

MİLLÎ SAVUNMA ÜNİVERSİTESİ
HEZÂRFEN HAVACILIK VE UZAY TEKNOLOJİLERİ ENSTİTÜSÜ

**SEZGİSEL OPTİMİZASYON TEKNİKLERİYLE X-BANT RADAR DİZİ
ANTEN TASARIMI**



YÜKSEK LİSANS TEZİ

Emre HANBAY

Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı Başkanlığı

Elektronik Harp Programı

HAZİRAN 2019



**MİLLÎ SAVUNMA ÜNİVERSİTESİ
HEZÂRFEN HAVACILIK VE UZAY
TEKNOLOJİLERİ ENSTİTÜSÜ**



**SEZGİSEL OPTİMİZASYON TEKNİKLERİYLE X- BANT RADAR DİZİ
ANTEN TASARIMI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Emre HANBAY
4171105**

Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı Başkanlığı

Elektronik Harp Programı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. M. Emre AYDEMİR

HAZİRAN 2019

Milli Savunma Üniversitesi Hezârfen Havacılık ve Uzay Teknolojileri Enstitüsünün 4171105 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Emre HANBAY**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra Doç. Dr. M. Emre AYDEMİR danışmanlığında hazırladığı “**SEZGİSEL OPTİMİZASYON TEKNİKLERİYLE X-BANT RADAR DİZİ ANTEN TASARIMI**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı: **Doç. Dr. M. Emre AYDEMİR**
Esenyurt Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Ahmet Serdar TÜRK**
Yıldız Teknik Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Gökhan ALTIN
Milli Savunma Üniversitesi

Teslim Tarihi : 09 Temmuz 2019
Savunma Tarihi: 18 Haziran 2019



Bu tez çalışmasında belirtilen görüş ve yorumlar yazara aittir. Türk Silahlı Kuvvetleri'nin ya da diğer kamu kuruluşlarının görüşlerini yansıtmaz. Ayrıca bu tez çalışması bilimsel ahlak ve etik değerlere uygun olarak yazılmış olup, yararlanılan tüm eserler kaynaklarda gösterilmiştir.

Haziran 2019

Emre HANBAY





Sevgili Eşim Hazal Ezgi ve Biricik Bebeğimiz Eylül Ada HANBAY’a,



ÖNSÖZ

Teknolojik gelişmeler günümüz muharebe şartlarında üstünlük yaratacak en önemli faktör olmuştur. Muharebe alanlarında kullanılan silahlar ve sistemler, taktik görevlere yönelik yüksek teknoloji ürünü olarak etkin bir caydırıcı güç unsurudur. Özellikle hedef tespit, haberleşme ve uzaktan algılama sistemlerinde meydana gelen yenilikler, teknolojik üstünlüğün vazgeçilmez bir parçası olmayı başarmıştır. Yoğun bir sinyal kirliliğinin ve girişimin olduğu muharebe sahasında elektromanyetik spektrumu dost unsurlarca etkin şekilde kullanmayı hedeflerken, düşmanın kullanımını engellemek maksadıyla tasarlanan sistemler ve bu sistemleri oluşturan bileşenler sayesinde savaş alanlarında üstünlük sağlamak çok daha kolay hale gelmektedir. Bu kapsamda, başta hedef tespit ve takip sistemleri, askeri haberleşme sistemleri, uydu ve uzaktan algılama sistemleri olmak üzere birçok alanda etkin anten tasarımları elektronik sistemlerin en kritik parçası haline gelmiştir. Sistem gereksinimlerini karşılayacak ve sahada üstünlük yaratacak sistem elemanları araştırmacıların üzerinde yoğun olarak çalıştığı alan olarak karşımıza çıkmaktadır.

Tez çalışmam süresi boyunca, mikroşerit anten dizileri ve radar sistemleri gibi önemli bir konuda gerek tecrübesi gerekse de bilgileri ile bana yardımcı olan ve her konuda yol gösteren çok değerli tez danışmanım Sn. Doç. Dr. Mustafa Emre AYDEMİR'e, tüm öğrencilerin sorunlarını büyük bir ilgiyle çözüme ulaştıran ve etkin bir akademik çalışma imkânı sağlayan tüm Hezârfen Havacılık ve Uzay Teknolojileri Enstitüsü personeline, bu zorlu süreçte sabır ve hoşgörü ile desteğini esirgemeyen, hayatımın en büyük değerleri olan Sevgili Eşim Hazal Ezgi HANBAY ve bebeğimiz Eylül Ada HANBAY'a göstermiş oldukları sabır ve anlayışları nedeniyle sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Haziran 2019

Emre HANBAY

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	ix
İÇİNDEKİLER.....	xi
KISALTMALAR	xv
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xvii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xix
ÖZET.....	xxiii
SUMMARY.....	xxv
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Tezin Amacı	3
1.2 Literatür Araştırması	4
1.3 Hipotez	5
2. ANTEN PARAMETRELERİ.....	7
2.1 Anten Polarizasyonu	7
2.2 Işıma Güç Yoğunluğu	9
2.3 Işıma Şiddeti Yoğunluğu.....	9
2.4 Yönlendiricilik Kazancı	10
2.5 Yönlendiricilik.....	10
2.6 Güç Kazancı	10
2.7 Anten Işıma Direnci.....	11
2.8 Anten Işıma Verimliliği	11
2.9 Etkin Anten Alanı	12
2.10 Anten Yansıma Katsayısı	13
2.11 Anten Gerilim Duran Dalga Oranı.....	13
2.12 Geri Dönüş Kaybı	13
2.13 Frekans Bant Genişliği.....	14
3. MİKROŞERİT ANTENLER	15
3.1 Mikroşerit Antenler Hakkında Genel Bilgi	15
3.2 Mikroşerit Antenlerin Avantajları ve Dezavantajları.....	18
3.3 Mikroşerit Anten Çeşitleri.....	19
3.3.1 Mikroşerit yama antenler	19
3.3.2 Baskılı dipol antenler	20
3.3.3 Mikroşerit boşluk (yarık) antenler	21

3.3.4 Mikroşerit yürüyen dalga antenler	21
3.4 Mikroşerit Anten Besleme Şekilleri	22
3.4.1 Mikroşerit besleme	23
3.4.2 Koaksiyel besleme	23
3.4.3 Yakınlık kuplajlı besleme	24
3.4.4 Açıklık Kuplajlı Besleme	25
4. VİVALDİ ANTENLER.....	27
4.1 Vivaldi Anten Çeşitleri	27
4.1.1 Eş Düzlemli Vivaldi anten	28
4.1.2 Antipodal Vivaldi anten.....	29
4.1.3 Antipodal dengelenmiş Vivaldi anten.....	29
4.2 Vivaldi Antenin Avantaj ve Dezavantajları	30
4.2.1 Vivaldi antenin avantajları	30
4.2.2 Vivaldi antenin dezavantajları.....	31
5. ANTEN DİZİLERİ.....	33
5.1 Dizi Antenler Genel Bilgi	33
5.2 N Elemanlı Doğrusal Anten Dizisi	34
5.3 Düzlemsel Anten Dizisi	37
6. GENETİK ALGORİTMALAR	41
6.1 Genetik Algoritmanın Yapısı	42
6.2 Genetik Algoritmaların Gösterim Şekli	44
6.2.1 Başlangıç popülasyonunun oluşturulması.....	44
6.2.2 Uygunluk fonksiyonu ve amaç fonksiyonu.....	45
6.2.3 Seçim	45
6.2.4 Çaprazlama.....	45
6.2.5 Mutasyon.....	46
6.3 Vibrasyonel Genetik Algoritmalar	46
7. ANTEN TASARIMI.....	49
7.1 Mikroşerit Yama Anten Tasarımı	49
7.2 Vivaldi Anten Tasarımı.....	56
8. DİZİ ANTEN TASARIMI	63
8.1 Mikroşerit Yama Anten Dizisi Tasarımı.....	63
8.2 Vivaldi Dizi Anten Tasarımı	73
8.3 Anten Üretimi ve Ölçüm Sonuçları	74
9. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	81
KAYNAKLAR.....	83
ÖZGEÇMİŞ	86





KISALTMALAR

AC	: Alternating Current (Alternatif Akım)
BG	: Bant Genişliği
CST	: Computer Simulation Technology
GA	: Genetic Algorithm (Genetik Algoritma)
VGA	: Vibrational Genetic Algorithm (Vibrasyonel Genetik Algoritma)
dB	: Desibel
dBİ	: Desibel İzotropik
EC	: Equivalent Circuit (Eşdeğer Devre)
EM	: Elektromanyetik
FDTD	: Finite Difference Time Domain (Zamanda Sonlu Farklar)
FEM	: Finite Element Method (Sonlu Elemanlar Metodu)
YAR	: Yapay Açıklıklı radar
FSY	: Frekans Seçici Yüzey
VNA	: Vector Network Analyzer (Vektörel Ağ Analizör)
SLL	: Side Lobe Levels (Yan Huzme Seviyesi)
MoM	: Method of Moments (Momentler Metodu)
TSA	: Taperd Slot Antenna (Konik Oluklu Anten)
MTM	: Metamaterial (Metamateryal)
PEC	: Perfect Electric Conductor (Mükemmel Elektrik İletkeni)
RADAR	: Radio Detecting and Ranging (Radyo Algılama ve Menzil Tayini)
TE	: Transverse Electric (Elektrik İletimi)
TM	: Transverse Magnetic (Manyetik İletimi)
VSWR	: Voltage Standing Wave Ratio (Gerilim Duran Dalga Oranı)



ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 3.1 : Mikroşerit Anten Çeşitlerinin Karşılaştırılması [39].	22
Çizelge 3.2 : Mikroşerit antenlerin farklı besleme şekillerinin karşılaştırması.	26
Çizelge 7.1 : Mikroşerit yama anten tasarımında hesaplanan parametre değerleri.	51
Çizelge 7.2 : Mikroşerit yama anten tasarımında hesaplanan parametre değerleri.	54
Çizelge 7.3 : Önerilen Vivaldi antenin optimal parametre değerleri.	60
Çizelge 8.1 : Farklı eleman sayılarında mikroşerit yama anten dizisi için VGA ile elde edilen her bir elemanın akım ağırlıkları ve dizi elemanları arası mesafe.	65
Çizelge 8.2 : GA ile Optimize Edilmiş Anten Elemanlar Arası mesafe ve Akım Genlik Uyarım Değerleri.....	74



ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1 : Doğrusal Polarizasyon.	7
Şekil 2.2 : Dairesel Polarizasyon.	8
Şekil 2.3 : Eliptik Polarizasyon.	8
Şekil 3.1 : Mikroşerit yama anten yapısı.	16
Şekil 3.2 : Mikroşerit yama anten için temel yama şekil örnekleri.	17
Şekil 3.3 : Mikroşerit yama anten ışıma gösterimi.	18
Şekil 3.4 : Mikroşerit Dipol Anten.	20
Şekil 3.5 : Mikroşerit boşluk (yarık) anten çeşitleri.	21
Şekil 3.6 : Mikroşerit yürüyen dalga anten çeşitleri.	22
Şekil 3.7 : Mikroşerit hat besleme.	23
Şekil 3.8 : Koaksiyel besleme.	24
Şekil 3.9 : Yakınlık Kublajlı besleme.	24
Şekil 3.10 : Açıklık kublajlı besleme.	25
Şekil 4.1 : Eş düzlemlı Vivaldi anten.	28
Şekil 4.2 : Antipodal Vivaldi anten.	29
Şekil 4.3 : Dengelenmiş antipodal Vivaldi anten.	30
Şekil 5.1 : Farklı tipte anten dizileri.	34
Şekil 5.2 : Z eksenı üzerine yerleştirilmiş özdeş elemanlardan oluşan doğrusal anten dizisi [2].	35
Şekil 5.3 : Z ekseninde dizilmiş özdeş kaynaklardan oluşan N elemanlı dizinin fazör diyagramı [43].	36
Şekil 5.4 : Düzlemsel anten dizisi [43].	37
Şekil 5.5 : Düzlemsel anten dizisi örnekleri.	38
Şekil 5.6 : Bir anten dizisinin beslenme şekli.	39
Şekil 6.1 : Genetik algoritmalar akış şeması.	43
Şekil 6.2 : İkili kodlu sistemde dizilim.	44
Şekil 7.1 : (a) 2,45 GHz’ de çalışan mikroşerit yama anten yapısı (b) Mikroşerit anten yapısı ön yüzeyi.	51
Şekil 7.2 : (a) Geri dönüş kaybı(S11) (b) Mikroşerit yama anten gerilim duran dalga oranı (VSWR).	52
Şekil 7.3 : 2.45 GHz çalışma frekansında tasarlanan mikroşerit yama antenin uzak alan yönlülük ışıma örüntüsü.	53
Şekil 7.4 : (a) 9 GHz’ de çalışan mikroşerit yama anten yapısı (b) Mikroşerit anten yapısı ön yüzeyi.	53

Şekil 7.5 : (a) Geri dönüş kaybı (S11) (b) Mikroşerit yama anten gerilim duran dalga oranı (VSWR).	55
Şekil 7.6 : 9,26 GHz çalışma frekansında tasarlanan mikroşerit yama antenin uzak alan yönlülük ışıma örüntüsü.	56
Şekil 7.7 : Önerilen Vivaldi antenin tasarım şekli ve parametreleri.	57
Şekil 7.8 : Önerilen Vivaldi anten tasarımı (a) ön yüzeyi (b) arka yüzeyi.....	59
Şekil 7.9 : Geri dönüş kaybı (S11).....	61
Şekil 7.10 : Gerilim duran dalga oranı (VSWR).....	61
Şekil 7.11 : Önerilen Vivaldi Anten Yapısının (a) 8 GHz (b) 10 GHz (c) 12 GHz (d) 14 GHz ‘de Uzak Alan Işıma Örüntüsü.	61
Şekil 8.1 : Z-ekseni boyuca düzgün dağılımlı d mesafesi aralıklarla yerleştirilmiş dizi anten yapısı.	63
Şekil 8.2 : (a) GA performans grafiği (b) VGA performans grafiği	65
Şekil 8.3 : (a) 2,45 GHz çalışma frekansında anten elemanları arası mesafe $0,815\lambda$ ve optimize edilmiş farklı akım genlik uyarımlı mikroşerit yama anten dizisinin (16x1) ışıma örüntüsü, (b) polar gösterim şekli ve (c) uzak alan yönlülük ışıma örüntüsü.....	66
Şekil 8.4 : (a) 9,2 GHz çalışma frekansında anten elemanları arası mesafe $\lambda/2$ ve eşit akım genlik uyarımlı mikroşerit yama anten dizisinin (8x1) ışıma örüntüsü, (b) polar gösterim şekli ve (c) uzak alan yönlülük ışıma örüntüsü.	68
Şekil 8.5 : (a) 9,2 GHz çalışma frekansında anten elemanları arası mesafe $0,614\lambda$ ve optimize edilmiş farklı akım genlik uyarımlı mikroşerit yama anten dizisinin (8x1) ışıma örüntüsü, (b) polar gösterim şekli ve (c) uzak alan yönlülük ışıma örüntüsü.....	69
Şekil 8.6 : (a) 9,2 GHz çalışma frekansında anten elemanları arası mesafe $0,815\lambda$ ve optimize edilmiş farklı akım genlik uyarımlı mikroşerit yama anten dizisinin (16x1) ışıma örüntüsü, (b) polar gösterim şekli ve (c) uzak alan yönlülük ışıma örüntüsü.....	70
Şekil 8.7 : (a) 9,2 GHz çalışma frekansında anten elemanları arası mesafe $0,894\lambda$ ve optimize edilmiş farklı akım genlik uyarımlı mikroşerit yama anten dizisinin (32x1) ışıma örüntüsü, (b) polar gösterim şekli ve (c) uzak alan yönlülük ışıma örüntüsü.....	71
Şekil 8.8 : (a) 9,2 GHz çalışma frekansında anten elemanları arası mesafe $0,913\lambda$ ve optimize edilmiş farklı akım genlik uyarımlı mikroşerit yama anten dizisinin (48x1) ışıma örüntüsü, (b) polar gösterim şekli ve (c) uzak alan yönlülük ışıma örüntüsü.....	72
Şekil 8.9 : Tasarlanan Düzlemsel Vivaldi Anten Dizisi.....	73
Şekil 8.10 : Önerilen Vivaldi anten dizisinin (a) 10 GHz’de uzak alan ışıma örüntüsü (b) 10 GHz’de GA ile optimize edilmiş yan kulakçık seviyeleri.	74
Şekil 8.11 : Üretimi yapılan 9,26 GHz çalışma frekansında mikroşerit yama anten.	75
Şekil 8.12 : Üretimi yapılan mikroşerit yama antenin simülasyon ve ölçüm sonuçlarının karşılaştırılması.	76

Şekil 8.13 : 9,26 GHz’de 8x1 mikroşerit yama anten dizisi geometrik yapısı.	77
Şekil 8.14 : Üretimi yapılan 8x1 mikroşerit yama anten dizisi.....	77
Şekil 8.15 : Üretilen 8x1 mikroşerit yama anten dizisinin ölçülen S11 parametresi .	78
Şekil 8.16 : Üretimi yapılan Vivaldi anten (a) ön yüzeyi (b) arka yüzeyi.	79
Şekil 8.17 : Simülasyon ve Ölçüm Sonuçlarının Karşılaştırılması.	79





SEZGİSEL OPTİMİZASYON TEKNİKLERİYLE X-BANT RADAR DİZİ ANTEN TASARIMI

ÖZET

Günümüz asimetrik ve simetrik savaş ortamında muharebe sahasını şekillendirmek ve inisiyatifi ele geçirmek teknolojik üstünlüğü etkin bir şekilde kullanarak sağlanmaktadır. Bu yüzden özellikle askeri haberleşme ve radar sistemleri, elektronik harp sistemleri ve hedef tespit ve teşhis sistemleri gibi uygulama alanlarında birçok araştırmalar yapılmaktadır. Yoğun elektromanyetik girişimin ve sinyal kirliliğinin içerisinde gürültüden arındırılmış kaliteli sinyal elde etmek ve bu sinyali faydalı bilgiye dönüştürmek oldukça önemlidir. Bundan dolayı, elektromanyetik sistemlerin temel bileşenlerinden biri olan ve sinyal alıcı/verici birimi olarak ifade edilen anten tasarımları üzerinde yoğun bir şekilde çalışılmıştır. Özellikle geniş bant teknolojisinin avantajlarını kullanabilecek, istenilen yönde ve kazanç değerinde ışıma örüntüsüne sahip ve sistemin diğer birimlerine kolayca entegre olabilecek anten tasarımları gittikçe önem kazanmaktadır.

Baskı devre teknolojisiyle kolayca üretilebilen, düşük maliyetli ve hafif tasarımları gibi avantajları nedeni ile mikroşerit antenler ve dizi anten tasarımları askeri radar ve haberleşme sistemleri için önemli bir çalışma alanı olmuştur. İstenilen frekans bant aralığında çalışabilen, yüksek kazanç ve yönlülüğe sahip anten tasarımları için çeşitli optimizasyon teknikleri kullanılmaktadır. Özellikle elektromanyetik hesaplamalı programlarla matematiksel olarak modellenmesi zor olan çok değişkenli problemlere hızlı bir şekilde çözüm imkanı sunan sezgisel optimizasyon teknikleri oldukça ilgi çekmektedir.

Bu çalışmada, X-bant radar uygulamaları için kullanılmak üzere yüksek kazançlı ve düşük yan huzme seviyesinde mikroşerit yama anten ve özellikle insansız hava araçları üzerinde kolayca kullanılabilecek yapay açıklıklı radar uygulamaları için çok geniş bantlı, yüksek yönlülük ve kazançlı Vivaldi dizi anten tasarımları sunulmuştur. Her bir anten istenilen frekans aralığında çalışabilmesi için anten tasarım parametreleri genetik algoritmalarla optimize edilmiştir. Ayrıca genetik algoritmalar (GA) ile tasarlanan anten elemanları arasındaki mesafe ve akım uyarım genlikleri optimize edilerek antenin düşük yan huzme seviyelerinde istenilen ışıma örüntüsüne sahip olması sağlanmıştır.

Çalışmada tek olarak mikroşerit anten ve Vivaldi anten, dizi olarak ise doğrusal (8, 16, 32 ve 48 elemanlı) mikroşerit dizi anten ve düzlemsel (4x4) Vivaldi anten tasarımları sunulmuştur. Buna göre, öncelikle 2,45 GHz, müteakiben 9,26 GHz frekansında çalışan mikroşerit yama anten parametrelerinin optimizasyonu yapılarak kazanç artırılmıştır. İstenilen S11 parametresi ve ışıma örüntüsü için hesaplamalı elektromanyetik yöntemleri kullanarak GA optimizasyon metodunun performans analizi ve değerlendirmesi yapılmıştır. Daha sonra, mikro şerit yama antenlerden oluşan anten dizisinin parametreleri optimize edilerek düşük yan huzme seviyesi elde edilmiştir. Optimal ışıma örüntüsü elde etmek için 8, 16, 32, 48 elemandan oluşan anten dizileri örnek olarak incelenmiş ve her bir elemanın akım uyarım genlikleri ve elemanlar arası mesafeler analiz edilmiştir. Optimizasyon tekniği olarak GA işlem sürecine titreşimsel yaklaşım eklenerek hesaplama performansı arttırılmıştır. Tasarlanan tekli anten ve dizi anten yapılarının ayrı ayrı ışıma karakterleri incelenmiştir. Alt tabaka olarak piyasada kolayca bulunabilen 1,6 mm kalınlığında

4,3 dielektrik sabitli FR-4 kullanılmıştır. Arzu edilen çalışma frekanslarında tek bir antenin geri dönüş kaybının 10 dB'in altında ve gerilim duran dalga oranının 1,1 seviyelerinde, farklı sayılardaki optimize edilmiş dizi antenlerin ise yan huzme seviyelerinin -30 dB'in altında olduğu görülmüştür. Müteakiben, özellikle mini ve mikro kategorideki keşif uydularında kullanma alanına sahip yapay açıklıklı radar uygulamaları için çok geniş bantta çalışan yüksek kazanç ve yönlülük değerine sahip Vivaldi dizi anten tasarımı sunulmuştur. Önerilen anten yapısı yönlülük, kazanç, geri dönüş kaybı, gerilim duran dalga oranı ve anten verimi gibi bir antenin ışıma karakteristiğini oluşturan parametreleri geliştirmek için modifiye edilmiştir. Öncelikle tek bir anten elemanının tasarım parametreleri GA kullanarak optimize edilmiştir. Optimize edilen Vivaldi anten yapısı 44x49 mm boyutlarında, X-bant(8-12 GHz) ve Ku-bant(12-18 GHz) frekans aralıklarında -10 dB'in altında geri dönüş kaybı (S_{11}) ve yüksek kazanç sunmaktadır. Alt tabaka olarak piyasada kolayca bulunabilen ve yüksek frekanslarında tercih edilen 0,508 mm kalınlığında 2,2 dielektrik sabitli Rogers Duroid RT5880 kullanılmıştır. Yüksek çözünürlüklü yapay açıklıklı radar uygulamalarında kullanılmak üzere optimize edilen anten yapısı düzlemsel dizi anten olarak tasarlanmıştır. Düzlemsel dizi anten (4x4) 16 elemanlı olarak oluşturulmuştur. Belirlenen bant genişliğinde yan huzme seviyelerini (SLL) ve istenmeyen huzmeleri (grating lobes) en aza indirerek kazancı yükseltmek için elemanlar arası mesafe ve akım genlik uyarımları GA ile optimize edilmiştir. Böylece -20 dB seviyeleri altında yan kulakçık seviyesi, çalışma frekansı boyunca ortalama 18 dB kazanç ve 10 GHz 'de en yüksek 19,4 dB anten kazancı elde edilmiştir. Üretimi yapılan anten yapısının ölçüm sonuçları ile simülasyon sonuçları iyi bir eşleşme göstermekte ve yüksek çözünürlüklü YAR uygulamaları için kullanılabileceği kanıtlanmıştır.

X-BAND RADAR ANTENNA ARRAY DESIGN USING HEURISTIC OPTIMIZATION METHODS

SUMMARY

In today's asymmetric and symmetrical warfare environment, shaping the battlefield and taking the initiative is achieved by effectively using technological superiority. For this reason, many researches are carried out especially in areas such as military communication and radar systems, electronic warfare systems and target detection and diagnostic systems. It is very important to obtain quality signal free from noise in the intensive electromagnetic interference and signal pollution and to convert this signal into useful information. Therefore, the antenna design, which is one of the basic components of the electromagnetic systems and which is expressed as a signal transceiver unit, has been studied extensively. Especially, the antenna designs that can use the advantages of broadband technology and which have the radiation pattern in the desired direction and gain, and which can be easily integrated with other units of the system, are becoming more and more important.

Microstrip antennas and array antenna designs have been an important area of work for military radar and communication systems due to their low cost and light weight designs which is easily reproducible with printed circuit technology. Various optimization techniques are used for antenna designs with high gain and versatility that can operate in the desired frequency band. Especially heuristic optimization techniques, which offer a rapid solution to multivariate problems, which are difficult to model mathematically with electromechanical computational programs, are of particular interest.

In this study, microstrip patch antenna and Vivaldi antenna array designs are presented with high gain, high directivity and low side lobe level to be used for X-Band radar applications especially for synthetic aperture radar applications that can be easily used on unmanned aerial vehicles. The antenna design parameters are optimized with genetic algorithms so that each antenna can operate in the desired frequency range. In addition, the distance between the antenna elements designed with genetic algorithms and the current excitation amplitudes were optimized so that the antenna had the desired radiation pattern at low side lobe levels.

In the study, microstrip antenna and Vivaldi antenna as a single, linear (8, 16, 32 and 48 elements) array of microstrip antenna and planar (4x4) Vivaldi antenna designs are presented. According to this, firstly the parameters of the microstrip patch antenna operating at 2,45 GHz and 9,26 GHz frequency were optimized and the gain was increased. As a substrate, FR-4 with a 2,2 dielectric constant and 1,6 mm thickness, which can be easily found on the market has been used. Performance analysis and evaluation of the genetic algorithm method were performed by using computational electromagnetic methods for the desired S11 parameter and radiation pattern. Then, the parameters of the antenna array composed of microstrip patch antennas were optimized and low side lobe level was obtained. In order to obtain an optimized radiation pattern, the antenna arrays consisting of 8, 16, 32, 48 elements were examined for example and the current excitation amplitudes and the distances between the elements were analyzed. Subsequently, Vivaldi array antenna design with high gain and directivity is offered for the application of SAR applications, especially in mini and micro category exploration satellites. The proposed antenna

structure has been modified to improve the parameters that make up the radiation characteristic of an antenna, such as directivity, gain, return loss (S11), voltage standing wave ratio (VSWR), and antenna efficiency. Firstly, the design parameters of a single antenna element are optimized using Genetic Algorithms (GA). The optimized Vivaldi antenna structure in 44x49 mm dimensions offers high antenna gain and return loss (S11) below -10 dB in X-band (8-12 GHz) and Ku-band (12-18 GHz) frequency range. As a substrate, Rogers Duroid 5880 with a 2,2 dielectric constant and 0,508 mm thickness, which can be easily found on the market and preferred at high frequencies, has been used. The antenna structure, which is optimized for use in high resolution synthetic aperture radar applications, is designed as a planar antenna array. The planar antenna array (4x4) is formed with 16 elements. The distance between the elements and the amplitude of current is optimized by GA in order to enhance antenna gain by minimizing side lobe levels (SLL) and the grating lobes in operating band width. In this way, the side lobe level below -20 dB, the average 18 dB gain during the operating frequency and the highest 19,4 dB antenna gain at 10 GHz have been obtained. The measurement and simulation results are in agreement and the proposed antenna has been proven to be suitable for high resolution SAR applications.

1. GİRİŞ

Geçmişten günümüze değişen güvenlik ve savaş stratejileri hiç şüphesiz ki gelişen teknolojiyle şekillenmekte ve açığa çıkan ihtiyaçlar yeni yöntemler bulmaya zorlamaktadır. Coğrafi sınırların neredeyse kaybolduğu günümüz muharebe konseptinde başarıya ulaşmak için hedef hakkında yeterli seviyede bilgi edinilmesi, hedef tespit ve tanımlamasının iyi yapılabilmesi ve bu bilgiyi zamanında doğru yere hızlı bir şekilde aktarılabilmesi teknolojik altyapının muharebe alanına entegrasi ile sağlanabilmektedir. Muharebe sahası kavramının teknolojik gelişmelerle bu denli iç içe olduğu bir dünya düzeninde, insanoğlu sürekli bir arayış içerisinde girmiş, icatlar yapmaya yönelmiş ve bilimsel çalışmaların ışığında teknolojiyi sürekli geliştirmişlerdir.

İlk olarak 1820 yılında Hansa Christian Oersted bir akşam ders için malzemelerini hazırlarken kullandığı pil ile yanında duran pusulanın iğnesinin pilin açık ve kapalı olma durumuna göre değiştiğini görmüştür. Böylelikle elektrik akımı ile manyetizma arasında bir ilişki olduğunu anlamıştır. Ancak bu durumu matematiksel olarak ifade etmeye çalışmamıştır. Daha sonra Fransız fizikçi André-Marie Ampere, akım taşıyan iletkenler arasındaki manyetik kuvvetleri tanımlayan matematiksel formu geliştirmesini sağladı. 1886 yılında İngiliz Fizikçi James Clark Maxwell elektrik yükündeki bir hareketin elektromanyetik alan oluşturduğu kuramı üzerinde çalışmış, var olan tüm ifadeleri basitleştirerek denklemler serisi oluşturmuş ve elektromanyetik dalgaların varlığını ortaya koymuştur. 1888 yılında matematiksel olarak ifade edilen bu kuramın deneysel olarak varlığını Alman Fizikçi Heinrich Hertz koymuştur. 1888 yılında Heinrich Hertz birtakım deneyler serisi ile elektromanyetik dalgaların varlığını ve serbest uzayda belirli uzaklıklar üzerinde hareket edebileceğini kanıtlamıştır. Bu durum hemen sonrasında radyonun icat edilmesinden günümüze kadarki sayısız teknolojik gelişmenin yolunu açmış ve hayatımızın her alanının ayrılmaz bir parçası olmuştur.

Radyo dalgalarının yayımlanması ve gelen dalgaları alması için bir yapı olarak tanımlanan anten kablosuz haberleşmenin en önemli bileşenini oluşturmaktadır. Antenler, göndermede elektrik akımından oluşan enerjiyi elektromanyetik dalgalar olarak yayan, almada ise bunun tersi olarak gelen elektromanyetik dalgaları elektrik

akımına çeviren bileşenlerdir. Antenler sinyal haberleşme ve veri iletişiminin en önemli parçasıdır. Günümüze kadar radyo dalgalarının gerek mesafe gerekse kalite yönünden en iyi şekilde iletimini sağlamak için birçok çalışmalar ve birçok çeşit anten tasarlanmıştır. Antenler kullanım amacına göre, enerjiyi her yöne eşit yayan yönsüz antenler veya diğer yönler nazarın belli bir yönde daha fazla yayım yapan yönlü antenler olarak tasarlanabilirler. Ayrıca kullanım amacına göre farklı polarizasyonda yayım yapan antenler tasarlanabilir. Genel olarak antenler; tel antenler, yürüyen dalga antenleri, açıklık antenler, yansıtıcı antenler, mikroşerit antenler ve log-periyodik şeklinde sınıflandırılabilir. Her bir anten çeşidinin kullanım amaçlarına göre farklı tasarım şekilleri, farklı ışıma karakterleri, üstünlük ve zafiyetleri vardır.

Günümüzde mikroşerit antenler, hafif, baskı devre teknolojisiyle kolay imal edilebilir ve tümleşik mikrodalga sistemlere rahatlıkla entegre olabilmesi sebebiyle geniş kullanım ve araştırma alanına sahip olmuştur. İlk kez 1953 yılında Deschamps tarafından Mikroşerit yama anten kavramı ortaya atıldı [1]. Gutton ve Baissinot daha sonra bir mikroşerit antene patent almışlardır [2]. Howel ve Munson tarafından 1970'lerin başlarında ilk pratik antenler geliştirildi [3], [4]. Bu tarihten günümüze kadar, mikroşerit antenlerin birçok üstünlükleri kullanılarak ve zafiyetlerini azaltarak yapılan araştırma ve geliştirmeler, mikroşerit yama antenlerin geniş bir araştırma dalı olarak ortaya çıkmasına sebep olmuştur. Ayrıca mikroşerit antenlerin dizi anten olarak kullanılması literatürde sıkça kullanılmaktadır.

