

**T.C.
SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

DOPPLER RADAR SİSTEMİ VE ANTEN TASARIMI

Hüseyin AKMAN

**Danışman
Doç. Dr. Mesud KAHRİMAN**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRONİK VE HABERLEŞME MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ISPARTA - 2018**



© 2018 [Hüseyin AKMAN]

TEZ ONAYI

Hüseyin AKMAN tarafından hazırlanan "**Doppler Radar Sistemi ve Anten Tasarımı**" adlı tez çalışması aşağıdaki jüri üyeleri önünde Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı**'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak başarı ile savunulmuştur.

Danışman

Doç. Dr. Mesud KAHRİMAN
Süleyman Demirel Üniversitesi



Jüri Üyesi

Doç. Dr. Özlem COŞKUN
Süleyman Demirel Üniversitesi



Jüri Üyesi

Dr. Öğr. Üyesi Ahmet ÇİFCİ
Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi



Enstitü Müdürü

Prof. Dr. Yasin TUNCER



TAAHHÜTNAME

Bu tezin akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını ve kullanılan tüm literatür bilgilerinin referans gösterilerek tezde yer aldığını beyan ederim.

Hüseyin AKMAN



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER.....	i
ÖZET	iii
ABSTRACT	iv
TEŞEKKÜR.....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	viii
1.GİRİŞ.....	1
2.KAYNAK ÖZETLERİ	3
2.1. Doppler Radar Sisteminin Mesafe Ölçümü İçin Kullanılması Çalışmaları ...	3
2.2. Mikroşerit Anten Tasarımı Çalışmaları	5
3. RADAR SİSTEMLERİ VE ANTENLER	7
3.1. Radar.....	7
3.1.1. Radarın Tarihçesi	7
3.1.2. Radarın Sınıflandırılması.....	8
3.1.3. Doppler Etkisi	9
3.1.3.1. Doppler Radar Frekansı	10
3.1.4. Doppler Radarın Mesafe Değişimi Ölçümünde Kullanılması	13
3.2. Temel Anten Teorisi	14
3.2.1. Temel Anten Parametreleri.....	14
3.2.1.1. Işıma Örüntüsü	15
3.2.1.2. Yönlendiricilik.....	15
3.2.1.3. Giriş Empedansı.....	16
3.2.1.4. Anten Verimi.....	16
3.2.1.5. Geri Dönüş Kaybı (Return Loss, S11).....	17
3.2.1.6. Duran Dalga Oranı(VSWR)	17
3.2.1.7. Kazanç	18
3.2.1.8. Bant Genişliği.....	18
3.2.1.9. Kutuplanma.....	19
3.3. Mikroşerit Antenler.....	20
3.3.1. Mikroşerit Anten Tipleri	20
3.3.1.1. Dikdörtgen Şekilli Mikroşerit Antenler	21
3.3.1.2. Daire Şekilli Mikroşerit Antenler	24
3.3.1.3. Üçgen Şekilli Mikroşerit Antenler.....	25
3.3.2. Mikroşerit Antenin Avantaj ve Dezavantajları.....	26
3.3.3. Anten Besleme Yöntemleri	27
3.3.3.1. Koaksiyel Besleme	27
3.3.3.2. Mikroşerit Besleme	28
3.3.3.3. Yakınlık Bağlantılı Mikroşerit Besleme	30
3.3.3.4. Açıklık Bağlantılı Mikroşerit Besleme.....	31
3.3.3.5. Gömme Besleme.....	31
3.3.3.6. Koplanar Dalga Kılavuzlu Besleme	32
3.3.4. Mikroşerit Antenlerde Besleme Türleri Karşılaştırması.....	33
4. DOPPLER RADAR SİSTEMİ VE ANTEN GERÇEKLENMESİ.....	34
4.1. Anten Tasarımı İçin Benzetim Yazılımı (HFSS).....	36
4.2. Anten Boyutlarının Tespiti.....	38

4.3. Radar Sisteminde Kullanılan Modüller.....	41
4.3.1. RF Alt Sistem	42
4.3.2. Frekans Birleştirici ve Osilatörler	42
4.3.3. Mikser	42
4.3.4. Güç Yükseltici.....	43
4.3.5. Verici Alt Sistem.....	43
4.3.6. Alıcı Alt Sistem.....	44
4.3.7. Sinyal İşleme/Bilgi İşleme/Kontrol Alt Sistemleri	44
4.3.8. Güç Sistemi.....	44
5.ARAŞTIRMA BULGULARI	47
5.1. Anten Sonuçları	48
5.2. Radar Ölçümleri.....	52
6.SONUÇ VE ÖNERİLER.....	58
KAYNAKLAR	61
ÖZGEÇMİŞ.....	66



ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

DOPPLER RADAR SİSTEMİ VE ANTEN TASARIMI

Hüseyin AKMAN

Süleyman Demirel Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Mesud KAHRİMAN

Bu tez çalışmasında 5,8 GHz ISM (Sınai, Bilimsel, Tıbbi) bandında anten karşısında dikey düzlemde cismin yer değiştirmesini algılayabilecek bir devre yapılması planlandı. Gerçekleştirilecek devre için daha önceden kalp sinyallerini ve nefes alıp verirken göğüs kafesinin hareketlerini algılayan doppler radar sistemlerinden faydalanıldı. Doppler radar sistemi oluşturulurken mikser (Hittite-HMC220MS8), güç yükseltici (Hittite- HMC717LP3), gerilim kontrollü osilatör (Hittite- HMC431LP4), kuplör (Tasarlandı ve gerçekleştirildi) ve anten kullanıldı. Daha sonra tasarlanması gereken anten tasarımına geçildi.

İstenen performans kriterlerini karşılayabilen dikdörtgen mikroşerit anten ve mikrostrip besleme tipi 5,8 GHz ISM bandı için tasarlanmış ve dizayn edilmiştir. Dielektrik sabiti $\epsilon_r = 4,25$ ve teğet kaybı $\tan \delta = 0.025$ olan, kolay kurulabilir ve ucuz FR4 referans ve tasarımı anten dizisi substratı için seçilmiştir. Yüzey 1,5 mm dielektrik kalınlığa ve 0,035 mm metal kalınlığa sahiptir. Bu özelliklere sahip dielektrik madde kullanılarak gerçekleştirilen anten 63,5 mm X 57,5 mm boyutlarına ve 5,8 GHz çalışma frekansında -16 dB geri dönüş kaybı ve 5,0603 dB'lik bir kazanca sahiptir.

Anten tasarımı ve gerçekleştirilmesinden sonra devre kurularak cisim anten karşısında birer cm aralıklarla yer değiştirildi. Yer değiştirmeye bağlı olarak devre çıkışından değerler gözlemlenerek bir grafik haline getirilmiştir. 1 cm başlangıç mesafesinde çıkışta 15,9 mV ve 20 cm bitiş mesafesinde 16,4 mV değer ölçülmüştür. Bu değerlerin mesafe arttıkça değişimlerinin azaldığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Doppler radar, Mikroşerit yama anten, Gömme Besleme

2018, 66 sayfa

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

DOPPLER RADAR SYSTEM AND ANTENNA DESIGN

Hüseyin AKMAN

**Süleyman Demirel University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Electronics and Communication Engineering**

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Mesud KAHRİMAN

In this thesis it is planned to make a circuit that can detect the object displacement in the vertical plane across antenna at 5,8 GHz ISM band. Doppler radar systems that can detect vital signals and chest movements during breathing was used. To fabricate doppler radar system mixer (Hittite-HMC220MS8), power amplifier (Hittite- HMC717LP3), voltage controlled oscillator (Hittite- HMC431LP4), coupler (designed and fabricated) and antenna was used and then antenna design was started.

Rectangular microstrip antenna that can meet desired performance criterias and microstrip feeding type was chosen and designed for 5,8 GHz ISM band. Easily foundable and cheap FR4 which has dielectric constant $\epsilon_r = 4,25$ and tangent loss $\tan\delta = 0,025$ was chosen for reference and designed antenna array substrate. Substrate has 1,5 mm dielectric thickness and 0,035 mm metal thickness. Antenna, using dielectric material with these features has 63,5 mm X 57,5 mm dimensions and -16 dB return loss and 5,0603 dB gain values at 5,8 GHz operating frequency.

After antenna designed and fabricated, circuit was fabricated and object moved by 1 cm step across antenna. Depending on the displacement, the values measured from the output of the circuit were observed and converted into a graph. 15,9 mV for 1 cm starting point and 16,4 mV for 20 cm endpoint were observed. It was seen that these values decreased as the distance increased.

Keywords: Doppler radar, Microstrip patch antenna, Inset Feed

2018, 66 pages

TEŞEKKÜR

Bu araştırma için beni yönlendiren, karşılaştığım zorlukları bilgi ve tecrübesi ile aşmamda yardımcı olan değerli Danışman Hocam Doç. Dr. Mesud KAHRİMAN Hocama'a teşekkürlerimi sunarım.

Araştırmanın yürütülmesinde değerli yardımlarını gördüğüm Dr. Gül Fatma TÜRKER'e ve Arş. Gör. Elif Merve KÜÇÜKÖNER'e teşekkür ederim.

3602-YL1-13 No'lu Proje ile tezimi maddi olarak destekleyen Süleyman Demirel Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yönetim Birimi Başkanlığı'na teşekkür ederim.

Tezimin her aşamasında beni yalnız bırakmayan eşim Hatice AKMAN'a, moral kaynaklarım Ebrar ve Emir AKMAN'a sevgi ve teşekkürlerimi sunarım.

Son olarak tezimi, hazırlarken her zaman manevi destek veren babam Merhum Hasan AKMAN'a ithaf ediyorum.

Hüseyin AKMAN
ISPARTA, 2018

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 3.1 Kullanım amaçlarına göre radarların sınıflandırılması.....	9
Şekil 3.2. Gözlenen doppler kayması.....	11
Şekil 3.3. Doğrusal kutuplanmalı bir anten için örnek ışıma örüntüleri.....	15
Şekil 3.4. Mikroşerit anten çeşitleri (C.A Balanis 2012)	21
Şekil 3.5. Dikdörtgen mikroşerit yama anten	21
Şekil 3.6. Işıma yapan yama anten	21
Şekil 3.7. Dairesel şekilli mikroşerit anten (C.A. Balanis 2012)	24
Şekil 3.8. Üçgen şekilli mikroşerit anten	25
Şekil 3.9. Koaksiyel beslemeli yama anten	27
Şekil 3.10. Koaksiyel beslemeli mikroşerit antenin eşdeğer devreleri.....	28
Şekil 3.11. Mikroşerit beslemeli yama anten.....	28
Şekil 3.12. Temaslı mikroşerit besleme eşdeğer devresi	29
Şekil 3.13. Boşluklu mikroşerit besleme eşdeğer devresi	29
Şekil 3.14. Yakınlık bağlantılı mikroşerit besleme	30
Şekil 3.15. Yakınlık bağlantılı mikroşerit besleme eşdeğer devresi	30
Şekil 3.17. Gömme beslemeli mikroşerit anten	31
Şekil 3.18. Ko-planar dalga kılavuzlu besleme	32
Şekil 4.1. Klasik mikroşerit antenin (a) üstten şematik görünümü ve parametreleri (b) arkadan görünüşü (toprak düzlemi)	39
Şekil 4.2. Antenin besleme girişinden görünüşü	39
Şekil 4.4. Karıştırma işlemi	43
Şekil 4.5. Hayati sinyalleri algılayan doppler radar devre şematigi	45
Şekil 4.6. Tasarlanan devre şematigi.....	45
Şekil 4.7. Gerçeklenen doppler radar sistemi	46
Şekil 5.1. Tasarlanan anten dizisinin S11 grafiği.....	48
Şekil 5.2. Tasarlanan anten dizisinin VSWR grafiği.....	48
Şekil 5.3. Tasarlanan anten dizisinin kazanç paterni	49
Şekil 5.4. Tasarlanan anten dizisinin giriş empedansı grafiği	49
Şekil 5.5. Tasarlanan anten dizisinin yönlendiricilik paterni.....	50
Şekil 5.6. Tasarlanan anten dizisinin yüzey akım dağılımı.....	50
Şekil 5.7. Gerçekleştirilmiş dizi anten.....	51
Şekil 5.8. Tasarlanan ve gerçekleştirilen antenlerin S11 değeri karşılaştırması	51
Şekil 5.9. Doppler radar sisteminde kullanılan devre elemanları	52
Şekil 5.10. VCO'ya verilen giriş gerilim değerleri ile çıkışından ölçülen sinyal gücü değeri	53
Şekil 5.11. Spektrum Analizör	54
Şekil 5.12. Kuplörün çıkışından antenin girişine giden sinyalin ölçüm değeri....	55
Şekil 5.13. Kuplörün çıkışından güç yükseltici girişine giden sinyalin ölçüm değeri	56
Şekil 5.14. Güç yükseltici çıkışından mikser girişine giden sinyalin değeri.....	56
Şekil 5.15. Cismin antene olan uzaklığı ile mikser çıkışından ölçülen gerilim değerinin arasındaki bağlantıyı gösteren grafik.....	57

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 3.1. Aynı şartlar altında farklı tür beslemelerin karşılaştırılması	33
Çizelge 3.2. Besleme yöntemlerinin kıyaslama sonuçları	33
Çizelge 4.1. Referans dikdörtgen mikroşerit antenin tasarım parametreleri	40
Çizelge 4.2. Tasarlanan dizi antenin boyutları	41
Çizelge 5.1. Devre elemanları listesi.....	52
Çizelge 6.1. Tasarlanan antenin diğer çalışmalarla karşılaştırılması	58
Çizelge 6.2. Cismin antene olan uzaklığı ile sistem çıkışından ölçülen değerler	59



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

ALE	Adaptif Çizgi Artırma
BG	Bant genişliği
C_0	Işık hızı (yaklaşık $c=299.792.458$ m/s)
CW	Sürekli Dalga
D	Anten yönlendirmesi
DARPA	Savunma Bakanlığı İleri Araştırma Projeleri Ajansı
dB	Desibel
DRO	Dielektrik Rezonans Osilatör
e_{cd}	Işıma verimi
FCC	Federal İletişim Kurumu
fd	Doppler frekansının (bağıntısı;
f_0	Radar vericisi taşıyıcı işaretinin frekansı,
Fr	Rezonans frekansı
Fy	Yerdeki hareketsiz hedeften yansıyan yankı işaretinin frekansı
$G(\theta, \phi)$	Anten kazancı
GPS	Global konum belirleme sistemi
h	Yama antende iletkenler arasındaki mesafe
HFSS	Yüksek Frekans Yapı Simülatörü
IF	Ara frekans
ISM	Sınai, Bilimsel, Tıbbi
L	Anten yamasının boyu
LNA	Düşük gürültülü güçlendirici
LTE	Uzun Süreli Evrim (Long Term Evulation)
MESFET	Metal Yarı-iletken Alan Etkili Transistörler
MIMO	Çoklu giriş çoklu çıkış
MTI	Hareketli Hedef Göstergesi
PA	Güç yükselteçleri
PLL	Faz kitlemeli döngü
Prad	Işıyan güç
QoS	Servis kalitesi
Ra	Antenin giriş direnci
RF	Radyo frekansı
RFID	Radyo frekans tanımlama
R_L	Antenin kayıp direnci
R_r	Antenin ışıma direnci
S11	Geri dönüş kaybı
SAR	Özgül Soğurma Oranı
SNR	Sinyal-gürültü oranı
SSPA	Katı hal güç yükselteçleri
t	Yama kalınlığı
$\tan\delta$	Tanjant kaybı
To	Radar vericisinin taşıyıcı işaret periyodu
U	Işıma şiddeti
VCO	Voltaj kontrollü Osilatör
Vr	Radyal hız
VSWR	Duran dalga oranı
W	Anten yamasının eni

W_f	Besleme hattının genişliği
W_o	Radar vericisinin taşıyıcı işaretinin ani açısal frekansı
x_0	Beslemenin girintisinin boşluğu
X_a	Antenin giriş reaktansı
y_0	Besleme girintisinin boyu
Z_0	Antene bağlanan iletim hattını karakteristik empedansı
Z_a	Antenin giriş empedansı
Z_L	Yük empedansı
Θ	Yükselme açısı
$\emptyset$	Azimut açısı
Δt	İşaretin hedefe gidiş, dönüş zamanı
λ	Radar vericisi taşıyıcı işaretin dalga boyu
Φ_t	Faz kayması
ϵ_r	Dielektrik sabiti



1. GİRİŞ

Günümüz haberleşme teknolojisinde kablosuz haberleşme sistemleri özellikle kabloların kullanım zorluğundan ve dağınıklığından kurtaran mobil uygulamalarda kablosuz haberleşme teknolojisi vazgeçilmezdir.

1970’li yıllarda doppler radarın biyomedikal alanında kullanılmaya başlanmasıyla beraber hayati sinyallerinin ölçülmesi, solunum hızı gibi pek çok değer hastaya fiziki bir temas olmaksızın ölçülebilir hale gelmiştir. 1970 lerden bu yana CW radarları kardiyopulmoner aktivitelerini görüntülemeye ve deprem göçüklerinin altında canlı araştırmasında yaygın olarak kullanılmaktadır (Wang vd., 2013). Bu gelişmelerle beraber uzaktan biyomedikal ölçüm konusu (özellikle doppler radar kullanılarak) temas halinde sakınca bulunan bulaşıcı/salgın hastalık durumlarında, derisi tahriş olan hastalarda, arada engel olduğu için teması mümkün olmayan kişilerde, sürekli takibi gereken hastalarda ve buna benzer durumlarda kullanılmak üzere sürekli ilgi çeken ve araştırılan bir konu haline gelmiştir. Kalp atış hızı ve hayati sinyallerin temassız ölçümü gibi konularda kablosuz haberleşme sistemleri yaygınlaşmaya başlamıştır. Haberleşme sistemlerinde meteoroloji, hız tespiti ve sağlık parametrelerinin ölçümü gibi alanlarda yaygın olarak kullanılan Doppler radar sistemlerinin önemli bir parçası da günümüzde birçok çeşidi olan antendir ki bu çeşitlerden biri de mikroşerit yama antenlerdir.

Mikroşerit yama antenler ucuz, hafif, düzlemsel yapılandırma, kolay taşınabilirlik, diziler için uygunluk, kolay gerçekleştirme ve mikrodalga sistemlere kolay entegrasyonu sayesinde endüstri, televizyon ve radyo yayını, mobil sistemler, GPS (global konum belirleme sistemi), RFID (radyo frekans tanımlama), MIMO (çoklu giriş çoklu çıkış) sistemleri, araç çarpışmadan korunma sistemi, uydu haberleşmesi, gözetleme sistemleri, yön bulma, radar sistemleri, uzaktan algılama, biyolojik görüntüleme, füze rehberliği gibi modern haberleşme sistemlerinde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (Lee and Park 2012). Bu avantajların yanında mikrodalga kablosuz uygulamalarda çokça tercih edilen ve dairesel, dikdörtgen ve üçgen gibi farklı geometrik yapılarla gerçekleştirilebilen Mikroşerit antenlerin (C. A. Balanis 1992), dar bant genişliği,

düşük kazanç ve nispeten büyük boyut olmak üzere üç dezavantajı vardır (Y. Liu vd., 2012; Zhou vd., 2006).

Literatürde doppler radar kullanılarak solunum hızının ölçülmesi ile ilgili birçok çalışma vardır. Bu çalışmalardan bazıları nefes alıp vermeyi doppler radar sistemi ile ölçüp bir algoritma kullanarak solunum hızının tahmin edilmesi, nefes alıp verme ve kalbin hareketlerinden meydana gelen göğüs kafesi hareketlerinin doppler radar vasıtasıyla ölçülerek iki farklı algoritma ile ölçülerek gerçek değerine çok yakın bir şekilde ölçüm yapılması (Vasu vd., 2009) göçük altında kalan canlıların tespiti senaryosu için ALE (Adaptif Çizgi Artırma) metodu ile gürültüleri azaltarak daha doğru bir tespit yapılması (Li vd., 2015), radar sistemin, LNA(düşük gürültülü güçlendirici) haricinde, küçük bir çipin içerisine gömülerek temassız hayati sinyalleri ölçüm sisteminin oldukça küçük boyutlara indirgenmesi (Huang ve Tseng 2016), nefes alıp verme ölçümünün doppler radar ve bir alanın üst kısmına konumlandırılmış antenler vasıtasıyla belli bir deneğin değil bir alanın taranması (Gagnon 2016) olarak sayılabilir.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

2.1. Doppler Radar Sisteminin Mesafe Ölçümü İçin Kullanılması Çalışmaları

Lydia Chioukh ve arkadaşlarının (2009) yılında Doppler radar tekniğini kullanarak yaptıkları çalışmada deneklerin nefes alıp vermeleri ve kalp atışları incelenmiştir. Çalışma 5,8 GHz, 24 GHz ve 35 GHz olmak üzere üç farklı frekansta gerçekleştirilmiştir. Nefes alıp verme sıklığı kurulan düzenek sayesinde başarılı bir şekilde ölçülmüştür. Deney sonunda en hassas ölçümlerin en yüksek frekans olan 35 GHz' te olduğu görülmüştür (Chioukh vd., 2009b).

Vighneshrudra Das ve arkadaşlarının (2012) yılında sürekli dalga Doppler radar prensibine dayanarak yama anten, yagi anten, log-periyodik ve helezon anten türlerini deneyerek nefes alıp verme hızını ve kalp ritmini ölçme üzerine bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada 2,4 GHz çalışan sistem kullanılmıştır. Deney sonucunda uzaktan ölçülen verilerin %95 doğrulukla ve dakikada yalnızca ± 1 hata ile ölçülebildiği görülmüştür (Das vd., 2012).

Amy Diane Droitcour' un (2006) yılında tek çipli mikrodalga Doppler radar ile temassız olarak kalp ritmi ve solunum hızı ölçümü alanında yaptığı doktora çalışmasında 1,6 GHz ve 2,4 GHz frekanslarında deneklerin solunum hızını 1,5 metre mesafeden doğru bir şekilde ölçmeyi başarmıştır (Droitcour 2006).

