



**UÇAN PLATFORMA YERLEŞTİRİLEN PASİF
RADAR İLE YERDEKİ HAREKETLİ
HEDEFLERİN TESPİTİ**

Kadir İLERİ

**2021
DOKTORA TEZİ
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ**

**Tez Danışmanı
Prof. Dr. Necmi Serkan TEZEL**

**UÇAN PLATFORMA YERLEŞTİRİLEN PASİF RADAR İLE YERDEKİ
HAREKETLİ HEDEFLERİN TESPİTİ**

Kadir İLERİ

T.C

Karabük Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında

Doktora Tezi

Olarak Hazırlanmıştır

KARABÜK

Ocak 2021

Kadir İLERİ tarafından hazırlanan “UÇAN PLATFORMA YERLEŞTİRİLEN PASİF RADAR İLE YERDEKİ HAREKETLİ HEDEFLERİN TESPİTİ” başlıklı bu tezin Doktora Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Necmi Serkan TEZEL

Tez Danışmanı, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında Doktora tezi olarak kabul edilmiştir. 18/01/2021

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Prof. Dr. Fatma MEYDANERİ TEZEL (KBÜ)

Üye : Prof. Dr. Necmi Serkan TEZEL (KBÜ)

Üye : Doç. Dr. Ziyadulla YUSUPOV (KBÜ)

Üye : Doç. Dr. Turgut ÖZTÜRK (BTÜ)

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Emrah IRMAK (AAKÜ)

KBÜ Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Doktora derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Hasan SOLMAZ

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”

Kadir İLERİ

ÖZET

Doktora Tezi

UÇAN PLATFORMA YERLEŞTİRİLEN PASİF RADAR İLE YERDEKİ HAREKETLİ HEDEFLERİN TESPİTİ

Kadir İLERİ

Karabük Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Prof. Dr. Necmi Serkan TEZEL

Ocak 2021, 124 sayfa

Monostatik radarların aksine, bistatik radarların alıcı ve verici sistemleri farklı konumlara yerleştirilmiştir. Bistatik radar çeşidi olan pasif radarlar, kendilerine ait verici sistemleri olmadığı için halihazırda yeryüzünde bulunan vericileri kullanarak hedef tespiti yaparlar. Bu sayede fark edilmeden operasyonlarını yürütebilirler. Bu avantajı sayesinde popülerlik kazanmış ve birçok çalışma yapılmıştır. Pasif radarın uçan bir platforma yerleştirilerek yeryüzündeki hareketli hedeflerin tespitinde kullanılması ise son yıllarda ilgi çeken bir çalışma alanı olmuştur.

Pasif radarın hareketli bir platforma yerleştirilmesi beraberinde bazı dezavantajlar getirmektedir. Platformun hareketinden dolayı bina gibi hareketsiz olan nesnelerin platforma göre bağıl hızları oluşacaktır. Bu durum, binaların da birer hareketli hedef olarak algılanmasına sebep olup menzil/Doppler haritasında kargaşa yayılımı oluşturur ve bu kargaşa yayılımı hedef tespitini sınırlar. Kargaşa, faz merkezi

kaydırılan anten (DPCA: Displaced Phase Center Antenna) yöntemi ile yok edilerek sorun çözümlür. Fakat DPCA'nın performanslı bir şekilde çalışabilmesi için iletilen sinyalin zamanla değişmeyen bir yapıda olması gerekmektedir. Aktif radarlarda verici sistem radar sistemine dahil olduğu için iletilen sinyalin kontrol edilebilir ve zamanla değişmeyen yapıda sinyaller gönderilerek DPCA'nın tam performanslı çalışması sağlanabilir. Pasif radarlar ise iletilen sinyal kontrol edilemez. Darbe sıkıştırma aşamasında geleneksel filtre kullanmak zamanla değişen yapıda sinyaller üreteceği için DPCA ile etkili bir kargaşa yok etme sağlamaz. Bu sorun geleneksel filtre yerine zamanla değişmeyen yapıda sinyaller üreten karşıt filtre kullanılarak çözülmüştür ve DPCA'nın tam performanslı olarak çalışmasını sağlamıştır. Ayrıca pasif radarın performansını etkileyen içsel kargaşa hareketi (ICM: Internal Clutter Motion), alıcı kanallar arası hatalar ve iletilen sinyalin farklı dalga formuna sahip olması faktörleri incelenmiştir.

Anahtar Sözcükler : Pasif radar, kargaşa yok etme, karşıt filtre, DPCA, FM, GMTI.

Bilim Kodu : 90524

ABSTRACT

Ph. D. Thesis

GROUND MOVING TARGET INDICATION BY AIRBORNE PASSIVE RADAR

Kadir İLERİ

**Karabük University
Institute of Graduate Programs
Department of Electrical-Electronics Engineering**

Thesis Advisor:

Prof. Dr. Necmi Serkan TEZEL

Jan 2021, 124 pages

Unlike monostatic radars, bistatic radars' receiver and transmitter systems are placed in different locations. Hence passive radars, which are bistatic radar types, do not have their own transmitter systems, the target detection is performed by using transmitters which are already on the ground. In this way, the target detection operations are performed covertly. Thanks to this phenomenon, passive radar has gained popularity and lots of studies have been carried out. But, the use of airborne passive radar for ground moving target indication has been an interesting field of study only in recent years.

Placing the passive radar on a mobile platform brings some disadvantages. The stationary objects such as buildings will have relative velocity due to the movement of the platform. This causes buildings to be perceived as moving targets and generates clutter spread, which limits target detection, in the range/Doppler. The

problem can be solved by removing the clutter with the DPCA method. However, the transmitted signal waveform must be time-invariant in order for DPCA to operate effectively. Since the transmitter system is dedicated to the radar system in active radar, the transmitted signal can be controlled and the DPCA can be achieved effectively by transmitting signals that have time-invariant waveform. On the contrary, in passive radars, the transmitted signal cannot be controlled. Using a conventional filter in the pulse compression stage does not provide effective clutter cancellation with DPCA, as it will generate signals with a time-varying waveform. In this research, the problem has been solved by using a reciprocal filter, that produces signals that have time-invariant waveform, instead of the conventional filter. The reciprocal filter provides DPCA to operate effectively. In addition, the factors affecting the performance of passive radar such as ICM, inter-channel errors and the transmitted signal having different waveforms were analysed.

Key Words : Passive radar, clutter cancellation, reciprocal filter, DPCA, FM, GMTI.

Science Code : 90524

TEŞEKKÜR

Bu tez alıŐmasının planlanmasında, araŐtırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalıŐmamı bilimsel temeller ışığında şekillendiren sayın hocam Prof. Dr. Necmi Serkan TEZEL'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca doktora çalıŐmama katkı sağlayan değerli tez izleme komitesi üyeleri Prof. Dr. Fatma MEYDANERİ TEZEL ve Doç. Dr. Ziyadulla YUSUPOV hocalarıma teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xvi
BÖLÜM 1.....	1
GİRİŞ.....	1
1.1. LİTERATÜR TARAMASI.....	3
1.2. ÇALIŞMANIN AMACI.....	23
1.3. TEZİN ANA HATLARI.....	24
BÖLÜM 2.....	26
PASİF RADAR TEMELLERİ.....	26
2.1. BİSTATİK RADAR.....	26
2.1.1. Bistatik Radar Geometrisi.....	27
2.1.2. Bistatik Radar Menzili.....	28
2.1.3. Bistatik Menzil Çözünürlüğü.....	30
2.1.4. Bistatik Radar Denklemi.....	31
2.1.5. Bistatik Radar Doppleri.....	33
2.1.5.1. İç-kargaşa ve Dış-kargaşa Kavramı.....	34
2.2. AYDINLATICILAR.....	37
2.2.1. Analog Radyo (FM).....	37
2.2.2. Dijital Televizyon (DVB-T).....	38
2.2.3. Dijital Radyo (DAB).....	38

	<u>Sayfa</u>
2.2.4. Uydu Televizyonu (DVB-S).....	38
2.2.5. Hücresel Telefon (GSM)	39
2.2.6. Kablosuz Ağlar (WiFi)	39
2.2.7. Farklı Aydınlatıcı Tiplerinin Karşılaştırılması	40
BÖLÜM 3	42
SİNYAL MODELİ VE ANALİZİ	42
3.1. TASARLANAN SİSTEMİN GEOMETRİSİ	42
3.2. SİNYAL MODELİ	44
3.2.1. Kargaşa Bileşeni	45
3.2.2. Hedef Bileşeni	48
3.2.3. Gürültü Bileşeni.....	48
3.3. KARGAŞA YOK ETME	49
3.3.1. Darbe Sıkıştırma	50
3.3.2. DPCA Yöntemi.....	51
3.3.3. Uyumlu Filtre	53
3.3.3.1. Tek Bir Noktasal Saçıcının Olma Durumu	53
3.3.3.2. Çoklu Hareketsiz Noktasal Saçıcıların Olma Durumu.....	58
3.3.4. Karşıt Filtre.....	60
3.3.4.1. Tek Bir Noktasal Saçıcının Olma Durumu	61
3.3.4.2. Çoklu Hareketsiz Noktasal Saçıcıların Olma Durumu.....	62
BÖLÜM 4	63
BULGULAR VE TARTIŞMA	63
4.1. SİMÜLASYON PARAMETRELERİ.....	64
4.2. UYUMLU FİLTRE SONUÇLARI	65
4.3. KARŞIT FİLTRE SONUÇLARI	67
4.4. UYUMLU FİLTRE İLE KARŞIT FİLTRENİN KARŞILAŞTIRILMASI.....	70
4.5. FARKLI HEDEFLERİN ANALİZLERİ	73
4.6. FARKLI PARAMETRELERİN ETKİLERİ.....	86
4.6.1. Platform Hızının İç-kargaşa Üzerindeki Etkisi.....	86

	<u>Sayfa</u>
4.6.2. T_{DPCA} Süresinin Kör Hızlar Üzerindeki Etkisi.....	88
4.7. PERFORMASI ETKİLEYEN FAKTÖRLER	89
4.7.1. Farklı Dalga Formlarının Etkisi.....	90
4.7.2. Kanallar Arası Hataların Etkisi.....	91
4.7.2.1. Genlik Farklılığının Etkisi.....	91
4.7.2.2. Faz Farklılığının Etkisi.....	94
4.7.3. İçsel Kargaşa Hareketi (ICM) Etkisi	97
BÖLÜM 5	101
SONUÇ VE ÖNERİLER	101
5.1. GELECEK ÇALIŞMALAR.....	102
KAYNAKLAR	104
EK AÇIKLAMALAR A. BÖLÜM 4.5'TEKİ HEDEFLERİN ÜÇ BOYUTLU MENZİL/DOPPLER HARİTALARI	111
ÖZGEÇMİŞ	124

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1. Bistatik radar yapısı.	26
Şekil 2.2. Bistatik radar geometrisi.	28
Şekil 2.3. Bistatik düzlemde eş-menziel elipsi.	29
Şekil 2.4. Bistatik düzlemde bistatik menziel çözünürlüğü.	30
Şekil 2.5. Bistatik düzlemde Cassini ovaleri.	32
Şekil 2.6. Doppler etkisi.	33
Şekil 2.7. Radarın konumuna göre kargaşa sinyalinin Doppler etkisi.	35
Şekil 2.8. Kargaşanın zamanla değişen Doppler kayması.	35
Şekil 2.9. Doppler spektrumu, a) kargaşanın Doppler yayılımı için, b) dış-kargaşa durumu için, c) iç-kargaşa durumu için.	37
Şekil 3.1. Tasarlanan sistemin geometrisi.	42
Şekil 3.2. Tasarlanan pasif radarın çalışma sürecinin akış şeması.	44
Şekil 3.3. Parçalama yaklaşımının gösterimi.	46
Şekil 3.4. Gözetim antenleri için örnek gürültüler, a) ÖA için, b) AA için.	49
Şekil 3.5. DPCA anten geometrisi.	51
Şekil 3.6. DPCA işleminin gösterimi.	52
Şekil 3.7. Yavaş-zaman/hızlı-zaman matrisi üzerinde DFT işlemi.	53
Şekil 3.8. Alınan FM radyo sinyalinin bir CPI'daki rastgele on parçası.	54
Şekil 3.9. Bir CPI'daki rastgele on parçanın uyumlu filtre dürtü yanıtları.	55
Şekil 3.10. Bir CPI'daki rastgele on parçanın karşıt filtre dürtü yanıtları.	61
Şekil 4.1. Uyumlu filtre kullanıldığı durumdaki kargaşanın menziel/Doppler haritası, a) DPCA işleminden önce, b) DPCA işleminden sonra.	66
Şekil 4.2. Uyumlu filtrenin yok etme oranı.	67
Şekil 4.3. Karşıt filtre kullanıldığı durumdaki kargaşanın menziel/Doppler haritası, a) DPCA işleminden önce, b) DPCA işleminden sonra.	69
Şekil 4.4. Karşıt filtrenin yok etme oranı.	70
Şekil 4.5. Uyumlu filtre ve karşıt filtrenin iyileştirme faktörleri.	72
Şekil 4.6. Uyumlu filtre kullanıldığı durumda Hedef 1 için menziel/Doppler haritası, a) DPCA işleminden önce, b) DPCA işleminden sonra.	74
Şekil 4.7. Karşıt filtre kullanıldığı durumda Hedef 1 için menziel/Doppler haritası, a) DPCA işleminden önce, b) DPCA işleminden sonra.	75

Şekil 4.8. Uyumlu filtre kullanıldığı durumda Hedef 2 için menzil/Doppler haritası, a) DPCA işleminden önce, b) DPCA işleminden sonra.....	76
Şekil 4.9. Karşıt filtre kullanıldığı durumda Hedef 2 için menzil/Doppler haritası, a) DPCA işleminden önce, b) DPCA işleminden sonra.....	77
Şekil 4.10. Uyumlu filtre kullanıldığı durumda Hedef 3 için menzil/Doppler haritası, a) DPCA işleminden önce, b) DPCA işleminden sonra.....	78
Şekil 4.11. Karşıt filtre kullanıldığı durumda Hedef 3 için menzil/Doppler haritası, a) DPCA işleminden önce, b) DPCA işleminden sonra.....	79
Şekil 4.12. Uyumlu filtre kullanıldığı durumda Hedef 4 için menzil/Doppler haritası, a) DPCA işleminden önce, b) DPCA işleminden sonra.....	80
Şekil 4.13. Karşıt filtre kullanıldığı durumda Hedef 4 için menzil/Doppler haritası, a) DPCA işleminden önce, b) DPCA işleminden sonra.....	81
Şekil 4.14. Uyumlu filtre kullanıldığı durumda Hedef 5 için menzil/Doppler haritası, a) DPCA işleminden önce, b) DPCA işleminden sonra.....	82
Şekil 4.15. Karşıt filtre kullanıldığı durumda Hedef 5 için menzil/Doppler haritası, a) DPCA işleminden önce, b) DPCA işleminden sonra.....	83
Şekil 4.16. Uyumlu filtre kullanıldığı durumda Hedef 6 için menzil/Doppler haritası, a) DPCA işleminden önce, b) DPCA işleminden sonra.....	84
Şekil 4.17. Karşıt filtre kullanıldığı durumda Hedef 6 için menzil/Doppler haritası, a) DPCA işleminden önce, b) DPCA işleminden sonra.....	86
Şekil 4.18. Farklı platform hızları için menzil/Doppler haritaları, a) $vP=125$ m/s için, b) $vP=250$ m/s için, c) $vP=500$ m/s için.....	88
Şekil 4.19. Farklı <i>TDPCA</i> süreleri için hedef kazancı/Doppler grafiği, a) kör hızlar kısmı, b) küçük Dopplere sahip hedefler için yakınlaştırılmış kısmı.....	89
Şekil 4.20. Farklı FM radyo dalga formları için iyileştirme faktörleri.	90
Şekil 4.21. Farklı FM dalga formları için genlik farklılıklarının olduğu ve olmadığı durumdaki iyileştirme faktörleri, a) sohbet programı için, b) sakın müzik için, c) dans müziği için, d) rock müzik için.....	93
Şekil 4.22. Farklı FM dalga formlarının genlik farklılıklarına karşı hassasiyetlerinin karşılaştırılması.	94
Şekil 4.23. Farklı FM dalga formları için faz farklılıklarının olduğu ve olmadığı durumdaki iyileştirme faktörleri, a) sohbet programı için, b) sakın müzik için, c) dans müziği için, d) rock müzik için.....	96
Şekil 4.24. Farklı FM dalga formlarının faz farklılıklarına karşı hassasiyetlerinin karşılaştırılması.	97
Şekil 4.25. Farklı FM dalga formları için ICM etkisinin olduğu ve olmadığı durumdaki iyileştirme faktörleri, a) sohbet programı için, b) sakın müzik için, c) dans müziği için, d) rock müzik için.	99
Şekil 4.26. Farklı FM dalga formlarının ICM etkisine karşı hassasiyetlerinin	

karşılaştırılması.....	100
Şekil Ek A.1. Hedef 1 için üç boyutlu menzil/Doppler haritası, a) DPCA işleminden önce (MF), DPCA işleminden sonra (MF), c) DPCA işleminden önce (RF), DPCA işleminden sonra (RF).	112
Şekil Ek A.2. Hedef 2 için üç boyutlu menzil/Doppler haritası, a) DPCA işleminden önce (MF), DPCA işleminden sonra (MF), c) DPCA işleminden önce (RF), DPCA işleminden sonra (RF).	114
Şekil Ek A.3. Hedef 3 için üç boyutlu menzil/Doppler haritası, a) DPCA işleminden önce (MF), DPCA işleminden sonra (MF), c) DPCA işleminden önce (RF), DPCA işleminden sonra (RF).	116
Şekil Ek A.4. Hedef 4 için üç boyutlu menzil/Doppler haritası, a) DPCA işleminden önce (MF), DPCA işleminden sonra (MF), c) DPCA işleminden önce (RF), DPCA işleminden sonra (RF).	118
Şekil Ek A.5. Hedef 5 için üç boyutlu menzil/Doppler haritası, a) DPCA işleminden önce (MF), DPCA işleminden sonra (MF), c) DPCA işleminden önce (RF), DPCA işleminden sonra (RF).	120
Şekil Ek A.6. Hedef 1 için üç boyutlu menzil/Doppler haritası, a) DPCA işleminden önce (MF), DPCA işleminden sonra (MF), c) DPCA işleminden önce (RF), DPCA işleminden sonra (RF).	122

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 2.1. Tipik pasif radar aydınlatıcıları için sinyal parametreleri.....	40
Çizelge 4.1. Simülasyonda kullanılan parametrelerin değerleri.	64

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

kHz	: kilohertz
MHz	: megahertz
GHz	: gigahertz
km	: kilometre
m	: metre
m ²	: metre kare
km/s	: kilometre bölü saat
m/s	: metre bölü saat
kW	: kilowatt
mW	: miliwatt
W	: watt
dB	: desibel
Tx	: verici
Rx	: alıcı
H	: hedef
R_T	: verici ile hedef arasındaki mesafe
R_R	: alıcı ile hedef arasındaki
R_L	: verici ve alıcı arasındaki mesafe
δ	: hedefin hız vektörü ile bistatik açının açıortayı arasındaki açı
β	: bistatik açı
θ_T	: verici görüş açısı
θ_R	: alıcı görüş açısı
R_B	: bistatik radar menzili
τ	: gecikme
c	: ışık hızı
BW	: bant genişliği

ΔR_B	: bistatik menzil çözünürlüğü
ΔR	: monostatik menzil çözünürlüğü
P_T	: iletilen güç
G_T	: verici anten kazancı
G_R	: alıcı anten kazancı
λ	: sinyal dalga boyu
σ_B	: hedefin bistatik radar kesit alanı
F_T	: Tx ten hedefe yayılma faktörü
F_R	: Rx ten hedefe yayılma faktörü
k	: Boltzmann sabiti
T_S	: alıcı sistem ısısı
BW_n	: alıcıdaki gürültü bant genişliği
L_T	: verici sistem kayıpları
L_R	: alıcı sistem kayıpları
R_T	: verici ile hedef arasındaki mesafe
R_R	: alıcı ile hedef arasındaki mesafe
f_D	: bistatik Doppler kayması
f_T	: taşıyıcı frekans
v_R	: alıcının hızı
v_H	: hedefin hızı
α_R	: alıcının hız vektörü ile alıcının hedefe bakan yönü arasındaki açı
t	: zaman
π	: pi sayısı
v_P	: platformun hızı
f_s	: örnekleme frekansı
T	: bir parçanın süresi
B	: bir CPI'daki parça sayısı
L	: bir parçadaki örnek sayısı
d	: antenler arası mesafe
j	: sanal birim
f_{DH}	: hedefin Doppler kayması
ϕ_r	: açısal dilim

R : menzil aralıklarının sayısı

Hz : hertz

μ : ortalama değer

σ^2 : varyans

KISALTMALAR

AA	: Arka Anten
AWGN	: Toplanabilir Beyaz Gauss Gürültüsü (Additive White Gaussian Noise)
CA	: Kargaşa Zayıflaması (Clutter Attenuation)
CNR	: Gürültü-Kargaşa Oranı (Signal-Noise Power Ratio)
CPI	: Evreuyumlu İşleme Aralığı (Coherent Processing Interval)
COFDM	: Kodlanmış Ortogonal Frekans Bölmeli Çoklama (Coded Orthogonal Frequency Division Multiplexing)
DAB	: Dijital Ses Yayını (Digital Audio Broadcasting)
DPCA	: Faz Merkezi Kaydırılan Anten (Displaced Phase Center Antenna)
DFT	: Ayrık Fourier dönüşümü (Discrete Fourier Transform)
DSI	: Doğrudan Sinyal Parazitini (Direct Signal Interference)
DVB	: Dijital Video Yayını (Digital Video Broadcasting)
DVB-T	: Dijital Video Yayını - Karasal (Digital Video Broadcasting - Terrestrial)
DVB-S	: Dijital Video Yayını - Uydu (Digital Video Broadcasting - Satellite)
<i>E</i>	: Beklenen Değer (Expected Value)
ETSI	: Avrupa Telekomünikasyon Standartları Enstitüsü
FM	: Frekans Modülasyonu (Frequency Modulation)
GMTI	: Yerdeki Hareketli Hedef Tespiti (Ground Moving Target Indication)
GPS	: Küresel Konumlama Sistemi (Global Positioning System)
GSM	: Mobil İletişimler İçin Küresel Sistem (Global System for Mobile Communications)
ICM	: İçsel Kargaşa Hareketi (Internal Clutter Motion)
IF	: İyileştirme Faktörü (Improvement Factor)
IDFT	: Ters Ayrık Fourier dönüşümü (Inverse Discrete Fourier Transform)
MF	: Uyumlu Filtre (Matched Filter)
OFDM	: Ortogonal Frekans Bölmeli Çoklama (Orthogonal Frequency Division Multiplexing)
ÖA	: Ön Anten
PCL	: Pasif Evreuyumlu Konum (Passive Coherent Location)
PRI	: Darbe Tekrarlama Frekansı (Pulse Repetition Interval)
RF	: Karşıt Filtre (Reciprocal Filter)

RA	: Referans Anten
RCS	: Radar Kesit Alanı (Radar Cross Section)
SAR	: Sentetik Açıklıklı Radar
SFN	: Tek Frekanslı Ağ (Single Frequency Network)
SNR	: Sinyal-Gürültü Oranı (Signal-to-Noise Ratio)
STAP	: Uzay-Zaman Uyarlamalı İşleme (Space-Time Adaptive Processing)
TG	: Hedef Kazancı
VHF	: Çok Yüksek Frekans (Very High Frequency)
WiFi	: Kablosuz Bağlantı Alanı (Wireless Fidelity)
YO	: Yok Etme Oranı

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Radar kelimesi, RAdio Detection And Ranging (radyo ile tespit etme ve menzil tayini) sözcüklerinin akronimidir. Bir radar sisteminin temel amacı hedef tespiti ve bu hedefin menzilin belirlenmesidir. Bunun yanında, radar sistemleri hedefin hızı, yönü ve yüksekliği gibi bilgileri de belirleyebilmektedir. Verici antenden radyo dalgası yayılır ve bu dalganın çarptığı nesnelere yansıyan sinyaller alıcı anten ile alınır. Alınan bu sinyal işlenerek hedef ve hedefe ait özellikler (hız, menzil vs.) tespit edilir.

Verici ve alıcı anten yan yana yerleştirilmiş ise bu tip radarlara monostatik radar denir. Radar sistemi ile hedef arasındaki mesafe, yansıyan sinyal alındıktan sonra basit bir uçuş süresi hesaplamasıyla belirlenir. Sinyalin alıcı antenden çıkıp hedefe çarptıktan sonra alıcı antene ulaşmaya kadar geçen süre dikkate alınarak hesaplanır.

Alıcı ve verici antenlerin farklı konumlara yerleştirildiği radarlar da mevcuttur. Bu tip radarlar ise bistatik radar olarak adlandırılır. Bistatik radarlarda hedefin menzili ise, doğrudan vericiden alınan sinyal ile hedeften yansıyan sinyal arasındaki gecikmenin hesaplanmasıyla yapılır.

Verici antenin radar sistemine dahil olmadığı radar çeşitleri de mevcuttur. Bu radarlar bir verici antenleri olmadığı için yayın yapmazlar ve bunun yerine halihazırda yayın yapan FM, dijital video yayını-karasal (DVB-T: Digital Video Broadcasting-Terrestrial), dijital ses yayını (Digital Audio Broadcasting), kablosuz bağlantı alanı (WiFi: Wireless Fidelity), vs. vericileri kullanırlar. Bu tip radarlar da pasif radar ya da pasif evreyumlu konum (PCL: Passive Coherent Location) radarı olarak isimlendirilir. Pasif radarlar, bir sinyal yaymadıkları için tespit edilemezler. Bundan dolayı özellikle savunma sanayinde ve gizli operasyon yapılacak durumlarda tercih edilirler.

İlk pasif radar deneyi 1935 yılında Birleşik Krallık'ta Robert Watson-Watt tarafından yapılmıştır. Daventry'deki BBC radyo vericisini kullanarak 8 km mesafedeki bir Handley Page Heyford bombardıman uçağını tespit ederek radar prensibini göstermiştir [1,2].

Almanlar, İkinci Dünya Savaşı sırasında pasif bir bistatik sistem kullandılar. Klein Heidelberg Parasit veya Heidelberg-Gerät olarak adlandırılan bu sistem, yedi bölgede (Limmen, Oostvoorne, Ostend, Boulogne, Abbeville, Cap d'Antifer ve Cherbourg) konuşlandırıldı ve aydınlatıcı olarak British Chain Home radarlarını kullanarak Kuzey Denizi'nin güney kısmındaki uçakları başarılı bir şekilde tespit etmişlerdir [2,3].

En büyük ve karmaşık pasif radar sistemlerinden biri İngiltere'de geliştirilen RX12874 veya diğer adıyla Winkle'dır. Winkle, uzun mesafeli radarları işe yaramaz hale getirecek kadar güçlü bir radar karıştırıcısı olan karsinotron'un (tek bir giriş voltajını değiştirerek geniş bir frekans aralığında ayarlanabilen mikrodalga üreten bir vakum tüpü) piyasaya sürülmesine yanıt olarak 1960'larda geliştirildi. Winkle, karsinotron taşıyan sinyal bozucu uçağın yüzlerce mil mesafeden izlenmesini ve dolayısıyla saldırıya uğramasını sağlamıştır [4].

1980'lerde ucuz bilgi işlem gücünün ve dijital alıcı teknolojisinin yükselişi, pasif radar teknolojisine olan ilginin yeniden canlanmasına yol açtı. Bu gelişmeler tasarımcıların çeşitli yayın sinyallerinden yararlanmak için dijital sinyal işleme tekniklerini uygulamalarına olanak sağladı. Birkaç ülkede gizli yürütülen programlar vardı, ancak ticari bir sistemin (Silent Sentry sistemi) ilk duyurusu 1998 yılında Lockheed Martin şirketi tarafından yapıldı. Bu sistem, frekans modülasyonu (FM: Frequency Modulation) ve analog televizyon vericilerini aydınlatıcı olarak kullanıyordu [2].

Son 15 yılda birçok çalışma yapılması ve makale yayınlanmasıyla birlikte pasif radar giderek tanınmıştır [5-18]. Günümüzde ise çok aktif bir araştırma alanı haline gelmiştir.

Pasif radarın aktif radara göre avantaj ve dezavantajları vardır. Avantajları:

- Daha düşük maliyetli olması,
- Frekans tahsisine gerek kalmadan gizli operasyon yeteneğine sahip olması,
- Fiziksel olarak küçüktür ve dolayısıyla geleneksel radarların bulunamayacağı yerlere kolayca yerleştirilebilir olması,
- Frekans bozma (jamming) zorluğudur.

Dezavantajları ise:

- Gelişmemiş daha ham bir teknoloji olması,
- Üçüncü taraf aydınlatıcılara bel bağlaması,
- Konuşlandırma karmaşıklığı,
- Sinyal işleme karmaşıklığıdır.

Pasif radar sisteminin uçan bir platforma yerleştirilerek yeryüzündeki hareketli hedeflerin tespit edildiği durumlar son zamanlarda ilgi odağı olmuş bir çalışma alanıdır [19-23]. Bu çalışmada da hareketli bir platforma yerleştirilmiş pasif radar sisteminin FM vericilerini aydınlatıcı olarak kullanarak yeryüzündeki hareketli hedeflerin tespiti analiz edilmiştir.

1.1. LİTERATÜR TARAMASI

Tim J. Nohara genellikle pasif radar sistemlerinde kargaşa yok etmek için kullanılan DPCA ve uzay-zaman uyarlamalı işleme (STAP: Space-Time Adaptive Processing) yaklaşımlarını karşılaştırmıştır. Hareket halindeki bir platforma yerleştirilmiş pasif radar, hedef tespiti sırasında platformun hareketinden dolayı kargaşaya maruz kalır. Bu durum hedefin tespit edilmesini zorlaştırır. Platform hareketli olduğu için bina gibi hareketsiz nesnelere yansıyan sinyaller de sanki hareketli bir hedeften yansıyor gibi algılanır. Bu sorunu ortadan kaldırmak için DPCA veya STAP yöntemleri kullanılır. STAP yönteminin hesaplama karmaşıklığı DPCA göre fazladır. Buna bağlı olarak işlem yükü de fazladır. Bunun aksine, DPCA yönteminin kargaşa

yok etme performansını sürdürebilmesi için faz merkezlerinin platform hareket vektörüyle eş doğrusal olması gerekmektedir [24].

David D. Aalfs ve E. J. Holder çoklu anten yapılarından oluşan alıcı sistemlerdeki kanallar arası uyumsuzluk sorunun etkisi üzerine analiz yapmışlardır. Önceki çalışmalarda, kanalların birindeki genlik veya faz cevabındaki sinüzoidal bir dalgalanma ile basit iki kanallı bir dizi anten için kanallar arası ilişkinin analitik ifadeleri geliştirilmiştir. Bu çalışmada ise, önceki çalışmalardaki sonuçları, zaman gecikmeli yönlendirmeden faydalanarak daha büyük dizilerin modellenmesine izin veren daha genel bir modele genişletmişlerdir [25].

Paul D. Mountcastle yerdeki hedefleri tespit eden radar sistemi için kargaşa yok etme yöntemlerinin performansını düşüren ICM üzerine analiz yapmıştır. Bu durum rüzgar ve deniz dalgası etkisinden kaynaklanmaktadır. Radarın performansını oldukça düşürür. Bu çalışmada rüzgar etkisi üzerine bir model oluşturulmuştur. Bu model, rüzgarın hızına orantılı olarak nasıl bir etki oluştuğunu gösterir [26].

D. Poullin son zamanlardan birçok Avrupa ülkesinde ortaya çıkan Kodlanmış Ortogonal Frekans Bölmeli Çoklama (COFDM: Coded Orthogonal Frequency Division Multiplexing) modülasyonu kullanan pasif radar üzerine çalışma yapmıştır. COFDM dalga formu 1,5 MHz bant genişliğine sahip DAB sinyalleri ve 7,6 MHz bant genişliğine sahip dijital video yayını (DVB: Digital Video Broadcasting) sinyalleri için kullanır. Bu çalışmada DAB sinyalleri için COFDM modülasyonunu tanımlamıştır. Pasif radar sisteminde alıcı ve verici sabit bir konumdadır. COFDM vericilerini kullanarak hedef tespit performansını test etmiştir. Klasik dalga formlarına göre COFDM dalga formunu kullanan vericilerin düşük kargaşa hassasiyetinin fazla olduğu sonucuna varmıştır. Ayrıca menzil çözünürlüğünü 200 m olarak elde etmiştir [27].

D.K.P. Tan, H. Sun, Y. Lu, M. Lesturgie ve H.L. Chan mobil iletişim için küresel sistem (GSM: Global System for Mobile Communications) sinyallerini kullanan bir pasif radar sisteminin teorisi ve geliştirilmesi üzerine çalışma yapmışlardır. GSM sinyallerinin pasif radar sistemleri için aydınlatıcı olarak kullanılabilirliğini

göstermişlerdir. Aydınlatıcı olarak GSM sinyallerini tercih etmelerinin nedeni ise, GSM baz istasyonlarının kullanıcılarına sürekli hizmet sağlamak için geniş alanlara konumlandırılmış olarak sürekli radyo sinyali akışı sağlamalarıdır. Bunun pasif radar için iki faydası vardır. Birinci faydası radar performansı arttırmak multistatik yapılı bir pasif radar sistemi tasarlanabilir. İkinci faydası ise kullanıcılarına sürekli hizmet sağladıkları için bir sinyal kesintisine uğramazlar. GSM sistemleri, GSM 900 ve GSM 1800 olmak üzere iki farklı frekans bandında yayın yapmaktadırlar. Bu, GSM operatörlerinin tercihinine göre bölgeden bölgeye değişiklik göstermektedir. GSM 900'ün daha iyi kapsama alanı olduğu için bu çalışmada GSM 900 tercih edilmiştir. Geliştirdikleri pasif radarın alıcı sistemi iki antenden oluşmaktadır. Bu antenlerden biri referans sinyali alırken diğeri ise hedeften yansıyan sinyali alır. Hareketli hedefleri tespit etmek için alınan bu iki sinyal işlenir. Geliştirdikleri sistemin performansını bir yol kenarında hareketli araçları tespit ederek analiz etmişlerdir. Sistem, GSM sinyalleri kullanıldığı için düşük menzil çözünürlüğüne sahiptir. Ayrıca çalışma menzili yeryüzünde hareket eden araçlar için birkaç yüz metre ile 1 km arasındadır ve bu oldukça düşük bir değerdir. Gelecek çalışmalarında pasif radar sisteminin performansının iyileştirilmesi için birden fazla GSM baz istasyonu kullanarak multistatik bir yapıya geçiş yapmayı planlamaktadırlar. Ayrıca, daha gelişmiş sinyal işleme teknikleri kullanarak sadece yeryüzündeki hedefleri değil deniz ve hava araçlarının da tespiti sağlanabilir [9].

Shentang Li, Zhigang Wang ve Hong Wan pasif radar sistemlerinde hedef tespitine engel teşkil eden doğrudan sinyal parazitini (DSI: Direct Signal Interference) yok etmeye yönelik bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. DSI, doğrudan vericiden yayılan sinyalin referans anten yerine gözetim antenlerinden alınmasıyla meydana gelir. Bu durum hedeften yansıyan sinyali bastırarak hedefin tespit edilmesini zorlaştırır. Geliştirdikleri pasif radar sistemi hedef tespiti için FM radyo sinyallerini kullanır. Alıcı sistem biri referans ve diğeri gözetim anteni olmak üzere iki antenden oluşmaktadır. Bu antenler logaritmik periyotlu antenlerdir. Alıcı sistem ile FM vericisi arasındaki mesafe 70 km'dir. Alıcı sistemdeki antenler arası mesafe ise 14 m'dir. FM vericisinin yayın yaptığı frekans 104,1 MHz'dir. Alıcı sistem yeryüzüne sabit bir konuma yerleştirilmiş ve havada hareket halindeki uçakların tespitini amaçlamaktadır. DSI'yi yok etme referans kanalından alınan sinyalin gözetim

kanalından alınan sinyalden çıkartılması yaklaşımına dayanır. Deneylerinde DSI yok etme işlemini 30 dB seviyelerinde gerçekleştirmişlerdir [28].

Siavash Bayat, Mohammad Mahdi Nayebe ve Yaser Norouzi geniş kapsama alanına sahip FM radyo sinyallerini kullanarak hedef tespiti yapan pasif radar üzerine çalışma yapmışlardır. Alıcı sistem yeryüzünde sabit bir konumdadır ve uçak gibi havada hareket halinde bulunan hedefleri tespit etmeyi amaçlamışlardır. Hedef tespiti için geliştirdikleri algoritmanın ana hedefi zayıf hedefleri de tespit etmektir. Algoritma, tespit ettikleri hedefi belirsizlik fonksiyonundan çıkararak daha zayıf olan bir hedefi tespit etmeye dayanır. Bu çıkarma işlemini her hedef tespit edildikten sonra tekrarlarlar ve bu algoritmayı kademeli temiz algoritmayı olarak adlandırmışlardır. Taşıyıcı frekansı 106,2 MHz olan FM vericisi, alıcı sistemden 30,5 km uzakta ve 2600 m yükseklikte bulunmaktadır. Alıcı sistem, biri FM vericisinden direkt olarak gelen referans sinyali almak diğeri ise hedeften yansıyan sinyali almak için iki antenden oluşmaktadır. Bu antenler 19 m yükseklikteki bir kuleye yerleştirilmiştir. Menzil çözünürlüğünü 15 m olarak elde etmişlerdir. 210 km uzaklıktaki iki sivil hedefi tespit etmeyi başarmışlardır [29].

A. Di Lallo, A. Farina, R. Fulcoli, P. Genovesi, R. Lalli ve R. Mancinelli FM radyo sinyallerini aydınlatıcı olarak kullanan bir pasif radar sisteminin tasarımı, geliştirilmesi ve testini gerçekleştirmişlerdir. Geliştirdikleri bu pasif radar sistemi alçak uçuş yapan ve düşük radar kesit alanına sahip hedeflerin tespitine yöneliktir. Pasif radarın alıcı sistemi biri referans sinyali almak diğeri ikisi ise hedeften yansıyan sinyalleri almak için toplam üç tane logaritmik periyotlu antenden oluşmaktadır. Bu tür bir antenin kullanılması direkt olarak vericiden gözetim antenlerine gelen sinyalin oluşturduğu paraziti azaltmıştır. Sinyal işleme kodunu geliştirmek için iki farklı programlama dili dahil edilmiş ve birleştirilmiştir. Yazılım C++ programlama dili ile yazılırken uyarlanabilir yok etme ve çapraz korelasyon gibi bazı sinyal işleme kısımları ise FORTRAN 90 ile gerçekleştirilmiştir. FORTRAN sayısal hesaplama işlemleri için çok uygundur. Testlerinde performansı kayda değer şekilde arttırdığını gözlemlemişlerdir. Özellikle uyarlanabilir yok etme kısmının çalışma süresini 13 saniyelerden 900 milisaniyelere kadar azalttığını gözlemlemişler. 360 km bistatik menzile kadar olan hedeflerin tespitini gerçekleştirmişlerdir [30].

D. W. O'Hagan ve C. J. Baker FM vericilerini kullanarak hareketli hedef tespiti yapan bir pasif radar sistemi üzerine analizler yapmışlardır. Geliştirdikleri pasif radar sistemi yeryüzünde sabit bir yerde konumlandırılmış ve uçak gibi havada hareket halindeki hedefleri tespit etme üzerine tasarlanmıştır. Alıcı sistem iki antenden oluşmaktadır. Bu antenlerden biri FM vericisinden direkt olarak yayılan sinyali almak ve diğer anten ise hedeften yansıyan sinyali almak üzere ayarlanmıştır. Radarın performansını düşüren en önemli faktörlerden biri DSI'dır. DSI vericiden yayılan sinyalin direkt olarak gözetim sinyalinden alınması durumunda meydana gelir. Direkt olarak alınan sinyalin genliğinin hedeften yansıyan sinyalin genliğinden büyük olması durumunda hedef tespiti zorlaşır. Bu durumda DSI'nın yok edilmesi gerekir ya da en uygun verici-alıcı geometrisini seçmek akıllıca olacaktır. Böylece doğrudan sinyal bileşeni, gözetim anteni arka lobunun bir boşluğuna yerleştirilebilir. Radarın performansını arttırmak ve kapsama alanını genişletmek için iki tane FM vericisi kullanmışlardır. Bunlardan biri alıcı sisteme 11,8 km uzaklıkta iken diğeri ise 37 km uzaklıkta bulunmaktadır. Hedefin olası radar kesit alanını 20 m^2 olarak farz etmişlerdir. 70 km bistatik menzile sahip bir yolcu uçağını tespit etmişlerdir. Fakat teorik hesaplamalarına göre yaklaşık 200 km bistatik menzile kadar olan hedefleri tespit edebilmektedirler [31].

Hongbo Sun, Danny K. P. Tan ve Yilong Lu yeryüzüne yerleştirilmiş bir pasif radar ile kısa menzildeki uçan hedeflerin tespiti üzerine odaklanmışlardır. Kısa menzildeki hedefleri tespit etmeyi amaçladıkları için aydınlatıcı olarak GSM sinyallerini tercih etmişlerdir. Singapur bulunan Nanyang Teknik Üniversitesi'nde geliştirdikleri pasif radarın alıcı sisteminde daha iyi performans elde etmek için dört anten kullanmışlardır. Antenler arası mesafe ise 0,255 m'dir. Diğer pasif radar sistemlerinde referans sinyali almak için çoğunlukla farklı bir anten kullanılırken bu sistemde ise gözetim antenleri kullanılmıştır. Alıcı antenler ile GSM baz istasyonu arasında hiçbir hedefin olmadığı bir anda, alıcı antenleri GSM istasyonuna yönlendirerek referans sinyali elde etmişlerdir. Geliştirdikleri pasif radar sistemini Singapur Changi Uluslararası Havalimanı'nın yanındaki Changi kıyısında test etmişlerdir. Burayı seçmelerinin nedeni ise kargaşa sinyaline maruz kalacakları binaların bulunmadığı geniş bir alan olmasıdır. Pasif radar sistemini havalimanı binasının tepesine yerleştirmişlerdir. Deniz üzerinden piste inen uçakları tespit

etmeyi hedeflemişlerdir. Ayrıca bistatik radar denklemi yardımıyla hedefin radar kesit alanını (RCS: Radar Cross Section) belirlemeye çalışmışlardır. Alıcı sistem ile GSM baz istasyonu arasındaki uzaklık ise 860 m'dir. Kapsama alanı 2 km'den azdır. İleriki çalışmalarında radarın performansını arttırmak ve kapsama alanını genişletmek için birden fazla GSM baz istasyonu kullanmayı amaçlamışlardır [32].

Reda Zemhari, Ulrich Nickel ve Wulf-Dieter Wirth orta menzilli gözetim için bir pasif radar sistemi üzerine çalışma yapmışlardır. Radar sistemi, GSM sinyallerini kullanarak hareketli hedef tespiti yapmaktadır. Radarın alıcı sisteminde hem referans sinyali hem de gözetim sinyallerini almak için dizi anten kullanmışlardır. Yeryüzüne yerleştirilen pasif radar sistemi ile yine yeryüzünde hareket halindeki hedeflerin tespiti amaçlanmıştır. 1,85 km'deki 60 km/s hızla giden bir minibüsü tespit etmeyi başarmışlardır. Bistatik açı 0 derece iken maksimum bistatik menzil çözünürlüğünü 1,845 km olarak elde etmişlerdir [33].

Bart Kahler ve Erik Blasch hava radarı ile hareketli hedeflerin tespiti üzerine çalışma yapmışlardır. Üç fazlı dizi antenle yapılandırılmış bir alıcı sistemden üç kanallı radar verisi toplama ve işleme yeteneğini göstermişlerdir. Geleneksel olarak kabul edilen iki kanallı kargaşa yok etme tekniklerini çok kanallı bir sistem kullanarak geliştirmişlerdir. Üç veri kanalına uygulanan teknik, hareketli hedefin özelliklerini korurken kargaşa yok etmeyi çok başarılı bir şekilde sağlamıştır. Bu yöntemde işlem yükü oldukça artmıştır ve buna potansiyel bir çözüm, zaman alan blok işleme adımlarının paralelleştirilmesidir. Gelecekteki çalışmalarında işlem yükü azaltılmasına yönelik çalışmalar yapmayı planlamaktadırlar [34].

