (Ka=5 Sr=0.35 m Sh= 1.16 m $\theta = 80$).	40
4.16:	Üçgen Anten.	41
4.17:	Üçgen Antende Kenar Uzunluğu Değişiminin VSWR' ye Etkisi.	41
4.18:	Üçgen Antende Tepe Açısı Değişiminin VSWR' ye Etkisi.	42
4.19:	Üçgen Antende Besleme Aralığı Değişiminin VSWR' ye Etkisi.	43
4.20:	Dizi Çalışmalarında Kullanılan Üçgen Anten ve VSWR Grafiği.	43
4.21:	8 Adet Üçgen Anten ile Düzgün Dairesel Dizi Benzetimi.	44
4.22:	8 Adet Üçgen Anten İle Oluşturulan Düzgün Dairesel Dizinin Işıma Örüntüsü (Ka=5).	45
4.23:	8 Adet Üçgen Anten İle Oluşturulan Düzgün Dairesel Dizinin Işıma Örüntüsü (Ka=8).	46
4.24:	8 Adet Üçgen Anten İle Oluşturulan Düzgün Dairesel Dizinin Işıma Örüntüsü (Ka=10).	47
4.25:	Ortasına Silindir Yerleştirilmiş 8 Adet Üçgen Anten İle Oluşturulan Düzgün Dairesel Dizinin Işıma Örüntüsü (Ka=5 Sh= 0.34 cm Sr= 0.2 cm).	48
4.26:	Ortasına Silindir Yerleştirilmiş 8 Adet Üçgen Anten İle Oluşturulan Düzgün Dairesel Dizinin Işıma Örüntüsü	49

($K_a=5$ $S_h= 0.34$ cm $S_r= 0.35$ cm).

4.27:	Ortasına Silindir Yerleştirilmiş 8 Adet Üçgen Anten İle Oluşturulan Düzgün Dairesel Dizinin Işıma Örüntüsü ($K_a=5$ $S_h= 0.34$ cm $S_r= 0.4$ cm).	49
4.28:	Vivaldi Anten Geometrisi.	51
4.29 :	Vivaldi Antenin VSWR Grafiği ($L= 11$ cm, $R= 0$).	51
4.30 :	Vivaldi Antenin ($L= 11$ cm, $R= 0$) $\theta=90$, $\phi = 0'$ daki Işıma Örüntüleri.	52
4.31 :	Vivaldi Antenin VSWR Grafiği ($L= 20$ cm, $R= 0$).	52
4.32:	Vivaldi Antenin ($L= 20$ cm, $R= 0$) $\theta=90$, $\phi = 0'$ daki Işıma Örüntüleri.	53
4.33:	Vivaldi Antenin VSWR Grafiği ($L= 30$ cm, $R= 0$).	53
4.34:	Vivaldi Antenin ($L= 20$ cm, $R= 0$) $\theta=90$, $\phi = 0'$ daki Işıma Örüntüleri.	54
4.35:	Açıklık Oranı Sıfırdan Farklı Vivaldi Anten.	54
4.36:	Vivaldi Antenin VSWR Grafiği ($L= 20$ cm, $R= 0.3$).	55
4.37: :	Vivaldi Antenin ($L= 20$ cm, $R= 0.3$) $\theta=90$, $\phi = 0'$ daki Işıma Örüntüleri.	55
4.38:	Vivaldi Antenin VSWR Grafiği ($L= 20$ cm, $R= 0.5$).	56
4.39:	Vivaldi Antenin ($L= 20$ cm, $R= 0.5$) $\theta=90$, $\phi = 0'$ daki Işıma Örüntüleri.	56

4.40:	Vivaldi Antenin VSWR Grafiği (L= 20 cm, R= 0.8).	57
4.41:	Vivaldi Antenin (L= 20 cm, R= 0.8) $\theta=90$, $\phi = 0'$ daki Işıma Örüntüleri.	57
4.42:	Dizi Çalışmalarında Kullanılan Vivaldi Anten.	58
4.43:	Dizi Çalışmalarında Kullanılan Vivaldi Antenin VSWR Grafiği.	58
4.44:	Dizi Çalışmalarında Kullanılan Vivaldi Antenin $\theta=90$, $\phi = 0'$ daki Işıma Örüntüleri.	59-60
4.45:	8 Adet Vivaldi Anten İle Düzgün Dairesel Dizi Benzetimi (Ka=5).	61
4.46:	8 Adet Vivaldi Anten İle Oluşturulan Düzgün Dairesel Dizinin VSWR Grafiği (Ka=5).	61
4.47:	8 Adet Vivaldi Anten İle Oluşturulan Düzgün Dairesel Dizinin Işıma Örüntüsü (Ka=5).	61
4.48:	8 Adet Vivaldi Anten İle Oluşturulan Düzgün Dairesel Dizinin VSWR Grafiği (Ka=8).	62
4.49:	8 Adet Vivaldi Anten İle Oluşturulan Düzgün Dairesel Dizinin Işıma Örüntüsü (Ka=8).	62
4.50:	8 Adet Vivaldi Anten İle Oluşturulan Düzgün Dairesel Dizinin VSWR Grafiği (Ka=10).	63
4.51:	8 Adet Vivaldi Anten İle Oluşturulan Düzgün Dairesel Dizinin Işıma Örüntüsü (Ka=10).	63

4.52:	8 Adet Vivaldi Anten İle x-y Düzlemine Dik Düzgün Dairesel Dizi Benzetimi.	64
4.53:	x-y Düzlemine Dik Yerleştirilmiş 8 Adet Vivaldi Anten İle Oluşturulan Düzgün Dairesel Dizinin Işıma Örüntüsü.	64
4.54:	4 Elemanlı Düzgün Doğrusal Dizi Benzetimi.	66
4.55:	4 Adet Vivaldi Anten İle Oluşturulan Düzgün Doğrusal Dizinin VSWR Grafiği.	66
4.56:	4 Adet Vivaldi Anten İle Oluşturulan Düzgün Doğrusal Dizinin Işıma Örüntüsü.	67
4.57:	6 Elemanlı Düzgün Doğrusal Dizi Benzetimi.	68
4.58:	6 Adet Vivaldi Anten İle Oluşturulan Düzgün Doğrusal Dizinin VSWR Grafiği.	68
4.59:	4 Adet Vivaldi Anten İle Oluşturulan Düzgün Doğrusal Dizinin Işıma Örüntüsü.	69
4.60:	6 Elemanlı x-y Düzlemine Dik Yerleştirilmiş Düzgün Doğrusal Dizi Benzetimi.	70
4.61:	6 Elemanlı x-y Düzlemine Dik Yerleştirilmiş Düzgün Doğrusal Dizinin VSWR Grafiği.	70
4.62:	x-y Düzlemine Dik Yerleştirilmiş 6 Adet Vivaldi Anten İle Oluşturulan Düzgün Doğrusal Dizinin Işıma Örüntüsü	71
4.63:	Ölçüm İçin Tasarlanan Vivaldi Anten	72
4.64:	Ölçüm İçin Tasarlanan Vivaldi Antenin VSWR Grafiği	73

4.65:	Ölçüm İçin Tasarlanan Vivaldi Antenin Işıma Örüntüsü	74-75
4.66:	4 Adet Vivaldi Anten İle Ölçümü Yapılan Düzgün Doğrusal Dizinin VSWR Grafiği	75
4.67:	4 Adet Vivaldi Anten İle Ölçümü Yapılan Düzgün Doğrusal Dizinin Işıma Örüntüsü	76-77
4.68:	x-y Düzlemine Dik Yerleştirilmiş 4 Adet Vivaldi Anten İle Ölçümü Yapılan Düzgün Doğrusal Dizinin VSWR Grafiği	77
4.69:	x-y Düzlemine Dik Yerleştirilmiş 4 Adet Vivaldi Anten İle Ölçümü Yapılan Düzgün Doğrusal Dizinin Işıma Örüntüsü	78-79
4.70:	Antenlerin S(1,1) Grafikleri	80
4.71:	4 Elemanlı Doğrusal Dizinin VSWR Grafiği	80
4.72:	Tek Vivaldi Antenin Işıma Örüntüsü	81
4.73:	4 Elemanlı Doğrusal Dizinin Işıma Örüntüsü	82
4.74:	x-y Düzlemine Dik Yerleştirilmiş 4 Elemanlı Doğrusal Dizinin Işıma Örüntüsü	83

I. GİRİŞ

Hızla gelişen uydu, kablosuz iletişim, uzaktan algılama ve radar sistemleri geniş bantlı anten yapılarına ihtiyaç duymaktadır. Sinyal yayınlayan ya da alan bir sistem, merkez frekansının %20'sinden fazla ya da 500 MHz'den büyük bant genişliğine sahip ise geniş bantlı olarak kabul edilir. Geniş bantlı sistemlerde yayılan ya da alınan sinyalin minimum bozulmaya uğradığı ve geniş frekans bandına sahip anten yapıları yer alır[1].

Teknolojinin hızla gelişimine paralel olarak askeri alanda yaygın olarak kullanılan geniş bantlı sistemlerin yer alacağı platformun fiziksel boyutları göz önüne alındığında, tasarlanılacak antenin boyutları da önem arz etmektedir. Özellikle insansız hava araçları, uçaklar gibi küçük hacme sahip yapılarda düşük ağırlıkları, küçük boyutları ve yüksek verimlilikleri ile mikroşerit (microstrip) antenler yaygın olarak kullanılmaktadır. Spiral, yama (patch), üçgen ve genişleyen yarık hat antenler (TSA: *Tapered Slot Antenna*) yaygın kullanıma sahip mikroşerit antenlerdir.

Genişleyen yarık hat antenler geniş bantlı sistemlerde yaygın olarak kullanılan anten tipidir. Bu antenler geniş bantlı olmalarının yanında makul kazançlara ve simetrik ışınma örüntülerine sahiptirler. Genişleyen yarık hat antenler verimli, hafif ve basit geometrileri ile öne çıkmaktadırlar. Gibson [9] tarafından 1979 yılında bulunan Vivaldi antenler genişleyen yarık hatlı antenler sınıfında en yaygın kullanılan anten tipidir. Vivaldi antenler geniş bantlı ve yönlü ışınmalarının yanı sıra düşük maliyetli ve kolay üretilen antenlerdir. Vivaldi antenin huzme genişliği ve yönlülüğü tasarım parametreleri ile kolayca değiştirilebilir [1].

Pasif radar uygulamalarında geniş frekans bandında sinyaller analiz edilirken, ESM (Electronic Support Measures) gibi yön bulma sistemlerinde geniş frekans bandında sinyaller işlenip, yanca (azimuth) düzleminde de 360 derece kaplama sağlanır. Pasif radar ve ESM sistemleri gibi geniş bantlı sistemlerde gelen sinyalin yüksek başarımla toplanması, sistemin anten tasarımı ile doğrudan ilişkilidir.

Sinyal kaynaklarının tespiti için yön bulma gereksiniminin artması, anten elemanlarının fiziksel özellikleri nedeniyle her yöne eşit olarak ışına yapamamaları ve hedeflenen doğrultuda daha fazla ışına kazancının istenmesi sebebiyle anten dizilerinin kullanımı yaygınlaşmaktadır. Anten dizilerinde, hedeflenen ışına örüntüsü gerekli parametreler değiştirilerek elde edilebilmektedir. Anten dizileri genellikle eş özelliklere sahip elemanların bir araya getirilmesi ile oluşturulmaktadır.

360° kaplama sağlanması istenen ESM gibi sistemlerde kolay ve en etkili çözüm olarak dairesel dizilerin kullanımı yer almaktadır. Geniş bantlı olarak tasarlanan bir antenin dairesel dizi yapısı içerisinde kullanımı ile geniş bantta yanca düzleminde tüm açılarda kaplama sağlanabilir.

A. Tez Konusu ve Gerekliliği

Bu tez çalışması kapsamında, geniş bantlı sistemleri daha basit, daha küçük hacim ve ağırlıkta tasarlamak amacıyla 450-1500 MHz frekans bandında yanca düzleminde 360° kaplama alanı sağlayacak dizi anten tasarım çalışması yapılması hedeflenmiştir. Öncelikle dipol anten elemanları kullanılarak 450 MHz için dairesel dizi davranışı analiz edilmiş, daha sonra literatürde yer alan farklı geniş bantlı antenler arasından, üçgen ve Vivaldi anten yapıları incelenerek düzgün dairesel ve doğrusal dizilerle ile hedeflenen kaplama alanı sağlanmaya çalışılmaktadır.

Eldeki imkanlar kapsamında Rogers RT/Duroid 5880 taban malzemesi üzerine tasarlanacak Vivaldi anten ile oluşturulacak dizilerde yarım güç huzme genişliği (HPBW) 20° ve kazancı 10dB 'den büyük huzme elde edilmesi hedeflenmektedir.

B. Tezin İçeriği

Tez beş bölümden oluşmaktadır. Giriş bölümünde anten dizilerinin ve geniş bantlı antenlerin kullanım alanlarından ve tezin amacından bahsedilmektedir.

İkinci bölümde geniş bantlı antenlerden üçgen antenler ve Vivaldi antenlerin tasarım parametreleri ile ilgili bilgiler kapsamlı olarak anlatılacaktır.

Üçüncü bölümde düzgün doğrusal ve dairesel dizilerin teorisi ve dizi elemanları arasındaki karşılıklı bağlaşım etkisinden bahsedilecektir.

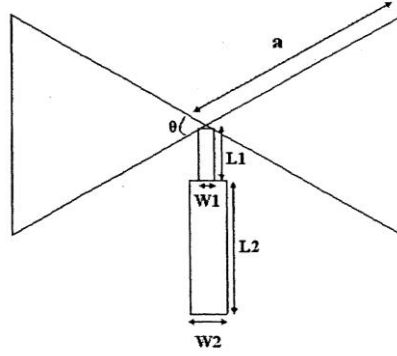
Dördüncü bölümde dipol antenler ile dairesel dizi teorisi, üçgen antenler ile geniş bantlı dairesel diziler ve de Vivaldi antenler ile düzgün doğrusal ve dairesel dizileri üzerine benzetimleri yapılmış, ölçümü yapılan Vivaldi antenlere ait sonuçlar yer almaktadır.

Son bölümde ise tez kapsamında elde edilen veriler değerlendirilerek sonuç ve tekliflerden bahsedilecektir.

II. GENİŞ BANTLI ANTENLER

A. Üçgen Antenler

Mikroşerit antenler hafiflikleri, ince profil yapıları, düşük üretim maliyetleri, verimlilikleri ve kolay üretim imkanları nedeniyle son yıllarda uygulamalarda ve teorik çalışmalarda sıklıkla kullanılmaktadır. Üçgen antenler, üçgen yama (patch) anteni ve bu antenin sanal görüntüsü olan üçgen yamanın, tek bir taban malzemesi üzerine yapılması ile elde edilir [2]. Üçgen antenlerin geniş bantlı olmaları ve dikdörtgen yama antenlere göre ışınma kayıplarının azlığı nedeniyle geniş bir kullanım alanı bulunmaktadır [3].



Şekil 2.1 Üçgen Anten

Rahim, Aziz ve Goh [2] yapmış oldukları çalışmada ikizkenar üçgen anten yapılarının tasarımı için formüller ortaya koymuşlardır. “a” kenar uzunluğu ve “ θ ” tepe açısı olmak üzere çınlama frekansı;

$$f_r = \frac{ck_{mn}}{2\pi\sqrt{\epsilon_r}} \quad (2.1)$$

f_r = çınlama frekansı(resonance frequency)

k_{mn} = çınlama modu(resonating mode)

m ve n mod numaraları

c = ışık hızı

olarak verilmektedir.

Üçgen antenin etrafı mükemmel manyetik çerçeve (perfect magnetic wall) ile örtülmüş olsaydı Denklem 2.1'de sabit bir değere ulaşılır. Fakat mükemmel olmayan manyetik çerçeve ile örtülü olan üçgen antenin TM_{10} modu için efektif kenar uzunluğunun (a_{eff}) empirik hesaplamaları;

$$a = \frac{2c}{2f_r \sqrt{\epsilon_r}} \quad (2.2)$$

$$a_{eff} = a + \frac{h}{\sqrt{\epsilon_r}} \quad (2.3)$$

$$\epsilon_{eff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{4 \sqrt{1 + \frac{12h}{a}}} \quad (2.4)$$

h : taban malzemesinin kalınlığı

olarak verilmektedir.

Rahim, Aziz ve Goh [2] çalışmalarında tepe açısının geri dönüş kayıplarını etkilemediği, tepe açısı arttıkça bant genişliğinin azaldığı görülmektedir.

Eldek [14] yapmış olduğu çalışmada mikroşerit beslemeli üçgen anten ile Quasi-Yagi (dipol ve yönlendirici) anten yapısını karşılaştırmıştır. Yapılan çalışmanın sonucunda üçgen antenlerin daha geniş bant genişliğine, daha yüksek kazanç ve düşük ön-arka bastırma oranı sahip olduğu görülmüştür. Üçgen antenler arası bağlaşımın Quasi-Yagi antenlere göre daha az olduğu vurgulanmaktadır.

Uysal, Loi ve Leong [15] üçgen antenlerin bant genişliklerini artırmak üzere yeni bir üçgen anten modeli üzerinde çalışmışlardır. İki adet ikizkenar yamuğun birleştirilmesi ile meydana getirilen eşeksensiz kablo beslemeli üçgen anten yapıları ile X bandında bant genişliğini %10.6 artırmayı başarmışlardır.

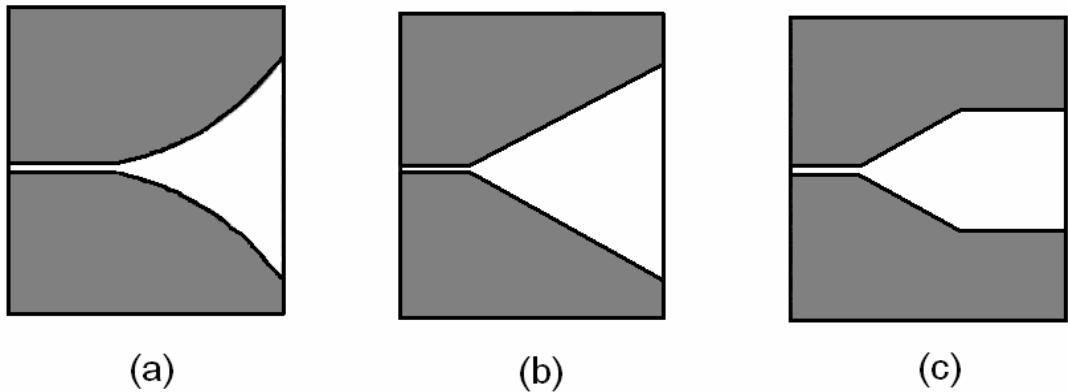
Yapılan bu çalışmada önce tek bir üçgen anten tasarlanmış olup daha sonra bu üçgen anten dizi çalışmalarında kullanılmıştır.

B. Vivaldi Antenler

Vivaldi antenler periyodik olmayan sürekli ölçekli (scaled) yürüyen dalga antenleridir (traveling wave antenna) [9]. Vivaldi antenlerin avantajları yüksek kazanç ve verimliliğe (efficiency) sahip olmaları, geniş bantlı olmaları ve basit geometrileridir. Vivaldi antenler üstel olarak genişleyen (tapered) yarık (slot) yapıları nedeniyle Genişleyen Yarık Antenler sınıfına da girmektedirler.

1. Genişleyen Yarık Antenler (GYA)

GYA' ların en temel özelliği besleme noktasından ışıma noktasına doğru yarık hattının genişlemesidir. GYA' lar genişleme şekillerine göre sınıflandırılırlar. En çok kullanılan ve bilinen GYA Doğrusal Genişleyen Yarık Antenler (Linearly Tapered Slot Antenna) , Sabit Genişlikli Yarık Antenler (Constant Width Tapered Antenna) ve Üstel Genişleyen Yarık Antenlerdir (Exponentially Tapered Slot Antenna) .



Şekil 2.2: Genişleyen Yarık Antenler

(a) Üstel Genişleyen (Vivaldi), (b) Sabit Genişlikli, (c) Doğrusal Genişleyen

Geometrik olarak basit olarak uygulanabilen GYA' ların yüksek kazanç ve geniş bantlı olmalarının yanı sıra düşük yan kulakçık seviyesi, yüksek yönlülük ve simetrik ışıma örüntüsü gibi ek özellikleri vardır.

2. Işıma

Vivaldi antenler yüzey dalga antenleridir. Yüzey dalga antenleri yayılım bölümü ve ışınım bölümü olarak iki bölüme ayrılır.

Yayılım, boşluktaki dalga boyunun yarısından küçük olan yarı genişliğinden başlayarak, etrafı iletken ile sınırlandırılmış olan yarı boyuncadır. Anten ışınımı ise yarı genişliğinin dalga boyunun yarısından fazla olması neticesinde iletken ile sınırlandırılmış yarı içerisinde ilerleyen dalganın havaya ışımaya başlamasıyla gerçekleşir. Dalga, faz hızı boşluktaki ışık hızına ($3 \times 10^8 m/sn$) eşit olana kadar anten yüzeyinde hareket eder.

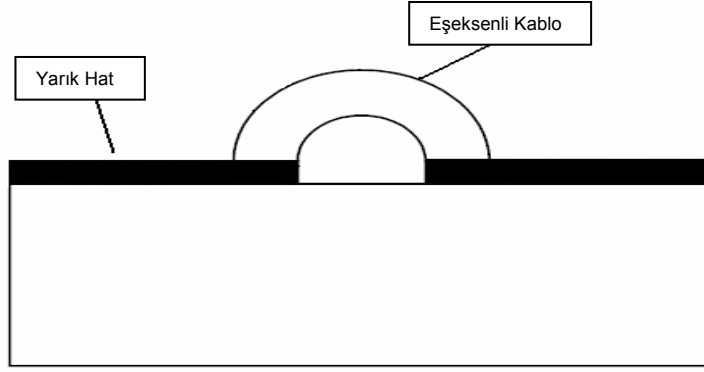
3. Besleme teknikleri

Vivaldi antenleri iki şekilde beslenebilir doğrudan bağlaşıklı geçiş ve elektromanyetik bağlaşıklı geçiş.

a. *Doğrudan Bağlaşıklı Geçiş*

Bir tel ya da bağlantı elemanı ile doğrudan yarığa elektriksel bağlantının sağlanmasıdır. En yaygın kullanılanı eşeksenli (coaxial) hat ile yarı hattı geçiştir.

Eşeksenli hat- yarı hattı geçişinde, üretilen sinyal yarı hattına doğrudan bağlanan eşeksenli kablo ile iletilir. Yarı hattı ile eşeksenli kablonun bağlantısı geçişe diktir. Şekil 2.3 'de görüldüğü üzeredir.



Şekil 2.3: Eşeksenli Kablo- Yarık Hattı Bağlantısı

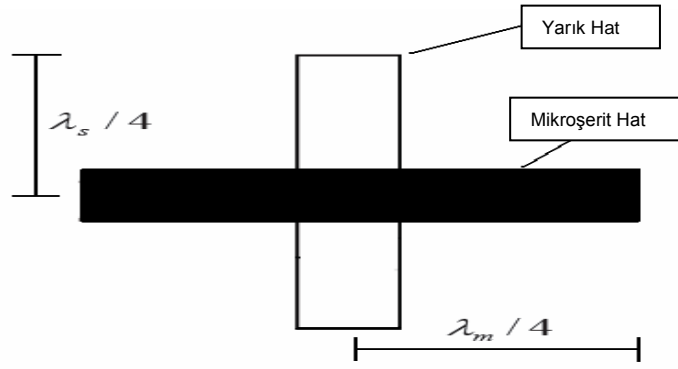
Taban malzemesinin bir yüzeyine oluşturulan yarık hattının karakteristik empedansının yüksek olması nedeniyle eşeksenli kablo ile empedans uyumunu sağlanması zorlaşmaktadır. Empedans uyumu ve geniş bant için yarık hattının taban malzemesinin iki yüzüne yapılması faydalı olur ancak üretimdeki zorluklardan dolayı eşeksenli kablo-yarık hattı bağlantısı kullanımı avantajlı değildir [16].

b. *Elektromanyetik Bağlaşıklı Geçiş*

Üretilen sinyal yarık hattına elektromanyetik alan olarak iletilir. Mikroşerit-yarık hat, şerit hat-yarık hat, taban tabana zıt (antipodal) yarık hat ve dengeli (balanced) taban tabana zıt yarık hat en çok kullanılan yöntemlerdir.

[1] Mikroşerit-Yarık Hat Geçışı

Taban malzemesinin bir yüzüne mikroşerit hat, diğer yüzüne ise yarık hat oluşturulur. Mikroşerit hat ve yarık hat kesiştikleri noktadan itibaren $\lambda/4$ kadar daha uzarlar. $\lambda/4$ 'lük mikroşerit hat açık devre gibi görünmesine rağmen, yarık hatta üretilen sinyali ileten kısa devre gibi işlev görür. $\lambda/4$ 'lük yarık hat ise toprağa bağlanmış ve kısa devre gibi gözükse de geçişteki açık devre olarak davranır. $\lambda/4$ 'lük parçaların bu davranışı ile mikroşerit hat ile yarık hat elektromanyetik olarak bağlaştırılmış olur. Bu şekilde sağlanan geçiş ile çalışma bant genişliği azaltılmış olur.

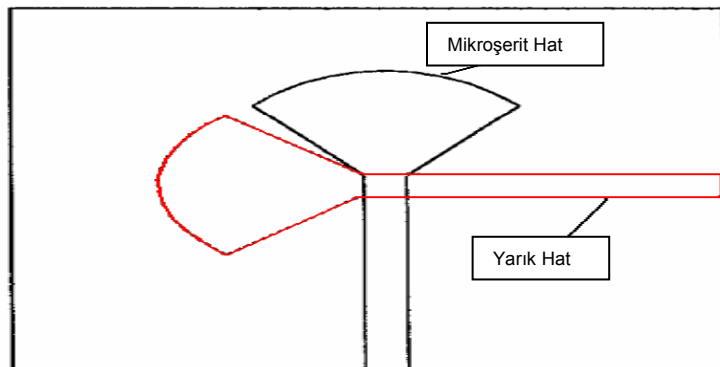


Şekil 2.4: Mikroşerit-Yarık Hat Geçişi

[2] Şerit Hat-Yarık Hat Geçişi

Şerit hat-yarık hat geçişinde her iki hattın ucunda stablar bulunur. Şerit hat, yarık hattı taban malzemesinin orta noktasından beslemektedir. Çeyrek dalga stabı (*stub*) şerit hat-yarık hat geçişlerinde kullanılır. Çeyrek dalga stablarının kullanılmasının en büyük yararı bant genişliğini yükseltmesidir.

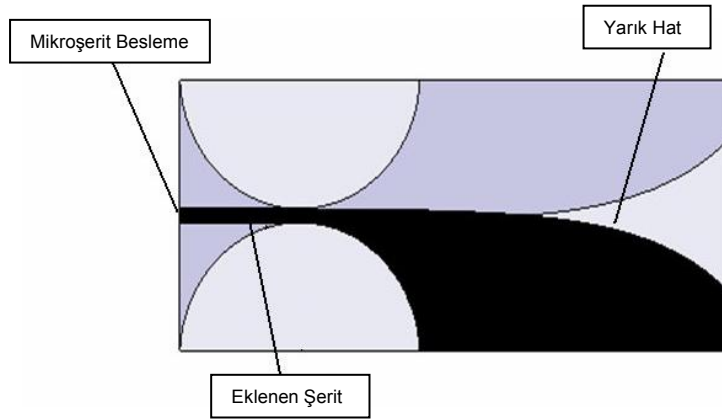
Bant genişliğini yükseltmek için düzgün olmayan stablar kullanılsa da radyal stabların bant genişliğini yükseltmede ve örtüşmeleri (overlapping) azaltmada daha etkili olduğu görülmüştür [7].



Şekil 2.5: Radyal Çeyrek Dalga Stabları

[3] Taban Tabana Zıt Yarık Hattı

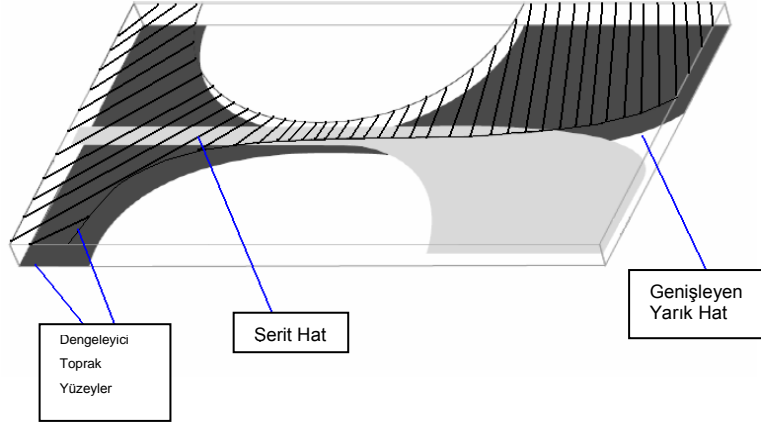
Mikroşerit/şerit hat-yarık hat geçişlerinde iki iletkenin bağlantısını sağlamak üzere taban malzemesi üzerine açılan delikler ve kullanılan çeyrek dalga yarıkları bant genişliğini sınırlandırmaktadır. E. Gazit [6] tarafından geliştirilen taban tabana zıt şerit hat-yarık hat modeli ile former yayılımlar engellenmektedir. Tabana tabana zıt yarık hat geniş bant aralığına rağmen zayıf çapraz polarizasyona sahiptir.



Şekil 2.6: Taban Tabana Zıt Yarık Hat

[4] Dengeli Taban Tabana Zıt Yarık Hattı

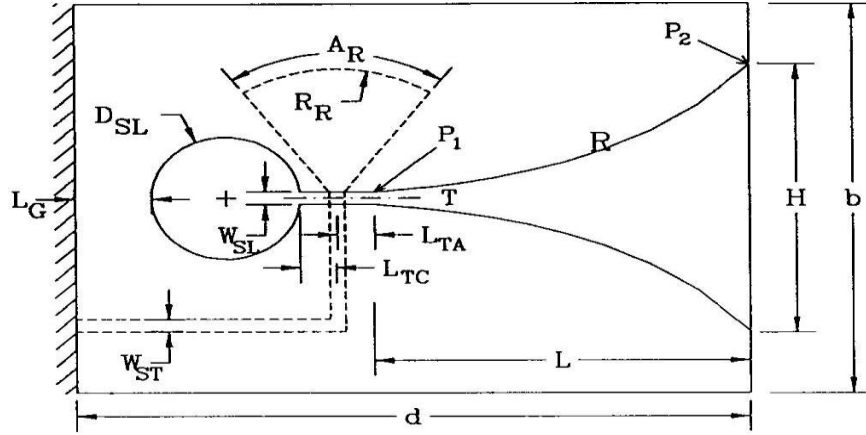
Taban tabana zıt yarık hattına dielektrik ve metal tabaka eklenmesi genişleyen yarık boyunca elektrik alan dağılımının dengelenmesi ve çapraz polarizasyon özelliği iyileştirilebilir. Bu modele de dengeli taban tabana zıt yarık hat modeli denir. Genişleyen besleme hattı taban malzemesinin bir tarafında iken besleme hattının tersi olarak toprak yüzeyi diğer tarafta yer almaktadır.



Şekil 2.7: Dengeli Tabana Tabana Zıt Yarık Hattı

4. Vivaldi Anten Tasarım Parametreleri

Bu bölümde Vivaldi antenin tasarımı adım adım anlatılacaktır. Bu çalışma kapsamında VHF/UHF ve mikrodalga frekanslarında tasarlanan geniş bantlı antenler mikroşerit hat beslemeli Vivaldi anten yapısındadır. Dizi çalışmalarına geçilmeden önce tek bir Vivaldi antenin tasarımı tamamlanmış, müteakiben dizi çalışmaları icra edilmiştir.



Şekil 2.8: Mikroşerit Hat Beslemeli Vivaldi Anten

Şekil 2.8'de tasarlanan anten geometrisi gösterilmektedir. Şekil 2.8'de gösterilen ve anten tasarımı yapılırken göz önünde bulundurulan parametreler aşağıda verilmektedir.

D_{SL} : Yarık Hat Stubının Çapı

W_{SL}, W_{ST} : Yarık Hat – Mikroşerit Hat Genişliği

H	: Ağız Açıklığı (<i>Anten Açıklığı</i>)
d	: <i>Anten Uzunluğu</i>
b	: <i>Antenin Genişliği</i>
L_G	: <i>Arka Duvar Uzaklığı (Backwall Offset)</i>
L	: <i>Genişliyen Yarık Hat Uzunluğu</i>
A_R	: <i>Mikroşerit Hattın Radyal Stubının Açısı</i>
R_R	: <i>Mikroşerit Hattın Radyal Stubın Yarıçapı</i>
R	: <i>Açıklık Oranı</i>
L_{TC}	: <i>Örtüşme Noktasından Yarık Hat Stubuna Uzaklık</i>
L_{TA}	: <i>Örtüşme Noktasından Genişliyen Yarık Hattın Mesafe</i>

Schaubert ve Shin [4] yapmış oldukları çalışmada şerit beslemeli Vivaldi antenlerin tüm parametrelerini incelemiş ve tasarım için sistematik bir yordam ortaya koymuşlardır. Yapılan çalışma da,

- Yarık kovuğun(cavity) ve şerit hat stubının yarıçapı,
- Yarık hat ve şerit hattın genişlikleri,
- Genişleme fonksiyonu,
- Anten açıklığı incelenmiştir.

