

Quasi-Yagi Antenler Kullanılarak  
2.4 GHz Doppler Sürekli Dalga Radar Sistemi Geliştirilmesi

Göksel Turan

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Temmuz 2021



Development of 2.4 GHz Doppler Continuous Wave Radar System  
Using Quasi-Yagi Antennas

Göksel Turan

**MASTER OF SCIENCE THESIS**

Department of Electrical Electronics Engineering

July 2021

Quasi-Yagi Antenler Kullanılarak  
2.4 GHz Doppler Sürekli Dalga Radar Sistemi Geliştirilmesi

Göksel Turan

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Lisansüstü Yönetmeliği Uyarınca

Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı  
Elektromanyetik Alanlar ve Mikrodalga Tekniği Bilim Dalında  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
Olarak Hazırlanmıştır

Danışman: Hayrettin Odabaşı

Bu tez Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi atında 202015A108 hibe numarasıyla desteklenmiştir.

Temmuz 2021

# ETİK BEYAN

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre, Dr. Öğretim Üyesi Hayrettin Odabaşı danışmanlığında hazırlamış olduğum **“Quasi-Yagi Antenler Kullanılarak 2.4 GHz Doppler Sürekli Dalga Radar Sistemi Geliştirilmesi”** başlıklı YÜKSEK LİSANS tezimin özgün bir çalışma olduğunu; tez çalışmamın tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı; tezimde verdiğim bilgileri, verileri akademik ve bilimsel etik ilke ve kurallara uygun olarak elde ettiğimi; tez çalışmamda yararlandığım eserlerin tümüne atıf yaptığımı ve kaynak gösterdiğimi ve bilgi, belge ve sonuçları bilimsel etik ilke ve kurallara göre sunduğumu beyan ederim. 07/07/2021

Göksel Turan

## ÖZET

Radar, bir vericinin yaydığı elektromanyetik dalgaların yolları üzerindeki nesnelere yansıtılarak geri dönmesi ve bir alıcı tarafından yakalanması esasına göre çalışır. Hedeften geri yansıyan dalgaların alıcı aracılığıyla alınıp sonrasında elektronik devreler ve yazılımlar aracılığıyla işlenmesiyle hedefin yönü, mesafesi, boyutu ve hızı belirlenebilir. Bu tez quasi-Yagi antenler kullanılarak 2,4 GHz taşınabilir Doppler Sürekli Dalga (SD) radar sistemi geliştirilmesini kapsamaktadır. Massachusetts Institute of Technology (MIT)'nin açık derslerinde mevcut olan küçük boyutlu radar sistemi temel alınarak 2,4 GHz bandında çalışan küçültülmüş quasi-Yagi tipinde antenler geliştirilmesi ve bu radar sisteminin tüm elektronik elemanlarının baskı devre halinde yeniden tasarlanarak oldukça kompakt boyutlu, rahatlıkla taşınabilir hale getirilmesi hedeflenmiştir. Geliştirilen sistemin tüm elektronik devreleri hem devre tahtası üzerine hem de baskı devre olarak ayrı ayrı tasarlanmıştır. Sistemi geliştirmeye yönelik tüm yöntemler aşama aşama gösterilmiştir. Tezin en önemli çıktısı, biri nispeten dar, diğeri geniş bantlı olan iki farklı geometriye sahip 2,4 GHz bandında çalışan küçültülmüş quasi-Yagi antenlerin tasarlanıp gerçekleştirilmesidir.

**Anahtar kelimeler:** Radar sistemi, Sürekli Dalga (SD), Doppler, Quasi-Yagi anten, baskı devre, küçültülmüş anten.

## SUMMARY

Radar operates on the principle that electromagnetic waves generated by a transmitter are reflected back from objects in its path and received by a receiver. The direction, distance, size and speed of the target can be determined by receiving the waves reflected back from the target by the receiver and then processing them through electronic circuits and software. This thesis describes the design of a 2.4 GHz portable Doppler Continuous Wave (CW) radar system using quasi-Yagi antennas based on the small-sized radar system presented in (Massachusetts Institute of Technology (MIT)'s open courses, the goal is to build miniaturized quasi-Yagi type antennas working in the 2.4 GHz band and to redesign all electronic elements of this radar system as a printed circuit, making it very compact and easily portable. All electronic circuits of the developed system are designed separately on a breadboard and as a printed circuit. All approaches for building the design are demonstrated step by step. The thesis's most important output is the design and realization of miniaturized quasi-Yagi antennas operating in the 2.4 GHz band with two different geometries, one relatively narrow and the other wideband.

**Keywords:** Radar System, Continuous Wave (CW), Doppler, Quasi-Yagi antenna, printed circuit, miniaturized antenna.

# İÇİNDEKİLER

## Sayfa

<b>ÖZET</b> .....	<b>VI</b>
<b>SUMMARY</b> .....	<b>VII</b>
<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	<b>IX</b>
<b>ŞEKİLLER DİZİNİ</b> .....	<b>XI</b>
<b>SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ</b> .....	<b>XIII</b>
<b>1. GİRİŞ VE AMAÇ</b> .....	<b>14</b>
<b>2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI</b> .....	<b>16</b>
<b>3. TEORİK BİLGİ</b> .....	<b>18</b>
3.1. Radarın Çalışma Prensipleri .....	18
3.2. Sürekli Dalga (SD) Radarı .....	19
3.2.1. Doppler Etkisi .....	19
3.2.2. SD Radarı .....	21
3.2.3. FMSD radarı .....	22
3.3. SD Radar Sistemi Elemanları .....	24
3.4. Radar denklemi .....	28
<b>4. MATERYAL ve YÖNTEM</b> .....	<b>30</b>
4.1. Giriş ve Projenin Tasarımına Genel Bakış .....	30
4.2. MIT Kahve Kutusu Radar Sistemi .....	30
4.3. Quasi-Yagi Anten Tasarımları .....	32
4.3.1. Küçültülmüş dar-bantlı quasi-Yagi anten tasarımı .....	33
4.3.2. Küçültülmüş geniş bantlı quasi-Yagi anten tasarımı .....	37
4.4. Baskı Devre Tasarımı ve Gerçekleştirilmesi .....	39
4.4.1. Besleme devresi .....	40
4.4.2. Modülatör devresi .....	41
4.4.3. Mikrodalga devre elemanları .....	42
4.4.4. Filtre devresi .....	44
4.4.5. Frekans sayıcı devresi ve yazılımı .....	45
4.4.6. Anahtarlama elemanları .....	49
4.4.7. Baskı devrenin üretimi .....	49
<b>5. BULGULAR VE TARTIŞMA</b> .....	<b>52</b>

## İÇİNDEKİLER(devam)

	<u>Sayfa</u>
5.1. Dar Bantlı Antenin Benzetim ve Ölçüm Sonuçları .....	52
5.2. Geniş Bantlı Antenin Benzetim Sonuçları .....	53
5.3. Modülatör Devresinin Test Edilmesi .....	54
5.4. Filtre Devresinin Test Edilmesi.....	55
5.5. Frekans Sayıcı Devresinin Test Edilmesi.....	55
5.6. Baskı Devrenin Test Edilmesi.....	56
5.7. Baskı Devrede Ortaya Çıkan Sorunların Çözümüne Yönelik çalışmalar .....	57
<b>6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....</b>	<b>62</b>
<b>KAYNAKLAR DİZİNİ.....</b>	<b>66</b>

## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sekil

### Sayfa

3.1. Temel bir radar sistemi çalışma yapısı. (Skolnik, (2008) kitabından revize edilerek eklenmiştir).....	18
3.2. Doppler Etkisi. (Albrecht vd., (2013) kitabından revize edilmiştir.) .....	19
3.3. Basit bir sürekli dalga radarı. (Skolnik, (2001) kitabından revize edilmiştir.).....	22
3.4. FMSD radarı. (Rao, (2014) kitabından revize edildi.) .....	22
3.5. Bir FMSD radarında iletilen ve alınan sinyal. (Jankiraman, (2007) kitabından revize edildi.).....	24
3.6. Her yöne yayılım yayılım yapan antenin ışınma deseni (a), Belirli bir yöne daha çok yayılım yapan yönlü antenin ışınma deseni (b). (Balanis, (2008) kitabından revize edildi.).....	25
3.7. Bir mikrodalga çarpıcı örneği (Çift dengeli diyot halka çarpıcı.). (Maas, (1986) kitabından revize edildi.) .....	26
3.8. Kesit alanı belirtilen bir nesneye radar ile sinyal gönderimi ve alımı. (Rao, (2014) kitabından revize edildi.) .....	28
4.1. MIT Kahve Kutusu Radar Sistemi ve blok diyagramı. (Charvat vd., (2011) çalışmasından revize edildi.) .....	31
4.2. Dar bantlı anten' in tasarım konfigürasyonları. $W = L = 34,7$ , $L_1 = 7$ , $L_2 = 12,3$ , $L_3 = 6,3$ , $W_1 = 2,3$ , $W_2 = 2,4$ , $W_3 = 2,1$ , $S_1 = 2,8$ , $S_2 = 6$ , $L_S = L_{S1} = 16,6$ , $W_S = 1,9$ , $W_{S1} = 1,8$ , $r_1 = r_2 = 3,1$ , $r_3 = 3,4$ , $\alpha = 50^\circ$ (Tüm birimler mm cinsindedir.) .....	34
4.3. Geliştirilen antenin evrim aşamaları (a), evrim aşamalarındaki $S_{11}$ sonuçları (b).....	35
4.4. Anten üzerinde yapılan parametrik çalışmalar. (a) $L_1$ ' in değişiminin, (b) $r_1$ ' in değişiminin, (c) $L_{S1}$ ' in değişiminin, (d) $\alpha$ ' nın değişiminin antenin çalışma karakteristiğine etkisi. ....	36
4.5. Üretimi yapılmış anten. (a) Ön yüz, (b) arka yüz.....	37
4.6. Geliştirilen anten' in tasarım konfigürasyonları. $W = L = 40$ , $L_1 = 10,2$ , $L_2 = 18$ , $L_3 = 5,2$ , $L_4 = 4,8$ , $W_1 = 2,4$ , $W_2 = 4,6$ , $S_1 = 2,9$ , $S_2 = 1$ , $L_S = 20$ , $L_y = 24,8$ , $W_S = W_y = 3,6$ (Tüm birimler mm cinsindedir.).....	38
4.7. (a) Antenin evrim aşamaları. (b) Antenlerin evrim aşamalarında gösterdikleri $S_{11}$ sonuçları. (c) Üretilmiş anten. ....	38
4.8. Geliştirilen anten üzerinde yapılan parametrik çalışmalar. (a) $L_1$ ' in değişiminin, (b) $S_2$ ' nin değişiminin anten çalışmasına etkisi.....	39
4.9. Tasarımı tamamlanmış baskı devre .....	39
4.10. (a) Besleme devresi. (b) Besleme devresinin benzetim programıyla testi. ....	41
4.11. Modülatör devresi.....	41
4.12. Mikrodalga devre elemanları.....	43
4.13. Alçak geçiren filtre devresi.....	45
4.14. Frekans sayıcı devresi.....	47
4.15. (a) Baskı devredeki alt ve üst katman sinyal yolları. (b) +5V katmanı. (c) Toprak katmanı. (d) Tasarımı tamamlanmış baskı devre. ....	50
4.16. Baskı devrenin lehimleme aşamaları.....	50
4.17. Üretimi tamamlanmış baskı devre. (a) ön yüz, (b) arka yüz. ....	51

## ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
5.1. (a) Geliştirilen antenin ölçüm ve benzetim olarak $S_{11}$ karşılaştırmaları. (b) Antenin benzetim olarak toplam verimlilik ve kazanç sonuçları. ....	52
5.2. Geliştirilen antenin benzetim ve ölçüm olarak yayılım deseni karşılaştırmaları. (a) E-düzlemi, (b) H-düzlemi. ....	52
5.3. Toplam verimlilik ve kazancın benzetim sonuçları.....	53
5.4. Geliştirilen antenin yayılım desenleri. (a) E-düzlemi, (b) H-düzlemi.....	54
5.5. Modülatör devresi test işlemleri. ....	54
5.6. Filtre Devresinin test işlemleri (a) 4,96 KHz, (b) 7,61 KHz, (c) 12,02 KHz, (d) 18 KHz. ....	55
5.7. Frekans sayıcı devresinin test edilmesi, (a) Sinyal üretici ve LCD ekran ile, (b) Modülatör ve OLED ekran ile.....	56
5.8. Mikrodalga devrelerin devre tahtası üzerine kurulması. ....	58
5.9. Test için aynı karakteristiğe sahip farklı elemanlarla kurulmuş mikrodalga devre bağlantı şekilleri. ....	58
5.10. Dıştan eleman bağlantılı baskı devre.....	59
5.11. Osiloskop ile mikrodalga devrelerin test aşamaları.....	60
5.12. Tüm sistemin devre tahtası üzerinde gerçekleştirilmesi ve Doppler sinyali kayıt testleri.....	61

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

### Simgeler

### Açıklama

$f$	Frekans
$c$	Işık hızı
$\lambda$	Dalga boyu
$w$	Açısal hız
$f_d$	Doppler frekansı
$\lambda_m$	Merkezi frekansa göre dalga boyu
$\sigma$	Radar kesit alanı
$V_r$	Radyal hız
$f_v$	Vuru Frekansı

### Kısaltmalar

### Açıklama

SD	Sürekli Dalga
FMSSD	Frekans Modülasyonlu Sürekli Dalga
MIT	Massachusetts Institute of Technology
HFD	Hızlı Fourier Dönüşümü

# 1. GİRİŞ VE AMAÇ

Medeniyetin gelişmesi ve teknolojik ilerlemelerle birlikte devletlerin kendini korumasında ve insanlığın günlük yaşam alanında ‘tespit etmek’ önemli bir konu haline gelmiştir. Tespiti istenilen bir durumun sonucunda sağlanabilecek yararlar sayesinde günlük hayatta daha verimli bir yaşam veya devletlerin birbirleriyle yürüttükleri güç savaşlarında savunma amaçlı olarak önemli bir mücadele sağlanabilir. Bu sebeple özellikle ikinci dünya savaşıyla birlikte temel görevi bir hedefin tespiti olan radarlar teknolojik bir önem kazanmıştır. Günümüze kadar varlığını ve önemini sürdüren radarların gelecekte de hep var olacakları ön görülmektedir.

Radar, temel olarak bir elektromanyetik enerji taşıyan sinyalin görüş alanı dâhilindeki hedefe bir verici yardımıyla gönderilip, hedefe çarparak geri yansıyan sinyallerin yine radarın alıcısı tarafından alınıp işlenerek anlamlandırıldığı sistemler bütünüdür. Radarlar ile bir hedefin bulunduğu nokta, hareketlilik durumu, boyutu ve hareket yönünü tespit edilebilir. Radarlar günlük yaşamın verimli ilerlemesi için meteoroloji uygulamaları dâhilinde hava durumlarının belirlenmesinde, araçların hızlarının tespitinde, hava ve deniz trafik kontrolünün sorunsuz ilerlemesinde, yangın kontrolünün yapılmasında kullanılırlar. Radarların diğer bir önemli kullanım alanı da devletlerin kendilerini savunma alanı olan askeri bölgeler ve sınırlarda havadan, karadan, denizden gelebilecek tehlikeleri tespit etmek ve izlemektir (Skolnik, 2001).

Kablosuz iletişim sistemlerinde meydana gelen ilerlemelerle birlikte küçük boyutlu, hafif, ucuz ve taşınabilir sistemler hayatı kolaylaştırmaları bakımından günümüzde önemli bir konuma gelmiştir. Genel olarak savunma amaçlı üretilen ve oldukça büyük boyutlara sahip radarlar, çoğunlukla günlük yaşamın dışındaki uygulamalarda kullanılmaktaydı. Hız tespiti yapan, hızı anlık olarak ekranda gösterebilen ve mesafe ölçümü yapabilen Doppler esaslarına bağlı taşınabilir polis radarlarının geliştirilmesiyle birlikte radarlar günlük yaşamımıza dâhil olmuşlardır(Fisher, 1992). Bu gelişmelerin sonucunda radarın günlük yaşam içerisinde daha çok kullanılmasına yönelik araştırmalar artış göstermiştir (Charvat, 2014).

Bu tez, quasi-Yagi antenler kullanılarak 2,4 GHz bandında çalışan, kompakt boyutlu, geleneksel Doppler esaslarına bağlı olarak çalışan bir Sürekli Dalga (SD) radar sisteminin geliştirilmesinden bahsetmektedir. Massachusetts Institute of Technology (MIT)' nin açık ders notlarından örnek alınan radar sisteminin tek parça baskı devre halinde tasarlanarak gerçekleştirilmesi hedeflenmiştir (Charvat vd., 2011). Bu hedefler dâhilinde örnek radar sisteminin teorik yapısı ve çalışma mantığı esas alınmıştır. Geliştirilen sistemdeki tüm elektronik devreler ve büyük alan kaplayan konnektörlü mikrodalga devre elemanlar yerine, aynı karakteristiklere sahip yüzey montajlı devre elemanları kullanılarak oldukça kompakt boyutlarda baskı devre üretilmiştir. Tüm sistem tek bir baskı devre üzerinde toplanmıştır ve ayrıca devre tahtası üzerine de kurulmuştur. Tezin en önemli çıktılarından biri de küçültülmüş quasi-Yagi antenlerin geliştirilmesidir. İki farklı geometriye sahip, 2,4 GHz bandında çalışmaya uygun biri nispeten dar, diğeri geniş bantlı quasi-Yagi antenler geliştirilmiştir. Sistemin tüm geliştirme aşamaları, oluşan sorunlar ve çözüme yönelik işlemler aşama aşama belirtilmiştir.

## 2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Radar gönderdiği elektromanyetik sinyallerin bir nesneye çarpıp dönmesiyle aldığı sinyallerden nesnenin durumunu tespit eder. Örnek vermek gerekirse nesnenin ne olduğunu, ne kadar hızla yaklaştığını, yaklaşmasının ne kadar süre olduğunu anlayabilir. İkinci dünya savaşından sonra önemi kavranan radarlar günümüze kadar hızla gelişimlerini devam ettirmişlerdir (Skolnik, 2001).

1887 yılında, Heinrich Hertz yaptığı deneyler sonucunda metalik nesnelerin gönderilen radyo dalgalarını yansıttığını buldu. Bu buluş sayesinde yansıyan dalgaların anlamlandırılarak mesafe tespitine yönelik kullanılabilmesine dair bir yol açılmış oldu. Fakat 1904 yılına kadar pek bir gelişme sağlanamadı. 1904 yılında Christian Hulsmeyer gemileri uzaktan algılayabilen bir sistem geliştirdi. İlk radar olarak kabul edilse de, Alman donanmasında denemeleri yapıldıktan sonra kısa mesafede tespit yapabildiğinden dolayı pek ilgi görmedi. 1922' de, Guglielmo Marconi Heinrich Hertz' in yapmış olduğu çalışmalardan ilham alarak yansıma ve benzeri deneyleri yapması sonucunda Deniz radarı adı altında bir sistem önerdi. Albert Taylor, 1922' de gönderdiği sürekli dalga sinyalleriyle radar etkisini gözlemleyen ilk kişiydi. Yaptığı keşifte, bir alıcı ile bir radyo vericisi arasından geçen bir geminin, bir dalgayı vericiye geri yansıttığını fark etti, dalga boyu 5 metreydi. SD radarlarıyla ilgili ilk büyük çaplı deneme 1935 yılı Şubat'ta 49 m dalga boyunda çalışma karakteristiği sergileyen bir SD göndericisiyle gerçekleştirildi. 1935 Haziran ayında da ilk darbeleri sinyal gönderebilen verici yapıldı ve denemelerle sonuçlar alınmaya başlandı. Darbeleri sinyallerin gönderilebilmesiyle birlikte radarlar daha işlevsel bir hale geldi ve ikinci dünya savaşıyla da önemi daha da anlaşılan radarlar, o çağın en önemli teknolojilerinden biri oldu (Galati, 2016).

Radar sistemlerinin gelişmesi İkinci dünya savaşına kadar nispeten yavaş ilerleme kaydetse de ve genel olarak askeri amaçlarla kullanılsa da, bu sistemler ikinci dünya savaşından sonra günümüz uygulamalarına dâhil olup bugüne kadar gelişimlerini sürdürmeye devam etmişlerdir.

Bir radar sistemi, sahip olduğu dalga formuna göre SD radarı veya darbeli radar olarak sınıflandırılmaktadır. Bu tip sistemlerle gözlenilecek özellik cismin hızı olabildiği gibi; cismin uzaklığı, uzaklığı ve hızı, uzaklığı ve yönü olabilir (Rao, 2014).

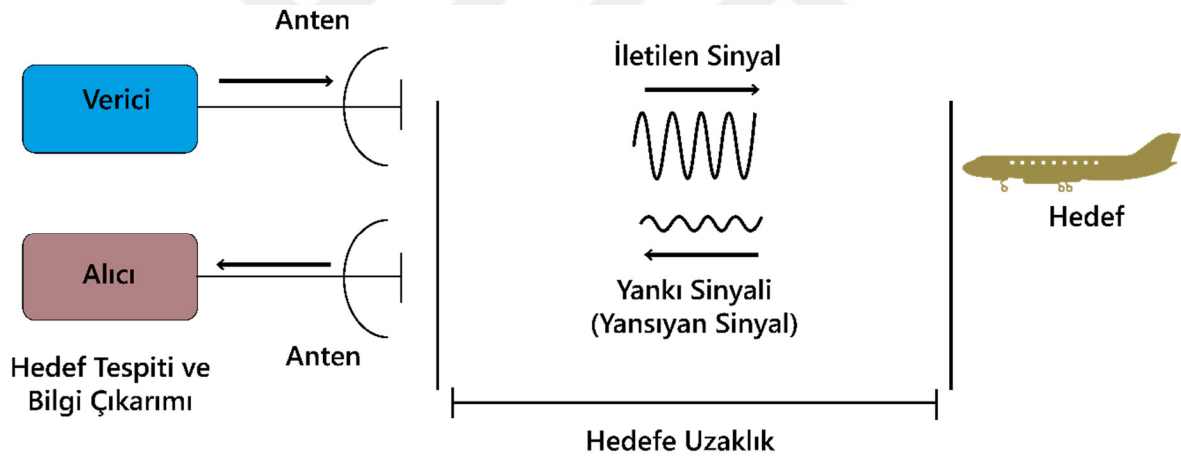
SD radarının çalışma esaslarına sahip polis radarının hayatımıza dâhil olmasıyla taşınabilir radarlar ilgi çekici hale gelmiştir. Ucuz ve çeşitli işlevselliğe sahip olarak geliştirilecek taşınabilir radar sistemlerinin gelecekte günlük hayatta daha çok uygulama alanı bulacağı aşikârdır (Fisher, 1992).