Dizi antenler, belirli bir yönde daha fazla ışıma yapma ve kazanç artırımı maksadıyla özellikle askeri haberleşme ve radar uygulamalarında, uzaktan algılama sistemlerinde uydu haberleşme teknolojisinde sıklıkla kullanılmaktadır. Anten dizileri genellikle aynı tipteki antenlerin belirli bir mesafe ve geometrik şekle göre bir araya getirilmesiyle oluştururlar. Dizi antenler genel olarak doğrusal, düzlemsel ve dairesel olarak tasarlanırlar. Antenleri dizi şeklinde kullanımı uygulama olarak; huzme şekillendirme ve kazanç artırımı, karıştırmaya karşı istenmeyen yönde sıfırların yerleştirilmesi, elektronik olarak huzme tarama ve hedef takibi gibi uygulamalar şeklinde kullanılabilirler. Dizi antenler istenilen ışıma örüntüsüne ve kullanım maksadına göre farklı metotlarla kullanılabilir. Anten dizilerinin sentezinde ışıma örüntüleri akım genlikleri, faz uyarımlar ve diziyi oluşturan anten elemanları arası mesafenin belirlenmesiyle şekillendirilir. Literatürü incelediğinde, ışıma örüntüsü

şekillendirme uygulamalarında, sıfırların istenilen yere yerleştirilmesi için Schelkunoff yöntemi, tüm ışıma örüntüsünü yaklaşık bir biçimde şekillendirmek için Fourier dönüşüm metodu [5], Woodward-Lawson metodu [6] ve Orchard-Elliot metodu [7] ve son olarak istenmeyen yan huzmelerin bastırılması için Dolph-Chebyshev [8] ve Taylor metodu [9] örnek olarak gösterilebilir.

Gerek anten performansını belirleyen parametreler üzerinde gerekse dizi antenin istenilen ışıma örüntüsüne sahip bir ışıma karakterini belirlemede nümerik yöntemlerin ve klasik optimizasyon tekniklerinin yanı sıra genel çözüme hızlı bir şekilde giden ve en yakın değeri sunan genetik algoritmalar bu alanda geniş bir kullanıma sahiptir. Genetik algoritmalar, sezgisel optimizasyonların bir alt metodu olmakla beraber genetik biliminden esinlenerek tasarlanmıştır. Klasik optimizasyon teknikleriyle çözülemeyen, matematiksel olarak modellenmesi zor çok değişkenli problemler için çaprazlama, mutasyon ve seçim operatörleriyle genel çözüme hızlı bir şekilde ulaşmayı ve en yakın çözümü bulmayı hedefler.

Gelişen teknolojiyle özellikle sinyal karıştırmasına karşı tedbirlerin önem arz ettiği askeri haberleşme ve radar sistemlerinde geniş bant teknolojisinin önemi gün geçtikçe artmaktadır. Geniş bant antenler istenilen bant aralığında aynı ışıma karakterine sahip antenler olup bu yüzden tasarımı zor anten yapılarıdır. Yüksek kısıtlamasının önemli bir faktör olduğu hava platformlarında küçük hacimli ve hafif anten yapılarının kullanımı kaçınılmaz olmuştur. Özellikle mikroşerit yapıda olan ve baskı devre teknolojisiyle kolayca üretimi yapılan anten yapıları iyi bir seçenek olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu özelliklere sahip, yüksek kazanç ve yönlülük imkânı sunan ve düşük yan huzme seviyelerinde ışıma karakterine sahip Vivaldi antenler tasarım açısından iyi bir örnek olarak gösterilebilmektedir [10].

1.1 Tezin Amacı

Bu tez çalışmasında, X-bant radar uygulamaları için yüksek kazançlı mikroşerit anten ve yüksek yönlülüğe sahip çok geniş bantlı Vivaldi anten olmak üzere iki farklı tipte anten tasarımı ve bu antenlerin dizi olarak kullanılması sonucu ışıma örüntülerinin şekillendirilmesi hedeflenmiştir. İstenilen ışıma karakterine sahip anten tasarımları için başlangıçta genetik algoritmalar kullanılmış ve rezonans frekansı ile geniş bant için anten çalışma frekans aralığına göre anten yapısının parametrik değerleri bulunmuştur. Mikroşerit antenlerin kazanç artırımına ve empedans

uyumlamasına yönelik literatürde uygulanan farklı metotlar uygulanarak ışıma örüntüsünde iyileşme hedeflenmiştir. Yüksek frekanslara çıkıldıkça ışıma örüntüsündeki değişimler gözlemlenmiş ve kullanılan alt tabaka dielektrik malzemenin bu değişime etkisi değerlendirilmiştir. Tasarımı yapılan bu anten yapıları dizi anten şeklinde kullanılarak yüksek yönlülük ve kazanç sağlanmıştır. Genetik algoritmalar ile anten elemanları arasındaki mesafe, akım genlikleri ve faz uyarımları optimize edilerek ışıma örüntüleri şekillendirilmesi ve istenmeyen yan huzmelerin bastırılması hedeflenmiştir. Ayrıca GA'nın işlem sürecine titreşimsel yaklaşım dâhil edilerek hesaplama performansı artırılmıştır. Vibrasyonel Genetik algoritmaların sezgisel optimizasyon tekniği olarak kullanılmasının diğer nümerik yöntemlere göre performans değerlendirilmesi yapılmıştır.

Anten tasarımları elektromanyetik hesaplamalı yazılım olan Computer Simulation Technology Microwave Studio (CST-MWS) ile yapılmış ve dizi anten ışıma örüntüsü incelemeleri için MATLAB yazılımında oluşturulan kodlar kullanılmıştır. Anten tasarımları için mikroşerit yama anten ve Vivaldi antenin seçilmesinin sebebi bu anten yapılarının kendine özgü üstünlüklerinin olmasıdır. Özellikle baskı devre teknolojisiyle üretimin kolay ve düzlemsel yapılarının hafif olması kullanılacağı sisteme kolay entegre olabilmelerini sağlamaktadır. Buna ek olarak Vivaldi antenin geniş bant ışıma karakterine sahip olması askeri radar uygulamaları için geniş kullanım alanı oluşturmaktadır. Tasarlanan anten yapılarının üretimi yapılarak simülasyon sonuçlarının karşılaştırılması ve X-bant radar uygulamaları için uygulanabilir olduğunun kanıtlanması amaçlanmaktadır.

1.2 Literatür Araştırması

Mikroşerit yama antenler hafif ve hacimce küçük olmaları, kolaylıkla üretimi yapılabilmesi, maliyet düşüklüğü ve kullanıldığı sisteme kolay entegrasyonu gibi avantajlarından dolayı literatürde geniş bir araştırma alanı oluşturmaktadır. Bu avantajları sayesinde başta kablosuz haberleşme sistemleri [11] olmak üzere uydu ve uzaktan algılama sistemleri [12], medikal uygulamalar [13] ve radar uygulamaları [14], gibi alanlarda farklı tasarımlarla kullanılmaktadır. Bu avantajlarının yanında, mikroşerit antenlerin bant genişliklerinin dar olması, düşük verimlilik ve anten kazancı gibi özellikleri karşımıza bir engel olarak çıkmaktadır [15].

Son dönemde gelişen teknoloji ve ortaya çıkan ihtiyaçlar nedeniyle araştırmacılar mikroşerit antenlerin eksikliklerini gidermek ve sistem gereksinimlerini karşılamak için farklı tasarımlar sunmuşlar. Mikroşerit antenler farklı besleme şekillerinde ve farklı polarizasyon özelliklerine sahip olabilir [16]-[19]. Literatürde mikroşerit antenlerinin kazanç artırımına yönelik farklı metotlar geliştirilmiştir. Yüksek kazanç elde etmek için antenlerle birlikte meta malzeme kullanımı [20]-[22] ve yama düzlemi üzerine parazitlik kullanımı [23] literatürde kullanılmaktadır. Ayrıca alt tabaka malzeme olarak dielektrik katsayısı ve tanjant kaybı anten kazancı için önemli parametrelerdir. Düşük tanjant kayıplı ve dielektrik katsayısına sahip alt tabaka malzeme kullanımı uygulamalarda sıkça karşımıza çıkmaktadır [24]. Bununla birlikte anten kazancının artırımı için diğer bir yöntem antenlerin dizi şeklinde kullanılmasıdır [25]. Antenlerin farklı geometrik şekillerde yerleştirilmesi ve farklı akım uyarım genlikleriyle beslenmesiyle istenilen ışıma örüntüsü ve yüksek kazanç elde edilebilir [26], [27]. Anten dizilerinde her bir anten elemanının akım genlik katsayıları ve aralarındaki mesafenin belirlenmesi ve optimize edilmesi önemlidir. Literatürde düşük yan huzme seviyelerinde ve yüksek kazanç elde etmek için farklı sezgisel optimizasyon teknikleri kullanılmıştır [28]-[30]. Sezgisel optimizasyon teknikleri içerisinde genetik algoritmalar genel en iyiye hızlı ve doğru bir şekilde yakınsama özelliği ve çoklu değişkenli problemler için kolay bir modelleme sunması nedeniyle araştırmacılar tarafından yoğun bir ilgi görmüştür [31]-[33].

Günümüz teknolojik gelişmeleri ışığında geniş bant anten tasarımları araştırmacılar tarafından yükselen bir ilgi alanı haline gelmiştir. Özellikle geniş bant teknolojisinin faydalarını ön plana çıkaran sistemler için geniş bant anten tasarımları kritik parça haline gelmiştir. Mikroşerit antenlerin dar bant özelliği bu kapsamda çözülmesi gereken bir engel olarak karşımıza çıkmaktadır. Literatürde geniş bant anten tasarımları için farklı metotlar sunulmuştur [34]. Farklı şekillerde birçok anten tasarımı karşımıza çıkmaktadır. Üretim kolaylığı, kolay tasarlanabilir, geniş bir empedans uyumu, yüksek kazanç ve yönlülük özellikleriyle Vivaldi antenler geniş bant uygulamaları için iyi bir aday olarak karşımıza çıkmaktadır [35]-[36].

1.3 Hipotez

X-bant radar uygulamaları için yüksek kazançlı mikroşerit anten ve yüksek yönlülüğe sahip çok geniş bantlı Vivaldi anten olmak üzere iki farklı tipte anten

tasarımı yapılmıştır. Ayrıca bu antenlerin dizi olarak kullanılması sonucu ışıma örüntülerinin şekillendirilmesi ve yüksek kazanç elde edilmesi sezgisel optimizasyon tekniklerinden genetik algoritmalar ile yapılmıştır. İstenilen ışıma örüntüsünü elde etmek için yapılan tasarım süreci içerisinde anten parametrelerinin etkileri ortaya konulmuştur. Elektromanyetik hesaplamalı yazılımlar yardımıyla benzetimi yapılan dizi anten tasarımlarının üretimi ve ölçümleri yapılarak sonuçların tutarlılık sağladığı görülmüştür.



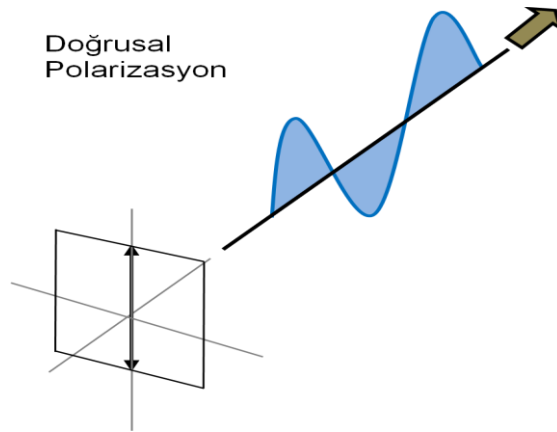
2. ANTEN PARAMETRELERİ

2.1 Anten Polarizasyonu

Polarizasyon, bir elektromanyetik dalganın uzaydaki bir noktada zamanın fonksiyonu olarak tanımlanmış elektrik alan vektörünün doğrultusudur. İletilen bir elektromanyetik dalganın kazancının en yüksek olduğu yön ışımının polarizasyonunu gösterir. Bir antenin polarizasyonu ise ışıma yaptığı elektromanyetik dalgaların, uzak alan analizinde baskın kalacak olan elektrik alan vektörünün doğrultusu olarak tanımlanır. Özellikle haberleşme alanında veri iletiminin yüksek oranda başarı sağlaması için, aynı frekans bölgesinde çalışan ve birbirleriyle özdeş polarizasyonda sahip iki antenin kullanılması gerekmektedir. Aksi takdirde veri iletim kaybı yaşanılması kaçınılmazdır.

Polarizasyon doğrusal, dairesel ve eliptik olmak üzere üç gruba ayrılırlar.

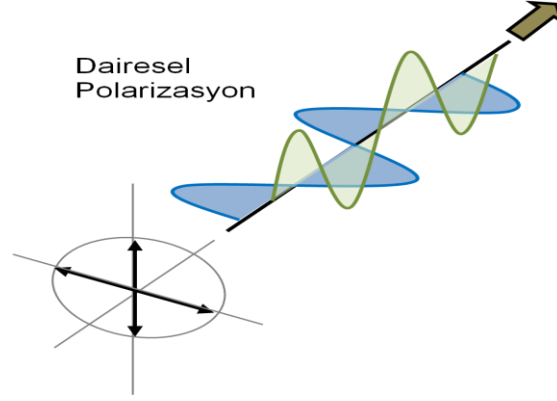
- Lineer Polarizasyon: Eğer düzlemdeki elektromanyetik dalga tek bir yönde ilerliyorsa lineer polarizasyon oluşur. Ayrıca elektrik alan ile manyetik alan birbirine diktir. Ayrıca oluşan elektrik alan anten düzlemine paralel veya dik olmasına göre lineer dikey polarizasyon ya da lineer yatay polarizasyon olarak adlandırılır. Şekil 2.1’ de lineer polarizasyon gösterilmektedir.



Şekil 2.1 : Doğrusal Polarizasyon.

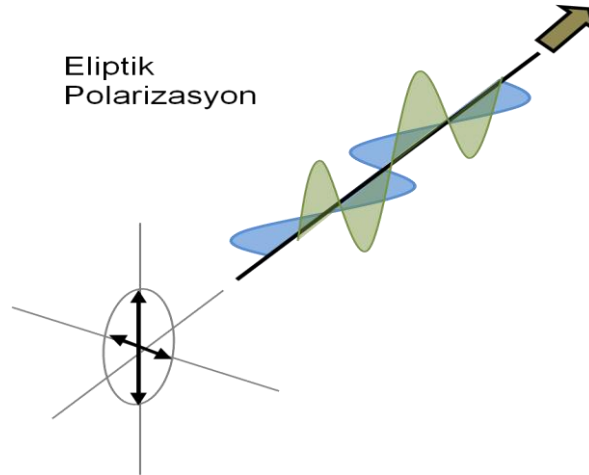
- Dairesel Polarizasyon: Bu polarizasyon durumunda, elektrik alan ile manyetik alanların birbirlerine dik lineer bileşkelerinden meydana gelir ve iki

bileşkelerinin genlikleri birbirine eşittir. Ayrıca iki kompozendin de 90 derecenin tek katlarında faz farkına sahip olması gerekmektedir. Şekil 2.2’de dairesel polarizasyon gösterilmektedir.



Şekil 2.2 : Dairesel Polarizasyon.

- **Eliptik Polarizasyon:** Bu polarizasyon durumunda elektrik alan ile manyetik alanlar birbirlerine ortogonal ve lineerdir. Ayrıca elektrik alan ile manyetik alanlar birbirlerine eşit büyüklükteyse, zaman faz farkının sıfır dereceye eşit olmaması ya da 180 derecenin katları olması, ya da alanlar farklı büyüklükteyse ise faz farkının 90 derecenin tek katları olmaması gerekmektedir. Şekil 2.3’de eliptik polarizasyon gösterilmektedir.



Şekil 2.3 : Eliptik Polarizasyon.

2.2 Işıma Güç Yoğunluğu

Elektromanyetik güç; elektrik alan ile manyetik alanın vektörel çarpımıyla oluşan Poynting vektörüyle hesaplanır.

$$\mathcal{W} = \mathcal{E} \times \mathcal{H} \quad (2.1)$$

olarak tanımlanır. Burada;

- $\mathcal{W}$, anlık Poynting vektörü (W/m²)
- $\mathcal{E}$, anlık elektrik alan şiddeti (V/m)
- $\mathcal{H}$, anlık manyetik alan şiddeti (A/m) dir.

Ayrıca kapalı bir yüzeyden geçen toplam gücü $\mathcal{W}$ (anlık Poynting vektörü)'nün normal bileşeninin tüm yüzeydeki integralinin alınmasıyla hesaplanır.

Işıma güç yoğunluğu nümerik olarak (uzak alan analizi) ;

$$S(r, \theta, \varphi) = \frac{E^2(r, \theta, \varphi)}{120\pi} = 120\pi H^2(r, \theta, \varphi) \quad (2.2)$$

ile hesaplanır ve birimi Watt/m²'dir.

2.3 Işıma Şiddeti Yoğunluğu

Birim yüzey alanında yayılan ışınımın gücü olarak tanımlanan bu değer uzak-alan parametresidir. Işıma yoğunluğunun mesafenin karesi ile çarpımı yoluyla bulunur.

$$U(\theta, \varphi) = r^2 S(r, \theta, \varphi) = r^2 \frac{E^2(r, \theta, \varphi)}{120\pi} = r^2 120\pi H^2(r, \theta, \varphi) \quad (2.3)$$

U, ışıma şiddeti (W / birim açı)

W_{rad} , ışıma yoğunluğu (W / m²)

Bir antenin yayınladığı elektrik alanın şiddeti E, manyetik alan şiddeti H olmak üzere (uzak alan analizi için),

$$U = r^2 \frac{|E(r, \theta, \varphi)|^2}{2\eta} \quad (2.4)$$

olarak tanımlanır. Antenin yayınladığı toplam güç, antenin merkezindeki bir küre üzerinde ışıma şiddeti yoğunluğunun entegre edilmesi ile bulunur.

2.4 Yönlendiricilik Kazancı

Yönlendiricilik kazancı antenin belirlenen bir yöndeki ışıma performansını belirleyen bir değerdir. Bu değer söz konusu antenin belirli yöndeki ışıma şiddetinin tüm yönlerdeki ortalama ışıma şiddetine oranı olarak kabul edilir. Başka bir ifadeyle, belirli yöndeki ışıma şiddetinin her yöne aynı ışıma şiddetinde dalga yayabilen anten şeklinde tanımlanan izotropik antenin ışıma şiddetine oranı olarak tanımlanabilir. Bir antenin ışıma şiddeti yoğunluğu $U(\theta, \varphi)$, izotropik antenin güç yoğunluğu U_0 üzere;

$$D(\theta, \varphi) = \frac{U}{U_0} = 4\pi \frac{U(\theta, \varphi)}{P_{rad}} \quad (2.5)$$

olarak tanımlanan denklem ile hesaplanır.

2.5 Yönlendiricilik

Bir antenin yönlendiriciliği, yönlendiricilik kazancının en yüksek yani antenin en çok ışıma yaptığı yöndeki güç yoğunluğu değeri olarak tanımlanır. Antenin yaptığı ışımının ana huzmede toplayabildiği gücün bir ölçüsüdür. Anten ışıma performansını gösteren gözlem noktasından bağımsız ve birimsiz parametre değeridir.

2.6 Güç Kazancı

Kazanç, bir antenin ışıma şiddetinin kayıpsız ve yön bağımsız bir kaynaktan ışıyan gücün toplanmasıyla bulunan ışıma şiddetine oranı olarak kabul edilir ve anten performansını gösteren başka bir önemli parametre değeridir. Matematiksel olarak;

$$G = 4\pi \frac{U(\theta, \varphi)}{P_{in}} \quad (2.6)$$

olarak tanımlanır. Burada,

- U , radyasyon yoğunluğu
- P_{in} , toplam giriş gücü (W)

- G , kazançtır.

Ayrıca anten verimliliğinin yanı sıra iletim hattı yansımalarını ve kayıplarının hesaba dâhil edilmesiyle bulunan parametre mutlak kazanç olarak tanımlanır. Matematiksel olarak;

$$G_{abs}(\theta, \varphi) = e_r G(\theta, \varphi) = (1 - |\Gamma|^2)G(\theta, \varphi) = e_r e_{cd} D(\theta, \varphi) = e_0 D(\theta, \varphi) \quad (2.7)$$

olarak ifade edilir. Burada;

- e_r , yansıma verimliliği

- Γ , yansıma katsayısı

- e_{cd} , ışıma verimliliğidir.

2.7 Anten Işıma Direnci

Antene verilen akımın dışarıya doğru ne kadar seviyede güçlü dalga yayınladığının ölçüsünü belirten bir parametre değeridir. Başka bir ifadeyle, bir antenin dışarı yayınladığı toplam gücün, devreden çektiği etkin akım değerinin karesine oranı olarak tanımlanır ve birimi ohm'dur. Matematiksel olarak;

$$R_r = \frac{P_{out}}{I^2} \quad (2.8)$$

denklemleriyle ifade edilir. Burada;

P_{out} , antenin dışarı yayınladığı toplam güç,

I , çekilen akım'dır.

2.8 Anten Işıma Verimliliği

Anten ile iletim hattı arasındaki empedans uyumsuzluğunun sonucu olarak ortaya çıkan kayıpların hesaplanması için kullanılan bir parametredir. Gerek anten giriş uçlarındaki kayıplar gerekse anten yapısında kullanılan malzeme kayıplarının hesaba katıldığı bu parametre bir antenin ışıma karakteristiğini önemli ölçüde etkilemektedir. Söz konusu kayıplar yansıma kalıpları, dielektrik ve iletkenlik kayıpları olarak sıralanabilir. Antenin toplam verimliliği matematiksel olarak;

$$e_0 = e_r e_c e_d \quad (2.9)$$

$$e_r = \frac{P_{out}}{P_{in}} = \frac{R_r}{R_r + R_L} \quad (2.10)$$

denklemleriyle ifade edilir. Burada;

e_0 , toplam verimlilik (birimsiz)

e_r , yansıma verimliliği $= (1 - |\Gamma|^2)$ (birimsiz)

e_c , iletkenlik verimliliği (birimsiz)

e_d , dielektrik verimlilik (birimsiz)

Γ , yansıma katsayısıdır

P_{in} , antenin Giriş Gücü

P_{out} , antenin yayınladığı toplam güç

R_L , ısı kayıp direnci

R_r , ışıma direncidir.

2.9 Etkin Anten Alanı

Bir antenin fiziksel olarak boyutları ve şekli ile ilişkili bir parametre olarak tanımlanabilir. Ayrıca anten kazancının hesaplanmasında kullanılan denklem;

$$G = \frac{4\pi A_e}{\lambda^2} = \frac{4\pi f^2 A_e}{c^2} \quad (2.11)$$

olarak tanımlanabilir. Burada;

G , anten Kazancı

A_e , etkin Alan

f , taşıyıcı frekans

c , ışık hızı (3×10^8 m/s)

λ , taşıyıcı dalga boyu

Örneğin, izotropik bir antenin etkin alanı $\lambda^2/4\pi$ m² iken yönlülük kazancı 1 dBi olarak hesaplanır.

2.10 Anten Yansıma Katsayısı

Anten yansıma katsayısı; bir antenin empedansı ile anten besleme hattının karakteristik empedansının uygunluğu neticesinde antene gelen akımın ne kadarının antene aktarılıp ne kadarının geri döndüğünü belirlemede kullanılan bir parametredir ve birimsizdir. Matematiksel olarak;

$$\Gamma = \frac{V_{\text{refl}}}{V_{\text{inc}}} = \frac{Z_A - Z_0}{Z_A + Z_0} \quad (2.12)$$

denklemleri ifade edilir.

Antene gelen gücün tamamen antene aktarılabilmesi için, iyi bir empedans uyumlama yaparak empedansın uygun sonlandırılması gerekmektedir. Bu durumda anten yansıma katsayısı sıfır olur.

2.11 Anten Gerilim Duran Dalga Oranı

Anten gerilim duran dalga oranı, bir antenin iletim hattına bağlanırken ne seviyede iyi eşleştirilme yapıldığının bir ölçüsü olarak tanımlanabilir. Anten ile iletim hattı arasındaki empedans uyumsuzluğunun neticesinde ışımaya dahil olmayıp geri yansıyan gücü gösteren bir parametredir. Matematiksel olarak;

$$VSWR = \frac{1+|\Gamma|}{1-|\Gamma|} \quad (2.13)$$

denklemleri ifade edilir. Uygun bir empedans eşleştirme ile tasarlanan antenler için bu değer 1'e yakın bir değerdir.

2.12 Geri Dönüş Kaybı

Geri dönüş kaybı, antene gönderilen gücün ne kadarlık kısmının ışımaya dâhil olmadan geri döndüğünü gösteren bir ölçüttür. Başka bir ifadeyle, verici ile anten arasında uyumsuzluk neticesinde oluşan duran dalgaların yol açtığı kayıplar gibi ışımayan güç miktarını belirtir. Birimsiz olmasına karşın, logaritmik gösterimde dB olarak ifade edilir. Matematiksel olarak;

$$L_r = 10 \log_{10} \left(\frac{P_{refl}}{P_{inc}} \right) = 20 \log_{10} (|\Gamma|) \quad (2.14)$$

denklemlerle ifade edilir. İstenilen frekans bölgesinde antenin çalışabilmesi için, pratikteki geri dönüş kaybı değeri -9,54 dB 'in altıdır. Bu değer gerilim duran dalga oranına göre 2'ye karşılık gelmektedir.

2.13 Frekans Bant Genişliği

Bant genişliği, bir antenin istenilen performansta ışıma yapabildiği veya gelen bir elektromanyetik dalgayı alabildiği frekans aralığı olarak tanımlanabilir. Başka bir deyişle antenin belirlenen özelliklere göre çalışabildiği en yüksek frekandan en düşük frekansın farkıyla bulunur. Burada ışıma karakteristiği gösteren değer olarak geri dönüş kaybının -10 dB'in altı değeridir. Matematiksel olarak;

$$BW = f_{max} - f_{min} \quad (2.15)$$

denklemlerle ifade edilir. Ayrıca bu frekans aralığının ortasına anten çalışma merkez frekansı denilmektedir. Matematiksel olarak;

$$f_c = \frac{f_{max} + f_{min}}{2} \quad (2.16)$$

denklemlerle ifade edilir.

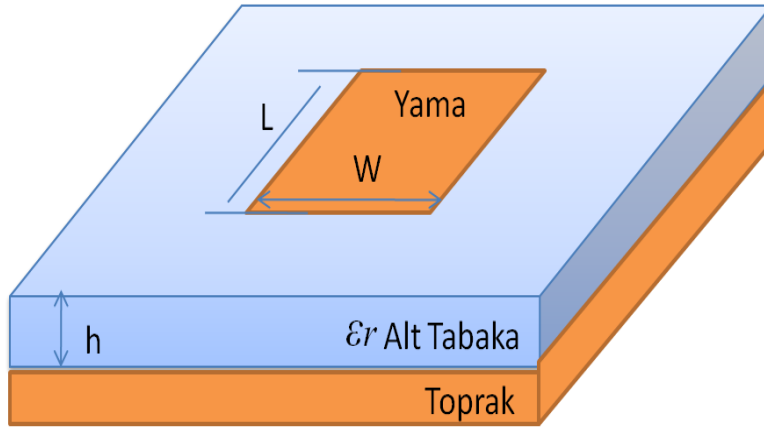
3. MİKROŞERİT ANTENLER

Günümüz teknolojik gelişmeleri ışığında elektronik sistem cihazlarının boyutlarındaki küçülme anten tasarımlarının çok daha küçük boyutlarda ve daha gelişmiş anten ışıma performanslarına sahip olması zorunluluğunu ortaya çıkarmıştır. Bu açıdan bakıldığında diğer antenlere kıyasla gereksinimleri yeterli ölçüde karşılayabilecek anten tipi olarak karşımıza mikroşerit antenler çıkmaktadır. Gerek düşük maliyetli olması gerek hafif ve küçük boyutlarda olması ve ayrıca entegre edileceği elektronik cihazın yapısal gereksinimlerine göre kolay imal edilebilir olması mikroşerit antenleri ön plana çıkarmaktadır. Bunun yanında, mikroşerit antenlerin çoklu frekanslarda çalışabilmesi ve farklı tasarımlarda farklı polarizasyon imkânlarını bir arada sunması gibi özelliklerinden dolayı bu tip antenlerin tümleşik elektronik cihazların yanı sıra uçak radar ve haberleşme sistemleri, füze güdümlü sistemleri ve uzay araçları gibi birçok alanda kullanılmasını sağlamaktadır. Mikroşerit antenler tasarımlarına göre 100 MHz'den 100 GHz'e kadar çok geniş bir frekans aralığında kullanabilmelerinden dolayı araştırmacılar için de başlı başına bir konu ve ilgi odağı haline gelmiştir.

Mikroşerit anten kavramı ilk olarak 1953 yılında Deschamps tarafından açıklanmasına ve daha sonra 1955 yılında patentinin alınmasına rağmen dielektrik malzemelerinin yetersizliği antenlerin pratikte uygulanabilirliğini kısıtlamıştır. 1970'li yıllara gelindiğinde Howel ve Munson tarafından ilk mikroşerit anten tasarımları pratikte gerçekleştirilmiş ancak kayıp faktörünün düşük olduğu dielektrik malzemelerin pahalı olması çalışmaların askeri alanda kalmasına yol açmıştır. 1990'lı yıllarda ise teknolojik olarak ucuzlama mikroşerit antenlerin günümüze kadar özellikle haberleşme ve uzaktan algılama alanlarında hızla yer almasına yol açmıştır [37].

3.1 Mikroşerit Antenler Hakkında Genel Bilgi

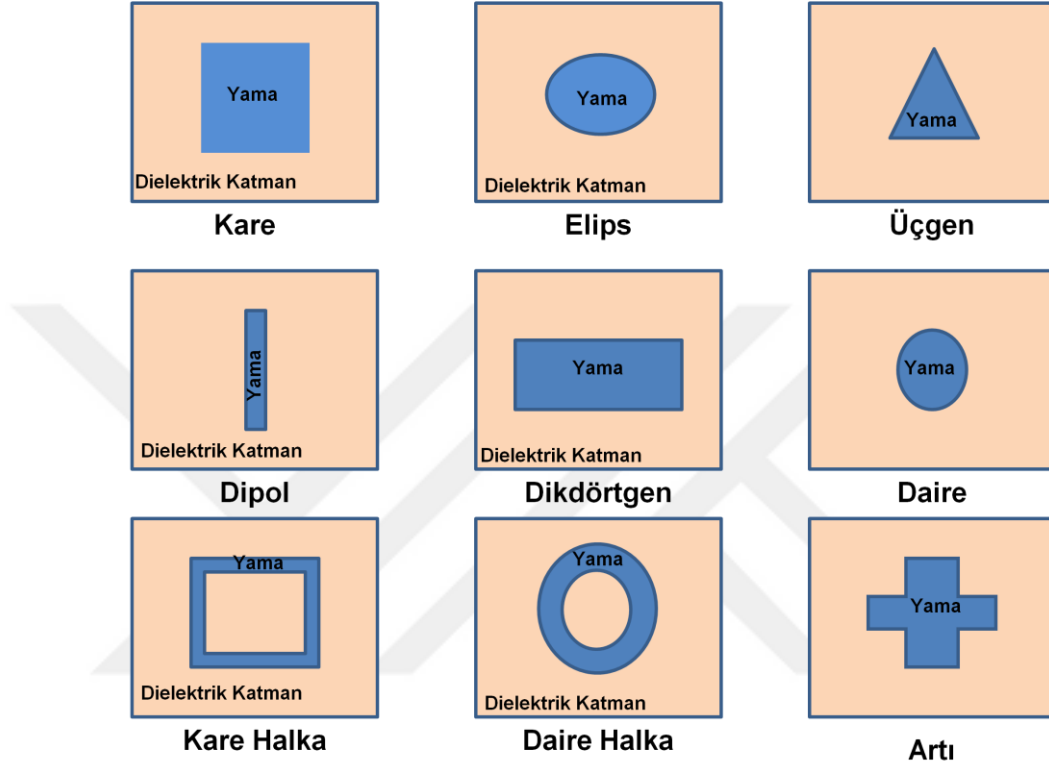
Mikroşerit antenler en genel tanımıyla iki iletken levha arasına dielektrik katmanının yerleştirilmesiyle oluşturulur. Üst katman ışıma amaçlı bakır veya altın gibi iletken bir yamadan oluşurken alt taraftaki iletken levha toprak görevini görmektedir. Şekil 3.1'de mikroşerit anten yapısı gösterilmektedir.



Şekil 3.1: Mikroşerit yama anten yapısı.