Parametre değişimlerinin anten performansı üzerindeki etkilerinin incelendiği bu çalışmada [4], parametrelerdeki ufak değişikliklerin anten direncini yükseltip, minimum çalışma frekansını düşürdüğü ortaya koyulmuştur. Bir parametrenin değiştirilip diğer parametrelerin sabit tutulduğu çalışmada bant genişliğini artırmak üzere minimum çalışma frekansının aşağı çekilmesi gerektiği vurgulanmıştır.

Şerit hat beslemeli Vivaldi antenler şerit hat-yarık hat geçişi, şerit hat açık devre stabı, yarık hat dairesel kısa devre stabı ve ışılan genişleyen yarıktan meydana gelir. Giriş sinyali şerit hattın girişinden anteni beslenmekte manyetik bağlaşım ile taban malzemesinin diğer tarafında bulunan yarık hatta aktarılmaktadır. Antenin giriş empedansını şerit hat belirlerken çalışma bandı ise şerit hat-yarık hat geçişine bağlıdır [4].

Schaupert [4] ve Gazit [6], tek bir Vivaldi anten boyunun bir dalga boyundan uzun ve ağız açıklığının yarım dalga boyundan uzun olması durumunda en iyi çalışma değerlerinin elde edildiğini belirtmişlerdir. Diziler incelendiğinde ise anten boyunun dalga boyuna yakın ve anten yüksekliğinin (element height) dalga boyuna yakın olması gerektiği görülmüştür [4].

a. Taban Malzemesi

Dielektrik taban malzemesi Vivaldi antenlerin tasarımı ve geçiş hatlarının modellenmesinde önem taşımaktadır. Dielektrik taban malzemesinin;

- Dielektrik sabiti,
- Dielektrik kaybını belirleyen kayıp tanjant (Loss Tangent),
- Bakır yüzeyinin kalınlığı,
- İletkenlik ve termal genleşme,
- Fiyat ve üretim kolaylığı önemli özellikleridir [16].

Taban malzemesinin seçiminde öncelikli olarak dielektrik sabitine ve kayıp tanjant değerine önem verilmelidir. Dielektrik sabiti ve taban malzemesinin kalınlığı dalganın faz hızını belirler. Dalga, faz hızı boşlukta yayılan dalganın hızına eşit oluncaya kadar taban malzemesi üzerinde hareket eder. Seçilecek uygun dielektrik katsayılı taban malzemesi ile dalganın mikroşerit hat ve yarık hattını takip ederek yayılımın başladığı yer olan ağız açıklığına yani dalganın faz hızının boşlukta yayılan dalganın hızına eşit olduğu noktaya ulaşması sağlanır. Yüksek dielektrik değerli taban malzemesi kullanımı ile sabit anten empedansı elde edilip, empedans uyumu sağlanabilir [16].

Dielektrik sabiti ve taban malzemesinin kalınlığı huzme genişliği, yan kulakçık seviyesi ve kazanç gibi önemli ışımaya parametrelerini belirlemektedir. Yüksek dielektrik katsayılı taban malzemeleri ile küçük boyutlu antenler yapılabilsede, geniş bantlı antenler için düşük dielektrik katsayılı taban

malzemeleri kullanılır. Düşük dielektrik katsayılı taban malzemeleri ile antenden saçılım azaltılır [14].

Yayılm hattında iletken kaybı (conductor loss) ve dielektrik kaybı olmak üzere iki türlü kayıp meydana gelir. Düşük frekanslarda iletken kaybı dielektrik kaybından fazlayken frekans yükseldikçe dielektrik kaybı iletken kaybını bastırmaya başlar. Dielektrik kayıpları polarize olan molekül hareketlerinden ve ısınmadan meydana gelir [14].

Bu çalışmada VHF/UHF anten tasarımında dielektrik sabiti 2.2 ve dielektrik kaybı 0.0009 olan Rogers RT/Duroid 5880 dielektrik malzeme kullanılmıştır. Kullanılan taban malzemesine ilişkin detaylı bilgiler EK-A' da yer almaktadır.

b. Taban Malzemesi Kalınlığı

Üretici tarafından taban malzemesi kalınlıkları belirlenmiştir. Tasarım aşamasında buna dikkat etmek gerekmektedir. İnce taban malzemeleri tüm bant boyunca sanal direnci (reactance) düşürmektedir. İnce taban malzemesi kullanılması ile yüksek kazanç, dar huzme elde edilirken yan kulakçık sayısı artmaktadır. Taban malzemesinin kalınlığının artırılması ile anten geri dönüş kayıpları azalmaktadır. Ayrıca tasarıma uygun yarık hat empedansının gerçekleştirilebilmesi için taban malzemesinin kalınlığını arttırmak gerekebilmektedir.

Bu çalışma kalınlığı 0.16 cm olarak verilen Rogers RT/Duroid 5880 taban malzemesinin, 3 adedi bir araya getirilerek yükseklik 0.5 cm olacak şekilde tasarım yapılmıştır.

c. Anten Beslemesi

Daha önceki bölümde anlatıldığı üzere bant genişliğini etkileyen önemli faktörlerden biri anten beslemesidir. Bu bölümde 450-1500 MHz frekans bandında çalışacak Vivaldi antenin besleme şekli anlatılacaktır.

Elektromanyetik bağışıklı geçiş modelleri doğrudan bağışıklı geçiş modellerine göre daha kolay uygulanabilir. Kolay üretilmesi, besleme hattı ve antenin taban malzemesinin iki farklı yüzeyinde olması ve de Schuabert ve Shin [4] yapmış oldukları parametrik çalışmalarla karşılaştırma olanağı vermesi nedeniyle anten beslemesi mikroşerit-yarık hat geçişi seçilmiştir.

[1] Mikroşerit - Yarık Hattı Geçişi

Mikroşerit-yarık hat geçişi,

- Alıcı/Verici ile bağlantıyı sağlayan mikroşerit hat,
- Besleme noktasından dışarı doğru genişleyen yarık hattın meydana gelir.

Elektromanyetik bağışıklı geçiş modellerinde geniş bantlı ve örtüşme problemlerini (overlapping) ortan kaldırmaları nedeniyle mikroşerit hat ve yarık hat sonlarında radyal stablar kullanılmıştır. Yapılan bu çalışmada mikroşerit hat sonrasında radyal çeyrek dalga stabı kullanılırken yarık hat sonrasında ise dairesel stab kullanılmıştır.

[2] Mikroşerit Hat Tasarımı

Mikroşerit hattın genişliği aşağıda ki mikroşerit hattın empedans formülünden hesaplanır [18].

$$Z_0 = \frac{87}{\sqrt{\epsilon_r + 1.41}} \ln \left(\frac{5.98 \times h}{0.8w + t} \right) \Omega \quad (2.5)$$

Z_0 : Mikroşerit Hattın Empedansı

h : Taban Malzemesinin Yüksekliği

t : Bakır Plakanın Yüksekliği

w : Mikroşerit Hattın Genişliği

ϵ_r : Taban Malzemesinin Dielektirik Sabiti

Mikroşerit hat açık devre stabı örtüşmeleri engellemek için radyal olarak tasarlanmıştır. Radyal stabın yarıçapı $\lambda/4$ olarak alınmıştır.

Radyal çeyrek dalga stabın frekans değıştikçe sanal direnci değışmekte, düşük frekanslarda yüksek kapasitif, orta bantta sıfıra yakın sanal direnç (reactance) ve yüksek frekanslarda endüktif değerler almaktadır [7]. Stabın sanal direncinde ki değışiklik antenin geniş bantlı çalışmasına olanak sağlamaktadır.

[3] Yarık Hat Tasarımı

Anten düzlemi dairesel yarık hat stabı (cavity), yarık hattı ve genişleyen ışımaya yarığında meydana gelmektedir. Yarık hat genişliği aşağıdaki formülden bulunabilir [10].

$$2.22 \leq \epsilon_r \leq 9.8 \quad (2.6)$$

$$0.0015 \leq \frac{w}{\lambda_0} \leq 1 \quad (2.7)$$

$$0.006 \leq \frac{h}{\lambda_0} \leq 0.06 \quad (2.8)$$

$$\begin{aligned} Z_{0s} = & 60 + 3.69 \sin \left[\frac{(\epsilon_r - 2.22) \pi}{2.36} \right] + 133.5 \ln(10\epsilon_r) \sqrt{\frac{w}{\lambda_0}} \\ & + 2.81 [1 - 0.011\epsilon_r(4.48 + \ln \epsilon_r)] \left(\frac{w}{h} \right) \ln \left(\frac{100h}{h} / \lambda_0 \right) \\ & + 131.1(1.028 - \ln \epsilon_r) \sqrt{\frac{h}{\lambda_0}} + 12.48 (1 + 0.18 \ln \epsilon_r) \\ & \times \frac{\left(\frac{w}{h} \right)}{\sqrt{\epsilon_r - 2.06 + 0.85 \left(\frac{w}{h} \right)^2}} \end{aligned} \quad (2.9)$$

$$\varepsilon_{eff} = \left\{ 1.045 - 0.365 \ln(\varepsilon_r) + \frac{6.4(w/h)}{(238.64 + \frac{100w}{h})} \varepsilon_r^{0.945} - \left[0.148 - \frac{8.81(\varepsilon_r + 0.95)}{100\varepsilon_r} \right] \times \ln(h/\lambda_0) \right\}^{-2} \quad (2.10)$$

Z_{0s} : Yarıık Hattın Empedansı

w : Yarıık Hattın Genişliği

$\lambda_0 =$ Dalga Boyu

Genişliği yukarıdaki formülleri ile açıklanan yarıık hattın sonunda dairesel stab kullanılmıştır. Dairesel stabın yarııapı artıkça minimum ıalışma frekansı azalırken bant genişliği artar [7].

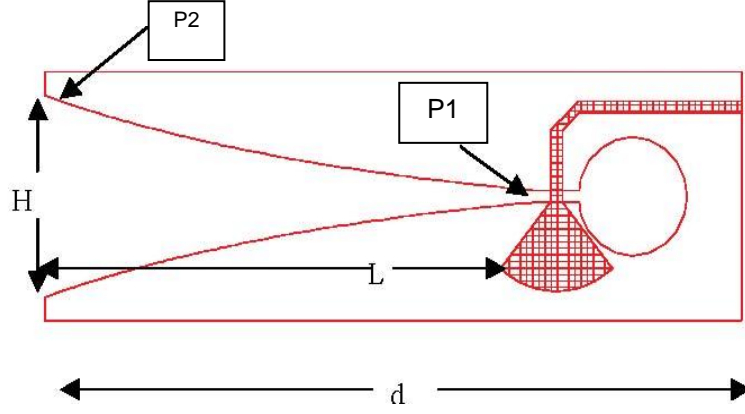
ı. Genişleyen Yarıık Hat Tasarımı

Yapılan bu ıalışmada genişleyen yarıık hat tasarımı için Schuabert [4] yaptığı ıalışmada kullandığı üssel ifadeler kullanılmıştır. Şekil 2.9' da görüldüğü üzere $P1(x_1, y_1)$ ve $P2(x_2, y_2)$ noktaları genişleyen yarıık hattının başlangıı ve bitiş noktalarıdır. $x_2 - x_1$ arasındaki mesafe genişleyen yarıık hattın uzunluğudur (L). R ise aııklik oranı olarak tanımlanmıştır. R, 0 değerini aldığında genişleyen hat doğrusal hale gelmekte ve bu antenlere Doğrusal Genişleyen Yarıık Antenler denilmektedir.

$$y = c_1 e^{Rx} + c_2 \quad (2.11)$$

$$c_1 = \frac{y_2 - y_1}{e^{Rx_2} - e^{Rx_1}} \quad (2.12)$$

$$c_2 = \frac{y_1 e^{Rx_2} - y_2 e^{Rx_1}}{e^{Rx_2} - e^{Rx_1}} \quad (2.13)$$



Şekil 2.9: Genişleyen Yarık Hat

Ağız açıklığı sabit tutularak genişleyen yarık hattının uzunluğu artırıldıkça kıvrılma açısı (flare angle) azalmaktadır. Kıvrılma açısı azaldıkça minimum çalışma frekans değeri de azalmakta böylelikle bant genişliği artmaktadır. Aynı şekilde açıklık oranı artıkça kıvrılma açısı azalmakta ve minimum çalışma frekansı da düşmektedir. Fakat yüksek frekanslarda gerilim duran dalga oranı (VSWR) artmaktadır [4].

d. Anten Uzunluğu

Kazanç ve huzme genişliğini etkileyen anten uzunluğu minimum çalışma frekansındaki dalga boyundan büyük olmalıdır. Anten uzunluğu arttıkça bant genişliği de artmaktadır [4].

e. Anten Genişliği

Anten genişliği minimum çalışma frekansındaki dalga boyunun yarısından büyük olmalıdır. Anten genişliği azaltıldıkça minimum çalışma frekansı da azaltılmakta böylelikle bant genişliği artırılmaktadır.

f. Arka Duvar Uzaklığı (Backwall Offset)

Arka duvar açıklığı yarık hattın başlangıcı ile antenin bitiş noktası arasında kalan mesafedir. Yarık hattı ile anten bitiş noktası arasında akım akışını engelleyeme yarayan bu mesafe geri dönüş kayıplarını kontrol etmek

için kullanılabilir [14]. Yapılan bu çalışmada arka duvar uzaklığı 0.5 cm alınmıştır.

g. **Ağız Açıklığı**

Genişleyen yarık hattının en geniş yeridir. Işıma verimliliğini arttırmak için ağız açıklığı yarım dalga boyundan uzun olmalıdır. Ağız açıklığı arttıkça bant genişliği de artmaktadır. Ağız açıklığı çok arttırılırsa yarım güç huzme genişliği (HPBW) çok artar [4].

ğ. **Kenar Uzaklığı (Edge Offset)**

Ağız açıklığı ile anten genişliği arasında kalan mesafedir. Antenin köşelerinde akımların meydana gelmesini engeller. Kenar uzaklığı da arkada duvar uzaklığı gibi geri dönüş kayıpları üzerinde etkilidir. Kenar uzaklığı çok azaltılırsa antenin ışınma alanında değişimler meydana gelir [4].

h. **Tasarlanan Vivaldi Antenin Değerleri**

Tablo 2.1 Tasarlanan Vivaldi Antenin Değerleri

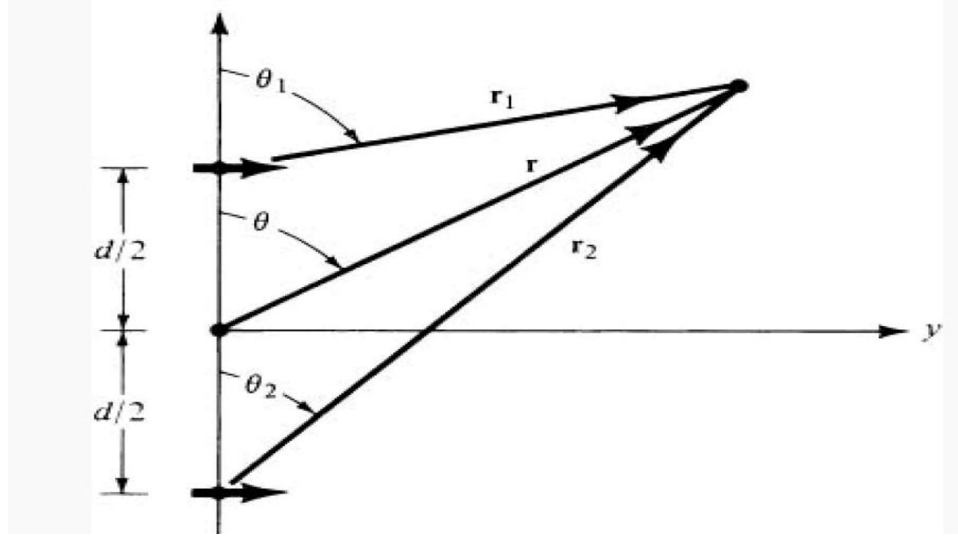
Antenin Uzunluğu	d	34.1 cm
Antenin Genişliği	b	22.8 cm
Yarık Hat Stabının Çapı	D_{SL}	12.5 cm
Mikroşerit Hat Stubunun Yarıçapı	A_R	4.7 cm
Yarık Hattın Genişliği	W_{SL}	0.252 cm
Mikroşerit Hattın Genişliği	W_{ST}	0.44 cm
Ağız Açıklığı	H	6.8 cm
Açıklık Oranı	R	0.5
Genişleyen Hattın Uzunluğu	L	20 cm

Yapılan benzetimlerde mikroşerit beslemeli antenin $L_G = 0.5 \text{ cm}$ ve $L_{TC} = L_{TA} = 0.4 \text{ cm}$ değerleri sabit tutulup diğer parametreler değiştirilmiştir. Yapılan benzetimler ve optimizasyonlar sonucunda dairesel ve doğrusal dizi çalışmalarında kullanılan Vivaldi antenin parametreleri Tablo 2.1' de olduğu gibi hesaplanmıştır.

III. DİZİ ANTEN YAPILARI

A. Düzgün Dağılımlı Doğrusal Dizi Antenler [12]

1. İki Elemanlı Doğrusal Dizi



Şekil 3.1: İki Elemanlı Doğrusal Dizisi

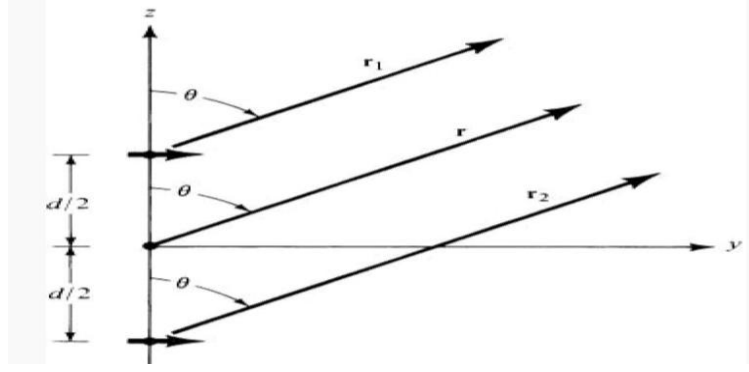
Sonsuz küçüklükte ve eş genlikli iki dipol anten Şekil 3.1'de görüldüğü gibi z eksenine yerleştirildiğinde y-z düzleminde meydana getirdikleri toplam elektrik alan,

$$E_t = E_1 + E_2 = \hat{a}_\theta j\eta \frac{kI_0 l}{4\pi} \left\{ \frac{e^{-j(kr_1 - (\beta/2))}}{r_1} \cos \theta_1 + \frac{e^{-j(kr_2 - (\beta/2))}}{r_2} \cos \theta_2 \right\} \quad (3.1)$$

β : elemanlar arasındaki faz farkı

η : ortam empedansı

olarak verilmektedir.



Şekil 3.2: İki Elemanlı Doğrusal Dizide Uzak Alan Kabulü

Uzak alandan gözlem yapıldığında faz ve genlik farkı ifadelerinde yapılacak kabuller ile toplam elektrik alan aşağıdaki şekilde verilmektedir:

$$\theta_1 \approx \theta_2 \approx \theta$$

$$r_1 \approx r - \frac{d}{2} \cos \theta \left. \vphantom{r_1} \right\} \text{ faz farkı ifadelerinde,}$$

$$r_2 \approx r + \frac{d}{2} \cos \theta \left. \vphantom{r_2} \right\} \text{ faz farkı ifadelerinde,}$$

$$r_1 \approx r_2 \approx r \left. \vphantom{r_1} \right\} \text{ genlik farkı ifadelerinde.}$$

$$E_t = \hat{a}_\theta j \eta \frac{k I_0 l e^{-jkr}}{4\pi r} \cos \theta \left[e^{+j(kd \cos \theta + \beta)/2} + e^{-j(kd \cos \theta + \beta)/2} \right] \quad (3.2)$$

$$E_t = \hat{a}_\theta j \eta \frac{k I_0 l e^{-jkr}}{4\pi r} \cos \theta 2 \cos \left[\frac{1}{2} (kd \cos \theta + \beta) \right] \quad (3.3)$$

Denklem 3.3 'te görüldüğü üzere toplam elektrik alan, orjine yerleştirilmiş tek bir elemanın dizi faktörü denilen bir ifade ile çarpımına eşittir. Eş genlikli ve iki elemanlı dizinin normalize dizi faktörü;

$$AF_n = \cos \left[\frac{1}{2} (kd \cos \theta + \beta) \right] \quad (3.4)$$

olarak elde edilir.

Dizi faktörü, dizi geometrisi ve faz farklarının bir fonksiyonudur. Elemanlar arasındaki mesafeler ve faz farkları değiştirilerek dizi faktörü ve toplam elektrik alan değiştirilebilir.

2. N Elemanlı Düzgün Doğrusal Dizi

Eş genlikli iki elemanın meydana getirdiği toplam elektrik alan,

$$E_{\text{toplam}} = [E_{\text{referans noktasındaki tek eleman}}] \times [\text{Dizi faktörü}] \quad (3.5)$$

Buradan hareketle genlikleri ve aralarındaki mesafe eşit olan, aralarında kademeli olarak artan faz farkı bulunan N tane elemanın dizi faktörü;

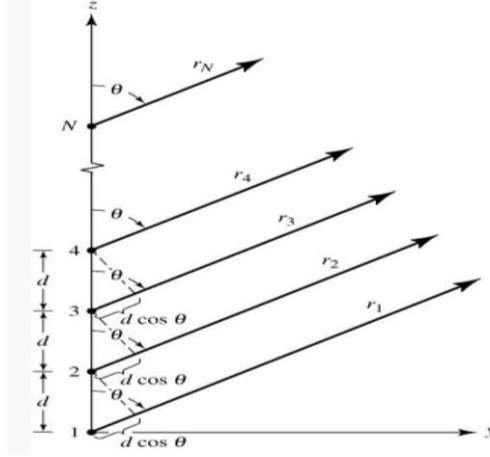
$$AF = 1 + e^{+j(kd \cos \theta + \beta)} + e^{+j2(kd \cos \theta + \beta)} + \dots + e^{+j(N-1)(kd \cos \theta + \beta)} \quad (3.6)$$

$$AF = \sum_{n=1}^N e^{+j(n-1)(kd \cos \theta + \beta)} \quad (3.7)$$

$\Psi = kd \cos \theta + \beta$ ise;

$$AF = \sum_{n=1}^N e^{+j(n-1)\Psi} \quad (3.8)$$

olarak bulunur.



Şekil 3.3: N Elemanlı Doğrusal Dizisi

Eş elemanlı, eş genlikli ve aralarında kademeli olarak artan faz farkı bulunan dizilere düzgün doğrusal anten dizileri denir.

Birçok doğrusal dizi anten uygulamasında maksimum ışımının dizilim eksenine dik olması istenir (Broadside Diziler). Tek elemanın ışımının ve dizi faktörünün $\theta=90'$ da maksimum olması için elemanlar arası uygulanacak faz farkı şöyle elde edilir,

$$\Psi = kd \cos \theta + \beta_{\theta=90} = \beta = 0 \text{ 'dır.} \quad (3.9)$$

Düzgün doğrusal dizi antenin, dizi faktörünün $\theta=90'$ da maksimum olması için elemanlar arasındaki faz farkı 0 olmalıdır. Elemanlar arasındaki mesafe ise herhangi bir değerde olabilir. Ancak λ katlarında farklı yönlerde de maksimum ışımalar meydana gelebilir.

Doğrusal dizi antenin maksimum ışımının dizilim eksenini boyunca olması istenirse uygulanacak faz farkları (Ordinary End-Fire Dizileri),

Maksimum ışım $\theta=0'$ da,

$$\Psi = kd \cos \theta + \beta_{\theta=0} = kd + \beta = 0 \Rightarrow \beta = -kd \quad (3.10)$$

olarak elde edilir.

Maksimum ışımada $\theta=180^\circ$ da ise,

$$\Psi = kd \cos \theta + \beta_{\theta=180} = -kd + \beta = 0 \Rightarrow \beta = kd \quad (3.11)$$

bulunur.

Antenin maksimum ışımalarının dizilim eksenini boyunca olması istenirse, dizi elemanları arasındaki mesafe $\lambda/2$ 'den küçük olmalıdır. Dizi elemanları arasındaki mesafe $\lambda/2$ olursa eksen boyunca ışımada $\theta=0^\circ$ ve $\theta=180^\circ$ 'de meydana gelir. Dizi elemanları arası mesafenin λ 'nın katlarında olması durumunda ise $\theta=0^\circ$, $\theta=180^\circ$ ve de $\theta=90^\circ$ maksimum ışımada meydana gelir.

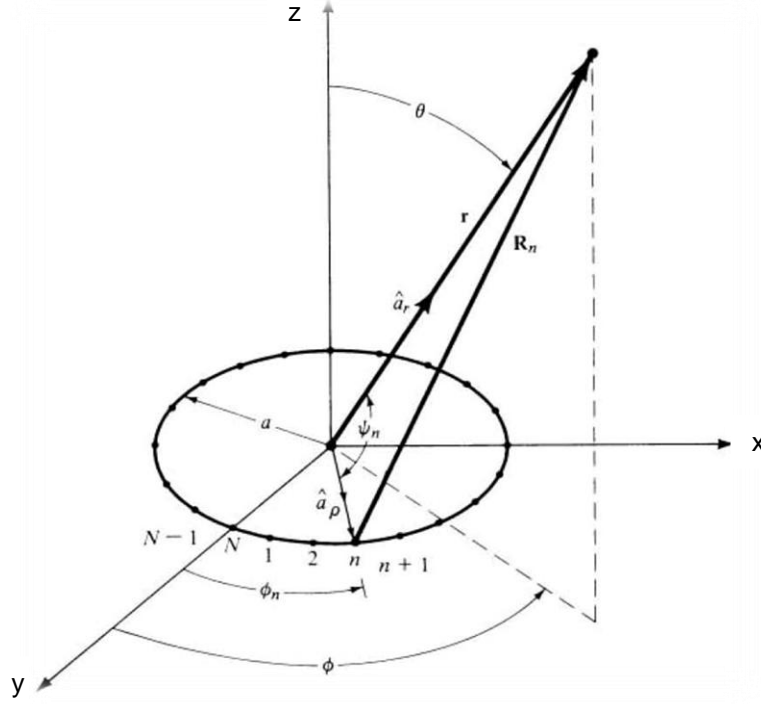
Doğrusal dizi antenin maksimum ışımalarının herhangi bir açıda (θ_0) olması istenirse uygulanacak faz farkları (Scanning Diziler) ,

$$\Psi = kd \cos \theta + \beta_{\theta=\theta_0} = -kdcos\theta_0 + \beta = 0 \Rightarrow \beta = - kdcos\theta_0 \quad (3.12)$$

olarak elde edilir.

B. Düzgün Dairesel Dizi Antenler

Dairesel diziler, anten elemanlarının bir çember etrafına yerleştirildiği; radar, sonar ve yön bulma sistemlerde sıklıkla kullanılan yapılardır. Sayısal sinyal işleme donanımlarının yaygınlaşmasına paralel olarak, yarıçapı 360 derece huzme tarama kabiliyeti bu dizi yapısının haberleşme sistemlerinde kullanımı da yaygınlaşmaktadır.



Şekil 3.4: N Elemanlı Dairesel Dizi

N tane yönbağımsız elemanı x-y düzlemi üzerinde eşit uzaklıklarla yarıçapı a olan çember etrafında yerleştirdiğimizde meydana gelen elektrik alan,

$$E_n(r, \theta, \phi) = \sum_{n=1}^N a_n \frac{e^{-jkR_n}}{R_n} \quad (3.13)$$

R_n : n'inci elemanla gözlem noktası arasında ki uzaklık

$a_n = n'$ inci elamanın faz ve genlik değeri

olarak verilir.

Genel olarak; $R_n = (r^2 + a^2 - 2arcos\psi)^{1/2}$ olarak ifade edilir.

$r \gg a$ olarak kabul edilirse,

$$R_n = r - a \cos\psi_n = r - a(\hat{a}_\rho \cdot \hat{a}_r) = r - a \sin\theta \cos(\phi - \phi_n) \text{ olur.}$$

$R_n \cong r$ ise normalize elektrik alanı,

$$E_n(r, \theta, \phi) = \frac{e^{-jkr}}{r} \sum_{n=1}^N a_n e^{jka \sin \theta \cos(\phi - \phi_n)} \quad (3.14)$$

$\phi_n = 2\pi \left(\frac{n}{N}\right) = n'$ inci elemanın x – y düzlemindeki açısal konumu ile ifade edilir.

n' inci elemanın genlik ve faz değeri denklem 3.15' de ifade edilir.

$$a_n = I e^{j\alpha_n} \quad (3.15)$$

$I_n = n'$ inci elemanın genlik değeri

$\alpha_n = n'$ nci elemanın faz değeri

Denklem 3.14 ve 3.15' da ile eş uzaklıklı N tane elemanlı dairesel dizinin elektrik alanı,

$$E_n(r, \theta, \phi) = \frac{e^{-jkr}}{r} [AF(\theta, \phi)] \quad (3.16)$$

$$AF(\theta, \phi) = \sum_{n=1}^N I_n e^{j[ka \sin \theta \cos(\phi - \phi_n) + \alpha_n]} \quad (3.17)$$

Dairesel dizinin ana huzmesi (θ_0, ϕ_0) yönünde olması isteniyorsa, n' inci elemana uygulanacak faz değeri,

$$\alpha_n = -ka \sin \theta_0 \cos(\phi_0 - \phi_n) \quad (3.18)$$

olarak bulunur.

C. Karşılıklı Bağlaşım (Mutual Coupling)

Düzgün doğrusal ve dairesel dizi anten teorisinde dizi elemanlarının birbirinden yalıtılmış halde olduğu varsayımı geçerlidir. Fakat uygulamalarda

tüm dizi elemanları birbirini etkilemektedir. Karşılıklı bağlaşım denilen bu etkileşim dizi elemanlarının tipine ve tasarım parametrelerine, dizi geometrisine, anten beslemesine ve dizinin tarama açısına bağılıdır. Karşılıklı bağlaşım dizi elemanlarının giriş empedansları, yansıma katsayıları etkilenirken, teorik olarak hesaplanandan farklı bir ışıma örüntüsü elde edilmesine sebep olur [12].

Elemanlar arası mesafe arttıkça karşılıklı bağlaşım etkisi azalır. Dizi elemanları arasındaki mesafe $\lambda/2$ 'den daha küçük değerler aldıkça karşılıklı bağlaşım etkisi giderek artar [14].

IV. BENZETİMLER

Bu bölümde, öncelikle tez çalışması kapsamında kullanılan benzetim programları hakkında bilgi verilmektedir.

Bu çalışma kapsamında, 450-1500 MHz frekans bandında yanca düzleminde 360° kaplama alanı sağlayacak dizi anten tasarım hedefi göz önünde bulundurularak ilk olarak dipol anten elemanları kullanılarak 450 MHz için dairesel dizi davranışı analiz edilmiştir. Daha sonra genişbantlı antenlerden, üçgen ve Vivaldi anten yapıları incelenerek, düzgün dairesel ve doğrusal dizilerle hedeflenen kaplama alanını elde etmek için benzetimler gerçekleştirilmiştir.

A. Benzetim Programları

SuperNec, nümerik bir elektromanyetik hesaplama programıdır. Önceleri Fortran programlama dilinde gerçekleştirilen Nec-2 'in şekil tabanlı çalışan (an object-oriented) bir modeli olarak geliştirilmiştir. Programın kütüphanesinde yer alan antenlerin ve yapıların boyutları, segment sıklığı ayarlanarak istenen tasarım gerçekleştirilebilir. Yama (patch) anten gibi mikroşerit anten uygulamaları SuperNec programında yapılamamaktadır. SuperNec programında nümerik çözüm tekniği olarak Moment yöntemini (MoM) kullanmaktadır.

Bu çalışma kapsamında üçgen anten benzetimleri ve dipol ve üçgen antenler ile oluşturulan dairesel dizi benzetimleri SuperNec kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

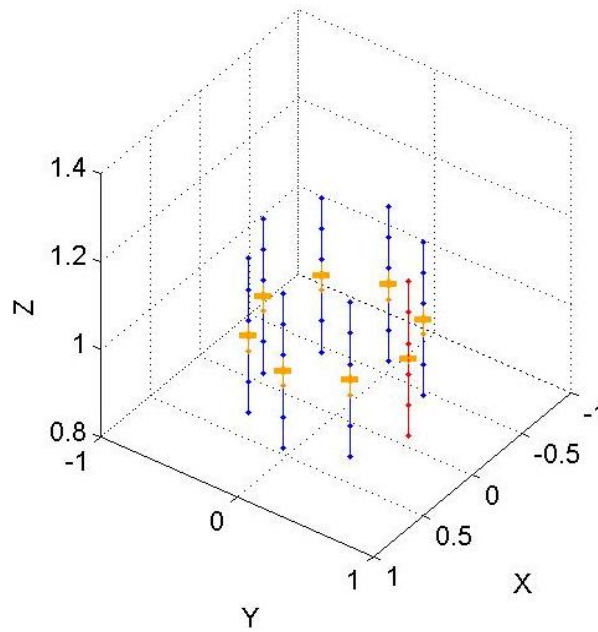
Computer Simulation Technology (CST) Microwave Studio, kullanımı kolay, geniş frekans aralığında elektromanyetik analiz ve tasarımlara olanak sağlayan benzetim programıdır. CST oluşturulacak yapıların gerçekleşmesinde büyük kolaylıklar içermesinin yanında, benzetim başlatılmadan otomatik olarak hücreleme (meshing) yapmaktadır. Transient, Frequency Domain, Integral Equation, Multilayer, Asymptotic ve Eigenmode

olmak üzere farklı çözüm teknikleri mevcuttur. Kullanılan çözüm tekniğine göre Hexahedral ve Tetrahedral hücreleme yapıları seçilebilmektedir.