Literatürde raporlanmış bazı taşınabilir Doppler radarları incelenmiştir. MIT laboratuvarlarında gerçekleştirilen modüler radar sistemi; öğrencilerin ilgisini çekmesi açısından, uygulama kolaylığından ve geliştirilmeye açık olduğundan taşınabilir radarların gelişmesine ön ayak olmuştur. Bu sistemde 2.4 GHz bandında çalışan Doppler esaslarına dayalı Frekans Modülasyonlu Sürekli Dalga (FMSD) radarı yardımıyla hız ve mesafe tayini ile birlikte SAR görüntülemesi gerçekleştirildi (Charvat vd., 2011). Sistemde kahve kutusu tipinde antenler kullanıldı ve mikrodalga frekanslarında çalışan devre elemanları (osilatör, çarpıcı, yükselteç, güç bölücü, zayıflatıcı) ayrı olarak SMA konnektörlü yapılar ve koaksiyel kablolar yardımıyla birleştirildi. Diğer elektronik elemanlar da devre tahtası üzerinde gerçekleştirilerek tüm sistem tahta blok üzerinde birleştirildi. 5.8 GHz' de çalışan frekans modüleli dizüstü bilgisayar yardımıyla kontrol edilebilen ve yine kahve kutusu antenler kullanılan Doppler radar sistemi önerildi. Bu sistem de yine devre tahtası üzerine inşa edildi. Kompakt olmayan, ağır ve taşınabilirlik esaslarına güçlük gösteren bir yapıya sahipti (Teng, 2013). Mikrodalga devre elemanları dışında diğer devre elemanlarının baskı devre üzerinde gerçekleştirilmesiyle mesafe, hız tespiti yapabilen ve SAR görüntülemesi sağlayan bir Doppler radar sistemi sunuldu (Gürbüz vd., 2014). Yürüyen insan, bisikletli hareketi vb. mikro Doppler ölçümleri gösterildi. Bu sistem devre elemanlarının bir kısmı baskı devre üzerine gerçekleştirilmesine rağmen genel olarak incelendiğinde antenlerinden dolayı ve mikrodalga devre elemanlarının boyutlarından ötürü ideal bir kompakt yapıya erişemedi. Carrol vd., (2016) çalışmasıyla, vivaldi antenler kullanılarak bir Doppler radar sistemi yapısı tanıtıldı. Tüm devre elemanlarının baskı devre üzerinde gerçekleştirilmesiyle iyi bir kompaktlık yapısına sahipti. Fakat Vivaldi antenlerin yerleştirilme şekliyle ve boyutlarından dolayı ideal boyutta değildi.

### 3. TEORİK BİLGİ

#### 3.1. Radarın Çalışma Prensibi

Radarın çalışma yapısını yankılanma olayına benzetebiliriz. Örneğin bir mağara tarzi yerde veya bir kapalı bir boruya doğru bağırdığımızda; sesimiz bize doğru tekrarlı ve gecikmeli şekilde aynı formda ve daha az güçle geri döner. Radarlar da bu şekilde çalışmaktadırlar. Radarın taradığı alanda bir hedef bulunur ve o hedefe; sürekli veya zamanla formu değişen veya darbe şekilli sinyaller gönderilir. Hedeften radara doğru sürekli olarak sinyaller yansır ve yansıyan sinyallerin işlenerek anlamlandırılmasıyla da hedef hakkında bilgi çıkarımı yapılır.



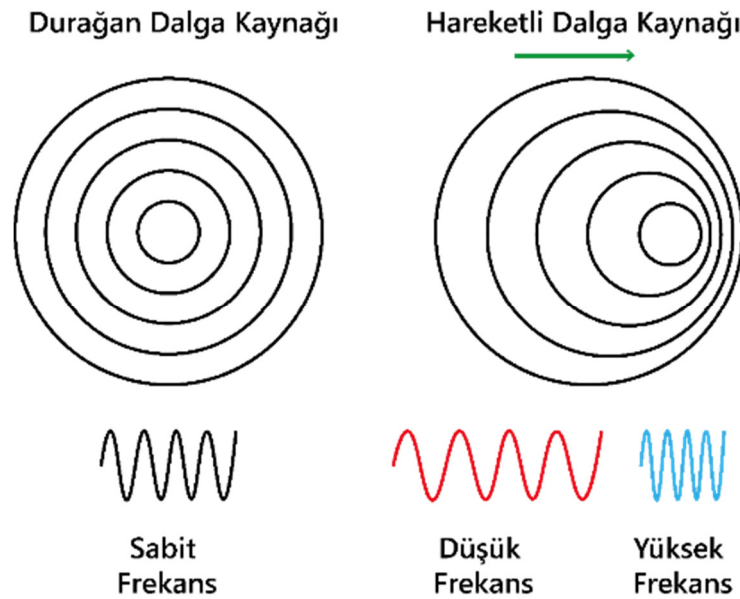
Şekil 3.1. Temel bir radar sistemi çalışma yapısı. (Skolnik, (2008) kitabından revize edilerek eklenmiştir.)

Şekil 3.1’de bir radar sisteminin temel yapısı görülmektedir. Belirli bir uzaklıktaki hedefe çeşitli formlarda sinyaller verici anten aracılığıyla gönderilir ve alıcı anten aracılığıyla da radara geri yansıyan sinyaller alınır. Alınan sinyalin ne kadar sürede alındığından, hangi açılarda alındığından ve ne kadar güçle alındığından da hedef hakkında hız, mesafe, konum ve boyut gibi bilgi çıkarımları yapılır (Skolnik, 2008).

## 3.2. Sürekli Dalga (SD) Radarı

### 3.2.1. Doppler Etkisi

Doppler etkisi, dalga özelliği gösteren herhangi bir fiziksel varlığın frekans ve dalga boyunun hareketli (yaklaşan veya uzaklaşan) bir gözlemci tarafından farklı algılanması olayıdır. Doppler etkisi ilk defa 1842 yılında Christian Andreas Doppler tarafından tanımlanmıştır. 1845 yılında Hollandalı fizikçi Ballot tarafından ses dalgaları kullanılarak test edilmiş ve ses kaynağının kendisine yaklaşmasına veya uzaklaşmasına göre frekansın arttığını veya azaldığını ispatlamıştır. Aynı etki Ballot ve Doppler' den bağımsız olarak 1848 yılında Fransız fizikçi Fizeau tarafından elektromanyetik dalgalar üzerinde de keşfedilmiştir. Doppler Etkisi' nde asıl etkilenen fiziksel özellik dalga boyudur. Dalga boyuyla frekansın ilişkisinden de frekansın değiştiği düşünülse de, frekans hep aynı kalmaktadır. Kaynak sabitse bir Doppler Etkisi göremeyiz ama kaynak gözlemciye göre uzaklaşıyorsa ya da yaklaşıyorsa burada bir Doppler Etkisi gözlemleyebiliriz. Kaynak ve gözlemci birbirine yaklaşıyorsa dalganın frekansı, referans kaynağa göre fazladır. Kaynak ve gözlemci birbirinden uzaklaşıyorsa gözlemlenen dalganın frekansı, referans kaynağa göre azdır (Andrade, 1959). Şekil 3.2' de Doppler etkisi gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Doppler Etkisi. ( Albrecht vd., (2013) kitabından revize edilmiştir.)

Radar ve hedef arasındaki yankı sinyali frekansındaki değişiklik Doppler frekansı olarak tanımlanır.

$R$  radardan hedefe olan mesafe olmak üzere, radar ve hedef arasındaki iki yönlü yolda bulunan  $\lambda$  dalga boylarının toplam sayısı,

$$\frac{2R}{\lambda} \quad (3.1)$$

'dır. Bir dalga boyu  $2\pi r$  radyanlık bir faz açısı kaymasına karşılık geldiğinden dolayı, elektromanyetik sinyalin hedefe ulaşması ve hedeften dönüşü sırasında yaptığı toplam faz açısı kayması ( $\emptyset$ ),

$$\frac{4\pi R}{\lambda} \quad (3.2)$$

radyandır. Hedef hareket ediyorsa, doğal olarak  $R$  ve  $\emptyset$  fazı sürekli değişim göstermektedir.  $\emptyset$ 'deki zamana göre değişim frekansa eşittir. Bu, Doppler açısal frekansıdır ( $\omega_d$ ) ve şu şekilde verilir:

$$\omega_d = 2\pi f_d \quad (3.3)$$

Fazdaki deęişimi inceleyecek olursak,

$$\frac{d\emptyset}{dt} = \frac{d\left(\frac{4\pi R}{\lambda}\right)}{dt} \quad (3.4)$$

$$\left(\frac{4\pi}{\lambda}\right) \cdot \frac{dR}{dt} = \left(\frac{4\pi}{\lambda}\right) \cdot V_r \quad (3.5)$$

$$\omega_d = \left(\frac{4\pi}{\lambda}\right) \cdot V_r \quad (3.6)$$

olarak yeniden ifade edilebilir.

Fazdaki değişim  $2\pi$  'ye bölünürse ve  $c$  ışık hızı olmak üzere Doppler frekansındaki dağişim, yani Doppler frekans kayması  $f_d$ ,

$$f_d = \left( \frac{2V_r}{\lambda} \right) = \left( \frac{2V_r f_0}{c} \right) \quad (3.7)$$

ile bulunur.

Bu ifadeden görüleceği üzere eğer hedefin sadece Doppler kayma frekansı bilirse bile hızının tespiti mümkün olmaktadır. Birçok hedef radara tam doğrudan olmayan şekilde farklı bir yönde hareket ederler. Bu durumda benzeri şekilde sadece radyal hız ölçülür. Radarın düz doğrultusuyla hedefin bulunduğu konumun arasındaki açı  $\alpha$  olmak üzere;

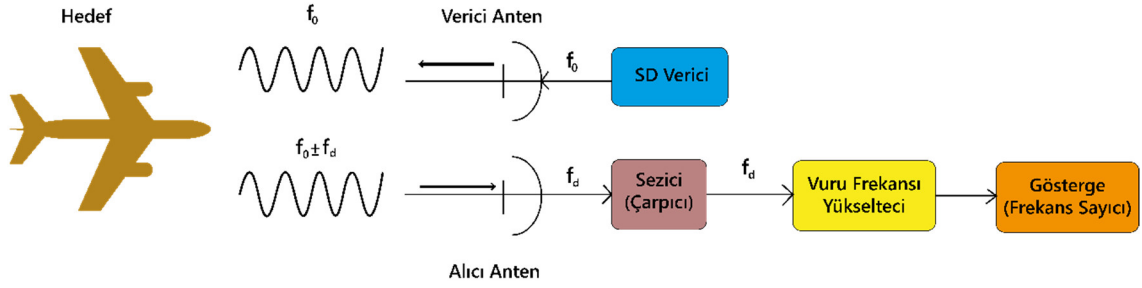
Doppler frekansının bulunabilmesi için,

$$f_d = \left( \frac{2V_r \cdot \cos \alpha}{\lambda} \right) \quad (3.8)$$

ifadesi kullanılır (Rao, 2014).

### 3.2.2. SD Radarı

Radar vericisi tarafından üretilen  $f$  frekanslı elektromanyetik dalgalar frekans bakımından herhangi bir form değişimine uğratılmadan anten aracılığıyla hüzmeye şeklinde yolu üzerindeki nesnelere gönderilirler. Bu durmaksızın gönderilen elektromanyetik dalgalar, sürekli dalgalar adını alır. Sürekli dalga radar sistemi, gönderilen  $f$  frekanslı sinyalin hareketli bir hedefe çarpıp geri yansımaya esasına göre değişir. Geri yansıyan  $f \pm fd$  sinyali bir çarpıcıdan geçirilir, çarpıcıda elde edilen sinyallerden istenilen frekanstaki sinyal bir filtre yardımıyla süzülerek işlendikten sonra ekranda gösterilir. Şekil 3.3 'de bir sürekli dalga radarının blok diyagramı gösterilmiştir.

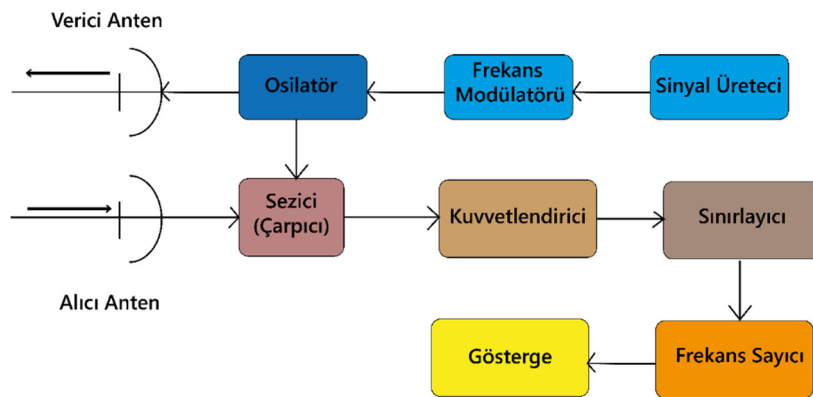


Şekil 3.3. Basit bir sürekli dalga radarı. (Skolnik, (2001) kitabından revize edilmiştir.)

Modüle edilmemiş dalgalar yayan bir SD radarıyla doppler esaslarına göre hız tespiti yapılabilir. SD radarlarıyla hızın tayin edilmesinde geçen zaman sürelerinin bilinmesi gerekmemektedir. Bu sadece menzil belirlenmesi için gerekir. Menzil tespiti için bir zaman ölçümü yapılması gerekirse, o zaman gönderilen sinyallerin modülasyonunun yapılarak referans sinyal için başlangıç ve bitiş noktaları yaratılması gerekir. (Rao, 2014).

### 3.2.3. FMSD radarı

FMSD radarı, gönderilen sinyalin modüle edildiği radarların genel adıdır. SD radarlarında sinyal sürekli aynı frekans ve genlikte gönderildiğinden belirli bir zamansal referans noktası yoktur. Bu sebeple mesafe ölçümü yapılamaz, bu da SD radarlarının önemli dezavantajlarından biridir. FMSD radarında sinyalin frekansı zaman içinde doğrusal olarak değiştirildiğinden zamansal referans noktaları oluşturabilmektedir. Hedef durağan olsa bile, hedefe çarpıp gelen gecikmeli sinyalin referans noktalarının farklı olması dolayısıyla mesafe tespiti kolayca yapılabilir. Şekil 3.4' de FMSD radar sisteminin yapısı görülmektedir.



Şekil 3.4. FMSD radarı. (Rao, (2014) kitabından revize edildi.)

FMSD radarında iletilen ve alınan dalga formu Şekil 3.5' de görülmektedir. Bu şekle göre şu eşitlikler ortaya çıkmaktadır:

İletilen sinyali ile alınan sinyal arasındaki zaman farkı  $T_p$ ,

$$T_p = \left( \frac{2R}{c} \right) \quad (3.9)$$

Modülasyon frekansı tarama bant genişliği  $\Delta f$ ,

$$\Delta f = \left( \frac{c}{2\Delta R} \right) \quad (3.10)$$

Hedefe olan uzaklık  $R$ ,

$$R = \left( \frac{f_v T_p c}{2\Delta R} \right) \quad (3.11)$$

olarak bulunur.

Bu denklemlerde;

$c$  ışık hızı,

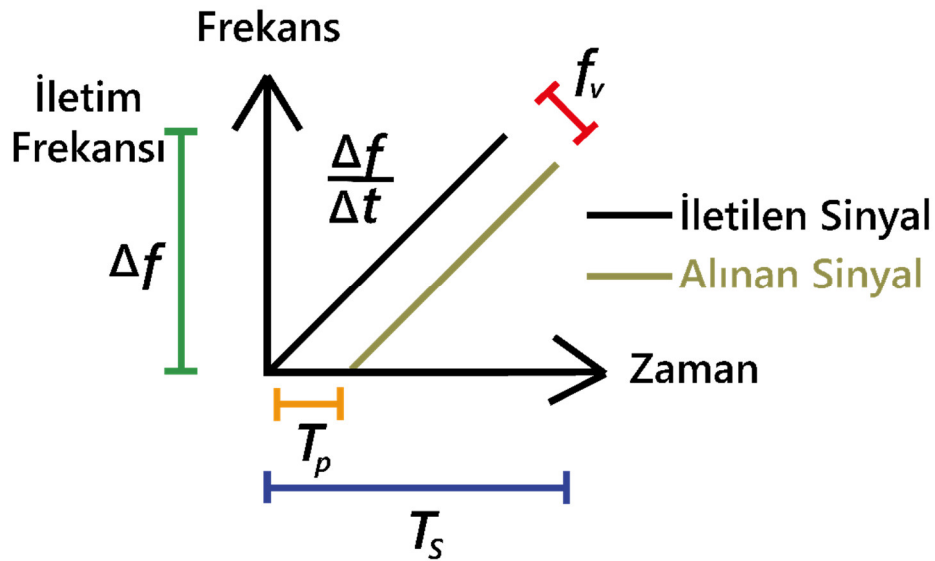
$T_p$  gönderilen sinyal ile alınan sinyal arasındaki zaman farkı,

$f_v$  vuru frekansı,

$T_s$  Modüle edilmiş sinyalin gönderilme süresi,

$R$  hedefe olan uzaklık,

olarak tanımlanmıştır.



Şekil 3.5. Bir FMSD radarında iletilen ve alınan sinyal. (Jankiraman, (2007) kitabından revize edildi.)

### 3.3. SD Radar Sistemi Elemanları

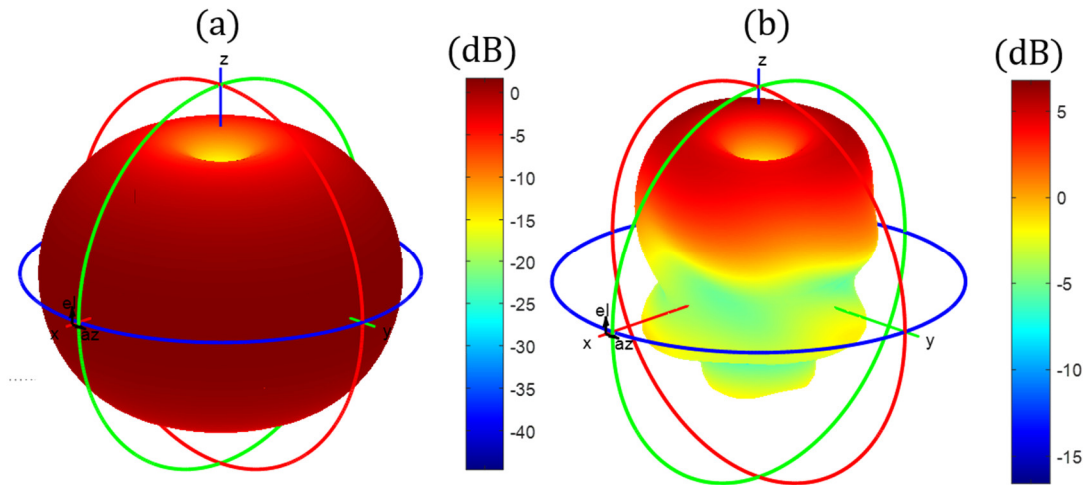
SD radar sistemleri frekans modüleri olmasına veya olmamasına göre sahip oldukları elemanlarda farklılık göstermektedirler. Fakat osilatör, çarpıcı, yükselteç ve anten gibi elemanlar neredeyse tüm SD radar sistemlerinde ortaktır.

**Osilatör:** Elektronik devrelerdeki bazı elemanlar özel frekanslarda çalışma karakteristiği göstermektedirler. Bu devreler için frekans üretilmesi görevini osilatörler gerçekleştirirler. Belirli frekanslarda kare, sinüs, üçgen veya testere dişi biçiminde dalga üretebilen geri beslemeli yükselteç devreleridir. Özellikle yüksek frekanslı mikrodalga devrelerinde tüm sistemin sinyal kaynağıdır. (Pozar, 2011).

**Güç Bölücü:** Mikrodalga devreler içeren sistemlerde, gücü belirli bir oranda zayıflatarak çıkıştaki elemanlar arasında paylaşır. Örneğin, bir radar sistemi için düşünüldüğünde gücün bir kısmı antene bir kısmını da frekans karıştırıcıya gönderilir. (Skolnik, 2008).

**Anten:** Belirli bir frekanstaki ve güçteki elektromanyetik dalgayı kılavuzlayan ve gönderen, yani hava ile mikrodalga devre sistemi arasında geçişi sağlayan elemandır. Aynı

zamanda gelen elektrik sinyalini elektromanyetik dalgaya çeviren pasif bir elektronik elemandır (Balanis, 2015). Radar sistemlerinde osilatör tarafından belirli bir frekansta üretilen sinyaller gönderilir veya alınır. Bu tür antenler alıcı ve verici anten olarak adlandırılırlar. Ayrıca duplekser kullanılarak, tek bir anten hem alıcı hem de verici olarak görevinde kullanılabilir. Antenlerin sahip oldukları tasarımlara göre yayılım desenleri farklılık gösterir. Radar sistemleri, genellikle belirli bir bölgeyi gözlemlemeyi hedeflediğinden o yöne daha güçlü yayılım yapan antenler tercih edilir. Bu tip antenlere yönlü antenler denilir (Meikle, 2008). Şekil 3.6 her yöne yayılım yapan antenin (a) ve yönlü yayılım yapan antenin (b) yayılım desenini üç boyutlu olarak göstermektedir.



Şekil 3.6. Her yöne yayılım yayılım yapan antenin ışımada deseni (a), Belirli bir yöne daha çok yayılım yapan yönlü antenin ışımada deseni (b). (Balanis, (2008) kitabından revize edildi.)