O. Boric Lubecke ve arkadaşlarının (2002) yılında yaptıkları Doppler radar tekniği ile kurdukları bir sistemle kalp atışı ve nefes alış veriş tespiti yapmaya çalışmışlar ve bu konuda başarılı olmuşlardır. Tasarladıkları ve başarıyla gerçekleştirdikleri sistem 10 GHz çalışma frekansında çalışmaktadır (O. B. Lubecke, Ong, ve Lubecke 2002).

Sam Agneessens ve arkadaşlarının (2012) yılında yaptıkları çalışmada bir engelin arkasındaki hareketleri algılama amaçlı tekstil malzemelerinden oluşan 2,35 GHz frekansında çalışan giyilebilir Doppler radar sistemi tasarlamışlardır. Çalışma sonucunda engel arkasındaki birkaç hareketin algılandığı gösterilmiştir (Agneessens vd., 2012).

Brijesh Iyer ve arkadaşlarının (2013) yılında yaptıkları çalışmada Doppler tekniği kullanarak ve mikroşerit yama anten kullanarak geliştirdikleri 2,4 /5,2 GHz frekans bandında çalışan sistem ile kalp ritmi ve nefes alı verme hızını doğru bir şekilde ölçmüşlerdir(Iyer vd., 2013) .

Jeong-Geun Kim ve arkadaşlarının (2005) yılında yaptıkları çalışmada tek antenli 24 GHz çalışma frekansında dairesel kutuplanmış Doppler radar sistemi geliştirmişlerdir. Geliştirilen bu sistem ile deneklerin kalp atışları ve solunum hızları ölçülmüştür. Ölçümlerden sonra uygun filtreler kullanılarak kalp atışı ve nefes sinyalleri birbirinden ayrılmıştır. Ölçüm sonuçlarına göre sistemin kullanılabilir olduğu görülmüştür(Kim vd., n.d.) .

Amy Droitcour ve arkadaşlarının (2001) yılında Doppler radar kullanarak nefes alış verişi ve kalp atış hızını ölçmek için tasarladıkları sistemin gerçekleştirildikten sonra parmaktan ölçüm ile kıyas yapılmış ve sonuçta geliştirdikleri sistemin hayati sinyaller olarak adlandırılan nefes alış verişi hızı ve kalp atım sinyallerini doğru bir şekilde ölçtüğü görülmüştür. Sistemde 1900 MHz frekansında çalışan yama anten kullanılmış ve ölçümler 1892 MHz frekansında yapılmıştır (Droitcour vd., 2001).

Vinh Phuc Tran ve Adel Ali Al-Jumaily' nin (2015) yılında yaptıkları nefes alış verişi ve kalp ritmini temassız bir şekilde ölçmek için geliştirdikleri gerçek zamanlı demodülasyon tekniği ve tahmin algoritmaları kullanarak geliştirdikleri Doppler sistemi ile kronik kalp rahatsızlığı olan kişileri takip etmeyi amaçlamışlardır. Ölçüm sonuçlarında nefes alış verişi tahmini doğruluk oranı %91,52 ve kalp atış hızı tahmini doğruluk oranı ise $\frac{1}{2}$ 91,29 olarak bulunmuştur (Tran ve Al-Jumaily 2015).

Andre Gagnon'un (2016) yılında belirli bir alanda hayati sinyallerin ölçülmesiyle vücut hareketlerinin belirlenmesini sağlayan bir sistem geliştirmiştir. Bu sistemde 24,125 GHz frekansında çalışan Doppler radar ve 2 X 2 Substrat Entegre Dalga Kılavuzu anten dizisi kullanılmıştır. Temassız olarak yapılan bu ölçümler giyilebilir teknoloji kullanılarak kıyaslandığında $\pm$ %5 oranında aynı olduğu ve bunun sonucunda kullanılan bu teknolojinin belirli bir

alandaki kişinin hareketli dahi olsa hayati sinyallerinin algılanabildiği anlaşılmıştır(Gagnon 2016) .

Jyun-Kai Huang ve Chao-Hsiung Tseng' in (2016) yılında solunum ve kalp atış sinyallerinin ölçümü için 5.8 GHz frekansında çalışan küçük boyutlu bir çip geliştirmişlerdir. Sistemin çalışması için toplam kazancı 10,77 dBi olan 2 X 2 yama anten tasarlanarak gerçekleştirilmiştir. Ölçüm sonuçlarında sistemin başarılı bir şekilde çalıştığı görülmüştür (Huang ve Tseng 2016).

2.2. Mikroşerit Anten Tasarımı Çalışmaları

Yue Song ve arkadaşlarının (2008) yılında Kablosuz Yerel Alan Ağı (WLAN) için anten tasarımı hakkında yaptıkları çalışmada 2,4 GHz, 5,2 GHz ve 5,8 GHz frekanslarında çalışabilecek küçük boyutlu bir anten tasarlamışlardır. 22mm X 9,5mm X 1,6mm boyutlarında tasarlayıp gerçekleştirdikleri 30 dB geri dönüş kaybı ve düşük frekans bandında 1,47 – 1,57 dB aralığında ve üst frekans bandında 3,31 – 3,94 dB aralığında bir kazançla sahip bu antenin WLAN uygulamaları için uygun bir anten olduğunu göstermişlerdir (Song vd., 2009).

M. K. A. Rahim ve arkadaşlarının (2006) yılında noktadan noktaya haberleşmede kullanılmak üzere 5,8 GHz çalışma frekansına sahip 4 X 4 mikroşerit yama anten dizisi tasarlamış ve gerçekleştirmişlerdir. Anten dizisi çeyrek dalga empedans uyumlandırma tekniği ile gömme besleme ile beslenmiştir. Ölçüm sonuçlarına göre 30.42 dB geri dönüş kaybı ve 16 dB' lik kazançla sahip olduğu görülmüş ve antenin istenen şekilde kullanılabileceği sonucuna varılmıştır (Rahim vd., 2006).

R. Gardelli ve arkadaşlarının (2004) yılında WLAN erişim noktaları ve noktadan noktaya bağlantılar için yaptıkları yama anten çalışmasında 2,44 GHz çalışma frekansına sahip 150 mm X 150 mm boyutlarında 2 X 2 anten dizisi tasarlayıp gerçekleştirmişlerdir. Gerçekleştirilen bu antenin kazancı 12dB iken parabolik yansıtıcı ile kullanarak sonuçta 23 dB gibi yüksek bir kazanç elde etmişler ve antenin tasarlanma nedeni olan 2,44GHz frekansında WLAN erişim noktaları ve noktadan noktaya bağlantılar için kullanılabileceğini kanıtlamışlardır(Gardelli vd., 2004) .

Y. İpekoğlu ve arkadaşlarının (2016) yılında 4 GHz frekansında elektromanyetik çit uygulamasına yönelik anten dizisi tasarlamış ve gerçekleştirmişlerdir. Gerçekleştirdikleri bu anten dizisi 22,79 cm uzunluğa ve 4,52 cm genişliğe sahiptir. Ölçüm sonularına göre -19,749 dB geri dönüş kaybına sahiptir. Ayrıca alıcı anten üzerinde ölçülen en yüksek sinyal seviyesi -44 dBm olarak ölçülmüştür. Ölçüm sonuçlarına göre anten dizisinin istenildiği gibi elektromanyetik çit uygulamasına uygun olduğu gözlemlenmiştir (İpekoglu vd., 2016).

A De ve arkadaşlarının (2016) yılında 2,45 GHz frekansında çalışan değişik sayılarda anten dizisi tasarlamışlar ve dizi elemanı sayılarına göre geri dönüş kaybı, kazanç ve yönlendirme bakımından kıyaslama yapmışlardır. Sonuçlar bilgisayar benzetim pragramı sonuçları olup tasarlanan antenler laboratuar ortamında ölçülmemiştir. Elde edilen sonuçlara göre dizi elman sayısı arttıkça antenin önemli parametrelerinden olan geri dönüş kaybı, kazanç ve yönlendirme değerlerşinde iyileşmeler görölmüştür. (Vasu vd., 2009).

İsa A., M. Bahaddin K. ve Teymuraz A.' nın (2016) yılında yaptığı çalışmada WIMAX uygulamalarında kullanılabilecek yüksek kazançlı mikroşerit hat beslemeli 2 x 1 yapıda dizi yama anten tasarlanmıştır. 2.6 GHz frekansında çalışan bu dizi anten bilgisayar benzetim programı sonuçlarına göre tasarım kriterlerine uygun bir anten olduğu sonucuna varılmıştır. (Ataş, Kurt, ve Abbasov 2016).

3. RADAR SİSTEMLERİ VE ANTENLER

3.1. Radar

Radar bir alıcı-verici sisteminden oluşmakta olup, bir cismin varlığını tayin etme, bulunduğu yön ve uzaklığı ölçme işlevlerini yerine getirir. Bunun için radar tarafından yayılan elektromanyetik dalgalar hedefe çarptığında hedef üzerinde bir akım oluşur ve bu akım, hedeften tüm yönlere dalgaların yayılmasını sağlar. Yayılan bu dalgaları radar işleyerek hedefin boyutu, fiziksel şekli, hedefi oluşturan maddenin cinsi gibi, hedefe ait bazı parametreleri tespit eder (Erdin, 1978).

3.1.1. Radarın Tarihçesi

1865 İngiliz fizikçi James Clerk Maxwell elektromanyetik dalgaları ve bunların yayılmasını açıklayan elektromanyetik ışık kuramını ortaya attı.

1886 Alman fizikçi Heinrich Rudolf Hertz elektromanyetik dalgaları keşfetti ve Maxwell'in kuramını kanıtladı.

1904 Alman yüksek frekans teknisyeni Christian Hülsmeyer su üzerinde ki trafiği denetlemek için “telemobiloskopu” icat etti. Bu alet metal bir nesneden çarparak dönen elektromanyetik dalgaların süresini ölçüyor ve böylece menzil hesaplanabiliyordu. Bu ilk pratik radar denemesi için Hülsmeyer patent başvurusunda bulundu.

1921 Albert Wallace Hull tarafından güçlü gönderici tüpü magnetron icat edildi.

1922 ABD Donanma Araştırma Laboratuvarından A. H. Taylor ve L.C.Young ilk kez bir tahtadan gemiyi algılamayı başardılar.

1930 Yine ABD Donanma Laboratuvarından L. A. Hyland bir uçağı algıladı.

1931 Bir gemiye radar takıldı. Alıcı ve verici anteni olarak boynuz ışın yayıcı bulunan parabolik anten kullanıldı.

1936 Metcalf ve Hahn tarafından yükselteç veya osilatör olarak kullanılan klistron bulundu.

1939 İngiltere Birmingham Üniversitesinden John Randall ve Henry Boot adlı iki fizikçi hafif fakat güçlü mikrodalga radarını geliştirdiler ve bu radar B-17 bombardıman uçaklarına takıldı. Bu denizaltı savaşlarında bir dönüm noktası oldu.

1940 ABD, Rusya, Almanya ve Japonya'da muhtelif radar tesisleri geliştirildi. 2. Dünya Savaşı sırasında silah sistemlerinin gelişmesi radar teknolojisinde olağanüstü gelişmelere yol açtı ve özellikle buna bağlı olarak hava savunma sistemleri kurulmaya başlandı. Savaş sonrasında NATO ve Varşova Paktı üyesi ülkelerin ortak sınırlarında birçok radar sistemi yerleştirildi.

İkinci Dünya Savaşından sonra radar yöntemi “barışçıl kullanım” olarak adlandırılan bir yönde kullanılmaya başlandı (Christian Wolff n.d.).

1970'lerden itibaren RF(radyo frekansı) ve mikrodalga sistemleri kullanılmaya başlanmış ve 1975 yılında solunum hızını ölçmek için ilk mikrodalga doppler radar tasarlanmıştır (Chioukh vd., 2009a).

3.1.2. Radarın Sınıflandırılması

Radarların birçok kullanım amacı ve sınıflandırma yöntemi bulunmaktadır. Bunlardan radarların kullanım amacına göre sınıflandırılması Şekil3.1'de gösterilmiştir.



Şekil 3.1 Kullanım amaçlarına göre radarların sınıflandırılması

3.1.3. Doppler Etkisi

Radarlarda doppler etkisi Avusturyalı fizikçi Christian Doppler (1803-1853) tarafından keşfedilmiştir (Eden vd., 1992). Doppler teorisine göre sabit frekanslı bir sinyal nesneye gönderildiğinde bu nesneden yansıyan aynı sinyal gönderilen sinyalle aynı frekansta olur fakat zaman değişkenli faz kaymasına (Φt) sahip olur. Değişken konumlu bir yüke sahip iletim hattındaki zaman değişkenli faz kayması yer değiştirmeye orantılıdır. Bu oran

$$\Phi t = 4\pi / \lambda * x(t) \quad (3.1)$$

(3.1) denklemi ile verilir. Burada λ sinyalin dalga boyudur. Eğer yer değiştirme sinyalin dalga boyutundan daha küçük ise faz değişimi de küçük olur ve faz modüleli bu sinyal bir mikser yardımı ile orijinal sinyalin bir parçası olarak karıştırılarak demodüle edilebilir. Bu sayede demodüle edilen sinyal sinyali yansıdığı nesnenin periyodik yer değiştirme hareketi ile orantılı hale gelir (Denklem 3.1). Sinyalin yansıdığı bu nesne eğer bir insanın göğsü ise demodüleli sinyalin gerilim formu solunum ve kalp atım hızına bağlı olarak göğsün hareketini gösterecektir.

Radar tekniğinde Doppler etkisi üç amaçla kullanılır:

- Hedef hızlarının ölçülmesi
- Sabit ve hareketli hedeflerin birbirinden ayırt edilmesi (Hareketli Hedef Göstergesi, MTI - Moving Target Indication) (Christian Wolff n.d.).
- Biyomedikal uygulamalarda.
 - Gebelikte bebeklerin ve anne sağlığının kontrol edilmesinde
 - Kistlerin iyi huylu ya da kötü huylu olduğu konusunda fikir edinmede
 - Hayati sinyallerin elde edilmesinde vb.

3.1.3.1. Doppler Radar Frekansı

Doppler kayması, ışınlandırılan taşıyıcı yüksek frekansıyla (RF) hareketli hedeflerden yansıyan yankı işaretlerinin frekansları arasındaki frekans kaymasıdır. Bu frekans, frekans kayması olayını fark eden fizikçi Chirstian Johann Doppler (1803,1853)'in adıyla anılmaktadır (Kayserilioğlu, 1997). Şekil 3.2'de gözetleyici tarafından alınan, reletivite teorisiyle önceden kestirilen f_y frekansı

$$f_y = f_o \cdot \frac{c + V_r}{\sqrt{c^2 - V_r^2}} \quad (3.2)$$

ile verilir. Burada;

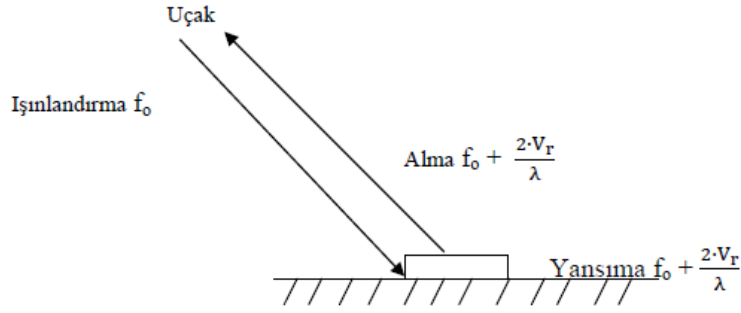
f_y : Yerdeki hareketsiz hedeften yansıyan yankı işaretinin frekansı

f_o : Radar vericisi taşıyıcı işaretinin frekansı,

V_r : Uçak hızının gözlem doğrultusundaki bileşeni (radyal/hız)

c : Işık hızı (yaklaşık $c=299.792.458$ m/s),

λ : Radar vericisi taşıyıcı işaretin dalga boyu



Şekil 3.2. Gözlenen doppler kayması

Doppler kaymasını $f_d = f_y - f_0$ ve uçağın hızının ışık hızına göre çok küçük olması gereğini uygulayarak aşağıdaki eşitlik elde edilir:

$$f_d = f_y - f_0 = f_0 \cdot \frac{c + V_r}{\sqrt{c^2 - V_r^2}} - f_0 = f_0 \cdot \frac{V_r}{c} \quad (3.3)$$

$$f_d = \frac{2 \cdot f_0 \cdot V_r}{c} = \frac{2 \cdot V_r}{\lambda} \quad (3.4)$$

$$f_0 \cdot \lambda = c \quad (3.5)$$

Bu eşitliğin başka bir yolla da türetilmesi aşağıda gösterilmektedir. Radar anteninin giriş kapısında ölçülen, verici çıkış işaretine ilişkin elektrik alanının fazı referans olarak alınırsa,

$$E_t \propto \sin(\omega_0 \cdot t) \quad (3.6)$$

$$E_r \propto \sin[\omega_0 + \Phi(t)] \quad (3.7)$$

olur, Bu denklemdeki $\Phi(t)$, işaret hedefe gidip dönünceye kadar oluşan faz farkını göstermektedir. Eşitlik

$$\Phi(t) = -2\pi \cdot \frac{\Delta t}{T_0} = -2\pi \cdot f_0 \cdot \frac{2 \cdot R(t)}{c} = -\frac{2 \cdot \omega_0 \cdot R(t)}{c} \quad (3.8)$$

$R(t)$: Hedefin radara alan uzaklığının (R), zamana bağlı derece ifadesidir.

$$\Delta t = \frac{2 \cdot R(t)}{c} \quad (3.9)$$

Δt : İşaretin hedefe gidiş,dönüş zamanı,

$$T_0 = \frac{1}{f_0} \quad (3.10)$$

T_0 : Radar vericisinin taşıyıcı işaret periyodu.

$$\omega_0 = 2\pi \cdot f_0 \quad (3.11)$$

ω_0 : Radar vericisinin taşıyıcı işaretinin ani açısal frekansı şeklinde yazılır. Eşitlikteki eksi işareti, faz gecikmesini gösterir. Ani açısal frekansın (ω) tanım bağıntısından çıkarılan frekans bağıntısı

$$\omega = 2\pi \cdot f = \frac{d\Phi}{dt} \quad (3.12)$$

$$f = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{d\Phi}{dt} \quad (3.13)$$

kullanılarak hedeften dönen yankı işareti için,

$$f_y = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{d}{dt} [\omega_0 \cdot t + \Phi(t)] = \frac{1}{2\pi} [\omega_0 + \frac{d\Phi}{dt}] \quad (3.14)$$

bağıntısı yazılır. Buradan elde edilen denklem aşağıdaki gibidir:

$$f_y = \frac{1}{2\pi} [\omega_0 - \frac{2 \cdot \omega_0}{c} \cdot \frac{dR(t)}{dt}] = f_0 \cdot (1 - \frac{2}{c} \cdot \frac{dR(t)}{dt}) \quad (3.15)$$

elde edilir. Doppler frekansının (f_d) bağıntısı; hedeften dönen yankı işaretinin frekansından (f_y), radar vericisinin taşıyıcı işaret frekansının (f_0) çıkarılmasıyla,

$$f_d = f_y - f_0 = (1 - \frac{2}{c} \cdot \frac{dR(t)}{dt}) \cdot f_0 - f_0 = -\frac{2 \cdot f_0}{c} \cdot \frac{dR(t)}{dt} \quad (3.16)$$

$$f_d = -\frac{2}{\lambda} \cdot \frac{dR(t)}{dt} \quad (3.17)$$

olarak bulunur. Yukarıdaki bağıntıdan da görüleceği gibi; eğer hedef radara yaklaşıyorsa ((dR/dt) eksi işaretli olacağından), Doppler kayması artı işaretli olur ve radarda gözlenen yankı frekansı artar. Tam tersi olarak, hedef radardan uzaklaşıyorsa ((dR/dt) artı işaretli olacağından), Doppler kayması eksi işaretli olur ve radarda gözlenen yankı frekansı azalır (Kayserilioğlu, 1997).

Radarla hedef arasındaki uzaklık değişiminin, zamana göre türevi (dR/dt); radar ile hedef arasındaki hayali doğru uzantısındaki bağıl hızdır. Bu hıza radyal hız da denir. Radyal hızını “V_r” ile gösterirsek:

$$f_d = -\frac{2 \cdot V_r}{\lambda} \quad (3.18)$$

şeklinde yazılabilir. Radarla hedef arasındaki uzaklığın değişiminden kaynaklanan Doppler frekansında, radyal hızın bağıl hız olmasından dolayı, radarın veya hedefin hangisinin hareket ettiği bir farklılık yaratmaz. Burada hızın yönü önemlidir. Yukarıdaki eşitlik radarla hedefin uzaklaştığı (dR/dt'nin artı işaretli olduğu) durumlar için geçerlidir. Radarla hedefin yaklaştığı (dR/dt'nin eksi işaretli olduğu), durumlar için

$$f_d = \frac{2 \cdot V_r}{\lambda} \quad (3.19)$$

olarak gösterilir (Kayserilioğlu, 1997).