Vivaldi antenlerin tasarlanması kapsamında Transient çözüm tekniği kullanılırken, dairesel ve doğrusal diziler de Frequency Domain çözüm tekniği kullanılmıştır.

B. Dipol Antenler ile Düzgün Dairesel Dizi Benzetimleri

450 MHz'te boyu $\lambda/2 = 0.35$ cm olan 8 adet dipol anten kullanılarak yarıçapları farklı dairesel diziler Şekil 4.1' de görüldüğü üzere meydan getirilmiştir.

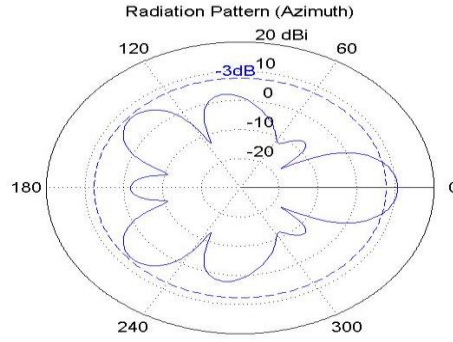


Şekil 4.1: 8 Adet Dipol Anten İle Oluşturulan Düzgün Dairesel Dizi Benzetimi

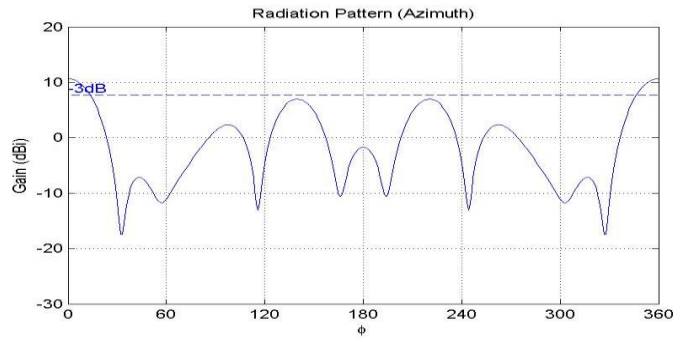
8 elemanlı dairesel dizi yarıçapları 0.53 ($Ka=5$), 0.84 ($Ka=8$) ve 1.05 ($Ka=10$) metre olacak şekilde değiştirilmiş ve dizinin ışınma örüntüsü üzerindeki değişiklikler incelenmiştir.

$Ka=5, 8$ ve 10 da $\theta=90$, $\phi=0$ ' da diziyeye ait ışınma örüntülerinin polar ve kartezyen grafikleri Şekil 4.2-4.4' de yer almaktadır. Eleman

sayısı sabit olacak şekilde dairesel dizinin yarıçapı artırıldığında yarım güç huzme genişliğinin (HPBW) azaldığı fakat yan kulakçık sayısının ve seviyesinin arttığı gözlemlenmiştir. Arka kulakçık seviyesinde ise belirgin bir değişim meydana gelmemiştir.



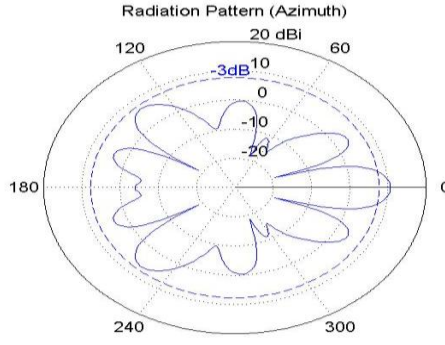
(a) Polar Gösterim



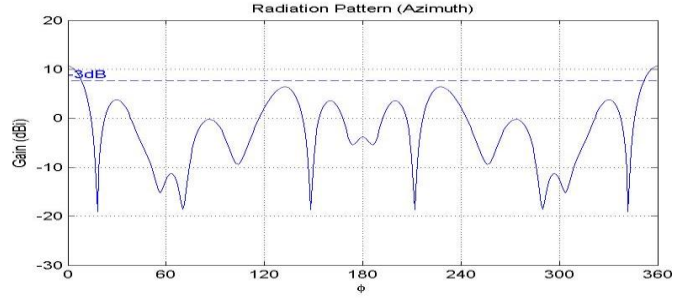
(b) Kartezyen Gösterim

Şekil 4.2: 8 Adet Dipol Anten İle Oluşturulan Düzgün Dairesel Dizinin Işıma Örüntüsü ($Ka=5$)

(a) Polar Gösterim, (b) Kartezyen Gösterim

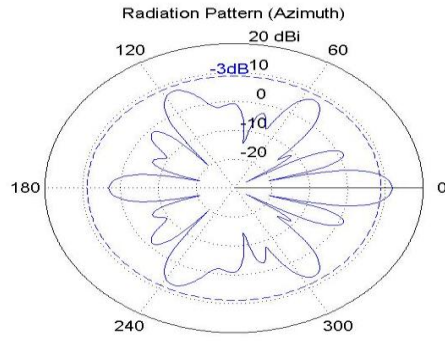


(a) Polar Gösterim

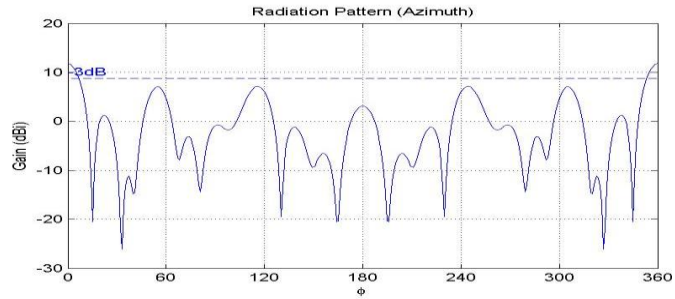


(b) Kartezyen Gösterim

Şekil 4.3: 8 Adet Dipol Anten İle Oluşturulan Düzgün Dairesel Dizinin Işıma Örüntüsü ($K_a=8$) (a) Polar Gösterim, (b) Kartezyen Gösterim



(a) Polar Gösterim



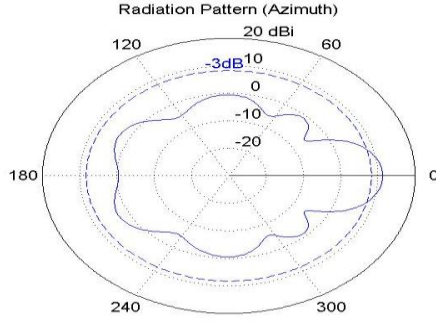
(b) Kartezyen Gösterim

Şekil 4.4: 8 Adet Dipol Anten İle Oluşturulan Düzgün Dairesel Dizinin Işıma Örüntüsü ($K_a=10$) (a) Polar Gösterim, (b) Kartezyen Gösterim

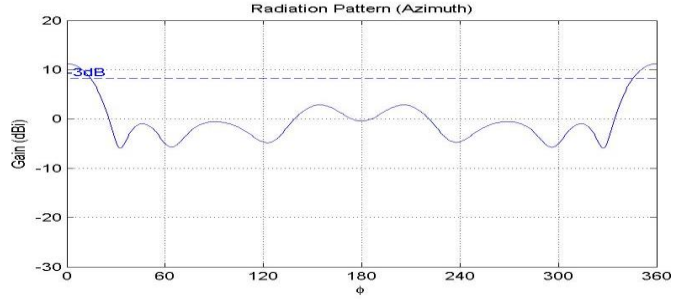
Dairesel dizinin yarıçapı sabit tutularak ($a=0.53\text{m}$ ($Ka=5$) ve $a=1.05\text{m}$ ($Ka=10$)) eleman sayısı 12 ve 16 olacak şekilde benzetimler yapılmıştır.

Yarıçap 0.53 m olacak şekilde 8, 12 ve 16 elemanlı diziler oluşturulmuş, $\theta=90$, $\phi = 0$ 'da dizilere ait ışınma örüntülerinin polar ve kartezyen grafikleri incelendiğinde (Şekil 4.6- 4.8) 12 ve 16 elemanlı dizilerin yanca düzleminde sıfır noktalarının meydana gelmediği görülmüştür. Dizi elemanlarının kendi ışınma örüntüleri ve dizi elemanları arasında yeterli mesafe olmamasından dolayı toplam ışınma örüntüsünde yanca düzleminde sıfır noktaları (null) meydana gelmemiştir.

Yarıçap 1.05 m olduğunda ise 12 ve 16 elemanlı dairesel dizilerde dizi elemanları arasındaki mesafeler artığından toplam ışınma örüntüsünde sıfır noktaları meydana gelmeye başlamıştır. 8,12 ve 16 elemanlı dairesel diziler incelendiğinde dizi yarıçapı 1.05 m olacak şekilde dizi eleman sayısı artırıldığında HPBW azaldığı, yan kulakçık seviyelerinin düştüğü ve arka kulakçık seviyelerinin yükseldiği görülmüştür. 12 elemanlı dizide $\theta=90$, $\phi = 0$ 'da HPBW en dar iken, 16 elemanlı dizide ise yan kulakçık seviyesi belirgin derecede düşüktür.

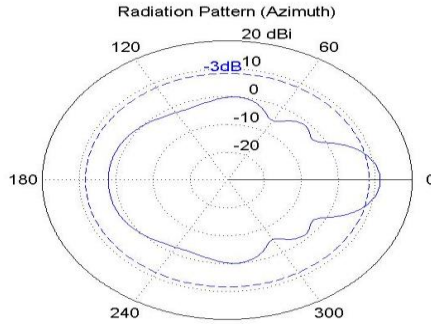


(a) Polar Gösterim

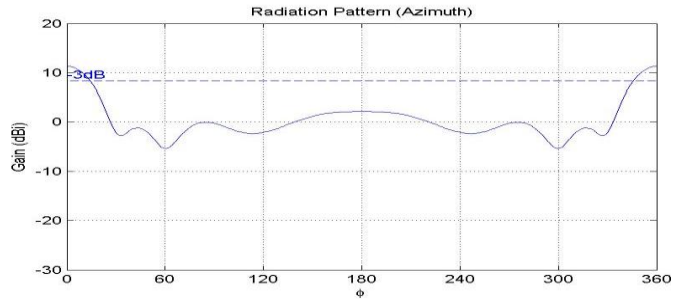


(b) Kartezyen Gösterim

Şekil 4.5: 12 Adet Dipol Anten İle Oluşturulan Düzgün Dairesel Dizinin Işıma Örüntüsü ($Ka=5$) (a) Polar Gösterim, (b) Kartezyen Gösterim

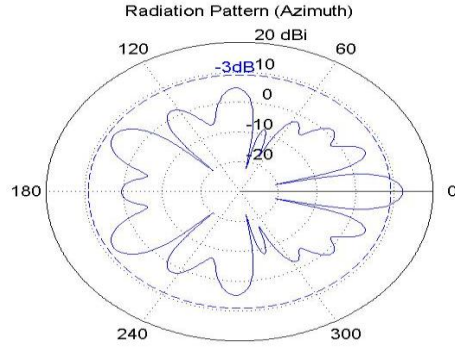


(a) Polar Gösterim

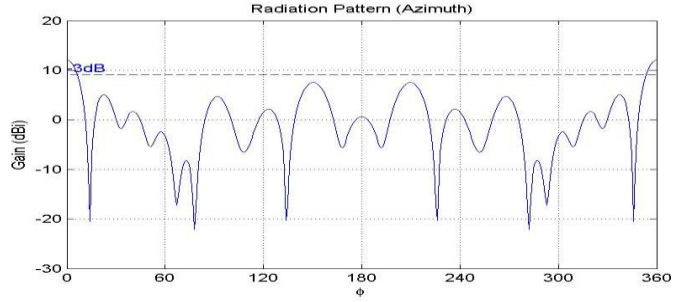


(b) Kartezyen Gösterim

Şekil 4.6: 16 Adet Dipol Anten İle Oluşturulan Düzgün Dairesel Dizinin Işıma Örüntüsü ($Ka=5$) (a) Polar Gösterim, (b) Kartezyen Gösterim

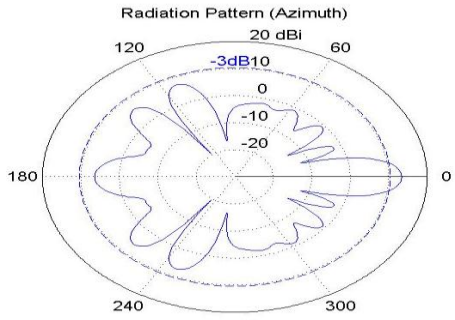


(a) Polar Gösterim

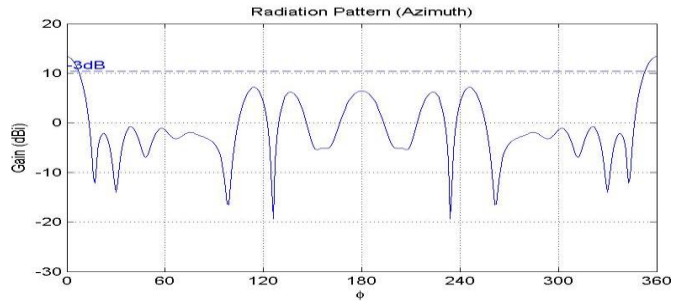


(b) Kartezyen Gösterim

Şekil 4.7: 12 Adet Dipol Anten İle Oluşturulan Düzgün Dairesel Dizinin Işıma Örüntüsü ($Ka=10$) (a) Polar Gösterim, (b) Kartezyen Gösterim



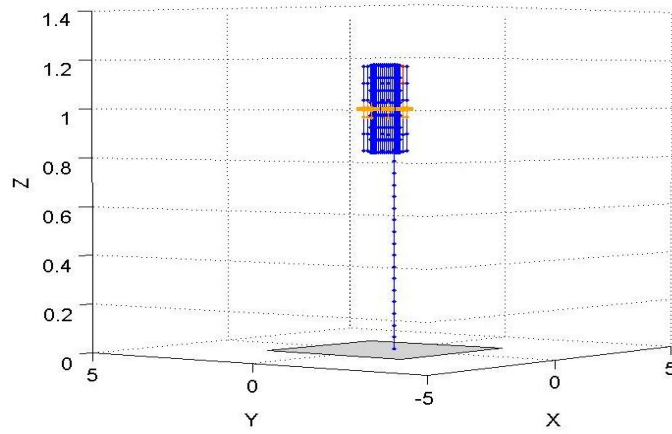
(a) Polar Gösterim



(b) Kartezyen Gösterim

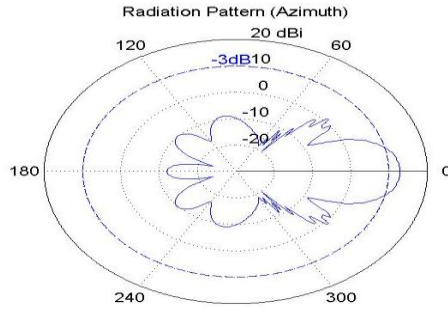
Şekil 4.8: 16 Adet Dipol Anten İle Oluşturulan Düzgün Dairesel Dizinin Işıma Örüntüsü ($Ka=10$) (a) Polar Gösterim, (b) Kartezyen Gösterim

Düzgün dairesel dizilerde farklı yarıçap ve farklı eleman sayıları ile oluşturulan ışınma örüntüleri incelendiğinde arka kulakçık seviyelerinin ana huzme seviyelerine yakın olduğu görülmüştür. Arka kulakçık seviyelerini azaltmak amacıyla dairesel dizinin ortasına farklı yarıçap ve yükseklik değerlerine sahip sonsuz iletken silindirler yerleştirilmiştir (Şekil 4.9). Uygulamada anten dizisi ile yerleştirildiği platform etkileşimini modellemek için ve arka kulakçık bastırma amacıyla kullanılan iletken silindirin iletken bir tel ile toprağa bağlantısı modellenmiştir.

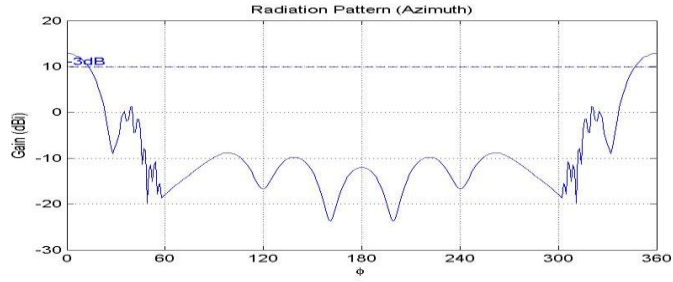


Şekil 4.9: Ortasına Silindir Yerleştirilmiş Dairesel Dizi Benzetimi

Silindir yüksekliği (Sh) dipol boyuna ($\lambda/2 = 0.35$ m) eşit olacak şekilde farklı yarıçaplı ($Sr = 0.1, 0.35, 0.4$ m) silindirler dairesel dizinin ortasına yerleştirilmiştir. Silindir yüksekliği sabit tutularak silindir yarıçapı (Sr) artırıldığında arka kulakçık ve yan kulakçık seviyelerinde belirgin bir azalma gözlemlenmiştir. Fakat Sr belli bir genişliğin ($Sr = 0.35$) üzerine çıkartıldığında yan kulakçık seviyelerinde artış gözlemlenmiştir (Şekil 4.10- 4.12).

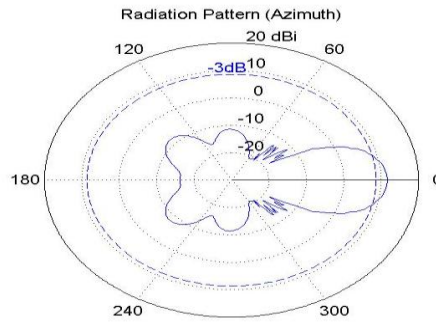


(a) Polar Gösterim

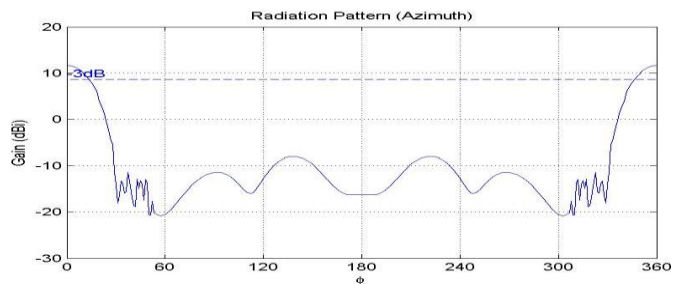


(b) Kartezyen Gösterim

Şekil 4.10: Ortasına Silindir Yerleştirilmiş 8 Adet Dipol Anten İle Oluşturulan Düzgün Dairesel Dizinin Işıma Örüntüsü ($Ka=5$ $Sh=0.35m$ $Sr= 0.1 m$ $\theta = 81$) (a) Polar Gösterim,(b) Kartezyen Gösterim

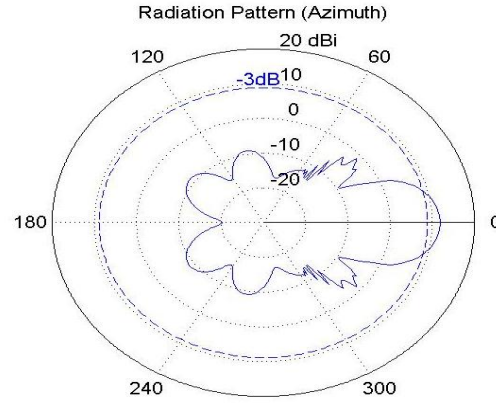


(a) Polar Gösterim

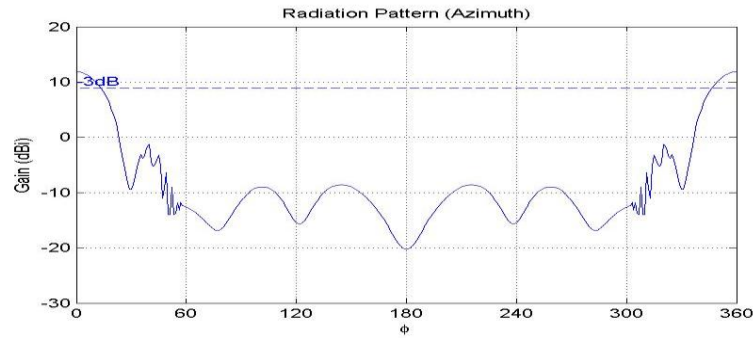


(b) Kartezyen Gösterim

Şekil 4.11: Ortasına Silindir Yerleştirilmiş 8 Adet Dipol Anten İle Oluşturulan Düzgün Dairesel Dizinin Işıma Örüntüsü ($Ka=5$ $Sh=0.35m$ $Sr= 0.35m$ $\theta = 80$) (a) Polar Gösterim,(b) Kartezyen Gösterim



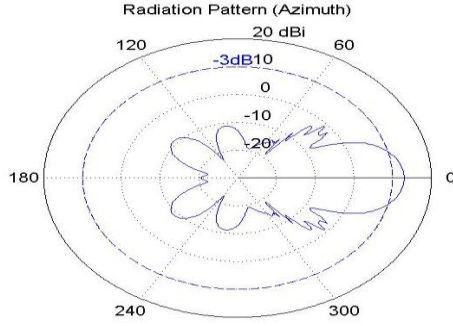
(a) Polar Gösterim



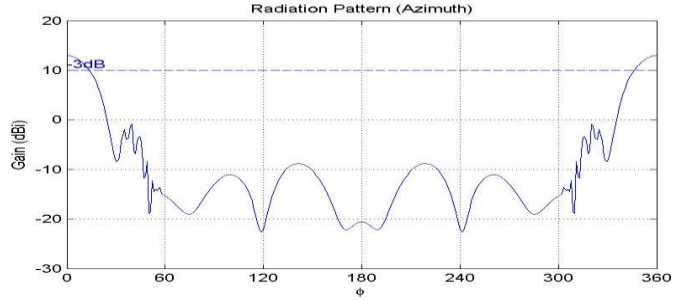
(b) Kartezyen Gösterim

Şekil 4.12: Ortasına Silindir Yerleştirilmiş 8 Adet Dipol Anten İle Oluşturulan Düzgün Dairesel Dizinin Işıma Örüntüsü ($Ka=5$ $Sh=0.35m$ $Sr=0.4$ m $\theta =81$) (a) Polar Gösterim, (b) Kartezyen Gösterim

Silindir yarıçapı(Sr) 0.35 m olacak şekilde farklı yüksekliğe sahip ($Sh= 0.16, 0.76, 1.16$ m) silindirler dairesel dizinin ortasına yerleştirilmiştir. Silindir yarıçapı sabit tutularak silindir yüksekliği (Sh) artırıldığında arka kulakçık ve yan kulakçık seviyelerinde belirgin bir azalma gözlenmiştir. Fakat Sh belli bir yüksekliğin ($Sh= 0.35$ m) üzerine çıkartıldığında arka kulakçık ve yan kulakçık seviyelerinde belirgin değişimler gözlemlenmemiştir (Şekil 4.13- 4.15).

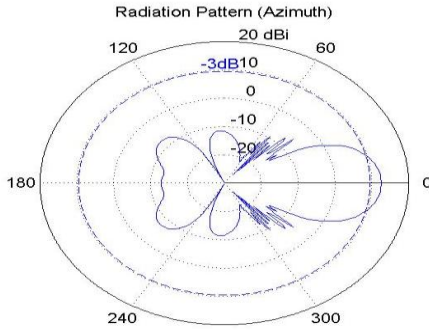


(a) Polar Gösterim

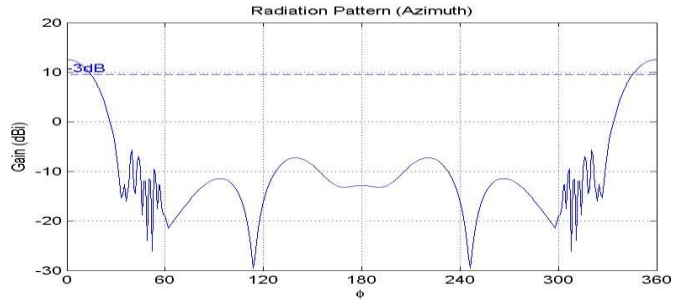


(b) Kartezyen Gösterim

Şekil 4.13: Ortasına Silindir Yerleştirilmiş 8 Adet Dipol Anten İle Oluşturulan Düzgün Dairesel Dizinin Işıma Örüntüsü ($Ka=5$ $Sr=0.35$ m $Sh=0.16$ m $\theta =81$) (a) Polar Gösterim, (b) Kartezyen Gösterim

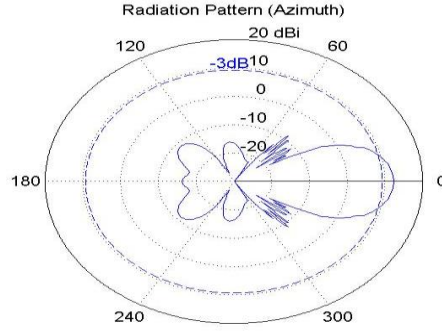


(a) Polar Gösterim

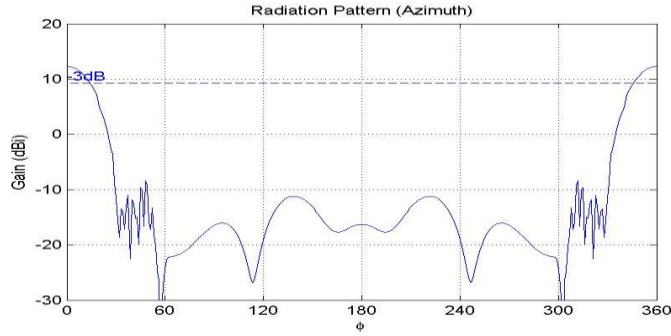


(b) Kartezyen Gösterim

Şekil 4.14: Ortasına Silindir Yerleştirilmiş 8 Adet Dipol Anten İle Oluşturulan Düzgün Dairesel Dizinin Işıma Örüntüsü ($Ka=5$ $Sr=0.35$ m $Sh=0.76$ m $\theta =81$) (a) Polar Gösterim, (b) Kartezyen Gösterim



(a) Polar Gösterim



(b) Kartezyen Gösterim

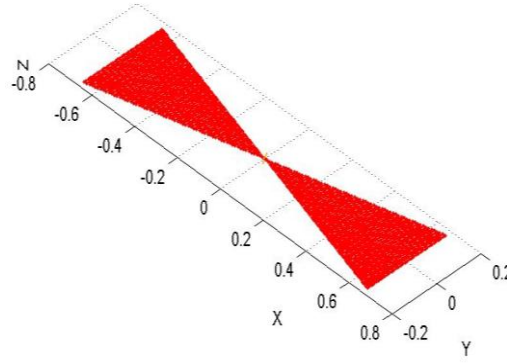
Şekil 4.15: Ortasına Silindir Yerleştirilmiş 8 Adet Dipol Anten İle Oluşturulan Düzgün Dairesel Dizinin Işıma Örüntüsü ($K_a=5$ $S_r=0.35$ m $S_h=1.16$ m $\theta=80$) (a) Polar Gösterim, (b) Kartezyen Gösterim

C. Üçgen Anten Dizi Benzetimleri

Bu bölümde SuperNec programı kullanılarak öncelikle tek bir üçgen antenin parametrelerinin değişiminin VSWR (Gerilim Duran Dalga Oranı)' ye etkisi incelenmiş daha sonrada üçgenin antenin dairesel dizi benzetimleri yapılmıştır.

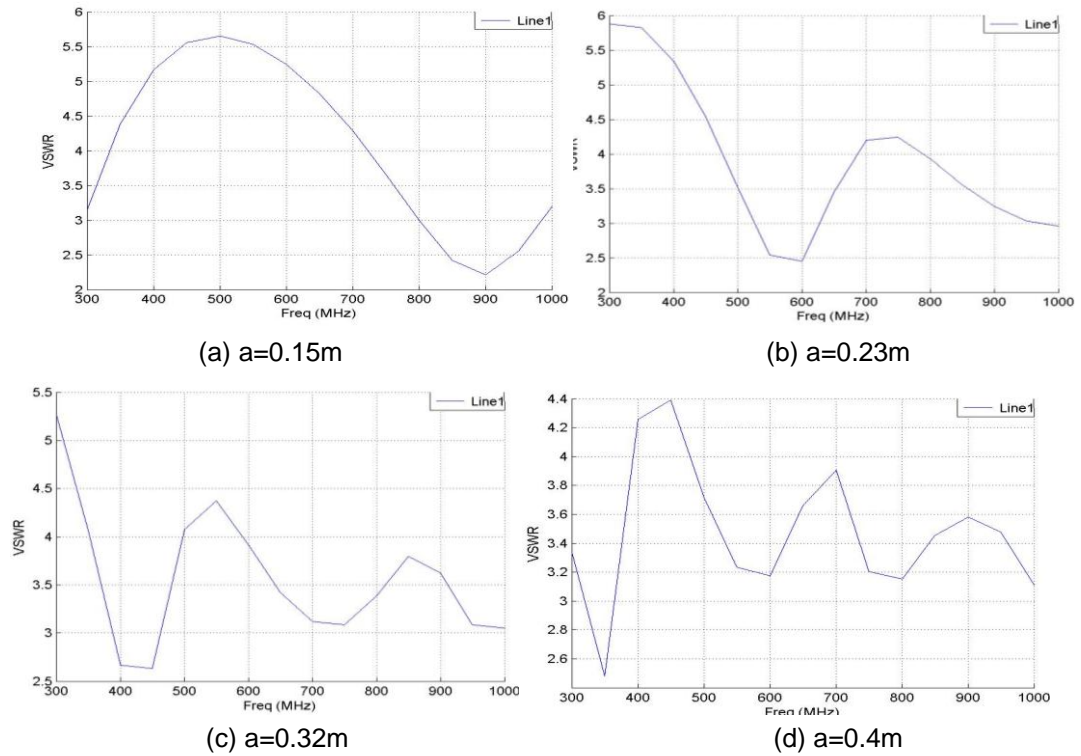
1. Üçgen Anten Benzetimleri

Şekil 4.16' da SuperNec' te benzetimi yapılmış üçgen anten görülmektedir. İlk olarak giriş empedansı 50Ω olan üçgen antenin, tepe açısı sabit tutularak ($\theta=80$), $a = 0.15, 0.23, 0.32, 0.4$ m olmak üzere kenar uzunluğu değişiminin VSWR' ye etkisi incelenmiştir.



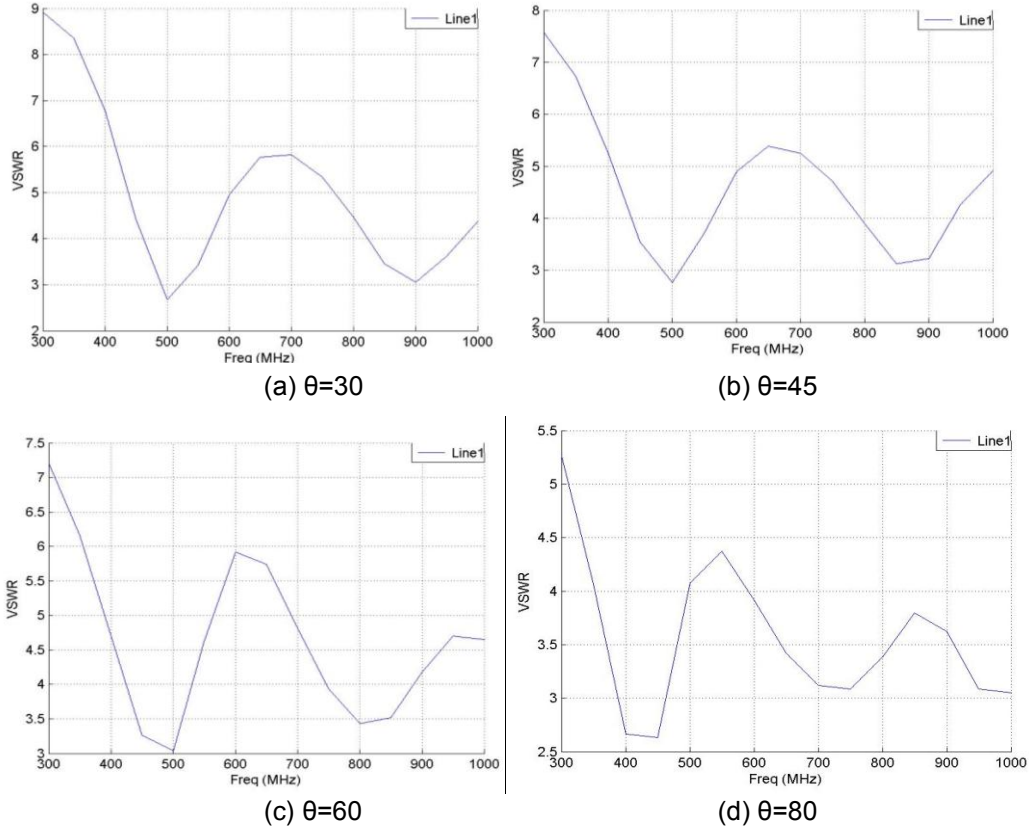
Şekil 4.16: Üçgen Anten

Şekil 4.17 'de sabit tepe açısı için dört farklı kenar uzunluğu olan üçgen antenin 300-1000 MHz arasındaki VSWR grafikleri incelendiğinde kenar uzunluğu değişiminin VSWR üzerindeki etkisi görülmektedir. Kenar uzunluğu arttıkça $VSWR \leq 3$ olduğu frekans aralığı değişmektedir. Çalışma frekansının ayarlanmasında kenar uzunluğu değeri en etkili değişkendir. Kenar uzunluğu arttıkça $VSWR \leq 3$ olduğu frekans aralığının daraldığı gözlemlenmiştir.