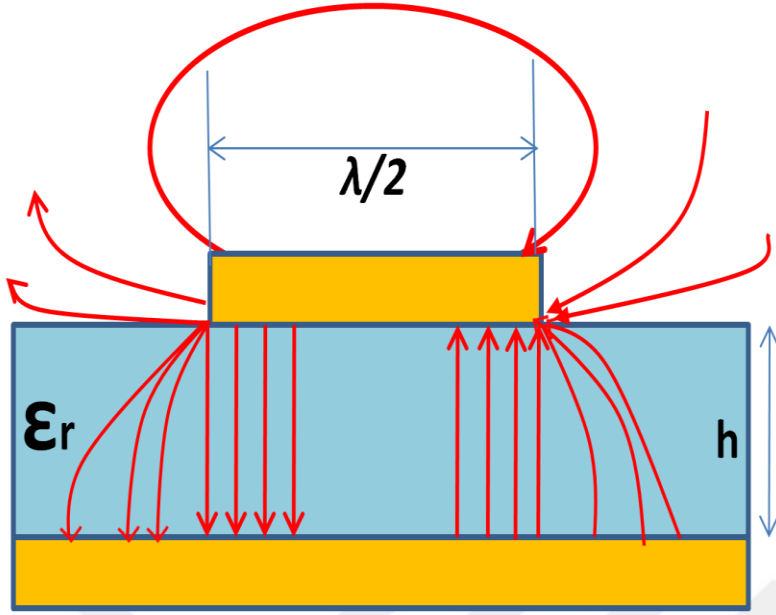
Mikroşerit anten tasarımlarında kullanılan dielektrik tabaka kalınlıklarına ve dielektrik sabitine göre çeşitlilik göstermektedir. Piyasa da bulunan dielektrik tabakaların kalınlıkla genellikle 0,05 mm ile 6,35 mm arasında değişmektedir. Dielektrik malzemelerin kalınlıkları bir antenin temel ışıma karakterine önemli ölçüde etkisi bulunmaktadır. Özellikle yüksek frekanslara çıkıldıkça bant genişliği, toplam anten kazancı gibi anten performansını belirleyen parametreleri önemli ölçüde değiştirir. İyi bir anten performansı elde edebilmek için dielektrik malzeme düşük elektrik sabitli ve kalın profilli seçilmelidir. Böylelikle ışıma sırasında oluşan kayıplar azaltılarak verim ve bant genişliği artacak anten daha iyi performansla ışıma yapacaktır. Mikroşerit antenlerde kullanılan dielektrik malzemelerin karakteristik özelliğini dielektrik sabiti ve tanjant kaybı belirler. Anten veriminin yüksek olması tanjant kaybının düşük olması ile ilişkilidir. Tasarımlar kullanılan dielektrik tabakaların dielektrik sabitleri $2,2 \leq \epsilon_r \leq 12$ aralığında olup en çok kullanılan tabakalardan FR4'ün dielektrik sabiti 4,3 iken daha yüksek frekanslarda tercih edilen Roger Duroid 5880'nin dielektrik sabiti 2,2'dir. İletken tabakalar ise kullanım gereksinimlerine göre genelde altın, gümüş veya bakırdan oluşmakta ve kalınlığı 0,035 mm ile 0,070 mm aralığında değişmektedir. Üst tabaka yama olarak adlandırılır arzu edilen anten parametrelerine göre değişik şekillerde tasarlanabilir. Geometrik olarak farklı şekillere sahip olan yama kısmı antenin bant genişliği, kazanç, ışıma deseni ve çoklu frekans bantlarında çalışması gibi anten parametrelerini doğrudan belirlemektedir. Yamalar, geometrik yapıları olarak kare yamalı, dikdörtgen yamalı, dairesel yamalı, eliptik yamalı, üçgen yamalı mikroşerit anten tasarımları yaygın olarak kullanılmaktadır. Bunun dışında istenilen rezonans frekansına göre yama kısımlarına yarıklar atılarak çeşitli şekiller veya E-şekilli, H-

şekilli, U-şekilli, S-şekilli gibi harfi temsil eden mikroşerit anten yapıları da tasarlanmaktadır. Ancak matematiksel hesaplamaları ve performans analizini daha basitleştirebilmek için genellikle kare, dikdörtgen, daire, üçgen gibi şekillerde yamalar tercih edilir. Şekil 3.2’de mikroşerit antenlerde kullanılan temel yama şekilleri gösterilmektedir.



Şekil 3.2 : Mikroşerit yama anten için temel yama şekil örnekleri.

Mikroşerit antenlerde yamanın kenarları açıklık özelliği gösterir ve yapı içerisindeki alan tarafından uyarılır. Bu uyarılma nedeniyle yamanın kenarları ve en alttaki toprak yüzey arasında Şekil 3.3’de gösterildiği gibi elektromanyetik dalgalar oluşur ve anten ışıma yapar.



Şekil 3.3 : Mikroşerit yama anten ışıma gösterimi.

3.2 Mikroşerit Antenlerin Avantajları ve Dezavantajları

Günümüzde askeri haberleşme ve radar uygulamaları, uzaktan algılama sistemleri ve medikal uygulamalarda giderek artan bir kullanım alanına sahip olan mikroşerit antenler birçok üstün özelliğe sahiptir. Bunlardan bazıları şu şekilde sıralanabilir:

- Hafif ve küçük hacimli yapısı ve entegre edilecek sistem üzerine kolayca yerleştirilebilme esnekliğine sahip olmalarıdır.
- Düşük üretim maliyetine sahiptirler ve baskı devre teknolojisiyle hızlı ve çoklu üretimi sağlanabilmektedir.
- Düzlemsel yapısından dolayı oldukça kullanışlıdır.
- Çok ince yapılı olmaları nedeniyle uzay ve hava araçlarının aerodinamik yapısını engellemeden entegre edilebilirler.
- Gündümlü mermiler, roketler ve uyduların üzerine fazla bir yük maliyeti getirmeden monte edilebilirler.
- Anten üzerindeki besleme konumunda yapılan ufak değişikliklerle doğrusal ve dairesel ışıma yapabilirler.
- Boşluk desteği gerektirmeden kullanım kolaylığı sağlar.
- Besleyici hatları ve uyumlandırma devrelerinin, mikroşerit antenle birlikte eşzamanlı biçimde üretilebilirler.

Bu üstün özelliklerinin yanında mikroşerit antenlerin bazı dezavantajları da mevcuttur. Bunlardan bazıları şu şekilde sıralanabilir:

- Dar bant genişliğine sahiptirler.
- Kayıplar dolayı, anten kazançları düşüktür.
- Tasarlanan mikroşerit antenlerin çoğu yarı düzlem içinde ışıma yaparlar.
- Düşük boyuna (endfire) ışıma performansına sahiptir.
- Işıma yapan elemanlar ve besleme arasındaki yalıtım zayıftır.
- Yüzey dalgaları uyarımlarının oluşması gözlemlenebilir.
- Düşük güç kapasitesine sahip olma özelliğindedir.

3.3 Mikroşerit Anten Çeşitleri

Mikroşerit antenler baskı devre teknolojinin sağladığı kolay üretim imkânı ile farklı tasarımlarda çeşitlilik gösterebilmektedir. Özellikle araştırmacılar ihtiyaç dâhilinde gereksinimleri karşılayabilecek (anten kazancı, polarizasyon, ışıma deseni, bant genişliği vb.) tasarımlar üzerinde çeşitlilik gösteren çalışma alanı oluşturmuşlardır. Bu nedenle mikroşerit antenler çok geniş bir yelpazede kategori edilmesine sebep olmuştur. En genel tanımlarıyla mikroşerit antenler farklı şekillerde oluşturulabilen mikroşerit yama antenler (dikdörtgen, dairesel, üçgen, halka vb.), mikroşerit dipol antenler, mikroşerit boşluk antenler ve mikroşerit yürüyen dalga antenleri olacak şekilde sınıflandırılabilir.

3.3.1 Mikroşerit yama antenler

Mikroşerit yama anten, dielektrik bir tabakanın üst tarafına genellikle bakır, gümüş veya altından oluşan farklı çeşitlerde bir yama ve antenin diğer tarafına ise toprak görevi gören iletken bir tabakanın işlenmesiyle oluşturulur. Matematiksel analizi ve tasarımı en basit mikroşerit yama anten dikdörtgen yama antendir. İstenilen rezonans frekansında çalışabilecek bir dikdörtgensel yama anten tasarımı için yama uzunluğunu belirlemek gerekir. Mikroşerit yama antenin yama uzunluğu, dielektrik tabakanın yüksekliği ve genişliğine ayrıca istenilen rezonans frekans değerine bağlıdır. Dikdörtgensel bir yama anteni için yama uzunluğu genellikle $0,333\lambda < L < \lambda$ aralığında seçilir. Matematiksel olarak yama uzunluğu;

$$L \approx 0.49\lambda_d = \frac{0.49\lambda}{\sqrt{\epsilon_r}} \quad (3.1)$$

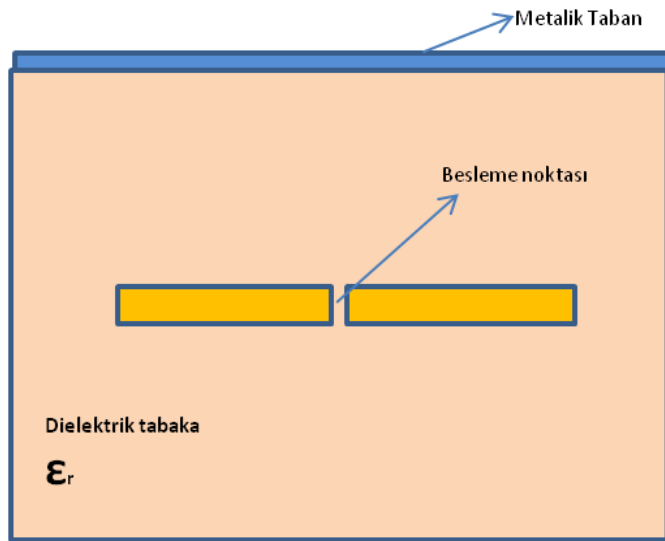
denklemleriyle hesaplanır.

Mikroşerit yama antenlerin ışıma parametreleri incelendiğinde genel olarak, anten kazancının 5-6 dB seviyelerinde olduğu, 70°-90° arasında 3 dB huzme genişliğine sahip oldukları görülür[38].

3.3.2 Baskılı dipol antenler

Baskılı dipol antenler,geometrik şekilleri diğer bir ifadeyle uzunluk-genişlik oranları bakımından mikroşerit yama antenlerden ayrılırlar.Bu antenlerin uzunluğu genel olarak $0,05 \lambda'$ dan küçük boyuttur.Ayrıca bant genişlikleri,ışıma dirençleri ve çapraz polarizasyon ışımaları yönünden farklıdırlar. Ancak boylamsal akım dağılımı bakımından mikroşerit yama antenler ile benzerlik göstermektedir. Mikroşerit dipol antenler boyutlarının küçük olması ve doğrusal polarizasyonla ışıma yapmalarından dolayı ilgi görmektedir.

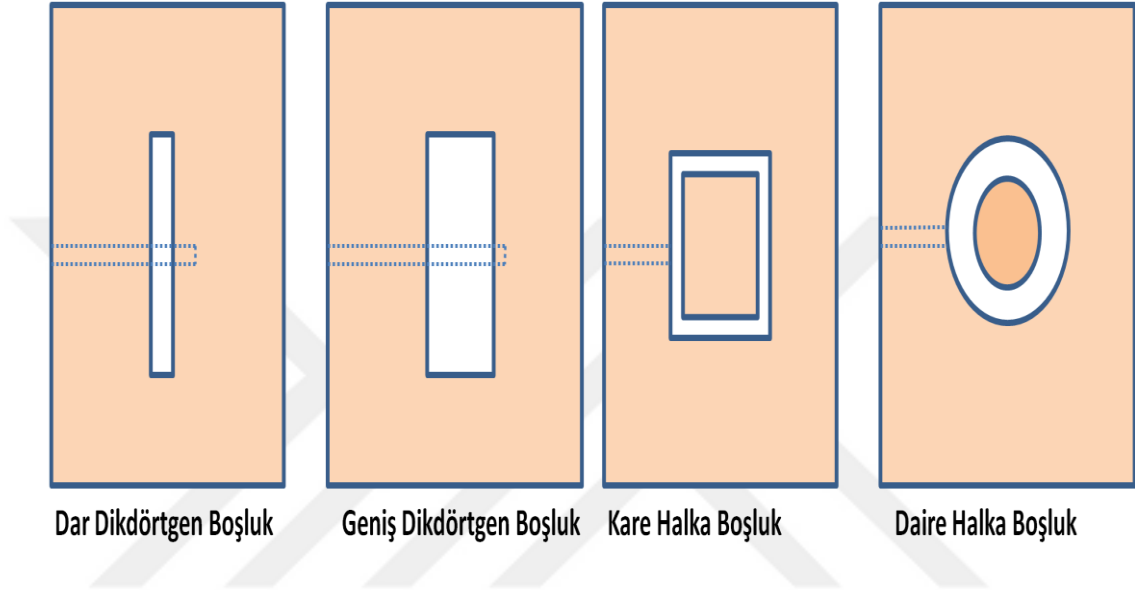
Bu tip antenlerde kullanılan dielektrik tabakanın kalın olması yüksek frekanslarda istenilen bant genişliğinde çalışmasına imkân sağlamaktadır. Ancak mikroşerit dipol antenlerde besleme konumu ve şekli dikkat edilmesi gereken önemli bir husustur. Şekil 3.4'te mikroşerit dipol anten örneği sunulmuştur.



Şekil 3.4 : Mikroşerit Dipol Anten.

3.3.3 Mikroşerit boşluk (yarık) antenler

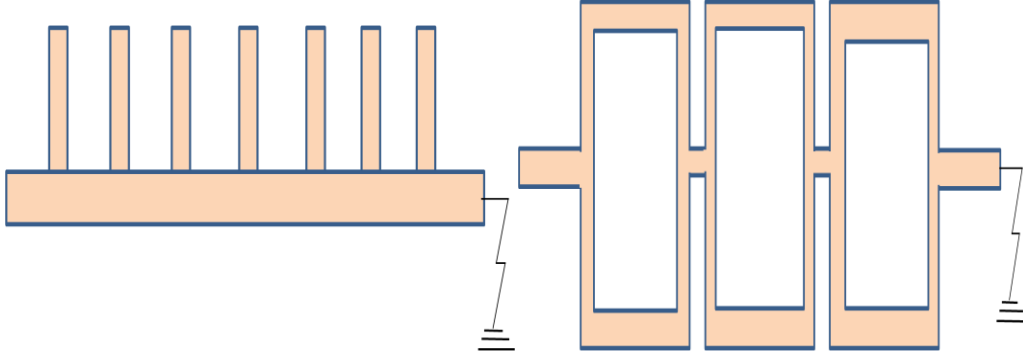
Mikroşerit boşluk(yarık) antenler, topraklama görevi gören iletken alt tabaka üzerine yerleştirilmiş dielektrik tabakanın üstüne yerleştirilen metalik iletken yüzeye farklı şekillerde geometrik yarıklar (boşluklar) oluşturularak elde edilir. Mikroşerit yama antenleri gibi, bu antenler de bir mikroşerit hattı veya eşdüzlemsel dalga kılavuzu ile beslenebilirler. Şekil 3.5'te mikroşerit boşluk(yarık) anten örnekleri sunulmuştur.



Şekil 3.5 : Mikroşerit boşluk (yarık) anten çeşitleri.

3.3.4 Mikroşerit yürüyen dalga antenler

Mikroşerit yürüyen dalga antenler, yeteri kadar belirlenmiş uzunlukta tarak görünümünde periyodik olarak sıralanmış uzunca bir mikroşerit hattın oluşurlar. Antenin diğer ucu, duran dalgaları engellemek için dengeli bir direnç yükü ile sonlandırılır. Şekil 3.6'da mikroşerit yürüyen dalga anten örnekleri sunulmuştur. Farklı tasarımlar ile mikroşerit yürüyen dalga antenler, yatay ve düşey konum arasında arzu edilen açıda yayılım yapabilme özelliğine sahip olurlar. Mikroşerit yama anten, mikroşerit boşluk anten ve baskılı dipol antenin karakteristik özellikleri Çizelge 3.1'de sunulmuştur.



Şekil 3.6 : Mikroşerit yürüyen dalga anten çeşitleri.

Çizelge 3.1 : Mikroşerit Anten Çeşitlerinin Karşılaştırılması [39].

Karakteristik	Mikroşerit Yama Anten	Mikroşerit Boşluk Anten	Mikroşerit Dipol Anten
Profil	İnce	İnce	İnce
Üretim	Çok kolay	Kolay	Kolay
Polarizasyon	Lineer ve dairesel	Lineer ve dairesel	Lineer
Çift Frekansta Çalışabilme	Mümkün	Mümkün	Mümkün
Şekil Esnekliği	Her şekilde olabilir	Genelde dikdörtgen ve dairesel	Genelde dikdörtgen ve dairesel
Bant Genişliği	%2-%50	%5-%30	~%30

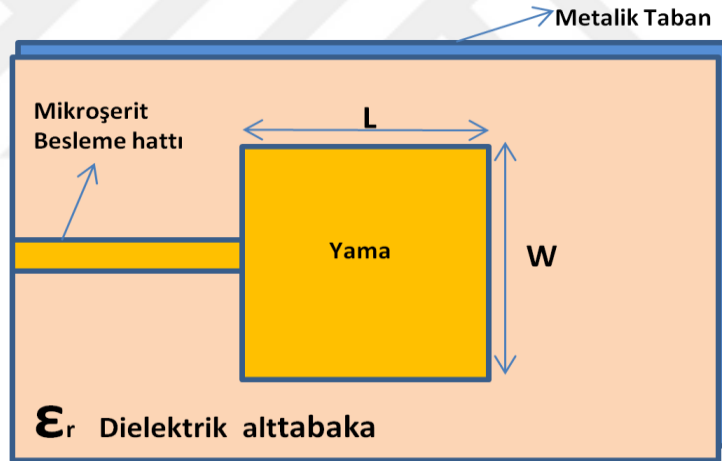
3.4 Mikroşerit Anten Besleme Şekilleri

Mikroşerit antenlerin performansı önemli derecede etkilemelerinde dolayı, farklı şekillerde besleme yöntemleri geliştirilmiştir. Özellikle giriş empedansı ve anten polarizasyonuna önemli şekilde etki eder. Temelde bağlantılı ve bağlantısız olmak üzere iki gruba ayrılabilirler. Bağlantılı besleme yönteminde güç direkt olarak anten yamasına iletilir. Bağlantısız besleme yönteminde ise güç mikroşerit hat ve yama arasında meydana gelen elektromanyetik alan yoluyla iletilir. Geniş bir kullanım alanına sahip besleme yöntemlerine örnek olarak, bağlantılı besleme yöntemleri

kategorisinde mikroşerit ve koaksiyel besleme, bağlantısız yöntemler için ise açıklık kuplajlı ve yakınlık kuplajlı besleme yöntemleri söylenebilir.

3.4.1 Mikroşerit besleme

Mikroşerit antenlerin aynı katman üzerindeki besleme şeridinin başka bir ifadeyle iletim hattının antene eklenmesiyle oluşturulur. Bu yüzden eşyüzeyli besleme olarak da bilinmektedir. Besleme için oluşturulan iletim hattının anten yamasının bir bölümü şeklinde tasarlanması ve bu sayede baskı üretim aşamasında iki bölümün de aynı anda üretilebilmesi büyük bir üretim kolaylığı sağlamaktadır. Ayrıca besleme hattının konumunu değiştirerek kolaylıkla empedans uyumlama sağlanabilir. Ancak bunun yanında kalın dielektrik tabaka kullanılması yüzey dalgaları yol açar ve istenmeyen ışımalara sebep olur. Bunun sonucunda pratik uygulamalarda frekans bant genişliği 2-5% aralığında sınırlı kalmaktadır. Şekil 3.7’de mikroşerit hatlı beslemeye örnek gösterilmektedir.

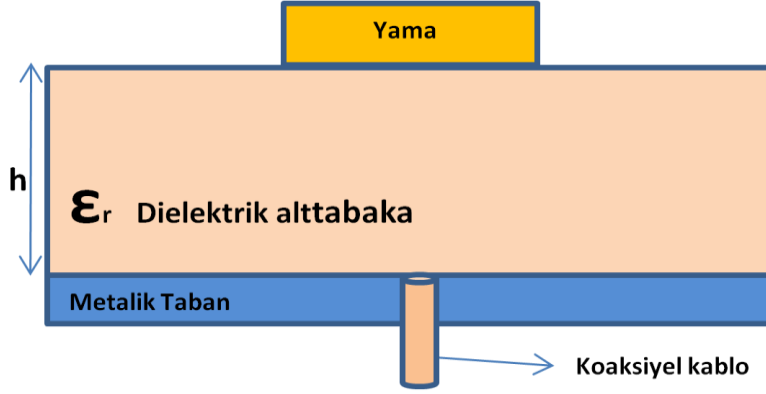


Şekil 3.7 : Mikroşerit hat besleme.

3.4.2 Koaksiyel besleme

Koaksiyel besleme tekniği koaksiyel yapı içerisinde bulunan iç iletken, üst tabakada bulunan yamayla temas oluşturacak biçimde yerleştirilirken yapının dış iletken bölümü de toprak yüzeyine bağlanarak oluşturulur. Böylelikle iç iletkenin güç iletimi yapması sağlanır. Şekil 3.8’de koaksiyel besleme tekniği gösterilmektedir. Bu besleme tekniğinin en büyük avantajı güç iletimi sağlayacak iç iletkenin yamanın herhangi bir bölümüne temas ettirilmesiyle empedans uyumunun kolaylıkla sağlanabilmesidir. Mikroşerit hatlı beslemelerle kıyaslandığında istenmeyen ışıma

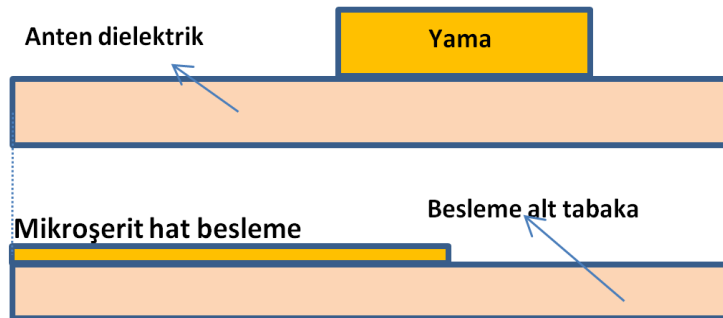
oluşumu daha azdır. Bu avantajlarının yanında, koaksiyel besleme dar bant özelliği göstermesi ve kalın tabaka kullanıldığında tasarlanmasının zorluklara yol açması gibi dezavantajlara sahiptir.



Şekil 3.8 : Koaksiyel besleme.

3.4.3 Yakınlık kuplajlı besleme

Bu besleme mekanizması, farklı dielektrik sabitine sahip iki ayrı tabaka arasına besleme hattının yerleştirilmesi ve üst tabakanın üzerine yama konulmasıyla oluşturulur. İki farklı dielektrik tabaka birbirlerine temas etmeyen iki ayrı düzlem şeklindedir ve besleme hattı yamanın antenin alt hizasında açık olarak sonlanır. Yine yer düzlemi alt dielektrik tabakanın altına yerleştirilir. Şekil 3.9’da yakınlık kuplajlı besleme tekniğine örnek sunulmuştur.

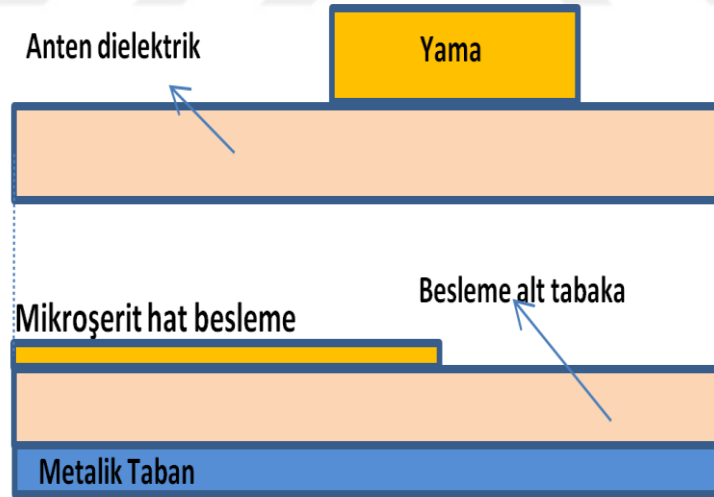


Şekil 3.9 : Yakınlık Kublajlı besleme.

Bu şekilde yapılan besleme şeklinin en büyük üstünlüğü çok daha az yapay ışımaya sahip olması ve ortalama %13 genişliğinde bant genişliği elde edilebilmesidir. Ayrıca bu besleme tekniğinde iki tabakanın aynı hizada olması zorunluluğu üretimini zorlaştırmakla beraber lehimlemeyle bu sorun ortadan kaldırılabilir.

3.4.4 Açıklık Kuplajlı Besleme

Açıklık kuplajlı beslemede, iki farklı dielektrik sabitine sahip tabakaların arası toprak düzlemi tarafından ayrılmasıyla oluşturulur. Toprak düzleminde oluşturulan bir boşluk sayesinde yama ile besleme hattı arasında elektromanyetik kuplajlama oluşturulur. Boşluk iyi bir tasarımıyla antenin bant genişliği artırılabilir. Kullanılan tabakaların dielektrik sabitleri ve kalınlıkları anten ışıma karakterini belirleyen önemli parametrelerdir. Genellikle, düşük dielektrik sabitine sahip üst tabaka daha kalın iken, daha ince olan alt tabaka yüksek dielektrik sabitine sahiptir. Dielektrik tabakaların ortasında bulunan yer düzlemi üst tabakayı alt tabakadan ayırır, bu sayede besleme ışımadan izole edilmiş olur ve yapay ışıma oluşumunu en aza indirgeyerek polarizasyon saflığını artırılır. Şekil 3.10’da açıklık kuplajlı besleme tekniğine gösterilmektedir.



Şekil 3.10 : Açıklık kuplajlı besleme.

Çizelge 3.2’de mikrodalga antenlerin farklı besleme şekillerinin karşılaştırması yapılmıştır [38].

Çizelge 3.2 : Mikroşerit antenlerin farklı besleme şekillerinin karşılaştırması.

Karakteristik	Mikroşerit Besleme	Koaksiyel Besleme	Yakınlık Kuplajlı	Açıklık Kuplajlı
Yapı Farklı	Eşdüzlemli	Düzlemli Paralel	Düzlemli Paralel	Düzlemli
Sahte besleme yayılımı	Çok	Az	Az	Yok
Üretim kolaylığı	Kolay	Delme ve lehimleme gerekli	Paralel hizalama gerekli	Paralel hizalama gerekli
Güvenilirlik	Çok iyi	Lehimleme nedeniyle az	İyi	İyi
Empedans uyumu	Kolay	Kolay	Kolay	Kolay
Bant genişliği (empedans uyumunda)	%2-5	%2-5	%13	%21

4. VİVALDİ ANTENLER

Vivaldi anten çok geniş bantta çalışabilme özelliği gösteren ve üretimi kolay olan konik oluklu düzlemsel anten ailesinin bir üyesidir. Literatüre ilk olarak Gibson tarafından 1979 yılında sunulmuş bu anten teorik olarak sonsuz bant genişliğinde çalışabilen ve frekanstan bağımsız anten çeşidi olarak tanımlanmaktadır [10]. Yapısal olarak, eksponansiyel olarak açılan yarık şeklindedir. Vivaldi antenler, iyi bir verimlilik, yüksek kazanç, doğrusal ışıma ve geniş bir çalışma frekansında bant genişliğine sahip olması gibi birçok üstünlük sağlamaktadır.

Vivaldi antenler genel olarak, dielektrik bir yüzeyin ön tarafına iletken bir malzemeden yapılmış ışıma elemanı ve arka tarafında yine iletken bir malzemeden yapılmış besleme hattı oluşturulmasıyla düzlemsel anten olarak üretilirler. Bu yüzden kullanılan iletken metal malzemenin ve dielektrik malzemenin kalınlığı ve dielektrik katsayısı ışıma karakteristiğini belirleyen önemli parametrelerdendir.

Geniş bir çalışma frekansında aynı ışıma karakteristiği gösteren ve dizi anten olarak sıkça kullanılan Vivaldi anten yapıları farklı şekillerde oluşturulmasıyla konik oluklu anten ailesi çeşitlendirilmiştir. Bu açıdan, Vivaldi antenler genel olarak üç gruba ayrılabilir. Bunlar;

- Eş Düzlemlı Vivaldi Anten
- Antipodal Vivaldi Anten
- Antipodal Dengelenmiş Vivaldi Anten

olarak sıralanabilir.

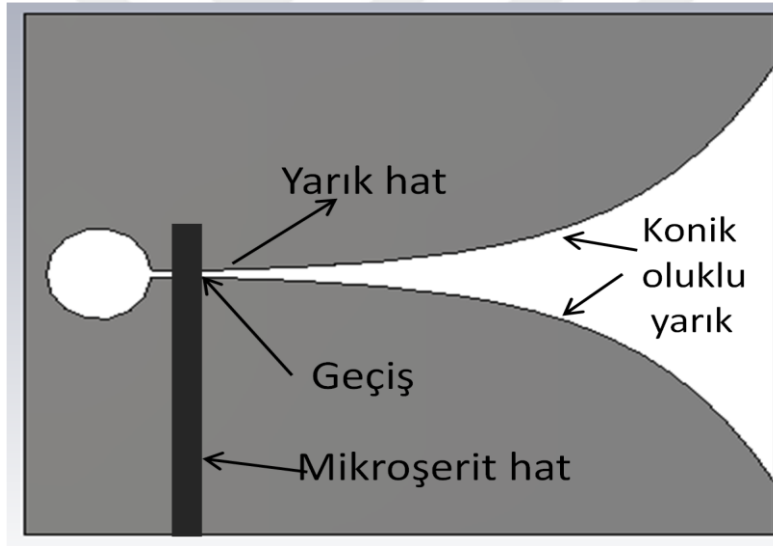
4.1 Vivaldi Anten Çeşitleri

Geniş bant uygulamaları için ön plana çıkan Vivaldi antenler üzerinde araştırmacılar tarafından birçok çalışma yapılmış ve günümüze kadar uygulama ihtiyacına göre geliştirilmiştir. İlk literatüre sunulan klasik Vivaldi antenin geniş bantta empedans uyumlamasının zor olması ve beslemesinden dolayı bant genişliğinin kısıtlanması gibi mahsurları üzerinde çalışılmıştır. 1988 yılında E. Gazit [40] besleme yapısını

tamamen değiştirerek balun yapısını ortadan kaldırmış ve klasik Vivaldi antenin mahzurlarının olmadığı antipodal Vivaldi anteni sunmuştur. Ancak dizi anten olarak antipodal Vivaldi antenin kullanılması çapraz polarizasyon sorunu oluşturmuştur. J.D. Langley [41] tarafından sunulan dengeli antipodal Vivaldi anten ile çapraz polarizasyon sorunu azaltılmıştır. Ayrıca günümüze kadar temel Vivaldi anten eşitleri üzerinde özellikle aynı ışıma karakteristiğinde anten boyunun küçültülmesi, farklı şekillerin kullanılması, kazancının ve verimliliğinin arttırılması, farklı polarizasyon kazanılması gibi konularda birçok çalışma yapılmıştır.

4.1.1 Eş Düzlemlı Vivaldi anten

Eş düzlemlı Vivaldi anten; mikroşerit hat, mikroşerit hattın yarık hattına geçiş ve ışımanın olduğu ekspanansiyel yapı olmak üzere üç kısımdan oluşmaktadır. şekil 4.1’te eş düzlemlı Vivaldi anten rneği gösterilmektedir.

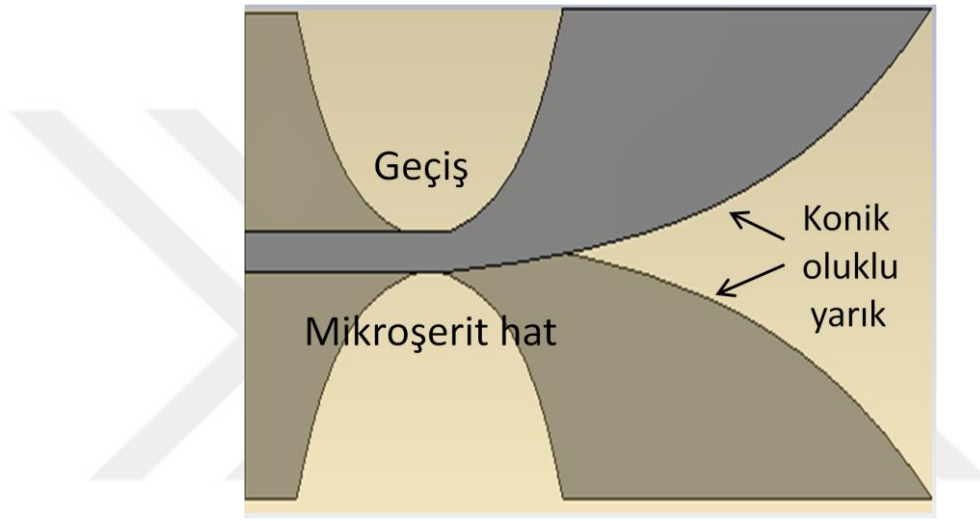


şekil 4.1 : Eş düzlemlı Vivaldi anten.