**Çarpıcı:** Mikrodalga tabanlı devre sistemlerinde bir sinyalin frekansının çeşitli amaçlar için değiştirilmesi gerekebilir. Frekans değişikliğinin en yaygın aygın amacı ara frekans (AF) sinyalini radyo frekans (RF) sinyali haline getirmek veya RF sinyalini AF sinyali haline getirmektir. Bu işlem bir elektronik devre yardımıyla iki farklı sinyalin matematiksel olarak çarpılması olarak ifade edilebilir.

Örneğin; çıkış frekansımız 'a',

hedeften geri yansıyan frekansımız 'b' olsun.

Trigonometrinin eşitliklerden biri de,

$$\cos(a) \cdot \cos(b) = \frac{1}{2} [\cos(a + b) + \cos(b - a)] \quad (3.12)$$

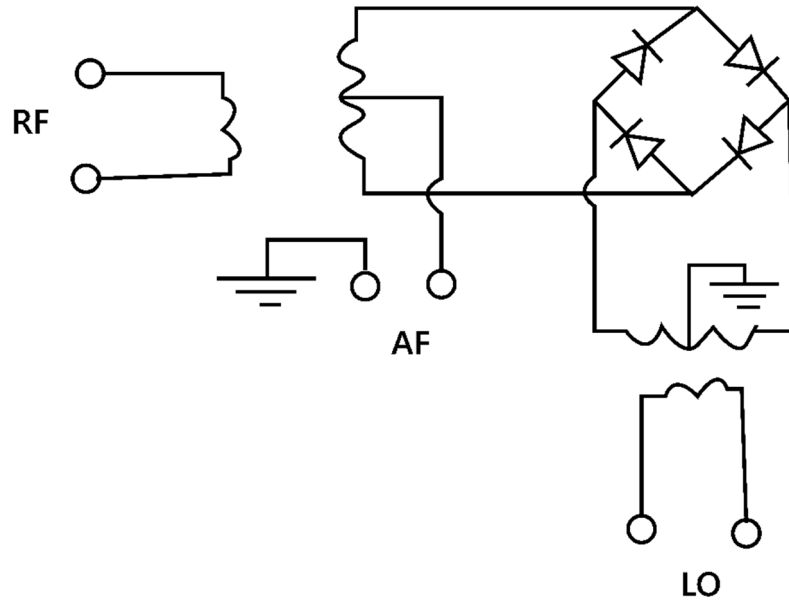
eşitliğidir. O zaman elektromanyetik sinyaller trigonometrik fonksiyonlarla tanımlanabilir.

Şayet  $\omega$  açısal frekans ise,

$$\omega = 2\pi f \quad (3.13)$$

olarak bilinmektedir.

Bir başka deyişle, çarpım yapan devrenin çıkışında iki sinyal vardır. Bu iki sinyalden birinin frekansı toplamların frekansını, diğerinin frekansı da farkların frekansını verir. Bu frekanslardan birinin özelliklerine göre tasarlanmış elektronik filtre, kendisine uygun olanı süzer. Şekil 3.7' de örnek olarak bir çift dengeli diyot çarpıcı gösterilmiştir. Bu çarpıcının Lokal Osilatör (LO), RF ve AF olmak üzere üç adet bağlantı noktası vardır (Maas, 1986).



Şekil 3.7. Bir mikrodalga çarpıcı örneği (Çift Dengeli diyot halka çarpıcı.). (Maas, (1986) kitabından revize edildi.)

**Filtre (Süzgeç):** Elektronik devrelerde belirli bir elemanın çıkışından istenilen frekansın alınmasını sağlayan devre elemanıdır. Alçak frekansları süzenlere alçak geçiren, yüksekleri süzenlere yüksek geçiren, belirli bölgelerdeki frekansları süzen filtrelere de bant geçiren filtreler denir. Sürekli dalga radar sistemlerinde hız hesabının yapılabilmesi için Doppler frekansının elde edilmesi gerekmektedir. Çarpma işlemi sonucunda elde etmek istediğimiz frekans düşük frekanstır. Fakat çarpıcıda düşük değerli ve yüksek değerli iki farklı frekans bulunmaktadır. Bu frekanslardan düşük olanı süzmek isteriz bu tür sistemlerde alçak geçiren filtreyi kullanmamız gerekir (Pozar, 2011).

**Yükselteç:** Mikrodalga devrelerinde ve radar sistemlerinde gönderilmek istenen veya alınan gücü istenilen değerde yükselten devre elemanlarıdır. Özellikle radar sistemlerinde alınan güç çok düşük seviyededir. Bu gücün gürültülerin etkisinden olumsuz etkilenmemesi ve kolaylıkla anlamlandırılabilmesi için yükseltilmesi gerekmektedir (Pozar, 2011).

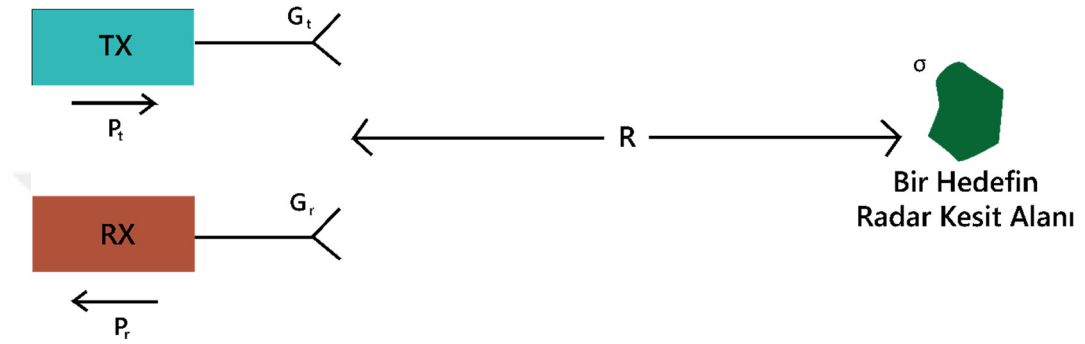
**Zayıflatıcı:** Radar sistemlerinde, üretilen sinyalin geçtiği devre elemanlarının dayanabileceği maksimum güç seviyelerine çalışma karakteristikleri farklılık göstermektedir. Bu sebeple sinyalin sahip olduğu gücün belirli durumlarda zayıflatılması gerekir. Zayıflatıcılar bu amaçla kullanılırlar. Zayıflatıcılar dış uzaya gönderilen sinyallerin gönderilen ortamın türüne göre güç seviyelerinin ayarlanmasında zayıflatma amacıyla da kullanılmaktadırlar (Pozar, 2011).

**Modülatör:** Frekans modülasyonu yapan devre elemanıdır. Radar sistemlerinde alışı ve verişi sinyali arasında referans noktaları oluşturarak zamansal farkın belirlenmesini sağlar. SD Radar sistemlerinde sinyal modüle edilmediğinden mesafe ölçümü yapılamaz. Modüle edilerek gönderilen sinyal ile alınan sinyalin arasında oluşan fark mesafeyi tayin edebilmemizi sağlar (Charvat, 2014).

**Frekans Sayıcı:** Elektronik sistemlerde bir devrenin girişinden veya çıkışından aldığımız sinyalin frekansını tespit eden devredir. Örneğin bir radarda filtre çıkışından alınan Doppler frekans değerini tespit edebilir ve içerdiği mikro denetleyici yardımıyla işleyip göstergeye aktarabilir (Rao, 2014).

### 3.4. Radar denklemi

Radar denklemi bir radar sisteminin performans parametrelerinin tespit edilmesinde kullanılmaktadır. Şekil 3.8’ de kesit alanı belirtilen bir nesneye radar ile sinyal gönderimi ve alımı gösterilmiştir.



Şekil 3.8. Kesit alanı belirtilen bir nesneye radar ile sinyal gönderimi ve alımı. (Rao, (2014) kitabından revize edildi.)

Bir radarın maksimum algılama mesafesi,

$$R_{max} = \left[ \frac{P_t G^2 \lambda^2 \sigma}{(4\pi)^3 S_{min}} \right]^{1/4} \quad (3.14)$$

olarak verilmektedir (Rao, (2014)).

$R_{max}$ , radar ve hedef arasındaki maksimum algılama mesafesidir. Birimi metredir.

$P_t$ , iletim gücü olarak adlandırılır ve radarın Watt birimine sahip bir  $t$  sinyalini ilettiği zamanki ortalama güçtür.

$\lambda$ , radar dalga boyudur. Metre (m) birimlerine sahiptir.

$G$ , verici ve alıcı antenin kazancıdır.

$\sigma$ , hedef radar kesiti olarak adlandırılır ve  $m^2$  birimlerine sahiptir.

$S_{min}$ , radar alıcısının algılayabileceği minimum alınan güçtür.



## 4. MATERYAL ve YÖNTEM

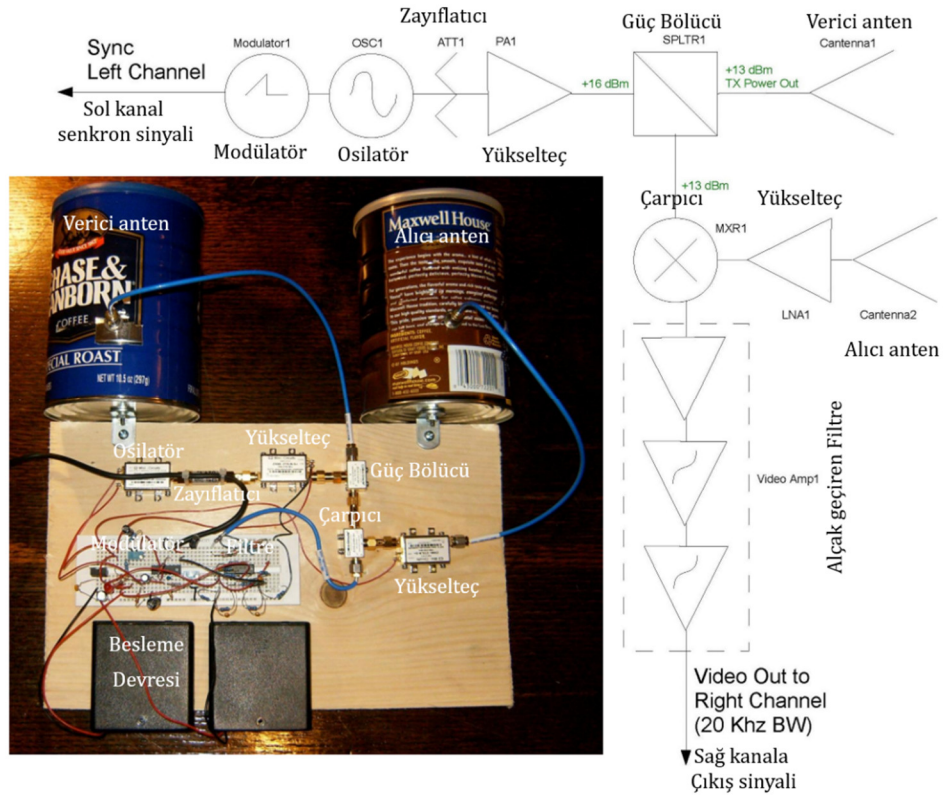
### 4.1. Giriş ve Projenin Tasarımına Genel Bakış

Bu bölümde quasi-Yagi antenler kullanılarak 2,4 GHz bandında çalışan Doppler sürekli dalga radar sisteminin tasarım aşamaları gösterilmiştir. Proje’ de, MIT’ de geliştirilen radar sisteminde bulunanlarla benzer karakteristiklere sahip çeşitli yüzey montajlı devre elemanları kullanılarak daha kompakt boyutlu bir sistem geliştirilmesi, örnek sistemden farklı olarak da anlık hız tespiti ve hızın bir frekans sayıcı yardımıyla görüntülenmesi hedeflenmiştir. Bu amaç ile; ilk aşamada 2,4 GHz bandındaki sinyallerin sorunsuz alınabilmesi ve gönderilebilmesi için biri dar, diğeri geniş bantlı olmak üzere oldukça kompakt boyutlarda antenler tasarlanmıştır. Dar bantlı anten; sistemde sinyal alımına bağlı olarak oluşabilecek ek gürültülerden kaçınılması amacıyla, geniş bantlı anten; baskı devre tasarımında mikrodalga frekanslarında çalışan sinyal alımında veya gönderiminde oluşabilecek elektronik devrelerden kaynaklı frekans kayması sorunları için, kararlı ve düzgün bir çalışma karakteristiği göstermesi hedefiyle tasarlanmıştır. Böylece hantal ve büyük boyutlu olan örnek alınan radar sistemindeki kahve kutusu tipi anten yerine çok daha küçük boyutlu antenler geliştirilmiştir. İkinci aşamada ise, MIT’ nin radar sisteminde kullanılan daha düşük frekanslarda çalışan elektronik devreler (modülatör ve filtre) ile mikrodalga frekanslarında çalışan elemanlar (osilatör, zayıflatıcı, yükselteç, güç bölücü, çarpıcı) aynı plaka üzerinde baskı devre halinde yeniden tasarlanmıştır. Bu elemanlara ek olarak frekans sayıcı devresi anlık hız görüntüleme için tasarıma dâhil edilmiştir. Tasarımlarda kompaktlık sağlamada oldukça önemli yüzey montajlı devre elemanları kullanılmıştır.

### 4.2. MIT Kahve Kutusu Radar Sistemi

Günümüzde taşınabilir sistemlerin yaygınlaşmasıyla birlikte teknolojinin her alanında küçük boyutlu cihaz tasarımına yönelim artmıştır. Radar sistemleri de son yıllara kadar oldukça büyük boyutlara sahip olduklarından bu alanda da yeni tasarımlara, taşınabilirliğe ihtiyaç doğmuştur. MIT’ de Gregory Charvat ve arkadaşları tarafından

geliştirilen küçük boyutlu radar sistemi de onlardan biridir (Charvat vd., 2011). Bu sistemin en önemli hedeflerinden biri küçük boyutlu olması ve kolayca ev yapımı olarak üretilebilirliğiyle, üniversite öğrencileri ve radar alanına ilgi duyan araştırmacılar için ortaya somut bir ürün çıkartabileceklerini gösterip kendilerini bu alanda geliştirebilmelerine yardımcı olmaktadır. Şekil 4.1’ de MIT Kahve Kutusu Radar Sistemi’nin blok diyagramı ve gerçekleştirilmiş hali gösterilmiştir.



Şekil 4.1. MIT Kahve Kutusu Radar Sistemi ve blok diyagramı. (Charvat vd., (2011) çalışmasından revize edildi.)

Sistemde toplam 12V olmak üzere 8 adet pil ile besleme yapılmıştır. Sistemde bulunan modülör devresi yardımıyla ilk olarak üçgen dalga sinyal üretimi yapılmaktadır. Üretilen üçgen dalga, frekansın belirli zaman aralığında doğrusal olarak artıp azalarak modüle edilmesini sağlar. Modülörde yansıyan sinyalle gönderilen sinyal arasındaki farkın tespit edilebilmesi için aynı frekansa sahip senkronizasyon sinyali de üretilir. Modülörden gelen üçgen dalga sinyali voltaj kontrollü osilatöre gönderilerek radar sisteminin çalışma frekansı olan 2,4 GHz bandın frekansında bir AC sinyal üretilir. Sistemin istenilen frekans değeri üçgen dalganın voltaj değeri ayarlanarak kontrol edilebilir. Osilatörden gelen sinyal

3 dB' lik bir zayıflatıcı yardımıyla zayıflatılarak yükseltece gönderilir. Sinyalin istenilen noktaya sorunsuz bir şekilde ulaştırılabilmesi için sinyalin gücü yükselteçte yükseltilir. Yükselteçte güçlendirilen sinyal güç bölücü yardımıyla 3 dB zayıflatılarak aynı anda hem verici antene hem de çarpıcı elemana gönderilir. Gönderilen sinyal hedefe çarpar ve yansır. Hedefte yansıyan sinyal oldukça düşük bir güce sahip olduğundan yükseltilerek çarpıcı elemana gönderilir. Çarpıcı elemanda güç bölücüden gelen sinyal ile antenden güçlendirilerek gelen yankı sinyali çarpılır ve biri yüksek, diğeri düşük olmak üzere iki sinyal elde edilir. Düşük frekanslı sinyal 15 KHz' e kadar frekansları geçiren 4. dereceden alçak geçiren filtre yardımıyla süzülür. Elde edilen sinyal ses kablosunun sağ kanal çıkışıyla birleştirilir, modülatörde üretilen senkronizasyon sinyali de sol kanalla birleştirilir. Ses kablosunun toprak kısmı da devrenin toprağına bağlanır. Hız ölçümleri alınmak istendiğinde; senkronizasyon sinyali toprağına bağlanır ve osilatöre sabit bir gerilim sağlanarak kayıt yapılır. Mesafe ölçümleri ve SAR görüntüleri alınmak isteğinde kayıt sağ ve sol kanalların ikisi aktif haldeyken yapılır. Kayıt işlemleri bu sistemde Audacity yazılımıyla yapılmaktadır. Kayıtlardan elde edilen wav uzantılı dosyalar Matlab' da ters Hızlı Fourier Dönüşümü (HFD) kullanılarak yazılan sinyal işleme kodlarıyla anlamlı hız, mesafe ve SAR değerlerine dönüştürülür.

### 4.3. Quasi-Yagi Anten Tasarımları

Kablosuz iletişim sistemlerinin birçok alanında küçük, kompakt ve hafif elektronik cihazlar için artan kullanıcı talebi vardır. Bu tür cihazlar için anten tasarımı; genel sistem performansını korurken, genel sistemin boyutlarının küçültülmesinde çok önemli bir rol oynar. Bu çalışmalarda, antenin içsel özelliklerinin korunması gerektiğinden antenlerin küçültülmesi zorluklar barındırır.

Baskı antenler, elektronik devrelerle uyumluluğı, hafifliği ve üretim kolaylığı nedeniyle birçok kablosuz iletişim uygulamasında tercih edilmektedir (Waterhouse, 2008). Baskı antenlerin önemli bir tipi olan Quasi-Yagi anten ilk olarak (Kaneda vd., 1998) çalışmasında önerilmiştir. İyi özelliklerine rağmen, araştırmacılar tarafından quasi-Yagi antenin ana elemanlarının (sürücüsü, yönlendiricisi ve besleme yapısı) geliştirilerek daha da tercih edilebilir olmaları için birçok girişimde bulunulmuştur (Kaneda vd., 1998; Zheng vd., 2004; Huang ve Chiu, 2004; Kretly ve Capovilla, 2004; Hua vd., 2007).

Quasi-Yagi antenler geniş bant, yüksek kazanç ve sondan çıkışlı yayılım gibi özellikleri nedeniyle son yıllarda büyük ilgi görmüştür. Bu özellikler birçok uygulamada aranmaktadır. Fakat quasi-Yagi antenlerin elektriksel boyutları nispeten büyüktür. Literatürdeki quasi-Yagi anten çalışmalarının çoğu bant genişliğinin artırılmasına (Abbosh, (2013); Wu vd., (2014); Li vd., (2016); Kumar ve Kumar, (2018)) veya kazancın artırılmasına (Weinmann, (2007); Sun vd., (2013); Liang vd., (2015); Ojaroudi vd., (2019)) yöneliktir.

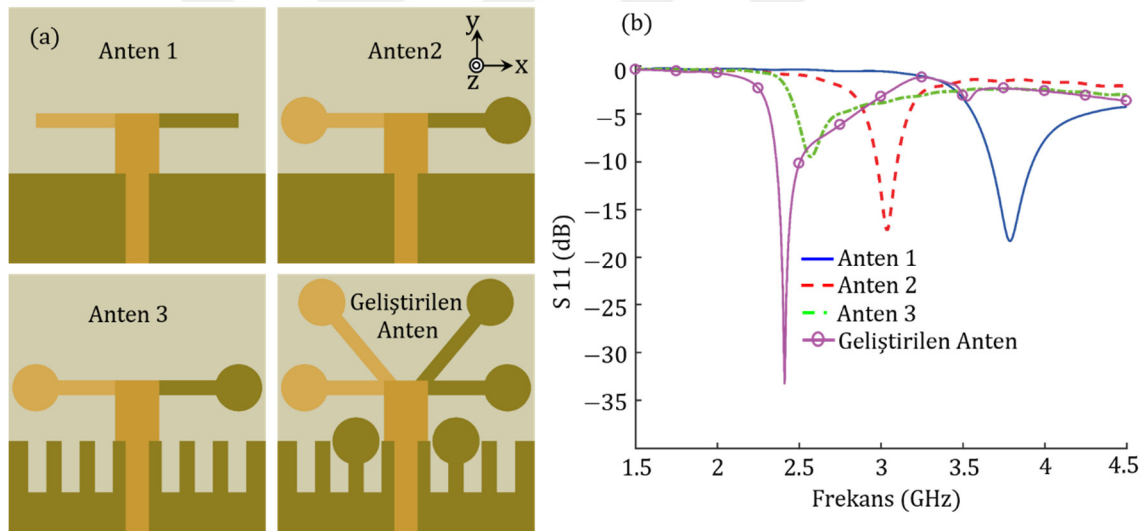
Quasi-Yagi antenler, sahip oldukları eşsiz yayılım karakteristiğiyle küçük anten gerektiren çalışmalar için oldukça önemli bir adaydır. Literatürde bazı küçültülmüş quasi-Yagi anten çalışmaları incelendiğinde, genellikle antenlerinin sürücü ve yer düzleminin modifikasyonu ile antenlerin elektriksel boyutu minimize edilmiştir. Örneğin; Wu vd., (2013) ve Zhou vd., (2016) çalışmalarında, ek akım yolları oluşturmak için yer düzlemini genişletilmiştir. Sonuç olarak, antenin alt frekans ucu daha geriye kaydırılmıştır ve böylece küçük bir küçültülme sağlanmıştır. Ancak, bu tasarımların elektriksel boyutu merkez frekansa göre hala oldukça büyüktür ( $0,68\lambda_m \times 0,68\lambda_m$ ).  $\lambda_m$  merkezi frekansa göre dalga boyudur. Yuan ve Tang, (2018) çalışmasında,  $0,39\lambda_m \times 0,42\lambda_m$  boyutlarında anten elde etmek için antenin dikey boyutunu küçültmeye yönelik olarak yatay bir besleme mekanizması önerilmiştir. Ancak anten karmaşık bir faz kaydırıcı yapısına sahiptir. Yeo ve Lee, (2015) çalışması, değiştirilmiş çift kutuplu ve toprak elementli küçültülmüş bir quasi-Yagi anten sunmuştur. Küçültülme ile anten  $0,28\lambda_m \times 0,28\lambda_m$  boyutuna ulaşmıştır. Bununla birlikte, via kullanımı antenin karmaşıklığını arttırmıştır ve anten düşük ön-arka oranı göstermektedir. Başka bir çalışmada (Huang, (2015)) parabolik yansıtıcı ve kıvrımlı çift kutup sürücüsü kullanılmış ve  $0,29\lambda_m \times 0,36\lambda_m$  boyutunda bir anten elde edilmiştir. Ancak, anten düşük bant genişliği göstermiştir.