L.Ortenzi, L. Timmoneri ve D. Vigilante FM radyo sinyallerini kullanarak hedef tespit ve izleme yapan pasif radar sistemi analiz etmişlerdir. Geliştirdikleri algoritma DSI yok etme yeteneğine sahiptir. Pasif radarın alıcı sistemi üç antenden oluşmaktadır. Bu antenlerden iki tanesi hedef gözlemi yaparken diğeri ise referans sinyali almaya odaklanmıştır. Hedef izleme işlemi için kullanılan üç alternatif filtreleme tekniğinin performansını değerlendirmişler ve sonuçları karşılaştırmışlardır. Bu filtreler, geometrik dönüşüm, parçacık filtresi ve kokusuz Kalman filtresidir. Üç algoritma, Monte Carlo simülasyonları aracılığıyla

değerlendirilmiş ve karşılaştırılmıştır: bu amaçla, çeşitli ölçüm gürültüsüne sahip 1000 bağımsız deneme çalıştırılmıştır. Geometrik dönüşüm düşük hesaplama maliyetli bir çözümdür, ancak Kalman filtresi kadar iyi doğruluklar elde etmek için yeterli değildir. İzlemeyi sürekli kılmak için çok yüksek bir işlem gürültüsüne ihtiyaç duyar, bu da hata düzeltme etkin kılmaz. Parçacık filtresine kıyasla, kokusuz Kalman süzgecinin hemen hemen aynı performansı daha az hesaplama yükü ile sağladığını göstermişlerdir [35].

Richard J. Czernik ve John J. SantaPietro ICM'nin yeryüzündeki hareketli hedeflerin tespiti için geliştirilen bir monostatik radarın performansını nasıl etkilediği üzerine çalışma yapmışlardır. Bu ICM'ye rüzgarın ve deniz dalgalarının hareketleri sebep olur. Bu etkiler göz önünde bulundurulduğunda, bir hedeften alınan yansımanın darbeden darbeye dalgalanması sezgisel olarak beklenmelidir. Bu dalgalanma, kargaşa çıkıntısının genişlemesine neden olacak ve olası hedeflerin tespiti zorlaşacaktır. Düşük radar kesit alanına sahip ve yavaş hareket eden hedeflerin havada hareket halindeki bir platforma yerleştirilmiş monostatik radar ile tespit edilmesi amaçlanmıştır. Monostatik radar olduğu için alıcı ve verici anten radar sistemine dahildir. Pasif radarlarda olduğu gibi farklı konumdaki bir verici kullanılmamıştır. Alıcı sistem altı dizi antenden oluşmaktadır. Verici sistemin iletim gücü 5 kW'tır. İletilen sinyalin taşıyıcı frekansı 10 GHz'dir. Platform 4 km irtifada ve 90 m/s hızla hareket etmektedir. Efektif menzil çözünürlüğü ise 5 m'dir. Bu parametrelere göre yapılan simülasyon sonucunda elde edilen minimum tespit hızı yaklaşık 1 m/s'dir. ICM'nin olduğu ve olmadığı durumlardaki sonuçlar gösterilmiştir [36].

Nicolas Millet ve Mathieu Klein FM ve DVB-T vericilerini aydınlatıcı olarak kullanan iki ayrı multistatik pasif radar sistemi geliştirmişlerdir. HA100 olarak adlandırdıkları sistem FM vericilerini kullanmaktadır. FM radyo sinyallerinin bant genişliği doğrudan yayın yapılan program içeriğine bağlıdır. Deneylerinde 100 kHz ve 10 kHz arasında bant genişlikleri elde etmişlerdir. Bu değerler 1,5 km ile 15 km arasında monostatik menzil çözünürlükleri sağlamaktadır. İki FM vericisi arasındaki uzaklık 40 km'dir. Bu vericilerin alıcı sisteme uzaklıkları ise 20 km ile 120 km'dir. 100 km uzaklığa kadar olan hedeflerin tespitini başarıyla gerçekleştirmişlerdir. Çok

iyi hız çözünürlüğü sayesinde de yavaş hareket eden hedeflerin tespiti sağlanmıştır. SINBAD olarak adlandırdıkları pasif radar sistemi DVB-T vericilerini aydınlatıcı olarak kullanmaktadır. Bu vericiler 470 MHz ile 860 MHz arasında yayın yapmaktadır. Sağladığı monostatik menzil çözünürlüğü 20 m'dir. Alıcı sistem üç alıcıdan oluşmaktadır. Alıcı sistem ile verici arasındaki mesafe 20 km ve 40 km'dir. 450 m ile 600 m irtifada uçan uçakların tespitini gerçekleştirmişlerdir. FM vericisine kıyasla hedefin konumu daha doğrulukta belirlenmiştir. Fakat kapsama alanı FM vericisine göre çok azdır. Yaklaşık 30 km yarıçaplı bir alanı kapsamaktadır [37].

D. W. O'Hagan, A. Capria, D. Petri, V. Kubica, M. Greco, F. Berizzi ve A. G. Stove liman bölgesinin güvenliğini sağlamak için pasif radarın uygulanabilirliğini incelemişlerdir. Gemi, tekne, kayak gibi deniz araçlarının tespiti ve takibi üzerinde çalışmışlardır. Bu çalışmayı, işlek bir liman olmasından dolayı İtalya'daki Livorno limanında gerçekleştirmişlerdir. Teorik radar performansını saptamak için simülasyonlar yapmışlar ve deneysel sonuçlar ile karşılaştırmışlardır. Pasif radarların liman koruma uygulamaları için uygun bir çözüm olduğunu göstermişlerdir. Limandan uzaklığı 40 km olan menzildeki hedefleri tespit etmenin teorik olarak mümkün olduğunu bulmuşlardır. Bu, monostatik bir deniz radarı ile karşılaştırılabilir ve genel bir gemi yönetim şeması oluşturmak için faydalı olabilecek algılama menzili sunar. Deneysel olarak sistemin performansını belirlemek için sadece hedeflerin olduğu bir an denenmiştir ve yakın liman bölgesini gözlemlemişlerdir. Yakın liman bölgesini ise limandan 3 deniz mili uzaklık olarak belirlemişlerdir. 170 m uzunluğundaki gemileri tespit etmeyi başarmışlardır. Gelecek çalışmaları için daha uzak menzildeki ve daha küçük uzunluktaki hedeflerin tespiti için çalışmalar yapmayı planlamaktadırlar [10].

M. Malanowski, K.S. Kulpa, P. Samczynski, J. Misiurewicz ve J. Kulpa uzun tespit etme menziline sahip bir pasif radar konsepti üzerine analizler yapmışlardır. Bu konsept teorik analiz, simülasyonlar ve gerçek ölçümler ile doğrulanmıştır. Tasarladıkları sistem FM vericilerini aydınlatıcı olarak kullanmaktadır. Bu sistemi Varşova Teknoloji Üniversitesi'nde geliştirmişlerdir. Gerçek zamanlı olarak çalışabilme kabiliyetine sahiptir. Alıcı sistem, sekiz çift kutuplu dairesel antenden oluşmaktadır. Verici gücüne göre tespit menzili 400 km ile 250 km arasında

değişebilmektedir. Testlerinde 300 km menzile kadar olan hedeflerin tespiti başarılı bir şekilde gerçekleştirilmiştir. Testleri Polonya'nın Ustka kentinde gerçekleştirilmiştir. Alıcı ile FM vericisi arasındaki mesafe 60 km'dir ve vericinin ışımaya gücü 60 kW'tır [38].

James Brown, Karl Woodbridge, Hugh Griffiths, Andy Stove ve Simon Watts uçan bir platforma yerleştirilmiş pasif radar ile hareketli hava araçlarının tespitini amaçlamışlardır. Kapsama alanının geniş olması amacıyla iletim gücü yüksek olan FM vericilerini aydınlatıcı olarak seçmişlerdir. Platformun hareketli olmasından dolayı daha geniş kapsama alanı sağlanabilir. Alıcı sistem iki kanaldan oluşmaktadır. Kanallardan bir tanesi vericiden yayılan referans sinyalini almak için diğer ise hedeften yansıyan sinyali almak için kullanılmaktadır. Alıcı sistem uçağın kanatlarının üstüne yerleştirilmiştir. Böylece yeryüzünden yansıyan sinyallerin antenler tarafından alınıp hedef tespitinin zorlaşması engellenmiştir. Aydınlatıcı olarak iki tane FM vericisi kullanmışlardır. Bunlardan bir tanesi Wrotham vericisidir. 89,1 MHz frekansta yayın yapmaktadır ve alıcı sistemden 40 km uzaklıkta bulunmaktadır. Etkin ışımaya gücü de 150 kW'tır. Diğerisi ise Oxford vericisidir. Bu vericide 89,5 MHz' yayın yapmakta olup alıcı sisteme 120 km uzaklıktadır ve etkin ışımaya gücü 46 kW'tır. Gerçekleştirdikleri testlerde yaklaşık 4,7 km ve 7,4 km irtifadaki iki uçağı tespit etmişlerdir [39].

Reda Zemmari, Martina Daun ve Ulrich Nickel deniz kıyı trafiğini gözlemlemek için bir pasif radar uygulaması gerçekleştirmişlerdir. Aydınlatıcı olarak GSM sinyallerini kullanmışlardır. Tek bir GSM vericisi yerine birden çok vericiyi kullanarak multistatik yapıda bir pasif radar sistemi geliştirmişlerdir. Böylece kapsama alanını genişletmişler ve hedefin konumu daha hassas belirlemeyi sağlamışlardır. Pasif radar sistemini feribot, kargo gemileri ve serbest denizcilerin yoğun olarak geçtiği Mecklenburg kıyısında test etmişlerdir. Alıcı sistemi bir kıyıya yakın ve denizi gören 56 m yükseklikteki bir kuleye yerleştirmişler ve test sonucunda hedefleri başarılı bir şekilde tespit etmeyi başarmışlardır [40].

Thomas K. Sjögren, Viet T. Vu, Mats I. Pettersson, Feng Wang, Daniel Murdin, Anders Gustavsson ve Lars M. H. Ulander çok kanallı sentetik açıklıklı radar (SAR:

Sythetic Aperture Radar) ile hedef tespiti ve kargaşa yok etme üzerine çalışma yapmışlardır. Bu iki kanallı SAR ile filtreleme işleminin, STAP ve göreceli hızlı odaklanma kullanılarak nasıl yürütülebileceğini göstermişlerdir. Deneysel sonuçlarda, kargaşa yok etmek için iki kanal kullanılmıştır. Ortaya çıkan SAR görüntülerinde, görüntü sahnesindeki hareket eden hedefe kıyasla çok güçlü saçılımları ve orman alanları bastırılmıştır. Hedef kazancını 25 dB seviyelerine kadar arttırmışlardır [41].

Stanisław Rzewuski, Maciej Wielgo, Krzysztof Kulpa, Mateusz Malanowski ve Janusz Kulpa hedef tespiti için WiFi sinyallerini kullanan bir pasif radar sistemi geliştirmişlerdir. Bu sistem araç gibi hareketli bir hedefi tespit ederken farklı noktalara konumlandırılmış birden fazla WiFi sinyalini kullanır. Pasif radarın multistatik yapıda olması kapsama alanını genişletmiş ve radarın performansını arttırmıştır. Alıcı sistem, referans sinyali ve hedeften yansıyan gözetim sinyalini almak için iki ayrı antenden oluşmaktadır. Radar sistemini test ederken alıcı sistemi bir binanın en üst katındaki balkonuna yerleştirmişlerdir. Üç adet WiFi vericisi, alıcı sistemden 70 m uzakta bir konumlara yerleştirilmiştir. Yönlü antenlerden bir tanesi WiFi vericilerine, diğeri ise binanın önündeki boş alana yönlendirilmiştir. WiFi sinyali 2,432 GHz frekansta yayın yapmaktadır ve bant genişliği 20 MHz'dir. Bundan dolayı binanın önündeki boş alanda hareket halindeki bir aracı 15 m menzil çözünürlüğü ile tespit etmeyi başarmışlardır [42].

Zeyue Sun, Tianyun Wang, Tao Jiangy, Chang Chen ve Weidong Chen aydınlatıcı olarak dijital video yayını-uydu (DVB-S: Digital Video Broadcasting-Satellite) sinyalini kullanan pasif radar sistemi üzerine çalışmışlardır. Bu çalışmada, DVB-S sinyalinin özelliklerini ve çözünürlük kapasitesini incelenmişlerdir. Pasif radarın alıcı kısmında iki anten kullanmışlardır. Bunlardan bir tanesi referans sinyali almak için diğeri ise hedeften yansıyan sinyali almak için kullanmışlardır. Pasif radar sistemi yeryüzüne yerleştirildiği için sabit konumdadır. Bu yüzden gözetim için tek bir anten yeterli olmuştur. Bilim ve Teknoloji Üniversitesi'nde tasarladıkları pasif radar sisteminde aydınlatıcı olarak APStar-5 uydusu tarafından iletilen DVB-S sinyalini kullanmışlardır. Kullandıkları bu sinyalin merkez frekansı 12,43 GHz ve bant genişliği 30,27 MHz'dir. Elde ettikleri menzil çözünürlüğü 4,95 m'dir. Geniş bant

genişliği sayesinde yüksek menzil çözünürlüğü sağlar. Ayrıca geniş kapsama alanına sahiptir [43].

James E. Palmer, H. Andrew Harms, Stephen J. Searle ve Linda M. Davis, DVB-T sinyalinin aydınlatıcı olarak kullanan bir pasif radar sisteminin detaylı incelemesini yapmışlardır. Pasif radar sisteminin yeryüzüne yerleştirilmiş alıcı kısmında biri referans sinyali almak için diğeri ise gözetim sinyalinin almak için iki anten kullanmışlardır. Bu radar sistemi ile uçan hedeflerin tespitini amaçlamışlardır. Radar menzil/Doppler işleme için gerekli olan, ilgili hedefin menzil ve Doppler'inin oluşturduğu belirsizliktir. Bu belirsizlikler pasif radar sisteminin hedef tespit etme etkinliğini düşürür ve yanlış tespitler meydana getirir. DVB-T sinyal yapısı, belirsizlikler ortaya çıkarırken alıcı ve verici arasındaki uyumsuzluğı daha iyi belirlemek için de kullanılır. Belirsizlik fonksiyonunu analiz ederek DVB-T sinyalinin gecikme ve Doppler özelliklerini açıklamışlardır. Menzil/Doppler işleme kısmında kargaşa ve belirsizliklerin etkisini azaltmak için pasif radar tarafından alınan referans ve gözetim sinyallerini işlemişlerdir. Böylece hedef tespitinin etkinliğini arttığını göstermişlerdir [44].

Tamas Peto, Levente Dudas ve Rudolf Sella, basitleştirilmiş modeller kullanarak DVB-T tabanlı bir pasif radarın uygulanabilirliğini test etmişlerdir. Sundukları modelde yeryüzüne konumlandırılmış bir pasif radar sisteminin uçan bir hedefi tespit etmesi üzerinde çalışmışlardır. Bunun için öncelikle temel pasif radar sinyal işleme metodlarını sunmuşlardır. Pasif radar sistemi için aydınlatıcı olarak kullanılabilen olan DVB-T ve analog TV sinyallerini detaylıca incelenmişlerdir. Bunun sonucunda hedef tespitinin daha kolay olması bakımından daha yüksek dinamik aralığa sahip olan DVB-T sinyalinin aydınlatıcı olarak kullanmaya karar vermişlerdir. lm sonuçlarına göre, pasif radarların hedef tespit yönteminin daha önce çalışıldığı şekliyle doğru olduğu sonucuna varmışlardır [45].

Pierrick Abiven, Teng Joon Lim ve Jonathan Pisane uçakların pasif radar ile görüntülenmesi üzerine çalışmışlardır. Pasif radar ile ilgili çalışmaların çoğu tespit etme üzerine yapılmıştır. Bu sebeple, daha az çalışma bulunan pasif radar görüntüleme üzerine yoğunlaşmışlardır. FM radyo sinyallerini kullanarak yeryüzüne

yerleştirilmiş sabit bir konumdaki alıcı sistem ile uçakların görüntülenmesi sağlanmıştır. Bir radar görüntüsü oluşturmak için farklı frekanslarda ve açılarda uçağın RCS'sinin Fourier dönüşümü kullanarak radar görüntüleme işlemi gerçekleştirilmiştir. Bununla birlikte, yorumlanabilir bir görüntü oluşturmak için Fourier uzayının yeterince büyük bir kısmı doldurulmalıdır ve bu, bistatik ve görüş açıları ile mevcut frekanslara bağlıdır. Bu parametreler ve pasif radar görüntüleme performansı arasındaki ilişkiler analiz edilmiş ve tartışılmıştır. Singapur'da konumlandırılmış pasif radar sistemi ile Singapur ve Malezya'da bulunan FM vericileri aydınlatıcı olarak kullanılarak alçak irtifada uçan uçaklar görüntülenmiştir. Singapur'daki vericinin pasif radar sistemine uzaklığı 10,6 km iken Malezya'daki vericinin 30,5 km'dir. Malezya'daki vericinin Singapur'daki vericiden daha büyük bistatik açı değerlerine sahip olduğu ve bu nedenle Malezya'dan gelen sinyalleri kullanarak bulunan çözünürlük bistatik konfigürasyondan daha fazla etkilenecektir. Bunun aksine Malezya'nın vericilerini kullanan görüntüler, daha büyük frekans bant genişliği nedeniyle daha iyi bir çözünürlüğe sahiptir. Görüntü oluşturmak için bright point model kullanılmıştır. Bu yöntemde tespit edilen bir noktanın etrafındaki tespit edilen noktalara uzaklıkların çözünürlük ile ilişkilendirilerek hedefin yapısının tanımlanmasına dayanır. 40 m uzunluğundaki bir uçağı bu yöntem ile görüntülenmesi gerçekleştirilmiştir. Gelecekteki çalışmalarında, pasif radar görüntü çözünürlüklerini iyileştirmek için iki vericiden gelen verilerin birleştirilmesinin bir araştırmasını içerecektir [46].

J.-L. Barcena-Humanes, N. del-Rey-Maestre, M. P. Jarabo-Amores, D. Mata-Moya ve P. Gomez-del-Hoyo aydınlatıcı olarak uyduları kullanan pasif radar özelliklerini analiz etmişlerdir. Pasif radar sistemlerinde aydınlatıcı olarak küresel konumlama sistemi (GPS: Global Positioning System) ve DVB-S sinyallerini kullanmışlardır. GPS sinyallerini kullandıklarında, yeryüzüne sabit olarak konumlandırılmış pasif radar alıcı sistemi ile aydınlatıcı olarak kullanılan uydu arasındaki uzaklık 20,200 km'dir. Alıcı sistem ile aydınlatıcının arasındaki mesafenin bu kadar fazla olması yeryüzüne bulunan aydınlatıcılara göre güç akısı yoğunluğunun düşük olması anlamına gelir. Bu nedenle pasif radar sisteminin kapsama alanı alıcı sistemin bulunduğu konuma yakın küçük bir bölge olacaktır. Ayrıca aydınlatıcı 1,572 GHz taşıyıcı frekansa ve 20 MHz bant genişliğine sahiptir. Aydınlatıcı olarak DVB-S

sinyalleri kullanıldığında ise alıcı sistem ile uydu arası mesafe 35,780 km'ye çıkmıştır. Sinyalin taşıyıcı frekansı 12 GHz ve bant genişliğe ise 100 MHz'dir. GPS sinyalleri kullanıldığında pasif radar performansı düşmüştür. DVB-S sinyallerinin kullanılması daha küçük hedeflerin tespit edilmesini sağlamıştır. GPS sinyalleri kullanıldığı durumda menzil çözünürlüğü 5 m iken DVB-S sinyalleri kullanıldığında ise 1,5 m elde edilmiştir. Test aşamasında alıcı sistem İber yarımadasının kıyı şeridinde konumlandırılmıştır. Yat, balıkçı teknesi ve ufak hava araçları gibi küçük boyutlu araçların tespit etmesi zordur. Bu sebeple geliştirdikleri pasif radar sistemi daha büyük araçları tespit etmeye odaklanmıştır [47].

Benjamin Knoedler ve Reda Zemhari GSM temelli bir pasif radar sistemindeki kanallar arası hatanın kalibrasyonunu incelemişlerdir. Kalibrasyon işleminin amacı, bir doğrusal anten dizisi kullanarak birçok kanallı alıcının her alınan sinyalinde bulunan bilinmeyen faz ve genlik hatalarını telafi etmektir. Faz ve genlik değerleri, konumları bilinen GSM temelli istasyonlarından alınan sinyaller kullanılarak tahmin edilir. Yöntem, tahmin sonuçlarını iyileştirmek için birkaç baz istasyonunu aynı anda işleyecek şekilde uyarlanmıştır. Kendi kendini kalibrasyon sonuçları ile iletilen bir sinüzoidal sinyal kullanılarak harici yapılan kalibrasyonun sonuçlarını karşılaştırmışlardır. Test işleminde hedef tespiti için toplam altı adet GSM baz istasyonu kullanmışlardır. Kendi kendine kalibrasyon algoritmasının uygulanması üç baz istasyonu ile sağlanmıştır. Bu üç baz istasyonunun yaydığı sinyallerin merkez frekansları 1,862 GHz, 1,866 GHz ve 1,8658 GHz'dir [48].

D. Venu ve N.V. Koteswara Rao sabit bir konuma yerleştirilmiş pasif radar sistemi ile havadaki bir uçağın bistatik menziline tespit etmek üzerine bir çalışmaya yapmışlardır. Alıcı sistemleri iki antenden oluşmaktadır. Bu antenlerden biri FM verisinden yayılan sinyali alırken diğeri ise hedeften yansıyan sinyali alır. Alınan bu iki sinyalin ilişkisi yardımıyla hedefin menzili tespit edilir. Aydınlatıcı olarak kullanılan FM vericisinin yaydığı radyo sinyalinin taşıyıcı frekansı 90 MHz'dir. Bant genişliği ise 200 MHz'dir. Geliştirilen algoritma, 1 km ile 2,5 km arasında bistatik menzile sahip dört farklı hedef için simülasyonu gerçekleştirmiştir [49].

Bo Tan, Karl Woodbridge ve Kevin Chetty duvar arkasında hareket halindeki insanların tespitine yönelik bir çalışma yapmışlardır. Aydınlatıcı olarak binaların içinde bulunan WiFi sinyallerini kullanmışlardır. Sistemin performansından ödün vermeden gerçek zamanlı olarak çalışabilmesi için boru hattı işleme (pipeline processing) ve parçalama yaklaşımı (batching approach) olmak üzere iki strateji izlemişlerdir. Boru hattı işleme, veri işleme prosedürlerinin eşzamanlı olarak yürütülmesine izin verir. Bu yaklaşım çok çekirdekli sistemlerde çok aşamalı algoritmaların performansının artırılmasını sağlamak için paralel kod işlemeye dayanır. Sıralı kod dizisi her biri ayrı bir çekirdeğe tahsis edilen alt parçalara ayrılır. Sürekli olarak akan bu alt parçalar aynı anda işlenebilir. Verimi en üst düzeye çıkarmak için, her parça, yaklaşık olarak eşit işlem süreleri sağlamak için dikkatlice dengelenmelidir. Pasif radar sistemlerinde boru hattı işleme yaklaşımını uygulamak için algoritmalarını üç parçaya bölmüşlerdir. Bu parçalar; sinyal örnekleme, örneklenmiş veriler üzerinde parçalama yaklaşımı kullanarak ile çapraz belirsizlik işleminin gerçekleştirilmesi ve son olarak geliştirdikleri gürültü bastırma algoritmasının uygulanmasıdır. Parçalama yaklaşımı, menzil/Doppler haritalarının oluşturulmasında çok verimli bir hesaplama yükü sağlar. Bu yaklaşımda alıcı sistem tarafından kaydedilen senkronize edilmiş referans ve gözetim sinyalleri sırasıyla veri bölümlerine ayrılır. Seçilen gözetim kısmı, karşılık gelen referans kısmı ile çapraz ilişkilendirilir. Elde edilen matrise Fourier dönüşümü uygulanarak menzil/Doppler haritası elde edilir. WiFi kaynağın olduğu odada hareket eden bir kişiyi yan odaya yerleştirdikleri pasif radar ile tespit etmeyi çalışmışlardır. Alıcı sistemi duvardan 10 m uzağa konumlandırmışlardır. Alıcı sistemde referans sinyalini ve gözetim sinyalini ayrı antenler aracılığıyla elde etmişlerdir. Antenler arası mesafe 1,5 m'dir. Odaların arasındaki duvarın kalınlığı 30 cm'dir. Hedef duvara 2 m uzaklıktayken tespit edilmesi başarılmıştır [50].

Joshua L. Sendall ve Francois D.V. Maasdorp multistatik yapıdaki bir pasif radarın hedef tespitindeki oluşan konum hatalarının azaltılması üzerine bir çalışma yapmışlardır. FM radyo sinyallerini kullanarak hedef tespiti yapan pasif radarların konum hatalarına karşı daha hassas olmasından dolayı çalışmalarını FM sinyallerini üzerinde gerçekleştirmişlerdir. Geliştirilen algoritma işlem yükünü önemli ölçüde arttırsa da konum hatasını azaltmayı sağlamıştır. 100 km genişliğinde bir alanda bir

verici ve rastgele konumlandırılmış beş farklı alıcının olduğu bir senaryonun simülasyonu gerçekleştirilmiştir. Hedefin ise 200 km yarıçaplı bir alanda uçuşunu gerçekleştirdiği varsayılmıştır. Alıcı sistem tarafından alınan sinyallerin gürültüsü ise toplanabilir beyaz Gauss gürültüsü (AWGN: Additive White Gaussian Noise) ile modellenmiştir. Önerilen tekniğin performansı simülasyon yoluyla değerlendirilip ve alternatif teknikleriyle karşılaştırılmıştır [51].

Stefan Briske, Matteo Moscadelli, Viktor Seidel ve Christoph Schwark bir uydu sinyalini aydınlatıcı olarak kullanan pasif radar sistemi geliştirmişlerdir. Bu sistem yeryüzüne konumlandırılmış ve yine yeryüzündeki hareketli hedeflerin tespiti amaçlanmıştır. Pasif radarın alıcı sistemi biri referans sinyali almak diğeri ise yansıyan sinyalleri almak üzere iki antenden oluşmaktadır. Referans anteni direkt olarak uyduya doğrultulmuştur diğeri ise potansiyel hedefe yönlendirilmiştir. Aydınlatıcı olarak, yatay polarizasyon ile 11,836 GHz'de tek bir Astra 1N uydusu kullanılmıştır. Bu uydu, pasif radar sisteminden 36,000 km uzaklıkta bulunmaktadır. Pasif radar sistemi sabit bir konumdadır. Test sırasında hedef olarak, 7 m uzunluğunda ve 2 m genişliğindeki bir kamyonet kullanılmıştır [52].

Philipp Wojacek, Fabiola Colone, Diego Cristallini ve Pierfrancesco Lombardo aydınlatıcı olarak DVB-T sinyalini kullanan pasif radar sistemi üzerine çalışmışlardır. Bu çalışmalarında, kargaşa yok etme ve yavaş hareket eden hedefleri tespit etme üzerine yoğunlaşmışlardır. Pasif radar sistemi hareket halindeki bir platform üzerine yerleştirilmiş ve yeryüzündeki hareketli hedeflerin tespiti amaçlanmıştır. Alıcı sistemlerinde ön ve arka olmak üzere iki anten kullanmışlar ve referans sinyal için ayrıca bir anten kullanmamışlardır. Referans sinyali, bu iki gözetim antenlerinden aldıkları sinyaller yardımıyla elde etmişlerdir. Alıcı sistemin olduğu platformun hareketli olmasında dolayı, alınan kargaşa sinyalleri Doppler alanında yayılmış olarak görünecektir. Bundan dolayı yavaş hareket eden hedeflerden alınan sinyaller kargaşa sinyalleri tarafından maskelenecektir. Hareketsiz nesnelere, platformun hareket etmesinden dolayı hareketli bir hedef gibi algılanacaktır. Bu sistemin hareketli hedef tespit etme performansını büyük ölçüde düşürecektir. Platformun hareketinden kaynaklanan bu sorun STAP yaklaşımı ile giderilmiştir. Bu yaklaşım temel olarak iki antenden alınan sinyallerin

menzil/Doppler haritalarının birbirinden çıkarılmasına dayanmaktadır. Böylece platform sanki hareketsizmiş gibi davranacaktır. Simülasyonları yapıktan sonra pasif radar sistemini Oslo kıyılarında 8,1 m/s hızla hareket eden bir bota yerleştirip, yeryüzünde hareket halindeki hedeflerin tespiti için test etmişlerdir [21].

Philipp Wojacek ve Diego Cristallini aydınlatıcı olarak DVB-T sinyallerini kullanan bir pasif radar sisteminde kanallar arası hataların etkisini analiz etmişlerdir. Tasarladıkları pasif radar sistemi hareket halindeki bir platforma yerleştirilmiş ve hareketli hedeflerin tespitini gerçekleştirmektedir. Hareketli hedeflerin tespitinde platformun hareketinden kaynaklı olarak durağan nesnelere hareketli hedefmiş gibi algılanır. Bu durumu engellemek için DPCA yöntemi kullanılır. Fakat bu yöntemin doğru çalışabilmesi için antenler arası hatanın giderilmesi gerekmektedir. Pasif radarın amacı gizli olarak çalışmasıdır. Bu sebeple pasif radarlarda, kanallar arası hatanın harici olarak yayılan başka bir sinyal ile kalibre edilmesi yerine dahili kalibrasyon yöntemleri tercih edilir. Simülasyonda kullanılan DVB-T sinyalinin bant genişliği 8 MHz'dir. Taşıyıcı frekansı ise 600 MHz'dir. Alıcı sistemin yerleştirildiği platform ise 24,8 m/s hızla hareket etmektedir. Kanallar arası hatalardan genlik, faz ve gecikme hatalarının ayrı ayrı simülasyonları gerçekleştirilmiştir. Kalibre edilmiş ve edilmemiş sonuçlar karşılaştırılmıştır. Sonuçlar incelendiğinde kanal hatalarının, radar performansını kayda değer şekilde düşürdüğü görülmüştür [53].

Wenda Li, Bo Tan ve Robert Piechocki e-sağlık uygulaması için bir pasif radar sistemi geliştirmişlerdir. Bir bina içindeki WiFi sinyallerini kullanarak hareketli insanı tespit etmeyi ve tespit edilen insanın nefes alıp almadığının tespitini amaçlamışlardır. Makro Doppler kayması ile hareketli insanı tespitini ve mikro Doppler kayması ile de nefes alıp verirken oluşan göğüs hareketinin tespitini gerçekleştirmişlerdir. Pasif radar kullanımını ile bu durumların tespiti, giyilebilir sensörler veya özel bir sinyal kaynağı gerektirmediği için uzun vade izlemede birçok fayda sunmaktadır. Deneyleri kontrollü bir laboratuvar ortamında yapmışlar ve umut verici sonuçlar elde etmişlerdir. Geliştirdikleri sistem sadece bir insanın olduğu durumda çalışmaktadır. İleri çalışmalarındaki amaçları birçok insanın olduğu durumda çalışan bir sistem geliştirmektir [54].

Philipp Wojaczek, Ashley Summers, Diego Cristallini, Ingo Walterscheid ve Pierfrancesco Lombardo DVB-T vericilerini kullanan pasif radar sistemi üzerinde çalışma yapmışlardır. Bir uçan platforma yerleştirilmiş pasif radar sistemi ile hareketli hedeflerin tespitini amaçlamışlardır. Pasif radar alıcı sistemlerinde referans sinyali almak için bir anten kullanmak yerine gözetim antenlerinden aldıkları sinyalleri kullanarak referans sinyali elde etmişlerdir. DVB-T sinyali için tek bir verici değil bölgeye dağılmış birkaç verici kullanmışlardır. Bu vericiler tek frekanslı ağ (SFN: Single Frequency Network) şeklinde yayın yapmaktadırlar. SFN, birkaç vericinin aynı sinyali aynı frekans kanalı üzerinden aynı anda gönderdiği bir yayın ağıdır. Pasif radar sisteminde aydınlatıcı olarak kullanılan bu DVB-T vericileri tek frekans kanalı kullandıklarından Ortak kanal paraziti durumu ortaya çıkmaktadır. Bu durum referans sinyalinin elde edilmesini zorlaştırmaktadır. Ortak kanal parazitini bastırarak referans sinyali elde etme işlemini iyileştirmişlerdir. Ayrıca 45 m/s hızla 1220 m yükseklikte hareket eden bir uçağa yerleştirdikleri pasif radar sistemi ile testlerini gerçekleştirmişlerdir [55].

Deqiang Xie, Jianxin Yi ve Ji Shen multistatik yapıdaki pasif radar sistemini Wuhan Üniversitesi'nde geliştirmişlerdir. Bu pasif radar sistemi yeryüzüne konumlandırılmış ve yolcu uçağı ya da genel amaçlı uçakların tespitine odaklanmıştır. Alıcı sistem, yedi antenin 0,98 m yarıçaplı bir çembere yerleştirilmiş bir dizi antenden oluşmaktadır. Referans sinyali için ayrı bir anten kullanmak yerine gözlem için kullanılan anten dizisinin ana odağını verici kulesine yönelterek elde etmişlerdir. Uzun menzilli algılama kabiliyetinden dolayı FM radyo sinyallerini aydınlatıcı olarak kullanmışlardır. Testlerini Çin Sivil Havacılık Uçuş Üniversitesi merkezli 60 km yarıçaplı dairesel bir alanda gerçekleştirmişlerdir. İrtifası 5 km'den düşük olan uçakların tespiti başarılı bir şekilde yapılmıştır. Farklı frekansta yayın yapan radyo kanalları için yaptıkları testlerde tespit etme kabiliyetinin değiştiğini göstermişlerdir [56].

Philipp Wojaczek, Fabiola Colone, Diego Cristallini, Pierfrancesco Lombardo ve Daniel O'Hagan deniz ve kıyı gözetimi için pasif radar uygulaması sunmuşlardır. Bu gözetimi, hareket eden bir platforma yerleştirilmiş pasif radar sistemi ile gerçekleştirmişlerdir. Pasif radar, monostatik radarlarda olduğu gibi bir sinyal

yayması ve halihazırda yayın yapan vericileri kullanması gizliliği sağlayarak keşif yapmak için radar sistemini uygun hale getirmiştir. Aydınlatıcı olarak DVB-T vericilerini seçmişlerdir. Bu aydınlatıcı tipi için sinyal işleme tekniklerini tanıtır kargaşa yok etme yöntemleri üzerinde çalışmışlardır. Pasif radar sistemini hareket halindeki bir bota yerleştirmişlerdir. Bu botu, Oslo kıyısında 8,5 m/s hızla hareket ettirerek pasif radar sistemini test etmişlerdir ve 2 km menzilde olan hareketli bir hedefi tespit etmeyi başarmışlardır. Bu çalışma, limanlar gibi kıyı şeridinin gözetimi ve geniş alan da keşif için potansiyel ve uygulanabilirliği göstermektedir. İleri çalışmalarında kargaşayı bastırma ve hedef tespitini iyileştirmek için alıcı kanal sayısını arttırıp çoklu dizi işleme algoritmalarını kullanmayı planlamışlardır [57].

Bowen Gong, Zhicheng Yao, Jian Yang, Jian Lu, Zhihui Wu ve Zhi Geng dizi anten yapısına sahip bir radarın performansını büyük ölçüde etkileyen ve kanallar arası uyumsuzluktan meydana gelen genlik ve faz hatalarını analiz etmişlerdir. Bu uyumsuzluk hataları kullanılan donanımın kanallar için eş olmaması, ısı ve nem farklılıkları gibi çeşitli sebeplerden meydana gelebilir. Uzaysal sinyal varış açısı tahmin doğruluğu ve ışın sentezleme modeli, hataların dizi üzerindeki etkisini analiz etmek için göstergeler olarak kullanılır. Kanal uyumsuzluğu gerçek sinyal yönünden sapmak için tahmini sinyal varış açısına sebep olur. Buna ek olarak, ana huzme modelinin yan lobu yükselecektir. Bu gürültüye neden olacaktır [58].

H.C. Yıldırım, L. Storrer, M. Van Eeckhaute, C. Desset, J. Louveaux ve F. Horlin Wi-Fi sinyallerini kullanan pasif radar ile bina içinde nesne tespiti üzerine bir çalışma yapmışlardır. WiFi sinyallerini kullanarak bina içinde hedef tespiti yapan pasif radar çalışmalarında 11a/b/n WiFi standartları kullanılmıştır. Geliştirdikleri pasif radar ise 11ac WiFi standardını kullanmaktadır. 20 m²'lik bir oda içinde pasif radar sisteminden 1 m uzaklıkta 2,4 m/s hızla ve 3 m uzaklıkta 0,75 m/s hızla hareket eden iki hedefin tespitini başarıyla gerçekleştirmişlerdir [59].

Marek Płotka, Mateusz Malanowski, Piotr Sameczynski, Krzysztof Kulpa ve Karol Abratkiewicz yeryüzünde sabit konuma yerleştirilmiş pasif radar sistemi ile havada uçan hedeflerin tespiti üzerine bir çalışma gerçekleştirmişler. Geliştirdikleri pasif radar sistemi aydınlatıcı olarak VHF DVB-T sinyallerini kullanmaktadır. Alıcı

sistem 170 MHz ile 230 MHz frekans aralığındaki sinyalleri kaydedebilmektedir. Pasif radarın hem açık alana hem de ormanlık alana yerleştirildiği konumdaki performanslarını karşılaştırmışlardır. Birinci senaryoda, alıcı sistemi bir ormanın ortasına yerleştirilmişlerdir. Alıcı sistem biri referans sinyali ve diğer ikisi ise hedeflerden yansıyan sinyalleri almak üzere toplam üç alıcı kanaldan oluşmaktadır. İkinci senaryoda ise alıcı sistemi açık bir alana yerleştirmişlerdir. Bu alıcı sistem ise biri referans sinyali ve diğerleri hedeflerden yansıyan sinyalleri almak üzere toplam altı alıcı kanaldan oluşmaktadır. İkinci senaryoda daha fazla gözetim anteni kullanmalarının sebebi ise yüksek kapsama alanı oluşturmaktır. Fakat iki senaryoyu karşılaştırırken sadece iki gözetim antenini kullanmışlardır. Bu iki durum, alıcı ve vericinin birbirine göre konumları eş olmadığı için tam karşılaştırılabilir değildir. Fakat pasif radarın ağaç yapraklarıyla gizlenmiş bölgede uçan hedefleri tespit edebilme potansiyelini göstermişlerdir. Hız çözünürlüğünü 8,1 m/s ve menzil çözünürlüğünü ise 43 m olarak elde etmişlerdir [18].

J. Rosado-Sanz, M.P. Jarabo-Amores, D. Mata-Moya, N. del-Rey-Maestre ve A. Almodovar-Hernandez uydu sinyalini aydınlatıcı olarak kullanan bir pasif radar üzerine çalışma yapmışlardır. Neredeyse küresel bir kapsama alanına sahip olması, DVB-S sinyallerinin pasif radar sistemlerinde alıcı olarak kullanılmasında tercih nedenleri olmuştur. Fakat bunun yanında yüksek iletim kayıpları nedeniyle kapsama alanı sınırlanabilmektedir. Geliştirdikleri pasif radar ile 400 m uzunluğundaki düz bir yolda hareket eden aracı ve otobüsü tespit etmişlerdir [60].

Christof Schüpbach, Stephen Paine ve Daniel O'Hagan FM radyo sinyallerini kullanan pasif radarın performansını etkileyen DSI'yı yok etme üzerine bir çalışma yapmışlardır. DSI, vericiden yayılan sinyalin direkt olarak gözetim anteninden alınmasıyla ortaya çıkar. Bu etki pasif radarın performansını etkilemektedir. Biri referans ve diğeri gözetim anteni olmak üzere iki anten kullanmışlardır. DSI etkisini yok etmek için hedeften yansıyan sinyali alan gözetim anteninden alınan sinyalden referans antenden alınan sinyalin çıkarılması yaklaşımını kullanmışlardır [61].

Laurent Storrer, Hasan Can Yıldırım, Claude Desset, Marc Bauduin, Andre Bourdoux ve François Horlin WiFi sinyallerini aydınlatıcı olarak kullanan pasif radar

sistemlerinde kargaşa yok etme üzerine çalışma yapmışlardır. Kapalı bir mekanda kargaşalarla çevrili yavaş hareket eden hedeflerin tespitini amaçlamışlardır. Kargaşa, hareketsiz nesnelere yansıyan sinyallerin alınmasıyla oluşur. Dolayısıyla bu hareketsiz nesnelere, menzil/Doppler haritasında sıfır-Doppler çevresinde bir kargaşa meydana getirecektir. Farklı algoritmalarla bu kargaşanın giderilmesini sağlayıp, performanslarını karşılaştırmışlardır [62].

Giovanni Paolo Blasone, Fabiola Colone ve Pierfrancesco Lombardo yeryüzünde hareket eden hedeflerin tespitini amaçlayan bir pasif radarın kanallar arası hatadan dolayı kargaşanın yok edilememesi durumunu analiz etmişlerdir. Geliştirdikleri pasif radar sistemi DVB-T vericilerini aydınlatıcı olarak kullanmaktadır. Bu sistem uçan bir platforma yerleştirilmiştir. Pasif radarın hareketli bir platform üzerinde olması kanallar arası hata olmasa bile bina gibi hareketsiz nesnelere yansıyan sinyallerde hareketli hedef olarak algılanacaktır. DPCA yöntemi ile platformun hareketli olmasından kaynaklanan bu problem çözülmüştür. Bu yöntem, birden fazla gözetim anteni kullanılarak bu antenlerin farklı zamanlarda fakat aynı uzaysal konumda olduklarında aldıkları sinyallerin birbirinden çıkarılması yaklaşımına dayanır. Bu yaklaşımın mükemmel bir şekilde çalışabilmesi için alıcı kanallar arası hatanın olmaması gerekmektedir. Eğer kanallar arası hata var ise bu kanalların kalibre edilerek hatanın yok edilmesi sağlanmalıdır. Simülasyon ortamında elde edilmiş kargaşa verileri ile testler gerçekleştirmişlerdir. Kanallar arası hatanın olduğu ve olmadığı durumların simülasyonları yapılmışlar ve sonuçları karşılaştırmışlardır. Bu hataların farklı hızlardaki hedeflerde ne tür etki gösterdiğini de incelemişlerdir [63].

Chen Gang ve Wang Jun alçak irtifada uçan hedefleri tespit eden bir pasif radar sistemi geliştirmişlerdir. Bu pasif radar sistemi yeryüzünde sabit bir konuma yerleştirilmiştir ve hedef tespiti için analog TV sinyallerini kullanmaktadır. Bu verici 77,25 MHz frekansında yayın yapmaktadır. Alıcı sistemi iki antenden oluşmaktadır. Antenlerden biri direkt vericiden yayılan referans sinyalini alırken diğer anten ise hedeften yansıyan sinyali almaktadır. 16,8 km, 31,5 km ve 60,7 km menzildeki üç farklı hedefi tespit etmişlerdir [64].

Philipp Wojacek, Diego Cristallini, Ingo Walterscheid ve Daniel O'Hagan uçan platforma yerleştirilmiş pasif radar için darbe sıkıştırma aşamasında kullanılan yöntemleri analiz etmişlerdir. Bu yöntemler, uyumlu filtre, karşıt filtre ve alıcı kanalların oto ve çapraz korelasyonlarıdır. Yeryüzünde hareket halindeki hedeflerin tespitini yapan pasif radarın darbe sıkıştırma aşamasında uyumlu filtre kullanılması sonucunda göz ardı edilmeyecek kalıntılar meydana gelir. Bu durum hedef tespiti engellemektedir. Uyumlu filtre yerine karşıt filtre kullanılması mükemmel bir kargaşa yok etme işleminin gerçekleşmesini sağlamaktadır. SAR'larda darbe sıkıştırma aşaması daha az katı gereksinimlere ihtiyaç duyar. Bu sebeple bu tür radarların darbe sıkıştırma aşamasında referans sinyale ihtiyaç duymayan oto ve çapraz korelasyon tercih edilir [65].