Anten tasarımında kullanılan farklı parametreler yardımıyla antenin ışıma karakteristikleri istenilen biçimde uyarlanabilir. Örneğin konik oyuğun bitiminde kullanılan dairesel boşluk çapı, duran dalga oranının ayarlanmasında kullanılır. Antenin uzunluğu çalışma frekansını belirlemek için kullanılır. Geniş bir bantta empedans uyumu sağlamak için mikroşerit hat ve yarık hattı geçişinin tasarımı önemli bir parametredir. Eş düzlemlı Vivaldi anten parametrik tasarımı sonraki bölümlerde detaylı bir şekilde anlatılacaktır.

4.1.2 Antipodal Vivaldi anten

Birbirine ters ve simetrik bir şekilde eksponansiyel kesimli iki metal iletkenin dielektrik malzemenin farklı yüzeylerine yerleştirilmesiyle oluşturulur. İletken kısımlardan birisi besleme olarak diğeri ise ışıma kısmı olarak tasarlanır Eş düzlemli Vivaldi antendeki karmaşık besleme yapısını basitleştirmek ve beslemeden kaynaklanan geniş bantta empedans eşleşmesi ile ilgili sorunları ortadan kaldırmak amacıyla Antipodal Vivaldi anten sunulmuştur [42]. Şekil 4.2’de antipodal Vivaldi anten örneği gösterilmektedir.



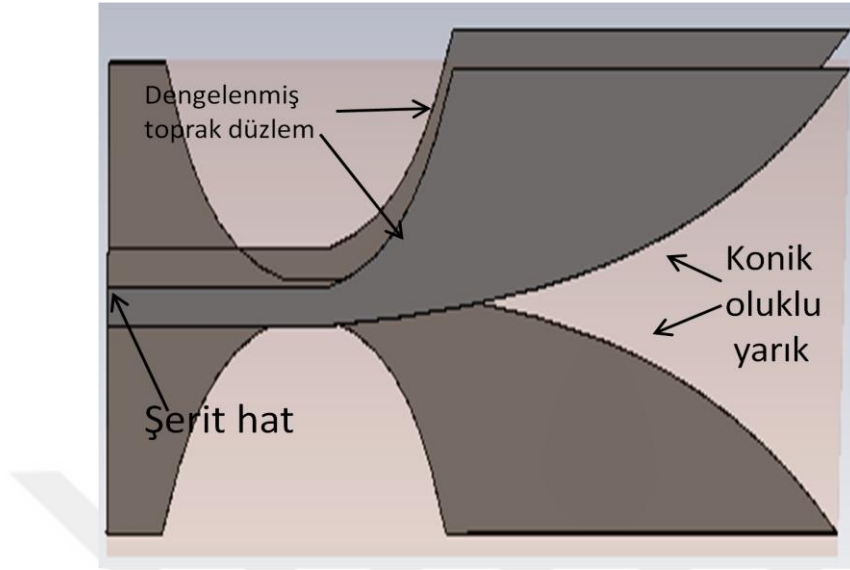
Şekil 4.2 : Antipodal Vivaldi anten.

Antipodal Vivaldi antenlerde iletken metalin eksponansiyel kesim eğri oranları ve anten ağız açıklığı antenin ışıma örüntüsü ve empedans uyumu açısından önemli bir parametredir. Bundan dolayı, arzu edilen ışıma karakteristiği elde etmek için düzgün bir şekilde tasarlanması gerekmektedir.

4.1.3 Antipodal dengelenmiş Vivaldi anten

Antipodal dengelenmiş Vivaldi anten yapısı, diğer Vivaldi antenlerden farklı olarak üç adet ekponansiyel kesimli iletken metal katmandan oluşur. Orta iletken katman besleme hattı olarak, diğer alt ve üst katman ışıma kısmı olarak tasarlanır. Şekil 4.3’te antipodal dengelenmiş Vivaldi anten örneği gösterilmektedir. Bu anten yapısında, besleme hattı olarak şerit iletim hattı kullanılmaktadır. Bu yapıdan dolayı elektrik ve manyetik alan çizgileri simetrik olarak dağılmaktadır. Antipodal Vivaldi

antende problem olarak karşımıza çıkan düşük çapraz polarizasyon, dengeli Vivaldi anten yapısı ile çözülmektedir.



Şekil 4.3 : Dengelenmiş antipodal Vivaldi anten.

4.2 Vivaldi antenin avantaj ve dezavantajları

Geniş bant haberleşme sistemleri ve radar uygulamalarında sıklıkla kullanılan Vivaldi antenin birçok avantajlarının yanında bazı dezavantajları da bulunmaktadır.

4.2.1 Vivaldi antenin avantajları

Vivaldi antenler, elektromanyetik hesaplamalı programlar ile tasarlanarak baskı devre teknolojisi sayesinde mikroşerit antenler gibi kolayca üretilebilmektedir. Üretimde kullanılan dielektrik malzeme frekansa aralığına göre farklılık gösterebilmektedir. Bu malzemeler piyasada kolayca temin edilebilmektedir. Yapısal olarak hafif ve düzlemsel olması tümleşik sistemin bir parçası olarak kolayca kullanılmasını sağlar. Tasarımı yapılan bir devre ile anten birlikte aynı malzeme üzerinde bulunabileceği gibi tek seferde üretimi yapılabilir.

Vivaldi antenler geniş bir bant aralığında empedans eşleme imkânı sağlamaktadır. Çalışma frekans aralığında aynı ışıma karakteristiği özelliğine sahiptir. Vivaldi antenler yüksek yönlülüğe ve boyuna ışıma özelliğine sahip anten tipidir.

4.2.2 Vivaldi antenin dezavantajları

Vivaldi antenler çok yüksek frekanslarda mm seviyesinde boyutlara kadar küçülmektedir. Bundan dolayı anten beslemeleri yapısal olarak zorlaşmakta ve farklı özel tasarımlara ihtiyaç duyulmaktadır.





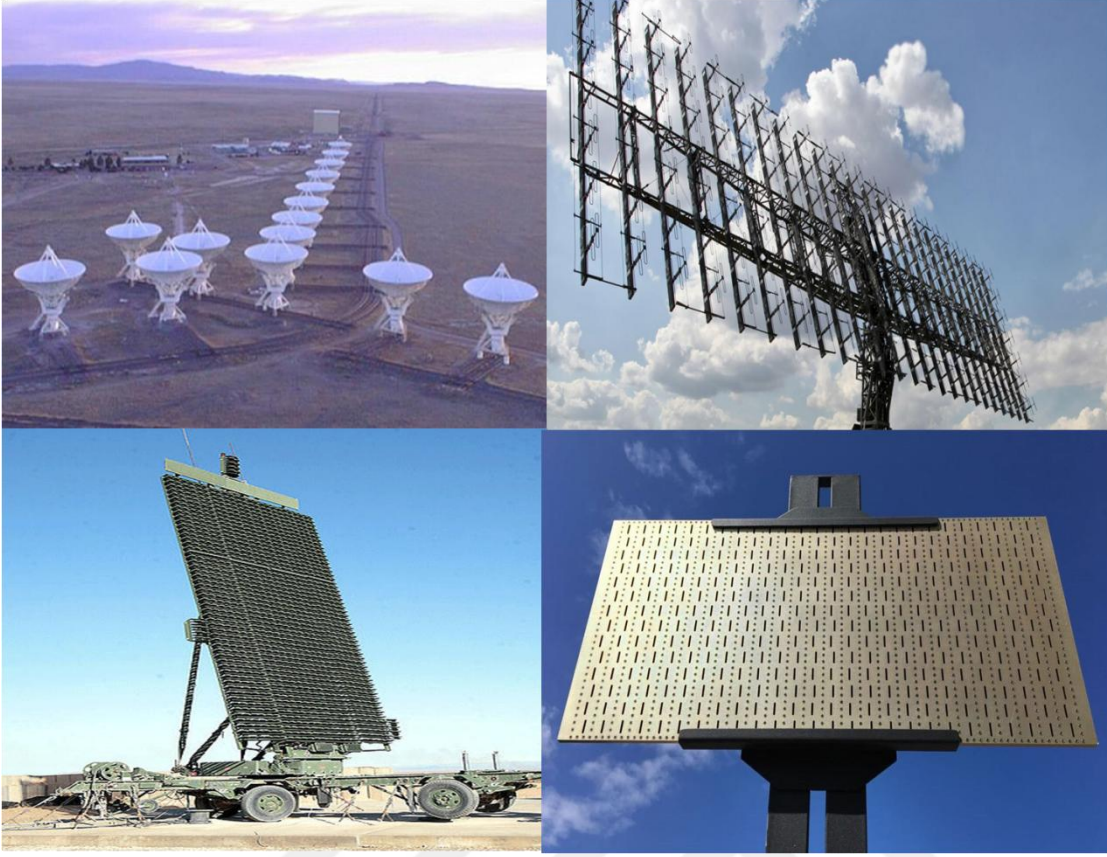
5. ANTEN DİZİLERİ

5.1 Dizi Antenler Genel Bilgi

Günümüzde birçok çeşit anten tasarımları bulunmaktadır. Her bir antenin kendine özgü ışıma karakteristikleri olmasına rağmen, tek bir anten arzu edilen ihtiyaçları karşılayamayabilir. Oysaki kimi zaman istenilen yönde huzme genişliği yoğunlaştırmak ve yüksek anten kazancında ışıma örüntüsü elde etmek istenir. Bu durumda tek bir antenin düşük kazanç ve tek yönlü özellik göstermesi bu ihtiyaçları karşılamakta yetersiz kalmaktadır. Bu sorunu ortadan kaldırmak için birden çok antenin elektriksel ve geometrik konfigürasyonu ile oluşturulan anten dizileri kullanılır. Anten dizisi oluştururken herhangi bir çeşit anten kullanılabilir. Anten dizisindeki tüm elemanlar özdeş olabileceği gibi farklı türden antenlerden de seçilebilir. Ancak anten dizisinde özdeş anten kullanımı pratik olduğu kadar alan hesaplama ve analizlerinde de kolaylık sağlamaktadır. Birden fazla antenin geometrik olarak üretimini ve tasarımını kolaylaştırması sebebiyle mikroşerit antenler, en çok tercih edilen anten çeşitlerinden biridir [43].

Dizi antenlerin toplam alanları, her bir dizi elemanından (anteninden) ışıyan alanlarının vektörel olarak toplanmasıyla hesaplanır. İstenilen doğrultuda yönlü bir ışıma örüntüsü elde edebilmek için, istenilen yönde birbirleri ile toplanması, istenmeyen yönde ise birilerini sıfırlaması sağlanmalıdır. Pratikte bunu gerçekleştirmek oldukça zor olmasına karşın dizi parametreleri ile yapılacak optimizasyon ile ideal bir ışıma örüntüsüne yaklaşılabılır. Anten dizisinin ışıma örüntüsünü şekillendirebileceğimiz farklı parametreler vardır. Bunlar:

- Anten dizisindeki her bir elemanın geometrik olarak, konumlandırılması (doğrusal, düzlemsel, dairesel vb.),
- Anten dizisindeki her bir elemanın uyarım genlikleri,
- Anten dizisindeki her bir elemanın uyarım fazı,
- Anten dizisindeki her bir elemanın kendi ışıma örüntüsüdür.

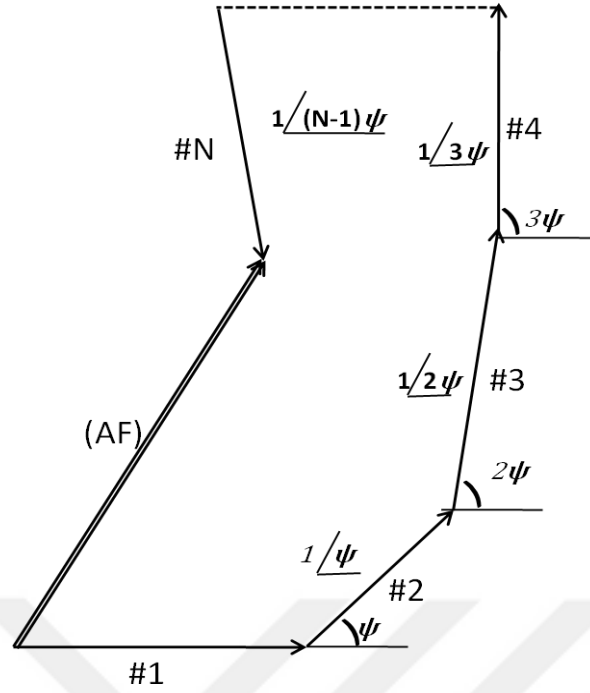


Şekil 5.1 : Farklı tipte anten dizileri.

Şekil 5.1’de farklı türden anten elemanları kullanılarak oluşturulmuş anten dizilerine örnekler gösterilmektedir. Anten dizileri özellikle anten huzmesini daraltmak ve şekillendirmek, yüksek yönlülük ve kazanç artırımı, elektronik huzme tarama ve istenmeyen yönde sıfırların yerleştirilmesi amacıyla oluşturulabilir. Anten dizilerinin ışıma özellikleri olarak yarım güç huzme genişliği, yan kulakçık seviyeleri, ana huzme yönü gibi parametreler dikkate alınarak değerlendirilir.

5.2 N Elemanlı Doğrusal Anten Dizisi

Doğrusal anten dizisi, bir hat boyunca dizi elemanlarının belirli aralıklarla konumlandırılmasıyla oluşturulur. Şekil 5.2’de N elemanlı doğrusal anten dizisi gösterilmektedir. Eğer tümü aynı değerde ve her biri için artan fazlı olan özdeş elemanlara sahip antenleri ile oluşturulursa düzgün dizi olarak ifade edilir. Anten dizisinin elemanları yerine nokta kaynak olarak değerlendirilmesi dizi faktörü olarak ifade edilir. Toplam alan dizi faktörü ile diziyi oluşturan tek bir elemanın(özdeş) alanı ile çarpılmasıyla bulunur.



Şekil 5.3 : Z ekseninde dizilmiş özdeş kaynaklardan oluşan N elemanlı dizinin fazör diyagramı [43].

Şekil 5.4.'de, dizinin elemanları arasındaki ψ bağıl faz değerinin değiştirilerek dizi faktörünün fazının ve genliğinin değiştirilebildiği görülmektedir.

Eş. 5.3 eşitliğinin her iki yanını $e^{j\psi}$ ile çarpıldığında,

$$(AF)e^{j\psi} = e^{j\psi} + e^{j2\psi} + e^{j3\psi} \dots + e^{j(N-1)\psi} + e^{jN\psi} \quad (5.4)$$

eşitliği elde edilir. Eş. 5.4 Eş 5.3'den çıkarılırsa,

$$AF = \left[\frac{e^{jN\psi} - 1}{e^{j\psi} - 1} \right] = e^{j((N-1)/2)\psi} \left[\frac{e^{j(N/2)\psi} - e^{-j(N/2)\psi}}{e^{j(1/2)\psi} - e^{-j(1/2)\psi}} \right] \quad (5.5)$$

$$AF = e^{j((N-1)/2)\psi} \left[\frac{\sin \left(\frac{N}{2}\psi \right)}{\sin \left(\frac{1}{2}\psi \right)} \right] \quad (5.6)$$

elde edilir. Dizinin referans noktası, merkez noktası olarak seçilirse, Eş. 5.6 ile verilen dizi faktörü şu şekilde yazılır:

$$AF = \left[\frac{\sin \left(\frac{N}{2}\psi \right)}{\sin \left(\frac{1}{2}\psi \right)} \right] \quad (5.7)$$

Dizi çarpanının maksimum değerinin birim değer olması için normalizasyon işlemi gerçekleştirilir. Bu durumda dizi faktörü,

$$(AF)_n = \frac{1}{N} \left[\frac{\sin \left(\frac{N}{2} \psi \right)}{\sin \left(\frac{1}{2} \psi \right)} \right] \quad (5.8)$$

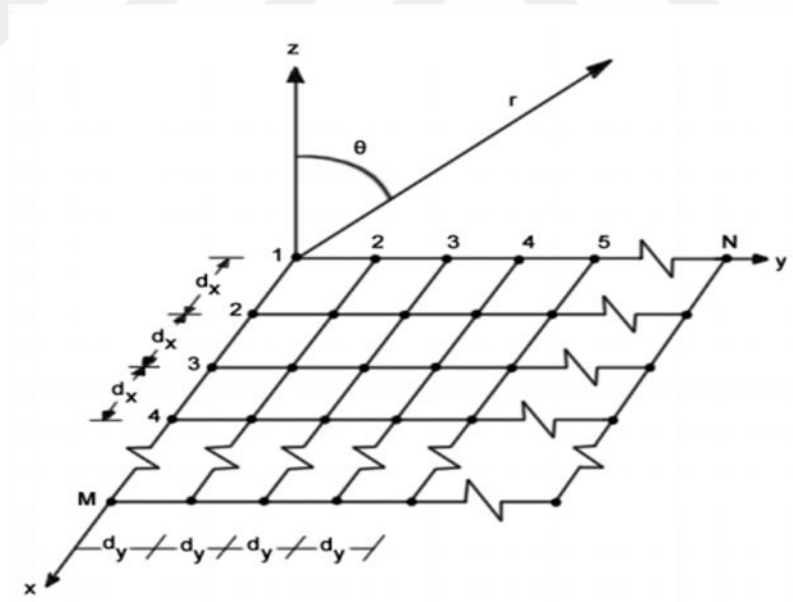
olur. ψ değerinin çok küçük olduğu durumlarda ise,

$$(AF)_n \cong \left[\frac{\sin \left(\frac{N}{2} \psi \right)}{\sin \left(\frac{1}{2} \psi \right)} \right] \quad (5.9)$$

şeklinde ifade edilir.

5.3 Düzlemsel Anten Dizisi

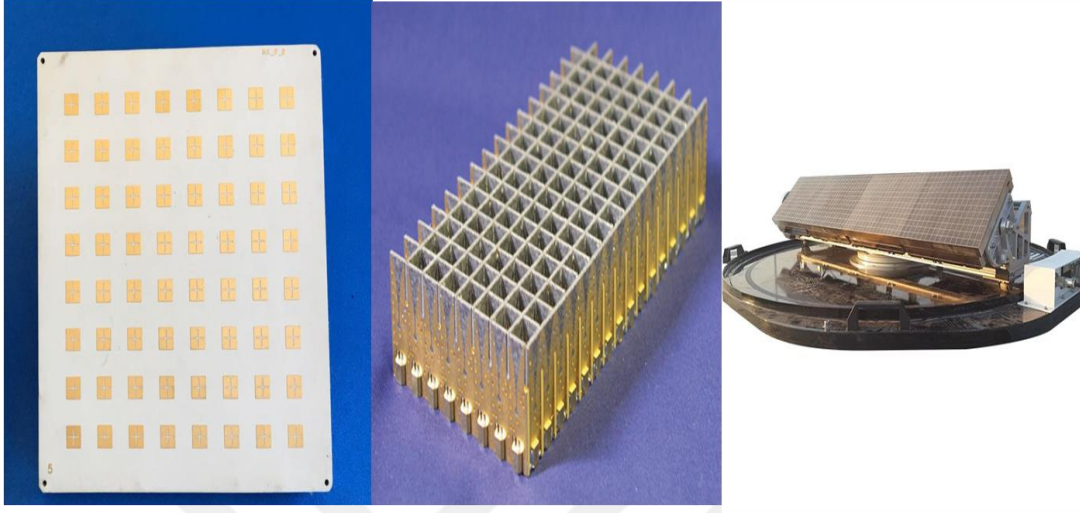
Düzlemsel anten dizisi, bir doğru üzerine yerleştirilerek oluşturulan doğrusal anten dizinin bir düzlem üzerine belirli aralıklarla yerleştirilmesiyle oluşturulur. Bundan dolayı doğrusal anten dizisi için kullanılan yöntemler düzlemsel anten dizisi içinde geçerlidir. Şekil 5.4'te düzlemsel anten dizi geometrisi gösterilmektedir.



Şekil 5.4 : Düzlemsel anten dizisi [43].

Simetrik ışıma örüntülerine ve daha düşük seviyelerde yan kulakçıklara sahip olduğundan dolayı farklı uygulamalarda üstünlük sağlayabilirler. Bunun yanında doğrusal anten dizisinin düzlemsel tarama özelliğinden farklı olarak noktasal tarama özelliğine sahiptir. Bu üstünlüklerinde dolayı, başta hedef tespit radarı, uzay araçları,

uzaktan algılama ve haberleşme teknolojileri alanında geniş bir kullanım alanına sahiptir. Şekil.5.5'te farklı uygulamalarda düzlemsel anten dizilerine örnekler gösterilmektedir.



Şekil 5.5 : Düzlemsel anten dizisi örnekleri.

Düzlemsel antenlerin dizi çarpanını elde etmek için, anten dizisinin N adet anten elemanından meydana gelen M adet doğrusal anten dizisinin yanyana getirilmesi ile oluşturulduğu düşünülebilir. Doğrusal anten dizisi için Eş. 3.12 ile verilen dizi faktörü ifadesini kullanacak olursak,

$$AF = \sum_{m=1}^M I_{m1} e^{j(m-1)(kd_x \sin \theta \cos \phi + \beta_x)} \quad (5.10)$$

elde edilir. Bu ifadede I_{m1} her bir doğrusal dizi için uyarım akımını ifade etmektedir. Bu diziler arasındaki uzaklık d_x , bir öncekine göre faz farkı ise β_x olarak ele alınırsa, tüm düzlemsel yüzey için dizi faktörü:

$$AF = \sum_{n=1}^M I_{1n} \left[\sum_{m=1}^M I_{m1} e^{j(m-1)(kd_x \sin \theta \cos \phi + \beta_x)} \right] e^{j(n-1)(k_y \sin \theta \sin \phi + \beta_y)} \quad (5.11)$$

olur. Tüm dizi için uyarım akımının aynı olduğu varsayılırsa:

$$AF = I_0 \sum_{n=1}^M e^{j(n-1)(k_y \sin \theta \sin \phi + \beta_y)} \sum_{m=1}^M e^{j(m-1)(kd_x \sin \theta \cos \phi + \beta_x)} \quad (5.12)$$

ifadesi elde edilir. İki elemanlı anten dizisinde yapılan normalizasyon işlemini düzlemsel anten için de yapacak olursak,

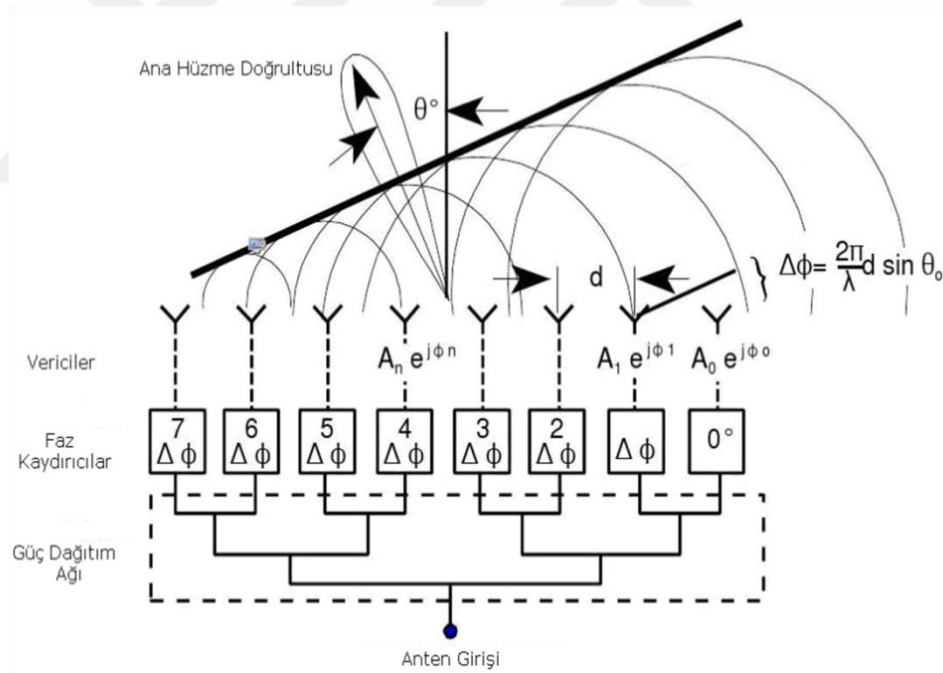
$$AF_n(\theta, \varphi) = \left\{ \frac{1}{M} \frac{\sin \frac{M}{2} \psi_x}{\sin \frac{\psi_x}{2}} \right\} \left\{ \frac{1}{N} \frac{\sin \frac{N}{2} \psi_y}{\sin \frac{\psi_y}{2}} \right\} \quad (5.13)$$

öyle ki:

$$\psi_x = kd_x \sin \theta \cos \phi + \beta_x \quad (5.14)$$

$$\psi_y = kd_y \sin \theta \sin \phi + \beta_y \quad (5.15)$$

ifadesi elde edilir. Bu kısaltılmış ifade, elemanlar arasındaki faz farkının bir öncekine eşit olduğu durum için oluşturulmuştur. Elemanlar arasındaki faz farkının bir öncekine eşit olması durumu, pratikte antenlerin beslenmesini kolaylaştırmaktadır. Şekil 5.6'da bir anten dizisinin pratikte nasıl beslendiği gösterilmektedir.



Şekil 5.6 : Bir anten dizisinin beslenme şekli.

Anten dizileri arasındaki faz farkının sabit olması yerine, her bir anten elemanının uyarım fazının farklı olması da istenebilir. Bu durumda ışınma örüntüsünün daha

esnek kontrolü sağlanır. Bu durumda anten dizisinin dizi faktörü şu şekilde verilebilir:

$$AF(\theta, \varphi) = \sum_{i=1}^N \alpha_i e^{j\beta_i} e^{j2\pi d x_i \sin\theta \cos\varphi} e^{j2\pi d y_i \sin\theta \sin\varphi} \quad (5.16)$$

Bu eşitlikte N toplam anten elemanı sayısını, θ z-eksenine göre yükselme açısını, φ x-eksenine göre azimut açısını, α_i i'nci elemanın uyarım akımı genliğini, β_i i'nci elemanın akımını göstermektedir. dx_i ve dy_i ise anten elemanının sırasıyla y eksenine ve x eksenine uzaklıklarını göstermektedir. Bu eşitlik kullanılarak, birbirinden farklı fazlara ve eksenlerden farklı uzaklıklara sahip anten elemanlarından oluşan düzlemsel bir dizinin dizi çarpanı elde edilebilmektedir.



6. GENETİK ALGORİTMALAR

Genetik algoritmalar, doğal seçim ve genetik biliminden esinlenerek bir probleme en iyi çözümü bulmayı hedefleyen sezgisel optimizasyon tekniklerinin bir türüdür. Genetik algoritmalar özünde evrim teorisine dayanmaktadır. Doğada uzun süre hayatta kalmayı sürdürmeyi başarabilen birey, yaşadığı ortama uyum sağlayabilen bireydir. Bu uyumu sağlayamayan bireyler yok olurlar. Her nesil kendinden önceki hayatta kalmayı başarmış nesillerin üremesiyle oluşur. Böylelikle sürekli daha iyi nesiller aktarılır. Genetik algoritmalar da ay esaslar mevcuttur. Kötü bireylerin popülasyondan elenerek eşleşmeye dâhil olmayıp, daha uygun bireylerin birbirleriyle eşleşerek yeni daha iyi çözüm kümesi oluşturulur. En iyiye ulaşana kadar doğal seçim süreci çalışır. Genetik algoritmalar ilk olarak 1975 yılında John Holland tarafından geliştirilip ortaya atılmıştır [44]. Ardından öğrencisi David Goldberg tarafından çeşitli problemler üzerine genişletilmiştir [45].

Genetik algoritma bazı operatörlerden ve parametrelerden meydana gelmektedir. Genetik algoritmanın temelini doğal seçim, çaprazlama, mutasyon ve yeniden oluşturma operatörleri oluşturur. Çözüme ulaşmak istenen bir problemin girişleri olarak genlerden yani bireylerden oluşan kromozomlar kullanılır. Çıkış olarak ise belli kısıtlar verilerek oluşturulmuş bir maliyet değeri olarak değerlendirilir. Genetik algoritmalar ile birey seçiminden başlayıp diğer operatörlerin sırasıyla uygulanarak bir döngü dâhilinde en iyi genel çözüm değerine ulaşması hedeflenir.

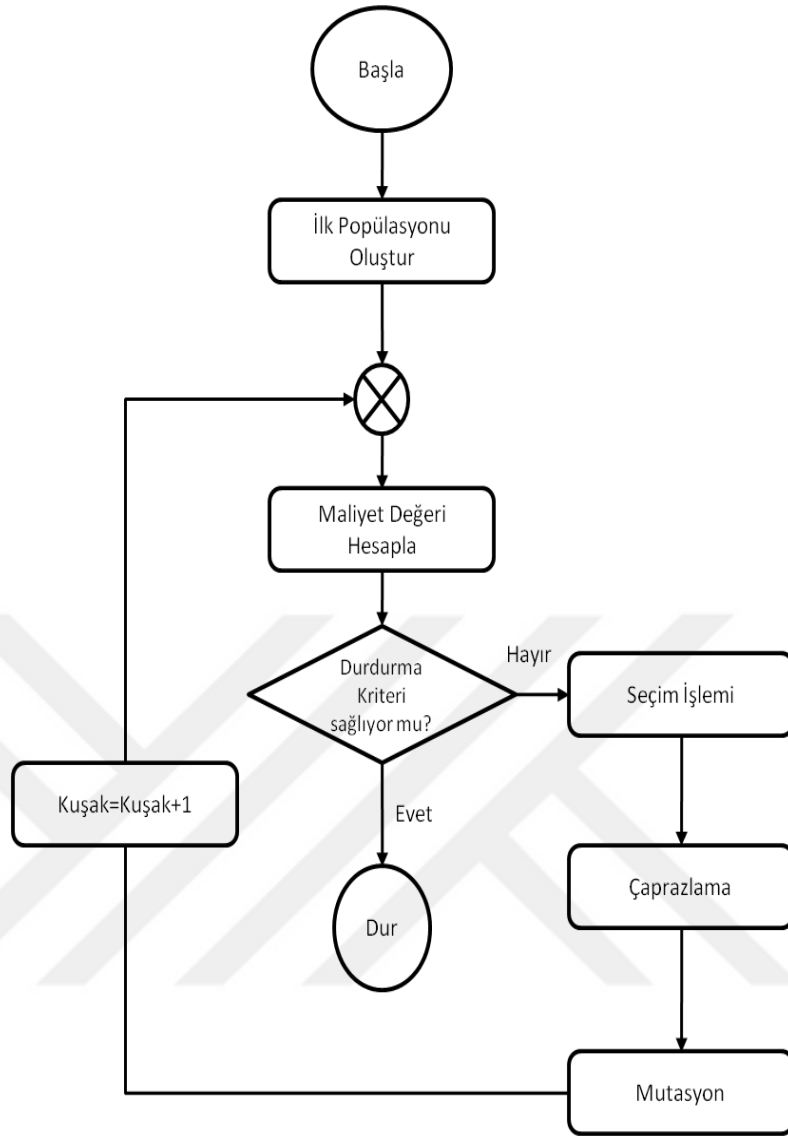
Genetik algoritmalar birçok değişkenin olduğu çözümü zor problemle de sıklıkla kullanılmaktadır. Bu bakımdan genetik algoritmalar birçok üstünlük sağlamaktadır. Bunlar:

- Sürekli ve ayrık değişkenler üzerine uygulanabilmesi
- Problemin doğasıyla ilgili detaylı bilgiye ihtiyaç duymaması
- Geniş bir örnekleme alanında eşzamanlı arama yapabilmesi
- Büyük sayılarda değişkenlerle çalışabilmesi
- Paralel bilgisayarlar için uygun olması
- Sadece bir sonucu değil, birden fazla optimum sonucu liste halinde sunabilmesi

- Sayısal olarak üretilmiş verilerle, deneysel verilerle ve analitik fonksiyonlarla çalışabilmesidir [46].

6.1 Genetik Algoritmanın Yapısı

Genetik algoritmada en uygun çözümü bulmak için bir döngü dâhilinde birbirini takip eden üreme işlemlerinin neticesinde yeni nesillerin oluşturulur. Bu sürecin problemimize uyarlayıp iyi bir şekilde işlemesi için değişkenlerin ve kısıtlamaların düzgün bir şekilde tanımlanması önemlidir. Öncelikle çözümünü ulaşmak istediğimiz problemin değişkenlerinden rastsal değer atamasıyla bir popülasyon oluşturulur. Oluşturulan bu popülasyona genetik algoritmaların temel operatörleri olan üreme, çaprazlama ve mutasyon operatörleri uygulanarak yeni nesiller yani çözümler elde edilir. Bu nesillerin tekrar seçilebilmesi için belirlediğimiz bir uygunluk fonksiyonuna tabi tutulur. Böylelikle döngüsel olarak yapılan bu işlemler en iyi çözümü bulana dek devam eder. En genel tanımıyla genetik algoritmaların akış şeması Şekil 6.1’de gösterilmektedir.