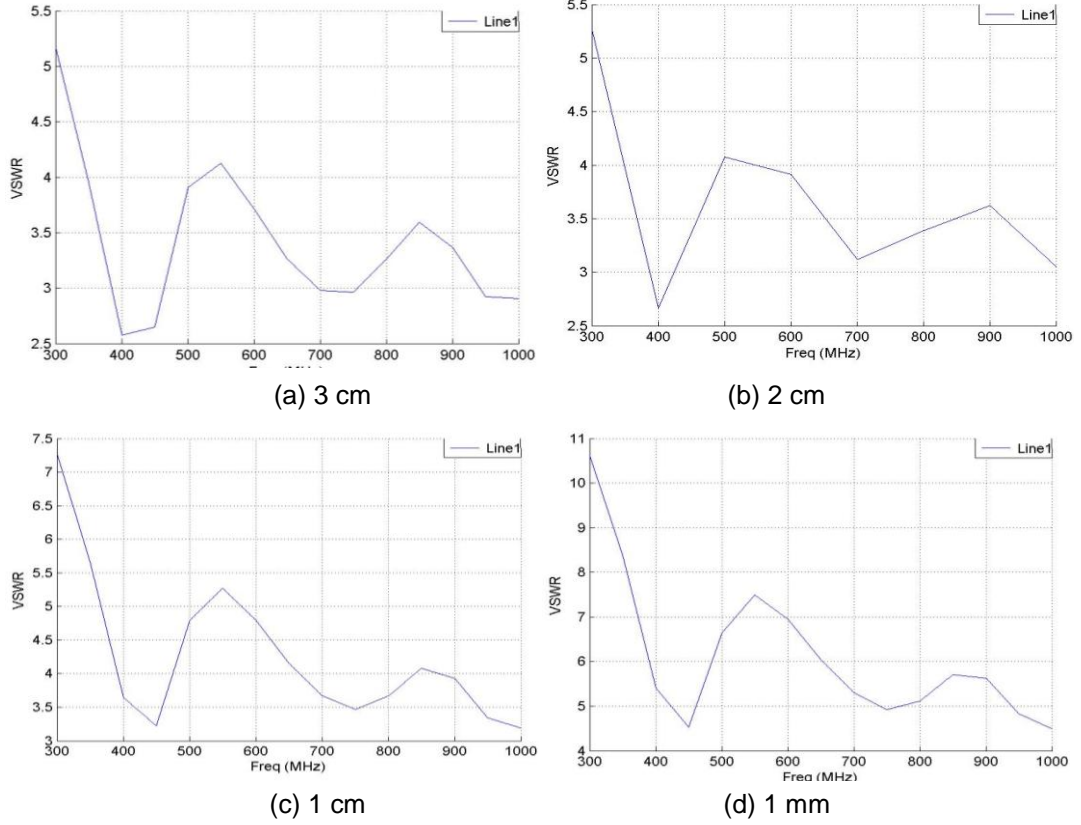
Şekil 4.17: Üçgen Antende Kenar Uzunluğu Değişiminin VSWR'ye Etkisi ($\theta=80$) (a) $a=0.15\text{ m}$, (b) $a=0.23\text{m}$, (c) $a=0.32\text{m}$, (d) $a=0.4\text{m}$

Şekil 4.18 'de sabit kenar uzunluğu için dört farklı tepe açısı değerine sahip olan üçgen antenlerin 300-1000 MHz arasındaki VSWR grafikleri görülmektedir. Yapılan benzetimlerde tepe açısının değişiminin VSWR üzerindeki çok etkili olmadığı sonucuna varılmıştır.



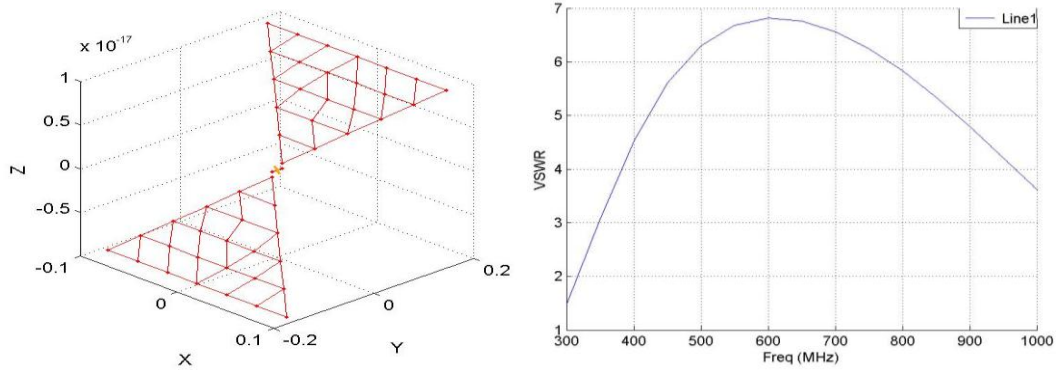
Şekil 4.18: Üçgen Antende Tepe Açısı Değişiminin VSWR 'ye Etkisi
(a=0.32 m) (a) $\theta=30$, (b) $\theta=45$, (c) $\theta=60$, (d) $\theta=80$

Şekil 4.19' da sabit kenar uzunluğu ve tepe açısı için dört farklı besleme aralığı değeri için üçgen antenlerin VSWR grafiklerindeki değişimi yer almaktadır. Yapılan benzetimlerde besleme aralığı azaldıkça VSWR' nin arttığı görülmektedir.



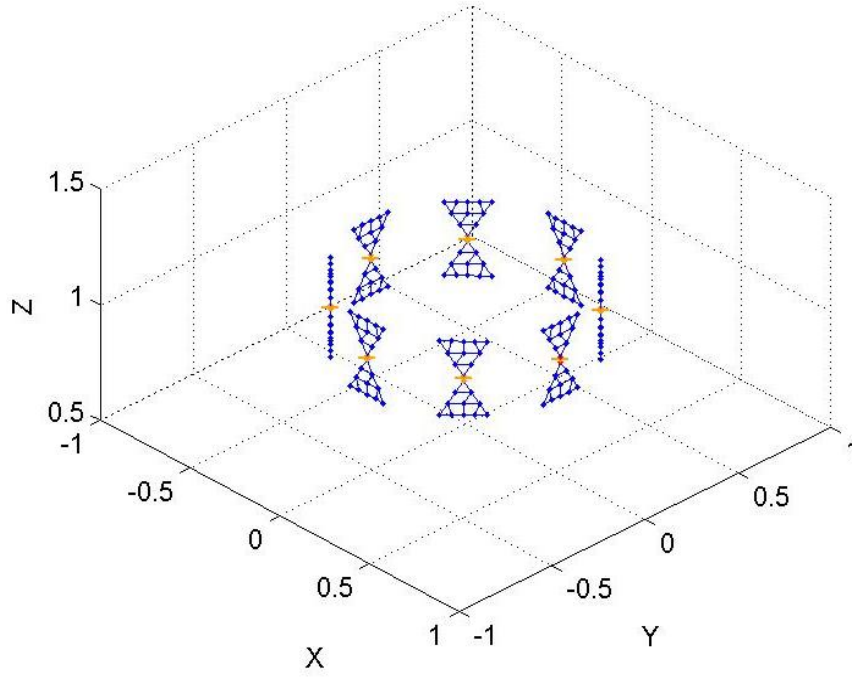
Şekil 4.19: Üçgen Antende Besleme Aralığı Değişiminin VSWR 'ye Etkisi
($a=0.32$ m, $\theta = 80$) (a) 3 cm, (b) 2 cm, (c) 1 cm, (d) 1 mm

2. Üçgen Antenler İle Düzgün Dairesel Dizi Benzetimleri



Şekil 4.20: Dizi Çalışmalarında Kullanılan Üçgen Anten Ve VSWR Grafiği
($a= 20$ cm $\theta=60$ Besleme Aralığı=0.55 cm)

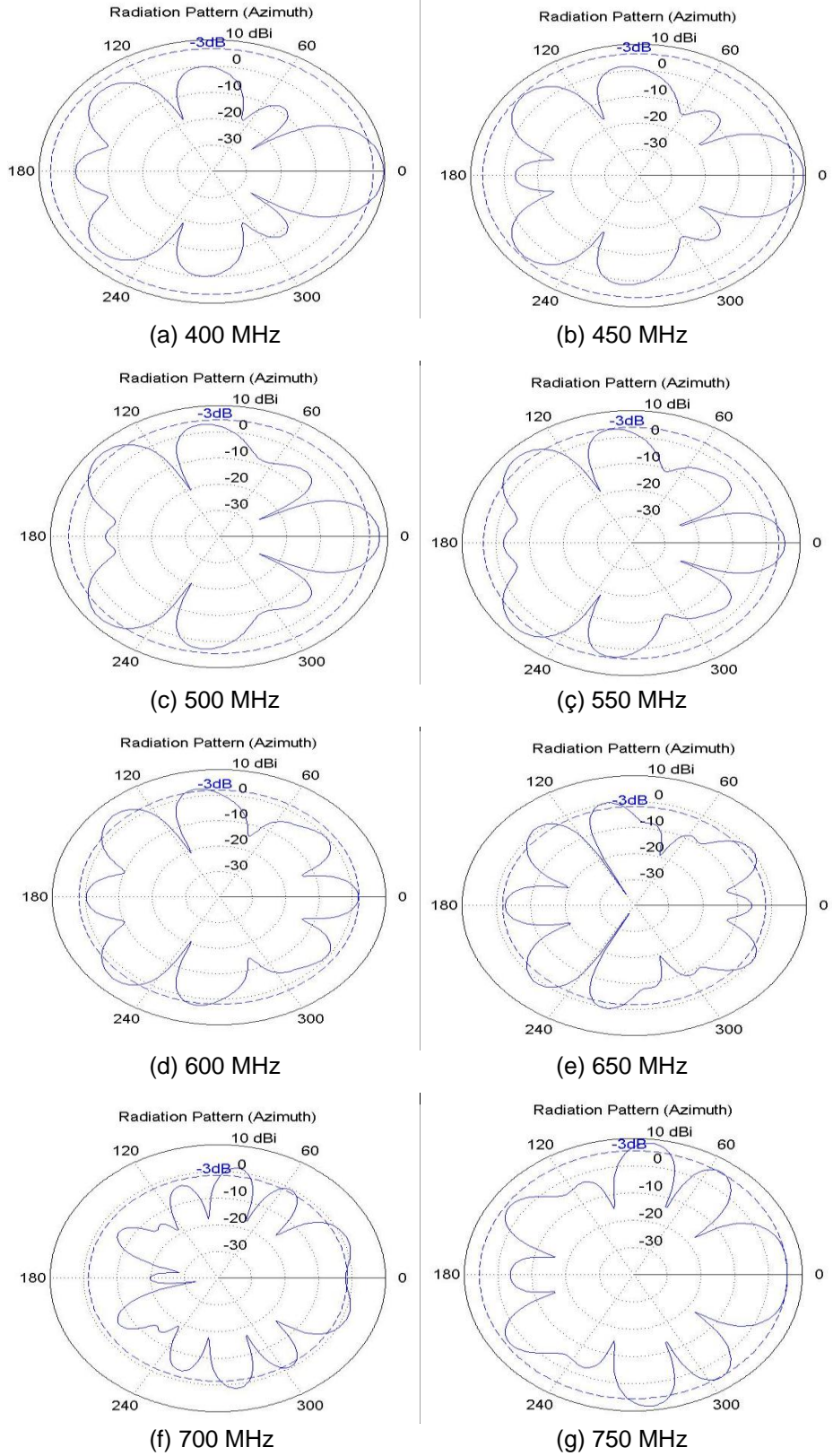
Bu bölümde öncelikle dizi çalışmalarında kullanılacak minimum çalışma frekansı 450 MHz olacak şekilde tasarlanmış üçgen anten tasarımı yapılarak VSWR analizi gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.20' de giriş empedansı 250Ω olarak tasarlanan üçgen anten ve VSWR grafiği görülmektedir.



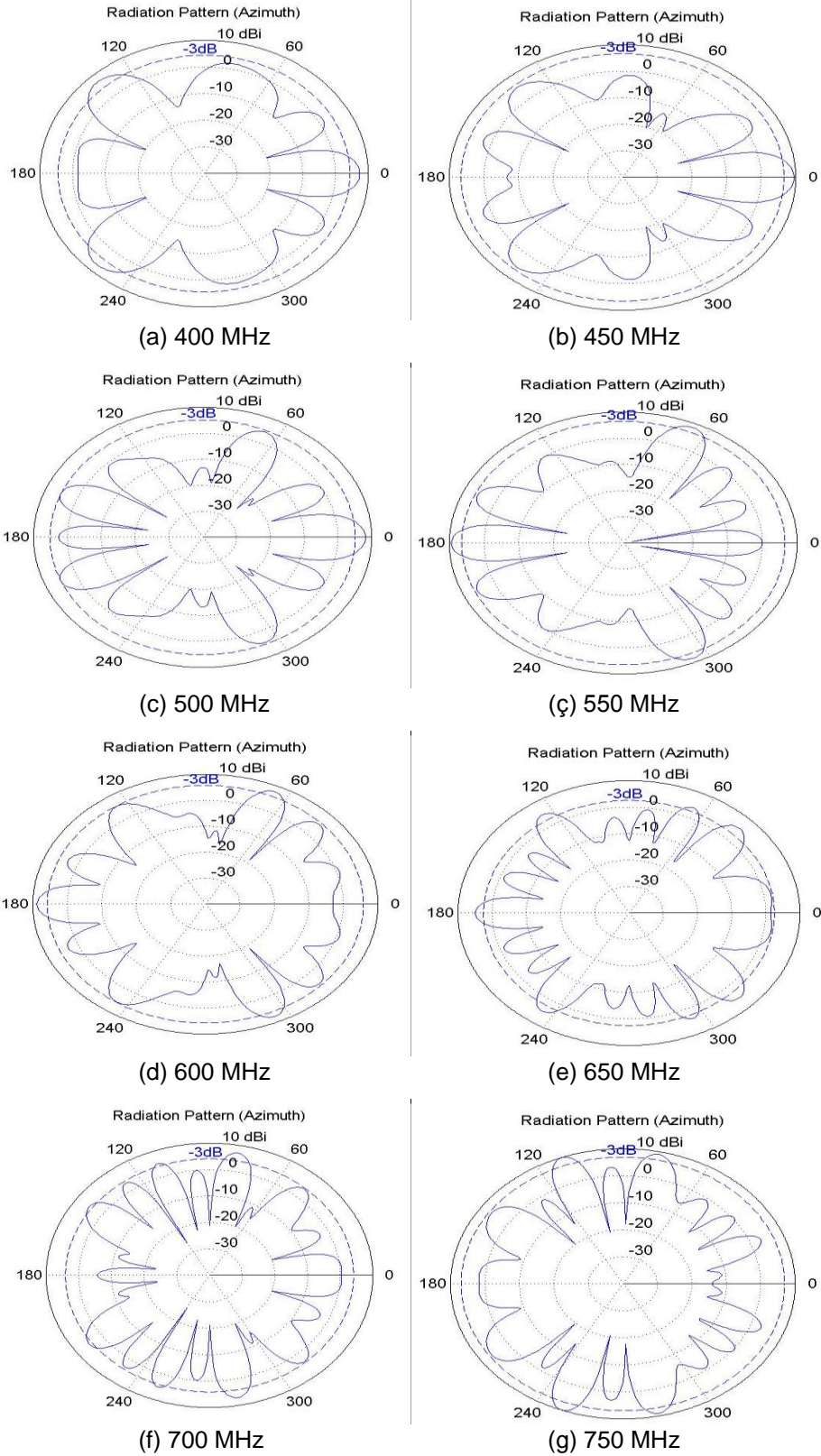
Şekil 4.21: 8 Adet Üçgen Anten İle Düzgün Dairesel Dizi Benzetimi

Şekil 4.21' de dairesel dizi benzetim şekli görülen üçgen antenlerin, yarıçap değerleri 0.53 ($Ka=5$), 0.84 ($Ka=8$) ve 1.05 ($Ka=10$) metre için $\theta=90$, $\phi=0$ 'daki 400-750 MHz aralığındaki ışımaya örüntüleri Şekil 4.22-4.24' tedir.

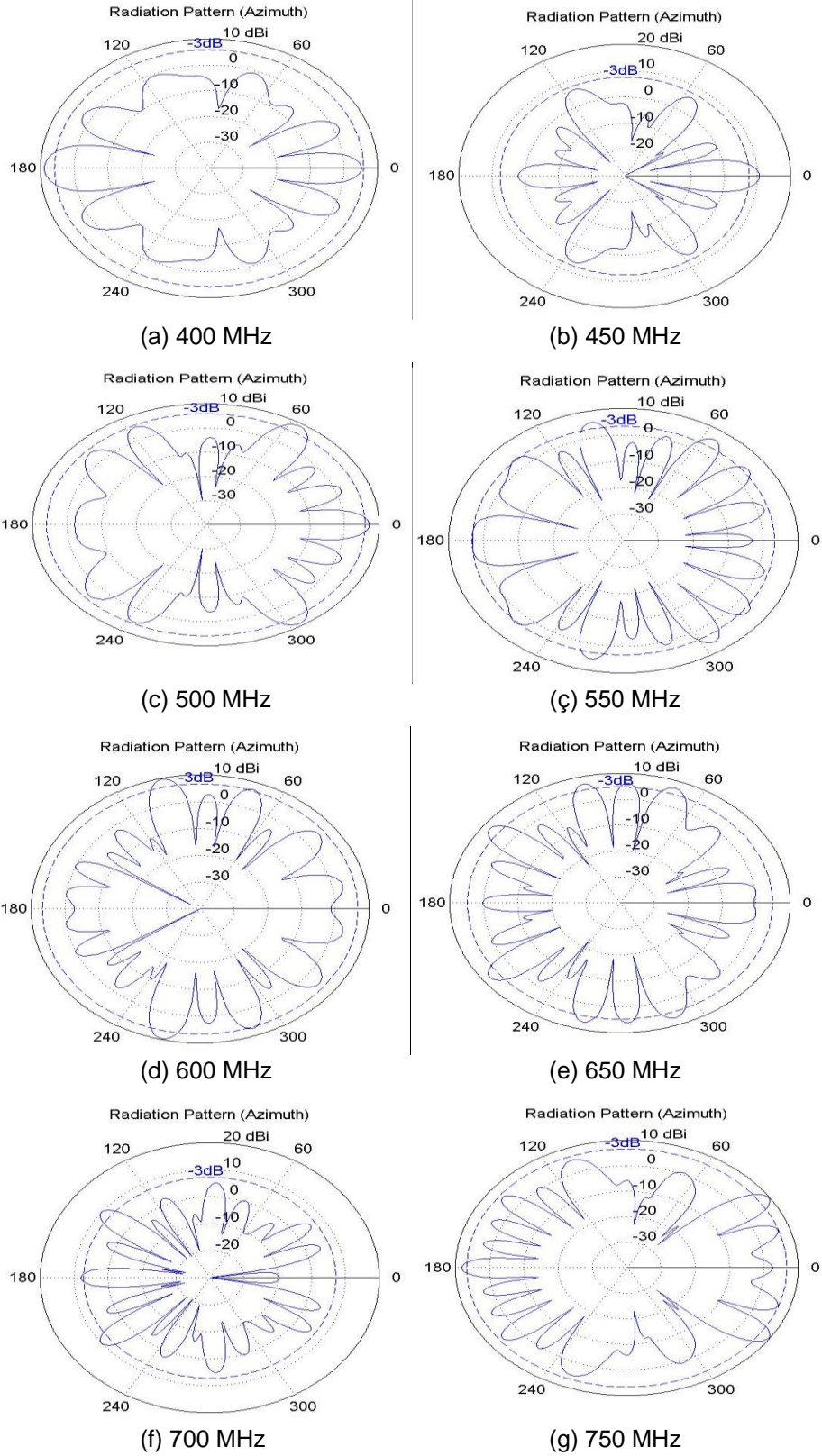
Çınlama frekansı 450 MHz olacak şekilde tasarlanan üçgen antenin 0.53 m'de 400-550 MHz arasındaki ışımaya örüntüsü ana huzmenin genişliği, arka kulakçık ve yan kulakçık seviyelerine göre 0.84 ve 1.05 m' deki ışımaya örüntülerine istinaden daha iyidir. Yarıçap ve frekans artıça 400-750 MHz arasındaki ışımaya örüntüsü bozulmaktadır. 450 MHz için tasarlanmış üçgen anten, yarıçapı 0.53 m olan dairesel dizide 400-550 MHz arasında etkin olarak kullanılabilir.



Şekil 4.22: 8 Adet Üçgen Anten İle Oluşturulan Düzgün Dairesel Dizinin Işıma Örüntüsü ($Ka=5$) (a) 400 MHz , (b) 450 MHz, (c) 500 MHz, (ç) 550 MHz, (d) 600 MHz, (e) 650 MHz, (f) 700 MHz, (g) 750 MHz



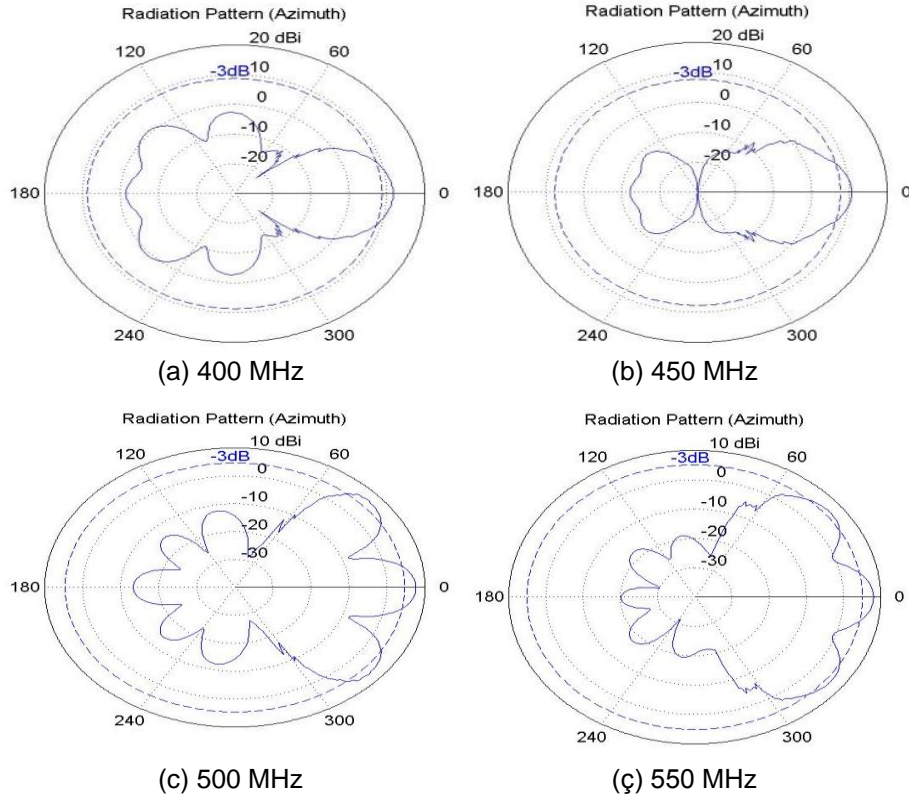
Şekil 4.23: 8 Adet Üçgen Anten İle Oluşturulan Düzgün Dairesel Dizinin Işıma Örüntüsü ($K_a=8$) (a) 400 MHz, (b) 450 MHz, (c) 500 MHz, (ç) 550 MHz, (d) 600 MHz, (e) 650 MHz, (f) 700 MHz, (g) 750 MHz



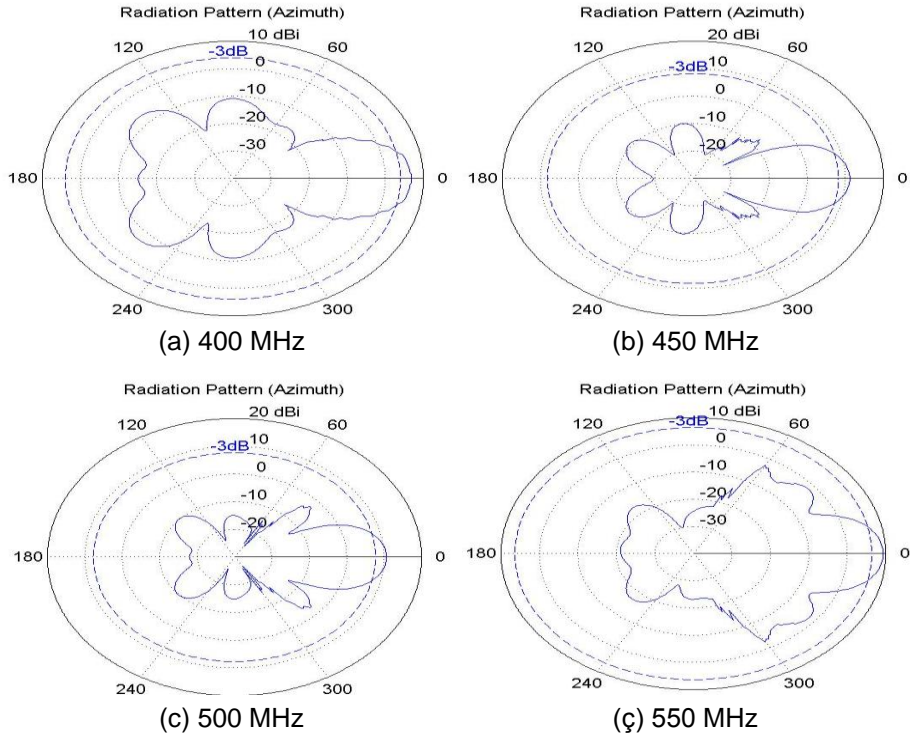
Şekil 4.24: 8 Adet Üçgen Anten İle Oluşturulan Düzgün Dairesel Dizinin Işıma Örüntüsü ($K_a=10$) (a) 400 MHz, (b) 450 MHz, (c) 500 MHz, (ç) 550 MHz, (d) 600 MHz, (e) 650 MHz, (f) 700 MHz, (g) 750 MHz

Dipol antenler ile oluşturulan düzgün dairesel dizilerde arka kulakçık seviyelerini azaltmak amacıyla dairesel dizinin ortasına farklı yarıçap ve yükseklik değerlerine sahip iletken silindirler yerleştirilmiş ve arka kulakçık ve yan kulakçık seviyelerinde belirgin azalmalar gözlenmiştir. Üçgen antenler içinde 0.53 m yarıçaplı dairesel dizinin ortasına iletken silindir yerleştirilmiştir.

Silindir yüksekliği (Sh) 0.34 m olacak şekilde farklı yarıçaplı ($Sr= 0.2, 0.35, 0.4$ m) silindirler dairesel dizinin ortasına yerleştirilmiştir (Şekil 4.25-4.27). Sabit silindir yüksekliği ve silindir yarıçapında (Sr) frekans arttıkça arka kulakçık seviyelerinde belirgin bir azalma gözlenirken, yan kulakçık seviyelerinde ise belirgin bir artış gözlenmiştir. Dipol antenlerle yapılan benzetimlerde elde edilen sonuçlar ile karşılaştırıldığında dizi ortasına yerleştirilen iletken silindirler ile yan kulakçık seviyelerinin bastırılmasında belirgin bir fayda sağlanamamıştır.

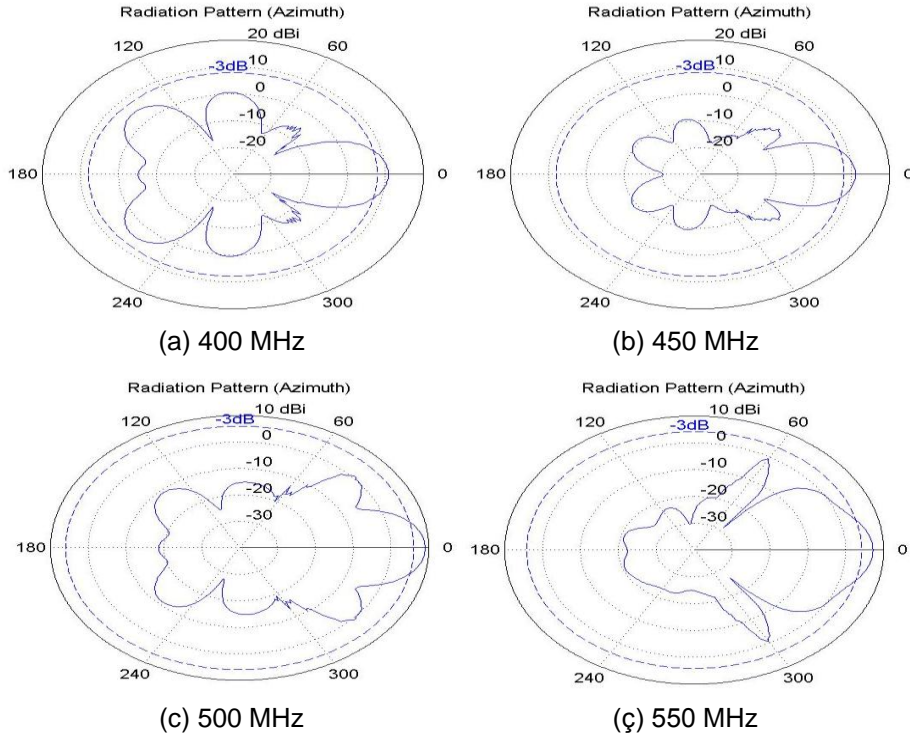


Şekil 4.25: Ortasına Silindir Yerleştirilmiş 8 Adet Üçgen Anten İle Oluşturulan Düzgün Dairesel Dizinin Işıma Örüntüsü ($Ka=5$ $Sh= 0.34$ cm $Sr= 0.2$ cm)
(a) 400 MHz , (b)450 MHz, (c) 500 MHz, (ç)550



Şekil 4.26: Ortasına Silindir Yerleştirilmiş 8 Adet Üçgen Anten İle Oluşturulan Düzgün Dairesel Dizinin Işıma Örüntüsü ($K_a=5$ Sh 0.34 cm Sr 0.35 cm)

(a) 400 MHz , (b) 450 MHz, (c) 500 MHz, (ç) 550



Şekil 4.27: Ortasına Silindir Yerleştirilmiş 8 Adet Üçgen Anten İle Oluşturulan Düzgün Dairesel Dizinin Işıma Örüntüsü ($K_a=5$ Sh 0.34 cm Sr 0.4 cm)

(a) 400 MHz , (b) 450 MHz, (c) 500 MHz, (ç) 550 MHz

D. Vivaldi Anten Dizi Benzetimleri

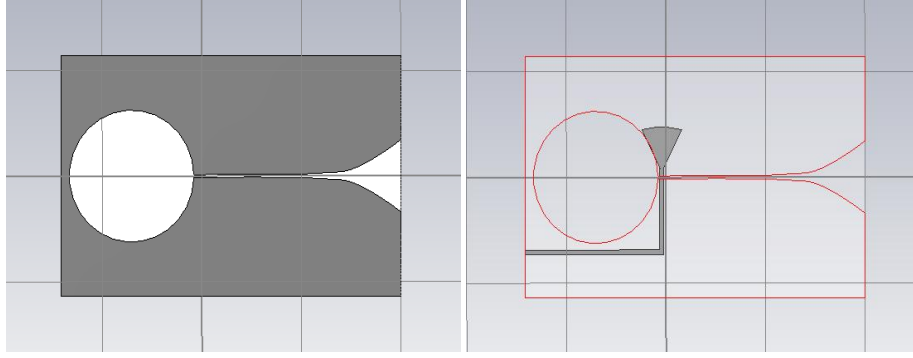
Üçgen antenlerle yapılan dairesel dizi benzetimleri sonucunda 400-550 MHz frekans bandında elde edilen ışınma örüntü sonuçlarının hedeflenen frekans aralığını sağlamadığı görülmüştür. Bu nedenle Bölüm 2’ de teorik olarak verilen bahsedilen Vivaldi anten 450MHz- 1500MHz frekans bandı için tasarlanarak, dizi benzetimleri gerçekleştirilmiştir.

1. Vivaldi Anten Benzetimleri

450-1500 MHz’te tasarlanan Vivaldi anten CST benzetim programı kullanılarak analiz edilmiştir. Tablo 4.1 ‘de yer alan parametreler yapılan literatür çalışması ve optimizasyonlar sonucunda sabit kabul edilip genişleyen hat uzunluğu (L) ve açıklık oranı (R) değişimine bu çalışmada yer verilmiştir.

Tablo 4.1 Sabit Kabul Edilen Vivaldi Anten Değerleri

Örtüşme Noktasından Yarık Hat Stabına Mesafe	L_{TC}	0.4 cm
Örtüşme Noktasından Genişleyen Yarık Hattına Mesafe	L_{TA}	0.4 cm
Yarık Hat Stabının Çapı	D_{SL}	12.5 cm
Mikroşerit Hat Stubunun Yarıçapı	A_R	4.7 cm
Yarık Hattın Genişliği	W_{SL}	0.252 cm
Mikroşerit Hattın Genişliği	W_{ST}	0.44 cm
Ağız Açıklığı	H	6.8 cm
Arka Duvar Uzaklığı	L_G	0.5 cm

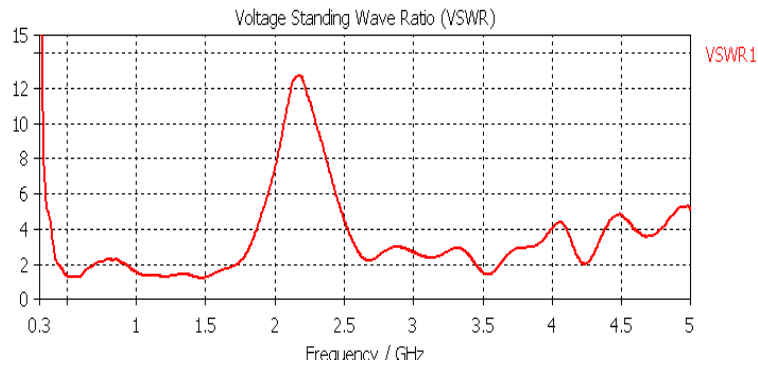


Şekil 4.28: Vivaldi Anten Geometrisi.