1.2. ÇALIŞMANIN AMACI

Pasif radar sistemleri, kendi vericilerini kullanan aktif radarların aksine halihazırda yeryüzünde bulunan ve yoğunlukla ticari yayın yapan vericileri kullanırlar. Herhangi bir yayın yapmadıkları için konumları gizlidir ve herhangi bir dış sistem tarafından tespit edilemezler. Bu sebeple, savunma sanayinde ve gizli operasyon yürütülecek durumda tercih edilen bir radar haline gelmiştir. Hem akademik ve hem de endüstriyel olarak yapılan çalışmalar, pasif radarın yoğunlukla yeryüzünde sabit bir konuma yerleştirildiği durumdaki araştırmaları içerir. Son yıllarda ise, yeryüzündeki hareketli hedeflerin tespiti için uçan bir platforma yerleştirilmiş pasif radar çalışmaları yükselen bir ivme kazanmıştır.

Bu çalışmanın amacı, FM radyo vericilerini kullanarak yeryüzündeki hareketli hedeflerin tespiti için hareketli bir platforma yerleştirilmiş pasif radara katkı sağlamaktır. Bu katkı, Doppler uzayında meydana gelen kargaşasının kusursuz bir şekilde yok edilmesiyle ve pasif radarın performansı etkileyen bazı faktörlerin analizleri yapılarak sağlanmıştır.

Doppler uzayında pasif radarın yerleştirildiği platformun hareketinden kaynaklanan bir kargaşa oluşur. Ayrıca yan hüzmelerden kaynaklı olarak tüm menzil/Doppler haritasında bir kargaşa yayılımı meydana gelir. Bu etkilerin yok edilmesi için DPCA

kargaşa yok etme yaklaşımı kullanılmıştır. Darbe sıkıştırma aşamasında iki ayrı filtre (uyumlu filtre ve karşıt filtre) kullanılarak, bu filtrelerin DPCA'nın performansı üzerindeki etkileri analiz edilmiştir. Ayrıca farklı parametrelerin, menzil/Doppler haritasında üzerindeki iç-kargaşa alanı üzerindeki etkisi ve hedefin tespit edilemediği kör hızlar üzerindeki etkisi gösterilmiştir.

Bazı durumlarda alıcı kanallar arası hataların meydana gelebilmektedir. Bu kanallar arası hataların pasif radarın performansı üzerindeki etkisi incelenmiştir. Buna ek olarak, farklı FM dalga formları için ayrı ayrı analizler yapılarak dalga formlarının bu hatalara karşı hassasiyetleri karşılaştırılmıştır. Son olarak ise rüzgar ve deniz dalgaları pasif radarın performansını üzerindeki etkisi analiz edilmiştir. Bu etkinin farklı FM dalga formları için radarın performansını ne oranda değiştirdiği gösterilmiştir.

1.3. TEZİN ANA HATLARI

Bu tez beş bölümden oluşmaktadır. Birinci bölüm tezin amacını, ana hatlarını ve kapsamlı bir literatür taramasını içerir.

İkinci bölümde bistatik radar kavramına ve teknik teorisine ayrıntılı bir giriş sunulmuştur. Buna ek olarak, bir pasif radarın kullanabileceği bazı aydınlatıcıların özellikleri verilmiş ve bunların karşılaştırması yapılmıştır.

Üçüncü bölümde tasarlanan sistemin geometrisi gösterilmiş ve sinyal modeli oluşturulmuştur. Darbe sıkıştırma aşamasında kullanılan filtreler ayrı ayrı tanıtılmış ve kargaşa yok etme yöntemi irdelenmiştir.

Dördüncü bölümde simülasyon sonucunda elde edilen sonuçlar gösterilmiştir. Darbe sıkıştırma aşamasında kullanılan her bir filtre için elde edilen sonuçlar gösterilmiş ve karşılaştırılmıştır. Farklı hız ve menzildeki hedeflere ait sonuçlar gösterilmiştir. Ayrıca platform hızının iç-kargaşa alan üzerindeki etkisiyle T_{DPCA} süresinin kör hızlar üzerindeki etkileri analiz edilmiştir. Son olarak pasif radarın performansını

etkileyen kanallar arası hatalar ile rüzgarın ve deniz dalgalarının etkileri incelenmiştir.

Beşinci bölüm ise sonuç ve öneriler kısmıdır. İleride yapılabilecekler çalışmalar için fikir verir.

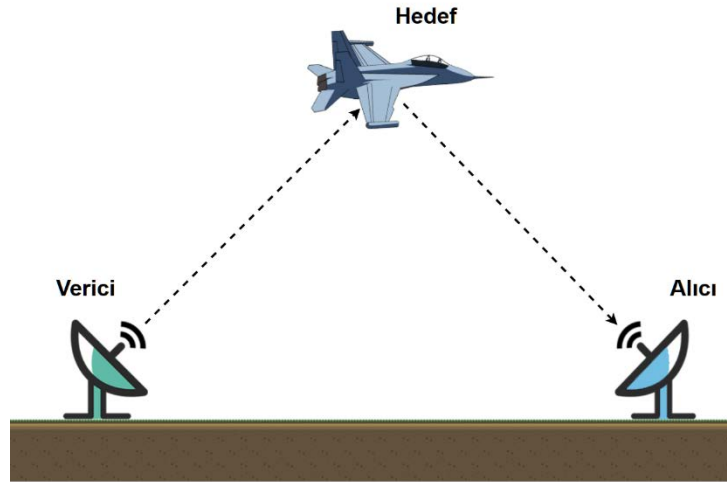
BÖLÜM 2

PASİF RADAR TEMELLERİ

Bu bölümde bistatik radarın geometrisi, menzil ve Doppler karakteristikleri anlatılmıştır.

2.1. BİSTATİK RADAR

Bistatik radarlar, alıcı ile verici antenlerin farklı yerlerde olduğu radarlardır [66-68]. Alıcı ve verici antenler hareketsiz veya hareket halinde olabilirken yeryüzünde veya havada konumlandırılmış olabilirler. Şekil 2.1’de tipik bir bistatik radar yapısı gösterilmektedir.



Şekil 2.1. Bistatik radar yapısı.

Bistatik radarlar iki farklı tip verici kullanırlar. Bu vericiler, özel olarak radar sistemi için tahsis edilmiş ya da halihazırda yayın yapan vericilerdir. Özel olarak tahsis edilmiş verici kullanan bistatik radarların alıcı sistemlerinde iletilen sinyal bilinir. Dolayısıyla iletilen sinyali elde etmek için ayrı bir anten kullanmaya gerek yoktur.

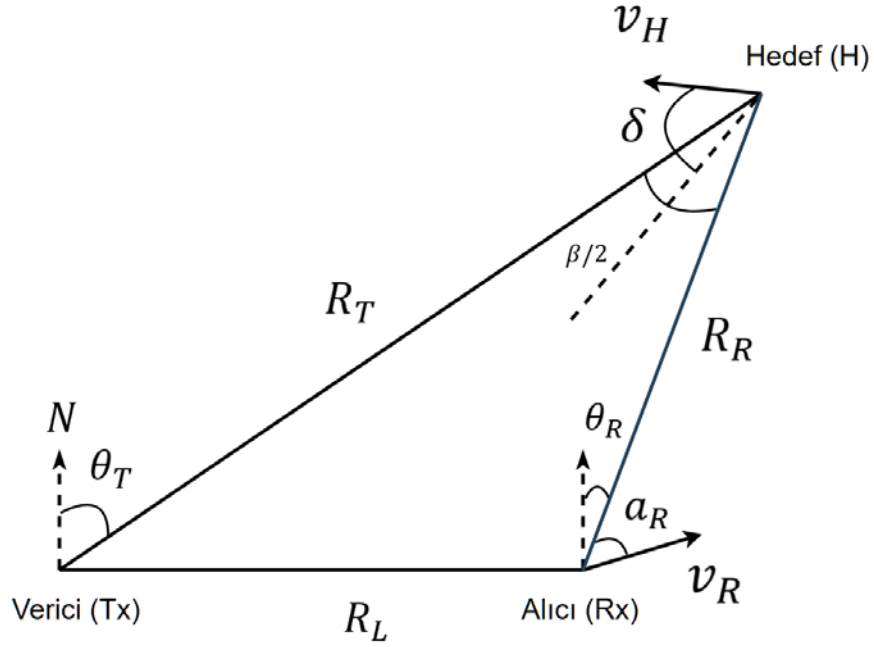
Bu durum maliyet açısından avantajlıdır. Halihazırda yayın yapan vericileri kullanan bistatik radarlar, pasif (bistatik) radar veya pasif uyumlu konum radarı olarak adlandırılırlar [68].

Bistatik radarlarda verici ile alıcının farklı konumlarda olmasının birçok avantajı vardır. Özellikle askeri uygulamalarda hedefler tespit edilmemek için monostatik radar kesit alanını oldukça düşük tutmak isterler ve bu çoğunlukla bistatik radar kesit alanını düşürmez. Ayrıca alıcı sistem bir sinyal yaymadığı için pasif durumdadır ve bu sayede tespit edilemez. Bu durum alıcı sistemi fiziksel ataklara veya yayın karıştırma gibi saldırılara karşı korur. Verici sistem ise yayın yaptığı için halen saldırıya açık durumdadır. Pasif radar ise halihazırda yayın yapan vericiler kullandığından askeri uygulamalar için biçilmiş kaftan durumundadır. Monostatik radarın aksine bistatik radarın en önemli dezavantajlarından biri ise alıcı ve verici arasında mükemmel bir senkronizasyon gerekmesidir. Ayrıca bir diğer dezavantaj, aktif radarlarda olan iletilen sinyal üzerinde kontrolün pasif radarlarda olmaması sinyal işleme kısmını zorlaştırır ve karmaşılaştırır.

Pasif radarlar kendilerine özel vericileri olmadığı için haberleşme vericileri gibi halihazırda yayın yapan vericileri kullanırlar. Bu vericiler aydınlatıcı olarak adlandırılırlar. Hedef tespiti direkt aydınlatıcıdan alınan sinyal ile hedeften yansıyan sinyalin karşılaştırılması ile gerçekleştirilir. Bundan dolayı, aktif radarın aksine pasif radarın referans ve yansıma olmak üzere en az iki alıcı kanala ihtiyacı vardır. Referans kanalıyla aydınlatıcıdan iletilen sinyal alınır. Yansıma kanalıyla da hedeften yansıyan sinyal alınır. Bu sinyaller işlenerek hedef tespiti yapılır [69].

2.1.1. Bistatik Radar Geometrisi

Şekil 2.2, hedef-alıcı-verici düzleminde bistatik radar geometrisini gösterir [67]. Bu düzlem alıcı (Rx), verici (Tx) ve hedefi (H) içerir. Aynı zamanda bistatik düzlem olarak da adlandırılır.



Şekil 2.2. Bistatik radar geometrisi.

R_T verici ile hedef arasındaki mesafe iken, R_R ise alıcı ile hedef arasındaki mesafedir. R_L ise verici ve alıcı arasındaki mesafedir. δ , hedefin hız vektörü ile bistatik açının açıortayı arasındaki açıdır. Bistatik açı (β), hedef tepe noktası ile alıcı ve verici arasındaki açıdır ve Denklem 2.1'deki gibi tanımlanır.

$$\beta = \theta_T - \theta_R \quad (2.1)$$

Burada, θ_T verici görüş açısı ve θ_R de alıcı görüş açısıdır. Bu açılar kuzeyden saat yönüne doğru hesaplanır.

2.1.2. Bistatik Radar Menzili

Bistatik radarlarda hedefin menzili bistatik menzil olarak hesaplanır. Bistatik menzil (R_B) Denklem 2.2'deki gibi ifade edilir.

$$R_B = R_T + R_R - R_L \quad (2.2)$$

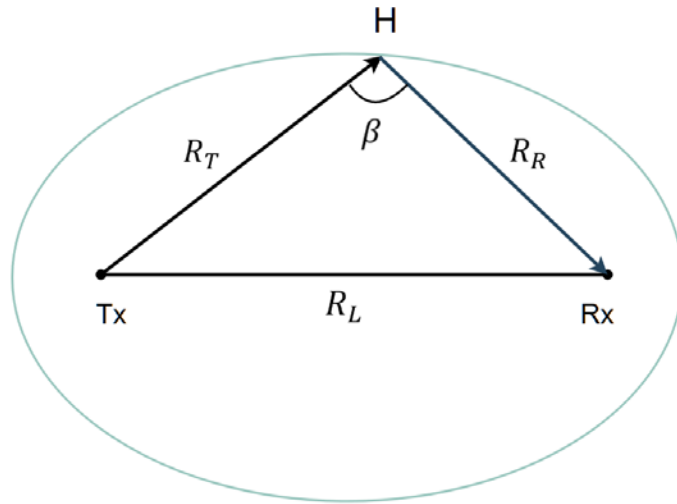
Bistatik menzil referans sinyal ile hedeften yansıyan sinyal arasındaki gecikmenin (τ) ışık hızı ile çarpılması ile hesaplanır (Denklem 2.3).

$$R_B = c * \tau \quad (2.3)$$

Eğer alıcı ve vericinin konumları biliniyorsa hedef ile alıcının arasındaki mesafe (R_R) Denklem 2.4'teki gibi hesaplanabilir.

$$R_R = \frac{(R_T + R_R)^2 - R_L^2}{2(R_T + R_R + R_L \sin \theta_R)} \quad (2.4)$$

Bir hedefin sabit bir bistatik menzile sahipken R_R ve R_T 'nin çeşitli kombinasyonlarından dolayı hedefin farklı konumlarda olması, odakları alıcı ve vericide olan bir elips oluşturur. Bu elipse eş-menzil elipsi denir. Şekil 2.3'te bistatik düzlemde bir tane eş-menzil elipsi gösterilmektedir. Aynı eş-menzil elipsi üzerindeki farklı konumlardaki iki hedefin bistatik menzili aynıdır.



Şekil 2.3. Bistatik düzlemde eş-menzil elipsi.

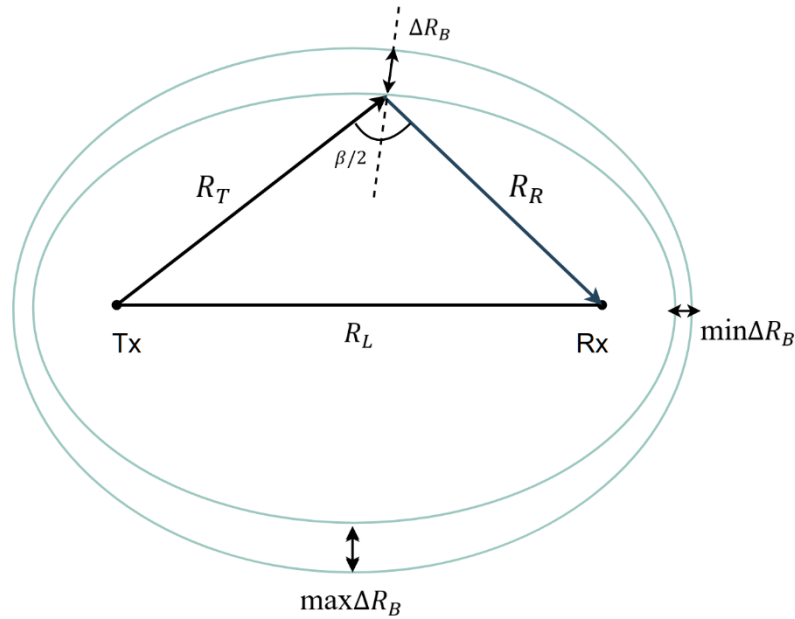
2.1.3. Bistatik Menzil Çözünürlüğü

Menzil çözünürlüğü iki hedefin birbirinden ayrı olarak tespit edilebildiği en kısa mesafedir. Monostatik radarlarda menzil çözünürlüğü Denklem 2.5'teki gibi ifade edilir.

$$\Delta R = \frac{c}{2BW} \quad (2.5)$$

Burada c ışık hızı ve BW ise sinyalin bant genişliğidir.

Bistatik radarlarda ise iki hedefin birbirinden ayırt edilebilmesi için hedeflerin farklı eş-menziel elipslerinde olması gerekmektedir. Dolayısıyla bistatik menzil çözünürlüğü hedef, alıcı ve verinin göreceli konumuna bağlıdır [69]. Şekil 2.4'te görüldüğü gibi bistatik menzil çözünürlüğü β açısına göre değişmektedir. En iyi çözünürlük β 'nın 0'a eşit olduğu durumda ortaya çıkar ve bu monostatik menzil çözünürlüğüne eşittir ($\min\Delta R_B$ durumu). Diğer taraftan β açısı 180° 'ye yaklaştıkça da çözünürlük düşmektedir.



Şekil 2.4. Bistatik düzlemde bistatik menzil çözünürlüğü.

Bistatik menzil çözünürlüğü Denklem 2.6 ile hesaplanabilir.

$$\Delta R_B = \frac{c}{2 \cos\left(\frac{\beta}{2}\right) BW} = \frac{\Delta R}{\cos\left(\frac{\beta}{2}\right)} \quad (2.6)$$

Bistatik menzil çözünürlüğü doğrudan sinyalin bant genişliğine bağlıdır. Dolayısıyla pasif radarın performansı kullanılan aydınlatıcı kaynağına doğrudan bağlıdır. Farklı aydınlatıcı çeşitleri için bistatik menzil çözünürlüğü performansları Bölüm 2.2'de detaylı olarak anlatılmıştır.

2.1.4. Bistatik Radar Denklemi

Monostatik radarlara benzer olarak bistatik radarlar için radar denklemi Denklem 2.7'deki gibi ifade edilebilir [6,66,70].

$$(R_R R_T)_{max} = \left(\frac{P_T G_T G_R \lambda^2 \sigma_B F_T^2 F_R^2}{(4\pi)^3 k T_s B W_n L_T L_R SNR_{min}} \right)^{1/2} \quad (2.7)$$

Burada;

P_T = iletilen güç,

G_T = verici anten kazancı,

G_R = alıcı anten kazancı,

λ = sinyal dalga boyu,

σ_B = hedefin bistatik radar kesit alanı,

F_T = Tx ten hedefe yayılma faktörü,

F_R = Rx ten hedefe yayılma faktörü,

k = Boltzmann sabiti,

T_s = alıcı sistem ısısı,

BW_n = alıcıdaki gürültü bant genişliği,

L_T = verici sistem kayıpları,

L_R = alıcı sistem kayıpları,

R_T = verici ile hedef arasındaki mesafe,

R_R = alıcı ile hedef arasındaki mesafe,

SNR = sinyal gürültü oranıdır.

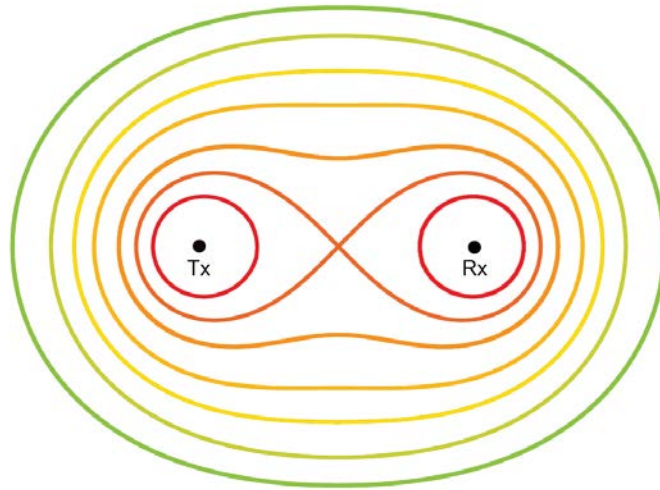
Denklem 2.7'yi düzenlersek bistatik sinyal gürültü oranını (SNR), Denklem 2.8'deki gibi elde ederiz.

$$SNR = \frac{P_T G_T G_R \lambda^2 \sigma_B F_T^2 F_R^2}{(4\pi)^3 k T_s B W_n L_T L_R R_T^2 R_R^2} \quad (2.8)$$

SNR değeri radar performansını değerlendirmek için kullanılan bir ölçüttür. Dolayısıyla bistatik düzlemde bistatik menzilin radarın performansının nasıl etkilendiğini daha iyi kavrayabilmek için Denklem 2.8'deki menzile bağlı olmayan değişkenleri sabit bir C sayısı ile ifade edersek, Denklem 2.9'u elde ederiz.

$$SNR = \frac{C}{R_T^2 R_R^2} \quad (2.9)$$

Monostatik radarda alınan güç $1/R^4$ (radar sistemi ile hedef arasındaki mesafe) ile orantılı iken bistatik radarda alınan güç $1/R^2 R^2$ ile orantılıdır [71]. Dolayısıyla Denklem 2.9, bistatik radar için Şekil 2.5'te gösterilen Cassini ovalerini ifade eder [66]. Cassini ovaleri bistatik radar için SNR değerlerinin sabit olduğu yerleri temsil eder.



Şekil 2.5. Bistatik düzlemde Cassini ovaleri.

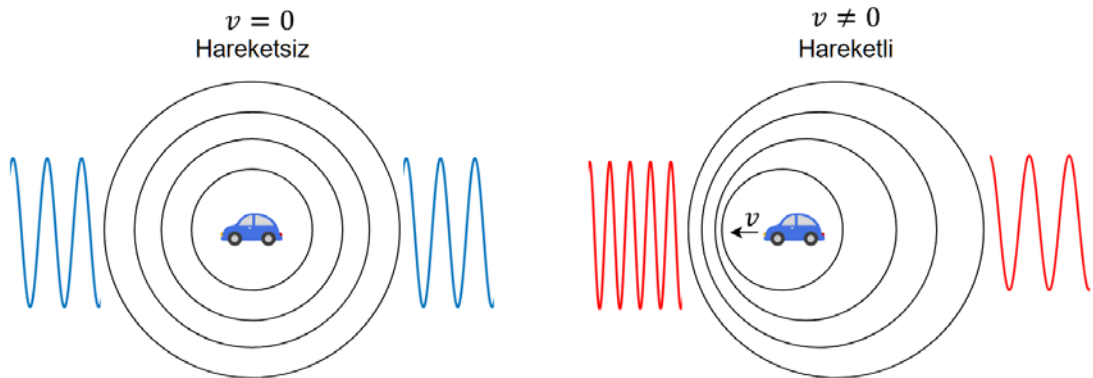
Farklı konumlardaki birbirine eş iki hedef aynı *SNR* değerine sahip olabilir. Şekil 2.5'teki her bir eğri sabit bir *SNR* değerine sahiptir. *SNR* arttıkça Cassini ovalerinin boyutu düşmektedir.

Cassini ovaleri bistatik radar için üç çalışma bölgesi oluşturur. Alıcı merkezli küçük oval yere konuşlandırılmış kısa mesafe hava savunma için kullanılabilirken, verici merkezli küçük oval ise verici çevresindeki aktiviteleri gözlemlemek için kullanılabilir. Diğer verici ve alıcı merkezli ovaler de orta-uzun menzil hava ve yer aktivitelerini gözlemlemek için kullanılabilir [66].

2.1.5. Bistatik Radar Doppleri

Adını Avusturyalı fizikçi Christian Doppler'den alan Doppler kayması, dalga kaynağına göreceli olarak hareket eden bir gözlemciye göre dalganın frekansındaki değişimi ifade eder.

Doppler kaymasının yaygın bir örneği, siren çalan bir aracın yaklaşırken ve uzaklaşırken gözlemci tarafından duyulan sesin değişmesidir. Araçtan yayılan frekansla gözlemci tarafından algılanan frekans karşılaştırıldığında, algılanan frekans yaklaşma sırasında daha yüksek, tam geçme anında aynı ve uzaklaşma sırasında daha düşüktür (Şekil 2.6).



Şekil 2.6. Doppler etkisi.

Radar sistemlerinde Doppler etkisinin sağladığı frekanstaki değişim yardımıyla hedefin hızı belirlenir. Bistatik radarlardaki bistatik Doppler kayması bistatik menzilin değişim hızı ile orantılıdır ve Denklem 2.10'daki gibi tanımlanır.

$$f_D = \frac{1}{\lambda} \frac{dR_B}{dt} \quad (2.10)$$

Burada λ sinyalin dalga boyudur. Bistatik Doppler kayması (f_D), alıcı ve hedefin hareketli, vericinin ise hareketsiz olduğu durumda hem alıcının hem hedefin hızına bağlıdır. Böyle bir durumda bistatik Doppler kayması Denklem 2.11'deki gibi tanımlanır.

$$f_D = f_T \left(\frac{v_R}{c} \cos a_R + 2 \frac{v_H}{c} \cos \delta \cos \beta / 2 \right) \quad (2.11)$$

Burada v_R alıcının hızı, v_H hedefin hızı ve a_R alıcının hız vektörü ile alıcının hedefe bakan yönü arasındaki açıdır. δ hedefin hız vektörü ile bistatik açının açıortayının arasındaki açıdır. f_T ise taşıyıcı frekanstır.

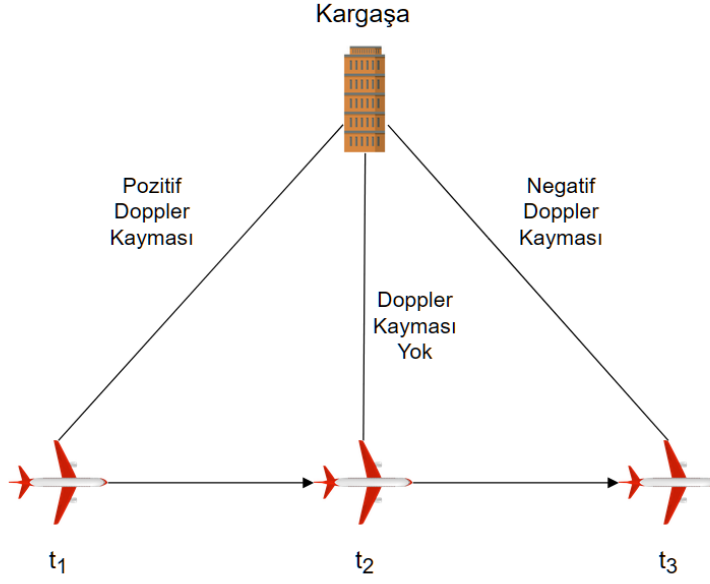
Eğer vericiye ek olarak alıcıda hareketsiz durumda ise bistatik Doppler kayması Denklem 2.12'ye indirgenir.

$$f_D = f_T \left(2 \frac{v_H}{c} \cos \delta \cos \beta / 2 \right) \quad (2.12)$$

β açısının 0 olması durumunda monostatik radardaki Doppler kayması elde edilir. β açısının 180° olması durumunda ise bistatik Doppler kayması elde edilemez. Hedefin hız vektörü bistatik açıortay ile aynı doğrultuda ise maksimum bistatik Doppler kayması elde edilir.

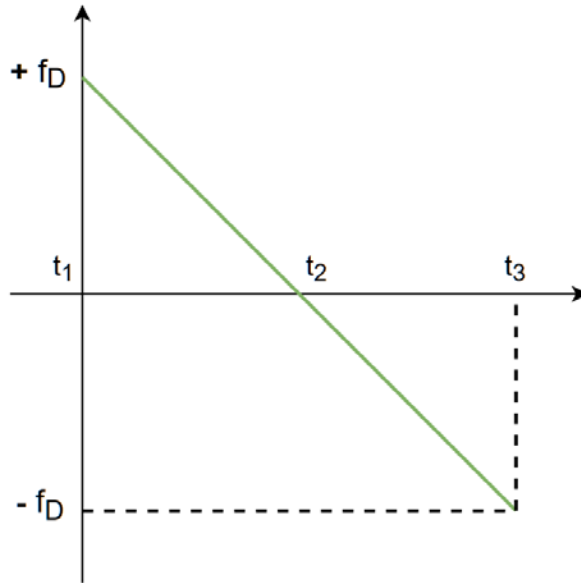
2.1.5.1. İç-kargaşa ve Dış-kargaşa Kavramı

Bu bölümde pasif radar çalışmalarında karşımıza çıkan iç-kargaşa ve dış-kargaşa kavramları açıklanacaktır.



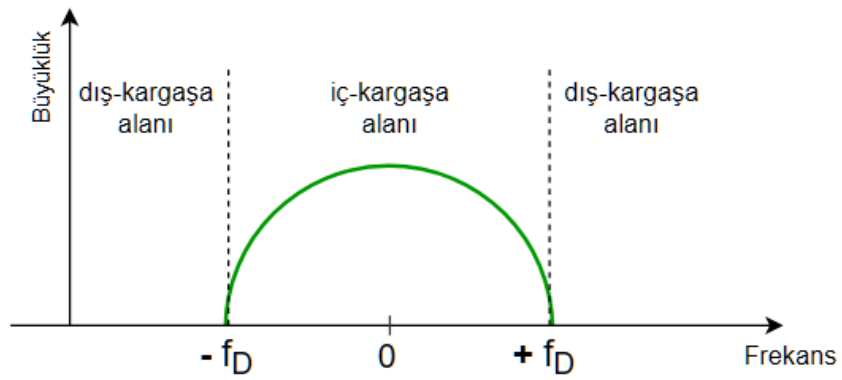
Şekil 2.7. Radarın konumuna göre kargaşa sinyalinin Doppler etkisi.

Şekil 2.7’de görüldüğü gibi sabit hızla hareket eden bir platforma yerleştirilmiş pasif radar için hareketsiz bir nesneden yansıyan sinyalin Doppler kayması zamanla Şekil 2.8’deki gibi değişecektir.

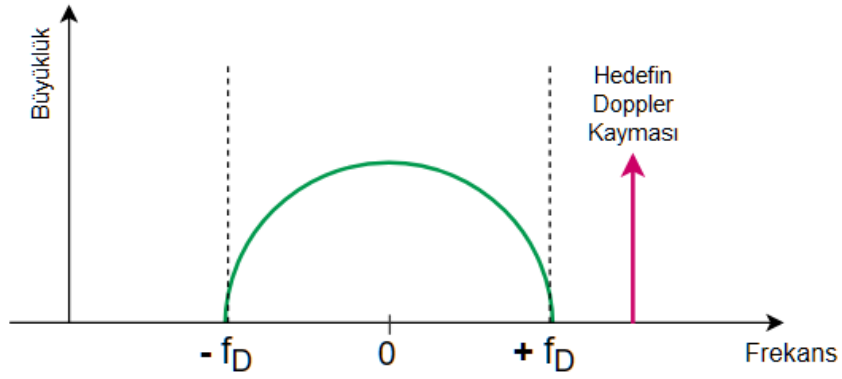


Şekil 2.8. Kargaşanın zamanla değişen Doppler kayması.

Şekil 2.8'deki durum dikkate alındığında platform, bazı hareketsiz nesnelere yaklaşırken bazılarını yaklaştıracaktır. Bu durumda, hareketsiz nesnelere meydana getirdiği kargaşa Doppler spektrumunda bir yayılımı oluşturacaktır (Şekil 2.9a). Bu yayılımın sınırları içinde kalan alana iç-kargaşa alanı, dışında kalan alana ise dış-kargaşa alanı denir. Hızlı hareket eden hedeflerin Doppleri dış-kargaşa alanında iken (Şekil 2.9b) yavaş hareket eden hedeflerin Doppleri ise iç-kargaşa alanıdır (Şekil 2.9c). Yavaş/hızlı hareket eden hedef kavramı Bölüm 3.3'te açıklanmıştır.

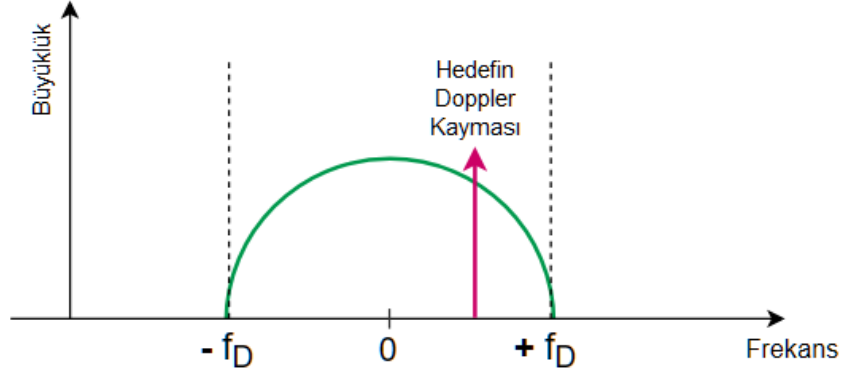


(a)



(b)

Şekil 2.9. Doppler spektrumu, a) kargaşanın Doppler yayılımı için, b) dış-kargaşa durumu için, c) iç-kargaşa durumu için.



(c)

Şekil 2.9. (devam ediyor).

2.2. AYDINLATICILAR

Bir pasif radar sistemi için kullanılabilir çeşitli aydınlatıcılar mevcuttur. Pasif radarın kullanım amacına uygun olan aydınlatıcı, sahip olduğu özelliklere dikkate alınarak seçilmelidir. Bu özellikleri iletilen güç, bant genişliği, frekans bandı ve modülasyon tipi olarak sıralayabiliriz. Aşağıda pasif radar için yaygın olarak kullanılan aydınlatıcılardan bahsedilmiştir.

2.2.1. Analog Radyo (FM)

FM yayını, frekans modülasyonu kullanan ve yüksek kalitede ses iletimi sağlamak için mühendis Edwin Howard Armstrong tarafından 1922 yılında icat edilen bir teknolojidir.

FM radyo pasif radar için sıklıkla tercih edilen aydınlatıcılardan bir tanesidir [29,31,35,38,46,56,61]. 88-108 MHz frekans aralığında çalışmaktadır. İletim gücü 250 kW'lara kadar çıkmaktadır. Bu, uzak mesafedeki hedeflerin algılanmasına olanak sağlar. Sinyalin bant genişliği çoğu aydınlatıcılara göre düşüktür. Kanallar arası 200 kHz aralığa sahip ve sembolik olarak 150 kHz olan bant genişliği, yayın yapılan programın içeriği ile doğrudan alakalıdır. Örneğin, sadece konuşma geçen bir

yayının bant genişliği darken, müzik çalan bir yayının genişliği geniş olur. Bant genişliğinin geniş olması menzilin çözünürlüğünü artırırken, dar olması ise azaltır.

2.2.2. Dijital Televizyon (DVB-T)

Dijital televizyon yayını için dünya çapında yaygın olarak DVB-T standardı kullanılmaktadır. Son zamanlarda yapılan çalışmalarda pasif radar için tercih edilen aydınlatıcılardan biri olmuştur [18,53,55]. 470 MHz ile 860 MHz frekans aralığında yayın yapmaktadır. İletim gücü nadir de olsa 100 kW'lara kadar çıkabilmektedir. Bant genişliği 7,6 MHz civarındadır. DVB-T'de kullanılan modülasyon OFDM'dir. Sinyal, pilot ve çevrimsel öntakı (cyclic prefix) gibi elemanlar içerir ve bu belirsizlik fonksiyonunu negatif olarak etkiler. Fakat bu negatif etkiler uygun bir sinyal işleme ile yok edilebilir. Pasif radar için aydınlatıcı olarak DVB-T'nin kullanılması sırasında karşılaşılabilecek bir diğer sorun ise SFN topolojisi kullanılmasıdır. SFN aynı sinyalin farklı vericiler tarafından aynı anda aynı taşıyıcı frekansta iletilmesini sağlar. Bu hedef tespiti için vericiyle olan ilişkisinde belirsizliğe yol açar.

2.2.3. Dijital Radyo (DAB)

DAB dijital ses radyo hizmetlerini yayınlamak için bir dijital radyo standardıdır. Bu standart, 1980'lerde bir Avrupa araştırma projesi olarak başlatıldı. DAB alıcıları, 1990'ların sonundan beri birçok ülkede mevcuttur.

DAB, 200 MHz civarındaki frekans bandını kullanmaktadır. İletim gücü birkaç kW mertebesindedir. DVB-T de olduğu gibi DAB'ta kullanılan modülasyon da ortogonal frekans bölme (OFDM: Orthogonal Frequency Division Multiplexing)'dir. Düşük güçteki vericilerinden dolayı kapsama alanı küçüktür. DAB sinyalinin bant genişliği 1,5 MHz'dir.

2.2.4. Uydu Televizyonu (DVB-S)

DVB-S, uydu televizyonu için bir dijital video yayını (DVB: Digital Video Broadcasting) standardıdır. Geliştirilmesi 1993-1997 yılları arasında olmuştur.

Dünyanın her kıtasına hizmet veren uydular aracılığıyla kullanılır. Frekans aralığı 950-2150 MHz'dir. Sinyal bant genişliği 36 MHz'dir. İletim gücü 2 kW'lara kadar çıkmaktadır.

2.2.5. Hücresel Telefon (GSM)

GSM, Avrupa Telekomünikasyon Standartları Enstitüsü (ETSI) tarafından, cep telefonları gibi mobil cihazlar tarafından kullanılan protokolleri açıklamak üzere geliştirilmiş bir standarttır. İlk olarak 1991 yılında Finlandiya'da kullanılmaya başlanmış ve günümüzde mobil iletişim için 193'ten fazla ülkede faaliyet gösteren küresel bir standart haline gelmiştir. GSM, çeşitli frekans bantlarında çalışmaktadır. Bunlardan en yaygın iki tanesi GSM-900 ve GSM-1800'dür.

GSM-900 900 MHz civarında çalışmaktadır. Yukarı yönlü bağlantı için (uplink) frekans aralığı 890-815 MHz iken aşağı yönlü bağlantı için (downlink) frekans aralığı 935-960 MHz'dir. Yukarı yönlü ve aşağı yönlü frekanslar birbirinden 45 MHz ile ayrılmıştır. Frekans bantları 124 kanala bölünmüştür ve her biri 200 kHz genişliğindedir.

GSM-1800 1800 MHz civarında çalışmaktadır. Yukarı yönlü bağlantı için (uplink) frekans aralığı 1710-1785 MHz iken aşağı yönlü bağlantı için (downlink) frekans aralığı 1805-1880 MHz'dir. Yukarı yönlü ve aşağı yönlü frekanslar birbirinden 95 MHz ile ayrılmıştır. Bu sabit frekans boşluğu, girişim ihtimalini düşürmektedir.

Genellikle GSM-900 şehirlerarası gibi daha uzun mesafeler için kullanılırken GSM-1800 ise daha kısa mesafeler için kullanılır. GSM-900 yüksek iletim gücü sayesinde bir pasif radar sistemi için daha elverişlidir.

2.2.6. Kablosuz Ağlar (WiFi)

Wi-Fi, 1997 yılında IEEE tarafından kablosuz yerel ağlarda kullanılması amaçlı geliştirilmiş standartlar ailesidir. Bu standardın bazı versiyonları ise IEEE 802.11a, IEEE 802.11b, IEEE 802.11g ve IEEE 802.11n'dir. Versiyona göre farklılıklar olsa

da çoğu 2,4 GHz veya 5 GHz frekans bandında çalışmaktadır. Sinyal bant genişliği 16 MHz'dir ve iletim gücü 200 mW'lara kadar çıkmaktadır.

2.2.7. Farklı Aydınlatıcı Tiplerinin Karşılaştırılması

Pasif radar sisteminin amacına uygun olarak farklı özelliklere sahip aydınlatıcılardan biri seçilmelidir. Yukarıda pasif radar sistemlerinde sık kullanılan aydınlatıcılardan bahsedilmiştir. Çizelge 2.1 farklı sinyal türleri için temel parametreleri göstermektedir. Parametreler nadir de olsa bölgesel farklılıklar gösterebilmektedir.

Çizelge 2.1. Tipik pasif radar aydınlatıcıları için sinyal parametreleri.

Aydınlatıcı Tipi	Frekans Bandı	Bant Genişliği	İletim Gücü
FM	88-108 MHz	10-150 KHz	250 kW
DVB-T	470-860 MHz	7,6 MHz	100 kW
DAB	174-240 MHz	1,5 MHz	2 kW
DVB-S	950-2150 MHz	36 MHz	2 kW
GSM-900	935-960 MHz	200 kHz	320 W
GSM-1800	1805-1880 MHz	200 kHz	320 W
WiFi	2400 MHz veya 5000 MHz	16 MHz	200 mW

FM radyonun bant genişliği yayınlanan programa göre değişiklik gösterse de gelen olarak dar olması zayıf menzil çözünürlüğü sebep olur. İletim gücünün yüksek olması ise geniş kapsama alanına sahip olmasını sağlar. Bu ise FM radyoyu pasif radar için sık tercih edilen aydınlatıcılardan yapar.

DVB-T, 7,6 MHz bant genişliğine sahiptir. Bu nedenle yüksek menzil çözünürlüğüne sahiptir. DVB-T ve FM radyo benzer iletim güçlerine sahiptir. Fakat FM radyoda daha düşük frekanslar kullanılmasından dolayı DVB-T'ye göre tespit menzili çok daha uzundur.

DAB sinyalinin bant genişliği 1,5 MHz olmasından dolayı ortalama bir menzil çözünürlüğüne sahiptir. Ayrıca kW'lar seviyesinde olan iletim gücünden dolayı da

ortalama bir tespit menziline vardır. DAB'ın iletim gücü FM radyonun iletim gücünden küçüktür ve FM radyonun kapsama alanının daha geniş olmasını sağlar.

GSM sinyalinin bant genişliği 200 KHz'dir. Menzil çözünürlüğü zayıftır. Buna ek olarak düşük iletim gücüne sahiptir. Birkaç kilometre menzilli kısa mesafe izleme yapan pasif radar sistemleri için uygundur.

WiFi, bant genişliğinin geniş olmasından dolayı en iyi menzil çözünürlüklerinden birini sağlar. Fakat düşük iletim gücünden dolayı sadece kısa mesafe tespit uygulamalı için uygundur.

DVB-S'in iletim gücü DVB-T ve FM radyoya göre düşük olduğundan tespit menzili kısadır. Bant genişliğinin geniş olmasından dolayı ise menzil çözünürlüğü çok yüksektir.

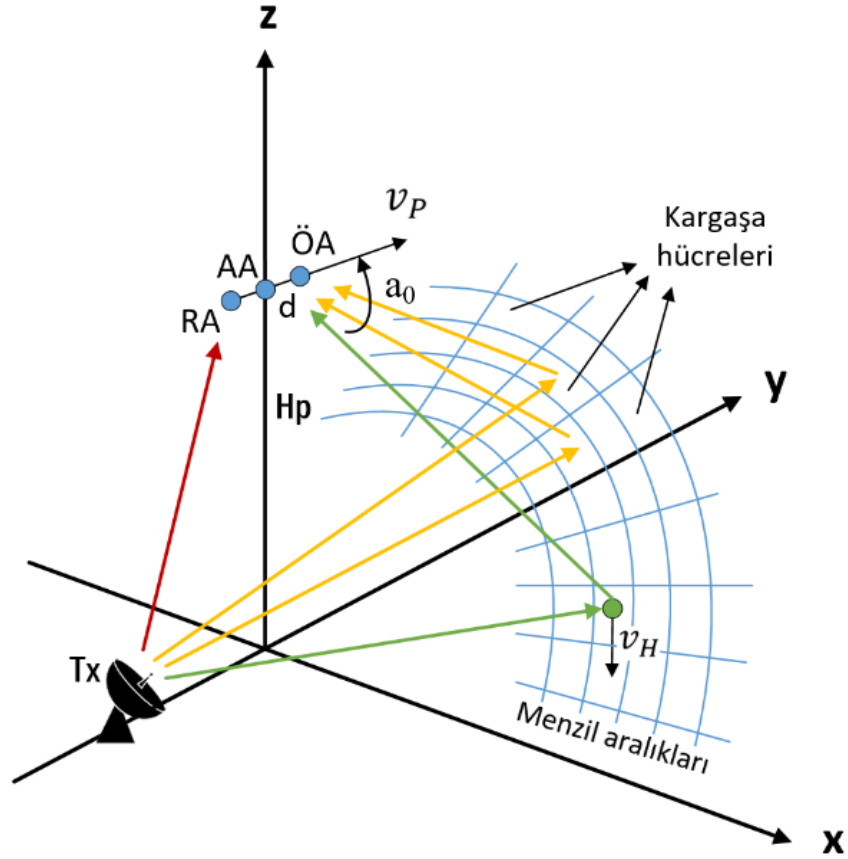
BÖLÜM 3

SİNYAL MODELİ VE ANALİZİ

Bu bölümde tasarlanan pasif radarın geometri, alıcı sistemler tarafından alınan sinyalin modeli, kargaşa yok etme ve darbe sıkıştırma yöntemleri analiz edilmiştir.

