



**T.C.  
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
ELEKTRİK-ELEKTRONİK FAKÜLTESİ  
ELEKTRONİK VE HABERLEŞME MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ**

**BİTİRME ÇALIŞMASI**

**ARAÇ PLAKASI TANIYAN HIZ RADARI**

Bitirme Çalışması Danışmanı: Prof. Dr. Ahmet KIZILAY

14014048 Ali Osman YILDIZ

14014057 Berkay ÖZÇAM

14014062 İbrahim YILMAZ

14014064 Muhammed KALABALIK

İstanbul, 2019

**T.C.**  
**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**  
**ELEKTRONİK VE HABERLEŞME MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ**

**ARAÇ PLAKASI TANIYAN HIZ RADARI**

Ali Osman YILDIZ, Berkay ÖZÇAM, İbrahim YILMAZ ve Muhammed KALABALIK tarafından hazırlanan bitirme çalışması \_\_/\_\_/\_\_ tarihinde aşağıda isimleri belirtilen jüri üyeleri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Elektrik-Elektronik Fakültesi Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümünde **LİSANS BİTİRME ÇALIŞMASI** olarak kabul edilmiştir.

**Jüri Üyeleri**

Prof. Dr. Ahmet KIZILAY  
Yıldız Teknik Üniversitesi

\_\_\_\_\_

Doç. Dr. Ahmet SERBES  
İstanbul Üniversitesi

\_\_\_\_\_

Doç. Dr. Tansal GÜÇLÜOĞLU  
Yıldız Teknik Üniversitesi

\_\_\_\_\_

Dr. Öğr. Üyesi Tuncay UZUN  
Yıldız Teknik Üniversitesi

\_\_\_\_\_

Dr. Öğr. Üyesi Nihan KAHRAMAN  
Yıldız Teknik Üniversitesi

\_\_\_\_\_

Öğr. Gör. Dr. Peyman MAHOUTİ  
Yıldız Teknik Üniversitesi

\_\_\_\_\_

## ÖNSÖZ

---

Bu bitirme çalışmasında radar ile hız ölçüm işlemi gerçekleştirilip belirlenen hız eşliğini aşan araçların plaka tespitinin yapılması amaçlanmıştır. Bitirme çalışmasının ilk aşaması minimum çıktılarından olan hız verisini elde etmektir. Hız tespitinin ardından ikinci aşama olan görüntü işleme yöntemiyle araç plakası tanıma işlemine geçilmektedir.

Çalışmamız süresince bizleri engin bilgileriyle yönlendiren danışman hocamız Prof. Dr. Ahmet KIZILAY'a, tasarım aşamalarında bizlere yardımcı olan Öğr. Gör. Dr. Peyman MAHOUTİ hocamıza, fakültemizin tüm imkânlarını bizlere sunan bölüm başkanımız Prof. Dr. Herman SEDEF hocamıza ve özellikle bizleri hiçbir zaman geri çevirmeyen tüm sorularımıza sabırla cevap verip bizlere önemli bilgiler aktaran Uzm. Ramazan DAŞBAŞI hocamıza desteklerinden ötürü teşekkürlerimizi sunarız. Ayrıca her zaman yanımızda olan ve bizlerden desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen kıymetli ailelerimize de teşekkürü borç biliriz.

Aralık, 2018

Ali Osman YILDIZ

Berkay ÖZÇAM

İbrahim YILMAZ

Muhammed KALABALIK

## İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	iii
İÇİNDEKİLER .....	v
SİMGE LİSTESİ .....	viii
KISALTMA LİSTESİ .....	ix
ŞEKİL LİSTESİ.....	x
ÇİZELGE LİSTESİ .....	xii
ÖZET .....	xiii
ABSTRACT .....	xiv
1. BÖLÜM .....	1
1.1 Proje Fikri .....	1
1.1.1 Hız Radarı Sistemi .....	1
1.1.2 Plaka Tanıma Sistemi .....	2
2. BÖLÜM .....	3
2.1 Radar Sistemleri .....	3
2.1.1 Radarın Tarihçesi .....	3
2.1.2 Radarın Kullanım Alanları ve Frekans Bandları.....	4
2.1.3 Radar Çeşitleri.....	5
2.1.3.1 Darbe Radarları .....	5
2.1.3.2 Frekans Adımlı Radarlar .....	6
2.1.3.3 Frekans Modüleli Sürekli Dalga Radarı .....	7
2.1.3.4 Ultra Geniş Bandlı Radar .....	8
2.1.3.5 Sürekli Dalga Radarları .....	8
2.1.3.5.1 Karıştırıcı.....	10
2.1.3.5.2 Gerilim Kontrollü Osilatör .....	10
2.1.3.5.3 Wilkinson Güç Bölücü .....	11
2.1.3.5.4 Kuvvetlendirici.....	12
2.1.3.5.5 Antenler .....	13
2.1.3.5.5.1 İzotropik Antenler .....	16

2.1.3.5.5.2 Çok Yönlü Antenler .....	17
2.1.3.5.5.3 Yönlü Antenler .....	17
2.1.3.5.6 Güç Kuvvetlendirici .....	18
2.1.3.5.7 Düşük Gürültülü Kuvvetlendirici (LNA) .....	19
2.1.4 HB100 Doppler Radar Modülü .....	20
2.1.4.1 Doppler Etkisi .....	21
2.1.4.2 HB100 Blok Diyagramı.....	22
2.1.4.3 HB100 Radyasyon Paterni.....	24
2.1.4.4 HB100 IF Çıkış Katı.....	24
2.2 Görüntü İşleme .....	25
2.2.1 Kullanım Alanları.....	26
2.2.2 Python Programlama Dili.....	26
2.2.3 OpenCV.....	27
2.2.4 Raspberry Pi.....	28
3. BÖLÜM .....	30
3.1 Kuvvetlendirici Bağlantısı.....	30
3.1.1 Kuvvetlendirici Devre Analizi .....	31
3.1.2 Devre Bağlantıları .....	32
3.1.3 HB100 Test Sonuçları.....	33
3.2 Güç Kuvvetlendirici .....	34
3.2.1 Güç Kuvvetlendirici Tasarımı .....	35
3.2.2 Güç Kuvvetlendirici Devre Analizi.....	36
3.3 Düşük Gürültülü Kuvvetlendirici (LNA) .....	38
3.3.1 LNA Tasarımı .....	38
3.3.2 LNA Devre Analizi .....	39
3.4 Horn Antenler .....	41
3.4.1 Horn Anten Tasarımı.....	42
3.4.2 Horn Anten Geometrisi .....	43
3.4.3 Horn Anten Simulasyon Analizi .....	44
3.4.4 Horn Antenin Üretimi .....	46
3.5 Tüm Devre Bağlantıları .....	48
3.6 Arduino UNO ile Hız Ölçümü.....	49
4. BÖLÜM .....	50
4.1 Akış Şeması .....	50
4.2 Karakterlerin Sınıflandırılması.....	50
4.3 Kullanıcı Arayüzü .....	51
4.4 Hız Bilgisi .....	51
4.5 Çalışma Modları .....	51
4.6 Görüntü İşleme Aşamaları .....	53
4.7 Plakanın Arayüzde Gösterilmesi .....	59
5. BÖLÜM .....	60
KAYNAKLAR.....	61
EK-A.....	64

EK-B.....	66
TAKIM ÖZGEÇMİŞ BİLGİLERİ .....	69
TAKIM ÖZGEÇMİŞ BİLGİLERİ .....	70
TAKIM ÖZGEÇMİŞ BİLGİLERİ .....	71
TAKIM ÖZGEÇMİŞ BİLGİLERİ .....	72

$\Phi$	Faz farkı
$f_d$	Doppler frekansı
$\lambda$	Dalga boyu
$G_0$	Osilatör kazancı
$c_0$	Işık hızı
$F_t$	İletilen frekans
$F_d$	Doppler frekans katsayısı
$V$	Hedefin hızı
$\Theta$	Hedefin hareket yönü ile modülün eksenine arasındaki açı

TÜİK	Türkiye İstatistik Kurumu
TSİ	Turkish Statistical Institute
VHF	Very High Frequency
UHF	Ultra High Frequency
SNR	Signal to Noise Ratio
FMSD	Frekans Modüleli Sürekli Dalga
UGB	Ultra Geniş Band
RF	Radya Frekansı
DRO	Dielektrik Rezonans Osilatörü
CPU	Central Processing Unit
BSD	Berkeley Software Distribution
IF	Intermediate Frequency
CST	Computer Simulation Technology
VSWR	Voltage Standing Wave Ratio
KNN	K Nearest Neighbour
GUI	Grafical User Interface



	Sayfa
Şekil 1.1 Radar sistemi .....	1
Şekil 1.2 Plaka tanıma sistemi.....	2
Şekil 2.1 Radar mantığı [1] .....	3
Şekil 2.2 Radar örneği [3] .....	4
Şekil 2.3 Radar örneği [4] .....	4
Şekil 2.4 Darbe radarı [6] .....	6
Şekil 2.5 Frekans adımlı radardaki frekans değişimleri [7] .....	7
Şekil 2.6 FMSD radarında menzil tayini [8] .....	7
Şekil 2.7 UGB radarlarının sahip olduğu geniş band [9] .....	8
Şekil 2.8 Faz kayması [10] .....	9
Şekil 2.9 Sürekli dalga radarı blok diyagramı [12] .....	9
Şekil 2.10 Karıştırıcı diyagramı [13] .....	10
Şekil 2.11 RF VCO [15] .....	11
Şekil 2.12 Wilkinson bölücü [16] .....	11
Şekil 2.13 Kuvvetlendirici devreci .....	12
Şekil 2.14 Örnek anten [18] .....	14
Şekil 2.15 Işıma paterni [19] .....	14
Şekil 2.16 Dairesel polarizasyon [20] .....	16
Şekil 2.17 Doğrusal polarizasyon [21] .....	16
Şekil 2.18 İzotropik anten [23] .....	16
Şekil 2.19 Katlanmış dipol anten ve yarım dalga anten [24] .....	17
Şekil 2.20 Mikroşerit anten yapısı ve periyodik anten yapısı [26] .....	18
Şekil 2.21 Horn anten [27] .....	18
Şekil 2.22 Güç kuvvetlendirici [29] .....	19
Şekil 2.23 Düşük gürültülü kuvvetlendirici [30] .....	20
Şekil 2.24 HB100 radar modülü [32] .....	21
Şekil 2.25 HB100 blok diyagramı [33] .....	23
Şekil 2.26 Devre şematiği [34] .....	23
Şekil 2.27 Radyasyon paterni [35] .....	24
Şekil 2.28 HB100 iç kısmı ve HB100 ön tarafı görünümü .....	24
Şekil 2.29 Sayısal Görüntü [36] .....	25
Şekil 2.30 Görüntü İşleme [36] .....	25
Şekil 2.31 OpenCV İle Görüntü İşleme Örneği [38] .....	27
Şekil 2.32 Raspberry Pi Logo [40] .....	28
Şekil 2.33 Raspbian [41] .....	28
Şekil 2.34 Raspberry Pi 3 Model B+ [42] .....	29
Şekil 3.1 Kuvvetlendirici devresi [44] .....	30
Şekil 3.2 Kuvvetlendirici devresi multisim çizimi .....	31
Şekil 3.3 Kuvvetlendiricinin osiloskop ekranı görüntüsü .....	31
Şekil 3.4 Proteus çizimi .....	32
Şekil 3.5 PCB Montajlı Kuvvetlendirici .....	32
Şekil 3.6 Test sonuçları .....	33
Şekil 3.7 Konnektör .....	34

Şekil 3.8 Güç kuvvetlendirici devresi şematığı.....	35
Şekil 3.9 Devrenin S parametreleri .....	36
Şekil 3.10 (a) 0 dBm giriş altındaki çıkış gücü; (b) PAE.....	37
Şekil 3.11 (a) Devrenin harmonikleri; (b) Toplam güç .....	37
Şekil 3.12 Güç kuvvetlendirici layout görünümü .....	38
Şekil 3.13 LNA tasarımının şematığı.....	38
Şekil 3.14 (a) S(1,1) parametresi ; (b) S(2,2) parametresi .....	40
Şekil 3.15 Devrenin S parametreleri .....	40
Şekil 3.16 Devrenin noise parametresi .....	40
Şekil 3.17 LNA layout görünümü .....	41
Şekil 3.18 TE <sub>10</sub> Dalga Kılavuzundaki Elektrik Alan [45] .....	41
Şekil 3.19 Yayılma Açısı [46].....	42
Şekil 3.20 Horn Anten Geometrisi .....	43
Şekil 3.21 Horn Anten Tasarım Boyutları .....	43
Şekil 3.22 S-parametresi (dB).....	44
Şekil 3.23 Işıma Paterni (Polar) .....	45
Şekil 3.24 Işıma Paterni (Kartezyen) .....	45
Şekil 3.25 Işıma Paterni (2D Gösterim) .....	45
Şekil 3.26 Işıma Paterni (3D) .....	46
Şekil 3.27 3D Printer STL Dosyası.....	46
Şekil 3.28 3D Printerdan Yazılan Horn Anten .....	47
Şekil 3.29 Alüminyum ile Kaplı Anten .....	47
Şekil 4.1 Plaka tanıma sistemi akış şeması.....	50
Şekil 4.2 Karakterlerin sınıflandırılması .....	50
Şekil 4.3 Kullanıcı arayüzü.....	51
Şekil 4.4 Görüntü işleme akışı [49] [50] .....	53
Şekil 4.5 Orijinal Görüntü.....	54
Şekil 4.6 Gri tonlama .....	54
Şekil 4.7 Binary Görüntü .....	55
Şekil 4.8 Konturlar-1 .....	55
Şekil 4.9 Konturlar-2 .....	56
Şekil 4.10 Konturlar-3 .....	56
Şekil 4.11 Plakalar .....	57
Şekil 4.12 Plaka gri ton .....	57
Şekil 4.13 Plaka binary görüntü .....	57
Şekil 4.14 Plakada bulunan karakterler .....	58
Şekil 4.15 Bulunan plaka .....	58
Şekil 4.16 Plakanın arayüzde gösterilmesi .....	59
Şekil 4.17 Plaka bulunamadı .....	59

## ÇİZELGE LİSTESİ

---

	Sayfa
Çizelge 2.1 Frekans bandları [4] .....	5
Çizelge 3.1 PA devresinin çalışma değerleri ve performansı .....	36
Çizelge 3.2 LNA devresinin çalışma değerleri ve performansı .....	39
Çizelge 3.3 Horn Anten Boyut Uzunlukları .....	44
Çizelge 3.4 Antenin parametreleri .....	46

## ARAÇ PLAKASI TANIYAN HIZ RADARI

Ali Osman YILDIZ

Berkay ÖZÇAM

İbrahim YILMAZ

Muhammed KALABALIK

Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği

Bitirme Çalışması

Bitirme Çalışması Danışmanı: Prof. Dr. Ahmet KIZILAY

Ülkemizde her yıl binlerce insan trafik kazalarında hayatını kaybetmektedir. Bu kazaların büyük çoğunluğunun sebebi ise aşırı hız olarak açıklanmaktadır. TÜİK verilerine göre 2017 yılında 7.427 kişi trafik kazalarında hayatını kaybetmiştir. Yapılan kazaların ise yüzde 89,9'u sürücü kusurlarından kaynaklanmaktadır. Aşırı hızın önüne geçmek için günümüze kadar hükümetler çeşitli yöntemlere başvurmuştur. Bu yöntemlerden en gelişmiş olanı 2011 yılında Ankara-Eskişehir yolu üzerinde kullanılmaya başlanmıştır. Bu sistemde aracın hızını algılayan radar hızın aşırı olup olmadığına karar veriyor ve aşırı olması durumunda aracın hız ve plaka bilgisini tabelada sergiliyor. Bu tarz radar sistemlerinin caydırıcılığı yadsınamaz bir gerçektir. Biz de bitirme çalışmamızda bu bilgilerden hareketle bir plaka tanıyan ve hız ölçen radar sistemi projesi gerçekleştireceğiz. Kampüs içerisinde hız sınırı saatte 30 km/h olduğundan radarımızın hız eşiği de 30 km/h olarak belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Aşırı hız, radar, plaka, kaza, istatistik

**VEHICLE PLATE RECOGNIZED SPEED RADAR**

Ali Osman YILDIZ

Berkay ÖZÇAM

İbrahim YILMAZ

Muhammed KALABALIK

Department of Electronics and Communications Engineering

Graduation Project

Supervisor: Prof. Dr. Ahmet KIZILAY

Every year thousands of people die in traffic accidents in our country. The majority of these accidents are explained as excessive speed. According to TSI, 7.427 people died in traffic accidents in 2017. 89.9 percent of accidents are caused by driver defects. States have resorted to various methods to prevent excessive speed. The most advanced of these methods was started to be used in 2011 on the Ankara - Eskişehir highway. In this system, the radar that detects the speed of the vehicle determines whether the speed is excessive and displays the speed and plate information of the vehicle in the overload drum. The deterrence of such radar systems is an undeniable fact. In this study, we will realize a plate recognition and speed measuring radar system project. Since the speed limit within the campus is 30 km/h, the speed of our radar is 30 km/h.

**Keywords:** Extreme speed, radar, plate, accident, statistics

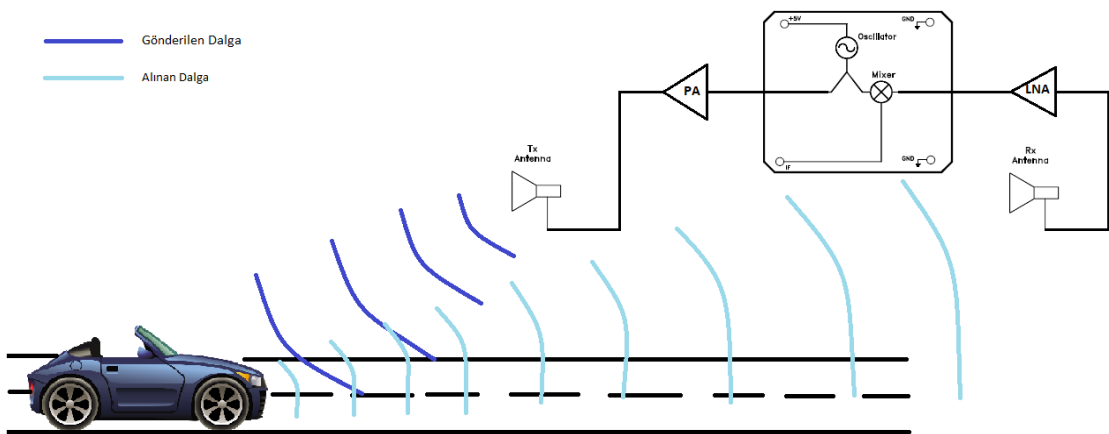
#### 1.1 Proje Fikri

Projenin amacı tasarlanan radar sistemi ile hız tespiti yapıp belirlenen hız limitini aşan araçların plakala bilgisinin görüntü işleme ile tanınması ve bu bilgilerin bir arayüzde gösterilmesidir. Bu proje iki farklı sistemden oluşmaktadır:

- a) Hız Radarı Sistemi
- b) Plaka Tanıma Sistemi

##### 1.1.1 Hız Radarı Sistemi

Projede araçların hızını ölçebilmek için doppler frekans kayması teorisini kullanan sürekli dalga radarı tasarlandı. Sürekli dalga radarı için HB100 mikrodalga doppler radar modülü kullanıldı. HB100 modülünün antenlerinin ışıma paterni ve kazancı araçların hızını ölçebilmek için yeterli olmadığından antenleri değiştirilip uygun ışıma paternine ulaşılması hedeflendi. Bu proje için HB100 modülünün antenleri iptal edilip uygun paterne ve güce sahip verici ve alıcı anten tasarlanıp modüle entegre edildi. Verici anten için güç kuvvetlendirici, alıcı anten için de düşük gürültülü kuvvetlendirici tasarlandı. Hız radarımızın tasarımı Şekil 1.1’de gösterilmektedir.

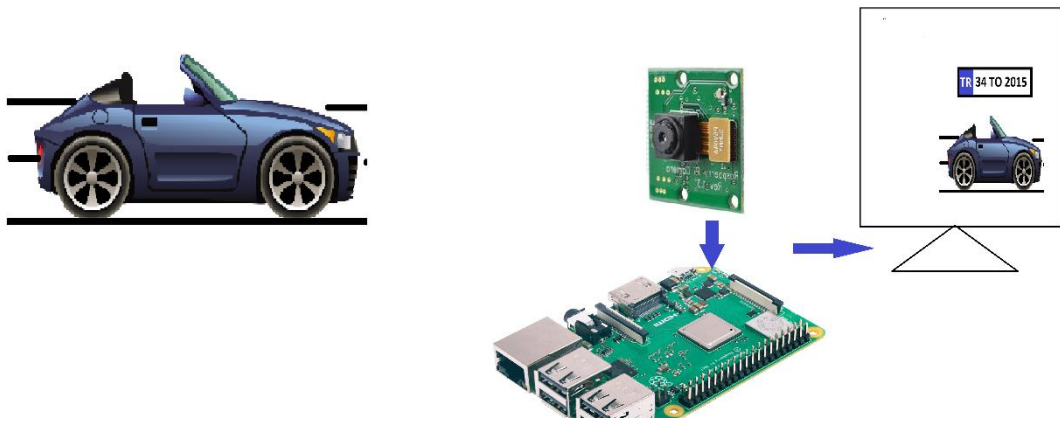


Şekil 1.1 Radar sistemi

Tasarlanan radar sisteminden gelen analog sinyal Arduino yardımıyla digital veriye dönüştürülerek araçların hız bilgisi tespit edildi.

### 1.1.2 Plaka Tanıma Sistemi

Tasarlanan sisteme göre radardan gelen hız bilgisi, hız limitinin üzerinde ise plaka okuma sistemi aktif hale gelir. Plaka tanıma sistemi için Python programlama dilinde bulunan OpenCV kütüphanesini kullanıldı. Bu yazılım Raspberry Pi kitinde çalıştırılıp plaka okuma işlemi gerçekleştirildi. Arayüz kısmında ise hız verisi, plaka ve aracın fotoğrafı yer almaktadır.

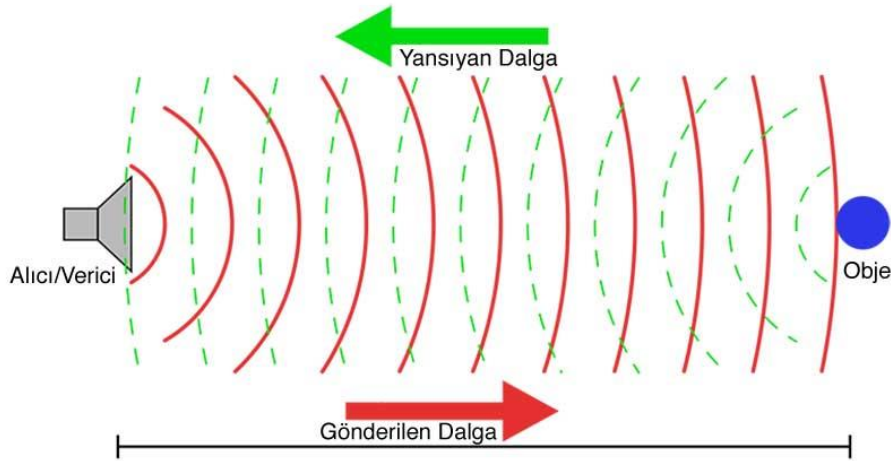


Şekil 1.2 Plaka tanıma sistemi

### RADAR ve GÖRÜNTÜ İŞLEME

#### 2.1 Radar Sistemleri

Radar kelimesi “Radio Detection and Ranging” kelimelerinin ilk harflerinden türetilmiştir. İsminden de anlaşılacağı gibi sistemlerde radyo dalgalarından faydalanılmaktadır. Bu dalgalar ile cisimler hakkında konum ve hız gibi bilgiler elde edilmektedir. Verici antenler tarafından gönderilen sinyaller cisme çarptıktan sonra yansıyarak geri dönerler ve bu sinyaller yankı (echo) olarak adlandırılır. İşte bu yankının alıcı antene geliş süresi, yönü ve şiddeti radar sistemlerinin ana parametreleridir. Bu bilgiler işlenerek konum, mesafe, hız gibi veriler ortaya çıkarılmaktadır.