3.1.4. Doppler Radarın Mesafe Değişimi Ölçümünde Kullanılması

1970’li yıllardan itibaren RF ve mikrodalga sistemlerin biyomedikal uygulama alanı dikkat çekmeye başlamıştır. 1975 yılına gelindiğinde ise solunum hızının ölçülmesi ve bununla beraber uyku apnesi sendromunun tespiti için ilk biyo-radar sensörü uygulaması yapılmıştır. Bu ilk deneme ve uygulamalarda hayvanlar kullanılıyorken günümüzde insanlar üzerinde uygulanan karmaşık ve çok amaçlı sistemler tasarlanmaktadır (Chioukh vd., 2009a). Bunlardan bazılarını şu şekilde sıralayabiliriz: Victor M. Lubecke, Olga Boric-Lubecke, Anders Host-Madsen ve Aly E. Fathy’ nin 2007 yılında askeri amaçla veya

deprem gibi birden çok kişinin tespitinin gerekli olduğu durumlarda kullanılcı amacıyla bir engelin arkasından doppler sistemi ile yaptıkları çalışmada bu sistemin bu amaç doğrultusunda etkin bir şekilde kullanılabileceğini göstermiştir (V. M. Lubecke vd., 2007). Lydia Chioukh, Halim Boutayeb, Lin Li, L'Hocine Yahia ve Ke Wu'nun 2009 yılında düşük güçlü ve farklı frekanslarda (5,8 GHz, 24 GHz ve 35 GHz) hayati sinyallerin ve solunum hızının hassasiyetleri üzerinde yaptığı çalışmada yüksek frekanslarda daha yüksek hassasiyet olduğu gözlemlenmiştir (Chioukh vd., 2009a). Aynı çalışmayı Dany Obeid, Sawsan Sadek, Gheorghe Zaharia ve Ghaïs El Zein 2009 yılında 2,4, 5,8 ve 60 GHz frekanslarında yaptıkları çalışmada yüksek frekanslarda daha hassas ölçümlerin yapıldığını gözlemlemiş ve faz hassasiyetinden dolayı kalp sinyalleri ile nefes alıp verme sinyallerinin daha rahat ayırt edilebileceğini öngörmüşlerdir (Obeid vd., 2009). Sam Agneessens, Patrick Van Torre, Frederick Declercq, Bart Spinnewyn, Gert-Jan Stockman, Hendrik Rogier ve Dries Vande Ginste'nın 2012 yılında daha önce denenmemiş bir çalışmayla tekstil maddelerinden oluşan 2,35 GHz frekansında çalışan bir doppler radar sistemi ile engel arkasındaki hareket eden nesneleri belirlemeye çalışmışlardır. Deney sonucunda doppler radar ile engel arkasından nesneleri başarılı bir şekilde belirlenebildiği tespit edilmiştir (Agneessens vd., 2012).

3.2. Temel Anten Teorisi

Kablosuz haberleşme sistemlerinde bilgi alış verişini sağlayan en önemli parçalardan biri de antendir. Antenin kullanılan sistem ve frekansa göre birçok çeşidi bulunmaktadır. Dahası anten tasarımı göz önünde bulundurulmuş pek çok parametre bulunmaktadır.

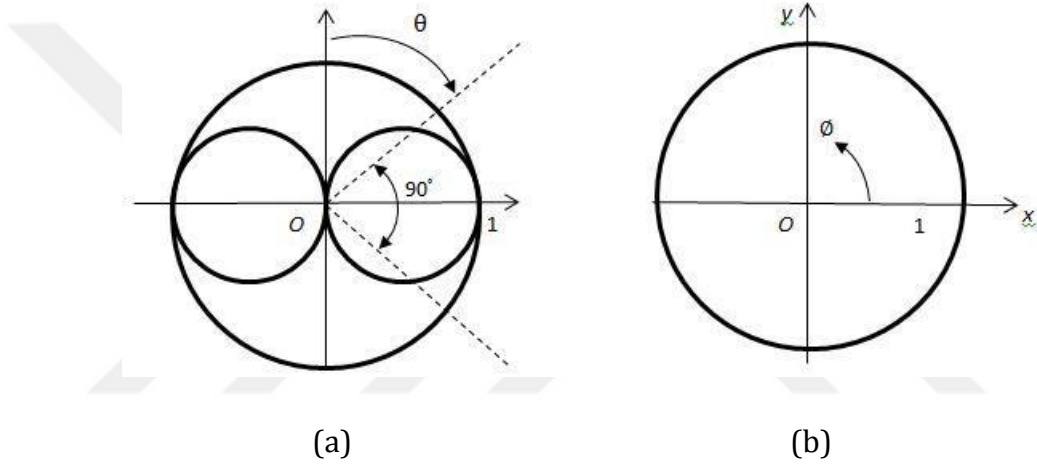
3.2.1. Temel Anten Parametreleri

Anten parametreleri bir antenin performansını tanımlamak için kullanılır. Temel anten parametrelerinden bazıları ışıma örüntüsü, yönlendiricilik, giriş empedansı, anten verimi, kazanç, bant genişliği, kutuplanma, etkin anten

uzunluğu, geri dönüş kaybı, ışıma yoğunluğu, yansıma katsayısı, gerilim duran dalga oranıdır.

3.2.1.1. Işıma Örüntüsü

Işıma örüntüsü bir antenin ışıma karakteristiğinin uzay koordinatlarına göre ifade edildiği grafiksel gösterim ya da matematiksel ifadeler olarak tanımlanır. Işıma örüntüsü çoğu zaman uzak alanda tanımlanır ve koordinatların bir fonksiyonu olarak gösterilir (C. A. Balanis 1992). Doğrusal kutuplanmalı bir anten için örnek ışıma örüntüleri E düzlemi için Şekil 3.3(a) ve H düzlemi için Şekil 3.3 (b)'de verilmiştir (Cheng, 1993).



Şekil 3.3. Doğrusal kutuplanmalı bir anten için örnek ışıma örüntüleri

Yukarıdaki şekil için θ yükselme, ϕ ise azimut açısıdır.

3.2.1.2. Yönlendiricilik

Yönlendiricilik belirli bir yöndeki ışıma şiddetinin tüm yönlerdeki ortalama ışıma şiddetine oranı olarak tanımlanır (C. A. Balanis 1992). D olarak gösterilen yönlendirme, yükselme ve azimut açılarının bir fonksiyonu olup denklem (3.20)'deki gibi ifade edilebilir (Saunders ve Zavala 2007).

$$D(\theta, \phi) = \frac{\text{Antenin}(\theta, \phi) \text{ yönündeki ışıma şiddeti}}{\text{Antenin tüm yönlerdeki ortalama ışıma şiddeti}} \quad (3.20)$$

Eğer ortalama ışıma şiddeti antenden ışıyan gücün $4\pi'$ ye oranı olarak hesaplanırsa yönlendiricilik denklem (3.21) şeklinde ifade edilebilir (C. A. Balanis 1992).

$$D(\theta, \phi) = \frac{U(\theta, \phi)}{U_0} = \frac{4\pi U(\theta, \phi)}{P_{rad}} \quad (3.21)$$

Burada P_{rad} ışıyan güç ve U ışıma şiddeti parametrelerini ifade eder.

3.2.1.3. Giriş Empedansı

Anten giriş empedansı, anten terminallerindeki gerilimin akıma oranı olarak hesaplanabilir ve denklem (3.22)'de verildiği gibi temelde iki bileşenden oluşmaktadır (C. A. Balanis 1992).

$$R_a = R_r + R_L \quad (3.22)$$

Burada R_r antenin ışıma direnci ve R_L antenin kayıp direncidir. Birimleri ohm'dur.

Anten giriş empedansı ise denklem (3.23)'te verildiği gibi tanımlanabilir (Drabowitch vd., 2010, Küçüköner vd., 2016).

$$Z_a = R_a + jX_a \quad (3.23)$$

Burada R_a giriş direnci, X_a giriş reaktansı ve Z_a antenin giriş empedansıdır.

3.2.1.4. Anten Verimi

Antenden ışıyan güç, ışıma direnci üzerine düşen güç ve anten üzerinde kaybolan güç de anten kayıp direnci üzerinde iletken ve dielektrik kayıpları temsilen harcanan güç olarak adlandırılabilir. Antenin ışıma verimi iletim ve dielektrik kayıp bileşenlerinin hesaba katıldığı ve birleştirilerek e_{cd} olarak gösterilen bir anten parametresidir (C. A. Balanis 1992). Işıma verimi denklem (3.24)'de verildiği gibidir (C. A. Balanis 1992);(Saunders ve Zavala 2007).

$$ecd = \frac{R_r}{R_L + R_r} = \frac{\text{Işıyan güç}}{\text{Anten tarafından kabuledilen güç}} \quad (3.24)$$

Maksimum güç transferi olabilmesi için kaynak empedansı $Z_s = R_s + jX_s$ ve antenin giriş empedansı $Z_a = R_r + R_L + jX_a$ 'nın karmaşık eşlenik olması gerekir (Saunders ve Zavala 2007).

3.2.1.5. Geri Dönüş Kaybı (Return Loss, S11)

Empedans uyumu ve gücün maksimum transferi ile ilişkilidir ve denklem (3.25)' de ifade edildiği gibi kaynaktan antene gelen gücün ($P_{giriş}$) yansıyan güce oranını ($P_{yansıyan}$) göstermektedir.

$$RL = 10 \log_{10} \frac{P_{yansıyan}}{P_{giriş}} \quad (3.25)$$

İyi bir güç güç transferi için $P_{yansıyan}/P_{giriş}$ oranının yüksek olmaması gerekmektedir. Geri dönüş kaybının değişik matematiksel ifadeleri denklem (3.26)-(3.28) arasında gösterilmiştir.

$$R_L = -20 \log_{10} |\Gamma| \quad (3.26)$$

$$R_L = -20 \log_{10} \left| \frac{VSWR - 1}{VSWR + 1} \right| \quad (3.27)$$

$$R_L = -20 \log_{10} \left| \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0} \right| \quad (3.28)$$

Burada Γ yansıma katsayısını, VSWR gerilim duran dalga oranını, Z_L yük empedansını ve Z_0 antene bağlanan iletim hattını karakteristik emedansını göstermektedir (Biçer 2011).

3.2.1.6. Duran Dalga Oranı(VSWR)

Antenlerde verici ile anten empedansı arasında uyumluluk olmadığı zaman geri yansıyan dalgalar sistemde duran dalgaların oluşmasına neden olur. Dolayısıyla

VSWR verici ile anten arasındaki empedans uyuşmasını gösteren bir parametredir. Verici ve anten arasındaki kusursuz bir uyumdan bahsedebilmek için yansıma katsayısının sıfır ve geri dönüş kaybının ise sonsuz olması gerekmektedir. Bu durum ise gücün tamamen aktarıldığı anlamına gelir. Pratikte ise bu durum mümkün değildir. Genel olarak kabul edilebilir VSWR değeri 2 ve geri dönüş kaybı değeri ise -9.54 dB' dir (Kütük 2012).

3.2.1.7. Kazanç

Kazanç, bir antenin performansını açıklamak için kullanılan bir ölçüdür. Güç kazancı antenin belirli bir yönde enerji yoğunlaştırma yeteneğini ve antenin ışıma performansını gösteren bir değerdir. Bir antenin kazancı, dar bir açısız bölge içerisine güç yoğunlaştırma yeteneğiyle ölçülür (Ahmad ve Jar'alla 2008). Verimi % 100 olan antenin kazanç ve yönlülüğü birbirine eşittir. Hesaplanması ise denklem (3.29) ile yapılmaktadır.

$$G(\theta, \phi) = e_{cd} D(\theta, \phi) \quad (3.29)$$

3.2.1.8. Bant Genişliği

Bant genişliği anten için çalışma şartlarının sağlandığı ve merkez frekansının yanlarında yer alan alt frekans (f_a) ile üst frekans (f_u) arasında bulunan frekans aralığının adıdır. Bant genişliği güç kazancının tepe değerinin -3 dB altındaki iki noktanın arası ya da VSWR değerinin 2:1'den daha küçük olduğu aralık olarak tanımlanabilir (Saunders ve Zavala 2007).

Dar bantlı antenler için bant genişliği hesabı denklem (3.30)'deki gibi yapılırken yüzde bant genişliği (% BG) tanımlaması yapılır. Mikroşerit antenler de dar bantlı antenler sınıfında olduğundan mikroşerit bant genişliği hesabında yüzde bant genişliği kullanılır (C. A. Balanis 1992).

$$\% BG = \frac{f_u - f_a}{f_r} \times 100 \quad (3.30)$$

Burada f_r antenin rezonans frekansdır.

Bant genişliği, bir iletim ortamının ya da haberleşme kanalının kapasitesini belirtmek için kullanılır. Yani bir kanal üzerinde taşınabilecek maksimum frekansa sahip sinyal kanalın bant genişliğini verir. Bant genişliği ne kadar büyükse belli bir süre içinde aktarılacak veri de o kadar fazla olur. Bant genişliği problemi günümüzde son kullanıcılar ve internet sağlayıcılar açısından internetin de en büyük sorunu haline gelmiştir. Bu sorunu giderebilmek için bant genişliğini verimli kullanmak ve bunun için de belli trafik türlerine öncelik veren (QoS gibi) standartlar geliştirilmek zorunda kalmıştır. Günümüzde çevrimiçi oyunlar, videolar ve görüntülü görüşme gibi yüksek bant genişliği gerektiren uygulamalar hızın önemin giderek arttırmış ve bu nedenle geniş bantlı antenler üretmek büyük bir ihtiyaç haline gelmiştir (J n.d.).

Geniş bant kavramı ise uluslararası standartlardan, ABD Savunma Bakanlığı İleri Araştırma Projeleri Ajansı (Defense Advanced Research Project Agency, DARPA)' ya göre %25, Federal İletişim Kurumu (Federal Communication Commission ,FCC)' ye göre %20 kabul edilmiştir (Çakır 2004)

3.2.1.9. Kutuplanma

Bir antenin belirli bir yöndeki kutuplanması, o yönde ışıyan dalganın kutuplanmasını gösterir. Eğer yön belirtilmemişse, kutuplanma, maksimum kazanç yönündeki kutuplanma olarak alınır. Kutuplanmanın gösterimi, uzayda bulunan bir noktada zamanın fonksiyonu olarak tanımlanmış elektrik alan vektörü ile olur. Kutuplanma doğrusal, dairesel ve eliptik olmak üzere üç sınıfa ayrılır (Kütük 2012).

3.3. Mikroşerit Antenler

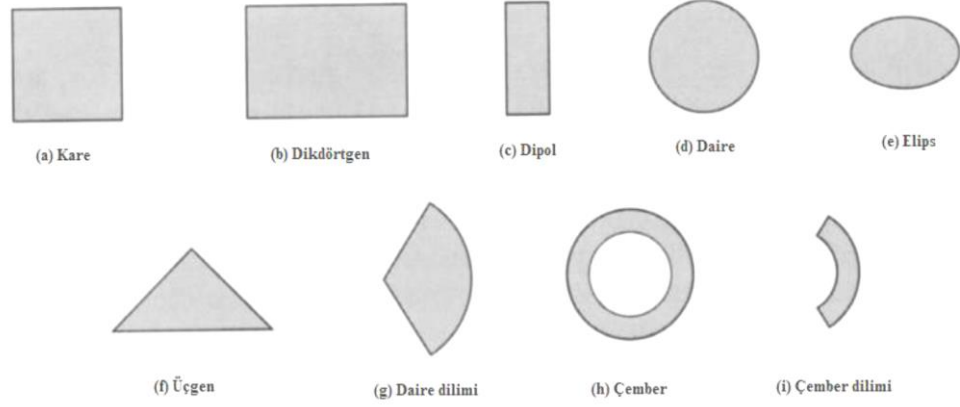
1970'li yıllarda öncelikle uzay uygulamalarında kullanılmaya başlayan mikroşerit antenler son yıllarda uzay araçlarında, uçaklarda, radarlarda, uydu haberleşmesinde, güdümlü mermi gibi bir çok askeri alanda, adaptif anten dizilerinde ve biyomedikal uygulamalarda geniş bir şekilde kullanılmaktadır (Akman 2012), (C. A. Balanis 2012).

Bir mikroşerit yama anten, en temel biçimiyle iki paralel iletkenin ince bir Dielektrik profil ile birbirinden ayrılmasıyla oluşur. Bir yüzey sinyal girişinin bağlanacağı, ışımayı gerçekleştirecek şekilde beslenecek olan iken, diğer yüzey topraklama amaçlı kullanılır. Bakır, altın veya gümüş gibi yüksek iletkenliğe sahip olan malzemeler bir araya getirilerek farklı özelliklerde ışıyan antenler elde edilebilir (C. A. Balanis 2012). Yama birçok farklı şekilde farklı uygulamalar için kullanılabilir ancak en çok kullanılan şekiller dikdörtgen, daire ve ince şerit şekilleridir (Saunders ve Zavala 2007).

Şekil 3.1'de görüldüğü üzere basit bir Mikroşerit yama anten, kapasitör benzeri iki iletken yüzey arasına yerleştirilmiş dielektrik tabakadan oluşmaktadır. Yapıyı oluşturan iletken yüzeylerden altta olanına toprak yüzeyi, dielektrik tabakanın üzerine yerleştirilenine ise yama denilmektedir. Alttaki toprak yüzey ideal durumda sonsuz genişlikte kabul edilir. Anten boyutları dalga boyu ile doğrudan ilişkili olduğu için mikroşerit yama antenler rezonans antenler sınıfına girerler ve diğer rezonans anten yapıları gibi dar bantlı karaktere sahiplerdir (Chang 2000),(Lagerqvist 2002).

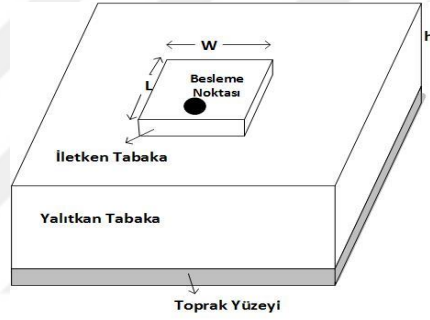
3.3.1. Mikroşerit Anten Tipleri

Mikroşerit yama antenlerin fiziksel boyutları, çalıştıkları frekans ile ters orantılı olarak değişmektedirler ve tipik olarak kazançları 5-6 dB seviyesindedir (Biçer 2011). Değişik uygulamalarda kullanılan bazı mikroşerit yama anten geometrileri Şekil 3.4'te gösterilmiştir.



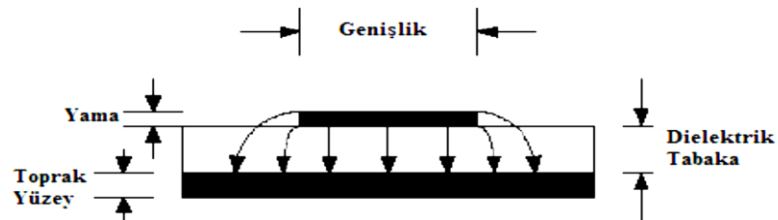
Şekil 3.4. Mikroşerit anten çeşitleri (C.A Balanis 2012)

3.3.1.1. Dikdörtgen Şekilli Mikroşerit Antenler



Şekil 3.5. Dikdörtgen mikroşerit yama anten

Mikroşerit anten yapılarında yamanın kenarları açıklık gibi davranır ve yapı içerisindeki alan tarafından uyarılır. Bu uyarılma sayesinde yamanın kenarları ve ennalttaki toprak yüzey arasında Şekil 3.6’da gösterildiği gibi elektromanyetik dalgalar oluşur ve anten ısıma yapar (C. A. Balanis 2012).



Şekil 3.6. ısıma yapan yama anten

Normal iletim hatlarında ısıyan kenarlar birbirine yakın olduğundan ısıma etkileri birbirini götürür ve sadece köşeler gibi süreksizlik bölgelerinden ısıma

gerçekleşir. Bu nedenle mikroşerit anten yapılarında iletken yamanın genişliği normal iletim hatlarının genişliğinden büyük seçilir. Yama, uçlar arasındaki kenarlardan ışıma yapar ve yapının rezonansa girmesiyle beraber empedans uyumu sağlanmış olur. Bu sayede anten en üst verimlilik düzeyinde çalışır (Milligan 2005). Mikroşerit yapıların genel özellikleri arasında olan dar bantlı olması ve düşük verimli yer olsa da, anten boyutlarında bazı oynamalar yapılarak iyileştirme sağlanabilir. Örneğin kullanılan dielektrik yapının kalınlığı artırılarak verimlilik %90 (yüzey dalgalarını oluşmaması durumunda), bant genişliği ise %35 oranlarında artırılabilir. Ancak bu yükseklik artışı aynı zamanda yüzey dalgalarının oluşmasına neden olarak köşelerden ve süreksizlik noktalarında ışıma gerçekleşmesine ve doğal olarak da güç kaybına, verimliliğin düşmesine, istenilen ışıma ve polarizasyon karakteristiklerinin bozulmasına sebep olur (C. A. Balanis 2012).

Dikdörtgen bir mikroşerit yama antende iyi bir ışıma paterni ve uygun bir geri dönüş kaybı elde etmek için aşağıdaki eşitsizlikler geçerlidir.

$$C_0 \text{ ışık hızı, } f_r \text{ rezonans frekansı olmak üzere } 0.3 \lambda_0 \leq W \leq 0.9 \frac{\lambda_0}{\sqrt{\epsilon_r}}, (\epsilon_r < 9)$$

Alt sınır Derneryd'nin, üst sınır ise Weinschel'in tavsiyesidir. Bu sınırların yanısıra deneysel olarak belirlenmiş bir diğer tavsiye de $W = \frac{\lambda_0}{2\sqrt{0.5(\epsilon_r+1)}}$ olarak Bahl ve Bhartia'dan gelmiştir. Ayrıca Kara da yaptığı deneyler sonucunda

$W = \sqrt{\frac{hc_0}{f_r \sqrt{\epsilon_r}}} \left[\ln \frac{c_0}{hf_r \sqrt{\epsilon_r}} - 1 \right]$ eşitliğini tavsiye etmektedir. Bunun yanında deneysel olarak belirlenmiş bir tavsiye de Bahl'dan gelen $L = \frac{\lambda_0}{2\sqrt{\epsilon_r W}} - 2\Delta W$ eşitliğidir ve yapılan deneyler sonucunda bu eşitliğin gereğe en yakın sonuçları verdiği görülmüştür (Kara 1996).