#### **4.3.1. Küçültülmüş dar-bantlı quasi-Yagi anten tasarımı**

Bu proje için geliştirilen küçültülmüş dar bantlı quasi-Yagi anten temel olarak bir sürücü, yansıtıcı ve besleme yapısından oluşur. Karmaşık faz kaydırıcı tasarımından kaçınmak için basitleştirilmiş mikroşerit besleme yapısı kullanılmıştır (Zheng vd., 2004). Sürücülerin yarısı, sabit bir radyasyon deseni sağlamak için alt tabaka ve üst tabakaya zıt



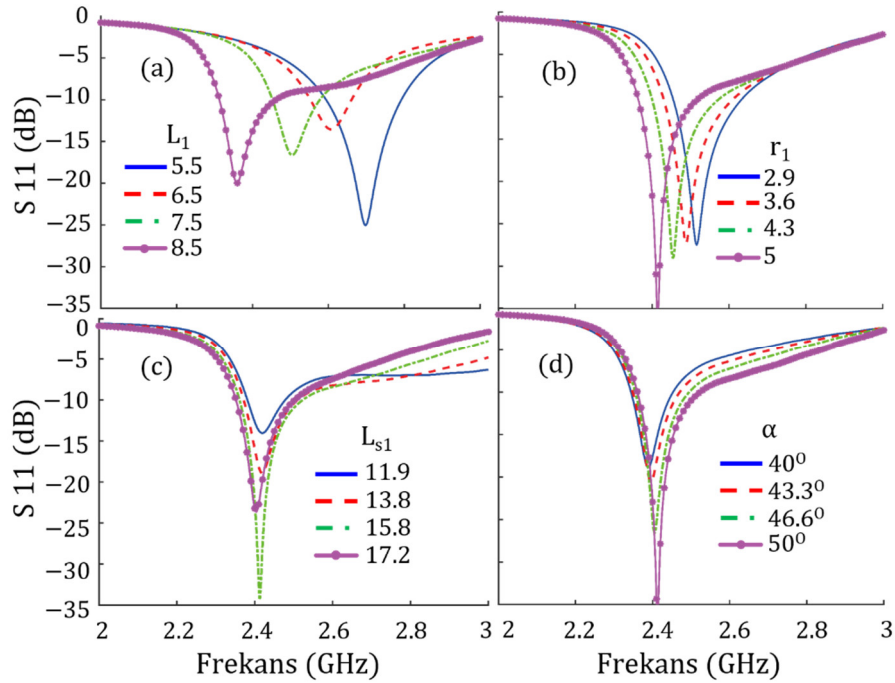
Şekil 4.3 (a)' da antenin geliştirilme aşamaları ve Şekil 4.3 (b)' de ise bu aşamaların  $S_{11}$  değişimine etkisi görülmektedir. Geleneksel quasi-Yagi antenin boyutları oldukça büyük olduğundan antenin tüm elemanları ilk olarak küçültülmüştür (Anten 1). Fakat anten hala çalışma frekansına göre büyük boyutlara sahip olduğundan, Anten 2' de sürücü elemanın uçlarına dairesel yamalar eklenerek antenin tınlaşım frekansı daha düşük frekanslara kaydırılmıştır. Sonrasında antene yarıklar eklenmiştir ve anten oldukça kompakt boyutlara erişmiştir (Anten 3). Ancak bu modifikasyon sonucunda antendeki düşük empedans eşleşmesi görülmüştür. Bu sebeple antene eklenen açılı köpek kemiği tipli sürücü ve yarıklara eklenen dairesel yamalarla düşük empedans eşleşmesi problemi giderilip nihai yapısına kavuşmuştur (Şekil 4.3 (a)). Sonuç olarak 2,35 ile 2,5 GHz arasında çalışma karakteristiği gösteren ( $S_{11} < -10$  dB) dar bantlı bir quasi-Yagi anten elde edilmiştir (Şekil 4.3 (b)).



Şekil 4.3. Geliştirilen antenin evrim aşamaları (a), evrim aşamalarındaki  $S_{11}$  sonuçları (b).

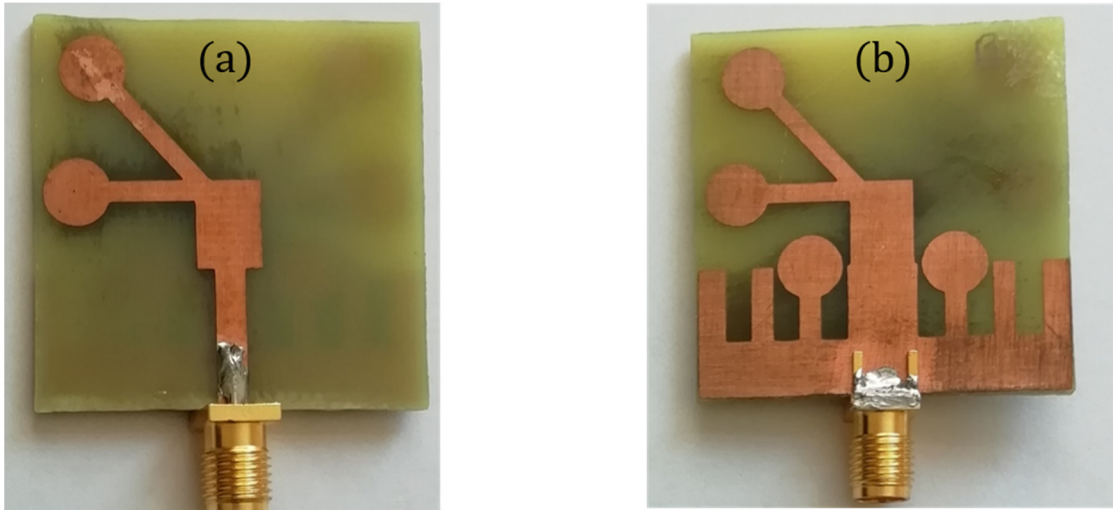
Şekil 4.4' de antenin çalışma karakteristiğinde önemli etkileri olan elemanlar üzerine parametrik çalışmalar yapılmıştır. Parametrik çalışmalarda değiştirilen uzunluk dışında diğer tüm anten uzunlukları aynı kalmıştır. Tüm uzunluklar mm cinsindedir. Şekilden görüleceği üzere yarıkların uzunluğunun ve sürücüye eklenen dairesel yamanın yarıçap uzunluğunun ( $L_1$ ) tınlaşım frekansının daha alt frekanslara kaymasına etkisi açıkça görülmektedir (Şekil 4.4 (a)). Yarıkların uzunluğu arttığında tınlaşım frekansının geriye doğru kaydığı, fakat belirli bir değerden sonra empedans eşleşmesine olumsuz etkisi olduğu görülmüştür. Antenin küçültülmesinde diğer bir önemli parametre olan  $r_1$  yarıçapının

uzunluğu artıkça  $L_1$  parametresinin değişimine benzer bir etki gösterdiği görülmüştür (Şekil 4.4 (b)). Antenin tınlaşım frekansının daha alt frekanslara kaydırmaya etkisi  $r_1$ 'in değişimiyle açıkça görülmektedir. Şekil 4.4 (c)' de eklenin köpek kemiği tipi sürücünün uzunluğunun değişimine göre antenin  $S_{11}$  değeri gösterilmektedir.  $L_{s1}$  uzunluğunun artmasıyla antenin empedans eşleşmesinin belirli bir değere kadar arttığı sonrasında azalmaya başladığı gözlenmiştir. Şekil 4.4 (d)' de sürücüler arasındaki açının ( $\alpha$ ) değişiminin antenin çalışma karakteristiğine etkisi görülmektedir. Açılı arttıkça empedans eşleşmesinin yükseldiği görülmüştür. Optimum değerler olarak;  $L_1=7$ ,  $r_1=3,1$ ,  $L_{s1}=16,6$ ,  $\alpha=50^\circ$  belirlenmiştir.



Şekil 4.4. Anten üzerinde yapılan parametrik çalışmalar. (a)  $L_1$ ' in değişiminin, (b)  $r_1$ ' in değişiminin, (c)  $L_{s1}$ 'in değişiminin, (d)  $\alpha$ 'nın değişiminin antenin çalışma karakteristiğine etkisi.

Şekil 4.5' de antenin optimize edilmiş değerlere göre üretilmiş versiyonu gösterilmektedir. Antene enerji gönderimi için iletim hattıyla uyumlu 50 ohm' luk SMA konnektörler lehimlenmiştir.

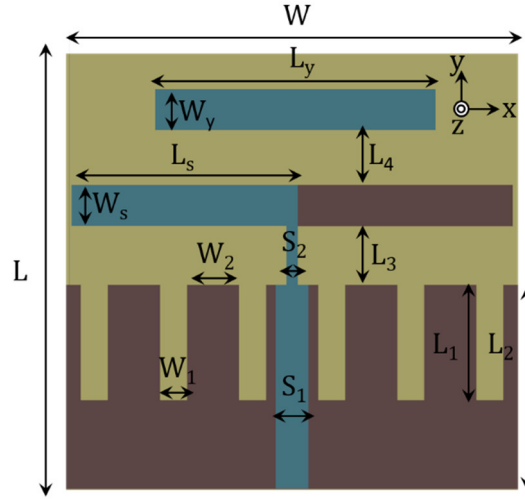


Şekil 4.5. Üretimi yapılmış anten. (a) Ön yüz, (b) arka yüz.

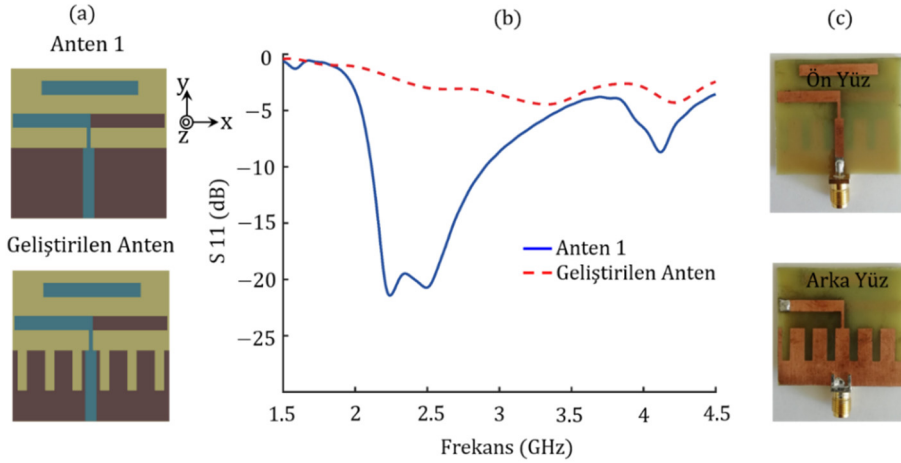
#### 4.3.2. Küçültülmüş geniş bantlı quasi-Yagi anten tasarımı

Bu proje için geliştirilen diğer bir anten de küçültülmüş geniş bantlı quasi-Yagi antendir. Bu anten, dielektrik sabiti  $\epsilon_r = 4,3$ , kayıp tanjanı  $\delta = 0,023$  ve kalınlığı 1,6 mm olan bir FR-4 dielektrik plaka üzerine inşa edilmiştir. Antenin toplam boyutu  $W \times L = 40 \times 40$  mm' dir ( $0,33\lambda_m \times 0,33\lambda_m$ ).  $\lambda_m$  merkezi frekansa göre dalga boyudur. Antenin konfigürasyonu Şekil 4.6 'da gösterilmektedir, tasarım parametrelerinin detayları Şeklin başlığında verilmiştir. Anten 50 ohmluk iletim hattıyla beslenmektedir. Sürücülerin yarısı, kararlı radyasyon deseni sağlamak için alt tabaka ve üst tabakaya zıt olarak inşa edilmiştir. Antenin tasarımı ve optimizasyonu CST Microwave Studio benzetim programı kullanılarak yapılmıştır.

Anteni küçültmek için, öncelikle geleneksel quasi-Yagi anteninin (Zheng vd., (2004)) tüm elemanları küçültülmüştür ve Şekil 4.7 (a)' daki Anten 1 haline getirilmiştir. Toprak düzlemine eklenen yarıklarla da antenin geleneksel boyutları küçültülmesiyle bozulan çalışma özelliği tekrar çalışma sağlamıştır ve geniş bant karakteristiği elde edilmiştir. Antenin  $S_{11}$  parametreleri Şekil 4.7 (b)' de gösterilmektedir. Anten 2,1 ile 2,9 GHz arasında, %32 bant genişliğiyle geniş bantlı bir çalışma karakteristiği göstermektedir. Şekil 4.7 (c)' de antenin üretilmiş hali gösterilmiştir.

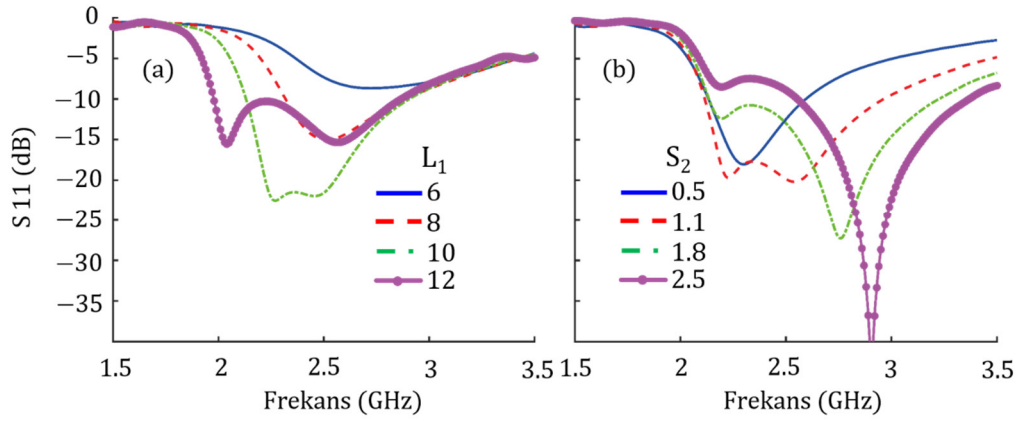


Şekil 4.6. Geliştirilen anten' in tasarım konfigürasyonları.  $W = L = 40$ ,  $L_1 = 10,2$ ,  $L_2 = 18$ ,  $L_3 = 5,2$ ,  $L_4 = 4,8$ ,  $W_1 = 2,4$ ,  $W_2 = 4,6$ ,  $S_1 = 2,9$ ,  $S_2 = 1$ ,  $L_s = 20$ ,  $L_y = 24,8$ ,  $W_s = W_y = 3,6$  (Tüm birimler mm cinsindedir.).



Şekil 4.7. (a) Antenin evrim aşamaları. (b) Antenlerin evrim aşamalarında gösterdikleri S11 sonuçları. (c) Üretilmiş anten.

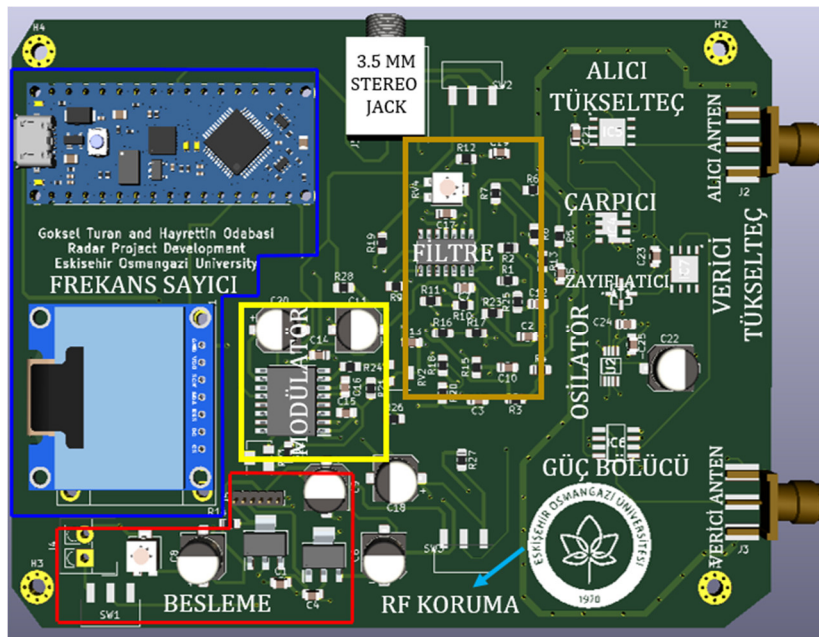
Şekil 4.8' de antenin çalışma karakteristiğinde etkili uzunların parametrik çalışmaları görülmektedir. Parametrik çalışmalarda değiştirilen uzunluk dışında diğer tüm anten uzunlukları sabit tutulmuştur. Tüm uzunluklar mm cinsindedir. Antenin tüm elemanları küçültüldüğünde anten çalışma özelliğini kaybetmişti. Şekil 4.8 (a)' da  $L_1$  değerinin yükselmesiyle devrenin çalışma karakteristiğini yeniden kazandığı açıkça görülmektedir.  $S_2$  parametresinin değerinin arttıkça antenin empedans eşleşmesinin belirli bir değere kadar yükseldiği Şekil 4.8 (b)' de görülmüştür. Optimum değerler olarak;  $L_1=10,2$  ve  $S_2=1$  belirlenmiştir.



Şekil 4.8. Geliştirilen anten üzerinde yapılan parametrik çalışmalar. (a)  $L_1$ 'in değişiminin, (b)  $S_2$ 'nin değişiminin anten çalışmasına etkisi.

#### 4.4. Baskı Devre Tasarımı ve Gerçekleştirilmesi

Bu bölümde geliştirilen radar sisteminin baskı devre tasarımına ve gerçekleştirilmesine yönelik tüm aşamalar gösterilmiştir. Tüm devrelerin tasarımı açık kaynak kodlu KiCAD programı üzerinde yapılmış olup, şematik yapıları ve elemanların bağlantıları açıkça adım adım gösterilmiştir.



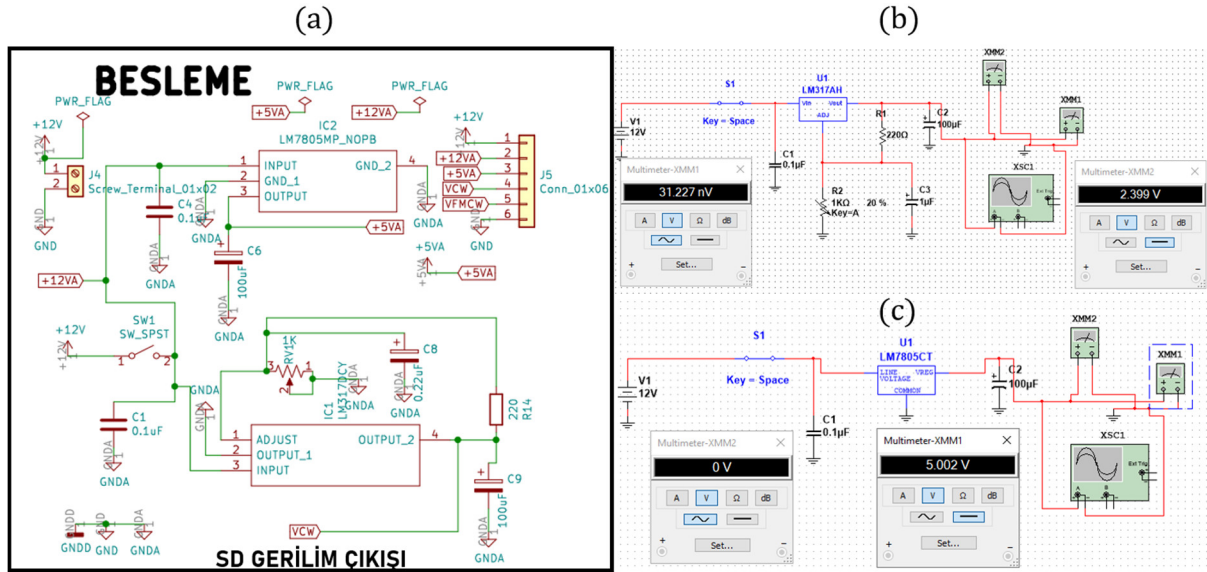
Şekil 4.9. Tasarımı tamamlanmış baskı devre

Devrelerin tasarımları için bir rehber kullanılmıştır (Mitzner, 2009). Tüm devreler bilgi kâğıtlarında verilen değerler dikkatlice incelenerek tasarlanmıştır. Ayrıca yüksek frekanslı devrelerin etrafına topraklanmış bir RF koruma yapısı eklenmiştir. Şekil 4.9' da tasarımı tamamlanmış baskı devre gösterilmektedir. Tasarlanan baskı devrenin üretimi yapılmıştır.

#### 4.4.1. Besleme devresi

Elektronik devrelerinin çoğu bir enerji kaynağı yardımıyla işlevlerini yerine getirirler. Radar sistemlerinde de verici antenin uzaya yayılım yapabilmesi için bir kaynaktan enerji alması gerekmektedir. Bu sebeple devrenin ilk olarak besleme kısmı tasarlanmıştır. Bu devre örnek alınan radardan biraz farklılık göstermektedir.