Şekil 2.1 Radar mantığı [1]

##### 2.1.1 Radarın Tarihçesi

Radarlar aracılığıyla farklı bilgiler edinilebildiğinden tarihsel süreçte çeşitli amaçlarla çeşitli radar sistemleri kullanılmıştır. Bunlardan ilkinin 1907 yılında Alman teknisyen Christian Hülsmeyer gemi trafiğini denetlemek için icat etmiştir. Bu sistemde Alman teknisyen gemilere çarpıp dönen elektromanyetik dalgaların süresini kullanarak mesafe bilgisi elde ediyordu. 1938 yılında ise ilk olarak bir radarın seri üretimine başlandı. Askeri amaçlı olarak kullanılan bu radar Rudolph Kühnhold tarafından 1931 yılında tasarlanmıştı [2].





Şekil 2.2 Radar örneği [3]

### 2.1.2 Radarın Kullanım Alanları ve Frekans Bandları

Günümüzde radarlar;

- Navigasyon
- Trafik sistemleri
- Hava durum tespitleri
- Güvenlik sistemleri gibi alanlarda kullanılmaktadır.

Radarlar bu tarz sivil kullanım alanlarının yanında askeri amaçlı olarak da kullanılmaktadır. Bunlara en iyi örnekler; hava gözetim, devriye uçağı ve füze güdüm radarlarıdır. Farklı amaçlarla kullanılan radarlar aynı zamanda farklı frekans aralıklarında çalışırlar. Frekans bandları ve radar tipleri bilgisi Çizelge 2.1’de gösterilmiştir.



Şekil 2.3 Radar örneği [4]

Çizelge 2.1 Frekans bandları [5]

BAND İSMİ	FREKANS ARALIĞI	RADAR KULLANIM ALANI
VHF	30 – 300 MHz	Askeri amaçlı
UHF	300 – 1000 MHz	Hava savunma sistemi
L	1 – 2 GHz	Hava rotası gözlem
S	2 – 4 GHz	Havaalanı gözetim
C	4 – 8 GHz	Meteorolojik gözlem
X	8 – 12 GHz	Orta mesafe algılama
K	18 – 27 GHz	Kısa mesafe algılama

### 2.1.3 Radar Çeşitleri

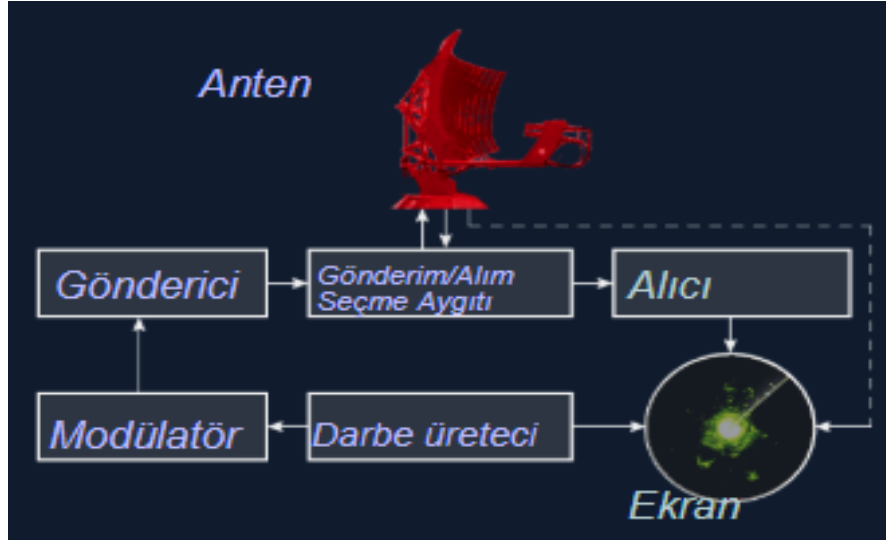
Radarlar çok fonksiyonlu olarak kullanıldıklarından tarih içerisinde birçok radar çeşidi ortaya çıkmıştır. Radarlar; kullanım alanı, frekans bandları ve diğer özelliklerine göre sınıflandırılırlar. Başlıca radar türleri:

- Darbe radarları
- Frekans adımlı radarlar
- Frekans modüleli sürekli dalga radarı
- Ultra geniş bandlı radarlar
- Sürekli dalga radarı

#### 2.1.3.1 Darbe Radarları

Darbe radarları bir paket biçiminde oldukça güçlü ve yüksek frekanslı bir işaret yayarlar. Bundan sonra sürekli dalga radarlarının aksine peşisıra bir işaret daha göndermeyip gönderilen dalganın yansıyıp geri gelmesini beklerler. Antenin yönü, darbenin gidip gelme süresi gibi bilgileri işleyerek hedefin yönünü ve menzilini tayin ederler. Daha çok askeri amaçlı kullanılan radarlardır ve menzilleri uzundur. Bu özelliklerinden dolayı hız

tespiti için uygun değildirler. Darbe radarlarında da genelde alıcı ve verici antenler aynı sistem üzerinde bulunurlar fakat burda farklı bir çeşit de mevcuttur. Bistatik darbe radarlarında alıcı kendine ait anteniyle birlikte farklı bir yerde konumlanır. Bunun güvenlik açısından faydalı bir yanı olsa da yansıyan dalgayı toplama hususunda sıkıntılar yaşanmaktadır bu yüzden pek kullanılmamaktadır. Klasik bir darbe radarı bir darbe üretici, darbe modülasyonu için bir modülatör, gönderici, gönderim işlemi mi yoksa alım işlemi mi olduğunu seçen aygıt, anten, alıcı ve gelen veriyi işleyip görüntüleyen bir ekrandan oluşmaktadır.

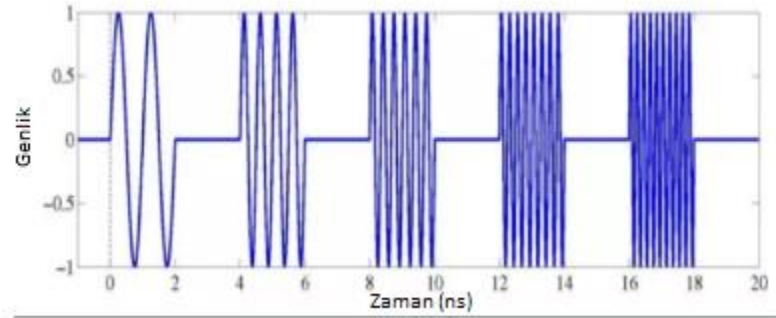


Şekil 2.4 Darbe radarı [6]

#### 2.1.3.2 Frekans Adımlı Radarlar

Frekans adımlı radar genellikle bilimsel olarak yeraltı radarları araştırmasında kullanılan bir radar çeşididir. Frekans adımlı radar frekans domeninde çalıştığından, zaman domeni bazlı darbeleri radara göre daha karmaşık yapıya sahiptir. Bunun nedeni uygun örnekleme birimi ile iletilen darbenin yankısını kaydederek doğrudan elde edilen hedefin yansıma tepe noktalarını içermesidir. Geniş bir frekans alanına hükmetmemizi sağlamaktadır. Aynı zamanda SNR oranı yüksektir ve tepe gücü düşüktür. Fakat frekans adımlı radarlar çeşitli dezavantajlara da sahiptirler. Aralık çözünürlüğü düşüktür ve

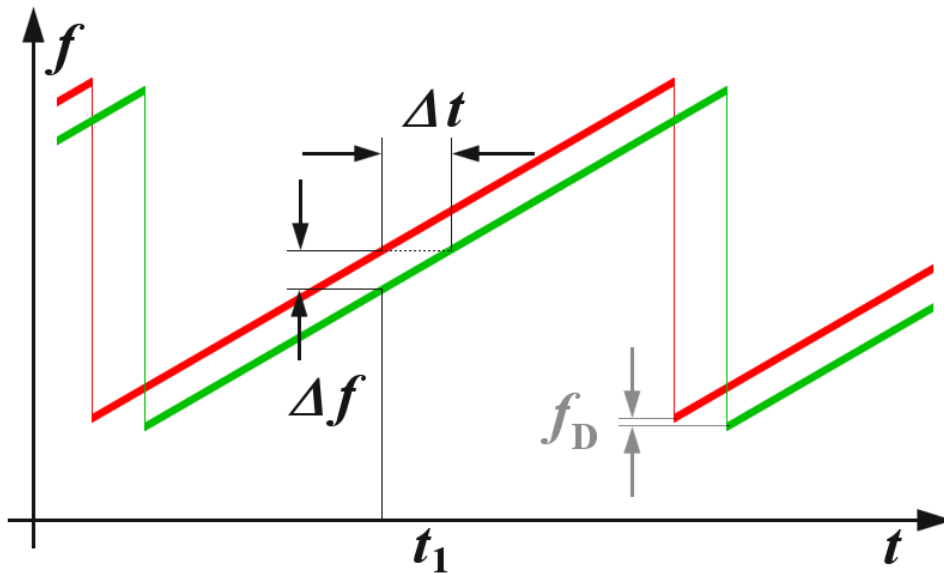
frekans adımlarını beklemek zorunda olduğu için gecikmelere sebebiyet vermektedir. Ayrıca hareketli hedeflerin takibi için ek sinyal işleme gerektirir.



Şekil 2.5 Frekans adımlı radardaki frekans değişimleri [7]

### 2.1.3.3 Frekans Modüleli Sürekli Dalga Radarı

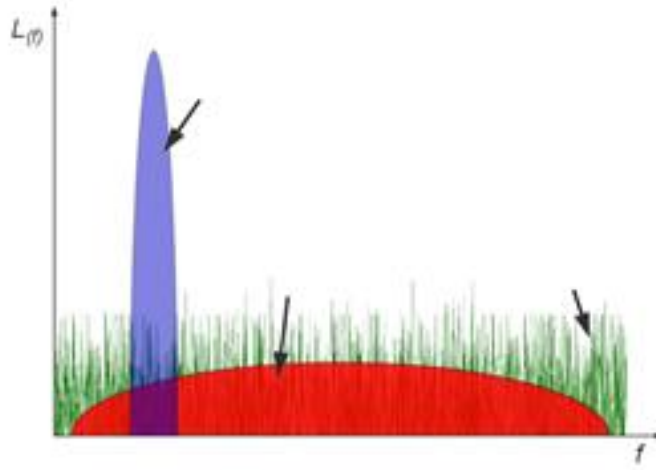
Frekans modüleli sürekli dalga radarı giriş sinyalini ek bir devreyle kontrol ederek giriş frekansında değişimlere neden olmakta ve frekansı periyodik olarak artırıp azaltabilmektedir. Frekanstaki bu değişimler sayesinde işaretin gidiş geliş sürelerinden yola çıkarak kullanıcıya ek ölçüm imkânları sağlamaktadır. FMSD radarıyla hedef menzili ölçülebilmektedir. Menzil ölçümü alınan işaretin frekansının referans sinyalinin frekansı ile karşılaştırılması sonucu bulunmaktadır. Frekans modüleli sürekli dalga radarlarında radyal hız da ölçülebilmektedir.



Şekil 2.6 FMSD radarında menzil tayini [8]

#### 2.1.3.4 Ultra Geniş Bandlı Radar

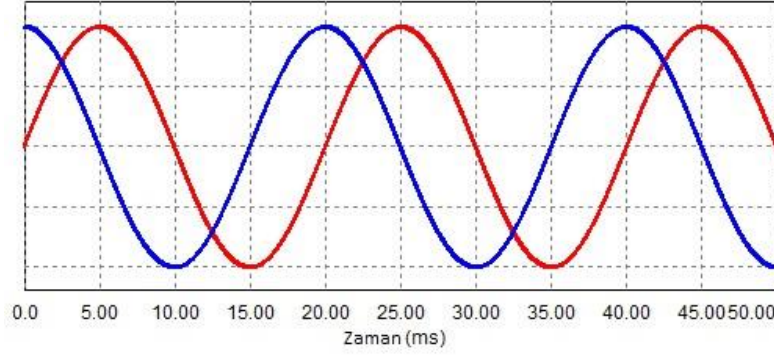
Ultra geniş bantlı radarlar normal radarlara göre gönderilen darbenin band genişliğini yüksek tutar ve normalden daha az güç harcayarak gönderir. UGB radarlarda gönderilen işaretin bant genişliği merkez frekansın en az %25'i kadardır. Ultra geniş bantlı radarlar bu kadar büyük band genişliklerinin kullanılabilmesi için ek özel devrelere ihtiyaç duymaktadırlar. Ayrıca bu sinyali alacak radar alıcı antenlerinin de band genişlikleri oldukça fazla olmak durumundadır. Bu amaçla değişik frekans bandlarına sahip antenler paralel olarak kullanılırlar. Şekil 2. 7'deki mavi band normal radarlara ait iken kırmızı band UGB radarına aittir.



Şekil 2.7 UGB radarlarının sahip olduğu geniş band [9]

#### 2.1.3.5 Sürekli Dalga Radarları

Sürekli dalga radarları adından da anlaşılacağı üzere sürekli olarak yayın yapıp aynı zamanda sürekli olarak yansıyan sinyalleri toplayıp işlerler. Bu sürekli yayın durumundan dolayı gönderilen ve gelen sinyallerin karışmaması için bu tip radarlarda alıcı ve verici olmak üzere iki anten konumlandırılır. Sabit frekans ve sabit genlikli olarak gönderilen sinyaller hareket eden bir cisme çarpıp yansındıklarında frekanslarında bir kayma meydana gelir. Buna faz farkı denir ve  $\Phi$  harfi ile gösterilir. Faz kayması grad cinsinden ifade edilir. Bu radar sistemi faz farkını kullanarak çalıştığı için hareketsiz cisimlerde kullanışlı değildir. Biz de bu çalışmada radarları hız bilgisi elde etmek için kullanacağımızdan bu tip radarlarla çalışmayı tercih ettik. Şekil 2.8'de iki sinüs dalgası arasındaki faz kayması gözlemlenmektedir.

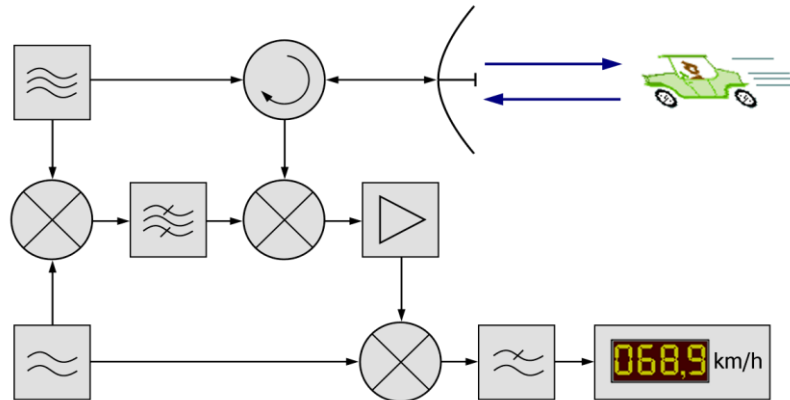


Şekil 2.8 Faz kayması [10]

Verici anten tarafından gönderilen  $f$  frekanslı sinyaller  $f+f_d$  şeklinde geri yansımaktadır. Yansıyan bu sinyal ile gönderilen sinyal karıştırıcı devresinde karıştırıldığında  $f_d$  frekansı elde edilir ve buna “Doppler frekansı” denir. Bu doppler frekans bilgisinin işlenmesi ile sürekli dalga radarlarında hız bilgisi tayin edilebilir. Teorem şu şekildedir:

$$v = \frac{-1}{2} f_d \lambda \quad (2.1)$$

Bu doppler teoreminde  $V$  radyal hız bileşenini,  $f_d$  doppler frekansını,  $\lambda$  ise dalgaboyunu ifade etmektedir. Şekil 2. 9’da görüldüğü gibi bir sürekli dalga radarı temel olarak; alıcı-verici antenler, güç bölücü, osilatör, karıştırıcı, kuvvetlendirici gibi bileşenlerden oluşturmaktadır. Osilatör tarafından üretilen yüksek frekanlar güç bölücü tarafından verici anten ve karıştırıcı birimlerine iletilirler. Alıcı anten tarafından toplanan sinyaller kuvvetlendirildikten sonra güç bölücünden gelen sinyallerle beraber karıştırıcıya katılır. Karıştırıcının çıkışı ise alçak geçiren filtreden geçirilerek radar devresinin çıkışı olarak verilir [11].



Şekil 2.9 Sürekli dalga radarı blok diyagramı [12]

### 2.1.3.5.1 Karıştırıcı

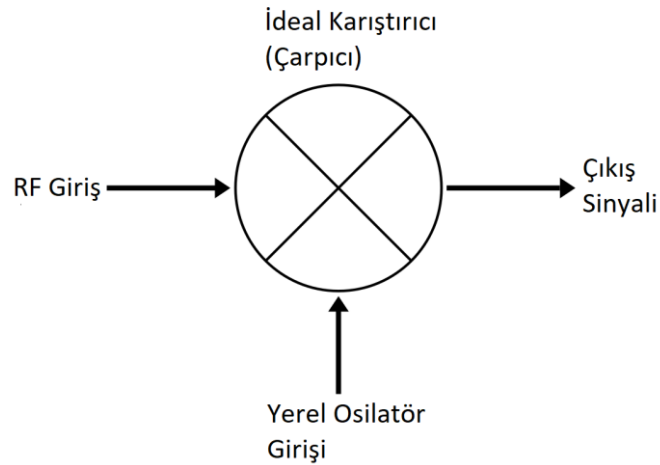
Karıştırıcılar iki giriş ve bir çıkışa sahip olan devre parçalarıdır. Girişten alınan iki sinyali çarparak çıkışa verirler. Yaptığı işlem şu şekilde ifade edilebilir:

$$V_{RF}(t) = A_1 \cdot \sin 2\pi f_1(t) \quad (2.2)$$

$$V_{LO}(t) = A_2 \cdot \sin 2\pi f_2(t) \quad (2.3)$$

$$V_{RF}(t) \cdot V_{LO}(t) = 0,5 \cdot A_1 \cdot A_2 [\cos 2\pi(f_1 - f_2)t - \cos 2\pi(f_1 + f_2)t] \quad (2.4)$$

Burada  $V_{RF}$  RF katından gelen işareti,  $V_{LO}$  osilatörden gelen işareti göstermektedir. Bu iki ifadenin çarpımı da karıştırıcının verdiği çıkış işaretidir. Başka bir deyişle osilatör tarafından  $f$  frekanslı bir işaretli üretilip verici antenden yayılırsa alıcı anten tarafından  $f+f_d$  biçiminde bir sinyal toplanacaktır. Sürekli dalga radarlarında bu iki işaret karıştırıcı tarafından çarpılarak çıkış birimden  $f_d$  frekansı verilir.



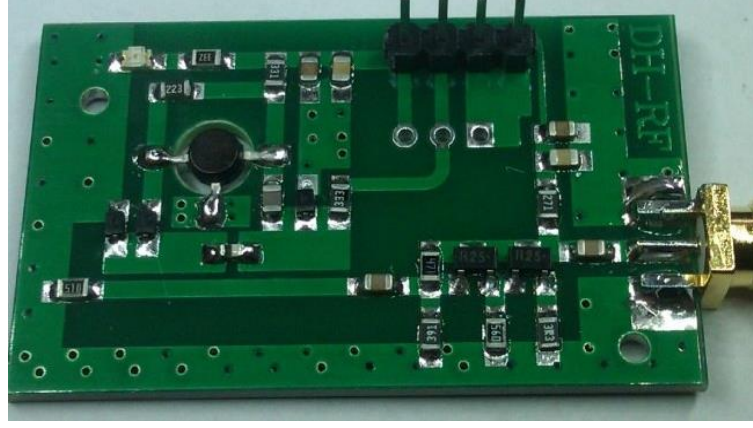
Şekil 2.10 Karıştırıcı diyagramı [13]

### 2.1.3.5.2 Gerilim Kontrollü Osilatör

Ürettiği işaretin frekansı üzerine uygulanan DC gerilim ile değişen devre yapılarıdır. Sinüzoidal ya da sinüzoidal olmayan işaretler üretebilirler. Devrenin çıkış işareti şu formülizasyon ile ifade edilebilir:

$$f_{\text{çıkış}} = G_0 \cdot V_{\text{giris}}(t) \quad (2.5)$$

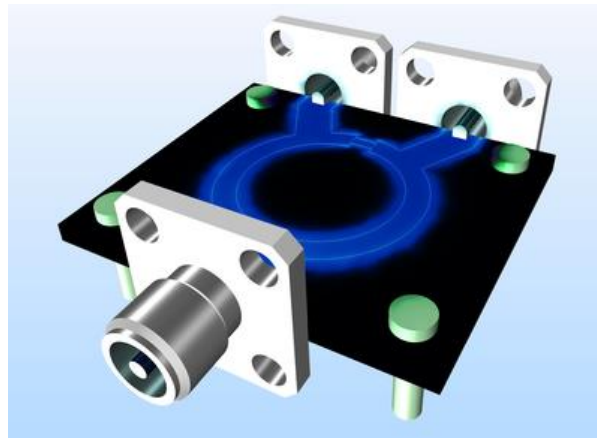
Burada  $G_0$  osilatör kazancını ifade etmektedir. Gerilim kontrollü osilatör tasarımında dikkat edilmesi gereken önemli parametreler vardır. Bunlar; frekans (Hz), çıkış sinyalinin gücü (dBm), osilatörün gürültü oranı (dBc/Hz) bunlardan bazılarıdır. Tasarımda kullanılan yarıiletken malzemelerin değerleri de tasarım için oldukça önemlidir [14].



Şekil 2.11 RF VCO [15]

#### 2.1.3.5.3 Wilkinson Güç Bölücü

Güç bölücüler adından da anlaşılacağı üzere RF ve mikrodakga bölgelerinde girişe uygulanan işareti aynı faz ve genlikte ikiye ayıran ve çıkışlara veren devrelerdir. Aynı zamanda tersinir özellik de gösterirler yani güç bölücü olduğu gib güç birleştirici olarak da çalışabilirler. Sürekli dalga radarlarında işaretin ikiye ayrılması yeterlidir fakat farklı projeler için tasarlanan ve ikiden fazla çıkışa ayırma yapabilen güç bölücüler de mevcuttur. Şekil 2.12’de 400 – 430 MHz frekans aralığında çalışan örnek bir Wilkinson güç bölücü yapısı bulunmaktadır.

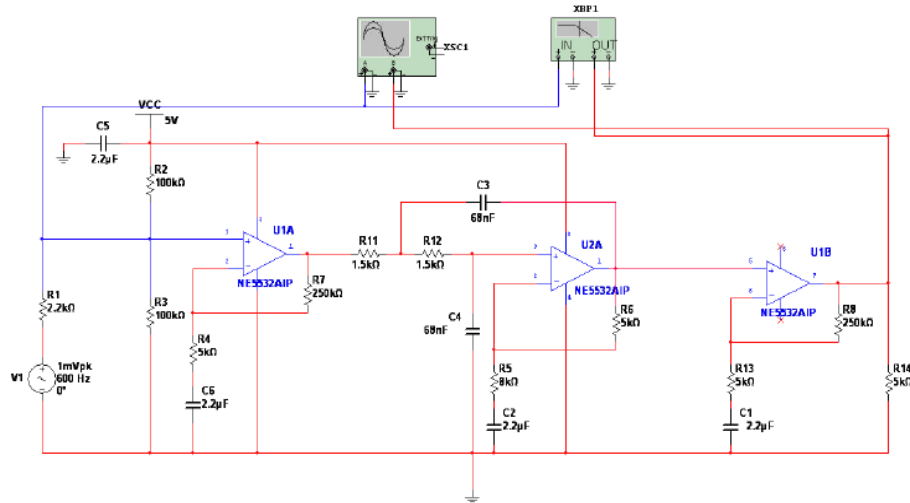


Şekil 2.12 Wilkinson bölücü [16]



#### 2.1.3.5.4 Kuvvetlendirici

Kuvvetlendirici devreleri girişe uygulanan işareti yüksek oranda kuvvetlendirerek çıkışa verirler. Bu işlem sonucunda sinyalin frekansında bir değişme olmadan genliği değişime uğrar. Radar devrelerinin çıkışları genellikle düşük genlik seviyesinde olurlar ve bu çıkış işaretlerinin görünür seviyelere yani lojik seviyelere çıkarılması için de kuvvetlendirici devreleri kullanılır. Fakat devrenin çıkışını doğrudan kuvvetlendirmek doğru olmayacağından öncelikli olarak bir alçak geçiren filtre kullanılır. Bunun sebebi ise karıştırıcı biriminden çıkan işaretlerden istenmeyen kısımların elenmesi gerekliliğidir. Girişine  $f$  ve  $f+f_d$  şeklinde iki giriş gelen karıştırıcı devresi çıkış olarak  $f+(f+f_d)$  ve  $f-(f+f_d)$  frekanslarını verecektir. Sadece bize lazım olan doppler frekansını elde edebilmek için alçak geçiren filtreler kullanılır. Bu işlem sonucunda elde edilen frekans artık kuvvetlendirilmeye uygun biçimdedir ve lojik seviyelerde işleneceği için o seviyelere çıkarılmalıdır. Bu kuvvetlendirici devreleri genelde opamp, direnç ve kapasitörlerden oluşurlar. Kuvvetlendiriciler için kesim frekansı ve kazanç parametreleri en önemli faktörlerdir. Kuvvetlendiricinin kazancı çıkış geriliminin giriş gerilimine oranı şeklinde ifade edilebilir. Kesim frekansı değerleri ise alt ve üst kesim frekansları olmak üzere iki tanedir. Bu kesim frekansları kuvvetlendirici devresinin çalışma aralığını belirler. Bu belirlenen frekans aralığının dışındaki bölgelerde kazanç daha düşük olacaktır [17].