Herhangi bir dikdörtgen yama kullanılan basit bir mikroşerit anten yapısı incelendiğinde λ_0 serbest uzay dalga boyunu göstermek üzere boyutlara ilişkin aşağıdaki eşitsizlikler genellikle sağlanmaktadır.

t, yama kalınlığı:

$$t \ll \lambda_0 \quad (3.31)$$

h, iletkenler arasındaki mesafe:

$$0.003 \lambda_0 < h < 0.05 \lambda_0 \quad (3.32)$$

ϵ_r , dielektrik sabiti:

$$2.2 \leq \epsilon_r \leq 12 \quad (3.33)$$

L, dikdörtgen yamanın uzunluğu:

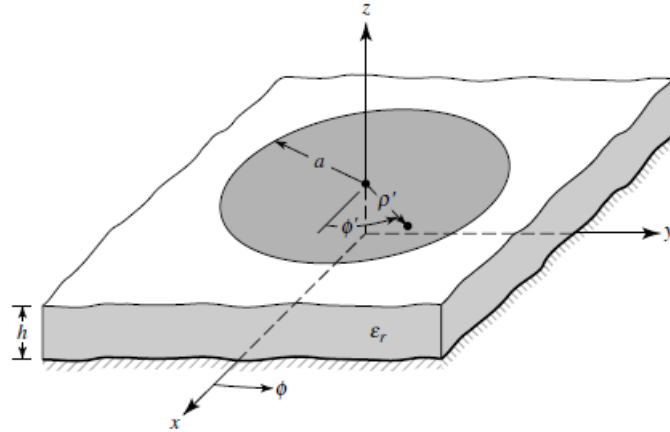
$$\frac{\lambda_0}{3} < L < \frac{\lambda_0}{2} \quad (3.34)$$

Ayrıca rezonans uzunluğu antenin rezonans frekansını da etkiler ve dikdörtgen bir yama için yaklaşık $\lambda/2$ kadardır. Antenin elektriksel boyutu kenarlardan saçılan alan nedeniyle fiziksel boyutundan büyüktür ve aradaki fark kullanılan dielektrik malzemenin kalınlığına ve dielektrik sabitine bağlı olarak değişir. Bu durum da hesaba katıldığında λ_d dielektrik tabaka içerisindeki dalga boyunu göstermek üzere rezonans uzunluk ifadesi aşağıdaki şekilde gösterilir.

$$L \approx 0.49 \lambda_d = 0.49 \frac{\lambda_0}{\sqrt{\epsilon_r}} \quad (3.35)$$

Ayrıca toprak yüzeyin boyutu, iletken yamanın kalınlığı ve iletken yamanın genişliği de rezonans frekansını etkileyebilecek parametrelerdir (Yalçın 2015).

3.3.1.2. Daire Şekilli Mikroşerit Antenler



Şekil 3.7. Dairesel şekilli mikroşerit anten (C.A. Balanis 2012)

Şekil 3.7’de gösterilen dairesel disk antenler dikdörtgen şekilli antenlere benzer bir performans sergilerler. Dairesel disk, dikdörtgen diske nazaran biraz daha küçük boyutludur. Dairesel şekiller dizi uygulamaları gibi bazı uygulamalarda diğer yama şekil çeşitlerine göre belirgin avantajlar sağlamaktadır. Dairesel disk belli bir aralıktaki empedans değeri, ısıma deseni ve çalışma frekansı üretmesi için kolayca değiştirilebilir. Bazı uygulamalarda dairesel bir yama mevcut boşluğa dikdörtgen bir yamadan daha iyi uyabilir (Koçer 2009).

Rezonatör modeli, rezonans frekansını ve bant genişliğini belirlemelidir. Dairesel dalga kılavuzlarının TE modlarının kesim frekansları dairesel yama antenlerin rezonans frekanslarını verir. Manyetik duvarlı yama ve TM modları dalga kılavuzu çiftidir. Rezonans frekansı denklem 3.36’daki gibi verilebilir:

$$f_{np} = \frac{X'_{np} c}{2\pi a_{eff} \sqrt{\epsilon_r}} \quad (3.36)$$

Burada X'_{np} , n. dereceden $J_n(x)$ Bessel fonksiyonundan türetilen sıfırlar olup dairesel dalga kılavuzlarının TE modunda geçerlidir. a_{eff} terimi ise yamanın etkin yarıçapına karşılık gelmektedir (Shen vd., 1977):

$$A_{eff}=a\sqrt{1+\frac{2h}{\pi a\epsilon_r}\left(\ln\frac{\pi a}{2h}+1.7726\right)} \quad (3.37)$$

Denklem 3.37’de a fiziksel yarıçap ve h taban kalınlığını temsil etmektedir.

Denklem 3.36 ve 3.37 beraber derlenirse;

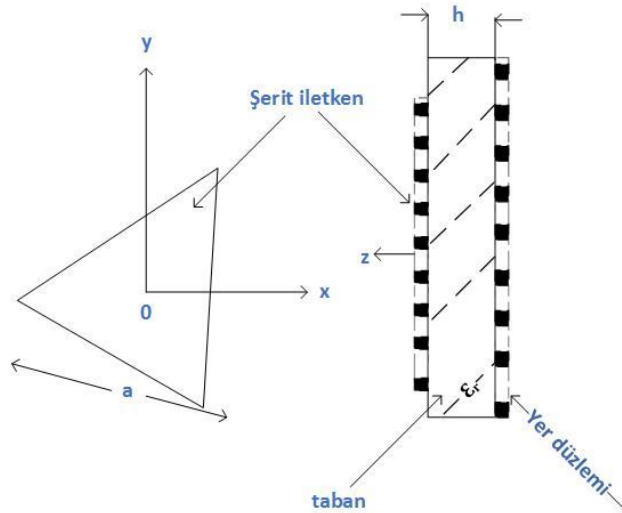
$$a_{eff}=\frac{X'_{np}c}{2\pi f_{np}\sqrt{\epsilon_r}} \quad (3.38)$$

olarak ifade edilir.

Eğer a ve a_{eff} yaklaşık olarak aynı ise denklem 3.38’den fiziksel yarıçap denklem 3.39’daki gibi hesaplanabilir(Bahl ve Bhartia 1980);

$$a=\frac{a_{eff}}{\sqrt{1+\frac{2h}{\pi a\epsilon_r}\left[\ln\left(\frac{\pi a}{2h}\right)+1.7726\right]}} \quad (3.39)$$

3.3.1.3. Üçgen Şekilli Mikroşerit Antenler



Şekil 3.8. Üçgen şekilli mikroşerit anten

Şekil 3.8’de şekli verilen ve kısaltma yarığı ilavesiyle boyutunun küçültülebildiği eşkenar üçgen şekilli mikroşerit yama anten hem teorik hem de deneysel olarak dikdörtgen yamalara benzer ışıma karakteristikleri ortaya koydukları bulunmuştur. Üçgen yamanın alan dağılımı; üçgenin manyetik bir duvar

tarafından çevresi boyunca kuşatıldığı rezonatör modeli kullanılarak bulunabilir(Koçer 2009) .

3.3.2. Mikroşerit Antenin Avantaj ve Dezavantajları

Yaklaşık olarak 100 MHz'den 50 GHz'e kadar geniş bir frekans aralığında kullanılan mikroşerit antenlerin genel özellikleri aşağıdaki şekilde özetlenebilir:

- Hafif ve küçük hacimlidirler.
- Düşük üretim maliyeti gerektirirler.
- Çok, ince yapılabilmesi nedeni ile uzay araçlarının yapısını bozmazlar.
- Bu tip antenler güdümlü mermiler, roketler ve uydular üzerine önemli değişikliklere neden olmaksızın yerleştirilebilirler.
- Düşük saçılma ara kesitine (scattering cross section) sahiptirler.
- Beslenme konumundaki ufak değişikliklerle doğrusal ve dairesel kutuplanmış ışıma yapabilirler.
- İkili frekans antenlerinin kolaylıkla üretilebilmesini sağlarlar.
- Boşluk desteği gerektirmezler.
- Osilatör, yükselteç, değişken zayıflatıcılar, anahtarlar, modülatörler, karıştırıcılar, faz değiştiricileri vs. gibi katı hal araçları mikroşerit antenlerin alt taşına ilave edilerek, bileşik sistemlerin geliştirilmesini sağlarlar.
- Besleyici hatları ve uyumlandırma devreleri, antenle birlikte aynı zamanda üretilebilir biçimdedir.

Mikroşerit antenlerin dezavantajları olarak nitelendirilen özellikleri ise şöyledir:

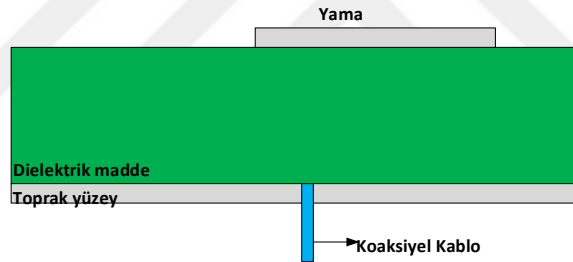
- Dar bant genişliğine sahiptirler.
- Çeşitli kayıplar sonucu, düşük kazançlıdır.
- Mikroşerit antenlerin çoğu yarı düzlem içinde ışırlar.
- -20 dB olan en üst kazancın elde edilmesinde pratik güçlükler doğururlar
- Düşük endfire ışıma performansına sahiptirler.
- Besleyici ve ışıma elemanı arasındaki zayıf yalıtımın iyi sonuçlar vermesini engellemesi
- Yüzey uyarımına olanak vermektedirler.

- Düşük güç kapasitesine sahiptirler(Yazgan 1987) .

3.3.3. Anten Besleme Yöntemleri

Mikroşerit antenler ilk zamanlarda toprak plaka içerisinde geçen mikroşerit hat veya koaksiyel sonda ile beslenirdi. Bu elementlere güç bağlantısı antenin içine veya dışına doğru değişik yöntemlerle gerçekleştirilirdi. Temelde temaslı ve temassız besleme olarak ikiye ayırabileceğimiz besleme yöntemleri çeşitli çalışmalarla geliştirilerek günümüze gelene kadar birçok çeşidi ortaya çıkarılmıştır. Bunlar içerisinde en başta gelenler koaksiyel besleme, mikroşerit besleme, yakınlık bağlantılı besleme, açıklık bağlantılı besleme ve koplanar dalga kılavuzlanmış beslemedir(Sainati 1996).

3.3.3.1. Koaksiyel Besleme



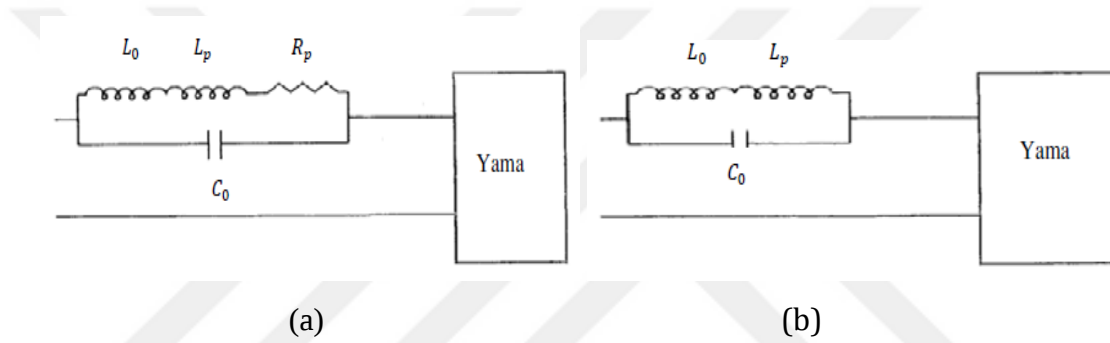
Şekil 3.9. Koaksiyel beslemeli yama anten

Şekil 3.9’da gösterilen koaksiyel besleme tekniğinde koaksiyel yapı içerisindeki iletken, üst yüzeydeki yamaya temas edecek şekilde yerleştirilirken yapının dış iletken kısmı da bir bacak vasıtasıyla toprak yüzeye bağlanır. Bu besleme tekniğinin en önemli avantajı empedans uyumunun sağlanması açısından iletkenin yamanın herhangi bir noktasına temas ettirilebilmesidir. Ayrıca gerçekleştirilmesi kolaydır ve mikroşerit yapılara nazaran istenmeyen ısıma düzeyi de düşüktür.

En önemli dezavantajı ise dar bantlı ve kalın tabaka kullanıldığında modellemesinin zorlaşmasıdır. Koaksiyel kablo besleme tekniğinde asimetriye neden olarak çapraz polarizasyonlu ışıma olarak veren yüksek dereceden

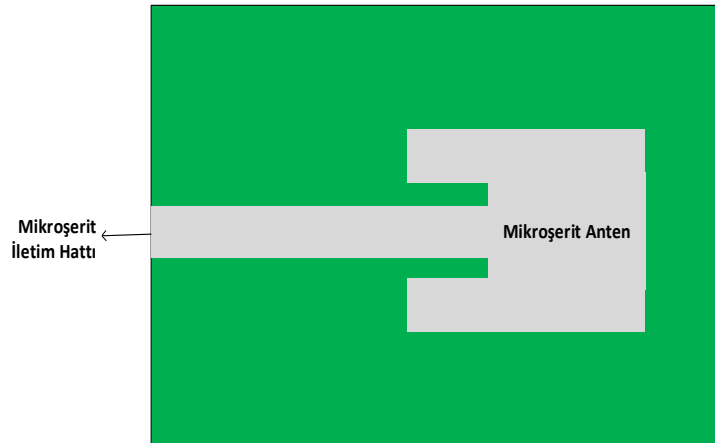
modların oluşmasına sebep olduğundan bazı durumlarda bu sorunu aşmak için bağlantısız besleme teknikleri kullanmak daha uygun olmaktadır (C. A. Balanis 2012).

Koaksiyel besleme, Huygen prensiplerini kullanarak merkez iletkenin alt noktasından üst noktasına kadar elektrik akımının bir silindirik bandı ve toprak plaka üzerindeki manyetik akımın dairesel şeriti ile modellenir. Koaksiyel besleme tekniğinin giriş empedansına ait eşdeğer devresi Şekil 3.10.a ve Şekil 3.10.b' de gösterilmiştir. Koaksiyel besleme analizi bu eşdeğer devreler haricinde çok sayıda yaklaşım bulunmaktadır (Sainati 1996).



Şekil 3.10. Koaksiyel beslemeli mikroşerit antenin eşdeğer devreleri

3.3.3.2. Mikroşerit Besleme

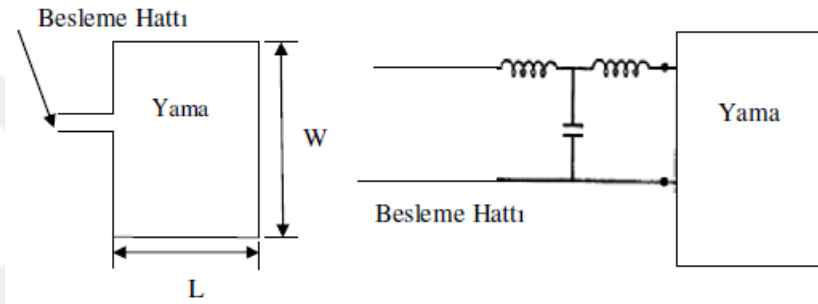


Şekil 3.11. Mikroşerit beslemeli yama anten

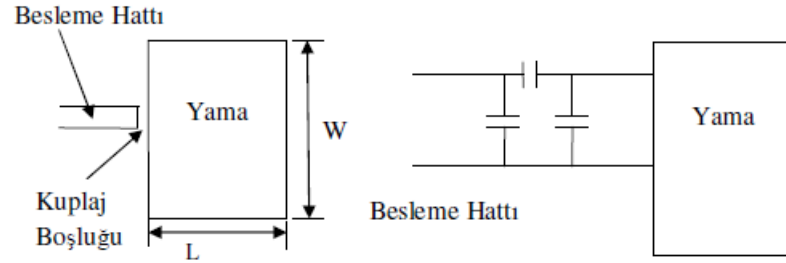
Bu besleme yönteminde güç iletimi, yamanın genişliğinden daha küçük bir genişlikteki mikroşerit hattın, yamanın bir kenarına bağlanmasıyla yapılır. Besleme için kullanılan mikroşerit hat yama ile aynı yüzey üzerine

yerleştirilebildiğinden üretim kolaylığı, hattın pozisyonunun istenilen şekilde kolayca değiştirilebilmesi sayesinde de empedans uygunlaştırma kolaylığı sağlar. Fakat bu avantajlarının yanında kalın dielektrik tabaka kullanıldığı zaman yüzey dalgaları nedeniyle istenmeyen ışımalara neden olmakta ve bant genişliği %2-%5 aralığında sınırlı kalmaktadır(C.A. Balanis 2012).

Mikroşerit besleme yönteminde iletim hattı yamaya iki şekilde bağlanabilir. Birincisi mikroşerit hat ve yama arasındaki bağlantı Şekil 3.12’ de görüldüğü gibi yamanın kenar kısmına temas ettirilerek yapılabilir. İkinci olarak Şekil 3.13’ te görüldüğü gibi iletim hattı ile yama arasında bir boşluk bırakılarak yapılabilir (Sainati 1996).

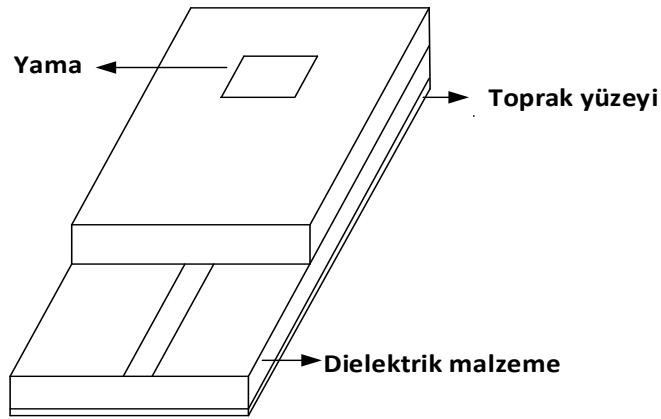


Şekil 3.12. Temaslı mikroşerit besleme eşdeğer devresi



Şekil 3.13. Boşluklu mikroşerit besleme eşdeğer devresi

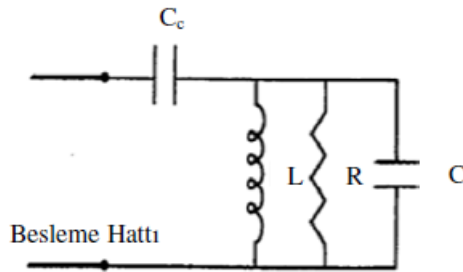
3.3.3.3. Yakınlık Bağlantılı Mikroşerit Besleme



Şekil 3.14. Yakınlık bağlantılı mikroşerit besleme

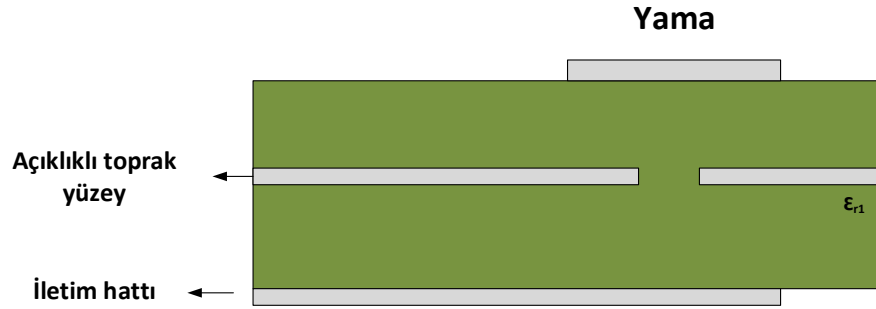
Şekil 3.14’te görülen beslemede iki dielektrik malzeme kullanılır. Besleme hattı bu iki dielektrik malzemenin ortasına ve yama ise üstteki malzemenin üst kısmına yerleştirilir. Anten kalınlığının artmasından dolayı sahte besleme ışıması ortadan kaldırılmıştır. Ayrıca anten yüksek bant genişliğine sahip olur (Qraiqa 2015).

Bu besleme tekniği için eşdeğer devre Şekil 3.15’ te gösterilmiştir. Eşdeğer devrede kuplaj kapasitesi C_s ’ nin birbirine paralel bağlı olan RLC elemanlarına seri olarak bağlanmıştır. Bu kapasite mümkün olduğu kadar iyi bant genişliği sağlamak için antenin empedans uyumunu sağlayacak şekilde tasarlanabilir (Kütük 2012).



Şekil 3.15. Yakınlık bağlantılı mikroşerit besleme eşdeğer devresi

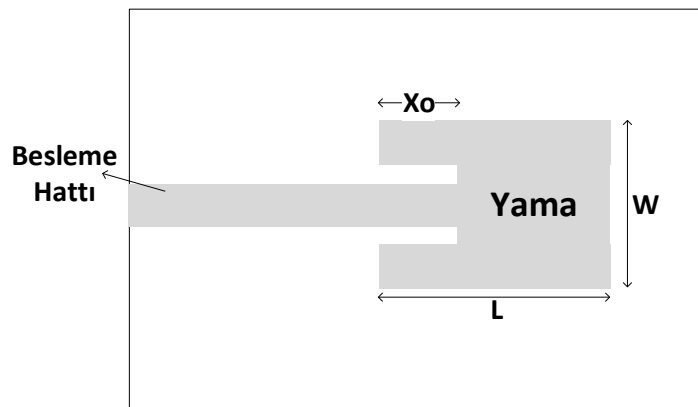
3.3.3.4. Açıklık Bağlantılı Mikroşerit Besleme



Şekil 3.16. Açıklık bağlantılı mikroşerit besleme

Şekil 3.16'da görülen bu besleme tekniğinde yama ile mikroşerit besleme hattı toprak yüzey ile birbirinden ayrılmıştır ve aralarındaki kuplaj, yani bağlantı, toprak düzlemindeki bir yarık veya açıklıkla yapılır(Qraiqa 2015). Altındaki dielektrik tabaka genellikle yüksek, üstteki de düşük dielektrik sabitli malzemelerden tercih edilir. Bu yapıda toprak yüzey besleme hattını ısıma yapan yamadan yalıtarak polarizasyon saflığını artırır ve istenmeyen ışımların etkisini de azaltır. Yapının modellenmesi kolay olmasına karşın üretimi biraz zor olmaktadır. Empedans uyumu genel olarak hat genişliğinin ve yarık uzunluklarının değiştirilmesiyle gerçekleştirilir. Dar bantlı bir yapıda olması en büyük dezavantajıdır (Gökçe 2009).