Şekil 6.1 : Genetik algoritmalar akış şeması.

Genetik algoritmada önemli başarı kriterimizi belirleyebileceğimiz en önemli parametrelerden bir tanesi de uygunluk fonksiyonunun belirlenmesidir. Uygunluk fonksiyonu aslında bir seçim kriteridir. Probleme göre değişkenlik gösterebilen genetik algoritmanın amacı uygunluk fonksiyonunu maksimize veya minimize etmek olabilir. Popülasyonu oluşturan bireylerin en iyi çözüm için değerlendirilmesi uygunluk fonksiyonuna göre yapılır. Uygun görülen bireyler popülasyondaki diğer bireylerle çoğalırlar. Çaprazlama sonucunda yeni bireyler ortaya çıkar. Çocuk dediğimiz bu bireyler kendisini meydana getiren ebeveynlerden meydana gelir. Uygunluk fonksiyonuna göre seçilme olasılığı düşük değerlendirilen bireyler ise bir süre sonra döngü dışında kalarak yok olurlar. Böylelikle en iyi bireyin oluşması için döngü devam eder.

En iyi çözümü bulabilmek için bir arama uzayı meydana gelir. Uygunluk fonksiyonun doğru tarif edilmesi ve operatörlerin doğru kullanılmasıyla en iyi çözüme daha hızlı ve daha doğru şekilde ulaşılabilir. Böylelikle arama uzayı etkin kullanılmış olur. Genetik algoritmalar çok büyük arama uzayı içeren karmaşık problemlerin çözümünde büyük üstünlük sağlamaktadır. Diğer nümerik yöntemler gibi kesin sonuç vermeyebilir ancak daha uygun bir süre içerisinde çözüme en yakın değeri verebilmektedir. Bu sayede özellikle matematiksel olarak ifade edilemeyen ve geleneksel optimizasyon teknikleriyle sonuca ulaşamadığı durumlarda kısa sürede kabul edilebilir bir değerde çözüm sunmaktadır.

6.2 Genetik Algoritmaların Gösterim Şekli

Genetik algoritmaların en temel birimi gen olarak adlandırılan ve optimizasyon parametrelerinin kodlanarak oluşturulmuş gösterim şeklidir. Genlerin belirli bir sıra dâhilinde bir araya gelmesiyle kromozomlar meydana gelir. Bu bakımdan genler, çözümü istenen probleme özgü değişkenleri temsil eder ve bu değişkenlerin sıralı bir şekilde dizilmesiyle kromozomlar yani çözüm değerleri oluşur. Kromozom diziliş gösterimleri ikili kodlu sistemde veya sürekli parametre değerinde olabilir. Şekil6.2’de gen ve kromozom dizilişleri için örnek sunulmuştur.

	X1 8 bit	X2 11 bit	X3 6 bit	X4 10 bit	X5 8 bit
Gen	11110010	00101011010	010011	100011101	10101001
Kromozom	111100100010101101001001110001110110101001				

Şekil 6.2 : İkili kodlu sistemde dizilim.

6.2.1 Başlangıç popülasyonunun oluşturulması

Genetik algoritmalarda en uygun çözümü bulmak için taranan çözüm kümesi olarak tanımlanan popülasyon, kromozom değerlerinin belirtildiği kümedir. Bu küme genel olarak algoritma başlangıcında kromozom değerlerinin rastgele atanmasıyla oluşturulabilir. Bunun yanında genel en iyi çözümü bulmada zaman açısından tasarruf sağlamak için çözümü bilinen kromozomlar başlangıçta atanabilir. Sonuç

itibari ile genetik algoritmalar rastgele veya değer verilerek oluşturulan kromozomların sıralanmasıyla yapılmış bir liste ile başlar.

6.2.2 Uygunluk fonksiyonu ve amaç fonksiyonu

Genetik algoritmaların başında, her bir kromozom için aranan en iyi çözüme ne kadar yakın olduğunu belirten uygunluk fonksiyonu başka bir ifadeyle seçim kriteri oluşturulur. Çözüm kümesini oluşturan her bir kromozomun için ayrı ayrı uygunluk değerleri hesaplanır. Uygunluk fonksiyonu çözümü istenen problemin tipine göre değişkenlik gösterebilir. Bir maksimizasyon probleminde her bir döngüde kromozomların uygunluk değerleri hesaplanarak en yüksek uygunluk değerinden en düşük uygunluk değerine göre sıralanır. Belirlenen kriterlere göre yüksek uygunluk dereceli kromozomlar bir sonraki nesile aktarılmak için kullanılır. Böylelikle en iyi çözüme yaklaşılr. Uygunluk kriterinin belirlenmesi farklı yöntemlerle olabilir. Belirli bir kısmı seçim için ayrılabilceğı gibi, kromozomların uygunluk değerleri için bir eşik değeri belirlenebilir.

6.2.3 Seçim

Seçim işleminin amacı, popülasyondaki uygunluk değeri yüksek olan kromozomları seçerek daha iyi nesiller oluşmasını ve bu sayede en iyi çözüme yaklaşmayı sağlamaktır. Bu süreçte bireylerin yani kromozomların bir kısmı elenecek ve yeni nesillerde iyi bireyler kalacaktır.

Seçim işlemi için çeşitli metotlarla yapılabilir. Bunlar; rulet tekerleğı, turnuva seçimi, derecelendirmeli seçme, elitizimli seçme olarak sıralanabilir.

6.2.4 Çaprazlama

Çaprazlama işlemi, ebeveyn olarak seçilmiş farklı iki kromozomun genlerinin bir kural dâhilinde birbirleriyle yer değışmesidir. Çaprazlama sonucunda farklı uygunluk değerinde yeni bireyler(çocuklar) oluşur. Oluşturulan bu bireyler ile eski bireyler uygunluk değerlerine göre değerlendirilerek kriterlere uygun olarak popülasyonun içinde kalır veya dışarı atılır. Bu sayede popülasyon sayısı sabit tutulur. Çaprazlama işlemi farklı metotlarla yapılabilir. Bunlar; tek noktalı çaprazlama, çok noktalı çaprazlama, düzenli çaprazlama, aritmetik çaprazlama olarak sıralanabilir.

6.2.5 Mutasyon

Mutasyon işlemi, yeni bir genetik yapı oluşturmak için seçilen bir kromozomun bir bölümün rastgele değiştirilmesi olarak tanımlanabilir. Mutasyon genetik algoritmanın genel en iyiye ulaşmada başarısı için önemli bir operatördür. Özellikle çaprazlama ile elde edilemeyen uygunluk değeri yüksek bireyler oluşturma kullanılır. Ayrıca kromozomların aynı gen yapısında sürekli tekrar etmesini engeller. Ancak mutasyon oranının iyi belirlenmesi gerekir. Aksi halde uygunluk derecesi yüksek olan bireylerin bozulmasına ve bu yüzden genel en iyi çözüme ulaşmayı engellemeye yol açabilir. Popülasyondaki bir kromozomun mutasyona uğrama olasılığı P_{mutasyon} değeriyle ifade edilir ve genellikle $0,001 \leq P_{\text{mutasyon}} \leq 0,01$ aralığında alınır [46]. Mutasyon işlemi farklı metotlarla yapılabilir. Bunlar; ters çevirmeli mutasyon, ekleme mutasyon, yer değiştirme mutasyon ve karşılıklı değişim olarak sıralanabilir.

6.3 Vibrasyonel Genetik Algoritmalar

Bu tez çalışmada mikroşerit yama anten dizilerinin ışıma karakterini optimize etmek için yeni bir genetik yaklaşım olan vibrasyonel (titreşimli) genetik algoritma tekniği kullanılmıştır. Diziyi oluşturan antenler arası mesafe ve akım genlik uyarımları vibrasyonel genetik algoritma (VGA) ile optimize edilerek istenmeyen yan huzme seviyeleri düşürülmüştür. VGA tekniği, en iyiye ulaşmak için oluşturulmuş arama uzayı içerisinde çeşitlilik sağlayarak genel en iyiye daha hızlı bir şekilde ulaşmayı hedefler. Genetik süreç içerisinde belirli parametrelere etki eden ve çeşitlilik sağlayan dalga formu oluşturacak bir çeşit salınım (titreşim) tanımlanır. Bu süreç içerisinde belirli periyotlar halinde popülasyondaki tüm bireyler tasarlanan titreşim davranışına göre mutasyona uğrarlar. Mutasyon sonucu çeşitlik tüm arama uzayına yayılarak yerel minimumlara takılmadan hızlı bir biçimde genel en iyiye ulaşan uygun bireyler oluşur. Böylelikle GA'ya göre daha iyi bir yakınsama performansı sergiler.

VGA sürecinde ilk adım olarak sinüzoidal dalga tanımlanır. Kromozomlarda tüm genler tanımlanan sinüzoidal dalgaya göre mutasyona uğrarlar. Bu işlem;

$$y_i^m = y_i^m [1 + MA \cdot u \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot f_r)] \quad (6.1)$$

$$m = 1, \dots, n$$

$$i = 1, \dots, kn$$

denklemleriyle yapılır. Burada; y_i^m kontrol genlerini, kn bir kromozomdaki toplam gen sayısını, n popülasyondaki toplam birey sayısını, MA genliği, u değeri $[1,0]$ arasında rastgele bir gerçek sayıyı, f_r ise rastgele belirlenmiş frekansı belirtmektedir.

Genel en iyiye hızlı bir şekilde ulaşmak amacıyla dar bir alanda arama gerçekleştirmek için MA parametresi düzgün belirlenmesi gerekmektedir. Bu parametre;

$$MA = \left[\frac{\log(1+AF_0)}{\log(1+AF_k)} \right]^r \quad (6.2)$$

denklemleriyle bulunur. Burada; AF_0 ve AF_k sırasıyla ilk adımdaki ortalama uygunluk değeri ve mevcut uygunluk değerini, r ise genlik değerini ayarlayan gerçek bir sayı değerini göstermektedir. Genetik algoritma sürecinde ilk adımdan sonra uygun bireylerin seçimi ve yeniden oluşturulmasına müteakip tüm kromozomlara periyodik olarak uygulanacak titreşim algoritması aşağıdaki MATLAB koduyla sunulmuştur.

```
MA= (log(1+AF0)/log(1+AFk))^r ;
f1= kn*u1+1 ;
for j = 1:kn
    for i = 1:n
        f2=mod(u2*n,i+j) ;
        fr=f1/f2 ;
        y(i,j)=y(i,j)*(1+MA*u*sin(2*pi*fr) ;
    end
end
```

Burada u_1 ve u_2 $[1,0]$ arasında rastgele gerçek bir sayıyı göstermektedir [46].



7. ANTEN TASARIMI

7.1 Mikroşerit Yama Anten Tasarımı

Bu bölümde, dizi antenlerin bir elemanını olarak öncelikle 2,45 GHz çalışma frekansında mikroşerit anten tasarımı yapılarak daha sonra yüksek frekanslar için özellikle X bant aralığında çalışan mikroşerit anten optimizasyonu yapılmıştır. Anten tasarımları başlangıcında tasarım denklemleri kullanılarak pratik tasarım parametreleri belirlenmiştir. Daha sonra 2,45 GHz ve X-bant çalışma frekansında merkez frekans 9.26 Ghz'de tasarımı yapılacak mikroşerit yama antenleri için yama genişlik boyutu, yama uzunluğu, zemin genişliği, zemin uzunluğu, besleme çizgisi ile yama arası boşluk değeri, yama kalınlığı ve besleme ile yama arası kol uzunluğu gibi parametrelerin değerleri GA ile optimizasyonu yapılarak hesaplanmıştır. Anten tasarımı ve parametrik optimizasyonu aşamasında elektromanyetik hesaplamalı yazılım olarak CST-MWS (Computer Simulation Technology Microwave Studio) kullanılmıştır. Özellikle bu paket programın yazılım araçları olan Optimizasyon ve Parametrik tarama bölümü anten tasarım değerleri optimizasyonu için tasarımcıya büyük kolaylık sağlamaktadır.

Önerilen anten elemanlarının başlangıç tasarım boyutları sırasıyla aşağıdaki denklemlerle hesaplanmıştır. Burada mikro şerit yama anten için ϵ_r bağıl dielektrik katsayısını, ϵ_0 boşluğun dielektrik katsayısını, c ışık hızını, μ_0 boşluğun geçirgenliğini, f_r rezonans frekansını, k_0 yayılım sabitini, L_{eff} efektif uzunluğu, h alt tabaka malzemenin kalınlığını göstermektedir.

Yama genişlik boyutu,

$$w = \frac{1}{2f_r\sqrt{\mu_0\epsilon_0}} \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r+1}} \quad (7.1)$$

Efektif dielektrik sabiti,

$$\epsilon_{eff} = \frac{\epsilon_r+1}{2} + \frac{\epsilon_r-1}{2} \left(1 + 12 \frac{h}{w}\right) \quad (7.2)$$

Alt tabaka ile anten yama arasındaki ilişki ,

$$\frac{\Delta L}{h} = 0.412 \frac{\varepsilon_{eff} + 0.3 \frac{W}{h} + 0.264}{\varepsilon_{eff} - 0.258 \frac{W}{h} + 0.8} \quad (7.3)$$

Anten yama uzunluğu, zemin uzunluğu ve zemin genişliği hesaplanır:

$$L = L_{eff} - 2\Delta L \quad (7.4)$$

$$L_g = 6h + L \quad (7.5)$$

$$W_g = 6h + W \quad (7.6)$$

Giriş empedansı ve beslemesi aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$G_1 = \frac{-2 + \cos(k_0 W) + k_0 W S_i(k_0 W) + \frac{\sin(k_0 W)}{k_0 W}}{120\pi^2} \quad (7.7)$$

$$G_{12} = \frac{1}{120\pi^2} \int_0^x \left[\frac{1}{\cos\theta} \sin\left(\frac{k_0 W}{2} \cos\theta\right) \right]^2 J_0(k_0 L \sin\theta) \sin^3\theta d\theta \quad (7.8)$$

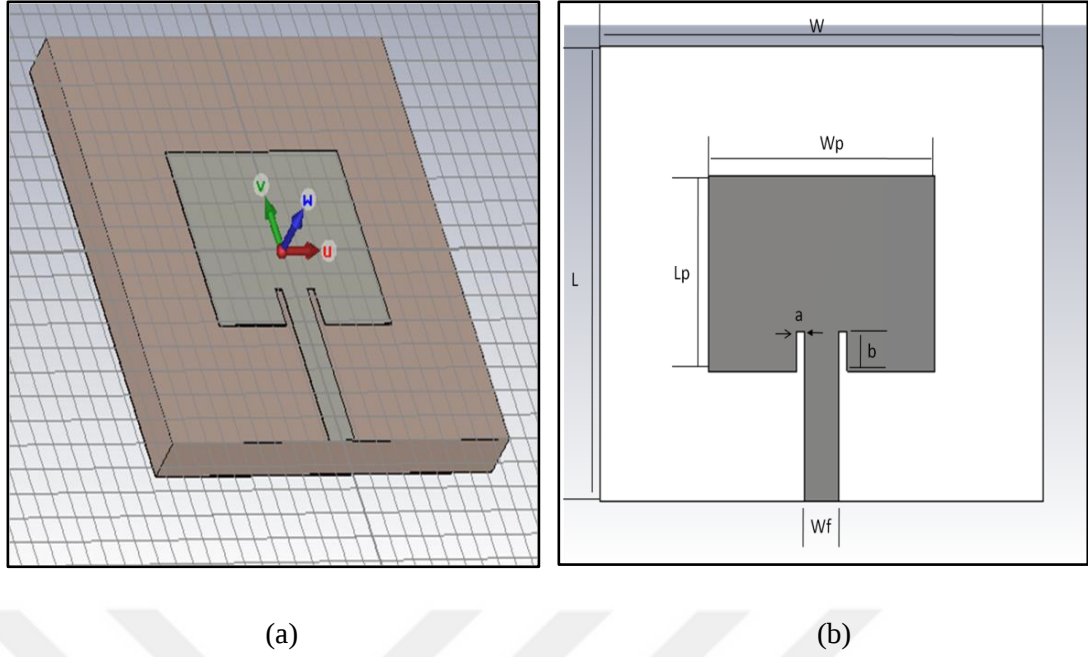
$$R_{in} = \frac{1}{2(G_1 + G_{12})} \quad (7.9)$$

$$y_0 = \frac{L}{\pi} \arccos\left(\sqrt{\frac{Z}{R_{in}}}\right) \quad (7.10)$$

G_1 besleme hattı iletkenliği, G_{12} karşılıklı iletkenlik, R_{in} rezonans giriş direnci, Z karakteristik empedansı göstermektedir.

Mikroşerit antenler için kullanılan alt tabaka malzemelerin dielektrik sabitleri genellikle $2,2 \leq \varepsilon_r \leq 12$ aralığındadır. Önerilen anten elemanlarının tasarımında düşük maliyetli ve piyasada kolayca temin edilebilen 4,3 dielektrik katsayısı (ε_r)'na ve 0,025 tanjant kaybı (δ)'na sahip, 1,6 mm kalınlığında (h) FR4 dielektrik malzeme kullanılmıştır.

2,45 GHz çalışma frekansında mikroşerit yama anten elemanının tasarımı ve geometrik parametreleri Şekil 7.1'de sunulmuştur.



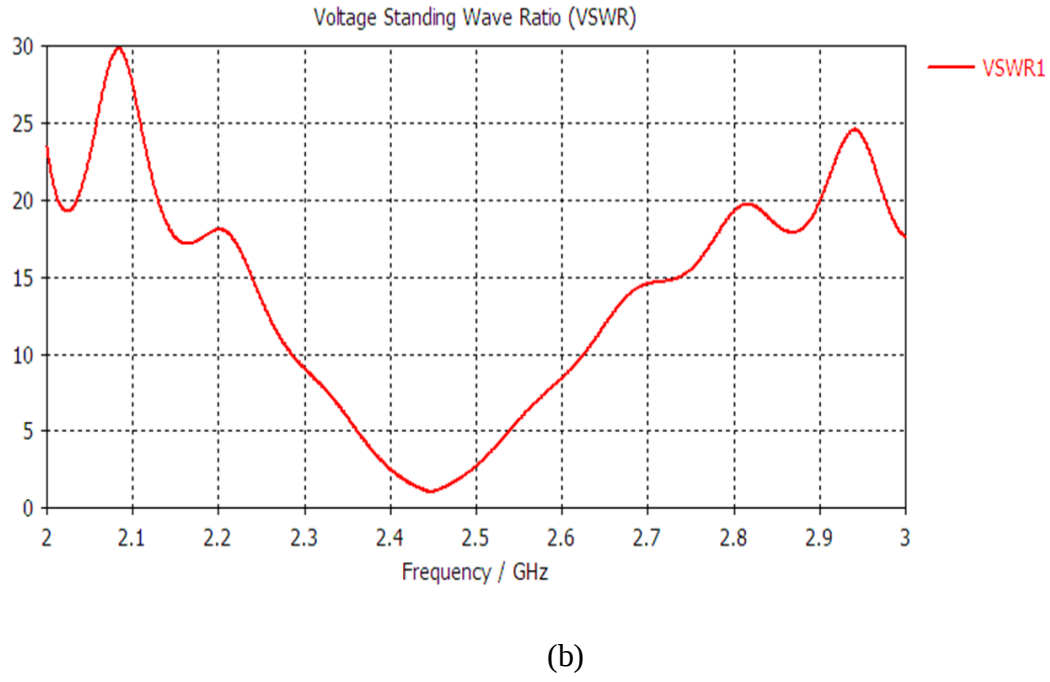
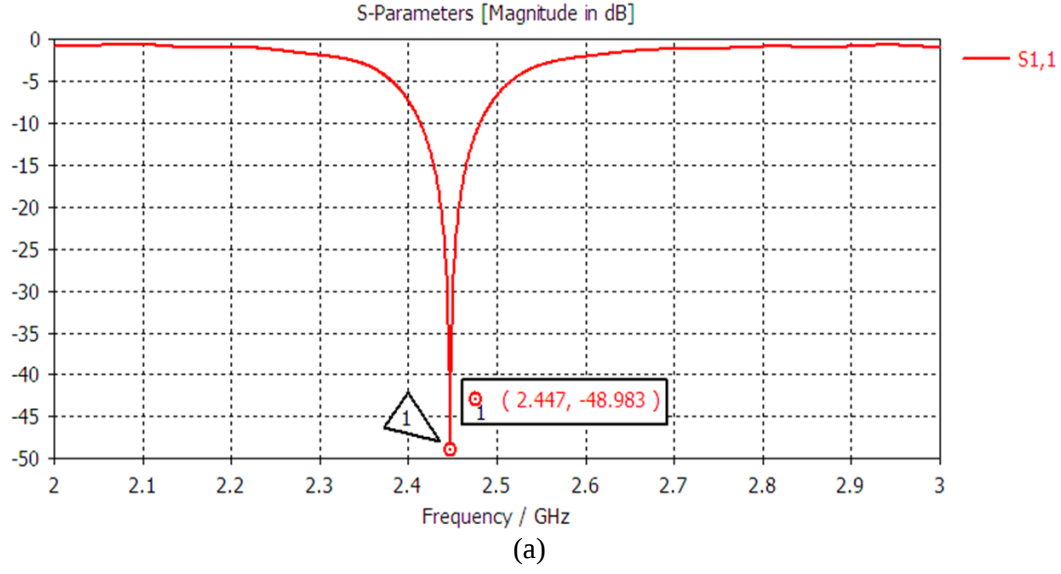
Şekil 7.1 : (a) 2,45 GHz’ de çalışan mikroşerit yama anten yapısı (b) Mikroşerit anten yapısı ön yüzeyi.

Tasarlanan anten elemanının boyutları ve parametre değerleri optimize edilerek geri dönüş kaybı ve kazanç en iyi seviyeye getirilmiştir. Mikroşerit anten tasarımı için kullanılan parametreler Çizelge 7.1’de gösterilmektedir.

Çizelge 7.1 : Mikroşerit yama anten tasarımında hesaplanan parametre değerleri.

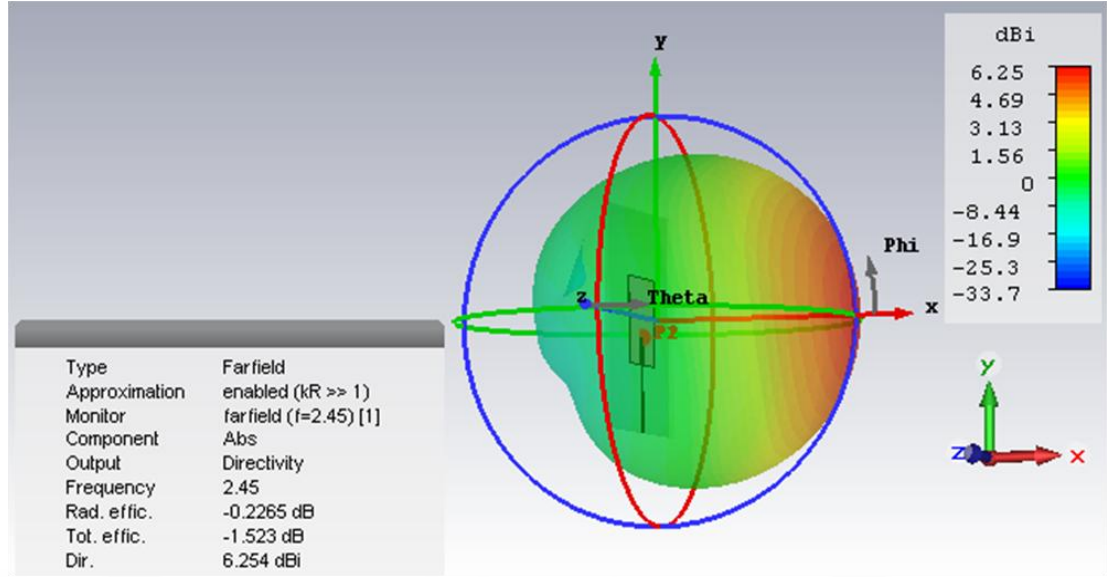
Parametre	Tanımı	Değer
L_p	Yama antenin uzunluğu	28, 45
W_p	Yama antenin genişliği	28, 45
ϵ_{eff}	Dielektrik Sabiti	4, 3
L	Zemin uzunluğu	72, 54
W	Zemin genişliği	72, 74
H_s	Dielektrik kalınlığı	1, 6
H_p	Yama kalınlığı	0, 035
a	Besleme çizgisi ile yama arası boşluk	1
b	Beslemeden yamaya girdi uzunluğu	9
W_f	Besleme genişliği	1, 137

Şekil 7.2’de anten tasarımının karakteristik özelliklerinden olan geri dönüş kaybı ve gerilim duran dalga oranı (VSWR) seviyeleri gösterilmektedir. Tasarımda seçilen 2,45 GHz çalışma frekansında geri dönüş kaybı -10 dB değerinin altında, gerilim duran dalga oranı ise 1,1 seviyesindedir.



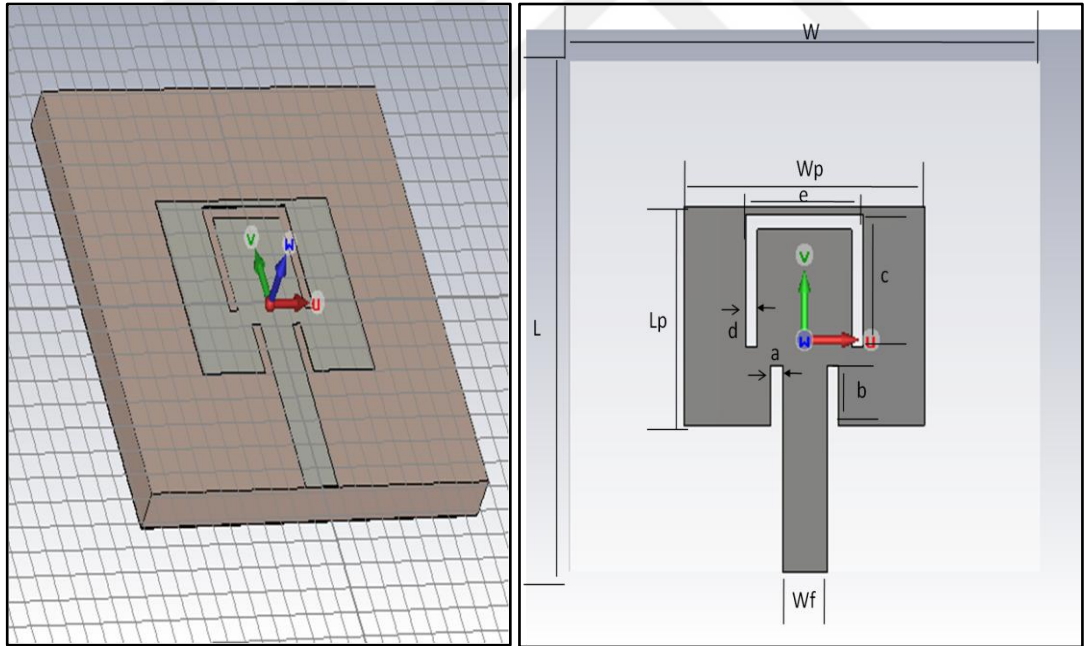
Şekil 7.2 : (a) Geri dönüş kaybı(S11) (b) Mikroşerit yama anten gerilim duran dalga oranı (VSWR).

Şekil 7.3 'de parametrelerinin eniyilemesi yapılan tek bir mikroşerit yama anteninin uzak alan anten ışıma örüntüsü(yönlülük) gösterilmektedir. 2,45 GHz çalışma frekansında 6,75 dBi en yüksek değere ulaşmaktadır.



Şekil 7.3 : 2.45 GHz çalışma frekansında tasarlanan mikroşerit yama antenin uzak alan yönlülük ışıma örüntüsü.

X-bant radar uygulamaları için 9,26 GHz çalışma frekansında mikroşerit yama anten elemanının tasarımı Şekil 7.4’de sunulmuştur.



(a)

(b)

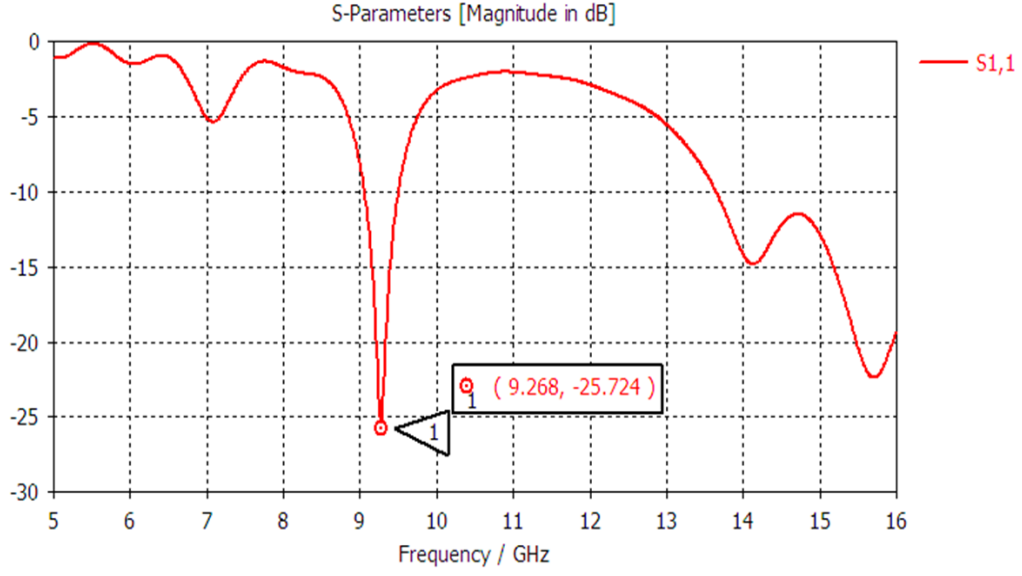
Şekil 7.4 : (a) 9 GHz’ de çalışan mikroşerit yama anten yapısı (b) Mikroşerit anten yapısı ön yüzeyi.

9,26 GHz çalışma frekansında tasarımı yapılan mikroşerit yama anten elemanının boyutları ve parametre değerleri optimize edilerek geri dönüş kaybı ve kazanç en iyi seviyeye getirilmiştir. Antenin istenmeyen yüzey akımlarının yönlendirilmesi ve istenilen frekans aralığında anten ışıması sağlanabilmesi için antenin yama yüzeyine U şeklinde yarık oluşturulmuştur. Anten yama yüzeyine oluşturulan bu yarıkların boyutları için parametre tarama yapılarak istenilen frekans aralığında ve yüksek kazançta anten ışıma örüntüsüne ulaşılmıştır. 9,26 GHz çalışma frekansında önerilen mikroşerit anten tasarım parametreleri Çizelge 7.2’de gösterilmektedir.

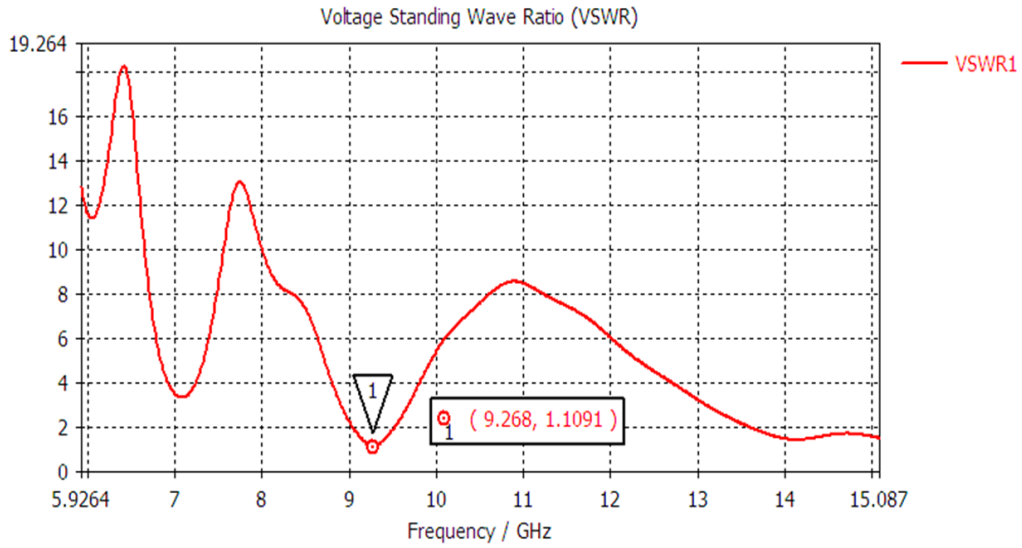
Çizelge 7.2 : Mikroşerit yama anten tasarımında hesaplanan parametre değerleri.