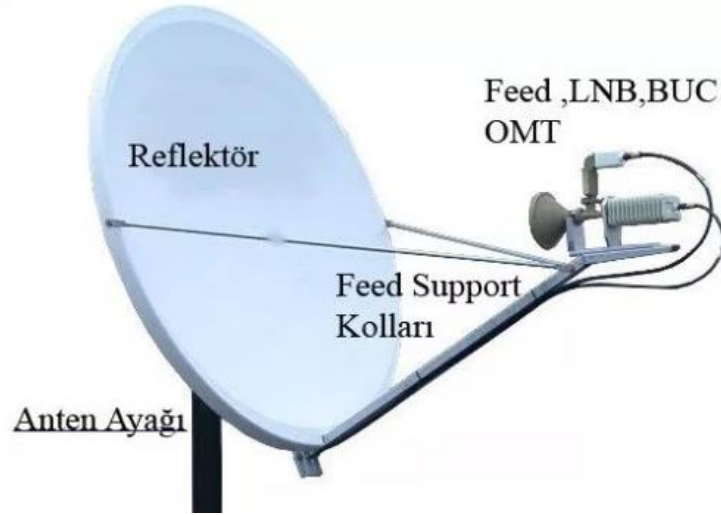
Şekil 2.13 Kuvvetlendirici devreci

Şekil 2.13'te opamplar, kapasitörler ve dirençlerden oluşan bir kuvvetlendirici ve alçak geçiren filtre devresi görülmektedir. Bu kuvvetlendirici devresi giriş işaretinin genliğini yaklaşık 3000 kat kuvvetlendirmektedir ve istenilen lojik seviyelere çıkarmaktadır.

### 2.1.3.5.5 Antenler

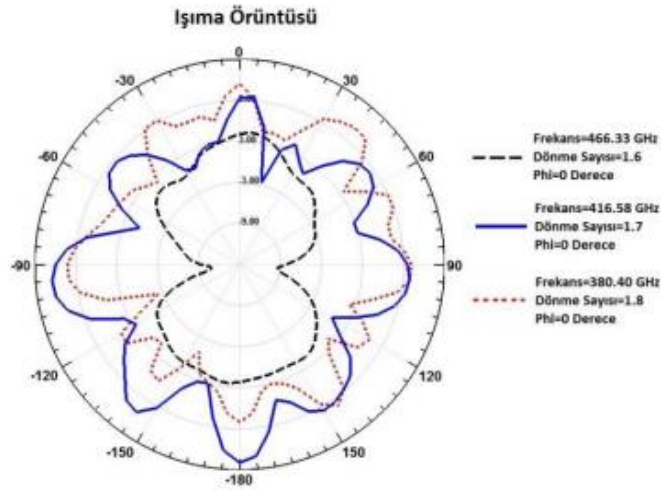
Antenler boşluğu elektromanyetik dalga yaymak ya da yayılan elektromanyetik dalgaları toplamak amacıyla kullanılırlar. Elektromanyetik dalga yayan antenlere verici anten, yayılan elektromanyetik dalgaları toplayan antenlere ise alıcı anten denir. Bir anten eğer kullanılacağı sistem buna uygun ise hem alıcı hem verici görevi de görebilir. Sürekli dalga radarlarında alıcı ve verici olmak üzere iki çeşit anten kullanılır. Verici anten osilatörün ürettiği işaretleri iletim hattı vasıtasıyla güç bölücünden alarak yayar. Yayılan elektromanyetik dalgalar nesneye çarpıp döndükten sonra alıcı antenler vasıtasıyla toplanıp iletim hattı boyunca karıştırıcı devresine iletilirler. Bu tarz sistemlerde gönderilen ve alınan sinyaller sürekli olduğu için tek anten kullanımında sinyaller karışacaktır. Bu yüzden sürekli dalga radarlarında çift anten kullanılır. Eğer ki gönderilen dalgalar sürekli olmasaydı verici anten dalgayı gönderdikten sonra alıcı görevi de görebilirdi. Anten tasarımında dikkat edilmesi gereken önemli parametreler vardır. Bunlar başlıca:

- Işıma örüntüsü
- Etkin yüzeyi
- Giriş empedansı
- Işıma direnci
- Anten yönlendirmesi
- Kazanç
- Kutuplanma
- Band genişliği şeklindedir.



Şekil 2.14 Örnek anten [18]

Işıma örüntüsü antenin yaydığı elektromanyetik alan şiddetinin, antenin belirli uzaklıklarında uğradığı değişimi gösteren bir grafikdir. Şekil 2.15'te ışıma örüntüsünün bir örneği görülmektedir.



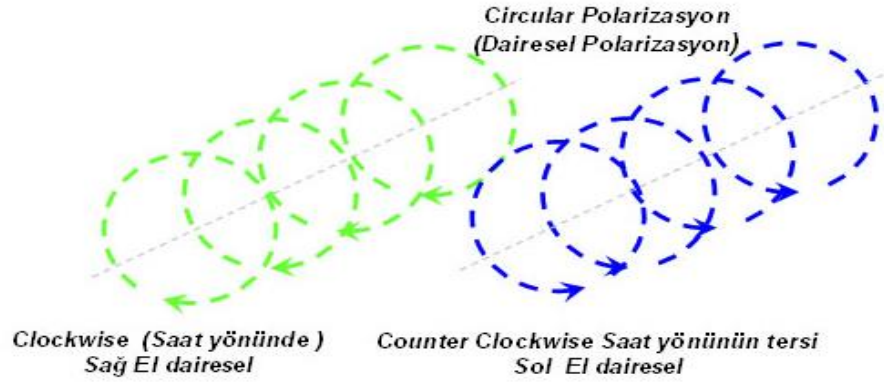
Şekil 2.15 Işıma paterni [19]

Anten gücü ve etkin yüzeyi antenin kullanılacağı amaca göre farklılık göstermektedir. Eğer anten uzak bir mesafeye yayın yapacak ve oradan dönen sinyalleri toplayacaksa gücü yüksek olmalı ve gidiş geliş süresince gönderilen işaretler gürültü faktörleri tarafından gücü azaltılacağından alıcı antenin etkin yüzeyi geniş olmalıdır. Bir antenin giriş empedansı antenin besleme uçlarındaki gerilimin akıma oranıdır. Antenlerin en üst seviyede yayın yapabilmesi ya da sinyalleri toplayabilmesi için iletim hattı empedansı ile antenin giriş empedansının birbirinin konjügesi olması gerekmektedir. Bu parametre çok

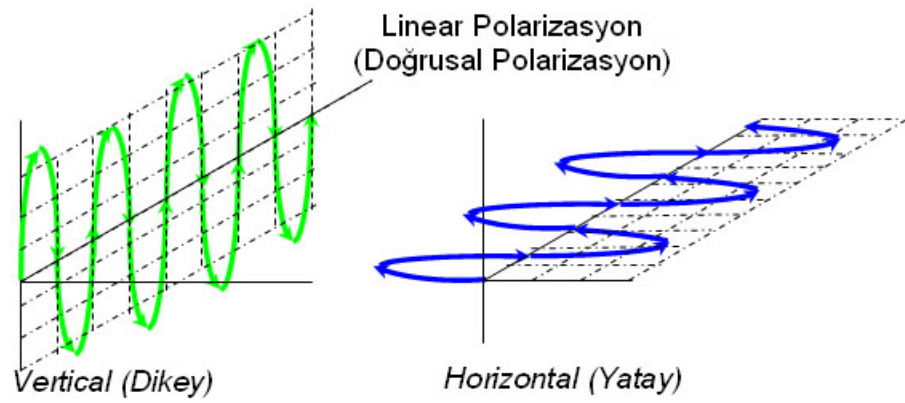
önemli olduğundan iletim hattının karakteristik empedansı anten giriş empedansına uygun olarak seçilir buna empedans eşleştirme denir. Işıma direnci ise anten üzerinden akan akım ile ışımasını birbirine bağlayan gerçek olmayan bir dirençtir ve bulunan ortama göre, anten malzemesine göre değişiklik gösterir. Bir diğer önemli anten parametresi ise antenin yönlülüğüdür. Noktasal antenler her yöne eşit oranda ışıma yaparlar fakat yönlü antenler belirlenen yöne daha yüksek oranda güç aktarırlar bu yüzden bu tip antenlerde anten yönlülüğü önemli bir etkidir. Anten yönlülüğü antenin maximum ışıma yaptığı yöndeki güç yoğunluğunun aynı güce sahip bir izotropik antenin o uzaklıkta oluşturduğu güç yoğunluğuna oranına denir. Antenin band genişliği ise antenin bu önemli parametrelerinin optimum seviyede olduğu frekans aralığıdır. Bir antenin kazancı verimliliği ile yönlülüğünün çarpımı şeklinde ifade edilir. Birimi ise dB'dir. Anten kazancının yüksek olması antenen uygulanan gücün çıkışa artırılarak verildiği anlamına gelmez. Anten çıkış gücünün belirli bir yöne doğru yönlendirildiğini belirtir. Yani ışıma gücü bazı yönlerde azaltılıp belirli bir yönde artırılmıştır.

Antenin kutuplanması, antenin yaydığı elektrik alanı vektörünün tipine göre isimlendirilir ve üç farklı anten kutuplanması türü vardır:

- **Doğrusal kutuplanma:** Elektrik alanı yatay ise yatay kutuplanma, dikey ise dikey kutuplanma
- **Dairesel kutuplanma:** Elektrik alanının vektörünün dairesel dönüş yönüne ve elektromanyetik dalganın gidiş yönüne göre sağ el ya da sol el kutuplanma olarak adlandırılır. Başparmak, hareket halindeki dalga yönünü, diğer parmaklar elektrik alanı vektörünün dönme yönünü gösterir.
- **Eliptik kutuplanma:** Elektrik alanı vektörünün elips çizerek döndüğü yöne ve elektromanyetik dalganın gidiş yönüne göre sağ el ya da sol el kutuplanma olarak adlandırılır.



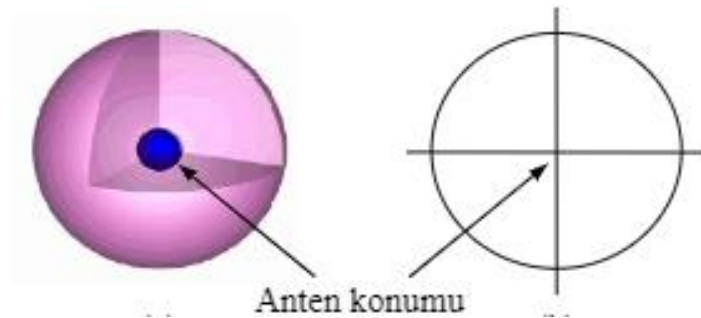
Şekil 2.16 Dairesel polarizasyon [20]



Şekil 2.17 Doğrusal polarizasyon [21]

#### 2.1.3.5.1 İzotropik Antenler

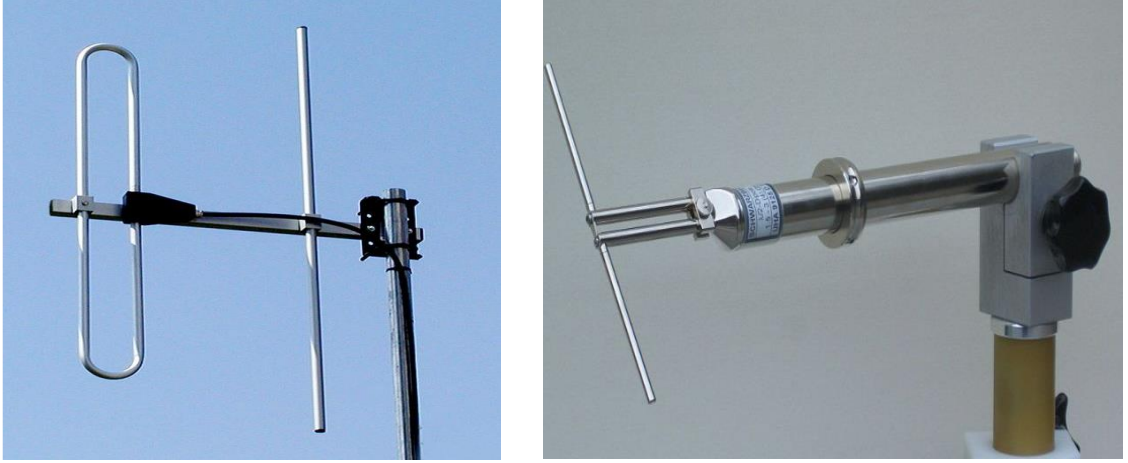
İzotropik antenler teorik bir nokta olarak düşünürler. Bu teorik nokta her tarafa eşit güçte ışıma yapar ve kazancı 1'dir. Şekil 2.18'de izotropik antenin 2 ve 3 boyutlu gösteri yer almaktadır [22].



Şekil 2.18 İzotropik anten [23]

#### 2.1.3.5.5.2 Çok Yönlü Antenler

Çok yönlü antenler monopol antenler, yarım dalga dipol antenleri, katlanmış dipol antenleri olmak üzere üç bölümde incelenirler. Monopol antenler çeyrek dalga boyunda düz bir metal çubuktan oluşurlar. En bilindik örneği ise radyolarda kullanılan çubuk biçimindeki antenlerdir. Yarım dalga antenler ise iki monopol antenden oluşan yarım dalga boyundaki antenlerdir. Yarım dalga dipol antenlerin uçlarının katlanması ile de katlanmış dipol antenler oluşturulur bunlar da yarım dalga boyu boyutundadır.

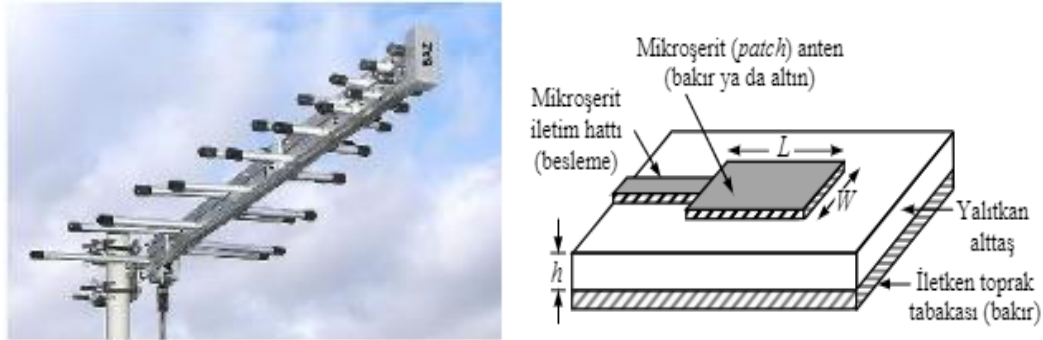


Şekil 2.19 Katlanmış dipol anten ve yarım dalga anten [24]

#### 2.1.3.5.5.3 Yönlü Antenler

Hüzme antenler olarak da adlandırılırlar. Verici türleri çok güçlü yayın yapabilen alıcı türleri ise çok iyi sinyal toplayabilen anten türleridir. Yönlendirildikleri yerde kazançları yüksek diğer yerlerde ise oldukça düşüktür. Bu sayede istenmeyen gürültü ve yayınlar engellenmiş olur. Yönlü antenlerin farklı çeşitleri bulunur. Bunlar; yagi-uda antenleri, çanak antenler, periyodik antenler, rombik antenler, mikroşerit antenlerdir. Yagi antenleri VHF ve UHF bandlarında televizyon yayınlarının alınmasında kullanılırlar. Yagi antenleri bir katlanmış dipol, bir yansıtıcı eleman ve birden fazla yönlendirici elemandan oluşurlar. Çanak antenler ise parabolik yansıtıcı bir yüzeye sahip çanak şeklindeki yapılardır. Uzay araştırmalarında, karasal yayınlarda kullanılırlar. Bir eksen üzerinde belirli aralıklarla (frekansın logaritmik fonksiyonu) sıralanmış çok sayıda dipolden oluşan antenlere periyodik antenler denir. Dar hüzmeli ve geniş bantlı antenlerdir. Rombik antenler de eşkenar dörtgen şeklinde telden yapılmış yönlü antenlerdir. Mikroşerit

antenler yalıtkan bir malzeme üzerine bakır, altın gibi iletken malzemelerin işlenmesi ile oluşturulur. Yakın mesafe algılamalarında kullanılırlar [25].



Şekil 2.20 Mikroşerit anten yapısı ve periyodik anten yapısı [26]

Sürekli dalga radarı yapımında kullanılan horn antenler de bir çeşit yönlü antenlerdir. Koni veya piramit biçiminde üretilip dalga kılavuzu ile beslenirler. UHF bandında 300 MHz'in üzerindeki mikrodalga uygulamalarında kullanılırlar. Şekil 2.21'de bir örneği görülmektedir.



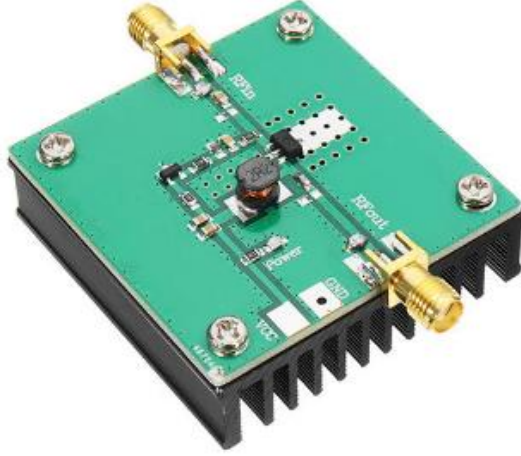
Şekil 2.21 Horn anten [27]

#### 2.1.3.5.6 Güç Kuvvetlendirici

Güç amplifikatörleri kablosuz iletişim, TV yayınları ve radar başta olmak üzere birçok uygulamada kullanılmaktadır. Güç kuvvetlendiricilerinin temel görevi girişine uygulanan sinyali güçlendirmektir. Çok düşük frekanslardan mikrodalga frekanslarına uzanan geniş bir yelpazede tasarım yapılabilir. Uygulamalara bağlı olarak çıkış güçleri birkaç mW seviyesinden MW seviyelerine kadar değişebilmektedir. Güç amplifikatörlerini tanımlayan en önemli parametreler şöyle sıralanabilir:

- Kazanç
- Verimlilik
- Kararlılık
- Çıkış gücü
- Doğrusallık

Güç amplifikatörleri genel olarak A, AB, B, C ve E sınıfı olarak çeşitli sınıflarda tasarlanabilmektedir. Bunların arasında A sınıfı kuvvetlendiriciler en yüksek doğrusallığa sahipken, aynı zamanda en düşük verimliliğe sahiptir. C sınıfı kuvvetlendiriciler ise A sınıfının tersine en yüksek verimlilik ve en düşük doğrusallık değerlerine sahiptir. Bir güç amplifikatöründe sistemden dışarıya iletilen gücün toplam kullanılan güce oranı verim değerini verirken, yüke aktarılan gücün kaynaktan elde edilen güce oranı ise kazanç değerini vermektedir. Faydalı sinyale dönüştürülemeyen güç devreden ısı olarak açığa çıkmaktadır. Dolayısıyla düşük verime sahip güç amplifikatörleri ortama yüksek değerde ısı yaymaktadır. Bu da tasarımda sınırlayıcı faktörler arasında bulunmaktadır [28].



Şekil 2.22 Güç kuvvetlendirici [29]

#### 2.1.3.5.7 Düşük Gürültülü Kuvvetlendirici (LNA)

Low noise amplifier (LNA); radarlar, radyo ve diğer sinyal alıcılar, kablosuz uygulamalar olmak üzere geniş bir alanda kullanılmaktadır. LNA Türkçeye düşük gürültülü kuvvetlendirici olarak çevrilmektedir. Adından da anlaşılacağı üzere girişine uygulanan sinyali gürültü eklemeyen kuvvetlendirmektedir. Radar uygulamalarında alıcı antenin



çıkışına bağlanmakta olup, alıcı antenden gelen çok düşük genlikli sinyali gürültü eklemekten kuvvetlendirme görevi görmektedir. Uygulamalara bağlı olarak çok farklı frekanslarda tasarımı yapılabilmektedir.



Şekil 2.23 Düşük gürültülü kuvvetlendirici [30]

#### 2.1.4 HB100 Doppler Radar Modülü

HB100 bir X-Band bistatik alıcı-verici radar modülüdür. Yerleşik dielektrik rezonatör osilatörü (DRO) ve bir çift mikroşerit anten dizisine sahiptir. Bu sayede hareket algılama ekipmanlarında kullanım için idealdir. Standart çalışma frekansı 10.525 GHz'dir. Modülün en önemli özellikleri şunlardır:

- Temassız algılayabilme yeteneği
- Hava, ışık, toz ve nemden etkilenmeme
- Düşük çıkış gücü
- 20 metre algılama mesafesi
- Sürekli dalga veya darbe üretici olarak iki farklı modda çalışabilme yeteneği
- Düşük güç tüketimi (yaklaşık 30 mA)

Önerilen tüm çalışma modlarında modülün RF güç çıkışı çok düşüktür, bu sayede insan vücudunda çalışması herhangi bir güvenlik tehlikesi oluşturmaz. Sürekli dalga modunda toplam çıkış gücü 15 mW'dan azdır. Çıkış gücü yoğunluğu 1 mW/cm<sup>2</sup>'dir. Darbe modunda iken güç yoğunluğu 50 µW/cm<sup>2</sup> seviyesine geriler. Etkin algılama alanında bir nesne modül anten yüzeyinin hızına göre 1 m/s hızda hareket ettiğinde (anten yüzeyi

için kalkanın alüminyum olmayan tarafı) HB100 IF çıkışı 72 Hz/s'dir ve nesnenin IF çıkış frekansı radyal hıza göre doğrusal bir ilişkidir. HB100 Doppler etkisi prensibine bağlı olarak tasarlanmış bir radar modülüdür. Kaynak osilatörün ürettiği frekans ile yansıyan sinyalin frekansını karıştırıcı devresine sokarak Doppler frekansını elde eder ve bu düşük genlikli sinyali çıkışa verir [31].



Şekil 2.24 HB100 radar modülü [32]

#### 2.1.4.1 Doppler Etkisi

Doppler etkisi mekanik ve elektromanyetik dalgalar çerçevesinde kaynak-gözlemci arasındaki ilişkiyi temel alarak açıklamaya çalışan bir disiplindir. İsmi 1942 yılında Avustralyalı fizikçi Christian Doppler'den almıştır. Ayrıca 1948 yılında Fransız fizikçi Hippolyte Fizeau Doppler etkisini elektromanyetik dalgalar üzerinde incelemiş ve denemiştir. Doppler etkisi, dalgaların kaynağına göre hareket eden bir gözlemcinin gözlemlenen frekansı ve yayılan frekansı arasındaki farktır. En yaygın görülen Doppler etkisi örneği, sirenli bir araç yaklaştığında ve uzaklaştığında duyulan sesin frekansındaki değişimdir. Frekanstaki bu değişiklik, kaynak ile gözlemci arasındaki dalga'nın göreceli yönüne ve hızına bağlıdır. Kaynak doğrudan gözlemciye doğru hareket ederken hareketin yönü ile dalgaların yönü arasındaki artan açıyla birlikte, maksimum bir değişiklik söz konusudur. Kaynak gözlemciye sabit açılarla hareket ediyorsa değişim yoktur. Sabit bir kaynak, belirli bir frekansı hareketli bir nesneye doğru yönlendirdiğinde, yansıyan dalga'nın frekansı değişir. Yansıyan dalga, nesne kaynağa doğru hareket ederse biraz daha yüksek iken nesne kaynağa göre uzaklaşıyorsa biraz daha düşüktür. Yayılan dalga ile yansıyan dalga arasındaki frekans değişimi nesnenin hızını belirleyen faktördür.