3.3.3.5. Gömme Besleme

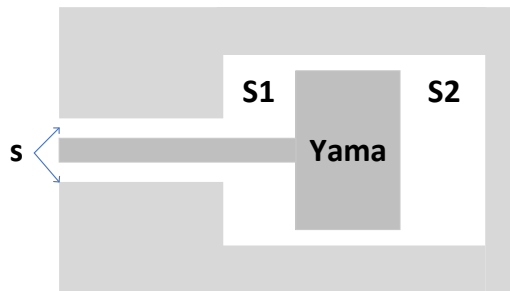


Şekil 3.17. Gömme beslemeli mikroşerit anten

Şekil 3.17’ de görülen gömme beslemeli yama anten şeklinde X_0 gömme uzunluğunu temsil etmektedir. Çoğu mikroşerit uç beslemeli antenlerde besleme hattı empedansı (50Ω) ve genellikle yama boyutlarına ve kullanılan tabana bağlı olarak değişen yama kenarındaki ışıma direnci birkaç yüz ohm olur. Bu giriş uyumsuzluğu sebebiyle maksimum güç aktarımı sağlanamadığından anten performansı olumsuz yönde etkilenecektir. Besleme ağında uyumlu bir ağ gerçekleştirildiğinde daha az yansıma oluşacağından anten performansında bir iyileşme gözlemlenir. Genellikle kullanılan bir yöntem, anteni uyumlandırmak amacıyla gömme bir besleme kullanmaktır. Çünkü direnç, yama kenarından belli uzaklıkta 50Ω değerinin bulunabileceği yama uzunluğu boyunca kosinüs kare fonksiyonu biçiminde değişmektedir. Bu mesafe gömme uzaklığı olarak adlandırılır (Carver ve Mink 1981). Gömme beslemeli mikroşerit anten tasarımında gömmenin derinliği arttıkça antenin giriş empedansı düşer (Mo ve Qin 2012).

3.3.3.6. Koplanar Dalga Kılavuzlu Besleme

Hem mikroşerit anten hem de koplanar dalga kılavuzu düzlemsel geometriye sahip oldukları için mikroşerit antenin besleme yöntemi olarak koplanar dalga kılavuzu tercih edilebilir. Bu besleme yöntemiyle beslenmiş bir mikroşerit antenin geometrisi, Şekil 3.18’de gösterilmiştir.



Şekil 3.18. Ko-planar dalga kılavuzlu besleme

Burada görüldüğü gibi, koplanar dalga kılavuzu, yamanın etrafını çevreleyecek şekilde tasarlanır. Şekildeki s , koplanar dalga kılavuzu ile besleme hattı arasındaki boşluğu, S_1 ve S_2 ise yama ile koplanar dalga kılavuzu arasındaki

boşluğu ifade eder. Bu boşlukların boyutları anten performansını önemli ölçüde etkilemektedir(Kütük 2012) .

3.3.4. Mikroşerit Antenlerde Besleme Türleri Karşılaştırması

Aynı şartlar altında deneysel olarak incelenen besleme türlerinde kıyaslama neticesinde parametrik değişkenlerin Çizelge 3.1'teki gibi olduğu görülmüştür. Ayrıca yine aynı çalışmada geri dönüş kaybı olarak adlandırılan S11 parametresinin en iyiden en kötüye doğru mikroşerit hat besleme, koaksiyel besleme, yakınlık bağlantılı besleme ve açıklık bağlantılı besleme şeklindedir(Verma vd., 2014) .

Çizelge 3.1. Aynı şartlar altında farklı tür beslemelerin karşılaştırılması

Özellik	Mikroşerit Besleme	Koaksiyel Besleme	Açıklık Bağlantılı Besleme	Yakınlık Bağlantılı Besleme
Yapay Işıma	Yüksek	Yüksek	Düşük	Minimum
Güvenirlilik	Daha iyi	Zayıf	İyi	İyi
Gerçekleştirme	Kolay	Lehim gerektirir	Hizalama gerektirir	Hizalama gerektirir
Bant Genişliği	% 2-5	%2-5	%12-15	%8-10

Ayrıca H. Kütük' ün (2012) yılında yaptığı çalışmada mikroşerit antenler için dielektrik sabiti, alt tabaka boyutları ve yama boyutları gibi parametreler sabit tutularak besleme yöntemi ve beslemeyle ilgili parametreler değiştirilerek elde edilen sonuçlar değerlendirmiş ve elde edilen sonuçlara göre sıralamaları Çizelge 3.2'de gösterilmiştir (Kütük 2012).

Çizelge 3.2. Besleme yöntemlerinin kıyaslama sonuçları

Parametre	Besleme Yöntemleri				
	Mikroşerit	Koplanar	Koaksiyel	Açıklık	Yakınlık
Bant Genişliği	3.	1.	4.	5.	2.
Kazanç	4.	1.	5.	2.	3.
Geri Dönüş Kaybı	4.	1.	3.	5.	2.

4. DOPPLER RADAR SİSTEMİ VE ANTEN GERÇEKLENMESİ

Yama antenin tasarlanmasında göz önünde bulundurulması gereken bazı temel parametreler vardır. Bunlardan biri çalışma frekansıdır. Çalışma frekansı antenin kullanılacağı standardın yer aldığı frekans bandının merkezi tarafından belirlenir. Yani çalışma frekansı antenin rezonansa gelmesi istenilen frekanstır. Diğer parametreler dielektrik maddenin özellikleridir. Dielektrik maddenin dielektrik sabiti sistem performansında çok önemlidir. Mikroşerit anten tasarımında tercih edilen dielektrik malzemelerin dielektrik sabitleri genellikle $2.2 \leq \epsilon_r \leq 12$ aralığındadır. Antenin (yamanın) boyutları dielektrik sabitine göre belirlenmektedir. Dielektrik sabiti arttıkça antenin boyutları küçülür. Aynı zamanda yamanın kenarlarında oluşan saçaklanma etkisinin artmasına sebep olarak anten performansını olumsuz yönde etkiler. Fakat boyutları arttırma pahasına da olsa yapılan tasarımlarda daha yüksek verim ve bant genişliği elde etmek için düşük dielektrik sabitine sahip dielektrik malzemeler ile çalışmalar da yapılabilmektedir (Çetme 2009).

Dielektrik malzeme topraklama yüzeyi ile yama arasındaki dielektrik tabakadır. Yüksekliği genellikle $h \leq \lambda_0$ olmak üzere $0.003\lambda_0 \leq h \leq 0.05\lambda_0$ aralığında seçilir. Burada h dielektrik malzemenin yüksekliğini λ_0 ise boş uzay dalga uzunluğunu ifade etmektedir. Dielektrik malzeme yüksekliği arttırılarak verimlilik %90'lara bant genişliğini ise %35'lere kadar çıkarılabilmektedir. Ancak yükseklik arttıkça meydana gelen yüzey dalgaları oluşumu istenmeyen bir durumdur. Işıma için harcanmak istenen mevcut güç yüzey dalgalarında harcanarak dielektrik malzemenin köşeleri gibi devamsızlık içeren noktalarda saçılmalar oluşturmaktadır. Bu durumda da anten ışıma örüntüsü ve polarizasyon karakteristiklerinde bozulmalar meydana gelmektedir. Çeşitli yöntemlerle yüzey dalgaları giderilerek yüksek bant genişliği korunabilir (C. A. Balanis 2012).

Bu çalışmada gerçekleştirilecek tasarımda odak noktası dikdörtgen yama anten ve mikroşerit hat ile besleme olmuştur. Tasarlanacak anten 5.8 GHz merkez frekansına sahip doppler radar sisteminde kullanılacağından 5.8 GHz

frekansında çalışan, geri dönüş kaybı -10 dB değerinden düşük ve kazancı da kabul edilebilir bir seviye olan 3 dB değerinden yüksek bir anten tasarlanması planlanmıştır. Planlanan frekansa karşılık gelen dalgaboyu $\lambda_0 = \frac{c_0}{f} = 0,051$ m olarak hesaplanmıştır.

Tekli mikroşerit yamanın uzunluğu L , genel olarak antenin çalışma frekansındaki dalga boyunun yarısından saçak alan uzunluğunun Δl çıkarılması ile elde edilir(C. A. Balanis 2012)

$$L = \frac{c}{2fr\sqrt{\epsilon_e}} - 2\Delta l \quad (4.1)$$

Burada ϵ_e yalıtkan tabakanın etkin dielektrik sabitidir. Ayrıca düşük frekanslarda etkin dielektrik sabiti aslında sabittir. Orta büyüklükteki frekanslarda etkin dielektrik sabitinin değeri düzenli bir şekilde artar ve sonunda dielektrik maddenin dielektrik sabitinin değerine yaklaşır.

$W/h > 1$ için;

$$\epsilon_e = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left(1 + \frac{12h}{w}\right)^{-1/2} \quad (4.2)$$

ile hesaplanır. Saçak alan uzunluğu Δl ise;

$$\Delta l = 0.412h \left(\frac{\epsilon_e + 0.3}{\epsilon_e - 0.258} \right) \left(\frac{\left(\frac{W}{h}\right) + 0.264}{\left(\frac{W}{h}\right) + 0.8} \right) \quad (4.3)$$

ile tanımlanır.

Tekli mikroşerit yamanın genişliği W ise kalınlığı h olan bir yalıtkan taban için çalışma frekansı f_r olmak üzere aşağıdaki gibi hesaplanabilir(C. A. Balanis 2012):

$$W = \frac{c}{2f_r} \left(\frac{2}{\epsilon_r + 1} \right)^{1/2} \quad (4.4)$$

Burada c ışığın boşluktaki hızı, ϵ_r taban malzemenin dielektrik sabitidir.

Teorik olarak bulunan değerler neticesinde anten tekli yama boyutları 16mm X 11mm olarak bulunmuştur. Tasarlanan antene ait temel yamanın boyutları

16.5mm X 10.5mm olarak gerçekleştirilmiştir. Malzeme seçimi olarak kolay elde edilebilir ve tasarım kriterlerinin gerçekleştirilebileceği FR4 epoxy seçilmiştir. Bu malzemenin dielektrik sabiti 4,25 ve kalınlığı da 1,5 mm' dir.

4.1. Anten Tasarımı İçin Benzetim Yazılımı (HFSS)

HFSS yazılımı, 3 boyutlu tam dalga elektromanyetik alan benzetimi için endüstriyel standartlarda kullanılan ve elektromanyetik yapıları sonlu elemanlar yöntemi ile çözen bir yazılımsal bir simülatördür. HFSS, yüksek hız ve yüksek frekanslı tasarımlar için kullanılabilecek en iyi çözümü üreten programlardan biridir. Çip üstünde gömülü pasif devre tasarımı, baskı devre bağlantıları, antenler gibi yüksek frekans bileşenleri, mikrodalga bileşenleri, bütünleşmiş devre paketleri ve biyomedikal cihaz tasarımı gibi çok kapsamlı alanlarda kullanılmaktadır. Tasarımcının güvenebileceği net ve doğru sonuçlar vermektedir. HFSS ile saçılmış matris bileşenlerini ayrılabilir, uzak-yakın elektromanyetik alanlar görsel hale getirebilir ve devre benzetimleriyle bağlantılı tam dalga modelleri tasarlanabilir.

HFSS, tasarımda verimliliği artırır ve tasarım zamanından tasarruf sağlar. Ayrıca iyi tasarım başarısı sağlamayı garanti eden ve her yeni sürümü ile tasarımcılara önemli ölçüde verimlilik kazandırmayı amaçlayan bir benzetim programıdır (Kütük 2012). HFSS, hesaplamaları sırasında sinyal kalitesi, iletim yol kayıpları, empedans uyumsuzluğu nedeniyle oluşan yansıma kayıpları ve ısıma durumlarını etkin bir şekilde değerlendirir.

HFSS, basit bir monopol antenden, kompleks dizilerin dizaynına kadar geniş bir yelpazede optimizasyon çalışması ve performans görüntülemesinde tercih edilen bir yazılımdır. Antenlerin ısıma desenleri, demet genişliği, uzak-yakın alan istatistikleri, S parametreleri, VSWR, Smith abağı gösterimleri gibi birçok elektriksel özellikleri bu benzetim programı sayesinde görüntülenebilir ve optimize edilebilir.

HFSS'in genel özelliklerini şu şekilde sıralayabiliriz;

Çözüm verileri:

- S parametreleri
- Uzak alan hesaplaması (2 ve 3-boyutlu, kazanç, açılal hüzme genişliğı)
- Giriş modu ve empedans hesaplaması
- SAR hesaplaması
- Mod dönüştürümü
- Malzeme kayıpları
- Işıma kayıpları

Data sunumu/görsel sonuçlar:

- S, Y, Z parametre matrisi, 2-boyutlu çizimleri
- Smith abağı
- Port yüzey giriş empedansı
- Farksal S parametresi
- Her yüzey için 3-boyutlu statik ve dinamik alan çizimleri (akım, elektrik ve manyetik alan, ışıma deseni, vektör gösterimi, büyüklük gösterimi)

Optimizasyon ve parametrik çözümler:

- Geometri ve malzeme parametrizasyonu (parametrik tarama sonuçlar için N boyutlu veri çizimleri)
- Optimizasyon, hassasiyet ve istatistiksel analiz (Çetme 2009).

HFSS basit bir monopolden karmaşık radar tertibatları ve rasgele besleme ağlarına kadar çeşitli antenlerin tasarlanmasına, iyileştirilmesine ve performanslarının tahminine izin verir. Antenlerden anten dizilerine ve besleme sistemlerine kadar, HFSS ısıma desenlerini, ısın genişliğini, dâhili alanları ve daha fazlasını içeren elektriksel performansları doğru bir şekilde tahmin eder. Diğer uygulamaları ise RF ve mikrodalga bileşen tasarımı, yüksek frekans IC tasarımı, yüksek hızlı paket tasarımı ve yüksek hızlı ya da RF PCB tasarımıdır. HFSS bir yapının elektromanyetik davranışını hesaplamak için kullanılan interaktif bir yazılım paketidir. Yazılım bu davranışın detaylı analizi için ön işleme komutlarını içerir. HFSS kullanılarak aşağıdakiler hesaplanabilir:

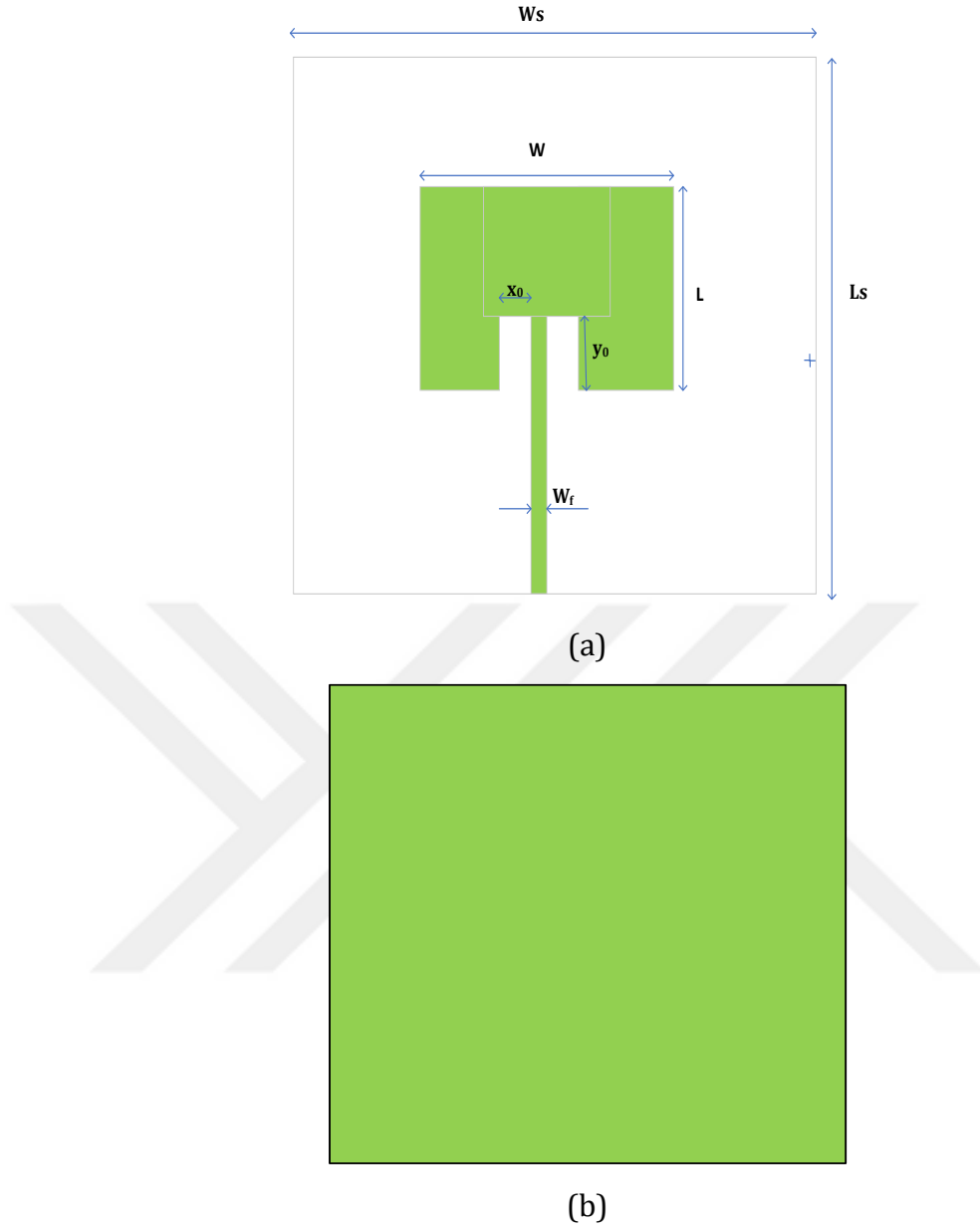
- Sınır problemleri, ışıyan yakın ve uzak alanlar için temel elektromanyetik alan belirleyicileri,
- Karakteristik port empedansı ve yayılma sabitleri,
- Genelleştirilmiş S-parametreleri ve belirli port empedansları için normalize edilmiş S-parametreleri,
- Bir yapının Eigenmodlarını veya rezonansları.

Ayrıca tasralanan yapı çizdirilebilir, her nesne için materyal karakteristikleri belirlenebilir ve portlarla özel yüzey karakteristikleri belirlenebilir.

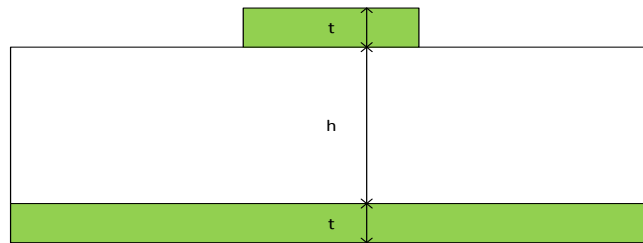
HFSS ardından gerekli alan çözümleri ile bağlantılı port karakteristiklerini ve S-parametrelerini üretir. Problem kurulduğunda, HFSS problemi tek bir belirli frekansta ya da belli bir aralıktaki pek çok frekansta çözüleceğini belirlemeye imkân tanır (Koçer 2009).

4.2. Anten Boyutlarının Tespiti

Bu tez çalışmasında istenen performans kriterlerini karşılayarak kolayca gerçekleştirilecek dikdörtgen şekilli mikroşerit anten tasarımı seçilerek besleme olarak mikroşerit gömme besleme tipi seçilip 5,8 GHz ISM bandı için tasarlanmıştır. Adı geçen referans antenin üstten şematik görünümü ve tasarım parametreleri Şekil 4.1(a)'da, tamamen toprak düzlemi olan arka düzleminin şematik görünümü, Şekil 4.1(b)'de ve antenin besleme girişinden (yandan) görünümü Şekil 4.2'de verilmiştir. Burada anten tasarım parametreleri; W_s taban malzemesinin genişliği, W yamanın genişliği, L_s taban malzemesinin boyu, L yamanın boyu, W_f besleme hattının genişliği, y_0 besleme hattının girintisinin uzunluğu, x_0 besleme hattının girintisinin eni, dielektrik kalınlığı h , metal kalınlığı t dir. Referans mikroşerit anteni tasarlarken ve bu tez kapsamında tasarlanan dizi anten için taban malzemesi olarak piyasada kolayca bulunabilen, uygun fiyatlı ve dielektrik sabiti $\epsilon_r = 4,25$, tanjant kaybı $\tan\delta = 0,025$ değerlerine sahip olan FR4 kullanılmıştır. Taban malzemesinin dielektrik kalınlığı $h = 1,5$ mm ve metal kalınlığı ise $t = 0,035$ mm'dir.