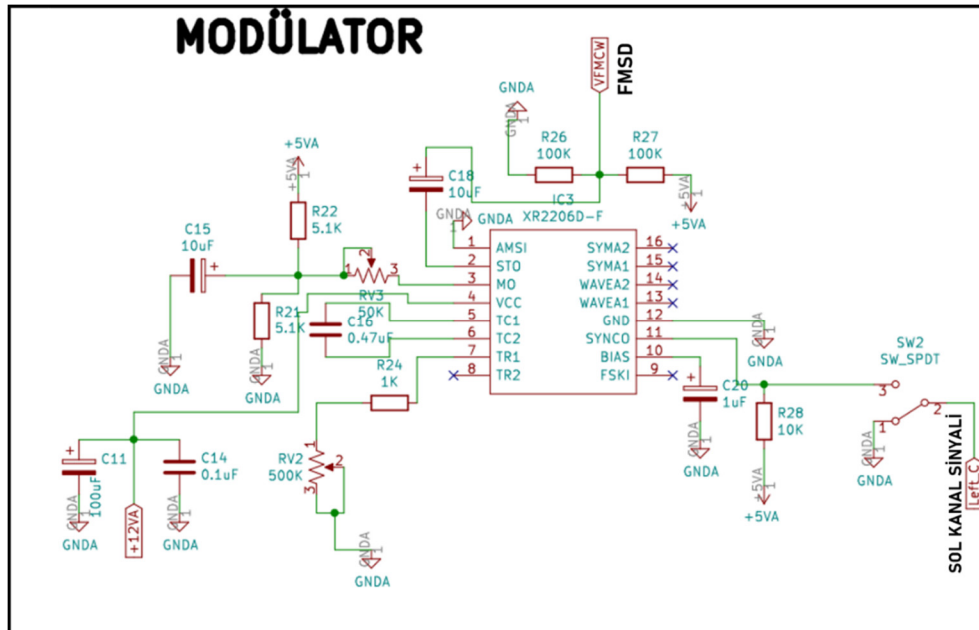
Devre SD ve FMSD olmak üzere iki modda kullanılacaktır. SD moduyla Doppler hız ölçümlerinin yapılabilmesi için voltaj kontrollü osilatöre sabit bir gerilim sağlanması gerekmektedir. Bu sebeple 1,5V ile 37V arasında gerilim değeri üretebilen LM317 (Onsemi, (2019)) voltaj düzenleyici entegresi kullanılmıştır. Şekil 4.10 (a)' da SD modu için tasarlanan besleme devresi gösterilmiştir. Devre benzetim sonuçlarında görüldüğü üzere nV seviyelerinde gürültü içermektedir (Şekil 4.10 (b)). Devrede R2 potansiyometresinin değeri değiştirilerek çıkışta istenilen gerilim elde edilebilir. Örneğin R2 değeri %20 seviyelerine getirildiğinde Sürekli Dalga modu için üretilecek gerilim 2,39 volt olmaktadır. Gürültü seviyesi de 31 nV olmasıyla oldukça düşüktür. Diğer bir besleme entegresi olarak da 5V gerilimle çalışan tüm elemanlara gerilim sağlaması için LM7805 (Texas, (2000)) voltaj regülatörü kullanılmıştır (Şekil 4.10 (b)). Şekil 4.10 (c)' de +5V besleme devresi' nin benzetim yapılmış hali görülmektedir. Mikrodalga frekanslarında çalışan devreler içeren elektronik sistemlerde gürültü seviyelerini minimum seviyede tutmak gerekmektedir. LM7805 entegresindeki gürültü yok denecek kadar azdır. Devredeki tüm aktif elemanlar +12 V veya +5 V gerilim değerleriyle çalışmaktadır. Benzetimler NI Multisim programıyla yapılmıştır.



Şekil 4.10. (a) Besleme devresi. (b) Besleme devresinin benzetim programıyla testi.

#### 4.4.2. Modülâtör devresi

Modülâtör devresi, örnek olarak alınan radar sistemiyle aynı elemanlara sahiptir. Devrede XR-2206 entegresi kullanılmaktadır (Exar, 2008). Şekil 4.11' de sistemde kullanılan modülâtör devresinin şematik yapısı verilmiştir.



Şekil 4.11. Modülâtör devresi.

Bu entegre sayesinde osilatörün Vtune girişine üçgen dalga formu üretilmektedir. Devrenin projede kullanılan işlevsel iki çıkışı vardır. Birisi 2 numaralı pinden alınacak olan FMSD modu diğeri de 11 numaralı pinin çıkışından alınacak senkron sinyaldir. FMSD modu ile üçgen dalga üretimi sağlanır. Senkron sinyali sayesinde de hedeften yansıyan sinyalle oluşan fark tespit edilmektedir. Üretilen üçgen dalganın frekansı ve genliği sırasıyla RV3 ve RV2 potansiyometreleriyle kontrol edilebilmektedir. 20 ms periyotlu sinyal üretimi gerçekleştirilebilmektedir.

#### 4.4.3. Mikrodalga devre elemanları

Mikrodalga devre elemanları mikrodalga frekanslarında çalışma gösteren elemanlardır. Şekil 4.12' de projede kullanılan mikrodalga devre elemanları şematik olarak gösterilmektedir. Projenin örnek alınan radar sisteminden en önemli farklılıklardan biri de SMA konnektörlü yapılar kullanılan ve koaksiyel kablolarla birleştirilen büyük boyutlu mikrodalga devre elemanları yerine, benzer karakteristikler gösteren oldukça küçük boyutlu yüzey montajlı devre elemanlarına sahip olmasıdır. Osilatör olarak 2,4 - 2,5 GHz bantlarında sinyal üreten MAX2750EUA+ (Maxim, (2012)) modeli seçilmiştir. Bu eleman Vtune girişine göndereceğimiz SD modu (2V) veya FMSD modundaki (2 ile 2.4V arası) sinyalin gerilimine karşılık olarak yaklaşık 2,45 GHz' lik bir sinyal çıkışı almak hedeflenmiştir.

Osilatörden alınan sinyal zayıflatıcı yardımıyla zayıflatılmaktadır. Bunun sebebi, osilatör içinde besleme devresi kaynaklı olarak oluşabilecek ani yüksek güç girişlerinin diğer mikrodalga devrelerde oluşturabileceği zararları kontrol altına almaktır. Zayıflatıcı hat boyunca geri yansıyan sinyallerin zayıflatma işlemini de gerçekleştirir. Böylece verici antenden veya diğer devre elemanlarından yansıma sonucu oluşacak sinyallerin devreye olan etkisi bastırılmakta ve çalışma frekansına olan etkisi azaltılmaktadır. Zayıflatıcı olarak GAT-3+ (Mini, (2018)) entegresi kullanılmıştır. Bu entegre 18 GHz frekanslarına kadar kararlı çalışabilmektedir ve 2,4 GHz bandında 3dB'lik bir zayıflatma sağlamaktadır.

Mikrodalga devrelerde her sistem için gönderilecek veya alınacak özel güç seviyeleri vardır. Devrenin belirli bölümde bu amaçlarla gücün belirli düzeylere yükseltilmesi gerekir. Projede YSF-272+ (Mini, (2013)) modeli, 2 adet aynı tip düşük gürültülü yükselteç



mantığına göre çalışmaktadır.

Burada kaynak frekansımız  $f$ , hedeften gelen frekansımız ise  $f+fd$  olsun.

$$\cos(f) \cos(f + fd) = \frac{1}{2} [\cos(f + f + fd) + \cos(f + fd - f)] \quad (4.2)$$

İfadesinden görüldüğü üzere çok yüksek frekanslı,

$$\cos(2f + fd) \quad (4.3)$$

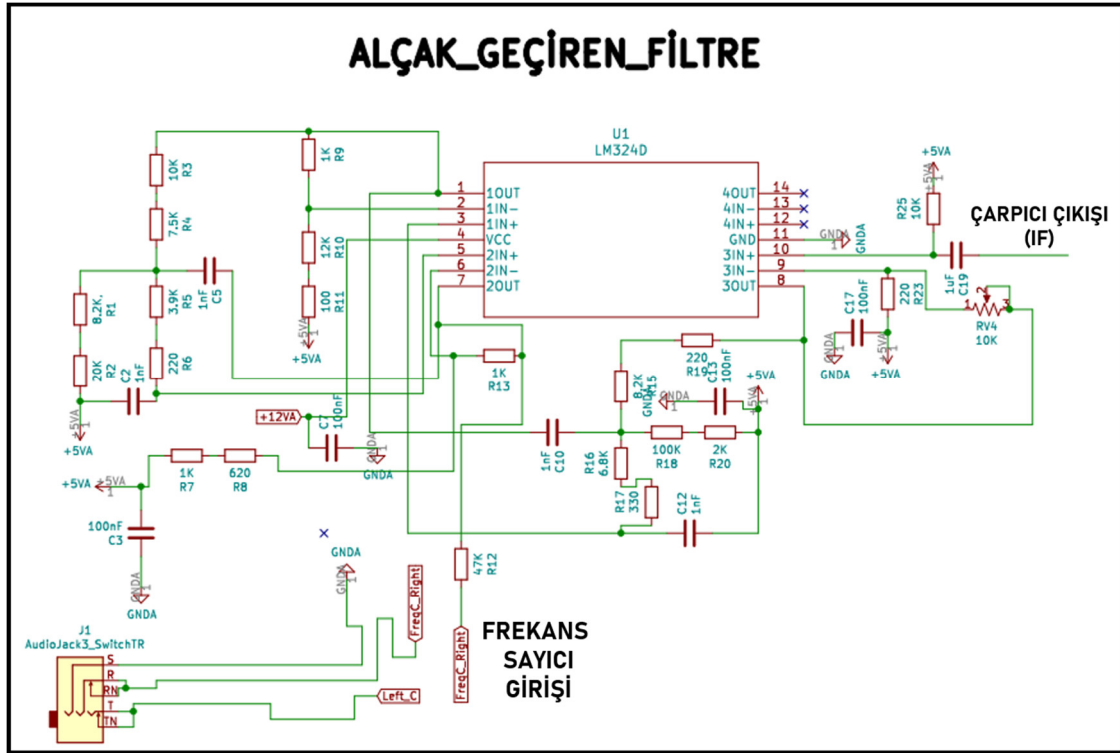
ve düşük frekanslı,

$$\cos(f + fd - f) = \cos(fd) \quad (4.4)$$

iki ayrı sinyal çıkışı elde edilecektir. Buradaki düşük frekanslı  $fd$  yankı sinyalidir, frekans çarpıcı sayesinde formülize edilmiştir. Bu entegrenin RF girişine alıcıdan gelen sinyal ile osilatörde üretilip zayıflatıcıdan gelen sinyal çarpılarak düşük ve yüksek frekanslı iki sinyal elde edilir.

#### 4.4.4. Filtre devresi

Projedeki sistemde örnek alınan radar sisteminden farklı olarak LM324 (Onsemi, (2016)) entegresi kullanılmıştır. Şekil 4.13'de filtre devresinin şematik hali gösterilmiştir. Devre 15 kHz altındaki frekansları yüksek verimlilikle geçirmesi amacıyla 4. Dereceden alçak geçiren filtre olarak tasarlanmıştır. Devrede bulunan RV4 kodlu potansiyometre ile filtrenin kazanç ayarı yapılabilmektedir. Devrenin çıkışı da 3,5 mm stereo fişe bağlanmıştır. Bu fişte sağ, sol ve toprak olmak üzere üç bölüm bulunmaktadır. SD modunda; sol kanal topraklanır sadece sağ kanaldan gelen sinyaller kayıt edilir ve hız tespiti yapılır, FMSSD modunda ise bu sol ve sağ kanal kaydı aynı anda yapılarak yansıyan sinyalle referans sinyal arasında oluşan farktan mesafe ölçümü yapılır.



Şekil 4.13. Alçak geçiren filtre devresi.

#### 4.4.5. Frekans sayıcı devresi ve yazılımı

Hızı ölçülecek olan nesnenin frekansı çarpıcı çıkışına bağlanacak bir alçak geçiren filtre ile elde edilebilmekteydi. Elde edilen bu frekans değeri bir frekans sayıcı aracılığı ile saydırıılarak anlık frekans görüntülenmesi sağlanabilmektedir. Yapılan hesaplamalar sonucu hız ile Doppler frekansı arasında yaklaşık olarak 0,225 katlık,

$$V_r = 0,225 \cdot f_d \text{ km/saat} \quad (4.5)$$

bir oran elde edilmiştir. Bu oranın nasıl elde edildiğini açıklayalım.

$$f_d = \left( \frac{2V_r}{\lambda} \right) = \left( \frac{2V_r f}{c} \right) \quad (4.6)$$

olarak ifade ettiğimizi daha önceden belirtmiştik.

$$\lambda = \left( \frac{c}{f} \right) \quad (4.7)$$

ile ifade edildiğinden,  $c$  ışık hızı kabul edilirse buradan 2,4 GHz için hesaplandığında,

$$\lambda = \left( \frac{3 \cdot 10^8}{2,4 \cdot 10^9} \right) \quad (4.8)$$

$\lambda = 0,125\text{m}$  olarak bulunur.

$$V_r = \left( \frac{\lambda f_d}{2} \right) \quad (4.9)$$

Olduğundan,

$$V_r = 0,0625 \cdot f_d \text{ m/s} \quad (4.10)$$

bulunur. Saatlik hızı hesaplamak istediğimizde,

$$V_r = \frac{0,0625 \cdot 3600 \cdot f_d}{1000} \quad (4.11)$$

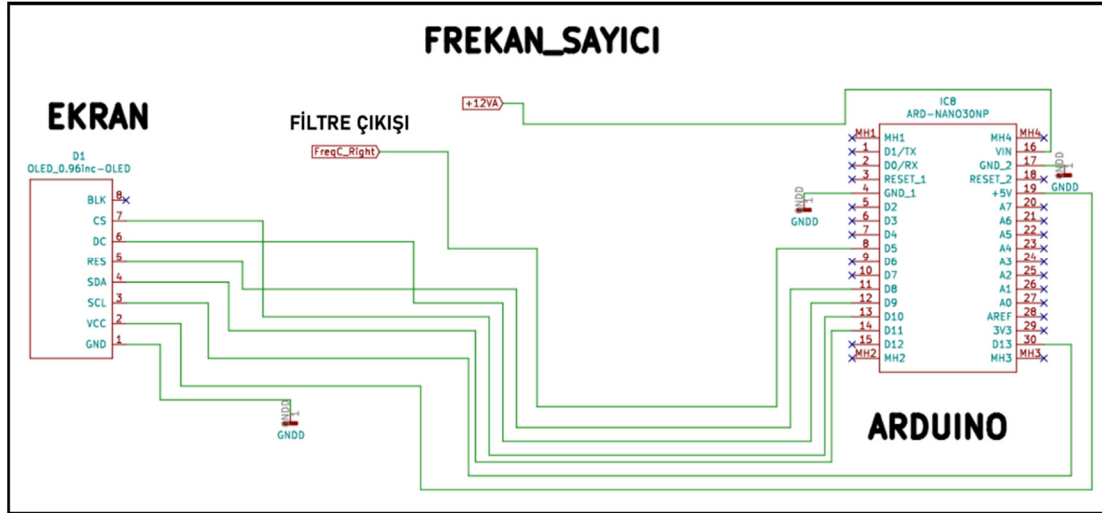
olarak ifade edilebileceğinden,

$$V_r = 0,225 \cdot f_d \text{ km/saat} \quad (4.12)$$

şeklinde hesaplayabilmekteyiz.

Frekans sayıcı olarak kullandığımız Arduino Nano mikrodenetleyicimizin yazılım kısmında bu oran göz önünde bulundurulmuş olup saydırılan frekans değeri 0,225 ile çarpılarak hız şeklinde çıktı alınmaktadır ve bu hızı oluşturan  $f_d$  frekans değeri ile birlikte alt alta gösterilmek üzere OLED ekrana gönderilmektedir. Böylece hızın anlık görüntülenmesi sağlanmaktadır. Şekil 22'de frekans sayıcı devresi gösterilmiştir. Frekans

sayıcı yazılımında, frekansın okunmasındaki tüm arka planı barındıran kütüphane FreqCounter kütüphanesidir (Anonim, 2008).



Şekil 4.14. Frekans sayıcı devresi.

#### Frekans sayıcı yazılımı:

```
// include TFT and SPI libraries
#include <TFT.h>
#include <SPI.h>
#include <FreqCounter.h>

// pin definition for Arduino NANO
#define cs 10
#define dc 9
#define rst 8

double frq ;
unsigned int fillScreen;
int cnt ;
double V ;

// create an instance of the library
TFT tft = TFT(cs, dc, rst);

void setup() {
```

```

Serial.begin(9600);
  //initialize the library
tft.begin();
tft.setRotation(1);
tft.initR(INITR_BLACKTAB);
tft.setRotation(1); // initialize a ST7735S chip, black tab
tft.fillScreen(ST7735_BLACK); // fill screen with black color
tft.setTextColor(ST7735_YELLOW, ST7735_BLACK); // set text color to white and
black background
tft.setTextSize(2);
tft.setRotation(3);
tft.setCursor(25, 28);
tft.setRotation(3);
tft.println("HIZ(km/sa):");
tft.setTextColor(ST7735_GREEN, ST7735_BLACK); // set text color to green and black
background
tft.setRotation(3);
tft.setCursor(25, 65); // move cursor to position (25, 61) pixel
tft.setRotation(3);
tft.println("Doppler(hz): ");
}
void loop() {
FreqCounter::f_comp=10 ;
FreqCounter::start(1000) ;
while (FreqCounter::f_ready == 0)
frq=FreqCounter::f_freq ;
V=0.225*(frq);
tft.setRotation(3);
tft.setTextColor(ST7735_WHITE, ST7735_BLACK); // set text color to red and black
background
//tft.setRotation(3);
tft.setCursor(45, 85);
tft.println(frq);

```

```

tft.setRotation(3);
tft.setTextColor(ST7735_CYAN, ST7735_BLACK);
//tft.setRotation(3);
tft.setCursor(45, 45);
tft.println(V);
}.

```

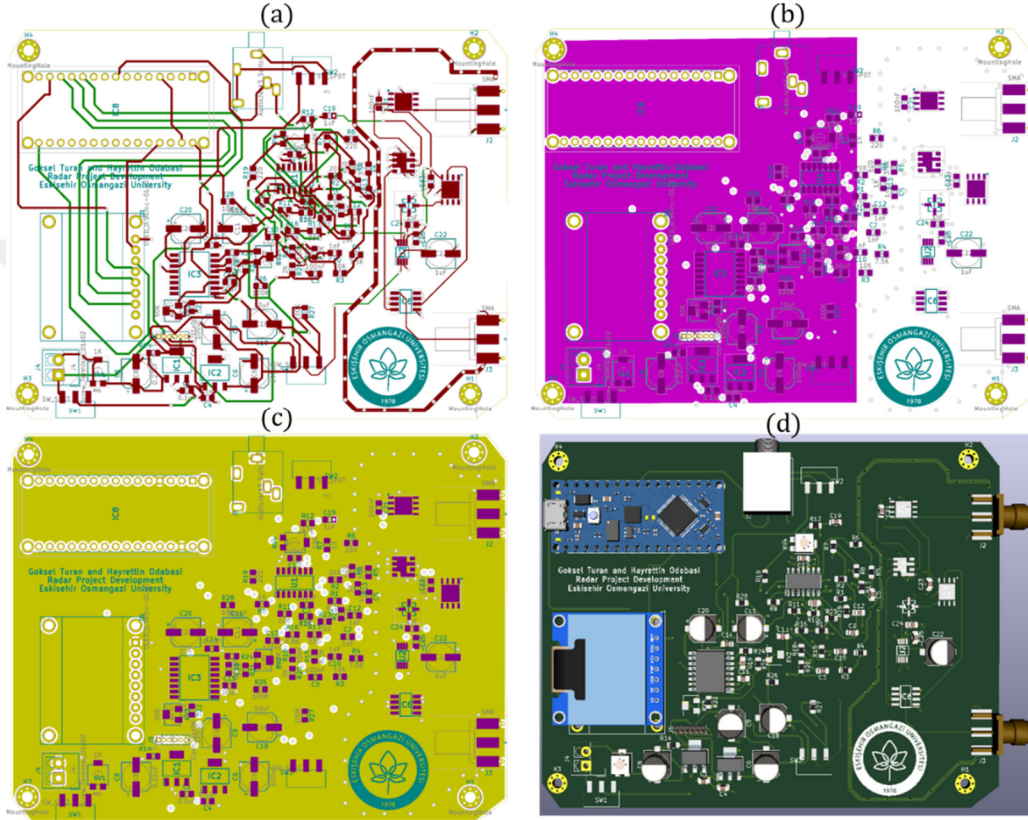
#### 4.4.6. Anahtarlama elemanları

Projenin baskı devresinde üç adet anahtarlama elemanı bulunmaktadır. SW1 kodlu anahtar devreye sağlanacak 12V' luk gücün açma kapama işleminde kullanılmaktadır. Devrede Doppler hız ölçümleri için sabit bir gerilim üretilmesi gerekmektedir. Bu sebeple, SD diye adlandırdığımız bir mod bulunmaktadır. Devredeki diğer mod ise belirli bir gerilim seviyesine sahip üçgen dalga üretimi yapan FMSD modu diye adlandırdığımız moddur. Bu mod radar aracılığıyla mesafe tespiti yapabilmemizdeki önemli bir parçadır, sinyalin belirli bir zaman aralığında frekansının değiştirilebilmesini sağlar. Bu iki modun ayrı ayrı çalıştırılabilmesi için SW2 kodlu anahtar kullanılmaktadır. Devredeki diğer anahtar da modülatörde üretilen senkronizasyon sinyalinin toprakla kısa devre yapılmasını veya devrede iletimde olmasını sağlayan SW3 kodlu anahtardır. Doppler hız ölçümleri için alınan sinyal sadece sağ kanal aracılığıyla kaydedileceğinden, kaydetme sırasında senkronizasyon sinyalinin toprakla kısa devre yapılması gerekmektedir. Mesafe ölçümlerinde ise alınan sinyallerin kaydı sağ ve sol kanallardan yapılacağından bu sinyalin devre içinde iletimde olması gerekmektedir.