3.1. TASARLANAN SİSTEMİN GEOMETRİSİ

Tasarlanan sistemin geometrisi Şekil 3.1'deki gibidir.



Şekil 3.1. Tasarlanan sistemin geometrisi.

Tasarlanan pasif radar sistemi uçan bir platforma yerleştirilmiştir. Bu platform H_P yüksekliğinde v_P hızı ile yeryüzüne paralel olarak y-eksine yönünde hareket etmektedir. Platforma yerleştirilen pasif radarın alıcı sistemi üç antenden oluşmaktadır. Bu antenlerden bir tanesi Tx vericisinden yayılan sinyali alırken diğer iki anten ise yeryüzünde hareket halinde bulunan hedeften yansıyan sinyalleri almaktadır. Tx, halihazırda yeryüzünde bulunan ve FM radyo sinyalleri yayın ticari amaçlı bir vericidir. RA referans anten olarak isimlendirilir ve doğrudan Tx vericisinden yayılan referans sinyalini alır.

Gözetim antenleri olan ÖA ve AA, sırasıyla ön ve arka anten olarak adlandırılırlar. ÖA platformun hareket yönü dikkate alınarak platformun ön tarafına, AA ise arka tarafına aralarında d kadar mesafe olacak şekilde yerleştirilmişlerdir. Bu aradaki mesafenin alabileceği en büyük değer Denklem 3.1 ile hesaplanır.

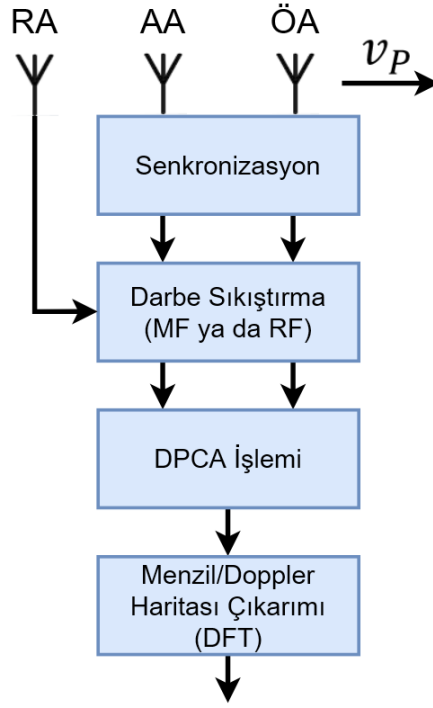
$$d = \frac{\lambda}{2} \quad (3.1)$$

Burada λ taşıyıcı sinyalin dalga boyudur ve Denklem 3.2 ile ifade edilir.

$$\lambda = \frac{c}{f_T} \quad (3.2)$$

Burada f_T sinyalin taşıyıcı (merkez) frekansı ve c ise ışık hızıdır.

Pasif radara ait çalışma sürecinin akış şeması Şekil 3.2’de gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Tasarlanan pasif radarın çalışma sürecinin akış şeması.

Platform hareket halindeyken RA anteni referans sinyali alır. Gözetim antenleri ÖA ve AA ise gözlem yaptıkları için hem hedeften hem de kargaşadan yansıyan sinyallerini alır. Bu antenler arasında senkronizasyon işlemi yapıldıktan sonra alınan sinyaller sayısallaştırılır. Sonra uygun bir filtre ile darbe sıkıştırma işlemi gerçekleştirilir. Platformun hızından kaynaklanan kargaşaları yok etmek için DPCA yöntemi uygulanır. Son olarak menzil/Doppler haritaları elde edilir ve bu haritalarda olası hedefler aranır.

3.2. SİNYAL MODELİ

Pasif radarın yerleştirildiği platform hareket halindeyken gözetim antenlerinden alınan sinyal Denklem 3.3'teki gibi ifade edilir.

$$x^{(n)}(t) = x_K^{(n)}(t) + x_H^{(n)}(t) + x_G^{(n)}(t) \quad (3.3)$$

Alınan bu sinyal üç ayrı sinyalin toplamından oluşur. Bu sinyallerden biri kargaşadan yansıyan sinyal $x_K^{(n)}(t)$, diğer ikisi ise hedeften yansıyan sinyal $x_H^{(n)}(t)$ ve gürültü sinyali $x_G^{(n)}(t)$ 'dir. n ise gözetim antenleri ÖA ve AA'yı temsil eder.

3.2.1. Kargaşa Bileşeni

Kargaşa ev, gökdelen, kule gibi hareketsiz nesnelerin platform hareketinden dolayı hareketliymiş gibi algılanması sonucu oluşur ve radarın hedef tespiti performansını kayda değer şekilde düşürür. Bu kargaşa bileşeni hareketsiz nesnelere yansıyan sinyalleri ifade eder.

Kargaşa bileşeni hareketsiz noktasal saçıcılarının toplamından oluşur. Bir noktasal saçıcısından yansıyan sinyal her bir gözetim anteni için Denklem 3.4'teki gibi tanımlanır.

$$\begin{aligned} x_0^{(\ddot{O}A)}(t) &= A_0 s(t - \tau_0) e^{j2\pi f_{D_0} t} \\ x_0^{(AA)}(t) &= A_0 s(t - \tau_0) e^{j2\pi f_{D_0} t} e^{-j2\pi \frac{d}{\lambda} \cos a_0} \end{aligned} \quad (3.4)$$

Burada A_0 kompleks genlik, t zaman ve $s(t)$ Tx'ten yayılan sinyaldir. τ_0 ise bistatik yayılım gecikmesidir ve Denklem 3.5'teki gibi hesaplanır.

$$\tau_0 = \frac{(R_T + R_R - L)}{c} \quad (3.5)$$

Noktasal saçıcının kargaşa için hareketsiz olduğu göz önünde bulundurularak f_{D_0} bistatik Doppler kayması Denklem 2.11'den yararlanarak Denklem 3.6 ile elde edilir.

$$f_{D_0} = f_T \left(\frac{v_P}{c} \cos a_0 \right) \quad (3.6)$$

Gözetim antenleri tarafından alınan $x_0^{(\ddot{O}A)}(t)$ ve $x_0^{(AA)}(t)$ sinyalleri f_s örnekleme frekansı ile örneklendiğinde Denklem 3.7 elde edilir.

$$x_0^{(\ddot{O}A)}[l] = A_0 s[l - l_{\tau_0}] e^{j2\pi f_{D_0} \frac{l}{f_s}} \quad (3.7)$$

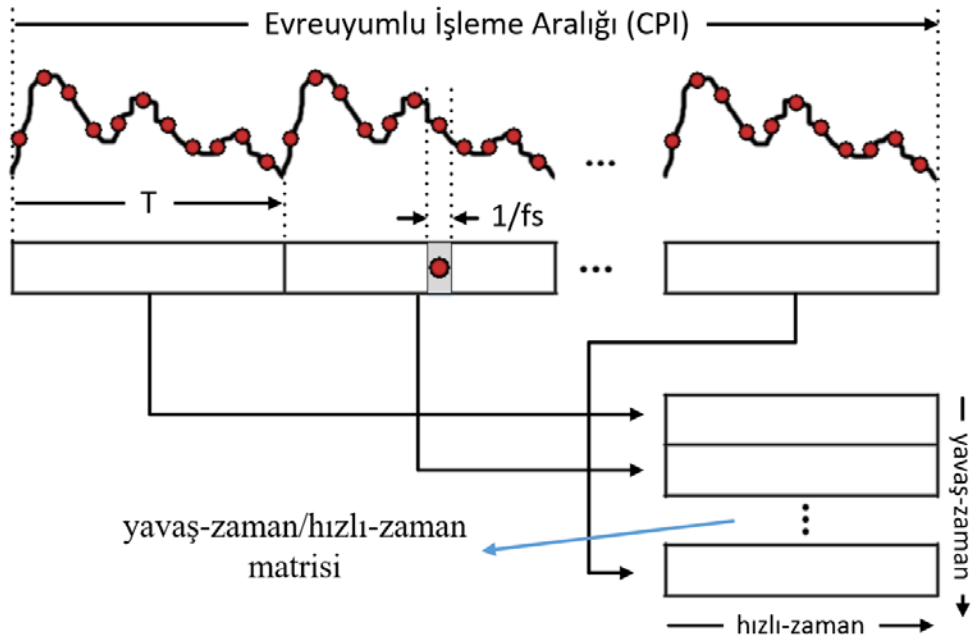
$$x_0^{(AA)}[l] = A_0 s[l - l_{\tau_0}] e^{j2\pi f_{D_0} \frac{l}{f_s}} e^{-j2\pi \frac{d}{\lambda} \cos \alpha_0} \quad (3.8)$$

Burada l ve l_{τ_0} sırasıyla Denklem 3.8 ve Denklem 3.9'daki ifadelerle eşittir.

$$l = t f_s \quad (3.8)$$

$$l_{\tau_0} = \tau_0 f_s \quad (3.9)$$

Bistatik menzil/Doppler haritasının hesaplanması için parçalama yaklaşımı (batching approach) benimsenmiştir [72,73]. Bu yaklaşımda alınan sinyaller parçalara bölünür. Darbe sıkıştırma işlemi her bir parçaya uygulanır. Bu parçalar Şekil 3.3'te görüldüğü gibi yavaş-zaman/hızlı-zaman matrisi oluşturacak şekilde düzenlenir ve sıralanır. Elde edilen matrisin yavaş-zaman boyutu boyunca ayırık Fourier dönüşümü (DFT: Discrete Fourier Transform) DFT uygulanarak menzil/Doppler haritaları elde edilir.



Şekil 3.3. Parçalama yaklaşımının gösterimi.

Evreyumlu bir radar için, örneklenecek toplam süre, evreyumlu işleme aralığı (CPI: Coherent Processing Interval) olarak adlandırılır. Parçalama yaklaşımı ile $s(t)$ Denklem 3.10 ile ifade edilebilir.

$$s(t) = \sum_{b=0}^{B-1} s_b(t - bT) \quad (3.10)$$

Burada T bir parçanın süresidir. B ise bir CPI'daki parça sayısıdır.

Bir CPI'nın toplam B kadar parçadan oluştuğu kabul edildiğinde gözetim antenlerinden alınan sinyaller Denklem 3.11 ile ifade edilir.

$$x_0^{(\ddot{O}A)}[l, b] = A_0 \sum_{b=0}^{B-1} s_b[l - bL - l_{\tau_0}] e^{j2\pi f_{D_0} bT} \quad (3.11)$$

$$x_0^{(AA)}[l, b] = A_0 \sum_{b=0}^{B-1} s_b[l - bL - l_{\tau_0}] e^{j2\pi f_{D_0} bT} e^{-j2\pi \frac{d}{\lambda} \cos a_0}$$

Burada L bir parçadaki örnek sayısıdır ve Denklem 3.12 ile elde edilir.

$$L = T f_s \quad (3.12)$$

Şekil 3.1'de görüldüğü gibi pasif radar gözlem sırasında gözetim antenlerinden sadece bir tane değil birçok menzil aralığından gelen kargaşa sinyallerini alır. Bu sinyaller farklı açılardaki (a) farklı açısal dilimlerden (ϕ_r) gelebilir.

Kargaşa sinyali $x_K^{(n)}(t)$ farklı menzil aralıklarından gelen sinyallerin toplamından oluşur ve Denklem 3.13'teki gibi ifade edilir. Genlikler $A_r(a)$ Rayleigh dağılımı ile modellenmiştir.

$$x_C^{(\ddot{O}A)}[l, b] = \sum_{r=1}^R \int_{\phi_r} A_r(a) \sum_{b=0}^{B-1} s_b[l - bL - l_{\tau_0}] e^{j2\pi f_{D_0}(a) bT} da \quad (3.13)$$

$$x_C^{(AA)}[l, b] = \sum_{r=1}^R \int_{\phi_r} A_r(a) \sum_{b=0}^{B-1} s_b[l - bL - l_{\tau_0}] e^{j2\pi f_{D_0}(a)bT} e^{-j2\pi \frac{d}{\lambda} \cos a} da$$

3.2.2. Hedef Bileşeni

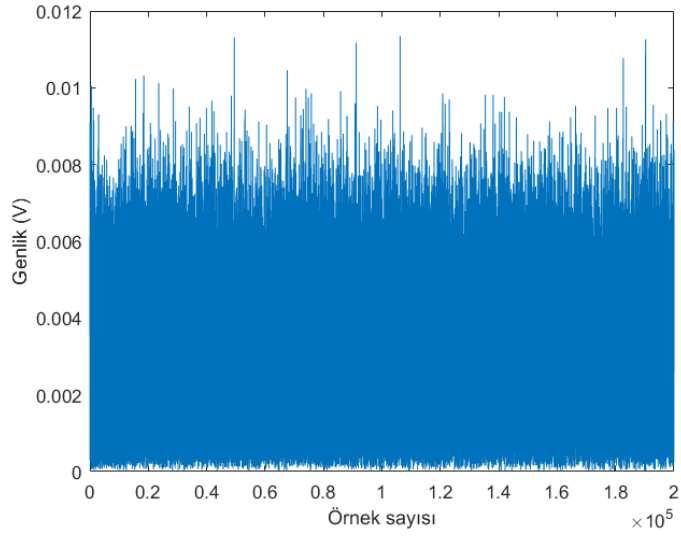
Pasif radarın gözetim antenlerinden kargaşa sinyallerine ek olarak hedeften yansıyan sinyal de alınır. Tasarlanan senaryoda gözlem ortamında bir hedefin olduğu varsayılmıştır. Böyle bir durumda hedefin bulunduğu menzil aralığına diğer hücrelerden bir etki olmayacaktır. Hedef hareket halinde olduğundan hedefin Doppleri Denklem 2.11'deki hesaplanır. Gözetim antenlerinden alınan hedef sinyali $x_H^{(n)}(t)$, Denklem 2.11 ve Denklem 3.11 birleştirilerek Denklem 3.14'teki gibi elde edilir.

$$x_H^{(\ddot{O}A)}[l, b] = A_0 \sum_{b=0}^{B-1} s_b[l - bL - l_{\tau_0}] e^{j2\pi(f_T(\frac{v_P}{c} \cos a_0 + 2\frac{v_H}{c} \cos \delta \cos \beta / 2))bT} \quad (3.14)$$

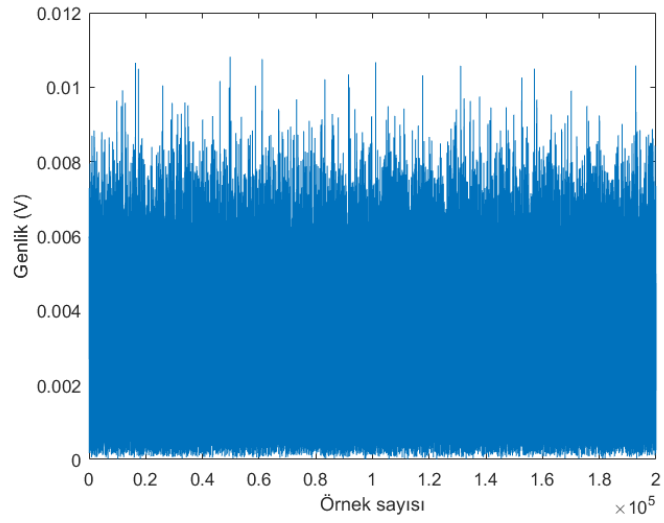
$$x_H^{(AA)}[l, b] = A_0 \sum_{b=0}^{B-1} s_b[l - bL - l_{\tau_0}] e^{j2\pi(f_T(\frac{v_P}{c} \cos a_0 + 2\frac{v_H}{c} \cos \delta \cos \beta / 2))bT} e^{-j2\pi \frac{d}{\lambda} \cos a_0}$$

3.2.3. Gürültü Bileşeni

Gürültü, rastgele ve istatikselsel olarak oluşan çoğu elektronik uygulamalarda karşılaşılan istenmeyen işaretlere denir. Gürültü işaretleri alıcı sisteme antenden gelebildiği gibi, alıcının kendi devrelerinden de kaynaklanabilir. Gürültü bileşeni $x_G^{(n)}(t)$ 'nin iki gözetim anteni için istatikselsel olarak birbirinden bağımsız olduğu varsayılmış ve AWGN ile modellenmiştir. AWGN doğada meydana gelen birçok rastgele işlemin etkisini taklit etmek için bilgi teorisinde kullanılan temel bir gürültü modelidir. Bu gürültü radar, sonar ve haberleşme uygulamalarında sıklıkla kullanılmaktadır. Gözetim antenleri için oluşturulan örnek gürültüler Şekil 3.4'te gösterilmiştir.



(a)



(b)

Şekil 3.4. Gözetim antenleri için örnek gürültüler, a) ÖA için, b) AA için.

3.3. KARGAŞA YOK ETME

Tasarlanan pasif radar sistemi hareket halindeki bir platforma yerleştirilmiştir. Platformun hareketli olmasından dolayı sabit konumdaki nesnelere hedef gibi algılanıp, radarın performansını düşürmektedir. Hareketsiz nesnelere yansıyan bu kargaşa sinyalleri Doppler uzayında yayılmış şekilde ortaya çıkacaktır. Bu yayılımdan dolayı yavaş hareket eden hedeflerin algılanması engellenecektir.

Bu tespit edilemeyen hedeflerin (yavaş hareket eden hedefler) üst hız limiti ise pasif radar sisteminin yerleştirildiği platformun hızına bağlıdır. Yavaş hareket eden hedeflerin Doppler kaymasının maksimum değeri Denklem 3.15 ile ifade edilir.

$$f_{D_H}^{(max)} = \frac{v_P}{\lambda} \quad (3.15)$$

Ayrıca bir menzil aralığından yansıyan kargaşa sinyali yan hüzmelerden dolayı diğer menzil aralıkları tarafından etkilenecektir. Bu durumun, diğer menzil aralıklarında görünen hedeflerin tespitini etkileme olasılıkları yüksektir. Darbe sıkıştırma aşamasında farklı filtreler kullanılarak DPCA yaklaşımı ile kargaşa yok etme işlemi gerçekleştirilmiş ve elde edilen sonuçlar BÖLÜM 4'te gösterilmiştir.

3.3.1. Darbe Sıkıştırma

Aktif radar sistemlerinde, sinyalin sistemin kendisi tarafından iletilmesi nedeni ile iletilen sinyal kontrol edilebilir. Aktif radarlardan farklı olarak pasif radar sistemlerinin kendi vericileri yoktur ve harici vericiler kullanırlar. Bu nedenle, alınan sinyalin dalga biçimi, uyumlu filtre (MF: Matched Filter) ve karşıt filtre (RF: Reciprocal Filter) gibi filtreler kullanılarak değiştirilmelidir.

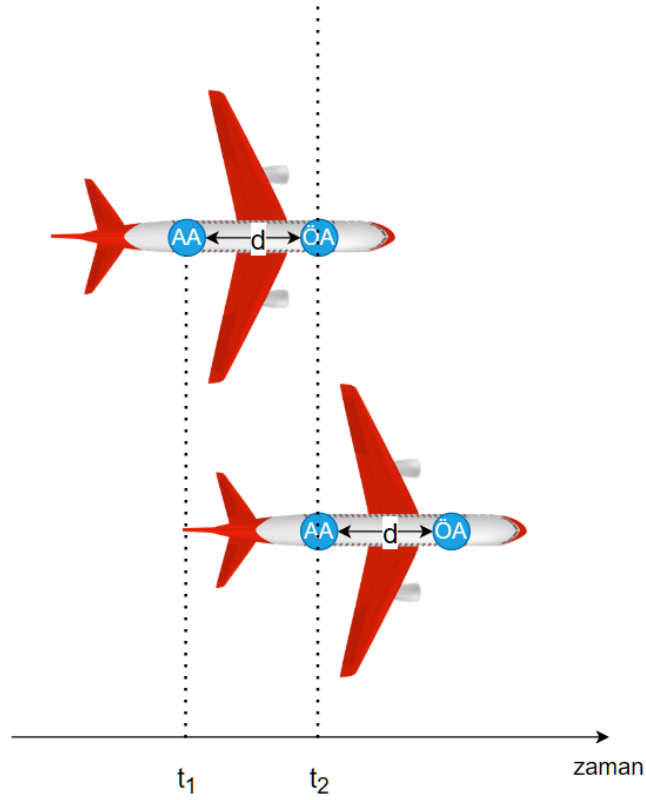
Alınan sinyalinin darbe sıkıştırma işleminden sonra çıktısı Denklem 3.16'daki gibi elde edilir.

$$\begin{aligned} \bar{d}^{(a)}[l, b] &= r^{(a)}[l, b] * h[l, b] & b = 0, \dots, B - 1 \\ &= IDFT \left\{ DFT \{ r^{(a)}[l, b] \} \odot DFT \{ h[l, b] \} \right\} \end{aligned} \quad (3.16)$$

Burada * konvolüsyon işlemine karşılık gelirken, \odot ise eleman bazlı çarpma işlemine karşılık gelmektedir. $\bar{d}^{(a)}[l, b]$ her bir parçanın (b) darbe sıkıştırılmış halini içerir.

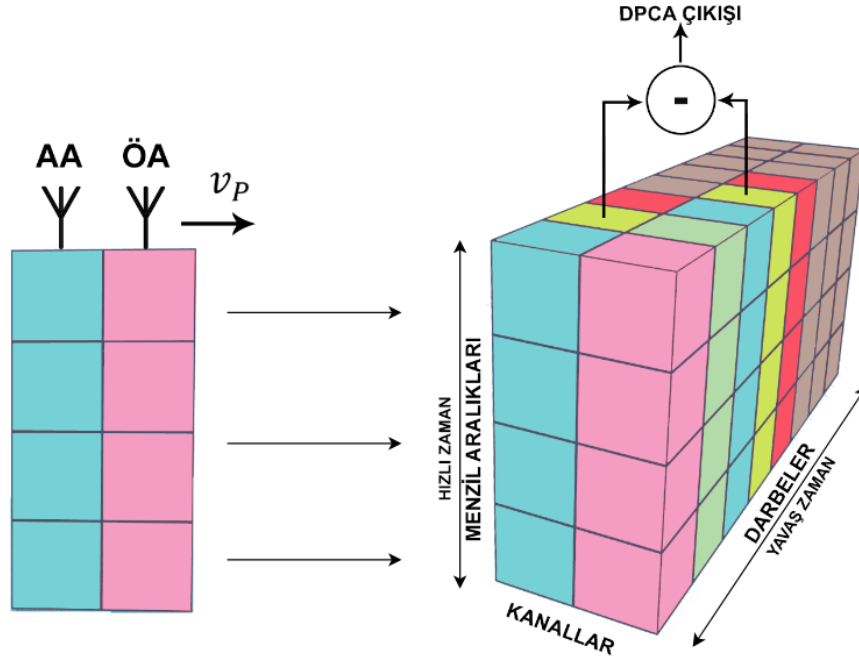
3.3.2. DPCA Yöntemi

Hareketli bir platforma yerleştirilmiş pasif radarın hareketli hedef tespiti için kargaşa yok etme işlemi Faz Merkezi Kaydırılan Anten (DPCA: Displaced Phase Center Antenna) yöntemi ile gerçekleştirilir. DPCA yöntemi hava radarlarında radarın yerleştirildiği platformun hareketinden kaynaklanan etkiyi gidermek için kullanılan bir yöntemdir [74,75]. Bu yöntemin amacı kargaşaları ortadan kaldırarak hedef tespitinin gerçekleştirilmesini sağlamaktır. İki veya daha fazla faz merkezi ile yandan görünümü monte edilmiş anten düzenlemesine dayanmaktadır. Şekil 3.5'te görüldüğü üzere platform ileriye doğru hareket ederken faz merkezleri aynı noktada tutularak antenin sabitmiş gibi görünmesi sağlanır.



Şekil 3.5. DPCA anten geometrisi.

ÖA ve AA antenlerinin farklı zamanlardaki fakat aynı uzaysal konumdaki değerleri birbirinden çıkarılarak gerçekleştirilir (Şekil 3.6).



Şekil 3.6. DPCA işleminin gösterimi.

DPCA yöntemi Denklem 3.17'deki gibi uygulanır.

$$\bar{y}[l, b] = \bar{d}^{(AA)}[l, b] - \bar{d}^{(\ddot{O}A)}[l, b - K] \quad (3.17)$$

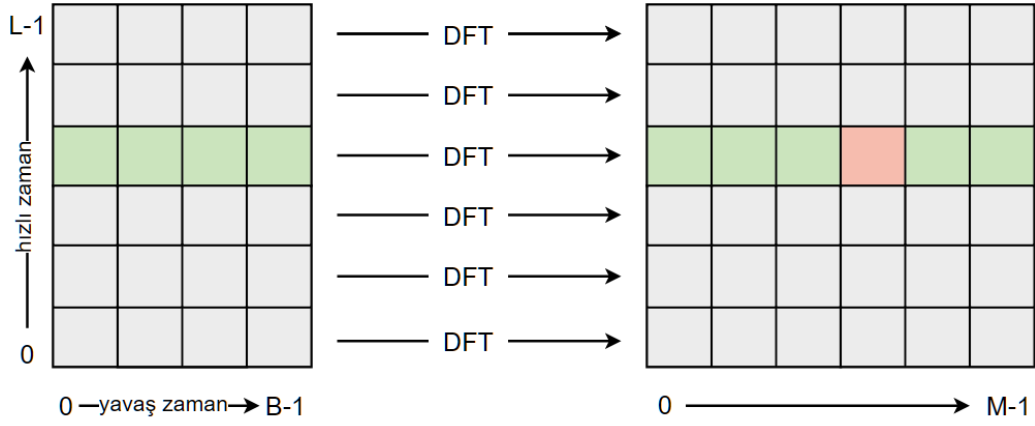
Burada K parçalama algoritmasındaki bir parçanın süresinin tamsayı katıdır ve Denklem 3.18 ile elde edilir. Bu değer tamsayı olması DPCA koşulunun sağlanması için gereklidir [76,77]. Eğer bu koşul sağlanmazsa DPCA yöntemi tam performanslı olarak kargaşa sinyallerini yok edemez. Antenler arasındaki mesafe d ayarlanarak ya da uygun darbe tekrarlama frekansı PRI ($PRI = T$) değeri seçilerek koşul yerine getirilebilir.

$$K = \frac{d}{v_p T} \quad K \in \mathbb{N} \quad (3.18)$$

DPCA işlemi ile kargaşa yok edildikten sonra yavaş-zaman/hızlı-zaman matrisinin yavaş-zaman boyutunda DFT'si alınarak menzil/Doppler haritası elde edilir (Denklem 3.19). Bu harita üzerinde hedefin menzili ve hızı tespit edilebilir.

$$\bar{z}[l, m] = \sum_{b=0}^{B-1} \bar{y}[l, b] e^{-j2\pi \frac{mb}{B}} \quad (3.19)$$

Yavaş-zaman/hızlı-zaman matrisi üzerinde gerçekleştirilen DFT işlemi Şekil 3.7’de gösterilmiştir.



Şekil 3.7. Yavaş-zaman/hızlı-zaman matrisi üzerinde DFT işlemi.

3.3.3. Uyumlu Filtre

Çıkış tepe gücünün frekans yanıtındaki ortalama gürültü gücüne oranını maksimize edecek şekilde bir çıktı üreten filtreye uyumlu filtre denir [78]. Bu bölümde, darbe sıkıştırma aşamasında uygulanan filtrelerden uyumlu filtre analiz edilmiştir. Bu filtrenin DPCA kargaşa yok etmedeki etkinliğinin incelenmesi için kargaşa çıkış gücü $P_K^{(çıkış)}[l, m]$ incelenmiştir. Öncelikle tek bir noktasal saçıcının olduğu durum, daha sonra ise çoklu noktasal saçıcıların olduğu durum göz önüne alınmıştır.

3.3.3.1. Tek Bir Noktasal Saçıcının Olma Durumu

Tek bir noktasal saçıcının olduğu durumda Denklem 3.16’nın çıkışı Denklem 3.20’deki gibi olur.

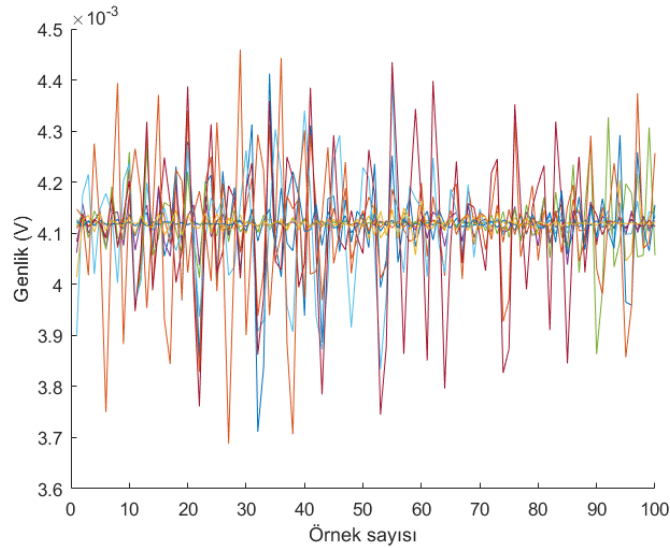
$$\begin{aligned}
d^{(\ddot{O}A)}[l, b] &= A_0 g_b^{(MF)}[l - l_{\tau_0}] e^{j2\pi \frac{v_P}{\lambda} \cos a_0 b T} e^{-j2\pi \frac{v_B}{\lambda} b T} \\
d^{(AA)}[l, b] &= A_0 g_b^{(MF)}[l - l_{\tau_0}] e^{j2\pi \frac{v_P}{\lambda} \cos a_0 b T} e^{-j2\pi \frac{v_B}{\lambda} b T} e^{-j2\pi \frac{d}{\lambda} \cos a_0}
\end{aligned} \tag{3.20}$$

Burada v_B hedefin bistatik hızıdır. $g_b^{(MF)}[l]$ ise b 'inci parça olan $s_b[l - bL]$ 'nin uyumlu filtre çıktısıdır ve Denklem 3.21'deki gibi hesaplanır.

$$g_b^{(MF)} = s_b[l - bL] * h_b^{(MF)}[l] = kIDFT\{|S_b[m]|^2\} \tag{3.21}$$

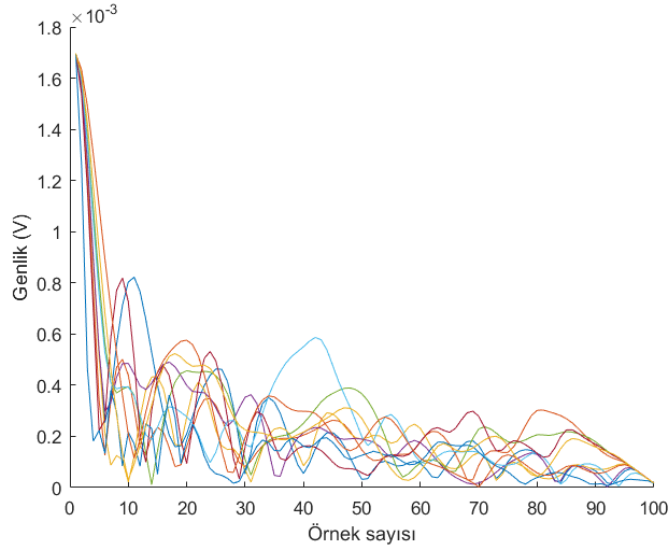
Burada $S_b[m]$, $s_b[l]$ 'nin DFT'sidir ve k çarpım sabitidir. IDFT ise ters ayrık Fourier dönüşümünü ifade eder.

Alınan FM radyo sinyalinin parçalama yaklaşımı sonucu elde edilen parçalardan bir CPI'daki rastgele on tanesi Şekil 3.8'de gösterilmiştir.



Şekil 3.8. Alınan FM radyo sinyalinin bir CPI'daki rastgele on parçası.

Şekil 3.8'de görüldüğü gibi iletilen bilgini içeriğinden dolayı FM radyo sinyalinin her bir parçası birbirinden farklıdır. Bundan dolayı belirli bir $s_b[l]$ parçasının uyumlu filtre sonucundaki dürtü yanıtı $g_b[l]$, diğer parçaların dürtü yanıtlarından farklı olur. Şekil 3.9'da rastgele on parçanın uyumlu filtre sonucundaki dürtü yanıtları gösterilmiştir.



Şekil 3.9. Bir CPI'daki rastgele on parçanın uyumlu filtre dürtü yanıtları.

İki gözetim anteninden alınan sinyaller, darbe sıkıştırma işlemlerinden sonra kargaşa yok etme aşaması olan DPCA işlemine tabi tutulurlar. Bölüm 3.3.2'de detaylı olarak anlatılan DPCA işlemi DPCA koşulu sağlanarak Denklem 3.22 ile gerçekleştirilir.

$$\begin{aligned}
 y_0[l, b] &= d_0^{(AA)}[l, b] - d_0^{(\ddot{O}A)}[l, b - K] \\
 &= A_0 \left(g_b^{(MF)}[l - l_{\tau_0}] - g_{b-K}^{(MF)}[l - l_{\tau_0}] e^{j2\pi \frac{v_B}{\lambda} KT} \right) e^{j2\pi \frac{v_P}{\lambda} \cos \alpha_0 (b-K) T} e^{-j2\pi \frac{v_B}{\lambda} b T} \quad (3.22)
 \end{aligned}$$

Menzil/Doppler haritasını elde etmek için DPCA çıktısı $y_0[l, b]$ 'nin Denklem 3.19'da tanımlandığı gibi DFT'si alınır (Denklem 3.23).

$$\begin{aligned}
 z_0[l, m] &= \sum_{b=0}^{B-1} y_0[l, b] e^{-j2\pi \frac{mb}{B}} \\
 &= A_0 e^{-j2\pi \frac{v_P}{\lambda} \cos \alpha_0 KT} \\
 &\quad \cdot \sum_{b=0}^{B-1} e^{j2\pi \left(f_{D_0} T - \frac{m}{B} \right) b} \left(g_b^{(MF)}[l - l_{\tau_0}] - g_{b-K}^{(MF)}[l - l_{\tau_0}] e^{-j2\pi \frac{v_B}{\lambda} KT} \right) \quad (3.23)
 \end{aligned}$$

Burada f_{D_0} Denklem 3.24'teki gibi hesaplanır.

$$f_{D_0} = \frac{1}{\lambda} (v_P \cos a_0 - v_B) \quad (3.24)$$

Denklem 3.23 noktasal saçıcının menzil/Doppler haritası üzerindeki katkısını temsil eder. Sabit bir noktasal saçıcıdan yansıması Denklem 3.22 ile tamamen giderilememiştir. Bu giderilemeyen noktasal saçıcının katkısı tüm menzil/Doppler haritasına yayılmış olacaktır ve pasif radarın hedef tespit performansını oldukça düşürecektir. Bunun sebebi ise Şekil 3.9'da görüldüğü gibi bir CPI'daki her parçanın dürtü yanıtlarının farklı olmasıdır. Hareketli hedeflerin katkısı, Denklem 3.22 ile gerçekleştirilen DPCA işlemi sonunda, hedefin hareketiyle oluşan $2\pi \frac{v_B}{\lambda} KT$ 'lik faz kaymasından dolayı tamamen yok olmayacaktır. DPCA işlemi, beklendiği üzere hedefin katkısını yok etmeyecektir.

Denklem 3.23'ün çıktısının beklenen değeri (E : Expected Value) Denklem 3.25 ile elde edilir.

$$E\{z_0[l, m]\} = A_0 e^{-j2\pi \frac{v_P}{\lambda} \cos a_0 KT} e^{j\pi \frac{v_B}{\lambda} KT} kL\sigma^2 \delta[l - l_{\tau_0}] \left(-2j \sin\left(\pi \frac{v_B}{\lambda} KT\right) \right) \cdot e^{j2\pi \left(f_{D_0} - \frac{m}{BT}\right)(B-1)T} \text{dsinc}\left[\pi \left(f_{D_0} - \frac{m}{BT}\right) T, B\right] \quad (3.25)$$

Burada $\text{dsinc}(x, B)$ dijital sinc fonksiyonudur ve Denklem 3.26 ile hesaplanır.

$$\text{dsinc}(x, B) = \frac{\sin(Bx)}{\sin(x)} \quad (3.26)$$

Hareketsiz nesnelere dikkate alınarak Denklem 3.23'teki noktasal saçıcının çıkış gücü Denklem 3.27 ile elde edilir.

$$E\{|z_0[l, m]|^2 | v_B = 0\} = |A_0|^2 \sum_{b=0}^{B-1} \sum_{p=0}^{B-1} f[l, b, p] e^{j2\pi \left(f_{D_0} - \frac{m}{BT}\right)(b-p)T} \quad (3.27)$$

Burada $f[l, b, p]$ Denklem 3.28 ile hesaplanır.

$$\begin{aligned}
f[l, b, p] &= E \left\{ \left(g_b^{(MF)}[l - l_{\tau_0}] - g_{b-K}^{(MF)}[l - l_{\tau_0}] \right) \right. \\
&\quad \left. \cdot \left(g_b^{*(MF)}[l - l_{\tau_0}] - g_{b-K}^{*(MF)}[l - l_{\tau_0}] \right) \right\} \\
&= \begin{cases} 2\text{Var}\{g_0[l]\} & p = b \\ -\text{Var}\{g_0[l]\} & p = b \pm K \\ 0 & \text{diğer} \end{cases}
\end{aligned} \tag{3.28}$$

Çıkış gücü seviyesi, Doppler hücresi m 'in sadece $f_{D_0}BT$ 'ye eşit olduğu durumda 0'a eşittir. Kargaşa yok etme işleminin kalıntıları hedef tespitinin performansını sınırlayacaktır. Dolayısıyla, uyumlu filtre sonucunda ortaya çıkan dalga formunun parçadan parçaya değişen şeklinden dolayı hareketsiz saçıcının katkısının yok edilmesi mümkün değildir.

Çıkış gücüne hareketli hedeflerin de katkısı olacaktır. Gecikmesi l_{τ_H} , bistatik hızı v_{BH} , Doppleri f_{DH} ve kompleks genliği A_H olan bir hedefin Denklem 3.23 çıktısı Denklem 3.29 ile elde edilir.

$$\begin{aligned}
z_H[l = l_{\tau_H}, m = f_{DH}BT] &= A_H e^{-j2\pi \frac{v_P}{\lambda} \cos a_H KT} \\
&\quad \cdot \sum_{b=0}^{B-1} \left(g_b^{(MF)}[0] - g_{b-K}^{(MF)}[0] e^{j2\pi \frac{v_{BH}}{\lambda} KT} \right)
\end{aligned} \tag{3.29}$$

Denklem 3.29'un beklenen değeri (E) Denklem 3.30 ile ifade edilir.

$$E\{z_H[l = l_{\tau_H}, m = f_{DH}BT]\} = A_H e^{-j2\pi \frac{v_P}{\lambda} \cos a_H KT} BE\{g_0[0]\} \left(1 - e^{j2\pi \frac{v_{BH}}{\lambda} KT}\right) \tag{3.30}$$

Denklem 3.29'un çıkış gücü ise Denklem 3.31 ile ifade edilir [77].

$$\begin{aligned}
P_H^{(MF)} &= |E\{z_H[l = l_{\tau_H}, m = f_{DH}BT]\}|^2 \\
&= \left| A_H BE\{g_0[0]\} e^{-j2\pi \frac{v_P}{\lambda} \cos a_H KT} 2j \sin\left(\pi \frac{v_{BH}}{\lambda} KT\right) \right|^2 \\
&= |A_H|^2 B^2 |E\{g_0[0]\}|^2 \cdot 4 \left| \sin\left(\pi \frac{v_{BH}}{\lambda} KT\right) \right|^2 \\
&= |A_H|^2 B^2 |kL\sigma^2|^2 \cdot 4 \left| \sin\left(\pi \frac{v_{BH}}{\lambda} KT\right) \right|^2
\end{aligned} \tag{3.31}$$

Denklem 3.31'in en büyük kazancı hedefin bistatik hızı v_{BH} , $\lambda(1 + 2k)/2KT$ 'ye eşit olduğu zaman gözlenir. Bunun yanında, pasif radar sistemi hedefin bistatik hızı v_{BH} , $k\lambda/KT$ 'ye eşit olduğu durumlarda hedef tespiti yapamaz. Bu hızlara kör hızlar denir. DPCA süresi olan KT 'nin değeri arttıkça yavaş hareket eden hedeflerin tespiti kolaylaşırken daha fazla kör hızlar meydana gelir. Bu durum Bölüm 4.6.2'de analiz edilmiştir.

3.3.3.2. Çoklu Hareketsiz Noktasal Saçıcıların Olma Durumu

Tek bir saçıcının olduğu durumda çıkış gücü Bölüm 3.3.3.1'de analiz edilmiştir. Bu bölümde ise birden çok hareketsiz saçıcının olduğu durumda çıkış gücü incelenmiştir. Bu inceleme yapılırken kargaşa hücrelerinin katkısının istatistiki olarak birbirinden bağımsız olduğu varsayılmıştır.

Kargaşa yok etme işlemine giriş olarak verilecek darbe sıkıştırma işleminin çıktıları Denklem 3.32 ile elde edilir.

$$d_K^{(\ddot{O}A)}[l, b] = \sum_{r=1}^R \int_{\phi_r} A_r(a) g_b^{(MF)}[l - l_{\tau_0}] e^{j2\pi \frac{v_P}{\lambda} \cos abT} da \quad (3.32)$$

$$d_K^{(AA)}[l, b] = \sum_{r=1}^R \int_{\phi_r} A_r(a) g_b^{(MF)}[l - l_{\tau_0}] e^{j2\pi \frac{v_P}{\lambda} \cos abT} e^{-j2\pi \frac{d}{\lambda} \cos a} da$$

Kargaşa yok etme yöntemi olan DPCA işlemi DPCA koşulu ($d = v_P KT$) dikkate alınarak uygulanır. Bu uygulama sonucunda Denklem 3.33'teki çıkış elde edilir.

$$y_K[l, b] = d_K^{(AA)}[l, b] - d_K^{(\ddot{O}A)}[l, b - K]$$

$$= \sum_{r=1}^R \int_{\phi_r} A_r(a) \left(g_b^{(MF)}[l - l_{\tau_0}] - g_{b-K}^{(MF)}[l - l_{\tau_0}] \right) e^{j2\pi \frac{v_P}{\lambda} \cos a(b-K)T} da \quad (3.33)$$

DPCA işlemi ile kargaşa yok etme aşamasından sonra menzil/Doppler haritasının elde edilmesi için Denklem 3.34 ile DFT işlemi uygulanır.

$$\begin{aligned}
z_K[l, m] &= \sum_{b=0}^{B-1} y_K[l, b] e^{-j2\pi \frac{mbT}{BT}} \\
&= \sum_{b=0}^{B-1} \sum_{r=1}^R \int_{\phi_r} A_r(a) \left(g_b^{(MF)}[l - l_{\tau_0}] \right. \\
&\quad \left. - g_{b-K}^{(MF)}[l - l_{\tau_0}] \right) e^{j2\pi \frac{v_P}{\lambda} \cos a (b-K)T} da e^{-j2\pi \frac{mbT}{BT}} \\
&= \sum_{r=1}^R \int_{\phi_r} A_r(a) e^{-j2\pi \frac{v_P}{\lambda} \cos a KT} \sum_{b=0}^{B-1} \left(g_b^{(MF)}[l - l_{\tau_0}] \right. \\
&\quad \left. - g_{b-K}^{(MF)}[l - l_{\tau_0}] \right) e^{j2\pi \left(\frac{v_P}{\lambda} \cos a - \frac{m}{BT} \right) bT} da
\end{aligned} \tag{3.34}$$

Denklem 3.34 ile menzil/Doppler haritası elde edildikten sonra kargaşa çıkış gücü Denklem 3.35 ile hesaplanır [77].

$$\begin{aligned}
P_K^{(çıkış)} &= E\{|z_K[l, m]|\}^2 \\
&= 4B \text{Var}\{g_0[l]\} \sum_{r=1}^R \int_{\phi_r} \sigma_{K_r}^2(a) \sin\left(\pi \frac{m}{BT} KT - \frac{d}{\lambda} \cos a\right)^2 da \\
&= 4B \text{Var}\{g_0[l]\} \sum_{r=1}^R \int_{\phi_r} \sigma_{K_r}^2(a) \sin\left(\pi \left(\frac{m}{BT} - \frac{v_P}{\lambda} \cos a\right) KT\right)^2 da
\end{aligned} \tag{3.35}$$

Denklem 3.35'te görüldüğü üzere herhangi bir menzil/Doppler hücresinde, tüm kargaşa hücrelerinin katkılarının toplamı şeklinde bir etki mevcuttur. Her bir katkı zayıflamaya uğrar. Bu zayıflama, içerisinde yayılma kaybı, yansıtıcılık ile Tx ve Rx anten kazançları barındıran $\sigma_{K_r}^2(a)$ terimi ile ifade edilmiştir. $\sigma_{K_r}^2(a)$ terimi \sin^2 şekli ile modüle edilmiştir. Menzil aralığı r ve geliş açısı a 'ya bağlıdır.