Parametre	Tanımı	Değer
L_p	Yama antenin uzunluğu	7,3
W_p	Yama antenin genişliği	10,23
ϵ_{eff}	Dielektrik Sabiti	4, 3
L	Zemin uzunluğu	17
W	Zemin Genişliği	20
H_s	Dielektrik kalınlığı	1, 6
H_p	Yama Kalınlığı	0, 035
a	Besleme çizgisi ile yama arası boşluk	0,5
b	Beslemeden Yamaya Girdi Uzunluğu	2
W_f	Besleme Genişliği	3
d	Yarık Genişliği	0,5
c	Yarık Uzunluğu	4,4
f	Yarık Uzunluğu	5

Şekil 7.5’de anten tasarımının karakteristik özelliklerinden olan geri dönüş kaybı ve gerilim duran dalga oranı(VSWR) seviyeleri gösterilmektedir. Anten tasarımında seçilen 9,26 GHz çalışma frekansında geri dönüş kaybı -10 dB değerinin altında ve gerilim duran dalga oranı ise 1,1 seviyesindedir.



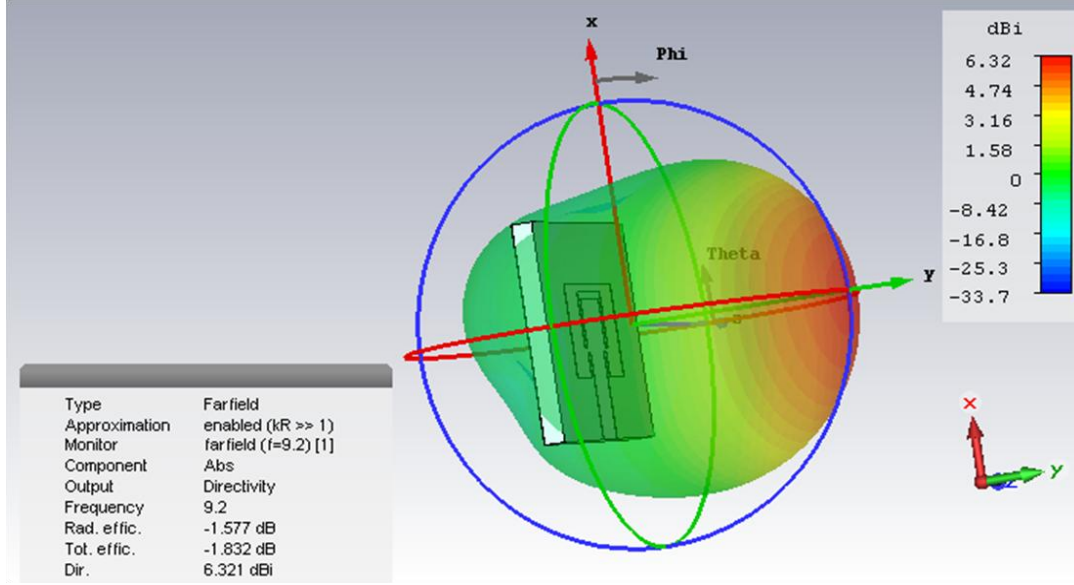
(a)



(b)

Şekil 7.5 : (a) Geri dönüş kaybı (S11) (b) Mikroşerit yama anten gerilim duran dalga oranı (VSWR).

Şekil 7,6'da parametrelerinin eniyilemesi yapılan tek bir mikroşerit yama anteninin uzak alan anten ışıma örüntüsü(yönlülük) gösterilmektedir. 9,26 GHz çalışma frekansında 6,32 dBi en yüksek değere ulaşmaktadır.



Şekil 7.6 : 9,26 GHz çalışma frekansında tasarlanan mikroşerit yama antenin uzak alan yönlülük ışıma örüntüsü.

7.2 Vivaldi Anten Tasarımı

Bu bölümde, özellikle yapay açıklıklı radar uygulamaları için çok geniş bantta çalışan yüksek kazançlı Vivaldi anten tasarımı sunulmuştur. Önerilen yüksek kazançlı Vivaldi antenin parametreleri ve ışıma karakteri incelenmiştir. Öncelikle GA kullanarak X-bant ile Ku-bant aralığında çalışan çok geniş bantlı (UWB) radar uygulamaları için Vivaldi anten tasarlanmıştır. Daha sonra tasarlanan antenin üzerinde oluşan yüzey akımlarını engellemek için üstel kesilen yama yüzeyinin her iki tarafına köşe oluklar oluşturulmuştur. Ayrıca anten kazancı artırmak için ışıma yönü doğrultusunda parazittik eleman eklenmiştir. Olukların optimize edilerek oluşturulması ve parazittik elemanın eklenmesiyle anten kazancı önemli ölçüde artmıştır.

Boyutları 44x49 mm olan Vivaldi anten tasarımında alt tabaka olarak 2,2 dielektrik sabiti ve 0,508 mm kalınlığı ile Rogers Duroid RT5880 kullanılmıştır. Önerilen anten tasarımı mikroşerit hat, mikroşerit hat ile yarık hattı geçişi ve ışıma yapan bölümden oluşmaktadır. Anten beslemesi olarak mikroşerit hattı ve mikroşerit hattan yarık hattına geçiş olacak şekilde radyal yapı tasarlanmıştır. Anten beslemesi için mikroşerit hattı genişliği (W_f) 0,8 mm, radyal saplama açısı 90° 'dir. Vivaldi anten iki boyutlu üstel boynuz şeklinde görünen konik oluktan meydana gelir. Konik oluk

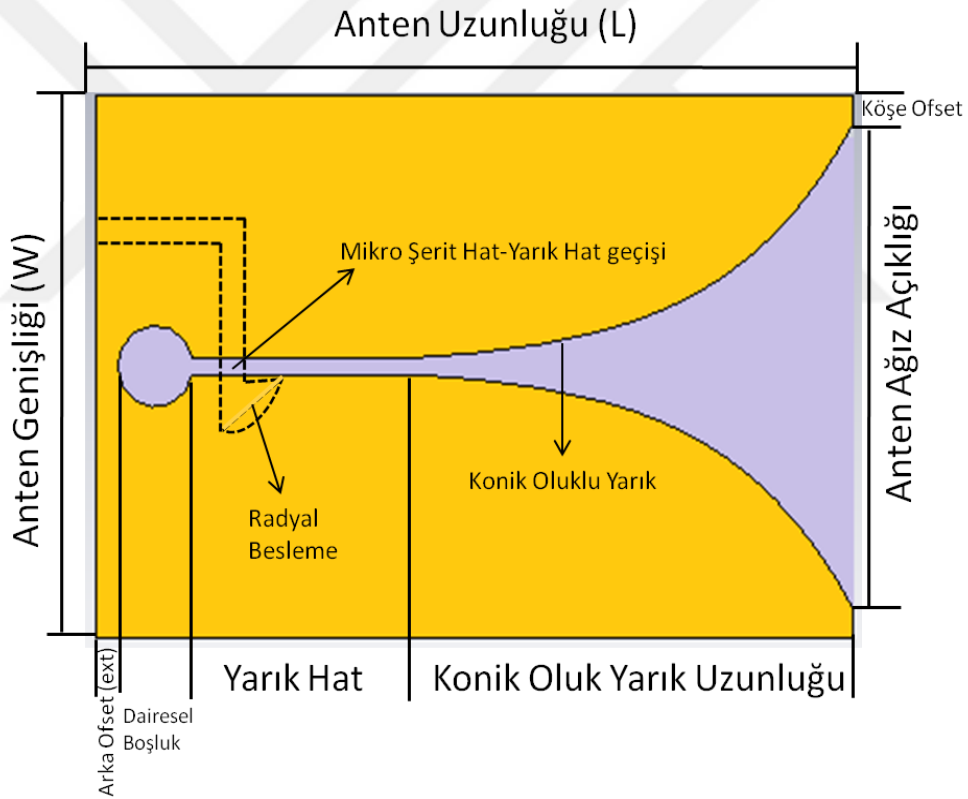
tasarımı; açıklık oranı(r), oluk bitiş noktaları olan P1(x1,y1) ve P2(x2,y2) ile ifade edilir. Buna göre üstel konik;

$$y=c_1e^{rx}+c_2 \quad (7.11)$$

$$c_1 = \frac{y_2 - y_1}{e^{rx_2} - e^{rx_1}} \quad (7.12)$$

$$c_2 = \frac{y_1e^{rx_2} - y_2e^{rx_1}}{e^{rx_2} - e^{rx_1}} \quad (7.13)$$

formülleriyle ifade edilir.



Şekil 7.7 : Önerilen Vivaldi antenin tasarım şekli ve parametreleri.

Vivaldi anten tasarım aşamasında, anten ışıma karakterine etki eden tasarım parametreleri ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Besleme tekniği olarak şerit hat-yarık hat geçişi kullanılarak yeterli bant genişliği elde edilmiştir. Ayrıca radyal yapı kullanılarak empedans bant genişliğinde iyileştirme yapılmıştır. Dielektrik malzeme

olarak Rogers Duroid 5880 kullanılmıştır. Dielektrik malzeme seçimi anten ışıma karakterini belirleyen önemli bir parametredir. Malzemenin dielektrik sabiti ve alt tabaka kalınlığı anten ışıma örüntüsünü ve anten performansını gösteren kazanç, yan huzme seviyeleri ve huzme genişliği gibi parametreleri etkilemektedir. Düşük dielektrik sabitli malzeme kullanımı bant genişliği açısından avantaj sağlamaktadır. Ayrıca özellikle yüksek frekanslarda kayıpların daha fazla olduğu düşünüldüğünde kullanılan malzemenin düşük tanjant kaybına sahip olması antenin daha verimli çalışmasına yol açmaktadır. Bu sebeplerden dolayı X-bant ve Ku-bant çalışma frekans aralığında kullanılmak üzere alt tabaka olarak diğer malzemelere nazaran en düşük tanjant kaybına ($\delta=0,0009$) ve dielektrik sabitine ($\epsilon_r=2,2$) sahip Rogers Duroid RT5880 tercih edilmiştir.

Anten uzunluğu ve anten genişliği çalışma frekans bant genişliğini ve anten kazancını doğrudan belirleyen parametrelerdir. Anten uzunluğu en düşük çalışma frekansına göre boşluktaki dalga boyu mertebesinde daha büyük olmalıdır. Anten genişliğinin ise en düşük çalışma frekansına göre yarım dalga boyu mertebesinde büyük olması iyi bir ışıma performans özelliği gösterir.

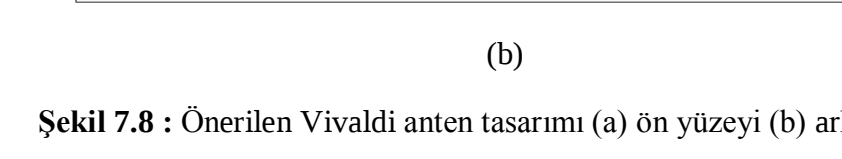
Dairesel boşluk alanı veya yarık hattı başlangıcı ile antenin başlangıç noktasındaki mesafe (backwall offset) bu bölümdeki oluşan akımların ani bir sonlanmayı engellenmesi açısından önemli bir parametredir. Anten performans değerlendirmesinde S11 parametresini önemli ölçüde etkilemektedir.

Tasarlanan Vivaldi anten modelinde anten boyutlarını şekillendiren yarık hat, konik oluklu yarık bölümün uzunluğu, anten ağız açıklığı, konik oluklu yarık oranı gibi parametreler anten ışıma karakterini etkileyen ve optimize edilmesi gereken parametrelerdir. Ayrıca yarık hattın dairesel boşluk ile optimize edilerek iyi bir empedans uyumu, dolayısıyla bant genişliği elde edilmiştir. Şekil 7.8’te önerilen Vivaldi anten tasarımı sunulmuştur.

İstenmeyen yüzey akımları engellemek ve anten üzerindeki akım dağılımını yönlendirerek anten kazancını arttırmak için köşe oluklar oluşturulmuştur. Kazanç artırımı sağlamak ve istenilen ışıma örüntüsünü elde edebilmek için oluşturulan bu olukların optimize edilmesi önemlidir. Ayrıca önerilen antenin ön kısmına parazitik eleman tasarlanarak kazanç artırımı sağlanmıştır. Köşe olukların ve parazitik



(a)



(b)

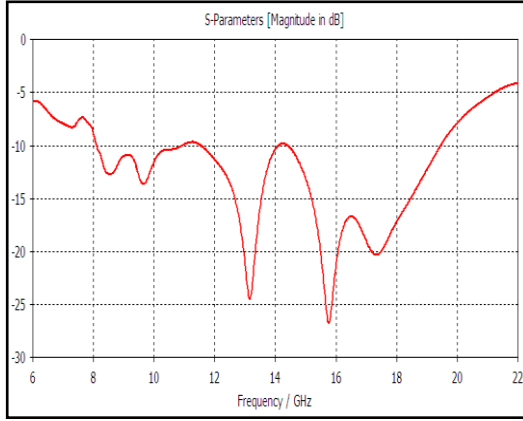
Şekil 7.8 : Önerilen Vivaldi anten tasarımı (a) ön yüzeyi (b) arka yüzeyi

Optimize edilmiş Vivaldi anten tasarım parametreleri Çizelge 7.3’de sunulmuştur.

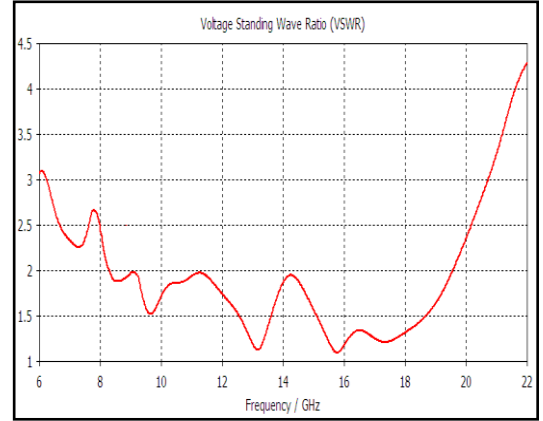
Çizelge 7.3 : Önerilen Vivaldi antenin optimal parametre değerleri.

Parametre	Değer (mm)	Parametre	Değer(mm)
L	49	r	0,1
W	44	SL	12
ϵ_{eff}	2.2	R1	3,5
ext	2	R2	3,8
TL	35	MW	1
H_s	0.508	ML1	5,8
H_p	0.035	ML2	10
s	0.6	Wf	1,2
a	0.5	b	3
R3	1	c	10
m	8	k	1

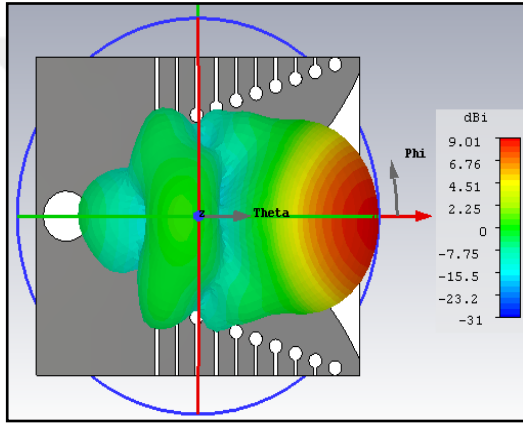
Önerilen antenin çalışma frekans aralığındaki geri dönüş kaybı(S11) Şekil 7.4'te gösterilmektedir. Geri dönüş kaybının 8 GHz 'den 18 GHz'e kadar olan frekans aralığında -10 dB'in altında olduğu görülmektedir. Şekil 4'te gerilim duran dalga oranı (VSWR) grafiği sunulmuştur. Anten çalışma frekans aralığında gerilim duran dalga oranı 2'nin altındadır. Böylelikle mikroşerit-yarık hattı geçişi ve dairesel boşluk kullanarak geniş bir empedans uyumlama sağlandığı görülmektedir. Antenin çalışma frekans aralığında uzak alan yönlük kazanları ve anten verimi Şekil 7.6'da sunulmuştur. Önerilen Vivaldi anten 8 GHz'de 9,01 dB, 10 GHz'de 9,29 dB, 12 GHz'de 9,46 dB ve 14 GHz'de 8,36 dB anten yönlülük kazancı ve ortalama % 84 verime sahip olduğu görülmektedir.



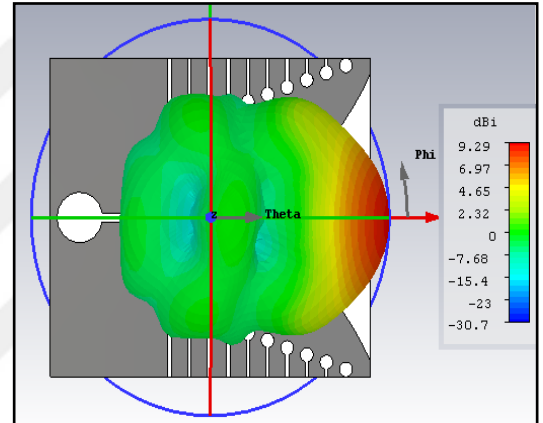
Şekil 7.9 : Geri dönüş kaybı (S11).



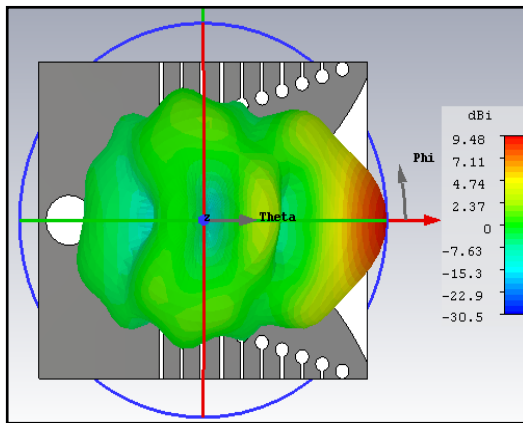
Şekil 7.10 : Gerilim duran dalga oranı (VSWR).



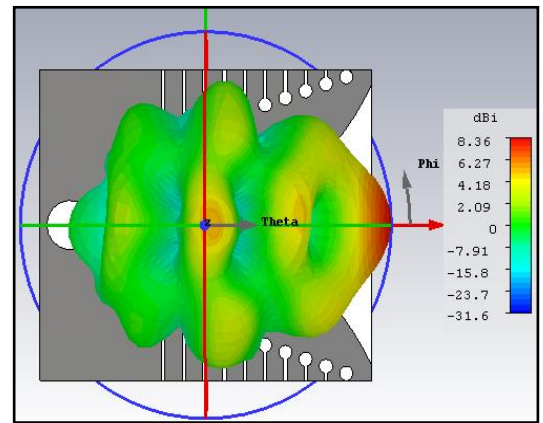
(a)



(b)



(c)



(d)

Şekil 7.11 : Önerilen Vivaldi Anten Yapısının (a) 8 GHz (b) 10 GHz (c) 12 GHz (d) 14 GHz 'de Uzak Alan Işıma Örüntüsü.



doğrultusunda yapmaktadır. Işıma örüntüsünü şekillendirecek dizi faktörü aşağıdaki gibidir;

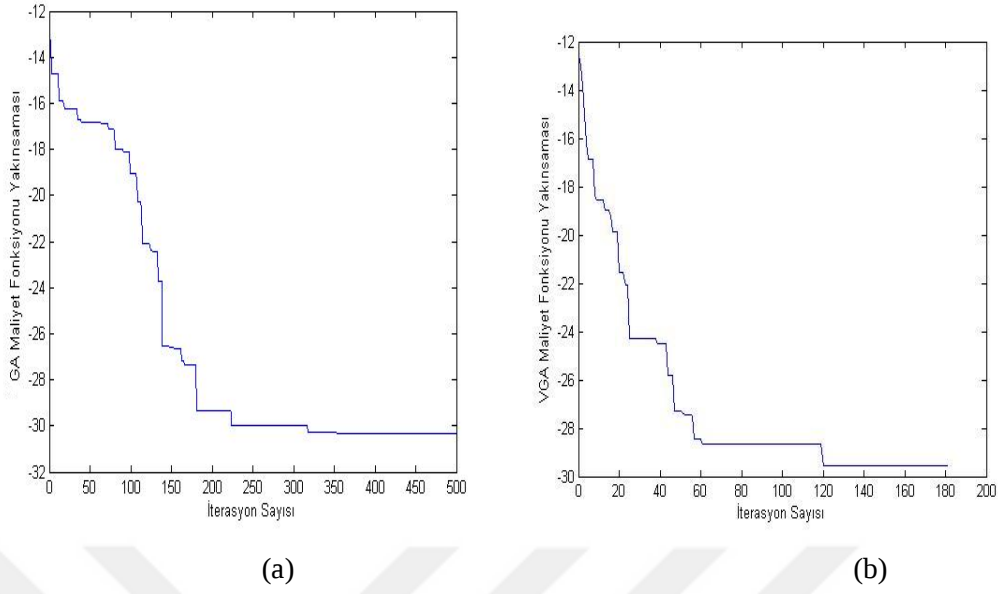
$$AF(\theta) = 2 \sum_{n=1}^M I_n \cos\left[\left(\frac{2n-1}{2}\right) kd \cos \theta\right] \quad (8.1)$$

Burada; I_n akım uyarım kat sayısını, d anten dizisindeki elemanların arasındaki mesafeyi, θ yükseklik açısını, k yayılım sabiti ($2\pi/\lambda$), λ ise çalışma dalga uzunluğunu göstermektedir [18]. Uygulanacak eniyileme metodu için düşük yan huzme seviyelerine ulaşmada kullanılacak maliyet fonksiyonu;

$$CF = \frac{|AF(\theta_{\max}, I_n)|}{|AF(\theta_0, I_n)|} \quad (8.2)$$

Burada θ_0 $[0, \pi]$ arasındaki en fazla ışımının olduğu örüntünün düzlem yükseklik açısını, $\theta_{\max}$ en yüksek yan huzme seviyesinin olduğu düzlem yükseklik açısını göstermektedir. Maliyet fonksiyonunda VGA tekniği ile düzgün dağılımlı elemanlar arası mesafe ve her bir eleman için farklı akım genliklerinin eniyilemesi yapılmaktadır. Ayrıca anten dizisinin ışıma örüntüsünü oluşturan diğer bir husus her bir antenin kendi bireysel ışıma örüntüsüdür. Anten dizisi için kullanılan mikroşerit yama anten parametrelerinin eniyilemesi yapılarak anten dizisinin yönlülük ve kazanç bakımından istenilen seviyeye ulaştırılır.

Farklı eleman sayılarına sahip doğrusal anten dizilerinin VGA kullanarak düzgün dağılımlı elemanlar arası mesafe ve farklı değerlerdeki akım genlikleri parametreleri hesaplanmıştır. Elemanlar arası mesafe (d) $[\lambda/2]$ arasında olacak şekilde 8, 16, 32, 48 elemanlı doğrusal mikroşerit yama anten dizilerinin hesaplanan maksimum yan huzme değerleri, akım uyarım katsayıları Çizelge 8.1’de gösterilmektedir. Ayrıca eniyileme tekniği olarak kullanılan VGA ile GA performans grafiği maliyet fonksiyonu üzerinden karşılaştırılmıştır. Şekil 8.2’de VGA’nın en iyi seviyelere 60 iterasyonda yaklaşırken, GA 180 iterasyonda en iyi seviye yaklaşması, VGA metodunun GA metoduna kıyasla çok daha kısa sürede küresel en iyiye ulaştığını göstermektedir.



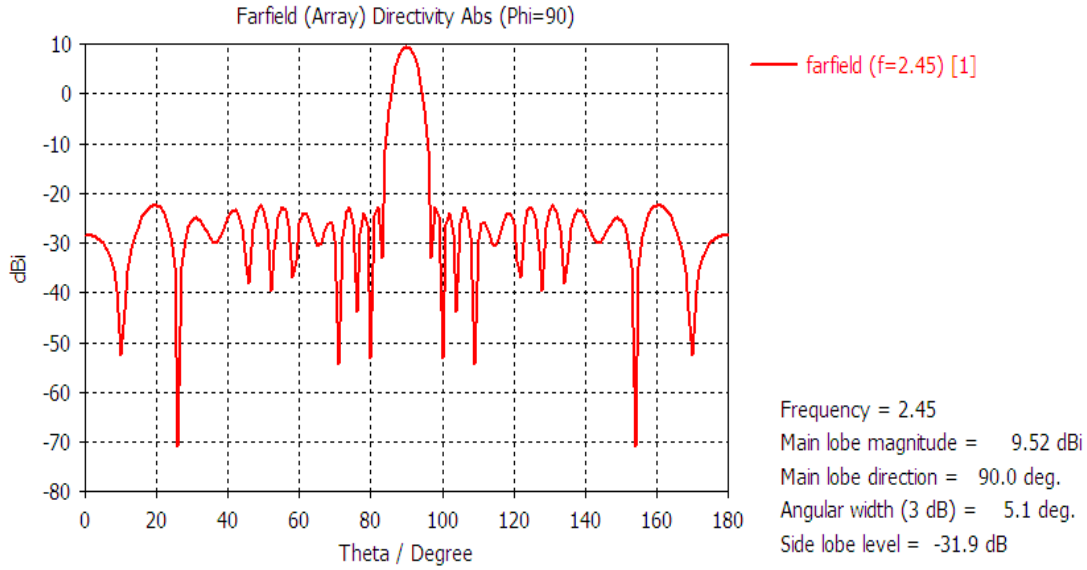
Şekil 8.2 : (a) GA performans grafiği (b) VGA performans grafiği

Çizelge 8.1 : Farklı eleman sayılarında mikroşerit yama anten dizisi için VGA ile elde edilen her bir elemanın akım ağırlıkları ve dizi elemanları arası mesafe.

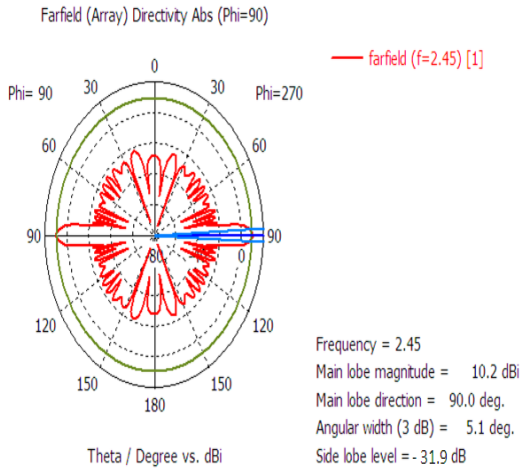
Eleman Sayısı	Akım Genlik Katsayıları (I_n)	Elemanlar Arası Mesafe (d)	Yan Huzme Seviyesi (dB)
8	0. 8624 0. 6824 0. 4112 0. 2135	0, 614 λ	-32, 1
16	0.86883 0.79874 0.74385 0.61556 0.44164 0.37859 0.22582 0.13946	0, 815 λ	-31, 9
32	0. 9612 0. 8965 0. 8624 0. 8375 0. 8034 0. 7745 0. 7456 0. 7196 0. 5487 0. 3565 0. 2756 0. 2436 0. 2334 0. 1654 0. 1235 0. 1058	0, 894 λ	-32, 3
48	0.9714 0.8275 0.8134 0.8131 0.7934 0.7758 0.7681 0.7421 0.7218 0.7178 0.6124 0.5904 0.3378 0.3645 0.2978 0.2803 0.2417 0.1760 0.1472 0.1357 0.1214 0.1102 0.1025 0.1013	0, 913 λ	-28, 1

Şekil 8.3’de z-ekseni boyunca farklı akım genlikleri ve düzgün dağılımlı yerleştirilen 2,45 GHz çalışma frekansında 16 elemanlı doğrusal mikroşerit yama anten dizisinin uzak alan yönlülük ışıma örüntüsü gösterilmektedir. Anten dizi elemanlarını akım genlik değerlerinin ve elemanları arasındaki mesafelerinin eniyilemesi yapılarak yan huzmeler en düşük seviyelere ulaşılmıştır. Elektromanyetik hesaplama yazılımında

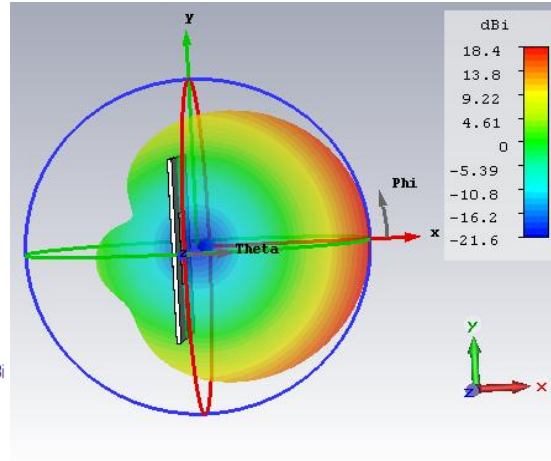
tasarımı yapılan doğrusal anten dizi elemanları en yüksek ışıma x-ekseni yönünde olacak şekilde yerleştirilmiştir. 2,45 GHz çalışma frekansında tasarımı yapılan 16x1 doğrusal anten dizisinin anten yönlülük kazancı 18,7 dBi ve en yüksek yan huzme seviyesi -31.9 dB seviyelerindedir. Böylelikle anten elemanları arasındaki mesafe optimize edilerek yüksek yönlülük kazancına sahip 16x1 doğrusal mikroşerit yama anten dizisi elde edilmiştir.



(a)



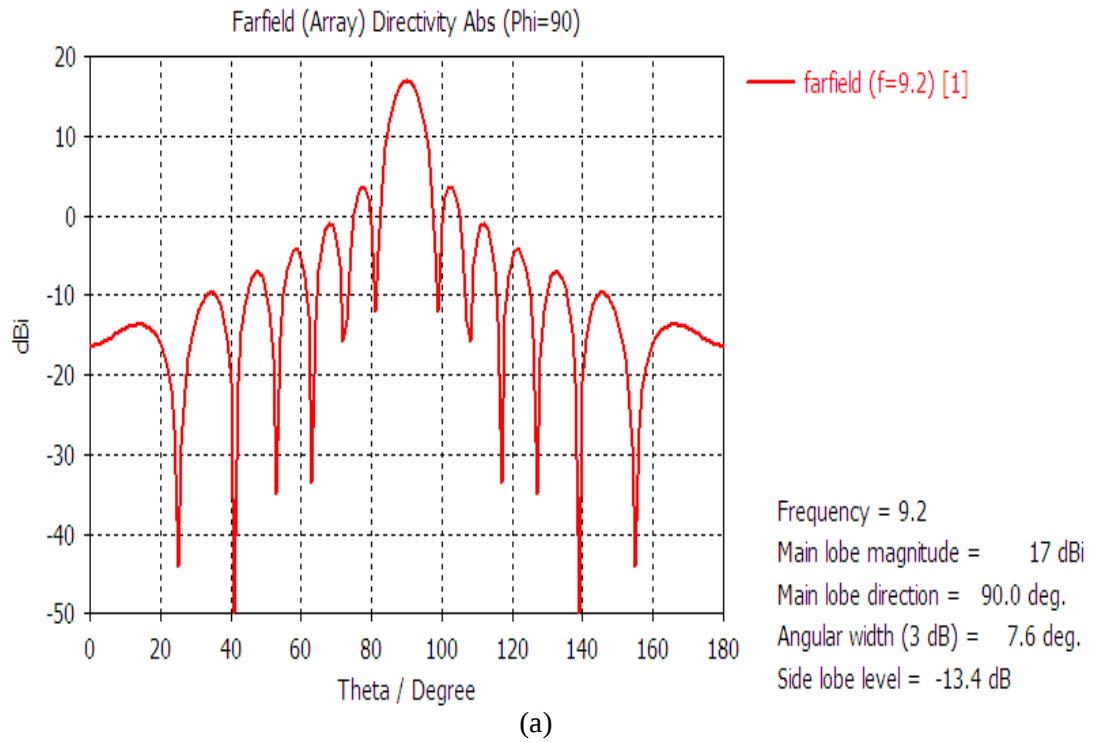
(b)

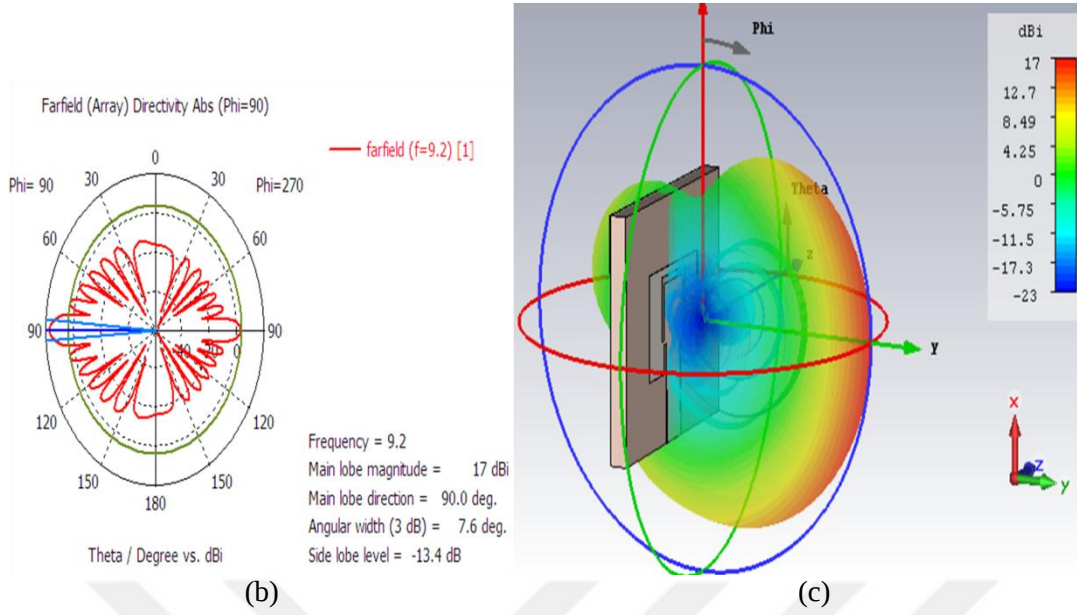


(c)

Şekil 8.3 : (a) 2,45 GHz çalışma frekansında anten elemanları arası mesafe $0,815\lambda$ ve optimize edilmiş farklı akım genlik uyarımlı mikroşerit yama anten dizisinin (16x1) ışıma örüntüsü, (b) polar gösterim şekli ve (c) uzak alan yönlülük ışıma örüntüsü.