Bu olay, araçların hızını veya başka bir nesneyi ölçmek için Doppler radar sensörlerinde kullanılabilir. Sabit bir gözlemciye göre  $v$  hızı ile hareket eden bir nesnenin Doppler kayması frekansı aşağıdaki formül ile hesaplanır:

$$f' = f_0 \left( \frac{1}{1 + \frac{v}{c_0}} \right) \quad (2.6)$$

Bu formülde  $f_0$  kaynak frekansı iken  $c_0$  dalganın sabit bir ortamdaki hızıdır. Bu mantıkla benzer bir şekilde Doppler kaymasının dalga boyu üzerinden formülize edilmiş hali ise şöyledir.

$$\lambda' = \lambda_0 \left( \frac{1}{1 + \frac{v}{c_0}} \right) \quad (2.7)$$

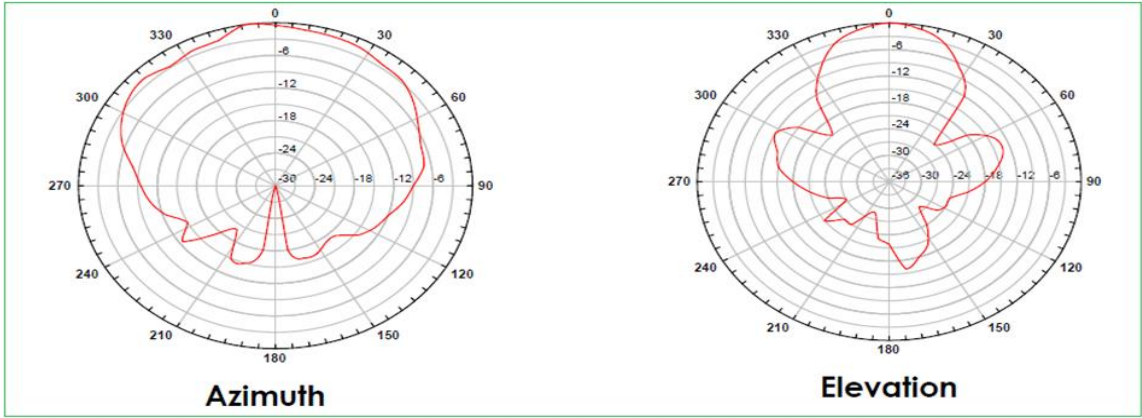
Bu denklemde  $\lambda_0$  kaynağın dalga boyu iken  $c_0$  dalganın sabit bir ortamdaki hızıdır.

#### 2.1.4.2 HB100 Blok Diyagramı

HB100 radar modülü genel olarak iki çift bi-statik alıcı ve verici patch anten, dielektrik rezonans osilatör, mikrodalga mixer ve RF filtreden oluşmaktadır. Modülün iletim frekansı ve gücü fabrika tarafından belirlenmiştir. Bu cihazda kullanıcı tarafından ayarlanabilir herhangi bir bölüm yoktur. Devrede osilatör 10.525 GHz frekansında sinüzoidal dalga üretir. Osilatöre bağlanan ve verici görevi gören patch anten dalgayı hedefe doğru yayar. Yansıyan dalga devredeki alıcı görevi gören diğer patch anten tarafından alınır. Mikrodalga mixer, bu iki sinyali, ikisi arasındaki farkla eşit frekansta sinüzoidal bir dalga oluşturmak için karıştırır. Elde edilen ara frekans modülün IF çıkışından aktarılır. Bahsedilen devre elemanları ve bunların yerleşimi Şekil 2.25'te ayrıntılı bir şekilde gösterilmiştir. Ayrıca Şekil 2.26'da devrenin şematiği de bulunmaktadır.



### 2.1.4.3 HB100 Radyasyon Paterni

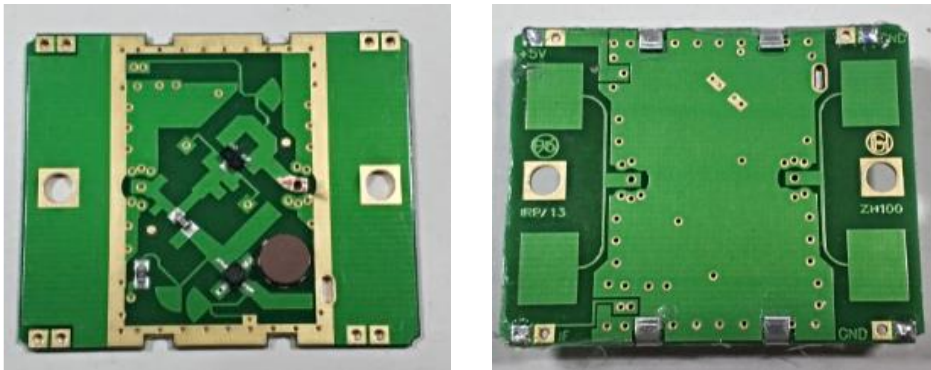


Şekil 2.27 Radyasyon paterni [35]

Şekil 2.27’de de görüldüğü üzere modül yatayda 60 dereceye kadar iyi performans gösterirken dikeyde 30 dereceden sonra performansı ciddi derecede düşmektedir.

### 2.1.4.4 HB100 IF Çıkış Katı

Doppler etkisiyle çalışan modülün çıkışı algılanan nesne ile birlikte frekanstaki değişim miktarını göstermektedir. Doppler kaymasının büyüklüğü iletilen enerjinin yansımasıyla orantılıdır ve bu büyüklük milivoltlar seviyesindedir. Yüksek kazançlı düşük frekanslı bir amplifikatör genellikle Doppler kaymasını işlenebilir bir seviyeye yükseltmek için IF terminaline bağlanır. Doppler kaymasının frekansı, hareket hızıyla orantılıdır. Alınan sinyal gücü, IF çıkışındaki Doppler kaymasının ölçülen voltajıdır. Modül kaynak ve hedef arasındaki mesafeyi tahmin etmek için de kullanılabilir. Kaynağa daha yakın hedefin oluşturacağı sinyal gücü doğal olarak daha fazladır. Fakat cisim yüzeyinin cinsine ve hedefin yansıma katsayısına bağlı olarak bu büyüklük büyük ölçüde değişebilir.



Şekil 2.28 HB100 iç kısmı ve HB100 ön tarafı görünümü

## 2.2 Görüntü İşleme

Görüntü, gerçek yaşamdaki üç boyutlu nesnelerden oluşan bir sahnenin basit iki değişkenli bir fonksiyon olarak tanımlanmasıdır.

1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	0	0	0	1	1	0	0	0	1
1	1	0	1	1	1	1	0	1	1
1	1	0	1	1	1	1	0	1	1
1	1	0	1	1	1	1	0	1	1
1	1	0	0	0	0	0	0	1	1
1	1	0	1	1	1	1	0	1	1
1	1	0	1	1	1	1	0	1	1
1	1	0	1	1	1	1	0	1	1
1	0	0	0	1	1	0	0	0	1
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Şekil 2.29 Sayısal Görüntü [36]

Görüntü işleme ise sayısal bir resmin bilgisayar yardımıyla girdi olarak alınıp analiz edilip işlenerek yeni, kullanılabilir, yararlı sayısal verileri çıktı olarak verilmesidir. Çıkarılan yeni veriler resim, yazı gibi farklı içerikte veriler olabilir.



Şekil 2.30 Görüntü İşleme [36]

### 2.2.1 Kullanım Alanları

Görüntü işleme pek çok alanda kullanılır. Bu alanlardan bazıları şunlardır:

- Tıp: Kemik kırıklarının tespiti,
- Mühendislik: Hareketli Cisimlerin Analizi, Uzaktan algılama
- Endüstriyel Uygulamalar: Robotik uygulamalar
- Astronomi: Uydu fotoğrafları
- Güvenlik: Plaka tanıma sistemi, parmakizi tanıma
- Spor: Oyuncu takibi
- Bankacılık: Kâğıt para tanıma
- Belge İşleme: Karakter tanıma
- Sanat
- Coğrafya
- Ticaret
- Biyoloji
- Fizik

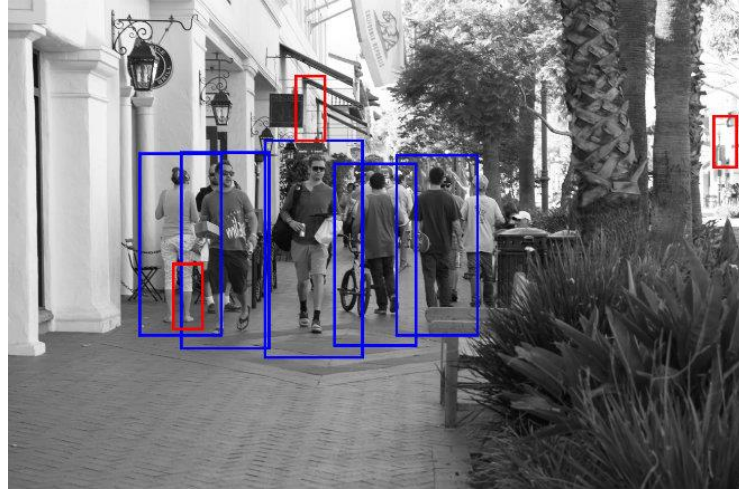
### 2.2.2 Python Programlama Dili

Python, Guido Van Rossum adlı Hollandalı bir programcı tarafından yazılmış bir programlama dilidir. Geliştirilmesine 1990 yılında başlanılan Python; C ve C++ gibi programlama dillerine kıyaslanırsa şöyle sonuçlar elde edebiliriz; daha kolay öğrenilir, program geliştirme sürecini kısaltır yani hızlı yazılır, diğer programlama dillerinin aksine ayrı bir derleyici ihtiyacı duymaz hem daha okunaklı hem daha temiz kodsall söz dizimine sahiptir. Python'un bu ve buna benzer özelliklerinden dolayı, dünya çapında ün sahibi büyük kuruluşlar (Google, Yahoo ve Dropbox gibi) bünyelerinde her zaman Python programcılarını ihtiyaç duyuyor. Mesela pek çok büyük şirketin Python bilen programcılara iş olanağı sunduğu, Python'un baş geliştiricisi Guido Van Rossum'un 2005 ile 2012 yılları arasında Google'de çalıştığını, 2012 yılının sonlarına doğru ise Dropbox

şirketine geçtiğini söylersek, bu programlama dilinin önemi ve geçerliliğini herhalde daha belirgin bir şekilde ortaya çıkaracaktır. Python dilinin, her ne kadar Python programlama dili ile ilgili çoğu görsel malzemenin üzerine yılan resmi olarak görsek de Python kelimesi aslında çoğu kişinin zannettiği aksine Piton anlamına gelmiyor. Python programlama dili ismini, Guido Van Rossum'un çok sevdiği Monty Python adlı altı kişilik bir İngiliz komedi grubun Monty Python's Flying Circus adlı gösterisinden gelmektedir [37].

### 2.2.3 OpenCV

OpenCV, ilk olarak 1999 yılında Intel'in Rusya'daki laboratuvarlarında geliştirilmeye başlanmış bir projedir. İlk zamanlarda, gerçek zamanlı ışın izleme ve 3D ekran duvarları da dâhil olmak üzere bir dizi projenin bir parçası olan CPU'lu uygulamaları geliştirmek, bilgisayar görme uygulamaları için ortak bir altyapı sağlayarak ve ticari ürünlerde makine algısının kullanımını hızlandırmak için oluşturulmuştur.



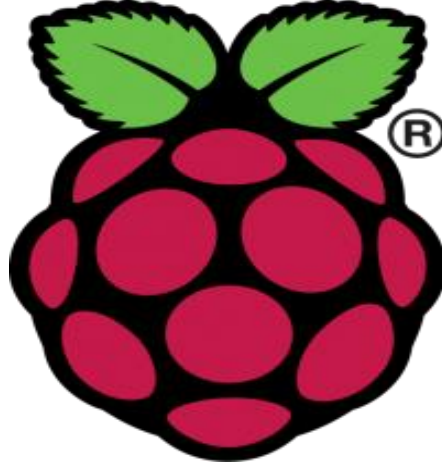
Şekil 2.31 OpenCV İle Görüntü İşleme Örneği [38]

OpenCV nin en büyük avantajlarından bir tanesi açık kodlu bir kütüphane olmasıdır. Bu özelliğinden dolayı algoritmaların üzerinde değişiklikler yapılarak geliştirilebilir. Ayrıca, BSD lisansı altında dağıtılmaktadır. BSD lisanslı bir ürün olan OpenCV, işletmelerin kodu kullanmasını ve değiştirmesini kolaylaştırır [39].



#### 2.2.4 Raspberry Pi

Raspberry Pi Birleşik Krallık'ta Raspberry Pi Vakfı tarafından okullarda bilgisayar bilimini öğretmek amacıyla geliştirilmiş kredi kartı büyüklüğünde tek kartlı bir bilgisayardır [40].



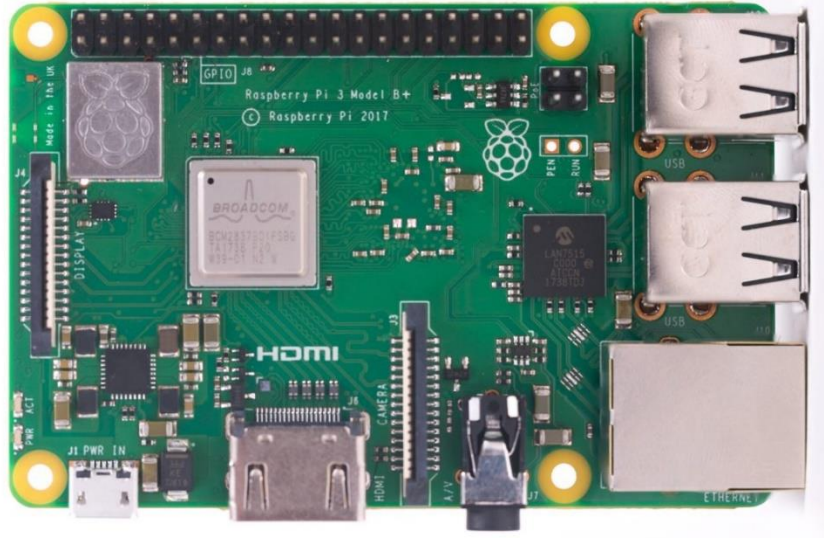
Şekil 2.32 Raspberry Pi Logo [40]

Raspberry Pi'de bir bilgisayar için gerekli olan işlemci, bellek, giriş-çıkış birimleri tek bir kart üzerindedir. Küçük yapısı sayesinde robotik projelerde, akıllı ev sistemlerinde, gömülü sistemlerde, kiosk'larda kolayca kullanılabilir. Ekran, fare, klavye gibi çevre birimleriyle birlikte masaüstü bilgisayar olarak da kullanılabilir. Raspberry Pi üzerinde genellikle Linux işletim sistemleri kullanılır. Windows 10 IoT Core isimli özel geliştirilmiş bir işletim sistemi de çalıştırabilmektedir.



Şekil 2.33 Raspbian [41]

Raspbian, Raspberry Pi için optimize edilmiş Debian'a dayalı, Raspberry Pi Vakfı tarafından resmi olarak geliştirilen bir işletim sistemidir. Bu işletim sistemi, Raspberry Pi'ı çalıştıran temel programlar ve yardımcı programlar kümesidir.



Şekil 2.34 Raspberry Pi 3 Model B+ [42]

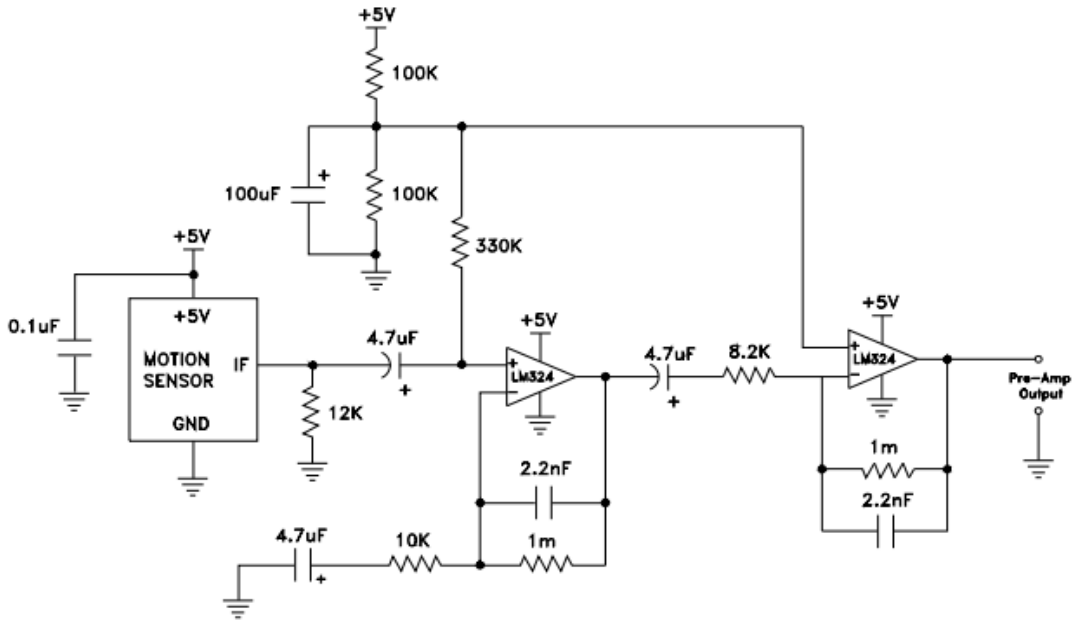
#### **Raspberry Pi 3 Model B+ Teknik Özellikleri:**

- Broadcom BCM2837B0, Cortex-A53 (ARMv8) 64-bit SoC @ 1.4GHz
- 1GB LPDDR2 SDRAM
- 2.4GHz ve 5GHz destekli IEEE 802.11.b/g/n/ac kablosuz ağ bağlantısı, Bluetooth 4.2, BLE destekli
- USB 2.0 üzerinden gigabit Ethernet (maksimum hız 300 Mbps)
- Geniştirilmiş 40-pin GPIO header bağlantısı
- HDMI çıkışı (tam boy)
- 4 adet USB 2.0 portu
- Kamera bağlantısı için CSI portu
- Ekran bağlantısı için DSI portu
- 4-uçlu 3.5mm stereo ses ve kompozit video çıkışı
- İşletim sistemi ve depolama için mikro SD kart yuvası
- 5V/2.5A DC güç girişi
- Power-over-Ethernet desteği (ayrı olarak satılan PoE HAT gerektirir) [43]

## RADAR MODÜLÜ KULLANIMI

## 3.1 Kuvvetlendirici Bağlantısı

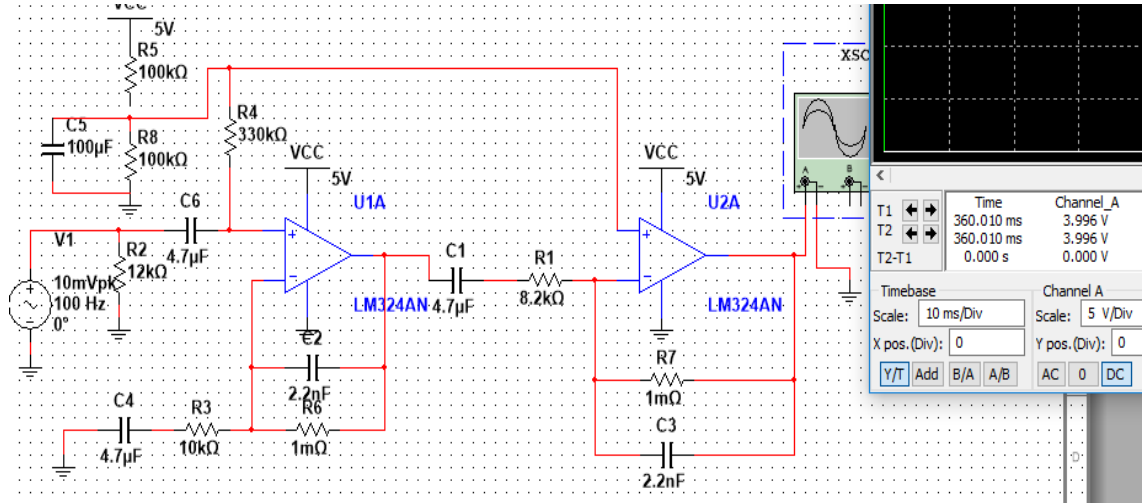
HB100 radar modülü tıpkı diğer RF tabanlı devreler gibi düşük gerilim seviyesinde çıkışlar üretmektedir ve bu yüzden çıkış sinyallerini osiloskop ekranında görüntülemek ya da mikrodenetleyicilerde işleyebilmek mümkün olmamaktadır. Bu çıkış sinyallerinin gerilimlerini lojik seviyelere çıkarmak için kuvvetlendirici devreler kullanılır. Kullandığımız kuvvetlendirici devresi Şekil 3. 1’de görülmektedir.



Şekil 3.1 Kuvvetlendirici devresi [44]

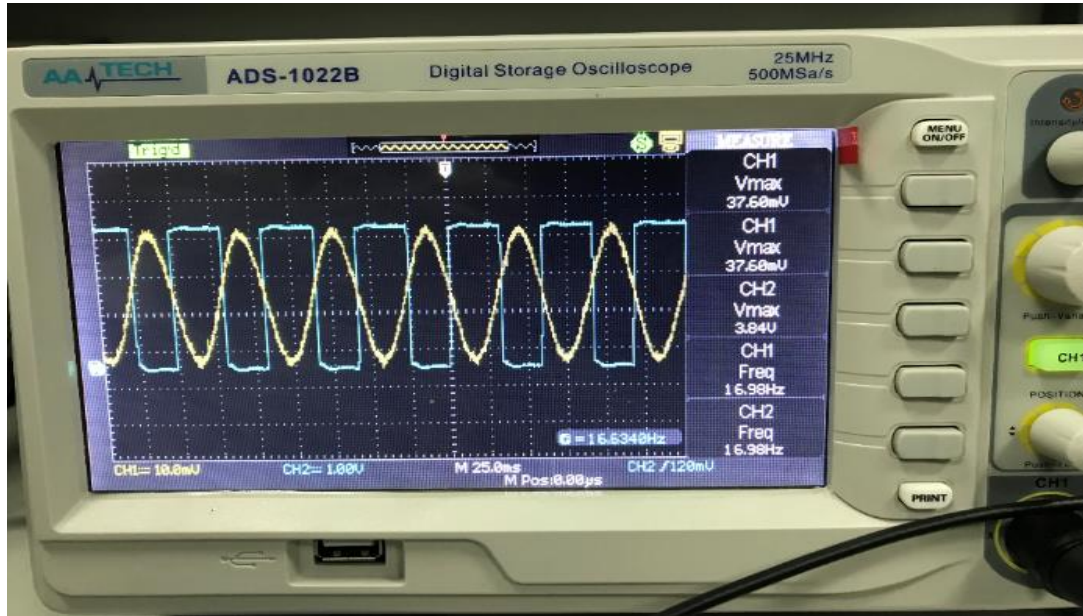
Tasarlanan kuvvetlendirici devresi iki adet LM324 opamp, çeşitli değerlerde kapasiteler ve direçlerden oluşmaktadır. Modülün IF çıkışı kuvvetlendirici devresinin girişine bağlanarak istenilen gerilim seviyesinde çıkışlar elde edilir.

### 3.1.1 Kuvvetlendirici Devre Analizi



Şekil 3.2 Kuvvetlendirici devresi multisim çizimi

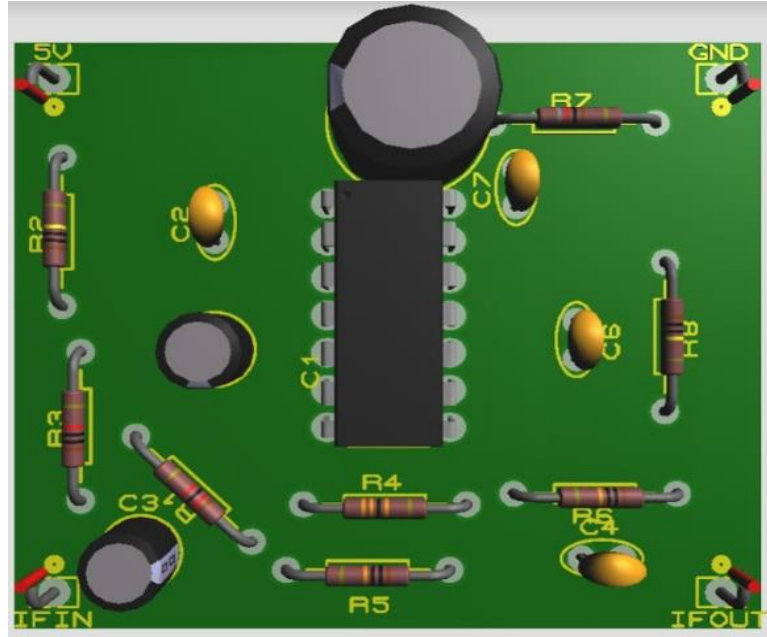
Girişine 10 mV 100 Hz değerinde bir sinyal uygulanan kuvvetlendirici devresinin çıkışı yaklaşık 400 kat kuvvetlendirerek 3.96 V seviyesine yükselttiği görülmektedir. Bu çıkış gerilimi HB100 ün ürettiği frekansları osiloskop ekranında gözlemlemek ve arduino da işleyebilmek için yeterli düzeydedir.