DPCA yöntemi kargaşa yok etme için kullanılan efektif bir yaklaşımdır. Fakat uyumlu filtre kalıntılarında dolayı DPCA yöntemi ile kargaşa yok etme işlemi tam performanslı olarak gerçekleştirilemez. DPCA yönteminin kargaşa yok etme performansı, yok etme oranı hesaplanarak analiz edilmiştir. Yok etme oranı YO Denklem 3.36 ile hesaplanır.

$$YO[l, r] = \frac{P_K^{(\ddot{O}A)}[l, m]}{P_K^{(çikis)}[l, m]} \quad (3.36)$$

Burada $P_K^{(\ddot{O}A)}[l, m]$ DPCA işleminden önceki kargaşa gücüdür ve Denklem 3.37'deki gibi elde edilir.

$$P_K^{(\ddot{O}A)}[l, m] = E \left\{ \left| z_K^{(\ddot{O}A)}[l, m] \right|^2 \right\} \quad (3.37)$$

Burada $z_K^{(\ddot{O}A)}[l, m]$ Deklem 3.38 ile elde edilir.

$$z_K^{(\ddot{O}A)}[l, m] = \sum_{r=1}^R \int_{\phi_r} A_r(a) \sum_{b=0}^{B-1} g_b^{(MF)}[l - l_{\tau_0}] e^{j2\pi \left(\frac{v_P}{\lambda} \cos a - \frac{m}{BT} \right) bT} da \quad (3.38)$$

Bu bölümdeki sonuçlar Bölüm 4.2'de gösterilmiş ve tartışılmıştır.

3.3.4. Karşıt Filtre

Darbe sıkıştırma aşamasında uyumlu filtre kullanıldığında her bir sinyal parçası zamanla değişen bir forma sahip olur. Şekil 3.9'da da görüldüğü üzere her bir parçanın dalga formu birbirinden farklıdır. Bu durum, DPCA işleminden sonra menzil/Doppler haritasında kargaşa kalıntılarına sebep olur ve hedefin tespitini engeller. Aktif radarlarda iletilen sinyal, radar sisteminden gönderildiği için her bir dalga formu birbirinin aynısı olacak şekilde gönderilir. Böylece menzil/Doppler haritalarında oluşan kargaşa kalıntıları engellenmiş olur ve mükemmel bir hedef tespit işlemi gerçekleşir. Pasif radar sistemlerinde ise iletilen sinyale, verici sistem radar sistemine dahil olmadığı için müdahale edilemez. Bu durumda alınan sinyalini dalga formu karşıt filtre kullanılarak birbirine eşitlenir ve her bir sinyal parçası zamandan bağımsız bir forma dönüşür. Bu sayede aktif radar sistemlerinde oluşu gibi pasif radar sistemlerinde de mükemmel bir hedef tespit işlemi gerçekleştirilir. Karşıt filtre alınan sinyalin iletilen sinyalin yeniden oluşturulmuş kopyası tarafından bölünmesi yaklaşımına dayanır [79].

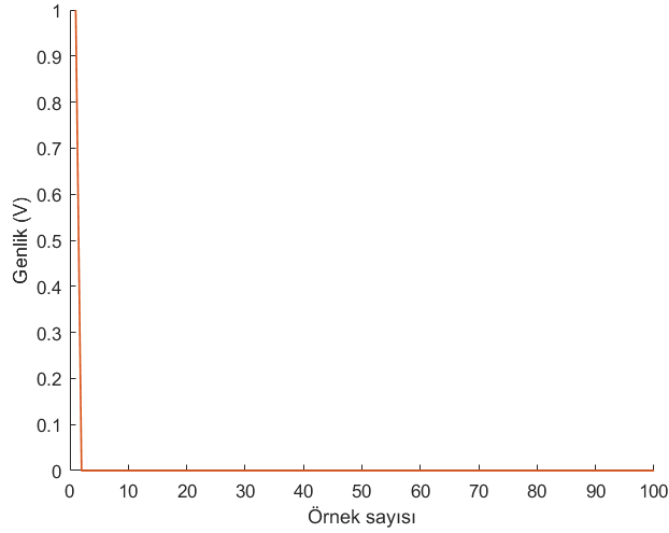
Karşıt filtre Denklem 3.39'daki gibi ifade edilir.

$$h_b^{(RF)}[l] = k'IDFT\{S_b[m]^{-1}\} \quad (3.39)$$

Karşıt filtrenin dürtü yanıtı Denklem 3.40 ile elde edilir.

$$g_b^{(RF)} = s_b[l - bL] * h_b^{(RF)}[l] = k'IDFT\{rect[k]\} = k'L\delta[l] \quad (3.40)$$

Denklem 3.40 sonucunda elde edilen karşıt filtresinin çıkışı Şekil 3.10'da gösterilmiştir. Karşıt filtre sonunca dalga formunun içeriği giderilmiştir. Böylece dürtü yanıtları bir CPI'daki her parça için zamandan bağımsız hale gelmiştir.



Şekil 3.10. Bir CPI'daki rastgele on parçanın karşıt filtre dürtü yanıtları.

3.3.4.1. Tek Bir Noktasal Saçıcının Olma Durumu

Tek bir noktasal saçıcının olduğu durumda karşıt filtrenin Doppler uzayındaki çıkışını etmek için Denklem 3.32'deki $g_b^{(MF)}$ ifadesi karşıt filtrenin dürtü yanıtı olan $g_b^{(RF)}$ ile değiştirilir. Daha sonra Denklem 3.33'teki gibi DFT işlemi gerçekleştirilerek çıkış Denklem 3.41'deki gibi elde edilir.

$$\bar{z}_0[l, m] = A_0 e^{-j2\pi \frac{v_B}{\lambda} \cos \alpha_0 K T} g_0^{(RF)} [l - l_{\tau_0}] \cdot 2j \sin \left(\pi \frac{v_B}{\lambda} K T \right) \text{dsinc} \left[\pi \left(f_{D_0} - \frac{m}{B T} \right) T, B \right] \quad (3.41)$$

Hareketsiz nesnelere için v_B 'nin değeri 0 olacağından kargaşa yok etme işlemi mükemmel bir şekilde gerçekleştirilecektir. Ayrıca tek bir noktasal saçıcının diğer gecikme/Doppler hücreleri üzerinde de bir katkısı olmayacaktır.

Hareket halindeki bir hedefin çıkış gücü, l 'nin değeri $\lambda \tau_0$ ve f_{D_0} 'ın $\frac{m}{B T}$ olduğu durumda Denklem 3.40 kullanılarak Denklem 3.42'deki gibi hesaplanır [77].

$$P_H^{(RF)} = |E\{z_H[l_{\tau_0}, B T f_{D_0}]\}|^2 4 |A_0|^2 N^2 k'^2 L^2 \left| \sin \left(\pi \frac{v_B}{\lambda} K T \right) \right|^2 \quad (3.42)$$

3.3.4.2. Çoklu Hareketsiz Noktasal Saıcıların Olma Durumu

Kargaşa sinyalinin farklı menzil aralıklarından gelen sinyallerin toplamından oluştuğu Denklem 3.13 ile gösterilmiştir. Bu durum dikkate alındığında çoklu hareketsiz noktasal saçıcılar için çıkış gücü 0'a eşit olur (Denklem 3.43). Darbe sıkıştırma aşamasında karşıt filtre kullanarak her bir sinyal parçasının eşitlenmesi sayesinde mükemmel bir kargaşa yok etme işlemi gerçekleşir. Denklem 3.36'daki yok etme oranı Y_0 , karşıt filtrenin kullanıldığı durumda çıkış gücünün 0 olmasından dolayı ∞ 'a yaklaşacaktır.

$$P_K^{(çıkış)} [l, m] = 0 \quad (3.43)$$

Bu bölümdeki sonuçlar Bölüm 4.3'te gösterilmiş ve tartışılmıştır.

BÖLÜM 4

BULGULAR VE TARTIŞMA

FM radyo vericisine dayalı bir pasif radar sisteminin simülasyonu MATLAB programı kullanılarak yapılmıştır. Simülasyon yapılırken kullanılan parametreler Bölüm 4.1’de verilmiştir. Darbe sıkıştırma işlemi için iki ayrı filtre kullanılmıştır. Bu filtrelerden biri uyumlu filtre diğeri ise karşıt filtredir.

Bölüm 4.2’de darbe sıkıştırma aşmasında uyumlu filtre kullanılan simülasyon sonuçları gösterilmiştir. Gözetim antenlerinden bir tanesi için DPCA işleminden önceki kargaşanın menzil/Doppler haritası gösterilmiştir. DPCA kargaşa yok etme işleminden sonraki menzil/Doppler haritası elde edilerek, bu işlemden önceki harita ile karşılaştırılmıştır. Ayrıca kargaşanın yok etme oranı gösterilerek ne kadarlık bir kargaşa giderildiği de gösterilmiştir. Uyumlu filtre için yapılan bu işlemlerin aynısı karşıt filtre için gerçekleştirilmiş ve sonuçlar Bölüm 4.3’te gösterilmiştir.

Bölüm 4.4’te, darbe sıkıştırma aşamasında uyumlu filtre ve karşıt filtre kullanılarak elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Her iki filtre için iyileştirme faktörleri elde edilmiş ve DPCA’nın kargaşa yok etme performansına etkileri incelenmiştir.

Bölüm 4.5’te farklı hız ve menzildeki hedefler için elde edilen sonuçlar analiz edilmiştir. Hem iç-kargaşa alanda hem de dış-kargaşa alanda bulunan hedeflerin sonuçları gösterilmiştir.

Bölüm 4.6’da farklı parametrelerin pasif radar üzerindeki etkileri incelenmiştir. Platform hızı v_p ’nin iç-kargaşa alan üzerindeki etkisi ve KT ’ye eşit olan T_{DPCA} süresinin kör hızlar üzerine etkisi incelenmiştir.

4.1. SİMÜLASYON PARAMETRELERİ

Alınan sinyalin taşıyıcı frekansı (f_T) 100 MHz'dir ve dalga boyunun (λ) 3 m olmasını sağlar. Açısal dilim (ϕ_r) 0 ile π aralığındadır. Menzil aralıklarının sayısı 100'dür. Kargaşa hücrelerinin sayısı 30'dur ve bu durum, her bir kargaşa hücrelerinin genişliğinin 6° olması anlamına gelir. Alınan sinyal 200 kHz örnekleme frekansı (f_s) ile örneklenmiştir. Bir CPI toplam 93 parçaya bölünmüştür ve her bir parçanın süresi 0,5 ms'dir. Pasif radar sisteminin yerleştirildiği platform 500 m/s hızla hareket etmektedir. Gözetim antenlerinin arasındaki mesafe $\lambda/2$ değerinden küçük olmalıdır. Bu durum göz önüne alınarak ve DPCA koşulunu da sağlayacak şekilde aradaki mesafe 0,5 m olarak seçilmiştir. Kargaşa-gürültü oranı (CNR: Signal-Noise Power Ratio) 40 dB olarak ayarlanmıştır. Tüm simülasyon parametreleri Çizelge 4.1'de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Simülasyonda kullanılan parametrelerin değerleri.

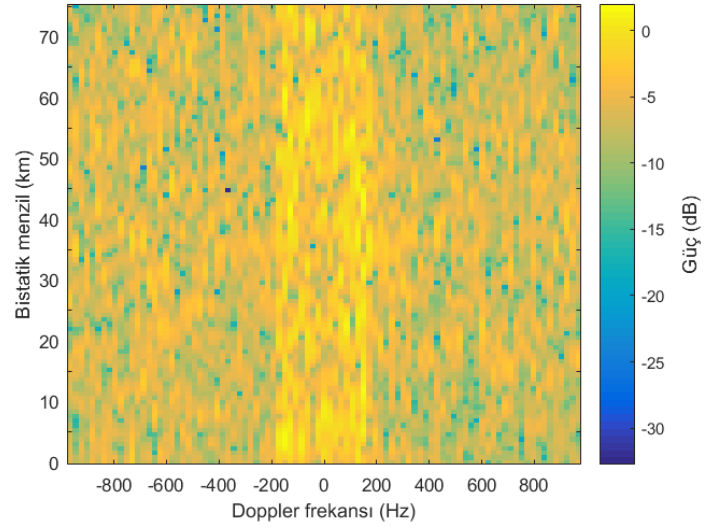
Sembol	Tanım	Değer
f_T	Taşıyıcı frekans	100 MHz
λ	Dalga boyu	3 m
R	Menzil aralıklarının sayısı	100
ϕ_r	Açısal dilim	$[0, \pi]$
f_s	Örnekleme frekansı	200 kHz
d	Gözetim antenleri arasındaki mesafe	0,5 m
CNR	Kargaşa-gürültü oranı	40 dB
B	CPI'daki parça sayısı	93
L	Bir parçadaki örnek sayısı	100
T	Bir parçanın süresi=PRI	0,5 ms
PRF	Darbe tekrarlama frekansı	2 kHz
K	Bir parçanın süresinin tamsayı katı	2
v_P	Platformun hızı	500 m/s

4.2. UYUMLU FİLTRE SONUÇLARI

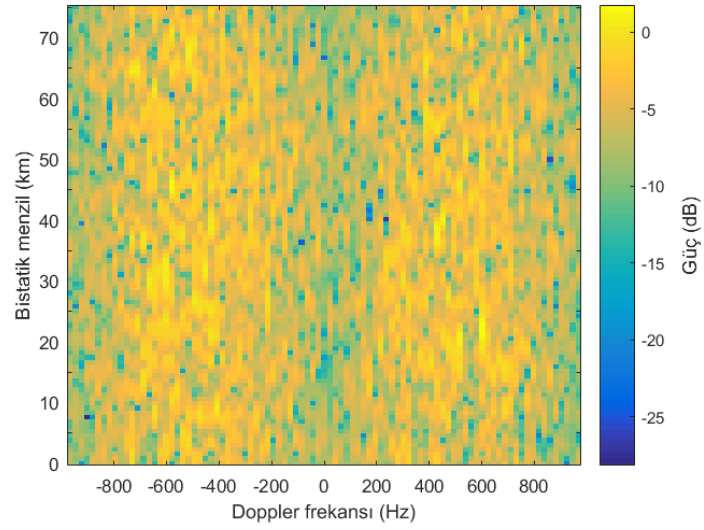
Bu bölümde FM temelli pasif radarın darbe sıkıştırma aşamasında uyumlu filtre kullanılmasının, radarın kargaşa yok etme performansına olan etkisi incelenmiştir.

Şekil 4.1a gözetim antenlerinden ÖA'dan alınan kargaşanın DPCA işleminden önceki menzil/Doppler haritasıdır. İç-kargaşa alanda (-166 Hz ile 166 Hz Doppler aralığı) görülen güç 2 dB civarındadır. Dış-kargaşa alanda (iç-kargaşanın dışında kalan alan) ise yaklaşık -5 dB ile -15 dB arasında değişmektedir. -166 Hz ile 166 Hz Doppler aralığında güçlü kargaşa sinyallerinin oluştuğu görülmektedir. Bu aralığın boyutu pasif radarın yerleştirildiği platformun hızı v_p 'ye, iletilen sinyalin dalga boyu λ 'ya ve yansımaların açısına bağlıdır. Fakat azimutta çok yönlü anten kullanıldığı varsayıldığı için yansıma açısının etkisi ortadan kalkar. Denklem 3.15'te tanımlanan yavaş hareket eden hedeflerin Doppler'i, bu oluşan aralıkta olacaktır. Dolayısıyla, bu aralıkta oluşan kargaşalardan dolayı yavaş hareket eden hedeflerin tespiti engellenecektir. Tüm menzil/Doppler haritasında yayılmış olarak ortaya çıkan yüksek güç seviyeleri ise yan hüzmelerden kaynaklanmaktadır.

Gözetim antenlerinden alınan sinyallerin DPCA işlemine tabi tutulmasından sonra elde edilen menzil/Doppler haritası Şekil 4.1b'de gösterilmiştir. Güçlü kargaşa sinyallerinin oluşturduğu Doppler aralığının (-166 Hz ile 166 Hz aralığı) gücü yaklaşık -15 dB ile -5 dB arasında bir seviye gerilediği görülmektedir. Fakat tüm menzil/Doppler haritasında yayılmış olarak bulunan yüksek güç seviyeleri giderilememiştir. Aksine dış-kargaşa alanda güç artışı meydana gelmiştir. Bu artış dış-kargaşa alandaki hızlı hareket eden hedeflerin tespitini olumsuz etkileyecektir.



(a)

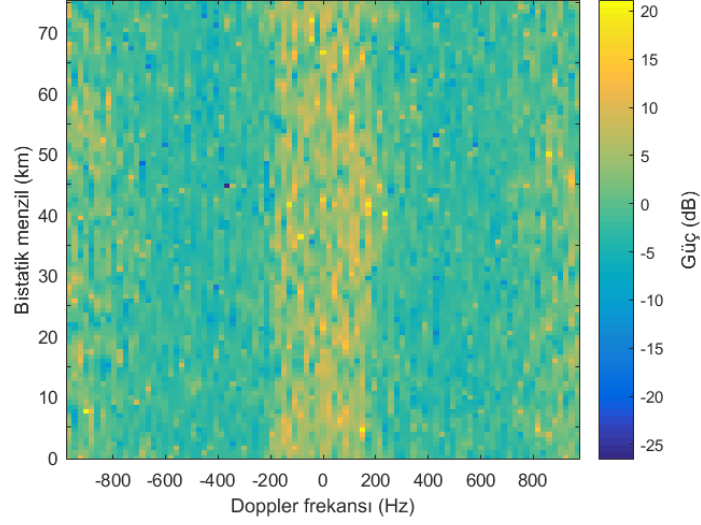


(b)

Şekil 4.1. Uyumlu filtre kullanıldığı durumdaki kargaşanın menzil/Doppler haritası, a) DPCA işleminden önce, b) DPCA işleminden sonra.

Darbe sıkıştırma aşamasında uyumlu filtrenin kullanıldığı durumda, Denklem 3.36 ile Şekil 4.1a ve Şekil 4.1b dikkate alınarak hesaplanan yok etme oranı Şekil 4.2’de gösterilmiştir. Yavaş hareket eden hedeflerin oluştuğu Doppler aralığının kargaşası tamamen yok edilmese de bir azalma meydana gelmiştir. Ortalama 10 dB seviyesinde bir yok etme gerçekleşmiştir fakat bu mükemmel hedef tespit için yeterli değildir. Dış-kargaşa alanında ise bir yok etme gerçekleşmediği gibi aksine 10 dB

seviyelerinde bir artış olmuştur. Dış-kargaşa alandaki hedef tespitini zorlaştıran bir durum oluşmuştur.



Şekil 4.2. Uyumlu filtrenin yok etme oranı.

Kargaşanın giderilememesinin sebebi uyumlu filtrenin, zamanla değişen dürtü yanıtları oluşturmasından kaynaklanmaktadır. DPCA yönteminin kargaşaları başarılı bir şekilde yok edebilmesi için darbe sıkıştırma aşamasında kullanılan filtrenin dürtü yanıtlarının eş olması diğer bir deyişle zamanla değişmeyen bir yapıda olması gerekmektedir. Bu nedenle uyumlu filtrenin pasif radarlar için uygun bir filtre olmadığı anlaşılmaktadır.

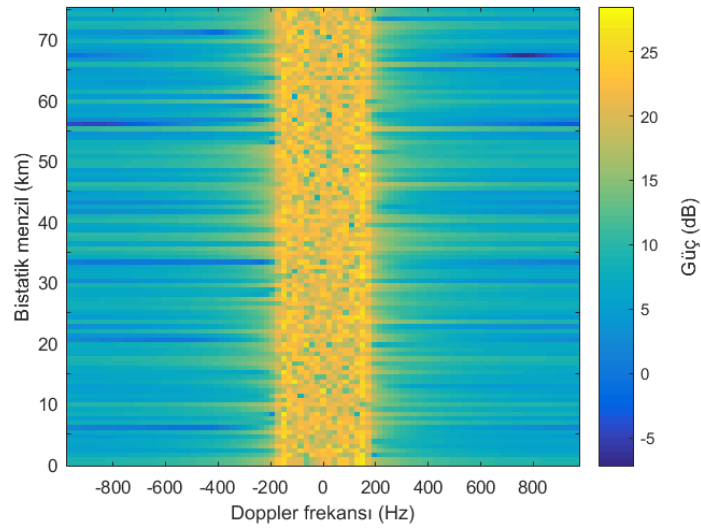
Pasif radarların darbe sıkıştırma aşamasında uyumlu filtre yerine, zamanla değişmeyen dürtü yanıtları üreten karşıt filtre kullanılması daha uygundur.

4.3. KARŞIT FİLTRE SONUÇLARI

Bu bölümde FM temelli pasif radarın darbe sıkıştırma aşamasında karşıt filtre kullanılmasının, radarın kargaşa yok etme performansı üzerindeki etkisi analiz edilmiştir.

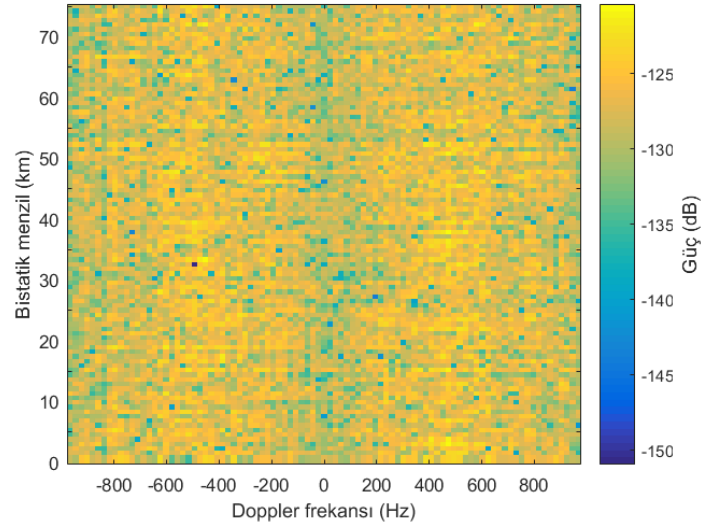
Şekil 4.3a, gözetim antenlerinden ÖA'dan alınan kargaşanın DPCA işleminden önceki menzil/Doppler haritasıdır. İç-kargaşa alanında (-166 Hz ile 166 Hz Doppler aralığı) yavaş hareket eden hedeflerin tespitini engelleyen kargaşalar mevcuttur ve bunların DPCA işlemi ile yok edilmesi gerekmektedir. İç-kargaşanın ortalama gücü yaklaşık 25 dB civarındadır. Dış-kargaşa alanda ise güç 0 ile 10 dB arasında değişmektedir.

Gözetim antenlerinden alınan sinyallerin DPCA işlemine tabi tutulmasından sonra elde edilen menzil/Doppler haritası Şekil 4.3b'de gösterilmiştir. Güçlü kargaşa sinyallerinin oluşturduğu Doppler aralığındaki (-166 Hz ile 166 Hz Doppler aralığı) kargaşaların tamamen giderildiği görülmektedir. Ayrıca tüm menzil/Doppler haritasında yayılmış olarak bulunan yüksek güç seviyeleri tamamen ortadan kalkmıştır. Fakat DPCA işlemi sonucunda sadece alıcı sistemdeki gürültüden kaynaklı kalıntılar kalmıştır. Bu kalıntılar hedef tespitini engelleyemeyecek kadar azdır. Kargaşa gücü, tüm menzil/Doppler haritasında -125 dB seviyelerine kadar gerilemiştir.



(a)

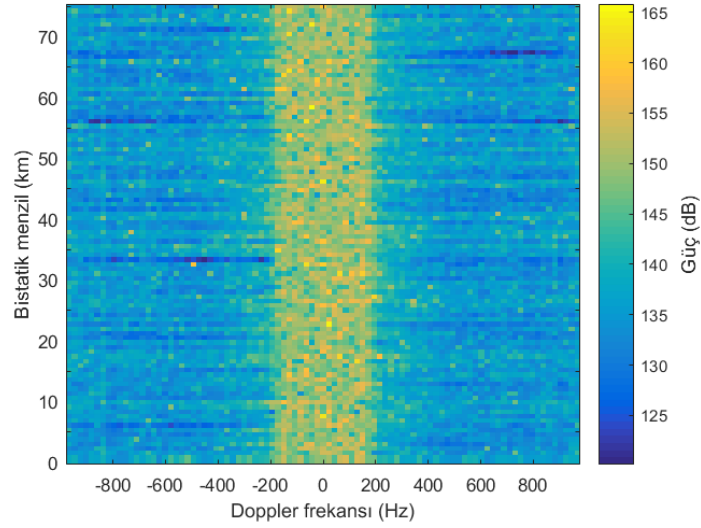
Şekil 4.3. Karşıt filtre kullanıldığı durumdaki kargaşanın menzil/Doppler haritası, a) DPCA işleminden önce, b) DPCA işleminden sonra.



(b)

Şekil 4.3. (devam ediyor).

Darbe sıkıştırma aşamasında karşıt filtrenin kullanıldığı durumda, Denklem 3.36 ile Şekil 4.3a ve Şekil 4.3b dikkate alınarak hesaplanan yok etme oranı Şekil 4.4'te gösterilmiştir. Yavaş hareket eden hedeflerin olduğu Doppler aralığının kargaşası yok edilmiştir. DPCA işlemi, hem iç-kargaşa hem de dış-kargaşa alanda kargaşaları yok etmeyi başarmıştır. İç-kargaşa alanda yaklaşık 160 dB, dış-kargaşa alanda ise yaklaşık 145 dB'lik bir yok etme gerçekleşmiştir.



Şekil 4.4. Karşıt filtrenin yok etme oranı.

Pasif radarın, hızlı ve yavaş hareket eden hedefleri tespit etme kabiliyeti önemli ölçüde artmıştır. Pasif radarlar için darbe sıkıştırma aşamasında karşıt filtre kullanılması DPCA'in mükemmel bir kargaşa yok etme işlemi gerçekleştirmesini sağlamıştır.

4.4. UYUMLU FİLTRE İLE KARŞIT FİLTRENİN KARŞILAŞTIRILMASI

Şekil 4.2'de görülen uyumlu filtrenin yok etme oranı ve Şekil 4.4'te görülen karşıt filtrenin yok etme oranı incelediğinde, iç-kargaşa alandaki kargaşanın uyumlu filtre kullanıldığı durumda önemli ölçüde azaldığı, karşıt filtre kullanıldığı durumda ise tamamen yok edildiği görülmektedir. Bu etkili yok etme DPCA kargaşa yok etme yönteminin kabiliyeti göstermektedir. İki filtrede, iç-kargaşa alanındaki hedeflerin tespit edilme potansiyelini aynı oranda olmasa da arttırmıştır.

Uyumlu filtrenin yok etme oranı, iç-kargaşa alanda 10 dB civarında, dış-kargaşa alanda ise -10 dB civarındadır. Bu durum, iç-kargaşa alanında kargaşanın azaldığını, dış-kargaşa alanında ise arttığını gösterir. İç-kargaşa alandaki kargaşa belli bir miktar yok edilse de yeterli değildir. Ayrıca kargaşa yok etme aşamasından sonra kalıntılar giderilememiştir. Pasif radarın yavaş hareket eden hedefleri tespit etme performansı

artsa da yetersizdir. Pasif radarın hızlı hareket eden hedefleri tespit etme performansı, kalıntılar giderilemediği ve dış-kargaşa alanda kargaşa arttığı için çok düşmüştür.

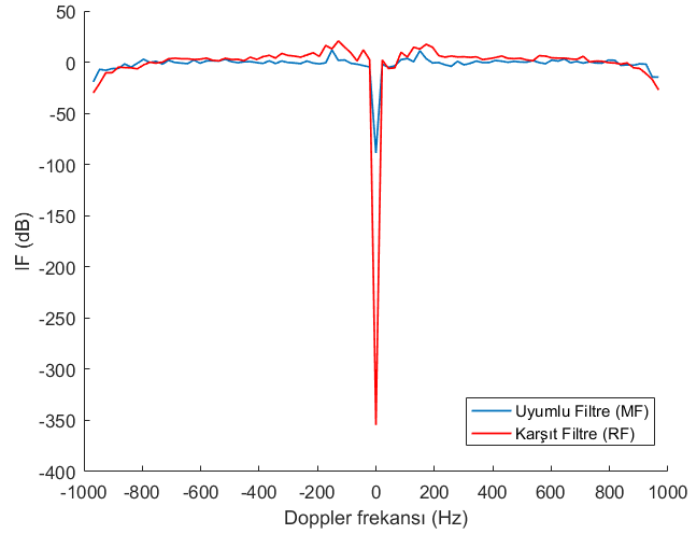
Karşıt filtrenin yok etme oranı iç-kargaşa alanda yaklaşık 160 dB, dış-kargaşa alanda ise yaklaşık 145 dB olarak elde edilmiştir. Bu durum, hem iç-kargaşa hem de dış-kargaşa alanında kargaşanın azaldığını hatta yok edildiğini gösterir. Kargaşa yok etme aşamasından sonra kalıntılarının ortalama değeri, tüm menzil/Doppler haritası boyunca önemli ölçüde azalmıştır. Bu sayede, pasif radarın hem hızlı hem de yavaş hareket eden hedefleri tespit etme performansı oldukça artmıştır.

DPCA yönteminin, hedef tespit ve kargaşa yok etme performansını ölçmek için iyileştirme faktörü (IF: Improvement Factor) hesaplanmıştır. Bu oran Denklem 4.1'deki gibi hesaplanır.

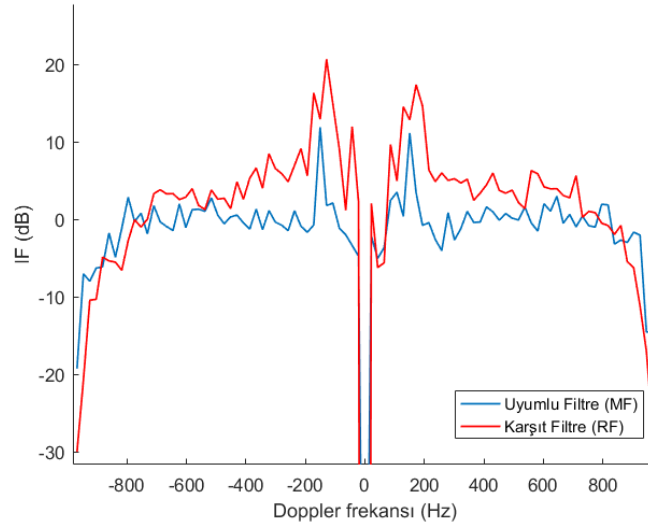
$$IF = CA \cdot TG$$
$$= \frac{P_K}{P_K^{DPCA}} \cdot \frac{P_H^{DPCA}}{P_H} \quad (4.1)$$

Burada CA kargaşa zayıflaması ve TG ise hedef kazancıdır. P_K ve P_H sırasıyla DPCA işleminden önceki kargaşanın ve hedefin güçleridir. P_K^{DPCA} ve P_H^{DPCA} ise sırasıyla DPCA işleminden sonraki kargaşanın ve hedefin güçleridir.

İyileşme oranı, uyumlu filtre ve karşıt filtrenin performans etkilerini karşılaştırmak için her iki filtre için de ayrı ayrı elde edilmiş ve sonuçlar Şekil 4.5a'da gösterilmiştir. Mavi renkli grafik darbe sıkıştırma aşamasında uyumlu filtrenin kullanıldığı durumdaki iyileştirme faktörünü göstermektedir. Kırmızı renkli grafik ise darbe sıkıştırma aşamasında karşıt filtrenin kullanıldığı durumdaki iyileştirme faktörünü göstermektedir. Şekil 4.5a'nın 30 dB ile -40 dB arasının yakınlaştırılmış hali olan Şekil 4.5b'de görüldüğü üzere karşıt filtre, uyumlu filtreden daha iyi bir sonuç vermiştir.



(a)



(b)

Şekil 4.5. Uyumlu filtre ve karşıt filtrenin iyileştirme faktörleri.

Uyumlu filtrenin zamanla değişen dürtü yanıtları üretmesinden kaynaklı olarak DPCA aşamasında kargaşa yok etme işlemi başarı bir şekilde gerçekleştirilememiştir. Hem iç-kargaşa hem de dış-kargaşa alandaki hedeflerin tespit performansı oldukça düşük kalmıştır.

Uyumlu filtrenin aksine karşıt filtre zamanla değişmeyen dürtü yanıtları ürettiği için DPCA kargaşa yok etme işlemi başarılı bir şekilde gerçekleştirilmiştir. Hem iç-

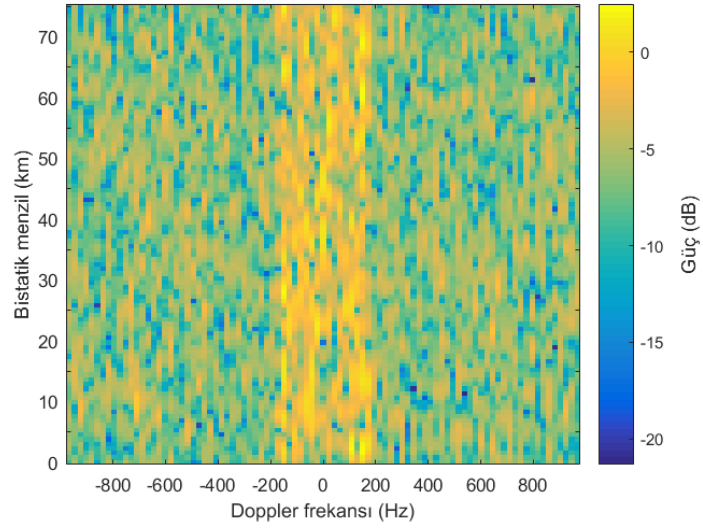
kargaşa hem de dış-kargaşa alandaki hedeflerin tespit performansı önemli ölçüde artmıştır. Hareketli hedef tespiti yapan pasif radarların darbe sıkıştırma aşaması için karşıt filtre tercihi yerinde bir karar olacaktır.

4.5. FARKLI HEDEFLERİN ANALİZLERİ

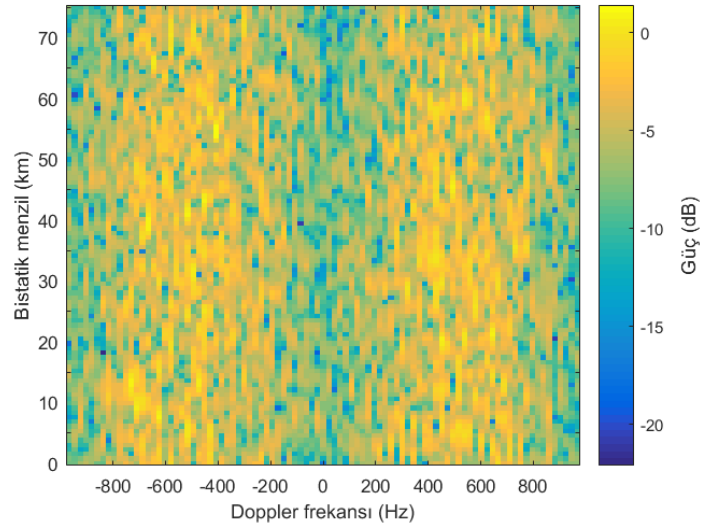
Bu bölümde farklı hız ve menzillerdeki dört farklı hedefe ait sonuçlar analiz edilmiştir. Bu hedefler; Hedef 1, Hedef 2, Hedef 3, Hedef 4, Hedef 5 ve Hedef 6 olarak adlandırılmışlardır. Her bir hedefe ait uyumlu filtre ve karşıt filtre sonuçları gösterilerek sonuçlar karşılaştırılmıştır. Bu sayede, darbe sıkıştırma aşamasında kullanılan filtrelerin pasif radarın hedef tespit etme performansına olan etkisi gösterilmiştir.

Hedef 1:

7,5 km bistatik menzile ve 2306 m/s bistatik hıza sahip olan Hedef 1, darbe sıkıştırma aşamasında uyumlu filtre kullanılan pasif radar ile tespit edilmek istenmiştir. Gözetim antenlerinden ÖA'nın DPCA işleminden önceki menzil/Doppler haritası Şekil 4.6a'da gösterilmiştir. Pasif radarın yerleştirildiği platformun hızı v_p dikkate alındığında hedefin dış-kargaşa alanda olması beklenmektedir. Fakat şekilde de görüldüğü üzere hedef ile ilgili bir iz yoktur. DPCA işlemi ile kargaşa giderildikten sonraki menzil/Doppler haritası Şekil 4.6b'de gösterilmiştir. Şekil incelendiğinde hedefin halen tespit edilemediği görülmektedir.



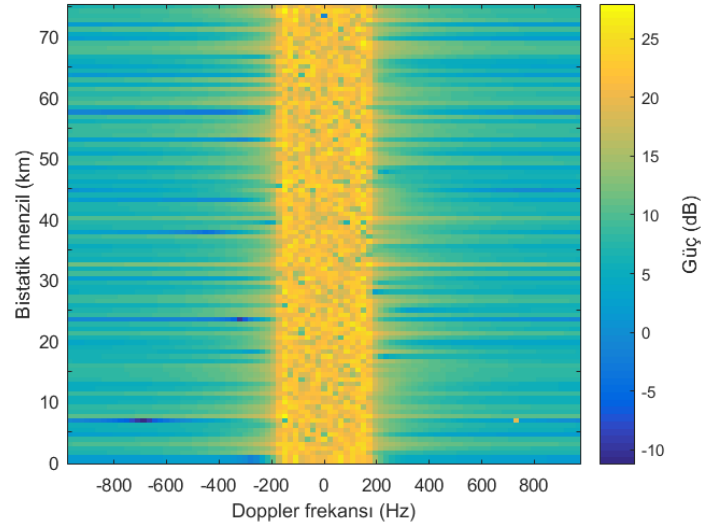
(a)



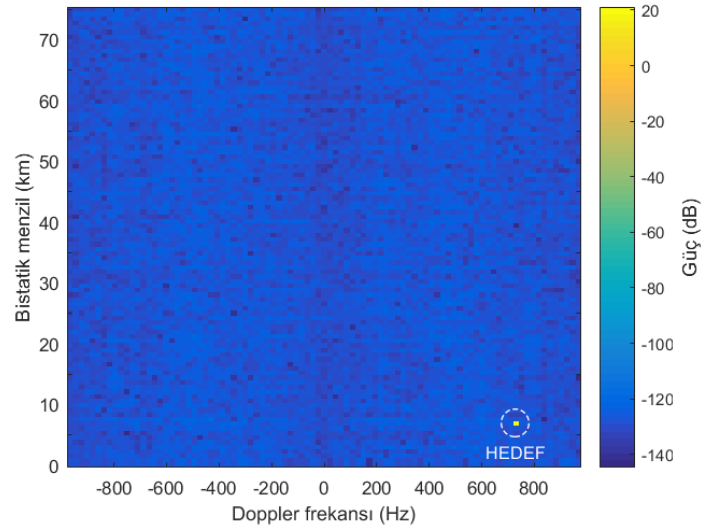
(b)

Şekil 4.6. Uyumlu filtre kullanıldığı durumda Hedef 1 için menzil/Doppler haritası, a) DPCA işleminden önce, b) DPCA işleminden sonra.

Şekil 4.7’de pasif radarın darbe sıkıştırma aşamasında karşıt filtre kullanıldığında elde edilen menzil/Doppler haritaları gösterilmiştir. Şekil 4.7a DPCA işleminden önceki (ÖA için) ve Şekil 4.7b ise DPCA işleminden sonraki menzil/Doppler haritasını göstermektedir. Şekil 4.7a’da görüldüğü üzere hedef, DPCA işlemi gerçekleşmeden de nispeten tespit edilebilir hale gelmiştir. DPCA işlemi ile kargaşa giderildikten sonra ise hedef Şekil 4.7b’de görüldüğü gibi başarılı bir şekilde tespit edilmiştir.



(a)



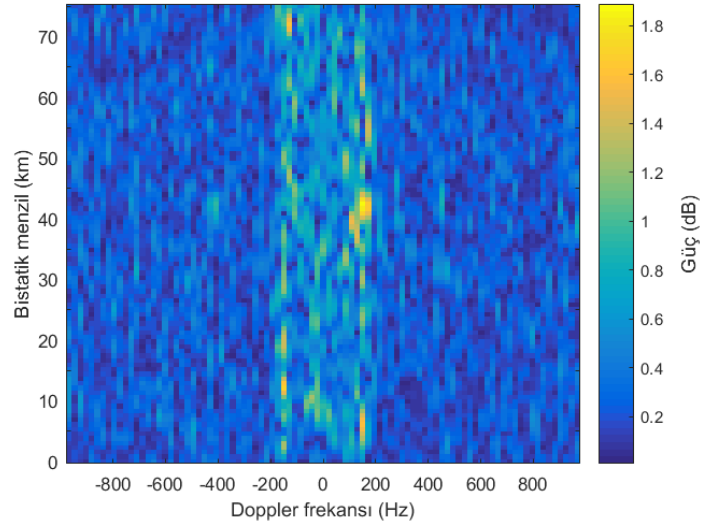
(b)

Şekil 4.7. Karşıt filtre kullanıldığı durumda Hedef 1 için menzil/Doppler haritası, a) DPCA işleminden önce, b) DPCA işleminden sonra.

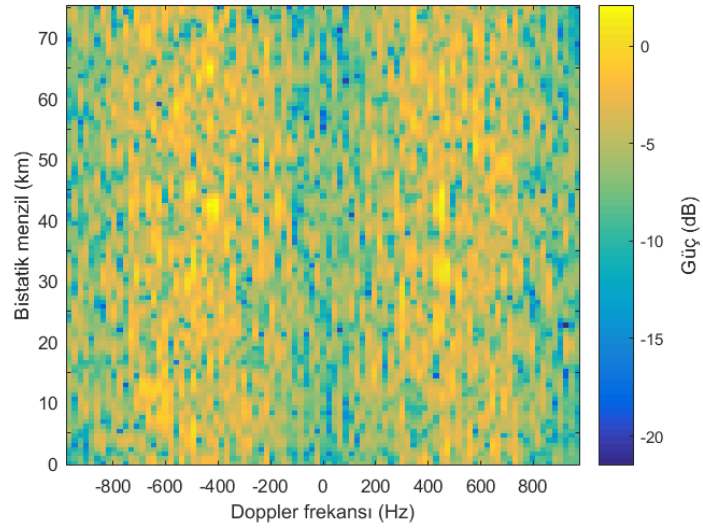
Hedef 2:

Hedef 2'nin uyumlu filtre kullanılarak elde edilen menzil/Doppler haritaları Şekil 4.8'de gösterilmiştir. Bu hedefin bistatik menzili 37,5 km ve bistatik hızı 1977 m/s'dir. Şekil 4.8a'da DPCA işleminden önce ÖA'nın menzil/Doppler haritası gösterilmiştir. Hedef, kargaşa tarafından bastırılmıştır ve bu sebeple hedefe ait

herhangi bir iz tespit edilememiştir. Şekil 4.8b’de görüldüğü gibi, DPCA işlemi ile kargaşa giderildikten sonra da hedef tespit edilememiştir.



