T.C
DİCLE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

RADAR TABANLI BİYOMEDİKAL UYGULAMALAR İÇİN SİSTEM TASARIMI VE OPTİMİZASYONU

Şahin YILDIZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DİYARBAKIR
EKİM 2019

T.C

DİCLE UNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜ

DİYARBAKIR

Şahin YILDIZ tarafından yapılan "Radar Tabanlı Biyomedikal Uygulamalar İçin Sistem Tasarımı Ve Optimizasyonu" konulu bu çalışma, jürimiz tarafından Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir

Jüri Üyesinin

Ünvanı	Adı Soyadı
Başkan :	Doç. Dr. M. Bahaddin KURT
Üye :	Doç. Dr. Ömer Faruk ERTUĞRUL
Üye :	Dr. Öğr. Üyesi Abdulnasır YILDIZ

Tez Savunma Sınavı Tarihi: 06/11/2019

Yukarıdaki bilgilerin doğruluğunu onaylarım.

.../...../20

Prof. Dr. Sevtap SÜMER EKER

ENSTİTÜ MÜDÜRÜ

(MÜHÜR)

TEŞEKKÜR

Yaptığım çalışmaların her safhasında gerek desteğini gerek ilgisini esirgemeyen başta değerli Danışman Hocam Sayın Doç. Dr. Muhammed Bahaddin KURT'a en kalbi duygularımla teşekkürü bir borç bilirim.

Desteklerinden ötürü Arş. Gör. Hüseyin ÖZMEN, Öğretim Görevlisi Sayın İsa ATAŞ, Dicle Üniversitesi Biyomedikal Birimi Sorumlusu Ayhan GÜNGÖRMEZ, Biyomedikal Şefi Masum YILDIZ'a, tezdeki ölçümler için yardımlarını esirgemeyen ve öneriler sunan Biyomedikal Teknik Servis Uzmanlarına, değerli arkadaşlarım E.Elektronik Mühendisi Berken KEJANLI ve Asistan Dr. Felat TOPRAK'a teşekkür ederim.

Bu çalışma MÜHENDİSLİK 19.003 numaralı yüksek lisans projesi kapsamında Dicle Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü tarafından desteklenmiştir. Bu desteklerinden ötürü kendilerine teşekkür ederim.

Ayrıca maddi ve manevi destekleriyle bugünlere gelmemi sağlayan aileme ve tüm sevdiklerime en içten dileklerimle teşekkürlerimi sunarım.

Şahin YILDIZ

İÇİNDEKİLER

Sayfa

TEŞEKKÜR……. I

İÇİNDEKİLER……..... II

ÖZET……..... V

ABSTRACT……..... VI

ÇİZELGE LİSTESİ…….. VII

ŞEKİL LİSTESİ……..... VIII

EK LİSTESİ……. XII

KISALTMA VE SİMGELER……. XIII

1. GİRİŞ……..... 1

1.1. Genel Bilgi…….. 1

1.2. Tezin Amacı…… 2

1.3. Tezin Yapısı……..…… 3

2. KAYNAK ÖZETLERİ…….. 5

3. MATERYAL VE METOT…… 11

3.1. Radar Temelleri…..……...……..……. 11

3.1.1. Doppler Etkisi..…… 11

3.2. Radar Sisteminin Bileşenleri……..…….. 16

3.2.1. Anten……..... 16

3.2.1.1. Işıma Örüntüsü…..……..…….. 19

3.2.1.2. Yönlülük……..……. 21

3.2.1.3. Duran Dalga Voltaj Oranı (VSWR)……..... 21

3.2.1.4. Geri Dönüş Kaybı(RL)……...…….. 22

3.2.1.5. Anten Verimliliği …… 23

3.2.1.6. Anten Kazancı ……..... 23

3.2.1.7. Polarizasyon..…….. 24

3.2.1.8. Bant Genişliği……..……. 25

3.2.2. Fonksiyon Jeneratörü(Modülatör)…..……... 26

3.2.3. Voltaj Kontrollü Osilatör (VKO)……..... 26
3.2.4. Zayıflatıcı…… 27
3.2.5. Düşük Gürültülü Yükselteç (DGY)……. 27
3.2.6. Güç Ayırıcı……..... 28
3.2.7. Frekans Karıştırıcı..……..... 28
3.3. Radar Sisteminin Gerçekleştirilmesi..…….…… 29
3.3.1. Besleme Devresi…….…….…… 29
3.3.2. Fonksiyon Jeneratörü Devresi (Modülatör)…….…… 30
3.3.3. Alçak Geçiren Filtre Devresi..…….…… 32
3.3.4. Mikrodalga Elemanları…….……... 33
3.4. Antenler…….…… 36
3.4.1. Avantajlar ve Dezavantajlar …… 38
3.4.2. Besleme Teknikleri ……. 39
3.4.2.1. Mikroşerit Hat Besleme …….. 39
3.4.2.2. Koaksiyel Besleme……... 40
3.4.2.3. Yakınlık Bağlantılı Besleme…….……... 41
3.4.3. Analiz Yöntemleri…….……... 42
3.4.3.1. Transmisyon Hat Modeli……...……... 42
3.5. Mikroşerit Anten Tasarımı……..……..……... 46
4. BULGULAR VE TARTIŞMA…….. 49
4.1. Antenin Geometrik Boyutlarının Performansına Olan Etkileri..……. 49
4.1.1. Yama Genişliğinin Anten Performansı Üzerindeki Etkisi……... 51
4.1.2. Yama Uzunluğunun Anten Performansı Üzerindeki Etkisi..... 53
4.1.3. Açılan Yarıkların (Slotların) Uzunluğunun Anten Performansı Üzerindeki Etkisi..…….. 55
4.1.4. Açılan Yarıkların (Slotların) Genişliğinin Anten Performansı Üzerindeki Etkisi..…….. 57
4.1.5. Besleme Şeridi Genişliğinin Anten Performansının Üzerindeki Etkisi..……. 58
4.2. Gerçekleştirilen Antenin Optimizasyon Sonrası Performanslarının Karşılaştırılması..... 60

4.3. Dizi Anten Performans Sonuçları……...……...……... 62
4.4. Radar Sistemi Kurulumu…….……...……...……... 64
4.5. Hareketli Nesnenin Veri Toplama Kartı İle Bilgisayarda Algılanması…..……. 66
5. SONUÇ VE ÖNERİLER…….……..... 69
6. KAYNAKLAR…….……..... 71
EKLER……... 75
ÖZGEÇMİŞ……... 85

ÖZET

RADAR TABANLI BİYOMEDİKAL UYGULAMALAR İÇİN SİSTEM TASARIMI VE OPTİMİZASYONU

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Şahin YILDIZ

DİCLE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ELEKTRİK ELEKTRONİK ANABİLİM DALI

2019

Radar tabanlı uygulamalar doppler etkisini kullanarak, harekete dayalı nesnelerin yorumlanması açısından çok önemli bir potansiyele sahiptir. Son yıllarda hareket endeksli vital bulguların takibi, dokuları ve organları karakterize etmek için çeşitli radar tabanlı çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmada çeşitli biyomedikal uygulamalarda kullanılabilecek bir radar sistemi yapılması amaçlanmıştır.

Radar tabanlı uygulamaların düzgün bir şekilde gerçekleştirilebilmesi açısından radar sisteminde kullanılan antenler çok önemli bir yer tutmaktadır. Bu antenlerin çalışma frekansı, kazancı, yönlülüğü gibi parametrelerin istenilen uygulamaya uygun olması gerekmektedir. Bu antenlerin tasarımı için iletim hattı denklemleri ve bir elektromanyetik simülasyon programı(CST) kullanılmış olup istenen performansta antenler tasarlanmıştır ve optimize edilmiştir.

CST programı kullanılarak mikroşerit antenin yama genişliği, yama uzunluğu, yarık genişliği, yarık uzunluğu ve besleme şeridi üzerinde geometrik değişimler yapılmıştır. Antenler üzerinde yapılan boyutsal değişiklikler antenin ilk hali ile karşılaştırılmıştır. İşlem öncesi 2,36 GHz olan radar antenin çalışma frekansı istenilen seviye olan 2,40 GHz'e getirilmiştir. Radar anten kazancı 3,02 dB seviyesinden 3,67 dB seviyesine çıkarılarak iyileştirilmiştir.

Performansları artırılan alıcı ve verici antenler radar sistemine eklenmiştir. Radar sisteminin çalışma prensibine uygun olarak kurulan mikrodalga bileşenleriyle beraber modülatör devresi, alçak geçiren filtre devresi ve ardunio ile frekans sayıcı devresi tasarlanmıştır. Ayrıca analog/dijital çevirici ile radar sisteminin bilgisayar bağlantısı yapılmış, sistemin düzgün çalıştığı görülmüştür.

Hareket ettirilen bir engel, radar sisteminin karşısına konularak testler yapılmıştır. Hareket ettirilen nesnenin radar sistemine yakınlaşırken zaman domeninde sinyal genliğinin arttığı, nesnenin radar sisteminden uzaklaşmasıyla azaldığı tespit edilmiştir. Uygun sinyal işleme teknikleriyle bu hareketlerin biyomedikal uygulama tabanlı yorumlanabileceği sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Radar, biyomedikal uygulamalar, doppler, optimizasyon

ABSTRACT

SYSTEM DESIGN AND OPTIMIZATION FOR RADAR BASED BIOMEDICAL APPLICATIONS

MsC THESIS

Şahin YILDIZ

DEPARTMENT OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERING
INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES
UNIVERSITY OF DICLE

2019

Radar-based systems have a very important potential for the interpretation of motion-based objects using the doppler effect. In recent years, various radar-based studies have been conducted to characterize the tissues and organs, following the movement-indexed vital signs. In this study, it is aimed to make a radar system which can be used in various biomedical applications.

Antennas used in the radar system have a very important place in order to perform radar based applications properly. The parameters such as operating frequency, gain and directivity of these antennas should be suitable for the desired application. Transmission line equations and an electromagnetic design program (CST) were used for the design of these antennas and the antennas of the desired performance were designed and optimized.

Using the CST program, patch width, patch length, slit width, slit length and geometric variations of the microstrip antenna were made. Dimensional changes on the antennas were compared with the initial state of the antenna. The operating frequency of the radar antenna, which was 2.36 GHz before the process, was brought to the desired level of 2.40 GHz. The radar antenna gain was improved from 3.02 dB to 3.67 dB.

Receiver and transmitting antennas with improved performance have been added to the radar system. The modulator circuit, low pass filter circuit and ardunio and frequency counter circuit are designed together with the microwave components installed in accordance with the operating principle of the radar system. In addition, an analogue / digital converter and radar system were connected to the computer and the system was seen to be working properly.

A moving obstacle was placed in front of the radar system and tests were performed. It has been determined that the signal amplitude increases in the time domain while the object being moved closer to the radar system and decreases as the object moves away from the radar system. It has been concluded that with appropriate signal processing techniques, these movements can be interpreted based on biomedical application.

***Keywords*:** Radar antenna, biomedical applications, doppler, optimization

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge No		Sayfa
Çizelge 3.1.	Farklı Besleme Tekniklerinin Karşılaştırılması	42

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil No		Sayfa
Şekil 3.1.	Doppler olayı (Doppler Radar Definition 2017)	11
Şekil 3.2.	Kaynak ve gözlemci arasındaki frekans-hız (Hailong Liang 2014)	11
Şekil 3.3.	Doppler frekansı ve hız arasındaki ilişki (Chavart ve ark. 2011)	13
Şekil 3.4.	Radar iletilen ve yansıyan sinyal (Werner 2010)	14
Şekil 3.5.	Radar sistemi temel çalışma şeması	16
Şekil 3.6.	FR4 malzemesi	17
Şekil 3.7.	Bir antenin ışıması (Antesky Science Technology 2015)	18
Şekil 3.8.	Bir antenin etrafındaki alan bölgeleri	18
Şekil 3.9.	Genel yönlü bir antenin ışıma paterni (Salbani ve ark. 2011)	20
Şekil 3.10.	İletici antenin eşdeğer devresi	21
Şekil 3.11.	Doğrusal (dikey) bir polarize dalga (Alsager 2011)	24
Şekil 3.12.	Yaygın olarak kullanılan polarizasyon şemaları (a:dikey doğrusal polarizasyon; b:yatay doğrusal polarizasyon; c:sağ dairesel kutuplaşma; d:sol dairesel kutuplaşma)	25
Şekil 3.13.	XR2206 fonksiyon jeneratörü entegresi	26
Şekil 3.14.	Voltaj kontrollü osilatör	26
Şekil 3.15.	Zayıflatıcı	27
Şekil 3.16.	DGY	27
Şekil 3.17.	Güç ayırıcı	28
Şekil 3.18.	Frekans karıştırıcı	28
Şekil 3.19.	Örnek radar sistemi (Mehrdad ve Tavassolian 2017)	29
Şekil 3.20.	Besleme devre şeması	30
Şekil 3.21.	Fonksiyon jeneratörü devre şeması	30
Şekil 3.22.	Devrenin breadboard üzerinde denenmesi	31
Şekil 3.23.	Fonksiyon jeneratör baskı devresi	31
Şekil 3.24.	Alçak geçiren filtre devre şeması	32
Şekil 3.25.	Alçak geçiren filtre baskı devresi	33
Şekil 3.26.	Mikrodalga sisteminin bağlantısı	33

Şekil 3.27. VKO gerilimi ile voltaj değişimi (Mini-Circuits, 2009) 34

Şekil 3.28. Zayıflatıcı ile frekans ilişkisi (Mini-Circuits, 2009) 34

Şekil 3.29. DGY ile frekans ilişkisi (Mini-Circuits, 2009) 35

Şekil 3.30. Güç Ayırıcı ile frekans ilişkisi (Mini-Circuits, 2009) 35

Şekil 3.31. Karıştırıcı ile frekans ilişkisi (Mini-Circuits, 2009) 36

Şekil 3.32. Mikroşerit yama anten yapısı 37

Şekil 3.33. Mikroşerit Yama Elementlerinden En Yaygın Olan Şekiller (a:Kare; b:Dikdörtgen; c:Dipol; d:Dairesel; e:üçgen; f:dairesel halka; g:eliptik) 37

Şekil 3.34. Mikroşerit Hat Besleme 40

Şekil 3.35. Prob ile beslenen dikdörtgen mikro şerit yama anteni (Vivekananda 2009) 40

Şekil 3.36. Yakınlık bağlantılı besleme 41

Şekil 3.37. Mikroşerit Hat Şekli 43

Şekil 3.38. Elektrik alan hatları (Vivekananda 2009) 43

Şekil 3.39. Mikroşerit yama anten 44

Şekil 3.40. Antenin görünümleri (a:antenin üstten görünümü; b:antenin yandan görünümü) (Vivekananda 2009) 44

Şekil 3.41. Mikroşerit yama anteninin üstten görünüşü 46

Şekil 3.42. Tasarlanan mikroşerit yama anteninin üstten görünüşü 48

Şekil 3.43. 2x2 dizi anten 48

Şekil 3.44. Gerçekleştirilen yama ve dizi antenler 48

Şekil 4.1. Tasarlanan mikroşerit yama anteninin S11parametresi 49

Şekil 4.2. Tasarlanan mikroşerit yama anteninin ışıma örüntüsü 50

Şekil 4.3. Tasarlanan mikroşerit yama anteninin kazanç durumu (Gain) 50

Şekil 4.4. Tasarlanan mikroşerit yama anteninin duran dalga oranı(VSWR) 51

Şekil 4.5. Yama genişliği 51

Şekil 4.6. Yama genişliğinin S11 parametreleri üzerindeki etkisi 51

Şekil 4.7. Yama genişliğinin kazanç üzerindeki etkisi (a:38,01 mm; b:37,55 mm; c:38,70 mm) 52

Şekil 4.8. Yama genişliğinin VSWR üzerindeki etkisi 52

Şekil 4.9. Yama uzunluğu 53

Şekil 4.10. Yama uzunluğunun S11 parametreleri üzerindeki etkisi 53

Şekil 4.11. Yama uzunluğunun kazanç üzerindeki etkisi (a:29,42 mm; b:29,00 mm; c:29,70 mm) 54

Şekil 4.12. Yama uzunluğunun VSWR üzerindeki etkisi 54

Şekil 4.13. Yama anten üzerinde açılan yarıklar 55

Şekil 4.14. Yarık uzunluğunun S11 parametreleri üzerindeki etkisi 55

Şekil 4.15. Yarık uzunluğunun kazanç üzerindeki etkisi (a:11,00 mm; b:8,00 mm; c:14,00 mm) 55

Şekil 4.16. Yarık uzunluğunun VSWR üzerindeki etkisi 56

Şekil 4.17. Yarık genişliği 57

Şekil 4.18. Yarık genişliğinin S11 parametreleri üzerindeki etkisi 57

Şekil 4.19. Yarık genişliğinin kazanç üzerindeki etkisi (a:1,60 mm; b:1,00 mm; c:2,20 mm) 58

Şekil 4.20. Yarık genişliğinin VSWR üzerindeki etkisi 58

Şekil 4.21. Besleme şeridi genişliği 59

Şekil 4.22. Besleme şeridi genişliğinin S11 parametreleri üzerindeki etkisi 59

Şekil 4.23. Besleme şeridi genişliğinin kazanç üzerindeki etkisi (a:3,00 mm; b:2,40 mm; c:3,60 mm) 60

Şekil 4.24. Besleme şeridi genişliğinin VSWR üzerindeki etkisi 60

Şekil 4.25. Optimizasyon öncesi ve sonrası antenlerin s11 parametreleri karşılaştırılması (a: ilk hali ; b: son hali) 61

Şekil 4.26. Optimizasyon öncesi ve sonrası antenlerin kazanç üzerindeki etkisinin karşılaştırılması (a: ilk hali ; b: son hali) 61

Şekil 4.27. Optimizasyon öncesi ve sonrası antenlerin VSWR karşılaştırılması (a: ilk hali; b: son hali) 62

Şekil 4.28. Tasarlanan dizi antenin S11 parametreleri 63

Şekil 4.29. Tasarlanan dizi antenin ışıma örüntüsü 63

Şekil 4.30. Tasarlanan dizi antenin kazanç durumu 63

Şekil 4.31. Tasarlanan dizi antenin duran dalga oranı (VSWR) 64

Şekil 4.32. Fonksiyon jeneratör devre osiloskop ölçümü 64

Şekil 4.33. Radar sisteminin akış diyagramı 65

Şekil 4.34. Radar sisteminin üstten görünümü 66

Şekil 4.35. Radar sisteminin veri toplama kartı ile bilgisayara bağlantısı 67

Şekil 4.36. Hedefteki nesne uzaklaşırken 68

Şekil 4.37. Hedefteki nesne yakınlaşırken 68

EK LİSTESİ

Ek No		Sayfa
Ek 1.	Dijital Analog Çevirici Cihazı İle İlgili Bilgiler	75
Ek 2.	CST Studio Suite Programı İle İlgili Bilgiler	76
Ek 3.	Proteus Programı İle İlgili Bilgiler	79
Ek 4.	Fonksiyon Jeneratörü ve Mikrodalga Elemanları İle İlgili Bilgiler	81

KISALTMA VE SİMGELER

BW : Bant Genişliği

VNA : Vektör Network Analizör

ARES : Baskı Devre Çizim

ISIS : Şema Çizim

VSWR : Duran Dalga Voltaj Oranı

RL : Uluslararası Yenilenebilir Enerji Ajansı

CST : Computer Simulation Technology

ωr : Açısal rezonans frekansı

Tanδ : Dielektrikteki Kayıp Tanjantı

Qr : Radyasyon İçin Kalite Faktörü

J : Bilinmeyen İndüklenen Akım

fo : Çalışma Frekansı

εr : Malzeme Dielektrik Sabiti

$\varepsilon reff$: Etkin Dielektrik Sabiti

S11 : Geri Yansıma Kaybı

W : Yama Anten Genişliği

L : Yama Anten Uzunluğu

$Leff$: Yama Anten Etkin Uzunluğu

η : İçsel Boş Alan Empedansı

r : Küresel Koordinat Sistemi İçin Yarıçap

Prad : Ortalama Güç

D : Antenin Yönlendiriciliği

U : Antenin Radyasyon Yoğunluğu

U_i : İzotropik Bir Kaynağın Radyasyon Yoğunluğu

Zin : Terminallerdeki Anten Empedansı

Rin : Terminallerdeki Anten Direnci

Xin : Terminallerdeki Anten Reaktansı

Γ : Yansıma Katsayısı

Vr : Yansıyan Dalganın Genliği

Vi : Olay Dalgasının Genliği

*e*i : Toplam Anten Verimliliği

1. GİRİŞ

1.1. Genel Bilgi

Radar tabanlı uygulamalar günümüzde askeriye, meteoroloji, trafik ve çeşitli sağlık uygulamaları gibi birçok alanda kullanılmaktadır. Aslen ‘Radio Detection and Ranging'in kısaltması olan radar, 1880’lerde Heinrich Hertz'in klasik deneylerine dayanan zengin bir tarihe sahiptir (Skolnik 2002). Hız tespiti için kullanılan radar tabanlı uygulamalarda çalışma prensibi doppler olayına dayanmaktadır.

Doppler frekansı tespitine, günümüzde elektroniğin çeşitli uygulamalarında sıkça rastlanılmaktadır. Örneğin, doppler temelli tomografik yöntemler ile yapay açıklıklı radar (YAR) görüntüleme (Mensa ve ark. 2007), takip radarı ile çoklu hedeflerin yön tespiti (Lin ve Ling 2007), trafik radarları ve daha birçok uygulamada doppler frekans tespitine ihtiyaç duyulmaktadır. Geçmişten günümüzde birçok alanda radar sistemleri büyük faydalar sağlamıştır. İnsanoğlunun gelecekte daha farklı alanlarda da radar sistemlerini kullanılması öngörülmektedir. Bunlar tamamen kullanım ihtiyaçlarının iyi tanımlanabilmesi ve radar sistemlerin özelliklerinin iyi bilinmesini gerektirmektedir.

Radar sistemleri, değişen sağlık hizmeti gereksinimlerine uyum sağlamayı kolaylaştıran önemli bir etmendir. Radar sistemleri blok diyagramları ve davranışsal denklemler açısından analiz edilir. Bu sistemler tıp alanında tümör tespitinde, hayati bulgu takibi ve tıbbi görüntüleme sistemlerinde yoğun bir şekilde araştırma-geliştirme çalışmalarının gündeminde tutulmaktadır.

Radar sistemleri tasarlanırken kullanım alanına uygun özelliklerde olmalıdır. Radar sistemlerinin en önemli parçalarından olan alıcı ve verici antenlerin kullanım alanlarına uygun tasarlanmalıdır. Kullanım alanlarına göre mikroşerit, horn, çanak gibi antenler kullanılmaktadır. Bu çalışmada radar sistemin alıcı ve verici kısmı mikroşerit yama anten olarak seçilmiştir. Mikroşerit antenlerin hafifliği, küçük hacimli olması, düşük üretim maliyeti, düzlemsel biçimliliği nedeniyle kullanışlı olması gibi çeşitli avantajlarından ötürü kullanım alanı oldukça yaygındır. Kablosuz iletişim teknolojisinin gelişmesiyle birlikte, mikroşerit yama anteninin önemi büyük ölçüde artmıştır. Mikroşerit yama anten sayısız uygulamada kullanılmıştır. Mikroşerit antenlerin temel dezavantajları dar bantlı ve düşük kazançlı olmalarıdır. Bu nedenle bir antenin bant

genişliği, kazanç ve verimlilik gibi çeşitli özelliklerini geliştirmek için çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Kullanım alanı bu kadar yaygın olması nedeniyle ihtiyaca yönelik antenlerin tasarımı çok önemlidir.

Mikroşerit anten tasarlanırken iletim hattı denklemleri kullanılır. Bu denklemler antenlerin istenilen çalışma koşullarını oluşturmada tek başına yeterli değildir. Sadece bu denklemler kullanılarak tasarlanan mikroşerit antenler istenilen çalışma aralığı ve geri dönüş kaybı çoğunlukla istenilen değerde ölçülmeyebilir. Bu yüzden tasarlanan antenin kullanım alanına uygun iyileştirmesi gerekmektedir. Radar antenin tasarımı ve iyileştirilmesi için simülasyonlar CST programı kullanılarak yapılmıştır. Tasarımın geometrik boyutlarının anten performansına olan etkileri incelenmiştir. Antenin geometrik boyutlarının sistemin performansı üzerindeki etkileri kullanılarak istenilen çalışma frekansı, geri dönüş kaybı ve kazanç gibi faktörler elde edilmeye çalışılmıştır. Geometrik boyutların radar anten üzerindeki etkilerine göre iyileştirilme yapılan antenlerin simülasyon sonuçları karşılaştırılmış olup geometrik boyutların etkinliği gözlemlenmiştir. Yapılan bu gözlemlerde en ufak bir değişimin antenler üzerindeki etkileri detaylı bir şekilde simülasyon işleminden geçirilerek incelenmiştir. İyileştirmeler sonucunda anten performans parametrelerinin daha iyi değerlere geldiği görülmüştür.

Radar sisteminin alıcı ve verici anten tasarım işlemi yapıldıktan sonra antenlerden gelen sinyal için sistemin geri kalan kısımları yapılmıştır. Alıcı ve verici antenin sürekli sinyal gönderebilmesi için fonksiyon jeneratörü devresi tasarlanmıştır. Bu çalışma Gregory ve ark. (2011) tarafından MIT'de gerçekleştirilen bir uygulamandan esinlenerek yapılmıştır. Fonksiyon jeneratöründen elde edilen ramp sinyali voltaj kontrollü osilatöre iletilerek sinyal akışı sürekli hale getirilmiştir. Alıcı ve verici antenden elde edilen sinyaller karıştırıcıdan geçirilerek alçak geçirgenli filtre devre kısmında işleme tabi tutulmuştur. Filtre devre çıkışında sinyal işlemci ve dijital-analog çevirici ile yorumlanmıştır.

Bu tez çalışmasında daha iyi bir forma kavuşan antenlerin, radar sistemiyle optimizasyonu sağlanmış olup ölçümler başarı ölçümler başarı ile gerçekleştirilmiştir.

1.2. Tezin Amacı

Bu tez çalışmasında biyomedikal uygulamalarda kullanılabilecek bir radar sisteminin gerçekleştirilmesi amaçlanmıştır. Bu amacın gerçekleştirilebilmesi için radar sisteminin bileşenleri detaylı bir şekilde incelenmiştir. Radar sistemin bileşenlerinden olan antenlerin uygun çalışma frekansı, yüksek verimlilik, kararlılık ve düşük geri dönüş kaybı gibi özelliklere sahip olması saptanmıştır. Belirtilen şartların tümüne sahip mikroşerit anten tasarlayabilmek için antenin geometrik boyutları üzerinde matematiksel değişimler yapılarak antenlerin performansları üzerindeki etkileri gözlemlenmiştir. Bu sayede istenilen şartlardaki antenler tasarlanmıştır. Diğer bir amaç radar sistemin geri kalan bileşenlerinden mikrodalga ve düşük geçirgenli filtre devresini uygun çalışma frekansında gerçekleştirmektir. Böylelikle elde edilebilecek radar sisteminin hareketli nesnelerin yorumlanmasında fayda sağlayacağı düşünülmektedir.

1.3. Tezin Yapısı

Bu tez; giriş, kaynak özetleri, materyal ve metot, bulgular ve tartışma, sonuç ve öneriler ve kaynaklar olmak üzere altı bölümden oluşmaktadır.

Giriş olarak verilen birinci bölümde radar tabanlı uygulamalar ve tezde yapılan çalışma hakkında kısa bilgiler verilmiştir.

Kaynak özetleri olarak verilen ikinci kısımda radar tabanlı uygulamalar ile ilgili yapılan literatür araştırması yer almaktadır.

Materyal ve metot bölümünde, bu tez çalışmasında tasarlanacak olan radar sisteminin bileşenleri anten optimizasyonu ve sistemin gerçekleştirilmesi anlatılmıştır.

Bulgular ve tartışma olarak adlandırılan dördüncü bölümde, radar sisteminin anten kısımlarının performansları karşılaştırılmıştır. Elektronik devre, mikrodalga bileşenler ve ölçüm sonuçları gösterilmiştir. Gerçekleştirilen radar sistemiyle ölçümler yapılmış ve harekete duyarlılığı gözlemlenmiştir.

Sonuç ve öneriler kısmında yapılan çalışmaya ait sonuçlara yer verilmiş, önerilerde bulunulmuştur.

Kaynaklar olarak verilen altıncı bölümde ise tez içinde referans verilen kaynaklar sıralanmıştır.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Radar tabanlı uygulamalar günümüz teknolojisini oldukça meşgul etmektedir. Gelişen teknolojiyle beraber radar sistemlerinin önemi daha iyi anlaşılmaktadır. Radar sistemi biyomedikal, askeriye ve meteoroloji gibi kuruluşlarda birçok avantajından ötürü son yıllarda bilim insanlarının yoğun ilgisini çekmiştir.

Islam ve ark. (2009) çalışmalarında mikroşerit yama anten için optimizasyon tekniği uygulamışlardır. Optimizasyon tekniğini göstermek için Ultra Geniş Bant (UWB) iletişimi için geleneksel optimizasyon tekniği kullanılarak tasarlanmış bir E-H şeklinde yama anten kullanmışlardır. Konvansiyonel olarak optimize edilmiş anten, değişmeyen büyük kolektif geometri değişkenleri arasından kabul edilebilir bir çözüm arayarak tasarlanmıştır. Uyumlandırma için veriler, antenin farklı geometrik parametrelerini değiştirerek EM simülatöründen elde edilmiştir. Sonuç olarak E-H şeklindeki anten için, bant genişliği, optimize edilmemiş antene kıyasla % 27 oranında artırmışlardır.

Chavart ve ark. (2011) MIT'de yapmış oldukları çalışmalarında radar sistemi kurmuşlardır. Doppler, aralık ve sentetik açıklıklı radar (SAR) görüntüleri oluşturabilen dizüstü bilgisayar tabanlı bir radar sistemi tasarımını, üretimini ve testlerini sunmuşlardır. Radar sisteminin çalışma frekansını 2,4 GHz olacak şekilde tasarlamışlardır. Sistemin kesim frekansı 15 kHz'dir. Doppler teorisinde nesnelerin hızı ve mesafesinde kullanılan parametreleri sunmuşlardır. Sentetik açıklıklı radar (SAR) görüntüleme, nesnelerin algılanması ve görüntüsünün verilmesi olarak uygulanmışlardır.

Raoul ve ark. (2012) son derece minyatür patch antenler üretmek için yeni bir tasarım metodolojisi üzerinde çalışma yapmışlardır. Çalışmada, yama ile yer düzlemi arasına yatay olarak yerleştirilmiş tamamlayıcı halka-halka rezonatörleri kullanmışlardır. Ayrık halkaların geometrisini optimize ederek, yama anteninin alt dalga boyu rezonansı, iyi bir empedans eşleşmesi ve sonlu bir yer düzlemindeki geleneksel yama anteninkilerle karşılaştırılabilir kılmışlardır. 2,45 GHz'de bir rezonans yaması için elde edilen enine boyutta dörtten fazla bir faktörün azaltılmasıyla, simülasyonlar ve deneylerle yüksek minyatürleştirme seviyelerini incelemişlerdir. Optimizasyonlar sonucu her ne kadar minyatürleştirme, anten radyasyon verimliliğindeki bir azalmaya ve

kesirli bant genişliğinin bir kaybına eşlik etse de, anten performansı, yama alanındaki 1/16 azalma için bile kabul edilebilir bir çalışma yapmışlardır.

Nwalozie ve ark. (2013) çalışmalarında yama antenlerin geometrik şekilleri ve uygulamaları açısından çok yönlülüğü, hafif yapı ve mikrodalga entegre devreleriyle entegrasyon için uygunluk gibi sayısız avantajlarından dolayı bu antenler üzerinde çalışmışlardır. Düşük kazanç ve daha az bant genişliği gibi tek bir mikro bant yamasının özelliklerini engellemek, dizi yapılandırması için daha gerekli olmasını sağlamak için çalışmalarında bir mikroşerit yama anten dizisinin tasarımı, performans analizi ve optimizasyonu yapılmıştır. Simülasyon işlemleri yapılarak arzu edilen sonuçlara yaklaşıldığı görülmüştür.

Bhalla ve Bansal (2013) iletişim sistemlerinde yaşanan son yıllarda, geniş bir frekans yelpazesinde yüksek performansı koruyabilen hafif, kompakt ve uygun maliyetli antenlerin geliştirilmesine ihtiyaç duyulduğundan mikroşerit anten üzerinde çalışmalar yapmışlardır. Bu teknolojik eğilim, bir mikroşerit yama anteninin tasarımına büyük çaba sarf etmiştir. Bu çalışmalarında, IE3D'nin simülasyon aracı dikdörtgen şeklindeki mikroşerit yama anteninin performansını ve kazancını incelemek için kullanılmıştır. Yama antenlerinin tasarımı ve simülasyonu günümüzde mobil cep telefonlarında yaygın olarak kullanılmaktadır ve bu çalışmadaki vurguları 2,4 GHz dikdörtgen mikroşerit yama anteninin optimizasyonu üzerinedir. Geri dönüş kaybı ve çeşitli kazanç grafikleri radyasyon kalıplarıyla birlikte incelemişlerdir.

Jayasinghe ve Uduwawala (2013) yama antenler üzerinde çalışmalar yapmışlardır. Yama antenlerin dar bant genişliği ve düşük verimlilik gibi dezavantajlarını incelemişlerdir. Çalışmalarında hem bant genişliğini hem de kazancı optimize etmek için yamanın şeklini, besleme konumunu, dielektrik substratın kalınlığını ve substrat malzemesini aynı anda tasarlamak için optimizasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Yaklaşık -10 db empedans bant genişliğine sahip, ince, geniş bant parçalı, tek prob besleme yama antenlerin optimize edilerek kolayca tasarlanabileceğini gördüler. Antenler HFSS programı kullanılarak simule edildi ve sonuçlar ölçümler kullanılarak doğrulama işlemini gerçekleştirmişler.

Jayasınghe ve ark. (2013) doğrusal bir dizinin yerini alabilen dikdörtgen bir profile sahip olan tek bir yüksek yönlülükte mikroşerit yama anteni üzerinde

çalışmışlardır. Bir besleme ağına ihtiyaç duymama avantajıyla optimizasyonlar kullanılarak tasarlanmıştır. Anteni optimize ederek üretilmişlerdir ve ölçümler istenilen sonuçlarla iyi bir uyum içinde olduğu gözlemlemişlerdir.

Errifi ve ark. (2014) yaptıkları çalışmada yama antenin, modern kablosuz iletişim sistemlerinde önemli unsurlardan birisi olduğundan ve bu nedenle tasarım optimizasyonu, sistemin genel performansını iyileştirmek için çalışmalar yapmışlardır. Bu çalışmada optimizasyon tekniği, daha iyi geri dönüş kaybı ve yükseklik yönlendiriciliği elde etmek amacıyla açıklık bağlantılı yama anten boyutlarının optimizasyonu için HFSS yazılımında kullanılmıştır. Mikro şerit yama anteni C bandında 7 GHz'de merkez frekansı ile çalışmak üzere tasarlanmıştır ve yama anteninin çeşitli önemli performans ölçümleri optimize edilmemiş yama tasarımı ile optimize edilmiş yama tasarımı arasında karşılaştırmalı analiz yapmak için analiz etmişlerdir.

Valdez ve ark. (2014) dizinin radyasyon parametrelerini iyileştirmek için alternatif olarak anten dizilerindeki frekans seçici yüzeylerin uygulanmasını sunmuşlardır. WLAN ve LTE 4G sistemlerinde uygulama için bir mikroşerit anten dizisi önermişlerdir. Geleneksel bir dizi ile karşılaştırıldığında, özellikle bant genişliği, kazanç ve radyasyon verimliliği gibi birçok parametre optimizasyon işlemi sonucu önemli ölçüde iyileştirilmiştir.

Yee ve ark. (2014) çalışmalarında vital bulgulardan olan solunum hızına ek olarak farklı tipte solunum modellerini yakalamak için kullanılan bir mikrodalga doppler radarı sunmaktadır. Bilinen çeşitli solunum bozuklukları, doppler radarının farklı tipte solunumlarını doğru bir şekilde tespit edilmesinin elde edilmesinde uygulanabilirliğini destekleyen temassız bir mikrodalga doppler radarı kullanılarak tespit edilmiştir. Tüm deneyler için elde edilen sonuçlar, doppler radar sinyalleri ile iyi bir korelasyon sağlayan standart bir ölçüm cihazı, solunum kayışı ile karşılaştırılmıştır. Özetle, doppler radarı, yalnızca solunum hızlarını bulmak için değil, aynı zamanda geleneksel temas yöntemlerinin yerini alan solunum modellerini tanımlamak için alternatif bir yaklaşım olarak da kullanılabilirliği gözlemlenmiştir. 2,4 GHz çalışma frekansıyla anten tasarlanmıştır.