Şekil 3.3 Kuvvetlendiricinin osiloskop ekranı görüntüsü

Şekil 3.3'te ise ürettiğimiz kuvvetlendirici devresinin laboratuvarında yapılan testinin sonuç bilgisi görülmektedir. Girişine 37.6 mV gerilim uyguladığımızda devrenin 3.84 volt çıkış ürettiği kolaylıkla gözlemlenir. Giriş işareti yaklaşık 102 kat kuvvetlenmiştir.

### 3.1.2 Devre Bağlantıları



Şekil 3.4 Proteus çizimi

HB100 radar modülü ile kuvvetlendirici devresi bağlantıları besleme ve toprak bağlantıları örtüşecek şekilde tasarlandı. Bu yapının proteus programında çiziminin üç boyutlu görüntüsü Şekil 3.4’te görülmektedir. Bu devrenin PCB montajı yapılmış hali de Şekil 3.5’te verilmiştir.

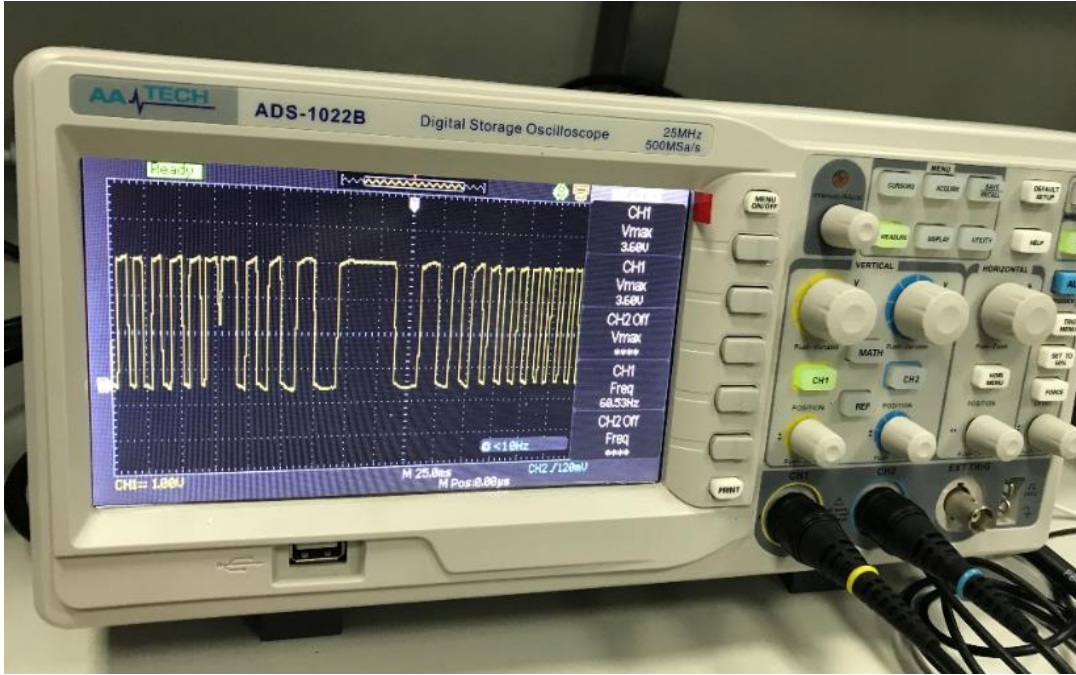


Şekil 3.5 PCB Montajlı Kuvvetlendirici



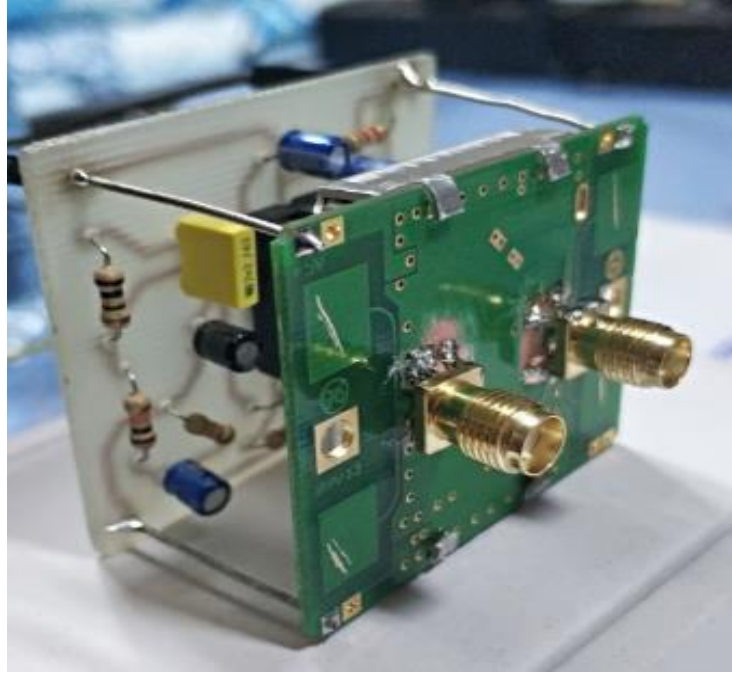
### 3.1.3 HB100 Test Sonuçları

Laboratuvarda yapılan testlerde HB100 radar modülünün kısa mesafelerde makul tepkiler verdiği gözlemlenildi. Bu testlerde modülün 150 Hz dolaylarında frekans çıkışları ürettiği kayıt edildi. Şekil 3.6'da bu değerlerin bir örneği bulunmaktadır. Üretilen frekans değerleri laboratuvar koşulları için normal ve başarılı bulunsada projede beklenen frekans çıkışlarını üretememekte yani uzun mesafede daha hızlı olan cisimleri algılayamamaktadır.



Şekil 3.6 Test sonuçları

Başka bir deyişle yapılan testler sonucunda HB100 radar modülü projenin minimum çıktılarını sağlamak hususunda yeterli bulunmadı. Araştırmalar sonucunda radarın mikroşerit antenlerinin yüksek hız ölçümü için yetersiz olduğuna karar verildi ve antenin bu kısımlarının geliştirilmesi gerekliliği vurgulandı. Patch antenler düşük güçle yayın yaptıklarından devreyle bağlantıları koparılıp yerlerine alıcı ve verici olarak iki farklı horn anten kullanıldı. Devrenin karıştırıcı çıkışı verici antene iletilmeden önce güç kuvvetlendirici ile kuvvetlendirildi. Yansıyan dalgalar da alıcı anten tarafından toplanıp önce düşük gürültülü kuvvetlendirici yardımıyla kuvvetlendirilip ardından çıkış birimine iletilti. Şekil 3.7'de mikroşerit antenler yerine devreye bağlanan konnektörler gösterilmektedir.



Şekil 3.7 Konnektör

### 3.2 Güç Kuvvetlendirici

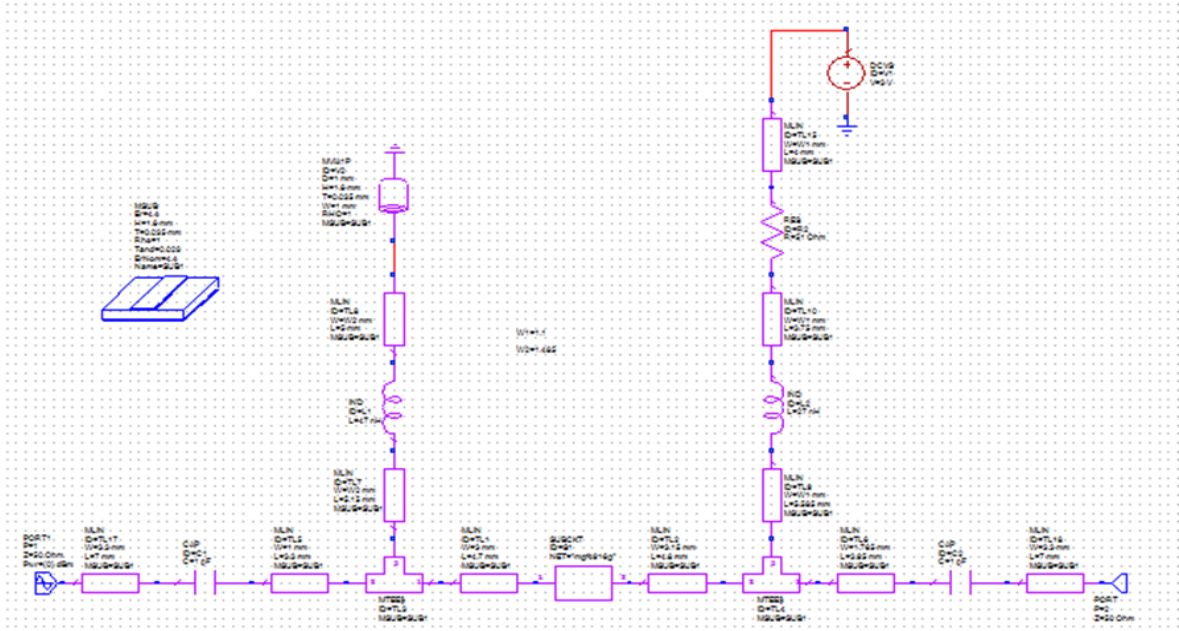
Güç amplifikatörleri kablosuz iletişim, TV yayınları ve radar başta olmak üzere birçok uygulamada kullanılmaktadır. Güç kuvvetlendiricilerinin temel görevi girişine uygulanan sinyali güçlendirmektir. Çok düşük frekanslardan mikrodalga frekanslarına uzanan geniş bir yelpazede tasarım yapılabilir. Uygulamalara bağlı olarak çıkış güçleri birkaç mW seviyesinden MW seviyelerine kadar değişebilmektedir. Güç amplifikatörlerini tanımlayan en önemli parametreler şöyle sıralanabilir:

- Kazanç
- Verimlilik
- Kararlılık
- Çıkış gücü
- Doğrusallık

Güç amplifikatörleri genel olarak A, AB, B, C ve E sınıfı olarak çeşitli sınıflarda tasarlanabilmektedir. Bunların arasında A sınıfı kuvvetlendiriciler en yüksek doğrusallığa sahipken, aynı zamanda en düşük verimliliğe sahiptir. C sınıfı kuvvetlendiriciler ise A sınıfının tersine en yüksek verimlilik ve en düşük doğrusallık değerlerine sahiptir. Bir güç

amplifikatöründe sistemden dışarıya iletilen gücün toplam kullanılan güce oranı verim değerini verirken, yüke aktarılan gücün kaynaktan elde edilen güce oranı ise kazanç değerini vermektedir. Faydalı sinyale dönüştürülemeyen güç devreden ısı olarak açığa çıkmaktadır. Dolayısıyla düşük verime sahip güç amplifikatörleri ortama yüksek değerde ısı yaymaktadır. Bu da tasarımda sınırlayıcı faktörler arasında bulunmaktadır.

### 3.2.1 Güç Kuvvetlendirici Tasarımı



Şekil 3.8 Güç kuvvetlendirici devresi şematığı

Tasarımda mgf4916g isimli çok düşük gürültülü bir FET transistör kullanılmıştır. Yapı FR-4 tipi malzeme üzerine inşa edilmiştir. İlk olarak transistörün giriş ve çıkış eşleme devreleri çizilmiştir. Transistörün giriş ve çıkış eşlemelerinde microstrip hatlar kullanılmıştır. Devrede giriş ve çıkış portlarının önüne portlara DC akım geçişini engellemek için kapasitör koyulmuştur. Devrede bulunan bobinler RF choke elemanı olarak kullanılmaktadır. Bu elemanlar devrede bulunan DC güç ile RF sinyallerinin birbirlerine karışmasını engelleme görevi görmektedir. Devrede bulunan direnç ise gerilim ve akım bölücü olarak kullanılmaktadır. FET çalışma mantığı gereği transistörün  $V_{DS}$  için pozitif besleme kullanılırken,  $V_{GS}$  ise ya negatif ya da 0 V gerilim uygulanmalıdır. Bu uygulamada  $V_{GS}$  gerilimi 0 V olarak ayarlanmıştır.

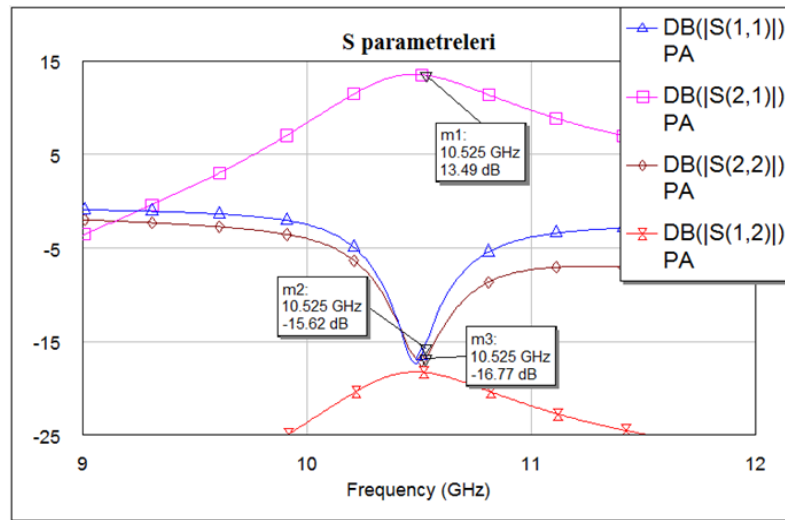


### 3.2.2 Güç Kuvvetlendirici Devre Analizi

Power amplifier devresi 10.525 GHz çalışma frekansı için tasarlanmış olup devrenin genel özellikleri Çizelge 3.1’de gösterilmiştir. Devre çalışma bölgesinde 13.49 dB kazançla sahip olup iyi bir verimliğe sahiptir. Düşük güç tüketimine sahip olan devre çok küçük bir boyuta sahip olacak şekilde tasarlanmıştır.

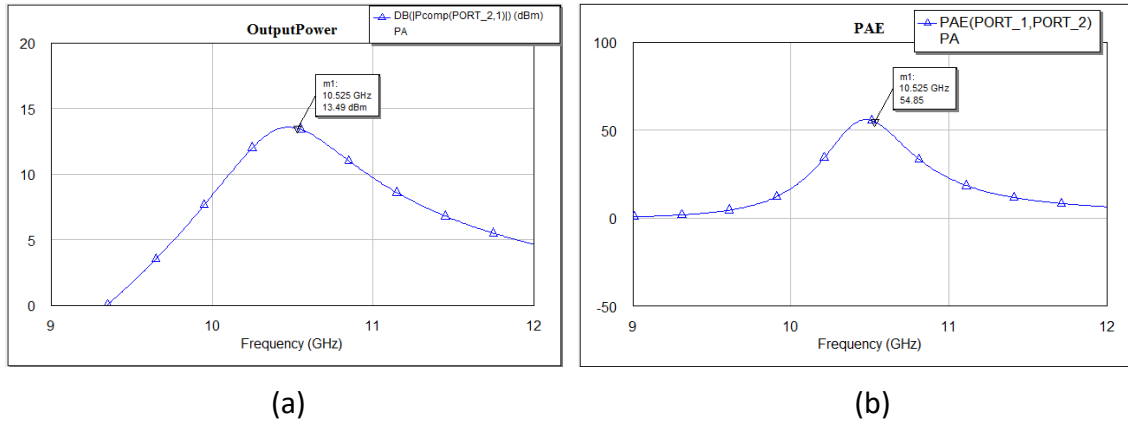
Çizelge 3.1 PA devresinin çalışma değerleri ve performansı

VCC	3V
Transistör	mgf4916g
S11	-15.62 dB
S22	-16.77 dB
Çalışma frekansı	10.525 GHz
Kazanç	13.49 dB
PAE(0 dbm giriş gücünde)	%54.85
Güç tüketimi	38.97 mW
Devre boyutu	20 x 38 mm <sup>2</sup>



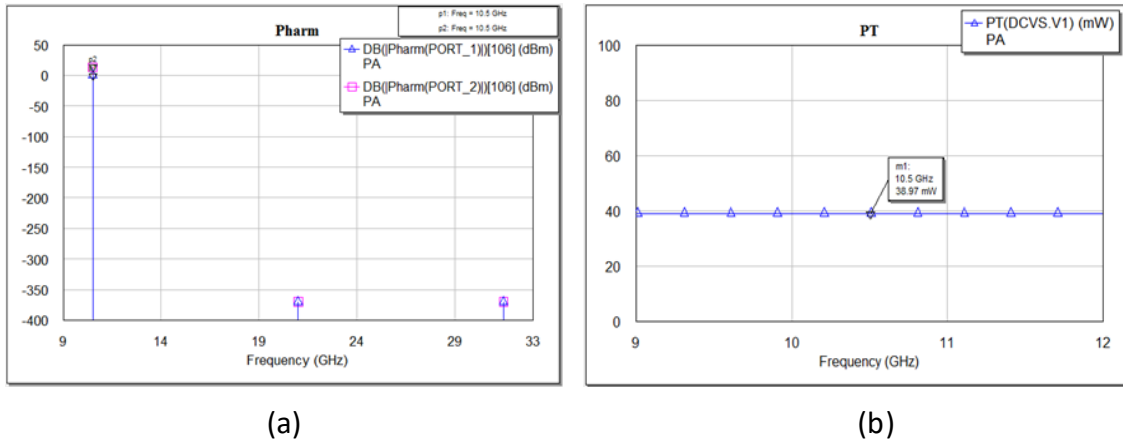
Şekil 3.9 Devrenin S parametreleri

Devrenin S(2,1) parametresi çalışma frekansı olan 10.525 GHz’de 13.49 dB değerine eşittir. Bu parametre devrenin kazancını göstermektedir. Devrenin S(1,1) ve S(2,2) parametreleri ise yine çalışma frekansında sırasıyla -15.62 dB ve -16.77 dB değerindedir. Bu parametreler ise güç yükseltecinin birinci ve ikinci portlarındaki yansıma değerlerini göstermektedir.



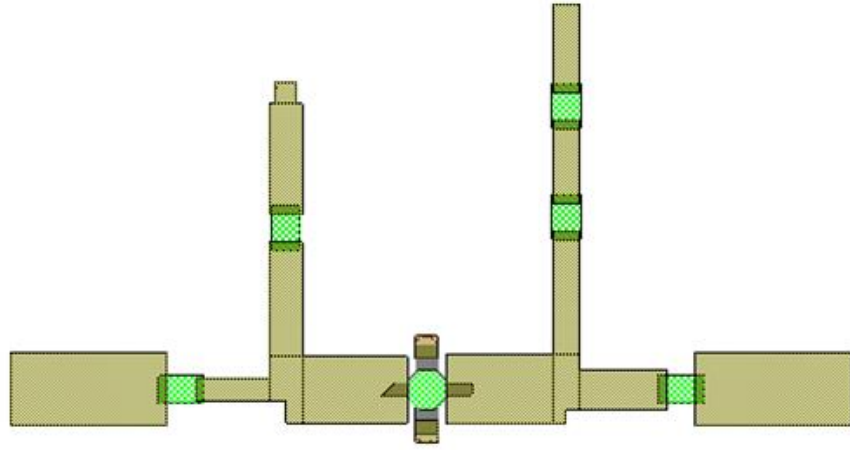
Şekil 3.10 (a) 0 dBm giriş altındaki çıkış gücü; (b) PAE

Tasarlanan power amplifier 10.525 GHz çalışma frekansında 0 dBm giriş altında 13.49 dBm değerinde çıkış gücü üretmektedir. Verimlilik değeri ise %54,85’dir.



Şekil 3.11 (a) Devrenin harmonikleri; (b) Toplam güç

Tasarımın çalışma frekansı merkez frekans olacak şekilde harmonikleri elde edilmiştir (Şekil 3.11 (a)). Bu değerler diğer frekanslardaki kazançları gösteriyor olup istenmeyen değerler olarak tanımlanmaktadır. Harcanan güç ise 38.97 mW olarak ölçülmüştür.

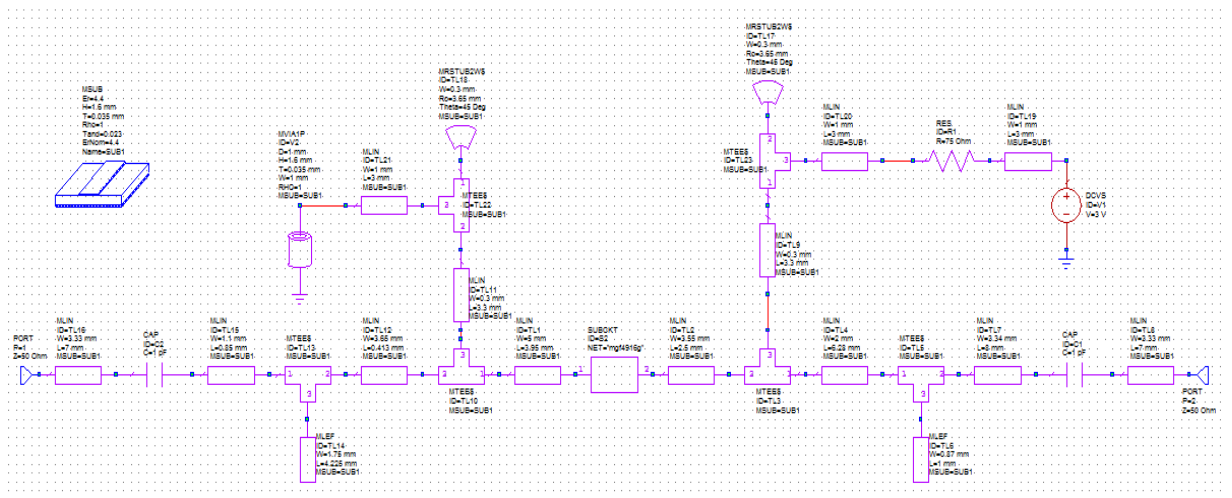


Şekil 3.12 Güç kuvvetlendirici layout görünümü

### 3.3 Düşük Gürültülü Kuvvetlendirici (LNA)

Low noise amplifier (LNA); radarlar, radyo ve diğer sinyal alıcılar, kablosuz uygulamalar olmak üzere geniş bir alanda kullanılmaktadır. LNA Türkçeye düşük gürültülü kuvvetlendirici olarak çevrilmektedir. Adından da anlaşılacağı üzere girişine uygulanan sinyali gürültü eklemekten kuvvetlendirmektedir. Radar uygulamalarında alıcı antenin çıkışına bağlanmakta olup alıcı antenden gelen çok düşük genlikli sinyali gürültü eklemekten kuvvetlendirme görevi görmektedir. Uygulamalara bağlı olarak çok farklı frekanslarda tasarımı yapılabilmektedir.

#### 3.3.1 LNA Tasarımı



Şekil 3.13 LNA tasarımının şematiği

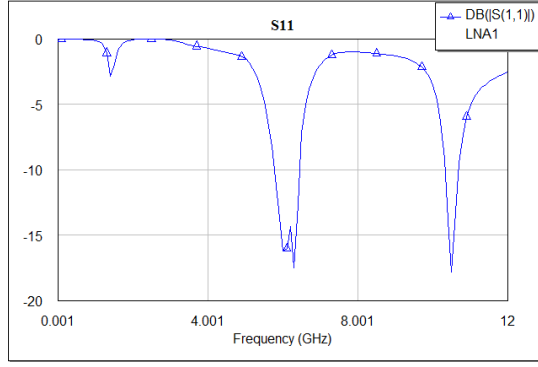
LNA tasarımında mgf4916g isimli çok düşük gürültülü FET transistör kullanılmıştır. Tasarım FR-4 malzemesi üzerine gerçekleştirilmiştir. Transistörün giriş uydurma ve çıkış uydurma devreleri mikrostrip hatlarla çizilmiş olup devrenin performansı maksimuma çıkartılmıştır. RF choke işlemi için  $\lambda/4'$  lük hatlar kullanılmış ve uygun kapasite değerleriyle desteklenmiştir. Bu sayede RF sinyalleri ve devrenin DC besleme değerlerinin birbirine karışması engellenmiştir. Benzer şekilde port giriş ve çıkışlarını dc akımdan korumak için portların önüne DC blok kapasiteleri koyulmuştur. Devrede bulunan direnç ise gerilim ve akım bölücü eleman olarak kullanılmıştır.