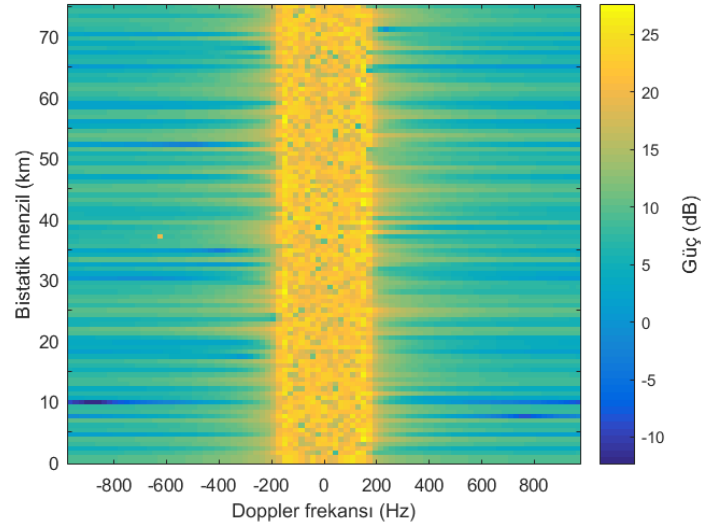
(a)



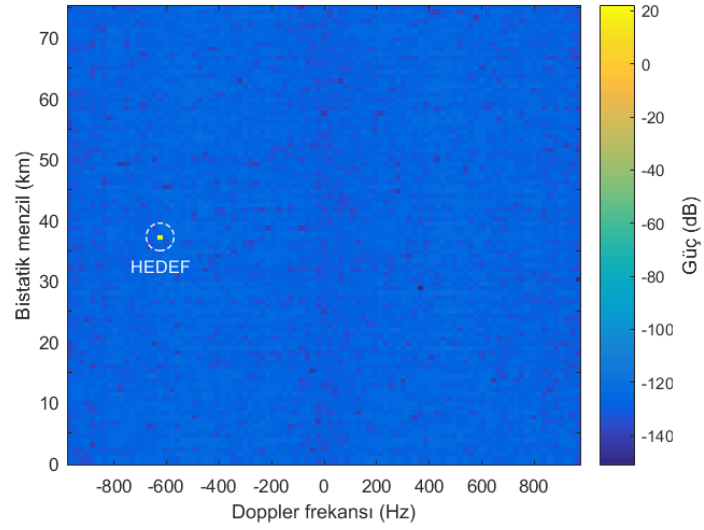
(b)

Şekil 4.8. Uyumlu filtre kullanıldığı durumda Hedef 2 için menzil/Doppler haritası, a) DPCA işleminden önce, b) DPCA işleminden sonra.

Uyumlu filtre yerine karşıt filtre kullanıldığında elde edilen menzil/Doppler haritaları Şekil 4.9’da gösterilmiştir. DPCA işleminden önce hedef nispeten tespit edilebilmektedir (Şekil 4.9a). Fakat DPCA işlemi ile kargaşa giderildikten sonra hedef mükemmel bir şekilde tespit edilmiştir (Şekil 4.9b).



(a)



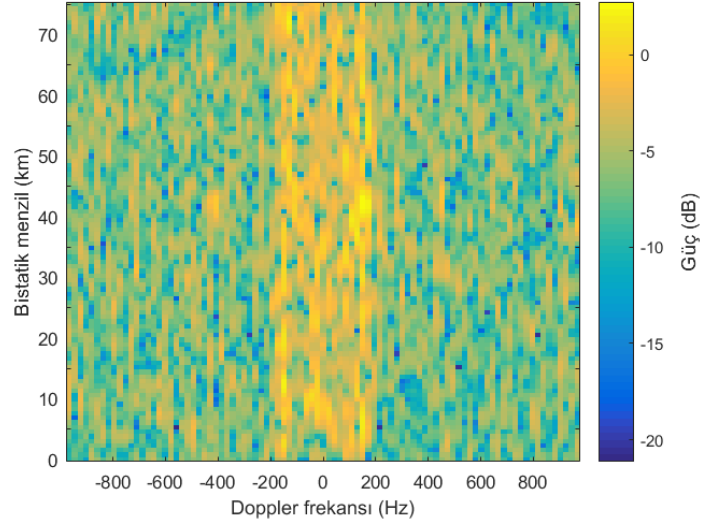
(b)

Şekil 4.9. Karşıt filtre kullanıldığı durumda Hedef 2 için menzil/Doppler haritası, a) DPCA işleminden önce, b) DPCA işleminden sonra.

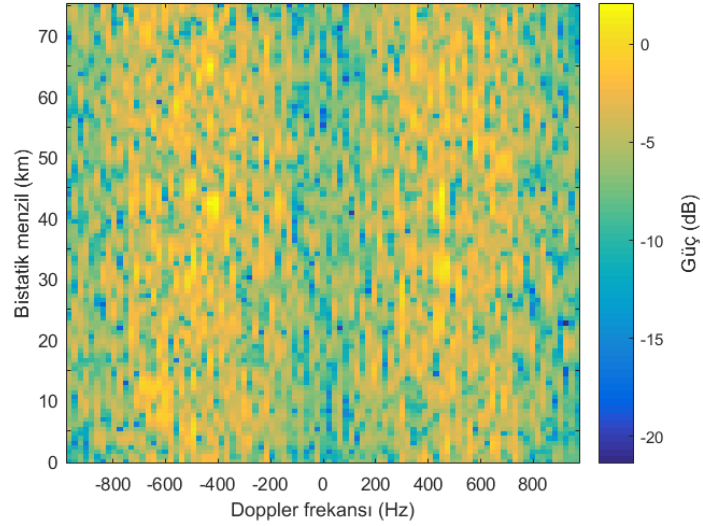
Hedef 3:

Hedef 3'ün bistatik menzili 72 km ve bistatik hızı 988 m/s'dir. Pasif radarın yerleştirildiği platformun hızı dikkate alındığında, Hedef 1 ve Hedef 2'de olduğu gibi Hedef 3'ün de dış-kargaşa alanda olması beklenmektedir. Darbe sıkıştırma aşamasında uyumlu filtre kullanıldığında elde edilen sonuçlar Şekil 4.10'da

gösterilmiştir. DPCA işlemi öncesinde (Şekil 4.10a) ve sonrasında (Şekil 4.10b) hedef tespit edilememiştir.



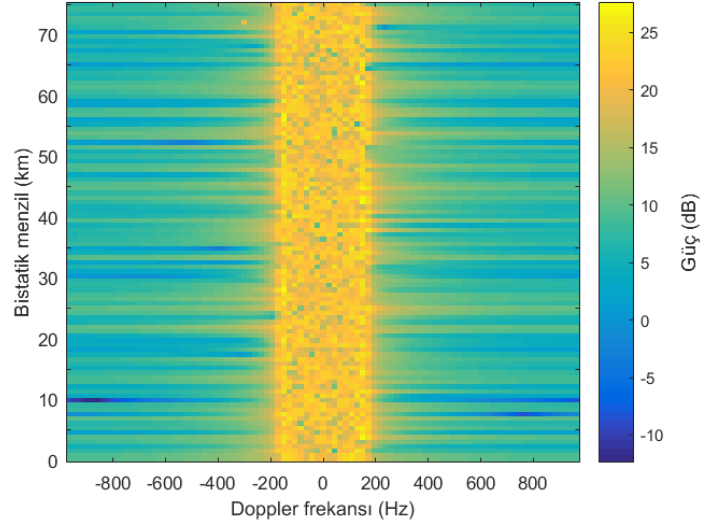
(a)



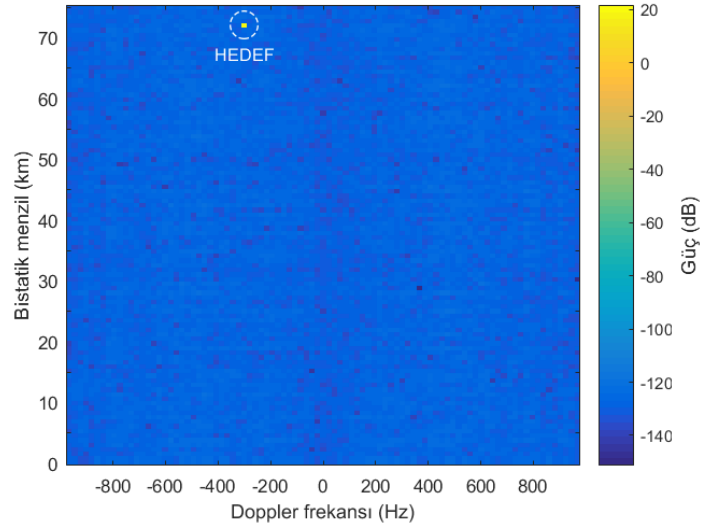
(b)

Şekil 4.10. Uyumlu filtre kullanıldığı durumda Hedef 3 için menzil/Doppler haritası, a) DPCA işleminden önce, b) DPCA işleminden sonra.

Darbe sıkıştırma aşamasında karşıt filtre kullanıldığında elde edilen sonuçlar Şekil 4.11’de gösterilmiştir. DPCA ile kargaşa yok etme işleminden önce hedef tespiti mümkün hale gelmiştir (Şekil 4.11a). DPCA işleminden sonra ise hedef başarılı bir şekilde tespit edilmiştir (Şekil 4.11b).



(a)



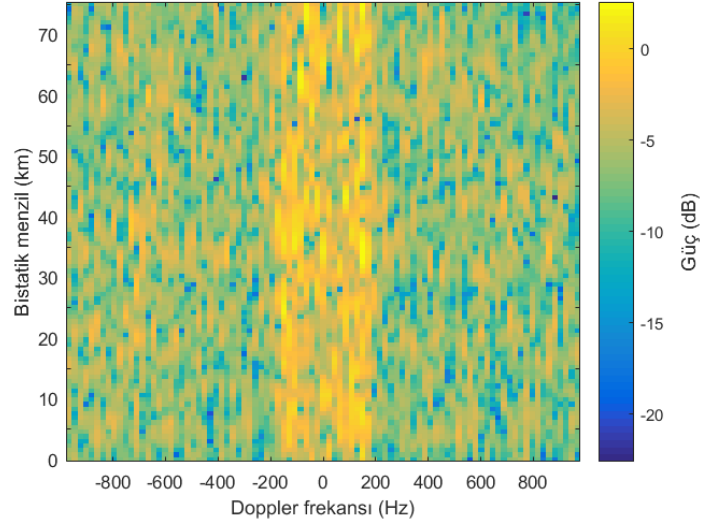
(b)

Şekil 4.11. Karşıt filtre kullanıldığı durumda Hedef 3 için menzil/Doppler haritası, a) DPCA işleminden önce, b) DPCA işleminden sonra.

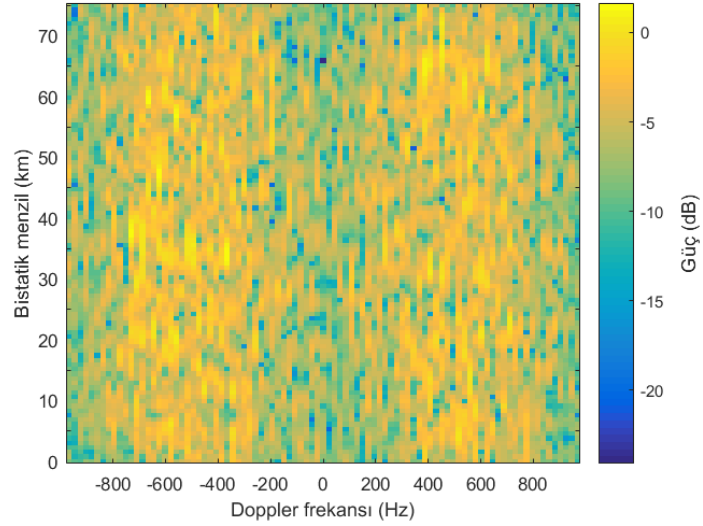
Hedef 4:

Hedef 4'ün bistatik menzili 18 km'dir. Bistatik hızı ise 197 m/s'dir. Bu hedefin hızı ile platformun hızı ile karşılaştırıldığında, hedefin iç-kargaşa alanda olması beklenir. Darbe sıkıştırma aşamasında uyumlu filtre kullanıldığında elde edilen menzil/Doppler haritaları Şekil 4.12'de gösterilmiştir. DPCA işleminden önce hedef kargaşa tarafından bastırıldığı için (Şekil 4.12a) ve DPCA işleminden sonraki

durumda da kargaşa giderilemediği için (Şekil 4.12b) hedef tespiti başarısız olmuştur.



(a)

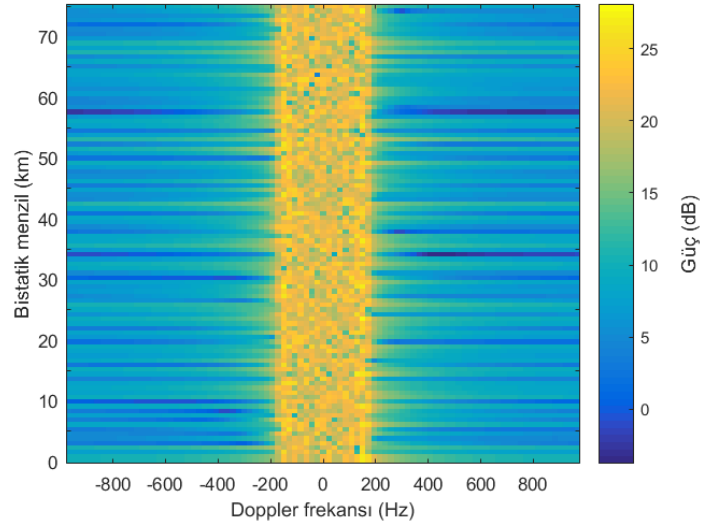


(b)

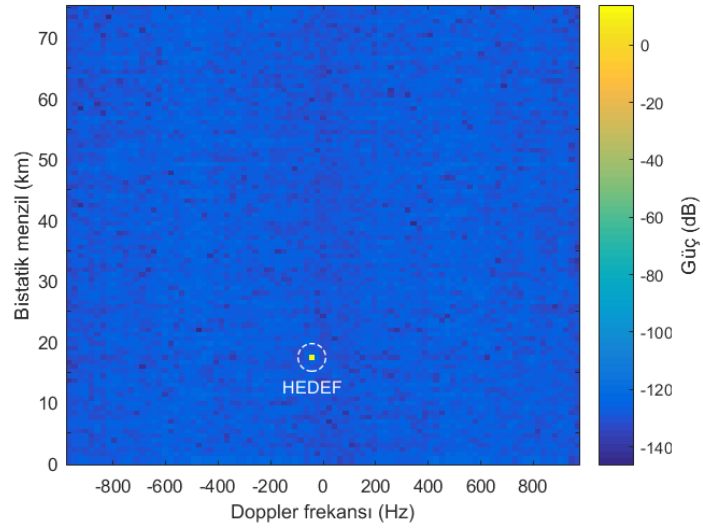
Şekil 4.12. Uyumlu filtre kullanıldığı durumda Hedef 4 için menzil/Doppler haritası, a) DPCA işleminden önce, b) DPCA işleminden sonra.

Darbe sıkıştırma aşamasında karşıt filtre kullanıldığı durumda elde edilen menzil/Doppler haritaları Şekil 4.13'de gösterilmiştir. DPCA işleminden önce kargaşa tarafından bastırılan hedef tespit edilemez (Şekil 4.13a). Çünkü DPCA

işlemi ile iç-kargaşa alandaki kargaşa henüz giderilmemiştir. DPCA işlemi ile kargaşa giderildikten sonra hedef başarı bir şekilde tespit edilmiştir (Şekil 4.13b).



(a)



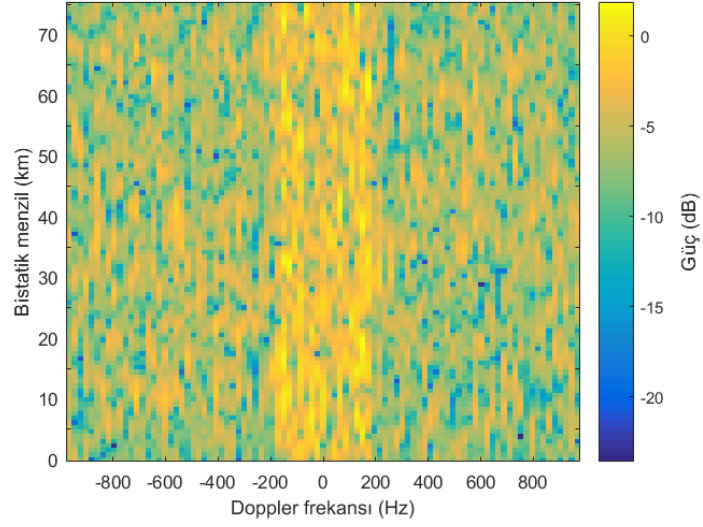
(b)

Şekil 4.13. Karşıt filtre kullanıldığı durumda Hedef 4 için menzil/Doppler haritası, a) DPCA işleminden önce, b) DPCA işleminden sonra.

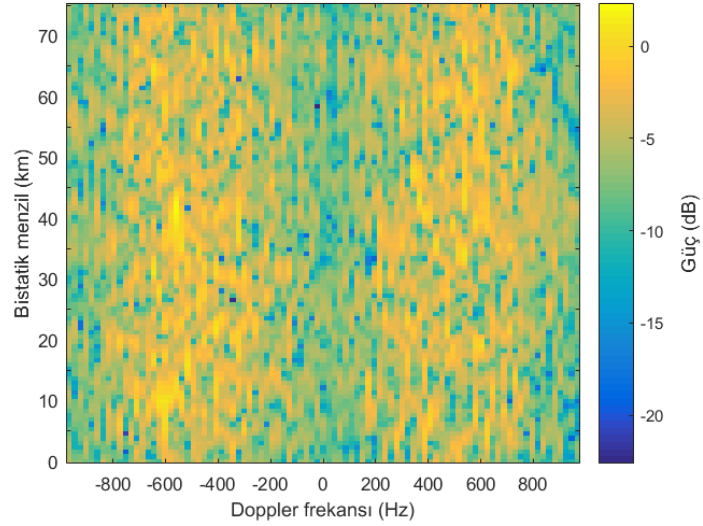
Hedef 5:

67,5 km bistatik menzile ve 131 m/s bistatik hıza sahip Hedef 4'ün tespit için uyumlu filtre kullanıldığı durumdaki menzil/Doppler haritaları Şekil 4.14'te gösterilmiştir.

Hedef, DPCA işleminden sonra kargaşanın giderilememesinden dolayı tespit edilememiştir (Şekil 4.14b).



(a)

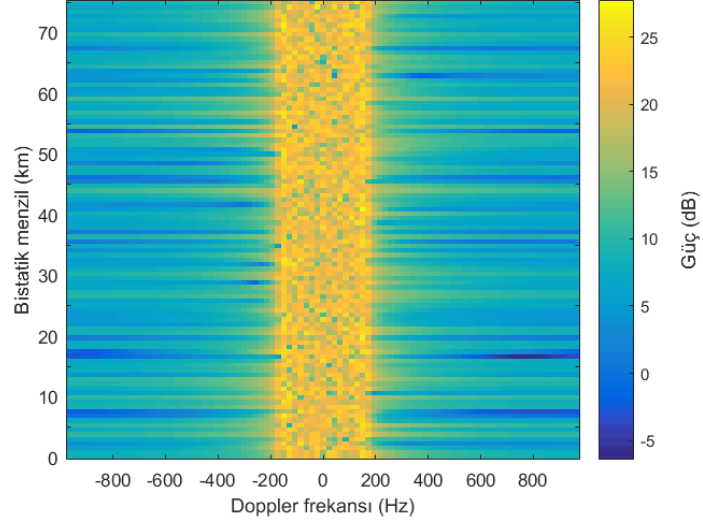


(b)

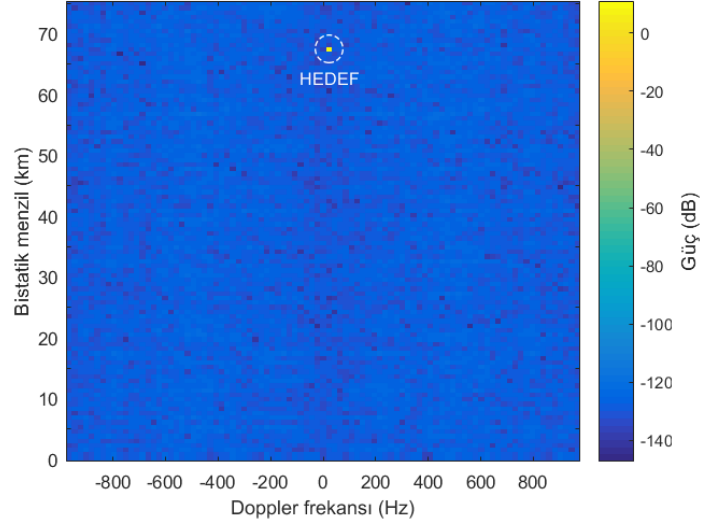
Şekil 4.14. Uyumlu filtre kullanıldığı durumda Hedef 5 için menzil/Doppler haritası, a) DPCA işleminden önce, b) DPCA işleminden sonra.

Karşıtlı filtre kullanıldığı durumdaki sonuçlar Şekil 4.15'te gösterilmiştir. Şekil 4.15a'da görüldüğü üzere darbe sıkıştırma aşamasından sonra hedef tespiti başarısız olmuştur. Bunun nedeni, Hedef 5'in iç-kargaşa alanda yer almasıdır. DPCA işlemi ile kargaşa yok edilmediği için hedefin tespiti, kargaşa tarafından engellenmiştir

(Şekil 4.15a). DPCA işlemi ile kargaşa yok edildikten sonra ise hedef başarılı bir şekilde tespit edilmiştir (Şekil 4.15b).



(a)



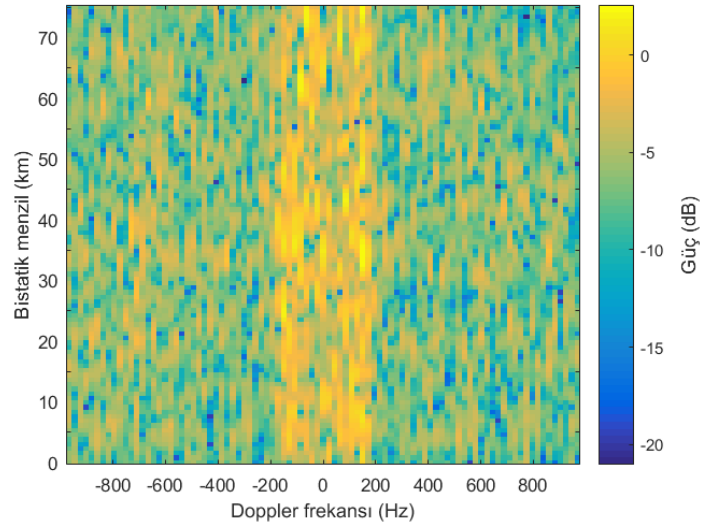
(b)

Şekil 4.15. Karşıt filtre kullanıldığı durumda Hedef 5 için menzil/Doppler haritası, a) DPCA işleminden önce, b) DPCA işleminden sonra.

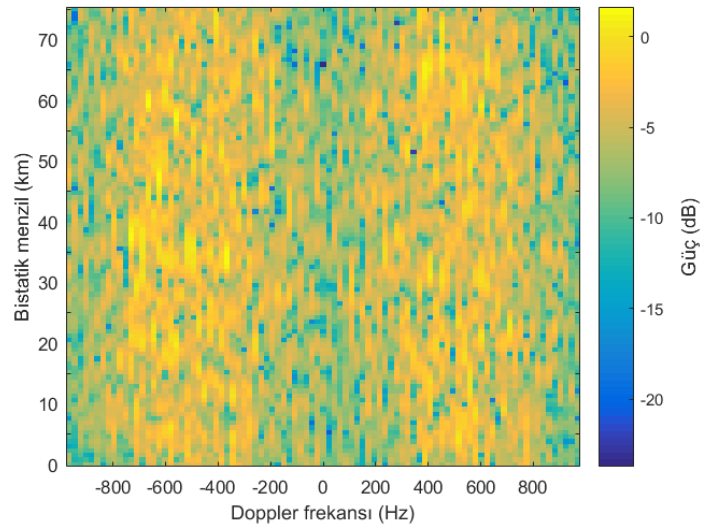
Hedef 6:

Hedef 6'nın bistatik menzili 33 km ve bistatik hızı 329 m/s'dir. Platform hızı ile hedefin hızı karşılaştırıldığında, bu hedefin iç-kargaşa alanda olması beklenir. Darbe

sıkıştırma aşamasında uyumlu filtre kullanılması durumunda elde edilen menzil/Doppler haritaları Şekil 4.16’da gösterilmiştir. DPCA işleminden önce hedefin tespit edilemediği görülmektedir (Şekil 4.16a). DPCA ile kargaşa yok etme işlemi gerçekleştikten sonra hedefin yine de tespit edilemediği görülmektedir (Şekil 4.16b). Bunun sebebi, darbe sıkıştırma aşamasında uyumlu filtre kullanılmasının DPCA’ın tam performanslı çalışmasını engellemesidir.



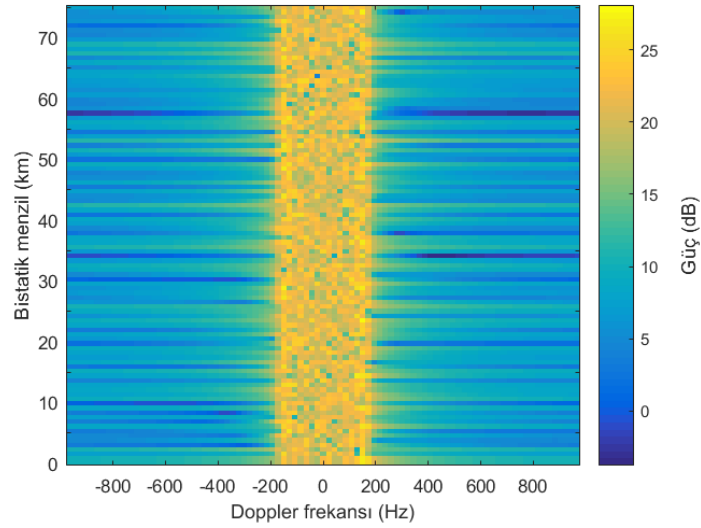
(a)



(b)

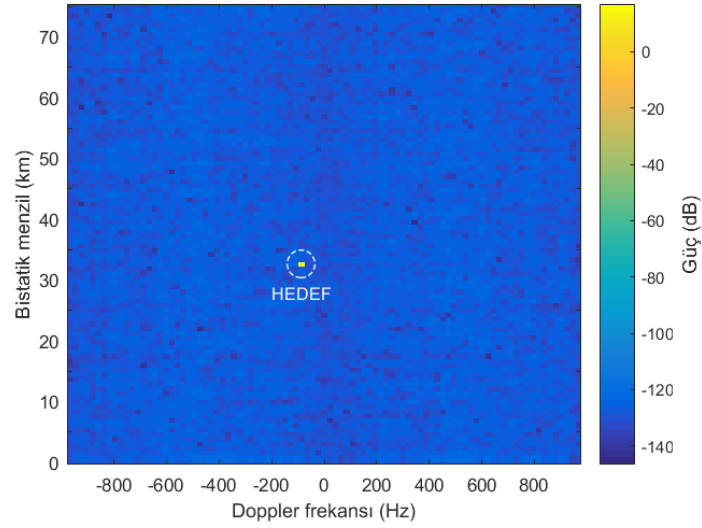
Şekil 4.16. Uyumlu filtre kullanıldığı durumda Hedef 6 için menzil/Doppler haritası, a) DPCA işleminden önce, b) DPCA işleminden sonra.

Karşıt filtre kullanıldığı durumda elde edilen sonuçlar Şekil 4.17’de gösterilmiştir. DPCA işleminden önce hedefin tespit edilemediği görülmektedir (Şekil 4.17a). Bu aşamada; Hedef 1, Hedef 2 ve Hedef 3’ün tespiti mümkün hale gelmişti. Fakat Hedef 6 tespit edilememiştir. Bunun sebebi; Hedef 1, Hedef 2 ve Hedef 3’ün dış-kargaşa alanda yer almasıdır. Hedef 6 ise iç-kargaşa alanda yer almaktadır. İç-kargaşa alandaki hedeflerin tespit edilebilmesi için darbe sıkıştırma aşamasından sonra mutlaka DPCA ile kargaşa yok etme işleminin gerçekleşmesi gerekir. Şekil 4.17b’de görüldüğü üzere DPCA işleminden sonra hedef başarılı bir şekilde tespit edilmiştir.



(a)

Şekil 4.17. Karşıt filtre kullanıldığı durumda Hedef 6 için menzil/Doppler haritası, a) DPCA işleminden önce, b) DPCA işleminden sonra.



(b)

Şekil 4.17. (devam ediyor).

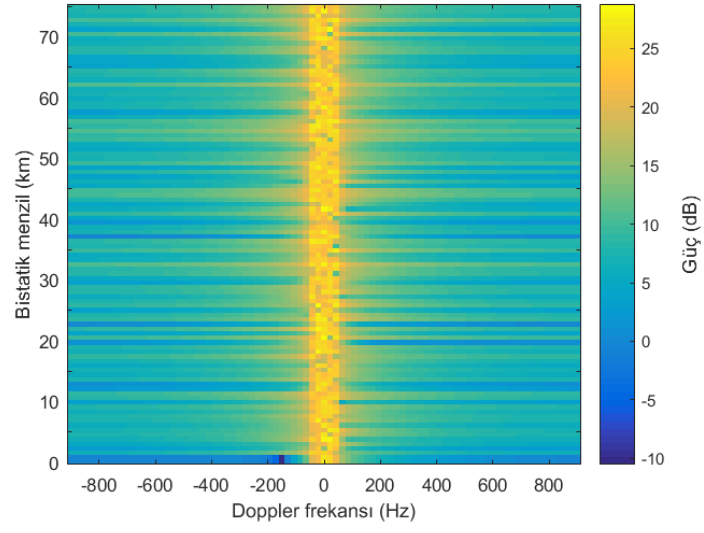
4.6. FARKLI PARAMETRELERİN ETKİLERİ

Bu bölümde platform hızının iç-kargaşa alan üzerindeki etkisi ve T_{DPCA} süresinin kör hızlar üzerindeki etkisi incelenmiştir.

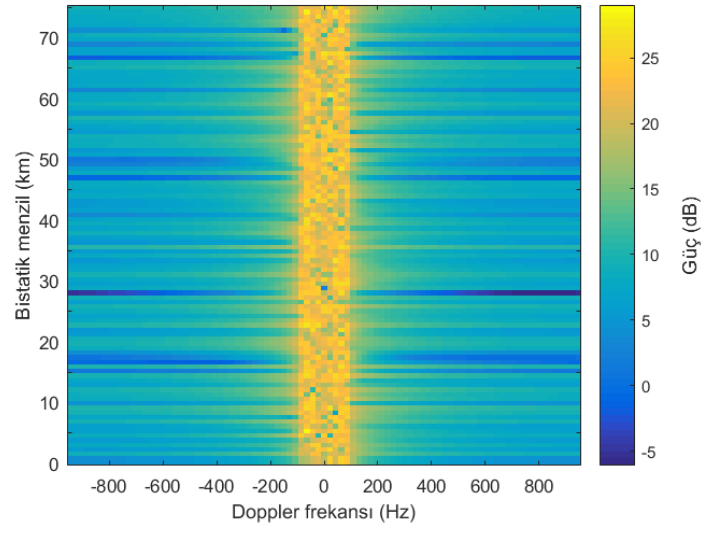
4.6.1. Platform Hızının İç-kargaşa Üzerindeki Etkisi

Pasif radar sistemlerinin hareketli bir platforma yerleştirildiği durumda platformun hareketinden kaynaklı hareketsiz haldeki nesnelere hareketli gibi algılanıp kargaşaya neden olmaktadır. Bu kargaşa menzil/Doppler haritası üzerinde iç-kargaşa alanının genişliğini etkilemektedir. Şekil 4.18’de görüldüğü üzere platform hızı v_p arttıkça bu iç-kargaşa alanı genişlemektedir.

Platform hızı v_p ’nin 125 m/s olduğu durumda iç-kargaşa alanı -41 Hz ile 41 Hz arasında olduğu Şekil 4.18a’da görülmektedir. Platform hızı 250 m/s olduğu durumda ise bu iç-kargaşa alanının sınırları -83 Hz ile 83 Hz’e eşit olmuştur (Şekil 4.18b). Son olarak platform hızının 500 m/s olduğu durumda ise iç-kargaşa alanı -166 Hz ile 166 Hz arası olmuştur (Şekil 4.18c).

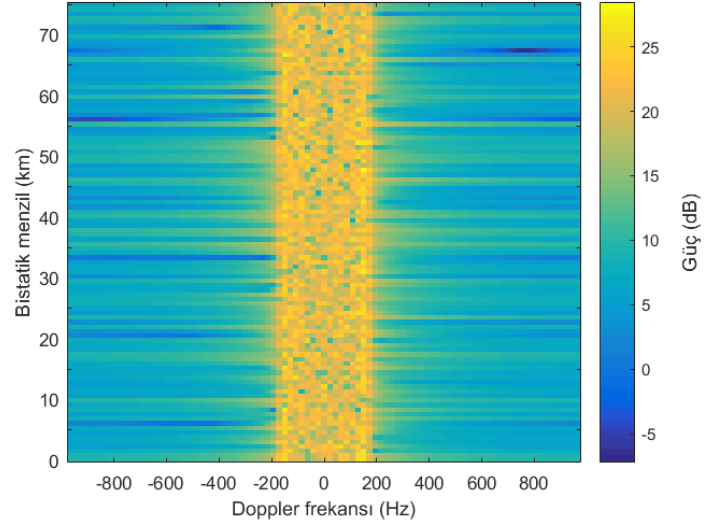


(a)



(b)

Şekil 4.18. Farklı platform hızları için menzil/Doppler haritaları, a) $v_p = 125$ m/s için, b) $v_p = 250$ m/s için, c) $v_p = 500$ m/s için.

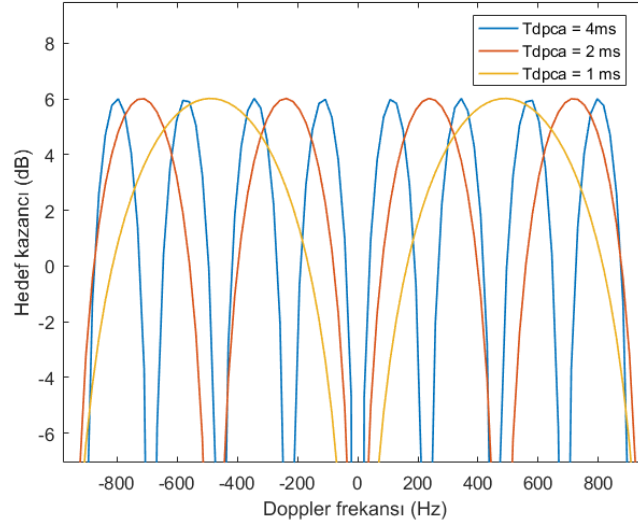


(c)

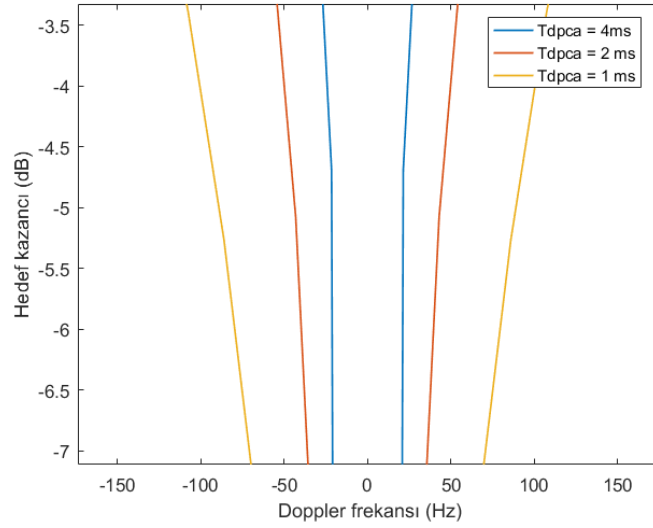
Şekil 4.18. (devam ediyor).

4.6.2. T_{DPCA} Süresinin Kör Hızlar Üzerindeki Etkisi

KT olarak hesaplanan T_{DPCA} süresinin hedef kazancı/Doppler frekansı grafiği Şekil 4.19a'da gösterilmiştir. T_{DPCA} süresi arttıkça kör hızların sayısı artmaktadır. Fakat diğer taraftan, Şekil 4.19a'nın -150 Hz ile 150 Hz arasının yakınlaştırılmış hali olan Şekil 4.19b'de daha net görüldüğü gibi T_{DPCA} süresinin artması daha düşük Doppler kaymasına sahip olan çok yavaş hareket eden hedeflerin tespitini mümkün kılar. T_{DPCA} süresi, kör hızlar üzerindeki bu etkisi göz önüne alınarak uygun bir şekilde seçilmelidir.



(a)



(b)

Şekil 4.19. Farklı T_{DPCA} süreleri için hedef kazancı/Doppler grafiği, a) kör hızlar kısmı, b) küçük Dopplere sahip hedefler için yakınlaştırılmış kısmı.

4.7. PERFORMASI ETKİLEYEN FAKTÖRLER

Bu bölümde pasif radarın performansı etkileyen faktörler analiz edilmiştir.

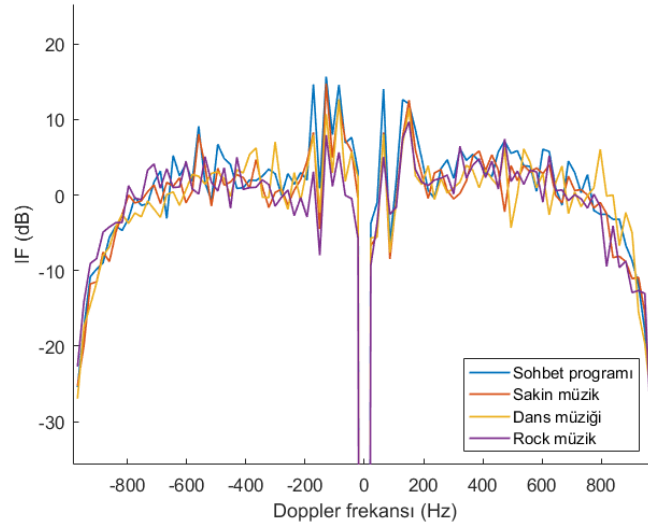
Bölüm 4.7.1’de, farklı FM dalga formlarının pasif radarın performansı üzerinde nasıl bir etki gösterdikleri incelenmiştir.

Bölüm 4.7.2’de alıcı kanalar arası hataların pasif radarın performansını nasıl etkiledikleri incelenmiştir. Bu kanallar arası hatalar, genlik ve faz farklılıklarıdır. FM dalga formlarının bu farklılıklara karşı olan hassasiyetleri ayrı ayrı analiz edilerek elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Bölüm 4.7.3’te rüzgar ve deniz dalgası gibi faktörlerden kaynaklanan ICM etkisi, farklı FM dalga formları için analiz edilmiştir. Ayrıca, bu dalga formlarının ICM etkisine karşı olan hassasiyetleri karşılaştırılmıştır.

4.7.1. Farklı Dalga Formlarının Etkisi

Pasif radarın performansı, FM radyo sinyallerinin dört farklı dalga formu için analiz edilmiştir. Bu dalga formları; sohbet programına, sakin müziğe, dans müziğine ve rock müziğe aittir.



Şekil 4.20. Farklı FM radyo dalga formları için iyileştirme faktörleri.

Şekil 4.20’de görüldüğü üzere pasif radarın performansı dalga formlarına göre değişmektedir. Bu sebeple; pasif radarın performansı, stabil dalga formuna sahip aktif radarın performansına kıyasla düşüktür.

4.7.2. Kanallar Arası Hataların Etkisi

Bu bölümde gözetim antenleri arasında olabilecek kanal arası hatalarının etkileri incelenecektir. Kanallar arası hatalar; farklı kablo uzunları, eş olmayan filtre kullanımı veya alıcı sistemdeki osilatörlerin örnekleme anı seçirmesinden kaynaklanabilmektedir [77,80]. Bu kanallar arası hatalar, genlikte ve fazda farklılıklar (ε_A ve ε_φ) olarak kendini gösterir.

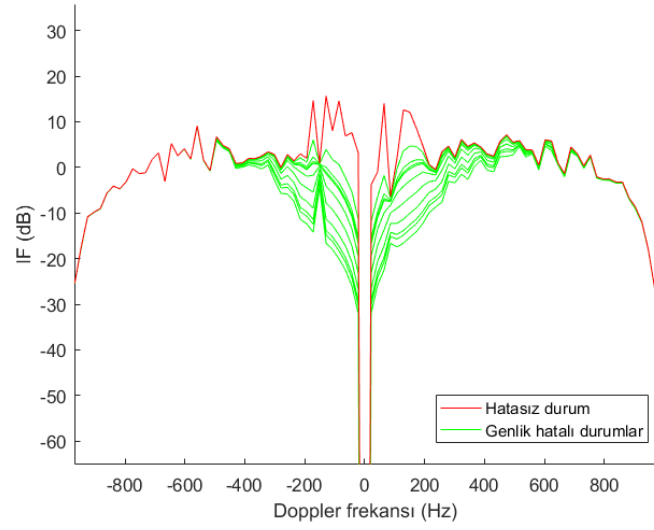
Kanallar arası hataları analiz etmek için gözetim antenlerinden alınan sinyallerden biri $s(t)$ ile diğeri ise Denklem 4.2’de verilen $s_E(t)$ ile modellenmiştir.

$$s_E(t) = \varepsilon_A s(t) e^{j\varepsilon_\varphi} \quad (4.2)$$

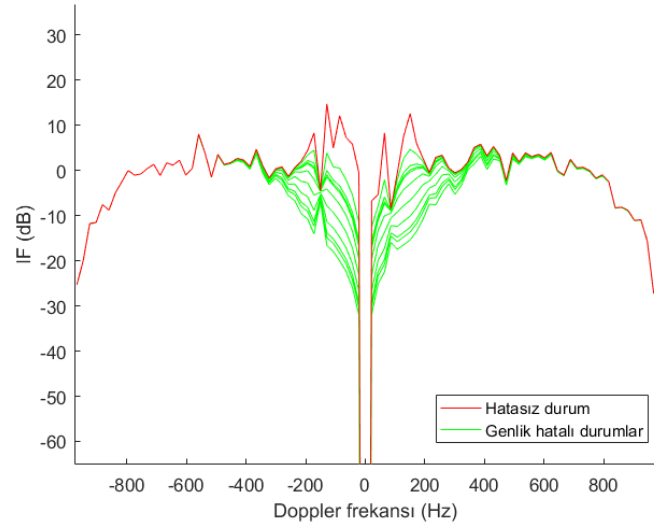
Kanallar arası hatalar ε_A ve ε_φ , her birinin etkisini ayrı ayrı gözlemlemek için birbirinden bağımsız olarak analiz edilmişlerdir. Bu hatalar olasılık yoğunluk fonksiyonu olarak hesaplanmışlardır. Her bir hatanın olduğu durum, onar farklı hata için incelenmiş ve elde edilen sonuçlar hatasız olan sonuç ile karşılaştırılmıştır.

4.7.2.1. Genlik Farklılığının Etkisi

Genlik farklılıkları, ortalama değeri $\mu = 1$ ve varyansı $\sigma^2 = 0,4$ olan normal dağılımlı rasgele değişkenler olarak modellenmiştir. Genlik farklılığının olduğu on farklı durumun iyileştirme faktörleri elde edilmiş ve farklılığın olmadığı hatasız durum ile karşılaştırılmıştır. Bu işlem, Bölüm 4.7.1’de bahsedilen her bir dalga formu için gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar Şekil 4.21’de gösterilmiştir. Farklılıkların olduğu durumdaki iyileştirme faktörleri yeşil renkli olarak, hatasız olan durumdaki (farklılığın olmadığı durum) iyileştirme faktörü ise kırmızı renk ile belirtilmiştir. Şekil 4.21’deki sonuçlar incelendiğinde genlik farklılıklarının pasif radar performansı düşürdüğü açıkça görülmektedir.