X-bant radar uygulamaları için tasarlanan anten elemanı, yüksek yönlülük ve kazanç elde etmek için doğrusal dizi anten şeklinde tasarlanmıştır. Öncelikle antenler arası mesafe ve akım genlik uyarımları düzgün dağılımlı olacak şekilde tasarlanmıştır. Örnek olarak, antenler arası mesafe $\lambda/2$ ve doğrusal anten dizisi olarak 8x1 seçilmiştir. Elektromanyetik hesaplamalı yazılım programı(CST-MWS) ile tasarımı yapılan anten dizisinin ışıma örüntüsü, yan huzme seviyeleri ve kazanç değeri değerlendirilmiştir. Şekil 8.4'te 9,2 GHz çalışma bandında anten elemanları arası mesafe sabit $\lambda/2$ ve elemanların akım genlik uyarımları eşit olan mikroşerit yama anten dizisinin ışıma örüntüleri sunulmuştur. 9,2 GHz'de anten dizisinin yönlülük kazancı 17 dBi ve en yüksek yan huzme seviyesi -13,4 dB seviyelerindedir.

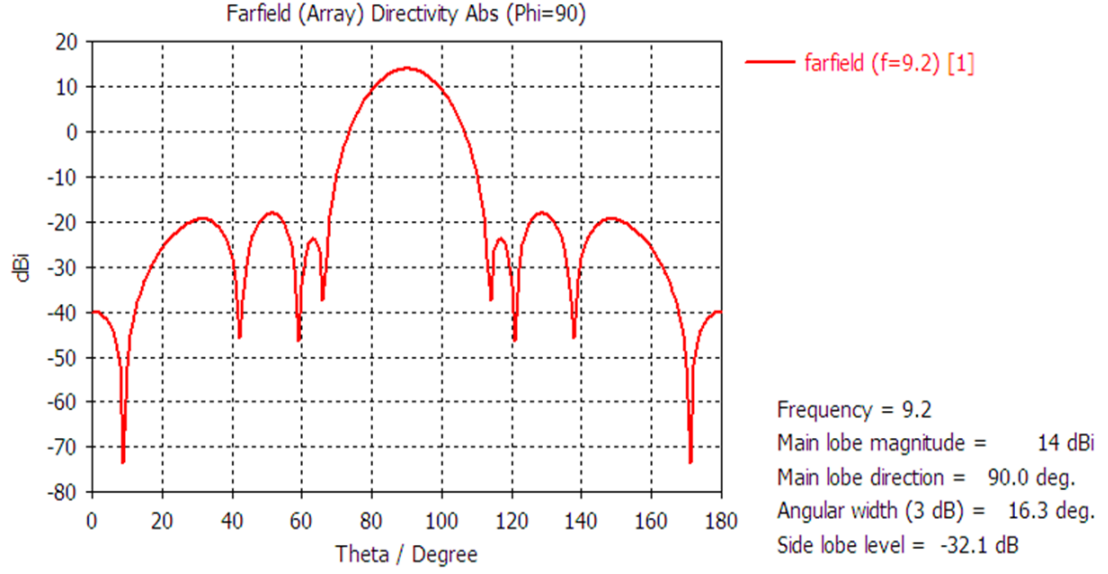




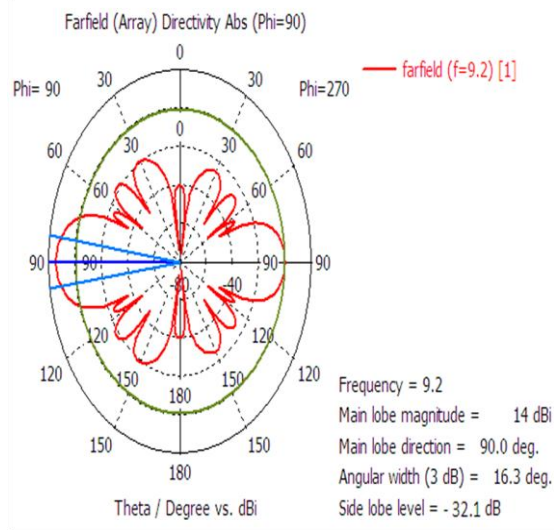
Şekil 8.4 : (a) 9,2 GHz çalışma frekansında anten elemanları arası mesafe $\lambda/2$ ve eşit akım genlik uyarımlı mikroşerit yama anten dizisinin (8x1) ışıma örüntüsü, (b) polar gösterim şekli ve (c) uzak alan yönlülük ışıma örüntüsü.

Tasarlanan mikroşerit yama anten dizi elemanları arası mesafe ve akım genlik uyarımları GA ile optimize edilerek elde edilen değerler sonucunda istenmeyen yan huzmeler en düşük seviyeye getirilmiş ve yüksek yönlülük kazancı elde edilmiştir. Doğrusal anten dizi elemanları en yüksek ışımayı y-ekseni yönünde olacak şekilde z-eksine doğrultusunda yerleştirilmiştir. Elektromanyetik hesaplamalı yazılım (CST-MWS) ile 8, 16, 32, 48 elemanlı doğrusal mikroşerit yama anten dizilerinin ışıma karakterleri ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Her bir mikroşerit yama anten dizisinin istenmeyen yaz huzme seviyelerinde fark edilebilir bir düşüş olduğu görülmektedir.

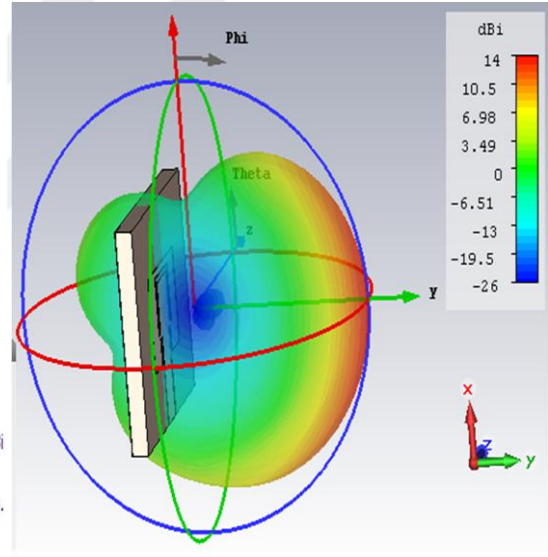
Şekil 8.5’de z-ekseni boyunca optimize edilmiş akım genlikleri ve düzgün dağılımlı $0,614\lambda$ mesafe aralıklarla yerleştirilen 9,2 GHz çalışma frekansında 8 elemanlı doğrusal mikroşerit yama anten dizisinin farklı ışıma örüntüleri gösterilmektedir. 8x1 doğrusal mikroşerit yama anten dizisinin anten yönlülük kazancının 14 dBi ve en yüksek yan huzme seviyesinin -32,1 dB olduğu görülmektedir.



(a)



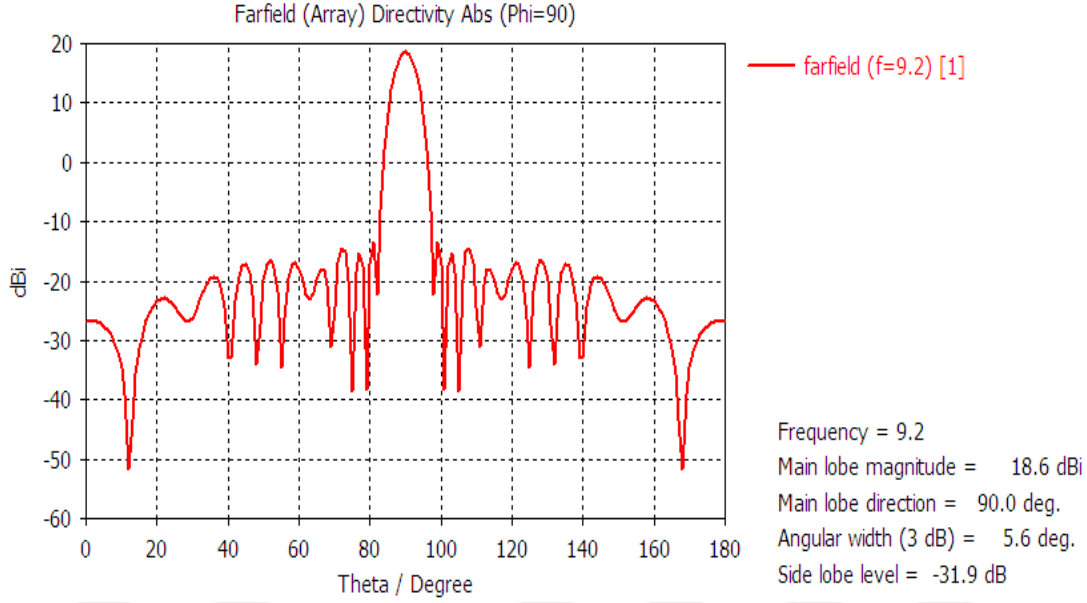
(b)



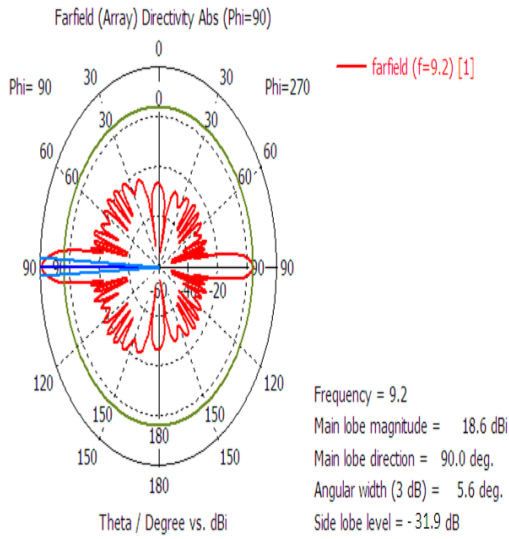
(c)

Şekil 8.5 : (a) 9,2 GHz çalışma frekansında anten elemanları arası mesafe $0,614\lambda$ ve optimize edilmiş farklı akım genlik uyarımlı mikroşerit yama anten dizisinin (8x1) ışıma örüntüsü, (b) polar gösterim şekli ve (c) uzak alan yönlülük ışıma örüntüsü.

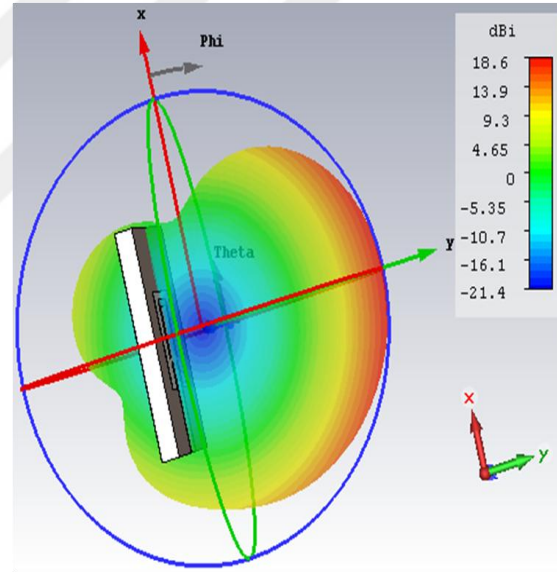
Şekil 8.6’da z-ekseni boyunca optimize edilmiş akım genlikleri ve düzgün dağılımlı $0,815\lambda$ mesafe aralıklarla yerleştirilen 9,2 GHz çalışma frekansında 16 elemanlı doğrusal mikroşerit yama anten dizisinin farklı ışıma örüntüleri gösterilmektedir. 16x1 doğrusal mikroşerit yama anten dizisinin anten yönlülük kazancının 18,6 dBi ve en yüksek yan huzme seviyesinin -31,9 dB olduğu görülmektedir.



(a)



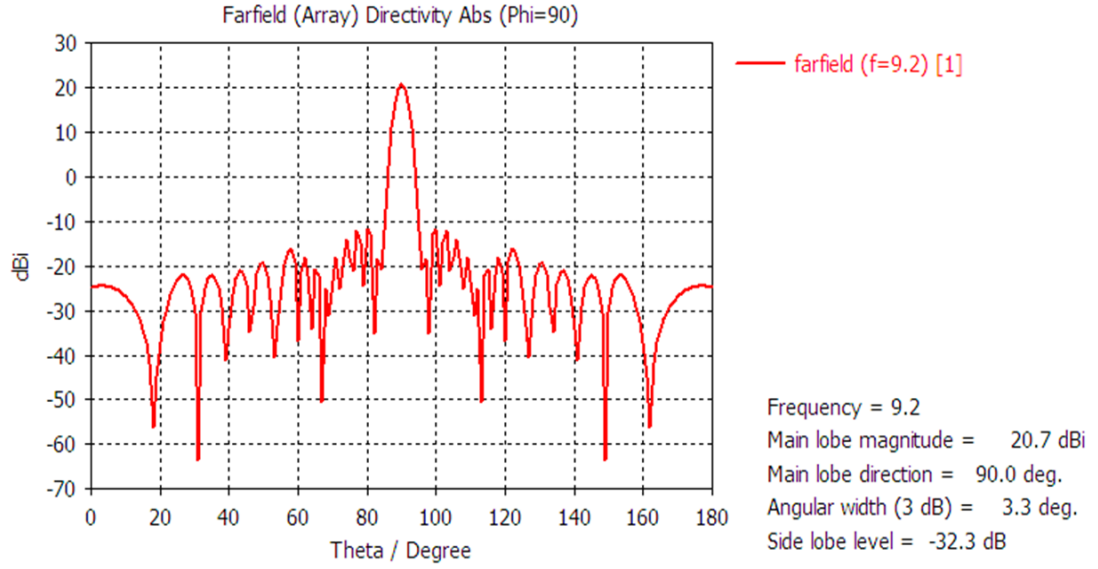
(b)



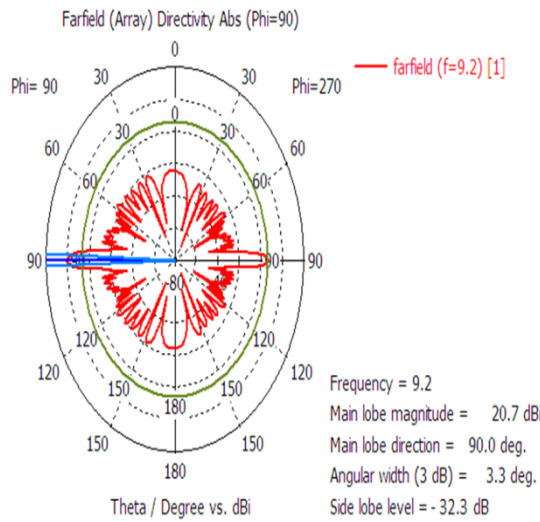
(c)

Şekil 8.6 : (a) 9,2 GHz çalışma frekansında anten elemanları arası mesafe $0,815\lambda$ ve optimize edilmiş farklı akım genlik uyarımlı mikroşerit yama anten dizisinin (16x1) ışıma örüntüsü, (b) polar gösterim şekli ve (c) uzak alan yönlülük ışıma örüntüsü.

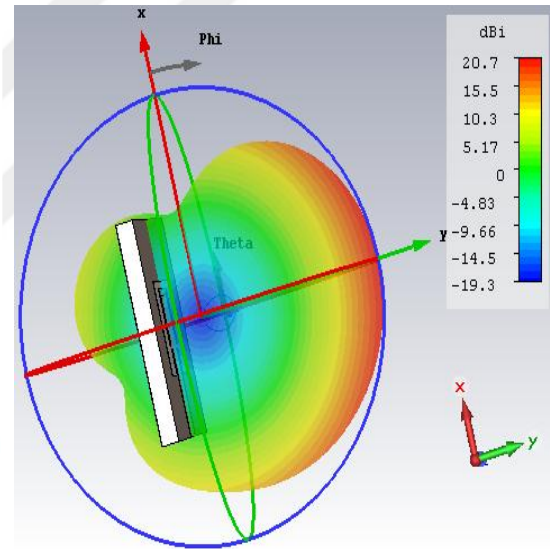
Şekil 8.7’de z-ekseni boyunca optimize edilmiş akım genlikleri ve düzgün dağılımlı $0,894\lambda$ mesafe aralıklarla yerleştirilen 9,2 GHz çalışma frekansında 32 elemanlı doğrusal mikroşerit yama anten dizisinin farklı ışıma örüntüleri gösterilmektedir. 32x1 doğrusal mikroşerit yama anten dizisinin anten yönlülük kazancının 20,7 dBi ve en yüksek yan huzme seviyesinin -32,3 dB olduğu görülmektedir.



(a)



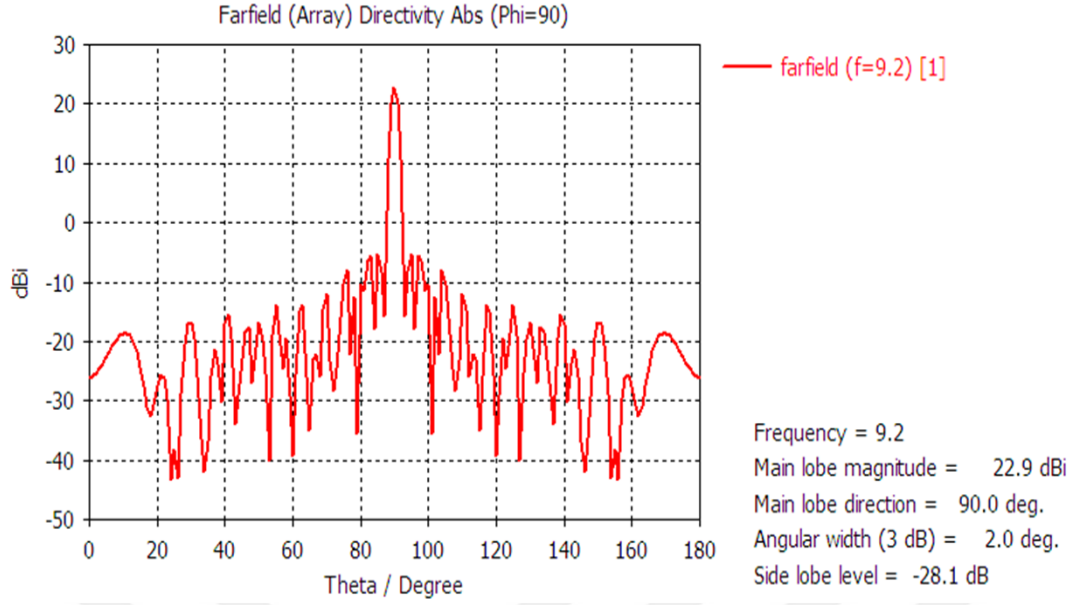
(b)



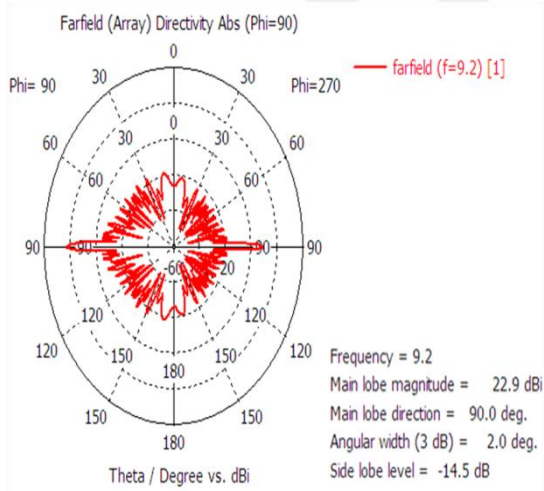
(c)

Şekil 8.7 : (a) 9,2 GHz çalışma frekansında anten elemanları arası mesafe $0,894\lambda$ ve optimize edilmiş farklı akım genlik uyarımlı mikroşerit yama anten dizisinin (32x1) ışıma örüntüsü, (b) polar gösterim şekli ve (c) uzak alan yönlülük ışıma örüntüsü.

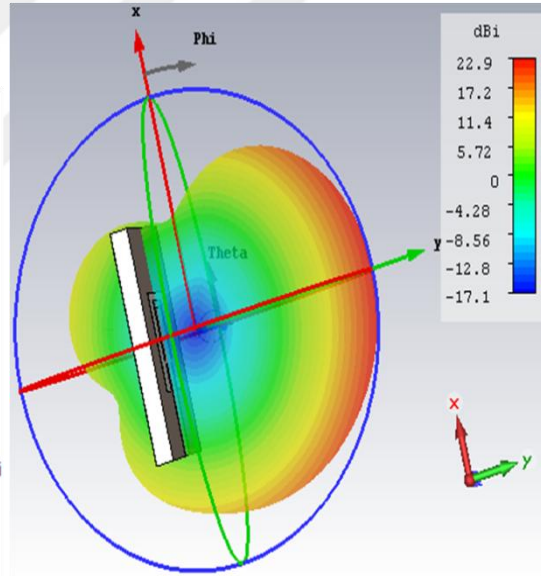
Şekil 8.8’da z-ekseni boyunca optimize edilmiş akım genlikleri ve düzgün dağılımlı $0,913\lambda$ mesafe aralıklarıyla yerleştirilen 9,2 GHz çalışma frekansında 48 elemanlı doğrusal mikroşerit yama anten dizisinin farklı ışıma örüntüleri gösterilmektedir. 48x1 doğrusal mikroşerit yama anten dizisinin anten yönlülük kazancının 22,9 dBi ve en yüksek yan huzme seviyesinin -28,1 dB olduğu görülmektedir.



(a)



(b)



(c)

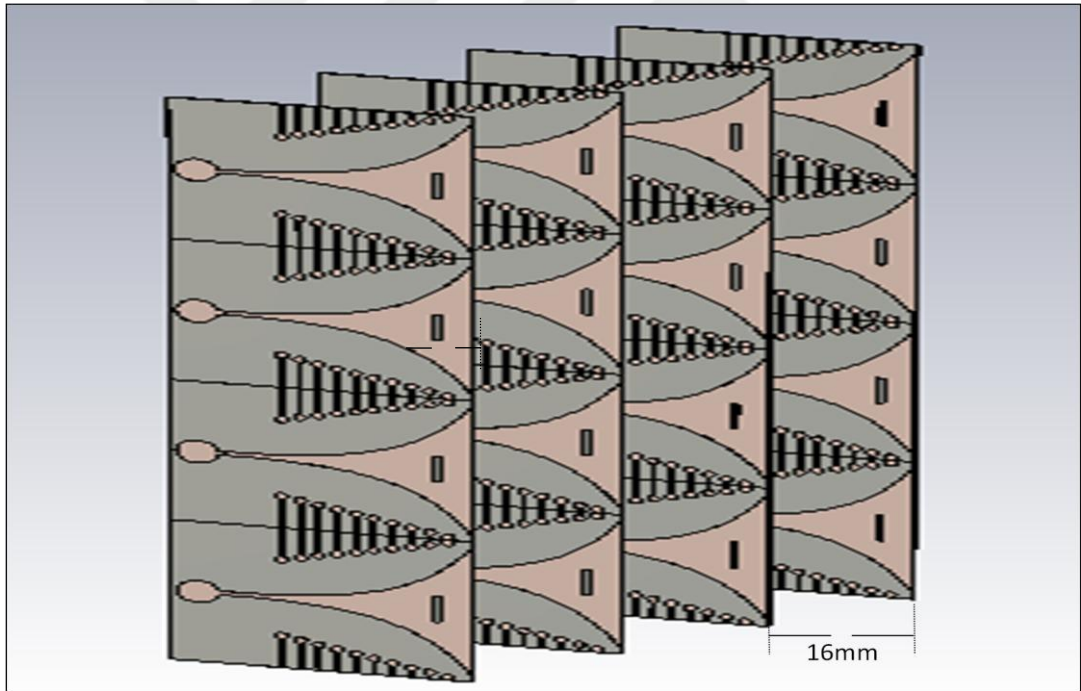
Şekil 8.8 : (a) 9,2 GHz çalışma frekansında anten elemanları arası mesafe $0,913\lambda$ ve optimize edilmiş farklı akım genlik uyarımlı mikroşerit yama anten dizisinin (48x1) ışıma örüntüsü, (b) polar gösterim şekli ve (c) uzak alan yönlülük ışıma örüntüsü.

Anten dizilerinin ışıma karakteri incelendiğinde; X-bant radar uygulamaları için tasarlanan farklı eleman sayılarındaki mikroşerit yama anten dizilerinin GA ile elemanlar arası mesafenin ve akım genlik uyarımlarının optimize edilmesiyle kazanç artırımı ve yan huzme seviyelerinin bastırılmasının yanında ışıma örüntüsündeki sıfırların (null) arttığı görülmektedir. Bunun sonucunda, ışıma örüntüsündeki

sıfırların artması radar sistemlerinin elektronik karıştırma sistemlerine karşı bir avantaj oluşturacağı değerlendirilmiştir.

8.2 Vivaldi Dizi Anten Tasarımı

Bu bölümde tasarımı yapılan tek bir Vivaldi antenin ışıma örüntünü şekillendirmek ve anten kazanç artırımı sağlamak için dizi anten şeklinde tasarımı sunulmuştur. Tasarlanan dizi anten yapısı düzlemsel (4x4) olarak oluşturulmuştur. Düşük yan kulakçık ve yüksek kazanç sağlamak için antenler arası mesafe ve akım genlik uyarımları GA ile optimize edilmiştir. Tasarlanan dizi anten yapısı Şekil 8.9'de sunulmuştur. Dizi Anten elemanları arası mesafe ve akım genlik uyarımları Çizelge 8.2'de gösterilmektedir. GA optimizasyon tekniği için mutasyon oranı 0,6, popülasyon sayısı 8 ve iterasyon sayısı 500 olarak seçilmiştir.

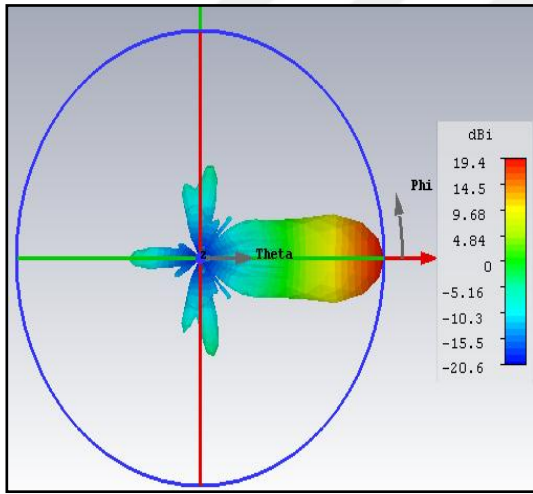


Şekil 8.9 : Tasarlanan Düzlemsel Vivaldi Anten Dizisi

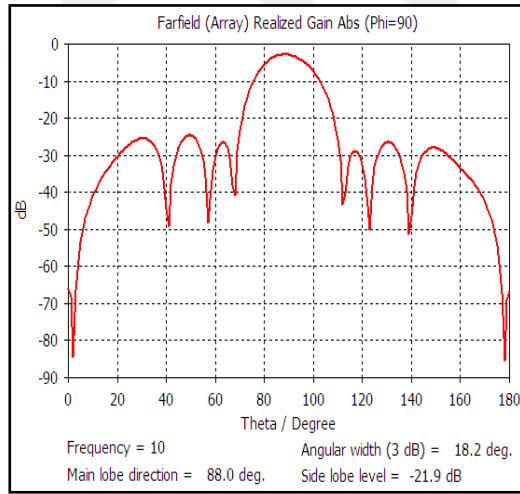
Çizelge 8.2 : GA ile Optimize Edilmiş Anten Elemanlar Arası mesafe ve Akım Genlik Uyarım Değerleri.

Eleman Sayısı	Akım Genlik Katsayıları (I_n)	Elemanlar Arası Mesafe (d)	Yan Huzme Seviyesi (dB)
4x4	1 0.7462 0.2433	16mm	-21,9

Yüksek kazanç ve yönlülük elde etmek için anten dizi yapısı düzlemsel (4x4) olarak oluşturulmuştur. Antenler arası mesafe ve akım genlik uyarımları GA ile optimize edilerek istenmeyen yan kulakçık seviyeleri Şekil 8.10 (b)'de görüldüğü gibi -16 dB'in altına indirilmiştir. Önerilen Vivaldi dizi anteninin çalışma frekans aralığında ortalama kazancı 18 dB'dir. Şekil 8.10 (a)'da tasarlanan dizi antenin 10 GHz'de uzak alan ışıma örüntüleri ve anten yönlülük kazançları sunulmuştur.



(a)



(b)

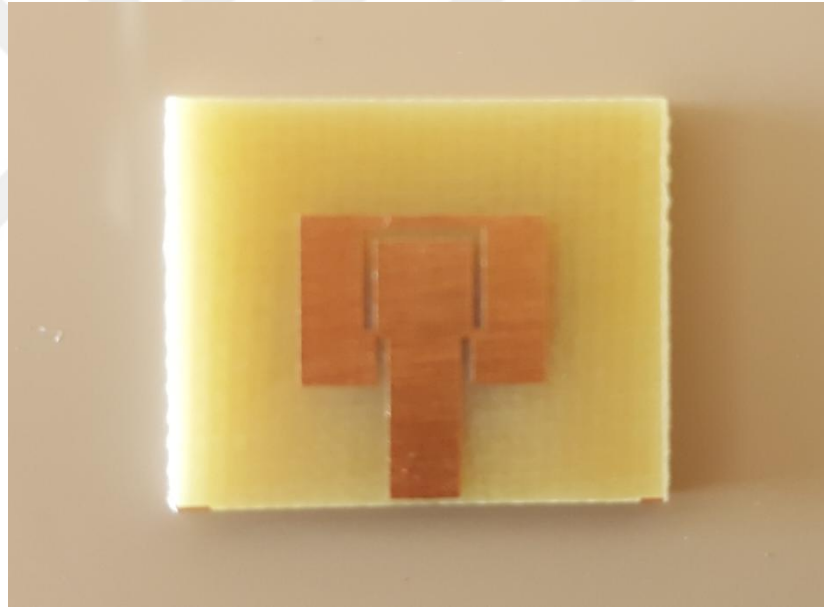
Şekil 8.10 : Önerilen Vivaldi anten dizisinin (a) 10 GHz'de uzak alan ışıma örüntüsü (b) 10 GHz'de GA ile optimize edilmiş yan kulakçık seviyeleri.