### 3.3.2 LNA Devre Analizi

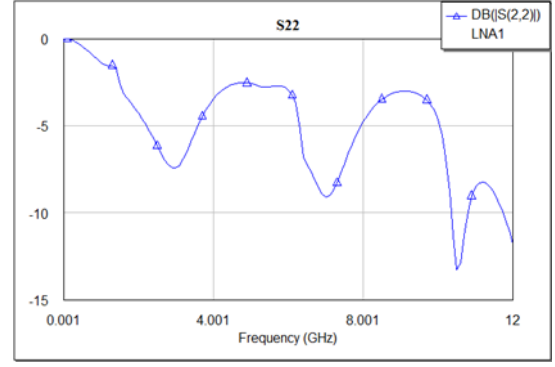
Düşük gürültülü kuvvetlendirici devresi 10.525 GHz çalışma frekansına göre tasarlanmış olup devrenin performansı Çizelge 3.2’de gösterilmiştir. Çalışma frekansında 13.58 dB oranında kazanç vermektedir. Tasarım düşük gürültü üzerine çalışmaktadır ve devrenin boyutu minimumda tutulmuştur.

Çizelge 3.2 LNA devresinin çalışma değerleri ve performansı

VCC	3 V
Transistör	mgf4916g
S11	-16.76 dB
S22	-13.17 dB
Çalışma frekansı	10.525 GHz
Kazanç	13.58 dB
NF	1.472 dB
Devre boyutu	43 x 16 mm <sup>2</sup>

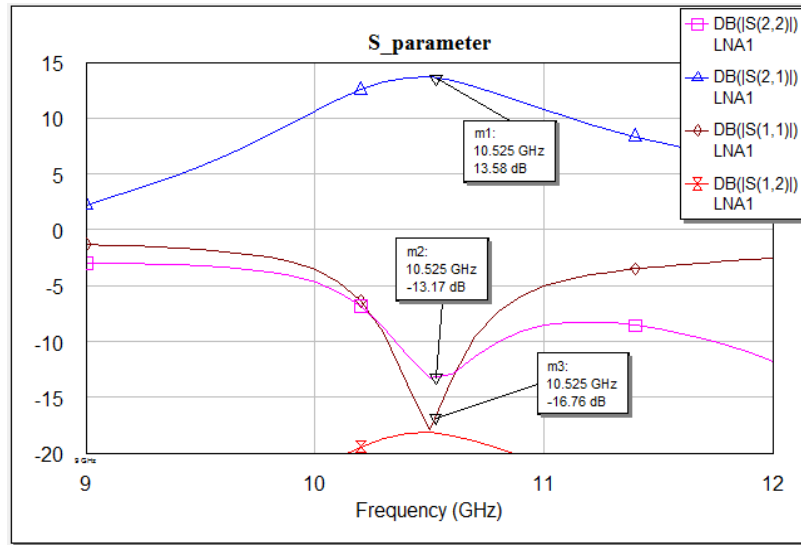


(a)

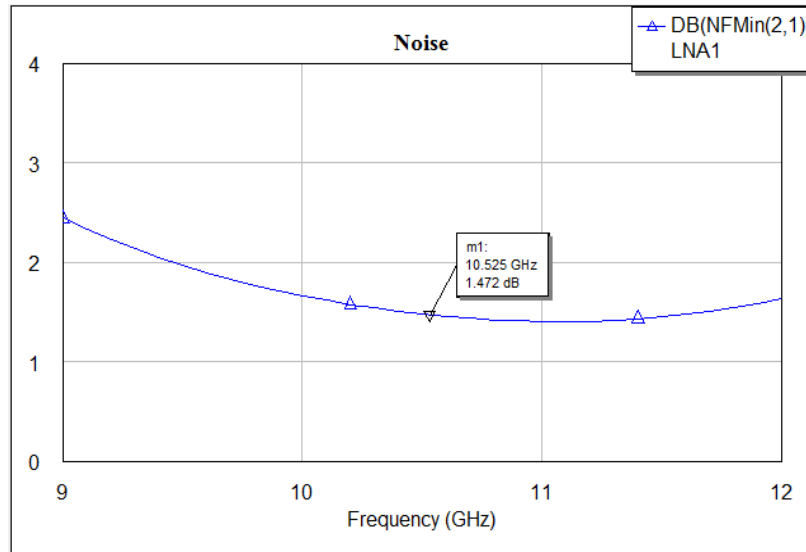


(b)

Şekil 3.14 (a) S(1,1) parametresi ; (b) S(2,2) parametresi

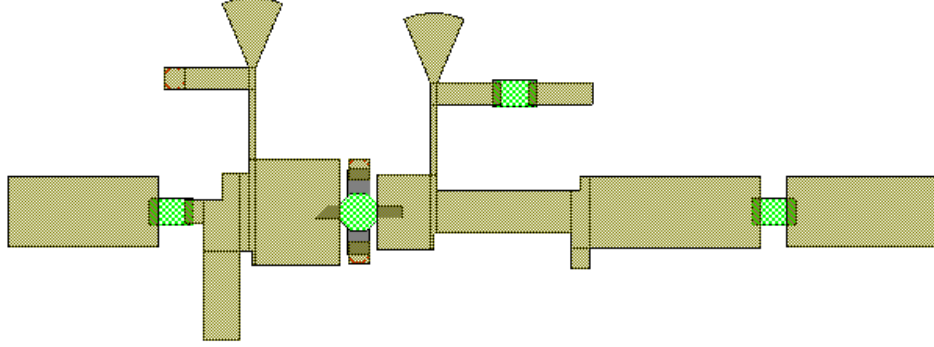


Şekil 3.15 Devrenin S parametreleri



Şekil 3.16 Devrenin noise parametresi

Tasarımda  $S(1,1)$  ve  $S(2,2)$  parametreleri tüm bant boyunca 0 dB'nin altında tutulmuştur. Böylece devrenin osilasyon yapma ihtimalinin önüne geçilmiştir. Ayrıca devre 10.525 GHz' lik çalışma frekansında 1.472 dB gürültü üretmektedir.

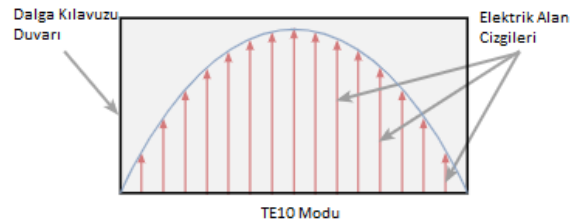


Şekil 3.17 LNA layout görünümü

### 3.4 Horn Antenler

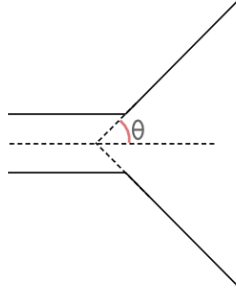
Horn anteninin arkasındaki temel teori ve denklemler veya formüller, nasıl çalıştıkları ve onlardan en iyi şekilde nasıl yararlanabilecekleri hakkında bir fikir vermektedir. Temel teoriyi anladıktan sonra bazı formülleri kullanarak tasarım hesaplamaları yapmak mümkündür. Yayılma açısı ve açıklığı içeren kavramlar, çeşitli parametrelerin çok kolay bir şekilde hesaplanmasını sağlar. Horn antenler aslında elektromanyetik dalgaların uzaya yayılması veya uydular tarafından gönderilen bu dalgaların alınabilmesi için bir ucu açık dalga kılavuzları kullanılır. Dalga kılavuzları genellikle dikdörtgen veya dairesel şekildedir ve en yaygın kullanılanı dikdörtgen biçimidir.

Dalga kılavuzu teorisi, bir dalga kılavuzu içinde meydana gelebilecek çeşitli yayılma modları olduğunu gösterir. En yaygın kullanılanlar TE<sub>10</sub> modudur ve bu mod aşağıdaki diyagramda gösterilmiştir.



Şekil 3.18 TE<sub>10</sub> Dalga Kılavuzundaki Elektrik Alan [45]

Horn anteninin temel özelliklerinden biri de yayılma açısıdır. Yayılma açısı kazanç ve yönlülük dâhil olmak üzere birçok alanında performansı etkiler. Yayılma açısı Şekil 3.19’da gösterilmiştir ve hem E-düzlemi (E alanı) hem de H-düzlemi (H) için farklı bir açı olabilir. Bu açılar  $\theta_E$  ve  $\theta_H$  olarak adlandırılır.



Şekil 3.19 Yayılma Açısı [46]

Teori, bir korna anteninin kullandığı frekans arttıkça kazanım ve yönlülüğün de (kiriş genişliği azalır) arttığını belirtir. Bunun nedeni, korna açıklığının fiziksel boyutlar açısından sabit kalmasıdır. Antenler büyüdükçe daha yüksek kazanç seviyelerine sahip olma eğiliminde olduklarından horn anteninin kazanç ve yönlülüğünün frekansla artacağı sezgisel olarak görülebilir. Horn anteni kazancı ve açıklıkları aşağıdaki gibidir.

$$G = \left( \frac{\pi d}{\lambda} \right)^2 e_A \quad (3.1)$$

$$Aperture_E = \sqrt{2 \lambda L_E} \quad (3.2)$$

$$Aperture_H = \sqrt{2 \lambda L_H} \quad (3.3)$$

#### 3.4.1 Horn Anten Tasarımı

HB100 modülü için tasarlanan piramidal horn anteninin kazancının 10 dBi’nin üzerinde S-parametrelerinin -10 dB’nin altında olması radarımızın verimli çalışmasını sağlayacaktır. Bundan dolayı anten bu isterleri karşılayacak şekilde tasarlanacaktır. Alıcı ve verici anten olmak üzere 10.52 GHz de iki adet anten tasarlanıp üretilecektir. Antenler pin-feed beslenecektir. Antenin bağlantılarında 50  $\Omega$ ’luk SMA konnektör kullanılacaktır.

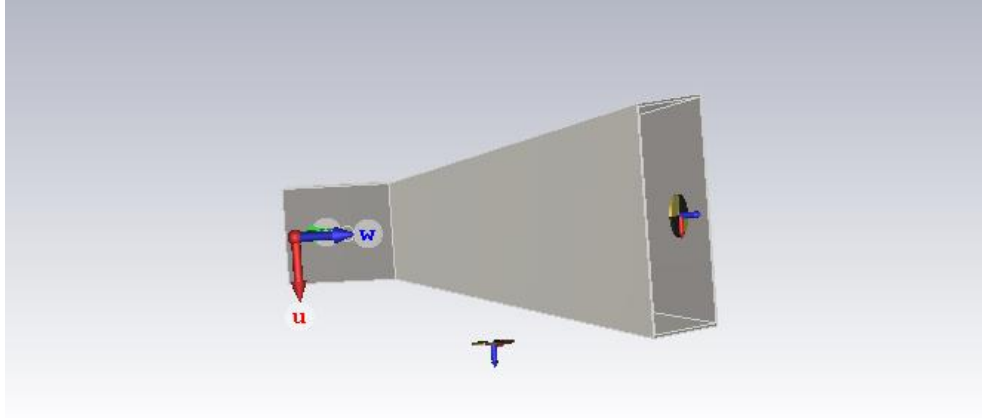
Anten tasarımı ve analizi için CST (Computer Simulation Technology) programı kullanılmıştır. CST programı çeşitli frekanslarda çalışan cihazların tasarımı ve

optimizasyonu için en uygun yöntemi seçebileceğimiz, elektromanyetik tasarımı ve analizi doğru ve verimli hesaplama çözümleri sunarak sağlayan 3D elektromanyetik simülasyonudur. Ayrıca uygun frekansta anten tasarımı yapabilmek için Antenna Magus programından yararlanılmıştır.

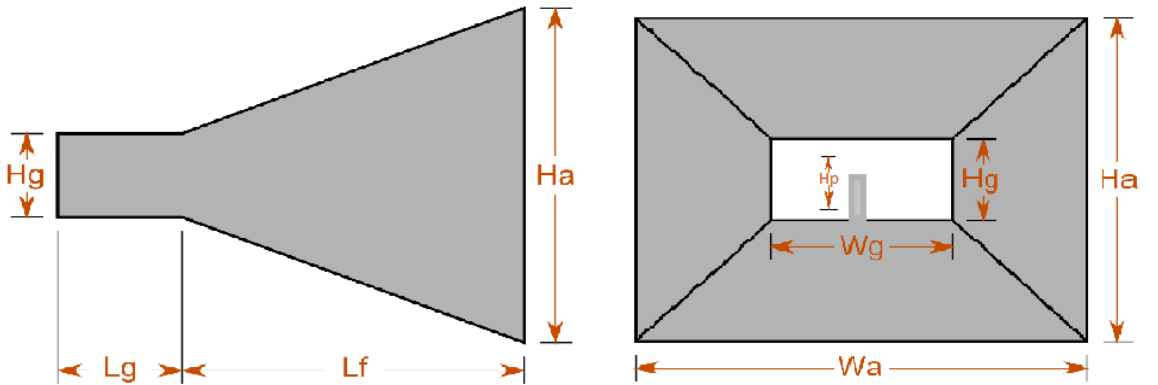
CST programında ilk olarak genel bir horn anten tasarımı yapılmıştır. Horn antenler yüksek yönlendiricilik kazancı sebebiyle radar tasarımında yüksek verimle çalışmasını sağlamaktadır. Yapılan optimizasyon çalışmaları sonucunda 10.52 GHz çalışma frekansında ışıma gösteren doğrusal polarizasyonlu pin-fed besleme piramidal horn anten tasarımı gerçekleştirilmiştir.

### 3.4.2 Horn Anten Geometrisi

CST programında tasarlanan horn antenin görüntüsü Şekil 3. 20’de antenin boyutlarının ifadeleri Şekil 3.21’de ve antenin boyutların uzunlukları milimetre(mm) birimi cinsinden Çizelge 3.3’te verilmiştir.



Şekil 3.20 Horn Anten Geometrisi



Şekil 3.21 Horn Anten Tasarım Boyutları

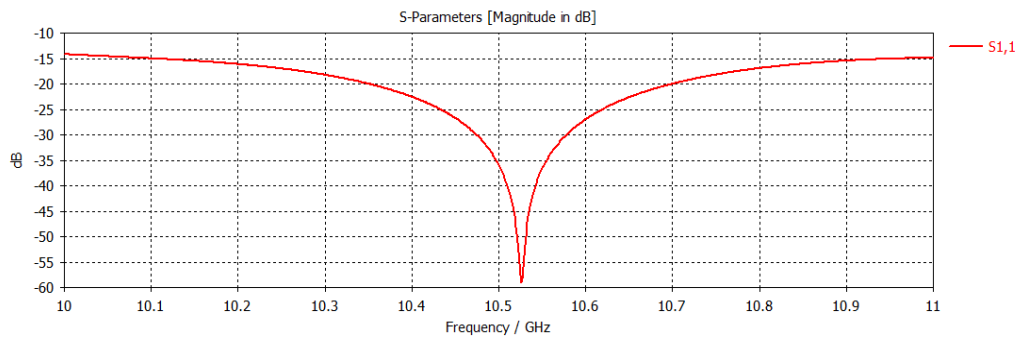


Çizelge 3.3 Horn Anten Boyut Uzunlukları

Anten Boyutu	Uzunluk (mm)
Wa	73
Ha	50.8
Wg	29
Hg	12.5
Lg	38
Lf	96.6
Hp	5.6

### 3.4.3 Horn Anten Simulasyon Analizi

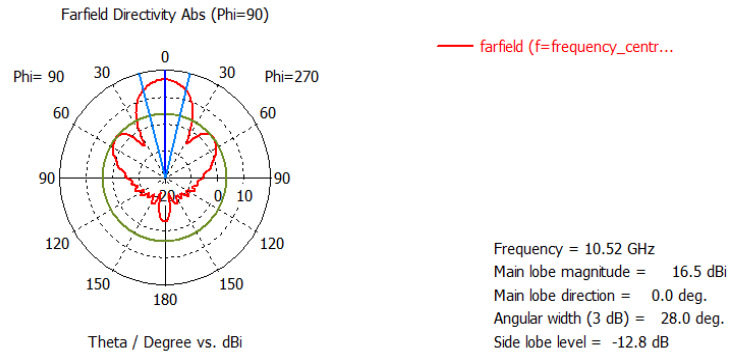
Alıcı ve verici anteni olarak tasarlanan piramidal horn antenin 10 GHz ve 11 GHz çalışma frekanslarında analizi yapılmıştır. Tipik olarak bir anten için öncelikle gerilim duran dalga oranının (VSWR) makul bir düzeyde ( $S_{11} \leq -10$  dB) olması, ışıma örüntüsünün hedeflenen yapıda olması ve dolayısıyla istenen kazancı sağlaması beklenir. Dolayısıyla bu çalışmada da tasarlanan antenlerin hedeflenen frekans bandın da bu isterleri sağlaması beklenmelidir.



Şekil 3.22 S-parametresi (dB)

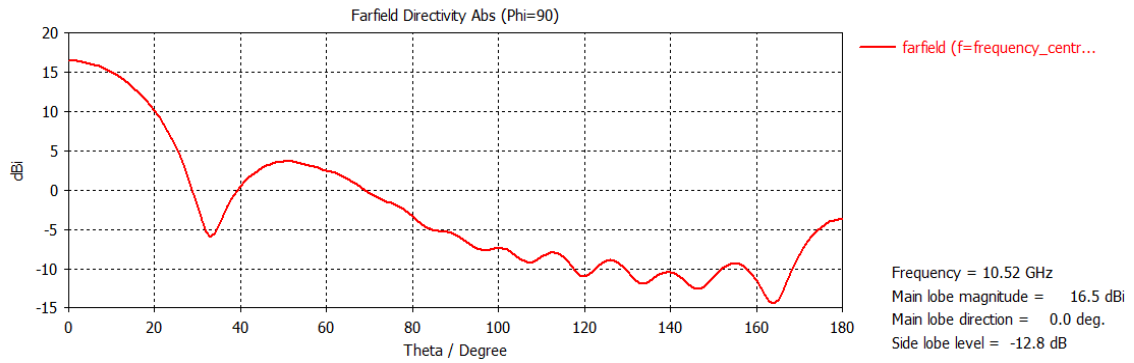
Şekil 3.22’de görüldüğü gibi tasarlanan horn antenin 10 GHz ile 11 GHz arasında gerilim duran dalga oranının (S-parametresinin) -10 dB’den küçük olduğu ve 10.52 GHz’de -59

dBm'lere ısıdığı gözlenmektedir. Teorikte iyi sonuçlar elde edilmiştir fakat bu anten gerçekleştirildiğinde pratikte S-parametresi değeri azalmalar meydana gelebilir.

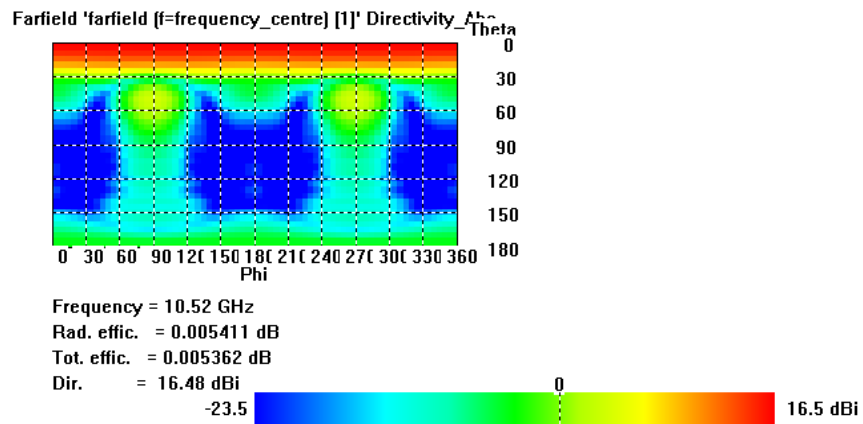


Şekil 3.23 Işıma Paterni (Polar)

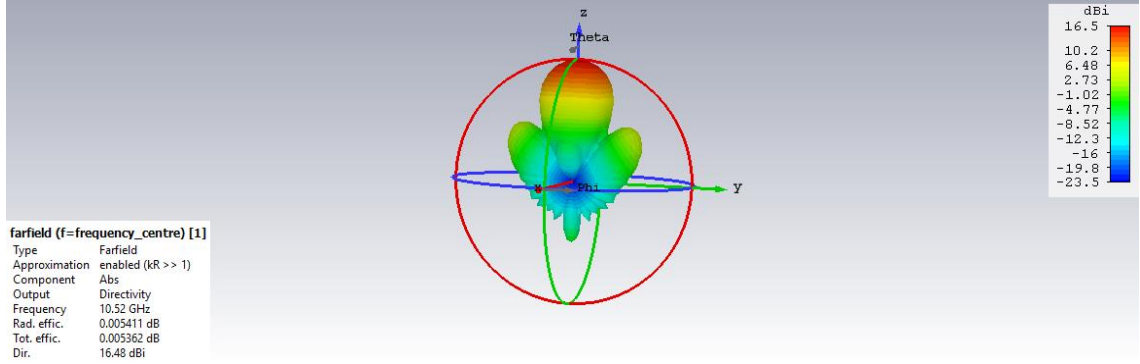
Şekil 3. 23'te verilen polar koordinatlarda ışıma paterni antenimizin kazancının 16.5 dBi olduğu gözükmektedir. Antenlerin kazancı frekans bandında istemleri sağlamaktadır. Işıma paterninin Phi=90'da 0 dereceye 28 derece bakış açısıyla yansımaktadır.



Şekil 3.24 Işıma Paterni (Kartezyen)



Şekil 3.25 Işıma Paterni (2D Gösterim)



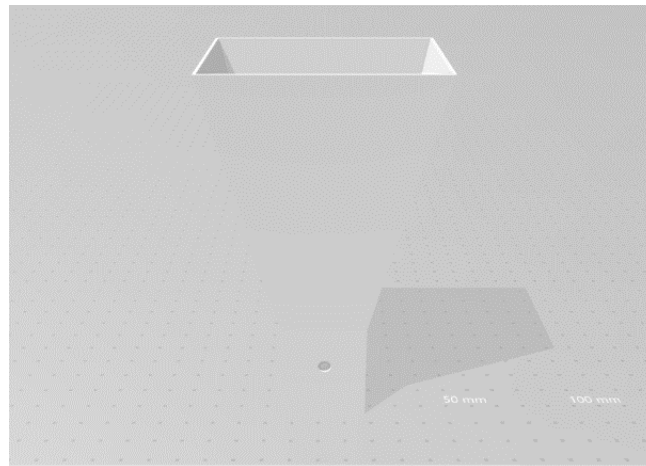
Şekil 3.26 Işıma Paterni (3D)

Çizelge 3.4 Antenin parametreleri

Çalışma frekansı	10.525 GHz
Anten Tipi	Piramidal Horn
Anten Görevi	Alıcı/Verici
S11	-59.24 dB
Hüzme Açısı(3dB)	28°
Kazanç	16.5 dB

#### 3.4.4 Horn Antenin Üretimi

CST programında tasarlanan anten 3D yazıcıda yazılması için programdan stl dosyası olarak dışa aktarılıp yazıcıya gönderilmiştir.



Şekil 3.27 3D Printer STL Dosyası



Şekil 3.28 3D Printerdan Yazılan Horn Anten

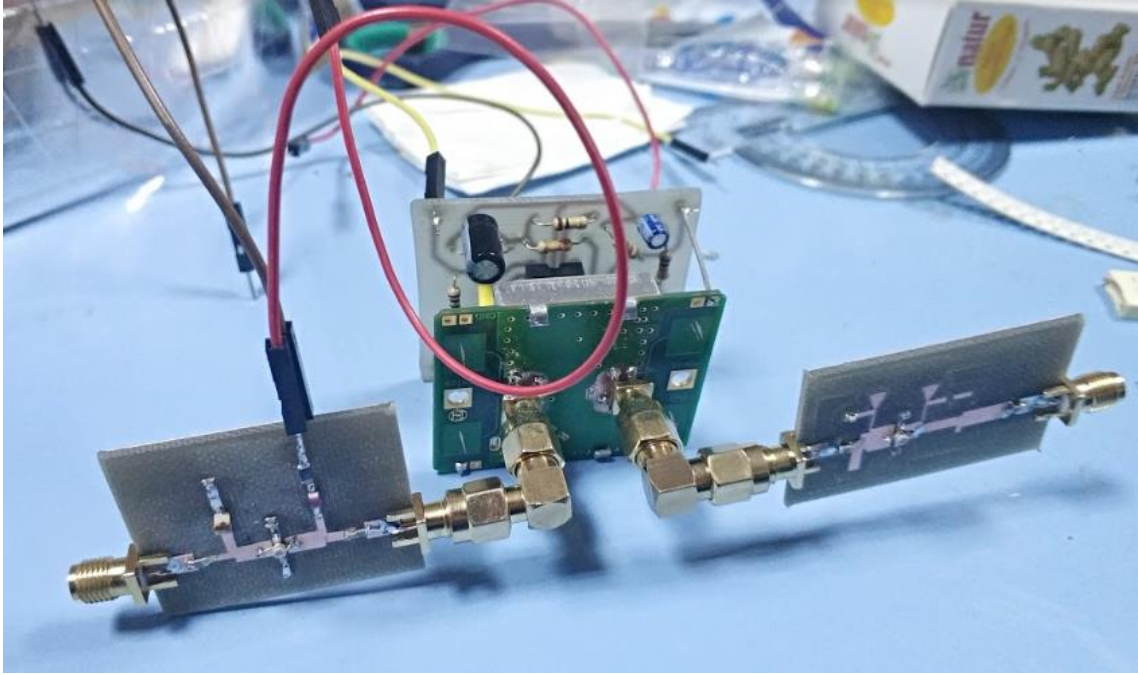
Şekil 3.28'deki 3D Printer'dan yazılan anteni alüminyum band ile kaplayarak üretim sağlanmaktadır. Alüminyum ile kaplanmış antenlerin SMA konnektörleri takılı hali Şekil 3.29'da verilmiştir.