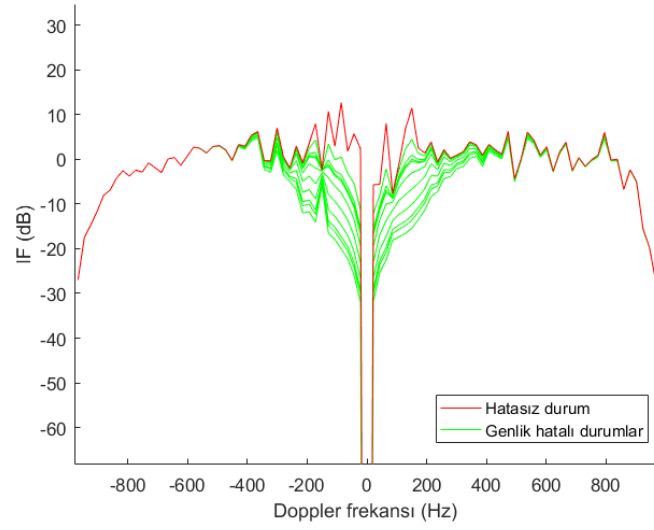


(a)

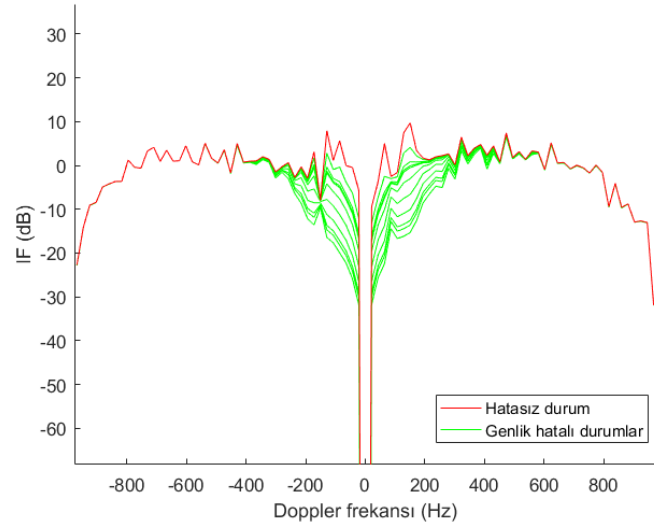


(b)

Şekil 4.21. Farklı FM dalga formları için genlik farklılıklarının olduğu ve olmadığı durumdaki iyileştirme faktörleri, a) sohbet programı için, b) sakin müzik için, c) dans müziği için, d) rock müzik için.



(c)

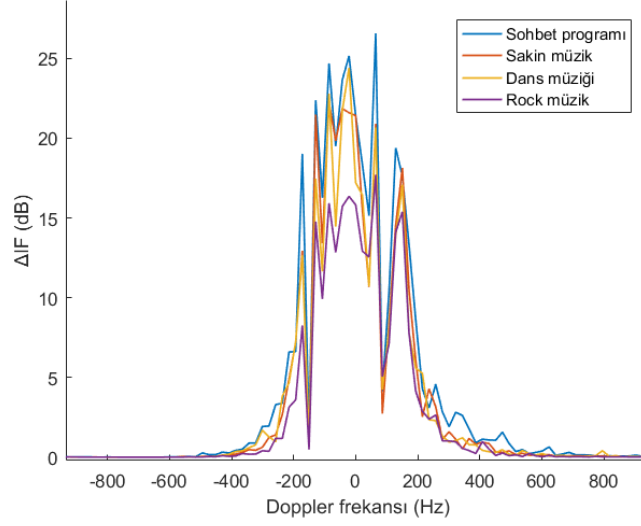


(d)

Şekil 4.21. (devam ediyor).

Şekil 4.22’de görüldüğü üzere genlik farkının, farklı FM dalga formları üzerindeki etkileri karşılaştırılmıştır. Şekil 4.21a’da gösterilen on hatalı durumdaki iyileştirme faktörlerinin ortalaması alınmış ve alınan bu ortalama hatasız durumdaki iyileştirme faktöründen çıkarılmıştır. Bu fark (ΔIF), hatalı durumun ortalama ne kadarlık hataya sebebiyet verdiğini göstermektedir. Bu işlem diğer dalga formları için (Şekil 4.21b, Şekil 4.21c, Şekil 4.21d) tekrarlanmış ve elde edilen sonuçlar Şekil 4.22’de gösterilmiştir. Dalga formlarının genlik farklılıklarına karşı hassasiyeti

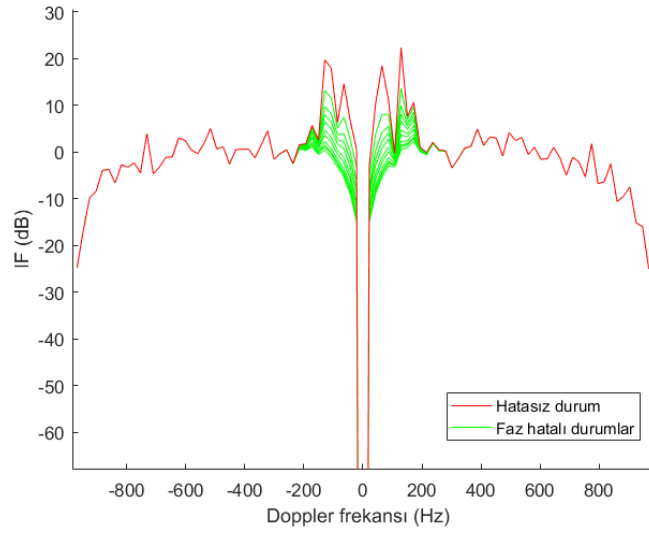
karşılaştırılırken, sohbet programına ait dalga formunun diğer dalga formlarından daha fazla etkilendiği ve rock müziğinin dalga formunun ise daha az etkilendiği gözlemlenmiştir.



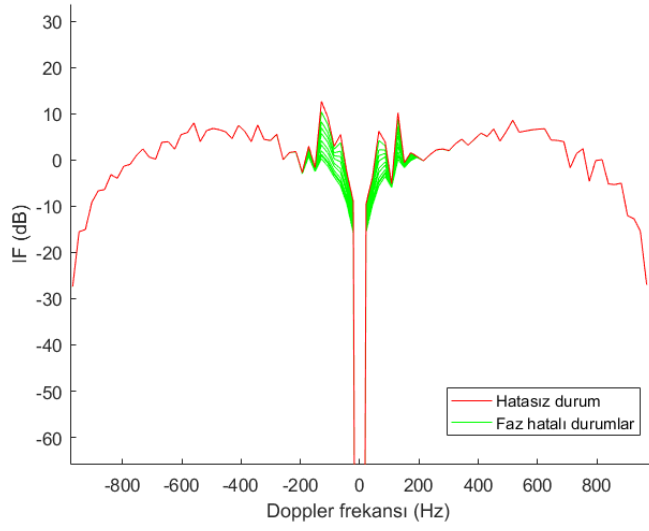
Şekil 4.22. Farklı FM dalga formlarının genlik farklılıklarına karşı hassasiyetlerinin karşılaştırılması.

4.7.2.2. Faz Farklılığının Etkisi

Faz farklılıkları, $-\pi/4$ ile $+\pi/4$ arasında tekdüze dağılımlı olarak modellenmiştir. Faz farklılığının olduğu on farklı durumun iyileştirme faktörleri elde edilmiş ve farklılığın olmadığı hatasız durum ile karşılaştırılmıştır. Bu işlem, Bölüm 4.7.1'de bahsedilen her bir dalga formu için gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar Şekil 4.23'te gösterilmiştir. Farklılıkların olduğu durumdaki iyileştirme faktörleri yeşil renkli olarak, hatasız olan durumdaki (farklılığın olmadığı durum) iyileştirme faktörü ise kırmızı renk ile belirtilmiştir. Şekil 4.23'teki sonuçlar incelendiğinde faz farklılıklarının pasif radar performansı düşürdüğü net bir şekilde görülmektedir.

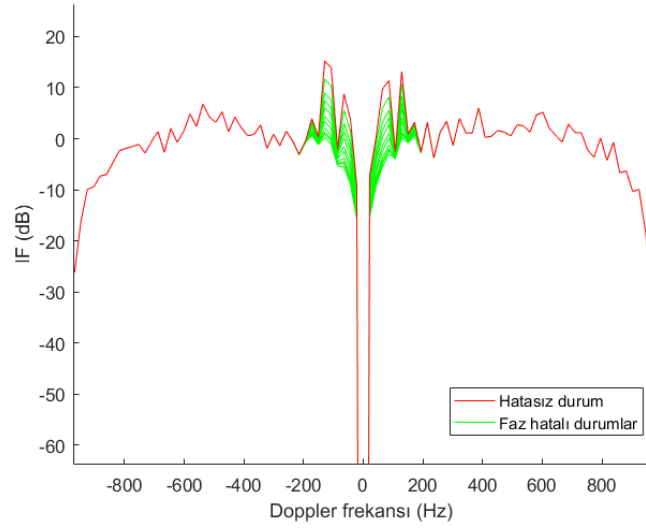


(a)

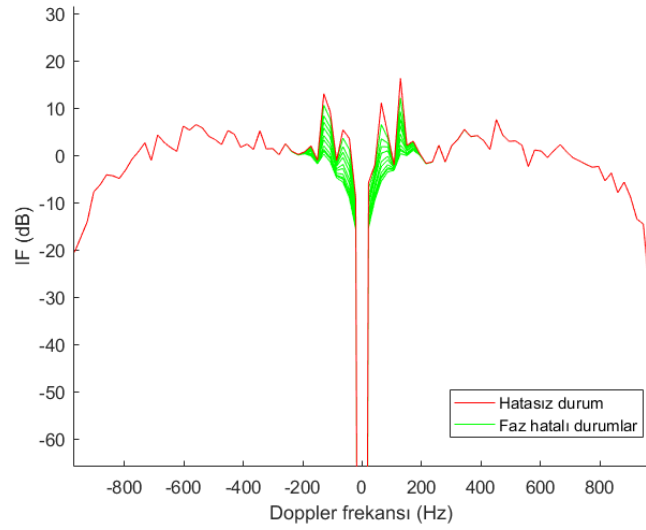


(b)

Şekil 4.23. Farklı FM dalga formları için faz farklılıklarının olduğu ve olmadığı durumdaki iyileştirme faktörleri, a) sohbet programı için, b) sakin müzik için, c) dans müziği için, d) rock müzik için.



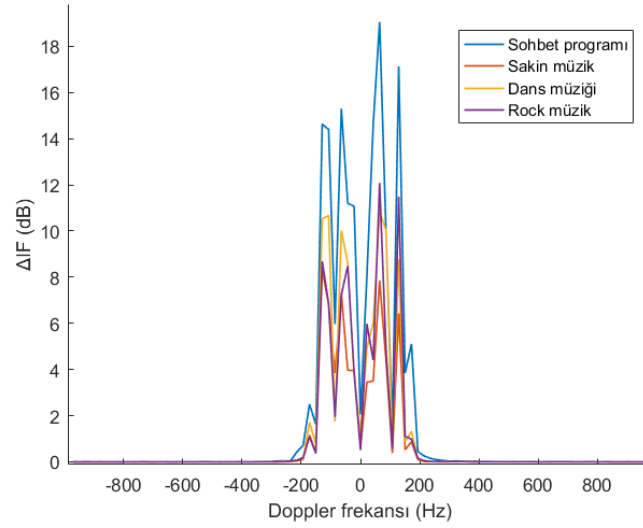
(c)



(d)

Şekil 4.23. (devam ediyor).

Şekil 4.24'te görüldüğü üzere faz farkının, farklı FM dalga formları üzerindeki etkileri karşılaştırılmıştır. Şekil 4.23a'da gösterilen on hatalı durumdaki iyileştirme faktörlerinin ortalaması alınmış ve alınan bu ortalama hatasız durumdaki iyileştirme faktöründen çıkarılmıştır. Bu fark (ΔIF), hatalı durumun ortalama ne kadarlık hataya sebebiyet verdiğini göstermektedir. Bu işlem diğer dalga formları için (Şekil 4.23b, Şekil 4.23c, Şekil 4.23d) tekrarlanmış ve elde edilen sonuçlar Şekil 4.24'te gösterilmiştir. Sohbet programı dalga formunun, faz farklılıklarına karşı diğer dalga formlarından daha fazla hassas olduğu gözlemlenmiştir.

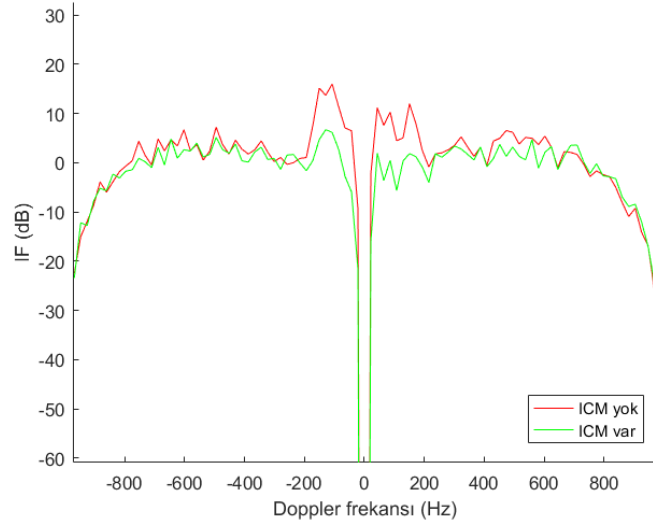


Şekil 4.24. Farklı FM dalga formlarının faz farklılıklarına karşı hassasiyetlerinin karşılaştırılması.

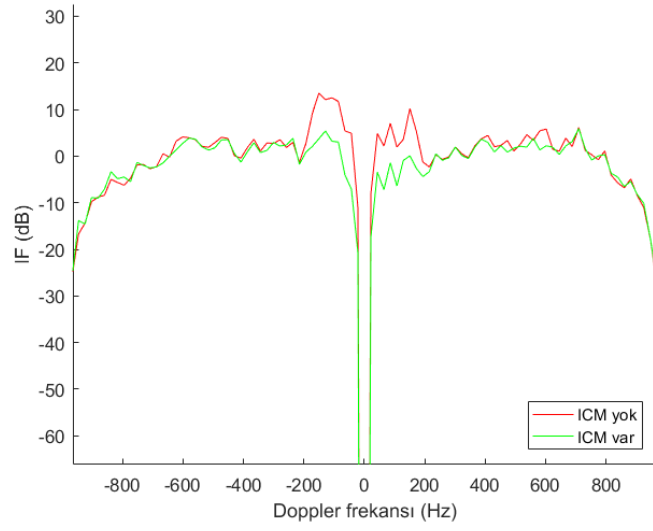
4.7.3. İçsel Kargaşa Hareketi (ICM) Etkisi

Pasif radar performansı rüzgar ve deniz dalgalarından etkilenir [36,81]. Bu etki, içsel kargaşa hareketi (ICM: Internal Clutter Motion) olarak adlandırılır. ICM, zamana ve konuma göre değişiklik gösterir. Bu değişim, deterministik olmadığı için ortalama değeri $\mu = 0,3$ ve varyansı $\sigma^2 = 0,1$ olan normal dağılımlı rasgele değişkenler olarak modellenmiştir. ICM, her iki gözetim anten için eşit olarak meydana gelir ve bir CPI'daki parçalar arasındaki değişim olarak kendini gösterir.

ICM etkisinin olduğu ve olmadığı durumun iyileştirme faktörleri elde edilmiştir. Bu işlem, Bölüm 4.7.1'de bahsedilen her bir dalga formu için ayrı ayrı gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar Şekil 4.25'te gösterilmiştir. ICM etkisinin olduğu durumdaki iyileştirme faktörü yeşil renkli olarak, hatasız olan durumdaki (ICM etkisinin olmadığı durum) iyileştirme faktörü ise kırmızı renk ile belirtilmiştir. Şekil 4.25'teki sonuçlar incelendiğinde ICM etkisinin pasif radar performansı düşürdüğü açıkça görülmektedir.

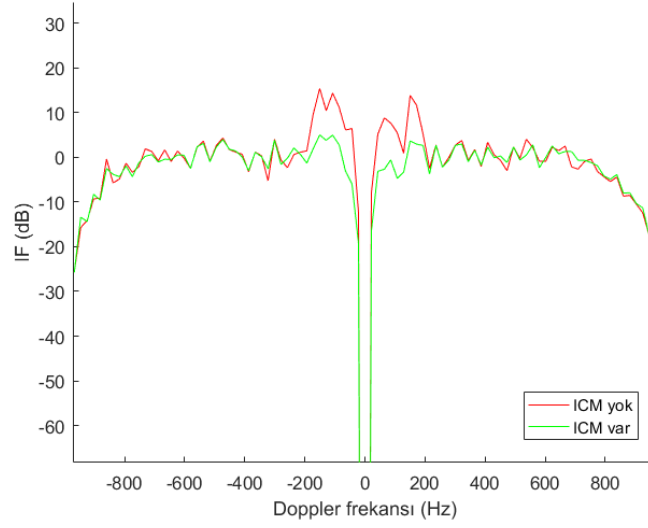


(a)

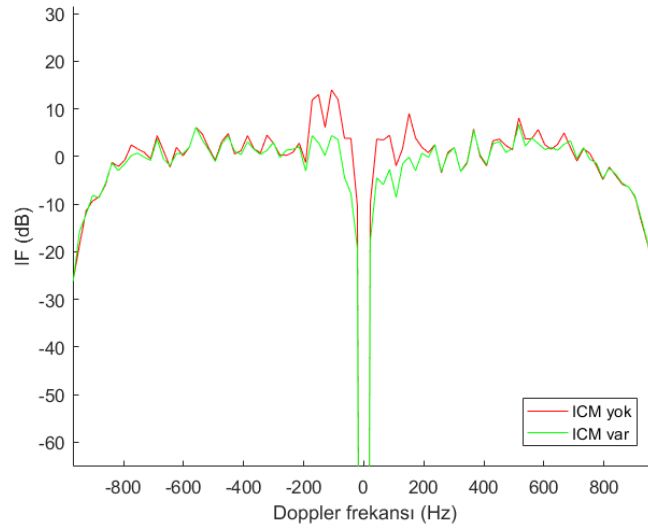


(b)

Şekil 4.25. Farklı FM dalga formları için ICM etkisinin olduğu ve olmadığı durumdaki iyileştirme faktörleri, a) sohbet programı için, b) sakin müzik için, c) dans müziği için, d) rock müzik için.



(c)

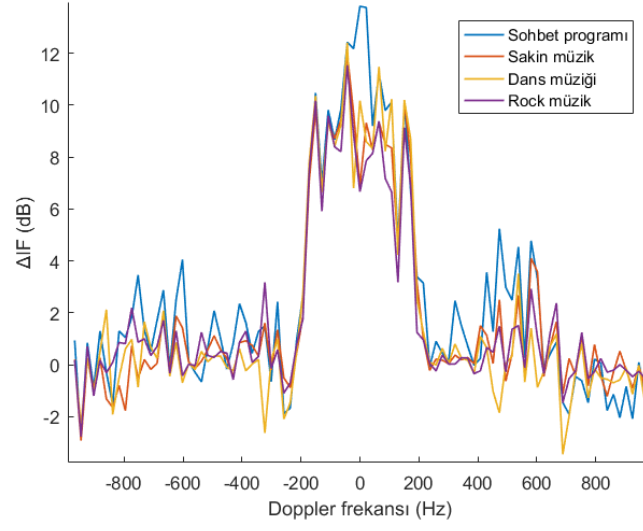


(d)

Şekil 4.25. (devam ediyor).

Şekil 4.26'da görüldüğü üzere ICM etkisinin, farklı FM dalga formları üzerindeki etkileri karşılaştırılmıştır. Şekil 4.25a'daki ICM etkisinin olduğu durumdaki iyileştirme faktörü, ICM etkisinin olmadığı durumdaki iyileştirme faktöründen çıkarılmıştır. Bu fark (ΔIF), hatalı durumun ortalama ne kadarlık hataya sebebiyet verdiğini göstermektedir. Bu işlem diğer dalga formları için (Şekil 4.25b, Şekil 4.25c, Şekil 4.25d) tekrarlanmış ve elde edilen sonuçlar Şekil 4.26'da gösterilmiştir.

Sohbet programı dalga formunun, ICM etkisine karşı diğer dalga formlarından daha fazla hassas olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 4.26. Farklı FM dalga formlarının ICM etkisine karşı hassasiyetlerinin karşılaştırılması.

BÖLÜM 5

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada hareket halindeki uçan bir platforma yerleştirilmiş pasif radar sistemi ile yeryüzündeki hareketli hedeflerin tespiti analiz edilmiştir. Bu kapsamda öncelikle kargaşadan ve hedeften yansıyan sinyaller modellenmiştir. Pasif radarın yerleştirildiği platformun hızından ve yan hüzmelerden kaynaklanan kargaşa, menzil/Doppler haritasında hedefin tespitini engelleyen bir yayılım oluşturur. Bu kargaşanın giderilmesi için DPCA yaklaşımı kullanılmıştır. Darbe sıkıştırma aşamasında ise hem uyumlu filtre hem de karşıt filtre kullanılarak, bu filtrelerin DPCA'nın kargaşa yok etme performansına olan etkileri karşılaştırılmıştır. Uyumlu filtre kullanıldığı durumda kargaşanın etkin bir şekilde yok edilemediği gözlemlenmiştir. İç-kargaşa alandaki yok etmenin hedef tespiti için yeterli olmadığı ve dış-kargaşa alanda ise bir artış olduğu belirlenmiştir. Bu durum uyumlu filtre sonucunda elde edilen sinyalin zamanla değişen yapısından kaynaklanmaktadır. Darbe sıkıştırma aşamasında karşıt filtre kullanıldığı durumda ise kargaşanın tüm menzil/Doppler haritasında mükemmel bir şekilde yok edildiği gözlemlenmiştir ve hedef tespitinin kolayca yapılabileceği bir ortam oluşmuştur. Bu durum karşıt filtrenin zamanla değişmeyen sinyal yapısı üretmesinden ileri gelmektedir.

Platform hızının iç-kargaşa alanın belirlenmesinde oynadığı rol gösterilmiştir. İç-kargaşa alanının platform hızı v_P arttıkça genişlediği, azaldıkça ise daraldığı gözlemlenmiştir. Ayrıca T_{DPCA} süresinin kör hızlar oluşmasındaki etkisi incelenmiştir. Bu süre arttıkça daha küçük Doppler kaymasına sahip hedeflerin tespiti mümkün hale gelirken, hedefin tespit edilemediği kör hızların sayısında ise bir artış meydana gelmektedir.

Pasif radarın kargaşa yok etme performansını etkileyen faktörler mevcuttur. Bu faktörler; aydınlatıcı olarak kullanılan FM radyo sinyalinin yayın içeriğine göre

değişen dalga formu, alıcı kanallar arası hatalar ile rüzgarın ve deniz dalgalarının oluşturduğu etkidir. Pasif radarın performansını ne şekilde etkiledikleri her biri için ayrı ayrı analiz edilmiştir. FM radyo sinyalinin farklı dalga formları için (sohbet programı, sakın müzik, dans müziği ve rock müzik) pasif radarın performansının değiştiği gözlemlenmiştir. Pasif radarın performansı, stabil dalga formu kullanılan aktif radarlara kıyasla daha düşük kalmıştır. Kanallar arası hataların olması durumunda pasif radarın performansının düştüğü sonucuna ulaşılmıştır. Ayrıca farklı FM dalga formlarının bu kanallar arası hatalara karşı olan hassasiyetleri gösterilmiştir. Sohbet programına ait dalga formunun diğer dalga formlarına göre daha fazla etkilendiği gözlemlenmiştir. Rüzgarın ve deniz dalgalarının etkisi de her bir FM dalga formu için ayrı ayrı analiz edilmiştir. Kanallar arası hatalarda olduğu gibi sohbet programına ait dalga formunun diğer dalga formlarına göre daha fazla etkilendiği gözlemlenmiştir.

5.1. GELECEK ÇALIŞMALAR

Bu bölüm, hareketli platforma yerleştirilmiş pasif radarın performansı etkileyen ileriki araştırma alanlarını içerir.

- **Multistatik pasif radar yapısı ile hedef yerinin tayini ve kapsama alanının arttırılması:** Bu tezdeki yapılan çalışmada bistatik radar yapısı (sadece bir alıcı-verici çifti) ile hedefin bistatik menzili belirlenmiştir. Bu sonuç hedefin yerini kusursuz olarak belirlemek için yeterli değildir. Hedefin koordinatlarını tam olarak belirleyebilmek için birden fazla alıcı-verici çiftinin kullanılması gerekmektedir. Bu durum multistatik yapıyı doğurur. Bu yapıda her bir alıcı-verici çifti için belirlenen eş-menzil elipslerinin kesişimi hedefin koordinatları vermektedir. Ayrıca birden fazla verici kullanmak kapsama alanını da arttıracaktır.
- **Farklı tip aydınlatıcıların eş zamanlı olarak kullanımı ile menzil çözünürlüğünün arttırılması:** Bölüm 2.2’de bahsedildiği gibi her bir aydınlatıcının farklı özellikleri mevcuttur. Buna bağlı olarak, pasif radarda aydınlatıcı olarak kullanılmalarında hepsinin birbirine göre farklı avantaj ve dezavantajları vardır. Mevcut duruma göre avantaj sağlayan aydınlatıcı

tipinin seçilmesi pasif radarın performansını arttıracaktır. Uzak mesafelerdeki hedeflerin tespiti için yüksek iletim gücüne sahip olan FM vericisi kullanılırken yakın mesafelerdeki hedeflerin tespiti için DVB-T vericisi kullanılabilir. Böylece yakın mesafelerdeki hedeflerin tespitinde DVB-T sinyalinin bant genişliğinin geniş olmasından dolayı yüksek menzil çözünürlüğü elde edilecektir.

- **Doğrudan sinyal paraziti (DSI) etkisinin incelenmesi:** Bir pasif radarın alıcı sisteminde doğrudan vericiden yayılan referans sinyali almak bir referans anteni ve hedeften veya kargaşadan yansıyan sinyalleri almak için bir ya da birden fazla gözetim anteni kullanılır. Bu tezde tasarlanan pasif radarın alıcı sistemi biri referans ve diğer ikisi gözetim anteni olmak üzere toplam üç antenden oluşur. Bazen doğrudan vericiden yayılan sinyal, hedeften veya kargaşadan yansıyan sinyal ile birlikte gözetim antenlerinden de alınabilir. Bu duruma doğrudan sinyal paraziti adı verilir. Bu tezde yapılan çalışmada DSI etkisinin olmadığı varsayılmıştır. İleriki çalışmalarda DSI etkisinin olduğu durumlar analiz edilerek pasif radarın performansı değerlendirilebilir.

KAYNAKLAR

1. Swords, S. S., "Technical History of the Beginnings of Radar", *The Institution of Engineering and Technology*, 1–325 (1986).
2. Kuschel, H., "Approaching 80 years of passive radar", *2013 International Conference On Radar*, 213–217 (2013).
3. Griffiths, H. and Willis, N., "Klein Heidelberg - The first modern bistatic radar system", *IEEE Transactions On Aerospace And Electronic Systems*, 46 (4): 1571–1588 (2010).
4. İnternet: Radar Pages, "Linesman/Mediator system RX12874 - Passive Detection", <http://www.radarpages.co.uk/mob/linesman/pd.htm> (2002).
5. Kulpa, K. S. and Czekala, Z., "Masking effect and its removal in PCL radar", *IEE Proceedings: Radar, Sonar And Navigation*, 152 (3): 174–178 (2005).
6. Griffiths, H. D. and Baker, C. J., "Passive coherent location radar systems. Part 1: Performance prediction", *IEE Proceedings: Radar, Sonar And Navigation*, 152 (3): 153–159 (2005).
7. Howland, P. E., Maksimiuk, D., and Reitsma, G., "FM radio based bistatic radar", *IEE Proceedings: Radar, Sonar And Navigation*, 152 (3): 107–115 (2005).
8. Saini, R. and Cherniakov, M., "DTV signal ambiguity function analysis for radar application", *IEE Proceedings: Radar, Sonar And Navigation*, 152 (3): 133–142 (2005).
9. Tan, D. K. P., Sun, H., Lu, Y., Lesturgie, M., and Chan, H. L., "Passive radar using Global System for Mobile communication signal: Theory, implementation and measurements", *IEE Proceedings: Radar, Sonar And Navigation*, 152 (3): 116–123 (2005).
10. O'Hagan, D. W., Capria, A., Petri, D., Kubica, V., Greco, M., Berizzi, F., and Stove, A. G., "Passive Bistatic Radar (PBR) for harbour protection applications", *IEEE National Radar Conference - Proceedings*, 0446–0450 (2012).
11. Wan, X., Wang, J., Hong, S., and Tang, H., "Reconstruction of reference signal for DTMB-based passive radar systems", *Proceedings Of 2011 IEEE CIE International Conference On Radar, RADAR 2011*, 1: 165–168 (2011).
12. Li, H. and Wang, J., "Maneuvering target tracking using IMMFPF in Passive Coherent Location radar with glint noise", *Proceedings Of 2011 IEEE CIE International Conference On Radar, RADAR 2011*, 2: 1033–1036 (2011).

13. Wan Xianrong, Zhao Zhixin, Zhang Delei, and Shao Qihong, "HF passive bistatic radar based on DRM illuminators", *Proceedings Of 2011 IEEE CIE International Conference On Radar*, 1: 157–160 (2011).
14. Malanowski, M., Kulpa, K., Samczyński, P., Misiurewicz, J., Kulpa, J., Roszkowski, P., Dzwonkowski, P., Gromek, D., Maślikowski, Misiurewicz, M., and Podkalicki, "Experimental results of the PaRaDe passive radar field trials", *Proceedings International Radar Symposium*, 65–68 (2012).
15. Kuschel, H., Heckenbach, J., Schell, J., and Wissmann, W., "Effects of wind power plants on passive radar operation", *2009 International Radar Conference "Surveillance For A Safer World", RADAR 2009*, 13–17 (2009).
16. Liu, Y., Wan, X., Tang, H., Yi, J., Cheng, Y., and Zhang, X., "Digital television based passive bistatic radar system for drone detection", *2017 IEEE Radar Conference, RadarConf 2017*, 1493–1497 (2017).
17. Kaiser, S. A., Christianson, A., and Narayanan, R. M., "Multistatic radar Doppler estimation for passive coherent location", *2017 IEEE Radar Conference, RadarConf 2017*, 0329–0334 (2017).
18. Płotka, M., Malanowski, M., Samczynski, P., Kulpa, K., and Abratkiewicz, K., "Passive bistatic radar based on VHF DVB-T signal", *2020 IEEE International Radar Conference, RADAR 2020*, 596–600 (2020).
19. Kulpa, K., Baczyk, M., Malanowski, M., Misiurewicz, J., Jedrzejewski, K., Gajo, Z., and Maslikowski, L., "CLEAN removal of ground clutter in mobile passive radar", *2019 IEEE Radar Conference, RadarConf 2019*, 0–3 (2019).
20. Lievsay, J. R. and Goodman, N. A., "Passive radar large clutter discrete removal", *2018 IEEE Radar Conference, RadarConf 2018*, 1167–1172 (2018).
21. Wojaczek, P., Colone, F., Cristallini, D., and Lombardo, P., "Reciprocal-Filter-Based STAP for Passive Radar on Moving Platforms", *IEEE Transactions On Aerospace And Electronic Systems*, 55 (2): 967–988 (2018).
22. Paolo Blasone, G., Colone, F., Lombardo, P., Wojaczek, P., and Cristallini, D., "Passive Radar DPCA Schemes With Adaptive Channel Calibration", *IEEE Transactions On Aerospace And Electronic Systems*, 56 (5): 4014–4034 (2020).
23. Wojaczek, P., Colone, F., Cristallini, D., Lombardo, P., and Kuschel, H., "The application of the reciprocal filter and DPCA for GMTI in DVB-T - PCL", *IET Conference Publications*, 2017 (CP728): (2017).
24. Nohara, T. J., "DPCA and STAP for Comparison of DPCA and STAP for Space-Based Radar Tim", *IEEE International Radar Conference*, 0: (1995).
25. Aalfs, D. D. and Holder, E. J., "Impact of wideband channel-to-channel mismatch on adaptive arrays", *Proceedings Of The IEEE Sensor Array And Multichannel Signal Processing Workshop*, 2000-Janua: 459–463 (2000).

26. Mountcastle, P. D., "New implementation of the billingsley clutter model for GMTI data cube generation", *IEEE National Radar Conference - Proceedings*, (July): 398–401 (2004).
27. Poullin, D., "Passive detection using digital broadcasters (DAB, DVB) with COFDM modulation", *IEE Proceedings: Radar, Sonar And Navigation*, 152 (3): 143–152 (2005).
28. Li, S., Wang, Z., and Wan, H., "The Analysis and Design of Direct Path Interference Cancellation in FM Radio-Based Passive Radar", *2006 CIE International Conference On Radar*, 2: 1–4 (2006).
29. Bayat, S., Nayebi, M. M., and Norouzi, Y., "Target detection by passive coherent FM based bistatic radar", *Proceedings Of The 2008 International Conference On Radar, Radar 2008*, 412–415 (2008).
30. Di Lallo, A., Farina, A., Fulcoli, R., Genovesi, P., Lalli, R., and Mancinelli, R., "Design, development and test on real data of an FM based prototypical passive radar", *2008 IEEE Radar Conference, RADAR 2008*, (2008).
31. O'Hagan, D. W. and Baker, C. J., "Passive Bistatic Radar (PBR) Using FM Radio Illuminators of Opportunity", *New Trends For Environmental Monitoring Using Passive Systems, PASSIVE 2008*, 2–7 (2008).
32. Sun, H., Tan, D. K. P., and Lu, Y., "Aircraft target measurements using A GSM-based passive radar", *2008 IEEE Radar Conference, RADAR 2008*, (2008).
33. Zemhari, R., Nickel, U., and Wirth, W.-D., "GSM Passive Radar for Medium Range Surveillance", *2009 European Radar Conference (EuRAD)*, (2009).
34. Kahler, B. and Blasch, E., "Impact of HRR radar processing on moving target identification performance", *2009 12th International Conference On Information Fusion, FUSION 2009*, 858–865 (2009).
35. Ortenzi, L., Timmoneri, L., and Vigilante, D., "Unscented Kalman Filter (UKF) applied to FM band passive radar", *2009 International Radar Conference "Surveillance For A Safer World", RADAR 2009*, (2009).
36. Czernik, R. J. and SantaPietro, J. J., "The impact of internal clutter motion on a sample matrix inversion space-time adaptive processing algorithm and the GMTI minimum detectable velocity", *2010 International Waveform Diversity And Design Conference, WDD 2010*, (July 2010): 136–141 (2010).
37. Millet, N. and Klein, M., "Passive radar air surveillance: Last results with multi-receiver systems", *International Radar Symposium, IRS 2011 - Proceedings*, 281–285 (2011).
38. Malanowski, M., Kulpa, J., Misiurewicz, J., Samczynski, P., and Kulpa, K. S., "Long range FM-based passive radar", *IET International Conference On Radar Systems (Radar 2012)*, 6: 62–62 (2012).
39. Brown, J., Woodbridge, K., Griffiths, H., Stove, A., and Watts, S., "Passive

- bistatic radar experiments from an airborne platform", *IEEE Aerospace And Electronic Systems Magazine*, 27 (11): 50–55 (2012).
40. Zemhari, R., Daun, M., and Nickel, U., "Maritime surveillance using GSM passive radar", *Proceedings International Radar Symposium*, 76–82 (2012).
 41. Sjögren, T. K., Vu, V. T., Pettersson, M. I., Wang, F., Murdin, D. J. G., Gustavsson, A., and Ulander, L. M. H., "Suppression of clutter in multichannel SAR GMTI", *IEEE Transactions On Geoscience And Remote Sensing*, 52 (7): 4005–4013 (2014).
 42. Rzewuski, S., Wielgo, M., Kulpa, K., Malanowski, M., and Kulpa, J., "Multistatic passive radar based on WIFI - Results of the experiment", *2013 International Conference On Radar - Beyond Orthodoxy: New Paradigms In Radar, RADAR 2013*, 230–234 (2013).
 43. Sun, Z., Wang, T., Jiang, T., Chen, C., and Chen, W., "Analysis of the properties of DVB-S signal for passive radar application", *2013 International Conference On Wireless Communications And Signal Processing, WCSP 2013*, (2013).
 44. Palmer, J. E., Andrew Harms, H., Searle, S. J., and Davis, L. M., "DVB-T passive radar signal processing", *IEEE Transactions On Signal Processing*, 61 (8): 2116–2126 (2013).
 45. Peto, T., Dudas, L., and Seller, R., "DVB-T based passive radar", *2014 24th International Conference Radioelektronika, RADIOELEKTRONIKA 2014 - Proceedings*, 48–51 (2014).
 46. Abiven, P., Lim, T. J., and Pisane, J., "FM passive bistatic radar imaging of airplanes in a real configuration", *2014 International Radar Conference, Radar 2014*, d (1): 12–17 (2014).
 47. Barcena-Humanes, J. L., Del-Rey-Maestre, N., Jarabo-Amores, M. P., Mata-Moya, D., and Gomez-Del-Hoyo, P., "Passive radar imaging capabilities using space-borne commercial illuminators in surveillance applications", *2015 Signal Processing Symposium, SPSympo 2015*, (2015).
 48. Knoedler, B. and Zemhari, R., "Self-calibration of a passive radar system using GSM base stations", *2015 IEEE Radar Conference - Proceedings*, 411–416 (2015).
 49. Venu, D. and Rao, N. V. K., "A cross-correlation approach to determine target range in passive radar using FM Broadcast Signals", *Proceedings Of The 2016 IEEE International Conference On Wireless Communications, Signal Processing And Networking, WiSPNET 2016*, 524–529 (2016).
 50. Tan, B., Woodbridge, K., and Chetty, K., "A wireless passive radar system for real-time through-wall movement detection", *IEEE Transactions On Aerospace And Electronic Systems*, 52 (5): 2596–2603 (2016).
 51. Sendall, J. L. and Maasdorp, F. D. V., "Detection state refinement in FM multistatic passive radar", *2017 IEEE Radar Conference, RadarConf 2017*,

- 0717–0721 (2017).
52. Brisken, S., Moscadelli, M., Seidel, V., and Schwark, C., "Passive radar imaging using DVB-S2", *2017 IEEE Radar Conference (RadarConf)*, 0552–0556 (2017).
 53. Wojaczek, P. and Cristallini, D., "The influence of channel errors in mobile passive radar using DVB-T illuminators of opportunity", *19th International Radar Symposium (IRS)*, 2018-June: (2018).
 54. Li, W., Tan, B., and Piechocki, R., "Passive Radar for Opportunistic Monitoring in E-Health Applications", *IEEE Journal Of Translational Engineering In Health And Medicine*, 6 (March 2017): 1–10 (2018).
 55. Wojaczek, P., Summers, A., Cristallini, D., Walterscheid, I., Lombardo, P., and Colone, F., "Results of Airborne PCL Under CCI Conditions Using DVB-T Illuminators of Opportunity", *2018 International Conference On Radar, RADAR 2018*, (2018).
 56. Xie, D., Yi, J., Shen, J., and Wan, X., "Experimental Research of Multi-FM Based Passive Radar", *2018 12th International Symposium On Antennas, Propagation And EM Theory, ISAPE 2018 - Proceedings*, (2019).
 57. Wojaczek, P., Colone, F., Cristallini, D., Lombardo, P., and O'Hagan, D., "Passive radar on moving platforms for maritime and coastal surveillance", *Ist Maritime Situational Awareness Workshop - MSAW 2019*, (2019).
 58. Gong, B., Yao, Z., Yang, J., Lu, J., Wu, Z., and Geng, Z., "Digital array radar channel error analysis", *The Journal Of Engineering*, 2019 (20): 6439–6443 (2019).
 59. Yildirim, H. C., Storrer, L., Eechkhaute, M. Van, Desset, C., Louveaux, J., and Horlin, F., "Passive Radar based on 802.11ac Signals for Indoor Object Detection", *EuRAD 2019 - 2019 16th European Radar Conference*, 153–156 (2019).
 60. Rosado-Sanz, J., Jarabo-Amores, M. P., Mata-Moya, D., Del-Rey-Maestre, N., and Almodóvar-Hernández, A., "DVB-S passive radar performance evaluation in semi-urban ground scenario", *Proceedings International Radar Symposium*, 2020-Octob: 232–235 (2020).
 61. Schupbach, C., Paine, S., and O'Hagan, D., "Efficient Direct Signal Cancellation for FM-based Passive Radar", *2020 IEEE Radar Conference (RadarConf20)*, 1–5 (2020).
 62. Storrer, L., Yildirim, H. C., Desset, C., Bauduin, M., Bourdoux, A., and Horlin, F., "Clutter removal for Wi-Fi-based passive bistatic radar", *IEEE Vehicular Technology Conference*, 2020-May: (2020).
 63. Blasone, G. P., Colone, F., and Lombardo, P., "Facing channel calibration issues affecting passive radar DPCA and STAP for GMTI", *2020 IEEE International Radar Conference (RADAR)*, 31–36 (2020).

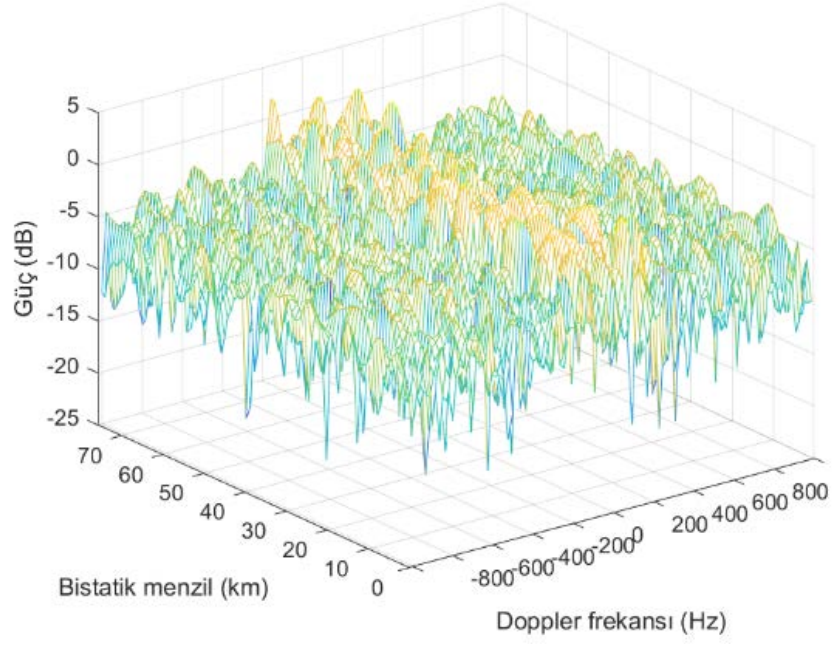
64. Gang, C. and Jun, W., "Target detection method in passive bistatic radar", *Journal Of Systems Engineering And Electronics*, 31 (3): 510–519 (2020).
65. Wojaczek, P., Cristallini, D., Walterscheid, I., and O'Hagan, D., "Range compression strategies for passive radar on airborne platforms", *2020 IEEE International Radar Conference, RADAR 2020*, 25–30 (2020).
66. Willis, N. J., "Bistatic Radar", *SciTech Publishing Inc.*, (2004).
67. Cherniakov, M., "Bistatic Radar: Principles and Practice", *Wiley*, 1–504 (2007).
68. Nicholas J. Willis, H. D. G., "Advances in Bistatic Radar", *SciTech Publishing*, (2007).
69. Griffiths, H. and Baker, C. J., "An Introduction to Passive Radar", *Artech House*, 212 (2017).
70. Skolnik, M. I., "Introduction to Radar Systems: Merrill I. Skolnik", *Mc Grow-Hill*, (1980).
71. Richards, M. A., Scheer, J. A., and Holm, W. A., "Principles of Modern Radar: Basic Principles", *SciTech Publishing - An Imprint of the IET*, (2018).
72. Cherniakov, M., "Bistatic Radar: Emerging Technology", *Wiley*, (2008).
73. Moscardini, C., Petri, D., Capria, A., Conti, M., Martorella, M., and Berizzi, F., "Batches algorithm for passive radar: A theoretical analysis", *IEEE Transactions On Aerospace And Electronic Systems*, 51 (2): 1475–1487 (2015).
74. Dawidowicz, B., Kulpa, K. S., Malanowski, M., Misiurewicz, J., Samczynski, P., and Smolarczyk, M., "DPCA detection of moving targets in airborne passive radar", *IEEE Transactions On Aerospace And Electronic Systems*, 48 (2): 1347–1357 (2012).
75. Dawidowicz, B., Samczynski, P., Malanowski, M., Misiurewicz, J., and Kulpa, K. S., "Detection of moving targets with multichannel airborne passive radar", *IEEE Aerospace And Electronic Systems Magazine*, 27 (11): 42–49 (2012).
76. Richardson, P. G., "Analysis of the adaptive space time processing technique for airborne radar", *IEE Proceedings - Radar, Sonar And Navigation*, 141 (4): 187 (1994).
77. Wojaczek, P. M., "Passive Radar On Moving Platforms Exploiting Dvb-T Transmitters Of Opportunity", *Sapienza University of Rome*, (2019).
78. Bancroft, J. C., "Introduction to matched filters", *CREWES Research Report*, 14: 1–8 (2002).
79. Glende, M., "PCL-Signal-Processing for Sidelobe Reduction in Case of Periodical Illuminator Signals", *2006 International Radar Symposium*, 1–4

(2006).