8.3 Anten Üretimi ve Ölçüm Sonuçları

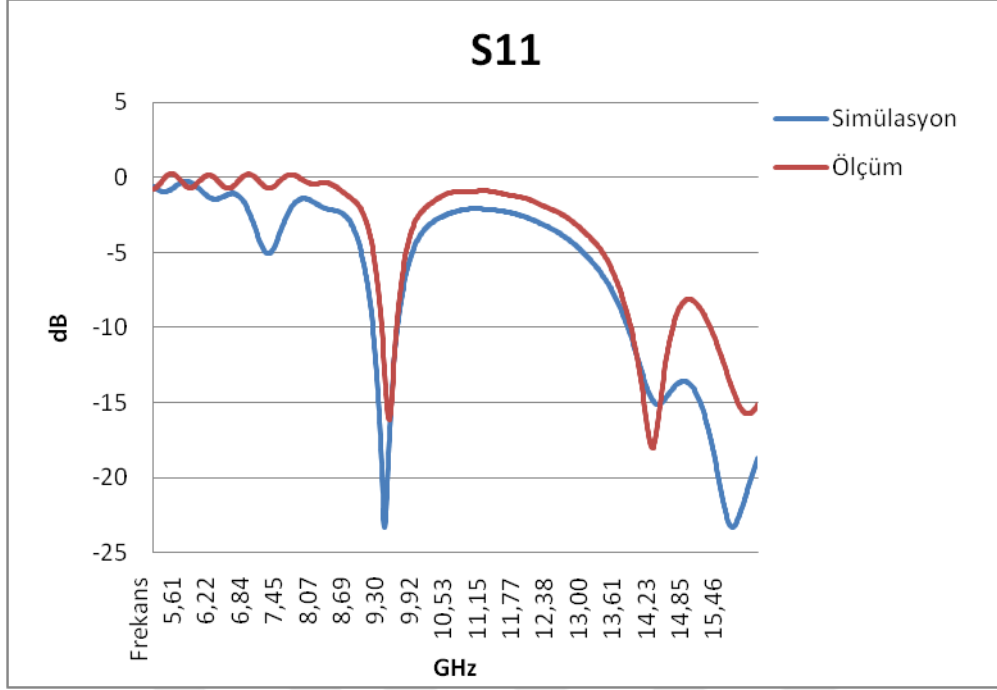
Tasarımı yapılan optimize edilmiş yüksek kazançlı tek bir anten elemanı olarak 9,26 GHz çalışma frekansında mikroşerit yama anten ve 8-16 GHz frekans bant

genişliğinde ultra geniş bant Vivaldi antenin üretimi yapılmış olup Vector Network Analyzer (VNA) kullanarak ölçüm sonuçları elde edilmiştir. Ayrıca giriş empedansı 50Ω olacak şekilde T bağlamalı 8x1 dizi anten mikroşerit besleme hattı oluşturulmuştur. Çeyrek dalga dönüştürücüleri ile empedans uyumlama yapılarak kayıp en aza indirilmiştir. Böylece elemanlar arası mesafe $\lambda/2$ olacak şekilde tasarımı yapılan 8x1 mikroşerit yama anten dizisinin üretimi yapılarak geri dönüş kaybı ölçümleri elde edilmiştir.

Şekil 8.11’de üretimi yapılan 9,26 GHz çalışma frekansında mikroşerit yama anten elemanı sunulmuştur. Şekil 8.12’de simülasyon sonuçları ile ölçüm sonuçları karşılaştırılmıştır. Geri dönüş kaybı 9,26 GHz rezonans frekansında -10 dB’nin altında olduğu görülmektedir. Simülasyon sonuçlarıyla ölçüm sonuçlarının tutarlılık sağladığı anlaşılmaktadır.

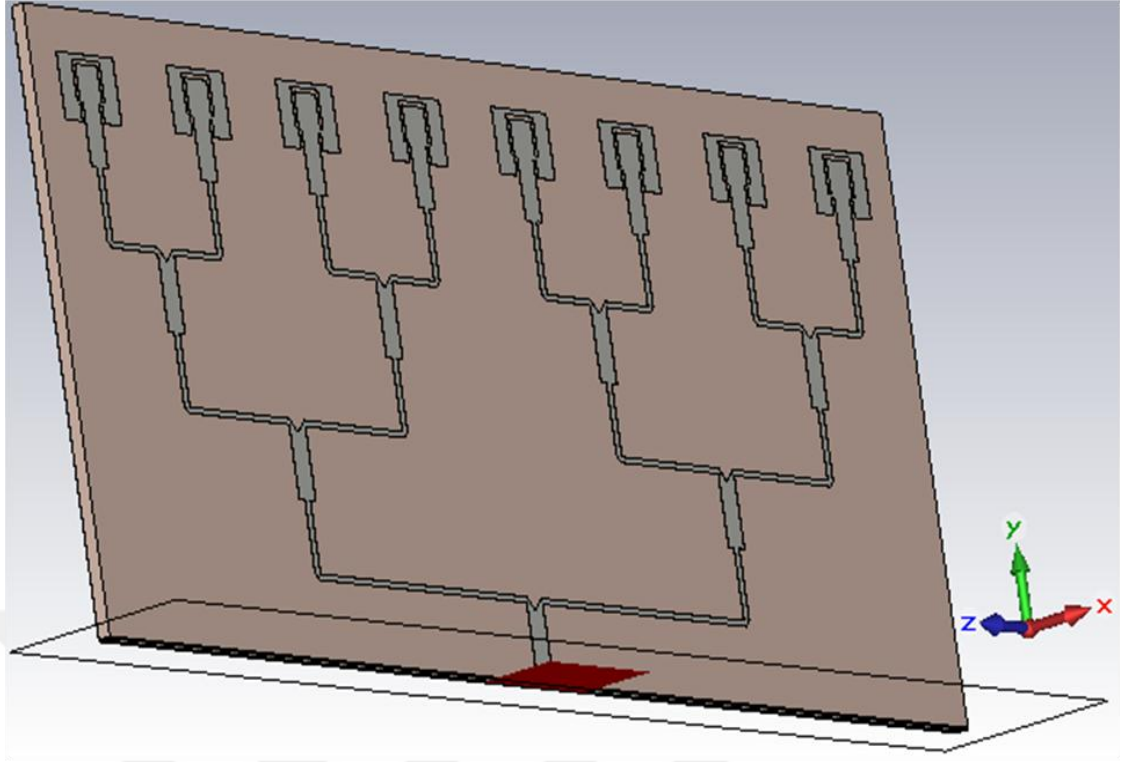


Şekil 8.11 : Üretimi yapılan 9,26 GHz çalışma frekansında mikroşerit yama anten.

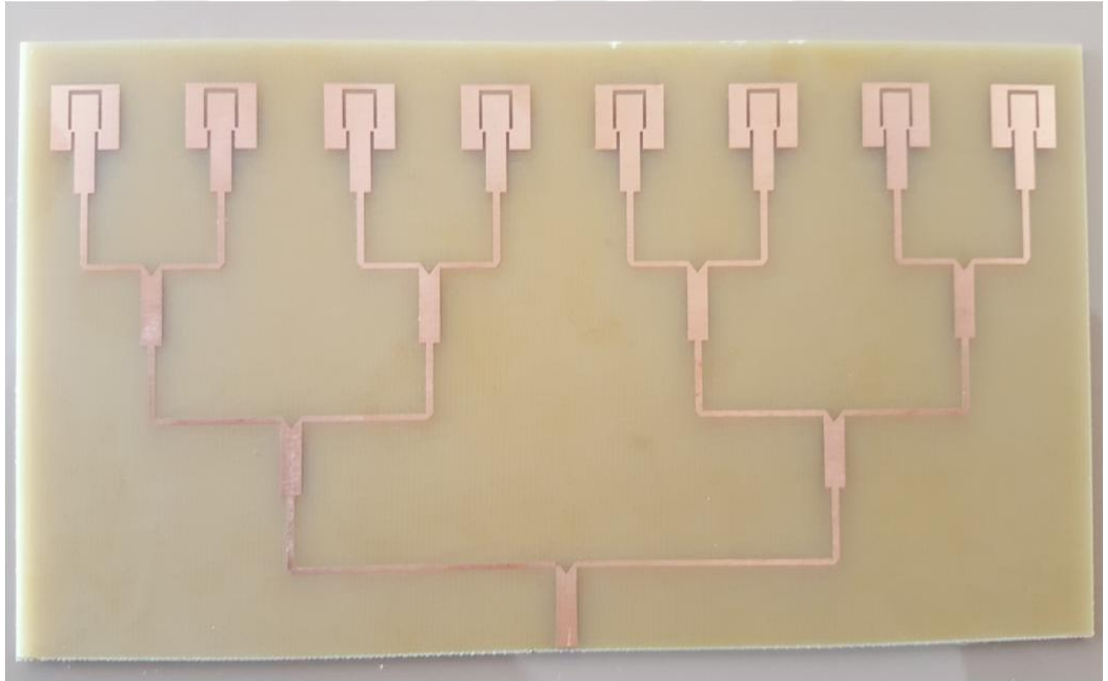


Şekil 8.12 : Üretimi yapılan mikroşerit yama antenin simülasyon ve ölçüm sonuçlarının karşılaştırılması.

9,26 GHz rezonans frekansında yüksek kazanç elde edilen mikroşerit yama anten elemanları 8x1 doğrusal dizi şeklinde bir araya getirilerek yönlülük ve kazanç artırımı sağlanmıştır. Böylelikle X-bant radar uygulamaları için etkin bir anten tasarımı ortaya konulmuştur. Şekil 8.13’de tasarımı yapılan 8x1 doğrusal dizi anten sunulmuştur. 50 Ω giriş empedansı olacak şekilde, T bağlamalı güç bölücüyle mikroşerit besleme hattı çeyrek dalga dönüştürücülerle iyi bir empedans uyumlama sağlanmıştır. CST-MWS ile tasarımı yapılan doğrusal dizi anten yapısı baskı alınarak üretimi sağlanmıştır. Şekil 8.14’de üretimi yapılan mikroşerit yama anten dizisi sunulmuştur.

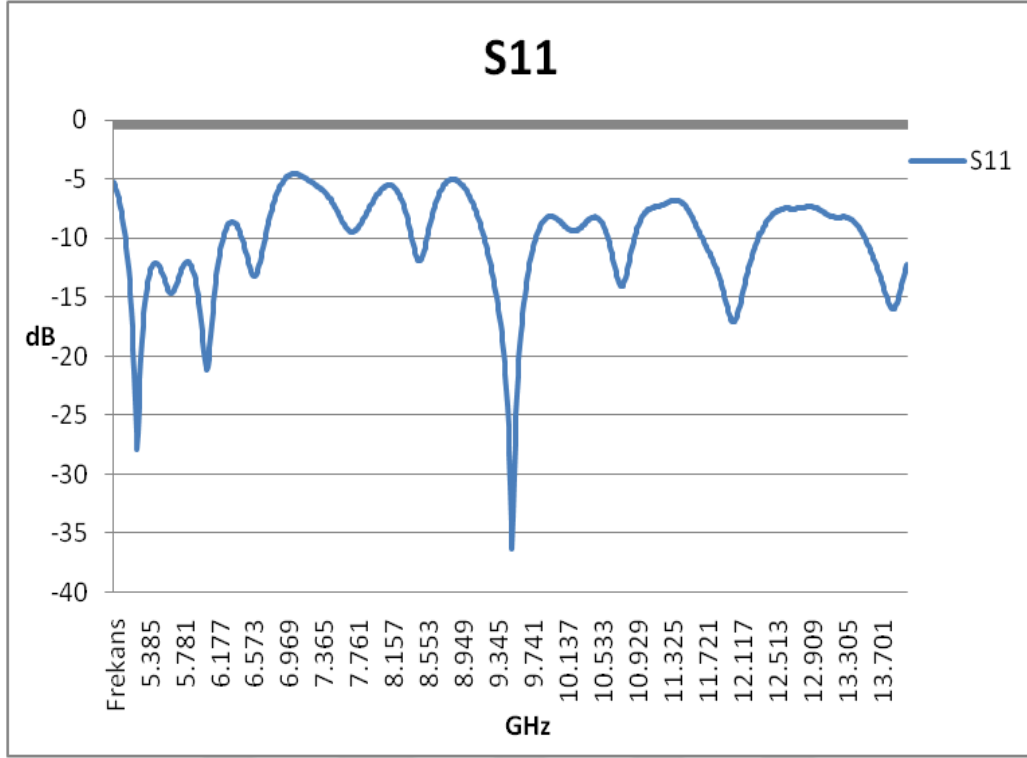


Şekil 8.13 : 9,26 GHz’de 8x1 mikroşerit yama anten dizisi geometrik yapısı.



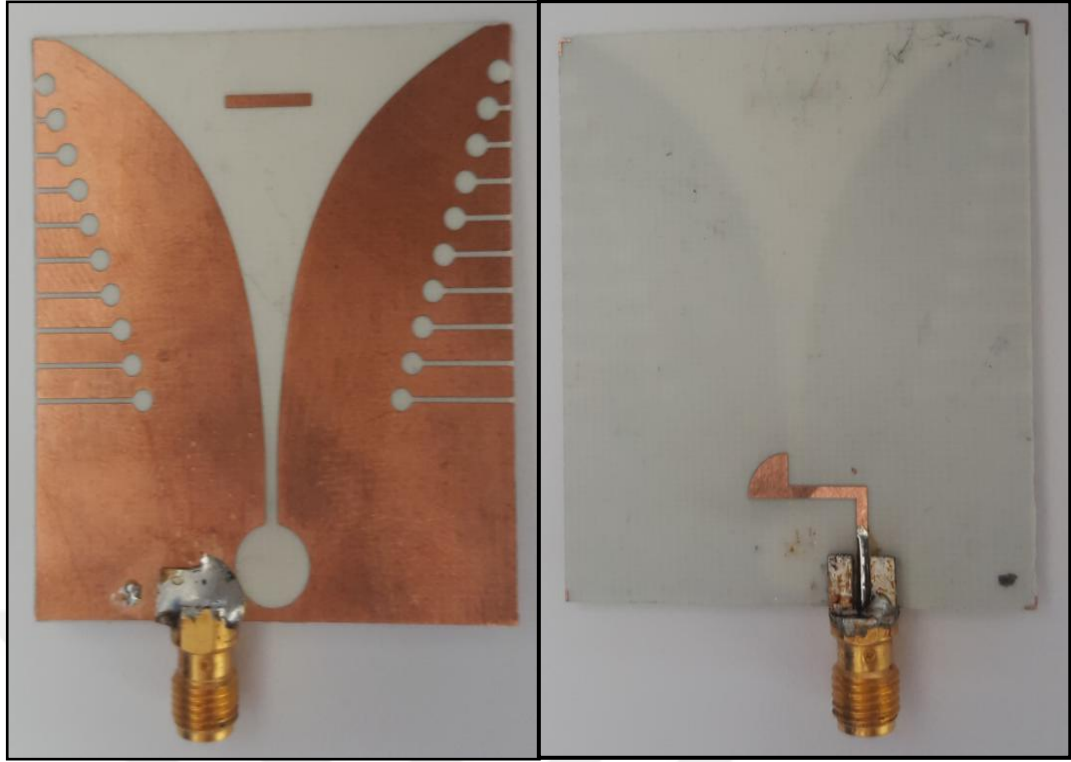
Şekil 8.14 : Üretimi yapılan 8x1 mikroşerit yama anten dizisi.

Şekil 8.15’de simülasyon sonuçları ile ölçüm sonuçları karşılaştırılmıştır. Geri dönüş kaybı 9,26 GHz rezonans frekansında -10 dB’nin altında olduğu görülmektedir. Simülasyon sonuçlarıyla ölçüm sonuçlarının tutarlılık sağladığı anlaşılmaktadır.



Şekil 8.15 : Üretilen 8x1 mikroşerit yama anten dizisinin ölçülen S11 parametresi

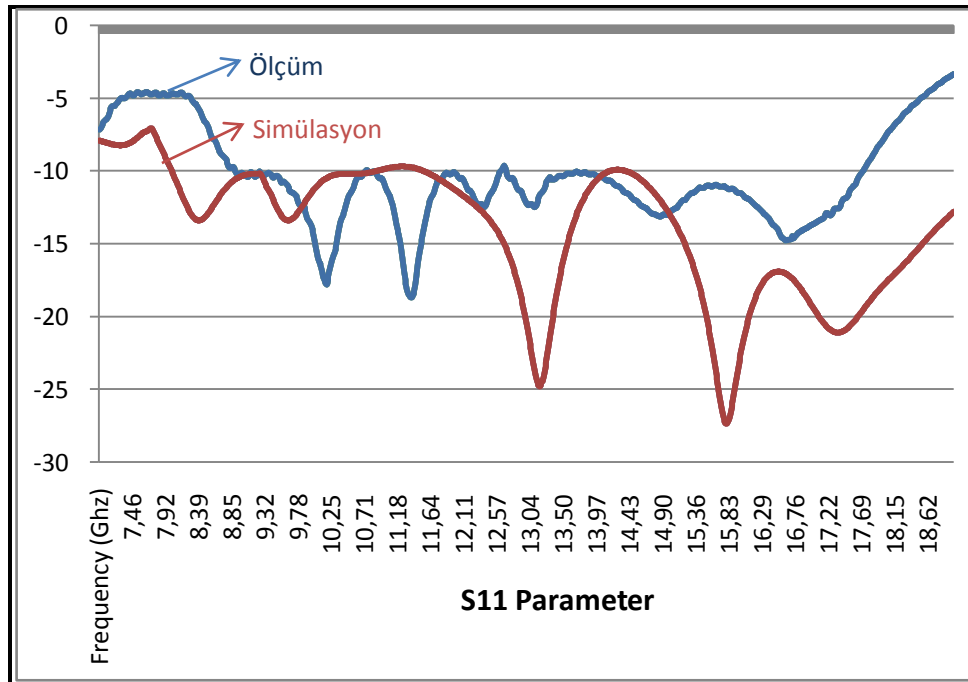
Şekil 8.16’de üretimi yapılan Vivaldi anten sunulmuştur. Şekil 8.17’de simülasyon sonuçları ile ölçüm sonuçları karşılaştırılmıştır. Geri dönüş kaybı -10 dB’nin altında ve tek bir anten elemanının ortalama kazancın 9 dB olduğu görülmekte, böylece simülasyon sonuçlarıyla tutarlılık sağladığı anlaşılmaktadır.



(a)

(b)

Şekil 8.16 : Üretimi yapılan Vivaldi anten (a) ön yüzeyi (b) arka yüzeyi.



Şekil 8.17 : Simülasyon ve Ölçüm Sonuçlarının Karşılaştırılması.



9. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada farklı frekans bant aralıklarında çalışan radar ve uzaktan algılama uygulamaları için iki farklı tipinde anten tasarımı ve gerçekleştirilmesi yapılmıştır. İstenilen ışıma örüntüsü ve çalışma frekans bant aralığının optimizasyonunda sezgisel optimizasyon tekniklerinden biri olan GA ve VGA kullanılmıştır.

Birinci tasarımda, genetik algoritma tabanlı en uygun parametrelili doğrusal mikroşerit yama anten dizi tasarımı gerçekleştirilmiştir. GA, mikroşerit yama antenlerden oluşan anten dizisinin ışıma örüntü parametrelerinin ve istenilen frekansta çalışan tek bir antenin tasarım parametreleri optimizasyonu için kullanılmıştır. Mikroşerit yama antenlerin yüzeyinde oluşan istenmeyen yüzey akımlarını kontrol ederek anten kazancında artırımı sağlanmıştır. Böylelikle 2,45 ve sonrasında 9,26 GHz çalışma frekansında 6 dBi'nin üzerinde kazanç elde edilmiştir. Ayrıca söz konusu çalışma frekanslarında geri dönüş kaybı -10 dB'nin altında, VSWR 1,1 seviyelerinde anten ışıma karakteri oluşmuştur. Müteakiben elde edilen yüksek kazançlı mikroşerit yama anten elemanlarından oluşan anten dizileri incelenerek, VGA optimizasyon tekniğiyle dizi sentezi yapılmıştır. Böylelikle düşük yan huzme seviyelerinde yüksek kazanç ve yönlülük sağlanmıştır. Optimal ışıma örüntüsü elde etmek için 8, 16, 32, 48 elemandan oluşan anten dizileri örnek olarak incelenmiş ve her bir elemanın akım uyarım ağırlıkları ve dizi elemanları arası mesafeler analiz edilmiştir. Her bir anten dizi yapısı için en uygun antenler arası mesafe ve akım genlik uyarımları ile yan huzme seviyeleri -30 dB'in altına bastırılması başarılmıştır. İstenilen seviyede S11 parametresi ve ışıma örüntüsü için hesaplamalı elektromanyetik yöntemleri kullanarak GA ve VGA metodunun performans analizi ve değerlendirmesi yapılmıştır. Böylelikle genel en iyiye ulaşmada, GA'ya vibrasyonel (titreşimsel) yaklaşım hesaplama maliyetini düşürerek hız kazandırmıştır. Daha sonra 50 Ω giriş empedansı olacak şekilde T bağlamalı güç bölücü ile mikroşerit besleme hattı tasarlanmış ve iyi bir empedans uyumlama ile 8x1 doğrusal mikroşerit yama anten tasarımının üretimi yapılmıştır.

İkinci tasarımda, Yapay Açıklıklı Radar uygulamaları için yüksek kazançlı Vivaldi dizi anten tasarımı sunulmuştur. Görüntüleme radarlarında yüksek çözünürlük imkânı sunan X-Bant ve Ku-Bant frekans aralıklarında geri dönüş kaybı (S11) -10

dB'in altında ve gerilim duran dalga oranı (VSWR) 2'nin altındadır. Tek bir anten elemanının çalışma frekans aralığındaki ortalama anten kazanç değeri 9 dB en yüksek kazanç 9,48 dB'dir. Düzlemsel dizi anten yapısı (4x4) en yüksek kazancı 19,4 dB ve yan kulakçık seviyesi -21,9 dB olarak ölçülmüştür. Tek bir anten elemanının istenilen frekans aralığında çalışabilmesi için yapılan parametrik optimizasyonda ve düşük yan kulakçık seviyesi elde etmek için dizi geometrisinin tasarımında optimizasyon tekniği olarak GA ve VGA kullanılmıştır. Ayrıca anten yüzeyinde oluşturulan oluklarla anten üzerinde oluşan yüzey akımlarını azaltarak anten kazanç artırımı sağlanmıştır. Önerilen yüksek kazançlı optimize edilmiş Vivaldi anten yapısının düzlemsel dizi anten şeklinde kullanımı, hafif, kolay imal edilebilir, yüksek kazanç ve yönlülük ve ayrıca geniş bant ışıma karakteri gibi avantajlarından dolayı özellikle küçük uydu platformları üzerinde YAR uygulamaları için iyi bir seçenek olduğu değerlendirilmiştir.

Gelecek çalışmalarda tasarlanan Vivaldi ve mikroşerit yama anten yapıları, metamaterial veya frekans seçici yüzeyler ile entegre edilerek antenin ışıma karakteristikleri geliştirilebileceği, farklı beslemeli dizi anten tasarımlarıyla hareketli hedef takibi ve çoklu giriş çoklu çıkış (MIMO) uygulamalarında kullanılabileceği değerlendirilmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] **Deschamps, G. A.**, Microstrip microwave antennas, 3rd. USAF Symposium on Antennas, 1953.
- [2] **Gutton, H. ve Baissinot, G.**, Flat Aerial for Ultra High Frequencies, French Patent No. 703 113, 1955.
- [3] **Munson, R. E.**, Single Slot Cavity Antennas Assembly, U.S. Patent No.3713162, Ocak 23, 1973.
- [4] **Howell, J. Q.**, Microstrip Antennas, IEEE Trans. on Antennas and Propagation, sf. 90-93, Ocak 1975.
- [5] **Elliott, R. S.**, Antenna Theory and Design, Prentice-Hall, Inc. 1981.
- [6] **Rudge, A. W., Milne, K., Olver, A. D. ve Knight, P.**, The Handbook of Antenna Design, IEEE Electromagnetics Wave series 16, 1982.
- [7] **Skolnik, M.**, Radar Handbook, Mc Graw Hill, 2. sürüm, 1990.
- [8] **Scheleher, D. C.**, Introduction to Electronic Warfare, Artech House, 1993.
- [9] **Ahmeda, S. S., Harrison, I. ve Wolfson, M. S.**, Tracking Multiple Targets with a Phased Array Radar, IEEE Radar, sf.601-605, 1997.
- [10] **Gibson, P. J.**, The Vivaldi Aerial, Proc. 9th Europe Microwave Conference, sf. 101–105, 1979.
- [11] **Wang, T., Yin, Y. Z., Yang, J., Zhang, Y. L. ve Xie, J. J.**, Compact triple band antenna using defected ground structure for WLAN/WiMAX applications, Prog. Electromag. Res. Lett., cilt 35, sf.. 427-430, 2012.
- [12] **Sidhu, A. K. ve Sivia, J. S.**, Double U slotted microstrip rectangular patch antenna for GPS applications, International Conference on Electrical, Electronics and Optimization Techniques (ICEEOT), sf. 1569-1572 Mart 2016.
- [13] **Soontornpipit, P., Furse, C. M. ve Chung, Y. C.**, Design of implantable microstrip antenna for communication with medical implants, IEEE Transactions on Microwave theory and techniques, cilt 52(8), sf.1944-1951, 2004.
- [14] **Porter, B. G., Rauth, L. L., Mura, J. R. ve Gearhart, S. S.**, Dual-polarized slot-coupled patch antennas on duroid with teflon lenses for 76.5 GHz automotive radar systems, IEEE transactions on Antennas and Propagation, cilt 47(12), sf. 1836-1842, 1999.
- [15] **Garg, R., Bhartia, P., Bahl, I. ve Ittipiboon, A.**, Microstrip Antenna Design Handbook, Artech House Antennas and Propagation Library, 1-2, 2001.
- [16] **Engest, B. ve Lo, Y. T.**, A study of circularly polarized rectangular microstrip antennas, Technical Report, Electromagnetics Laboratory, University of Illinois, 1985.
- [17] **Marzall, L. F., Nascimento, D.C., Schildberg, R. ve Lacava, J. C. S.**, An effective strategy for designing probe-fed linearly-polarized thick

microstrip arrays with symmetrical return loss bandwidth, *PIERS Online*, cilt 6, No. 8, sf. 700-704, Temmuz 2010.

- [18] **Chang, F. S. ve Wong K. L.**, A broadband probe-fed patch antenna with a thickened probe pin, *Proceedings of Asia-Pacific Microwave Conference*, Taipei, China, sf.1247-1250, Aralık 2001.
- [19] **Tzeng, Y. B., Su, C. W. ve Lee, C. H.**, Study of broadband CP patch antenna with its ground plane having an elevated portion, *Proceedings of Asia-Pacific Microwave Conference*, Suzhou, China, sf. 1-4, Aralık 2005.
- [20] **Chaimool, S., Chung, K. L. ve Akkaraekthalin, P.**, Bandwidth and gain enhancement of microstrip patch antennas using reflective metasurface, *IEICE transactions on communications*, cilt 93(10), sf. 2496-2503, 2010.
- [21] **Qu, D., Shafai, L. ve Foroozesh, A.**, Improving microstrip patch antenna performance using EBG substrates, *IEE Proceedings-Microwaves, Antennas and Propagation*, cilt 153(6), sf. 558-563, 2006.
- [22] **Majid, H. A., Abd Rahim, M. K. ve Masri, T.**, Microstrip antenna's gain enhancement using left-handed metamaterial structure, *Progress in Electromagnetics Research*, cilt 8, sf. 235-247, 2009.
- [23] **Lee, R. Q. ve Lee, K. F.**, Gain enhancement of microstrip antennas with overlaying parasitic directors, *Electronics Letters*, cilt 24(11), sf. 656-658, 1988.
- [24] **Preeti, S. ve Gupta, S.**, Bandwidth and gain enhancement in microstrip antenna array for 8 GHz frequency applications, *IEEE Transaction Antenna and Propagation*, 2014.
- [25] **Garg, R., Bhartia, P., Bahl, I. ve Ittipiboon, A.**, *Microstrip antenna design handbook*", Artech House Antennas and Propagation Library, 1-2, 2001.
- [26] **Xiang, H. ve Jiang X., Li, S.**, Design of a high gain low sidelobe microstrip antenna array at Ku-band, *WRI International Conference on Communications and Mobile Computing*, cilt 1, sf. 29-32, Ocak 2009.
- [27] **Niu, C., She, J. ve Feng, Z.**, Design and simulation of linear series-fed low-sidelobe microstrip antenna array, *Asia-Pacific Microwave Conference*, sf. 1-4, Aralık 2007.
- [28] **Deb, A., Roy, J. S. ve Gupta, B.**, Performance comparison of differential evolution, particle swarm optimization and genetic algorithm in the design of circularly polarized microstrip antennas, *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, cilt 62(8), sf. 3920-3928, 2014.
- [29] **Li, W. T., Shi, X. W., Hei, Y. Q., Liu, S. F. ve Zhu, J.**, A hybrid optimization algorithm and its application for conformal array pattern synthesis, *IEEE Transactions on antennas and propagation*, cilt 58(10), sf. 3401-3406, 2010.
- [30] **Strong, R. ve Price, K.**, Differential evolution-a simple and efficient heuristic for global optimization over continuous spaces, *J. Global Optim.*, cilt 11, sf. 341-359, 1997.

- [31] **Haupt, R. L.**, An introduction to genetic algorithms for electromagnetic, IEEE Antennas and Propagation Magazine, cilt 37, no. 2, sf. 7-15, 1995.
- [32] **Rahmat-Samii, Y. ve Michielssen, E.**, Synthesis of linear and planar arrays using genetic algorithms, in Electromagnetic Optimization by Genetic Algorithms, New York: Wiley, 1999.
- [33] **Allard, R. J., Werner, D. H. ve Werner, P. L.**, Radiation pattern synthesis for arrays of conformal antennas mounted on arbitrarily-shaped three-dimensional platforms using genetic algorithms, IEEE Trans. Antennas Propag., cilt 51, no. 5, sf. 1054-1062, Mayıs 2003.
- [34] **Sibille, A.**, Compared Performance of UWB Antennas for Time and Frequency Domain Modulation”, 28th URSI General Assembly, New Delhi, India, 2005.
- [35] **Linardou, I., Migliaccio, C., Laheurte, J. M. ve Papiernik, A.**, Twin Vivaldi antenna fed by coplanar waveguide, Electron. Lett., 33(22), 1835-1837, 1997.
- [36] **Kim, S. G. ve Chang, K.**, Ultra Wideband Exponentially-Tapered Antipodal Vivaldi Antennas, IEEE Antennas and Propagation Society Symposium, Monterey, CA, 2273-2276, Temmuz 2004.
- [37] **Yazgan, E.**, Mikroşerit antenler, Elektrik Mühendisliği Dergisi, 348:262-268, 1987.
- [38] **Akkaya, I.**, Antenler ve Propagasyon, İstanbul Teknik Üniversitesi, 1997.
- [39] **Gazit, E.**, Improved Design of the Vivaldi Antenna, Proc. Inst. Electr. Eng. H, cilt 135, no. 2, sf. 89-92, Nisan 1988.
- [40] **Langley, J.D.S., Hall, P.S. ve Newham, P.**, Novel ultrawide-bandwidth Vivaldi antenna with low cross polarisation, Electronics Letters, cilt 29, sayı 23, 1993
- [41] **Langley, J.D.S., Hall, P.S. ve Newham, P.**, Balanced antipodal Vivaldi antenna for wide bandwidth phased arrays, IEE Proceedings - Microwaves Antennas and Propagation, cilt 143, sayı 2, 1996.
- [42] **Balanis, C.A.**, Antenna Theory Analysis and Design, Harper & Row, Publisher, New York, 1982.
- [43] **Holland, J. H.**, Adaptation in natural and artificial systems, Ann Arbor, University of Michigan Press, 1975.
- [44] **Goldberg, D.E.** Genetic algorithms in search optimization and machine learning, Reading, MA Addison-Wesley, 1989.
- [45] **Haupt, R.L. ve Haupt, S.E.**, Practical genetic algorithms, John Wiley & Sons, New Jersey, 2004.
- [46] **Hacioglu, A. ve Özkol, İ.**, Vibrational genetic algorithm as a new concept in airfoil design, Aircraft Engineering and Aerospace Technology, cilt 74 no. 3, sf. 228-236, 2002.
- [47] **Murthy, K. ve Kumar, A.**, Synthesis of Linear Antenna Arrays, IEEE Trans. Antennas Propagation, cilt AP-24, sf. 865-870, Kasım 1976.

Url-1 <<http://www.radartutorial.eu>>, alındığı tarih: 23.11.2018.

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Emre HANBAY

Doğum Yeri ve Tarihi: Besni 1988

E-Posta:emre.1988.h@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU:

Lisans : 2010, Kara Harp Okulu, Elektronik Mühendisliği

Yüksek Lisans: 2019, Milli Savunma Üniversitesi, Elektronik ve Haberleşme Ana
Bilim Dalı

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

TSK'nın farklı kadro ve görevlerinde, elektronik sistemlerin işletilmesi, kontrollerinin yapılması ve komuta edilmesinde yönetici olarak çalışmıştır.

TEZDEN TÜRETİLEN YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER:

Hanbay E., Aydemir M. E., Vibrasyonel Genetik Algoritma ile En Uygun Işıma Örüntüsüne Sahip Mikroşerit Anten Dizisi Tasarımı ve Benzetimi, URSI-TÜRKİYE'2018 IX. Bilimsel Kongresi, Konya, Eylül 2018.

Hanbay E., Aydemir M. E., High Gain Ultrawide Band Vivaldi Antenna Design for Mini Micro Satellite Synthetic Aperture Radar Applications, RAST 2019 9th International Conference on Recent Advances in Space Technologies, İstanbul, Haziran 2019.