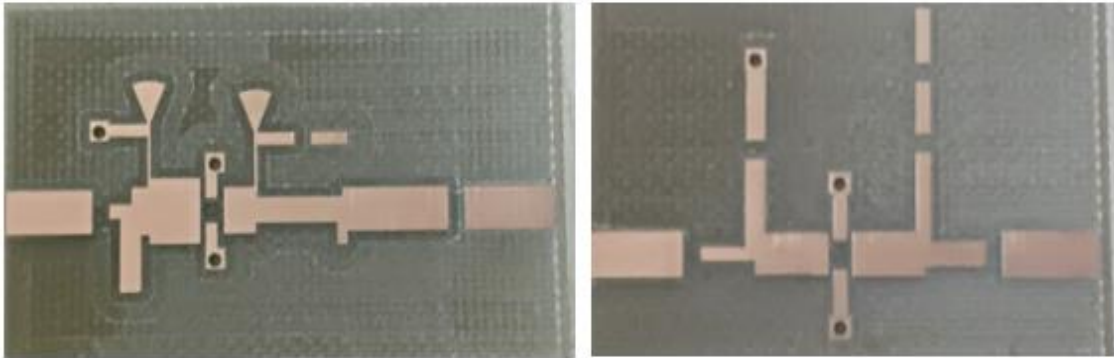
Şekil 3.29 Alüminyum ile Kaplı Anten

### 3.5 Tüm Devre Bağlantıları

Radar projesinin temelini oluřturan HB100 radar modülünün geliştirilerek düşük gürültülü kuvvetlendirici ve g kuvvetlendirici eklenmiř bięimi şekil 3.30’da gösterilmiştir.



şekil 3.30 Devre bağlantıları



şekil 3.31 LNA ve PA devrelerinin görünümü

### 3.6 Arduino UNO ile Hız Ölçümü

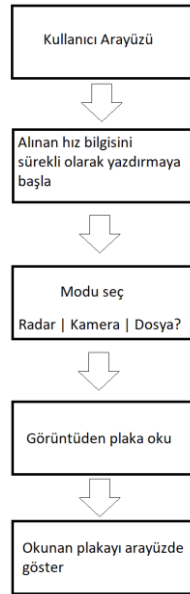
Tasarlanan sisteme göre kuvvetlendirici çıkışımızdan gelen analog sinyaller Arduino kitinin analog girişinden alınarak işlenip digital hız verisine dönüştürülür. Arduino ilk olarak FreqMeasure.h kütüphanesini kullanarak girişine gelen analog sinyali frekans verisine dönüştürür. Elde edilen frekans bilgisi doppler teorisi ile hız bilgisine dönüştürülür:

$$F_d = 2V \left( \frac{F_t}{c_0} \right) \cos \theta \quad (3.4)$$

$F_t = 10.525$  GHz alındığında  $F_d = 19.49$  olarak hesaplanmıştır. Böylece hız bilgisine ulaşılır [47] [48].

## PLAKA TANIMA SİSTEMİ

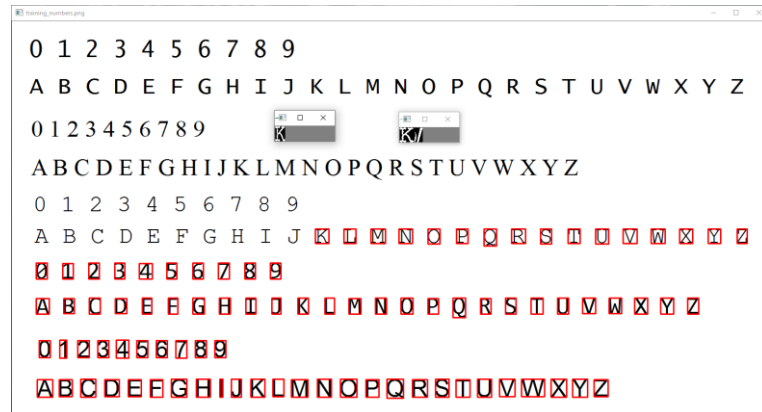
## 4.1 Akış Şeması



Şekil 4.1 Plaka tanıma sistemi akış şeması

## 4.2 Karakterlerin Sınıflandırılması

Görüntüden plaka okuma kısmında bulunan karakterlerin KNN algoritması ile belirlenebilmesi için karakterlerin önceden sınıflandırılması gerekmektedir. Sınıflandırma sonucunda iki adet veri dosyası oluşturulur. Bu veri dosyalarında karakter ve görüntüsü eşleştirilmiş olur.

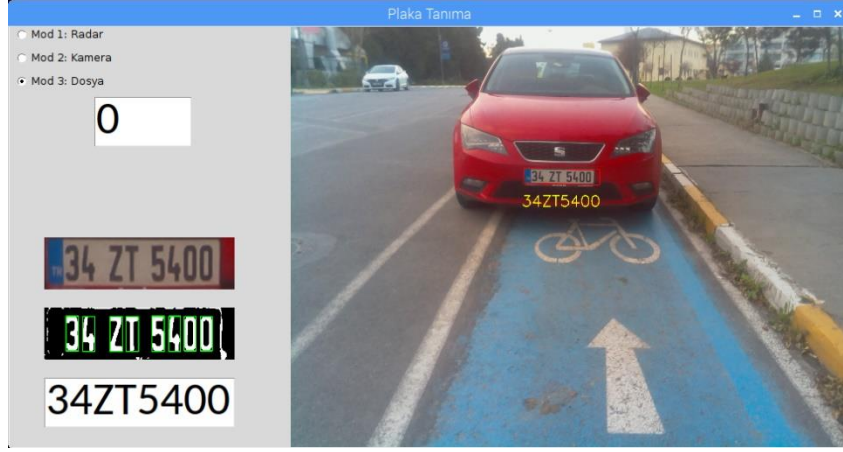


Şekil 4.2 Karakterlerin sınıflandırılması

#### 4.3 Kullanıcı Arayüzü

Sistemin kullanıcı tarafından kolayca kullanılabilmesi için bir GUI oluşturulmuştur.

Kullanıcı arayüzü Python dili ile Tkinter modülü kullanılarak tasarlanmıştır.



Şekil 4.3 Kullanıcı arayüzü

#### 4.4 Hız Bilgisi

Arduino ile Raspberry Pi, USB bağlantısı ile bağlı olduğundan iki cihaz seri port üzerinden haberleşme imkânına sahiptir. Arduino'dan seri porta gönderilen hız verileri sürekli olarak Raspberry Pi tarafından okunur. Hız verilerinin okunabilmesi için Python'da serial kütüphanesi kullanılır. Okunan hız verisi sürekli olarak kullanıcı arayüzündeki kutucuğa yazdırılır.

#### 4.5 Çalışma Modları

Sistemin 3 adet çalışma modu bulunmaktadır.

- Mod 1: Radar
- Mod 2: Kamera
- Mod 3: Dosya

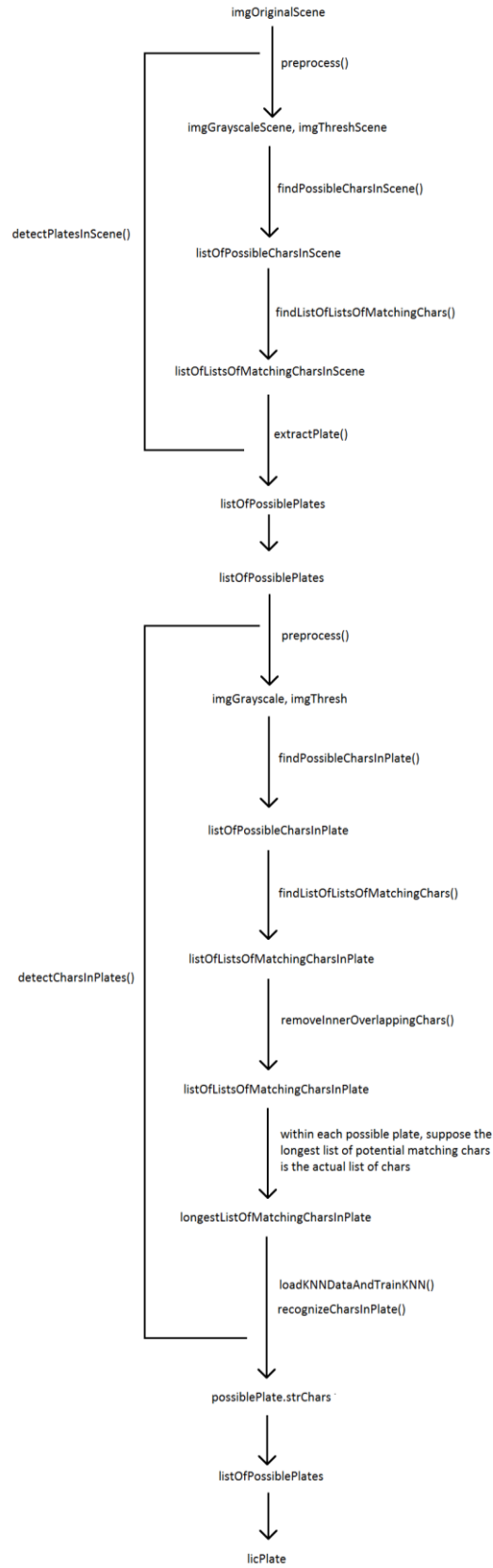
**Radar Modu:** Plaka tanıma sistemi radardan alınan hız bilgisine göre çalışma moduna geçecektir. Radardan alınan hız bilgisi, önceden tanımlanmış hız limitini aştığı bir durum söz konusu olduğunda kamera aktif hale gelip fotoğraf çekecektir. Çekilen fotoğraf plaka tanıma işlemi için görüntü işleme fonksiyonuna gönderilecektir.



**Kamera Modu:** Plaka tanıma sistemini, kameradan çekilen fotoğraf ile çalıştırmak için kamera modu seçilmelidir. Mod seçildiğinde kamera aktif hale gelir. Fotoğraf çekilir ve görüntü işleme fonksiyonuna gönderilir.

**Dosya Modu:** Plaka tanıma sistemini, önceden çekilmiş bir resim dosyası ile çalıştırmak için dosya modu seçilmelidir. Dosya modu seçildiğinde programın çalışma dizininde bulunan “test.jpg” adlı dosya görüntü işleme fonksiyonuna gönderilir.

## 4.6 Görüntü İşleme Aşamaları



Şekil 4.4 Görüntü işleme akışı [49] [50]

1. Seçilen moda göre orijinal görüntü okunur.



Şekil 4.5 Orijinal Görüntü

2. Orijinal görüntü gri tona çevrilir.



Şekil 4.6 Gri tonlama

3. Gri tonlu görüntü, OpenCV de yer alan adaptif eşikleme fonksiyonu kullanılarak görüntüdeki konturlar (sınır çizgileri) bulunmaya hazır hale gelir.



Şekil 4.7 Binary Görüntü

4. Görüntüdeki konturları bulmak için openCV’de yer olan findContour() fonksiyonu kullanılır.



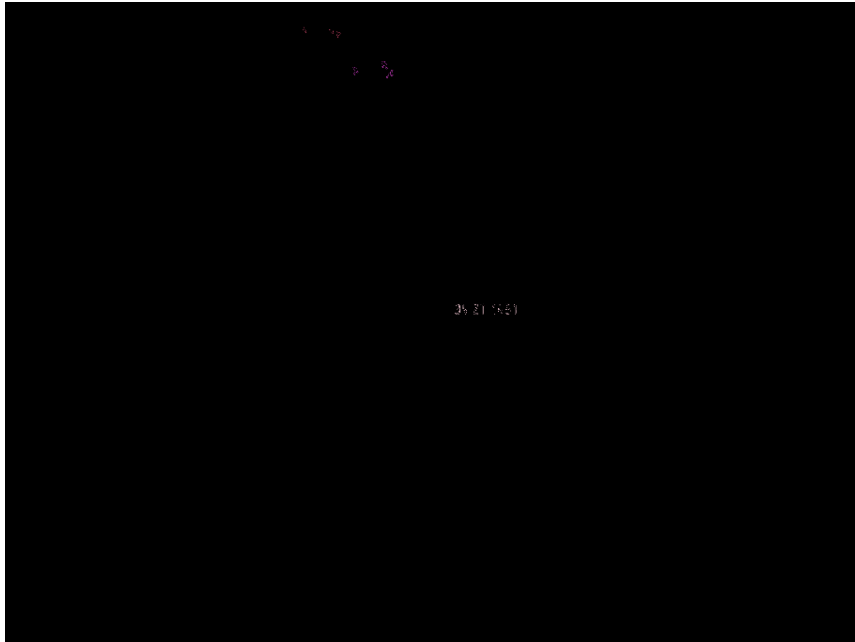
Şekil 4.8 Konturlar-1

5. Görüntüde bulunan sınır çizgilerinin alanı, en ve boy uzunluğu ve en-boy oranı denetlenir ve karakter olamayacak sınır çizgileri kaldırılır.



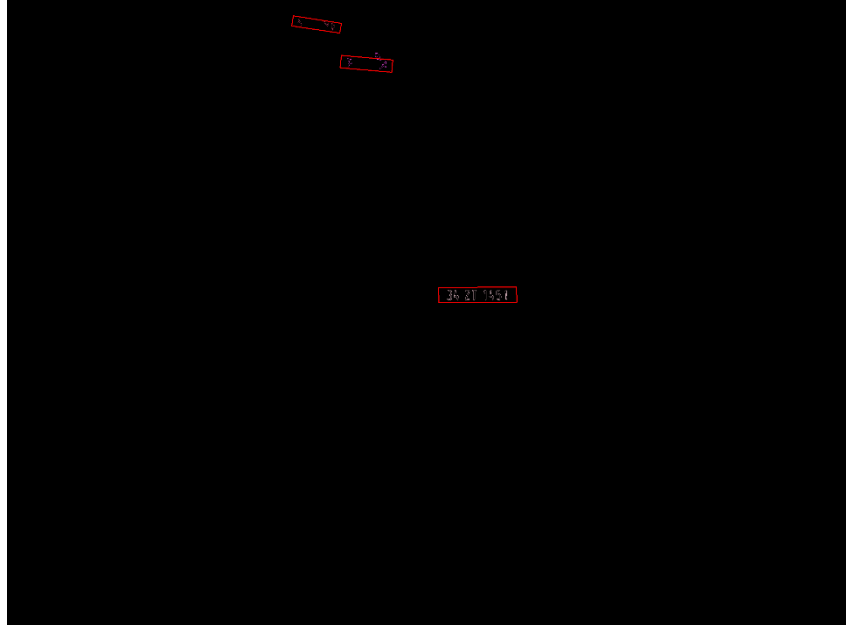
Şekil 4.9 Konturlar-2

6. Sınır çizgilerinin arasındaki uzaklık, açı, alanlarındaki değişim oranı denetlenerek belli değerleri sağlamayan sınır çizgileri kaldırılır.



Şekil 4.10 Konturlar-3

7. Görüntüde en sona kalan sınır çizgileri olası plaka olarak kabul edilir. Bu işlem ile plaka bulma işlemi sonlanmış olur.



Şekil 4.11 Plakalar

8. Plaka olması muhtemel görüntüler, karakterin bulunması için plakadan karakter bulma fonksiyonuna gönderilir. Plakaların orijinal görüntü gri tona çevrilir.



Şekil 4.12 Plaka gri ton

9. Gri tonlu görüntü threshold fonksiyonu kullanılarak binary (ikili) görüntüye dönüştürülür.



Şekil 4.13 Plaka binary görüntü

10. Görüntülerdeki üst üste olan karakter belirlenir. Plakalar arasından en fazla sayıda karakter sayısına sahip olan plaka, gerçek plaka olarak varsayılır.



Şekil 4.14 Plakada bulunan karakterler

11. Karakterlerin belirlenmesi için KNN algoritması kullanılır. Sınıflandırma dosyasından okunan veriler ile karakterlerin en çok benzeyen komşusuna bakarak hangi karakter olduğu belirlenir. Plaka, orijinal resmin üzerine yazdırılır. Resimler, arayüzde gösterilmek üzere kaydedilir.



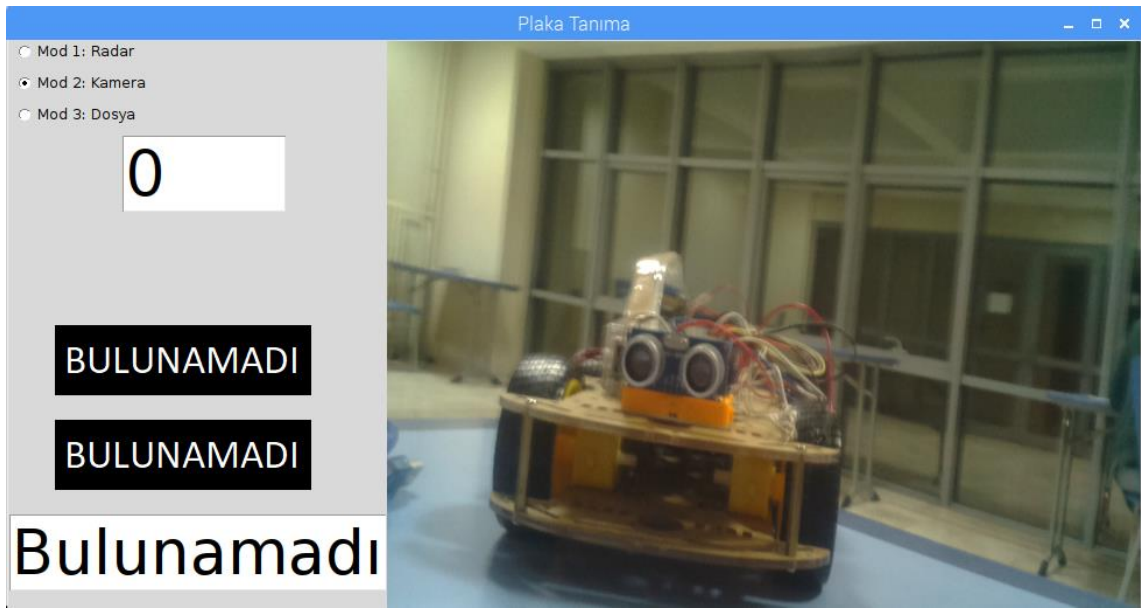
Şekil 4.15 Bulunan plaka

#### 4.7 Plakanın Arayüzde Gösterilmesi

Görüntü işleme sonrası dizine kaydedilen resimler arayüz tarafından okunur ve ekranda gösterilir. Eğer plaka bulunamazsa arayüzde plakanın bulunamadığı uyarısı çıkacaktır.



Şekil 4.16 Plakanın arayüzde gösterilmesi



Şekil 4.17 Plaka bulunamadi



### SONUÇ VE ÖNERİLER

Bitirme çalışması sürecinde edip olarak çok önemli tecrübeler ve bilgiler edindik. Bu oldukça kısa süre içinde proje konumuzla ilgili bilgiler haricinde ekip çalışması, literatür tarama, maliyet hesabı, tasarlanan projeyi optimum seviyede gerçekleştirme gibi birçok kazanım elde ettik. İlk zamanlarda kullanılması düşünülen HB100 radar modülünün proje için yetersiz kalacağı görülüp modül geliştirilerek sisteme entegrasyonu yapıldı. Projenin minimum çıktılarından olmamasına rağmen bu kısa süre içinde projenin görüntü işleme bölümü de sisteme eklendi.

- 
- [1] "Ultrasound Echo Ranging", [https://sites.google.com/site/kiatenglim99/\\_/rsrc/1427634857706/home/ultrasound\\_echo\\_ranging.jpg](https://sites.google.com/site/kiatenglim99/_/rsrc/1427634857706/home/ultrasound_echo_ranging.jpg), 18 Aralık 2018.
- [2] Yener, Zafer. "Radar Temelleri." Radar Basics, [www.radartutorial.eu/04.history/hi04.tr.html](http://www.radartutorial.eu/04.history/hi04.tr.html), 18 Aralık 2018.
- [3] "Acoustic Locator" [https://4.bp.blogspot.com/eyPsCUn0O68/V8jmQwIYR5I/AAAAAAAAK4g/R\\_jxLZp6Xa47n9KAVaQ2LEzv0hWWHEeKwCLcB/s1600/acoustic\\_locator\\_11.jpg](https://4.bp.blogspot.com/eyPsCUn0O68/V8jmQwIYR5I/AAAAAAAAK4g/R_jxLZp6Xa47n9KAVaQ2LEzv0hWWHEeKwCLcB/s1600/acoustic_locator_11.jpg), 19 Aralık 2018.
- [4] "Ancient", <http://www.radartutorial.eu/19.kartei/11.ancient/pic/img4061.jpg>, 19 Aralık 2018.
- [5] Ustabası. "Radar Frekans Tanımlamaları." Ana Güverte - Üsküdar Mühendishanesi, [uskudar.biz/askeri-teknoloji/radar-frekans-tan%C4%B1mlamalar%C4%B1](http://uskudar.biz/askeri-teknoloji/radar-frekans-tan%C4%B1mlamalar%C4%B1)
- [6] "Darbe Radarı", <http://www.radartutorial.eu/02.basics/Darbe%20Radar%C4%B1.tr.html>, 20 Aralık 2018.
- [7] "Kademeli Frekans Atlamalı Radar (Stepped Frequency Radar)." Hayat Gibi, 17 May 2018, [www.hayatgibi.com/nedir/kademeli-frekans-atlamali-radar-stepped-frequency-radar.html](http://www.hayatgibi.com/nedir/kademeli-frekans-atlamali-radar-stepped-frequency-radar.html).
- [8] [http://www.radartutorial.eu/02.basics/pic/fmcw\\_prinzip.print.png](http://www.radartutorial.eu/02.basics/pic/fmcw_prinzip.print.png), 20 Aralık 2018.
- [9] <http://www.radartutorial.eu/02.basics/pic/uwb1.print.jpg>, 21 Aralık 2018.
- [10] [https://tr.m.wikipedia.org/wiki/Dosya:Faz\\_fark%C4%B1.jpg](https://tr.m.wikipedia.org/wiki/Dosya:Faz_fark%C4%B1.jpg), 21 Aralık 2018.
- [11] Yener, Zafer. "Radar Temelleri." Radar Basics, [www.radartutorial.eu/02.basics/S%C3%BCrekli-Dalga%20Radar%C4%B1.tr.html#abs1](http://www.radartutorial.eu/02.basics/S%C3%BCrekli-Dalga%20Radar%C4%B1.tr.html#abs1).
- [12] Yener, Zafer. "Radar Temelleri." Radar Basics, [www.radartutorial.eu/02.basics/S%C3%BCrekli-Dalga%20Radar%C4%B1.tr.html](http://www.radartutorial.eu/02.basics/S%C3%BCrekli-Dalga%20Radar%C4%B1.tr.html).
- [13] "Frequency Mixer." Wikipedia, Wikimedia Foundation, 28 Mayıs 2017, [en.wikipedia.org/wiki/Frequency\\_mixer](http://en.wikipedia.org/wiki/Frequency_mixer).
- [14] Arşivden. "Voltaj Kontrollü Osilatör." Ankara Telsiz Ve Radyo Amatörleri Kulübü Derneği, 2 July 2015, [antrak.org.tr/genel/voltaj-kontrollu-osilatör/](http://antrak.org.tr/genel/voltaj-kontrollu-osilatör/).
- [15] "US \$15.44 7% OFF | Tahmini Teslimat Zamanı." Aliexpress.com, [tr.aliexpress.com/item/12V-RF-Voltage-Controll-Oscillator-Frequency-Source-Broadband-VCO-515-1150MHz/32751477804.html](http://tr.aliexpress.com/item/12V-RF-Voltage-Controll-Oscillator-Frequency-Source-Broadband-VCO-515-1150MHz/32751477804.html).
- [16] <https://br.comsol.com/model/image/12303/big.png>, 18 Aralık 2018.