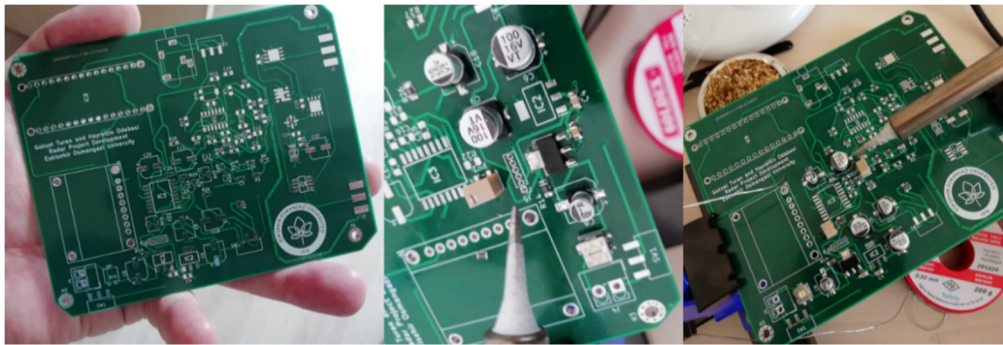
#### 4.4.7. Baskı devrenin üretimi

Projedeki tüm devre elemanlarının şematik tasarımları yapıldıktan sonra katmanlı baskı devre tasarım işlemlerine geçilmiştir. Devre 1.6 mm kalınlığında FR-4 malzemeli dielektrik plana üzerine 4 katmanlı olarak tasarlanmıştır. Katmanlar 0.035 mm kalınlığında bakırdan, katmanlar arası da dielektrik malzemedir oluşmaktadır. Şekil 4.15 (a)' da devrenin alt ve üst katmanlarındaki sinyal yolları, Şekil 4.15 (b)' de +5V güç veren sinyal katmanı, Şekil 4.15 (c)' de toprak katmanı ve Şekil 4.15 (d)' de de KiCAD üzerinde tasarımı tamamlanmış baskı devrenin 3 boyutlu görüntüsü görülmektedir. Devredeki üstten alta iç

bakır katmanlar sırasıyla toprak ve +5V katmanlarıdır. Mikrodalga devrelerinin girişlerindeki yol kalınlıkları 50 ohm' luk empedans uyumu göz önünde bulundurularak toprakla üst sinyal yolu arasındaki kalınlık 0,2 mm olduğundan, 0,29 mm olarak belirlenmiştir. Baskı devrenin toplam boyutu 90 mm × 115 mm'dir. Devre oldukça kompakt yapıya sahiptir.

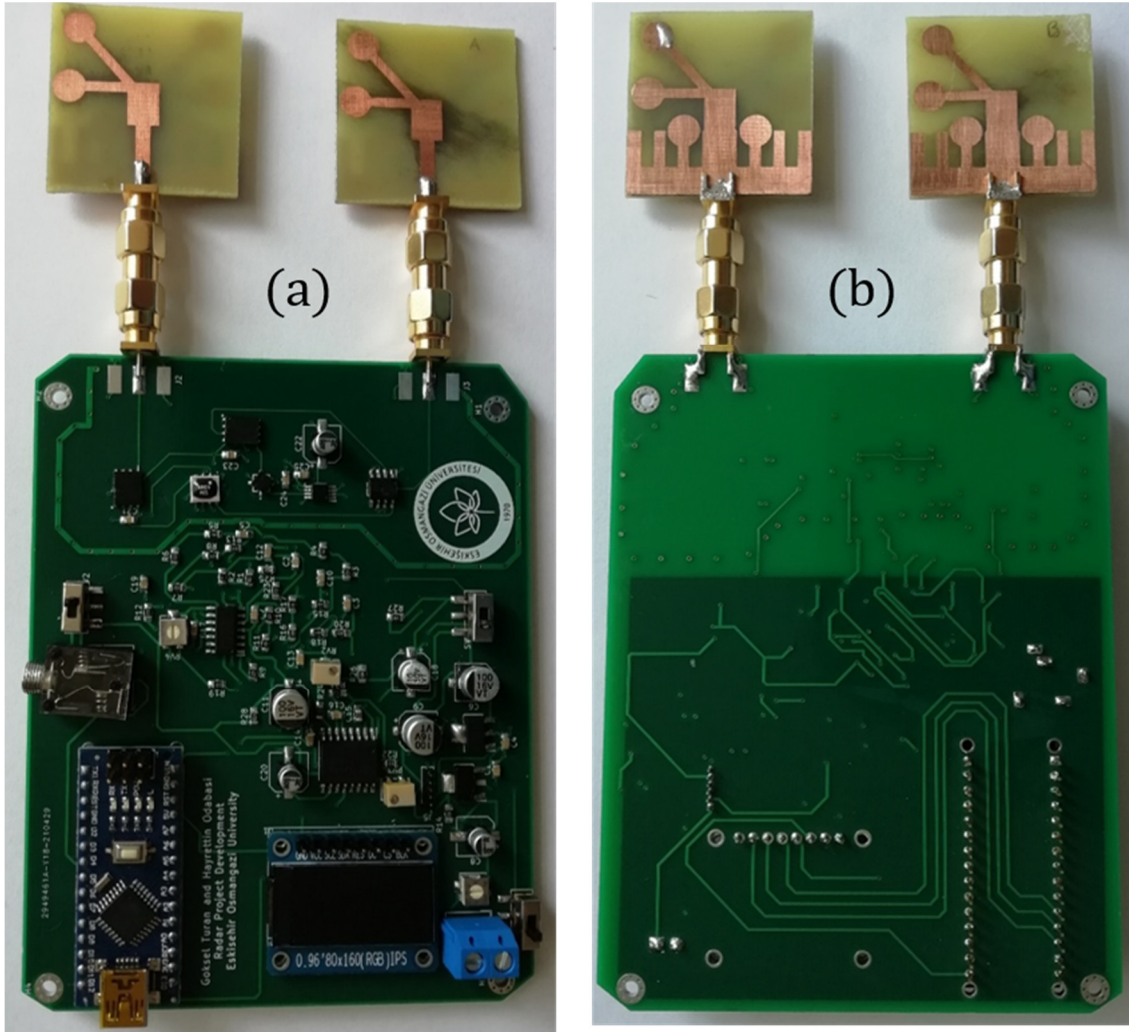


Şekil 4.15. (a)Baskı devredeki alt ve üst katman sinyal yolları. (b) +5V güç katmanı. (c) Toprak katmanı. (d) Tasarımı tamamlanmış baskı devre.



Şekil 4.16. Baskı devrenin lehimleme aşamaları.

Şekil 4.16' da baskı devre kartının üretilmiş boş hali ve lehimleme aşamaları görülmektedir. Devredeki tüm elemanlar lehim cihazının sıcaklık seviyesi ayarlanarak dikkatlice lehimlenmiştir. Tüm lehimleme işlemleri ve antenlerin üretimleri Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Teknoloji ve İnovasyon Merkezi'nde tarafımdan yapılmıştır. Şekil 4.17' de (a) ön yüzü, (b) arka yüzü olmak üzere üretim işlemleri tamamlanmış baskı devre görülmektedir. Devrenin tüm lehimlenmiş elemanları büyüteç ile kontrol edilerek sorunsuz olduğu görülmüştür.

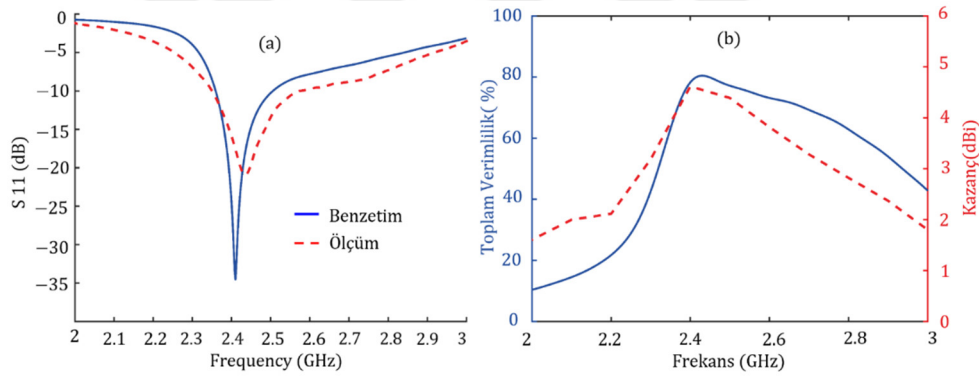


Şekil 4.17. Üretimi tamamlanmış baskı devre. (a) ön yüz, (b) arka yüz.

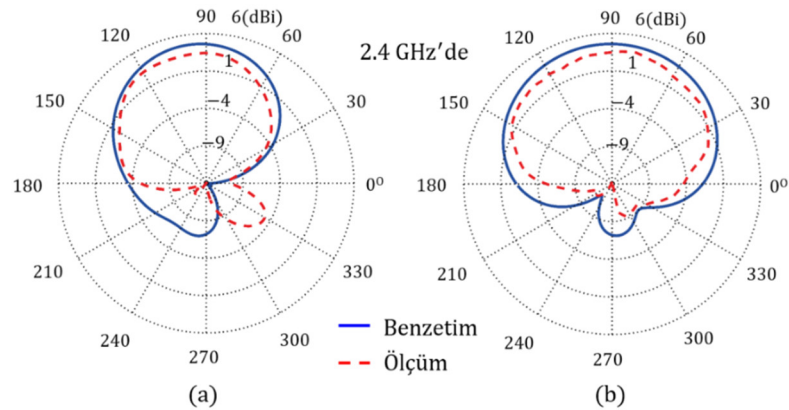
## 5. BULGULAR VE TARTIŞMA

### 5.1. Dar Bantlı Antenin Benzetim ve Ölçüm Sonuçları

Geliştirilen antenin  $S_{11}$  parametreleri Agilent E5071C ENA Vektör Ağ Analizörü kullanılarak ölçülmüş ve ışınlam deseni ölçümleri yankısız bir odada alınmıştır. Şekil 5.1 (a)'da benzetimi yapılmış ve ölçülmüş  $S_{11}$  sonuçlarının karşılaştırılmaları görülmektedir. Ölçüm ve benzetim sonuçları arasında oldukça iyi bir uyum gözlemlenmiştir. Anten benzetimde 2,35 ile 2,5 GHz arası, ölçümde 2,35 ile 2,7 GHz arası  $-10$  dB ve altı  $S_{11}$  değeri göstermiştir.



Şekil 5.1. (a) Geliştirilen antenin ölçüm ve benzetim olarak  $S_{11}$  karşılaştırmaları. (b) Geliştirilen antenin benzetim olarak toplam verimlilik ve kazanç sonuçları.

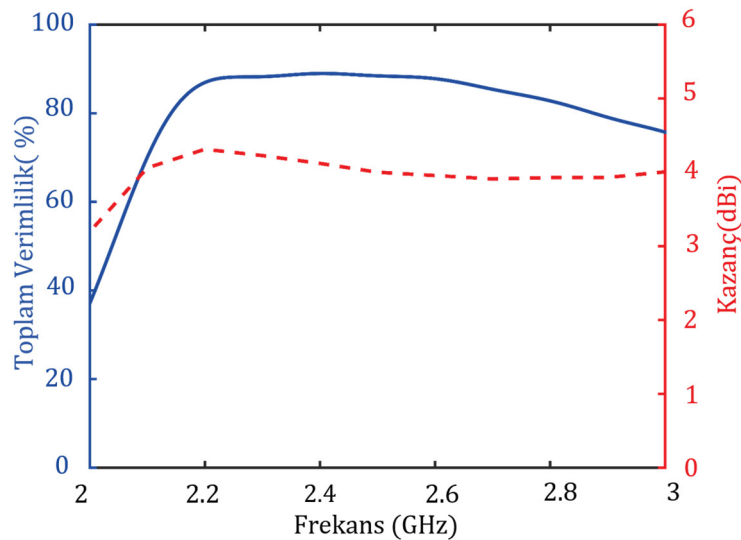


Şekil 5.2. Geliştirilen antenin benzetim ve ölçüm olarak yayılım deseni karşılaştırmaları. (a) E-düzlemi, (b) H-düzlemi.

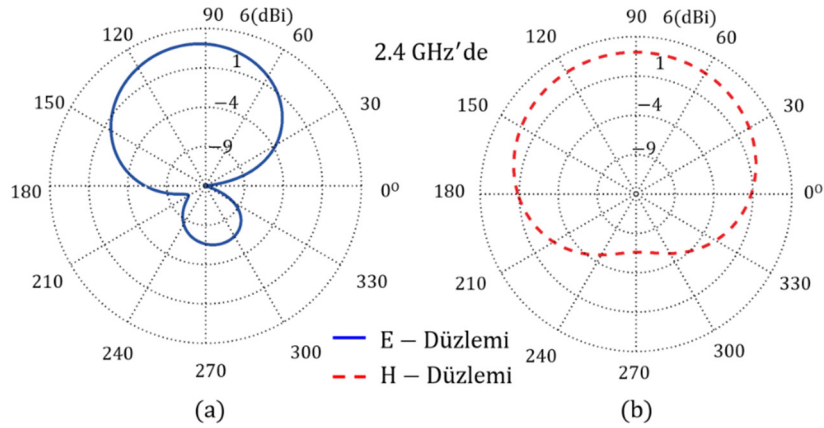
Şekil 5.1 (b)' de toplam verimlilik ve kazancın benzetim sonuçları açıkça görülmektedir. Geliştirilen anten, 2,35 ile 2,5 GHz arasında %75' in üzerinde verimlilik göstermektedir. Anten ayrıca çalışma bandında ( $S_{11} < -10$  dB) 4,5 dBi civarında bir kazançla sahiptir. Şekil 5.2 (a) ve Şekil 5.2 (b) sırasıyla geliştirilen antenin E- ve H- düzlemindeki yayılım desenlerinin ölçüm ve benzetim sonuçlarının karşılaştırılmasını göstermektedir. Ölçüm ve benzetimdeki her iki sonuç geleneksel quasi-Yagi antenin yayılım karakteristiklerini sergilemektedir (Zheng vd., 2004).

## 5.2. Geniş Bantlı Antenin Benzetim Sonuçları

Geliştirilen antenin kazanç, toplam verimlilik ve yayılım deseni sonuçları benzetim yardımıyla gözlemlenmiştir. Şekil 5.3' de toplam verimlilik ve kazancın benzetim sonuçlarını göstermektedir. Geliştirilen anten, 2,1 ile 2,9 GHz arasında %80' in üzerinde yüksek verimlilik göstermektedir. Anten ayrıca çalışma frekansında 4 dBi civarında kazançla sahiptir. Şekil 5.4' de geliştirilen antenin E- ve H- düzlemindeki yayılım desenlerinin ölçüm ve benzetim sonuçlarının karşılaştırmasını göstermektedir. Ölçüm ve benzetimdeki sonuç birbirini yüksek oranda doğrulamaktadır. Ölçüm ve benzetim sonuçları göstermiştir ki; antenin boyutu küçültülse de, geleneksel quasi-Yagi antenin sahip olduğu özellikleri korumaktadır (Zheng vd., 2004).



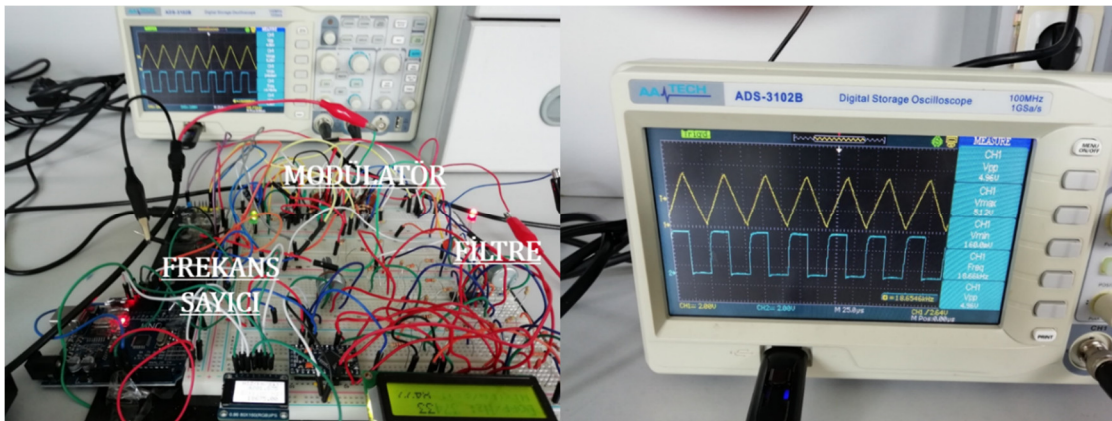
Şekil 5.3. Toplam verimlilik ve kazancın benzetim sonuçları.



Şekil 5.4. Geliştirilen antenin yayılım desenleri. (a) E-düzlemi, (b) H-düzlemi.

### 5.3. Modülâtör Devresinin Test Edilmesi

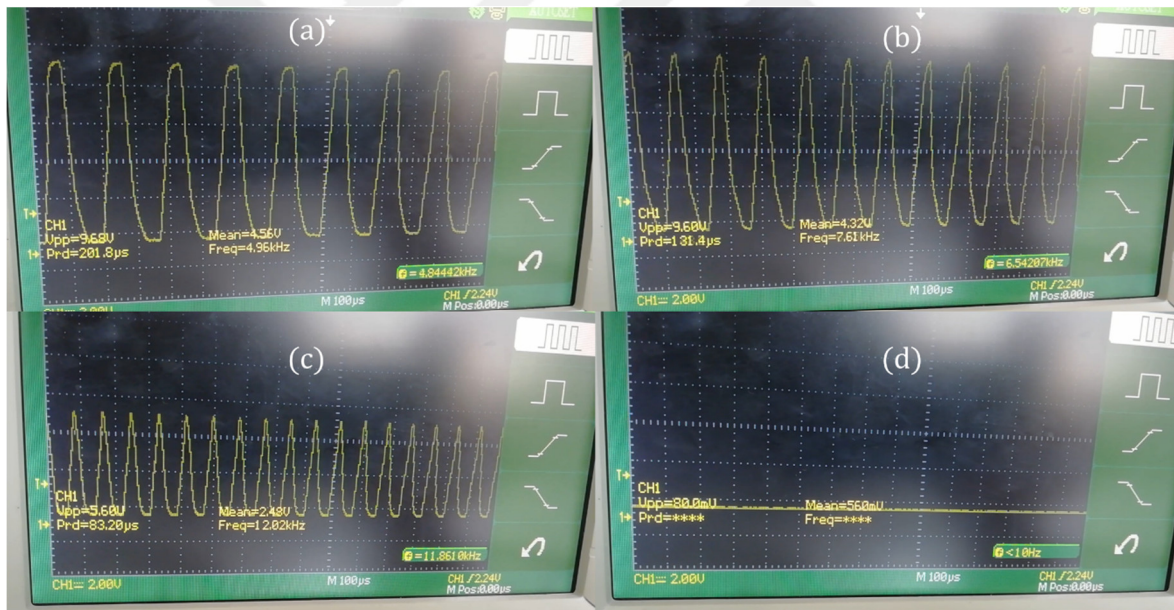
Modülâtör devresinin test edilmesi için tüm devre elemanları devre tahtası üzerine yerleştirilerek osiloskop yardımıyla ölçümler yapılmıştır. Şekil 5.5’de test oramı gösterilmiştir. Modülâtör devresinin bizim için önemli olan iki çıkışı 11 numaralı pin ve 2 numaralı pin test edilmiştir. İlk olarak 2 numaralı pindeki sinyal incelenmiştir. Osiloskop’ ta görüldüğü üzere 2 numaralı pinden oldukça düzgün bir üçgen dalga üretimi elde edilmektedir. Üçgen dalga sinyalinin genliği ve frekansı potansiyometreler yardımıyla ayarlanıp 2,48V genliğinde, 18,6 KHz’lik bir sinyal üretimi gerçekleştirilmiştir. Sinyalin genliğinin RV2 kodlu potansiyometre değerinin değiştirilmesiyle ve sinyalin frekansının da RV3 potansiyometresi yardımıyla ayarlanabildiği gözlemlenmiştir.



Şekil 5.5. Modülâtör devresi test işlemleri.

## 5.4. Filtre Devresinin Test Edilmesi

Filtre devresi de modülator devresi gibi devre tahtası üzerinde kurularak test işlemleri gerçekleştirilmiştir. Fonksiyon üretici devresinden sırasıyla 4,96 KHz (Şekil 5.6 (a)), 7,61 KHz (Şekil 5.6 (b)), 12,02 KHz (Şekil 5.6 (c)), ve 18 KHz (Şekil 5.6 (d)), değerlerindeki sinyaller çarpıcı elemanın çıkışının bağlanacağı uçtan filtre devresine gönderilmiştir. 4,96 KHz, 7,61 KHz' deki sinyallerin filtre devresinin çıkışındaki genlikleri görüleceği üzere neredeyse aynıdır. Bu devrenin bu sinyalleri genlik kaybına uğratmadan geçirdiğini göstermektedir. Testlerde 10 KHz' e kadar gönderilen sinyallerin genliklerini koruduğu, 11 KHz' den sonra düşmeye başladığı- kesime girdiği- , 12,02 KHz' den sonraki sinyallerde de sıfıra indiği görülmüştür.

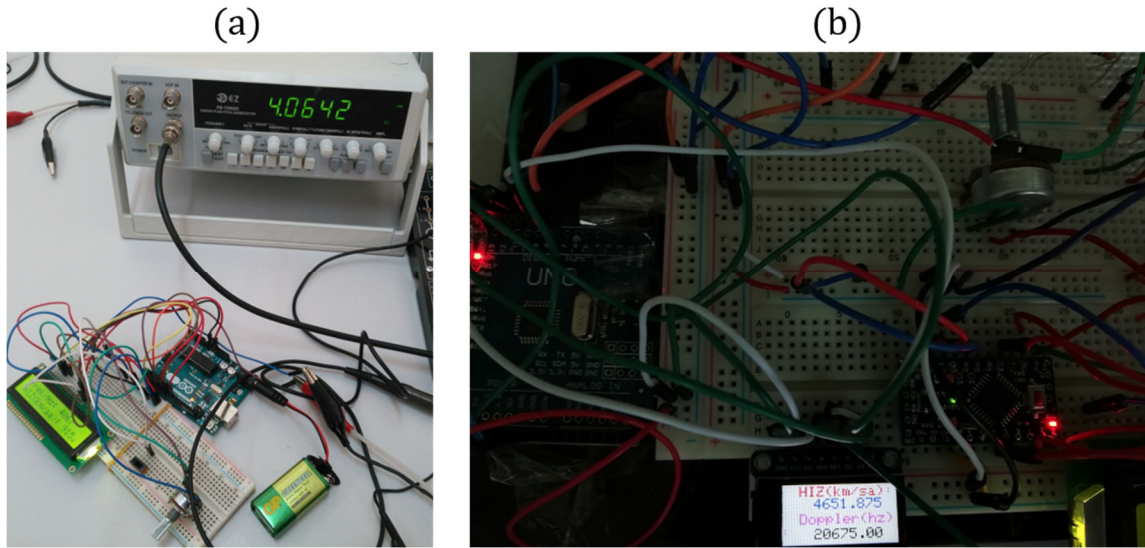


Şekil 5.6. Filtre Devresinin test işlemleri (a) 4,96 KHz, (b) 7,61 KHz, (c) 12,02 KHz, (d) 18 KHz.