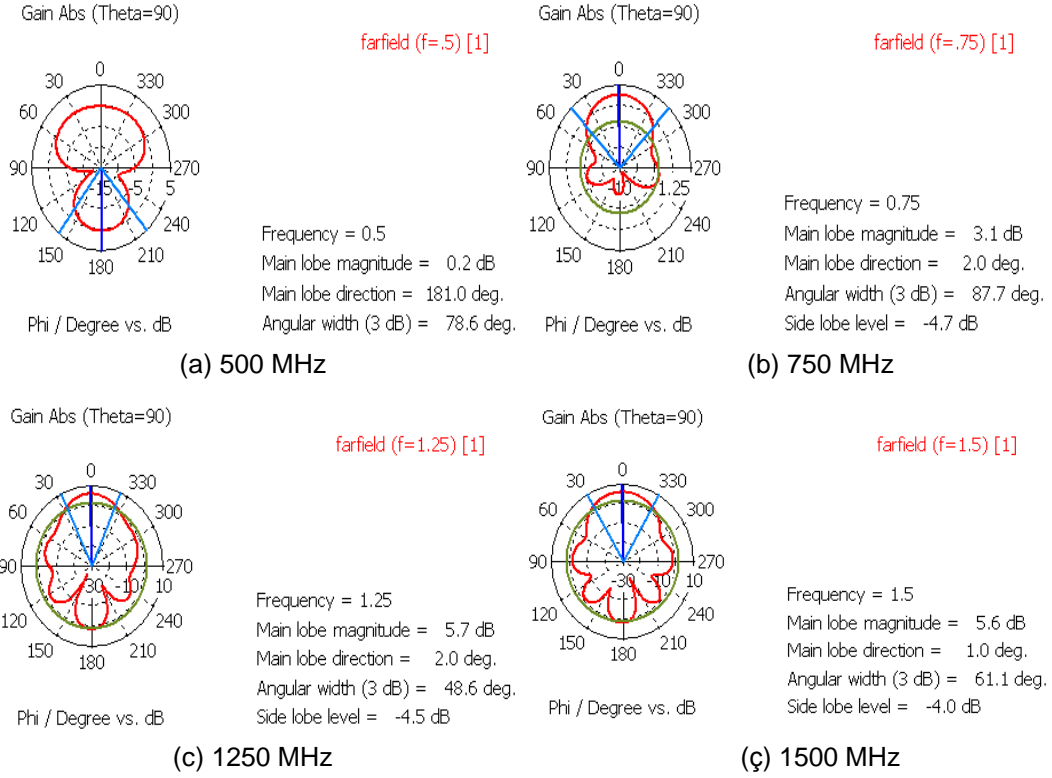
Şekil 4.28'de CST programında tasarlanmış Vivaldi anten görülmektedir. Şekil 4.29-4.34' de $R=0$ ' da farklı L ' ler için ($L = 11, 20$ ve 30 cm) tasarlanmış Vivaldi antenlerin VSWR ve 500, 750, 1250 ve 1500 MHz' deki $\theta=90, \phi = 0$ 'daki ışınma örüntüleri yer almaktadır.

VSWR grafikleri incelendiğinde genişleyen hat uzunluğunun değişiminin özellikle minimum çalışma frekansı bölgesinde değişimlere sebep olduğu görülmüştür. L artıkça minimum çalışma frekansı bölgesinde ki VSWR değeri artmış fakat çalışma bant genişliği boyunca VSWR 'de önemli bir değişim gözlenmemiştir.

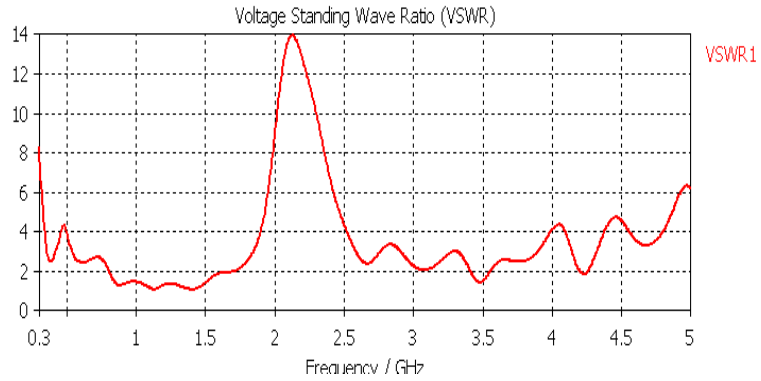
500, 750, 1250 ve 1500 MHz 'de $\theta=90, \phi = 0$ 'daki ışınma örüntüleri incelendiğinde ise L değişiminin kazanç üzerinde etkili olduğu görülmüştür. L artıkça kazancında artığı gözlemlenmiştir.



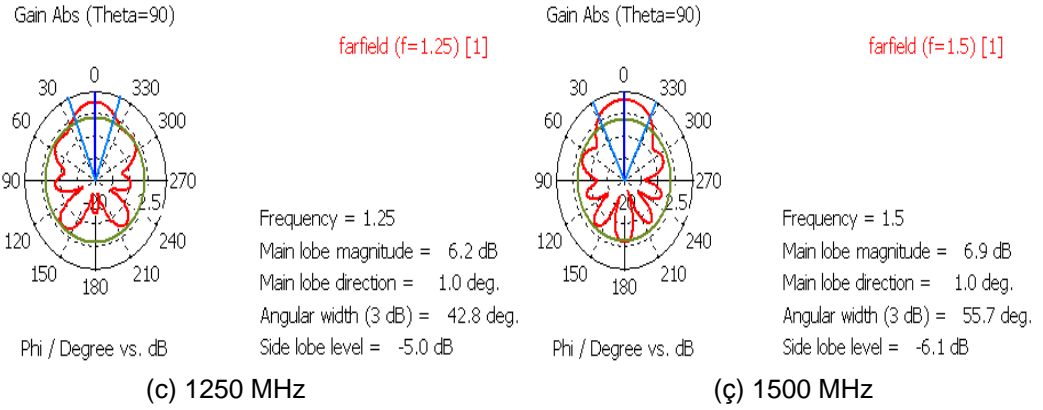
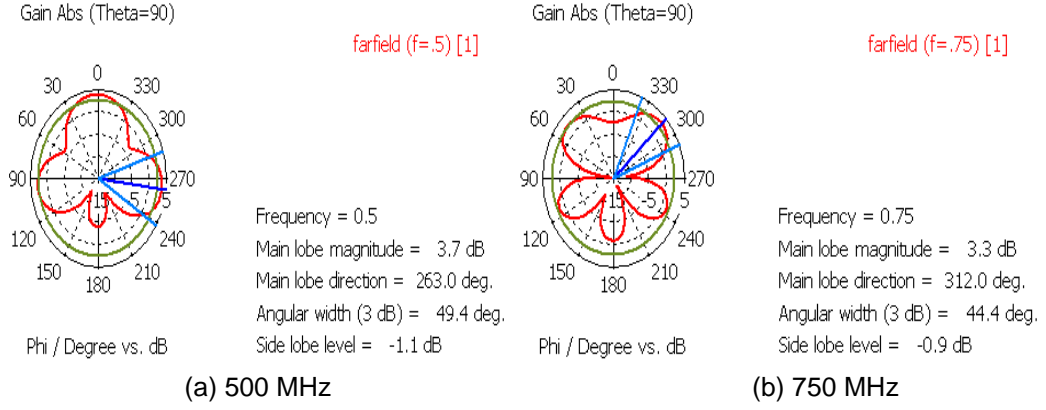
Şekil 4.29: Vivaldi Antenin VSWR Grafiği ($L= 11$ cm, $R= 0$)



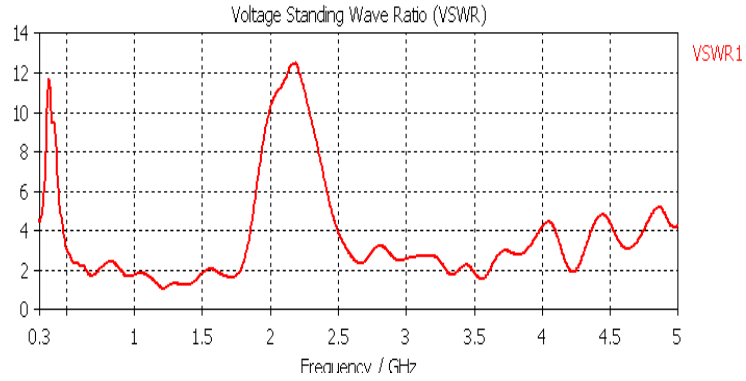
Şekil 4.30: Vivaldi Antenin ($L= 11$ cm, $R= 0$) $\theta=90$, $\phi = 0$ ' daki Işıma Örüntüleri (a) 500MHz, (b) 750MHz, (c) 1250MHz, (ç) 1500MHz



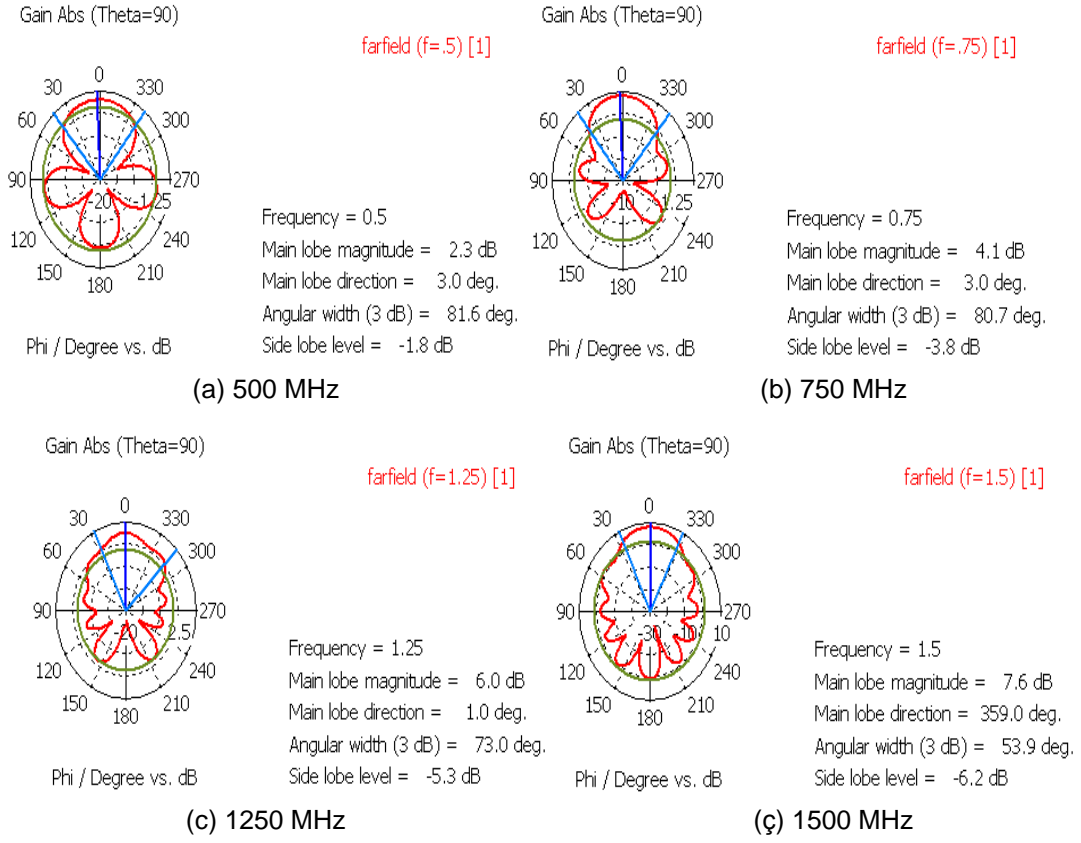
Şekil 4.31: Vivaldi Antenin VSWR Grafiği ($L= 20$ cm, $R= 0$)



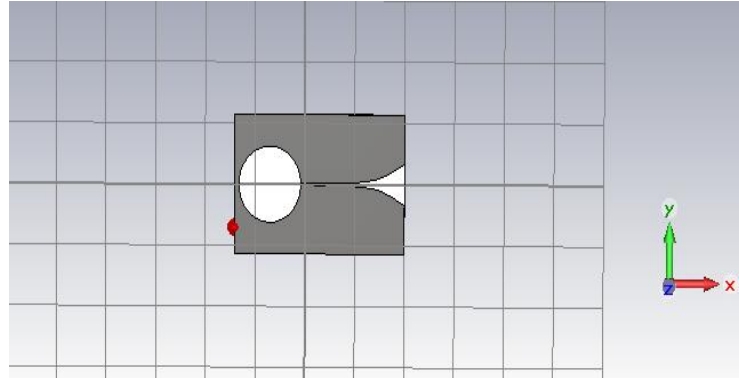
Şekil 4.32: Vivaldi Antenin ($L= 20$ cm, $R= 0$) $\theta=90$, $\phi = 0$ ' daki Işıma Örüntüleri (a) 500 MHz, (b) 750 MHz, (c) 1250 MHz, (ç) 1500 MHz



Şekil 4.33: Vivaldi Antenin VSWR Grafiği ($L= 30$ cm, $R= 0$)



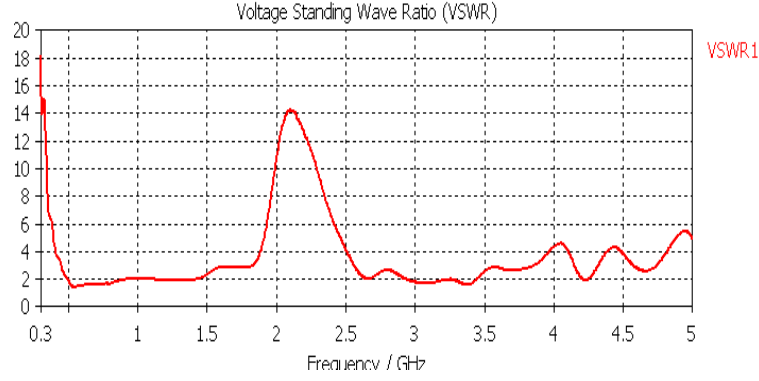
Şekil 4.34: Vivaldi Anteninin ($L= 30$ cm, $R= 0$) $\theta=90$, $\phi = 0$ ' daki Işıma Örüntüleri (a) 500MHz, (b) 750MHz, (c) 1250MHz, (ç) 1500MHz



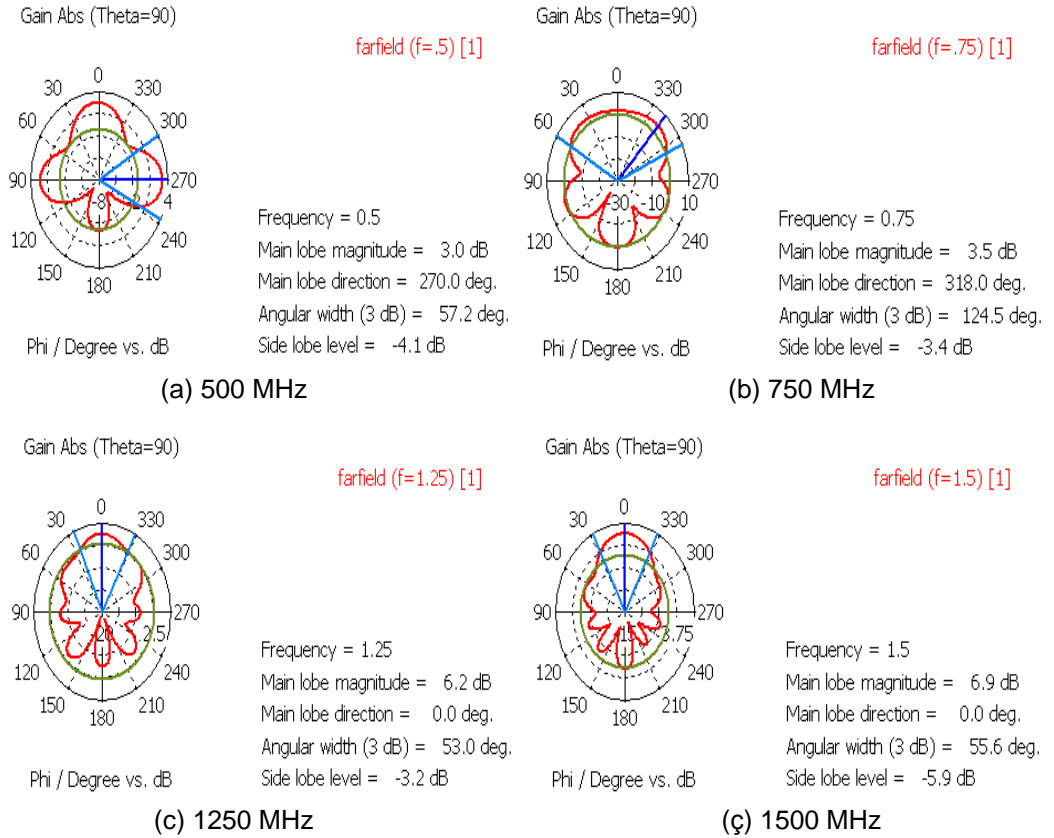
Şekil 4.35: Açıklık Oranı Sıfırdan Farklı Vivaldi Anten

Şekil 4.35' de açıklık oranı değişimi sıfırdan farklı olan Vivaldi anten görülmektedir. Şekil 4.36-4.41' da $L= 20$ cm' de farklı R ' ler için ($R = 0.3, 0.5$ ve 0.8) tasarlanmış Vivaldi antenlerin VSWR ve 500, 750, 1250 ve 1500 MHz' deki $\theta=90$, $\phi = 0$ ' daki ışımaya örüntülerine yer verilmiştir.

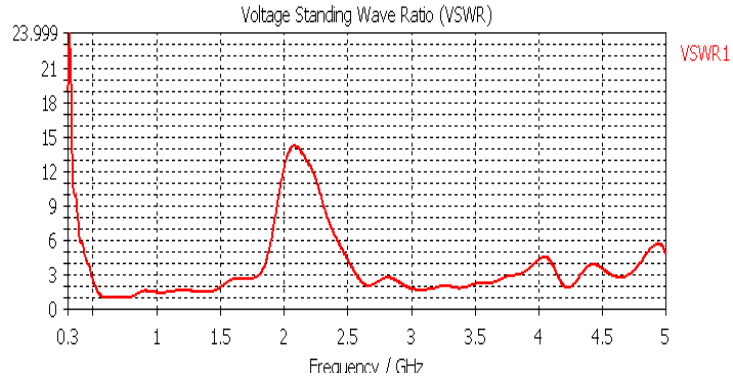
VSWR grafikleri incelendiğinde açıklık oranı artışının, minimum çalışma frekansı bölgesinde VSWR' yi artırırken, orta bantta VSWR' yi düşürdüğü gözlemlenmiştir. Işıma örüntülerinden ise R' nin değişiminin ışına örüntüsü ve kazanç üzerinde belirgin bir etkisi olmadığı görülmektedir.



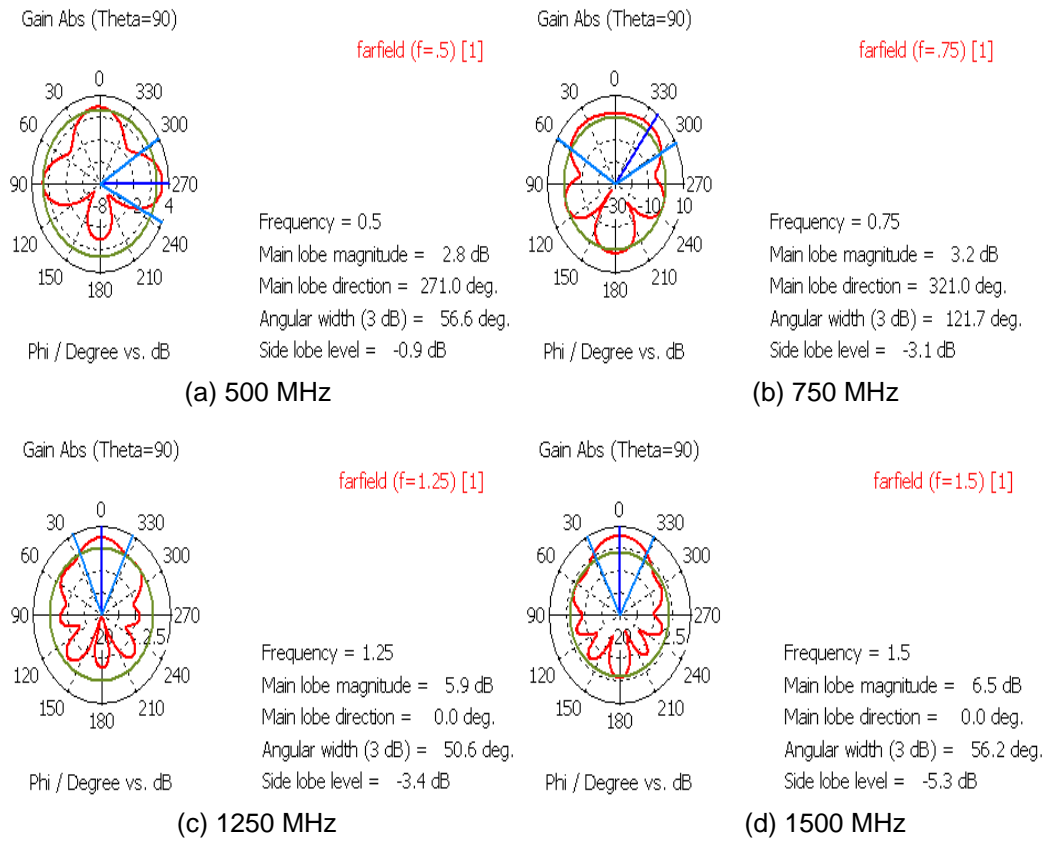
Şekil 4.36: Vivaldi Antenin VSWR Grafiği (L= 20 cm, R= 0.3)



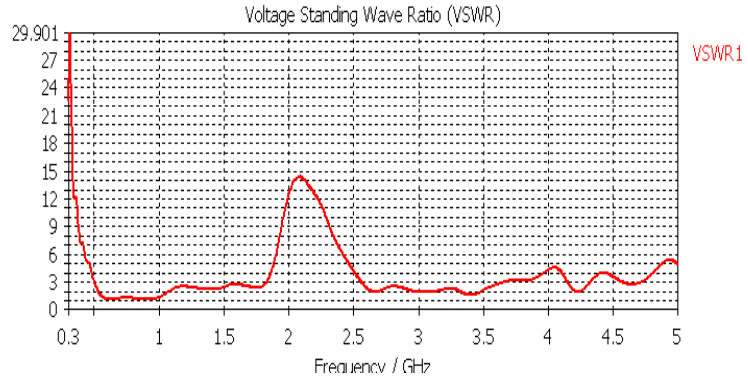
Şekil 4.37: Vivaldi Antenin (L= 20 cm, R= 0.3) $\theta=90$, $\phi = 0$ ' daki Işıma Örüntüleri (a) 500 MHz, (b) 750 MHz, (c) 1250 MHz, (ç) 1500 MHz



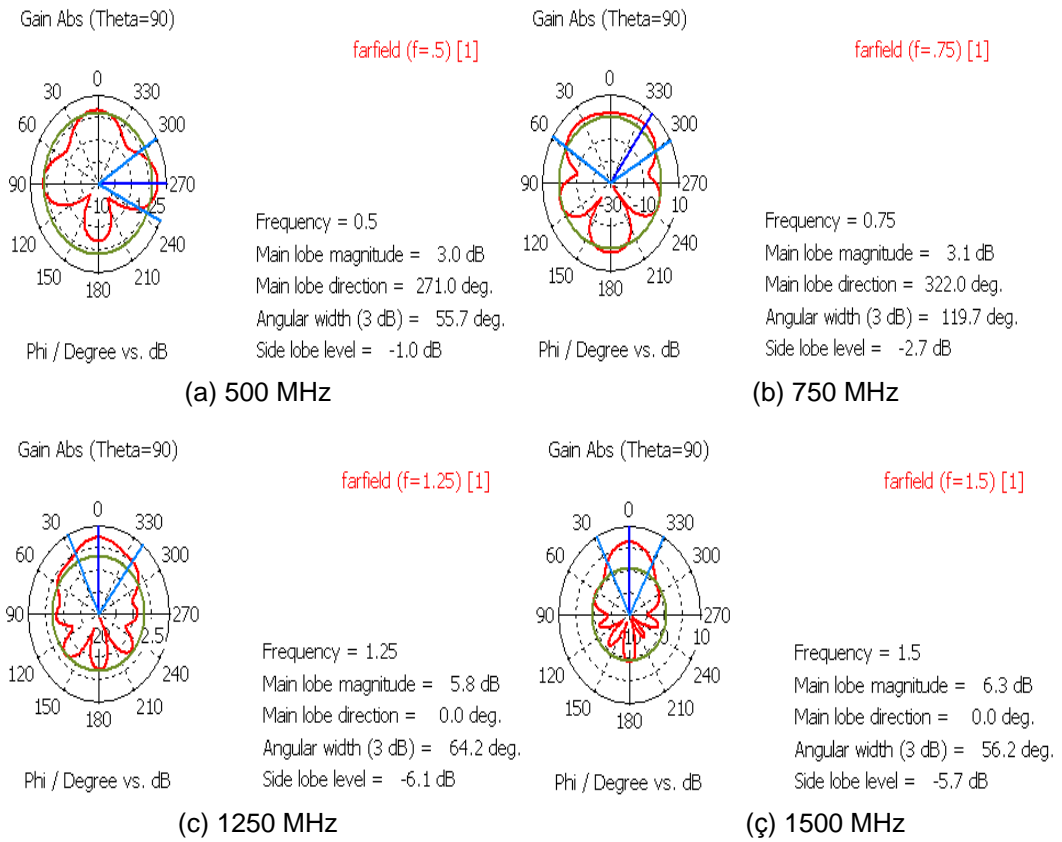
Şekil 4.38: Vivaldi Antenin VSWR Grafiği (L= 20 cm, R= 0.5)



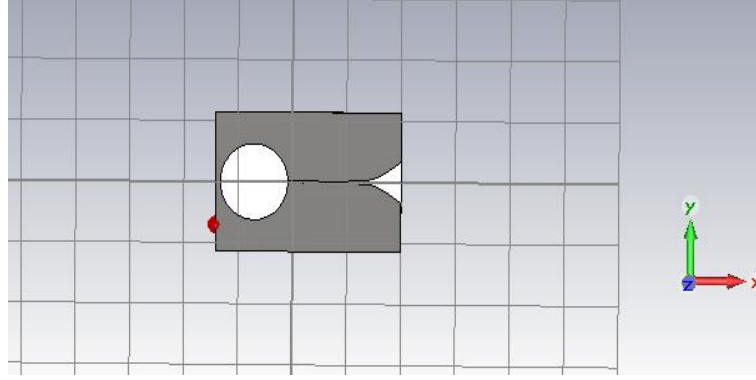
Şekil 4.39: Vivaldi Antenin (L= 20 cm, R= 0.5) $\theta=90$, $\phi = 0'$ daki Işıma Örüntüleri (a) 500 MHz, (b) 750 MHz, (c) 1250 MHz, (ç) 1500 MHz



Şekil 4.40: Vivaldi Antenin VSWR Grafiği (L= 20 cm, R= 0.8)

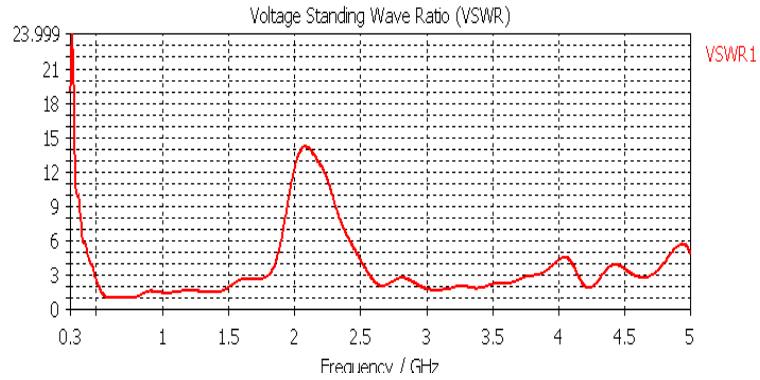


Şekil 4.41: Vivaldi Antenin (L= 20 cm, R= 0.8) $\theta=90$, $\phi = 0$ ' daki Işıma Örüntüleri (a) 500 MHz, (b) 750 MHz, (c) 1250 MHz, (ç) 1500 MHz

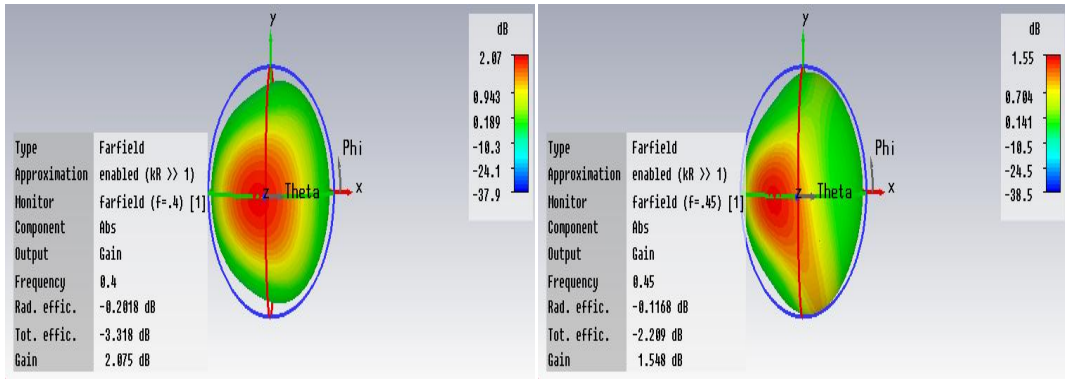


Şekil 4.42: Dizi Çalışmalarında Kullanılan Vivaldi Anten

Şekil 4.42' de Tablo 1 'de belirtilen parametrelere sahip Vivaldi antenin şekli görülmektedir. Şekil 4.43-4.44' de ise bu antene ait VSWR ve 400-1500 MHz frekans aralığının da 100 MHz aralıklı 3-boyutlu ışınma örüntüsüne yer verilmiştir.