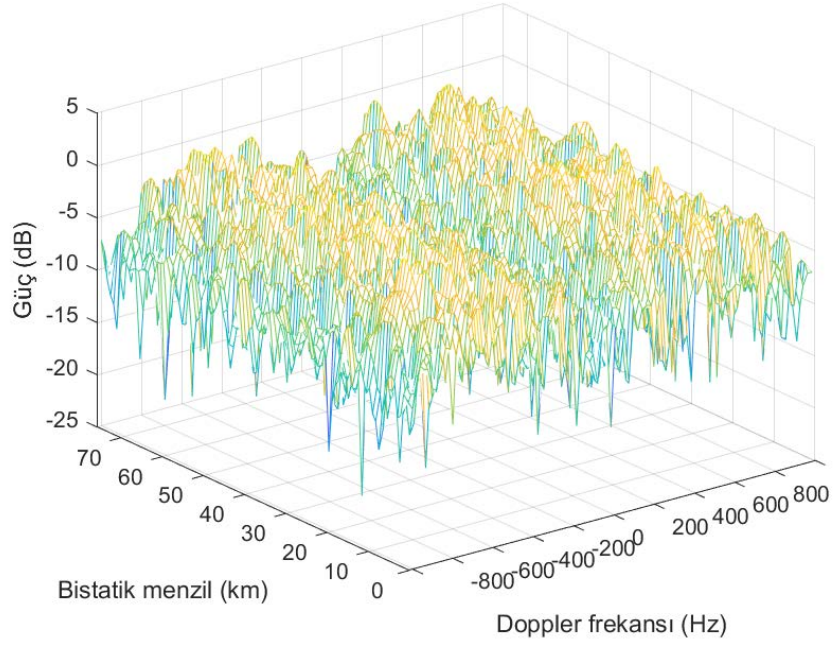
80. Nickel, U., "On the Influence of Channel Errors on Array Signal Processing Methods", *AEU - International Journal Of Electronics And Communications*, 47 (4): 209–219 (1993).
81. Techau, P. M., Bergin, J. S., and Guerci, J. R., "Effects of internal clutter motion on STAP in a heterogeneous environment", *IEEE National Radar Conference - Proceedings*, 204–209 (2001).

EK AÇIKLAMALAR A.

**BÖLÜM 4.5'TEKİ HEDEFLERİN ÜÇ BOYUTLU MENZİL/DOPPLER
HARİTALARI**

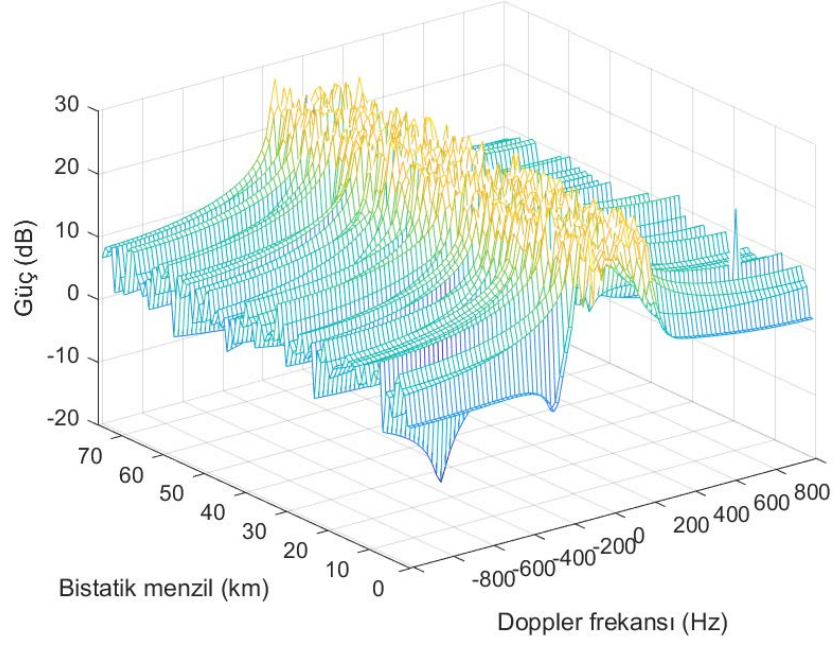


(a)

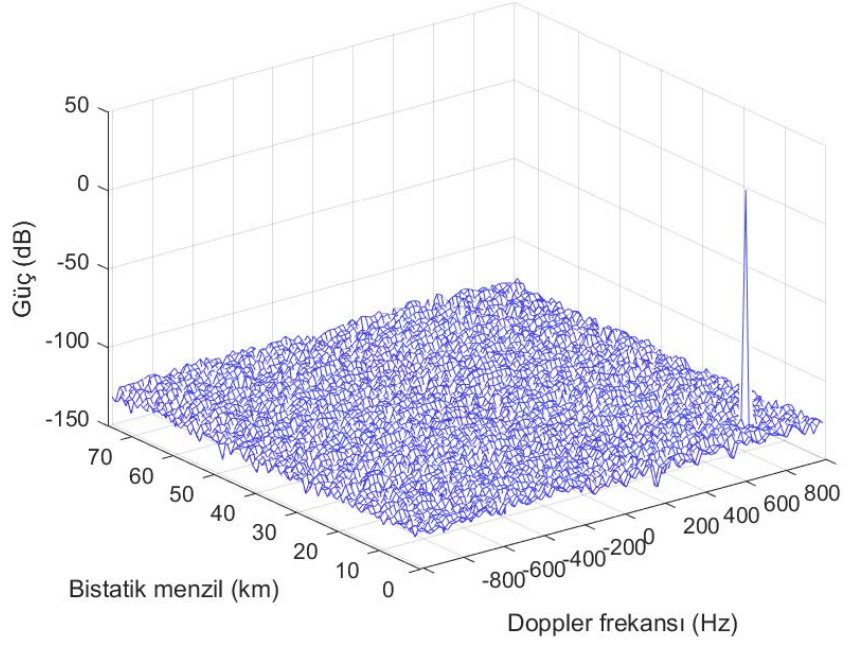


(b)

Şekil Ek A.1. Hedef 1 için üç boyutlu menzil/Doppler haritası, a) DPCA işleminden önce (MF), DPCA işleminden sonra (MF), c) DPCA işleminden önce (RF), DPCA işleminden sonra (RF).

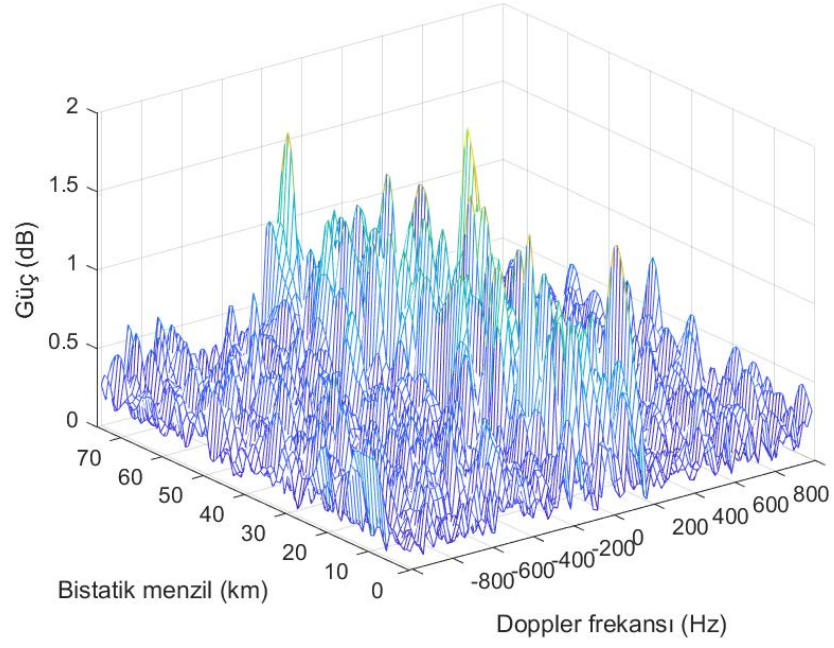


(c)

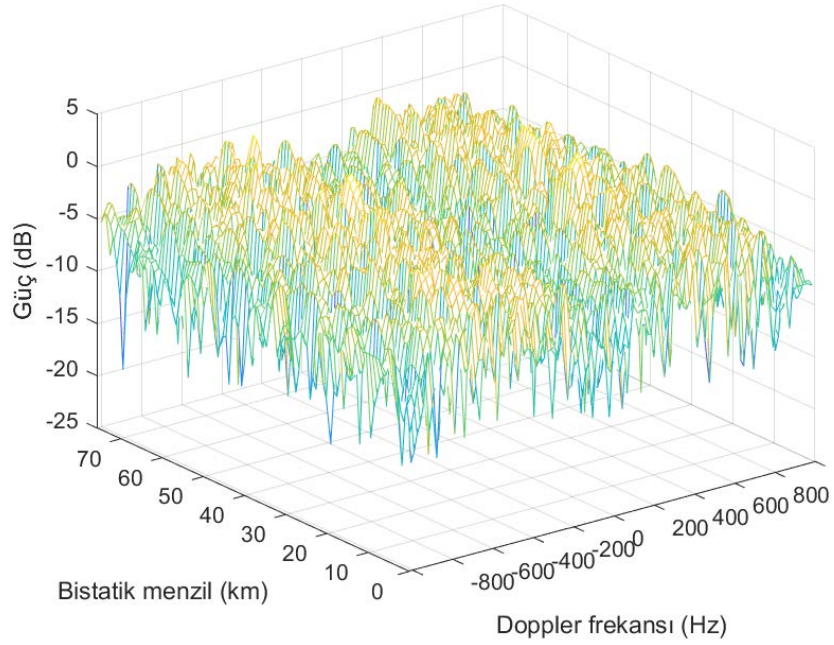


(d)

Şekil Ek A.1. (devam ediyor).

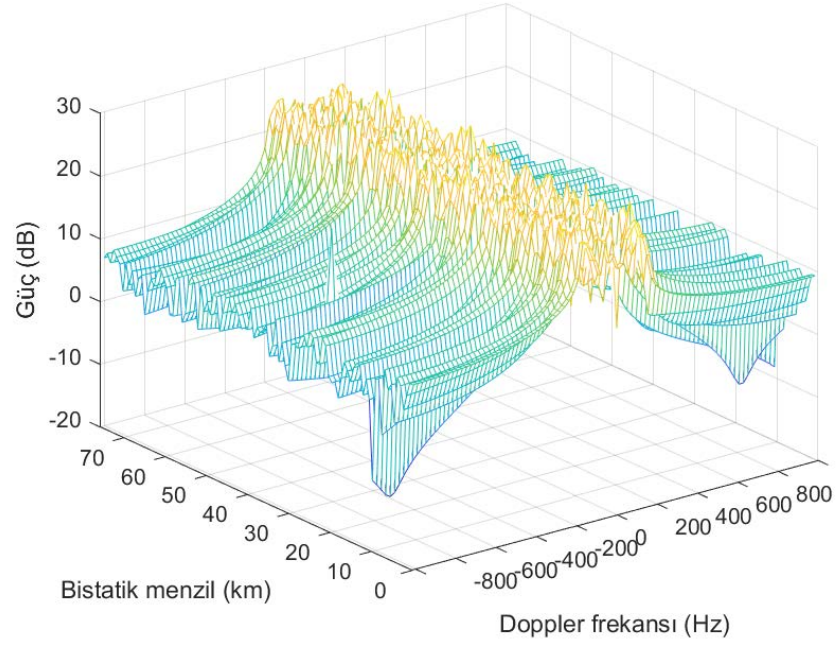


(a)

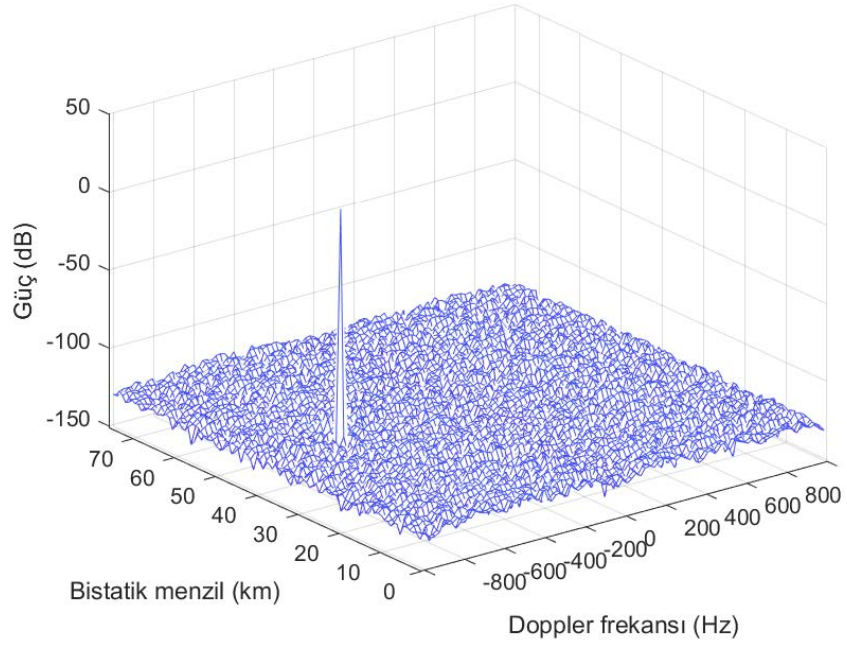


(b)

Şekil Ek A.2. Hedef 2 için üç boyutlu menzil/Doppler haritası, a) DPCA işleminden önce (MF), DPCA işleminden sonra (MF), c) DPCA işleminden önce (RF), DPCA işleminden sonra (RF).

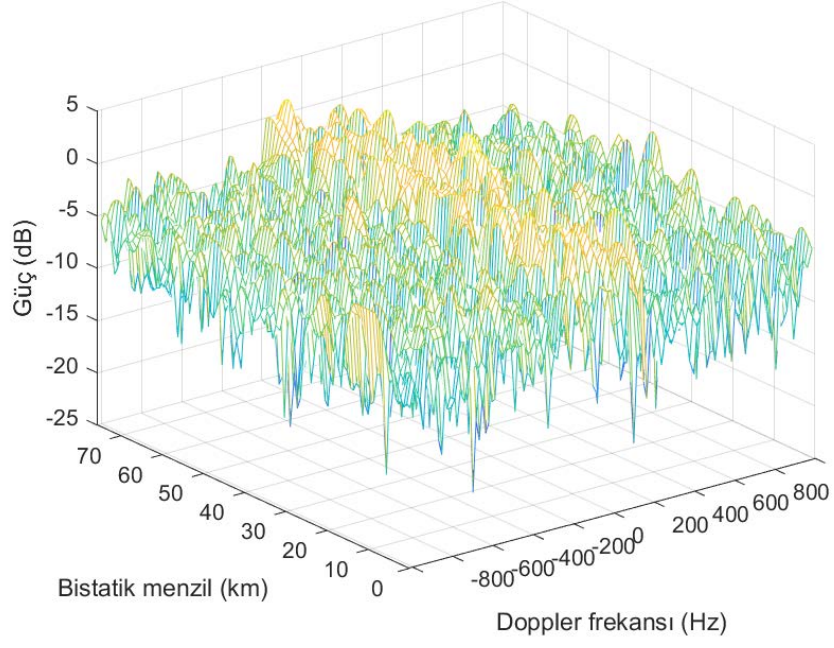


(c)

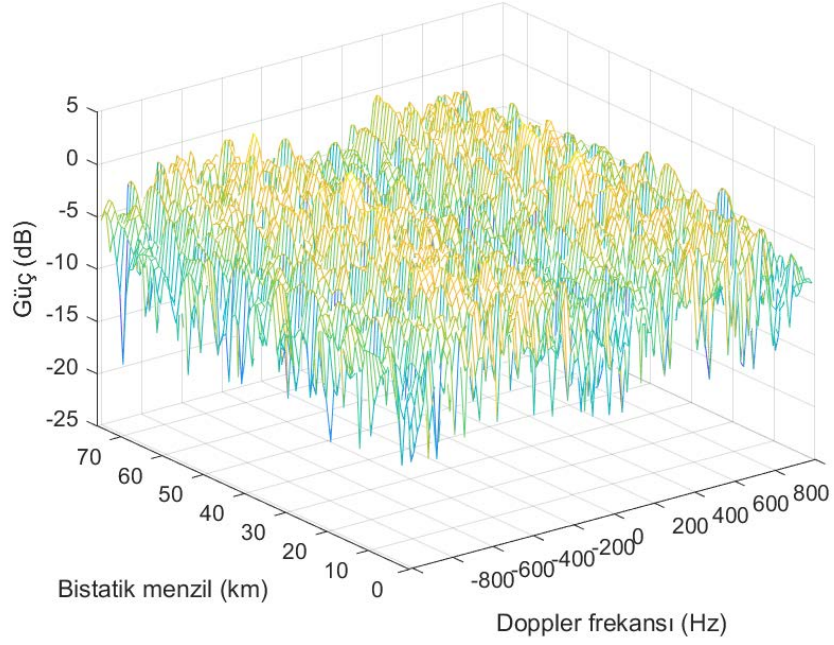


(d)

Şekil Ek A.2. (devam ediyor).

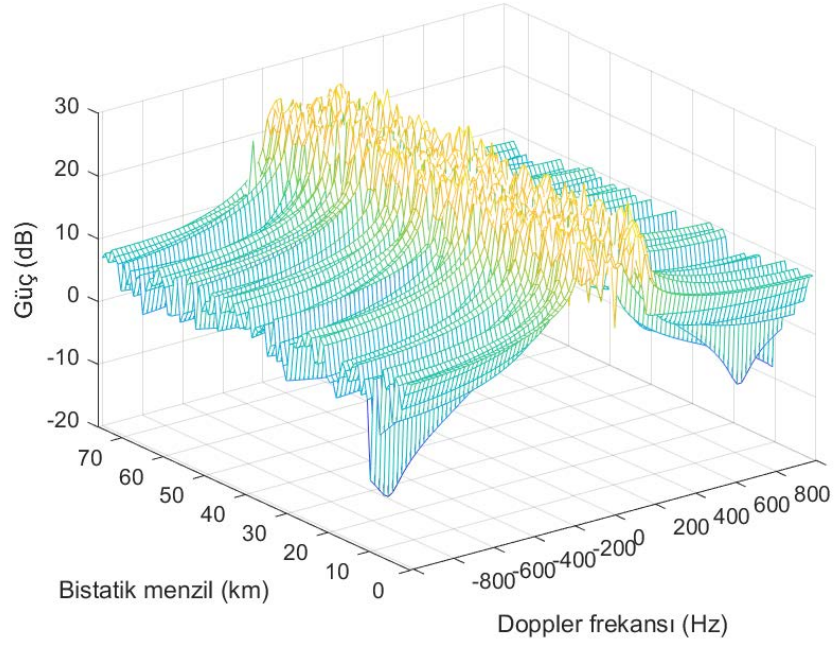


(a)

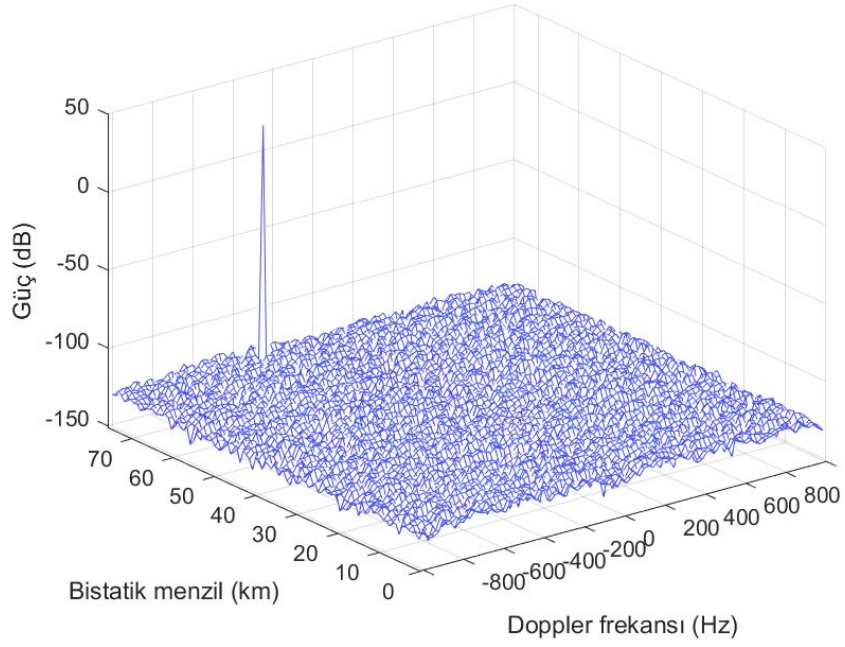


(b)

Şekil Ek A.3. Hedef 3 için üç boyutlu menzil/Doppler haritası, a) DPCA işleminden önce (MF), DPCA işleminden sonra (MF), c) DPCA işleminden önce (RF), DPCA işleminden sonra (RF).

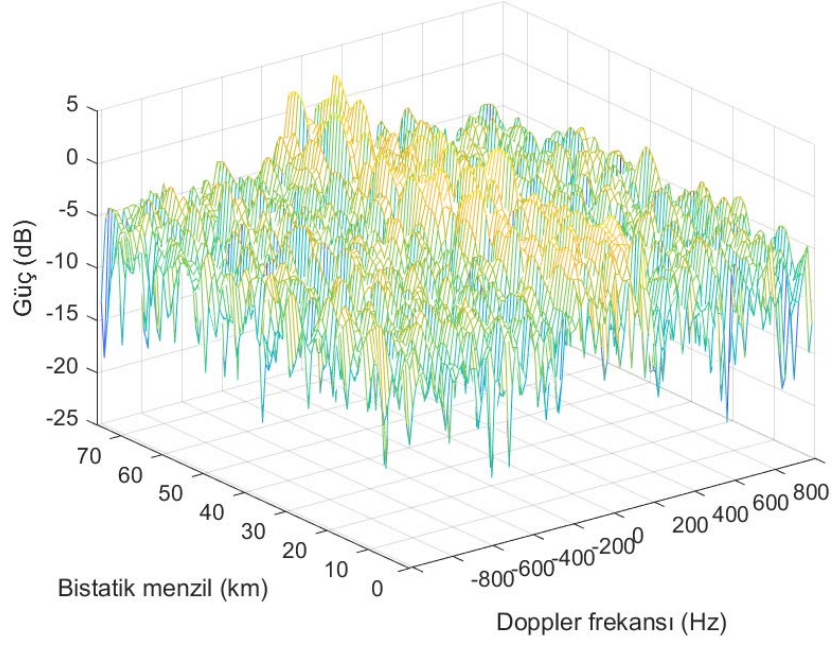


(c)

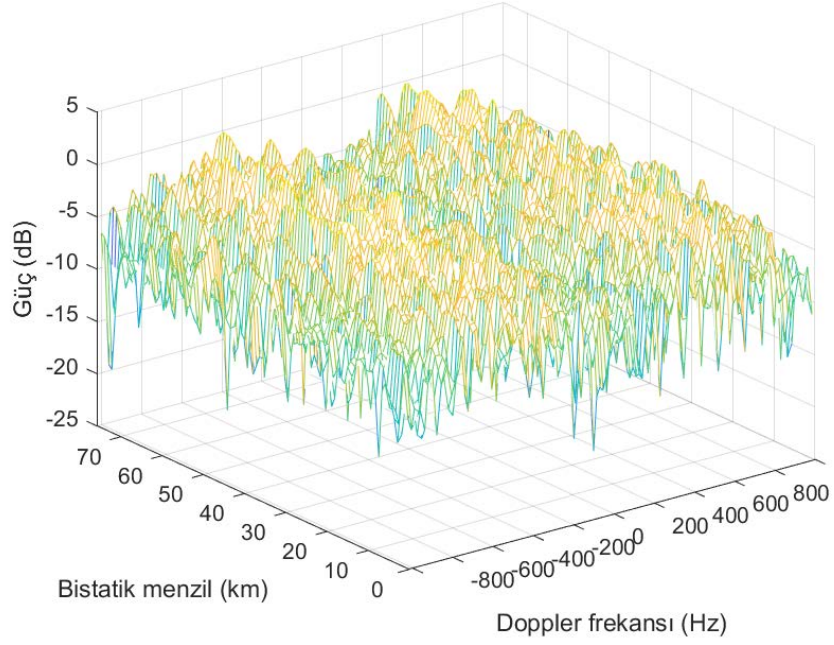


(d)

Şekil Ek A.3. (devam ediyor).

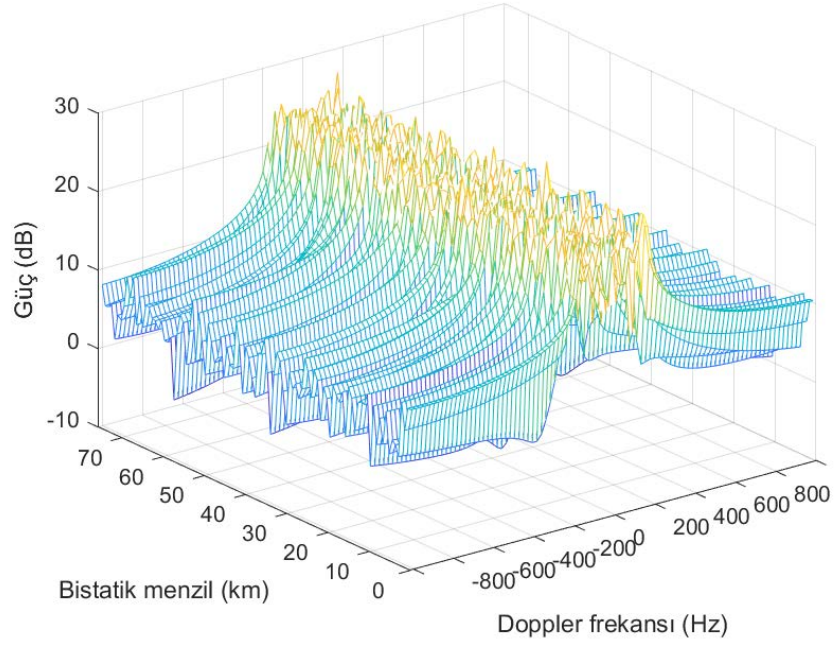


(a)

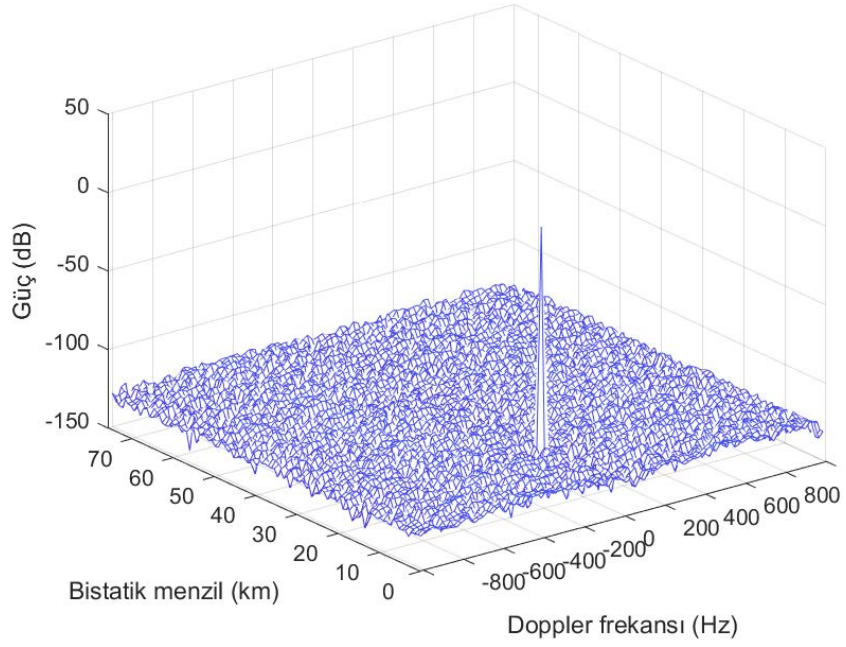


(b)

Şekil Ek A.4. Hedef 4 için üçboyutlu menzil/Doppler haritası, a) DPCA işleminden önce (MF), DPCA işleminden sonra (MF), c) DPCA işleminden önce (RF), DPCA işleminden sonra (RF).

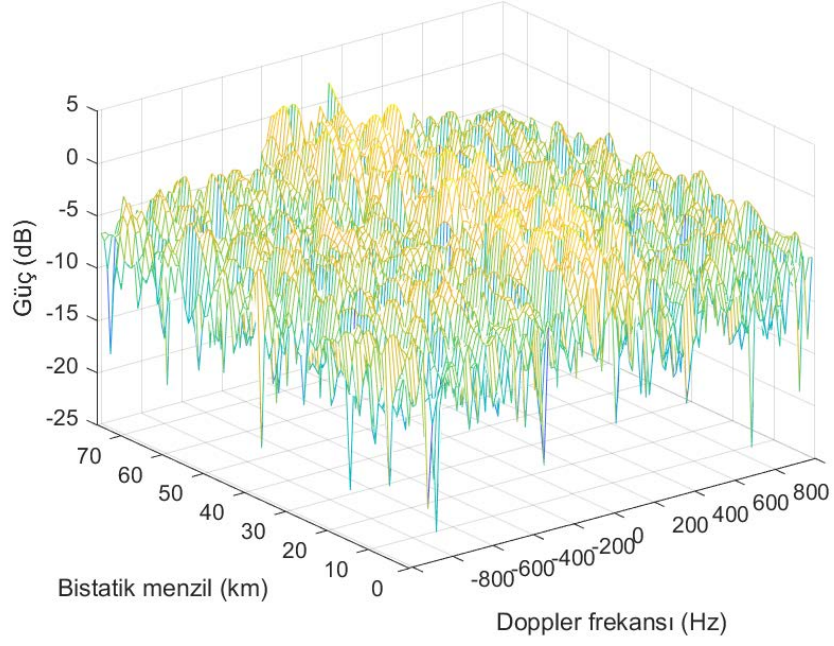


(c)

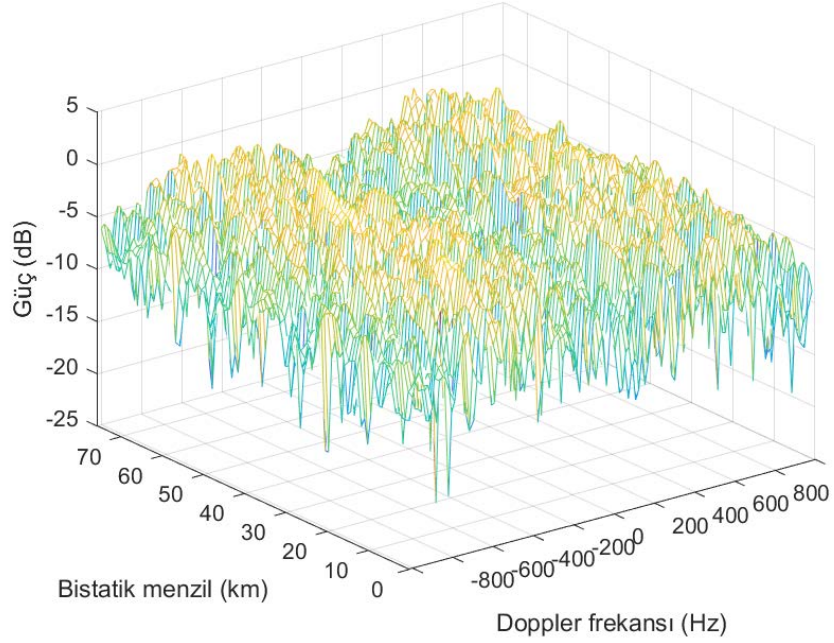


(d)

Şekil Ek A.4. (devam ediyor).

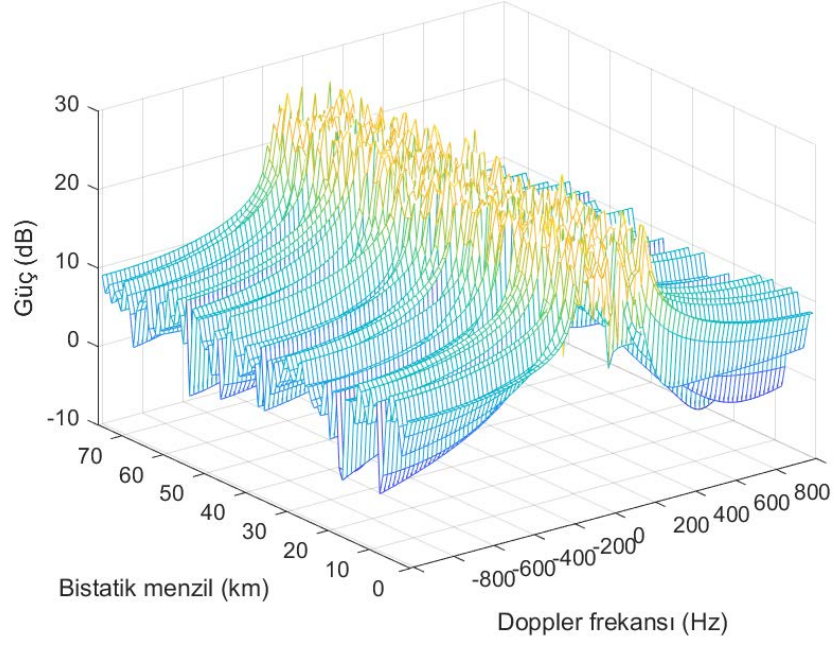


(a)

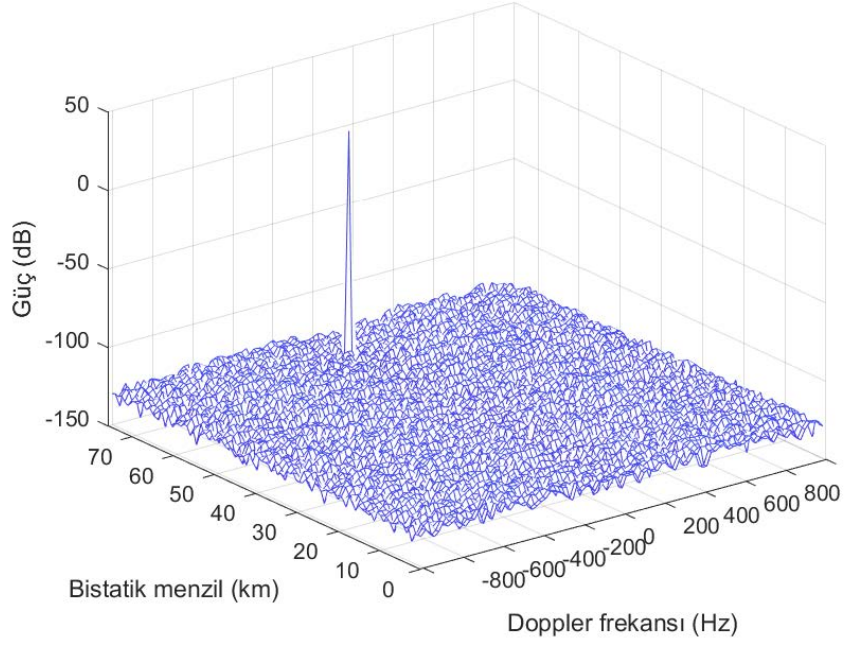


(b)

Şekil Ek A.5. Hedef 5 için üç boyutlu menzil/Doppler haritası, a) DPCA işleminden önce (MF), DPCA işleminden sonra (MF), c) DPCA işleminden önce (RF), DPCA işleminden sonra (RF).

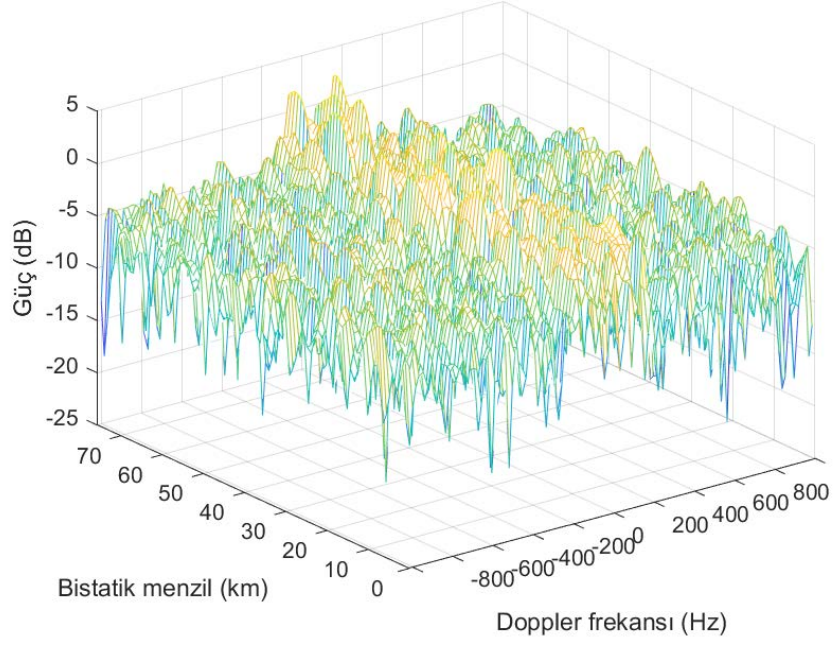


(c)

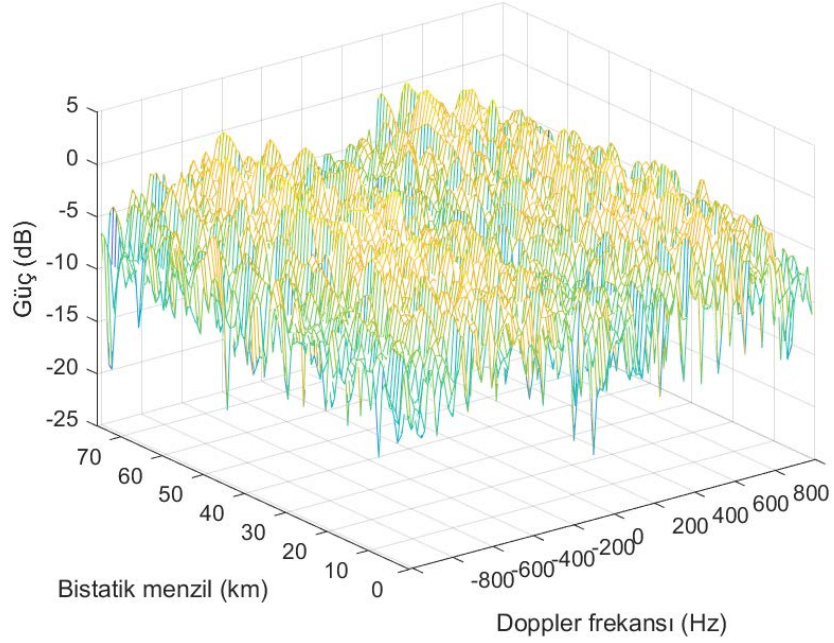


(d)

Şekil Ek A.5. (devam ediyor).

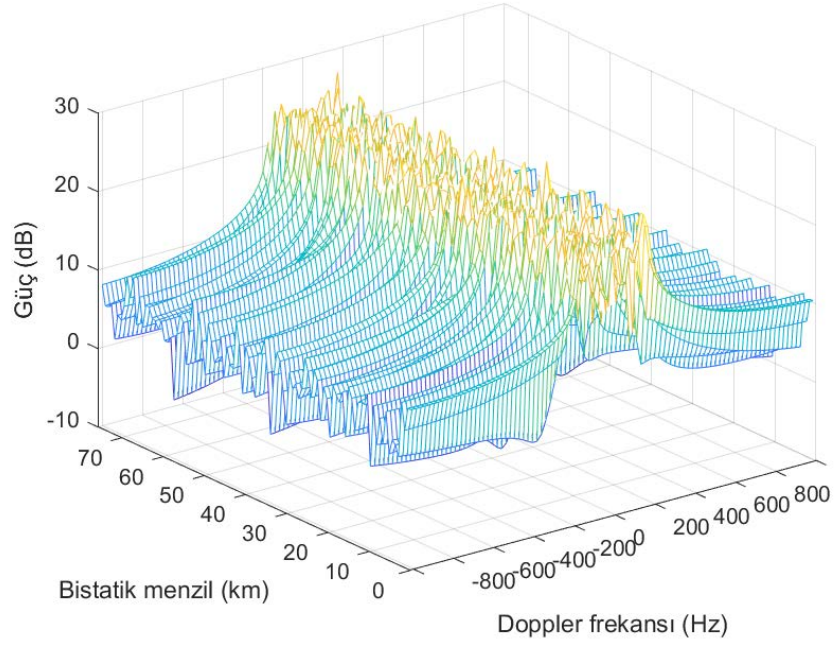


(a)

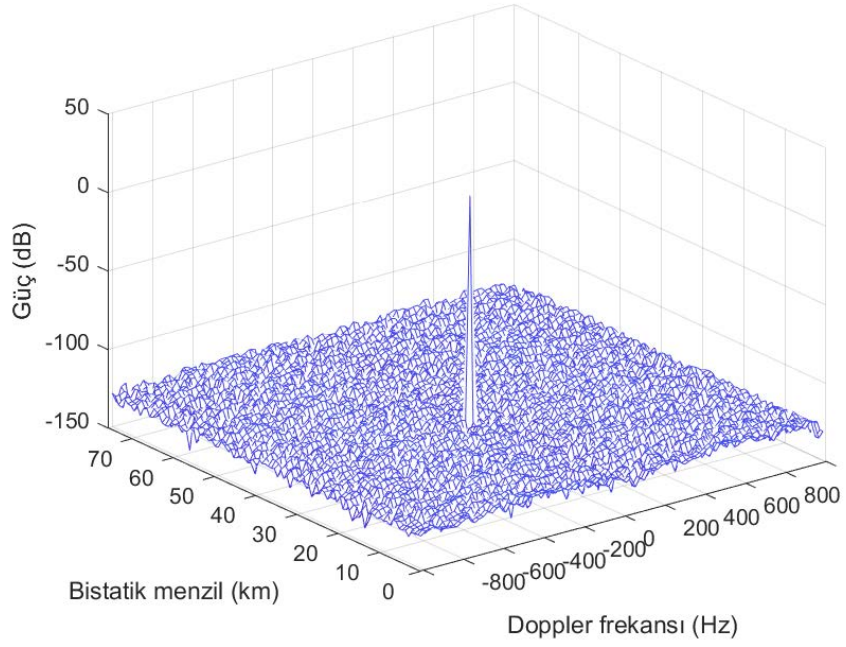


(b)

Şekil Ek A.6. Hedef 1 için üç boyutlu menzil/Doppler haritası, a) DPCA işleminden önce (MF), DPCA işleminden sonra (MF), c) DPCA işleminden önce (RF), DPCA işleminden sonra (RF).



(c)



(d)

Şekil Ek A.6. (devam ediyor).

ÖZGEÇMİŞ

Kadir İLERİ 1990 yılında Fethiye’de doğdu ve 2004 yılında ilk ve orta öğrenimini Fethiye’de Güneşli İlköğretim Okulu’nda tamamladı. 2008 yılında Antalya Aksu Anadolu Öğretmen Lisesi’nden mezun oldu. Aynı yıl Kocaeli Üniversitesi, Elektronik ve Bilgisayar Eğitimi Bölümü’nde öğrenim görmeye başladı ve 2012 yılında buradan mezun oldu. 2013 yılında Mühendislik Tamamlama programı ile Karabük Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü’ne başladı ve 2014 yılında mezun oldu. 2017 yılında Karabük Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü’nde yüksek lisans eğitimini tamamladı. 2013 yılında ÖYP (Öğretim Üyesi Yetiştirme Programı) kapsamında Araştırma Görevlisi olarak Karabük Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü’ne atandı ve halen burada çalışmaya devam etmektedir.

ADRES BİLGİLERİ

Adres : Karabük Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi
Balıklar Kayası Mevkii / KARABÜK

Tel : (506) 468 34 01

E-posta : kadirileri@karabuk.edu.tr