## 5.5. Frekans Sayıcı Devresinin Test Edilmesi

Projenin geliştirilmesindeki amaç kompakt bir sistem oluşturmak olduğundan dolayı devre elemanlarının her yönden en küçük halde olması hedeflenmiştir. Bu sebeple Arduino Uno, Nano ve Pro Mini gibi mikrodenetleyici modellerine OLED ve LED ekrana uygun frekans sayıcı sahip yazılımı yüklenerek frekans sayıcı devresi test edilmiştir. İlk olarak

Arduino Uno kartına yüklenen yazılımla bir LCD ekranda gösterilmek üzere sinyal jeneratöründen gönderilen sinyal ile test yapılmıştır. Şekil 5.7' de test ortamı görülmektedir. 4064 hertz olarak gönderilen sinyal ekranda 4067 hertz olarak görülmüştür oldukça yüksek bir doğruluk oranına sahip olduğu görülmüştür (Şekil 5.7 (a)). Frekans sayıcı yazılımının doğru çalıştığı anlaşıncı Projede Arduino Uno yerine aynı özelliklere sahip daha küçük boyutlu olan Arduino Nano modeli kullanılmaya karar verilmiştir. LCD Ekran oldukça büyük boyuta sahip olduğundan onun yerine de 0,96 inç boyutunda OLED ekran kullanılmıştır. Frekans sayıcı devresi, aynı zamanda modülatör devresinin üçgen dalga çıkışı veren ucu bağlanarak farklı bir şekilde de test edilmiştir. Modülatör devresindeki frekansı ayarlayan RV3 potansiyometre değeri değiştirildiğinde frekans sayıcı ekranındaki değerin de değiştiği görülmüştür(Şekil 5.7 (b)).



Şekil 5.7. Frekans sayıcı devresinin test edilmesi, (a) Sinyal üretici ve LCD ekran ile, (b) Modülatör ve OLED ekran ile.

## 5.6. Baskı Devrenin Test Edilmesi

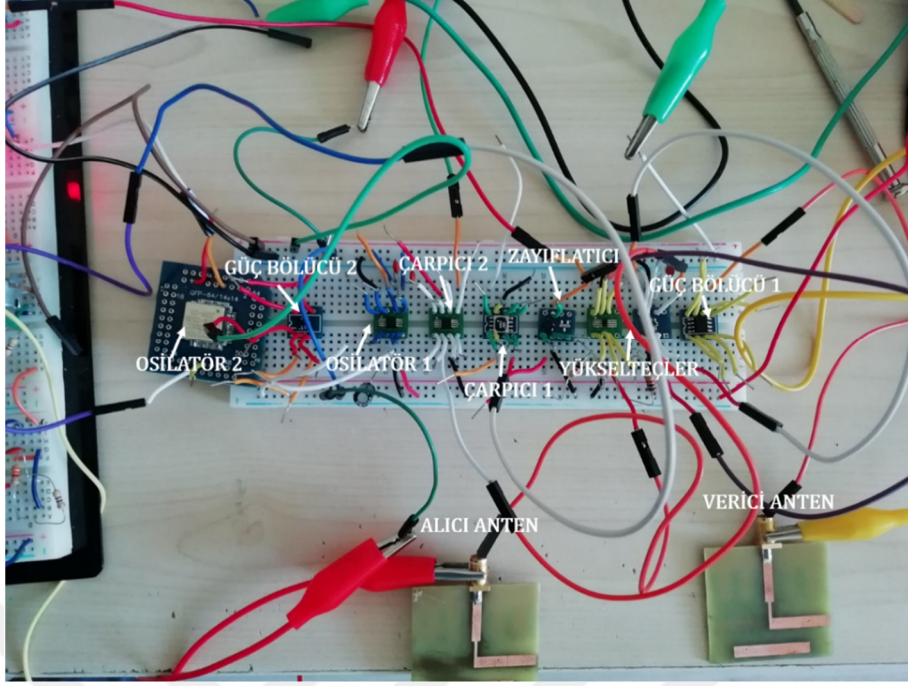
Baskı devrenin tasarımı tamamlandıktan sonra devreye 12V' luk pil bağlanıp SW1 anahtarı kapalı konuma getirilerek devreye enerji girişi sağlanmıştır. Bir süre geçtikten sonra YSF-272+ modeli alıcı yükselteç entegresinden duman çıktığı gözlemlenip devre kapatılmıştır. Bu sebeple entegre yerinden sıcak hava üfleme tabancası yardımıyla sökülmüştür. Devre ikinci kez çalıştırıldığında devredeki elemanlarda herhangi bir yanma veya duman çıkma gibi sorunlar gözlenmemiştir. Alıcı yükselteç entegresinin yanmasındaki

sebebi anlamak için verici yükselteç entegresinin bacakları tekrar kontrol edilmiştir ve altındaki toprak bağlantısı yapılması gereken pinin toprakla bağlantısının olmadığı, arasında boşluk olduğu görülmüştür. Bu boşluk lehimlenerek devre tekrar çalıştırılmıştır ve verici yükselteçten de duman çıktığı görülmüştür. Bu sebeple satın alınan bu serideki entegrelerin içyapılarında kısa devre olduğu düşünülmektedir. Yükselteç elemanlarında bu sorunlar oluşunca devrenin diğer elemanlarının tüm bacaklarına kısa devre testleri uygulanmıştır ve çarpıcı elemanda normalde IF, RF ve LO pinleri birbirinden izole olması gerekirken ve toprak ile de bağlantıları olmaması gerekirken RF ve LO pinlerinin toprak ile kısa devre oldukları görülmüştür. Bu sebeple devredeki çarpıcı eleman da yükselteçler gibi yerinden sökülmüştür.

## 5.7. Baskı Devrede Ortaya Çıkan Sorunların Çözümüne Yönelik çalışmalar

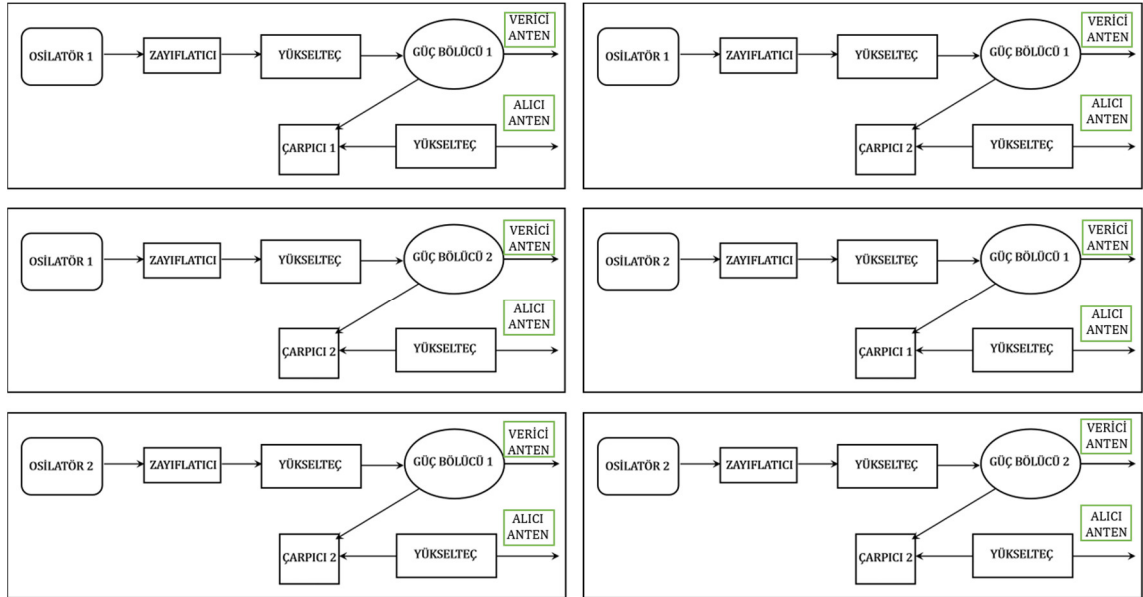
Devreye enerji verilmesinden sonra yükselteç elemanlarının yanması ve çarpıcı elemanın bacaklarında toprak piniyle kısa devreler olmasından dolayı. Devredeki tüm 2.4 GHZ bandında çalışma gösteren devre elemanları (osilatör, çarpıcı, yükselteç, güç bölücü, zayıflatıcı) yüzey montajlı devre dip dönüştürücüleri yardımıyla devre tahtası üzerine yeniden kurulmuştur. Bazı elemanların benzer çalışma karakteristiği gösteren farklı firmalardan alınmış ürünleri de devre tahtası üzerine test amaçlı olarak eklenmiştir. Örneğin; osilatör olarak MAX2750EU+(OSİLATÖR 1) ile CVCO55CC-2328-2536 (OSİLATÖR 2) model entegreler, çarpıcı entegresi olarak SIM-43MH+ (ÇARPICI 1) ve HMC213BMS8E (ÇARPICI 2) modeli entegreler, yükselteç olarak sadece MAX2644, güç bölücü olarak BP2U1+ (GÜÇ BÖLÜCÜ 1) ve MAPDCC0010 (GÜÇ BÖLÜCÜ 2), zayıflatıcı olarak sadece GAT3+ entegresi kullanılmıştır. (OSİLATÖR 2 için bilgi sayfası (Crystek , 2013). ÇARPICI 2 için bilgi sayfası (Analog, (2018)). GÜÇ BÖLÜCÜ 2 için bilgi sayfası (Macom, (2021)). Yükselteç için bilgi sayfası (Maxim, (2017)).

Şekil 5.8' de Mikrodalga devrelerin devre tahtası üzerine kurulması gösterilmiştir. Devrenin verici ve alıcı kısımlarına ayrıca geliştirilen geniş bantlı anten de yerleştirilmiştir. Sırasıyla devredeki farklı firmaların ürettiği benzer karakteristiğe sahip elemanlar projenin çalışma mantığına uygun olarak birbirlerine bağlanıp test edilmişlerdir.



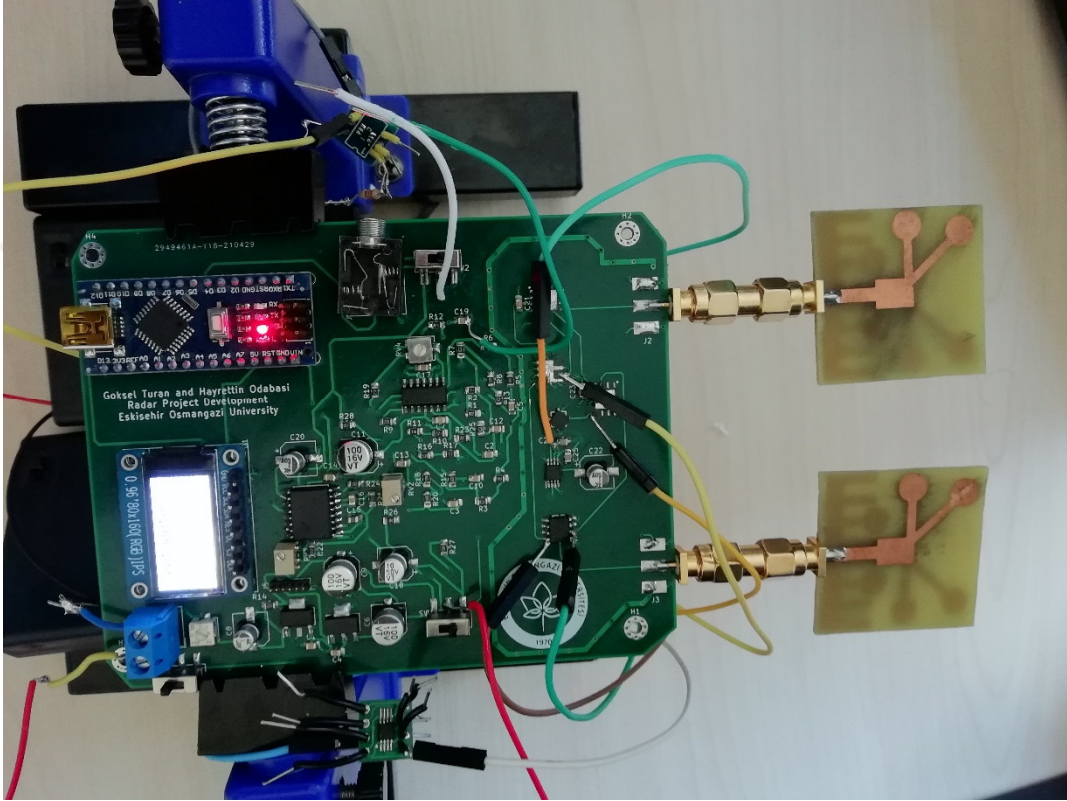
Şekil 5.8. Mikrodalga devrelerin devre tahtası üzerine kurulması.

Şekil 5.9' da denenen bağlama şekilleri gösterilmiştir. Bu elemanlardan bazıları 5V gerilimle çalışmaktadır ve devreye 5V gerilim verilip toprak bağlantısı da yapılmıştır. Projenin çalışma mantığına uygun farklı elemanlarla birbirinden farklı bağlantı şekilleri bu yöntemle denenmiş olup devre tahtası üzerinde herhangi bir yanma gözlemlenmemiştir.



Şekil 5.9. Test için aynı karakteristiğe sahip farklı elemanlarla kurulmuş mikrodalga devre bağlantı şekilleri.

Devre tahtası üzerindeki elemanlarda ısınma, duman çıkarma ve yanma gibi sorunlar ortaya çıkmayınca, yerleştirilen yeni elemanlardan uygun olanların baskı devre üzerinde sökülmüş elemanların yerine kullanılmasına karar verilmiştir. Şekil 5.10’ da dıştan ek bağlantılar yapılmış baskı devre görülmektedir.

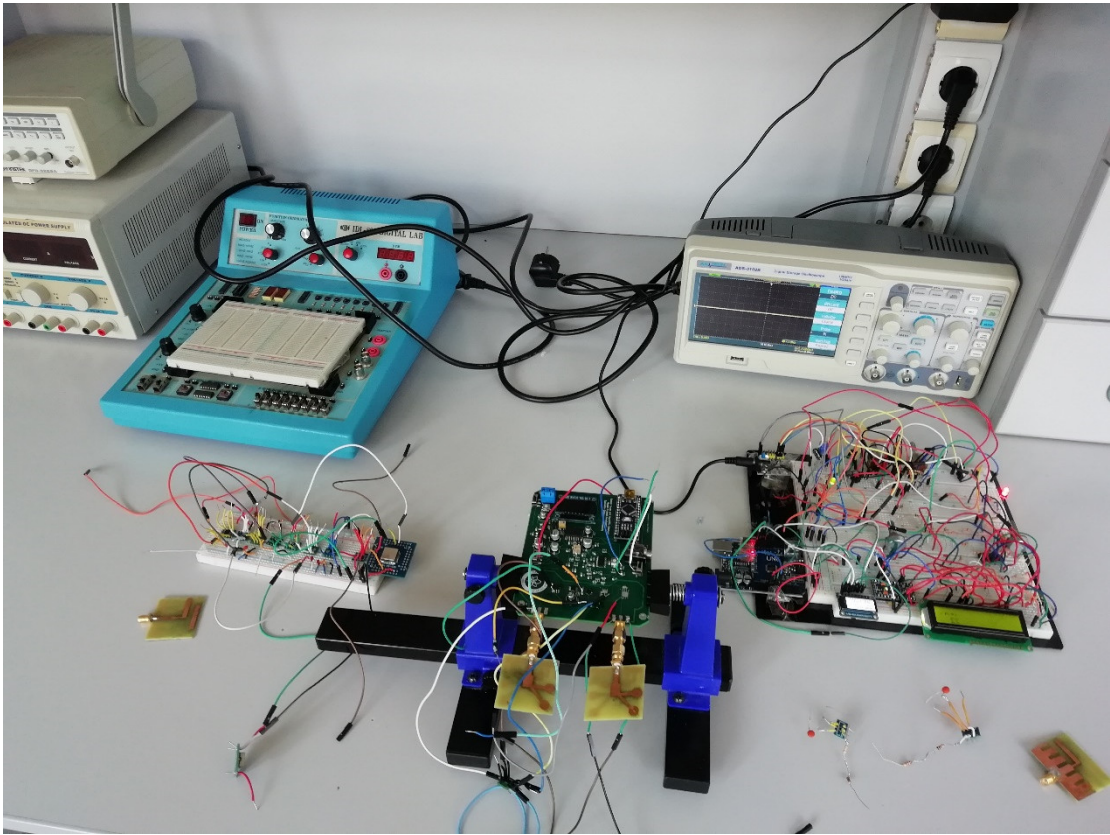


Şekil 5.10. Dıştan eleman bağlantılı baskı devre.

Devredeki ısınma ve yanma kaynaklı sorunlar çözüldükten sonra sinyal alım testleri yapılmaya çalışılmıştır. Mikrodalga frekans bantlarında çalışan devrelerin kontrol ve test aşamalarında vektör ağ analizörü, spektrum analizör, güç metre, mikrodalga sinyal üretici vb. cihazların kullanılması gerekmektedir. Bu cihazlar üniversitemizde mevcut değildir ve ülkemizde de belirli başlı üniversitelerde veya teknoloji merkezlerinde bulunmaktadır. Geliştirilen dar bantlı quazi-Yagi antenin tasarımını ve üretimini küresel salgın COVID 19’ un hafif seyrettiği dönemde yapabildiğimiz için kargo yoluyla gönderip Orta Doğu Teknik Üniversitesi Elektrik-Elektronik Bölümü laboratuvarlarında ölçtürebilsek de, sonrasında salgının hızı arttığından böyle bir imkâna kavuşulamamıştır. Bu sebeple sinyal alımı için

osiloskop ile farklı bir yöntem kullanılarak testler yapılmıştır. Test ortamı Şekil 5.11' de görülmektedir.

İlk olarak devre tahtası üzerine alınan mikrodalga devre elemanlarından osilatörün Vtune girişine 2,4-2,45 GHz seviyelerinde sinyal üretmesi için 2-2,48 voltluk gerilim sağlanmıştır ve alıcı antenden sinyal alınacağı düşünülüp filtre çıkışı osiloskopa bağlanmıştır. Osiloskop DC bağlaşım moduna alınarak hedeften yansıyan sinyalin geriliminde oluşacak hareketlenmelerle sinyal alım testi yapılmaya çalışılmıştır.

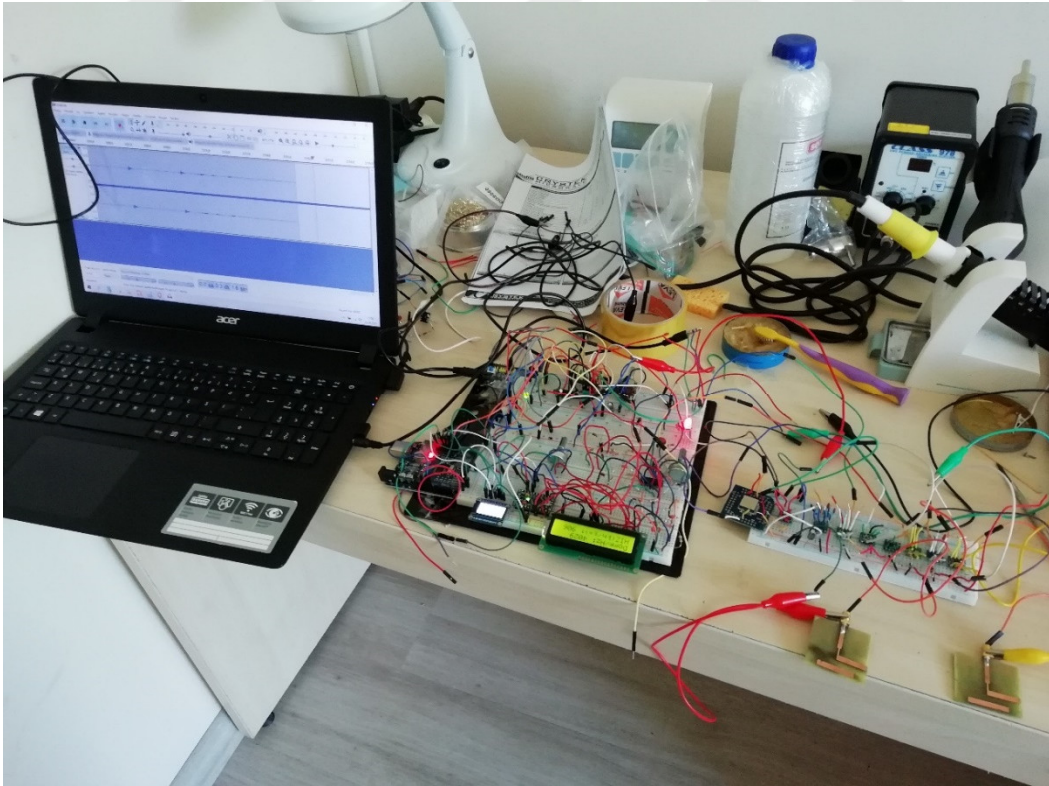


Şekil 5.11. Osiloskop ile mikrodalga devrelerin test aşamaları

Hareketlenmelerin oluşması için alıcı antene doğru el kol hareketleri ve koşmalar yapılmıştır fakat osiloskoptan kayda değer sonuç alınamamıştır. Bu test, ek eleman bağlantısının yapıldığı baskı devre üzerinde bir daha denenmiştir fakat yine sonuç alınamamıştır. Son olarak devre tahtasında tasarlanan düşük frekansta çalışan (filtre, modülör, frekans sayıcı vb.) devrelerle, yüksek frekanslarda çalışan elemanlar (osilatör,

zayıflatıcı, güç bölücü, çarpıcı, yükselteç, anten ) uygun şekilde bağlanarak denenmiştir ve yine herhangi bir kayda değer sonuç, gerilim hareketlenmesi gözlenmemiştir.