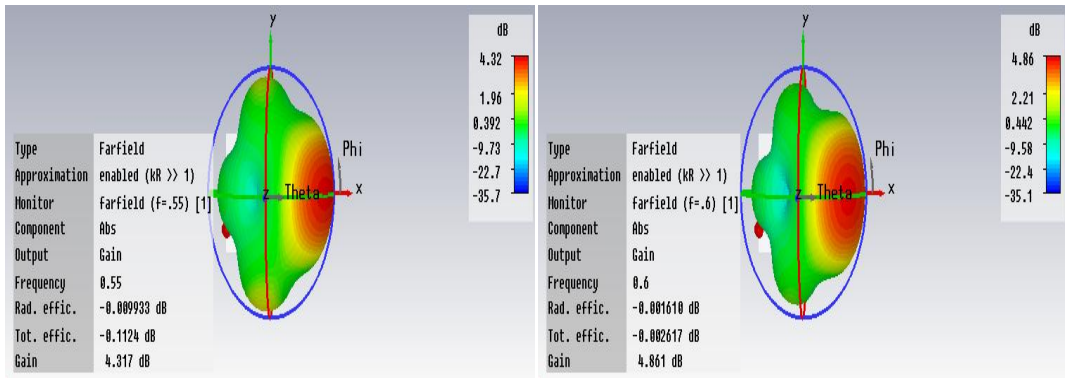


Şekil 4.43: Dizi Çalışmalarında Kullanılan Vivaldi Antenin VSWR Grafiği



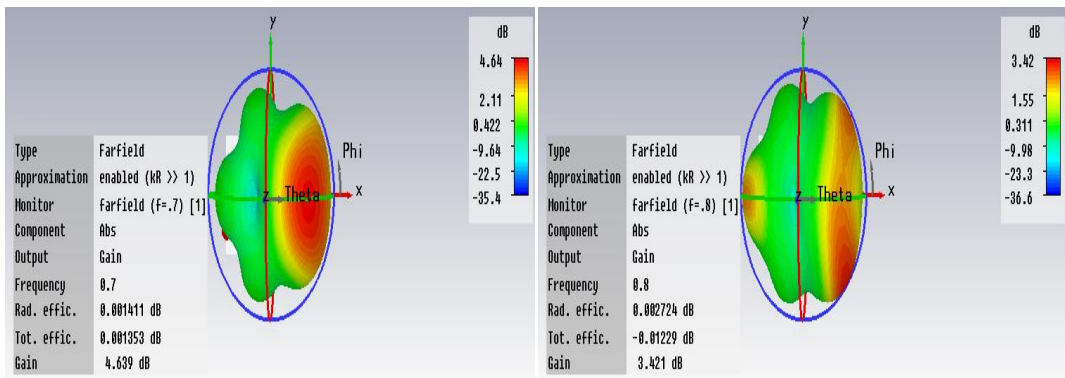
(a) 400 MHz

(b) 450 MHz



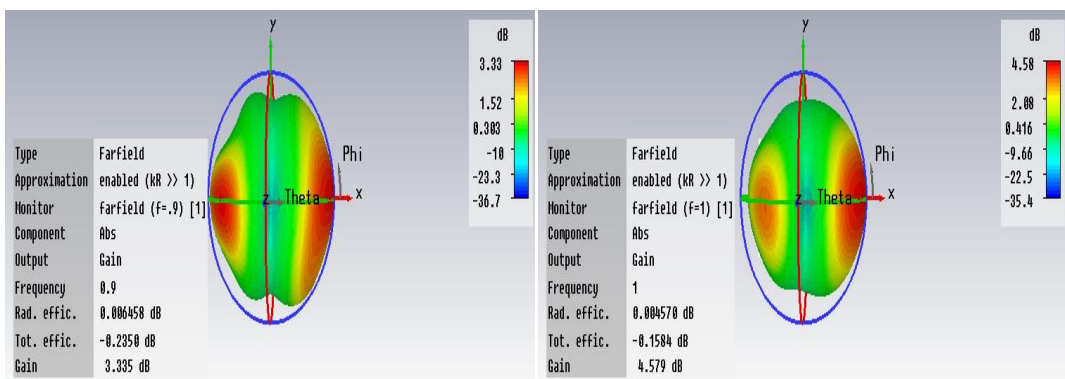
(c) 550 MHz

(ç) 600 MHz



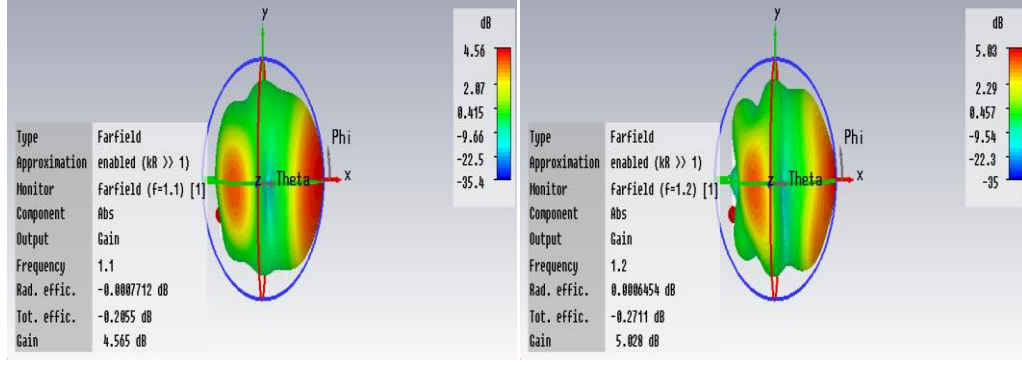
(d) 700 MHz

(e) 800 MHz



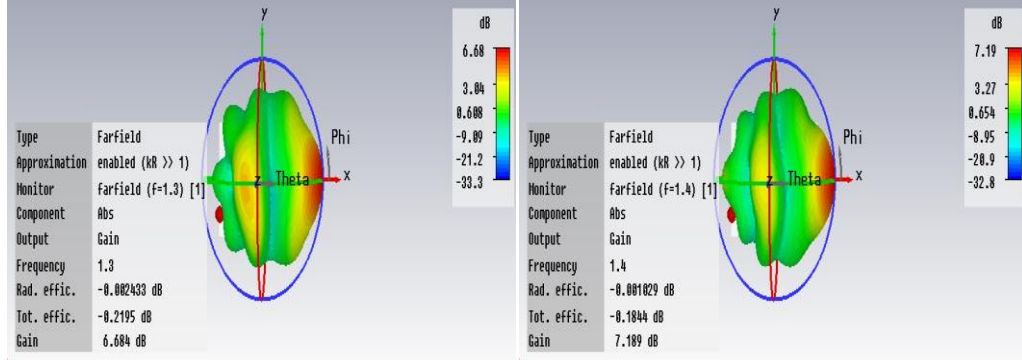
(f) 900 MHz

(g) 1000 MHz



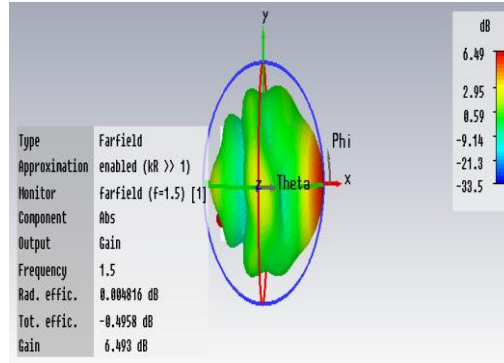
(ğ) 1100 MHz

(h) 1200 MHz



(i) 1300 MHz

(i) 1400 MHz

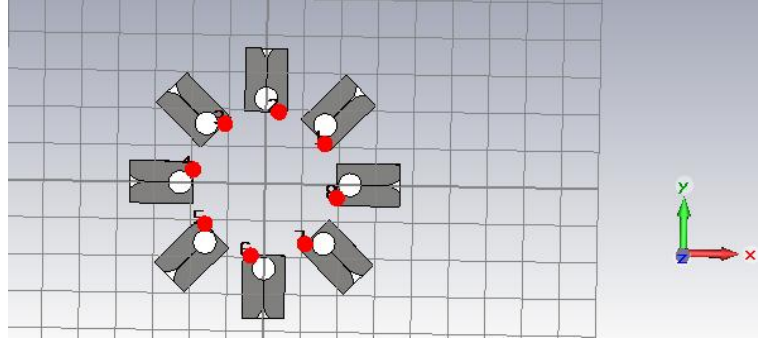


(j) 1500 MHz

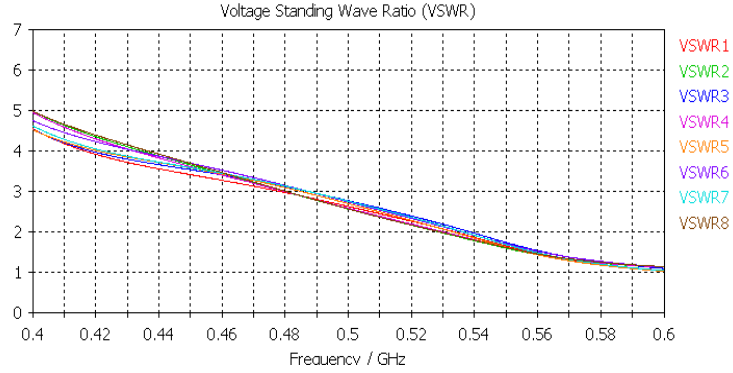
Şekil 4.44: Dizi Çalışmalarında Kullanılan Vivaldi Antenin $\theta=90$, $\phi = 0$ 'daki Işıma Örüntüleri (a) 400 MHz, (b) 450 MHz, (c) 550 MHz, (ç) 600 MHz, (d) 700 MHz, (e) 800 MHz,(f) 900 MHz, (g) 1000 MHz, (ğ) 1100 MHz, (h) 1200 MHz, (ı) 1300 MHz, (i) 1400 MHz,(j) 1550 MHz

2. Vivaldi Antenler İle Düzgün Dairesel Dizi Benzetimleri

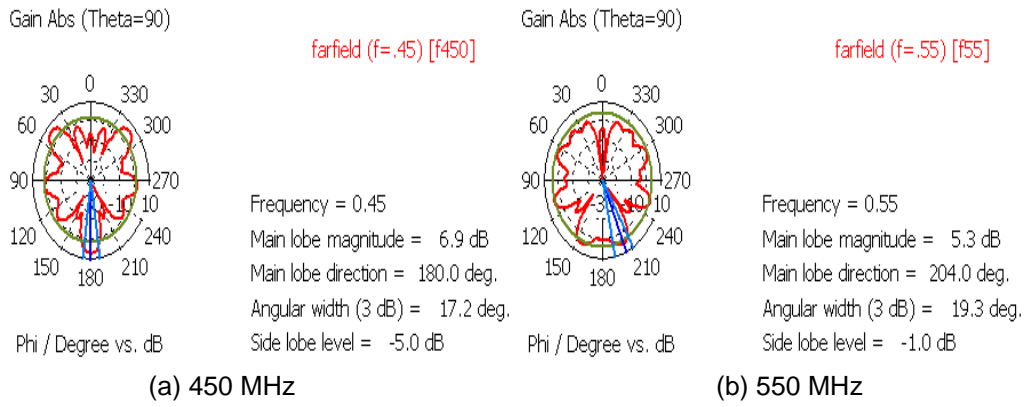
Şekil 4.45' de 8 adet Vivaldi anten ile oluşturulmuş yarıçapı 0.53 m ($Ka=5$) olan dairesel dizi görülmektedir. Şekil 4.46- 4.51' de yarıçapları sırası ile 0.53 ($Ka=5$), 0.84 ($Ka=8$) ve 1.05 ($Ka=10$) metre olan dairesel dizilere ait VSWR ve 450, 550 ve 600 MHz'deki $\theta=90$, $\phi = 0$ 'daki ışıma örüntüleri yer almaktadır.



Şekil 4.45: 8 Adet Vivaldi Anten İle Düzgün Dairesel Dizi Benzetimi (Ka=5)

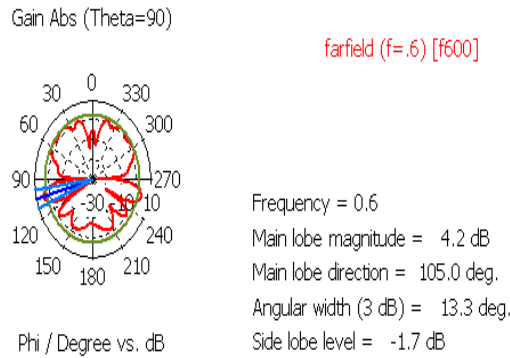


Şekil 4.46: 8 Adet Vivaldi Anten İle Oluşturulan Düzgün Dairesel Dizinin VSWR Grafiği (Ka=5)



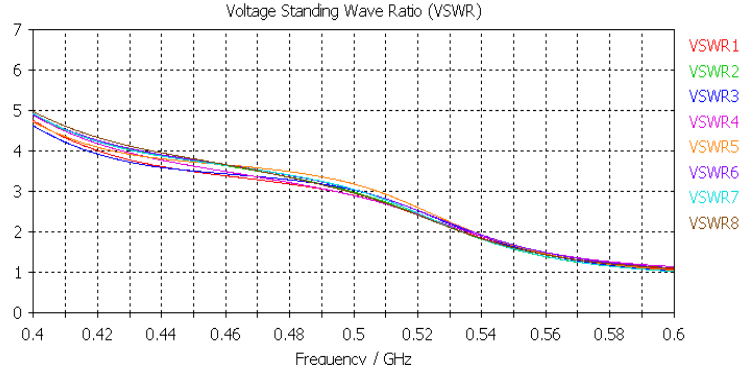
(a) 450 MHz

(b) 550 MHz

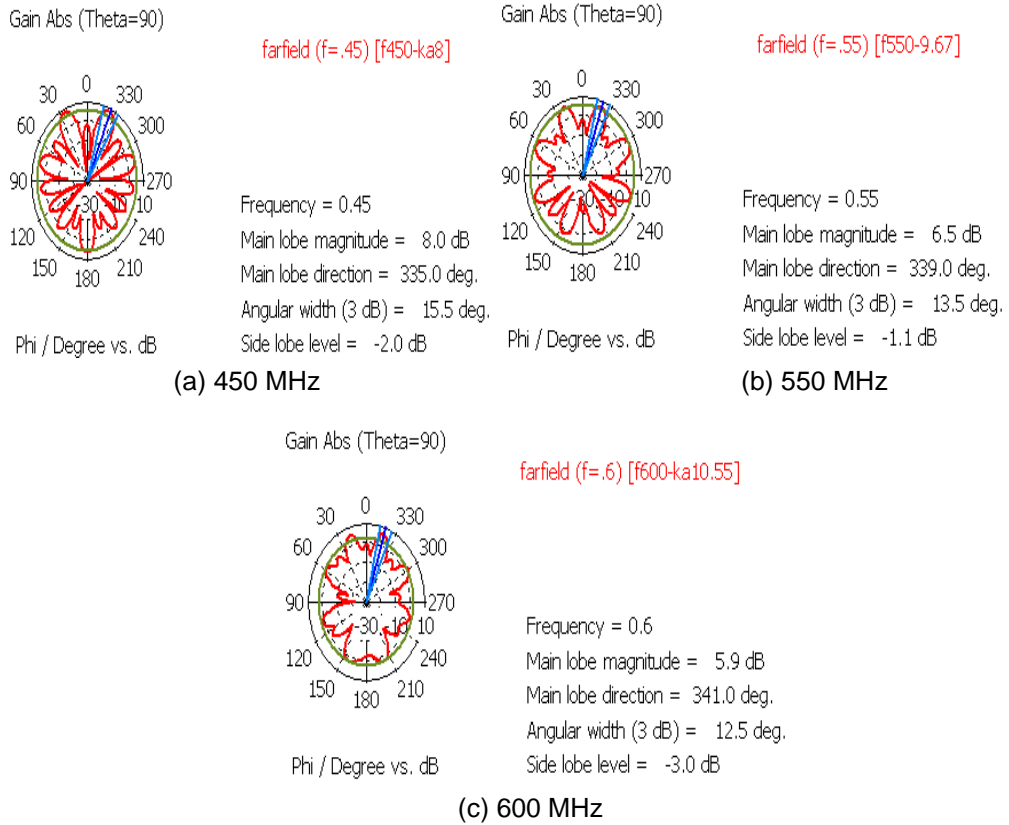


(c) 600 MHz

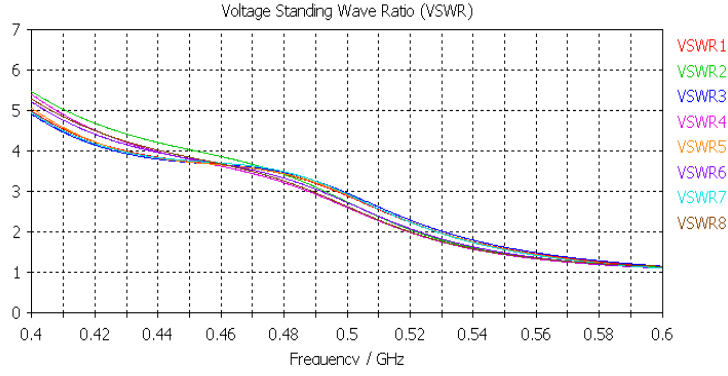
Şekil 4.47: 8 Adet Vivaldi Anten İle Oluşturulan Düzgün Dairesel Dizinin Işıma Örüntüsü (Ka=5) (a) 450 MHz , (b) 550 MHz, (c) 600 MHz



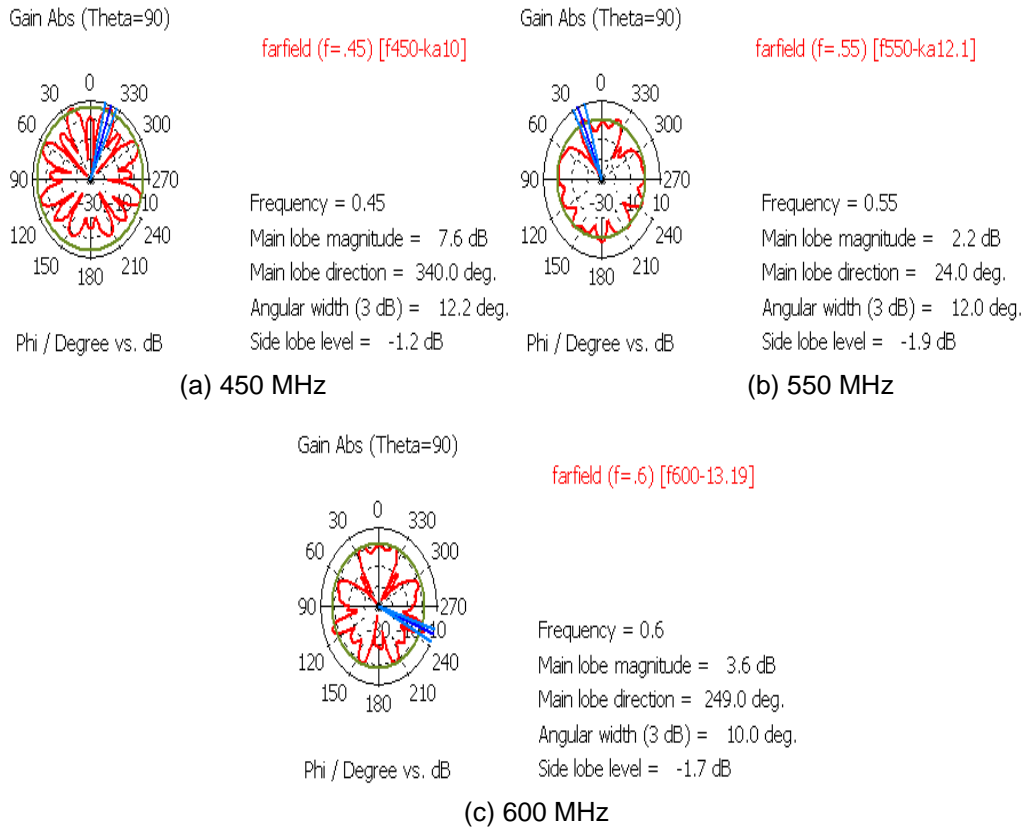
Şekil 4.48: 8 Adet Vivaldi Anten İle Oluşturulan Düzgün Dairesel Dizinin VSWR Grafiği (Ka=8)



Şekil 4.49: 8 Adet Vivaldi Anten İle Oluşturulan Düzgün Dairesel Dizinin Işıma Örüntüsü (Ka=8) (a) 450 MHz , (b) 550 MHz, (c) 600 MHz



Şekil 4.50: 8 Adet Vivaldi Anten İle Oluşturulan Düzgün Dairesel Dizinin VSWR Grafiği (Ka=10)

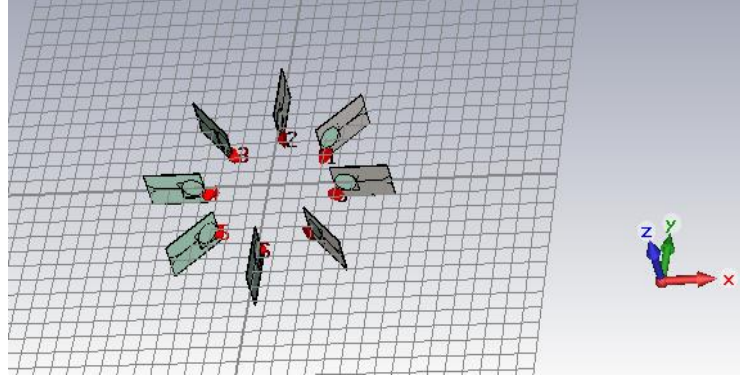


Şekil 4.51: 8 Adet Vivaldi Anten İle Oluşturulan Düzgün Dairesel Dizinin Işıma Örüntüsü (Ka=10) (a) 450 MHz , (b) 550 MHz, (c) 600 MHz

VSWR grafikleri incelendiğinde karşılıklı bağlaşım etkisi nedeniyle her bir dizi elemanına ait VSWR artmış olmasına rağmen, bu artış oldukça azdır.

Sekiz adet Vivaldi anten ile meydana getirilmiş düzgün dairesel dizilerin 450, 550 ve 600 MHz' deki ışıma örüntüleri incelendiğinde ise

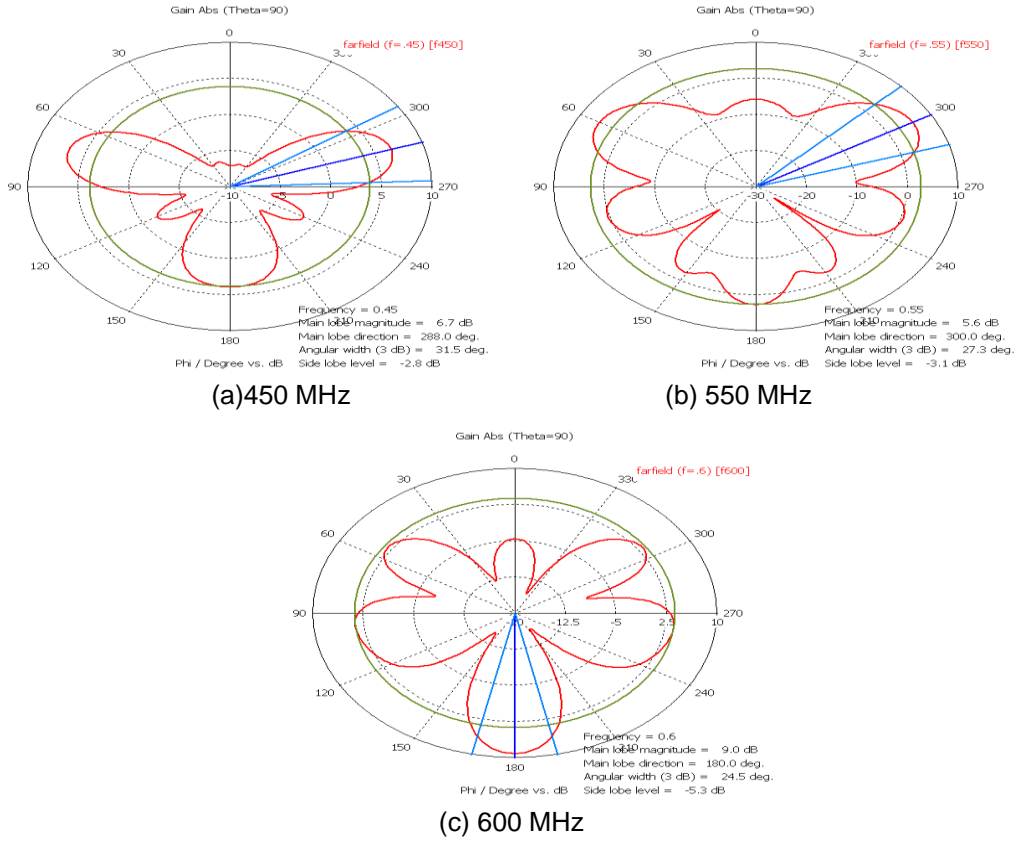
hedeflenen ışımaya örüntüsünün elde edilemediği görülmüştür. Dizi elemanlarının fiziksel boyutlarının büyüklüğü nedeniyle elemanlar arası mesafe azaldığından ve uygulanan faz farklarına rağmen her elemanın ışımaya örüntüleri nedeniyle düzgün ışımaya örüntüleri oluşturulamadığı değerlendirilmektedir. Tasarımda dizi yarıçapının artırılması dizinin toplam boyutunu ve frekans değişimine bağlı olarak Ka değerini arttıracaktır. Dipol antenler ile düzgün dairesel benzetim sonuçlarından da görüldüğü üzere Ka artışı yan kulakçık sayısının artmasına sebep olmaktadır. Bundan dolayı geniş frekans bandında düzgün dairesel dizi tasarımının uygulamada etkin kullanılmayacağı düşünülmektedir.



Şekil 4.52: 8 Adet Vivaldi Anten İle x-y Düzlemine Dik Düzgün Dairesel Dizi Benzetimi

Şekil 4.52 'da Vivaldi antenler ile oluşturulmuş yarıçapı 0.53 m olan x-y düzlemine dik dairesel dizi görülmektedir. Şekil 4.53' de dairesel diziyeye 400, 550 ve 600 MHz'deki $\theta=90$, $\phi = 0$ ' daki ışımaya örüntüleri yer almaktadır.

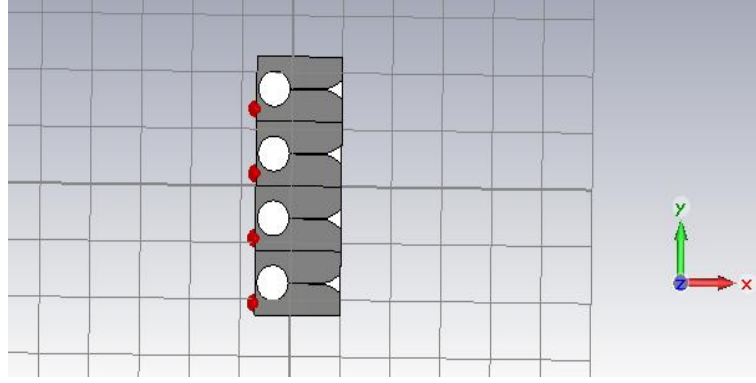
Işıma örüntüleri incelendiğinde dizi elemanlarının yerleşimlerinden dolayı arasında ki mesafeler artırılmış olması ve uygulanan faz farklarına rağmen yatay düzgün dairesel dizide olduğu üzere hedeflenen ışımaya örüntüsünün elde edilemediği görülmüştür.



Şekil 4.53: x-y Düzlemine Dik Yerleştirilmiş 8 Adet Vivaldi Anten İle Oluşturulan Düzgün Dairesel Dizinin Işıma Örüntüsü (Ka=10) (a) 450 MHz, (b) 550 MHz, (c) 600 MHz

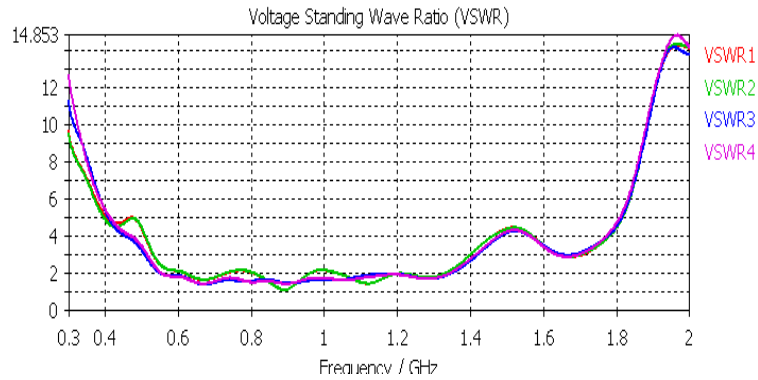
3. Vivaldi Antenler İle Düzgün Doğrusal Dizi Benzetimleri

450-1500 MHz' de çalışması için tasarlanmış Vivaldi anten ile dairesel dizide hedeflenen ışıma örüntüsü elde edilemediğinden, bu frekans bandını kaplayacak doğrusal dizi çalışması yapılmıştır. Doğrusal dizilerden elde edilecek sonuçlarla 360^0 kaplayacak şekilde üçgen ya da kare şeklinde platforma yerleştirilen diziler oluşturulması hedeflenmektedir. Boyutları ve ışıma örüntüsü daha önce anlatılan Vivaldi anten ile 4 elemandan oluşan doğrusal dizi Şekil 4.54' de olduğu gibi tasarlanmıştır. Bu diziye ait VSWR ve $\theta=90$, $\phi = 0$ 'daki ışıma örüntüsü grafikleri Şekil 4.55-4.56' tadır.



Şekil 4.54: 4 Elemanlı Düzgün Doğrusal Dizi Benzetimi

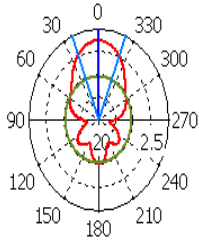
Bölüm 3 'de anlatıldığı üzere dizinin maksimum ışımalarının dizilim eksenine dik olması istendiğinde elemanlara herhangi bir faz farkı uygulanmadan istenen aralıkla (λ 'nın katları hariç) dizi elemanlarını dizmek mümkündür. Tasarlanabilecek en küçük boyutlar için dizi elemanları aralarında boşluk bırakılmadan x-y düzlemine paralel dizilmiştirlerdir.



Şekil 4.55: 4 Adet Vivaldi Anten İle Oluşturulan Düzgün Doğrusal Dizinin VSWR Grafiği

VSWR grafiği incelendiğinde dizi elemanları arasında boşluk olmadığından, karşılıklı bağlaşım nedeniyle tüm dizi elemanlarının VSWR değerlerinin arttığı, dizinin ortasında yer alan iki elemanın VSWR değerinin dış uçlarda kalan iki elemana göre daha fazla yükseldiği görülmektedir.

Gain Abs (Theta=90)



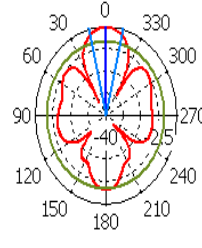
Phi / Degree vs. dB

(a) 400 MHz

farfield (f=.4) [f-55]

Frequency = 0.4
Main lobe magnitude = 5.9 dB
Main lobe direction = 0.0 deg.
Angular width (3 dB) = 44.9 deg.
Side lobe level = -11.7 dB

Gain Abs (Theta=90)



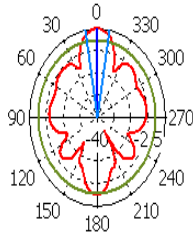
Phi / Degree vs. dB

(b) 600 MHz

farfield (f=.6) [f-55]

Frequency = 0.6
Main lobe magnitude = 9.2 dB
Main lobe direction = 0.0 deg.
Angular width (3 dB) = 28.3 deg.
Side lobe level = -7.7 dB

Gain Abs (Theta=90)



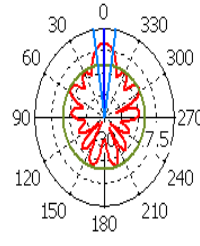
Phi / Degree vs. dB

(c) 800 MHz

farfield (f=.8) [f-55]

Frequency = 0.8
Main lobe magnitude = 9.6 dB
Main lobe direction = 0.0 deg.
Angular width (3 dB) = 21.0 deg.
Side lobe level = -6.4 dB

Gain Abs (Theta=90)



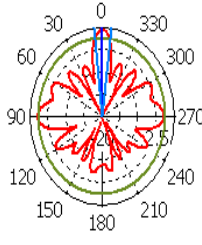
Phi / Degree vs. dB

(ç) 1000 MHz

farfield (f=1) [f-55]

Frequency = 1
Main lobe magnitude = 11.1 dB
Main lobe direction = 0.0 deg.
Angular width (3 dB) = 18.1 deg.
Side lobe level = -11.5 dB

Gain Abs (Theta=90)



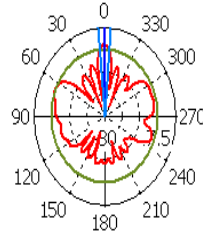
Phi / Degree vs. dB

(d) 1200 MHz

farfield (f=1.2) [f-55]

Frequency = 1.2
Main lobe magnitude = 9.1 dB
Main lobe direction = 0.0 deg.
Angular width (3 dB) = 13.7 deg.
Side lobe level = -2.7 dB

Gain Abs (Theta=90)



Phi / Degree vs. dB

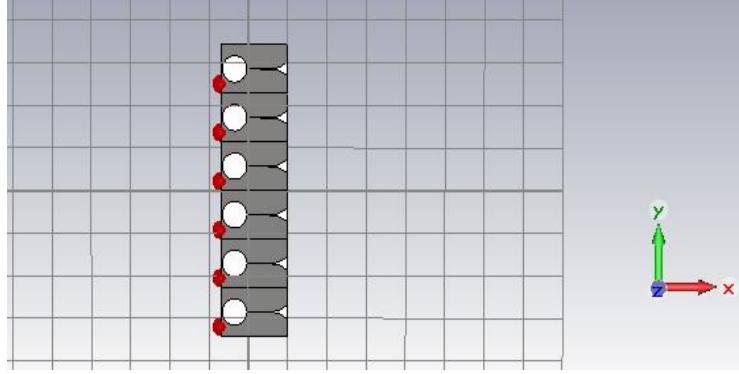
(e) 1400 MHz

farfield (f=1.4) [f-55]

Frequency = 1.4
Main lobe magnitude = 10.1 dB
Main lobe direction = 0.0 deg.
Angular width (3 dB) = 10.7 deg.
Side lobe level = -2.3 dB

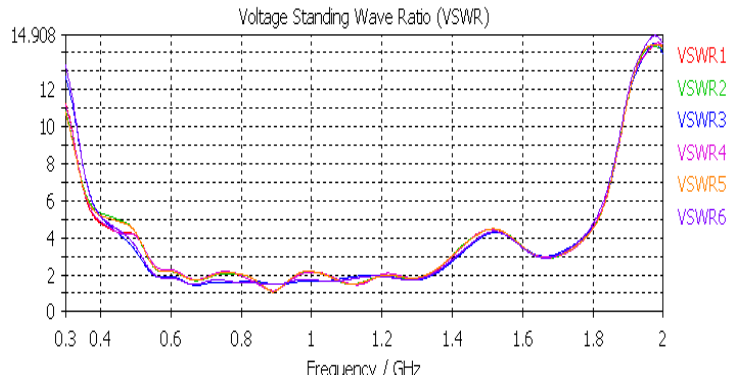
Şekil 4.56: 4 Adet Vivaldi Anten İle Oluşturulan Düzgün Doğrusal Dizinin Işıma Örüntüsü (a) 400 MHz , (b) 600 MHz, (c) 800 MHz, (ç) 1000 MHz, (d) 1200 MHz, (e) 1400 MHz

Işıma örüntüleri incelendiğinde ise frekansın artması ile birlikte HPBW azalırken kazanç artmaktadır. Fakat frekans değişimine bağlı olarak dalga boyu değiştiğinden; frekans arttıkça genişleyen yarı hatlar arasındaki sabit mesafe frekansa bağlı dalga boyunun katı/katları olması nedeniyle dizilim eksenini boyunca oluşan yan kulakçık seviyeleri de artmaktadır.