- [17] Ceylan, O., (2009) FREKANS MODÜLASYONLU SÜREKLİ DALGA RADARI TASARIMI VE GERÇEKLEMESİ., Yüksek Lisans Bitirme çalışması, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [18] [https://i2.wp.com/www.elektronikhaberlesme.org/wp-content/uploads/2017/04/antenna\\_2.jpg?w=532](https://i2.wp.com/www.elektronikhaberlesme.org/wp-content/uploads/2017/04/antenna_2.jpg?w=532), 16 Aralık 2018.
- [19] “2. ANTENLER VE YAYILMA (ANTENNAS AND PROPAGATION).” PDF, [docplayer.biz.tr/7053192-2-antenler-ve-yayilma-antennas-and-propagation.html](http://docplayer.biz.tr/7053192-2-antenler-ve-yayilma-antennas-and-propagation.html).
- [20] <http://uyduhaberlesme.com/img/images/circular.jpg>, 21 Aralık 2018.
- [21] [http://uyduhaberlesme.com/img/images/linear\\_polarizasyon.jpg](http://uyduhaberlesme.com/img/images/linear_polarizasyon.jpg), 21 Aralık 2018.
- [22] “2. ANTENLER VE YAYILMA (ANTENNAS AND PROPAGATION).” PDF, [docplayer.biz.tr/7053192-2-antenler-ve-yayilma-antennas-and-propagation.html](http://docplayer.biz.tr/7053192-2-antenler-ve-yayilma-antennas-and-propagation.html).
- [23] “2. ANTENLER VE YAYILMA (ANTENNAS AND PROPAGATION).” PDF, [docplayer.biz.tr/7053192-2-antenler-ve-yayilma-antennas-and-propagation.html](http://docplayer.biz.tr/7053192-2-antenler-ve-yayilma-antennas-and-propagation.html).
- [24] “2. ANTENLER VE YAYILMA (ANTENNAS AND PROPAGATION).” PDF, [docplayer.biz.tr/7053192-2-antenler-ve-yayilma-antennas-and-propagation.html](http://docplayer.biz.tr/7053192-2-antenler-ve-yayilma-antennas-and-propagation.html).
- [25] “Antenler Ve Çeşitleri.” Elektrikport.com, [www.elektrikport.com/makale-detay/antenler-ve-cesitleri/16763#ad-image-0](http://www.elektrikport.com/makale-detay/antenler-ve-cesitleri/16763#ad-image-0).
- [26] “2. ANTENLER VE YAYILMA (ANTENNAS AND PROPAGATION).” PDF, [docplayer.biz.tr/7053192-2-antenler-ve-yayilma-antennas-and-propagation.html](http://docplayer.biz.tr/7053192-2-antenler-ve-yayilma-antennas-and-propagation.html).
- [27] <http://elektronikhobi.net/wp-content/uploads/indir-111.jpg>, 22 Aralık 2018.
- [28] “RF POWER AMPLIFIERS” [https://www.qsl.net/va3iul/RF%20Power%20Amplifiers/RF\\_Power\\_Amplifiers.pdf](https://www.qsl.net/va3iul/RF%20Power%20Amplifiers/RF_Power_Amplifiers.pdf).
- [29] Banggood.com. “FM 100MHz RF Power Amplifier 5W.” [www.banggood.com/FM-100MHz-RF-Power-Amplifier-5W-p-1284216.html](http://www.banggood.com/FM-100MHz-RF-Power-Amplifier-5W-p-1284216.html).
- [30] <https://products.nuwaves.com/wp-content/uploads/HILNA-CX-Image.png>, 19 Aralık 2018.
- [31] “HB100 MICROWAVE SENSOR” <http://irishelectronics.ie/HB100-Microwave-Sensor>.
- [32] “HB100 MICROWAVE SENSOR” <http://irishelectronics.ie/HB100-Microwave-Sensor>.
- [33] Fraser, Ben. “Arduino Intrusion Monitoring System – Ben Fraser – Medium.” Medium.com, Medium, 22 June 2017, [medium.com/@benjamindavidfraser/arduino-intrusion-monitoring-system-5e2d8cacf82e](https://medium.com/@benjamindavidfraser/arduino-intrusion-monitoring-system-5e2d8cacf82e).

- [34] Lee, Jeremy. "Teardown Tuesday: HB100 Doppler Radar Module." All About Circuits, 18 Oct. 2016, [www.allaboutcircuits.com/news/teardown-tuesday-hb100-doppler-radar-module/](http://www.allaboutcircuits.com/news/teardown-tuesday-hb100-doppler-radar-module/).
- [35] Fraser, Ben. "Arduino Intrusion Monitoring System – Ben Fraser – Medium." Medium.com, Medium, 22 June 2017, [medium.com/@benjamindavidfraser/arduino-intrusion-monitoring-system-5e2d8cacf82e](https://medium.com/@benjamindavidfraser/arduino-intrusion-monitoring-system-5e2d8cacf82e).
- [36] "Görüntü İşleme" [https://ab.org.tr/ab12/sunum/21-goruntu\\_isleme-Karakoc.pdf](https://ab.org.tr/ab12/sunum/21-goruntu_isleme-Karakoc.pdf).
- [37] "Python" <https://www.python.tc/python-nedir/>
- [38] "OpenCv Nedir" <https://www.elektrikport.com/universite/opencv-nedir/21537#ad-image-0>
- [39] "OpenCv Nedir" <https://www.elektrikport.com/universite/opencv-nedir/21537#ad-image-0>
- [40] "Raspberry Pi" [https://tr.wikipedia.org/wiki/Raspberry\\_Pi](https://tr.wikipedia.org/wiki/Raspberry_Pi).
- [41] <http://www.raspi-tr.com/wp-content/uploads/2012/08/289034-300x182.jpg>, 20 Aralık 2018.
- [42] [https://www.element14.com/community/dtss-images/uploads/devtool/image/large/Raspberry\\_Pi\\_3\\_Model\\_B\\_1GB\\_RAM.png](https://www.element14.com/community/dtss-images/uploads/devtool/image/large/Raspberry_Pi_3_Model_B_1GB_RAM.png), 23 Aralık 2018.
- [43] Benligil, Emrah, and ISP Grup. "Buy Raspberry Pi 3 Model B+ with Cheap Price." [www.robotistan.com/raspberry-pi-3-model-b-plus](http://www.robotistan.com/raspberry-pi-3-model-b-plus)
- [44] "HB100 Datasheet" [https://www.limpkin.fr/public/HB100/HB100\\_Microwave\\_Sensor\\_Application\\_Note.pdf](https://www.limpkin.fr/public/HB100/HB100_Microwave_Sensor_Application_Note.pdf).
- [45] <https://www.electronics-notes.com/images/waveguide-te10-mode-diagram.svg>, 24 Aralık 2018.
- [46] Notes, Electronics. "Microwave Horn Antenna Theory." Electronics Notes, Electronics Notes, [www.electronics-notes.com/articles/antennas-propagation/horn-antenna/theory-equations.php](http://www.electronics-notes.com/articles/antennas-propagation/horn-antenna/theory-equations.php).
- [47] Mkalabalik. "Mkalabalik/HB100\_test." GitHub, 28 Dec. 2018, [github.com/mkalabalik/HB100\\_test/tree/master/hb100](https://github.com/mkalabalik/HB100_test/tree/master/hb100).
- [48] 3zuli. "3zuli/HB100\_test." GitHub, 18 Apr. 2016, [github.com/3zuli/HB100\\_test](https://github.com/3zuli/HB100_test).
- [49] Mkalabalik. "Mkalabalik/OpenCV\_3\_License\_Plate\_Recognition\_Python." GitHub, 25 Dec. 2018, [github.com/mkalabalik/OpenCV\\_3\\_License\\_Plate\\_Recognition\\_Python](https://github.com/mkalabalik/OpenCV_3_License_Plate_Recognition_Python).
- [50] MicrocontrollersAndMore. "MicrocontrollersAndMore/OpenCV\_3\_License\_Plate\_Recognition\_Python." GitHub, 10 June 2018, [github.com/MicrocontrollersAndMore/OpenCV\\_3\\_License\\_Plate\\_Recognition\\_Python](https://github.com/MicrocontrollersAndMore/OpenCV_3_License_Plate_Recognition_Python).

## HB100 DATASHEET

## 1. Introduction

V1.02

HB Series of microwave motion sensor module are X-Band Mono-static DRO Doppler transceiver front-end module. These modules are designed for movement detection, like intruder alarms, occupancy modules and other innovative ideas.

The module consists of Dielectric Resonator Oscillator (DRO), microwave mixer and patch antenna (see Diagram A).

This Application Note highlights some important points when designing-in HB100 module. Most of the points are also applicable to other models in this series.

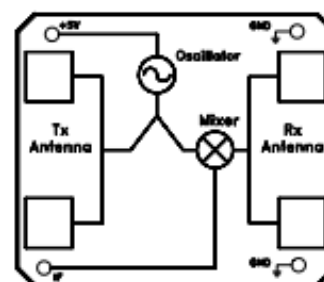


Diagram A: Block Diagram

## 2. Mounting

Header Pins can be used to connected the terminals (+5V, IF, GND) to the amplifier circuit as well as mounting support. Other mounting methods may be used.

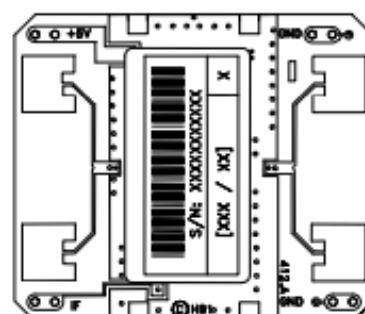
Wave-solder the module onto PCBA is possible but processes has to be evaluated to prevent deterioration. No-cleaning process is recommended.

Caution must be taken to avoid applying pressure or stresses to the chassis of the module. As it may cause performance deterioration.



## 3. Before Power Up

Connect the power supply, Ground and amplifier circuitry at the designed terminals. Designation of the connection terminals are printed on the PCB as shown in Diagram A.



## 4. Power Supply

The module operates at +5 Vdc for Continuous wave (CW) operation (see Annex 1).

The module can be powered by +5V low duty cycle pulsed trains in order to reduce its power consumption. Sample & Hold circuit at the IF output is required for pulse operation (see Annex 2).

## 5. Transmit Frequency

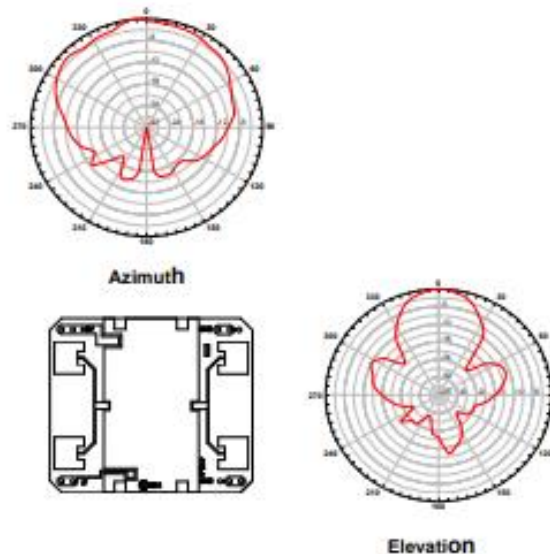
The transmit frequency and power of the module is set by factory. There is no user adjustable part in this device.

The module is a low power radio device (LPRD) or intended radiator. Local radio communication authority regulates use of such a device. Though user license may be exempted, type approval of equipment or other regulation compliance may be required.

Annex 3 shown the allocated frequency in some countries.

## 6. Radiation Pattern

The module to be mounted with the antenna patches facing to the desired detection zone. The user may vary the orientation of the module to get the best coverage. The radiation patterns of the antenna and their half power beam width (HPBW) are shown in below diagram.



### Annex 3: Allocated Frequency for Movement Detection

Frequency	Country	Remark
9.35 GHz	Germany	
9.9 GHz	France, Italy	
10.525 GHz	USA, Belgium, Netherlands	
10.587 GHz	UK	Outdoor applications
10.687 GHz	UK	Indoor applications

Note:

1. Though same frequency is allocated in some countries, national regulations may specify different EIRP, spurious emission or other requirements.
2. ETS 300 440 is the recommended harmonized standard for European Community, member country may adopt their own national regulation.
3. The regulations are subjected to change from time to time, please contact appropriate authorities for full and up-to-dated information.
4. Useful websites:

Agency	Website
The Code of Federal Regulations, USA	<a href="http://www.access.gpo.gov/cgi-bin/cfrassemble.cgi?title=199847">http://www.access.gpo.gov/cgi-bin/cfrassemble.cgi?title=199847</a>
The European Radiocommunication Office	<a href="http://www.ero.dk/">http://www.ero.dk/</a>
The Radiocommunications Agency , UK	<a href="http://www.radio.gov.uk/">http://www.radio.gov.uk/</a>

V1.02

### Annex 4: Doppler Equation

$$F_d = 2V \left( \frac{F_t}{c} \right) \cos \theta$$

Where

$F_d$  = Doppler frequency

$V$  = Velocity of the target

$F_t$  = Transmit frequency

$c$  = Speed of light ( $3 \times 10^8$  m/sec)

$\theta$  = The angle between the target moving direction and the axis of the module.

If a target is moving straight toward or away from HB100 ( $F_t = 10.525$  GHz) The formula is simplified to:

$$F_d = 19.49V \text{ (Velocity in km/hour) or } 31.36V' \text{ (V' in mile per hour)}$$

Conversion factor for other frequencies are shown as below:

Frequency	$F_d$ (V in Km/hr)	$F_d$ (V' in mph)
9.35 GHz	17.31V	27.85V'
9.9 GHz	18.33V	29.49V'
10.525 GHz	19.49V	31.36V'
10.587 GHz	19.60V	31.54V'
10.687 GHz	19.79V	31.84V'
24.125 GHz	44.68V	71.89V'

EK-B

# MGF491 DATASHEET

MITSUBISHI SEMICONDUCTOR (GaAs FET)

## MGF491xG Series

SUPER LOW NOISE InGaAs HEMT

### DESCRIPTION

The MGF491xG series super-low-noise HEMT(High Electron Mobility Transistor) is designed for use in L to Ku band amplifiers. The hermetically sealed metal-ceramic package assures minimum parasitic losses, and has a configuration suitable for microstrip circuits.

The MGF491xG series is mounted in the super 12 tape.

### FEATURES

- Low noise figure @f=12GHz  
MGF4918G:NFmin.=0.80dB(MAX.)  
MGF4919G:NFmin.=0.50dB(MAX.)
- High associated gain @f=12GHz  
Gs=12.0dB(MIN.)

### APPLICATION

L to Ku band low noise amplifiers.

### QUALITY GRADE

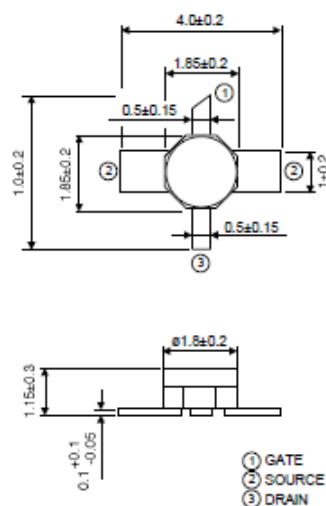
- GG

### RECOMMENDED BIAS CONDITIONS

- Vgs=2V, Id=10mA
- Refer to Bias Procedure

### OUTLINE DRAWING

Unit: millimeters



GD-16

### ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS (Ta=25°C)

Symbol	Parameter	Rating	Unit
V <sub>GD</sub>	Gate to drain voltage	-4	V
V <sub>GS</sub>	Gate to source voltage	-4	V
I <sub>D</sub>	Drain current	60	mA
P <sub>T</sub>	Total power dissipation	50	mW
T <sub>ch</sub>	Channel temperature	125	°C
T <sub>stg</sub>	Storage temperature	-65 to +125	°C

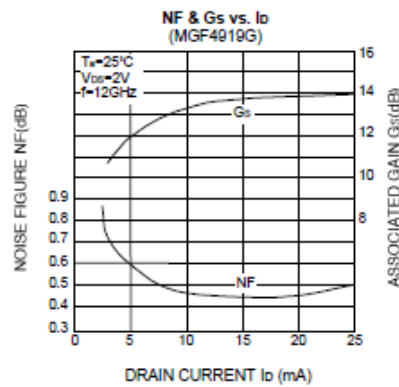
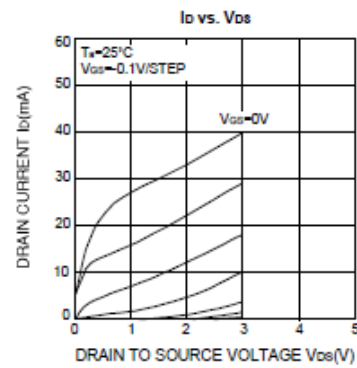
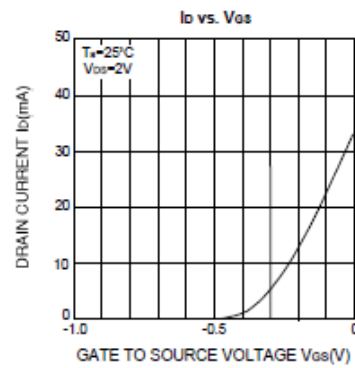
### ELECTRICAL CHARACTERISTICS (Ta=25°C)

Symbol	Parameter	Test conditions	Limits			Unit
			Min	Typ	Max	
V <sub>BRD</sub>	Gate to drain breakdown voltage	I <sub>D</sub> =-10μA	-3	-	-	V
I <sub>SS</sub>	Gate to source leakage current	V <sub>GS</sub> =-2V, V <sub>DS</sub> =0V	-	-	50	μA
I <sub>DS</sub>	Saturated drain current	V <sub>GS</sub> =0V, V <sub>DS</sub> =2V	15	-	60	mA
V <sub>GS(off)</sub>	Gate to source cut-off voltage	V <sub>DS</sub> =2V, I <sub>D</sub> =500μA	-0.1	-	-1.5	V
g <sub>m</sub>	Transconductance	V <sub>DS</sub> =2V, I <sub>D</sub> =10mA	-	75	-	mS
G <sub>s</sub>	Associated gain	V <sub>DS</sub> =2V, I <sub>D</sub> =10mA	12.0	13.5	-	dB
NF <sub>min</sub>	Minimum noise figure	f=12GHz	MGF4918G	-	0.80	dB
			MGF4919G	-	0.50	dB

Nov. '97



# TYPICAL CHARACTERISTICS (Ta=25°C)



## SUPER LOW NOISE InGaAs HEMT

### S PARAMETERS (Ta=25°C, Vds=2V, Id=10mA)

Freq. (GHz)	S11		S21		S12		S22		K	MSG/MAG (dB)
	Mag.	Angle	Mag.	Angle	Mag.	Angle	Mag.	Angle		
1	0.990	-22.3	5.775	158.1	0.020	71.9	0.533	-19.2	0.10	28.8
2	0.967	-40.6	5.585	140.6	0.035	61.8	0.514	-33.4	0.19	26.5
3	0.925	-53.2	5.401	128.9	0.051	53.3	0.489	-42.9	0.27	24.3
4	0.874	-70.9	5.161	111.8	0.064	42.4	0.457	-58.2	0.35	21.6
5	0.831	-88.8	4.899	96.8	0.075	29.3	0.424	-71.6	0.43	19.8
6	0.783	-105.7	4.626	80.8	0.083	19.0	0.391	-87.5	0.50	18.1
7	0.743	-120.6	4.316	67.9	0.087	9.1	0.369	-100.6	0.57	16.8
8	0.706	-132.1	4.100	56.4	0.090	4.1	0.357	-110.8	0.64	15.9
9	0.682	-144.7	3.887	43.2	0.093	-6.4	0.357	-122.3	0.69	15.1
10	0.670	-159.1	3.765	30.1	0.094	-14.3	0.351	-133.0	0.72	14.7
11	0.639	-171.8	3.617	17.5	0.095	-24.4	0.339	-143.5	0.80	14.0
12	0.617	175.3	3.526	4.5	0.096	-33.5	0.329	-154.0	0.86	13.5
13	0.591	163.1	3.421	-8.1	0.094	-42.5	0.328	-163.9	0.91	13.0
14	0.571	152.9	3.349	-17.4	0.094	-50.9	0.328	-171.3	0.95	12.7
15	0.565	140.1	3.333	-29.6	0.096	-61.1	0.343	179.5	0.96	12.7
16	0.560	125.8	3.349	-44.4	0.098	-74.1	0.351	170.5	0.98	12.7
17	0.533	109.8	3.356	-59.9	0.101	-88.8	0.337	161.8	1.01	12.5
18	0.484	91.2	3.337	-77.0	0.104	-105.1	0.310	151.6	1.11	12.1

### NOISE PARAMETERS (Ta=25°C, Vds=2V, Id=10mA)

Freq. (GHz)	$\Gamma_{opt}$		$R_n$ ( $\Omega$ )	$NF_{min}$ (dB)		$G_s$ (dB)
	Magn.	Angle(deg.)		MGF4016G	MGF4019G	
4	0.76	49	12.5	0.31	0.24	18.3
8	0.59	95	4.7	0.47	0.35	15.9
12	0.48	139	2.3	0.60	0.45	13.5
14	0.41	166	1.8	0.69	0.50	12.3
18	0.34	-142	1.5	0.88	0.61	9.9

## TAKIM ÖZGEÇMİŞ BİLGİLERİ

---

### 1. ÖĞRENCİ KİŞİSEL BİLGİLER

**Adı Soyadı** : Ali Osman YILDIZ  
**Doğum Tarihi ve Yeri** : 09.02.1996 Merkez/TOKAT  
**Yabancı Dili** : İngilizce  
**E-posta** : aliosmanyildiz1453@gmail.com

### ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Lisans	Elektronik ve Haberleşme Müh.	Yıldız Teknik Üniversitesi	-
Lise	Sayısal	Tokat Anadolu Lisesi	2014

### İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2017	AselsanNet A.Ş	Stajyer
2018	Yıldız Teknik Üniversitesi	Asistan Öğrenci
2018	Digitest Elek. Savunma A.Ş	Stajyer

## TAKIM ÖZGEÇMİŞ BİLGİLERİ

---

### 2. ÖĞRENCİ KİŞİSEL BİLGİLER

**Adı Soyadı** : Berkay ÖZÇAM  
**Doğum Tarihi ve Yeri** : 18.06.1996 Bahçelievler/İSTANBUL  
**Yabancı Dili** : İngilizce  
**E-posta** : berkayozcam@gmail.com

### ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Lisans	Elektronik ve Haberleşme Müh.	Yıldız Teknik Üniversitesi	-
Lise	Sayısal	Çapa Anadolu Öğretmen Lisesi	2014

### İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2017	Türk Telekom	Stajyer
2018	İlgar Mühendislik	Stajyer
2014-....	Tercihcell İletişim	Satış Danışmanı

## TAKIM ÖZGEÇMİŞ BİLGİLERİ

---

### 3. ÖĞRENCİ KİŞİSEL BİLGİLER

**Adı Soyadı** : İbrahim YILMAZ  
**Doğum Tarihi ve Yeri** : 19.10.1995 Kadıköy/İSTANBUL  
**Yabancı Dili** : İngilizce  
**E-posta** : ibrahimylmz567@gmail.com

### ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Lisans	Elektronik ve Haberleşme Müh.	Yıldız Teknik Üniversitesi	-
Lise	Sayısal	Yüksel İlhan Alanyalı Anadolu Öğretmen Lisesi	2013

### İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2017	Kinsizler Enerji A.Ş	Stajyer
2018	Bean Teknoloji A.Ş	Stajyer

## TAKIM ÖZGEÇMİŞ BİLGİLERİ

---

### 4. ÖĞRENCİ KİŞİSEL BİLGİLER

**Adı Soyadı** : Muhammed KALABALIK  
**Doğum Tarihi ve Yeri** : 13.03.1996 Osmancık/ÇORUM  
**Yabancı Dili** : İngilizce  
**E-posta** : mkalabalik@gmail.com

### ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Lisans	Elektronik ve Haberleşme Müh.	Yıldız Teknik Üniversitesi	-
Lise	Sayısal	Çorum 15 Temmuz Şehitleri Fen Lisesi	2014

### İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2017	Özsay Deniz Elektroniği A.Ş	Stajyer