Şekil 4.1. Klasik mikroşerit antenin (a) üstten şematik görünümü ve parametreleri (b) arkadan görünüşü (toprak düzlemi)



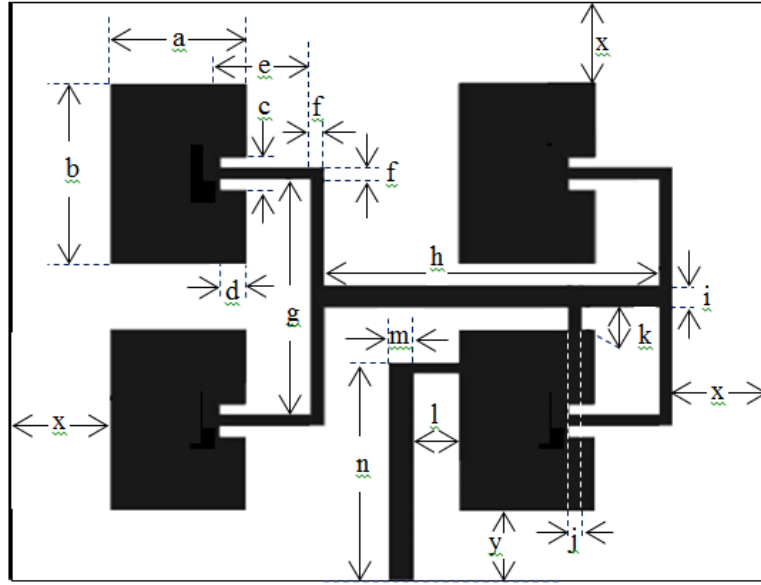
Şekil 4.2. Antenin besleme girişinden görünüşü

Referans anten için dikdörtgen yama boyutları (3.40)-(3.43) denklemleri kullanılarak 5,8 GHz için hesaplanmış ve tez çalışmasında aynı yama geometrisi ve boyutları kullanılmıştır. Bu denklemler ile yapılan hesaplamalardan yamanın eni $W = 16,5$ mm ve yamanın boyu $L = 10,5$ mm olarak bulunmuştur. Anten giriş empedansı ile besleme hattının empedansını uygunlaştırmak için, kolay ve ilave devre elemanı kullanmadan gerçekleştirilebilmesi nedeniyle, girinti uygunlaştırma yöntemi kullanılmıştır (C. A. Balanis 2012). Hesaplamalar yapıldıktan sonra gerçekenebilecek değerler kullanılmıştır. Tüm tasarım parametreleri Çizelge 4.1’de özetlenmiştir.

Çizelge 4.1. Referans dikdörtgen mikroşerit antenin tasarım parametreleri

Parametre	Açıklaması	Değeri (mm)
W	Yamanın genişliği	16,5
L	Yamanın boyu	10,5
W_f	Besleme hattının genişliği	1
y_0	Besleme girintisinin boyu	2
x_0	Beslemenin girintisinin boşluğu	1

Tekli mikroşerit antenin düşük kazanç, düşük etkinlik, düşük yönlendirme gibi dezavantajları bulunmaktadır. Bu dezavantajlar daha fazla antenin kullanılarak bir anten dizisi oluşturulmasıyla azaltılabilir. Anten dizisindeki yama sayısının arttırılmasıyla daha iyi performans alındığı gözlemlenmiştir (De, Chosh, ve Bhattacharjee 2016). Ayrıca İsa Ataş ve Teymuraz (2016) yaptığı çalışmada anten sayısının artmasıyla geri dönüş kaybı, yönlendiricilik ve kazancın arttığını göstermiştir (Ataş, Kurt, ve Abbasov 2016). Bu nedenle tasarım kriterlerinin karşılanması için HFSS programı yardımıyla 2X2 boyutunda anten dizisi tasarlanmıştır. Tasarlanan anten geometrisi Şekil 4.3’ te ve anten boyutları da Çizelge 4.2’de gösterilmiştir.



Şekil 4.3. Tasarlanan anten dizisi geometrisi

Çizelge 4.2. Tasarlanan dizi antenin boyutları

Parametre	a	b	c	d	e	f	g	h
Uzunluk(mm)	10,5	16,5	3	2	7	1	21,5	26
Parametre	i	j	k	l	m	n	x	Y
Uzunluk(mm)	2	1	2	3,5	2	22	10	8,5

Çizelge 4.2'den de anlaşılacağı üzere dizi anten 63,5 mm X 57,5 mm büyüklüğünde ve 1,5 mm kalınlığındaki dielektrik malzeme üzerinde tasarlanmıştır. Bu malzemenin altında da yine aynı büyüklükte bir yama toprak amaçlı kullanılmıştır. Anten tasarımı mikroşerit gömme hat beslemesi ile yapılmıştır.

4.3. Radar Sisteminde Kullanılan Modüller

Anten karşısında dikey düzlemde cismin yer değiştirmesini algılayabilecek bir devre yapılması planlanmıştır. Gerçekleştirilecek devre için daha önceden kalp sinyallerini ve nefes alıp verirken göğüs kafesinin hareketlerini algılayan doppler radar sistemlerinden faydalanılmıştır. Bu sistemde kullanılan temel parçalar şunlardır;

4.3.1. RF Alt Sistem

Genellikle anten beslemesi, anten, alıcı-verici ve bazı filtrelerden oluşur. RF sistem verici kısımdan aldığı sinyali iletim boyunca serbest uzaya yayar. Serbest uzaydan aldığı sinyali de alıcıya gönderir. Sıklıkla da sinyal yayılımı koaksiyel yayılma dönüştürülmesi gerekir. Sinyalin istenen bantta alınması, gürültülerin elenmesi gibi nedenler için de filtreleme yapılır. Alıcı –verici kısım da alıcı ve verici kısımlar arasında izolasyonu sağlar. Anten beslemesi antenin çalışması için gerekli enerjiyi temin eder. Anten ise RF sistemin iletim için son, sinyal alımı içinse ilk basamaktır.

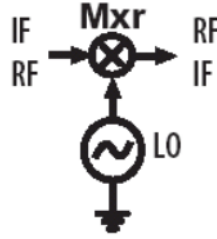
4.3.2. Frekans Birleştirici ve Osilatörler

Osilatörler radar gibi mikrodalga sistemler için temel mikrodalga enerji kaynaklarıdır. Temel olarak bir aktif cihaz ve bir pasif frekans belirleyici rezonans elemanından oluşur. Tipik olarak iki türlü Osilatör vardır. Dielektrik rezonans Osilatör (DRO) genellikle sabit frekansta çalışan osilatörlerdir. Frekans ayarlaması için dielektrik rezonatörler kullanılır. Eğer frekans değiştirilmek istenirse varaktör kullanılır. İkinci Osilatör tipi ise devremizde kullandığımız Voltaj kontrollü osilatörlerdir (voltage controlled oscillator ,VCO). Frekans değişimi için gerilimin ayarlandığı Osilatör tipidir. Varaktör diyota verilen doğru akım gerilimin değiştirilmesiyle osilatörün çalıştığı bant değiştirilebilir. Ayrıca faz kitlemeli döngü (Phase Locked Loop ,PLL) devreleri de frekans kontrolü için kullanılabilir. PLL temelde VCO'nun fazını kontrol eden geri beslemeli kontrol devresidir. Bir faz detektörünün girişine bir sinyal uygulanırken diğer girişe de bir başka sinyal gerilim bölücünün çıkışına uygulanır. Faz detektörünün çıkışı bu iki girişin gerilimle orantılı olarak faz farkıdır. Çıkış sinyali bir filtreye uygulanır ve bu filtrelenmiş sinyal VCO 'yu kontrol eder.

4.3.3. Mikser

Mikserler bir frekans aralığındaki sinyali başka bir sinyal aralığına değiştirmek için kullanılır. Radar haberleşmesinde mikserler RF sinyallerini IF(intermediate

signal) sinyallerine, IF sinyallerini RF sinyallerine dönüştürmek için kullanılır. IF sinyallerini RF sinyallerini dönüştürmeye sinyal yükseltme işlemi denir ve radar vericilerde kullanılır. RF sinyallerini IF sinyallerini dönüştürmeye sinyal düşürme işlemi denir ve radar alıcılarda kullanılır. Şekil 4.4' te görülen karıştırma işlemi lokal Osilatör (local oscillator ,LO) tarafından frekansı bilinen bir sinyal ile RF veya IF sinyalinin birleştirilmesiyle yapılır.



Şekil 4.4. Karıştırma işlemi

Mikserin çalışma prensibi şekilde gösterilmiştir. Yükseltme işlemi sonucunda sonuç iki sinyalin toplamı, düşürme işlemi sonucunda ise sonuç iki sinyalin farkıdır.

4.3.4. Güç Yükselteci

Güç yükselteçleri (Power Amplifier,PA) RF sinyallerini kuvvetlendirmek için kullanılır. Eski tip yükselteçler yüksek güç üretmesine karşın genellikle düşük döngüyle çalışırlardı. Günümüzde sıklıkla kullanılan katı hal güç yükselteçleri (Solid State Power Amplifiers ,SSPAs) uzun darbeleri ve yüksek çevrim zamanlarını destekler. Bu yükselteçler düşük kazançla sahip olduklarından yüksek kazanç elde etmek için birkaç tanesini bağlamak gerekebilir. Katı hal yükselteç çeşitlerine çift kutuplu silikon transistörler, Metal Yarı-iletken Alan Etkili Transistörler (Metal Semiconductor Field Effect Transistors, MESFETs), Yük Etkili diyotlar ve Çığ diyotu örnek verilebilir.

4.3.5. Verici Alt Sistem

Verici sistemleri radarların genellikle güç ve maliyetlerin çoğunu tüketir ve başlıca termal yüküdür. İstenilen aralıkta çalışabilmesi için verici uygun bir güçle beslenmelidir. Verici sistemin üç ana bileşeni güç yükselteci, yükseltici mikser

ve dalga biçimi üreticidir. Dalga biçimi üretici radarın çalışması istendiği temel bantta istenen dalgayı üretir. Üretilen bu dalga mikser sayesinde RF sinyale çevrilir. Son olarak güç yükseltici sinyali RF sisteme girmeden güçlendirir.

4.3.6. Alıcı Alt Sistem

Alıcı sistemin görevi istenen sinyali algılamaktır. Algılanan sinyal parazit, girişim gibi istenmeyen sinyallerden arındırılıp bir sonraki işlem için yükseltilmelidir. Alıcı tasarımı gönderilen sinyalin dalga biçimi, hedeflerin niteliği, gürültünün karakteristikleri, parazit ve girişime bağlıdır. Alıcıların asıl hedefi geri dönen eko sinyalinin sinyal-gürültü oranını (signal noise ratio, SNR) en yüksek değere çıkarmaktır. Alıcı sistem genellikle LNA ve sinyal düşürücü mikserlerden oluşur. Yansıyan sinyalin gücünden veya sisteme giren bir yüksek güçlü sinyalin zararından korunmak için bazen sınırlayıcı da kullanılabilir. Eğer sayısal sinyal gerekiyorsa alıcı tarafın sonuna analog-sayısal çeviriciler de kullanılabilir.

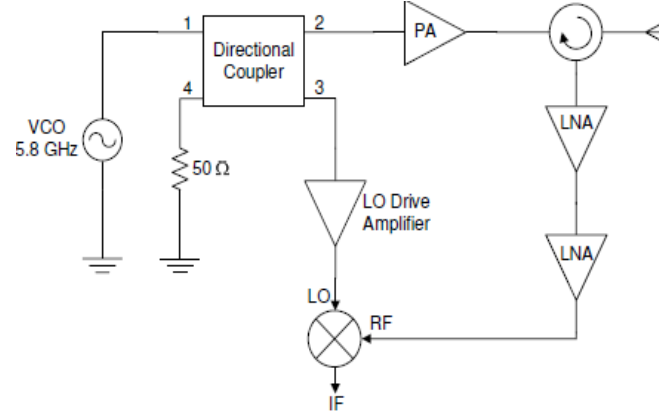
4.3.7. Sinyal İşleme/Bilgi İşleme/Kontrol Alt Sistemleri

Ham alıcı sinyallere çeşitli sinyal sinyal işleme teknikleri uygulanabilir. En çok kullanılan radar sinyal işleme teknikleri korelasyon, apodizasyon, doppler filtreleme, görüntü reddetme, algılama işlemi ve izlemedir. Günümüzde radar sistemlerinin çoğunda karmaşık çiplerin kullanıldığı sayısal sinyal işlemcileri vardır.

4.3.8. Güç Sistemi

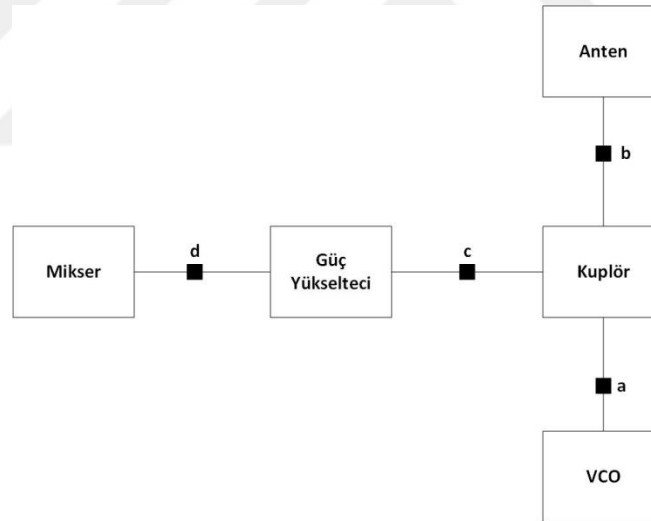
Bilindiği üzere radar sistemleri birçok parçadan oluşur ve genellikle bu parçaların her biri farklı gerilimde çalışır. Bu nedenle farklı gerilim/akım kaynakları gerekmektedir. Sinyalleri yollara ayırmak için yani gelen dalgayı yansıyan dalgadan ayırmak içinse kuplör kullanılır. Kuplör giriş portuna gelen sinyali iki çıkış portu arasında dağıtır ve dördüncü portu genellikle bir dirençle sonlandırılır ve bu porta sinyal gönderilmez.

Hayati sinyalleri algılayan doppler radar devre şematiği Şekil 4.5' te gösterilmiştir.

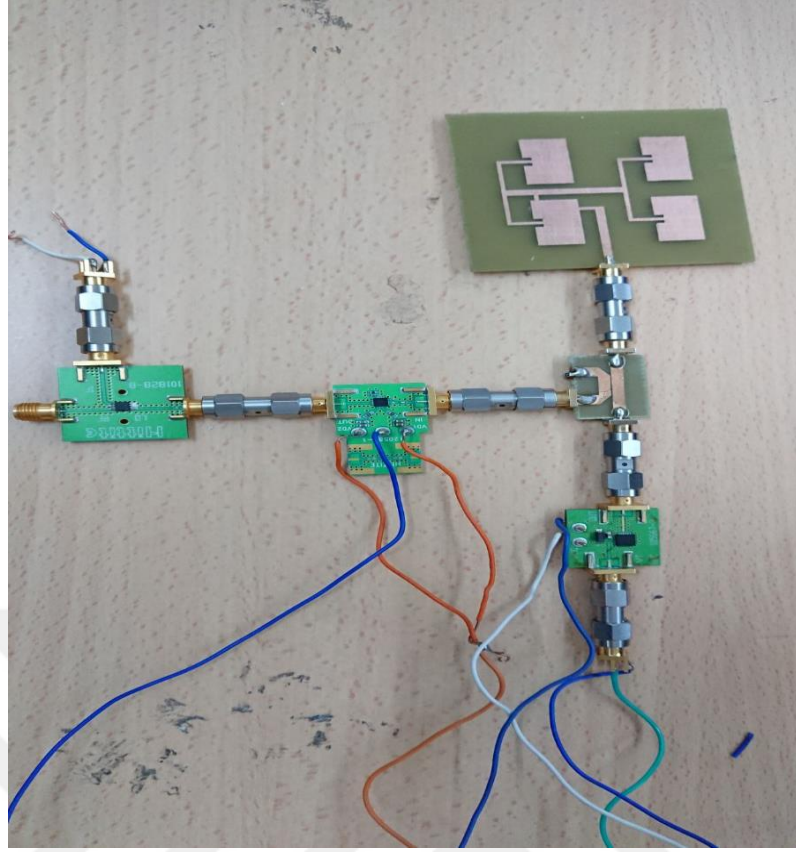


Şekil 4.5. Hayati sinyalleri algılayan doppler radar devre şematiği

Tasarlanan devre şematiği Şekil 4.6 ve gerçekleştirilen devre Şekil 4.7' de gösterilmiştir.



Şekil 4.6. Tasarlanan devre şematiği



Şekil 4.7. Gerçeklenen doppler radar sistemi

5. ARAŞTIRMA BULGULARI

Anten tasarımında yama gerekli hesaplamalar yapılarak 63,5 mm X 57,5 mm büyüklüğünde ve 1,5 mm toplam kalınlık ve 0,035 mm metal kalınlığa sahip piyasada kolayca bulunabilen, uygun fiyatlı ve dielektrik sabiti $\epsilon_r = 4,25$, tanjant kaybı $\tan\delta = 0,025$ değerlerine sahip olan FR4 kullanılarak tasarlanmıştır. Ayrıca antenin toprak yüzeyi olan alt yüzeyi de yama ile aynı özelliklere sahiptir. Tasarımda önceden belirlenen kriterler göz önünde bulundurularak 5,8 GHz frekansında çalışabilecek bir anten tasarlandı. Tasarlama aşamasından sonra laboratuvar ortamında gerçekleştirildi. Gerçeklendikten sonra spektrum analizör ile geri dönüş kaybı ölçüldü. Benzetim programı ve spektrum analizör sonuçları birbirine uygun olduğu görüldü ve ardından sistemde kullanılacak modüllere geçildi.

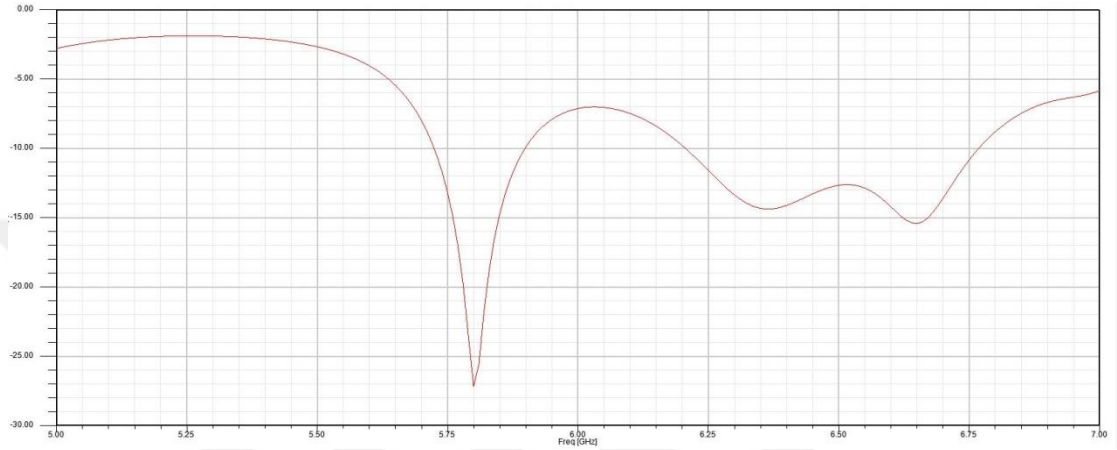
Sistemde kullanılacak modüller için literatür taraması yapılarak hangi modüllerin kullanılacağı belirlendi. Modüller gerçekleştirirken modül üzerinde bulunan bağlantılara uygun olarak 50 Ω değerinde kablolar ve sonlandırma parçaları kullanılmıştır. Modüllerden sonra kullanılacak olan 10 dB kuplör tasarlanarak gerçekleştirilmiş ve 50 Ω değerinde sonlandırma elemanı takılmıştır.

Devrede kullanılacak bütün modüller ve anten gerçeklendikten sonra spektrum analizör ile giriş gerilim değerleri ayarlandı. Sistem için kullanılacak anten, modüller ve gerilim kaynakları hazırlandıktan sonra sistem çalışır hale getirildi.

Anten karşısına oturarak nefes alıp verildiğinde osiloskopta izlenen sinyallerdeki değişimler izlenerek sistemin çalıştığı anlaşıldı. Daha sonra anten karşısına bir cisim yerleştirip cisim anten karşısında birer cm aralıklarla uzaklaştırıldı. Her bir cm mesafe değişiminde modüller arasındaki gerilim değerleri ölçülerek mesafe ile gerilimin nasıl değiştiği gözlemlendi.

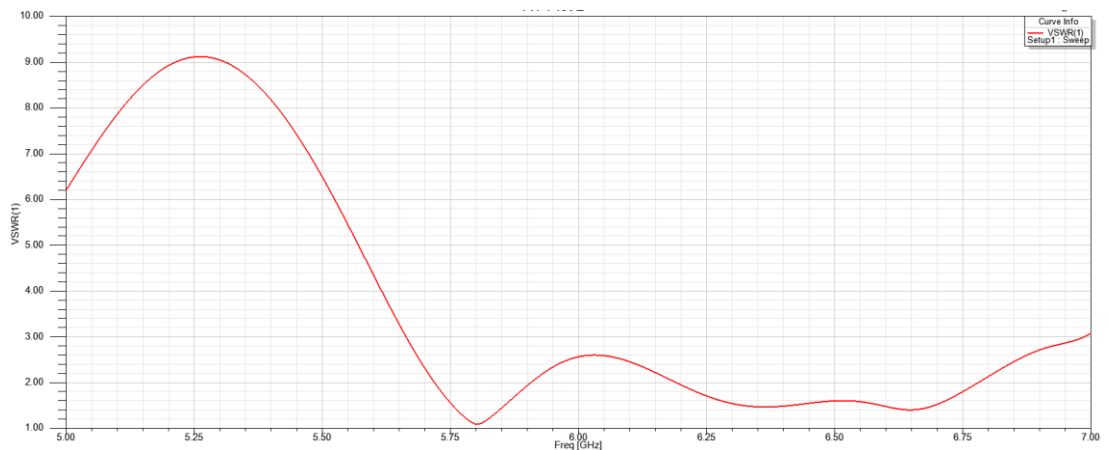
5.1. Anten Sonuçları

Şekil 5.1’ de tasarlanan antenin S11 grafiği görülmektedir. Antenin rezonansa geldiği 5,8 GHz frekansında anten dizisi tasarım kriteri olan -10 dB değerinden çok daha düşük olan -27,1386 dB değerinde bir geri dönüş kaybına sahiptir. Bu değer ise mikroşerit antenlere göre çok iyi bir değerdir.