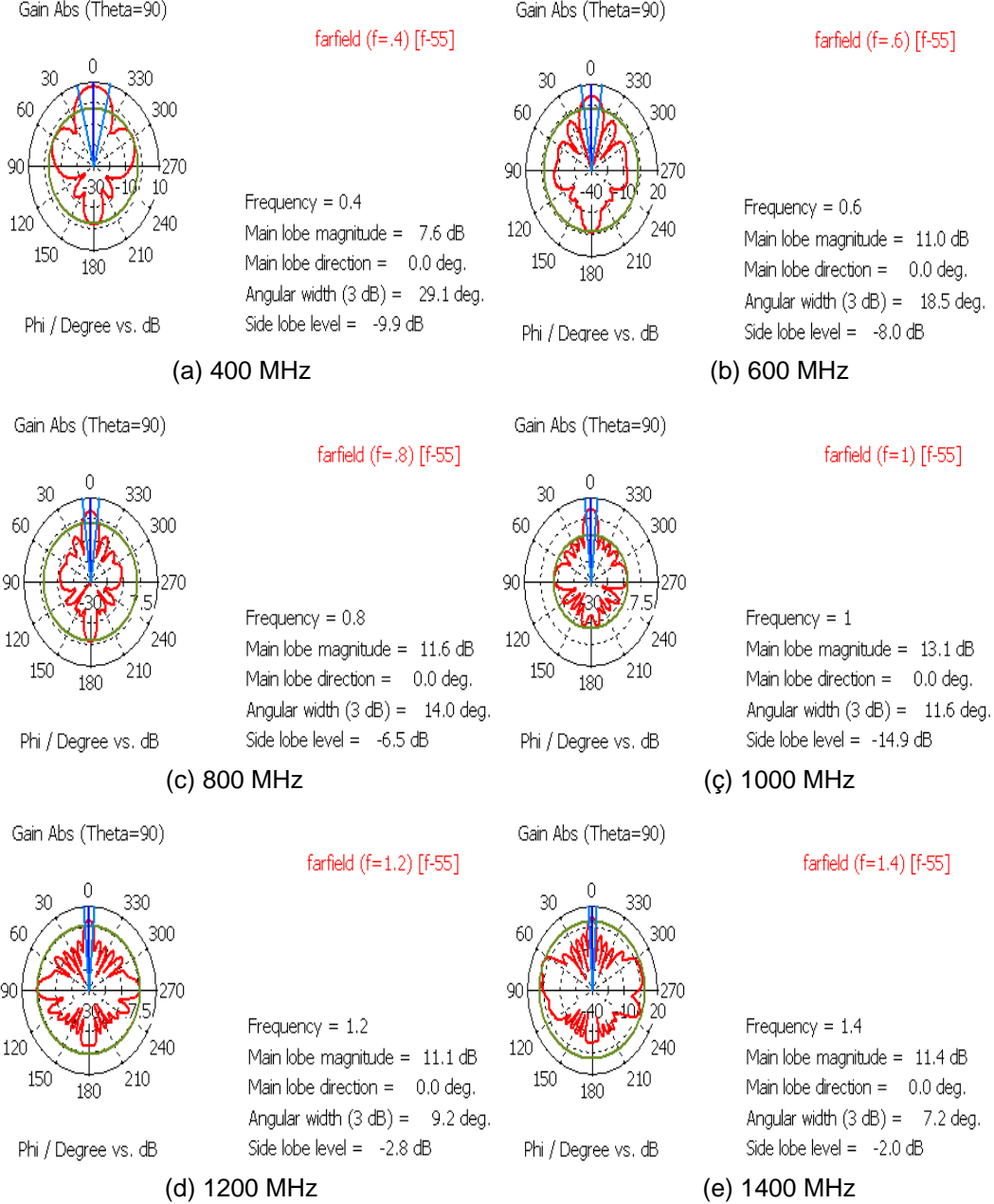
Şekil 4.57: 6 Elemanlı Düzgün Doğrusal Dizi Benzetimi

Şekil 4.57’de ise 6 elemandan oluşan doğrusal dizi görülmektedir. Bu dizide de dizi elemanları arasında boşluk bırakılmamıştır. 6 elemanlı doğrusal diziyeye ait VSWR ve $\theta=90$, $\phi = 0$ ’daki ışıma örüntüsü grafikleri Şekil 4.58-4.59’ da verilmektedir.



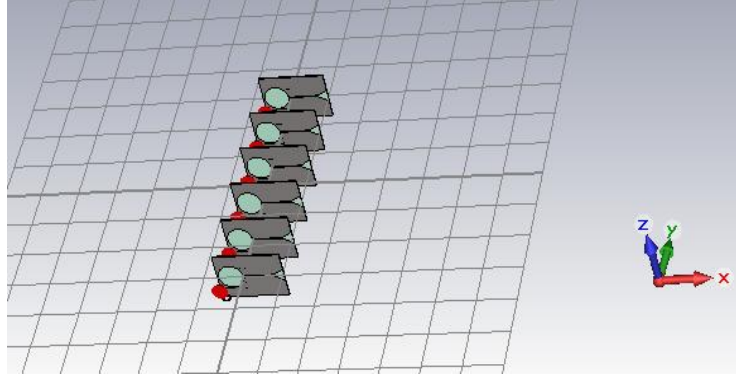
Şekil 4.58: 6 Adet Vivaldi Anten İle Oluşturulan Düzgün Doğrusal Dizin VSWR Grafiği

VSWR grafiği incelendiğinde dizi elemanları arasında boşluk olmadığından, karşılıklı bağlaşım nedeniyle tüm dizi elemanlarının VSWR değerlerinin arttığı, dizinin ortasında yer alan dört elemanın VSWR’ lerinin dış uçlarda kalan iki elemene göre daha fazla arttığı görülmektedir.



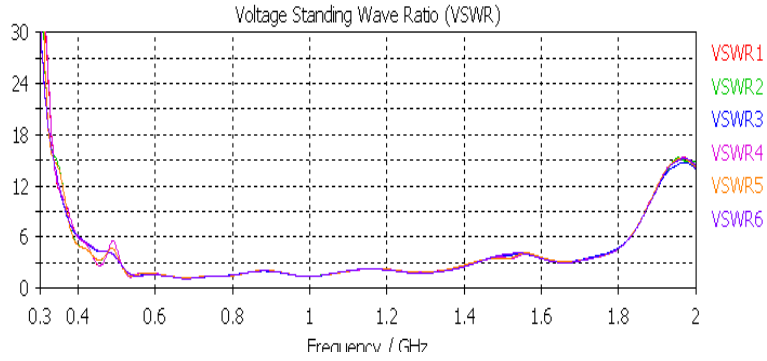
Şekil 4.59: 6 Adet Vivaldi Anten İle Oluşturulan Düzgün Doğrusal Dizinin Işıma Örüntüsü (a) 400 MHz , (b) 600 MHz, (c) 800 MHz, (ç) 1000 MHz, (d) 1200 MHz, (e) 1400 MHz

Işıma örüntüleri incelendiğinde ise 4 elemanlı doğrusal diziyeye göre HPBW daha dar ve kazançlar daha yüksektir. 4 elemanlı doğrusal dizide olduğu gibi, frekans değişimine bağlı olarak dalga boyu değiştiğinden; frekans arttıkça; genişleyen yarık hatlar arasındaki sabit mesafe frekansa bağlı dalga boyunun katı/katları olması nedeniyle dizilim eksenini boyunca oluşan yan kulakçık seviyeleri de artmaktadır.



Şekil 4.60: 6 Elemanlı x-y Düzlemine Dik Yerleştirilmiş Düzgün Doğrusal Dizi Benzetimi

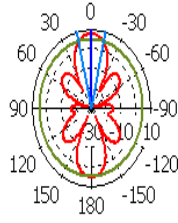
Şekil 4.60' da ise 6 adet elemandan oluşan x-y düzlemine dik yerleştirilmiş doğrusal diziye ait benzetim şekli görülmektedir. Bu diziye ait VSWR ve $\theta=90$, $\phi = 0$ ' daki ışınma örüntüsü grafikleri Şekil 4.61-4.62' de yer almaktadır. Dizi elemanları arasında anten genişliği kadar boşluk bırakılmıştır.



Şekil 4.61: x-y Düzlemine Dik Yerleştirilmiş 6 Adet Vivaldi Anten İle Oluşturulan Düzgün Doğrusal Dizin VSWR Grafiği

VSWR grafiği incelendiğinde dizi elemanları arasında anten genişliği kadar boşluk olması rağmen, karşılıklı bağlaşım nedeniyle tüm dizi elemanlarının VSWR değerlerinde artışlar olduğu, dizinin ortasında yer alan elemanlarının VSWR'lerinin ise kenarlarda bulunan elemanlara göre daha fazla arttığı görülmektedir.

Gain Abs (Theta=90)



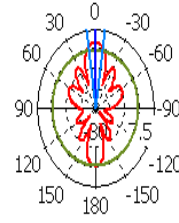
Phi / Degree vs. dB

(a) 400 MHz

farfield (f=.4) [f-55]

Frequency = 0.4
Main lobe magnitude = 7.4 dB
Main lobe direction = 0.0 deg.
Angular width (3 dB) = 28.0 deg.
Side lobe level = -2.6 dB

Gain Abs (Theta=90)



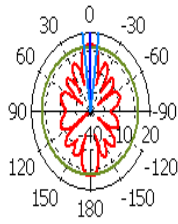
Phi / Degree vs. dB

(b) 600 MHz

farfield (f=.6) [f-55]

Frequency = 0.6
Main lobe magnitude = 11.4 dB
Main lobe direction = 0.0 deg.
Angular width (3 dB) = 18.9 deg.
Side lobe level = -5.0 dB

Gain Abs (Theta=90)



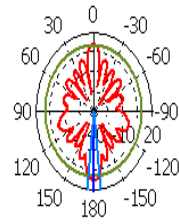
Phi / Degree vs. dB

(c) 800 MHz

farfield (f=.8) [f-55]

Frequency = 0.8
Main lobe magnitude = 10.9 dB
Main lobe direction = 0.0 deg.
Angular width (3 dB) = 14.6 deg.
Side lobe level = -1.4 dB

Gain Abs (Theta=90)



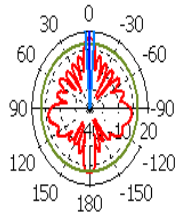
Phi / Degree vs. dB

(ç) 1000 MHz

farfield (f=1) [f-55]

Frequency = 1
Main lobe magnitude = 12.1 dB
Main lobe direction = 180.0 deg.
Angular width (3 dB) = 12.5 deg.
Side lobe level = -1.6 dB

Gain Abs (Theta=90)



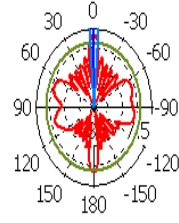
Phi / Degree vs. dB

(d) 1200 MHz

farfield (f=1.2) [f-55]

Frequency = 1.2
Main lobe magnitude = 14.3 dB
Main lobe direction = 0.0 deg.
Angular width (3 dB) = 9.5 deg.
Side lobe level = -3.7 dB

Gain Abs (Theta=90)



Phi / Degree vs. dB

(e) 1400 MHz

farfield (f=1.4) [f-55]

Frequency = 1.4
Main lobe magnitude = 15.5 dB
Main lobe direction = 0.0 deg.
Angular width (3 dB) = 8.1 deg.
Side lobe level = -4.3 dB

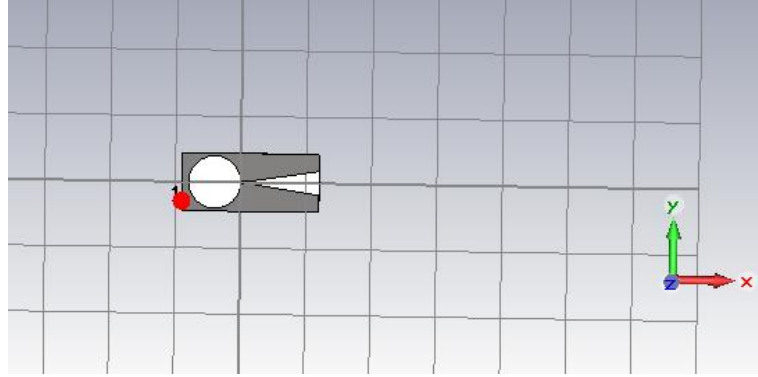
Şekil 4.62: x-y Düzlemine Dik Yerleştirilmiş 6 Adet Vivaldi Anten İle Oluşturulan Düzgün Doğrusal Dizinin Işıma Örüntüsü (a) 400 MHz , (b) 600 MHz, (c) 800 MHz, (ç) 1000 MHz, (d) 1200 MHz, (e) 1400 MHz

x-y düzlemine dik yerleştirilmiş 6 adet Vivaldi anten ile oluşturulan dizinin ışıma örüntüsü incelendiğinde ise 6 elemanlı yatay doğrusal diziyeye göre HPBW daha dar ve kazançlar daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. 6 elemanlı yatay dizide olduğu gibi, frekans değişimine bağlı olarak dalga boyu değiştiğinden; frekans arttıkça; genişleyen yarık hatlar arasındaki sabit

mesafe frekansa bağılı dalga boyunun katı/katları olması nedeniyle dizilim eksenini boyunca oluşan yan kulakçık seviyeleri de artmaktadır.

D. Ölçümü Yapılan Vivaldi Antenin Dizi Benzetimleri

1. Ölçümü Yapılan Vivaldi Antenin Benzetimleri



Şekil 4.63: Ölçüm İçin Tasarlanan Vivaldi Anten

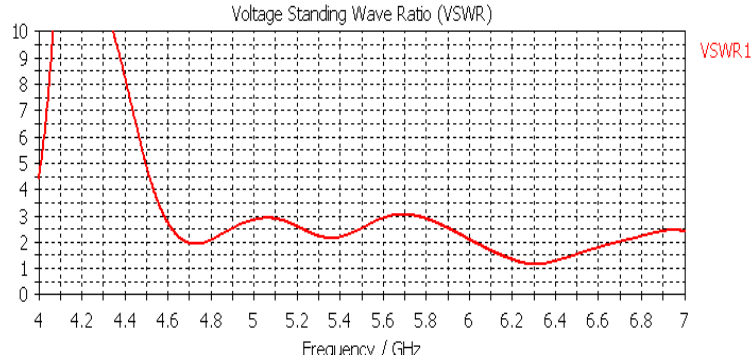
450-1500 MHz arasında çalışma frekansına sahip Vivaldi antenin boyutları nedeniyle laboratuvar ortamında gerçekleştirilmesi ve ölçülmesinin zor olacağı değerlendirilmiştir. Yapılan benzetimlerin doğruluğunu göstermek için laboratuvar ortamında gerçekleştirilerek ölçülebilecek bir Vivaldi anten tasarımı yapılmasına karar verilmiştir. Çalışma frekansı ölçeklenerek IEEE 802.11 WLAN (wireless local area network) uygulamalarında kullanılabilecek Şekil 4.64' da görülen merkez frekansı 5.5 GHz olan Vivaldi anten tasarımı yapılmıştır.

Taban malzemesi olarak yüksekliği 0.1524 cm olan Rogers RT/Duroid 4003 kullanılmıştır (tan sigma = 0.0009 dielektrik sabiti = 3.55). Ölçümü yapılacak Vivaldi antene ait değerler Tablo 4.2' de yer almaktadır.

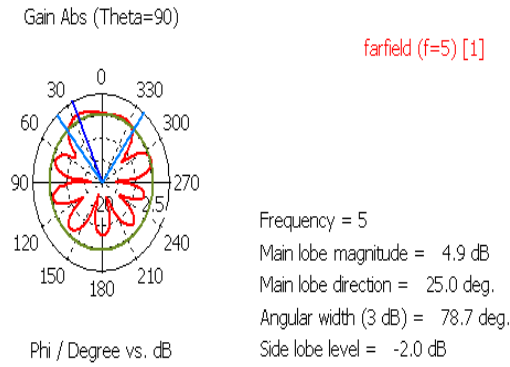
Tablo 4.2 Ölçümü Yapılan Vivaldi Antenin Değerleri

Antenin Uzunluğu	d	10.5 cm
Antenin Genişliği	b	4.4 cm
Yarık Hat Stubının Çapı	D_{SL}	4 cm
Mikroşerit Hat Stubının Yarıçapı	A_R	2 cm
Yarık Hattın Genişliği	W_{SL}	0.132 cm
Mikroşerit Hattın Genişliği	W_{ST}	0.087 cm
Ağız Açıklığı	H	1.826 cm
Açıklık Oranı	R	0
Genişleyen Hattın Uzunluğu	L	5.5 cm
Örtüşme Noktasından Yarık Hat Stubına Mesafe	L_{TC}	0.25 cm
Örtüşme Noktasından Genişleyen Yarık Hattına Mesafe	L_{TA}	0.25 cm
Arka Duvar Uzaklığı	L_G	0.5 cm

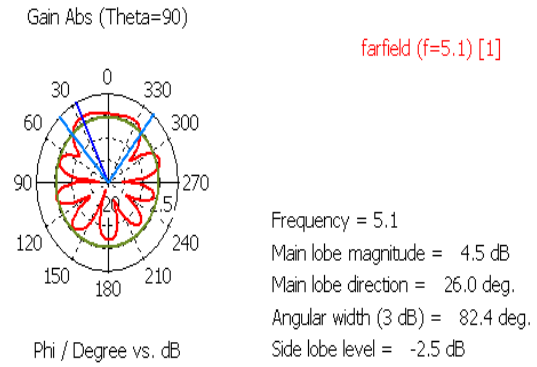
Vivaldi antene ait VSWR ve $\theta=90$, $\phi = 0$ 'daki ışımaya örüntüsü grafikleri Şekil 4.64-4.65' de verilmektedir.



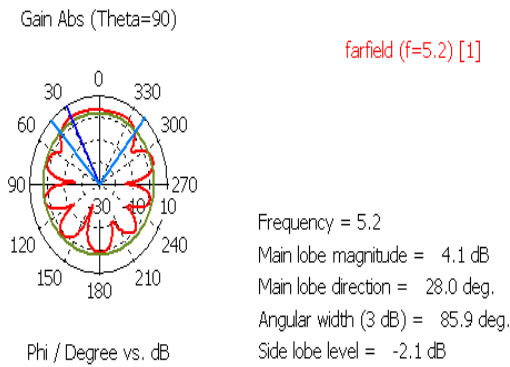
Şekil 4.64: Ölçüm İçin Tasarlanan Vivaldi Antenin VSWR Grafiği



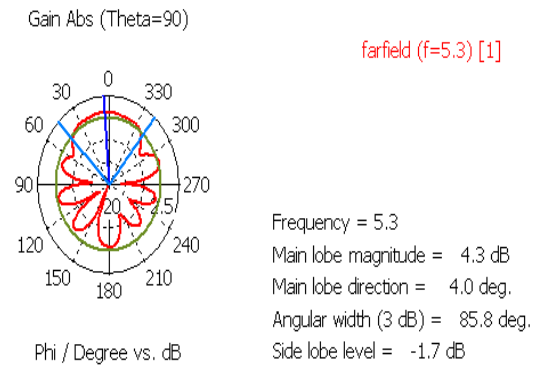
(a) 5 GHz



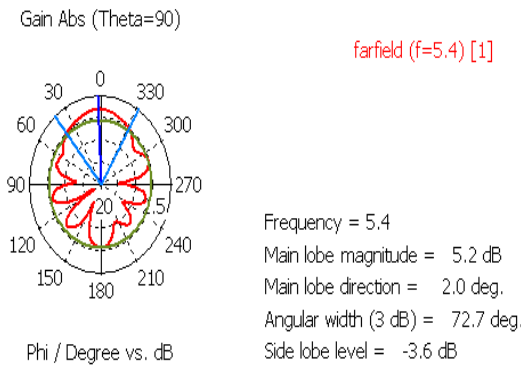
(b) 5.1 GHz



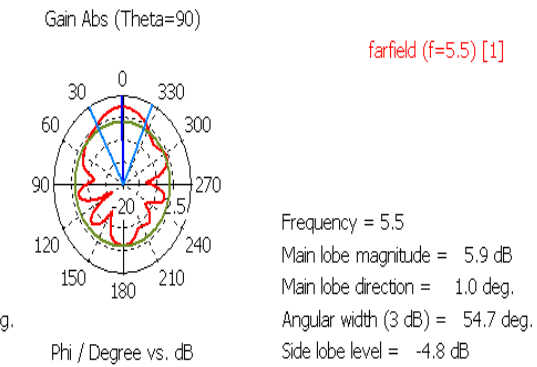
(c) 5.2 GHz



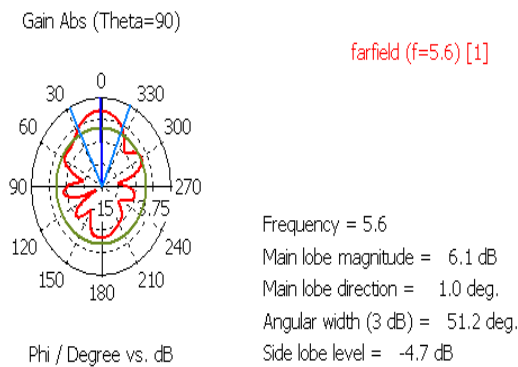
(c) 5.3 GHz



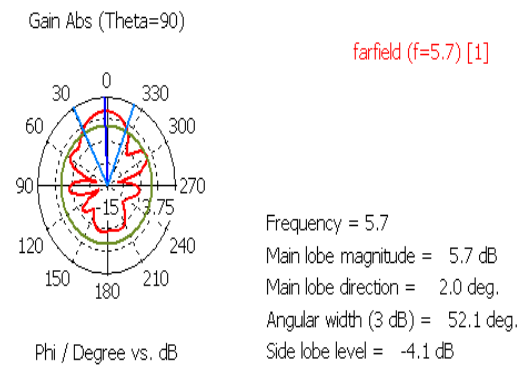
(d) 5.4 GHz



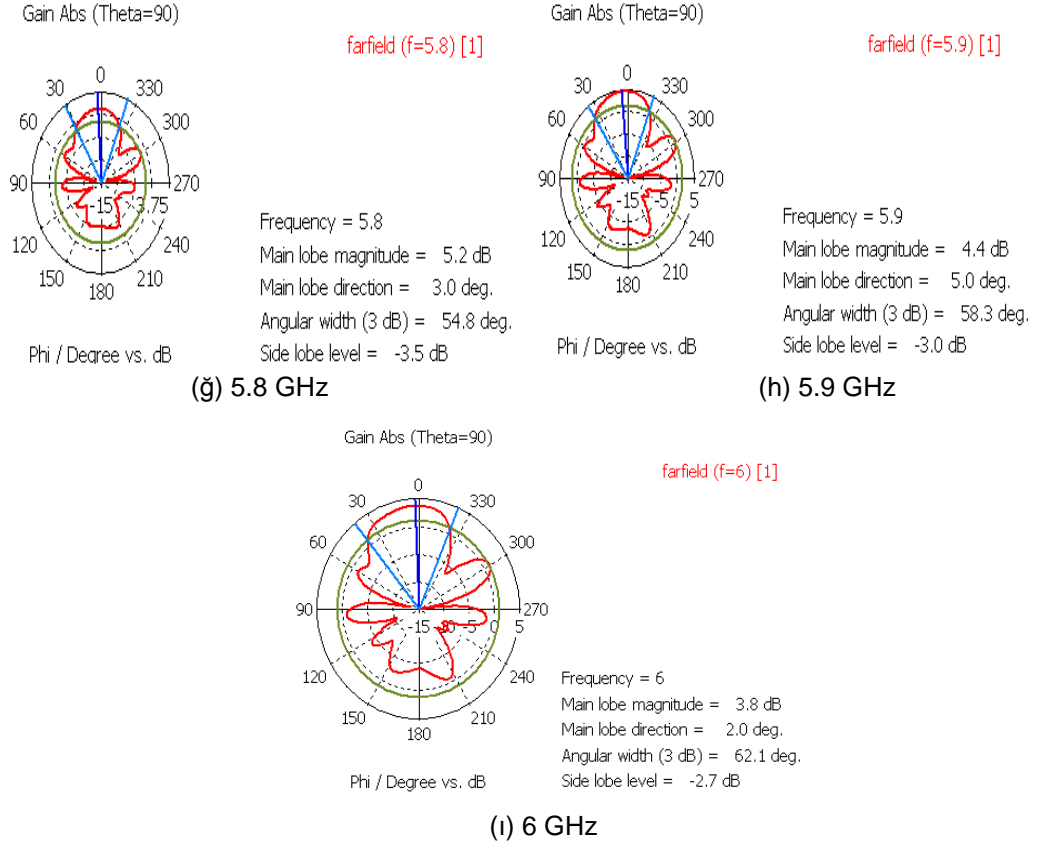
(e) 5.5 GHz



(f) 5.6 GHz



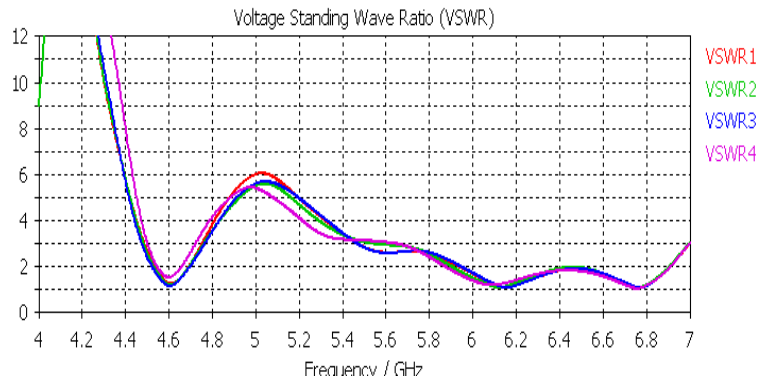
(g) 5.7 GHz



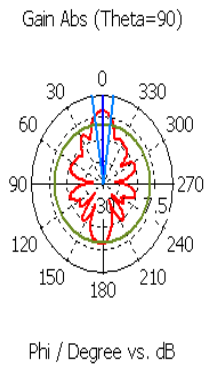
Şekil 4.65: Ölçüm İçin Tasarlanan Vivaldi Antenin Işıma Örüntüsü (a) 5 GHz, (b) 5.1 GHz, (c) 5.2 GHz, (ç) 5.3 GHz, (d) 5.4 GHz, (e) 5.5 GHz, (f) 5.6 GHz, (g) 5.7 GHz, (ğ) 5.8 GHz, (h) 5.9 GHz, (i) 6 GHz

2. Ölçümü Yapılan Doğrusal Dizi Benzetimleri

Şekil 4.66-4.67' de dört elemanlı düzgün doğrusal diziyeye ait VSWR ve $\theta=90$, $\phi = 0$ ' daki ışımaya örüntüsü grafikleri yer almaktadır.



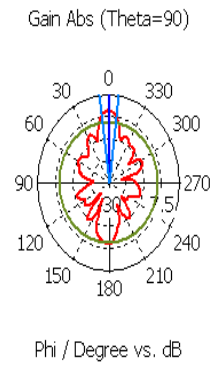
Şekil 4.66: 4 Adet Vivaldi Anten İle Ölçümü Yapılan Düzgün Doğrusal Dizinin VSWR Grafiği



farfield (f=5) [f55]

Frequency = 5
 Main lobe magnitude = 10.9 dB
 Main lobe direction = 0.0 deg.
 Angular width (3 dB) = 17.1 deg.
 Side lobe level = -7.0 dB

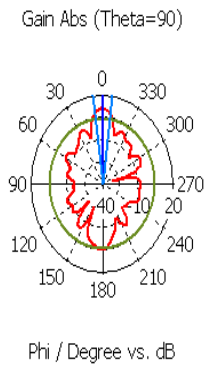
(a) 5 Ghz



farfield (f=5.1) [f55]

Frequency = 5.1
 Main lobe magnitude = 10.8 dB
 Main lobe direction = 0.0 deg.
 Angular width (3 dB) = 16.3 deg.
 Side lobe level = -6.3 dB

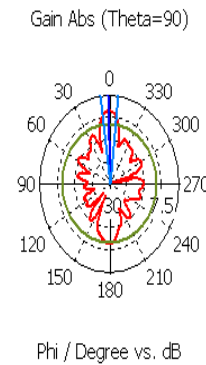
(b) 5.1 Ghz



farfield (f=5.2) [f55]

Frequency = 5.2
 Main lobe magnitude = 10.7 dB
 Main lobe direction = 0.0 deg.
 Angular width (3 dB) = 15.7 deg.
 Side lobe level = -6.4 dB

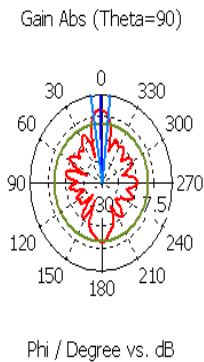
(c) 5.2 Ghz



farfield (f=5.3) [f55]

Frequency = 5.3
 Main lobe magnitude = 10.8 dB
 Main lobe direction = 1.0 deg.
 Angular width (3 dB) = 15.2 deg.
 Side lobe level = -6.9 dB

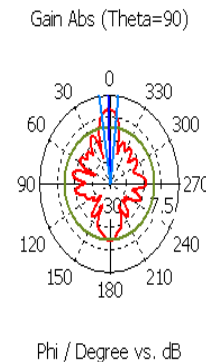
(c) 5.3 Ghz



farfield (f=5.4) [f55]

Frequency = 5.4
 Main lobe magnitude = 11.2 dB
 Main lobe direction = 1.0 deg.
 Angular width (3 dB) = 15.2 deg.
 Side lobe level = -7.8 dB

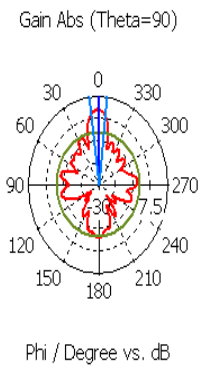
(d) 5.4 Ghz



farfield (f=5.5) [f55]

Frequency = 5.5
 Main lobe magnitude = 11.6 dB
 Main lobe direction = 1.0 deg.
 Angular width (3 dB) = 15.4 deg.
 Side lobe level = -9.5 dB

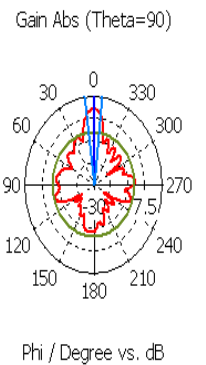
(e) 5.5 Ghz



farfield (f=5.6) [f55]

Frequency = 5.6
 Main lobe magnitude = 12.2 dB
 Main lobe direction = 0.0 deg.
 Angular width (3 dB) = 15.4 deg.
 Side lobe level = -12.4 dB

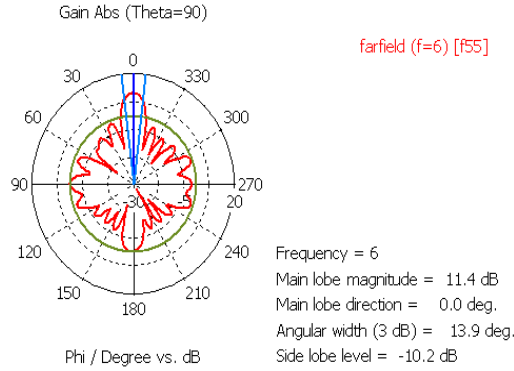
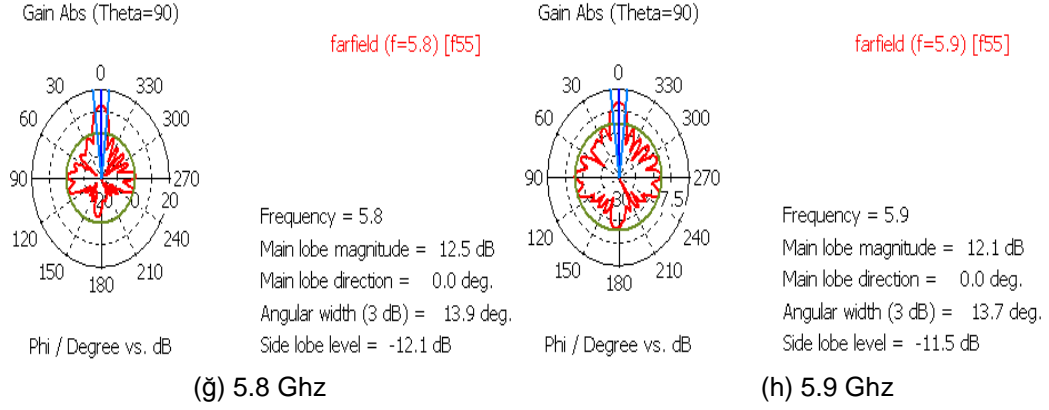
(f) 5.6 Ghz



farfield (f=5.7) [f55]

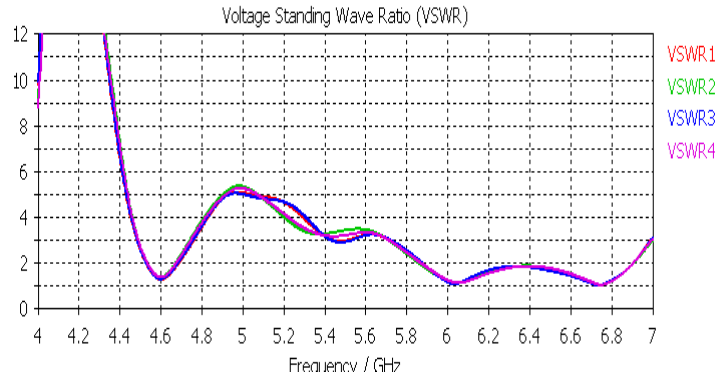
Frequency = 5.7
 Main lobe magnitude = 12.6 dB
 Main lobe direction = 0.0 deg.
 Angular width (3 dB) = 14.7 deg.
 Side lobe level = -12.7 dB

(g) 5.7 Ghz

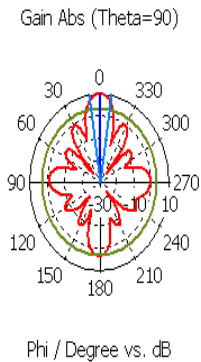


Şekil 4.67: 4 Adet Vivaldi Anten İle Ölçümü Yapılan Düzgün Doğrusal Dizinin Işıma Örüntüsü (a) 5 GHz, (b) 5.1 GHz, (c) 5.2 GHz, (ç) 5.3 GHz, (d) 5.4 GHz, (e) 5.5 GHz, (f) 5.6 GHz, (g) 5.7 GHz, (ğ) 5.8 GHz, (h) 5.9 GHz, (ı) 6 GHz

Şekil 4.68-4.69' da x-y düzlemine dik dört elemanlı doğrusal dizine ait VSWR ve $\theta=90$, $\phi = 0$ 'daki ışıma örüntüsü grafikleri yer almaktadır.