Bu testten sonuç alınamayınca alıcı anten aracılığıyla alınacak yankı sinyalinin kayıt edilerek MIT' nin örnek radarındaki kodlar kullanılarak anlamlandırılması düşünülmüştür. Şekil 5.12' de tüm projenin devre tahtası üzerine kurulduğu test ortamı görülmektedir. 3.5 mm stereo jack fişi bilgisayarın ses girişine, kablo uçları ise; sol kanal devrede bulunan modülatörden alınan senkronizasyon sinyaline, sağ kanal sinyali alçak geçiren filtre çıkışından alınan noktaya ve fişin kalan diğer kablo ucu da toprağa bağlanmıştır. Yine önceki testlere benzer olarak antenlere doğru el-kol hareketleri ve koşma denemeleri yapılarak ses kaydı bilgisayardan başlatılmıştır. Ses kaydı 44100 kHz örnek oranıyla öncelikle sadece sağ kanal seçilerek yapılmıştır ve sol kanal ucu topraklanmıştır. Sonrasında sağ ve sol kanal birlikte kayıt edilmiştir. Fakat tüm kayıtlarda anlayamadığımız sonuçlar ortaya çıkmıştır. Radar antenine doğru yapılan hareketlenmeler sırasında, kayıt devam ederken ekrandaki dalga formunda değişim gözlenmemiştir.



Şekil 5.12. Tüm sistemin devre tahtası üzerinde gerçekleştirilmesi ve Doppler sinyali kayıt testleri.

## 6. SONUÇ VE ÖNERİLER

### 6.1. Sonuç

Bu projenin hedefi quasi-Yagi antenler kullanarak 2,4 GHz bandında çalışan oldukça kompakt bir Doppler sürekli dalga radar sistemi geliştirilmesiydi. Bu sebeple MIT' nin açık ders notlarında bulunan küçük boyutlu radar sistemi detaylıca incelendi. Çalışma mantığı MIT radarındakiyle aynı olacak şekilde ve elektronik elemanlarının da benzer çalışma karakteristiklere sahip yüzey montajlı devre elemanları ile değiştirilerek tek parça baskı devre üzerinde, küçültülmüş antenler kullanılarak yeni bir sistem geliştirmek amaçlandı. MIT' deki radar sisteminin ölçebileceği hız, mesafe ölçümü, SAR görüntüleme gibi özelliklere ek olarak anlık hız tespiti ve görüntülemesi yapması için devreye frekans sayıcı da eklendi. Böylece; taşınabilir, hafif ve işlevsel olan endüstriyel sayılabilecek bir ürün ortaya çıkarılacaktı.

Tasarım aşamasında ilk olarak devrenin antenin boyutunun küçültülmesi için quasi-Yagi anten çalışmaları yapıldı. Geliştirilen anten toplam  $0,27\lambda_m \times 0,27\lambda_m$  boyutuyla, geleneksel quasi-Yagi antenlere göre oldukça küçük boyutludur. Anten benzetimde 2,35 ile 2,5 GHz, ölçümde 2,35 ile 2,7 GHz arasında çalışma karakteristiği göstermiştir. Geliştirilen anten %75 üstü verimliliğe ve 4,5 dBi üzeri kazanç sahiptir. Bu antenin yanı sıra, devre tasarımında yüksek frekanslı elemanların giriş çıkışlarında oluşabilecek empedans uyumsuzluklarında sinyalin istenilen şekilde gönderilebilmesi ve alınabilmesi için daha geniş bantlı bir quasi-Yagi anten geliştirildi ve üretildi. Bu anten benzetim sonuçlarında 2,1 ile 2,9 GHz arasında çalışma özelliği, %32 bant genişliğiyle geniş bant karakteristiği, 4,5 dBi üstü kazanç ve %80 üstü verimlilik göstermiştir. Anten üretilip sistemin bazı test işlemlerinde kullanılmıştır. Antenin toplam boyutu  $0,33\lambda_m \times 0,33\lambda_m$ . Anten tasarımından sonra baskı devre tasarımı yapılmıştır. Baskı devre tasarımı, MIT' nin radar sistemindeki tüm teorik yapıya ve elemanların bağlantılarına uygun olarak 4 katman halinde 1.6 mm FR-4 plaka üzerine tasarlanmıştır. Devrede kullanılan tüm farklı elemanlar bilgi sayfalarındaki uygulama devrelerine uygun olarak yerleştirilmiştir ve birbirleriyle bağlantıları yapılmıştır. Devrede, örnek alınan radar sistemindeki konnektörlü ve koaksiyel kablolarla birleştirilen

büyük elemanlar yerine yüzey montajlı oldukça kompakt boyutlara sahip devreler kullanılmıştır. Tüm elemanlar tek parça baskı devre üzerine yerleştirilmiştir. Tüm sistem tek bir +12V gerilim girişiyle çalışacak şekilde ayarlanmıştır. Baskı devrenin toplam boyutu 90 mm × 115 mm' dir. Baskı devrenin üretimi yapılmıştır ve tüm lehimleme işlemleri ve anten üretimleri tarafımdan Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Teknoloji ve İnovasyon merkezinde dikkatlice yapılmıştır.

Baskı devre çalıştırıldığında kullanılan yükselteç elemanından duman çıktığı görülmüştür, sonrasında bu problemin kaynağının elemanın toprağa bağlanması gereken pininin toprağa bağlantısı yapıldığında olduğu görülmüştür böylece hatalı üretim olduğu düşünülüp elemanlar yerinden sökülmüştür. Bunun üzerine tüm elemanlara kısa devre testi uygulanmıştır ve çarpıcı elemanın RF ve LO elemanları arasında olmaması gereken kısa devreler tespit edilmiştir ve bu elemanda sökülmüştür. Tasarım işlemleri bu aşamada bırakılıp devrenin diğer elemanlarının test işlemleri yapılmıştır. Modülatör, filtre ve frekans sayıcı devreleri devre tahtasına kurularak test işlemleri yapılmış olup sonuçların MIT' nin örnek radar sistemindekine oldukça uyumlu olduğu anlaşılmıştır.

Tasarım işlemlerinde oluşan sorunların çözümü için baskı devre tasarımında kullanılan mikrodalga frekanslarda çalışan devre elemanları (osilatör, yükselteç, çarpıcı, zayıflatıcı ve güç bölücü), farklı firmaların ürettiği benzer çalışma karakteristiklerine sahip elemanlarla birlikte yüzey montajlı devre dip dönüştürücüleriyle devre tahtası üzerine yerleştirilmiştir. Teorik çalışma yapısı ve örnek MIT radarının blok diyagramındaki bağlantı şekli bu yerleştirmede dikkate alınmıştır. Bu yerleşim şekilleri gerilim verilerek sırasıyla test edilmiştir. Farklı firmaların ürettiği elemanlar çeşitli sıralarla denendiğinde yanma sorunu oluşmamış ve problem çözülmüştür.

Problem çözüldükten sonra, çalışan yeni elemanların baskı devre üzerinde sökülen yerlere dıştan bağlantıları yapılmıştır. Ölçümde vektör ağ analizör, spektrum analizör, güç metre, mikrodalga sinyal üretici gibi cihazlarla yüksek frekanslı devrelerin testlerinin yapılması gerekmektedir. Fakat üniversitemizde bu cihazların olmamasından ve ülkemizde de sınırlı sayıda olmasından dolayı ölçümler alınamamıştır. Projenin son süreçleri Küresel salgın COVID-19' un hızlandığı döneme denk gelmiştir, bu sebeple ülkemizde sınırlı sayıda olan bu cihazlara ulaşım imkânsız hale gelmiştir. Ölçüm için sinyalin alınabildiğinin

görülmesi ve sistemin çalıştığıının anlaşılabilmesi için farklı bir test yöntemi kullanılmıştır. Osiloskop DC bağlaşım moduna alınarak geliştirilen radarın antenine doğru yapılan el-kol hareketleriyle osiloskop ekranındaki gerilim değışimleri oluşturmak, sinyal iletiminin olup olmadığını anlamak hedeflenmiştir. Bu testlerde baskı devrede dar bantlı, devre tahtası üzerinde olan elemanlarda geniş bantlı quasi-Yagi anten kullanılmıştır. Testte Osiloskoptaki gerilim değerlerinin radara doğru hareket oluştuğunda artması gerekmektedir. Sırasıyla devre tahtası üzerine yerleştirilen farklı elemanlarla birleştirilmiş mikrodalga devreler, ek eleman yapılan geliştirilmiş baskı devre radarı ve sistemin tüm elemanlarının devre tahtası üzerinde birleştirildiği durumlar osiloskopta bu yöntem kullanılarak test edilmiştir fakat kayda değer gerilim değışimi osiloskop ekranında görülmemiştir.

Sinyal alım testlerinden sonuç alınamayınca bilgisayar aracılığıyla Doppler sinyallerinin ses kablosu üzerinden kayıt alınarak sistemin çalışmasına dair fikir elde etmek amaçlanmıştır. Bu yöntemde de yine antenlere doğru el-kol hareketleri ve koşmalar gerçekleştirilmiştir. Devre tahtası üzerine kurulan sistemden uygun bağlantılarla önce sadece sağ sonra sağ ve sol kanallar için kayıt alınmıştır. Fakat ortaya çıkan sinyaller anlamlandırılmamıştır, bilgisayar ekranında kayda değer gerilim formları kayıt esnasında da görülmemiştir. Sonuç olarak baskı devre olarak gerçekleştirilen ve devre tahtası üzerinde gerçekleştirilen sistemin Doppler sinyali alımı yapıp yapamadığı anlaşılammıştır.

## 6.2. Öneriler

Bu bölümde, gerçekleştirilmek istenen sistemde oluşun sorunların çözümüne dair ve gelecekte yapılacak çalışmalara yol göstermesi için bazı öneriler sunulmuştur.

Baskı devre olarak geliştirilen sistemin besleme, modülatör, filtre ve antenleri düzgün olarak çalışmaktadır. Tüm baskı devre teorik yapıya ve uygun sürekli dalga radarı blok diyagramına göre tasarlanmasına rağmen sorunlar ortaya çıkmıştır. Bu sorunların çözülmesine dair kısıtlı imkânlarla testler yapılmıştır.

Bu sistemin düzgün çalıştırılabilmesi için ilk olarak baskı devre tasarımında elemanlar kontrol edilebilir şekilde tasarlanmalıdır. Çünkü yüksek frekanslarda çalışan devrelerde elemanların giriş ve çıkışlarında oluşacak empedans uyumsuzlukları,

sonrasındaki elemanlara gücü zayıflamış veya frekansı kaymış sinyaller gönderilmesine neden olabilir. Bunları anlayabilmek tasarım aşamasında zorluklar barındırır, bu sebeple tasarım yapılırken yüksek frekanslarda çalışan elemanlarının (osilatör, çarpıcı, güç bölücü, yükselteç, zayıflatıcı) çıkışlarına veya girişlerine kolayca kontrolü yapılabilecek empedans uyumlu bölümleri koyulması sistemde oluşabilecek frekans kaymaları sorunlarının önüne geçilmesine yardımcı olacaktır. Sistemdeki oluşan diğer bir sorun da iletim sorunudur. İletimin var olup olmadığının anlaşılabilmesi için güç ölçümlerinin adım adım vektör ağ analizörüyle yapılması gerekmektedir. Yine bu sorun da yüksek frekanslı devrelerden kaynaklı meydana gelen sorun olarak sayılabilir. Baskı devre üretildikten sonra tüm bu tip elemanların girişleri ve çıkışlarında güç ölçümü yapılabilecek şekilde test noktaları belirlenmesi faydalı olacaktır. Devrenin bir bölümde oluşacak güç fazlalığı elemanlara zarar veriyor olabilir veya güç azlığından sinyal gönderilmiyor olabilir.

Antenlerin gönderdiği ve aldığı sinyallerin güç tespiti için de spektrum analizör kullanılarak güç seviyeleri ölçülmelidir. Bir radar sisteminde anten istenilen seviyede güç gönderemiyorsa hedefe güç ulaşamaz ve çarpıp yansıyan sinyal de olmaz.

Tüm bu bahsedilen öneriler uygulandığında; bizim hedeflemiş olduğumuz oldukça kompakt boyutlara sahip, taşınabilir, sorunsuz çalışan bir radar sisteminin gerçekleştirilebileceği düşünülmektedir. Bu sistem sorunsuz gerçekleştirilebilirse, taşınabilir radarlar kapsamında birçok yeni ilgi çekici araştırma alanı ortaya çıkarabileceği açıktır.

## KAYNAKLAR DİZİNİ

Abbosh, A., (2013), Ultra-wideband quasi-Yagi antenna using dual-resonant driver and integrated balun of stepped impedance coupled structure, IEEE transactions on antennas and propagation, 61(7), p.3885-3888.

Albrecht, H. E., Damaschke, N., Borys, M., Tropea, C., (2013), Laser Doppler and phase Doppler measurement techniques, Springer Science & Business Media, p.45-47.

Analog D., (2018), available at:  
<https://www.analog.com/media/en/technicaldocumentation/datasheets/hmc213b.pdf>, erişim tarihi: 05/07/2021.

Andrade, E. D. C., (1959), Doppler and the Doppler effect, Endeavour, p.14-19.

Anonim, (2008), Arduino-Frequency-Counter-Library, <https://github.com/Arduino-IoT/libraries/blob/master/FreqCounter/FreqCounter.h>, erişim tarihi:05/07/2021

Balanis, C. A., (2015), Antenna theory: analysis and design, John wiley & sons, p.1-105.

Carroll, J., Paparisto, G., Vye, D, (2016), The " Coffee-Can" Radar redesigned as an inexpensive RF PCB [Application Notes] , IEEE Microwave Magazine, 17(10), p.62-74.

Charvat, G. L., (2014), Small and short-range radar systems. CRC Press, p.243-373

Charvat, G. L., Williams, J. H., Fenn, A. J., Kogon S. M., J. S. Herd, (2011), \RES.LL-003 Build a small radar system capable of sensing range, Doppler, and synthetic aperture radar imaging, January IAP 2011," (Massachusetts Institute of Technology: MIT OpenCourseWare), <https://ocw.mit.edu/resources/res-ll-003-build-a-small-radar-system-capable-of-sensing-range-doppler-and-synthetic-aperture-radar-imaging-january-iap-2011/>, (Erişim Tarihi: 05.07.2021). License: Creative Commons BY-NC-SA.

Crystek, (2013), available at:  
<https://www.crystek.com/microwave/admin/webapps/welcome/files/vco/CVCO55CC-2328-2536.pdf>, erişim tarihi: 05/07/2021.

Exar, (2008), XR2206 monolithic function generator, available at:  
[https://www.sparkfun.com/datasheets/Kits/XR2206\\_104\\_020808.pdf](https://www.sparkfun.com/datasheets/Kits/XR2206_104_020808.pdf), erişim tarihi: 05/07/2021.

- Fisher, P. D., (1992), Improving on police radar, *IEEE Spectrum*, 29(7), p.38-43.
- Galati, G., (2016), 100 years of radar, Cham: Springer, p.1-252.
- Gürbüz, S. Z., Özcan, M. B., Panni, A. B., Demirhan, S., Hayran, Z., vd., (2014). Target detection and ranging with the 2.4 GHz MIT Coffee Can radar. In 2014 22nd Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU) , IEEE, p.1450-1453.
- Huang, E., Chiu, T., (2004), Printed Yagi antenna with multiple reflectors. *Electronics Letters*, 40(19), p.1165-1166.
- Hua, R. C., Wang, C. W., Ma, T. G., (2007), A planar quasi-Yagi antenna with a new microstrip-to-CPS balun by artificial transmission lines. In 2007 IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium, IEEE, p.2305-2308.
- Huang, H. C., Lu, J. C., & Hsu, P., (2015), A compact dual-band printed Yagi-Uda antenna for GNSS and CMMB applications. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 63(5), p.2342-2348.
- Jankiraman, M., (2007), Design of multi-frequency CW radars (Vol. 2), SciTech Publishing, p.20-23.
- Kaneda, N., Deal, W. R., Qian, Y., Waterhouse, R., Itoh, T., (2002). A broadband planar quasi-Yagi antenna. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 50(8), p.1158-1160.
- Kretly, L. C., Capovilla, C. E., (2003), Patches driver on the quasi-Yagi antenna: Analyses of bandwidth and radiation pattern. In Proceedings of the 2003 SBMO/IEEE MTT-S International Microwave and Optoelectronics Conference-IMOC 2003.(Cat. No. 03TH8678), IEEE, Vol. 1, p. 313-316.
- Kumar, H., & Kumar, G., (2018), A broadband planar modified Quasi-Yagi using log-periodic antenna. *Progress In Electromagnetics Research Letters*, 73, p.23-30.
- Liang, Z., Liu, J., Zhang, Y., Long, Y., (2015), A novel microstrip quasi Yagi array antenna with annular sector directors. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 63(10), p.4524-4529.
- Li, T., Zhang, F. S., Gao, F., Guo, Y. L., (2016), Planar Double-sided Printed quasi-Yagi Antenna with Enhanced Impedance Bandwidth and Reduced Size for Wideband Wireless Applications, *Progress In Electromagnetics Research C*, 63, p.23-31.

Maas, S. A, (1986), Microwave mixers, Norwood, p.1-12.

Macom, (2021), available at: <https://cdn.macom.com/datasheets/MAPDCC0010.pdf>, erişim tarihi: 05/07/2021.

Maxim, (2012), available at: <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/MAX2750-MAX2752.pdf>, erişim tarihi: 05/07/2021.

Maxim, (2017), available at: <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/MAX2644.pdf>, erişim tarihi:05/07/2021.

Meikle, H., (2008), Modern radar systems. Artech House, p.7-12.

Mini C., (2013), available at: <https://www.minicircuits.com/pdfs/YSF-272+.pdf>, erişim tarihi: 05/07/2021.

Mini C., (2014), available at: <https://www.minicircuits.com/pdfs/BP2U+.pdf>, erişim tarihi: 05/07/2021.

Mini C., (2019), available at: <https://www.minicircuits.com/pdfs/SIM-43MH+.pdf>, erişim tarihi: 05/07/2021.

Mini C., (2018), available at: <https://www.minicircuits.com/pdfs/GAT-3+.pdf>, erişim tarihi: 05/07/2021.

Mitzner, K., (2009), Complete PCB design using OrCAD capture and PCB editor, Newnes, p.1-428.

Ojaroudi P., N., Alibakhshikenari, M., Jahanbakhsh Basherlou, H., A Abd-Alhameed, R., Rodriguez, J., vd., (2019), MM-wave phased array quasi-yagi antenna for the upcoming 5G cellular communications. Applied Sciences, 9(5), p.978.

Onsemi, (2016), LM324 Operational amplifier quad, available at: <https://www.onsemi.com/pdf/datasheet/lm324-d.pdf>, erişim tarihi: 05/07/2021.

Onsemi, (2019), LM317 Voltage regulator, available at: <https://www.onsemi.com/pdf/datasheet/lm317-d.pdf>, erişim tarihi: 05/07/2021.

Pozar, D. M., (2011), Microwave engineering, John wiley & sons, p.308-633.

Rao, G.S., (2014), Microwave and radar engineering, Pearson Education India, p.468-516.

- Skolnik, M.I., (2001), Introduction to radar systems, McGraw-Hill Electrical engineering series, p.1-26.
- Skolnik, M.I., (2008), Radar handbook third edition, McGraw-Hill Education, p.23-46.
- Sun, H., Guo, Y. X., He, M., Zhong, Z., (2013), A dual-band rectenna using broadband Yagi antenna array for ambient RF power harvesting. *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, 12, p.918-921.
- Teng, K. C., (2013), "The design and evaluation of a 5.8 GHz laptop-based radar system" Open Access Theses. 101. [https://docs.lib.purdue.edu/open\\_access\\_theses/101](https://docs.lib.purdue.edu/open_access_theses/101), p.143.
- Texas I., (2000), LM7805 Operational Amplifier Quad, available at: <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm340.pdf>, erişim tarihi: 05/07/2021.
- Qian, Y., Deal, W. R., Kaneda, N., Itoh, T., (1998), Microstrip-fed quasi-Yagi antenna with broadband characteristics. *Electronics Letters*, 34(23), p.2194-2196.
- Waterhouse, R. (Ed.), (2008), Printed antennas for wireless communications (Vol. 19), John Wiley & Sons, p.1-100.
- Weinmann, F., (2007), Design, optimization, and validation of a planar nine-element Quasi-Yagi antenna array for X-band applications [Antenna designer's Notebook], *IEEE Antennas and Propagation Magazine*, 49(2), p.89-96.
- Wu, J., Zhao, Z., Nie, Z., Liu, Q. H., (2013), Bandwidth enhancement of a planar printed quasi-Yagi antenna with size reduction. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 62(1), p.463-467.
- Wu, J., Zhao, Z., Nie, Z., Liu, Q. H., (2014), Design of a wideband planar printed quasi-Yagi antenna using stepped connection structure, *IEEE transactions on antennas and propagation*, 62(6), p.3431-3435.
- Yeo, J., Lee, J. I., (2015), Design of miniaturized quasi-Yagi antenna for portable RFID reader applications. *Progress In Electromagnetics Research*, 58, p.97-104.
- Yuan, L. H., Tang, W., (2018), Novel miniaturized broadband Quasi-Yagi antennas based on modified Bowties driver for wireless technology applications. *Progress In Electromagnetics Research M*, 63, p.151-161.

Zheng, G., Kishk, A. A., Glisson, A. W., Yakovlev, A. B., (2004), Simplified feed for modified printed Yagi antenna. *Electronics Letters*, 40(8), p.464-466.

Zhou, Y., Zhang, G., Cao, X. Y., Gao, J., Zheng, Y., (2016), Design of miniaturized ultra-wideband Quasi-Yagi antenna. In *2016 Progress in Electromagnetic Research Symposium (PIERS)*, p.2027-2030. IEEE.