Şekil 5.1. Tasarlanan anten dizisinin S11 grafiği

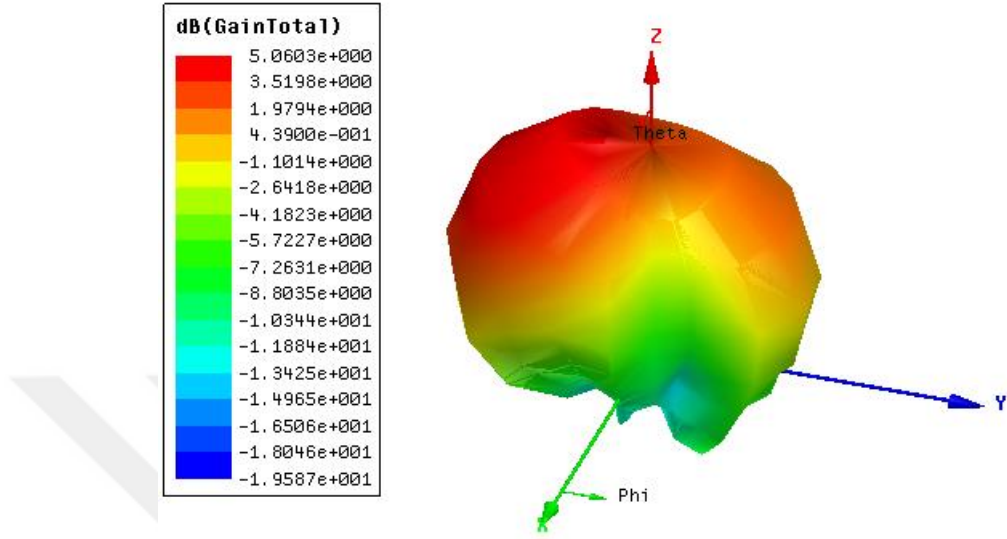
Şekil 5.2’ de tasarlanan antenin VSWR grafiği görülmektedir. Antenin rezonansa geldiği 5,8 GHz frekansında anten ışıması için geçerli koşul olan $VSWR \leq 2$ değerinden çok daha düşük ve ideal değer olan $VSWR=1$ değerine çok yakın olan 1,092 değerinde bir duran dalga oranına sahiptir.



Şekil 5.2. Tasarlanan anten dizisinin VSWR grafiği

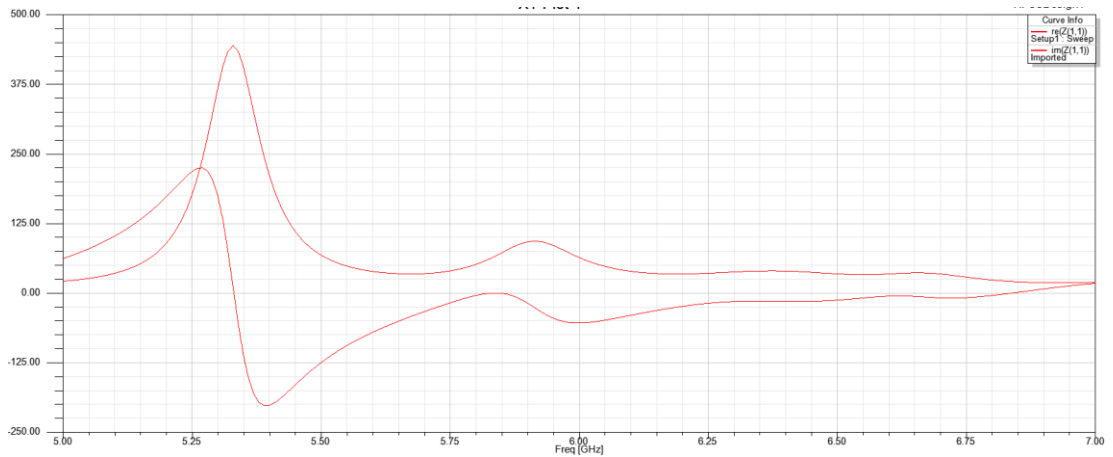
1,092 ise mikroşerit antenlere göre çok iyi bir değerdir. Ayrıca mevcut bant genişliği içerisinde VSWR değerlerinin çok küçük değerlerde olduğu, empedans

uygunlaştırmasının mevcut rezonans frekansı için oldukça iyi yapıldığı, mikroşerit iletim hattında geri yansımaların ve duran dalga oranlarının minimum değerlere yakınsadığı gözlenmektedir.



Şekil 5.3. Tasarlanan anten dizisinin kazanç paterni

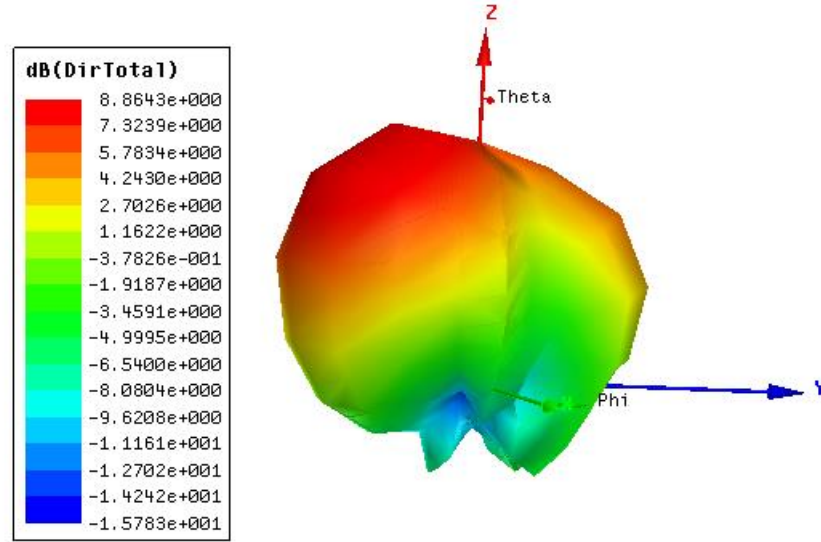
Şekil 5.3’ te tasarlanan antenin 3 boyutlu kazanç paterni (3-boyutlu polar çizim) görülmektedir. Antenin rezonansa geldiği 5,8 GHz frekansında anten dizisi tasarım kriteri olan 3 dB değerinden daha yüksek olan 5,0603 dB değerinde bir kazanca sahiptir. Bu değer ise mikroşerit antenlere göre iyi bir değerdir.



Şekil 5.4. Tasarlanan anten dizisinin giriş empedansı grafiği

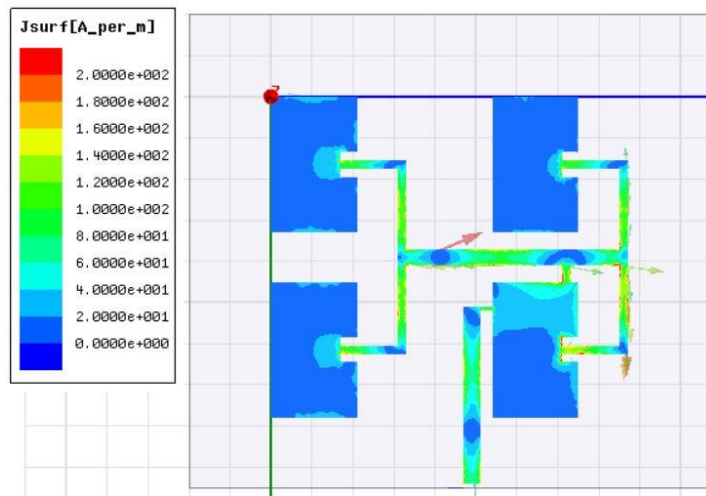
Şekil 5.4’ te giriş empedansının (Z_i) frekansa göre değişimi yer almaktadır. Empedans uygunlaştırması esnasında konnektör empedans değeri 50 Ω olarak ayarlanmıştır. HFSS programı ölçüm sonuçlarına göre anten dizisinin giriş

empedansı 5,8 GHz için $\text{Re}(Z_i)$ değeri 51,5804 Ω ve $\text{Im}(Z_i)$ değeri ise -4,1806 'dır.



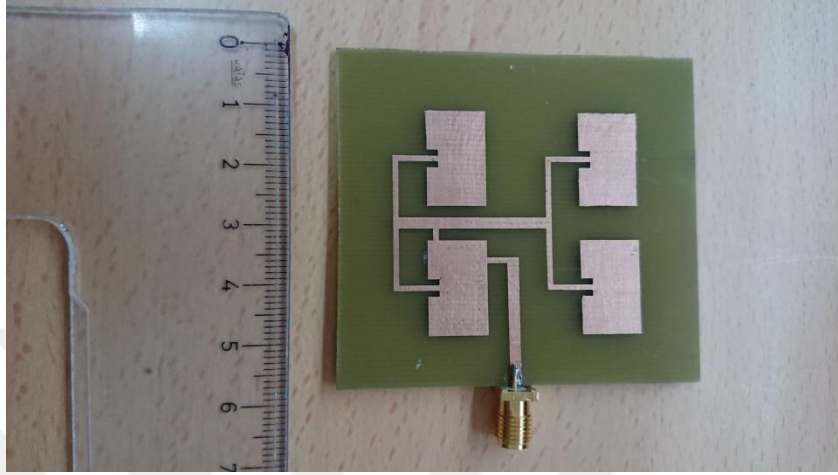
Şekil 5.5. Tasarlanan anten dizisinin yönlendiricilik paterni

Şekil 5.5' te 5,8 GHz merkez frekansı için yönlendiricilik-ışınım paterni (3-boyutlu polar çizim) yer almaktadır. Antenin xy düzleminde, z eksenini (normal) doğrultusunda 8,8643 dB'lik yönlendiricilik özelliği bulunmaktadır. Arka kısmına yaydığı enerji minimum değerlerdedir. Normal doğrultusunda maksimum yönlendiricilik arka lobta minimum enerji ve ön lobta maksimum yayılımı hedeflenmekte ve tasarlanan anten dizisi de bu hedefe uyduğundan tasarım bu beklentiyi karşılamaktadır.



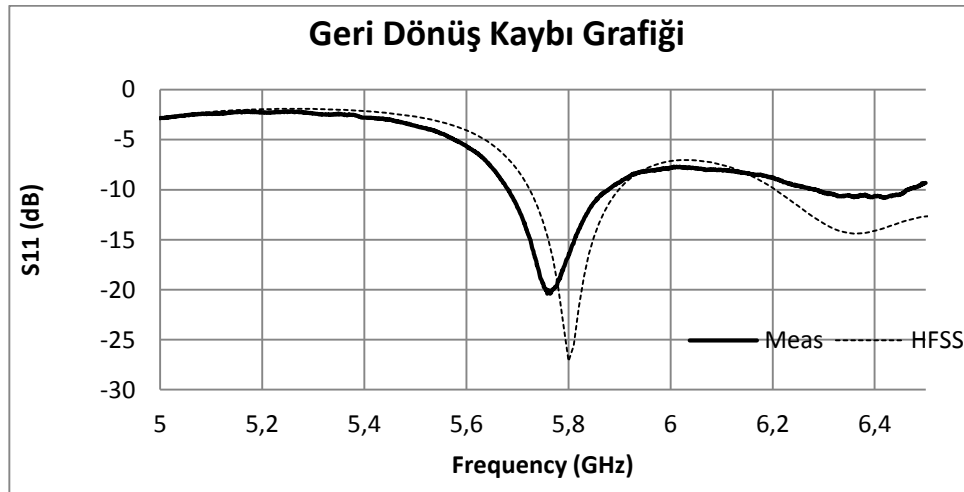
Şekil 5.6. Tasarlanan anten dizisinin yüzey akım dağılımı

Tasarlanan antenin Şekil 5.6' da görülen 5,8 GHz çalışma frekansında yüzey akım dağılımına bakıldığında akımın anten elemanları üzerinde homojen bir dağılım gösterdiği anten elemanlarının orta bölgesinde yoğunlaştığı görülmektedir.



Şekil 5.7. Gerçekleştirilmiş dizi anten

HFSS programı ile tasarlanan anten tasarım ilkelerine bağlı kalınarak gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen dizi anten Şekil 5.7'de görülmektedir. Anten bağlantıları 50 Ω direncine sahip konnektör vasıtasıyla gerçekleştirilmiştir.



Şekil 5.8. Tasarlanan ve gerçekleştirilen antenlerin S11 değeri karşılaştırması

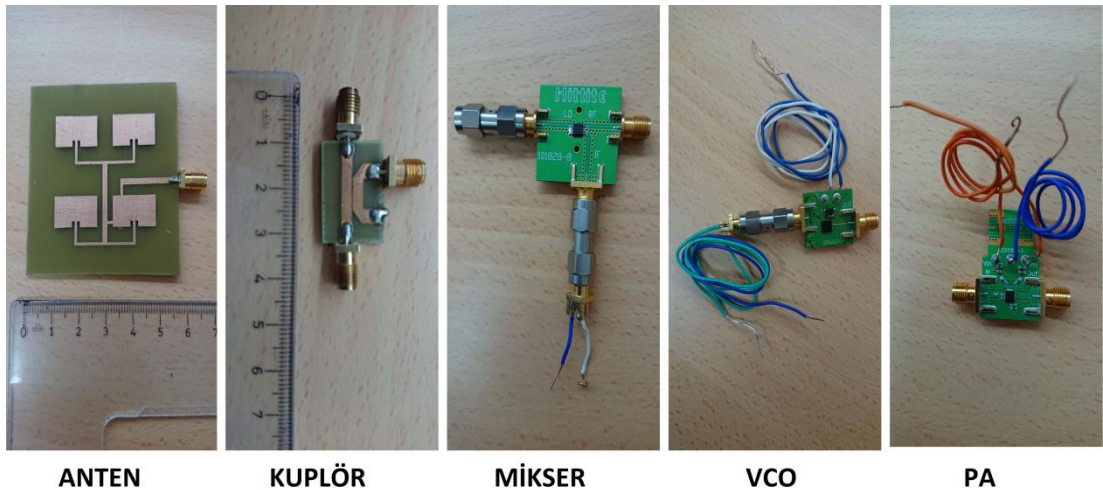
Şekil 5.8’ de görüldüğü üzere antenin 10 dB bant genişliği 5,73 GHz ile 5,89 GHz arasında olup yaklaşık 160 MHz’tir. Ayrıca tasarlanan anten ile gerçekleştirilen antenlerin ölçüm sonuçları birbirine benzer ve yakındır. Gerçekleştirilen anten 5,8 GHz frekansında -16 dB’lik bir geri dönüş kaybına sahipken en iyi S11 değerine 5,76 GHz frekansında -20 dB’lik bir değerle ulaşmıştır.

5.2. Radar Ölçümleri

Tasarlanan devrede kullanılan elemanların listesi Çizelge 5.1’ de ve görselleri Şekil 5.9’ da gösterilmiştir.

Çizelge 5.1. Devre elemanları listesi

Devre elemanı adı	Marka-model
Mikser	Hittite-HMC220MS8
Güç yükseltici	Hittite- HMC717LP3
VCO	Hittite- HMC431LP4
Kuplör	Tasarlandı ve gerçekleştirildi
Anten	Tasarlandı ve gerçekleştirildi



Şekil 5.9. Doppler radar sisteminde kullanılan devre elemanları

VCO olarak kullanılan Hittite HMC431LP4 marka devre elemanı gömülü Rezonatör, negatif direnç elemanları, varaktör diyot ve tampon yükselteçlerden oluşur. C-Bant uygulamalarında kullanılmak üzere üretilen bu osilatörün monolitik yapısı sayesinde faz gürültü performansı sıcaklık, darbe, titreşim ve süreç üzerinde çok iyidir. 3V besleme gerilimi ile 2 dBm güç çıkışına sahiptir. Ayrıca bu eleman 4 X 4 mm boyutlarında yüzey montaj paketine yerleştirilmiştir. Bu VCO 5,5 GHz -6,1 GHz arasında çalışma frekansı aralığına sahiptir. Besleme gerilim aralığı 2,75 V-3,25 V ve ayar gerilimi 0 V-10 V aralığındadır. Tipik besleme gerilimi ise 3V'tur. 5,8 GHz frekansına uyumlu olarak ayar gerilimi 4,77V' tur (<http://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/hmc431.pdf>). Besleme gerilmi ise tipik besleme gerilmi olan 3V' tur. Bu değerler ile çıkışta 11,48 dBm gücünde sinyal alınabilmektedir. Verilen gerilim ve bu şartlar altında VCO çıkışından alınan 11,48 dBm gücündeki sinyal değeri Şekil 5.10' da görülmektedir.



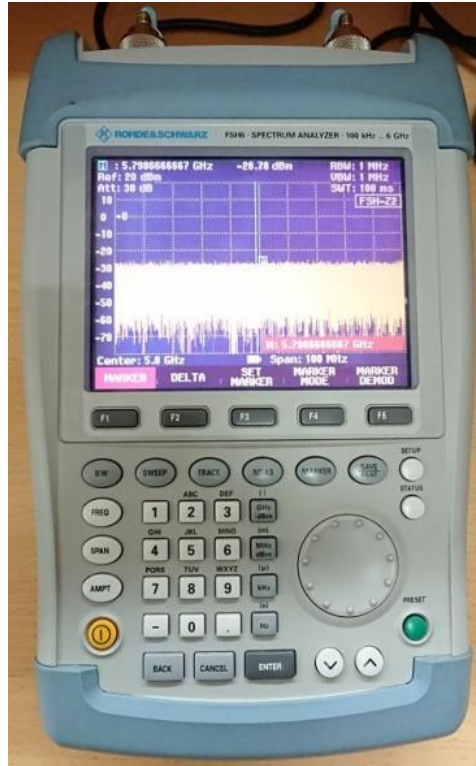
Şekil 5.10. VCO'ya verilen giriş gerilim değerleri ile çıkışından ölçülen sinyal gücü değeri

Güç yükseltici olarak kullanılan Hittite HMC717LP3 marka devre elemanı 4,8-6 GHz arasındaki kablosuz haberleşme sistemleri için geliştirilen düşük güçlü yükselteçtir. Genellikle sabit kablosuz sistemler, LTE, 4. nesil haberleşme, erişim noktaları gibi sistemlerde kullanılan LNA bu çalışmada güç yükseltici olarak

kullanılmıştır. Birbirine eşit iki tane beslemesi vardır ve besleme gerilimi aralığı 3 V-5 V aralığındadır. Verilen besleme gerilimi 5,8 GHz frekansına uyumlu olarak 4,77 V' tur (<http://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/hmc717.pdf>).

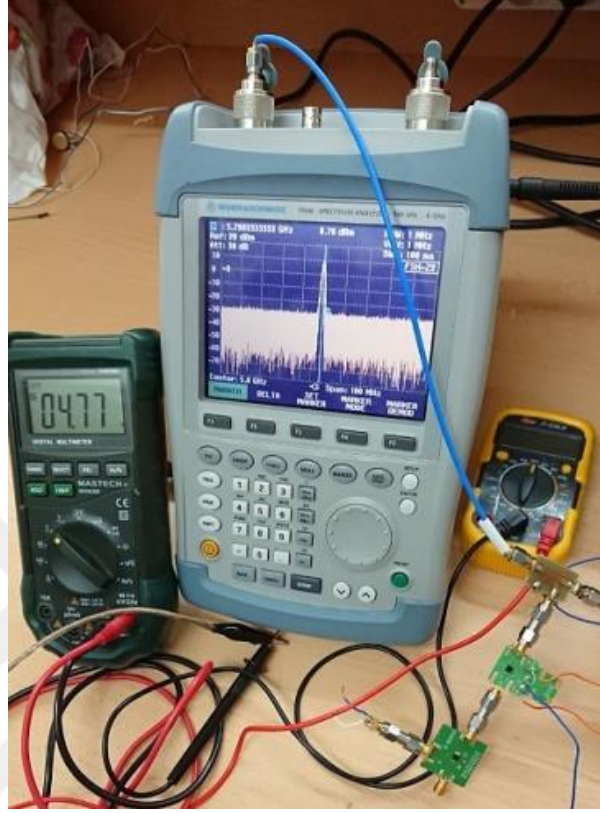
Mikser olarak kullanılan Hittite HMC220MS8 marka devre elemanı sekiz uçlu bir plastik yüzeye oturtulmuş genişbantlı bir mikserdir. Doğru akım öngerilimi ve uyumlandırma elemanı gerektirmeyen bu mikser, karıştırma işlemi sırasında iyi bir izolasyon için Schottky diyot karıştırma elemanlarını ve balun transformatörlerini birleştirir. Frekans yükseltme, frekans düşürme, çift fazlı modülasyon, demodülasyon gibi geniş bant gerektiren işlemlerde kullanılan bu eleman 5-12 GHz arasında çalışma frekansı aralığına sahiptir. Girişi en yüksek +27 dBm olan miksere (<http://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/hmc220.pdf>) Şekil 5.14' te görüldüğü gibi 15,68 dBm'lik bir sinyal gönderilmiştir.

Gerçeklenen devrenin sonuçları Şekil 5.11'de görülen Rohde&Schwarz FSH6 marka spektrum analizör ile ölçülmüştür.



Şekil 5.11. Spektrum Analizör

Şekil 4.6' da görülen blok diyagramın (b) noktasındaki kuplörün çıkışından antenin girişine giden sinyalin gücü Şekil 5.12'de görüldüğü üzere 8,76 dBm'dir.



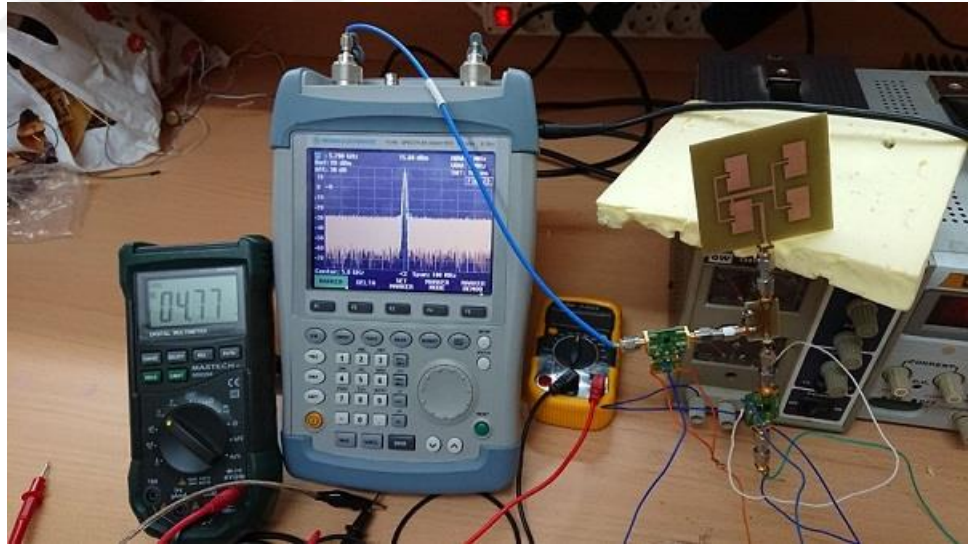
Şekil 5.12.Kuplörün çıkışından antenin girişine giden sinyalin ölçüm değeri

Şekil 4.6' da görülen blok diyagramın (c) noktasındaki kuplörün çıkışından güç yükseltici girişine giden sinyalin gücü Şekil 5.13'de görüldüğü üzere 0,85 dBm'dir.