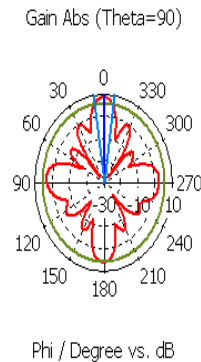
Şekil 4.68: x-y Düzlemine Dik Yerleştirilmiş 4 Adet Vivaldi Anten İle Ölçümü Yapılan Düzgün Doğrusal Dizinin VSWR Grafiği



farfield (f=5) [f5.5]

Frequency = 5
 Main lobe magnitude = 9.8 dB
 Main lobe direction = 0.0 deg.
 Angular width (3 dB) = 18.6 deg.
 Side lobe level = -6.8 dB

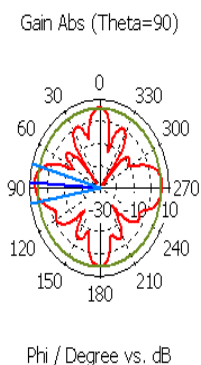
(a) 5 Ghz



farfield (f=5.1) [f5.5]

Frequency = 5.1
 Main lobe magnitude = 8.3 dB
 Main lobe direction = 0.0 deg.
 Angular width (3 dB) = 17.9 deg.
 Side lobe level = -2.6 dB

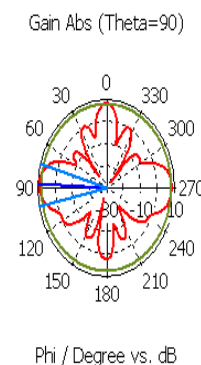
(b) 5.1 Ghz



farfield (f=5.2) [f5.5]

Frequency = 5.2
 Main lobe magnitude = 6.9 dB
 Main lobe direction = 86.0 deg.
 Angular width (3 dB) = 25.5 deg.
 Side lobe level = -1.3 dB

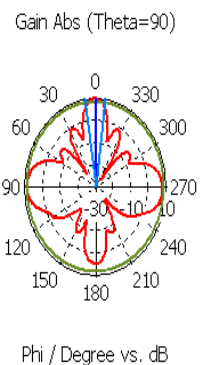
(c) 5.2 Ghz



farfield (f=5.3) [f5.5]

Frequency = 5.3
 Main lobe magnitude = 9.0 dB
 Main lobe direction = 87.0 deg.
 Angular width (3 dB) = 27.3 deg.
 Side lobe level = -1.2 dB

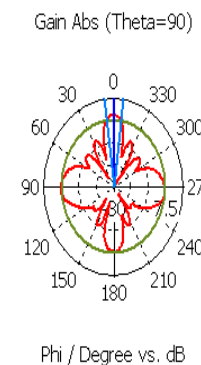
(ç) 5.3 Ghz



farfield (f=5.4) [f5.5]

Frequency = 5.4
 Main lobe magnitude = 9.6 dB
 Main lobe direction = 0.0 deg.
 Angular width (3 dB) = 16.1 deg.
 Side lobe level = -1.2 dB

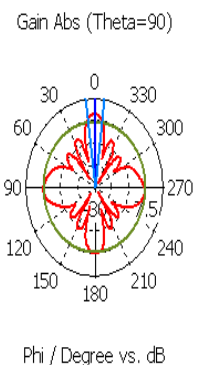
(d) 5.4 Ghz



farfield (f=5.5) [f5.5]

Frequency = 5.5
 Main lobe magnitude = 10.4 dB
 Main lobe direction = 0.0 deg.
 Angular width (3 dB) = 16.0 deg.
 Side lobe level = -2.9 dB

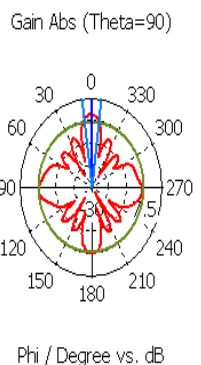
(e) 5.5 Ghz



farfield (f=5.6) [f5.5]

Frequency = 5.6
 Main lobe magnitude = 11.0 dB
 Main lobe direction = 0.0 deg.
 Angular width (3 dB) = 15.5 deg.
 Side lobe level = -3.8 dB

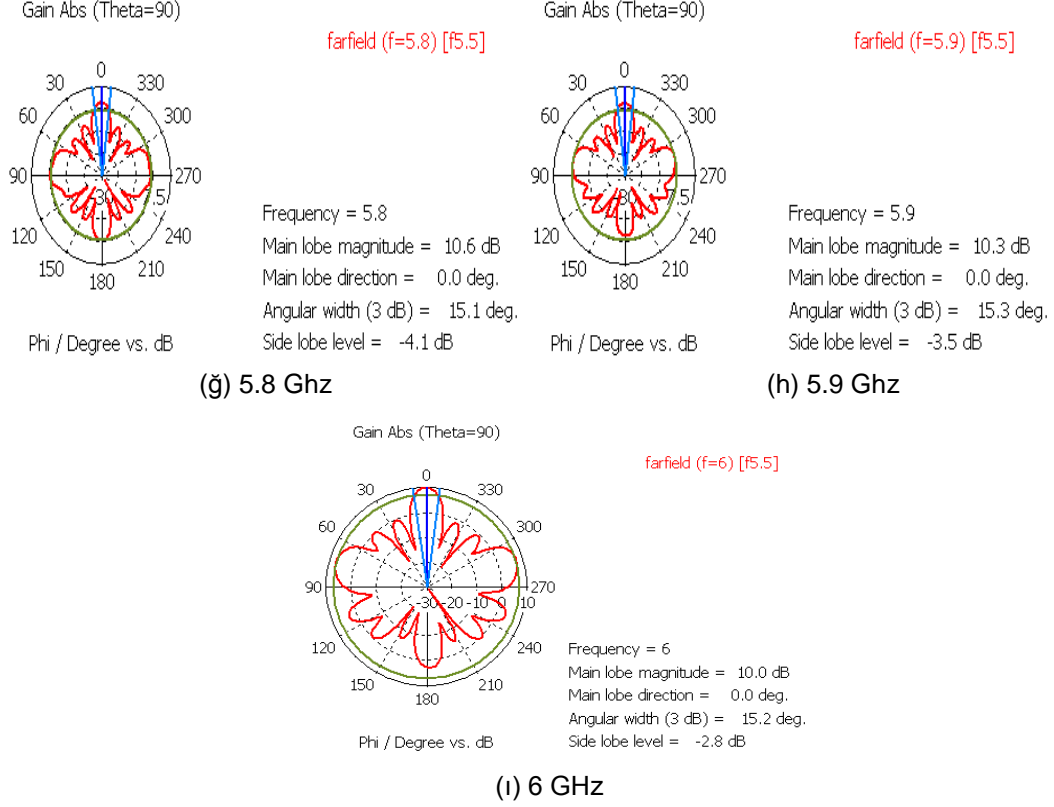
(f) 5.6 Ghz



farfield (f=5.7) [f5.5]

Frequency = 5.7
 Main lobe magnitude = 10.9 dB
 Main lobe direction = 0.0 deg.
 Angular width (3 dB) = 15.1 deg.
 Side lobe level = -3.8 dB

(g) 5.7 Ghz

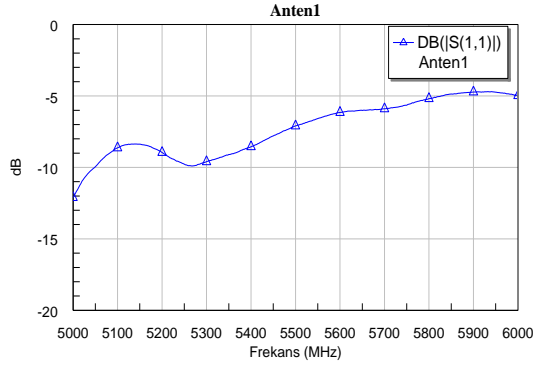


Şekil 4.69: x-y Düzlemine Dik Yerleştirilmiş 4 Adet Vivaldi Anten İle Ölçümü Yapılan Düzgün Doğrusal Dizinin Işıma Örüntüsü (a) 5 GHz, (b) 5.1 GHz, (c) 5.2 GHz, (ç) 5.3 GHz, (d) 5.4 GHz, (e) 5.5 GHz, (f) 5.6 GHz, (g) 5.7 GHz, (ğ) 5.8 GHz, (h) 5.9 GHz, (ı) 6 GHz

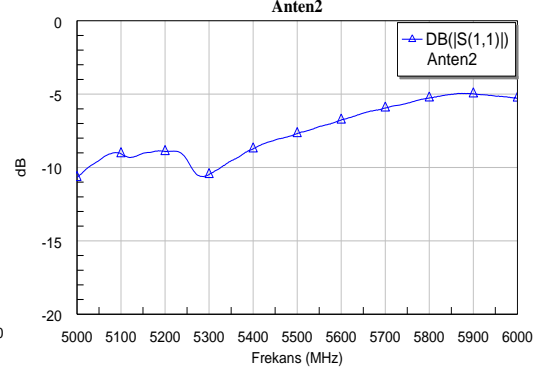
E. Ölçüm Sonuçları

Ölçümü yapılacak Vivaldi antenleri beslemek üzere Wilkinson güç bölücü tasarımı yapılmıştır. Bu konuda yapılan çalışma EK-B' de yer almaktadır. 4 antene ait S(1,1) ve 4 elemanlı doğrusal diziye ait VSWR grafiği Şekli4.70 ve Şekil 4.71' dedir.

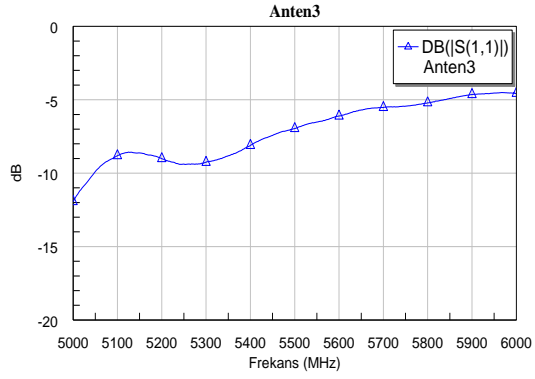
Şekil 4.72-4.73' de ise tek vivaldi antene ve doğrusal dizilere ait 5, 5.5 ve 6 GHz ölçümü yapılan ışım örüntüsü grafikleri yer almaktadır.



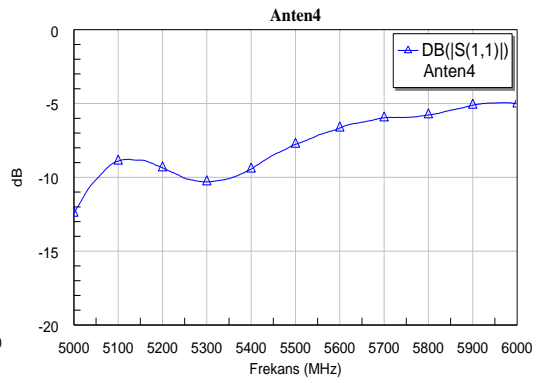
(a) Anten Nu : 1



(b) Anten Nu : 2

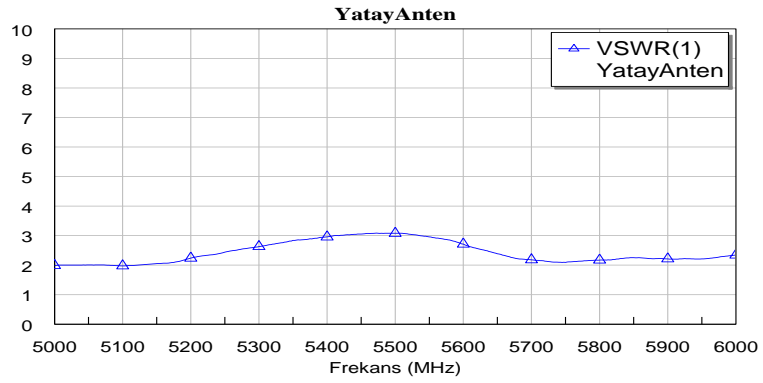


(c) Anten Nu : 3

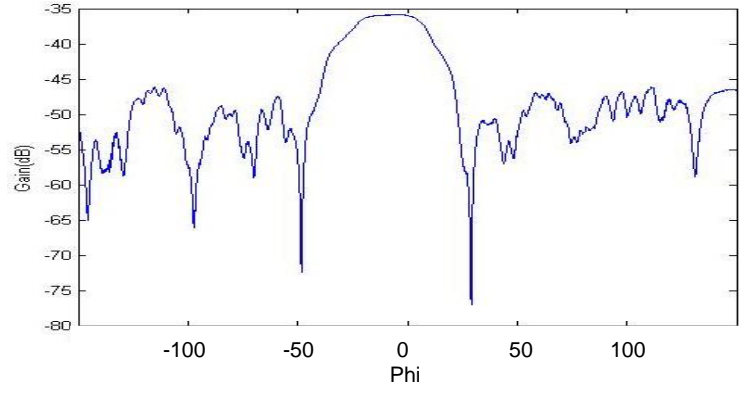


(ç) Anten Nu : 4

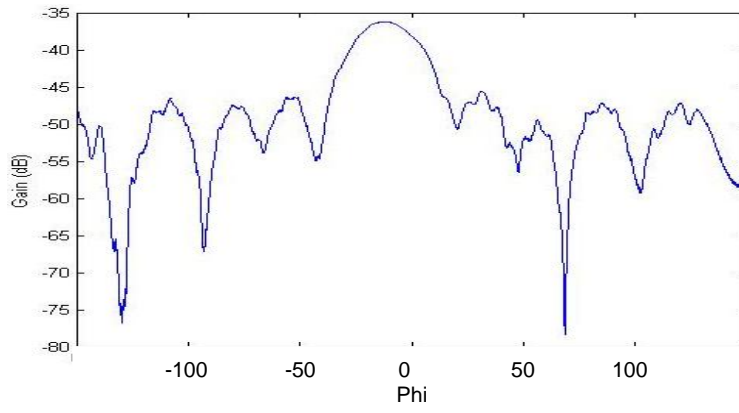
Şekil 4.70: Antenlerin S(1,1) Grafikleri



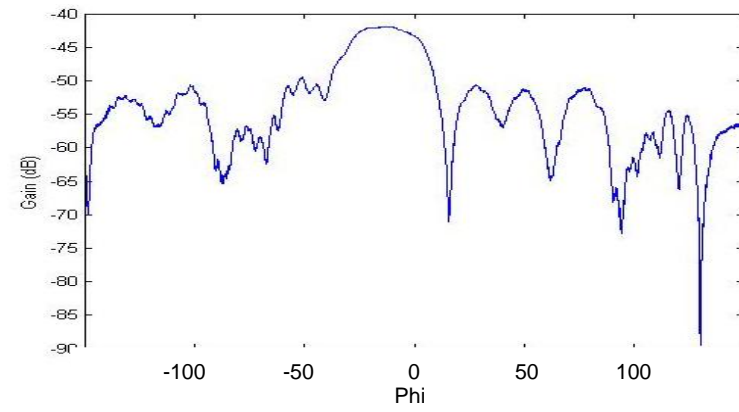
Şekil 4.71: 4 Elemanlı Doğrusal Dizinin VSWR Grafiği



(a) 5 GHz

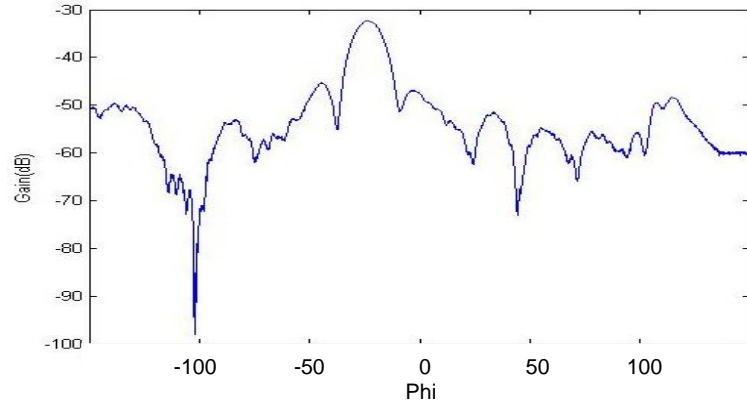


(b) 5.5 GHz

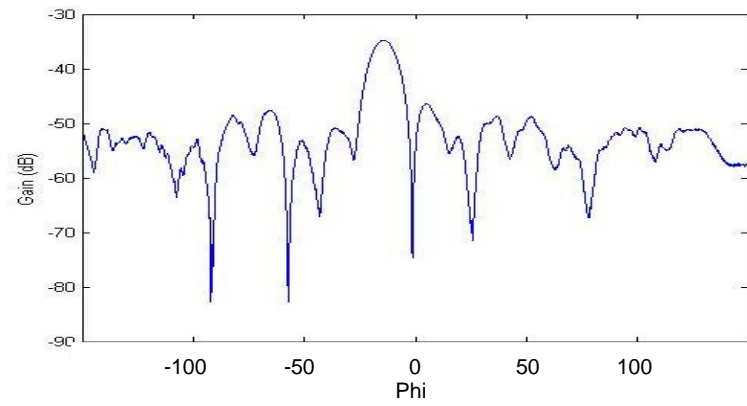


(c) 6 GHz

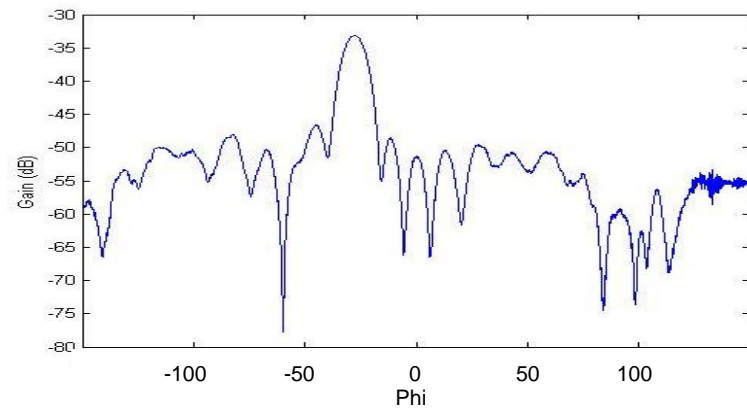
Şekil 4.72: Tek Vivaldi Antenin Işıma Örüntüsü (a) 5 GHz, (b) 5.5 GHz, (c) 6 GHz



(a) 5 GHz

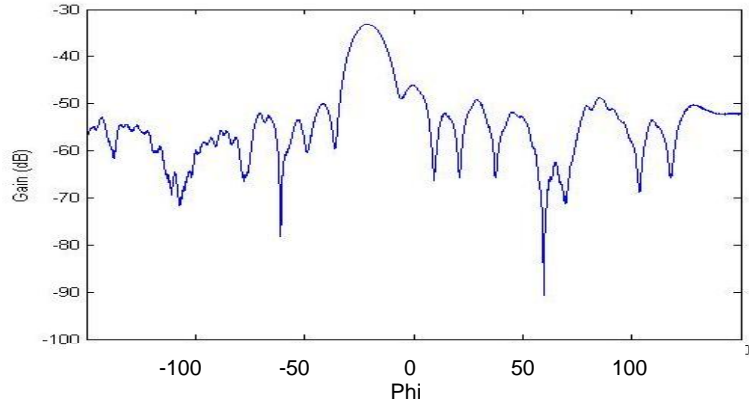


(b) 5.5 GHz

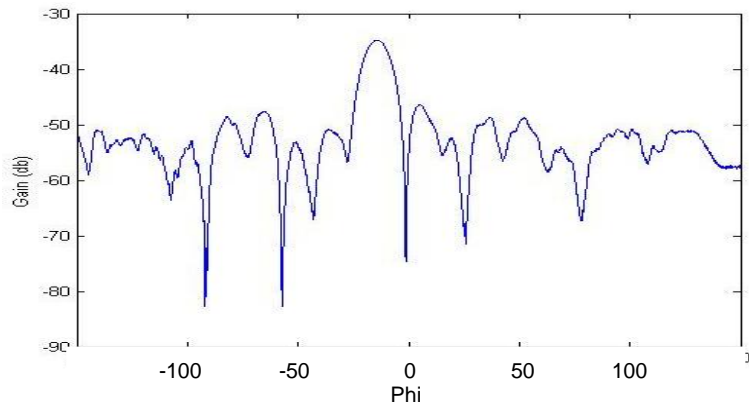


(c) 6 GHz

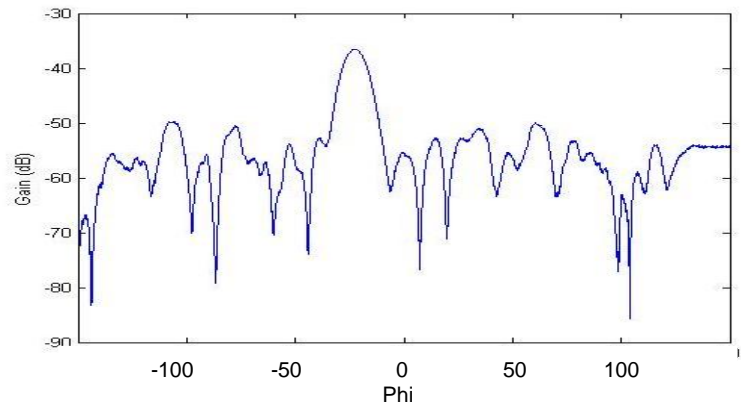
Şekil 4.73: 4 Elemanlı Doğrusal Dizinin Işıma Örüntüsü (a) 5 GHz, (b) 5.5 GHz, (c) 6 GHz



(a) 5 GHz



(b) 5.5 GHz



(c) 6 GHz

Şekil 4.74: x-y Düzlemine Dik Yerleştirilmiş 4 Elemanlı Doğrusal Dizinin Işıma Örüntüsü (a) 5 GHz, (b) 5.5 GHz, (c) 6 GHz

Işıma örüntüsü ölçümlerindeki kazanç değeri, alıcı antenin kazanç değeri göz önünde tutulmaksızın Network Analizör'den alınan ham verilerdir. Ölçüm sisteminde alıcı anteni hareket ettiren sistem ile ölçümü yapılan anten platformu arasındaki senkronizasyonun sağlanamaması nedeniyle ışımaya örüntüsü sola doğru kaymıştır. Örüntü ölçümü yanca düzlemde -150- + 150 dereceleri arasında yapılmıştır.

Tek bir antenin S(1,1) grafikleri ile benzetimi yapılan Vivaldi antenin VSWR grafiği karşılaştırıldığında çalışma bandının sonlarında görülen artış, taban malzemesinin dielektrik sabitinin frekansla değişiminin benzetimlerde gözardı edilmesinden kaynaklandığı değerlendirilmektedir. 4 elemandan oluşan yatay doğrusal dizinin başına eklenen Wilkinson güç bölücü ile yapılan VSWR ölçümünün ise benzetim sonuçlarından daha iyi olduğu görülmektedir.

Ölçümü yapılan Vivaldi antenin ışımaya örüntülerine ait benzetim ile ölçüm sonuçları karşılaştırıldığında HPBW, ışımaya örüntüsü ve yan kulakçık bastırma seviyelerinin benzer olduğu görülmektedir.

V. SONUÇLAR VE TEKLİFLER

A. Sonuçlar

Tez kapsamında, öncelikle 450 MHz' de anten elemanı olarak dipol kullanılan düzgün dairesel dizi üzerine çalışılmıştır. 8 elemanlı dizinin yarıçapı 0.53, 0.84 ve 1.05 metre olacak şekilde ışımaya örüntüleri elde edilmiştir. Eleman sayısı sabit olacak şekilde dairesel dizinin yarıçapı artırıldığında HPBW 'in azaldığı fakat yan kulakçık sayısının ve seviyesinin arttığı gözlemlenmiştir

0.53 ve 1.05 metre yarıçaplı dizinin eleman sayısı sıra ile 8, 12 ve 16 olacak şekilde dizeye ait ışımaya örüntüleri incelenmiştir. 12 ve 16 elemanlı dizilerde 0.53 metre yarıçapında yanca düzleminde sıfır noktalarının meydana gelmediği görülmüştür. Yarıçap 1.05 m olduğunda ise yanca düzleminde sıfır noktalarının meydana geldiği ve HPBW 'in azaldığı, yan kulakçık seviyelerinin düştüğü ve arka kulakçık seviyelerinin yükseldiği görülmüştür

Sonuç olarak düzgün dairesel dizinin tasarımında hedeflenen ışımaya örüntüsüne elde etmek için dizinin yarıçapı, kullanılacak eleman sayısı ve tek bir elemana ait ışımaya örüntüsü göz önünde bulundurulmalıdır.

Geniş bantlı bir anten olan üçgen antenin parametrik değerleri üzerine benzetimler yapılmış olup, kenar uzunluğunun çalışma frekansını belirleyen en önemli etken olduğu sonucuna varılmıştır.

Çınlama frekansı 450 MHz olan üçgen anten ile 8 elemanlı düzgün dairesel diziler oluşturulmuş ve yarıçap değişiminin ışımaya örüntüsü üzerine etkileri incelenmiştir. 0.53, 0.84 ve 1.05 m için oluşturulan dairesel dizilerde yarıçapı 0.53 m olan dizide 400-550 MHz arasında hedeflenen ışımaya örüntüsüne yakın sonuçlar elde edilmiştir.

Vivaldi antenin tasarımına yönelik literatür çalışmasının ardından CST programı kullanılarak 450-1500 MHz aralığında çalışan $VSWR \leq 3$ olan geniş bantlı Vivaldi antenin tasarımı yapılmıştır. Yapılan benzetimlerde genişleyen yarık hat uzunluğu değişiminin kazanç, açıklık oranı değişiminin VSWR üzerinde daha etkili olduğu sonucuna varılmıştır.

Tasarlanan Vivaldi anten ile 8 elemanlı düzgün dairesel dizi oluşturulduğunda kabul edilebilir ışınma örüntüleri meydana getirilememiştir. Düzgün dairesel dizi ile istenilen ışınma örüntülerinin elde edilememesinden sonra 450-1500 MHz frekans aralığının da 4 ve 6 elemanlı düzgün doğrusal diziler üzerine çalışılmıştır. 6 elemanlı düzgün doğrusal dizi ile HPBW 'i dar, kazancı yüksek geniş bantlı ışınma örüntüleri meydana getirilmiştir.

450-1500 MHz arasında düzgün dairesel diziler ile sağlanamayan 360° 'lik kaplamanın, benzetimleri yapılan 6 elemanlı düzgün doğrusal diziler ile oluşturulacak üçgen veya kare dizilerle oluşturulabileceği görülmüştür.

6 elemanlı düzgün doğrusal diziler ile x-y düzlemine paralel ve dik olmak üzere iki benzetim yapılmış olup, tasarlanan Vivaldi anten ile iki boyutlu düzlemsel dizilerin farklı uygulamalarda kullanılabileceği değerlendirilmektedir.

Ölçümü yapılan Vivaldi antenin benzetim sonuçları ile ölçüm sonuçları karşılaştırıldığında HPBW, ışınma örüntüsü ve yan kulakçık bastırma seviyelerinin benzer olduğu görülmektedir.

B. Teklifler

İleride yapılması düşünülen çalışmalarda,

1. Daha düşük dielektrik sabiti olan ve farklı kalınlıklara sahip taban malzemeleri ile 450-1500 MHz arasında çalışan boyutları daha küçük Vivaldi anten tasarımının yapılması,

2. Tasarımı yapılan daha küçük boyutlu Vivaldi antenler ile eş merkezli (concentric) dairesel diziler üzerine çalışılması,

3. Eğri bir yüzey üzerine yerleştirilmiş geniş bantlı anten elemanlarıyla dizi anten (conformal array) tasarımları üzerinde incelemeler yapılması

önerilmektedir.

KAYNAKLAR

1. Yakup Erdoğan, "Parametric Study And Design Of Vivaldi Antennas And Array" Ms. Thesis, Middle East Technical University, March 2009
2. M.K.A.Rahim,M.Z.A.Abdul Aziz, C.S.Goh, "Bow-tie Microstrip Antenna Design", IEEE 1-4244, May 2005.
3. Sevda Balk, "Üçgen Antenlerin Analizi", Yük.Lis.Tezi, Hacettepe Üniversitesi, 2008.
4. Joon Shin and H.Schaubert, "A Parameter Study of Stripline-fed Vivaldi Notch-Antenna Arrays", IEEE Transactions On Antennas And Propagation, vol.47, no.5, May 1999.
5. Ramakrishna Janaswamy and H.Schaubert, "Analysis Of The Tapered Slot Antenna", IEEE Transactions On Antennas And Propagation, vol.AP-35, no.9, September 1987.
6. Ehud Gazit, "Improved Design Of The Vivaldi Antenna", IEEE Proceedings, vol.135, Pt.H, No.2, April 1988.
7. Bernd Schuppert, "Microstrip/Slotline Transitions: Modeling And Experimental Investigation", IEEE Transactions On Microwave Theory and Techniques, vol.36, no.8, August 1988.
8. M.M. Zinieris, R. Sloan and L.E. Davis, "A Broadband Microstrip To Slotline Transition", Microwave And Optical Technology Letters, vol.18, no.5, August 1998.
9. Gibson, P.J., "The Vivaldi aerial," Proc. 9th European Microwave Conference, pp. 103-105, 1979.

10. Brain C. Wadell, "Transmission Line Design Handbook", Artech House, 1991.
11. Yazhou Wang, Aly E. Fathy, "Design Of A Compact Tapered Slot Vivaldi Antenna Array For See Through Concrete Wall UWB Applications", University Of Tennesseei Knoxville, USA.
12. C.A. Balanis, Antenna Theory: Analysis And Design, John Wiley & Sons, New Jersey, 3rd edition, 2005.
13. D.Pozar and B. Kaufman, "Design Considerations For Low Sidelobe Microstrip Arrays", IEEE Transactions On Antennas And Propagation, vol.38, no.8, August 1990.
14. Abdelnasser A.Eldek, Atef Z.Elsherbeni and Charles E.Smith "Wideband-Fed Printed Bow-tie Antenna For Phased-Array Systems", Microwave and Optical Technology Lettersi vol.43, no.2, October 2004.
15. K.W.Lo, S.Uysal, M.S.Leong, "Design Of A Wideband Microstrip Bowtie Patch Antenna", IEE Proc.-Microw. Antennas Propag., vol.145, No.2, April 1998.
16. Raviprakash Rajaraman, "Design Of A Wideband Vivaldi Antenna Array For The Snow Radar", Ms. Thesis, University Of Kansas,2001.
17. Advanced circuit materials - Technical Tips, Rogers Corporation website, <http://www.rogerscorporation.com/mwu/techindx.htm>
18. High Speed Board Layout Guidelines httpwww.altera.com/literature/hb/stx2/stx2_sii52012.pdf, Altera Corp, May 2007.
19. Robert S. Elliot "Antenna Theory And Design", Prentice Hall, 1981.

20. T.Rahim and D.E.N.Davies, "Effect Of Directional Elements On The Directional Response Of Circular Antenna Arrays", IEE PROC., vol.129, Pt.H,No.1, February 1982.
21. C.M. Tan, M. Landmann, A.Richter, L.Pesik, M.A. Beach, "On The Applications Of Circular Arrays In Direction Finding Part II : Experimental Evaluation On SAGER With Different Circular Arrays" 1.st Annual COST 273 Workshop,Finland,29-30 May 2002.
22. Sener Uysal, "Bowtie Patch Antennas And Simple Arrays For Wireless Indoor Communications" IEEE Transactions On Microwave Theory and Techniques, vol.47, no.6, June 1999.
23. Yoon-Won Kang and David Pozar, "Correction Of error In Reduced Sidelobe Synthesis Due To Mutual Coupling", IEEE Transactions On Antennas And Propagation, vol.Ap-33, no.9,September 1985.
24. F. Belfori, S.Monni, Wim Van Rossum and P.Hoogeboom, "Mutual Coupling Compensation Applied To a Uniform Circular Array", Delft University Of Technology.
25. Tao Su, Kapil Dandekar and Hao Ling, "Simulation Of Mutual Coupling Effect In Circular Arrays For Direction Finding Applications", Microwave and Optical Technology Letters, vol.26, no.5, September 2000.
26. Hans Steyskal and Jeffrey Herd, "Mutual Coupling Compensation In Small Array Antennas", IEEE Transactions On Antennas And Propagation, vol.38, no.12, December 1990.
27. David Pozar, "Microwave Engineering", John Wiley, Second Edition,1999

EKLER

EK-A : ROGER DUROİD 5880 VE 4003 ÖZELLİKLERİ

EK-B : WİLKİNSON GÜÇ BÖLÜCÜ