Hailong (2014) çalışmasında doppler radar sisteminin hız testleri, uzaklık algılama ve nesnelerin görüntü oluşturmaları için değerlendirmiştir. İki doppler radar

sisteminin deneylerine göre doppler etkisinin teorisi sağlanmıştır. Doppler teorisinde nesnelerin hızı ve mesafesi olan en yaygın kullanılan parametreleri sunmuştur. Sentetik açıklıklı radar (SAR) görüntüleme, nesnelerin algılanması ve görüntüsünün verilmesi olarak uygulanmıştır. Antenler daha derinlemesine kavranmıştır ve modüler RF radar tasarımı kavramını güçlendirilmiştir. Sonuç olarak zamana karşı zaman içeren doppler zaman yoğunluğu (DTI) ve zamana karşı zaman içeren doppler aralık yoğunluğu (RTI) uygulanmıştır.

Ashikur ve ark. (2015) kısa mesafeli uygulama için mobil temassız hayati işaret izleme cihazı üzerinde çalışmalar yapmışlardır. Radarın çalışma frekansı 2,4 GHz'dir. Radar sistemi hareketlerinden kaynaklanan gürültüler IIR filtresi ve uyarlanabilir gürültü önleme teknikleri kullanılarak kaldırılmıştır. Yapılan deneylerin ve teorik tekniklerin, hayati işaretleri rastgele hareket eden herhangi bir radar sisteminden ölçmek için potansiyel olarak kullanılabilecek bir temel sağladığı görülmüştür.

Asokan ve ark. (2015) mikroşerit yama anteni Ansoft HFSSV13'te tasarlanmıştır. Tasarlanan antenler çift taraflı baskılı mikro şerit yama antenidir. Tasarlanan anten ISM (endüstriyel, bilimsel ve tıbbi) bant ve WLAN uygulamaları için kullanılabilir. Tasarlanan anten düşük profilli, düşük maliyetli, kolay imalat ve iyi bir izolasyona sahiptir. Anten Ansoft HFSSV 13 simülasyon yazılımı kullanılarak tasarlanmıştır ve tasarlanmış anten -10 dB'den daha az geri dönüş kaybı sağlar. Geri dönüş kaybı, gerilim durgun dalga oranı (VSWR), karşılıklı eşleşme, kazanç, radyasyon paterni gibi parametreler simüle ve analiz edilmiştir.

Malay ve ark. (2015) düşük maliyetleri ve kompakt düzlemsel yapıları nedeniyle yama antenler üzerinde çalışmışlardır. Bu çalışmada, yama uzunluğu, yama genişliği ve bilinmeyen bir değişken olarak besleme şeridi uzunluğu gibi geometrik tasarım parametrelerini dikkate alarak iç hatlı dikdörtgen mikroşerit yama anteninin rezonans frekanslarını optimize etmişlerdir. Optimize edilmiş antenler için farklı mikrodalga frekansları (3 ila 18 GHz) için simülasyonlar yapılmıştır. İstenilen sonuçlara yakın değerlere simülasyonlar sonucu varıldığı gözlemlenmiştir.

Swarnaprava ve ark. (2016) bu çalışmada geri dönüş kaybı, VSWR, yönlendirme ve kazanç elde etmek amacıyla Z-şekilli yama anteninin I-slot boyutları ile optimizasyonu için HFSS yazılımında ayrık parçacık sürüsü optimizasyon tekniği

kullanılmışlardır. Tasarlanan anten Wi-Max / S-band ve C-band uydu uygulamasında merkez frekansı 3,5 GHz ve 4,3 GHz'de çalışacak ve yama anteninin çeşitli önemli performans ölçümleri optimize edilmemiş yama arasında karşılaştırmalı analiz yapmak için analiz edilmiştir. Optimize edilmiş anten tasarımı ile optimize edilmemiş anten tasarımı karşılaştırılmıştır. Optimizasyon sonucu daha verimli bir anten elde etmişlerdir.

Priyanka ve ark. (2016) yaptıkları çalışmada optimizasyon işlemleriyle dikdörtgen mikroşerit yama anten tabanının minyatürleştirilmesi için yeni bir formül sunmuşlardır. Tipik bir dikdörtgen yamanın şekli, rezonans frekansını sabit tutmak üzere büyüklüğünü azaltmak için değiştirmişlerdir. Çalışmalarında, yarıklar, halkalar ve koaksiyel prob beslemesi ile yeni şekilli bir anten tasarlamışlardır. Yama anteni, tasarım parametresi için uzunluk ve genişlik olarak optimize edilmiştir.

Chandravilash ve Sonu (2017) çalışmalarında HFSS ve eğri uydurma kullanan tek bantlı H şeklinde bir mikro bant yama anteninin optimizasyonu esaslı tasarımını sunmuşlardır. Düzeltme tekniğini ifade etmek için yamanın şekli H olarak kullanmışlardır. Etkin anten performansı için geometri parametresi elde etmek için kullanılan optimizasyon tekniği ile optimize edilmemiş antenin karşılaştırılması sonucu anten rezonansının tam olarak 2,4 GHz'de optimize edildiği ve bant genişliğinde% 16,10'dan % 18,22'ye yükseldiği görülmüştür.

Mehrdad ve Tavassolian (2017) anten ışıma parametrelerinin temassız vital bulguları izleme sistemlerinde kullanılan 2,4 GHz Doppler radarının algılama yetenekleri üzerindeki etkilerini değerlendirmek için deneysel bir çalışma sunmaktadır. Hem verici hem de alıcı tarafında dört farklı tip yama anteni ve dizi konfigürasyonu gerçekleştirmişlerdir. Çalışmalarında 2,4 GHz frekansında anten kullanmışlardır.

Renu ve Tarak (2017) geleneksel antenlerin farklı parametrelerini optimize etmişlerdir. Çalışma frekansları olarak 2,4 GHz-3,65 GHz frekans aralığında tatmin edici sonuçlara varılmıştır.

Nancy ve ark. (2017) çalışmalarında, kompakt dalga kılavuzu (CPW) ile beslenen mikroşerit yama anteninin geometrik arızalı yapıya sahip geometrik parametrelerinin ortak optimizasyonu üzerinde çalışmışlardır. Sunulan araştırma çalışması üç aşamaya ayrılmıştır. İlk aşamada, amaçlanan anten sonlu elemanlar tabanlı elektromanyetik simülatör Ansoft HFSS 15.0 kullanılarak tasarlanmış ve analiz

edilmiştir. Sonraki aşamada, çeşitli tasarım parametrelerinin analitik denklemleri MATLAB'da eğri uydurma tekniği kullanılarak modellenmiştir ve bireysel tasarım parametreleri için kök ortalama kare hata bazlı uygunluk fonksiyonları türetilmiştir. Ardından optimizasyon algoritmasındaki değerlendirme için bireysel uygunluk fonksiyonlarından bir ortak maliyet fonksiyonu formüle edilmiştir. Değiştirilmiş algoritma, yüksek hızlı noktadan noktaya kablosuz servisler için çift bant performansını geniş bant performansına dönüştürmek için belirli tasarım parametrelerinin ortak optimizasyonunda etkili bir şekilde kullanıldığı görülmüştür.

Kaschel ve Ahumada (2018), WBAN (Kablosuz Gövde Bölgesi Ağı) uygulanmış dikdörtgen mikroşerit antenli tasarıma sahip olan bir anten tasarladılar. 4,3 dielektrik sabitine sahip olan FR-4 substrat materyali kullanılarak 2,4 GHz. tasarlanan anten, ISM (endüstriyel, bilimsel ve tıbbi) bant ve UWB uygulamaları için kullanılabilir. Tasarlanan anten düşük profilli, düşük maliyetli, kolay imalat ve iyi bir izolasyona sahiptir. Anten, CST simülasyon yazılımı kullanılarak tasarlanmıştır ve tasarlanmış anten, -10 dB'den daha az geri dönüş kaybı sağlamıştır. Önerilen anten, insan dokularındaki hem elektromanyetik etkiyi hem de kabuk modelini göz önüne alarak, insan vücudunun düşük SAR modellerini elde etmek amacıyla tasarlanmıştır.

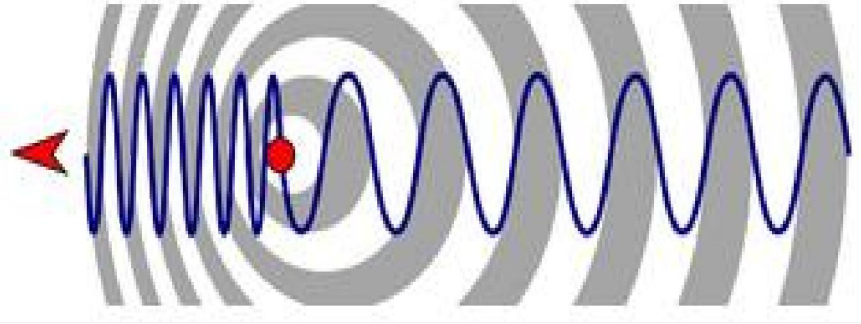
Mishra ve ark. (2018) çalışmalarında optimizasyon işlemini rezonans frekansında daha geniş bant genişliği ve minimum geri dönüş kaybı (S11 parametresi) elde etmek için anten geometrisini oluşturan parametrelerin seçiminde kullanılmıştır. Anten tasarımı 1,87 GHz ile 9,03 GHz frekans aralığında, 7,16 GHz'lik çok geniş bir çalışma bant genişliğinde, 55,19 db dönüş kaybı (S11) ve 5,16 GHz'lik bir rezonans frekansında % 91,96 radyasyon verimi sergilemiştir. Bu çalışmadaki tüm simülasyonlar ANSYS HFSS (Yüksek Frekans Yapısal Simülatör) yazılımı kullanılarak yapılmıştır. Ölçüm sonuçları simüle sonuçlarla iyi bir uyum içinde olduğu görülmüştür.

3. MATERYAL VE METOT

3.1. Radar Temelleri

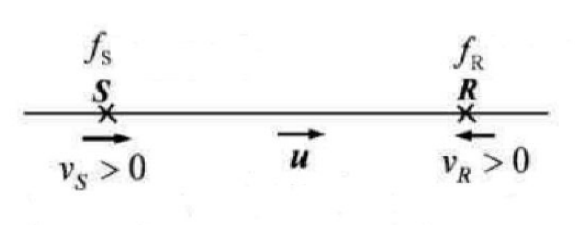
3.1.1. Doppler Etkisi

Doppler etkisi, özellikle bir nesnenin hızını ve hareketini tespit etmek için kullanılır. Doppler radarı, bir nesnenin ürettiği dalgaların size doğru hareket etmesi durumunda birbirine yakınca ezilmesi veya uzaklaşıyorsa daha fazla yayılması bilgisini kullanarak çalışır. Sıkıştırılmış dalgalar daha yüksek frekanstır ve daha yüksek frekans daha yüksek perdedir. Uzaklaşma durumunda yayılan dalgalar düşük frekanslı, düşük frekans düşük perdeli olur. Bu nedenle, bize doğru hareket eden bir polis arabası sireni daha yüksek bir perde sireni ve bizden uzaklaşan bir polis arabası sireni daha düşük bir perde sireni olarak duyulacaktır.



Şekil 3.1. Doppler olayı (Doppler Radar Definition 2017)

Doppler olayı yapılan hareketi ve mesafeyi Şekil 3.1'de görülüğü gibi yorumlar. Başka bir ifadeyle doppler etkisi, dalga kaynağının göreceli hareketi ile gözlemci arasındaki frekans değişimidir.



Şekil 3.2. Kaynak ve gözlemci arasındaki frekans-hız (Hailong 2014)

Şekil 3.2'de gösterilen f_S kaynağın frekansı; f_R, gözlemcinin frekansı; f_W tam dalganın frekansı; V_S, kaynağın hızıdır; V_R, gözlemcinin hızı; u, tam dalganın hızıdır.

1) Gözlemci ve kaynak sabit ise ($V_s = 0,\ V_R = 0$):

$$f_R = u / \lambda = f_s \tag{3.1}$$

2) Kaynak sabittir ancak dalga kaynağına göre 'V_R' hızıyla hareket eden gözlemci ($V_s = 0,\ V_R \neq 0$):

$$f_R = u + V_R \ / \lambda = u + V_R \ / (u / f_W) = (1 + V_R / u) f_W \tag{3.2}$$

$$f_W = f_s, f_R = (1 + V_R / u) f_s \tag{3.3}$$

3) Gözlemci sabittir ancak kaynak gözlemcisine göre 'V_s' hızıyla hareket ederse ($V_s \neq 0,\ V_R = 0$):

$$\lambda = uT_s - V_sT_s = u - V_s / f_s \tag{3.4}$$

$$f_R = f_W = u / \lambda = [1 / (1 - V_s / u)] f_s \tag{3.5}$$

4) Hem gözlemci hem de kaynak hareket ediyor ise ($V_s \neq 0,\ V_R \neq 0$):

$$f_W = [1 / (1 - V_s / u)] f_s \tag{3.6}$$

$$f_R = (1 + V_R / u) f_W \tag{3.7}$$

$$f_R = [(1 + V_R / u) / (1 - V_s / u)] f_s \tag{3.8}$$

Hedefe olan aralığın 'R' olduğu, ardından iki yönlü yoldaki radardan hedefe ve dönüşe toplam dalga boyu 'λ' olan toplam dalga sayısının "$2R / \lambda$ olduğunu varsayılırsa; her dalga boyu '2π' radyan, yani iki yönlü toplam faz değişimi doppler radar sisteminin yakınlık algılaması için yayılma yolu aşağıdaki gibi gösterilebilir (Hansen 1993):

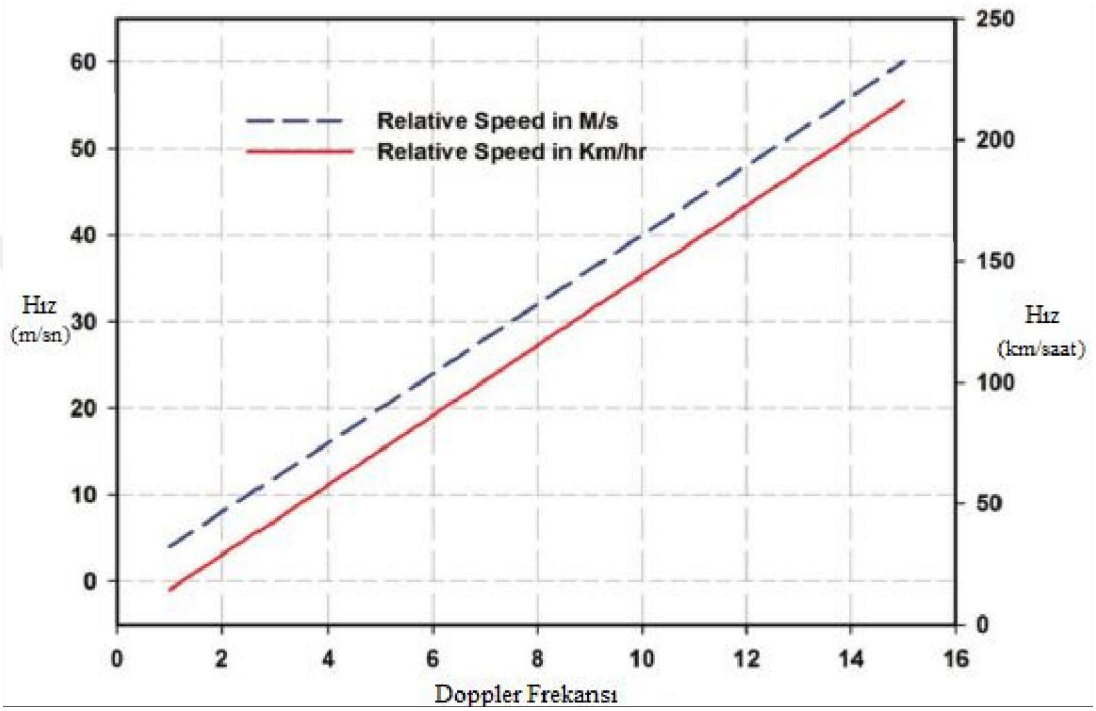
$$\emptyset = 2\pi \ \frac{2R}{\lambda} = 4\pi R/\lambda \tag{3.9}$$

Hedef radara göre hareket halinde ise, 'R' ve faz değişir. Formülün zamana göre belirlenmesi, açısal frekans olan faz değişim oranını verir:

$$\omega_d = \frac{4\pi}{\lambda} \frac{dR}{\lambda} = 4\pi R/\lambda \tag{3.10}$$

$V_r = dR / dt$, radyal hız (metre / saniye) veya zamanla aralık değişim hızıdır. Hedefin hız vektörü ile radar görüş hattı arasındaki açı 'Θ' ise, $V_r = V\cos\Theta$, burada "V" hızdır. Zamanla '$\varnothing$' değişim oranı $\omega_d = 2\pi f_d$ açısal sıklıktır, burada 'f_d' doppler frekans kaymasıdır ve aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$f_d = \frac{2V_r}{\lambda} = \frac{2ftVr}{C} \tag{3.11}$$

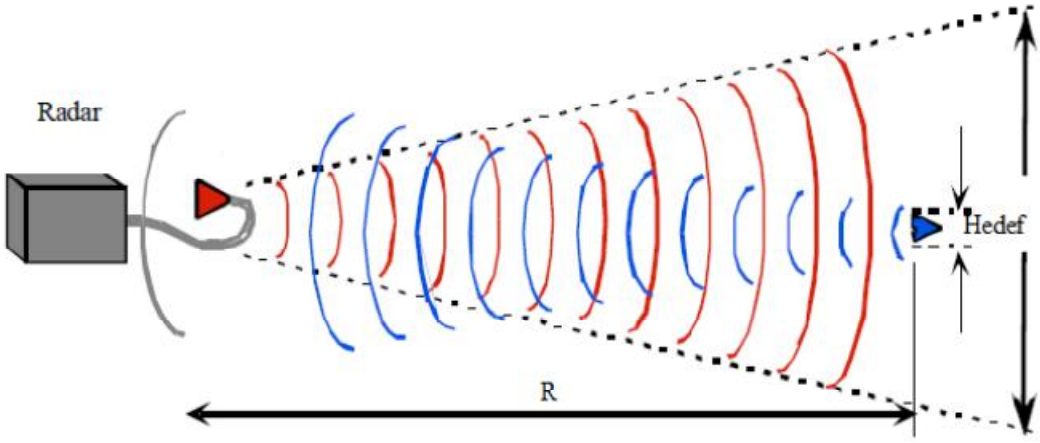


Şekil 3.3. Doppler frekansı ve hız arasındaki ilişki (Chavart ve ark. 2011)

Temel olarak radar, yerleştirildiği noktadan bir nesnenin konumunu ve mesafesini tespit etmek için kullanılan bir elektromanyetik sistemdir. Enerjiyi uzaya yayarak nesnelerden yansıyan sinyali izleyerek çalışır.

Şekil 3.4'te radar sistemi tarafından hedefe gönderilen sinyalin geri yansıması gösterilmiştir. Burada radar sistemi bir anten tarafından uzaya yayılan bir elektromanyetik sinyal üreten bir verici ve alıcıdan oluşur. Bu sinyal herhangi bir nesneyi vurduğunda, birçok yöne yansıtılır veya yeniden düzenlenir. Bu yansıtılan veya yankı sinyali, nesnenin coğrafi istatistiklerini belirlemek için işlendiği alıcıya veren radar anteni tarafından alınır. Menzil, sinyalin radardan hedefe ve geriye yolculuk etmek için harcadığı sürenin hesaplanmasıyla belirlenir. Hedefin konumu, antenin işaret

ettiği maksimum genlik yankı sinyali yönündeki açı cinsinden ölçülür. Hareketli nesnelerin menzilini ve konumunu ölçmek için doppler etkisi kullanılır.



Şekil 3.4. Radar iletilen ve yansıyan sinyal (Werner 2010)

Radar sisteminin 6 ana bölümü vardır:

→Dalga kılavuzları: Dalga kılavuzları, radar sinyallerinin iletimi için iletim hatlarıdır.

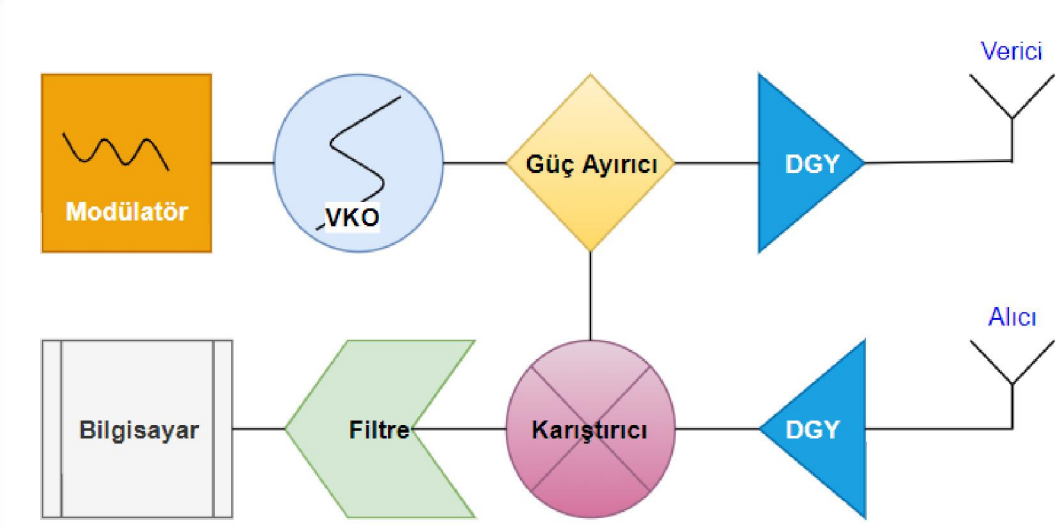
→Verici Anten: Güç amplifikatörü veya bir güç osilatörü olabilir. Sinyal önce bir dalga biçimi üreteci kullanılarak üretilir ve daha sonra güç yükselticisinde yükseltilir.

→Alıcı Anten: Sinyali işlemek ve tespit etmek için kullanılır. Gelen sinyali işlemciye filtre devre aracılığıyla gönderir.

→ Eşik Kararı: Herhangi bir nesnenin varlığını tespit etmek için alıcının çıkışı bir eşik ile karşılaştırılır. Çıktı herhangi bir eşiğin altındaysa, gürültünün olduğu varsayılır.

→ Mikrodalga Kısmı: Alıcı ve verici antenlerin sinyal akışını, doppler etkisini sağlar.

Alçak Geçirgen Filtre Devre: Mikrodalga kısmından elde edilen sinyalin filtrelenerek çıkışında doppler etkisi izlenir.



Şekil 3.5. Radar sistemi temel çalışma şeması

Şekil 3.5'te radar sisteminin temel çalışma şeması verilmiştir. Modülatörden elde edilen sinyal voltaj kontrollü osilatöre (VCO) iletilerek sürekli sinyal sağlanır. Güç ayırıcı mikrodalga elemanı kullanılarak sinyal ikiye ayrılır biri karıştırıcıya diğeri ise yükseltece (LNA) gönderilir. Yükseltici ile sinyal güçlendirilerek verici antenden sinyal hedefe doğru gönderilir. Hedeften yansıyan sinyal yükselteç ile güçlendirilerek karıştırıcıya gönderilir. Karıştırıcıda modülasyon işlemi yapılarak meydana gelen fark filtre devresine gönderilir. Filtre devresinde kesim frekansı elde edilerek çıkışında elde edilen veriler bilgisayar ortamında yorumlanarak işlem tamamlanır.

Darbe sinyaliyle çalışan radara darbe radarı denir. Darbe radarları, tespit ettiği hedefin türüne bağlı olarak aşağıdaki iki tipte sınıflandırılabilir.

→Temel Darbe Radarı: Sabit hedefleri tespit etmek için darbe sinyaliyle çalışan radar, temel darbe radarı veya basit olarak darbe radarı olarak adlandırılır. Sinyallerin iletilmesi ve alınması için tek anten kullanır.

→Hareketli Hedef Gösterge Radarı: Durağan olmayan hedefleri tespit etmek için darbe sinyali ile çalışan radar, hareketli hedef gösterge radarı olarak adlandırılır. Sinyallerin iletilmesi ve alınması için tek anten kullanır.

Sürekli sinyal veya dalga ile çalışan radara sürekli dalga radarı denir. durağan olmayan hedefleri tespit etmek için doppler efektini kullanırlar. Sürekli dalga radarları aşağıdaki iki tipte sınıflandırılabilir.

→Modüle Olmayan Sürekli Dalga Radarı: Durağan olmayan hedefleri tespit etmek için sürekli sinyal (dalga) ile çalışan radar, modülsüz sürekli dalga radarı olarak adlandırılır. Ayrıca sürekli dalga (CW) doppler radarı olarak da adlandırılır. Bu radar iki anten gerektirir. Bu iki antenden, bir anten, sinyali iletmek için, diğer anten, sinyali almak için kullanılır. Yalnızca hedefin hızını ölçer, ancak hedefin radar ile olan mesafesini ölçmez.

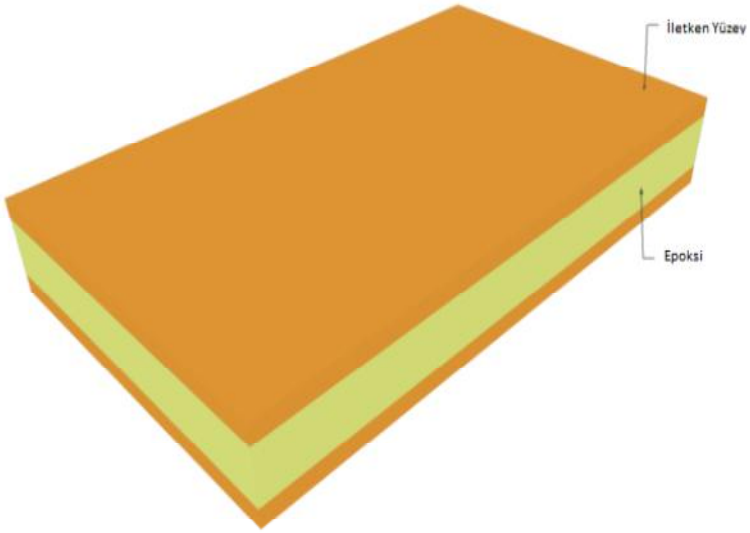
→Frekans Modülasyonlu Sürekli Dalga Radarı (FMCW): Sürekli dalga (CW) doppler radar frekans modülasyonunu kullanıyorsa, bu radara frekans modülasyonlu sürekli dalga (FMCW) radarı veya FMCW doppler radarı denir. Aynı zamanda sürekli dalga frekansı modülasyonlu radar olarak da adlandırılır. Bu radar iki anten gerektirir. Bunlardan bir tanesi sinyali iletmek için bir anten, diğeri ise sinyali almak için kullanılır. Sadece hedefin hızını değil aynı zamanda hedefin radara olan mesafesini de ölçer.

Radar sistemimizde frekans modülasyonlu sürekli dalga radarı kullanılmıştır.

3.2. Radar Sisteminin Bileşenleri

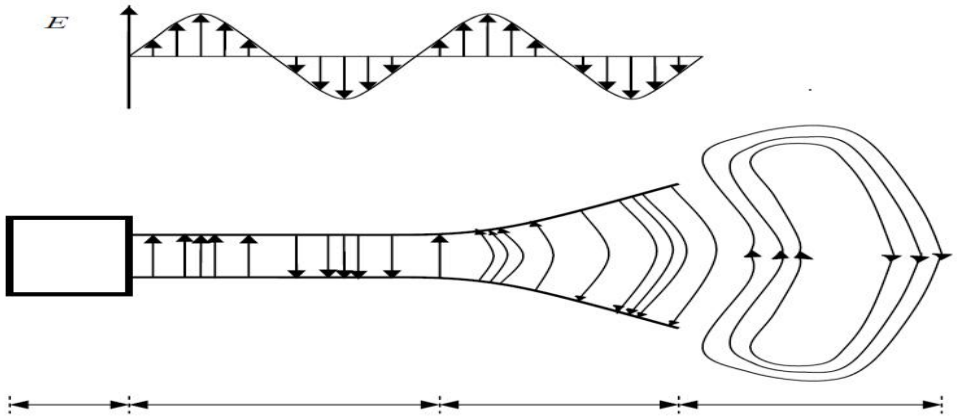
3.2.1. Anten

Anten tasarlanırken hesaplama parametreleri içerisinde kullanılan malzeme bilgileri de önemli yer tutar. Hesaplanan parametrelerde kullanılacak malzemenin yüksekliği ve di-elektrik sabiti baz alınır. Kullanılacak malzeme FR4 olarak adlandırılır. Yaygın olarak FR4 olarak adlandırılan malzeme kompozit bir yapıdır. Malzemenin en temel katı ince, kumaş benzeri bir tabaka halinde dokunmuş cam elyafıdır. Fiberglas FR4'e gerekli yapısal kararlılığı verir. Bu en içteki cam elyaf tabaka daha sonra çevrelenir ve aleve dayanıklı bir epoksi reçinesi ile bağlanır. Bu reçine, diğer fiziksel özelliklerinin yanı sıra malzemeye sertlik kazandırır.



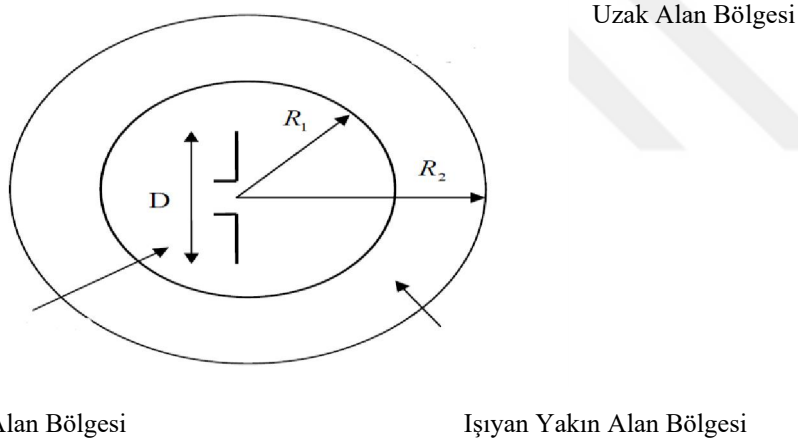
Şekil 3.6. FR4 malzemesi

Bir antenin nasıl ışıma yaptığını anlayabilmek için, önce ışımanın nasıl oluştuğu bilinmelidir. İletken bir tel esas olarak zamanla değişen akım veya bir hızlanma (veya yavaşlama) nedeniyle yayılır. Bir antenden gelen radyasyon, iki iletkenli iletim hattına bağlı bir voltaj kaynağını gösteren, Şekil 3.7'de gösterilen radyasyon görüntüsü ile açıklanabilir. İletim hattı boyunca sinüzoidal bir voltaj uygulandığında, doğada sinüzoidal olan bir elektrik alanı yaratılır ve bu da elektrik alana teğet olan elektrik kuvvet çizgilerinin oluşmasına neden olur. Elektrik alanın büyüklüğü, elektrik kuvvet hatlarının demetlenmesi ile gösterilir. İletkenler üzerindeki serbest elektronlar, elektrik kuvvet hatları tarafından zorla yer değiştirir ve bu yüklerin hareketi, bir manyetik alan oluşumuna yol açan akım akışına neden olur. Zamanla değişen elektrik ve manyetik alanlar nedeniyle elektromanyetik dalgalar oluşur. Oluşan dalgalar iletkenler arasında hareket eder. Bu dalgalar açık alana yaklaşırken, elektrik hatlarının açık uçları birleştirilerek serbest boşluk dalgaları oluşur. Sinüzoidal kaynak sürekli olarak elektrik bozukluğu yarattığından, elektromanyetik dalgalar sürekli olarak yaratılır. Bunlar iletim hattı boyunca, anten boyunca hareket eder ve serbest alana yayılır. İletim hattı ve antenin içinde elektromanyetik dalgalar yükler nedeniyle korunur, ancak serbest alana girer girmez kapalı döngüler oluşturur ve yayılırlar.



Şekil 3.7. Bir antenin ışıması (Antesky Science Technology 2015)

Bir antenle ilişkili alan desenleri mesafe ile değişir ve iki tür enerji ile ilişkilendirilir. Bunlar yayılan enerji ve reaktif enerjidir. Bu nedenle, bir anteni çevreleyen alan üç bölgeye ayrılabilir.



Şekil 3.8. Bir antenin etrafındaki alan bölgeleri

Şekil 3.8'de gösterilen üç bölge:

• Reaktif yakın alan bölgesi: Bu bölgede reaktif alan hâkimdir. Reaktif enerji antene doğru ve uzağa salınır, böylece reaktans olarak görülür. Bu bölgede, enerji yalnızca depolanır ve enerji harcanmaz. Bu bölge için en dış sınır $R_I = 0.62\sqrt{D^3/\lambda}$ burada R_I anten yüzeyine olan mesafedir, D antenin en büyük boyutudur ve λ dalga boyudur.

• Yayılan yakın alan bölgesi (Fresnel bölgesi olarak da bilinir): Bu, reaktif yakın alan bölgesi ile uzak alan bölgesi arasında kalan bölgedir. Reaktif alanlar bu alanda

reaktif yakın alanlara göre daha küçüktür ve radyasyon alanları baskın durumdadır. Bu bölgede açısal alan dağılımı antenle olan mesafenin bir fonksiyonudur. Bu bölge için en dış sınır $R_2 = 2D^2/\lambda$ ki burada $2R$ anten yüzeyine olan mesafedir.

• Uzak alan bölgesi (Fraunhofer bölgesi olarak da bilinir): $R_2 = 2D^2/\lambda$ dışındaki bölge uzak alan bölgesidir. Bu bölgede, reaktif alanlar yoktur ve sadece radyasyon alanları vardır. Açısal alan dağılımı bu bölgedeki antene olan mesafeye bağlı değildir ve güç yoğunluğu bu bölgedeki radyal mesafenin ters karesi olarak değişir.

Bir antenin performansı çeşitli parametrelerden ölçülebilir. Bu parametreler ışıma paterni, yönlülük, duran dalga oranı, geri dönüş kaybı, anten verimliliği, anten kazancı, polarizasyon ve bant genişliliğidir.

3.2.1.1. Işıma Örüntüsü

Bir antenin radyasyon kalıbı, bir yükseliş açısı θ ve azimut açısı tarafından belirtilen uzamsal koordinatların bir işlevi olarak bir antenin uzak alan radyasyon özelliklerinin bir grafiğidir. Daha spesifik olarak, birim katı açısı başına bir antenden yayılan gücün, radyasyon yoğunluğundan başka bir şey olmayan bir grafiğidir (Balanis 2015). İzotropik bir anten örneğini ele alalım. İzotropik bir anten, her yöne eşit olarak yayılan bir antendir. İzotropik anten tarafından yayılan toplam güç P ise, o zaman güç bir yarıçap küresine yayılır. Böylece herhangi bir yönde bu mesafedeki güç yoğunluğu S aşağıdaki gibi verilir: İzotropik bir antenin pratikte gerçekleştirilmesi mümkün değildir ve sadece karşılaştırma amacıyla kullanılabilir. Daha pratik bir tür, bazı yönlerde daha fazla güç ve diğer yönlerde daha az güç yayan yönelimli antendir. Yönlü antenin özel bir hali, radyasyon şekli bir düzlemde (örneğin, düzlem) sabit olabilen ve bir dikgen düzlemde (örneğin, H-düzleminde) değişebilen çok yönlü antendir.

$$S = \frac{P}{area} = \frac{P}{4\pi r^2} \tag{3.12}$$

Daha sonra bu izotropik anten U_i için ışıma yoğunluğu şöyle yazılabilir:

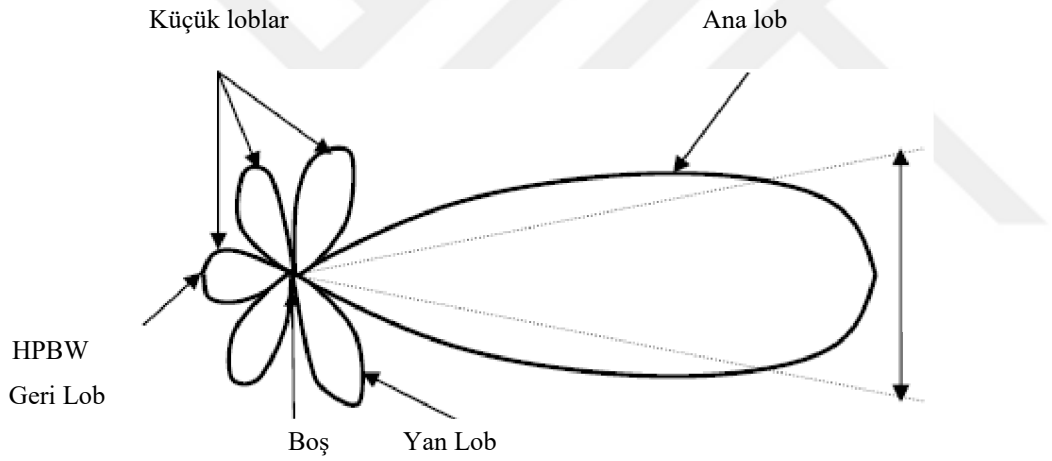
$$U_i = r^2 S = \frac{P}{4\pi} \tag{3.13}$$

Bir antenin giriş empedansı Balanis (2015) ile "terminallerinde bir anten tarafından sunulan empedans veya terminal çiftindeki gerilimin akıma oranı yada elektriğin uygun bileşenlerinin bir noktada manyetik alanlara oranı olarak tanımlanır. ".

Genel bir yönelimli antenin terminallerdeki empedansı Z_{in}, direnci R_{in} ve reaktansı X_{in} olarak değerlendirilirse:

$$Z_{in} = R_{in} + jX_{in} \quad (3.14)$$

Radyasyon düzeni grafiği Şekil 3.9'da gösterildiği gibidir. Giriş empedansının X_{in} 'teki hayali kısmı, antenin yakınında depolanan gücü temsil eder. Dirençli kısım, giriş empedansının R_{in}' de iki bileşenden oluşur, radyasyon direnci R_r ve kayıp direnci R_L. Radyasyonla ilişkili güç direnç, aslında anten tarafından yayılan güçtür, kayıp direncinde dağılan güç, dielektrik veya iletken kayıplardan dolayı antenin kendisinde ısı olarak kaybolur.



Şekil 3.9. Genel yönlü bir antenin ışıma paterni (Salbani ve ark. 2011)

Şekil 3.9, aşağıdakileri gösterir:

• HPBW: Yarım güç ışın genişliği (HPBW), ana lobun yarı güç noktaları tarafından açılan açı olarak tanımlanabilir.

• Ana Lob: Bu, maksimum radyasyon yönünü içeren radyasyon lobudur.

• Küçük lob: Ana lob dışındaki tüm loblara küçük loblar denir. Bu loblar radyasyonu istenmeyen yönlerde temsil eder. Minör lobların seviyesi genellikle söz konusu lobdaki güç yoğunluğunun, hücre yoğunluğuna oranla oranı olarak ifade edilir

.• Geri Lob: Bu, ana lobun çapının karşısındaki minör lobdur.

• Yan Loblar: Bunlar, ana lobun bitişiğindeki küçük loblardır ve çeşitli boşluklarla ayrılırlar. Yan loblar genellikle küçük loblar arasında en büyüğüdür. Kablosuz sistemlerin çoğunda küçük loblar istenmez. Bu nedenle iyi bir anten tasarımı küçük lobları en aza indirmelidir.

3.2.1.2. Yönlülük

Bir antenin yönlendiriciliği Balanis (2015) tarafından "verilen doğrultuda radyasyon yoğunluğunun antenden her yöne ortalama radyasyon yoğunluğuna oranı" olarak tanımlanmıştır. Başka bir deyişle, izotropik olmayan bir kaynağın yönlendiriciliği, belirli bir yöndeki ışınlanma yoğunluğunun izotropik bir kaynağa oranına eşittir. Antenin yönlendiriciliği (D), antenin radyasyon yoğunluğunun (U) izotropik bir kaynağın radyasyon yoğunluğuna (Ui) bölümüyle hesaplanır:

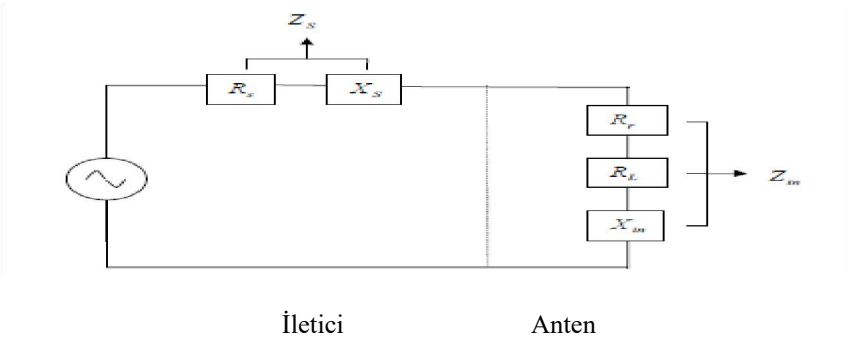
$$D = \frac{U}{Ui} = \frac{4\pi U}{P} \tag{3.15}$$

Bazen, yönlülüğün yönü belirtilmez. Bu durumda, maksimum radyasyon yoğunluğunun yönü belirtilir ve maksimum yönlülük Balanis (2015) tarafından şöyle verilir:

$$\text{Dmax} = \frac{Umax}{Ui} = \frac{4\pi Umax}{P} \tag{3.16}$$

Yönlülük, boyutsuz bir miktardır, çünkü iki radyasyon yoğunluğunun oranıdır. Bu nedenle, genellikle dB olarak ifade edilir. Bir antenin yönlendiriciliği, antenin radyasyon düzeninden kolayca tahmin edilebilir. Dar bir ana lobu olan bir anten daha iyi yönlendiriciliğe, daha sonra geniş bir ana loba sahip olana göre daha yönlendiricidir.

3.2.1.3. Duran Dalga Voltaj Oranı (VSWR)



Şekil 3.10. İletici antenin eşdeğer devresi

Antenin verimli bir şekilde çalışması için, verici ile anten arasında maksimum güç aktarımı yapılmalıdır. Maksimum güç aktarımı yalnızca antenin empedansı (Z_{in}) vericininkiyle (Z_s) eşleştiğinde gerçekleşebilir. Maksimum güç aktarımı teoremine göre, maksimum güç ancak vericinin empedansı, düşünülen antenin empedansının karmaşık bir konjugatı olması durumunda aktarılabilir ve bunun tersi de geçerlidir. Dolayısıyla, eşleştirme koşulu şöyledir:

$$Z_{in} = Z^*_s \tag{3.17}$$

Eşleştirme koşulu sağlanmazsa, gücün bir kısmı geri yansır ve bu durum, duran dalga voltaj oranı (VSWR) olarak adlandırılan bir parametre ile karakterize edilebilen durgun dalgaların oluşmasına yol açar.

VSWR'nin hesaplama işleminde yansıma katsayısı (Γ) kullanılır. Yansıma katsayısı ise yansıyan dalganın genliği (V_r) ve olay dalgasının genliği (V_i) değerlerine göre yorumlanır. Kısaca VSWR, Makarov (2002) tarafından şu şekilde verilir:

$$\text{VSWR} = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|} \tag{3.18}$$

$$\Gamma = \frac{\text{Vr}}{\text{Vi}} = \frac{\text{Zin} - \text{Zs}}{\text{Zin} + \text{Zs}} \tag{3.19}$$

VSWR, temel olarak verici ve anten arasındaki empedans uyumsuzluğunun bir ölçüsüdür. VSWR ne kadar yüksek olursa uyumsuzluk o kadar büyük olur. Mükemmel bir eşleşmeye karşılık gelen minimum VSWR birliktir. Pratik bir anten tasarımı, bu empedans için çoğu telsiz cihazı inşa edildiğinden 50 Ω veya 75 Ω giriş empedansına sahip olmalıdır.

3.2.1.4. Geri Dönüş Kaybı (RL)

Geri dönüş kaybı (*RL*), yüke "kaybedilen" güç miktarını gösteren ve yansıma olarak geri dönmeyen bir parametredir. Önceki bölümde açıklandığı gibi, verici ve anten empedansı uyuşmadığında duran dalgaların oluşumuna yol açan dalgalar yansıtılır. Bu nedenle *RL*, verici ile anten arasındaki eşleşmenin ne kadar iyi gerçekleştiğini gösteren VSWR'ye benzer bir parametredir. *RL*, Makarov (2002) tarafından aşağıdaki gibi verilmiştir:

$$R_L = \log_{10} |\Gamma| \text{ (dB)} \tag{3.20}$$

Verici ve anten arasında mükemmel eşleşme için, $\Gamma = 0$ ve $R_L = \infty$, yani hiçbir güç geri yansıtılmaz, oysaki $\Gamma = 1$, RL = 0 dB'dir ve bu tüm olay gücünün yansıtıldığını gösterir.

3.2.1.5. Anten Verimliliği

Anten verimliliği, anten terminallerinde ve antenin yapısı içindeki kayıp miktarını dikkate alan bir parametredir. Bu kayıplar Balanis (2015) tarafından şu şekilde verilir:

• Verici ile anten arasındaki uyuşmazlık nedeniyle yansımalar

• I^2R kayıpları (iletken ve dielektrik)

Dolayısıyla yansıma verimliliği (e_r), iletim verimliliği (e_c) ve dielektrik verimliliği (e_d) olmak üzere toplam anten verimliliği(e_i) şöyle yazılabilir:

$$X(s)\ e_i = e_r e_c e_d \tag{3.21}$$

e_c ve e_d 'yi ayırmak zor olduğu için, aşağıdaki gibi verilen e_{cd} verimliliğini oluşturmak üzere bir araya toplanırlar:

$$e_{cd} = e_c e_d = \frac{\mathrm{Rr}}{\mathrm{Rr+\ RL}} \tag{3.22}$$

e_{cd} anten radyasyon verimi olarak adlandırılır ve radyasyon direncine R_r, iletilen gücün R_r ve R_L'ye iletilen gücüne oranı olarak tanımlanır.

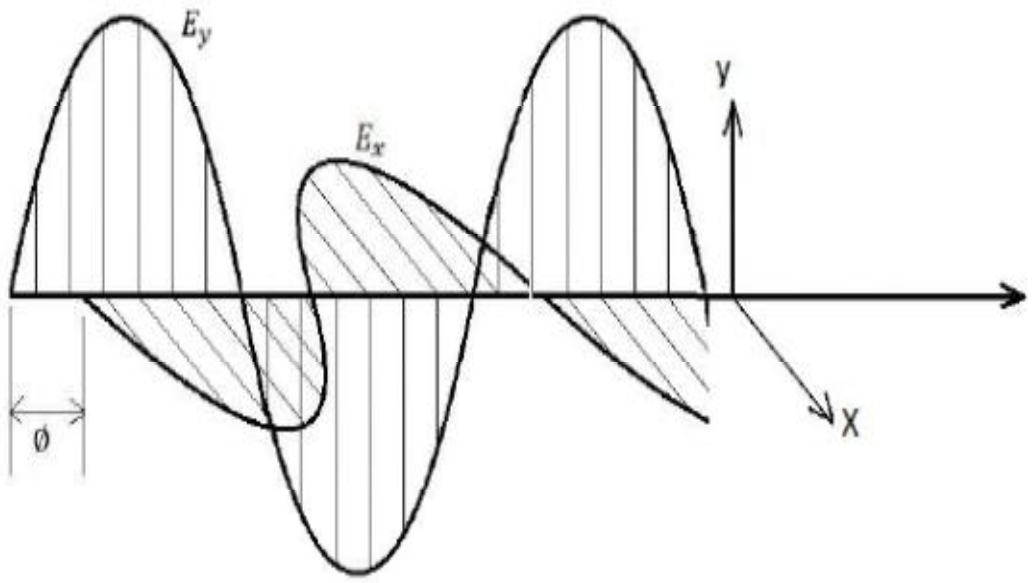
3.2.1.6. Anten Kazancı

Anten kazanımı, antenin yönlendiriciliği ile yakından ilgili bir parametredir. Yönlülüğün, bir antenin diğer yönlerdeki radyasyonu tercih ederek enerjiyi bir yönde ne kadar yoğunlaştırdığı bilinmektedir. Bu nedenle, anten % 100 verimli ise, yönlülük, anten kazancına eşit olacaktır ve anten, izotropik bir radyatör olacaktır. Tüm antenler diğerlerine göre bir yönde daha fazla yayılacağından, bu nedenle kazanç Ulaby (1999) tarafından açıklandığı gibi diğerlerinde kaybedilen gücün pahasına bir yönde elde edilebilecek güç miktarıdır. Kazanç daima ana lobla ilgilidir ve belirtilmediği sürece maksimum ışıma yönünde belirtilir.

$$G(\theta, \varphi) = e_{cd} D(\theta, \varphi \text{ (dBi)} \tag{3.23}$$

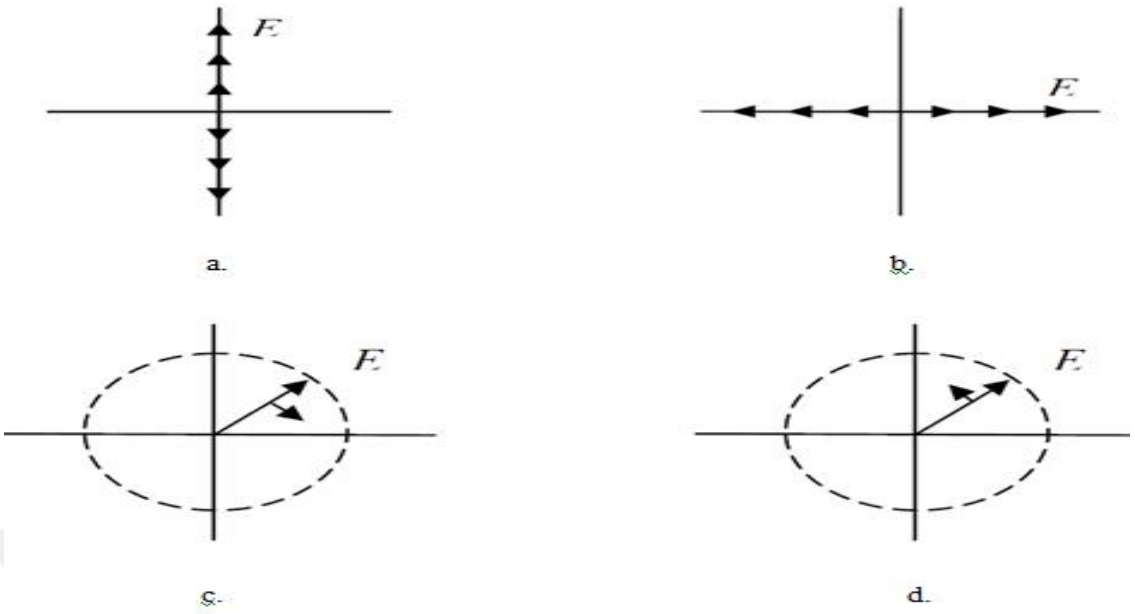
3.2.1.7. Polarizasyon

Yayılan bir dalganın polarizasyonu Balanis (2015) tarafından "zamanın değişen yönünü ve elektrik alan vektörünün göreceli büyüklüğünü tanımlayan elektromanyetik bir dalganın özelliği" olarak tanımlanmaktadır. Bir antenin polarizasyonu, yayılan dalganın elektrik alan vektörünün polarizasyonunu ifade eder. Başka bir deyişle, elektriksel alanın yeryüzüne göre konumu ve yönü dalga kutuplaşmasını belirler. En yaygın polarizasyon türleri doğrusal (yatay veya dikey) ve dairesel (sağ polarizasyon veya sol polarizasyon) içerir.



Şekil 3.11. Doğrusal (dikey) bir polarize dalga **(**Alsager 2011**)**

Elektrik alan vektörünün yolu bir çizgi boyunca ileri geri ise, doğrusal olarak polarize olduğu söylenir. Şekil 3.11, doğrusal olarak polarize bir dalgayı göstermektedir. Dairesel polarize bir dalgada, elektrik alan vektörünün uzunluğu sabit kalır, ancak dairesel bir yolda etrafta döner. Sol el dairesel polarize dalga, dalganın saatin tersi yönde döndüğü dalgadır, sağ el dairesel polarize dalga ise Şekil 3.12'deki gibi saat yönünde hareketi gösterilir.



Şekil 3.12. Yaygın olarak kullanılan polarizasyon şemaları (a:dikey doğrusal polarizasyon; b:yatay doğrusal polarizasyon; c:sağ dairesel kutuplaşma; d:sol dairesel kutuplaşma)

3.2.1.8. Bant genişliği

Bir antenin bant genişliği Balanis (2015) ile "bazı karakteristiklere göre antenin performansının belirtilen bir standarda uyduğu kullanılabilir frekansların aralığı" olarak tanımlanır. Bant genişliği, merkez frekansının her iki tarafında, giriş empedansı, radyasyon paterni, ışın genişliği, polarizasyon, yan lob seviyesi veya kazanç gibi anten özelliklerinin merkez frekansta elde edilen değerlere yakın olduğu frekans aralığı olabilir. Geniş bantlı bir antenin bant genişliği, kabul edilebilir işlemin üst (f_H) ve alt (f_L) frekanslarına oranı olarak tanımlanabilir. Dar bantlı bir antenin bant genişliği, merkez frekansa (f_C) göre frekans farkının yüzdesi olarak tanımlanabilir (Balanis 2015). Stutzman ve Thiele (1998)'e göre bu tanımlar aşağıdaki gibi denklemlerle yazılabilir:

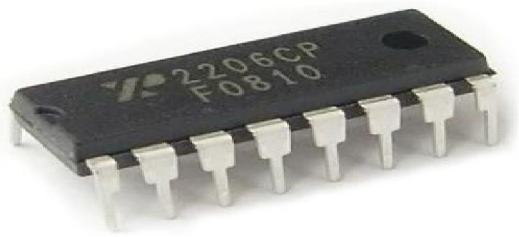
$$BW_{bantgenişliği} = \frac{f_H}{f_L} \tag{3.24}$$

$$BW_{bantgenişliği(\%)} = \left[\frac{f_H - f_L}{f_C}\right]100 \tag{3.25}$$

Bir anten $f_H/f_L = 2$ ise geniş bant olduğu söylenir. Bir antenin istenen frekans aralığında ne kadar verimli çalıştığını değerlendirmenin bir yöntemi, VSWR 'sini ölçmektir. Bir VSWR ≤ 2 ($R_L \geq -9.5$dB) iyi performans sağlar.

3.2.2. Fonksiyon Jeneratörü (Modülatör)

Bir fonksiyon jeneratörü, ortak şekillerle dalga formları üretebilen spesifik bir sinyal jeneratörü şeklidir. RF jeneratörlerinden ve sadece sinüs dalgaları oluşturan diğerlerinden farklı olarak, fonksiyon jeneratörü, birkaç ortak şekille tekrarlayan dalga formları oluşturabilir. Özellikle bir sinüs dalgası üreteci, kare dalga üreteci ve üçgen dalga üreteci haline getirilebilir. Voltaj osilatöre sürekli sinyal gönderebilmek için kullanılır. Şekil 3.13'te fonksiyon jeneratörü entegresi gösterilmiştir.



Şekil 3.13. XR2206 fonksiyon jeneratörü entegresi

3.2.3. Voltaj Kontrollü Osilatör (VKO)

Voltaj kontrollü bir osilatör (VKO), çıkış DC gerilimi tarafından kontrol edilen bir aralıkta değişebilen bir çıkış sinyali olan bir osilatördür. Çıkış frekansı doğrudan girişindeki voltajla ilgili olan bir osilatördür. Salınım frekansı birkaç hertz ila yüzlerce GHz arasında değişir. Giriş DC voltajı değiştirilerek, üretilen sinyalin çıkış frekansı ayarlanabilir. İstenilen çalışma seviyesi olan 2,4 GHz çalışma frekansını sağlayan ve saf bir sinüzoidal bir dalga şeklini zayıflatıcıya ileten şekil 3.14'te gösterilen voltaj kontrollü bir osilatördür.



Şekil 3.14. Voltaj kontrollü osilatör

3.2.4. Zayıflatıcı

Zayıflatıcılar, birçok RF sistemi içinde farklı amaçlar için kullanılabilir. RF zayıflatıcılar sabit, anahtarlı veya hatta sürekli değişken olabilir. RF zayıflatıcılar sinyal seviyesini düşürür, yani sinyali zayıflatır. Tipik olarak zayıflama desibel olarak tanımlanır ve sabit zayıflatıcılar çeşitli seviyelerde bulunabilir. Bu zayıflama, bir devre aşamasını çok yüksek bir sinyal seviyesi almaktan korumak için gerekli olabilir. Ayrıca, çoğu zayıflatıcı iyi tanımlanmış bir empedans sunduğundan hassas bir empedans uyumu sağlamak için bir zayıflatıcı kullanılabilir veya zayıflatıcılar sinyal seviyelerinin kontrol edilmesi gereken çeşitli alanlarda kullanılabilir. Şekil 3.15'te kullanılan zayıflatıcı gösterilmiştir.



Şekil 3.15. Zayıflatıcı

3.2.5. Düşük Gürültülü Yükselteç (DGY)

Düşük gürültülü bir amplifikatör (DGY), genellikle sinyallerin zorlukla algılanabildiği ve herhangi bir gürültü eklemeden yükseltilmesi gereken bir antenden çok kuvvetli sinyalleri yükseltmek için kullanılan elektronik bir amplifikatördür. Düşük gürültülü amplifikatörler, alınan sinyalin işlendiği ve bilgiye dönüştürüldüğü bir alıcı devresinin önemli bir parçasıdır. DGY'ler, alıcı cihaza yakın olacak şekilde tasarlanmıştır. Böylece parazit nedeniyle asgari kayıp olur. Şekil 3.16'da kullanılan DGY elemanı gösterilmiştir.



Şekil 3.16. DGY

3.2.6. Güç Ayırıcı

VCO çıkışında oluşan RF sinyali verici anten aracılığıyla hedefe gönderilirken aynı anda çarpım işleminin gerçekleştirilebilmesi için sinyal karıştırıcıya da gönderilmelidir. Bu işlem Şekil 3.17'de gösterilen güç ayırıcı elemanı tarafından yapılır.



Şekil 3.17. Güç ayırıcı

3.2.7. Frekans Karıştırıcı

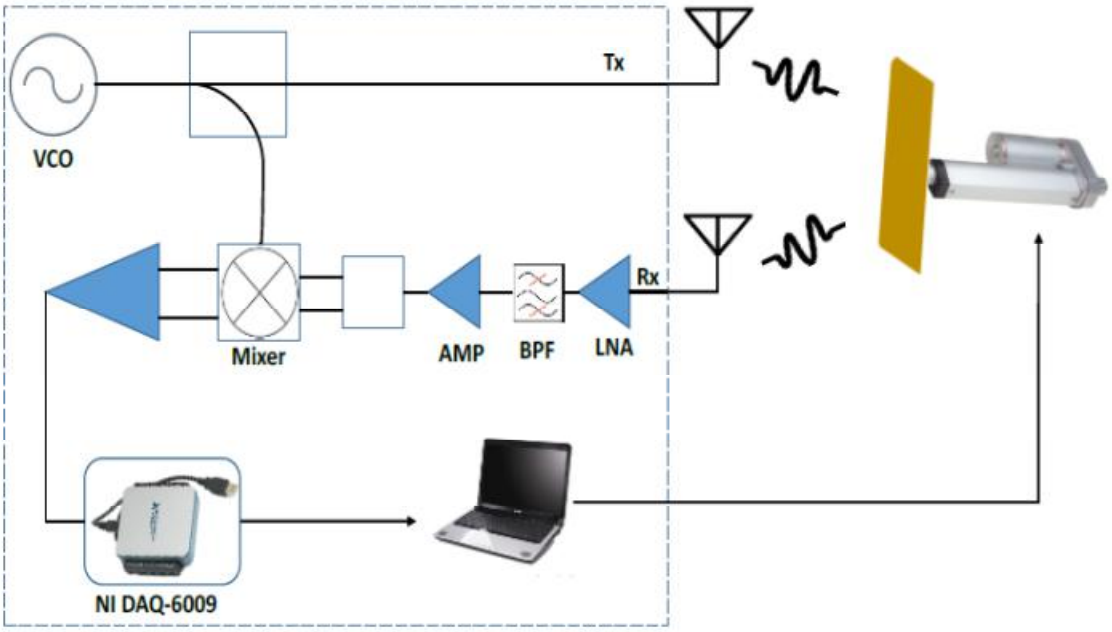
Frekans karıştırıcı doğrusal olmayan bir cihazdır. Mikserin girişinde iki farklı frekansın uygulanmasında bir dizi frekans üretir. RF teknolojisi ve tasarımındaki ana süreçtir. Frekans karıştırıcının RF girişine gelen hedeften yansıtılmış sinyal, karıştırıcının lokal osilatör girişine uygulanan voltaj kontrollü osilatörün ürettiği RF sinyali ile kosinüs tabanında çarpılmasıyla frekans üretilir. Üretilen bu frekans sinyali filtre devreye Şekil 3.18'de gösterilen karıştırıcı mikrodalga elemanı ile gerçekleştirilir.



Şekil 3.18. Frekans karıştırıcı

Kullanılan entegreler ile ilgili detaylı bilgiler Ek-4'te verilmiştir.

Radar sisteminin bileşenleri ile ilgili bilgiler önceki bölümlerde verilmiştir. Literatürde çeşitli frekanslarda radar sistemi gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.19. Örnek radar sistemi (Mehrdad ve Tavassolian 2017)

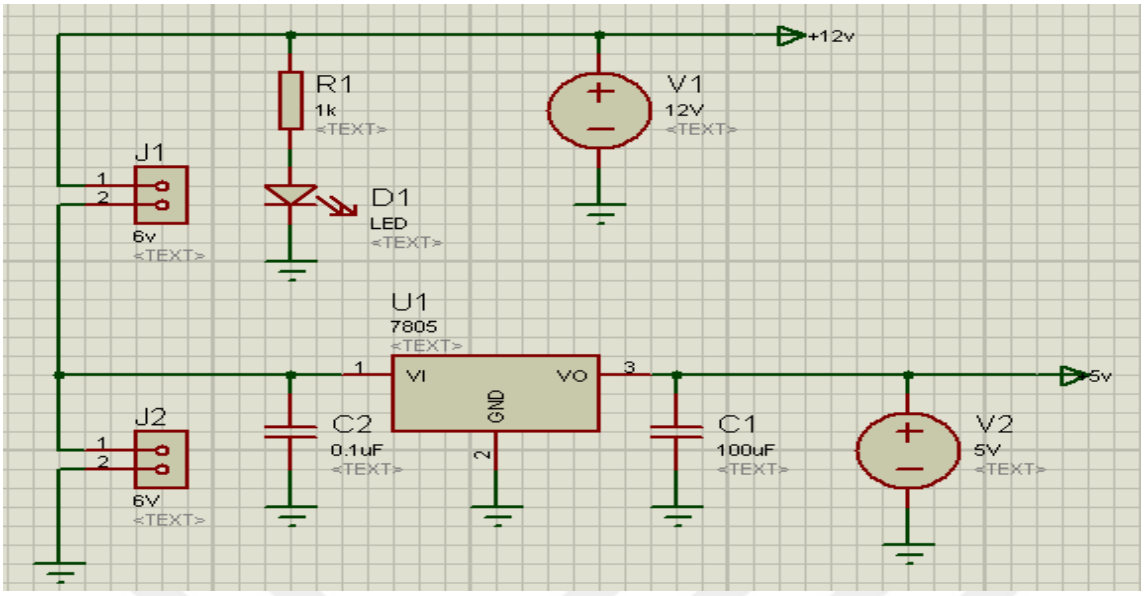
Şekil 3.19'da gösterilen radar sistemi 2,4 GHz çalışma frekansına sahiptir. Biyomedikal uygulamalarda kullanılmak üzere tasarlanmıştır. Sistemin önünde lineer aktüatör kullanılarak ileri ve geri yönlü hareketler yapılmıştır. Engelin ileri ve geri yönlü hareket radar sistemi tarafından algılanmıştır.

Radar sisteminin anten bileşeninin performans parametreleri incelenmiş olup tasarımı yapılmıştır.

3.3. Radar Sisteminin Gerçekleştirilmesi

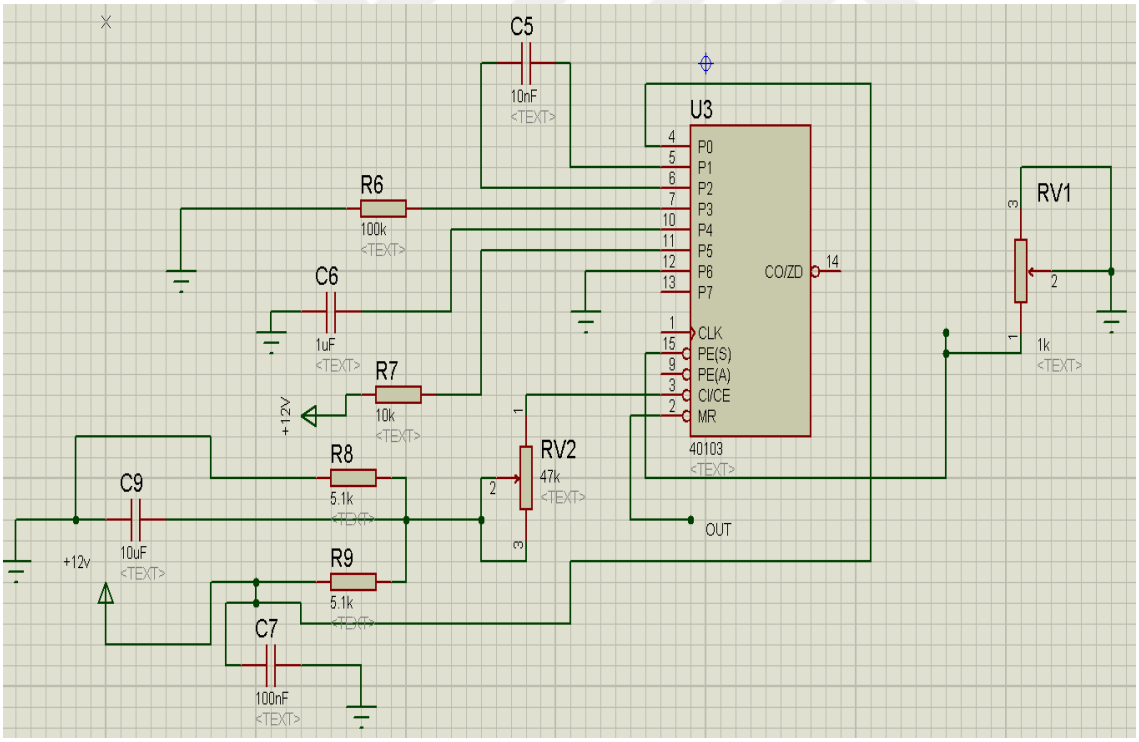
3.3.1. Besleme Devresi

Hedeflenen radar sistemine uygun çalışma prensibine sahip filtreleme ve fonksiyon jeneratörü içeren bir elektronik devre tasarlanmıştır. Besleme devresi tasarımın filtre kısmını, VKO ve DGY'nİn çalıştığı voltaj seviyeleri olan 5 volt ve 12 voltluk kısımların gerilimini sağlamaktadır. Şekil 3.20'de tasarlanan besleme devresi gösterilmiştir.



Şekil 3.20. Besleme devre şeması

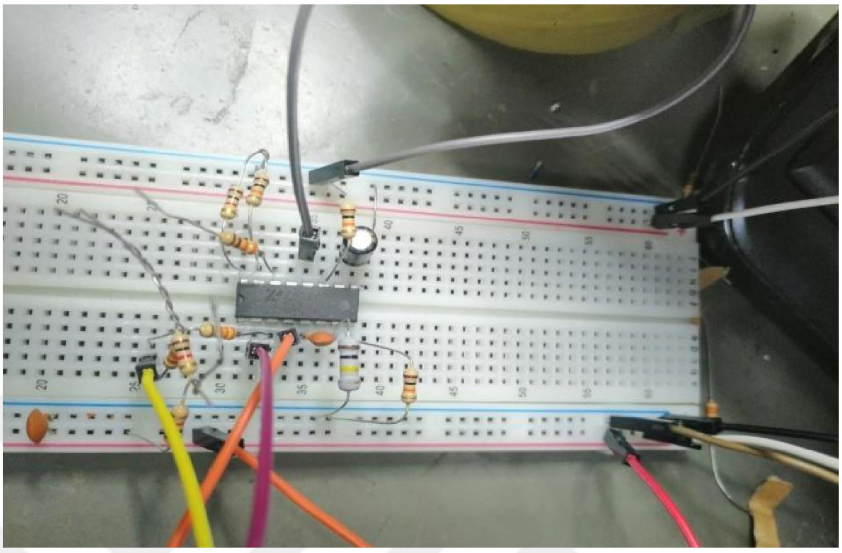
3.3.2. Fonksiyon Jeneratörü Devresi (Modülatör)



Şekil 3.21. Fonksiyon jeneratörü devre şeması

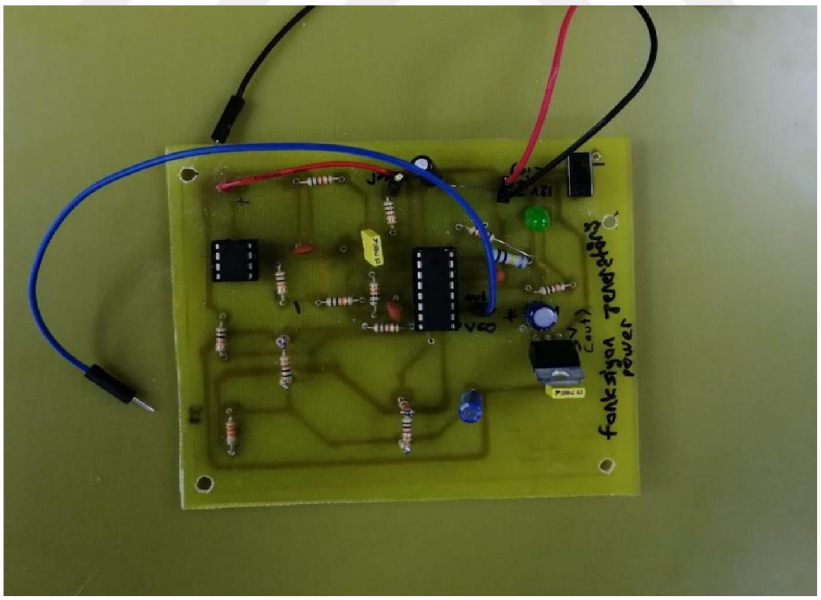
Doppler radarın çalışması mantığı gereği belirlenen hedefe sürekli bir dalga göndermesi gerekmektedir. Dalga gönderebilmek için istenilen frekansta dalga gönderimi sağlayan mikrodalga elemanı olan VKO'ya gereksinim vardır. Bu

mikrodalga elemanı doppler radarı çalışma mantığı gereği doğrusal ve sürekli bir rampa sinyaline ihtiyaç duyar. Bu rampa sinyali XR2206 elektronik elemanı kullanılarak elde edilir. Şekil 3.21'de fonksiyon jeneratörü bağlantısı devre içeriğinde gösterilmiştir.



Şekil 3.22. Devrenin breadboard üzerinde denenmesi

Şekil 3.22'de devre breadboard üzerinde çalıştırılmıştır.

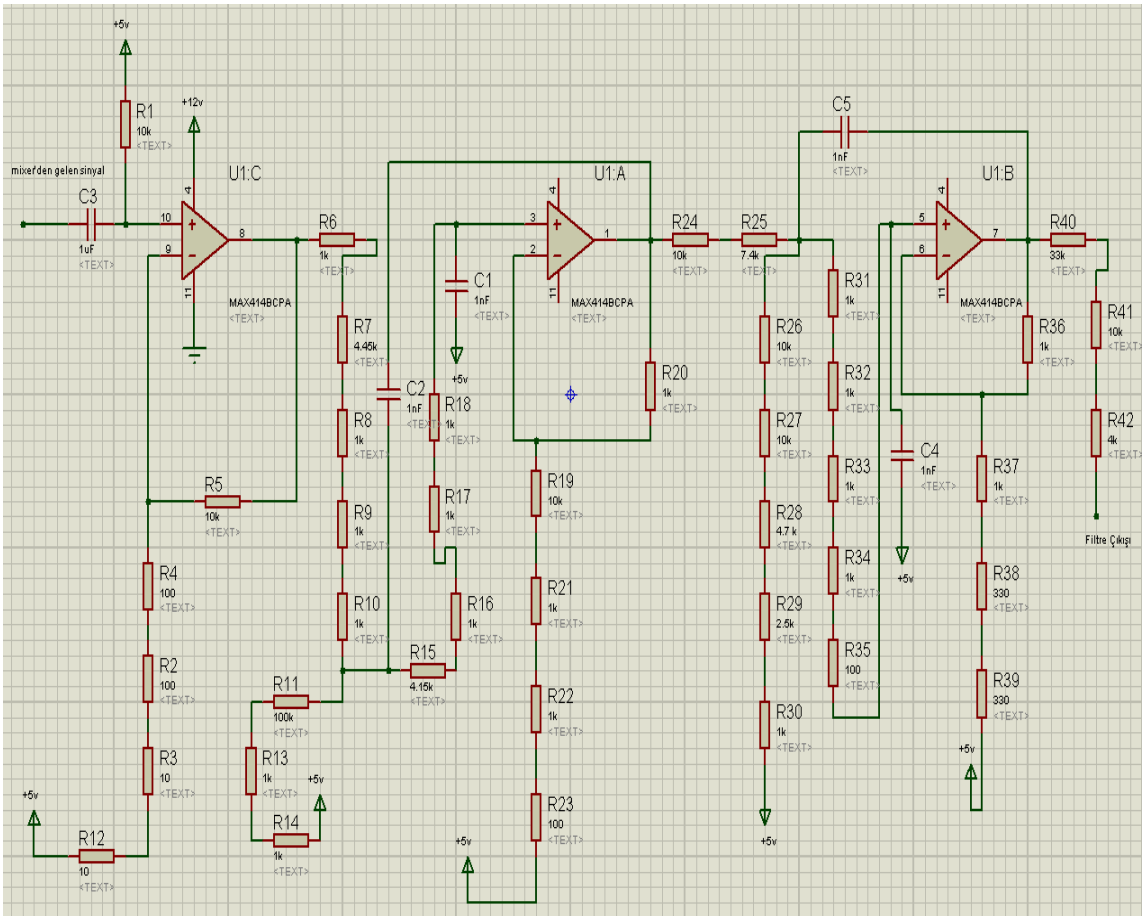


Şekil 3.23. Fonksiyon jeneratör baskı devresi

Şekil 3.23'te baskı devre şeması gösterilmektedir.

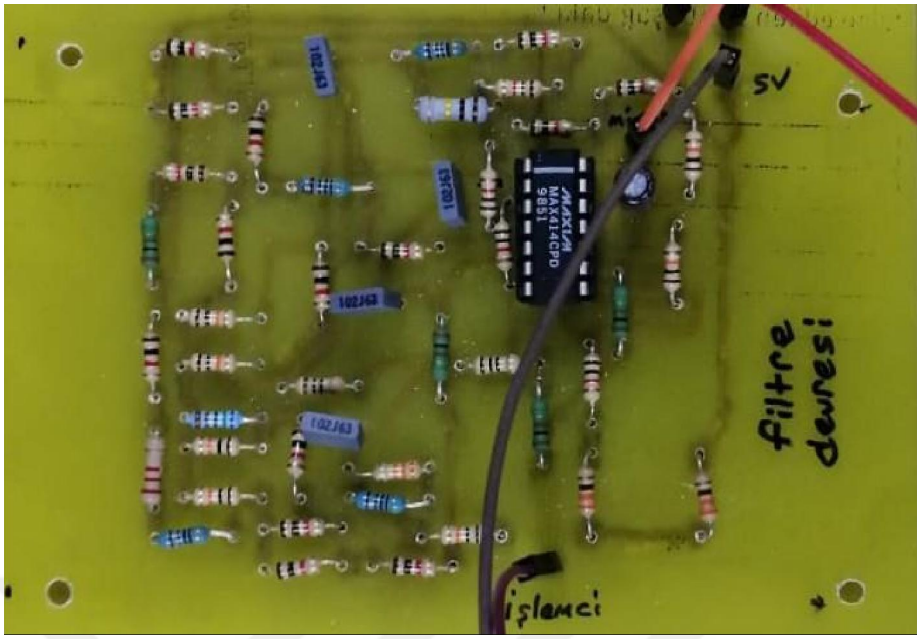
3.3.3. Alçak Geçiren Filtre Devresi

Doppler frekansının elde edilmesi için şekil 3.24'teki filtre devresi tasarlanmıştır.



Şekil 3.24. Alçak geçiren filtre devre şeması

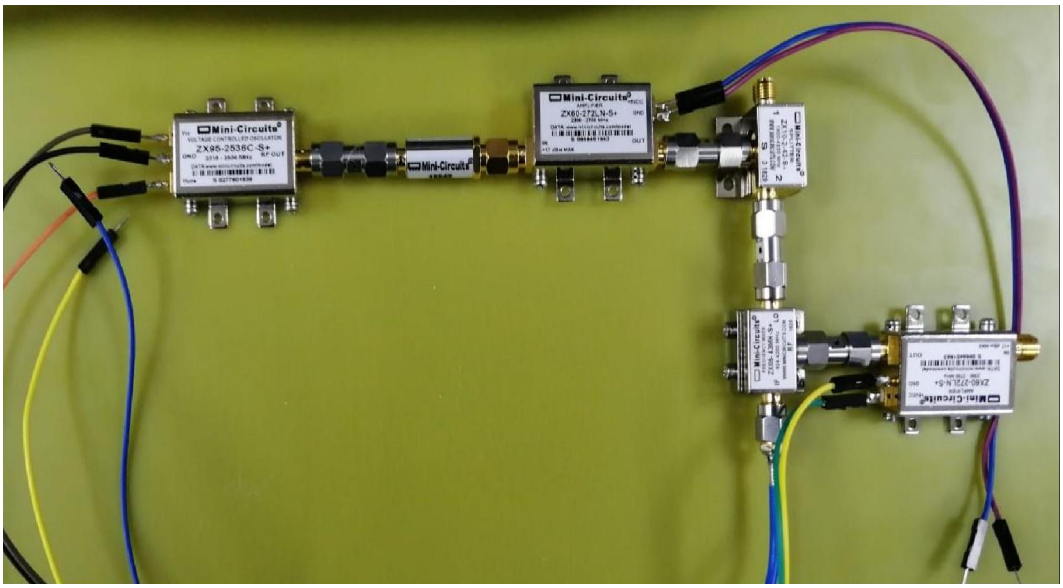
Hareket tespiti için hedeften yansıyan sinyal ile referans sinyali arasındaki farkın, yani doppler frekansının elde edilmesi gereklidir. Doppler olayı gerçekleşirken çalışma prensibine uygun bir filtre tasarımı yoluyla veriler sağlıklı bir şekilde alınabilir. Sistem tasarımında kullanılan karıştırıcının çıkışında iki ayrı frekans seviyesi vardır. Bu iki ayrı sinyalin farkı bu filtre devresinden elde edilir. Devrenin kesim frekansı 15 kHz'dir. Filtre tasarımı yapılırken tek entegreye gömülü dört adet opamptan 3'ü kullanılmıştır. Karıştırıcıdan gelen sinyal entegrenin 10 numaralı bacağına bağlıdır. Çıkış entegrenin 7 numaralı bacağından çıkıp işlemci ile bağlanır. Devre breadboard üzerinde çalıştırılıp testi yapıldıktan sonra Şekil 3.25'te görüldüğü gibi baskı devresi yapılmıştır.



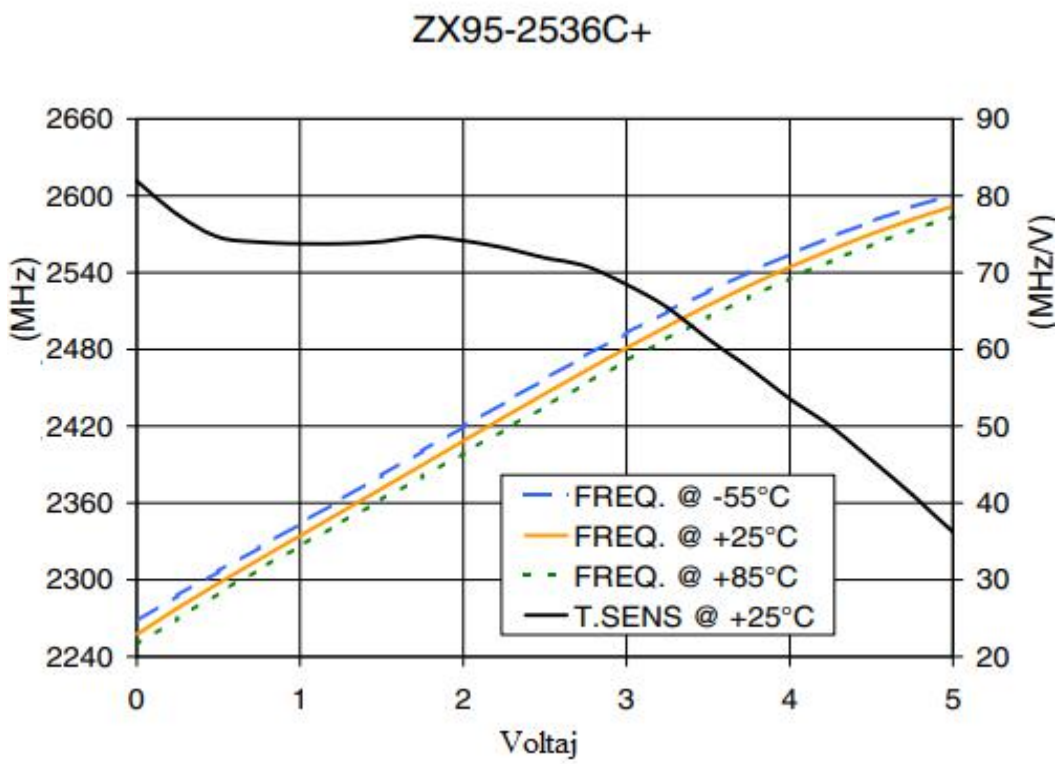
Şekil 3.25. Alçak geçiren filtre baskı devresi

3.3.4. Mikrodalga Elemanları

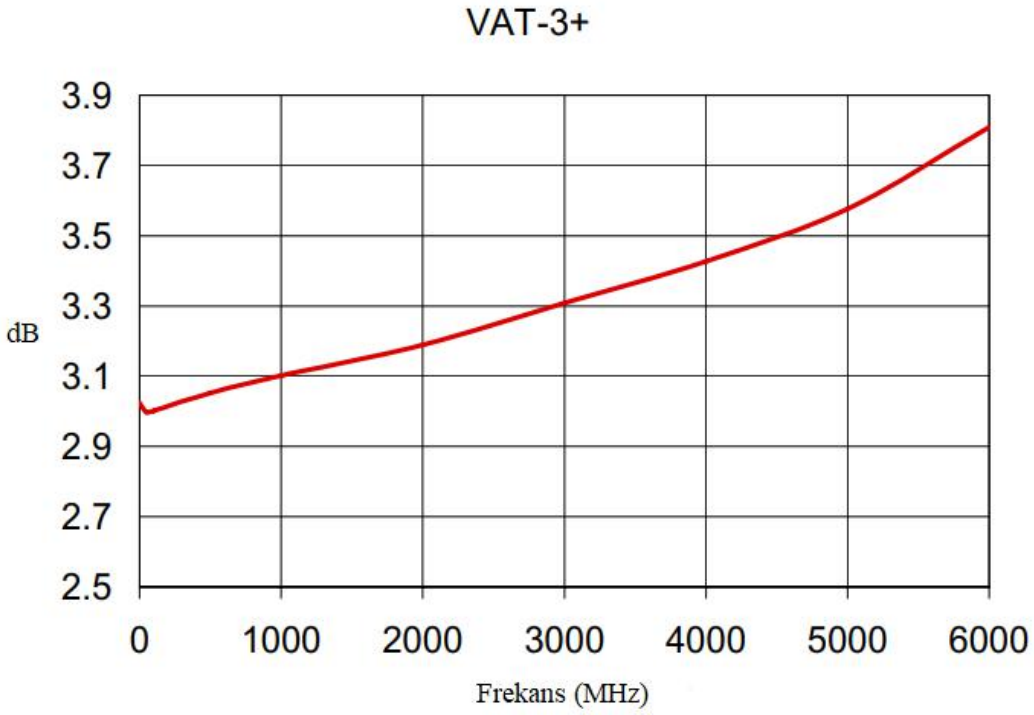
Radar sisteminin en önemli kısmı mikrodalga düzeneğinden oluşur. Radar sisteminin mikrodalga devresi Chavart ve ark. (2011) tarafından MIT'de gerçekleştirilen radar tabanlı bir uygulamandan esinlenerek yapılmıştır. Mikrodalga sisteminin bağlantısı şekil 3.26'da gösterildiği gibi bağlantısı yapılmıştır. Şekil 27, şekil 28, şekil 29, şekil 30 ve şekil 31'de mikrodalga elemanlarının frekans ile ilişkileri gösterilmiştir.



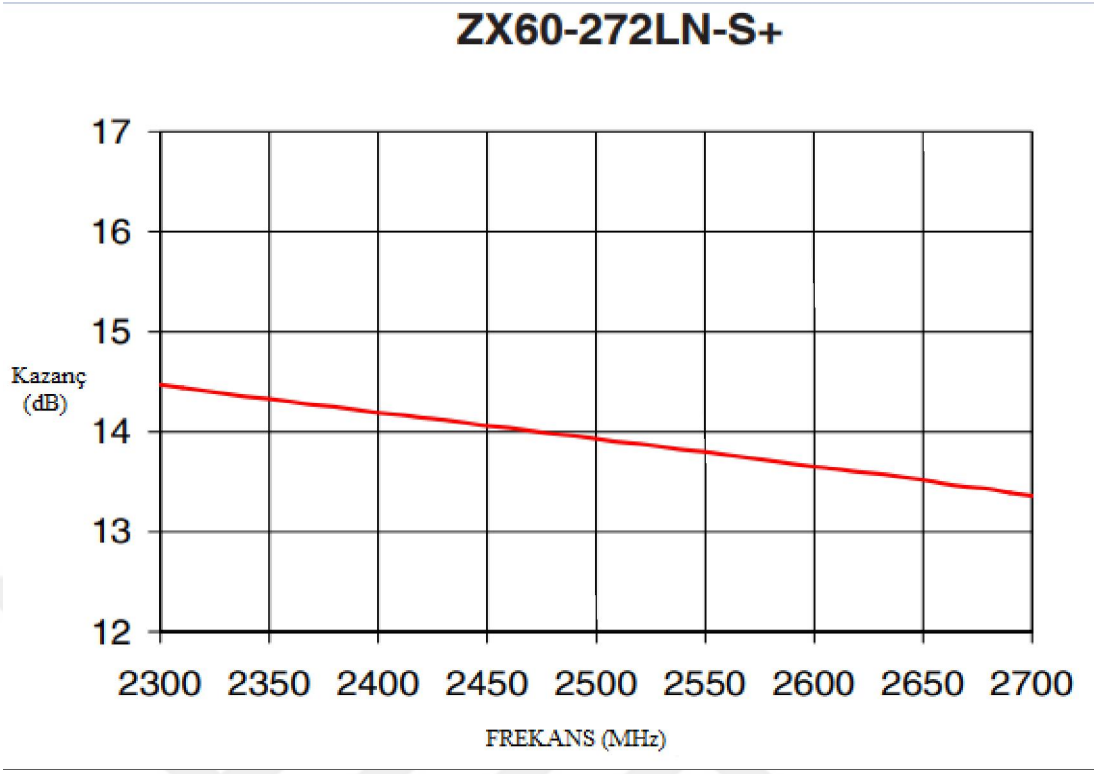
Şekil 3.26. Mikrodalga sisteminin bağlantısı



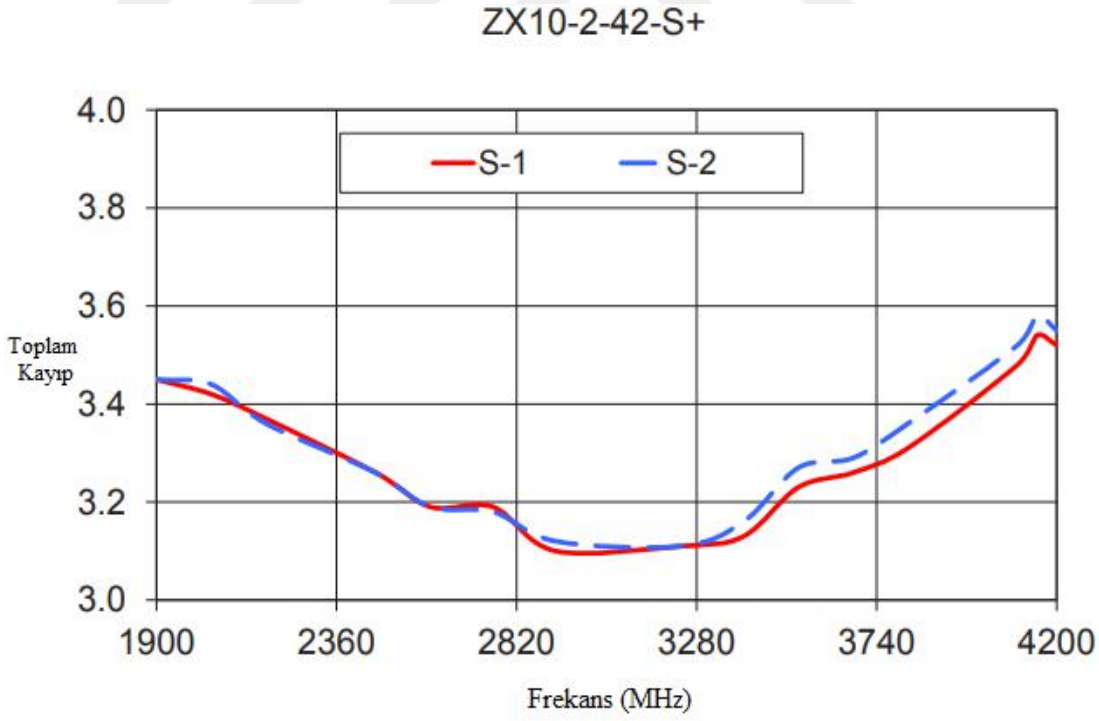
Şekil 3.27. VKO gerilimi ile voltaj değişimi (Mini-Circuits, 2009)



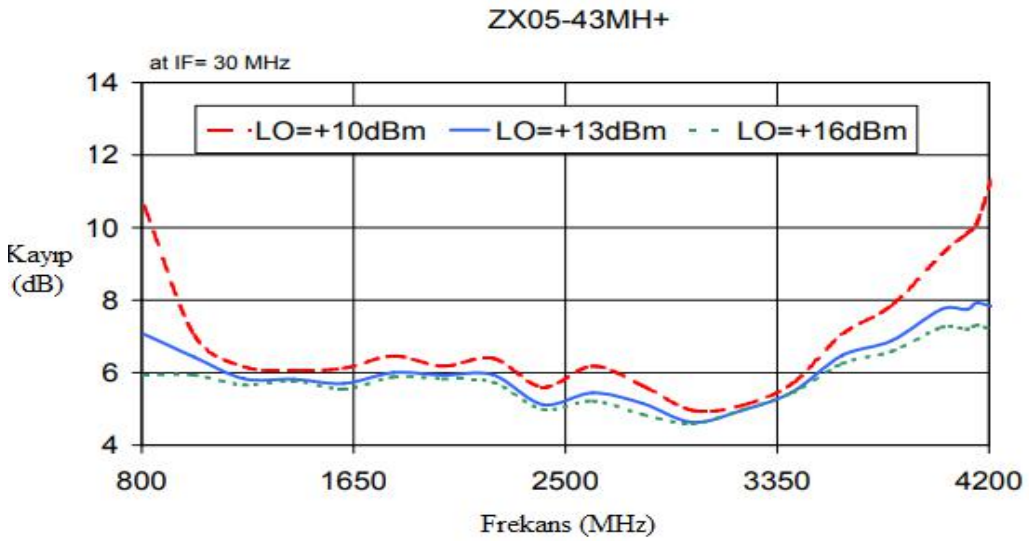
Şekil 3.28. Zayıflatıcı ile frekans ilişkisi (Mini-Circuits, 2009)



Şekil 3.29. DGY ile frekans ilişkisi (Mini-Circuits, 2009)



Şekil 3.30. Güç Ayırıcı ile frekans ilişkisi (Mini-Circuits, 2009)



Şekil 3.31. Karıştırıcı ile frekans ilişkisi (Mini-Circuits, 2009)

3.4. Antenler

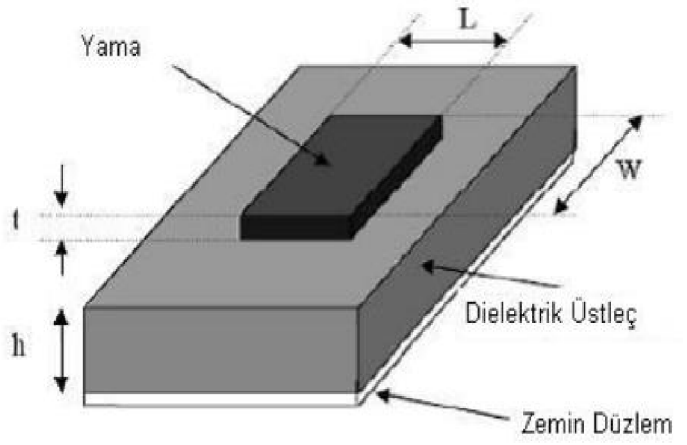
Antenler, elektromanyetik enerji yaymak ve almak için tasarlanmış metalik yapılardır. Bir anten, kılavuz cihaz (örneğin, dalga kılavuzu, iletim hattı) ve boş alan arasında bir geçiş yapısı görevi görür. Stutzman ve Thiele (1998) tarafından verilen bir antenin resmi IEEE tanımı şöyledir: "Elektromanyetik dalgalar yaymak veya almak için tasarlanmış bir verici veya alıcı sistemin parçası".

Herhangi bir radar setinin etkinliğinin çoğu, anteninin yalnızca giden enerjiyi dar bir ışın şeklinde şekillendirmesine değil, küçük dönen ekoyu alıcının işlemesi için yararlı bir sinyale odaklama yeteneğine dayanır. Bu kritik alan, yetmiş beş yıldan fazla bir süredir radarın evrimi boyunca devam eden radar antenlerinin yoğun araştırma ve geliştirmesini başlattı. Üstün bir radar anteni tasarlamadaki ana zorluk, uzayda karşılaştıkları gibi, aynı dalga boyunda iki sinyal dalgası arasındaki etkileşimi kontrol etmektir.

Antenlerin tel, mikroşerit, çanak, yagi-uda, spriral, dipol, huni (horn), vivaldi gibi çeşitleri vardır. Çeşitli avantajlarından ötürü çalışmamızda mikroşerit anten kullanılmıştır.

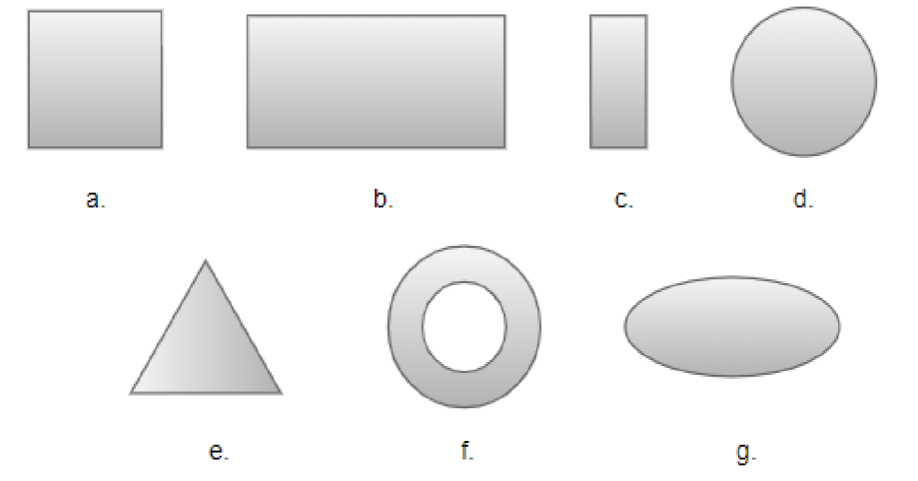
Bir mikroşerit yama anteni, düzlemsel bir yüzeye kurulabilen bir tür radyo antenidir, genellikle dört parçadan oluşur (yama, substrat, toprak ve beslemenin bir kısmı). Yama kısmı çok incedir. Bir alt tabakaya bir yama yerleştirilirken, zemin

düzlemi diğer tarafa yerleştirilir. Yamalar istenen tasarıma göre farklı şekillerde olabilir. Fabrikasyon ve tasarım kolaylığı nedeniyle kare, dipol, üçgen, dikdörtgen, dairesel ve dairesel halka şeklindedir.



Şekil 3.32. Mikroşerit yama anten yapısı

Analiz ve performans tahminini basitleştirmek için, yama genellikle kare, dikdörtgen, dairesel, üçgen, eliptik veya Şekil 3.33'de gösterildiği gibi diğer bazı ortak şekillerdir. Dikdörtgen bir yama için, yamanın uzunluğu L, genellikle $0.3333\lambda_o < L < 0.5\lambda_o$'dir; buradaki λ_o boş alan dalga boyudur. Yama, çok ince olacak şekilde seçilmiştir, $t << \lambda_o$ (burada t yama kalınlığı). Dielektrik yüzeyin h yüksekliği genellikle $0{,}003\ \lambda_o \leq h \leq 0{,}05\lambda_o$ 'dir. Yüzeyin dielektrik sabiti (ε_r) tipik olarak $2{,}2 \leq \varepsilon_r \leq 12$ aralığındadır.



Şekil 3.33. Mikroşerit Yama Elementlerinden En Yaygın Olan Şekiller (a:Kare; b:Dikdörtgen; c:Dipol; d:Dairesel; e:üçgen; f:dairesel halka; g:eliptik)

Mikroşerit yama antenleri, yama kenarı ile yer düzlemi arasındaki kenar boşluklarından dolayı yayılır. İyi anten performansı için düşük dielektrik sabitine sahip kalın bir dielektrik yüzey arzu edilir çünkü bu daha iyi verim, daha büyük bant genişliği ve daha iyi radyasyon sağlar (Balanis 2015). Bununla birlikte, böyle bir konfigürasyon daha büyük bir anten boyutuna yol açmaktadır. Kompakt bir mikroşerit yama anteni tasarlamak için, daha az verimli olan ve daha dar bant genişliği ile sonuçlanan daha yüksek dielektrik sabitleri kullanılmalıdır. Bu nedenle, anten boyutları ve anten performansı arasında bir uzlaşmaya varılmalıdır.

3.4.1. Avantajlar ve Dezavantajlar

Mikroşerit yama antenler, düşük profilli yapıları nedeniyle kablosuz uygulamalarda kullanımda popülaritesini artırıyor. Bu nedenle, cep telefonları, çağrı cihazları gibi el tipi kablosuz cihazlardaki gömülü antenler için son derece uyumludurlar. Balanis (2015), Kumar ve Ray (2003) tarafından tartışılan başlıca avantajlarından bazıları aşağıda verilmiştir:

•Hafif ve düşük hacimlidir.

•Kolayca konukçu yüzeye uygun hale getirilebilen düşük profilli düzlemsel konfigürasyona sahiptir.

• Düşük üretim maliyeti, bu nedenle büyük miktarlarda üretilebilir.

• Hem dairesel hem de dairesel polarizasyonu destekler.

•Mikrodalga entegre devreleri (MIC) ile kolayca entegre edilebilir.

• İkili ve üçlü frekans işlemlerini yapabilir.

• Sert yüzeylere monte edildiğinde mekanik olarak sağlamdır.

Mikro şerit yama antenleri, geleneksel antenlere kıyasla çok sayıda dezavantajdan muzdariptir. Kumar ve Ray (2003) ve Garg ve ark. (2003) tarafından tartışılan başlıca dezavantajlarından bazıları aşağıda verilmiştir:

• Dar band genişliği

• Düşük verimlilik

• Beslemelerden ve kavşaklardan yabancı radyasyon

• Konik yuvalı antenler hariç, zayıf uçlu radyatör

• Düşük güç kullanma kapasitesi.

• Yüzey dalgası uyarma

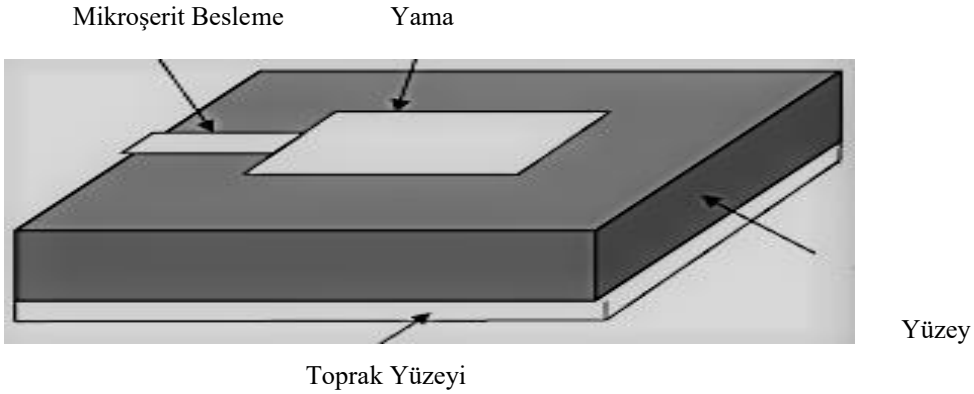
Mikroşerit yama antenleri çok yüksek bir anten kalite faktörüne (Q) sahiptir. Q, antenle ilgili kayıpları temsil eder. Büyük bir Q, dar bant genişliğine ve düşük verime yol açar. Dielektrik substratın kalınlığı arttırılarak Q azaltılabilir. Ancak kalınlık arttıkça, kaynak tarafından sağlanan toplam gücün artan bir fraksiyonu bir yüzey dalgasına girer. Bu yüzey dalgası katkısı, olduğundan beri istenmeyen bir güç kaybı olarak sayılabilir. Sonunda dielektrik kıvrımlarına dağılır ve anten özelliklerinin bozulmasına neden olur. Bununla birlikte, Qian (1999) tarafından tartışıldığı gibi fotonik bant aralığı yapılarının kullanılmasıyla yüzey dalgaları en aza indirilebilir. Düşük kazanç ve düşük güç kullanma kapasitesi gibi diğer problemler, elemanlar için bir dizi konfigürasyonu kullanılarak çözülebilir.

3.4.2. Besleme Teknikleri

Mikroşerit yama antenler, çeşitli yöntemlerle beslenebilir. Bu yöntemler iki kategoriye ayrılabilir; temas kurma ve temas kurma. Temas yönteminde, RF gücü, bir mikro çizgi gibi bir bağlantı elemanı kullanılarak doğrudan yayılan yamaya beslenir. Temas etmeyen şemada, elektromanyetik alan kuplajı, mikroşerit çizgisi ile yayılan yama arasındaki gücü aktarmak için yapılır (Balanis 2015). Kullanılan en popüler dört teknik, mikroşerit çizgisi, koaksiyel prob (her ikisi ile temas eden şemalar), açıklık kuplajı ve yakınlık kuplajıdır (her ikisi ile temas etmeyen şemalar).

3.4.2.1. Mikroşerit Hat Besleme

Bu tip besleme tekniğinde, iletken bir şerit, Şekil 3.34'te gösterildiği gibi doğrudan mikroşerit yamasının kenarına bağlanır. İletken şerit, yamaya kıyasla genişlikte daha küçüktür ve bu tür bir besleme düzenlemesi, beslemenin düzlemsel bir yapı sağlamak için aynı yüzey üzerine kazınabilme avantajına sahiptir.

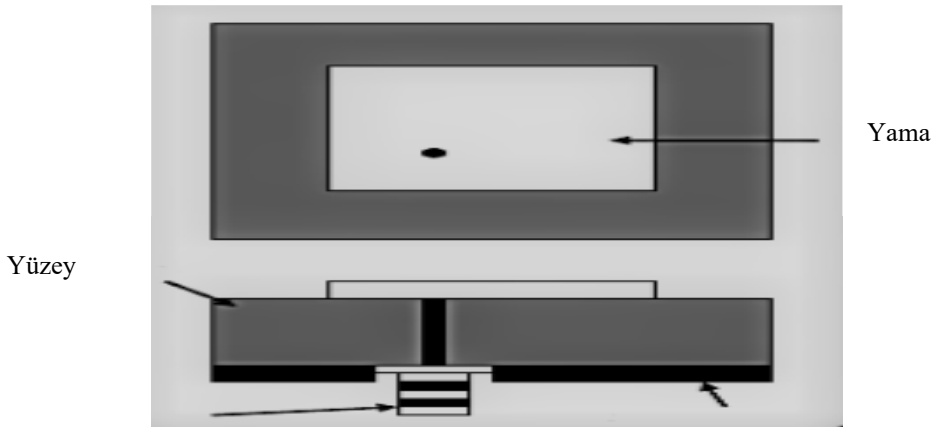


Şekil 3.34. Mikroşerit Hat Besleme

Yamadaki kesilmiş iç kesimin amacı, ek bir eşleştirme elemanına ihtiyaç duymadan besleme hattının empedansını yamayla eşleştirmektir. Bu, iç pozisyonun uygun şekilde kontrol edilmesiyle elde edilir. Dolayısıyla, bu besleme yöntemi kolay bir besleme şemasıdır. Çünkü empedans eşleşmesinin yanı sıra modellemede kullanım kolaylığı ve basitlik sağlar. Bununla birlikte, kullanılan dielektrik substratın kalınlığı arttıkça, yüzey dalgaları ve sahte yem radyasyonu da artar (Balanis 2015). Besleme radyasyonu ayrıca istenmeyen çapraz polarize radyasyona yol açar.

3.4.2.2. Koaksiyel Besleme

Koaksiyel besleme veya prob beslemesi, mikroşerit yama antenlerini beslemek için kullanılan çok yaygın bir tekniktir. Şekil 3.35'de görüldüğü gibi, koaksiyel konektörün iç iletkeni dielektrik boyunca uzanır ve dış iletken topraklama düzlemine bağlıyken yayılan yamaya lehimlenir.

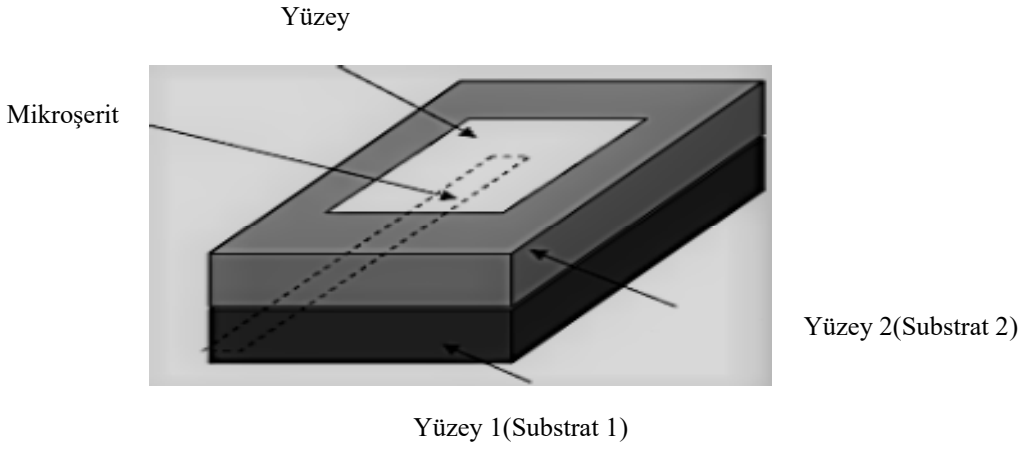


Şekil 3.35. Prob ile beslenen dikdörtgen mikro şerit yama anteni (Vivekananda 2009)

Bu tür besleme düzeninin ana avantajı, besleme giriş empedansı ile eşleşmesi için yemin yama içinde istenen herhangi bir yere yerleştirilebilmesidir. Bu besleme yönteminin imal edilmesi kolaydır ve düşük sahte radyasyona sahiptir. Bununla birlikte, en büyük dezavantajı, dar bant genişliği sağlaması ve zeminde bir delik delinmesi gerektiğinden modellemenin zemin düzleminin dışına çıkmasına, kalın yüzeyler için tamamen düzlemsel hale getirilmemesi nedeniyle modellemenin zor olmasıdır (h> 0.02λo). Ayrıca, daha kalın alt tabakalar için, artan prob uzunluğu giriş empedansını daha endüktif hale getirerek eşleştirme sorunlarına yol açar (Kumar ve Ray 2003). Yukarıda, geniş bant genişliği sağlayan kalın bir dielektrik substrat için, mikroşerit hattı beslemesi ve koaksiyel beslemenin birçok dezavantajdan muzdarip olduğu görülmektedir. Aşağıda ele alınan temassız besleme teknikleri bu sorunları çözer.

3.4.2.3. Yakınlık Bağlantılı Besleme

Bu tip besleme tekniği aynı zamanda elektromanyetik kuplajı şeması olarak da adlandırılır. Şekil 3.36'da gösterildiği gibi, besleme hattı iki alt tabaka arasında olacak ve yayılan yama üst alt tabakanın üstünde olacak şekilde iki dielektrik substrat kullanılır. Bu besleme tekniğinin temel avantajı, sahte yem radyasyonunu ortadan kaldırması ve mikroşerit yama anteninin kalınlığındaki genel artıştan dolayı çok yüksek bant genişliği (% 13 kadar yüksek) sağlamasıdır (Balanis 2015). Bu şema ayrıca iki farklı dielektrik ortam arasında, biri yama için diğeri de bireysel performansları optimize etmek için besleme hattı için seçenekler sunar.



Şekil 3.36. Yakınlık bağlantılı besleme

Besleme çizgisinin uzunluğu ve yamanın genişlik-çizgi oranı kontrol edilerek eşleştirme sağlanabilir. Bu besleme düzeninin en büyük dezavantajı, düzgün

hizalanmaya ihtiyaç duyan iki dielektrik katman nedeniyle mikroşeridi imal etmenin zor olmasıdır. Ayrıca, antenin toplam kalınlığında bir artış vardır. Aşağıdaki tablo farklı besleme tekniklerinin özelliklerini özetlemektedir.

Çizelge 3.1. Farklı besleme tekniklerinin karşılaştırılması

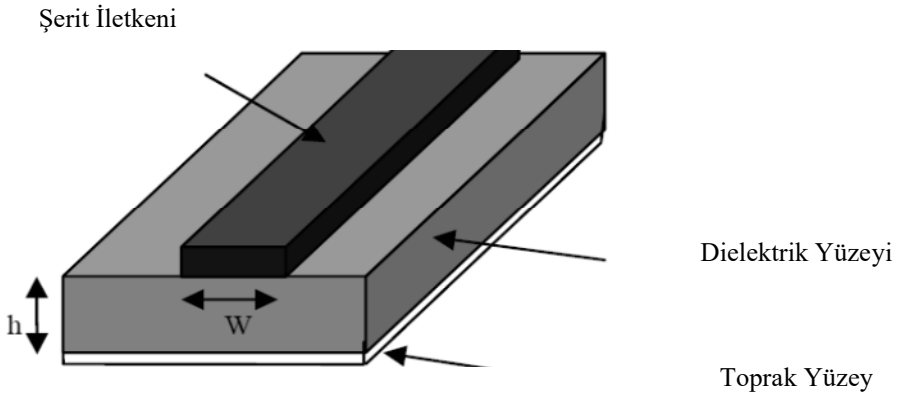
Özellikler	Mikroşerit Hat Besleme	Koaksiyel Besleme	Açıklık Bağlantılı Besleme	Yakınlık Bağlantılı Besleme
Yapay Besleme Işıması	İyi	İyi	Az	Minimum
Güvenilirlik	Daha iyi	Lehimleme nedeniyle zayıf	İyi	İyi
Fabrikasyon kolaylığı	Kolay	Lehimleme ve delme gerekli	Hizalama gerekli	Hizalama gerekli
Empedans eşleştirme	Kolay	Kolay	Kolay	Kolay
Bant genişliği	%2-5	%2-5	%2-5	13%

3.4.3. Analiz Yöntemleri

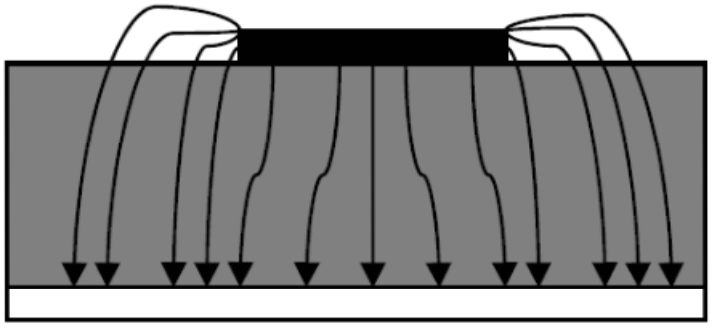
Mikroşerit yama antenlerinin analizi için en popüler modeller, iletim hattı modeli, boşluk modeli ve tam dalga modelidir (Balanis 2015). İletim hattı modeli en basit olanıdır ve iyi bir fiziksel kavrayış sağlar ancak daha az doğrudur. Boşluk modeli daha hassastır ve iyi bir fiziksel kavrayış sağlar ancak karmaşıktır. Tam dalga modelleri son derece hassastır ve çok yönlüdür. Bunlar yukarıda belirtilen iki modelle karşılaştırıldığında daha az kavrayış sağlar ve çok daha karmaşıktır.

3.4.3.1. Transmisyon Hat Modeli

Bu model, L genişliğindeki bir iletim hattıyla ayrılmış, W genişliği ve yüksekliği h olan iki dilim genişliğindeki mikroşeridi anteni temsil eder. Mikroşeridi, esasen iki dielektrik, tipik olarak substrat ve havanın homojen olmayan bir çizgisidir.



Şekil 3.37. Mikroşerit Hat Şekli



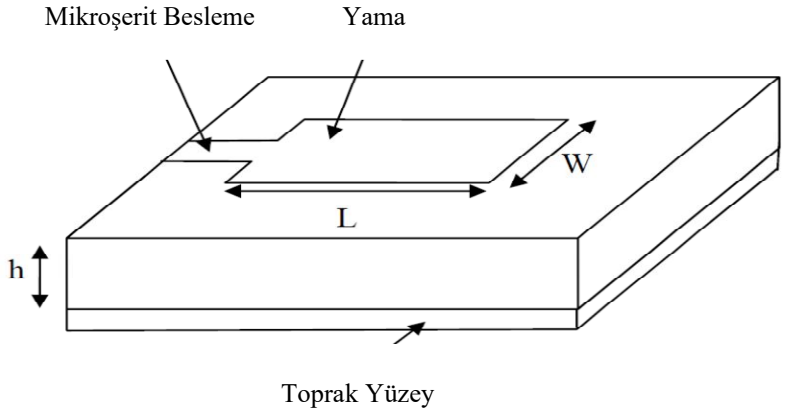
3.38. Elektrik alan hatları (Vivekananda 2009)

Şekil 3.38'de görüldüğü gibi, elektrik alan hatlarının çoğu substratta ve havadaki bazı hatların kısımlarında bulunur. Sonuç olarak, bu iletim hattı saf enine elektrik-manyetik (TEM) iletim modunu destekleyemez, çünkü faz hızları havada ve substratta farklı olacaktır. Bunun yerine, baskın yayılma modu yarı-TEM modu olacaktır. Bu nedenle, çizgideki saçaklamayı ve dalga yayılımını hesaba katmak için etkili bir dielektrik sabiti (ε_{reff}) elde edilmelidir. Efektif dielektrik sabiti değeri subsrate dielektrik sabiti $(\varepsilon r)'$ den biraz daha düşüktür, çünkü yamanın çevresi etrafındaki saçılma alanları dielektrik substrat ile sınırlı değildir, ancak yukarıda Şekil 3.38'de gösterildiği gibi havada da yayılmaktadır. Efektif dielektrik sabiti ifadesi Balanis (1989) tarafından şöyle ifade edilir:

$$\varepsilon_{reff} = \frac{\varepsilon r+1}{2} + \frac{\varepsilon r-1}{2}\left[1 + 12\frac{h}{W}\right]^{\frac{1}{2}} \tag{3.26}$$

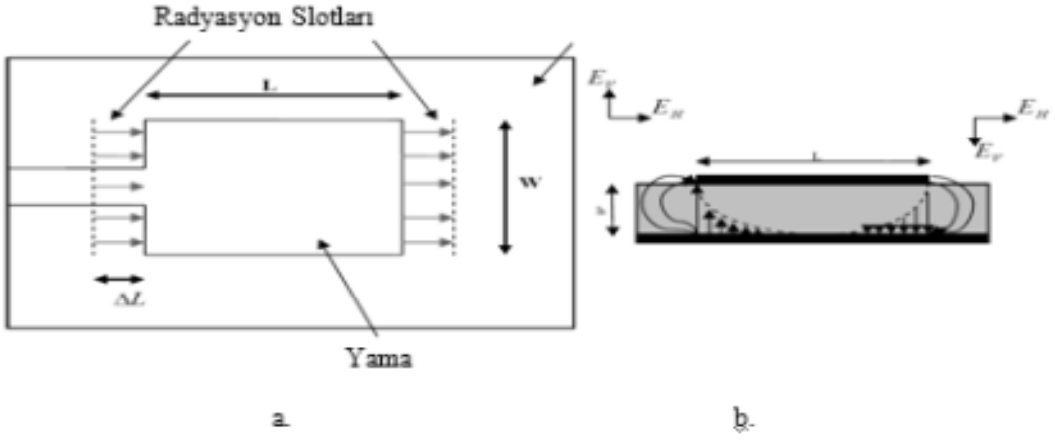
L uzunluğuna sahip dikdörtgen şeklinde bir mikro-yama yama anteni, h yüksekliğinde bir alt tabaka üzerinde duran W genişliğini gösteren, aşağıdaki Şekil

3.39'u düşünün. Koordinat ekseni, uzunluk x yönü boyunca, genişlik y yönü boyunca ve yükseklik z yönü boyunca olacak şekilde seçilir.



Şekil 3.39. Mikroşerit yama anten

Temel TM_{10} modunda çalışması için, yamanın uzunluğu λ / 2'den biraz az olmalıdır, burada λ dielektrik ortamdaki dalga boyudur ve λ_o / $\sqrt{\varepsilon_{reff}}$ değerine eşittir, Burada λ_o serbest uzay dalga boyudur. TM_{10} modu, alanın uzunluk boyunca bir λ / 2 çevrimi değiştirdiğini ve yamanın genişliği boyunca hiçbir değişiklik olmadığını ima eder. Aşağıda gösterilen Şekil 3.39'da, mikroşerit yama anteni, L uzunluğunda bir iletim çizgisi ile ayrılmış ve her iki ucunda açık devre bulunan iki yuva ile temsil edilmektedir. Yamanın genişliği boyunca voltaj açıktır ve açık uçlardan dolayı akım minimumdur. Kenarlardaki alanlar, zemin düzlemine göre normal ve teğet bileşenlere dönüştürülebilir.



Şekil 3.40. Antenin görünümleri (a:antenin üstten görünümü; b:antenin yandan görünümü)

(Vivekananda 2009)

Şekil 3.40'da, elektrik alanının genişlik boyunca iki kenardaki normal bileşenlerinin zıt doğrultularda dolayısıyla fazın λ / 2 uzun olması nedeniyle faz dışı oldukları ve dolayısıyla birbirlerini geniş doğrultuda iptal ettikleri görülmektedir. Faz halinde olan teğetsel bileşenler (Şekil 3.40'da görüldüğü gibi), ortaya çıkan alanların yapının yüzeyine normal olarak maksimum yayılan alan vermek için birleştiği anlamına gelir. Bu nedenle genişlik boyunca olan kenarlar fazda uyarılan ve yer düzleminin üstündeki yarım alanda yayılan iki yayma yarımı olarak temsil edilebilir. Genişlik boyunca saçma alanları yayılan yarıklar şeklinde modellenebilir ve elektriksel olarak mikroşerit anteninin yaması fiziksel boyutlarından daha büyük görünür. Yamanın uzunluğu boyunca boyutları artık her bir tarafta, deneysel olarak Hammerstad (1975) tarafından verilen bir mesafe ΔL uzatıldı:

$$\Delta L = 0.412h\frac{(\varepsilon reff+0.3)\left(\frac{W}{h}+0.264\right)}{(\varepsilon reff-0.258)\left(\frac{W}{h}+0.8\right)} \tag{3.27}$$

Yamanın efektif uzunluğu L_{eff} şimdi şöyle olur:

$$L_{eff} = L + 2\,\Delta L \tag{3.28}$$

Belirli bir rezonans frekansı f_o için, etkin uzunluk ile aşağıdaki gibi verilir:

$$L_{eff} = \frac{c}{2fo\sqrt{\varepsilon reff}} \tag{3.29}$$

Dikdörtgen bir mikroşerit yama anteni için, herhangi bir TM_{mn} modu için rezonans frekansı, James ve Hall (1989) tarafından aşağıdaki şekilde verilir:

Dikdörtgen bir mikroşerit yama anteni için, herhangi bir TM_{mn} modu için rezonans frekansı, James ve Hall (1989) tarafından aşağıdaki şekilde verilir:

$$L_{eff} = \frac{c}{2\sqrt{\varepsilon reff}}\left[\left(\frac{m}{L}\right)^2 + \left(\frac{n}{W}\right)^2\right]^{\frac{1}{2}} \tag{3.30}$$

M ve n sırasıyla L ve W boyunca modlardır.

$$W = \frac{c}{2fo\sqrt{\frac{(\varepsilon r+1)}{2}}} \tag{3.31}$$

3.5. Mikroşerit Anten Tasarımı ve Gerçekleştirilmesi

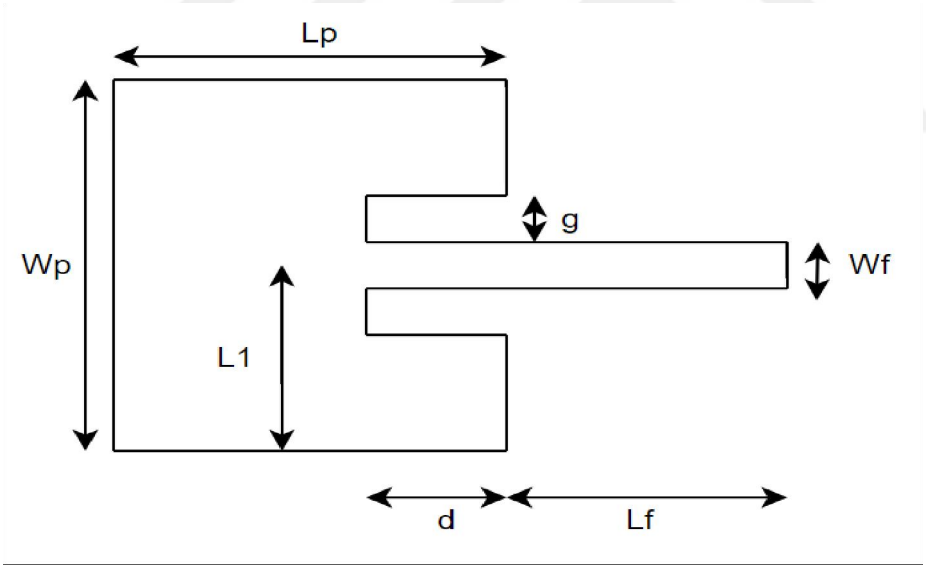
Bir dikdörtgen mikroşerit yama anten tasarımı için üç temel parametre şunlardır:

• Çalışma frekansı (fo): Antenin rezonans frekansı uygun şekilde seçilmelidir. 2400 MHz dolaylarında tasarlanan antenin bu frekans aralığında çalışabilmesi gerekir. Tasarımım için seçilen rezonans frekansı 2,4 GHz.

• Substratın dielektrik sabiti (ε_r): Tasarımım için seçilen dielektrik malzeme 4.4 dielektrik sabiti olan silikondur. Antenin boyutlarını düşürdüğü için yüksek dielektrik sabiti olan bir alt tabaka seçilmiştir.

• Dielektrik substratın yüksekliği (h): Mikroşerit yama anteni için antenin hacimli olmaması esastır. Dolayısıyla, dielektrik substratın yüksekliği 1.6 mm olarak seçilmiştir.

Dolayısıyla, tasarım için frekans (fo) 2,4 GHz, di-elektrik sabiti (ε_r) 4.4 ve yükseklik (h) 1.6 mm seçilmiştir



Şekil 3.41. Mikroşerit yama anteninin üstten görünüşü

Başlık 3'te açıklanan iletim hattı modeli, anteni tasarlamak için kullanılacaktır.

Adım 1: Genişliğin Hesaplanması (Wp): Mikroşerit yama anteninin genişliği aşağıdaki gibi denklem (3.32) ile verilmiştir:

$$W = \frac{C}{2fo\sqrt{\frac{(\varepsilon r+1)}{2}}} \tag{3.32}$$

fo = 2,4 GHz, ε_r = 4,4 ve c = 3e8 m/s olarak denklemde yerine yazarsak;

Yama genişliği(Wp) = 38,01 mm olarak buluruz.

Adım 2: Efektif dielektrik sabitinin hesaplanması (ε_{reff}):

Denklem (3.33) efektif dielektrik sabitini şöyle verir:

$$\varepsilon reff = \frac{\varepsilon r+1}{2} + \frac{\varepsilon r-1}{2}\left[1 + 12\frac{h}{W}\right]^{\frac{1}{2}} \quad (3.33)$$

εr = 4,4 , h = 1,6 mm ve Wp = 38,01 mm olarak denklemde yerine yazılırsa;

$\varepsilon reff$ = 4,7856 olarak bulunur.

Adım 3: Etkili uzunluk hesaplaması:

Denklem (3.34) aşağıdaki gibi yama uzunluğu verir:

$$Leff = \frac{c}{2fo\sqrt{\varepsilon reff}} \quad (3.34)$$

$$\Delta L = 0.412h\frac{(\varepsilon reff+0.3)\left(\frac{W}{h}+0.264\right)}{(\varepsilon reff-0.258)\left(\frac{W}{h}+0.8\right)} \quad (3.35)$$

$$Leff = L + 2\,\Delta L \quad (3.36)$$

Buradaki denklem basamaklarını uygulayıp L'yi çekersek yama uzunluğunu buluruz. Lp = 29,42 mm olarak bulunur.

Adım 4: Yer düzlemi boyutlarının hesaplanması (Lg ve Wg):

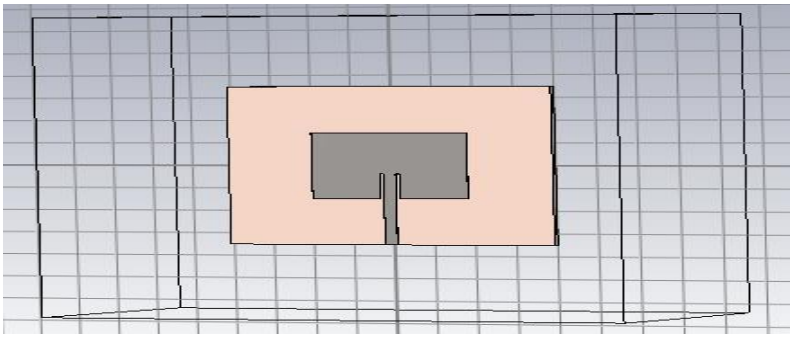
İletim hattı modeli yalnızca sonsuz yer düzlemlerine uygulanabilir. Bununla birlikte, pratik olarak sınırlı bir yer düzlemine sahip olmak esastır. Sonsuz yer düzlemi için benzer sonuçların, düzlem düzleminin büyüklüğünün yama boyutlarından daha büyük olması durumunda, çepeçevre etrafındaki substrat kalınlığının yaklaşık altı katı kadar elde edilebildiği gösterilmiştir. Dolayısıyla, bu tasarım için, zemin düzlem boyutları aşağıdaki gibi hesaplanır:

Lg(Toprak uzunluğu) = 6h + L (3.37)

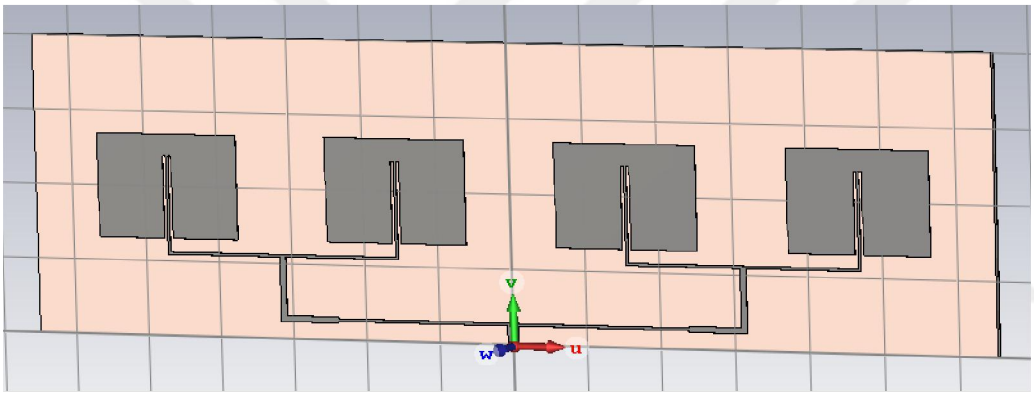
Wg(Toprak genişliği) = 6h + W (3.38)

Adım 5: Empedans hesaplama (Zo):

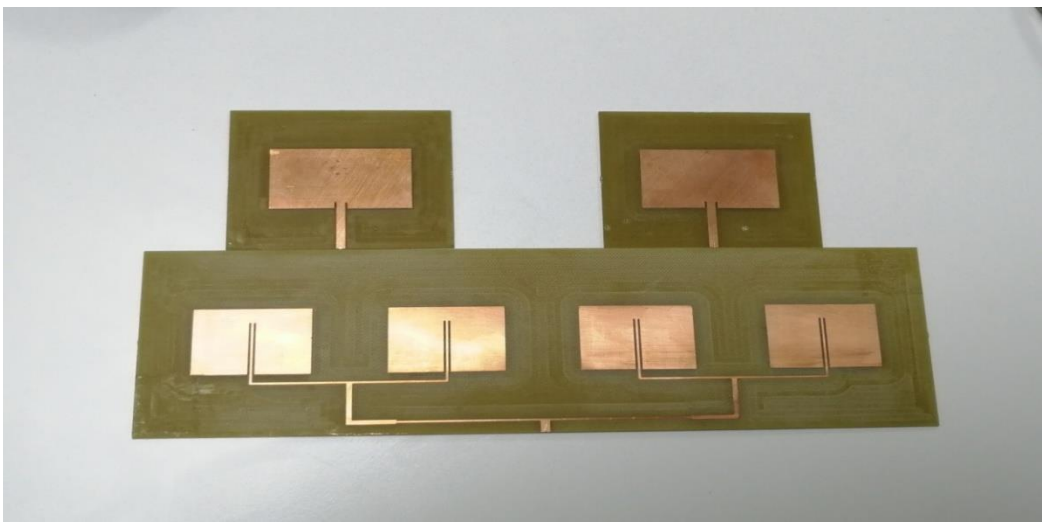
$$Zo = \frac{120\pi}{\sqrt{\varepsilon reff\left[\left(\frac{W}{h}+ 1.393+ \frac{2}{3}\ln\left(\frac{W}{h}+ 1.444\right)\right)\right]}} \quad (3.39)$$



Şekil 3.42. Tasarlanan mikroşerit yama anteninin üstten görünüşü



Şekil 3.43. 2x2 dizi anten



Şekil 3.44. Gerçekleştirilen yama ve dizi antenler

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Antenin Geometrik Boyutlarının Performansına Olan Etkileri

Bu bölümde antenin geometrik boyutlarıyla matematiksel değişiklikler yaparak antenin istenilen forma getirilmesi yönünde çalışmalar yapılmıştır. Her bir parametrenin tasarlanan anten üzerindeki etkileri karşılaştırılmıştır. İşlem yapılan parametreler;

→Yama genişliği

→Yama uzunluğu

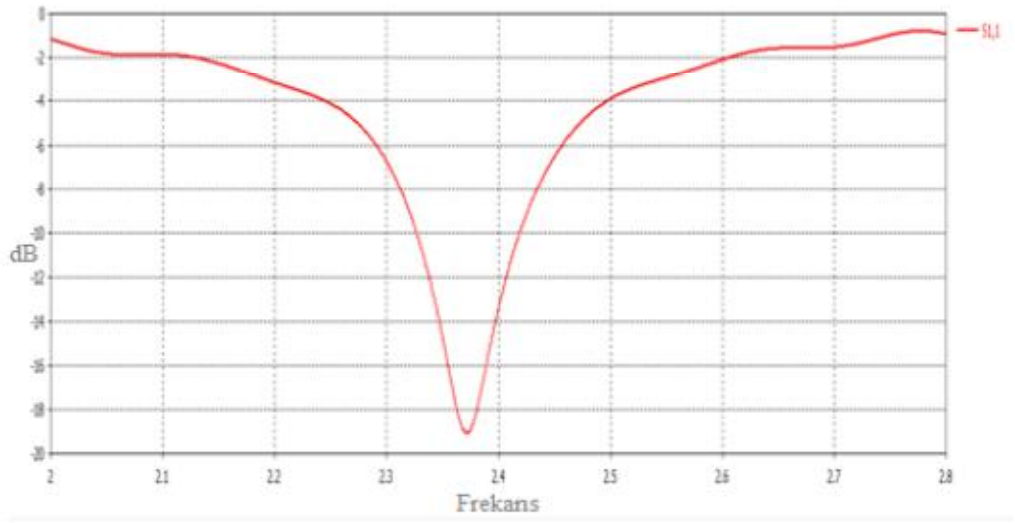
→Açılan yarıkların uzunluğu

→Açılan yarıkların genişliği

→Besleme şeridi genişliği

Antenin geometrik boyutlarının değişimi öncesi tasarlanan antenin özellikleri incelenmiştir.

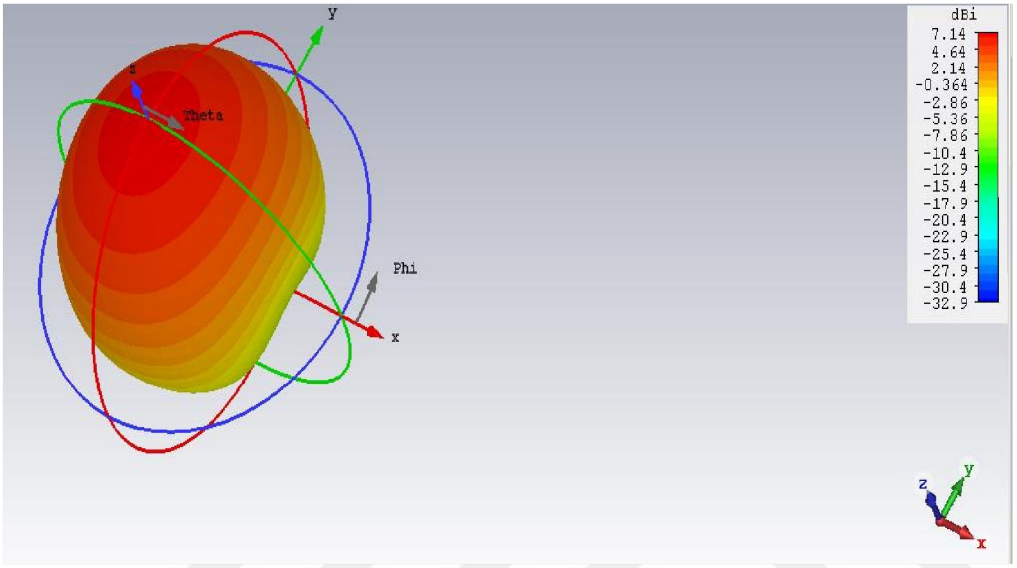
S kısaltması, saçılma kelimesinden türetilmiştir. Yüksek frekanslar için, belirli bir ağı voltaj veya akımlardan ziyade dalgalar olarak tanımlamak uygundur. Genlik ve faz bilgisi ile antenlerin yansıma ve iletim özelliklerini ölçebiliriz. Örneğin, geri dönüş kaybı skaler yansıma ölçümüdür ve S11 parametrelerini kullanarak bu ölçümü rahatlıkla yapabiliriz.



Şekil 4.1. Tasarlanan mikroşerit yama anteninin S11parametresi

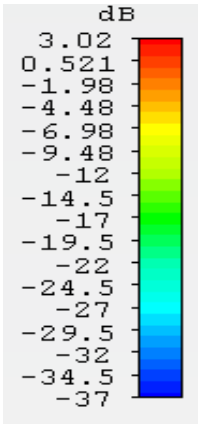
Simülasyonda görüldüğü gibi antenin çalışma frekansı 2,3 GHz – 2,4 GHz aralığındadır. Geri dönüş kaybı -19 db'dir.

Mikroşerit yama anten, kolayca hesaplanabilen ışıma düzenlerine sahiptir. Mikroşerit elemanının ve yer düzleminin kenarındaki boşluktaki elektrik alanın radyasyonunun kaynağı, yama anteni modelinin doğru hesaplanmasında kilit faktördür.



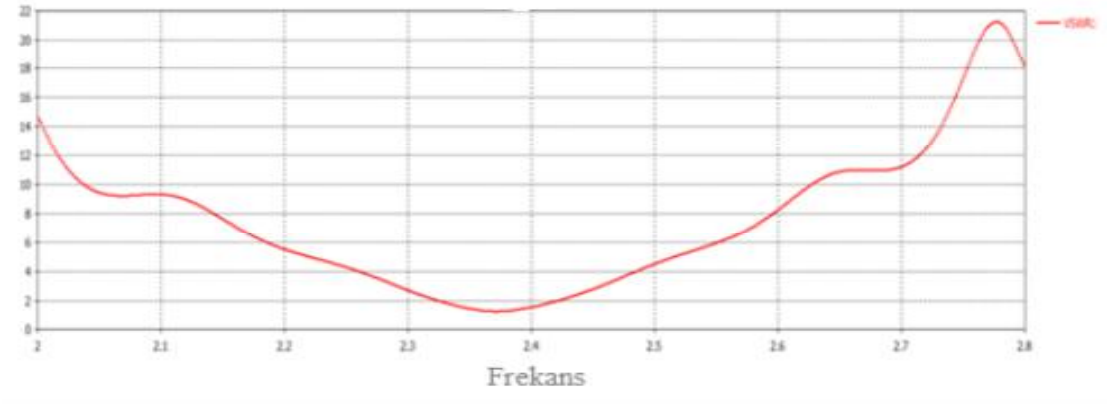
Şekil 4.2. Tasarlanan mikroşerit yama anteninin ışıma örüntüsü

Uzak Alan (f = 2.4)	
Tip	Uzak Alan
Yaklaşım	kR>>1
Komponent	Abs
Çıkış Doğrusal	Doğrusal
Frekans	2.4 GHz
Rad. Etkisi	(-)4.115 Db
Tot. Etki	(-)4.186 Db
Kazanç	3.021 Db



Şekil 4.3. Tasarlanan mikroşerit yama anteninin kazanç durumu (Gain)

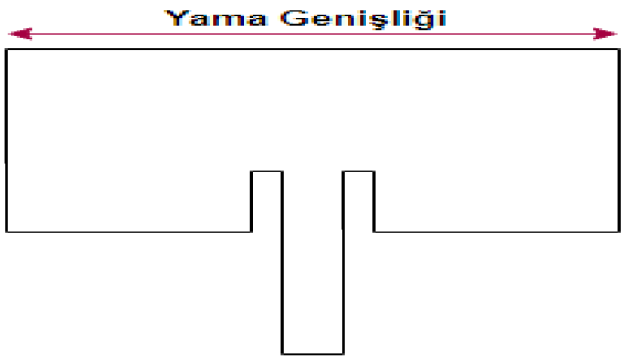
VSWR standart dalga voltajının minimum genliği üzerindeki tepe voltajının bir oranıdır. Basitçe söylemek gerekirse, radyo frekansı sinyalleri, vericiler / alıcılar arasında kendi antenlerine gelen elektrik kablolarıyla tahrik edilir.



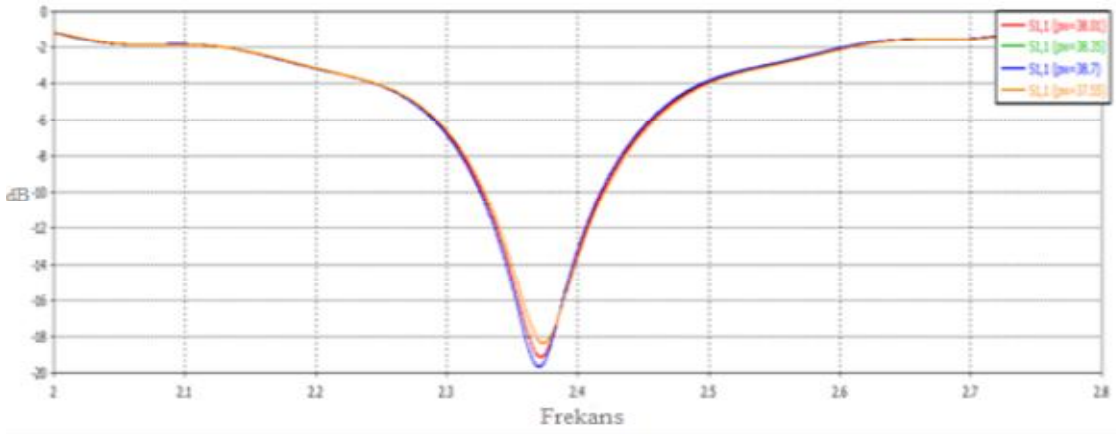
Şekil 4.4. Tasarlanan mikroşerit yama anteninin duran dalga oranı (VSWR)

4.1.1. Yama Genişliğinin Anten Performansı Üzerindeki Etkisi

Tasarımı yapılan yama antenin genişliği 38,01 mm olarak bulunmuştur. Antenin genişliği üzerinde yapılan değişimle antende gerçekleşen değişiklikler incelenmiştir.

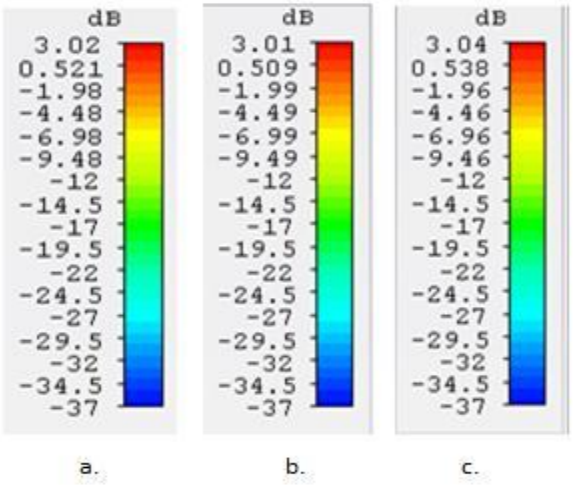


Şekil 4.5. Yama genişliği



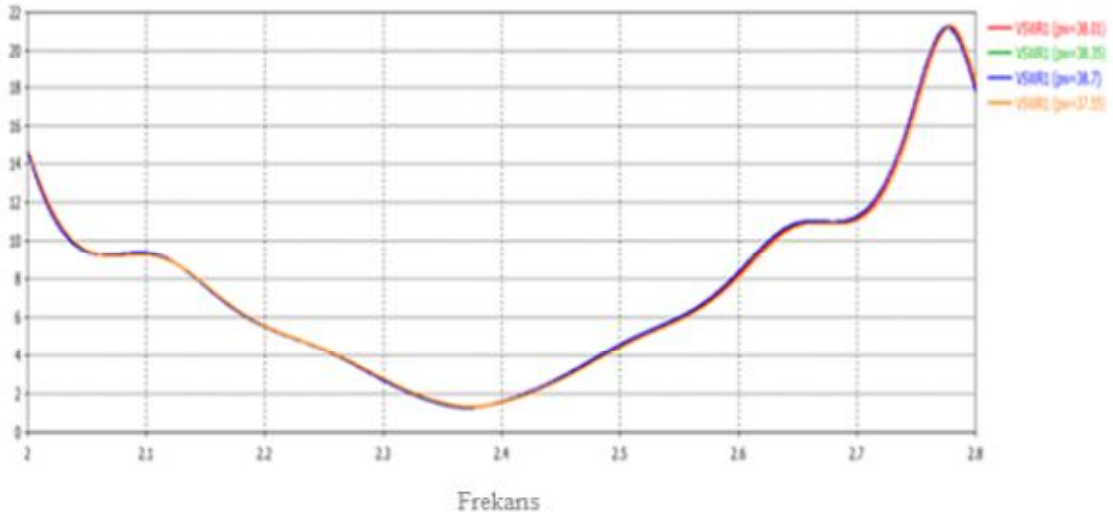
Şekil 4.6. Yama genişliğinin S11 parametreleri üzerindeki etkisi

Dikkat edilirse yama genişliğini azalttığımızda (37,55 mm) geri dönüş kaybı -19 dB'den -18 dB'ye yükselmiştir. Yama genişliğini artırdığımızda (38.70 mm) ise geri dönüş kaybı -20 dB'ye yaklaşmış olup ilk tasarlanan haline göre daha iyi bir sonuç elde edilmiştir.



Şekil 4.7. Yama genişliğinin kazanç üzerindeki etkisi
(a:38,01 mm; b:37,55 mm; c:38,70 mm)

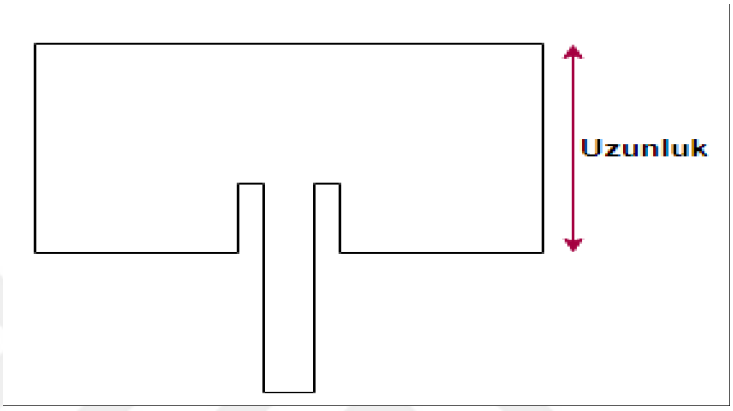
Yama genişliği üzerinde yapılan boyut değişikliğinin kazanç üzerindeki etkileri dB cinsinden Şekil 4.7'de ifade edilmiştir.



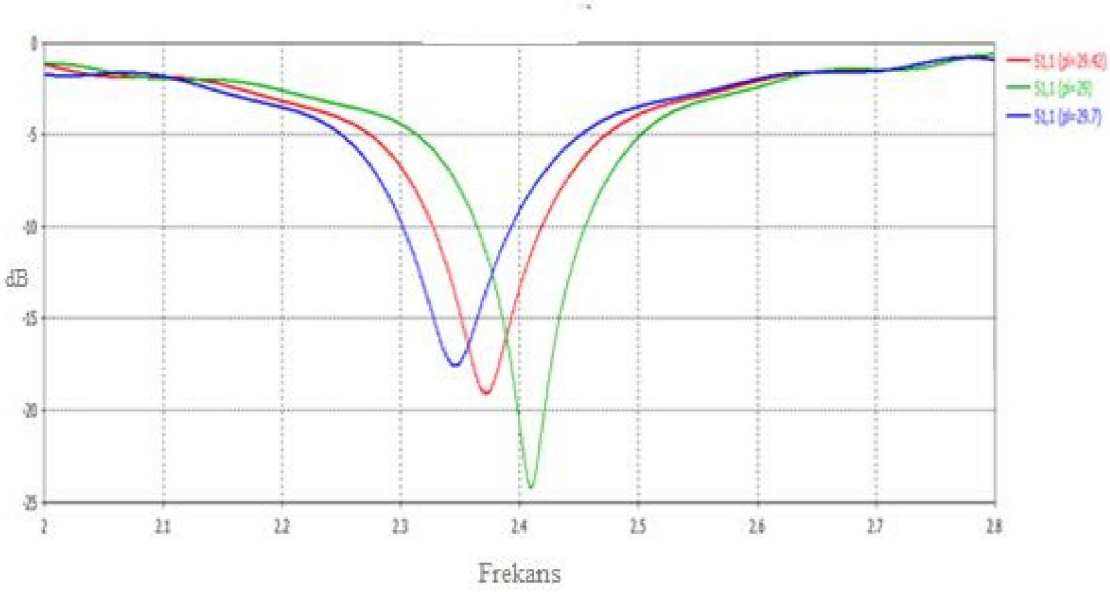
Şekil 4.8. Yama genişliğinin VSWR üzerindeki etkisi

4.1.2. Yama Uzunluğunun Anten Performansı Üzerindeki Etkisi

Tasarımı yapılan yama antenin uzunluğu 29,42 mm olarak bulunmuştur. Antenin uzunluğu üzerinde yapılan değişimle yama antende gerçekleşen değişiklikler incelenmiştir.



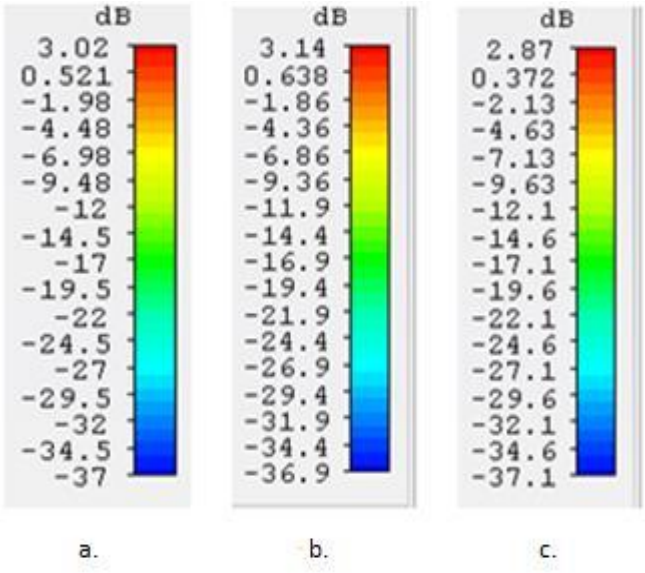
Şekil 4.9. Yama uzunluğu



Şekil 4.10. Yama uzunluğunun S11 parametreleri üzerindeki etkisi

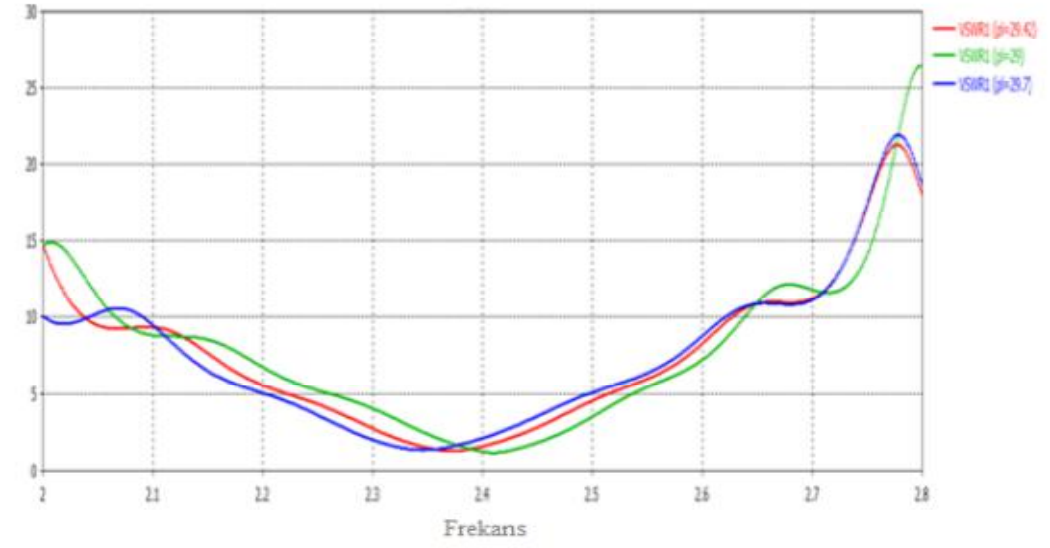
Şekil 4.10'da anten üzerinde gerçekleşen değişim gözlenmiştir. Yama uzunluğunu artırdığımızda (29,70 mm) ise geri dönüş kaybı -19 dB'den -17 dB'ye yaklaşmıştır ve ilk çalışma frekansına göre daha uzaklaşmıştır. Yama uzunluğunu azalttığımızda (29,00 mm) geri dönüş kaybı -19 dB'den -24 dB seviyesine gelmiş olup

çalışma frekansı olan 2,4 GHz'e yaklaşmıştır. Sonuç olarak yapılan optimizasyonla daha iyi hale gelmiştir. Buradaki en belirgin değişiklik geri dönüş kaybında olmuştur.



Şekil 4.11. Yama uzunluğunun kazanç üzerindeki etkisi
(a:29,42 mm; b:29,00 mm; c:29,70 mm)

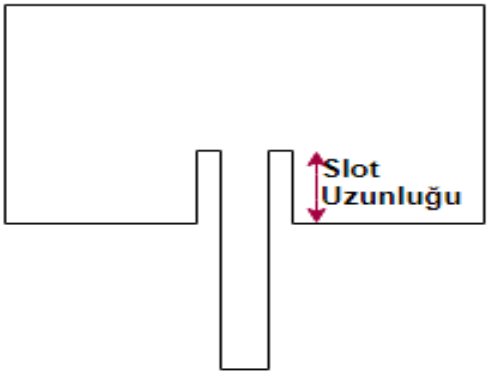
Yama uzunluğu üzerinde yapılan değişimin kazanç üzerindeki etkileri dB cinsinden Şekil 4.11'de ifade edilmiştir. Dikkat edilirse yama uzunluğu üzerindeki değişim sonucunda en iyi verim 29,00 mm'de alınmıştır.



Şekil 4.12. Yama uzunluğunun VSWR üzerindeki etkisi

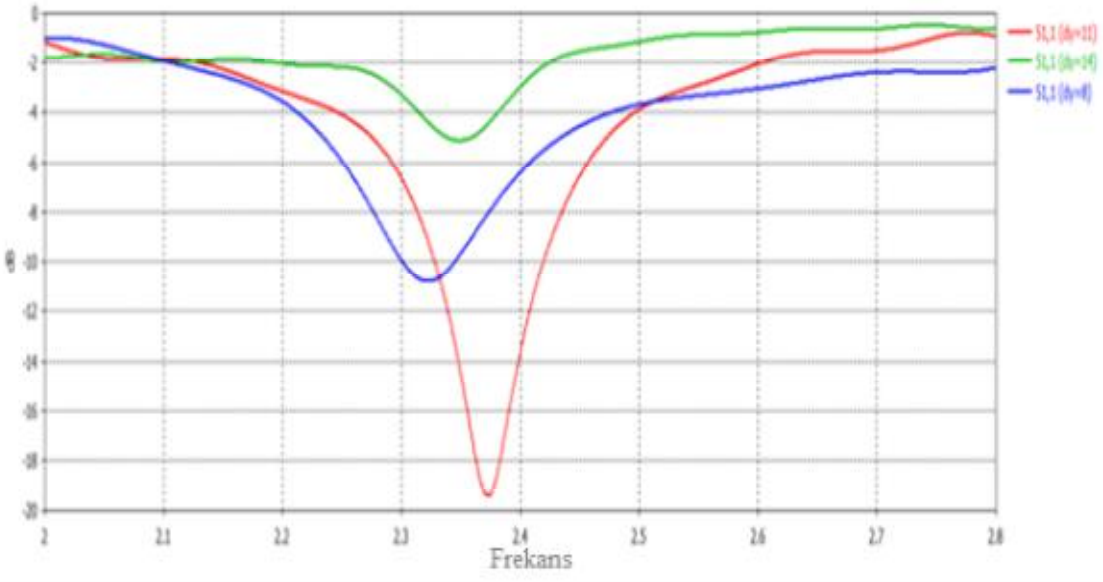
4.1.3. Açılan Yarıkların (Slotların) Uzunluğunun Anten Performansı Üzerindeki Etkisi

Besleme ile yamanın birleştiği kısımlardan itibaren yama üzerinde olacak şekilde açılan Şekil 4.13'deki gibi dikdörtgen şeklindeki boşluklardır. Bu boşluklar üzerinde değişimler yapılarak anten üzerindeki değişimler incelenmiştir.



Şekil 4.13. Yama anten üzerinde açılan yarıklar

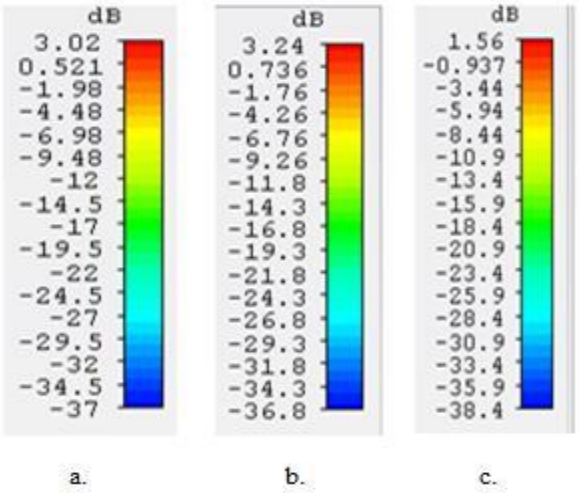
Yarıkların uzunluğu 11 mm'dir.



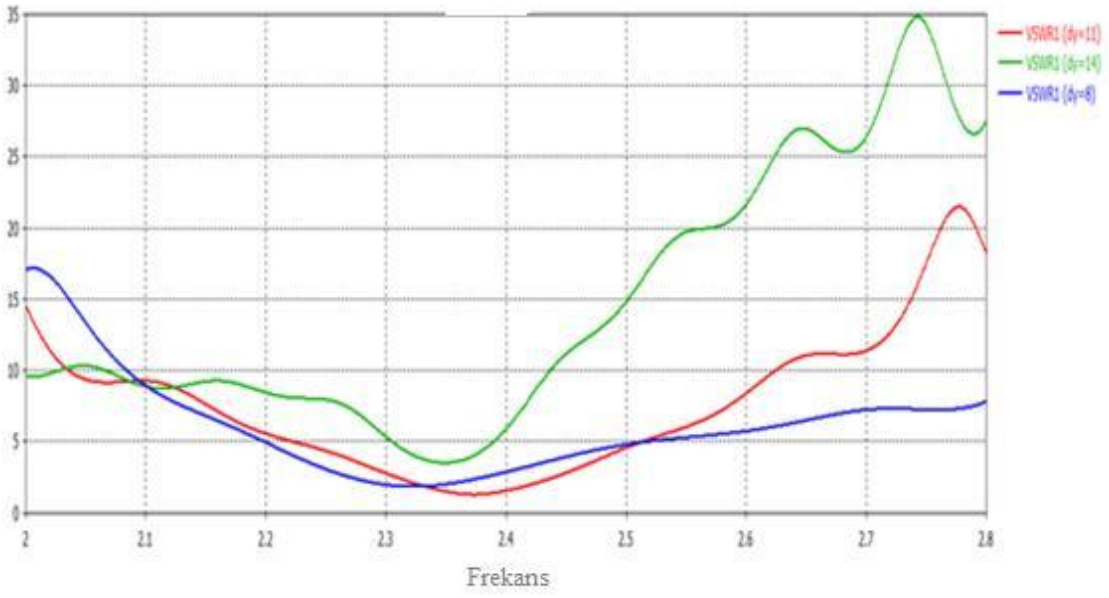
Şekil 4.14. Yarık uzunluğunun S11 parametreleri üzerindeki etkisi

Şekil 4.14'te anten üzerinde yapılan değişim gözlenmiştir. Yarık uzunluğunu artırdığımızda (14,00 mm) ise geri dönüş kaybı -19 dB'den -5dB'ye yaklaşmıştır ve ilk

çalışma frekansına göre daha uzaklaşmıştır. Yama uzunluğunu azalttığımızda (8,00mm) geri dönüş kaybı -19 dB'den -12 dB seviyesine gelmiş olup çalışma frekansı olan 2,4 GHz'e ilk haline göre uzaklaşmıştır ilk tasarlanan haline göre kötü bir sonuç elde edilmiştir.



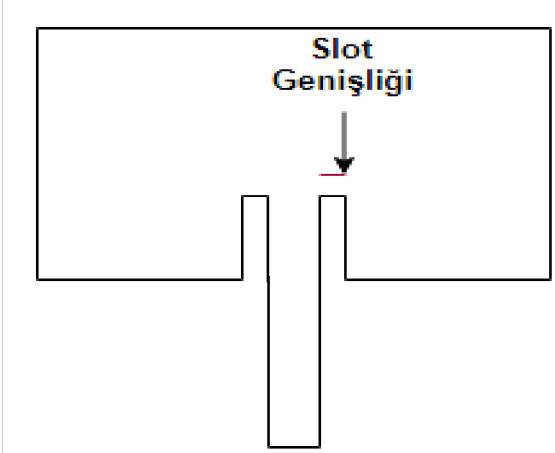
Şekil 4.15. Yarık uzunluğunun kazanç üzerindeki etkisi
(a:11,00 mm; b:8,00 mm; c:14,00 mm)



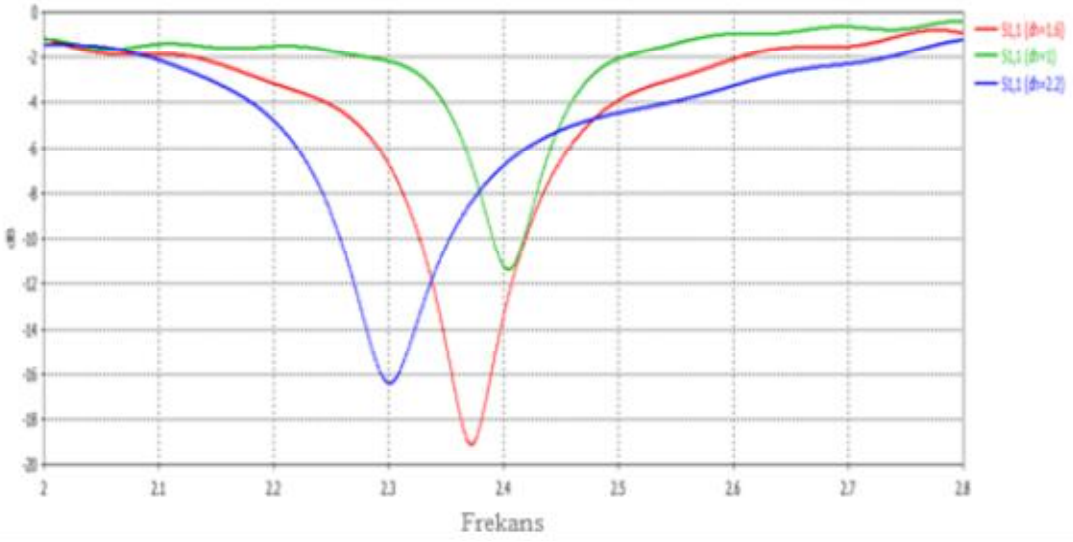
Şekil 4.16. Yarık uzunluğunun VSWR üzerindeki etkisi

4.1.4. Açılan Yarıkların (Slotların) Genişliğinin Tasarımı Yapılan Anten Üzerindeki Etkisi

Tasarlanan anten yarıkların genişliği 1.6 mm'dir.

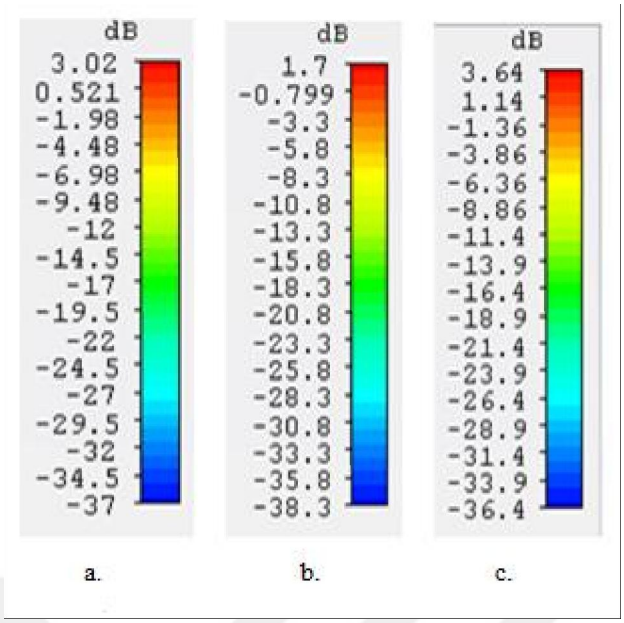


Şekil 4.17. Yarık genişliği



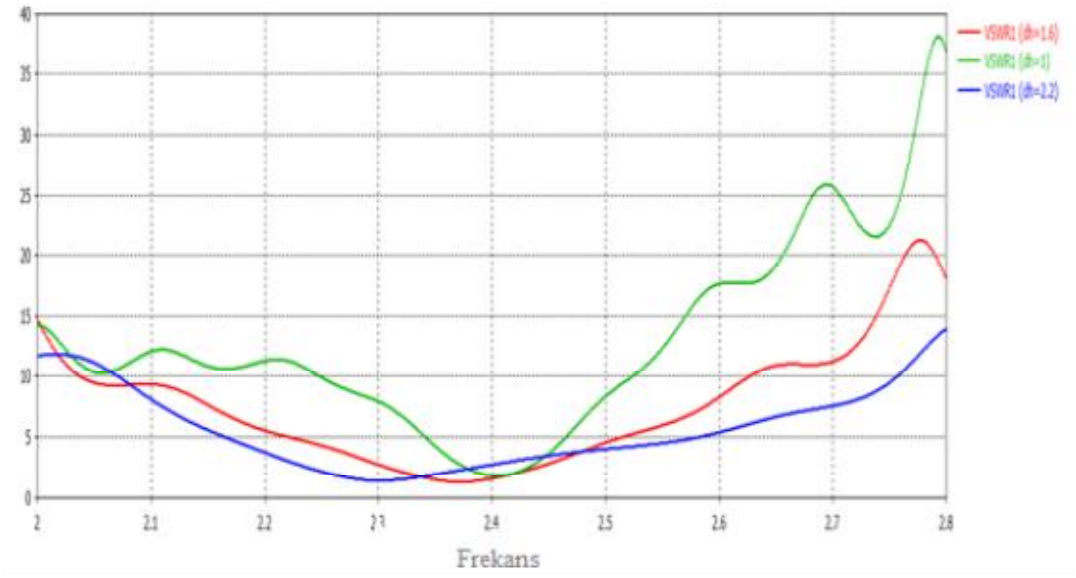
Şekil 4.18. Yarık genişliğinin S11 parametreleri üzerindeki etkisi

Yama genişliğini artırdığımızda (2.20 mm) ise geri dönüş kaybı -19 dB'den -16 dB'ye yaklaşmıştır ve ilk çalışma frekansına göre daha uzaklaşmıştır ilk tasarlanan haline göre kötü bir sonuç elde edilmiştir. Yama uzunluğunu azalttığımızda (1,00 mm) geri dönüş kaybı -19 dB'den -11 dB seviyesine gelmiş olup ilkini göre daha kötü bir sonuç elde edilmiştir. 1.00 mm genişliğinde çalışma frekansı olan 2,4 GHz'e ilk haline göre yaklaşmıştır.



Şekil 4.19. Yarık genişliğinin kazanç üzerindeki etkisi

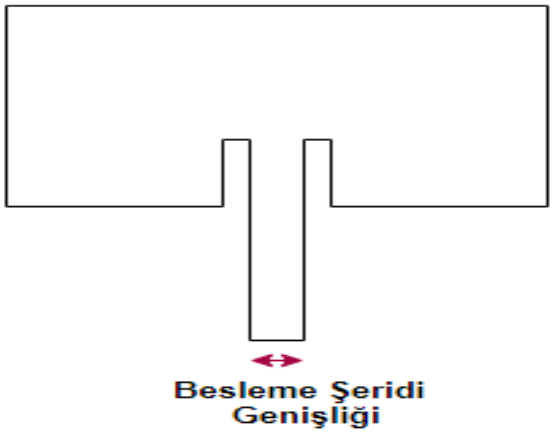
(a:1,60 mm; b:1,00 mm; c:2,20 mm)



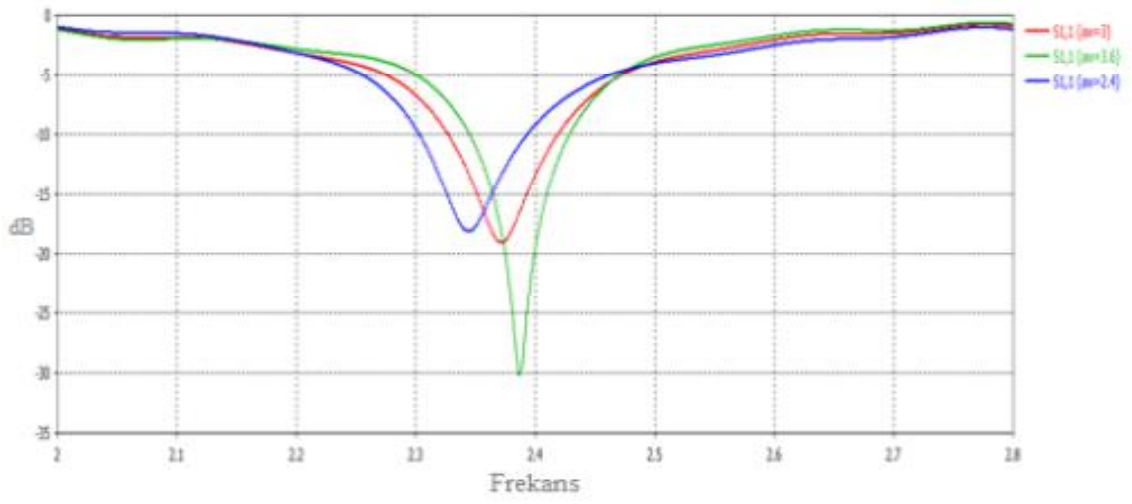
Şekil 4.20. Yarık genişliğinin VSWR üzerindeki etkisi

4.1.5 Besleme Şeridi Genişliğinin Anten Performansı Üzerindeki Etkisi

Tasarlanan antenin empedans değeri 50 ohm olarak bulunmuştur. 50 ohma karşılık genişlik 3,00 milimetreye karşılık gelmektedir. Besleme şeridi üzerinde matematiksel değişim yapılarak yama anten üzerindeki değişiklikler incelenmiştir.

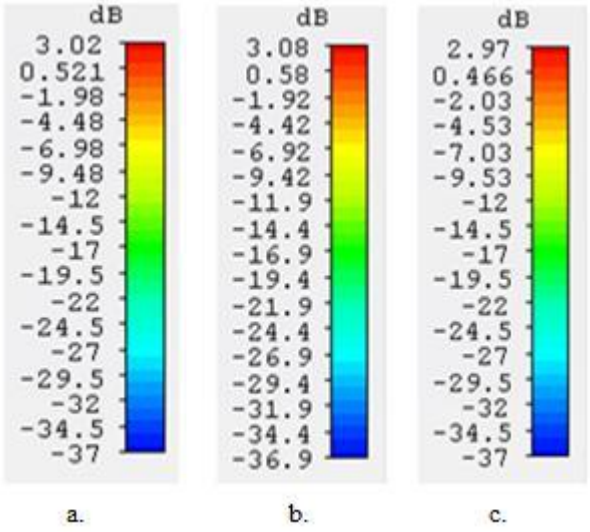


Şekil 4.21. Besleme şeridi genişliği

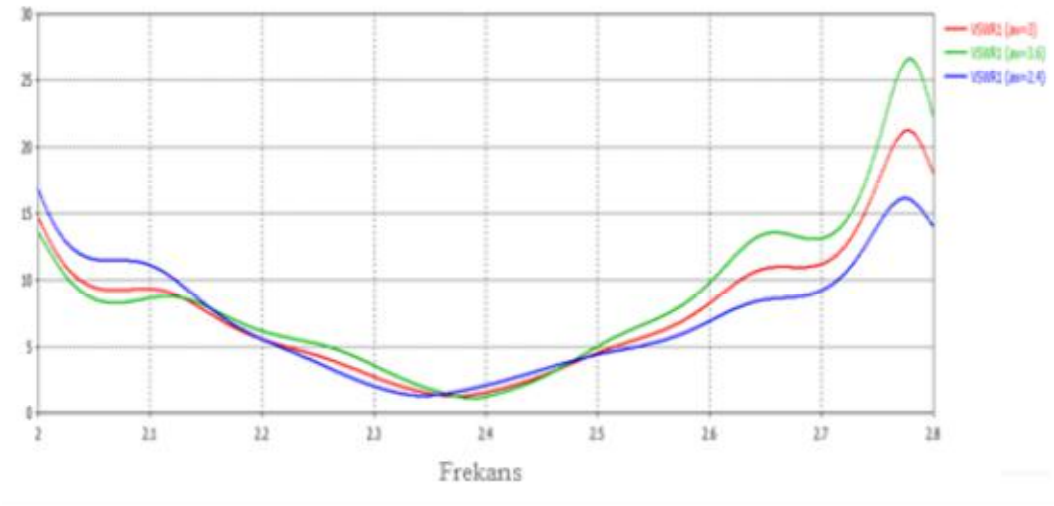


Şekil 4.22. Besleme şeridi genişliğinin S11 parametreleri üzerindeki etkisi

Şekil 4.22'de anten üzerinde yapılan değişim gözlenmiştir. Besleme şeridi genişliğini artırdığımızda (3,60 mm) ise geri dönüş kaybı -19 dB'den -30 dB'ye yaklaşmıştır ve ilk çalışma frekansına göre daha yaklaşmıştır ilk tasarlanan haline göre çok daha iyi bir sonuç elde edilmiştir. Besleme şeridi genişliğini azalttığımızda (2,40 mm) geri dönüş kaybı -19 dB'den -17 dB seviyesine gelmiş olup çalışma frekansı olan 2,4 GHz'e ilk haline göre uzaklaşmıştır.



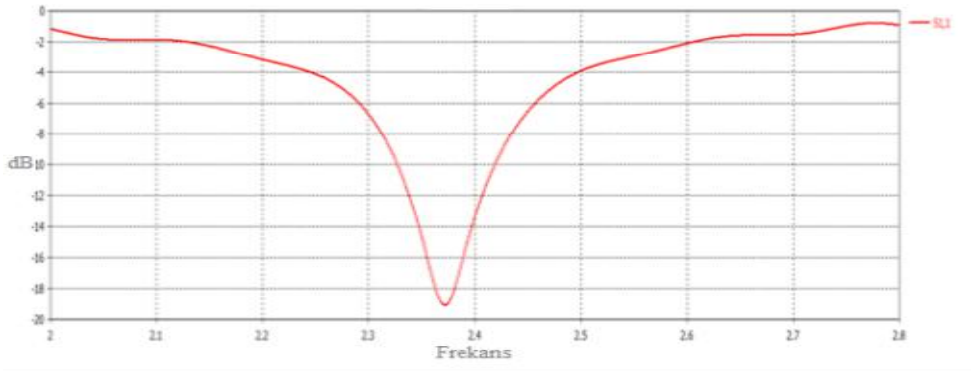
Şekil 4.23. Besleme şeridi genişliğinin kazanç üzerindeki etkisi (a:3,00 mm; b:2,40 mm; c:3,60 mm)



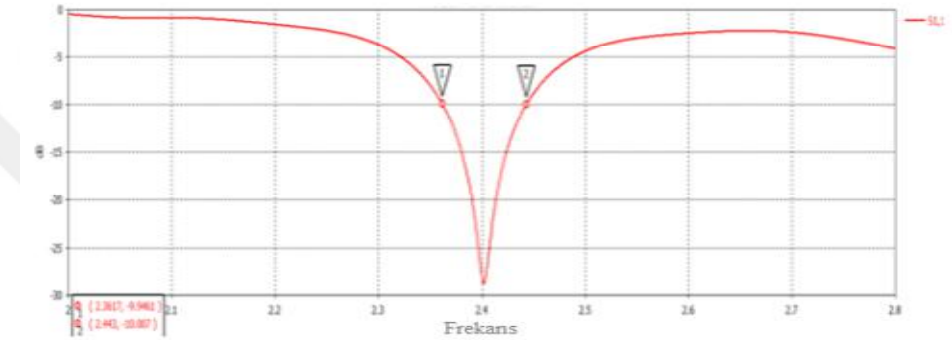
Şekil 4.24. Besleme şeridi genişliğinin VSWR üzerindeki etkisi

4.2. Gerçekleştirilen Antenin Optimizasyon Sonrası Performanslarının Karşılaştırılması

Mikroşerit yama üzerine uygulanan antenin geometrik boyutlarının değişimi ile en iyi anten performans sonucu elde edilmeye çalışıldı. Bu bölümde dördüncü başlık altındaki uygulamalar gerçekleştirmiş olup istenen değerlerde tasarlanmış olan yama anten radar sistemi ile optimize edilmiştir.



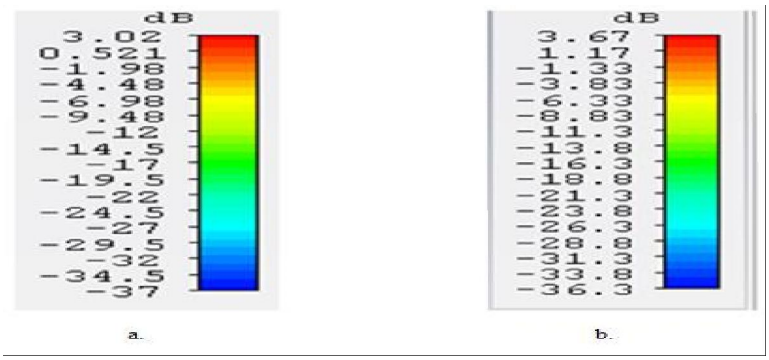
a.



b.

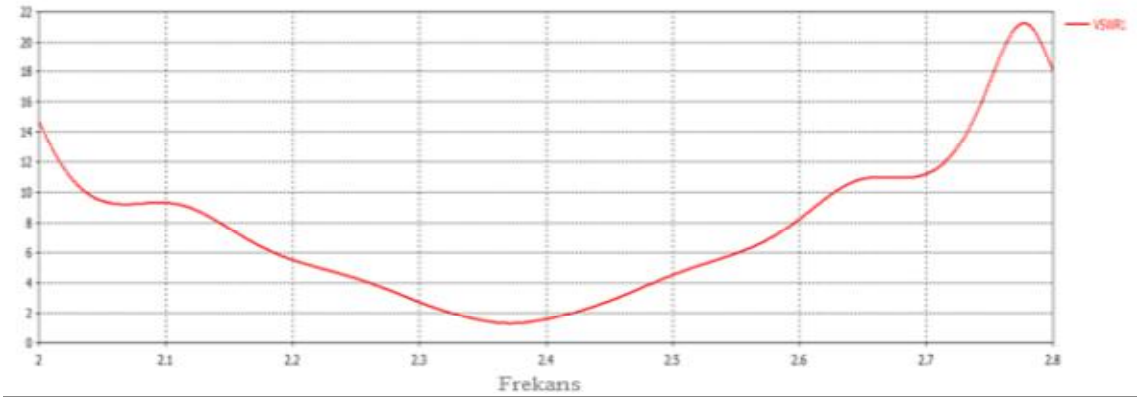
Şekil 4.25. Optimizasyon öncesi ve sonrası antenlerin s11 parametreleri karşılaştırılması (a: ilk hali ; b: son hali)

Şekil 4.25'te tasarlanan anten 2,36 GHz seviyelerinde iken anten boyutlarında değişiklikler yapıldıktan sonra 2,40 GHz seviyesine gelmiştir. Arzu edilen çalışma frekansı bu sayede elde edilmiştir. Geri dönüş kabı -19 dB seviyesinden -22 dB seviyesine getirilmiştir ki buda eskisine göre daha iyi veridir.

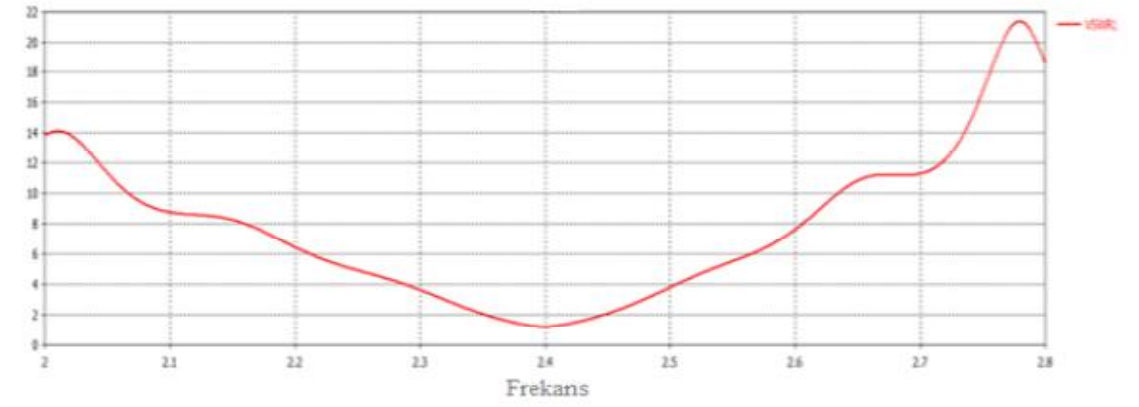


Şekil 4.26. Optimizasyon öncesi ve sonrası antenlerin kazanç üzerindeki etkisinin karşılaştırılması (a: ilk hali ; b: son hali)

Şekil 4.26'da tasarlanan antenin ilk halinin kazanç durumu geometrik boyutlarda değişim yapılarak yükseltilmiştir.



a.



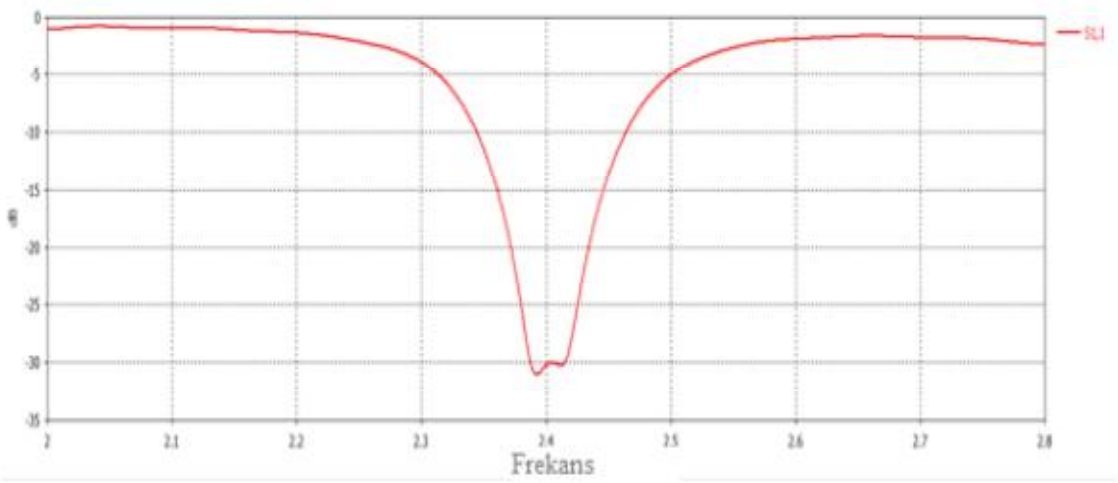
b.

Şekil 4.27. Optimizasyon öncesi ve sonrası antenlerin VSWR karşılaştırılması (a: ilk hali; b: son hali)

Şekil 4.27'de gösterilen VSWR karşılaştırılmasında yama antenin ilk hali tam 2,4 GHz seviyesinde değilken boyutların değişimleri sonucu 2,4 GHz seviyesine getirilmiş olup istenilen çalışma frekansı elde edilmiştir.

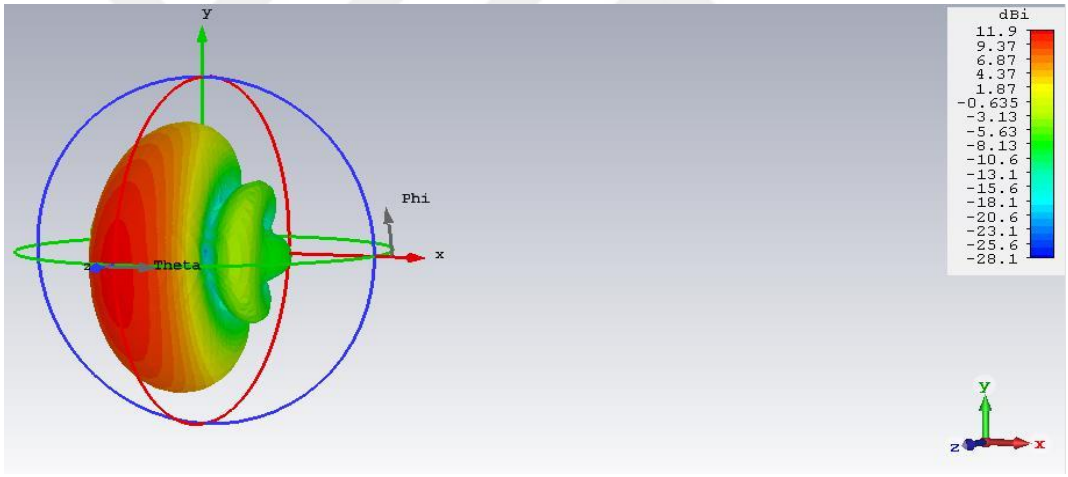
4.3. Dizi Anten Performans Sonuçları

Yama antenlerin geometrik boyutlarına değişimler yapılarak optimize edilen mikroşerit yama anteni alıcı-verici anten olarak dizi anten tasarlanabilir.



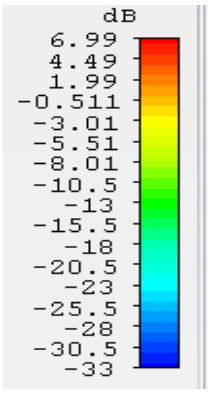
Şekil 4.28. Tasarlanan dizi antenin S11 parametreleri

Dizi anteni, yapılan değişiklikler ile geri dönüş kaybı -30 dB seviyelerine getirilmiştir.



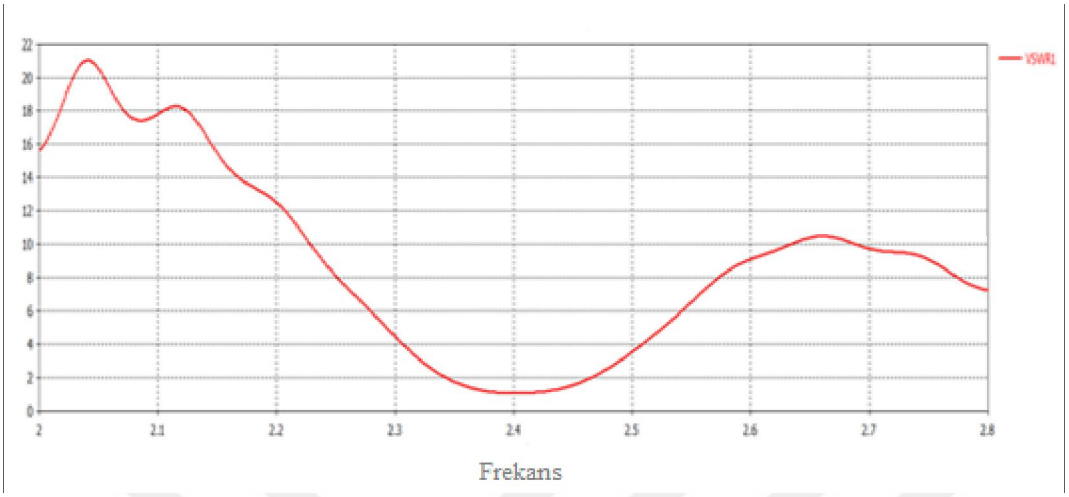
Şekil 4.29. Tasarlanan dizi antenin ışıma örüntüsü

Uzak Alan (f = 2.4)	
Tip	Uzak Alan
Yaklaşım	kR>>1
Komponent	Abs
Çıkış Doğrusal	Doğrusal
Frekans	2.4 GHz
Rad. Etkisi	(-)4.115 Db
Tot. Etki	(-)4.186 Db
Kazanç	6.989 Db



Şekil 4.30. Tasarlanan dizi antenin kazanç durumu

Yapılan geometrik değişiklikler ile dizi antenin kazancı ilk haline göre oldukça iyi bir seviyeye getirilmiştir.

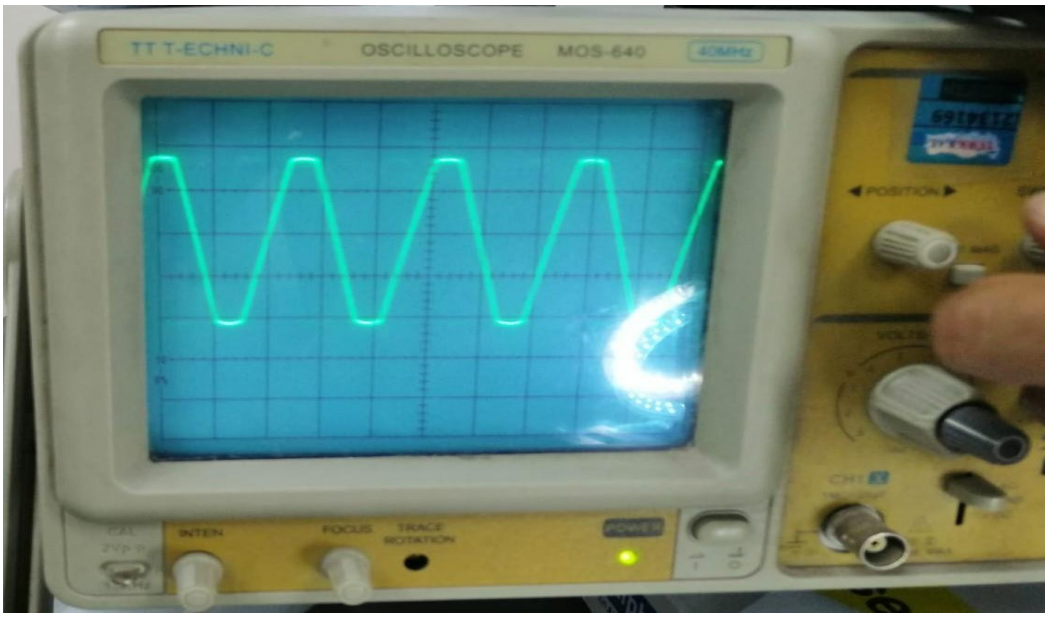


Şekil 4.31. Tasarlanan dizi antenin duran dalga oranı (VSWR)

Yama anten üzerinde yapılan işlemler dizi anten üzerinde de gerçekleştirilmiş olup 2,4 GHz çalışma frekansı 6,99 dB seviyesinde kazanç sağlanmıştır.

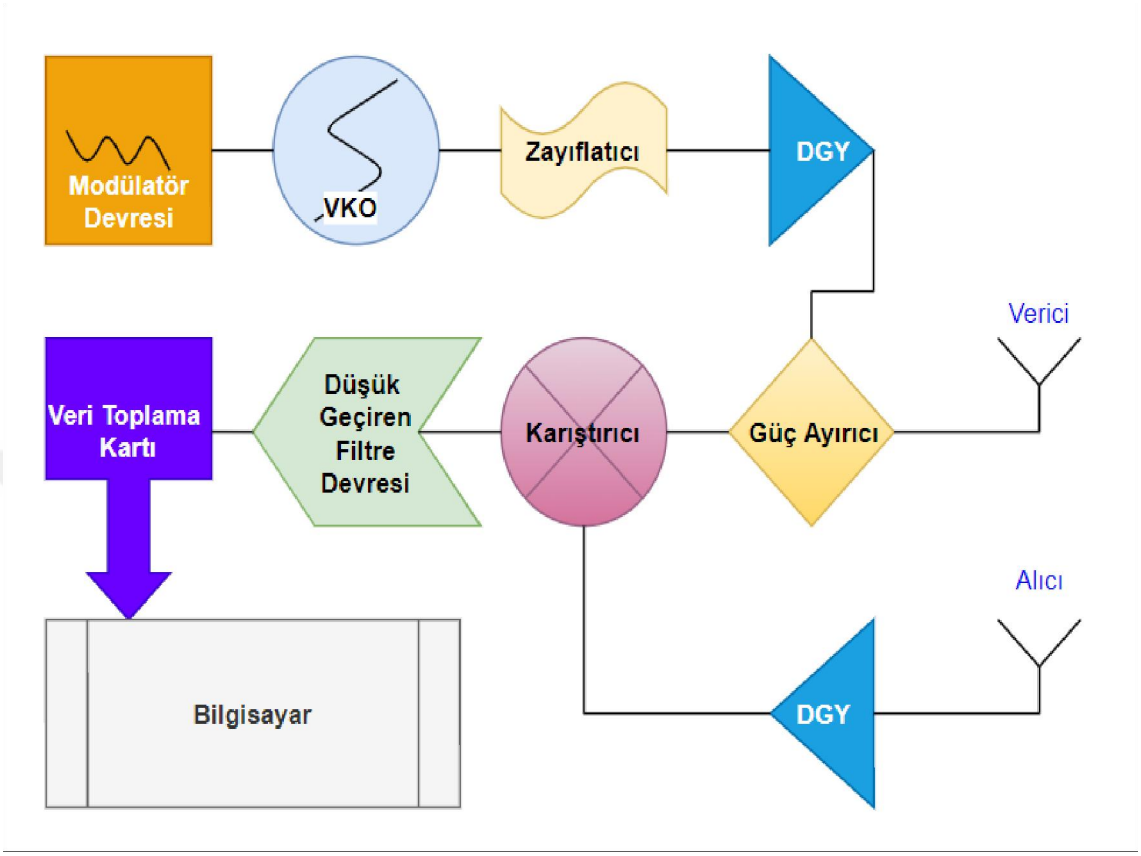
4.4. Radar Sisteminin Kurulumu

Modülatör devresi breadboard üzerinde çalıştırılmıştır. Osiloskopta yapılan ölçüm sonucu Şekil 4.32'de gösterildiği gibi sinyal elde edilmiştir.



Şekil 4.32. Fonksiyon jeneratör devre osiloskop ölçümü

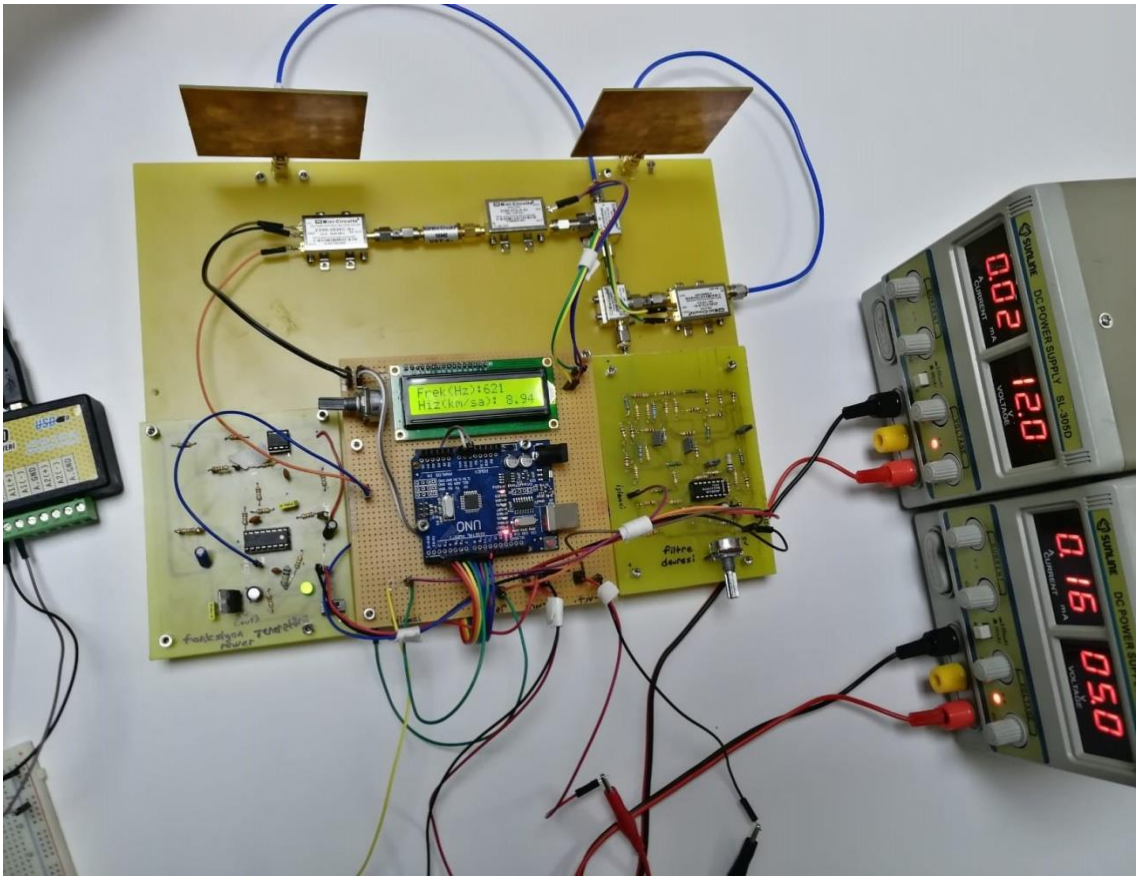
Radar sisteminin 2,4 GHz çalışma frekansına optimize edilmiş hali Şekil 4.33'de gösterildiği gibidir.



Şekil 4.33. Radar sisteminin akış diyagramı

Modülatör devresi tarafından üretilen 3 volt seviyesindeki ramp sinyalinin voltaj kontrollü osilatöre (VKO) bağlantısı yapılarak sürekli sinyalin elde edilmesi sağlanmıştır. VKO'dan gelen RF sinyali ilk olarak zayıflatılır. Daha sonra RF sinyali, yükselteç (DGY) ile gücü yükseltilerek güç ayırıcıya verilir. Burada yükselteci, yüksek güçlü RF sinyalinden korunmak amacıyla zayıflatıcı kullanılmıştır. Yükseltece gelen zayıflatılmış sinyalin verici anten aracılığıyla belirli bir mesafedeki hedefe götürülebilmesi için yeterli seviyede güce sahip olması gereklidir. Voltaj kontrollü osilatörden gelen sinyal yeterince güçlü değildir. Ayrıca hedeften yansıyan sinyalin gücü çok düşük seviyede olacağından alıcı antene ulaşması ve karıştırıcı tarafından işlenmesi mümkün olamayacaktır. Dolayısı ile hem verici hem de alıcı antende yükselteç kullanılmıştır. Yükselteç, sinyalin verici antene gönderilmeden önce, alıcı antende ise hemen sonra kullanılmıştır. Sistemde Şekil 4.33'de görüldüğü gibi 2 adet yükselteç kullanılmıştır. Alıcı anten aracılığıyla hedeften yansıyan sinyal, referans

sinyali olan 2,4 GHz ile karıştırıcı devresinde modülasyon işlemine tabi tutulmuştur. Dolayısıyla voltaj osilatör çıkışında oluşan RF sinyali, verici anten aracılığıyla hedefe gönderilirken, aynı zamanda çarpım işleminin gerçekleşmesi için karıştırıcıya gönderilmiştir.

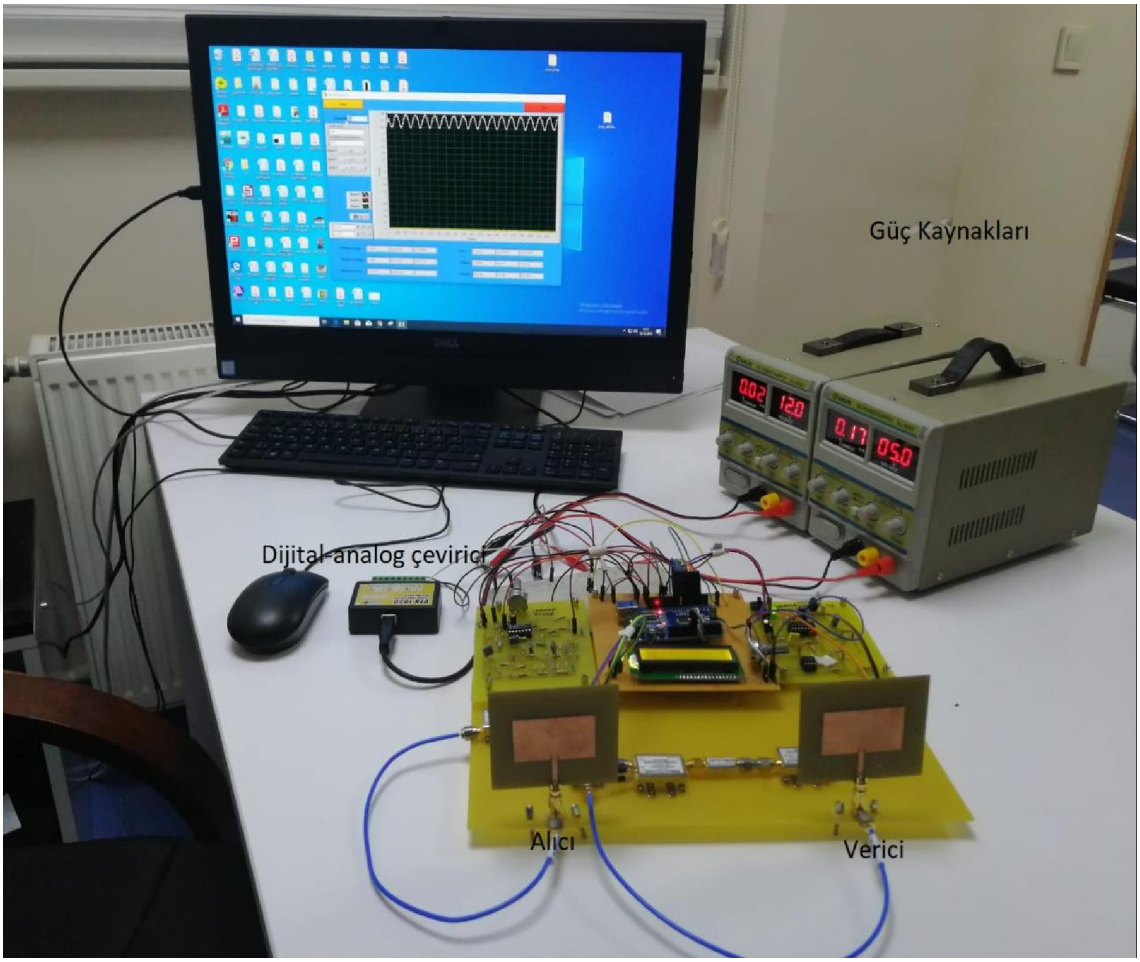


Şekil 4.34. Radar sisteminin üstten görünümü

Sistemin testleri yapıldıktan sonra Şekil 4.34'te görüldüğü gibi montaj işlemi yapılmıştır. Karıştırıcıdan çarpım işleminin sonucunda elde edilen sinyal doppler frekansının elde edilmesi amacıyla fitre devresine bağlanmıştır. Opampın giriş kısmına iletilen sinyal filtre işleminden sonra işlemciye bağlanmıştır.

4.5. Hareketli Nesnenin Veri Toplama Kartı İle Bilgisayarda Algılanması

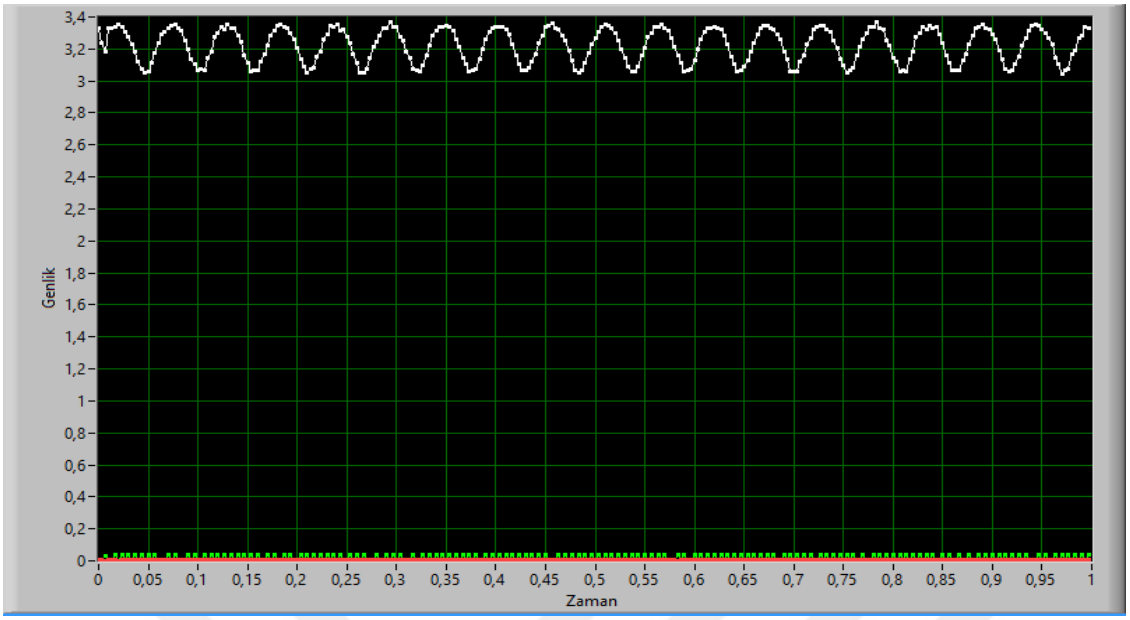
Radar sisteminin montaj ve test işleminin bitmiş hali Şekil 4.36'da gösterilmiştir. Sistemin alıcı ve verici antenleri hedefe simetrik bir şekilde bağlantısı yapılmıştır. Buna ek olarak filtre çıkışına dijital analog çevirici bilgisayara USB port aracılığıyla bağlantısı yapılmıştır.



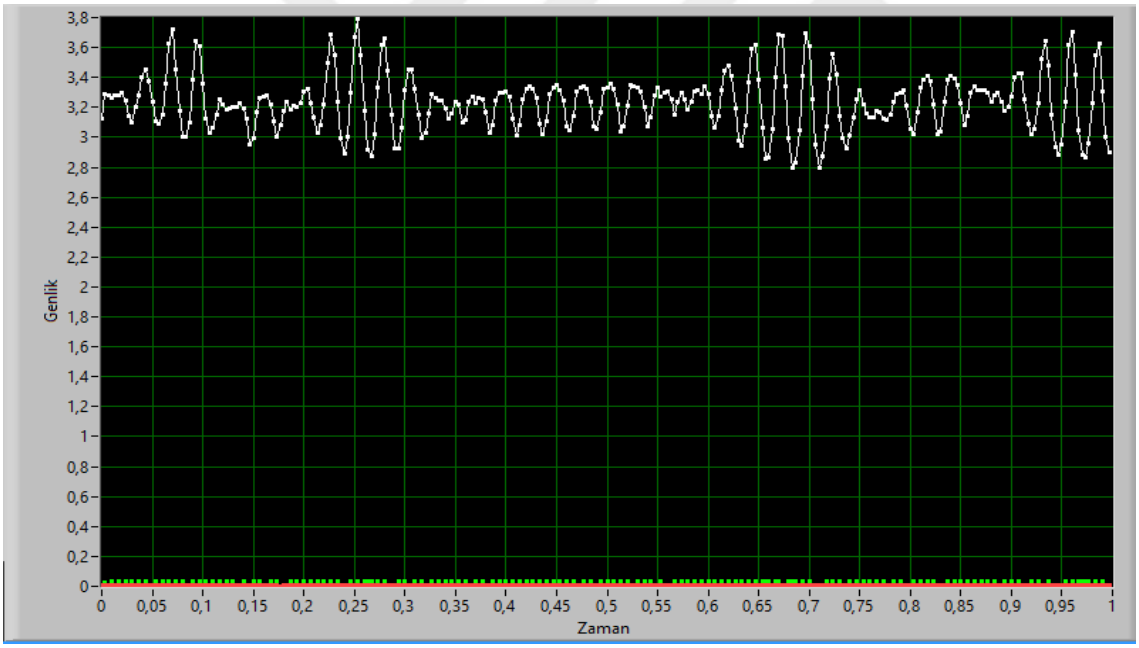
Şekil 4.35. Radar sisteminin veri toplama kartı ile bilgisayara bağlantısı

Alıcı ve verici antenlerin 50 cm uzaklığında hareket ettirilen alüminyum kaplı bir engel konularak test edilmiştir. Alıcı ve verici antenlerden gelen sinyaller radar sisteminde filtreleme işlemine tabi tutularak sinyalin zaman domeninde ve işlemci ile hareket hızı gözlemlenmiştir.

Hedef uzaklaşırken zaman domeninde genliğin Şekil 4.36'da görüldüğü gibi azaldığı görülmüştür. Şekil 4.37'de ise hedefin yakınlaşırken zaman domeninde genliğin artığı gözlemlenmiştir.



Şekil 4.36. Hedefteki nesne uzaklaşırken



Şekil 4.37. Hedefteki nesne yakınlaşırken

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada biyomedikal uygulamalarda kullanılabilecek bir radar sistemi tasarlanması amaçlanmıştır. Bunun için öncelikle radarın en önemli bileşenlerinden birisi olan anten için, CST simülasyon programı ile bir mikroşerit anten ve mikroşerit dizi anten tasarımı, optimizasyonu ve gerçekleştirilmesi yapılmıştır. Antenler, performansları iyileştirilerek istenen çalışma frekansında tasarlanmıştır. Bundan sonra Charvat ve ark. (2011) yapmış olduğu bir çalışmadan esinlenerek radar sistemi gerçekleştirilmeye çalışılmıştır. Bunun için gerekli mikrodalga elemanları (VKO, DGY, Zayıflatıcı, karıştırıcı, güç ayırıcı) yurt dışından (mini-circuit firmasından) temin edilmiştir. Radar sistemi için gerekli besleme devresi, modülatör devresi, alçak geçiren filtre devresi gerçekleştirilmiştir. Modülatör devresinden elde edilen sinyal ile mikrodalga elemanlarının senkronizasyonu sağlanmıştır. Mikrodalga elemanlarından gelen sinyal alçak geçiren filtre devresine gönderilmiş olup istenen kesme frekansı elde edilmiştir. En sonunda tüm sistem bir araya getirilerek ve bir veri toplama kartı kullanılarak sistem çalışır hale getirilmiştir.

Gerçekleştirilen antenler önünde (50 cm mesafede) ileri geri hareket ettirilen bir nesne varlığında, bilgisayar ekranında bu nesnenin hareketleri incelenmiştir. İleri ve geri yönde yapılan nesne hareketleriyle bilgisayar ekranında zaman domeninde genlikte gerçekleşen değişimler gözlemlenmiştir. Sonuç olarak nesne hareketleri algılanmış olup genlikte meydana gelen değişimlere göre bu hareketlerin yorumlanabileceği saptanmıştır.

Gerçekleştirilen bu radar sisteminin, ileriki çalışmalarda nefes alış veriş sırasında göğüs hareketlerinin izlenebilmesi, kalp atış hızının algılanması gibi temel yaşam fonksiyonlarının takibi çalışmalarında kullanılması amaçlanmaktadır.

6. KAYNAKLAR

Alsager A. F. 2011. Design and Analysis of Microstrip Patch Antenna Arrays. Yüksek lisans tezi, University College of Borås School of Engineering SE-501 90 Boras.

Antesky Science Technology, 2015. Principle&Design of Parabolic Antenna-Prime Focus Antenna. Erişim: http://www.antesky.com/principledesign-of-parabolic-antenna-prime-focus-antenna/ , Erişim Tarihi: 08.07.2019

Ashikur R., Ehsan Y.i., Xiaomeng G., Victor L., and Olga B. 2015. Signal Processing Techniques for Vital Sign Monitoring Using Mobile Short Range Doppler Radar. 2015 IEEE Topical Conference on Biomedical Wireless Technologies, Networks, and Sensing Systems (BioWireleSS) July 2015. University of Hawaii at Manoa, Honolulu, Hawaii, USA.

Asokan V., Thilagam S., Vinoth K. 2015. Design and Analysis of Microstrip Patch Antenna for 2.4GHz ISM Band and WLAN Application. Ieee Sponsored 2nd Internatıonal Conference On Electronıcs And Communıcatıon System (Icecs 2015). June 2015. Coimbatore, India.

Bahl, I.J. and Bhartia, P. 1980. Microstrip Antennas, Artech House, Dedham, MA.

Balanis, C.A. 2015. Antenna theory: analysis and design. Wiley, New Jersey, USA, 405.

Balanis, C.A. 1989. Advanced Engineering Electromagnetics, John Wiley & Sons, New York.

Bhalla D. and Bansal K. 2013. Design of a Rectangular Microstrip Patch Antenna Using Inset Feed Technique***. Journal of Electronics and Communication Engineering (IOSR-JECE)***, 7(4): 08-13.

Chandravilash R. And Sonu L. 2017. Optimization of H-Shape Micro strip Patch antenna Using PSO and Curve Fitting. ***International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology***, 5 (10): 993-996.

Chavart L. G., Jonathan H. W., Alan J. F., Steve K. and Jeffrey S. H. 2011. Build a Small Radar System Capable of Sensing Range, Doppler, and Synthetic Aperture Radar Imaging. Presented at the 2011 MIT Independent Activities Period (IAP). January 2011.

Doppler Radar Definition, 2017. What is Doppler Radar? - Definition & Uses. Antenna. Erişim: https://study.com/academy/lesson/what-is-doppler-radar-definition-uses.html , Erişim Tarihi: 10.07.2019

Errifi A., Baghdad A., Badri A. 2014. Design and Optimization of Aperture Coupled Microstrip Patch Antenna Using Genetic Algorithm. ***International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology,*** 3 (5): 12687-12694.

Garg, R., Bhartia, P., Bahl, I., Ittipiboon, A. 2001. Microstrip Antenna Design Handbook, Artech House, Norwood.

Hailong L. 2014. Evaluation of two Doppler radar systems for proximity sensing. Yüksek lisans tezi, Faculty Of Engıneerıng And Sustaınable Development 881231-4097.

Hammerstad, E.O. 1975. Equations for Microstrip Circuit Design, Proc. Fifth European Microwave Conf., September 1975 pp. 268-272.

Hansen G. V. 1993. Optimum Pulse Doppler Search Radar Processing and practical Approximations. International Conference Radar-82 IEEE Conference Publication,Sep.1993, NO.216,Vol.39,Nr 15,pp.543-548.

Harrington. R.F. 1968. Field Computation by Moment Methods, Macmillan, New York.

Islam M. T., Moniruzzaman M., Misran N. and Shakib M. N. 2009. Curve Fitting Based Particle Swarm Optimization for UWB Patch Antenna. ***Journal of Electromagnetic Waves and Applications.*** 22(2): 195-205

James, J.R. and Hall, P.S. 1989. Handbook of Microstrip Antennas, Vols 1 and 2, Peter Peregrinus, London, UK.

Jayasınghe J., Jaume A., Uduwawala D. 2013. Genetic Algorithm Optimization of a High-Directivity Microstrip Patch Antenna Having a Rectangular Profile. ***Radioengineerıng,*** 22(3):700-707

Jayasinghe J. and Uduwawala D. 2013. Optimization of the performance of patch antennas using genetic algorithms. ***Journal of the National Science Foundation of Sri Lanka,*** 41 (2):113-120.

Kantorovich, L. and Akilov, G. 1964. Functional Analysis in Normed Spaces, Pergamon, Oxford, pp. 586-587.

Kaschel H. and Ahumada C. 2018. Design of Rectangular Microstrip Patch Antenna for 2.4 GHz applied a WBAN. 2018 IEEE International Conference on Automation/XXIII Congress of the Chilean Association of Automatic Control (ICA-ACCA). January 2019. pp. 1-6.

Kumar, G. and Ray K.P. 2003. Broadband Microstrip Antennas, Artech House, Norwood.

Lin, A., Ling, H. 2007. Doppler and direction-of-arrival (DDOA) radar for multiple-mover sensing. ***IEEE Trans. Aerosp. Electron. Syst.,*** 43 (4): 1496-1509.

Makarov S.N. 2002. Antenna and EM Modeling with MATLAB, John Wiley & Sons, 208.

Malay G., Bhaskar G., Pinaki M., Suvrajit M., Udit S. 2015. Design Optimization of Microstrip fed Rectangular Microstrip Antenna Using Differential Evolution Algorithm. 2015 IEEE 2nd International Conference on Recent Trends in Information Systems (ReTIS). July 2015.

Mehrdad N. and Tavassolian N. 2017. Effects of Antenna Characteristics on the Performance of Heart Rate Monitoring Radar Systems. ***IEEE Transactıons On Antennas And Propagatıon***, 65 (6): 3296-3301.

Mensa, D. L. Halevy, S., Wade, G. 1983. Coherent Doppler Tomography for Microwave ***Imaging. Proceedings of the IEEE***, 71 (2): 254 – 261.

Mini-Circuits, 2009. MMIC Die to High Power Instrumentation Amplifiers from DC to 44 GHz. Erişim: https://www.minicircuits.com/homepage/homepage.html , Erişim Tarihi: 08.07.2019

Mishra R.G., Mishra R., Kuchhal P., Kumari P., Bidholi P.O. and Nagar V. P. 2018. Analysıs Of The Mıcrostrıp Patch Antenna Desıgned Usıng Genetıc Algorıthm Based Optımızatıon For Wıde-Band Applıcatıons. ***International Journal of Pure and Applied Mathematics***, 118 (11): 841-849.

Nancy G., Jyoti S. and Kamaljit S. B. 2017. Design optimization of CPW-fed microstrip patch antenna using constrained ABFO algorithm. ***Methodologies and Application***, 22(24):8301-8315.

Nwalozie G.C., Okezie C.C., Ufoaroh S.U. and Nnebe S.U. 2013. Design and Performance Optimization of a Microstrip Antenna. ***International Journal of Engineering and Innovative Technology (IJEIT)***, 2 (7): 380-387.

Priyanka J., Vikas M., Vandana T. 2016. Mıcro Strıp Patch Antenna Optımızatıon Usıng Genetıc Algorıthm. ***International Journal of Engineering Applied Sciences and Technology***, 2(2): 30-33.

Qian Y. 1999. A Microstrip Patch Antenna using novel photonic bandgap structures, ***Microwave Journal***, 42(1): 66-76.

Raoul O. O., Edward J. R., Alejandro R. D., Kazuko F., and Andrew T. 2012. Miniaturization of Patch Antennas Using a Metamaterial-Inspired Technique. ***IEEE transactıons on antennas and propagatıon***, 60 (5);2175-2182.

Renu K. and Tarak N. P. 2017. Optimization of Wired Genetic Antenna Using Genetic Algorithm. ***IOSR Journal of Computer Engineering (IOSR-JCE)***, 19 (2): 28-35.

Salbani M. F., Abdul H. M. A., Jahidin A. H., and Megat A. 2011. Helical Antenna Design for Wireless Power Transmission: A Preliminary Study. 2011 IEEE International Conference on System Engineering and Technology (ICSET). 978-1-4577-1255-5/11.

Skolnik M. 2002. Introduction to Radar Systems, ch. 1: An Introduction to Radar, pp. 1–29. McGraw-Hill, 3rd ed., 1, 3, 18, 19.

Stutzman, W.L. and Thiele, G.A. 1998. Antenna Theory and Design, John Wiley & Sons, Inc.

Swarnaprava S., Laxmi P.M. and Mihir N. M. 2016. Optimization of Z-Shape Microstrip Antenna with I- slot Using Discrete Particle Swarm Optimization (DPSO) Algorithm. 2nd International Conference on Intelligent Computing, Communication & Convergence (ICCC-2016) Srikanta Patnaik, Editor in Chief Conference Organized by Interscience Institute of Management and Technology Bhubaneswar, Odisha, India. Procedia Computer Science 92 (2016) 91 – 98.

Ulaby, F.T. 1999. Fundamentals of Applied Electromagnetics, Prentice Hall.

Valdez A. Almeida F., Antonio L. P. S. 2014. Performance Optimization of Microstrip Antenna Array Using Frequency Selective Surfaces. ***Journal of Microwaves, Optoelectronics and Electromagnetic Applications***, 13 (1):31-46.

Vivekananda L. S. 2009. Pattern Analysis of The Rectangular Microstrip Patch Antenna. Yüksek lisans tezi, University College of Boras School of Engineering SE-501 90 Boras.

Werner W. 2010. Radar Systems Engineering. Institut für Hochfrequenztechnik und Elektronik Kaiserstraße 12 D-76131. pp. 13. Karlsruhe.

Yee S. L., Pubudu N. P., Chrıstopher L. S. And Terry C. 2014. Monitoring and Analysis of Respiratory Patterns Using Microwave Doppler Radar. ***İEEE Journal of Translational Engineering in Health and Medicine***, 2:2168-2180.

EKLER

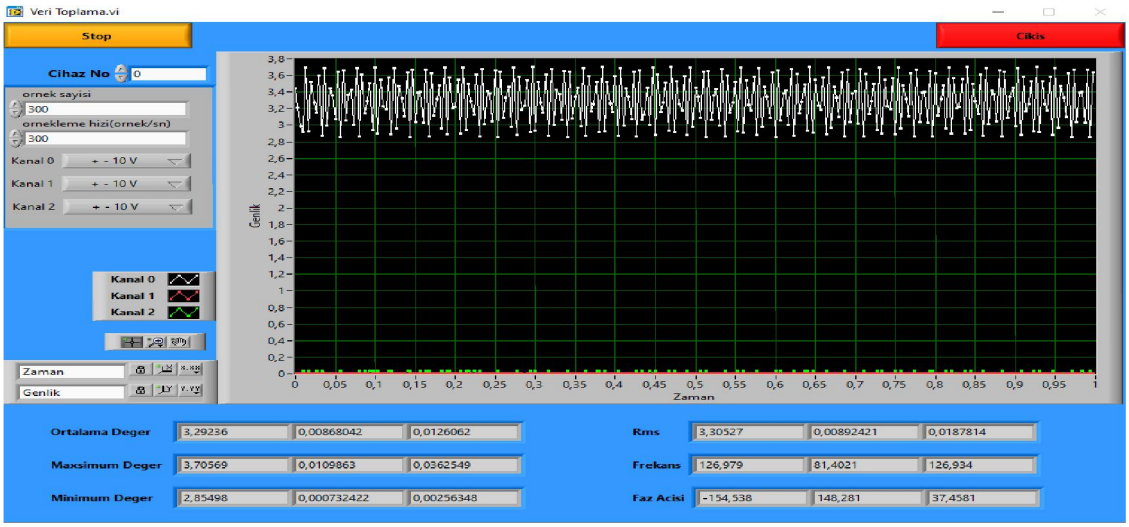
EK-1: Dijital Analog Çevirici Cihazı İle İlgili Bilgiler

3 kanallı bir ölçüm olarak mevcut olan VTK 1050 analog giriş kartı, saniyede 1050 numunede veri toplayabilir. VTK 1050, Windows işletim sistemiyle uyumludur. VTK 1050 bilgisayara USB ile bağlanır. Analog-dijital çevirici verileri anında görüntüleyen ve istenirse, kütüphanedeki mevcut arabirim sayesinde Microsoft Office Windows İşletim Sistemlerine kayıt olan bir VTK ürünleri ailesidir. VTK 1050 ürünü, topladığı verilerin görselleştirilmesinin yanı sıra, seçilen örnek sayısına göre verileri analiz eder ve raporlar.



Şekil 3.4. VTK 1050 dijital- analog çevirici

Radar sisteminden elde edilen anlık veriler, Şekil 3.4'te gösterilen VTK 1050 dijital-analog çevirici ile bilgisayara USB port aracılığıyla bağlantısı yapılarak Şekil 3.5'teki gibi işlenir.

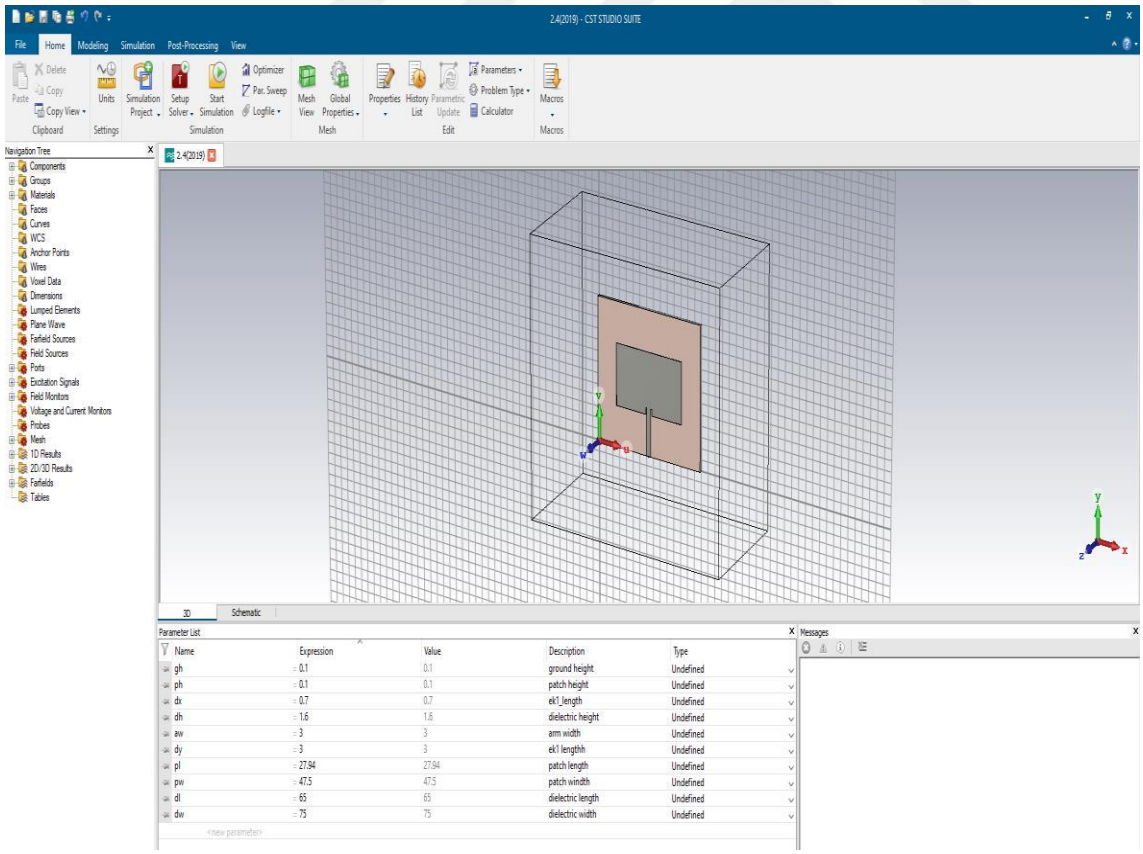


Şekil 3.5. VTK 1050 ara yüz görüntüsü

EK-2: CST Studio Suite Programı İle İlgili Bilgiler

CST Studio Suite, dünyanın önde gelen teknoloji ve mühendislik firmalarında kullanılmaktadır. Daha kısa gelişim döngüleri ve düşük maliyetler sağlayarak, piyasa avantajlarına önemli bir ürün sunmaktadır. Elektromanyetik spektrumundaki uygulamalar için elektromanyetik alan çözücüler, CST programındaki kullanıcı ara yüzü içinde bulunur. Bu program simülasyonlar gerçekleştirmek üzere birleştirilebilir ve mühendislere çoklu bileşenlerden oluşan tüm sistemleri verimli bir şekilde analiz etme esnekliği sağlar. Elektromanyetik analizinin ortak konuları arasında antenler, filtrelerin performansı, elektromanyetik uyumluluk vardır.

CST programı sayesinde sinyalin iletim sırasında meydana gelen yol kayıpları, iletilen sinyalin kalitesi, empedans uyumsuzluğundan kaynaklanan kayıplar, parazitlik ve özellikleri gibi önemli veriler CST programı sayesinde elde edilir. CST programında hem tasarım hem de simülasyon işlemi yapılır. Şekil 3.6'da görüldüğü gibi anten tasarımı işlemi yapılmıştır.

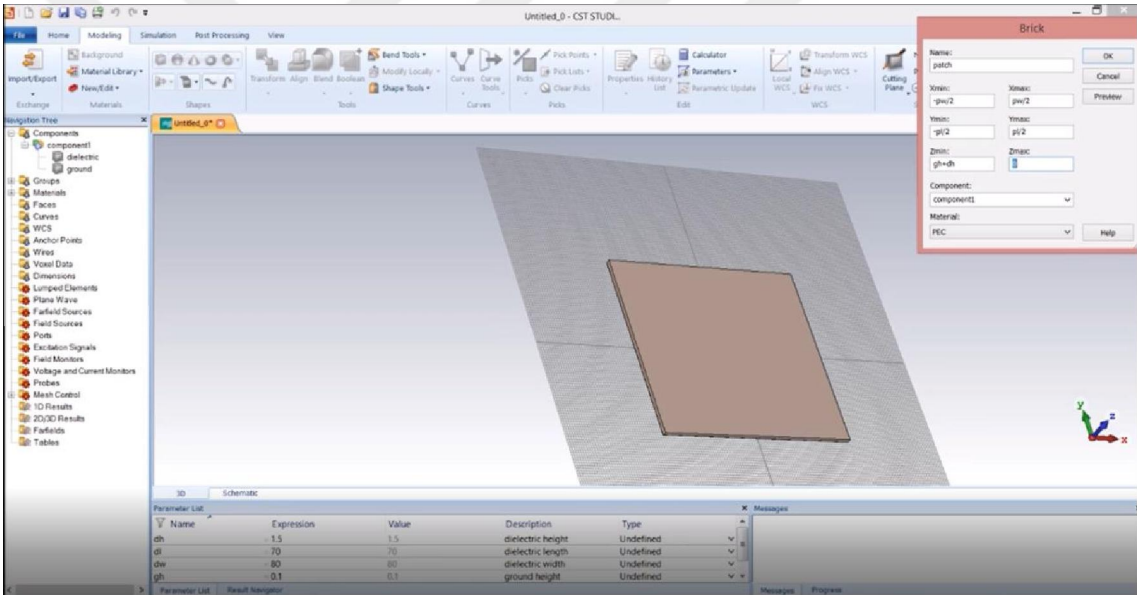


Şekil 3.6. CST programı anten tasarımı görüntüsü

Tasarım yapılırken önce antenin tasarım parametreleri dikkate alınır gerekli işlemler yapılarak antenin geometrik boyutları hesaplanır. Ardından CST programından yeni bir proje oluştur. Oluşturulan bu yeni proje sayfası ile antenin ilk toprak kısmı koordinat düzleminde ölçüleri programa girilir. Ardından kullanılan dielektrik malzemenin yüksekliği programa girilir. Dielektrik malzeme yüksekliğinden hemen sonra hesaplanan yama boyutları programa kaydedilir. Son olarak seçtiğimiz beslemeye göre antenin besleme kısmının verileri işlenir. İşlem adımları kısacası:

- **CST** > **Open** > **Shapes** işlemi seçilir.
- **Creat the box** > **Brick** > **New Parameter** işlemler sırasıyla uygulanarak

toprak yüzey alanı, di-elektrik malzeme yüksekliği, yama tasarımı ve antenin besleme kısmı dizaynı program neticesinde tasarlanmış olur.

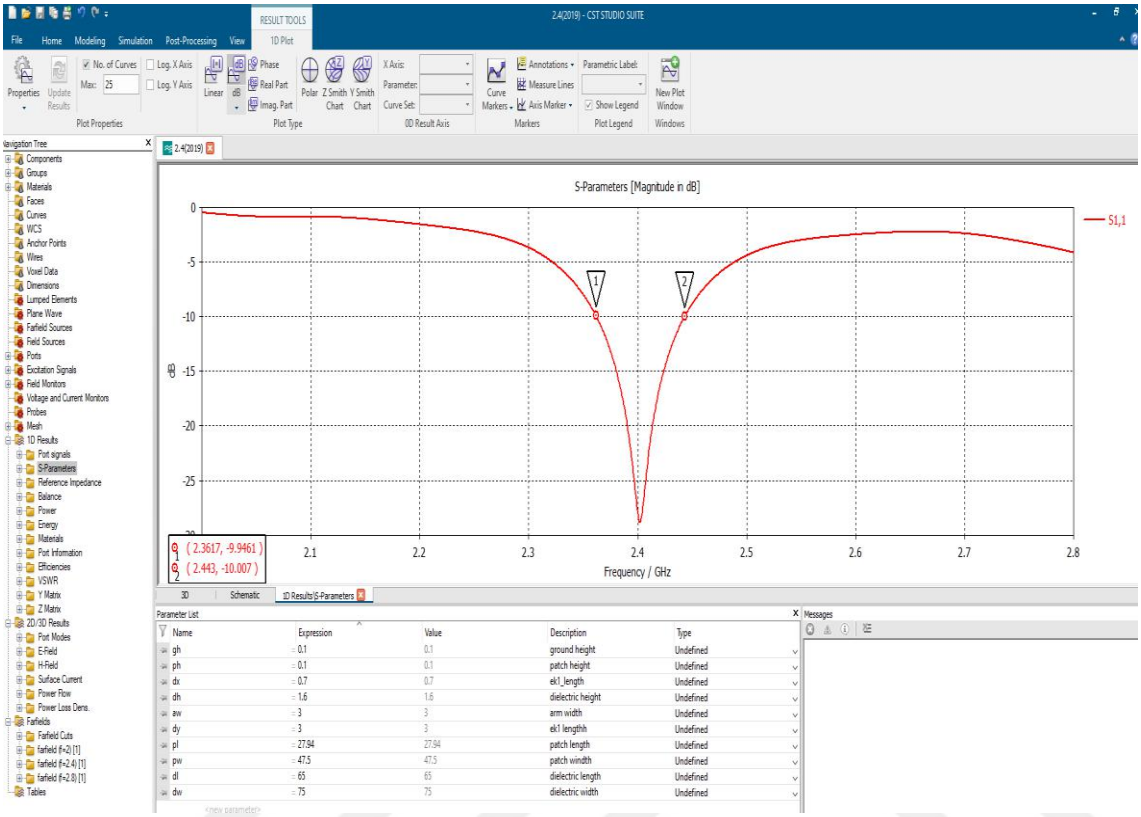


Şekil 3.7. CST programı anten tasarımı görüntüsü

Şekil 3.7'de anten parametrelerinin girişi yapılarak antenlerin tasarımı yapılmıştır. Tasarım işlemi bittikten sonra simülasyon işlemine geçilir. Simülasyon sanal prototipleme kullanımını sağlar. Cihaz performansı optimize edilebilir, tasarım sürecinin başlarında potansiyel uyumluluk sorunları tespit edilebilir ve hafifletilebilir. Simülasyon işlem adımları:

- **Simulation** > **Setup Solver** > **Accuracy** işlem adımları izlenir.
- **Normalize to field impedence** > **Start** > **Navigation Tree** seçilir.

Simülasyon işlem adımları tamamlandıktan sonra programın Navigation Tree bölümündeki sonuçlar incelenir.



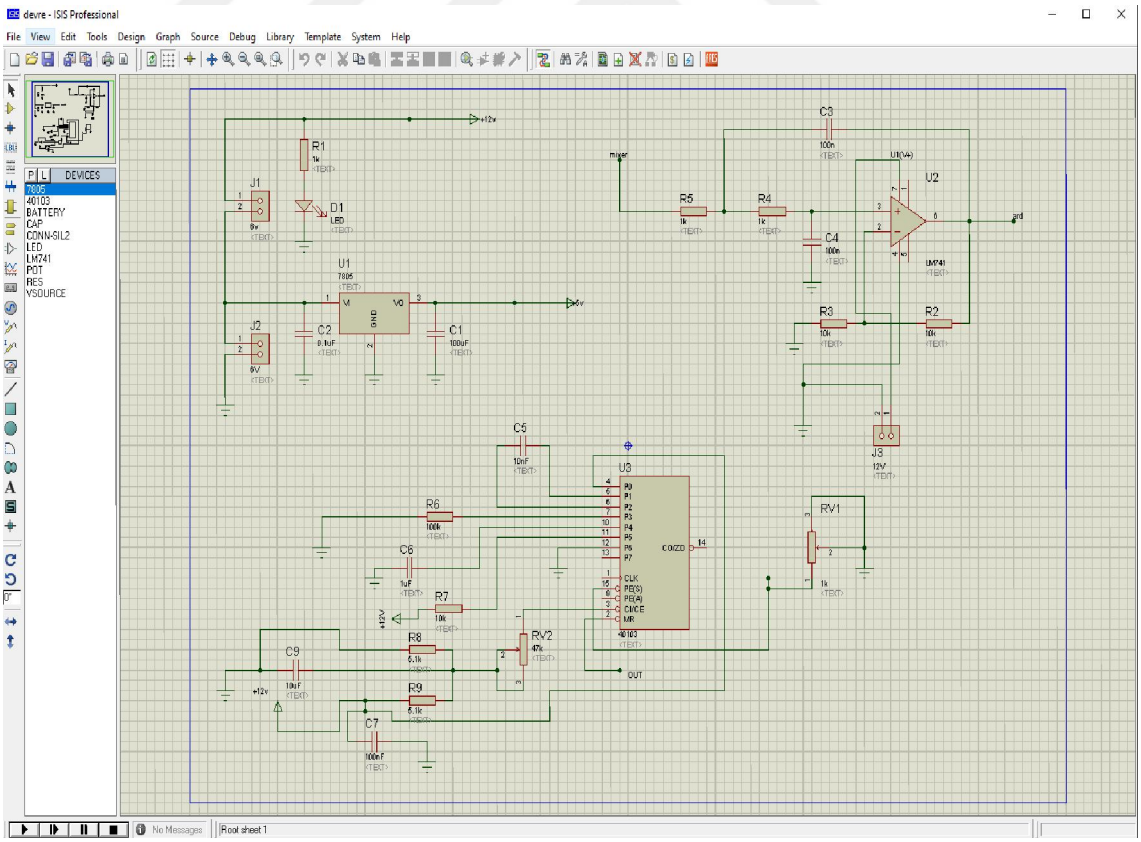
Şekil 3.8. CST programı simülasyon görüntüsü

Simülasyon işleminde S11 parametreleri, kazanç, yönlülük, duran dalga oranı gibi anten performansları incelenir. Şekil 3.8'de S11 parametrelerinin simülasyon sonuçları gösterilmiştir. Simülasyon sonuçlarının arzu edilen çalışma düzeyinde olmadığı gözlemlenmiştir. Bunun üzerine mikroşerit antenlerin geometrik boyutlarında yapılan matematiksel değişimlerle simülasyon işlemleri tekrarlanıp arzu edilen seviyeye getirilip radar sistemiyle optimize edilmiştir.

EK-3: Proteus Programı İle İlgili Bilgiler

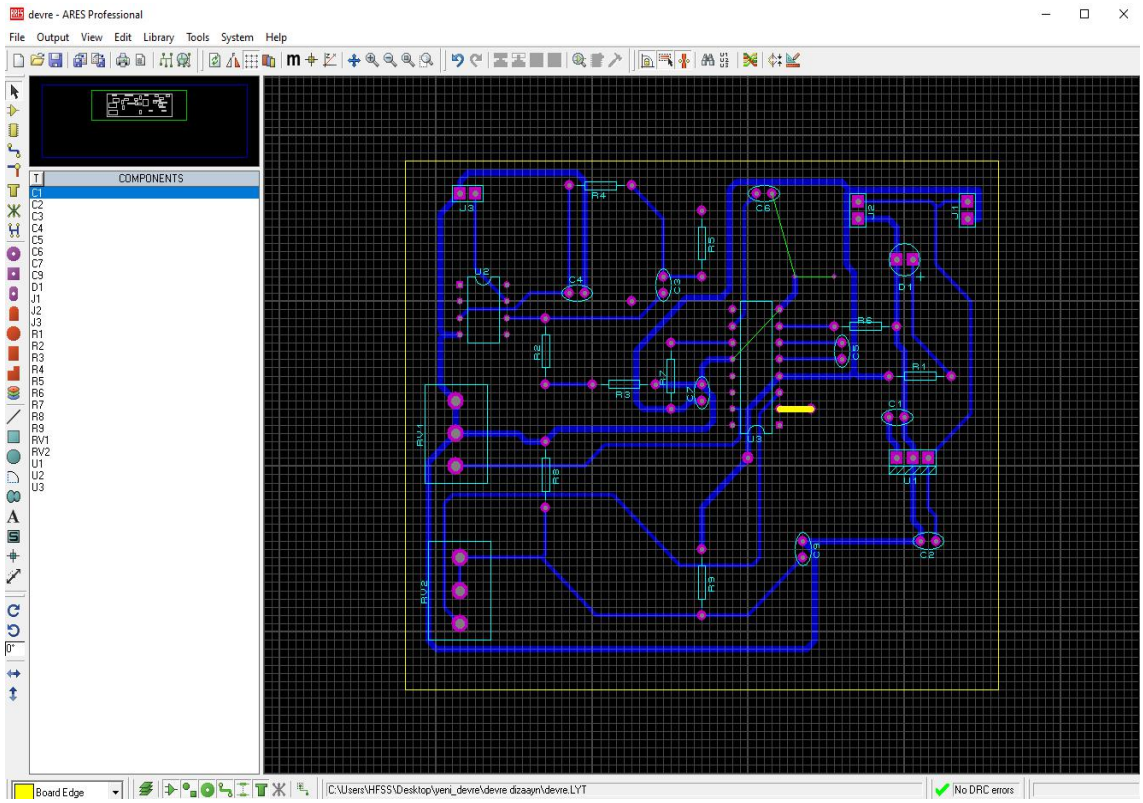
Proteus programı sanal sistem modelleme ve devre simülasyon uygulamasıdır. Bu paket, eksiksiz mikro denetleyici tabanlı tasarımların birlikte simülasyonunu kolaylaştırmak için karışık devre simülasyonunu, hareketli bileşenleri ve mikroişlemci modellerini birleştirir. Proteus ayrıca bir mikro denetleyici üzerinde çalışan yazılım ile buna bağlı herhangi bir analog veya dijital elektronik arasındaki etkileşimi simüle etme yeteneğine de sahiptir. Giriş / Çıkış portlarını, kesintileri, zamanlayıcıları ve her bir işlemcide bulunan diğer tüm çevre birimlerini simüle eder.

Proteus programı yapısal olarak iki kısımdan oluşur. Bunlar ISIS ve ARES kısımlarıdır. Proteus programının ISIS kısmında devre şeması dizaynı ve simülasyon işlemleri yapılır. Bu kısımda devrede kullanılacak olan komponentler kütüphaneden seçilir. Seçilen bu komponentlerin datasheet verilerine bakılarak devre bağlantıları yapılır. Devrenin bağlantı ve varsa yazılım yükleme işleminden sonra simülasyon işlemi yapılır. Şekil 3.9'da ISIS'te çizilen devre şeması örneği gösterilmiştir.



Şekil 3.9. Proteus programı ISIS görüntüsü

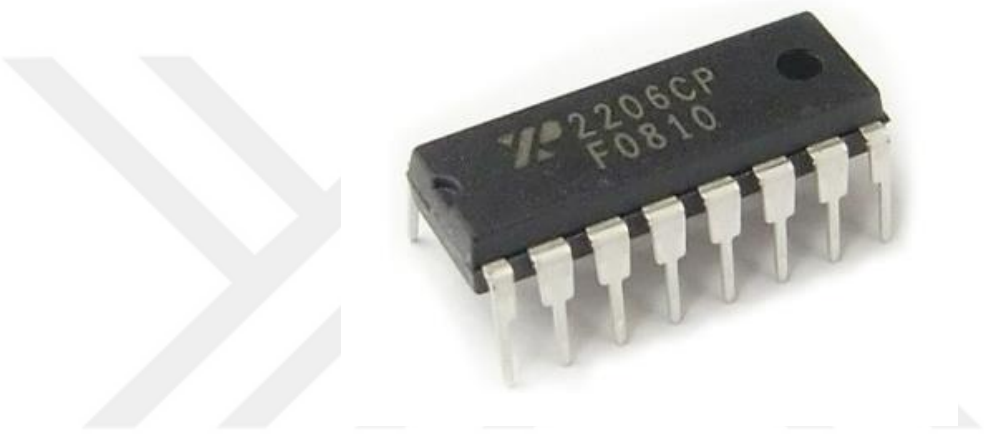
Proteus programının ARES kısmında baskı devre dizaynı işlemi yapılır. Baskı devre dizaynı yapılırken devrede kullanılan materyallerin dizilim sırası ve iletken yolların bağlantıları çizilir. Şekil 3.10'da ARES'te çizilen baskı devre örneği gösterilmiştir.



Şekil 3.10. Proteus programı ISIS görüntüsü

EK-4: Fonksiyon Jeneratörü ve Mikrodalga Elemanları İle İlgili Bilgiler

XR-2206CP fonksiyon jeneratörü yüksek kalitede sinüs, kare, üçgen, rampa ve yüksek stabilite ve hassasiyette darbe dalga formları üretebilen yekpare bir fonksiyon üreteci entegre devredir. Çıkış dalga formları, bir harici voltaj tarafından modüle edilen hem genlik hem de frekans olabilir. Çalışma sıklığı, harici olarak 0,01 Hz ila 1 MHz'den fazla bir aralıkta seçilebilir. Şekil 3.11'de XR2206CP fonksiyon jeneratörü entegresi gösterilmiştir.



Şekil 3.11. XR2206CP fonksiyon jeneratörü

XR2206CP entegresi teknik özellikleri:

- Düşük Sinüs Dalga Distorsiyonu → % 0,5,
- Mükemmel Sıcaklık Kararlılığı → 20ppm / ° C, Tip,
- Geniş Tarama Aralığı → 2000: 1, Tipik,
- Düşük Beslemeli Hassasiyet → % 0.01 V, Tip,
- Doğrusal Genlik Modülasyonu,
- TTL Uyumlu FSK Kontrolleri,
- Geniş Besleme Aralığı → 10V - 26V.

ZX95-2536C-S+ voltaj kontrollü bir osilatör (VCO) Voltaj kontrollü bir osilatör (VCO), salınım frekansı bir voltaj girişi tarafından kontrol edilen elektronik bir osilatördür. Uygulanan giriş voltajı anlık salınım frekansını belirler. Şekil 3.12'de ZX95-2536C-S+ mikrodalga elemanı gösterilmiştir.



Şekil 3.12. ZX95-2536C-S+ mikrodalga elemanı

ZX95-2536C-S+ mikrodalga elemanı teknik özellikleri:

- Çalışma Frekansı → 2315 - 2536 MHz,
- Çalışma Voltajı → 5V,
- Çalışma Sıcaklığı → -55 ° C ile 85 ° C arası,
- Depolama Sıcaklığı → -55 ° C ila 100 ° C arası,
- Mutlak Max. Besleme Gerilimi → (Vcc) 5.6V,
- Mutlak Max. Tuning Gerilimi → (Vtune) 7.0V.

15542 VAT-3+ zayıflatıcı RF zayıflatıcılar sinyali zayıflatır. Şekil 3.13'de 15542 VAT-3+ mikrodalga elemanı gösterilmiştir.



Şekil 3.13. 15542 VAT-3+ mikrodalga elemanı

15542 VAT-3+ mikrodalga elemanı teknik özellikleri:

- Çalışma Frekansı → 0 – 6000 MHz,
- Çalışma Voltajı → 5V,
- Çalışma Sıcaklığı → -45 ° C ile 100 ° C arası,
- Depolama Sıcaklığı → -55 ° C ila 100 ° C arası,
- Direnci → 50 ohm.

ZX60-272LN-S+ düşük gürültülü amplifikatörü (LNA), sinyal-gürültü oranını önemli ölçüde düşürmeden çok düşük güçte bir sinyali yükselten elektronik bir amplifikatördür. Şekil 3.14'te ZX60-272LN-S+ mikrodalga elemanı gösterilmiştir.



Şekil 3.14. ZX60-272LN-S+ mikrodalga elemanı

ZX60-272LN-S+ mikrodalga elemanı teknik özellikleri:

- Çalışma Frekansı → 2300 – 2700 MHz,
- Çalışma Voltajı → 5V,
- Çalışma Sıcaklığı → -45 ° C ile 100 ° C arası,
- Depolama Sıcaklığı → -55 ° C ila 100 ° C arası,
- Direnci → 50 ohm,
- Ultra düşük gürültü seviyesi → 0,8 dB,
- Çıkış gücü → +18.5 dB 'ye kadar.

ZX10-2-42-S+ güç ayırıcı RF güç bölücüler tek bir RF hattını birden fazla satıra bölmek ve gücü bölmek için kullanılır. Şekil 3.15'te ZX10-2-42-S+ mikrodalga elemanı gösterilmiştir.



Şekil 3.15. ZX10-2-42-S+ mikrodalga elemanı

ZX10-2-42-S+ mikrodalga elemanı teknik özellikleri:

- Çalışma Frekansı → 1900 – 4200 MHz,

- Çalışma Voltajı → 5V,
- Çalışma Sıcaklığı → -40 ° C ile 85 ° C arası,
- Depolama Sıcaklığı → -55 ° C ila 100 ° C arası,
- Direnci → 50 ohm,
- Güç Girişi → 1.0 W.

ZX05-43MH-S+ frekans karıştırıcı doğrusal olmayan bir cihazdır. Mikserin girişinde iki farklı frekansın uygulanmasında bir dizi frekans üretir. Şekil 3.16'da ZX05-43MH-S+ mikrodalga elemanı gösterilmiştir.



Şekil 3.16. ZX05-43MH-S+ mikrodalga elemanı

ZX05-43MH-S+ mikrodalga elemanı teknik özellikleri:

- Çalışma Frekansı → 824 – 4200 MHz,
- Çalışma Voltajı → 5V,
- Çalışma Sıcaklığı → -40 ° C ile 85 ° C arası,
- Depolama Sıcaklığı → -55 ° C ila 100 ° C arası,
- Direnci → 50 ohm,
- RF Güç → 50 mW.

ÖZGEÇMİŞ

Adı ve Soyadı: Şahin YILDIZ
Doğum Yeri: DİYARBAKIR
Doğum Tarihi: 21/04/1992
Medeni Hali: Bekar
Yabancı Dili: İngilizce

Eğitim Durumu(Kurum ve Yıl):

Lise: Rekabet Kurumu Anadolu Lisesi / Diyarbakır,2010

Lisans: Dicle Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği / DİYARBAKIR,2015

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl:

Dicle Üniversitesi Tıp Fakültesi Hastaneleri E-Elektronik Mühendisi (2017-Halen),Diyarbakır

DİCLE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS TEZ ÇALIŞMASI İNTİHAL RAPORU

ÖĞRENCİ BİLGİLERİ	
ADI VE SOYADI	Şahin YILDIZ
ÖĞRENCİ NO	17805004
EĞİTİM – ÖĞRETİM YILI	2019-2020
YARIYIL	■ Güz ☐ Bahar
ANABİLİM DALI	Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı
PROGRAM	Yüksek Lisans
TEZ KONUSU	Radar Tabanlı Biyomedikal Uygulamalar İçin Sistem Tasarımı Ve Optimizasyonu
İNTİHAL RAPORU BİLGİLERİ	
RAPOR TÜRÜ	Tez Savunma Sınavı Sonrası
SAYFA SAYISI	101
BENZERLİK ORANI	%12
RAPORLAMA TARİHİ	06/11/ 2019

Yukarıda başlığı/konusu gösterilen tez çalışmamın kapak sayfası, giriş, ana bölümler, sonuç ve tartışma kısımlarından oluşan toplam 101 sayfalık kısmına ilişkin, 06/11/2019 tarihinde ~~şahsım~~/tez danışmanım tarafından *turnitin* adlı intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan intihal raporuna göre, tezimin benzerlik oranı % 12 'tür.

Uygulanan filtrelemeler:

☐ Kabul/Onay sayfaları hariç,
☐ Kaynakça hariç
☐ Alıntılar hariç/dâhil
☐ Diğer

Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Programlarda Tez Çalışması İntihal Raporu Uygulama Esasları'nı inceledim ve bu Uygulama Esasları'nda belirtilen azami benzerlik oranlarına göre tez çalışmamın herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edilmesi durumunda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Gereğini saygılarımla arz ederim.

Şahin YILDIZ

06/11/2019
Doç. Dr. M. Bahaddin KURT
Tez Danışmanı

11/11/2019
Doç. Dr. Bilal GÜMÜŞ
Anabilim Dalı Başkanı

Formdaki bilgiler bilgisayar ortamında doldurulmalıdır. El yazısı ile doldurulan formlar geçersiz sayılmaktadır.