Şekil 5.13. Kuplörün çıkışından güç yükseltici girişine giden sinyalin ölçüm değeri

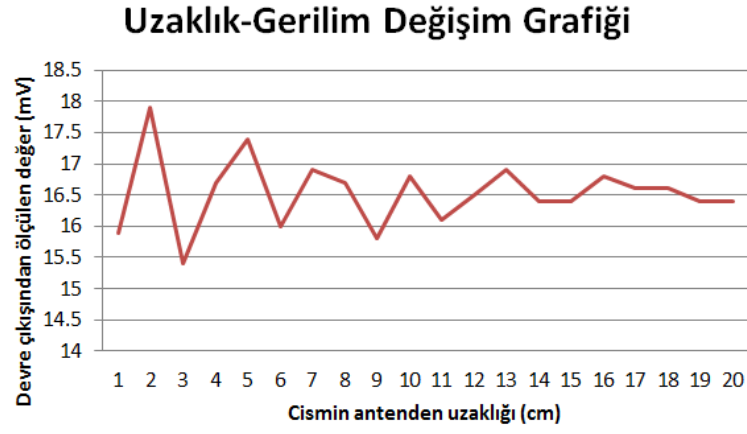
Şekil 4.6' da görülen blok diyagramın (d) noktasındaki güç yükseltici çıkışından mikser girişine giden sinyalin gücü Şekil 5.14' te görüldüğü üzere 15,68 dBm'dir.



Şekil 5.14. Güç yükseltici çıkışından mikser girişine giden sinyalin değeri

Cisim antenden 1 cm uzaklıktan başlayarak birer cm uzaklaştırılarak 20 cm uzaklığa kadar yer değiştirilmiştir. Buradaki amaç mikser çıkışındaki gerilim değerinin cismin antenden uzaklığa göre değişip değişmediğini, yani devrenin çalışıp çalışmadığını, görebilmek; eğer devre çalışıyorsa sonucun cismin

antenden uzaklığı ile nasıl bir değişiklik gösterdiğini görebilmektir. Şekil 5.15' te de bu değişimin daha net anlaşılabilmesi için grafiği verilmiştir.



Şekil 5.15. Cismin antene olan uzaklığı ile mikser çıkışından ölçülen gerilim değerinin arasındaki bağlantıyı gösteren grafik

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada 5,8 GHz ISM bandında çalışacak Doppler radar sistemi için mikroşerit anten tasarımı yapılmış, gerçekleştirilmiş ve tasarlanan devrede denenerek kullanılabilirliği denenmiştir.

Çalışmanın ilk adımında referans anten tasarımı yapılmış daha sonra referans antene göre 2X2 anten dizisi tasarlanmıştır. Tasarım kriterleri göz önüne alınarak HFSS programı kullanılarak tasarlanan bu dizi sonuçları literatürde bulunan diğer anten sonuçları ile karşılaştırılmış ve uygun bir anten olduğu görülerek gerçekleştirme safhasına geçilmiştir. Gerçeklenen antenin geri dönüş kaybı spektrum analizör vasıtasıyla ölçülmüştür. Ölçüm ve program sonuçları benzer olduğu görülmüş ve devre gerçekleştirilmesine geçilmiştir.

Tasarlanan antenin literatürde benzer çalışmalar ile geri dönüş kaybı (S_{11}), kazanç ve boyut yönünden karşılaştırılması Çizelge 6.1'de gösterilmiştir. Çizelgeden de görüldüğü gibi antenimiz yapılan çalışmalara göre kabul edilebilir değerler sahiptir.

Çizelge 6.1. Tasarlanan antenin diğer çalışmalarla karşılaştırılması

S_{11} (dB)	Kazanç(dB)	Boyutlar(mm)	Referanslar
-31,9	10,17	150 x 150	(Islam, Mobashsher, ve Misran 2010)
-12,8	7,34	60 X 60	(Ooi, Rahim, ve Koh 2010)
-15	6,32	64 X62	(Peng, Ruan, ve Wu 2010)
-15	2,5	23 X 36.5	(P. Liu vd., 2012)
-16,44	5,06	63,5 X 57,5	Bu çalışma

Devre elemanları katalog değerleri baz alınarak besleme gerilimleri spektrum analizör yardımıyla uygun değerlere ayarlanmıştır. Elemanların çalışma frekansında çalışması sağlanmıştır. 10 dB' lik kuplör tasarlanarak gerçekleştirilmiştir.

Tasarlanan kuplör ve anten kullanılarak gerçekleştirilen devre, anten karşısında sabit bir şekilde oturulup nefes alıp verilmiş ve çıkış geriliminin değiştiği görülerek çalıştığı gözlemlenmiştir. En sonda ise devre çıkışındaki gerilim anten karşısına bir cisim birer cm arayla uzaklaştırılarak ölçülmüştür. 1 cm başlangıç mesafesinde çıkışta 15,9 mV ve 20 cm bitiş mesafesinde 16,4 mV değer ölçülmüştür. Bu değerlerin mesafe arttıkça değişimlerinin azaldığı görülmüştür. Bu değişimin değerleri Çizelge 6.2'de gösterilmiştir.

Çizelge 6.2. Cismin antene olan uzaklığı ile sistem çıkışından ölçülen değerler

Uzaklık (cm)	Ölçülen gerilim (mV)
1	15,9
2	17,9
3	15,4
4	16,7
5	17,4
6	16,0
7	16,9
8	16,7
9	15,8
10	16,8
11	16,1
12	16,5
13	16,9
14	16,4
15	16,4
16	16,8
17	16,6
18	16,6
19	16,4
20	16,4

Çizelge 6.2'de görüldüğü üzere cisim antenden uzaklaştıkça gerilim değerinin değişimi gittikçe azalmaktadır. Bunda antenin yönlendiricilik ve kazancının

etkisi çoktur. Antenin bu karakteristikleri arttırılarak devrenin daha uzak mesafelerde daha etkin bir şekilde çalıştırılması mümkün olabilir.

Gelecekte bu çalışmanın devamı olarak yürütülmesi planlanan çalışma ise anten dizisinin büyütülerek daha iyi parametrelere sahip olması ve doppler radar devresinin gerçekleştirilmesi, devre çıkışının analog-dijital çevirici ile bilgisayara bağlanıp elde edilen sinyalin bir program yardımı ile filtrelenmesidir. Filtrelenerek elde edilen işlenmiş sinyal hayati sinyallerin değerlendirilmesinde kullanılabilecektir. Bu çalışmaya alternatif olarak; anten dizisinin büyütülerek daha yüksek kazançlı antenlerin tasarlanarak, radarın daha uzak mesafe ve engel arkasından tespit sağlaması gerçekleştirilebilir. Hazırlanan sistem çıkışına; analog-dijital çevirici bağlanarak bilgisayar ile gelen sinyalin işlenmesi sağlanabilir. Ayrıca, sonuçların uzaktan takip edilmesini sağlayacak bileşenlerin eklenmesi ile çalışma farklı alanlarda geliştirilebilir.

KAYNAKLAR

- Agneessens, Sam vd., 2012. "Design Of A Wearable, Low-Cost, Through-Wall Doppler Radar System." *International Journal Of Antennas Ve Propagation* 2012.
- Ahmad, Adil Hameed ve Basim Khalaf Jar'alla. 2008. "Design And Simulation Of Broadband Rectangular Microstrip Antenna." *Eng.Tech* 26(1).
- Akman, Hatice. 2012. "Hücresel Otomata ve Tabu Algoritması ile Mikroşerit Yama Anten Tasarımı." Süleyman Demirel Üniversitesi.
- Ataş, İsa., M Bahaddin Kurt ve Teymuraz Abbasov. 2016. "2.6 Ghz'de Yüksek Kazançlı Dikdörtgen Mikroşerit Dizi Anten Tasarımı." : 4-7.
- Bahl, I.J. ve P. Bhartia. 1980. *Microstrip Antennas*. Dedham , Ma: Artech House.
- Balanis, C A. 1992. "Antenna Theory: A Review." *Proceedings Of The Ieee* 80(1): 7-23.
- Balanis, Constantine A. 2012. "Electronics And Power *Antenna Theory: Analysis And Design*."
- <http://Books.Google.Com/Books?İd=V1psz48dnuce&Pgis=1%5cn>
- <http://Digital-Library.Theiet.Org/Content/Journals/10.1049/Ep.1982.0113>.
- Biçer, Mustafa Berkan. 2011. "Wlan/Wimax Uygulamaları İçin Kompakt Mikroşerit Anten Tasarımı Ve Gerçekleştirilmesi." Mersin Üniversitesi.
- Çakır, Gonca. 2004. "Gezgin Haberleşme Sistemleri İçin Hüzme Yönlendirmeli Mikroşerit Dizi Anten Tasarımı." Kocaeli Üniversitesi.
- Carver, Keith R. ve James W. Mink. 1981. "Microstrip Antenna Technology." *IEEE Transactions On Antennas And Propagation* 29(1): 2-24.
- Çetme, Emre. 2009. "Yarıklı Mikroşerit Yama Anten Dizaynı." İstanbul Teknik Üniversitesi.
- Chang, Kai. 2000. *Rf And Microwave Wireless Systems*. <Http://Doi.Wiley.Com/10.1002/0471224324>.
- Chioukh, Lydia vd., 2009a. "Integrated Radar Systems For Precision Monitoring Of Heartbeat And Respiratory Status." *Apmc 2009 - Asia Pacific Microwave Conference 2009* (1): 405-8.
- Chioukh, Lydia vd., 2009b. "Integrated Radar Systems For Precision Monitoring Of Heartbeat And Respiratory Status." *Apmc 2009 - Asia Pacific Microwave Conference 2009* (January): 405-8.

- Das, Vighneshrudra vd., 2012. "Antenna Evaluation Of A Non-Contact Vital Signs Sensor For Continuous Heart And Respiration Rate Monitoring." *Rww 2012 - Proceedings: 2012 Ieee Topical Conference On Biomedical Wireless Technologies, Networks, And Sensing Systems, Biowireless 2012*: 13-16.
- De, A, C K Chosh ve A K Bhattacharjee. 2016. "Design And Performance Analysis Of Microstrip Patch Array Antennas With Different Configurations." 9(3): 97-110.
- Drabowitch, S., Papiernik, A., Griffiths, H., Encinas, J., & Smith, B. L. (2010). *Modern antennas*. Springer Science & Business Media.
- Droitcour, Amy. 2006. "Non-Contact Measurement Of Heart And Respiration Rates With A Single-Chip Microwave Doppler Radar." Stanford University.
- Droitcour, Amy, Victor Lubecke, Jenshan Lin ve Olga Boric-Lubecke. 2001. "A Microwave Radio For Doppler Radar Sensing Of Vital Signs." *Ieee Mtt-S International Microwave Symposium Digest* 3: 175-78.
- Eden, A. 1992. The Search for Christian Doppler. In *The Search for Christian Doppler* (pp. 1-4). Springer, Vienna.
- Erdin, K. 1978. Elektromanyetik dalgaların oluşumu ve uzaktan algılama. *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 28(2), 157-167.
- Gagnon, Andre. 2016. "Field Trial Results Using A Novel Integration Of Unique Millimeterwave Doppler Radar For High Performance Non-Obtrusive Life Sign (Breathing And Heart Beating) Monitoring Of High Suicide Risk Prisoner In Observation Cell." *Proceedings - International Carnahan Conference On Security Technology*.
- Gardelli, R vd., 2004. "A Low-Cost Suspended Patch Antenna For Wlan Access Points And Point-To-Point Links." 3: 90-93.
- Gökçe, Burak. 2009. "Umts Uyumlu Cep Telefonları İçin Mikroşerit Yama Anten Tasarımı." İstanbul Teknik Üniversitesi.
- <http://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/hmc431.pdf>
- <http://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/hmc717.pdf>
- <http://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/hmc220.pdf>
- <http://www.radartutorial.eu>

- Huang, Jyun Kai ve Chao Hsiung Tseng. 2016. "A 5.8-Ghz Radar Sensor Chip İn 0.18-Mm Cmos For Non-Contact Vital Sign Detection." In *Rfit 2016 - 2016 Ieee International Symposium On Radio-Frequency Integration Technology*.
- Ipekoglu, Yasin, O. Mert Yucedag, Safak Saraydemir ve Hasan Kocer. 2016. "Microstrip Patch Antenna Array Design For C-Band Electromagnetic Fence Applications." *Eleco 2015 - 9th International Conference On Electrical And Electronics Engineering*: 355-58.
- Islam, M.T., A.T. Mobashsher ve N. Misran. 2010. "Design Of Microstrip Patch Antenna Using Novel U-Shaped Feeding Strip With Unequal Arm." *Electronics Letters* 46(14): 968.
- Iyer, Brijesh, Mohit Garg, Nagendra P. Pathak ve Debashis Ghosh. 2013. "Concurrent Dual-Band Rf System For Human Respiration Rate And Heartbeat Detection." *2013 Ieee Conference On Information And Communication Technologies, Ict 2013*: 563-67.
- J, Srivatsa Bhargava. "Aperture Coupled Wide-Band Micro Strip Antenna Design."
- Kara, Mehmet. 1996. "Microstrip Antennae With Various Substrate Thicknesses By."
- Kim, Jeong-Geun, Sang-Hoon Sim, Sanghoon Cheon ve Songcheol Hong. "2005-24 Ghz Circularly Polarized Doppler Radar With A Single Antenna.Pdf." : 2-5.
- Kayserilioğlu, C. (1997). Modern Radar Sistemleri 2. İstanbul Teknik Üniversitesi.
- Koçer, Dilek. 2009. "Daire Ve Dikdörtgen Geometrik Yapılı Mikroşerit Antenlerin Simülasyonu Ve Rezonans Frekanslarının Yapay Sinir Ağları İle Belirlenmesi." Selçuk Üniversitesi.
- Küçüköner, E. M., Köse, U., Ekmekçi, E. 2016. Mikroşerit Yama Anten İçin Tasarlanmış Dambıl İlaveli Tamamlayıcı Ayrık Halka Rezonatör Tipi Bozulmuş Toprak Yüzeye Kazınan Rezonatör Konumunun Elektriksel Boyuta Etkisinin Nümerik Olarak İncelenmesi Numerical Investigation of the Effect of Resonator Position Etched on Defected Ground Structure Composed of a Complementary Split Ring Resonator with.
- Kütük, Haydar. 2012. "3.3 Ghz Mikroşerit Anten Tasarımı Ve Farklı Besleme Yöntemleri İçin Analizi." Sakarya Üniversitesi.
- Lagerqvist, Johan. 2002. "Master ' S Thesis Design And Analysis Of An Electrically Steerable Microstrip Antenna For Ground To Air Use."

- Lee, Hongmin ve Jinwon Park. 2012. "Isolation Improvement Of A Microstrip Patch Array Antenna For Wcdma Indoor Repeater Applications." *International Journal Of Antennas And Propagation* 2012.
- Li, Chuantao vd., 2015. "Contact-Free Detection Of Respiration Signal From Continuously Moving-Object Noise Via A Doppler Radar Using Adaptive Line Enhancer." *Canadian Conference On Electrical And Computer Engineering* 2015-June(June): 801-5.
- Liu, Pingan vd., 2012. "Compact Cpw-Fed Tri-Band Printed Antenna With Meandering Split-Ring Slot For Wlan/Wimax Applications." *Ieee Antennas And Wireless Propagation Letters* 11: 1242-44.
- Liu, Yong vd., 2012. "Some Recent Developments Of Microstrip Antenna." *International Journal Of Antennas And Propagation* 2012: 1-10.
- Lubecke, O. B., P. W. Ong ve V. M. Lubecke. 2002. "10 Ghz Doppler Radar Sensing Of Respiration And Heart Movement." *Proceedings Of The Ieee Annual Northeast Bioengineering Conference, Nebec* 2002-Janua: 55-56.
- Lubecke, Victor M., Olga Boric-Lubecke, Anders Host-Madsen ve Aly E. Fathy. 2007. "Through-The-Wall Radar Life Detection And Monitoring." *Ieee Mtt-S International Microwave Symposium Digest*: 769-72.
- Milligan, Thomas A. 2005. *Modern Antenna Design*.
- Mo, Lingfei ve Chunfang Qin. 2012. "Tunable Compact Uhf Rfid Metal Tag Based On Cpw Open Stub Feed Pifa Antenna." *International Journal Of Antennas And Propagation* 2012.
- Obeid, Dany, Sawsan Sadek, Gheorghe Zaharia ve Ghais El Zein. 2009. "Noncontact Heartbeat Detection At 2.4, 5.8, And 60 Ghz: A Comparative Study." *Microwave And Optical Technology Letters* 51(3): 666-69.
- Ooi, T. S., S. K A Rahim ve B. P. Koh. 2010. "2.45 Ghz And 5.8 Ghz Compact Dual-Band Circularly Polarized Patch Antenna." *Journal Of Electromagnetic Waves And Applications* 24(11-12): 1473-82.
- Peng, Lin, Cheng-Li Ruan ve Xiao-Hua Wu. 2010. "Design And Operation Of Dual / Triple-Band Patch Antennas." *Ieee Antennas And Wireless Propagation Letters* 9: 1069-72.
- Qraiqea, Mohanad Basem. 2015. "Antenna Bandwidth Improvement By Using Indirect Coaxial Probe Feeding Method." Islamic University Of Gaza.
- Rahim, M. K. A. vd., 2006. "Microstrip Patch Antenna Array At 5.8 Ghz For Point To Point Communication." *2006 International Rf And Microwave Conference* (October): 216-19. <http://ieeexplore.ieee.org/document/4133587/>.

- Sainati, Robert A. 1996. "Cad Of Microstrip Antennas For Wireless Applications." *The Artech House Antenna Library*.: X, 255 P.
- Saunders, Simon R. ve Alejandro Aragon Zavala. 2007. Wiley *Antenna And Propagation For Wireless Communication Systems*.
- Shen, L. C., S. A. Long, M. R. Allerdin ve M. D. Walton. 1977. "Resonant Frequency Of A Circular Disc, Printed-Circuit Antenna." *Ieee Transactions On Antennas And Propagation* 25(4): 595–96.
- Tran, Vinh Phuc ve Adel Ali Al-Jumaily. 2015. "Non-Contact Dual Pulse Doppler System Based Real-Time Relative Demodulation And Respiratory & Heart Rates Estimations For Chronic Heart Failure Patients." *Procedia Computer Science* 76(Iris): 47–52. [Http://Dx.Doi.Org/10.1016/J.Procs.2015.12.274](http://Dx.Doi.Org/10.1016/J.Procs.2015.12.274).
- Vasu, V. vd., 2009. "Detection Of Cardiac Activity Using A 5.8 Ghz Radio Frequency Sensor." *Proceedings Of The 31st Annual International Conference Of The Ieee Engineering In Medicine And Biology Society: Engineering The Future Of Biomedicine, Embs 2009*: 4682–86.
- Verma, Rahul vd., 2014. "Design Study Of Microstrip Antenna With Various Feeding Techniques : A Review." *International Journal Of Engineering Research & Technology (Ijert)* 3(5): 619–22. [Http://Www.Ijert.Org/Download/9649/Design-Study-Of-Microstrip-Antenna-With-Variou-Feeding-Techniques-A-Review](http://Www.Ijert.Org/Download/9649/Design-Study-Of-Microstrip-Antenna-With-Variou-Feeding-Techniques-A-Review).
- Wang, Fu-Kang vd., 2013. "Detection Of Concealed Individuals Based On Their Vital Signs By Using A See-Through-Wall Imaging System With A Self-Injection-Locked Radar." *Ieee Transactions On Microwave Theory And Techniques* 61(1): 696–704.
- Yalçın, Dilara. 2015. "4. Nesil Mobil Haberleşme Sistemlerinin Performans Kriterlerinin İncelenmesine Yönelik Anten Tasarımı." Ankara Üniversitesi.
- Yazgan, Erdem. 1987. "MiKroşerit Antenler." *Emo Dergi* 348: 262–68.
- Zhou, Qin vd., 2006. "Detection Of Multiple Heartbeats Using Doppler Radar." *Icassp*: 1160–63.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Hüseyin AKMAN
Doğum Yeri ve Yılı : Konya,1983
Medeni Hali : Evli
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : yl0730112071@stud.sdu.edu.tr

Eğitim Durumu

Lise : Nevşehir Lisesi, 2001
Lisans : SDÜ, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği

Mesleki Deneyim

Isparta Türk Telekom AŞ (Mühendis)	2007-2014
Karaman 112 AÇM (Mühendis)	2014-2015
Isparta Valiliği (Mühendis)	2015-..... (halen)

Yayınlar

Ulusal toplantıda sunularak tam metin olarak yayımlanan bildiri

Kahriman, M., Akman, H., Türker, G. G., " Temassız EKG Ölçümü - Contactless ECG Measurement ",TIPTEKNO'15 Tıp Teknolojileri Kongresi, 15-18 Kasım 2015, Bodrum

Değirmenci E., Akman H., Kahriman M., "ISM 1800 MHz ve 2450 MHz Frekanslarda Kullanılabilecek Daire ve Dikdörtgen Yarıklı Dual Band Anten Tasarımı", IEEE 22. Sinyal İşleme ve İletişim Uygulamaları Kurultayı, 23-25 2014, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon