

**PASİF VE AKTİF RADAR GÖRÜNTÜLEMEDE HEDEFLERİN
TESPİTİ VE ODAKLANMASINA YÖNELİK YENİ
ALGORİTMALARIN GELİŞTİRİLMESİ**

DOKTORA TEZİ

HAKAN İŞİKER

**MERSİN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI**

**MERSİN
ŞUBAT- 2020**

**PASİF VE AKTİF RADAR GÖRÜNTÜLEMEDE HEDEFLERİN
TESPİTİ VE ODAKLANMASINA YÖNELİK YENİ
ALGORİTMALARIN GELİŞTİRİLMESİ**

DOKTORA TEZİ

HAKAN İŞİKER

**MERSİN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI**

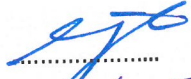
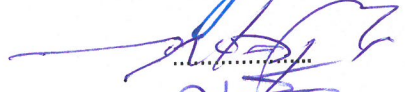
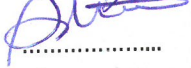
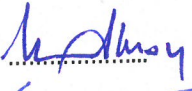
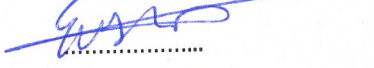
**Danışman
Prof. Dr. Caner ÖZDEMİR**

**İkinci Danışman
Dr. Öğr. Üyesi Şevket DEMİRCİ**


**MERSİN
ŞUBAT- 2020**

ONAY

Hakan İŞİKER tarafından Prof. Dr. Caner ÖZDEMİR danışmanlığında hazırlanan "Pasif ve Aktif Radar Görüntülemeye Hedeflerin Tespiti ve Odaklanmasına Yönelik Yeni Algoritmaların Geliştirilmesi" başlıklı çalışma aşağıda imzaları bulunan jüri üyeleri tarafından 25/02/2020 tarihinde yapılan Tez Savunma Sınavı sonucunda oy birliği ile Doktora tezi olarak kabul edilmiştir.

Görevi	Ünvanı, Adı ve Soyadı	İmza
Başkan	Prof. Dr. Caner ÖZDEMİR	
Üye	Prof. Dr. Ali AKDAĞLI	
Üye	Prof. Dr. Ahmet Serdar TÜRK	
Üye	Doç. Dr. Murat AKSOY	
Üye	Dr. Öğr. Üyesi Evren DEĞİRMENÇİ	

Yukarıdaki Jüri kararı Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 20 / 03 / 2020 tarih ve 2020.13 / 4.11. sayılı kararıyla onaylanmıştır.


Prof. Dr. Cahit BİLİM
Fen Bilimleri Enstitü Müdürü

Bu tezde kullanılan özgün bilgiler, şekil, tablo ve fotoğraflardan kaynak göstermeden alıntı yapmak 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunu hükümlerine tabidir.

ETİK BEYAN

Mersin Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim Yönetmeliğinde belirtilen kurallara uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada,

- Tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- Atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak kullandığımı,
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Bu tezin herhangi bir bölümünü Mersin Üniversitesi veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı,
- Tezin tüm telif haklarını Mersin Üniversitesi'ne devrettiğimi

beyan ederim.

ETHICAL DECLARATION

This thesis is prepared in accordance with the rules specified in Mersin University Graduate Education Regulation and I declare to comply with the following conditions:

- I have obtained all the information and the documents of the thesis in accordance with the academic rules.
- I presented all the visual, auditory and written information and results in accordance with scientific ethics.
- I refer in accordance with the norms of scientific works about the case of exploitation of others' works.
- I used all of the referred works as the references.
- I did not do any tampering in the used data.
- I did not present any part of this thesis as another thesis at Mersin University or another university.
- I transfer all copyrights of this thesis to the Mersin University.

25 Şubat 2020 / 25 February 2020

İmza / Signature



Hakan İŞİKER

ÖZET

PASİF VE AKTİF RADAR GÖRÜNTÜLEMEDE HEDEFLERİN TESPİTİ VE ODAKLANMASINA YÖNELİK YENİ ALGORİTMALARIN GELİŞTİRİLMESİ

Bu tez çalışmasında, pasif radar uygulamalarında görüntüleme, saklı hedeflerin tespiti ve sınıflandırılmasına yönelik iki adet algoritma geliştirilmiş ve gerçek deneysel ölçümler ile etkinlikleri ortaya konulmuştur. Ayrıca, aktif radar görüntülerinin odaklanmasında kullanılması üzere menzil Doppler algoritmasının (MDA) yeni bir dalga formuyla adaptasyonu geliştirilmiş ve performansı benzetim verileriyle test edilerek sonuçları paylaşılmıştır.

Pasif milimetre dalga (PMMD) görüntüleme sistemlerinde, saklı hedeflerin tespitinde kullanılmak üzere otomatik sınıflandırma ve Otsu metoduna dayalı iki farklı algoritma geliştirilmiştir. İnsan üzerinde saklı silah tespiti (SST) için milimetre-dalga frekanslarında elde edilen ham veriler ve bu verilerin histogramına dayanan özgün otomatik sınıflandırma tekniği sayesinde histogram eşikleme algoritmalarının ana dezavantajları telafi edilmiş ve saklı nesnenin boyutunu tahmin etmek için iki seviyeli bir eşikleme yöntemi önerilmiştir. Otsu metoduna dayalı eşik algılama algoritması ile ilk kez ham radyometrik verilerin/görüntünün histogram özelliklerine dayanan bir oto-segmentasyon algoritması getirilmiştir. Otsu'nun çok düzeyli eşikleme tekniği modifiye edilerek gizli nesnelerin daha doğru bir şekilde algılanması/görüntülenmesi sağlanmıştır. 34.5 GHz'deki ölçümler tez kapsamında geliştirilen radyometrik alıcı ile gerçekleştirilirken, 94.5 GHz'deki ölçümler ise, Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) Marmara Araştırma Merkezi'nin (MAM) Milimetre-Dalga ve Terahertz Teknolojileri Araştırma Laboratuvarlarında (MİLTAL) geliştirilen PMMD radyometrik görüntüleme sisteminden alınmıştır. Geliştirilen iki algoritma sayesinde insan üzerinde saklı silah benzeri nesnelere başarılı bir şekilde tespit edilmiştir.

Aktif radar görüntüleme uygulamalarına yönelik, adım frekanslı sürekli dalga (AFSD) radar verilerinin MDA'ya adaptasyonu için gerekli çalışmalar yapılmış ve yeni bir AFSD tabanlı MDA odaklama algoritması geliştirilmiştir. Yarım yüzyıldan fazla bir süredir uydu ve uçak tabanlı frekans modüleli sürekli dalga (FMSD) radar verilerini odaklamak için kullanılan MDA, ilk kez bu çalışma ile AFSD radar verileri için yeniden tanımlanmış ve böylece hızlı ve etkili bir AFSD tabanlı MDA geliştirilmiştir. AFSD radar için geliştirilen algoritma sayesinde FMSD radar uygulamalarındaki dar bant kısıtlamasının üstesinden gelinmiş ve çok geniş bantta gerçekleştirilen AFSD radar verileri oldukça başarılı bir şekilde odaklanmıştır. AFSD radar için geliştirilen MDA, geleneksel FMSD-MDA ile karşılaştırılmış ve AFSD-MDA'nın çok daha yüksek odaklama kabiliyetine sahip olduğu benzetim sonuçları ile doğrulanmıştır. Böylece bu tezle birlikte, vektör network analizör (VNA) ile toplanan sentetik açıklıklı radar (SAR) verileri için yeni, etkili ve başarılı bir odaklama algoritması literatüre kazandırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Pasif Milimetre Dalga (PMMD) görüntüleme, Sentetik Açıklıklı Radar (SAR) Görüntüleme, Adım Frekanslı Sürekli Dalga (AFSD) formülü menzil Doppler algoritma (MDA) Odaklaması.

Danışman: Prof. Dr. Caner ÖZDEMİR, Mersin Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Mersin.

ABSTRACT

DEVELOPMENT OF NEW ALGORITHMS FOR DETECTION AND FOCUS OF TARGETS IN PASSIVE AND ACTIVE RADAR IMAGING

In this thesis study, two algorithms for imaging, detection, and classification of hidden targets were developed in passive radar applications and their effectiveness was revealed with real experimental measurements. Also, the adaptation of the range-Doppler algorithm (RDA) with a new waveform has been developed to be used for focusing active radar images and its performance has been tested with simulation data and the results have been shared.

In passive millimeter-wave (PMMW) imaging systems, two different algorithms have been developed based on the automatic classification and Otsu method to be used for the detection of hidden targets. Thanks to the unique automatic classification technique based on raw data and image histograms in millimeter-wave band frequencies for human concealed weapon detection (CWD), the main disadvantages of histogram thresholding algorithms have been compensated and a two-level thresholding method has been proposed to estimate the size of the hidden object. With the threshold detection algorithm based on the Otsu method, an auto-segmentation algorithm based on the histogram features of the raw radiometric data/image was introduced. Otsu's multilevel thresholding technique has been modified to enable more accurate detection/imaging of hidden objects. The measurements at 34.5 GHz are carried out with the radiometric receiver developed within the scope of the thesis. The 94.5 GHz measurements are taken from the PMMW radiometric imaging system developed in Millimeter-Wave and Terahertz Technology Research Laboratory (MILTAL) at the Scientific and Technological Research Council of Turkey (TUBITAK) Marmara Research Center (MAM). Thanks to these two algorithms developed, weapons-like objects hidden on humans have been successfully detected.

Necessary studies have been made for the adaptation of step frequency continuous wave (SFCW) radar data to RDA for active radar imaging applications and a new SFCW based RDA focusing algorithm has been developed. RDA, which has been used to focus satellite and aircraft-based frequency modulated continuous wave (FMCW) radar data for more than half a century, was firstly developed for SFCW radar data, thereby developing a fast, effective and new focusing algorithm. Thanks to the algorithm developed for SFCW radar, the narrowband restriction in FMCW radar applications has been overcome and SFCW radar data realized in very broadband has been focused very successfully. Developed for SFCW radar, RDA has been compared with traditional FMCW-RDA and has been confirmed by simulation results that SFCW-RDA has a much higher focusing ability. Thus, with this thesis, a new effective and highly successful focusing algorithm for synthetic aperture radar (SAR) data collected by vector network analyzer (VNA) has been introduced to the literature.

Key Words: Passive Millimeter Wave (PMMW) Imaging, Synthetic Aperture Radar (SAR) Imaging, Range Doppler algorithm (RDA) based Stepped Frequency Continuous Wave (SFCW) form.

Advisor: Prof. Dr. Caner ÖZDEMİR, Department of Electrical and Electronics Engineering, University of Mersin, Mersin.

TEŞEKKÜR

Öncelikle, her Őeyin sahibi olan Allah'a bana bu imkânı tanıdığı için Őükreder, uzun ve yorucu bir çalışma neticesinde ortaya çıkan bu tezde, yoğun çalışmalar ve uzun ayrılıklarla kendisiyle ilgilenemediğim halde, sabırla her daim bana moral veren eŐime en derin duygularıyla Őükranlarımı bir borç bilirim.

Bu tez süresince beraber çalıŐtıđımız, bilgisi ve deneyimleri ile hiçbir vakit desteğini eksik etmeyen ve ortaya çıkan bu tezin tamamlanmasını sağlayan değerli hocam Sayın Prof. Dr. Caner ÖZDEMİR'e bütün hissiyatımla teşekkürlerimi arz ederim.

İleri teknoloji gerektiren tüm araştırma ve uygulamalarda imkânlarından ve yardımlarından faydalandığım TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi Malzeme Enstitüsü, Milimetre-Dalga ve Terahertz Teknolojileri Araştırma Laboratuvarları başkanı, İlhami ÜNAL ve ArŐ. Gör. Mustafa TEKBAŞ'a teşekkürlerimi sunarım. Son olarak hem maddi hem manevi yardımını ve özverisini benden eksik etmeyen kardeŐim Doç. Dr. Enes YİĞİT'e emeklerinden dolayı teşekkür ederim.

Bu çalışma Mersin Üniversitesi Bilimsel Araştırma Birimi tarafından 2017-1-TP3-2129 sayılı Proje kapsamında desteklenmiŐtir.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇ KAPAK	ii
ONAY	ii
ETİK BEYAN	iv
ÖZET	v
ABSTRACT	vi
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER	viii
TABLolar DİZİNİ	x
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
KISALTMALAR ve SİMGELER	xiii
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMALARI	6
2.1. Pasif Radar Görüntüleme	6
2.1.1. Milimetre Dalga Görüntüleme	6
2.1.2. PMMD Görüntülemenin Fiziksel Temelleri	8
2.1.3. Radyometrik Alıcı	10
2.2. Aktif Radar Görüntüleme	15
2.2.1. Uyumlu (Coherent) Aktif Radar Görüntüleme	16
2.2.2. Uyumsuz (Incoherent) Aktif Radar Görüntüleme	16
2.3. Sentetik Açıklıklı Radar (SAR)(bu kısaltma önce verildi ise burada vermene gerek yok)	16
2.3.1. SAR Çalışma Modları	16
2.3.2. Temel SAR Teorisi	17
2.4. Radar Dalga Formları	19
2.4.1. Adım Frekanslı Sürekli Dalga Formu	19
2.4.2. Doğrusal Frekans Modülasyonlu Dalga (DFMD) Formu	20
2.5. DFMD SAR Sinyali Üretimi	21
2.5.1. Uyumlu Filtre ile Darbe Sıkıştırma	21
2.5.2. Menzil Yönündeki SAR Sinyali	23
2.5.3. Azimut Yönündeki SAR Sinyali	24
2.5.4. Demodüleli Temel Bant Sinyali	24
2.6. DFMD SAR Verisi İçin MDA Uygulaması	24
2.6.1. Menzil Sıkıştırma	25
2.6.2. Azimut Fourier Dönüşümü	26
2.6.3. Menzil Hücre Göçü Düzeltmesi	28
2.6.4. Azimut Sıkıştırma	28
3. MATERYAL ve YÖNTEM	30
3.1. PMMD Görüntüleme	30
3.1.1. Pasif Milimetre Dalga Alıcı Prototip Tasarımı	30
3.1.2. Radyometrik Alıcının Kalibrasyonu	34
3.2. PMMD GÖRÜNTÜLEME ALGORİTMALARI	35
3.2.1. Pasif Radyometrik Sinyallerden Görüntü Oluşturma	35
3.2.2. Otomatik Sınıflandırma Yöntemiyle Saklı Hedef Tespiti	35
3.2.3. Genişletilmiş (Otsu Tabanlı) Oto-Sınıflandırma Metodu	38
3.3. AFSD Radar Verileri İçin MDA Temelli Özgün Odaklama Algoritması	43
3.3.1. AFSD Sinyal Modeli	43
3.3.2. AFSD Formu Kullanılarak 2B SAR Verilerinin Oluşturulması	47
3.3.3. 2B SAR Verilerine MDA Uygulaması	49
4. BULGULAR ve TARTIŞMA	54
	viii

4.1. PMMD Benzetim Çalışmaları	54
4.1.1. PMMD Küçük Metal Obje İle Benzetimi	55
4.1.2. PMMD Büyük Metal Obje İle Benzetimi	58
4.2. PMMD Deneyleri ve Sonuçları	60
4.2.1. PMMD Radyometrik Alıcısının "A" Harfi Şeklindeki Metal Hedef ile Testi	60
4.2.2. RGD ile Büyük Metal Silahlı Cansız Manken Deneyi	61
4.2.3. RGD ile Büyük Metal Silahlı Şahıs Deneyi	62
4.2.4. RGD ile Şahıs Üzerinde Saklı Küçük Silah Deneyi	63
4.2.5. Otomatik Sınıflandırma Algoritması Deneyleri ve Sonuçları	64
4.2.6. Genişletilmiş Otomatik Sınıflandırma Algoritması Deneyleri	70
4.3. Aktif Radar Benzetim Çalışmaları	76
4.3.1. Yeni Geliştirilen MDA'nın AFSD Tabanlı Benzetim Sonuçları	76
4.3.2. Noktasal Hedef Analizleri	80
5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER	84
KAYNAKLAR	86
ÖZGEÇMİŞ	92



TABLULAR DİZİNİ

	Sayfa
Tablo 3.1. PMMD alıcı bileşenleri ve parametre değerleri	32
Tablo 3.2. DFMD ve AFSD tabanlı MDA parametrelerinin karşılaştırılması	52
Tablo 4.1. Segmentasyon için eşik değerleri.	75
Tablo 4.2. Ölçülen görüntü kalitesi parametrelerinin karşılaştırılması.	82



ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1. Wilkinson microwave anisotropy probe (WMAP) uydusunun toplamış olduğu, dokuz yıllık verilerden oluşturulan KAR'a ait ayrıntılı görüntü [86].	7
Şekil 2.2. EM dalgaların atmosferde zayıflaması [12].	8
Şekil 2.3. Kara cisim soğurması.	9
Şekil 2.4. KAR'a ait termal sıcaklık tepe değerinin frekansa bağlı spektral ışım grafiği.	10
Şekil 2.5. Dış ortamda bulunan bir insan üzerindeki KAR aydınlatması. Açık renkler düşük, koyu renkler ise yüksek sıcaklık değerlerini göstermektedir.	13
Şekil 2.6. Toplam gücü ölçen radyometrik alıcı.	14
Şekil 2.7. Teflon lensli yarı optik görüntüleme sistemi.	14
Şekil 2.8. (a) Tek alıcı ile 2B tarama, (b) 1B alıcı dizisi ile tek eksen tarama, (c) 2B alıcı dizisi ile tek seferde tarama sistemleri.	15
Şekil 2.9. (a) Gerçek açıklıklı tek bir anten (b) N elemanlı sentetik açıklıklı anten.	17
Şekil 2.10. Temel SAR operasyonu geometrisi	18
Şekil 2.11. Adım frekanslı dalga formu.	20
Şekil 2.12. (a) Doğrusal FM sinyali, (b) Doğrusal FM sinyalinin zaman-frekans gösterimi.	21
Şekil 2.13. Uyumlu filtre sonrası sıkıştırılmış menzil profili.	22
Şekil 2.14. MDA kullanarak SAR görüntü oluşturma adımları.	25
Şekil 2.15. Azimut işlemi için 2B SAR geometrisi.	27
Şekil 3.1. PMMD alıcı bileşenleri: (a) Tasarım görüntüsü, (b) Ön montaj görüntüsü.	31
Şekil 3.2. PMMD alıcısının montaj sonrası: (a) bileşen katı, (b) besleme katı ve (c) perspektif görüntüsü.	33
Şekil 3.3. PMMD algılayıcı sistemi.	34
Şekil 3.4. PMMD verileri için saklı hedef bulma ve görüntü oluşturma algoritması.	36
Şekil 3.5. PMMD görüntüleme için önerilen OTSU tabanlı otomatik sınıflandırma yöntemi.	42
Şekil 3.6. 2B SAR görüntüleme sistem geometrisi.	49
Şekil 3.7. AFSD-SAR için MDA akış şeması.	53
Şekil 4.1. Simülasyon için farklı boyutlarda metal objeler.	54
Şekil 4.2. Yapay insan modelleri.	55
Şekil 4.3. (a) Şekil 4.2.(b)'deki yapay insan modeline şekil 4.1.(b)'deki metal objenin eklenmesi ile elde edilen benzetim verisine ait görüntü. (b) Görüntüye ait histogram (c) Kenar algılama algoritması sonucu (d) Hedef tespiti.	56
Şekil 4.4. (a) Şekil 4.3.(a)'ya gürültü eklenip, filtreden geçirilmesiyle elde edilen yeni görüntü (b) Şeklin 3B gösterimi (c) Şekle ait histogram (d) Şeklin kenar algoritmasından geçirilmiş hali (e) Kenar algoritmasından geçirilmiş şeklin 200 değeriyle eşiklenmiş hali (f) Şekil 4.4.(a)'daki görüntü üzerine Şekil 4.4.(e)'nin çizilmesiyle hedefe ait görüntünün elde edilmesi.	57
Şekil 4.5. (a) Şekil 4.2.(b)'deki yapay insan modeline Şekil 4.1.(d)'deki metal objenin eklenmesi ile elde edilen benzetim verisine ait görüntü. (b) Görüntüye ait histogram (c) Kenar algılama algoritması sonucu (d) Hedef tespiti.	58
Şekil 4.6. (a) Şekil 4.5.(a)'ya gürültü eklenip, filtreden geçirilerek elde edilen yeni görüntü (b) Şeklin 3B gösterimi (c) Şekle ait histogram (d) Şeklin kenar algoritmasından geçirilmiş hali (e) Kenar algoritmasından geçirilmiş şeklin 200 değeriyle eşiklenmiş hali (f) Şekil 4.6.(a)'daki görüntü üzerine Şekil 4.6.(e)'nin çizilmesiyle hedefe ait görüntünün elde edilmesi.	59
Şekil 4.7. (a) "A" harfi şeklinde metal plaka (b) RGD ham görüntü verisi (c) Görüntüye ait histogram (d) Metal plakanın PMMD görüntüsü.	61
Şekil 4.8. (a) Cansız manken üzerinde gizlenmiş büyük metal silah (b) RGD ham görüntü verisi (c) Görüntüye ait histogram (d) Manken üzerinde tespit edilmiş hedef ve görüntüsü.	62

Şekil 4.9. (a) Şahıs üzerinde saklı olmayan büyük metal silah (b) RGD ham görüntü verisi (c) Görüntüye ait histogram (d) Şahsın üzerinde tespit edilmiş hedef ve görüntüsü.	63
Şekil 4.10. (a) Şahıs üzerinde gizlenmiş küçük silah (b) RGD ham görüntü verisi (c) Görüntüye ait histogram (d) Şahıs ve üzerinde gizlenmiş küçük silaha ait PMMD görüntüsü.	64
Şekil 4.11. Resimler üç farklı senaryoyu içermekte ve resimdeki kişiye ait (a) büyük saklı metal obje, (b) küçük saklı el tabancası ve (c) saklı hedef içermeme durumlarını temsil etmektedir.	65
Şekil 4.12. (a) Montun altına gizlenmiş büyük metal obje (b) Kazak altına gizlenmiş küçük metal obje (c) Metal obje yok.	66
Şekil 4.13. Şekil 4.14.'deki görüntülerin sırasıyla 0-50 genlik seviyesine sahip piksellerin gösterimi. Siyah renkler 0-50 genlik değerini beyaz renkler 50-255 arasını temsil etmektedir.	66
Şekil 4.14. Sırasıyla piksel aralığı 50-100 genliğine sahip görüntüler.	66
Şekil 4.15. Piksel aralığı 100-150 genliğine sahip görüntüler.	67
Şekil 4.16. Piksel aralığı 150-200 genliğine sahip görüntüler.	67
Şekil 4.17. Piksel aralığı 200-250 genliğine sahip görüntüler.	67
Şekil 4.18. Sırasıyla şekil 4.12'deki görüntülere ait 0-255 aralığındaki histogram değerleri.	68
Şekil 4.19. Sırasıyla şekil 4.12'deki görüntülere ait 100-255 aralığındaki histogram değerleri.	68
Şekil 4.20. Sırasıyla şekil 4.12'deki görüntülere ait 150-255 aralığındaki histogram değerleri.	69
Şekil 4.21. Sırasıyla şekil 4.12'deki görüntülere ait 200-255 aralığındaki histogram değerleri.	69
Şekil 4.22. Önerilen algoritma ile hedef tespiti yapılmış nihai görüntüler.	69
Şekil 4.23. Resimler üç farklı senaryoyu içermektedir. Resimdeki kişiye ait (a) büyük saklı silah, (b) küçük saklı el tabancası ve (c) nesne içermeme durumlarını temsil etmektedir.	71
Şekil 4.24. Ham PMMD görüntüleri (a) büyük saklı silah, (b) küçük saklı el tabancası ve (c) nesne içermeyen durumlar.	71
Şekil 4.25. (a) Büyük saklı silaha ait histogram (b) Orijinal PMMD görüntüsü ve Otsu algoritması kullanılarak elde edilmiş histogram eşik değerleri kullanılarak kenarları çizilmiş görüntüler.	72
Şekil 4.26. (a) Küçük saklı el tabancasına ait histogram (b) Orijinal PMMD görüntüsü ve Otsu algoritması kullanılarak elde edilmiş histogram eşik değerleri kullanılarak kenarları çizilmiş görüntüler.	73
Şekil 4.27. (a) Saklı hedefin olmadığı duruma ait histogram (b) Orijinal PMMD görüntüsü ve Otsu algoritması kullanılarak elde edilmiş histogram eşik değerleri kullanılarak kenarları çizilmiş görüntüler.	74
Şekil 4.28. Hedef tespiti gerçekleştirilmiş PMMD görüntüleri; (a) tespit edilmiş büyük saklı silah, (b) küçük saklı el tabancası ve (c) hedef yok durumları.	75
Şekil 4.29. Benzetimde kullanılan altı hedefe ait konumlar.	77
Şekil 4.30. AFSD formu kullanılarak elde edilen ham 2B SAR görüntüsü.	77
Şekil 4.31. Sıkıştırılmış menzil-zaman ve azimut-zaman SAR görüntüsü.	78
Şekil 4.32. Azimut FD'den sonra menzil-zaman Doppler SAR verisi.	78
Şekil 4.33. MHG düzeltilmiş menzil-zaman Doppler SAR verisi.	79
Şekil 4.34. MDA kullanılarak yeniden yapılandırılmış (a) AFSD sinyal formulu ve (b) DFMD sinyal formulu 2B SAR görüntüsü.	79
Şekil 4.35. T3 hedefinin etrafındaki SAR kontur görüntüleri: (a) AFSD sinyal formulu ve (b) DFSD sinyal formulu.	80
Şekil 4.36. (a) Noktasal hedef T3'ün 50 m azimuttaki menzil profili, (b) Noktasal hedef T3'ün 300 m menzildeki azimut profili.	81
Şekil 4.37. (a) AFSD-MDA'nın enerji menzil profili, (b) AFSD-MDA'nın enerji azimut profili, (c) DFMD-MDA'nın enerji menzil profili, (d) DFMD-MDA'nın enerji azimut profili.	83

KISALTMALAR ve SİMGELER

Kısaltma/Simge	Tanım
1B	Bir boyutlu
2B	İki boyutlu
AF	Adım frekans
AFSD	Adım frekanslı sürekli dalga
AS	Azimut sıkıştırma
BB-TYLO	Bir boyutlu -tümleşik yan lob oranı
GİA	Geriye-izdüşüm algoritması
CÖA	Cıvıltı ölçekleme algoritması
DFİ	Durağan faz ilkesini
DFM	Doğrusal frekans modüleli
DGY	Düşük gürültülü yükselteç
DS	Darbe sıkıştırma
DTF	Darbe tekrarlama frekansı
DYG	Darbe yanıt genişliği, -3dB
EM	Elektromanyetik
FD	Fourier dönüşümü
HFD	Hızlı Fourier dönüşümü
FM	Frekans modülasyonu
FMSD	Frekans modüleli sürekli dalga
THFD	Ters hızlı Fourier dönüşümü
KAGR	Küçük açıklıklı gerçek radar
KAR	Kozmik arka plan radyasyonu
MAM	Marmara Araştırma Merkezi
MDA	Menzil Doppler algoritması
MHG	Menzil hücre göçü
MHGD	Menzil hücre göçü doğrultma
MS	Menzil sıkıştırma
PMMD	Pasif milimetre dalga
RADAR	(Radio Detecting And Ranging; Radyo dalgaları ile algılama ve mesafe tayini)
RGD	Radyometrik görüntüleme düzeneği
SAR	Sentetik açıklıklı radar
SGO	Sinyal-gürültü oranı
SST	Saklı silah tespiti
SYAO	Sabit yanlış alarm oranı
ŞH-SAR	Şerit harita SAR
TFD	Ters Fourier dönüşümü
TUBITAK	Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu
TYLO	Tepe / yan lob oranı, dB
TSAR	Ters SAR
UF	Uyumlu filtre
ω -kA	Frekans dalga sayısı algoritması
YDT	Yüksek dereceli terimler
A_0	Noktasal hedefin genliği
b	Wien yer değiştirme sabiti
B	Bant-genişliği
B_i	AFSD geri saçılan sinyal genliği
B_v	Planck spektral ışınması
c	Vakum ortamındaki ışık hızı
$C_i(f_i, \Phi)$	Demodüleli kompleks faz bileşeni, AFSD sinyali için

E^S	Demodüleli kompleks faz vektörü, AFSD sinyali için
f	Frekans
f_c	AFSD MDA için yeni frekans değeri
f_τ	Menzil frekansı
f_η	Azimut frekansı
$g_\tau(\tau)$	Ortamin yansıtırlılık fonksiyonu
G	Radyometrik alıcı kazancı
h	Planck sabiti
$H(z)$	Histogram
$H_a(f_\eta)$	AFSD azimut uyumlanmış filtre
$I(x, y)$	Normalize edilmiş 2B pasif radar verisi
$I_i(f_i, \Phi)$	Demodüleli sinyal için eş faz ifadesi, AFSD sinyali için
J	Birim metrekaire başına düşen güç
$J(x, y)$	Eşiklendirilmiş 2B pasif radar imajı
k_B	Boltzmann sabiti
K	Doğrusal menzil FM oranı
K_a	DFMD sinyalinin doğrusal azimut FM oranı
K'_a	AFSD sinyalinin doğrusal azimut FM oranı
$K(x, y)$	Pasif radar muhtemel hedefe ait kenar algılanmış imaj
L_a	Azimut eksenindeki anten genişliği
L	Gri-seviye değeri
N	Toplam piksel sayısı
P	Radyometrik alıcısının çıkış gücü
P_i	Olasılık fonksiyonu
P_{S-emt}	T_S sıcaklığına sahip bir yıldızın toplam gücü
P_{SE}	Yıldız tarafından D mesafedeki gezegene ulaşan güç
$Q_i(f_i, \Phi)$	Demodüleli sinyal için tümlev faz ifadesi, AFSD sinyali için
R	Radardan hedefe olan uzaklık
R_a	Noktasal hedefe olan uzaklık
$R(\eta)$	Anlık azimut zamanına karşılık gelen eğik menzil mesafesi
$s_r(\tau)$	Geri yansıyan DFMD sinyali
$s_r(\tau, \eta)$	DFMD 2B SAR verisi
$s_0(\tau, \eta)$	DFMD demodüleli 2B SAR verisi
$s_{rc}(\tau, \eta)$	DFMD menzil sıkıştırılmış 2B SAR verisi
$s(t)$	DFMD sinyal formu
$s_{rec}(t)$	Alıcı tarafından alınan DFMD sinyali
$s_{out}(t)$	Uyumlanmış filtreden geçirilen DFMD sinyali
$s_{pul}(\tau)$	DFMD gönderilen sinyal
$s_a(\eta)$	DFMD azimut sinyali
$s_{afrc}(\tau, f_\eta)$	DFMD azimut FD 2B SAR verisi
$s_{rcmc/afrc}(\tau, f_\eta)$	DFMD menzil hücre göçü doğrultulmuş 2B SAR verisi
$s_{rcmc/acrc}(\tau, f_\eta)$	DFMD MHGD sinyalinin azimut sıkıştırılmış 2B SAR verisi
$s_{ra}(\tau, \eta)$	DFMD odaklanmış SAR verisi
$s_{pul}(f_i, t)$	AFSD darbe sinyal formu
$S_r(f_i, t, \Phi)$	AFSD geri saçılan sinyal
S_τ	AFSD sinyali, zaman düzleminde
S'_τ	Faz telafili AFSD sinyali, zaman düzleminde
$S'(\tau, \eta)$	2B AFSD SAR verisi
$S'(\tau, f_\eta)$	2B AFSD SAR verisi, menzil-Doppler düzlemi
$S'(\tau, f_\eta)_{rcm}$	AFSD menzil hücre göçü doğrultulmuş 2B SAR verisi

$S'(\tau, \eta)_{ac_rcm}$	AFSD MHGD sinyalinin azimut sıkıştırılmış odaklı 2B SAR verisi
t	Zaman değişkenini
t_d	Hedefe ait zaman gecikmesi
T	DFMD formunun darbe uzunluğu
T_A	Alıcı anten giriş sıcaklığı
T_E	Eşikleme seviyesi
T_K	Kelvin cinsinden sıcaklık değeri
T_{otsu}	Otsu eşik değeri
v	EM dalganın yayılım ortamındaki hızı
V_x	Radarin azimut yönündeki hızı
$w_\tau(\tau)$	DFMD sinyali menzil zarfı
$w_a(\eta)$	DFMD ya da AFSD sinyali azimut zarfı
Δf	Frekans adım genişliği
Δr	Menzil çözünürlüğü
$\Delta R(f_\eta)$	Menzil hücre göçü düzeltmesi
Δt	Zaman eksenindeki çözünürlük
Δx	Çapraz menzil çözünürlüğü
$\Delta \theta$	Radarı anteninin açısal demet genişliği
δx	AFSD menzil çözünürlüğü
δy	AFSD azimut çözünürlüğü
σ	Stefan-Boltzmann sabiti
τ	Menzil zamanı
λ	Dalga boyu
η	Azimut zamanı
Φ	AFSD geri saçılan sinyal ile hedef arasındaki zaman farkı
θ_{bw}	Radarı anteninin hüzme genişliği
w_M	Kümülatif olasılık
μ_M	Ortalama seviye değeri
σ_B	Varyans değeri

1. GİRİŞ

Herhangi bir ortam veya nesne hakkında, belirli bir güvenli uzaklık mesafesinden bilgi edinebilmede kullanılan en temel kavram uzaktan algılamadır. Radar teknolojileri ile uzaktan algılama işlemleri en temelde aktif ve pasif olarak ikiye ayrılmaktadır. Aktif algılamada hedefe doğru yönlendirilen bir enerji kaynağından söz edilirken, pasif algılamada doğada var olan enerjinin hedeften saçılımı ile ilgilenilmektedir. Gelişen teknolojiyle birlikte, ihtiyaçlar artmış ve aktif ya da pasif uzaktan algılama sistemlerinde de yenilikçi çözüm arayışları hız kazanmıştır. Bu tez kapsamında aktif ve pasif görüntüleme uygulamalarına yönelik yeni algoritmalar sunulmuş ve bazı algoritmaların geliştirilmesine katkı sağlanmıştır.

Pasif milimetre dalga (PMMD, Passive Millimeter Wave-PMMW) görüntüleme teknolojisi, milimetre dalga boyu bandında doğada var olan pasif elektromanyetik radyasyonun algılanması ile iki boyutlu (2B) görüntülerin oluşturulmasına dayanan bir teknolojidir [1, 2]. Var olan bu doğal radyasyonun ana kaynağı; Big Bang'ten [3] kalan ısı olarak adlandırılan kozmik arka plan radyasyonu (KAR, Cosmic Background Radiation-CBR) ya da sıcaklığı 0 K' den büyük olan her cisim ışıma yapar kaidesine göre vücuttan yayılan termal radyasyondur [4]. PMMD görüntülemenin önemli uygulamalarından biri, şüphesiz havaalanları ve diğer kontrol noktalarındaki gizlenmiş silahların tespitidir [5, 6]. Son yıllarda, birçok araştırmacı PMMD görüntülemenin, silah, bıçak, patlayıcılar gibi saklı nesnelere tespit etmek ve görüntülemek için etkili bir yöntem olabileceğini göstermişlerdir [7, 8]. Milimetre dalga frekanslarındaki aktif görüntüleme sistemleri yakındaki insanlara zararlı olma potansiyeline sahipken, PMMD görüntüleme teknolojisi, PMMD alıcısının sadece pasif ve iyonlaştırıcı olmayan radyasyonu toplaması nedeniyle saklı silahların veya silah unsurlarının tamamen güvenli bir şekilde algılanmasını sağlamaktadır [9, 10]. PMMD teknolojisinin bir diğer önemli avantajı, KAR'ın çalışma frekansı diğer radar frekanslarından çok daha yüksek olduğu için ve bu sayede birçok ortamdaki sorunsuz bir şekilde geçebileceği için neredeyse tüm uygun olmayan hava, kar, yağmur, sis ve ateş gibi olumsuz koşullarda da çalışabilmesidir [11, 12]. Bunların dışında; aktif radar alıcılarının aksine PMMD alıcısı, ortamdaki KAR sayesinde tüm yönlerden aydınlatılan hedeflerden geri saçılan radyasyonu toplayıp işleme prensibine göre çalışmaktadır. Geri yansıyan radyasyon hedefe ait neredeyse tüm bilgileri içerdiğinden hedefe ait; sınıflandırma, özellik çıkarma ve diğer sinyal işleme işlemleri daha detaylı yapılabilmektedir.

Son on yılda, birçok kişi tarafından PMMD görüntüleme sorunlarına yönelik önemli katkılar sunulmuştur. Bunlardan; Kapilevich ve arkadaşları [13], insan vücudunda gizlenmiş metalik ve metalik olmayan nesnelere uzaktan tespit etmek için taşınabilir bir pasif milimetre dalga sensörü tasarlamışlardır. Sistemleri oldukça küçük ve hafif olmasına rağmen yalnızca

sahnenin bir boyutlu (1B) A taramasını yapmaktaydı. Bu nedenle, 2B görüntü oluşumu mümkün olamamıştır. Zheng ve arkadaşları [14], 2B sentetik diyafram interferometrik radyometre tekniğine dayanan 8 mm dalga boyuna sahip pasif görüntüleyici geliştirdiler. Çözünürlüğü arttırmak ve görüntü işleme süresini azaltmak için 2B anten dizisini kullanmışlardır. Diğer yandan; bu yapılandırma, sistemin tüm donanım karmaşıklığını arttırmaktadır. Nötel ve arkadaşları [15], dört Dicke tipi heterodin alıcısı [16] sayesinde tarama süresini azaltma yeteneğine sahip dört kanallı 94 GHz PMMD görüntüleme sistemi sunmuşlardır. Ancak görüntüleri alıcılar arasında alınan genlik seviyesindeki farklılıklar nedeniyle bazı yatay parazitlere maruz kalmaktadır. Şüphesiz, sinyal işleme ve görüntü işleme algoritmaları başarılı bir PMMD görüntüsü oluşturmada çok önemli bir rol oynamaktadır. Birçok bilim adamı, ham pasif görüntüyü ön işleme, gürültüden arındırma, görüntü özelliklerini iyileştirme ve füzyon çalışmaları konularında çeşitli çalışmalar yürütmüşlerdir. Bunlardan bazıları; Wiener filtreleme [17], dalgacık tabanlı yöntemler [18] ve süper çözünürlük teknikleri [19, 20] gibi görüntü restorasyon teknikleri, PMMD görüntüleme uygulanan temel yöntemlerdendir. En çok ilgi gören teknik, gizli nesnelere görüntünün diğer kısımlarından ayırmak için kullanılan eşikleme prosedürüdür [21]. Diğer teknikler ise, segmentasyon yöntemleri olarak adlandırılmaktadır: Seviye ayarlı segmentasyon algoritması [22], normalize edilmiş kesim segmentasyon algoritması [23] ve rastgele yürüyüş segmentasyon algoritması [24] bunlardan bir kısmıdır. Bunların dışında, desen tanıma [25] ve sabit yanlış alarm oranı (SYAO, Constant False Alarm Rate-CFAR) [26] gibi model tabanlı algoritmalar da kullanılmıştır. Son olarak, görüntü-histogram tabanlı yöntemler PMMD görüntü algoritmalarında etkili bir şekilde uygulanmıştır [27, 28].

Bu tez kapsamında yapılan ilk çalışmada, pasif saklı silah tespiti (SST, Concealed Weapon Detection-CWD) için milimetre-dalga bant frekanslarında ham verilerin toplanması, toplanan ham verilerden görüntünün oluşturulması ve sonrasında oluşturulan görüntünün histogramı kullanılarak özgün otomatik sınıflandırma yapılması tekniğidir [29, 30]. Histogram eşikleme algoritmalarının ana dezavantajlarının üstesinden gelmek ve saklı nesnenin boyutunu tahmin etmek için iki seviyeli bir eşikleme yöntemi önerilmiştir. Önerilen yöntem sayesinde şahıs üzerindeki saklı nesnelere başarılı bir şekilde tespit edilebildiği gösterilmiştir.

Geliştirilen ilk teknik, ham radyometrik verilerin/görüntünün histogram özelliklerine dayanan bir oto-segmentasyon algoritmasına dayanmaktadır. Gizli metal tehdidinin büyüklüğünü tahmin etmek için iki seviyeli eşik değerinin otomatik segmentasyon algoritmasına bağlı olarak birinin seçilmesi ve önceden belirlenen bu değere göre eşikleme işleminin yapılması gerekmektedir. Bu algoritma PMMD görüntülerinin başarılı bir şekilde algılanmasını ve görüntülenmesini sağlayabilse de saklı nesnelere türü ve boyutunu belirleyebilecek şekilde daha iyi çözümlenmiş görüntü bölümlenme sonuçlarına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu nedenle tezin ikinci

çalışmasında, ilk geliştirilen otomatik bölümlenme algoritmasına, gizli nesnelerin daha doğru bir şekilde algılanmasını/görüntülenmesini mümkün kılacak şekilde Otsu'nun çok düzeyli eşikleme tekniği [31] yerleştirilerek yeni ve çok eşikli otomatik bölümlenme PMMD algılama/görüntüleme algoritması geliştirilmiştir [32]. Geliştirilen her iki yöntemde de gerçek PMMD verileri üzerinde test edilmiş ve oldukça yüksek çözünürlüklü PMMD görüntüleri elde edilerek SST başarıyla gerçekleştirilmiştir.

Bu tez çalışmasının üçüncü konusu ise, aktif radar uzaktan algılama için sentetik açıklıklı radar (SAR, Synthetic Aperture Radar-SAR) sistemlerine yönelik bir çalışmayı içermektedir. Aktif görüntüleme kullanılan ham SAR verileri, azimut-zaman ekseninde toplanmakta ve bu veriler hiperbolik bozulmaya uğramaktadır [33, 34, 35]. Bu nedenle, azimut-zaman eksenini boyunca hedeflere odaklanma problemi ortaya çıkmaktadır. Literatürde bu problemi aşmak ve yüksek çözünürlüklü SAR görüntüleri oluşturmak için etkili standart odaklama algoritmaları geliştirilmiştir [36-43]. Bu algoritmalar, menzil Doppler algoritması (MDA, Range-Doppler Algorithm-RDA) [36, 37], cıvıltı ölçekleme algoritması (CÖA, Chirp Scaling Algorithm-CSA) [38, 39], frekans dalga sayısı algoritması (ω -kA) [40, 41] ve geriye-izdüşüm algoritmalarıdır (GİA, Back Projection Algorithm-BPA) [42, 43]. Odaklanmamış SAR verilerini kullanan bu algoritmaların, görüntüleme sahnesinde bulunan herhangi bir hedef noktanın gerçek konumuna taşınmasında etkili oldukları kanıtlanmıştır. Tüm bu algoritmalar ilk olarak, doğrusal frekans modüleli (DFM, Linear Frequency Modulation-LFM) sinyaller ve literatürde cıvıltı (Chirp) darbe dalga formu ya da frekans modüleli sürekli dalga (FMSD, Frequency-Modulated Continuous Wave-FMCW) formu olarak isimlendirilen sinyaller için geliştirilmiştir. SAR uygulamalarında genellikle yüksek hızlarda hareketli platformlar (uydu, uçak, uzay aracı gibi) kullanılmaktadır. Yüksek hızlarda görüntülemenin yapılabilmesi için, küçük bir darbe süresi ile yeterince geniş frekans bant aralığı gerekmektedir. Bu nedenle Cıvıltı darbe dalga formulu [44] sinyalin kullanımı tercih edilmiştir. Bu dalga formu; yüksek çözünürlük, yüksek iletim gücü ve hızlı veri toplama yeteneği gibi çekici özelliklere sahip olduğundan pratik olarak çok yararlıdır. Ancak cıvıltı darbe dalga formundaki frekans bant genişliğinin artırılması, elektronik donanım kısıtlamaları nedeniyle sınırlıdır. Ayrıca, pratikte bu sinyalin Fourier düzlemindeki frekans cevabı tamamen düz olmamaktadır. Öte yandan, adım frekanslı sürekli dalga (AFSD, Stepped-Frequency Continuous Wave-SFCW) formulu radar uygulamalarının birçok avantajı bulunmaktadır [45]. İlk olarak, anlık dar bant genişliğine sahip olan AFDS sinyali; gelişmiş alıcı gürültü değeri, yüksek alıcı hassasiyeti ve dinamik bir aralık sağlamaktadır. İkincisi, uzun menzillere çıkılabilmesini mümkün kılan yüksek güç iletim yeteneğine sahip olmasıdır. Üçüncüsü, AFDS sinyalli radar sensörü aynı anda yalnızca bir frekans ilettiğinden ötürü, alınan geri saçılmış sinyalin çok doğru bir şekilde işlenebilmesine olanak tanımaktadır. Son olarak, alıcı sinyal frekansı ile verici sinyal

frekansı tam olarak eşleştiği için çok iyi bir sinyal-gürültü oranına (SGO, Signal-to-Noise Ratio-SNR) sahiptir. Bir AFSD radar sisteminin temel dezavantajları ise şunlardır: AFSD alıcı ve verici elektronik donanım uygulaması karmaşık olduğundan dolayı genellikle tasarımları kolay olmamakta ve bu sebeple pahalı olmaktadır. Ayrıca, AFSD alıcısının veri toplama hızı cıvıltı/DFM/FMSD alıcısına göre daha yavaştır çünkü toplam entegrasyon süresi her bir frekans darbesini ayrı ayrı gönderip işlendiğinden ötürü daha uzun olmaktadır.

MDA, ilk bulunuşundan ve 1978'de Seasat SAR misyonunda kullanılmasından [33, 46] sonra, ham SAR verilerini odaklamak için standart ve en yaygın olarak kullanılan yeniden yapılandırma algoritması haline gelmiştir [47, 50]. MDA başlangıçta, cıvıltı darbe iletim sinyali kullanılarak, Seasat'ın SAR görüntüsünü yeniden oluşturmak için geliştirilmiştir. Öte yandan MDA zaman bölgesine dayalı bir teknik olarak kabul edilebilir ve bu nedenle AFSD sinyalleri ile kolayca kullanılamaz. Literatürde, benzetimi yapılmış veya ölçülmüş AFSD tabanlı MDA kullanımı yoktur. Bu nedenle, AFSD sinyalinin avantajlarından yararlanmak için AFSD sinyalli MDA uygulanmasına ihtiyaç vardır. Böylece daha iyi çözümlenmiş SAR görüntüleri, MDA'nın odaklama üstünlüğü ile birlikte AFSD'nin geniş bant ve iyi SGO özellikleri birleştirilerek yeniden oluşturulabilir. Bu amaç için, bu çalışma boyunca DFM-MDA formülasyonuna kıyasla algoritmanın tüm ayrıntılı adımları sunularak MDA'nın AFSD tabanlı uygulaması formüle edilmiştir. Önerilen algoritma sunulurken, yeni uygulamanın geleneksel DFM-MDA'ya benzerliği matematiksel olarak gerçekleştirilmiş ve iki dalga formu arasındaki farklar gösterilmiştir. Elde edilen sonuçlar, geliştirilen AFSD-MDA'nın oldukça başarılı odaklama kabiliyetine sahip olduğunu ortaya koymuştur.

Pasif ve aktif radar görüntüleme hedeflerin tespiti ve odaklanmasına yönelik yeni algoritmaların geliştirilmesinin amaçlandığı bu tezde, özgün olarak:

- PMMD görüntülerin elde edilmesi için 34.5 GHz bandında radyometrik alıcı sistemi tasarlanmış,
- Tasarlanan PMMD alıcısı, tarayıcı düzeneğe yerleştirilebilmesi için gerekli olan güç sistemi, soğutma sistemi, anten ve kutulama işlemleri tamamlanarak düzeneğe yerleştirilerek prototipi oluşturulmuş,
- PMMD görüntüleme düzeneğinin kalibrasyonu yapılmış,
- Canlı ve cansız mankenler üzerinde görüntüleme deneyleri yapılmış,
- İnsan üzerindeki hedeflerin tespitinin yapılabilmesi için PMMD verilerinde kullanılmak üzere iki seviyeli bir eşikleme yöntemi olan otomatik hedef tespit ve sınıflandırma algoritması geliştirilmiş,
- İnsan üzerinde saklı nesnelerin PMMD ile tespit edilmesine yönelik, çift aşamalı ve bu aşamalara ait eşik değerler Otsu yöntemi kullanılarak geliştirilmiş,

- AFSD tabanlı MDA odaklama algoritması literatürde ilk kez bu tez kapsamında geliştirilmiş, etkinliği noktasal hedef analizi yöntemi ile doğrulanmış ve literatürde var olan DMSD tabanlı MDA odaklama algoritması ile kıyaslanmıştır.

Tezin genel akışı şu şekildedir: İkinci bölümde PMMD görüntüleme ve aktif görüntüleme için literatürde mevcut teknik ve yöntemlerden bahsedilerek mevcut yöntemlerin avantaj ve dezavantajları ortaya konulmuştur. Üçüncü bölümde, tasarlanan radyometrik alıcının üretim aşamaları ayrıntıları ile verilirken, geliştirilen iki adet hedef tespit algoritmasının (otomatik sınıflandırma ve çift aşamalı otsu) formülasyonları verilmiştir. Aktif radar uygulamalarına yönelik, hem geleneksel MDA'nın hem de bu tezde geliştirilen AFSD-MDA'nın formülasyonu karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Dördüncü bölümde, üçüncü bölümde üretilen radyometrik alıcı ile uygulamalar yapılmış ve yine üçüncü bölümde geliştirilen iki farklı hedef tespit algoritmaları ile hedefler başarılı bir şekilde tespit edilmiştir. Ayrıca, geliştirilen AFSD-MDA, benzetim verileri ile test edilmiş ve geleneksel DFM-MDA ile kıyaslanarak, etkinliği ve üstünlüğü ispatlanmıştır. Son bölümde ise, bu tezde yapılan tüm çalışmalar değerlendirilerek tezin literatüre katkısı açıkça gösterilmiştir.

2. KAYNAK ARAŞTIRMALARI

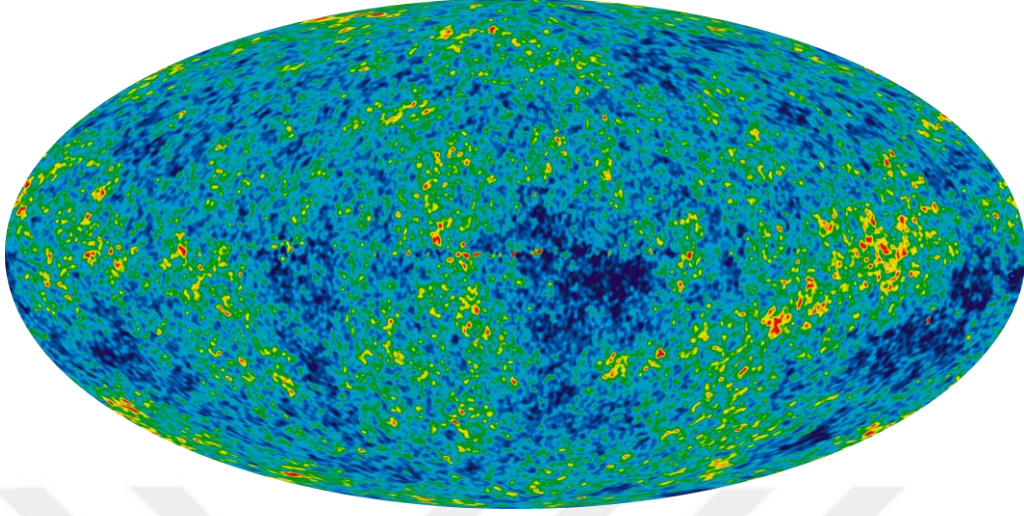
2.1. Pasif Radar Görüntüleme

Pasif görüntüleme sistemleri, herhangi bir radyasyon yaymadan hedef tespiti yapabilen görüntüleme sistemlerine verilen genel isimdir [1, 2]. EM dalgaların kullanıldığı RADAR (Radio Detecting and Ranging; Radyo dalgaları ile algılama ve mesafe tayini) sistemleri, son yarım yüzyılda kullanılan en popüler algılama ve görüntüleme sistemlerinden biridir. Pasif radar görüntüleme sisteminde, benzer olarak herhangi bir EM ışın kaynağı kullanmadan, hedefin kendi yaymış olduğu veya yansıttığı EM ışın enerjisi kullanılmaktadır [51]. Bununla birlikte her türlü optik tabanlı kamera sistemi, termal kameralar vb. teknolojiler pasif görüntüleme sistemleri arasında yer almaktadır. Pasif görüntüleme herhangi bir aktif kaynak kullanılmaması ve hedefe zararı olmaması nedeniyle çok geniş kullanım alanına sahip olduğu görülmektedir [3].

2.1.1. Milimetre Dalga Görüntüleme

PMMD görüntüleme teknolojisi, milimetre dalga frekans bantlarında doğal pasif EM radyasyonun tespiti ile 2B görüntü oluşturmaya dayanmaktadır [52]. Bu radyasyonun ana kaynağı, büyük patlamadan kalan ısının şekil 2.1.'de verilen KAR şeklinde yayılımı ve sıcaklığı $0 K'$ den büyük olan her cisim yaydığı radyasyon olarak gösterilebilir [3]. Alıcının çalışma frekansını kullanılacak ışın kaynağı belirlemektedir. PMMD görüntülemenin önemli uygulamalarından biri, şüphesiz havaalanları ve diğer kontrol noktalarındaki gizli silahların tespitidir [53]. Son yıllarda, birçok araştırmacı PMMD görüntülemenin, silah, bıçak, dielektrik patlayıcılar gibi gizlenmiş tehlikeli nesnelere tespit etmek ve görüntülemek için zararsız kullanıma sahip etkili bir yöntem olduğunu göstermişlerdir [54]. Her ne kadar milimetre dalga frekanslarındaki aktif görüntüleme sistemleri yakındaki insanlara zarar verme potansiyeline sahip olsa da PMMD görüntüleme teknolojisi, PMMD alıcısının sadece pasif, iyonlaştırıcı olmayan radyasyonu hedeflerden toplaması ile gizlenmiş silahların tamamen güvenli bir şekilde algılanmasını sağlamaktadır. PMMD teknolojisinin bir diğer önemli avantajı, KAR'ın frekansı diğer radar frekanslarından çok daha yüksek olduğundan ve bu da onun ortamlardan geçerken herhangi bir sorun yaşamadan geçebilmesine olanak tanıdığından; kar, yağmur, sis ve yangın gibi neredeyse tüm istenmeyen hava koşullarında çalışabilmesidir [11, 12]. Bunun dışında; Aktif radar alıcılarından farklı olarak, PMMD alıcısı, ortamdaki KAR sayesinde hedeften neredeyse tüm açılarda geri saçılan EM dalgaları toplama kabiliyetine sahiptir. Çünkü KAR, ortamdaki engellerin etrafındaki çoklu yansımalar nedeniyle hedefi neredeyse tüm açılardan aydınlatabilmektedir. Bu

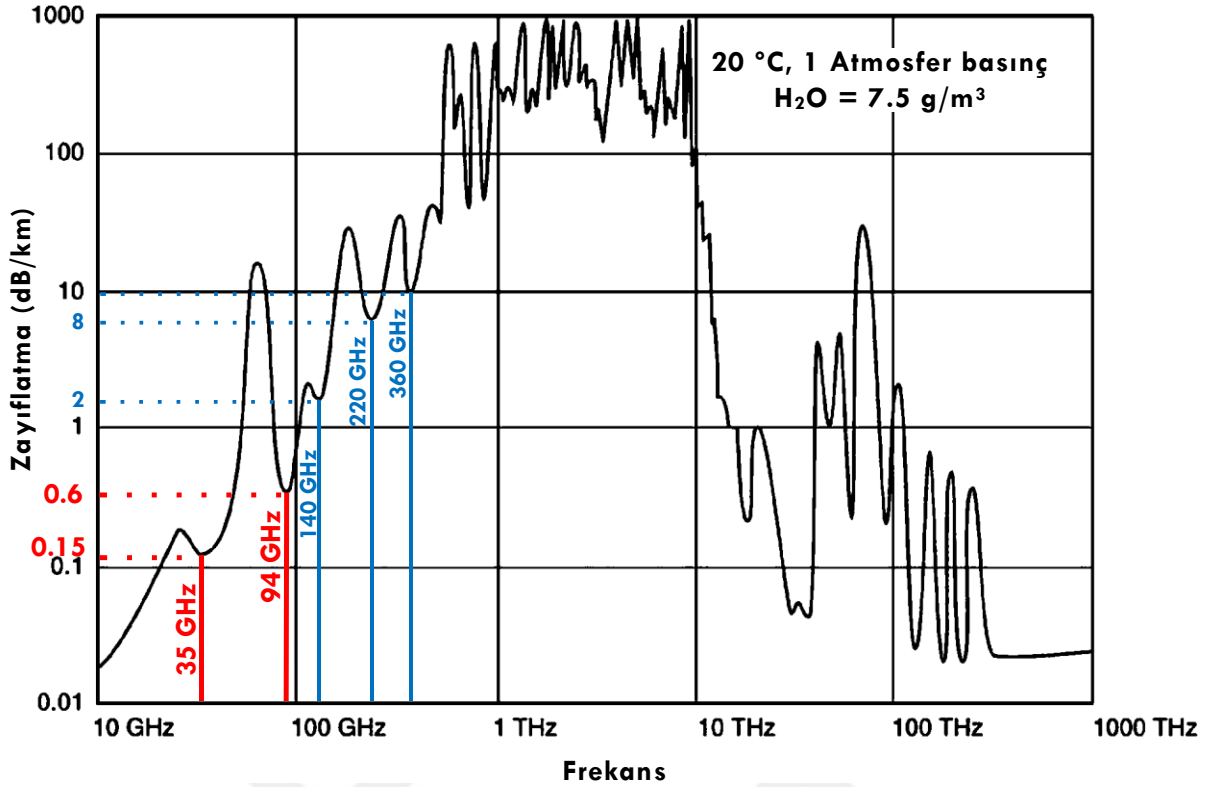
gibi farklı üstünlüklerinden dolayı literatürde PMMD görüntüleme alanında birçok çalışma yapılmıştır. [53-57]



Şekil 2.1. Wilkinson microwave anisotropy probe (WMAP) uydusunun toplamış olduğu, dokuz yıllık verilerden oluşturulan KAR'a ait ayrıntılı PMMD radyometrik görüntü [58].

Milimetre dalga görüntüleme sistemleri, alıcı dalga boyunun çok küçük olması nedeniyle saçıcı ortamlarda ilerlemeye yetecek kadar uzun, aynı zamanda da uygulanabilir ve taşınabilir sistemler yapmaya yetecek kadar da küçük ve uzaysal çözünürlük açısından da orta derecede kabul edilebilir bir değere sahiptir. Su ve metal dışındaki maddelere nüfuz edebilmesi ve iyonize olmayan ışınması ile gizlenmiş nesnelerin görüntülenmesinde avantajlıdır. Özellikle giysi gibi kumaş veya dielektrik malzemeler ile gizlenmiş metal silah ya da patlayıcıların tespitini uzaktan mümkün kılmaktadır.

Milimetre dalgalarının atmosfer ortamındaki zayıflama ve soğurulmasına ait parametrik veriler, görüntüleme için kullanılacak en uygun frekans bandını belirlemektedir. Uzaktan görüntüleme, özellikle atmosfer ortamında zayıflamanın düşük olduğu bölgelerde gerçekleştirilmektedir. Şekil 2.2.'de görüldüğü gibi 35 GHz ile 1 THz arasına karşılık gelen frekans bölgesinin atmosferik zayıflatma katsayısı düşük olduğu için, uzaktan algılamada bu bölge sıklıkla kullanılmaktadır.



Şekil 2.2. EM dalgaların atmosferde zayıflaması [12].

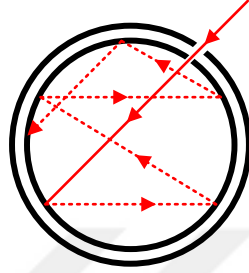
2.1.2. PMMD Görüntülemenin Fiziksel Temelleri

PMMD görüntüleme için kullanılacak frekans aralığının belirlenmesi için gerekli temel kavramlar ve bu kavramlar sonucu ortaya çıkan kanunlar üç ana başlıkta toplanmaktadır. Bunlar; kara cisim ışıması, Planck'ın Kara Cisim Kanunu ve Wien'in Yer Değiştirme Yasasıdır. PMMD alıcı tasarımı ve görüntüleme işlemlerine yönelik bu kavramlar aşağıda özetlenmiştir.

2.1.2.1. Kara Cisim Işıması

Sıcaklıkları mutlak sıfırın (0K) üstünde olan tüm maddeler EM ışıma yapar. Bu ışıma, maddenin termal enerjisini EM enerjiye dönüştüren termal ışıma olarak adlandırılır. Bu olay entropi dağılımının doğal bir sürecidir. Diğer taraftan tüm maddeler EM ışımayı bir dereceye kadar soğururlar. Bütün dalga boyundaki ışımaları tamamı ile soğuran maddelere kara cisim denir. Sabit bir sıcaklıktaki kara cismin yaymış olduğu ışımının karakteristik frekans dağılımı, sıcaklığına bağlı olarak değişmektedir. Bu frekans dağılımına kara cisim ışıması denir. Her ne kadar doğada %100 kara cisimler bulunmasa da is karası ve grafit gibi maddeler %95'ten daha büyük bir yayım gücüne sahip olan ve ideal kara cisme en yakın örneklerdendir. Kara cisim

ışımına, sabit sıcaklıkta küçük bir açıklığı olan çember şeklindeki kapalı bir kutudan içeri giren ışının çember iç çeperleri arasındaki yansıması ve sonuç olarak çemberden dışarı çıkamaması olayı örnek olarak gösterilebilir (Şekil 2.3.). Kara cisim ışıması, termodinamik dengede kalmaya devam edebilen tamamen kararlı ışımaya yoğunluğuna sahiptir. Denge durumunda her bir frekans değeri için yayılan ve yansıyan toplam ışımaya yoğunluğu, cismin şekline, cinsine ya da yapısına bağlı değildir. Bir kara cisim aynı zamanda mükemmel soğurucu yapıya sahip olduğundan gelen ışınımın yönüne bağlı olmaksızın ışınımı asla geri yansıtmaz.



Şekil 2.3. Kara cisim soğurması.

2.1.2.2. Planck'ın Kara Cisim Kanunu

Planck yasası, termal dengede bulunan bir kara cismin sahip olduğu sıcaklıktan ötürü yaymış olduğu EM ışımaya açıklamaktadır. Bir cismin Planck spektral ışımaya B_ν , farklı frekansta üretmiş olduğu ışımaların toplam miktarını temsil etmektedir (Şekil 2.4.). Cismin birim alanından yayılan güç, birim frekansta, ışımaya ölçüldüğü bir katı açı üzerine denk gelen güç miktarı cinsinden ölçülmektedir. Birimi $[W \cdot sr^{-1} \cdot m^{-2} \cdot Hz^{-1}]$ olan Planck'ın spektral ışımaya aşağıdaki gibidir.

$$B_\nu(f, T_K) = \frac{2hf^3}{c^2} \cdot \frac{1}{e^{\left(\frac{hf}{k_B T_K}\right)} - 1} \quad (2.1)$$

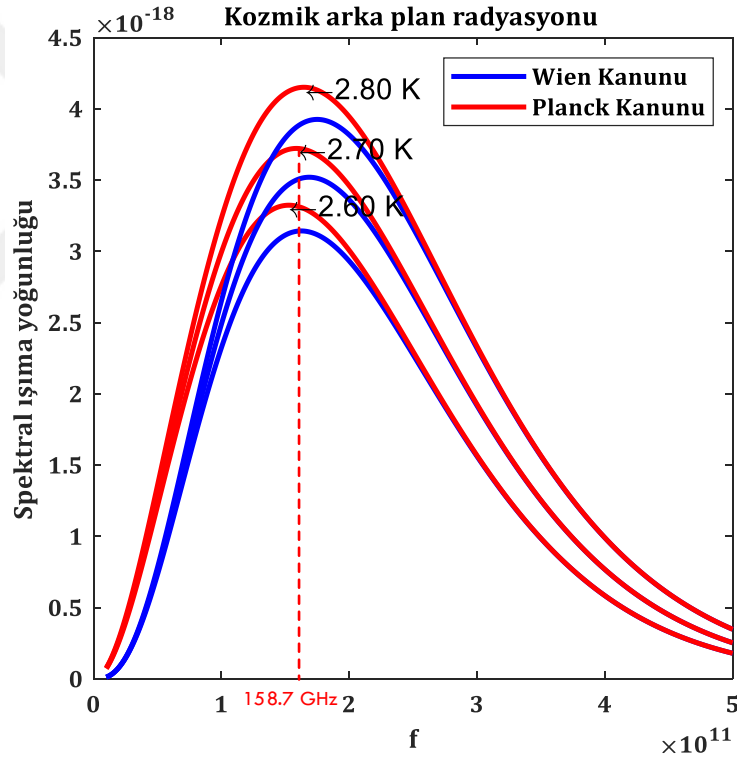
Burada, k_B Boltzmann sabiti, h Planck sabiti, c materyal veya vakum ortamındaki ışık hızı, f frekans ve T_K Kelvin cinsinden sıcaklık değeridir. Planck'ın spektral ışımaya denklemi kullanılarak, 5 ile 500 GHz frekans aralığı ve 2.6, 2.7 ve 2.8 K sıcaklık değerleri için ayrı ayrı spektral ışımaya yoğunluk değerleri Şekil 2.4.'de çizilmiştir. Buradan görüleceği üzere 2.7 K sıcaklık için en yoğun enerji değeri, 158.7 GHz frekansında oluşmaktadır. Radyometrik alıcının frekans aralığının belirlenmesinde atmosferik zayıflatma aralığı (Şekil 2.2.) ile yayılan KAR'ın enerji değerinin en yoğun olduğu frekans bölgesi (Şekil 2.4) kullanılmaktadır.

2.1.2.3. Wien'in Yer Değiştirme Yasası

Kara cisim ışınım eğrisi her bir sıcaklık değeri için ayrı bir dalga boyunda tepe yapmaktadır (Şekil 2.4.). Bu dalga boyu sıcaklık ile ters orantılıdır. Dalga boyundaki sıcaklığa bağlı bu değişimin değeri, Planck'ın ışınım kanunundan türetilmektedir. Wien bu olayı Max Planck'tan birkaç yıl önce bulmuştur. Her bir sıcaklık için maksimum dalga boyu aşağıdaki gibi bulunmaktadır.

$$\lambda_{max} = \frac{b}{T_K} \quad (2.2)$$

Burada b , Wien'in yer değiştirme sabiti olup değeri $2.8977721 \times 10^{-3} \text{ m.K}$ ' dir. Wien ve Planck kanunu birbirlerine çok yakın sonuçlar vermektedir. Bu sonuçlar şekil 2.4.'de görülmektedir.



Şekil 2.4. KAR'a ait termal sıcaklık tepe değerinin frekansa bağlı spektral ışınım grafiği.

2.1.3. Radyometrik Alıcı

Bir radyometrik alıcı, alıcıya gelen ve alıcının frekans bant aralığında olan santimetre ve milimetre dalga boylarındaki EM radyasyonun enerjisini ölçmektedir. Hedeften yansıyor

radyometrik alıcı veya alıcılarına gelen enerji, yapay veya doğal kaynaklı olmaktadır. Genellikle, gelen enerji, gürültülü sinyallerde olduğu gibi doğal ve tutarsızdır. Radyometre, düşük gürültülü çok hassas bir alıcıya sahiptir ve alıcıya gelen en küçük bir enerjiyi bile ölçmektedir.

Bir hedeften alınan toplam radyasyonu ikiye ayırabiliriz. Bunlar;

- i. İlki, fiziksel sıcaklığı mutlak sıfırdan büyük olan her nesnenin yaydığı radyasyondur. Yayılan radyasyonun frekansı, hedefin sıcaklığına bağlı olarak denklem (2.2) kullanılarak hesaplanabilmektedir. Bu radyasyondaki enerjiyi ölçebilmek için alıcının da bu frekans aralığında olması gerekmektedir. Tipik olarak 300 K sıcaklığına sahip bir objeden yayılan radyasyonun toplanabilmesi için yaklaşık olarak 1-30 THz frekans aralığında çalışan bir radyometrik alıcı kullanılması gerekmektedir. Radyometrik alıcının frekans aralığının artması maliyetini de arttırmaktadır. Bu bir dezavantajdır.
- ii. İkincisi, hedefin KAR kaynağından gelen ışınımı yansıttığı radyasyon türüdür. Mükemmel bir kara cismin emisyon spektrumu, mutlak fiziksel sıcaklığına bağlıdır. Bu güç spektrumu denklem (2.1)'deki Planck kanunu ile açıklanabilmektedir. Bu tez çalışmasında, bu prensip kullanılarak PMMD görüntüleme yapılmıştır.

2.1.3.1. Radyometrik Alıcının Çalışma Prensibi

Mikrodalga ve milimetre dalga frekansları için denklem (2.1)'deki üstel ifadenin ilk iki terimi açılarak denklem (2.3) aşağıdaki gibi elde edilir.

$$P_R = \frac{1}{2} \cdot \frac{2k_B T_K f^2}{c^2} \Delta f d\Omega \quad (2.3)$$

burada P_R , $d\Omega$ katı açı ve Δf bant genişliğinde yayılan gücü temsil etmektedir. Denklem (2.3) aynı zamanda Rayleigh-Jeans yaklaşımı olarak da bilinmektedir. Bu denklem kullanılarak, kara cisim tarafından antene yayılan toplam güç;

$$P_R = \frac{1}{2} \cdot \frac{2k_B T_K f^2}{c^2} A(\theta, \Phi) \Delta f d\Omega \quad (2.4)$$

olarak ifade edilir. Burada $A(\theta, \Phi)$ antenin θ ve Φ küresel koordinat sistemindeki kesit alanına eşittir. Anten teoreminden yola çıkarak [59];

$$A(\theta, \Phi) d\Omega = \frac{c^2}{f^2} \quad (2.5)$$

ifadesi yazılabilir. Böylelikle denklem (2.4) aşağıdaki gibi yeniden yazılabilir.

$$P_R = k_B T_K \Delta f \quad (2.6)$$

Genellikle bant genişliğini ifade etmek için Δf yerine B kullanılmaktadır. Böylelikle denklem (2.6) yerine,

$$P_R = k_B T_K B \quad (2.7)$$

yazılabilir. Anten biriminde oluşan gücü hesaplamak için, T_K tarafından anten üzerinde oluşan sıcaklık değeri T_A kullanılarak aşağıdaki gibi yazıldığında;

$$P_A = k_B T_A B \quad (2.8)$$

elde edilir. Burada P_A anten çıkışında ölçülen gücü ve T_A ise kara cisim ışıması tarafından anten üzerinde oluşan sıcaklık değerini temsil etmektedir.

Milimetre dalga boylarında, metal hedefler fiziksel sıcaklıklarına bağlı olmaksızın çok iyi bir yansıtıcı olarak davranmaktadırlar. Bu sebeple bu tür hedeflerin etkin sıcaklıkları, kendisini çevreleyen radyasyonun yansıttığı sıcaklık değeridir. Bu özellik, KAR yansıtması açısından oldukça önemlidir. İnsan vücudu metale kıyasla zayıf bir yansıtıcı olmakla beraber yüksek bir ısı salınımına sahiptir. Bu nedenle, insan vücudunun yaydığı ortalama sıcaklık, gerçek vücut sıcaklığına yakın bir değerdedir. Dolayısıyla, insanı çevreleyen sıcaklık, insan vücudundan farklı bir değerde olması durumunda, insan vücudundaki metal bir hedef için bir kontrast veya sıcaklık farkı gözlemlenir. Pratikte, bu sıcaklık kontrastı, insan üzerindeki kıyafetler ya da giysiler tarafından bir miktar zayıflamaya uğrar.

Açık bir alanda ve binalardan uzak bir yerde, insan vücuduna saklanmış metal bir hedef, KAR ile aydınlatıldığı zaman görüntü alanındaki metal hedef, etrafı sıcak alanla çevrilmiş soğuk bir cisim olarak görülecektir. Bunun sebebi, insan vücudu ile etrafındaki nesnelerin, metallere kıyasla yansıtıcılık oranlarının daha düşük olması ve bunun sonucunda metal nesnelerin KAR'ı daha iyi yansıtmasıdır. Metal nesnenin yansıttığı sıcaklık değeri 2.7 K ve ortam sıcaklığı da 300 K olarak alınırsa, sıcaklıklar arasındaki kontrast 297,3 K olacaktır. Bu değer bir radyometre için yeterli olmaktadır. Aynı senaryo bina içerisinde incelendiğinde, bu defa sıcaklık kontrastı düşecek ve metal cismin algılanabilmesi için yansıtıcılık yerine vücudun emisyon özelliği ayırt edici olacaktır. Bu sebeple kapalı ortamda kullanılacak radyometrik alıcının, dışarı ortamda kullanılacak olandan farkı; insan vücudu sıcaklığı ortalama 310 K olmasından dolayı daha yüksek frekanslarda çalışması ve sırasıyla insan vücudu, hedef ve hedefin dışında kalan nesneler

arasındaki kontrastın düşük olması sebebiyle daha yüksek hassasiyete sahip olması gösterilebilir.

Gökyüzü sıcaklığı temel olarak KAR tarafından tanımlanır ve 2.73 K olarak kabul edilir [3, 4]. Bununla birlikte, dünya atmosferini oluşturan gazlar, tozlar ve parçacıklar bu değeri oldukça etkilemektedir [12]. Çok yoğun bulut kümelerinin olduğu durumlarda gökyüzü sıcaklığı 171 K'e kadar çıkabilmektedir. Ancak yüksek yerlerde ve gökyüzünün açık olduğu durumlarda bu sıcaklık 14.29 K'e kadar düşmektedir [3, 4, 12].

Yerden gözlemlenen gökyüzü sıcaklığı, yatayda yüksek ve dikeyde en düşük olacak şekilde açısal olarak değişmektedir. Gökyüzü sıcaklığının açısal olarak değişmesi sebebiyle aydınlatılan nesnenin üst tarafları en soğuk ve gölgede kalan alt tarafların ise daha sıcak bir sıcaklık değerinde olmasıyla sonuçlanmaktadır. Bu aydınlatmanın etkileri şekil 2.5.'de dış ortamda bulunan bir insan üzerinde, parlak kısımlar soğuk aydınlatma değerini (KAR-2,7 K) ve koyu kısımlar ise sıcak aydınlatma (300 K) değerlerini temsil edecek şekilde görülmektedir.

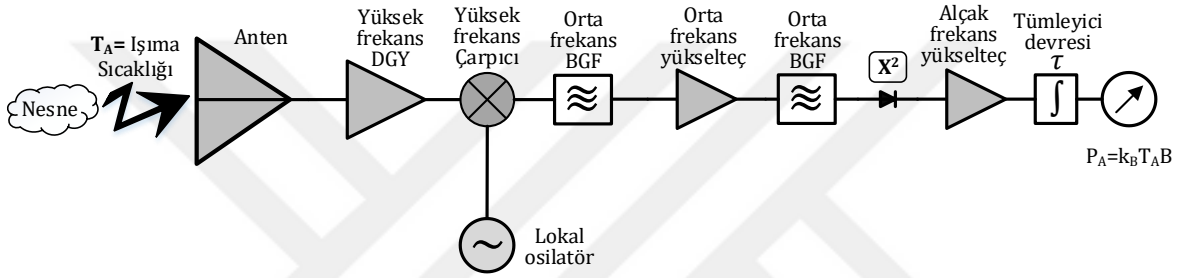


Şekil 2.5. Dış ortamda bulunan bir insan üzerindeki KAR aydınlatması. Açık renkler düşük, koyu renkler ise yüksek sıcaklık değerlerini göstermektedir.

2.1.3.2. Radyometrik Alıcı Tasarımı

Şekil 2.6.'da gösterilen toplamsal güç radyometresi (TGR) en basit radyometre tasarımıdır ve çoğunlukla temel bir sistem tasarımı olarak görülmektedir. Antende oluşan milimetre veya mikrodalga enerjisi, düşük gürültülü bir yükselteç (DGY, Low Noise Amplifier-

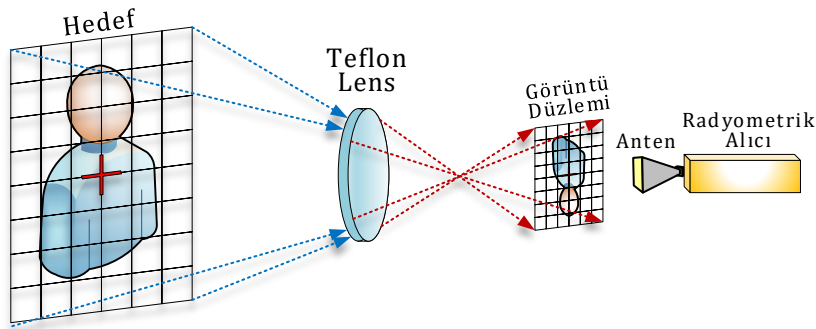
LNA) ile yükseltilerek bir mikser aracılığıyla bir alt frekansa dönüştürülür. TGR'nin RF bant genişliği, antenin ve DGY'nin bant genişliklerine, hassasiyeti ise sistemin gürültü faktörüne ve son olarak çalışma frekansı (gelen enerjinin sıcaklığına bağlı frekans değeri) ise lokal osilatör (LO) frekansına bağlıdır. Alt frekansa dönüştürülmüş enerji, ilk olarak yükseltilir ardından bant geçiren filtreden (BGF, Band pass filter-BPF) geçirilir ve son olarak karesel algılayıcı diyot üzerinden geçirilerek düşük frekanslı bir sinyal elde edilir. Elde edilen düşük frekanslı sinyal, analog dijital dönüştürücü (ADD, Analog to digital converter-ADC) kullanılarak bilgisayar ortamına aktarılır. Bu aktarılan veriye ham veri (Raw data) denilir. PMMD görüntüleme kullanılmak üzere geliştirilen algoritmalar bu ham veriyi kullanarak görüntü oluşturmada ve sonrasında otomatik hedef tespiti yapmaktadır.



Şekil 2.6. Toplam gücü ölçen radyometrik alıcı.

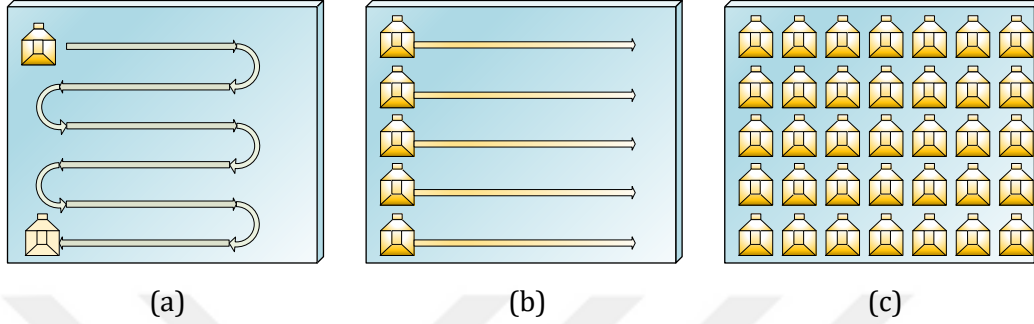
2.1.3.3. Radyometrik Alıcı ile Pasif Görüntünün Elde Edilmesi

Pasif görüntüleme sistemi, yarı optik görüntüleme sistemiyle elde edilen görüntüleme düzlemindeki sanal görüntüyü, radyometrik alıcı yardımı ile elde eden sistemdir (Şekil 2.7.). Çalışma sistemleri optik sistemler ile aynı olmasına rağmen aydınlatma kaynağı olarak görünür ışık yerine pasif milimetre dalga yayılımını kullanan sistemler olduğundan yarı optik sistemler olarak isimlendirilir.



Şekil 2.7. Teflon lensli yarı optik görüntüleme sistemi.

Elde edilen görüntü düzlemi; tek alıcı kullanılarak iki eksen taramayla (Şekil 2.8. (a)), 1B alıcı dizisi için tek eksen mekanik taramayla (Şekil 2.8. (b)) ya da tüm görüntüyü kapsayan 2B alıcı dizisiyle (Şekil 2.8. (c)) tek seferde alınabilir. Tarama işlemi, Kartezyen koordinatlarda olabileceği gibi kutupsal ya da silindirik koordinatlarda da tüm bölgeyi kapsayabilecek şekilde yapılabilir.



Şekil 2.8. (a) Tek alıcı ile 2B tarama, (b) 1B alıcı dizisi ile tek eksen tarama, (c) 2B alıcı dizisi ile tek seferde tarama sistemleri.

2.2. Aktif Radar Görüntüleme

Bütün nesnelerin doğası gereği ışınım yapması pasif görüntülemeyi uygun kılmaktadır. Ancak hem hedeften yansıyan hem de doğada var olan yoğun gürültü nedeniyle, yüksek çözünürlüklü ve gürültüsüz pasif görüntüler elde etmek oldukça zor bir problemdir. Pratik uygulamalarda bu problemlerin üstesinden gelmek çoğu zaman mümkün olmamaktadır. Bundan dolayı pasif milimetre dalga görüntüleme metotları, daha çok uzay ortamında ya da açık ortamlarda etkili olmaktadır. Dünyada kaçınılmaz olan güçlü termal gürültüden uzak bir şekilde yalnızca uyduya yerleştirilen bir algılayıcı ile ilgi duyulan hedefe odaklanılabilir. Ancak dış ortamda bulunan metal gibi yüksek yansıtıcılı hedefler rahatlıkla tespit edilebilmektedir. İç ortamlarda ise cisimler kozmik arka plandan kaynaklanan ışınımı yansıtamadıklarından dolayı, milimetre dalga boylarında tespiti oldukça zordur. Bunun dışında, hedefin kendine ait termal sıcaklığından kaynaklı EM ışınımın tespit edilebilmesi için çok yüksek frekanslarda ($0.5 THz$) algılayıcı tasarlamak gerekmektedir. Bu ise uygulanabilirlik ve maliyet açısından oldukça dezavantajlıdır. Bu gibi nedenlerden ötürü, pratik uygulamalarda hedefin görüntülenmesi için başka bir kaynak ile aydınlatılması ve hedeften yansıyan dalgaların algılanması gerekmektedir. Bu amaca yönelik olarak aktif görüntüleme sistemleri geliştirilmiştir. Aktif görüntüleme sistemleri, uyumlu ve uyumsuz olarak iki başlık altında toplanabilir.

2.2.1. Uyumlu (Coherent) Aktif Radar Görüntüleme

Uyumlu radar görüntüleme sistemleri, alıcı birimin verici birimden referans alarak elde ettiği sinyalin genlik ile faz bilgisi kullanılarak yapılan görüntülemedir. Aktif görüntülemede, hedefin bir kaynakla aydınlatılması gerekmektedir. Aydınlatma enerjisi, mümkün olan en geniş katı açıdan düzgün bir şekilde gönderilmelidir. Radar tabanlı; SAR, Ters SAR (TSAR, Inverse SAR) ile THz holografi ve THz tomografi görüntüleme yöntemleri bu gruba girmektedir. Radar tabanlı sistemler ile hedef mesafesi, hız bilgisi ve hedef görüntüleri elde edilebilirken holografi ve tomografi ile sadece yakın alan detaylı görüntüleme uygulamaları gerçekleştirilmektedir.

2.2.2. Uyumsuz (Incoherent) Aktif Radar Görüntüleme

Uyumsuz aktif radar görüntüleme, hedefin alıcıdan bağımsız bir şekilde bir kaynak ile aydınlatılması sonucu gerçekleştirilen görüntülemedir. Burada önemli olan, aydınlatma enerjisinin hedefe düzgün ve mümkün olan en geniş katı açıdan gönderilmesidir. Böylece hangi yüzeyden olursa olsun düzgün yansıma alınabilir. Kaynaktan gönderilen ışın olabildiğince yönsüz olmalı ve idealde belirli bir polarizasyona sahip olmamalıdır. Eğer kaynak uyumsuz ve fiziksel olarak büyük ise, yüksek sıcaklıklı arka planı kullanan pasif görüntüleme sistemine eşdeğer şekilde çalışabilmektedir. Bu sistemlerde, güç seviyesi çözünürlüğü etkilemektedir. Yüksek SGO ile derinlik bilgisi de elde edilebilir.

2.3. Sentetik Açıklıklı Radar

SAR sistemleri, EM saçınım prensibini kullanarak, arazinin veya arazideki uzak hedeflerin; hava, uzay ya da yer tabanlı araçlar kullanılarak yüksek çözünürlüklü görüntülerin elde edilmesi tekniğidir. SAR, sadece menzil ve çapraz menzilde sağladığı yüksek çözünürlük özelliği ile değil, aynı zamanda sis, yağmur ve kar gibi tüm hava koşullarında da çalışabilme özelliğiyle ününü ve kullanımını geniş alanlara yaymıştır.

2.3.1. SAR Çalışma Modları

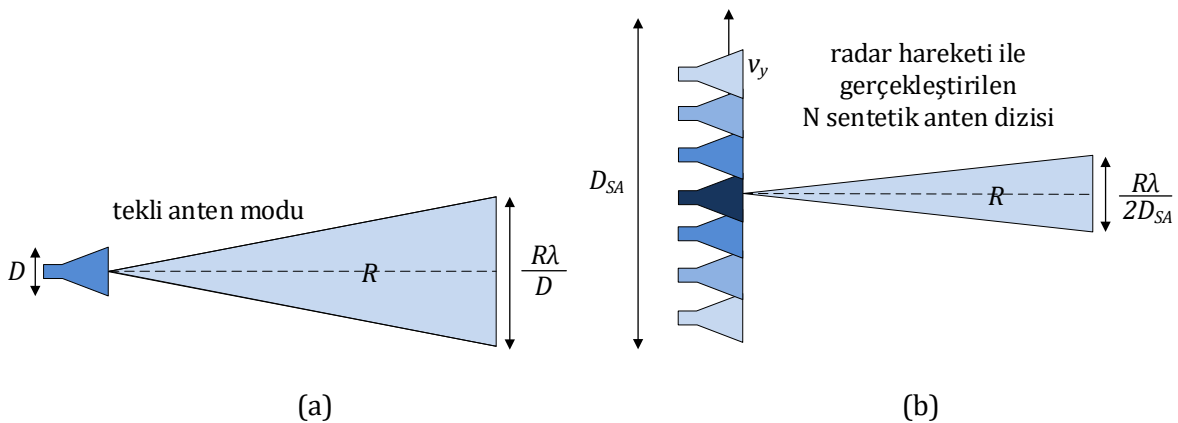
SAR sistemleri genellikle iki farklı modda çalışırlar. Bunlar şerit-harita (ŞH, Strip-Map - SM) ve noktasal aydınlatma (Spotlight) SAR olarak ayrılır. Noktasal aydınlatmalı SAR küçük bölgelerde yüksek çözünürlük üretebilmektedir. ŞH-SAR sistemi ise noktasal aydınlatmalı SAR'a göre daha düşük çözünürlüğe sahiptir ancak daha büyük bölgelerin görüntüsünü sunmaktadır.

ŞH-SAR sistemi geniş yer şeritlerinin görüntülenmesinde kullanılan bir tekniktir. Yer yüzeyindeki görüntülenmek istenen şeridin genişliği, radar antenin demet genişliği ile platformun yerden yüksekliğine ve antenin bakış açısına bağlıdır. Şeridin uzunluğu ise veri toplama süresiyle doğru orantılıdır.

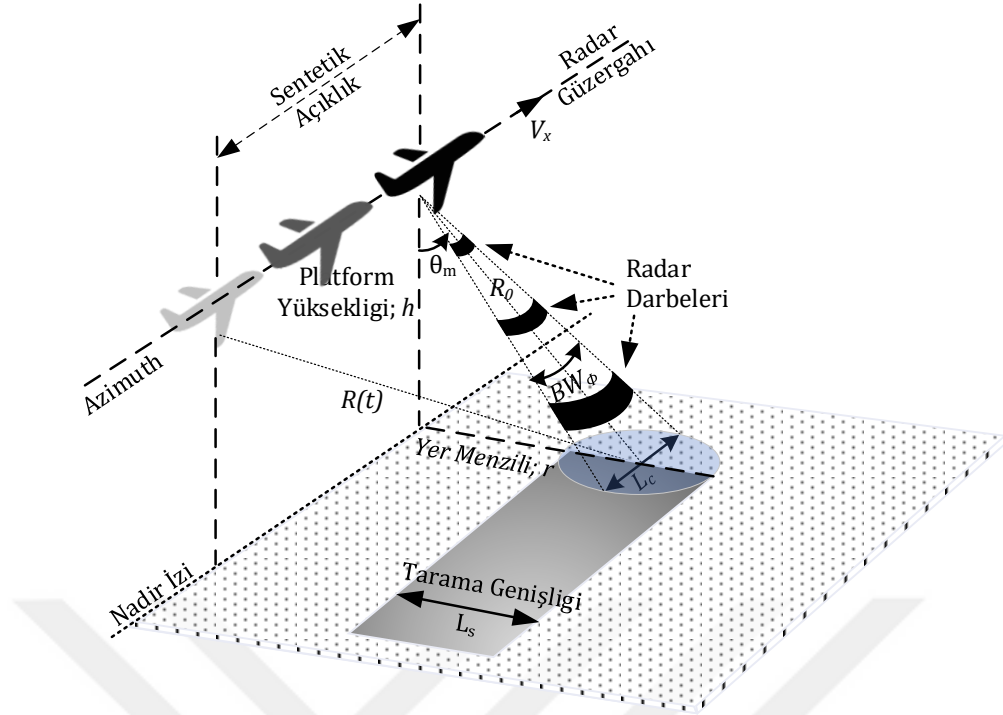
Noktasal aydınlatmalı SAR son yılların en rağbet gören SAR tekniği olup SAR literatüründe oldukça geniş bir yere sahiptir [60, 61]. ŞH-SAR sisteminde radar platformu farklı yer bölümlerini aydınlatırken, noktasal aydınlatmalı SAR sisteminde, radar platformu aynı yer parçasını sürekli olarak aydınlatmaktadır. Bu yaklaşım, dolayısıyla tarama boyutunu küçültmekte fakat bununla birlikte çok yüksek çözünürlüklü yer görüntüleri üretmektedir. Çünkü aynı toprak parçası birçok farklı bakış açısından aydınlatılarak geri saçılım bilgisi toplanmaktadır.

2.3.2. Temel SAR Teorisi

“Sentetik açıklık” terimi, literatürde yaygın olarak kullanılır. Çünkü SAR'ın altındaki ana fikir, küçük açıklıklı gerçek radarların (KAGR, Real Aperture Radar-RAR) toplanması yoluyla büyük açıklıklı radar etkisi sentezlemektir. Şekil 2.9.'da gösterildiği gibi çok daha uzun bir açıklığı taklit etmek için küçük açıklıklı radarı, sanal açıklık eksenini ile birlikte hareket ettirerek gerçekleştirmek mümkündür. Tipik olarak radar sensörü, hava aracı veya uzay platformu üzerine yerleştirilir ve platform yol boyunca ilerleyerek yerin elektromanyetik yansımalarını farklı zaman aralıklarında ölçmektedir (Şekil 2.10.). Elektromanyetik ekoların tutarlı işlenmesi, arazinin veya sahnenin farklı frekans ve uzamsal açıklıklarda aydınlatılması ile ortamın 2B-SAR görüntüsünün oluşturulmasını mümkün kılmaktadır.



Şekil 2.9. (a) Gerçek açıklıklı tek bir anten (b) N elemanlı sentetik açıklıklı anten.



Şekil 2.10. Temel SAR operasyonu geometrisi

SAR, menzil ve çapraz menzil eksenini kullanarak iki boyutlu (2B) yüksek çözünürlüklü bir düzlem oluşturabilmektedir. Menzil (Slant-range) terimi, radardan görüntülenecek hedefe olan görüş mesafesine karşılık gelmektedir. Çapraz menzil (enine aralık, azimut veya yol boyunca, Cross-Range) terimi, menzil eksenine dik veya radarın hareket eksenine paralel olan mesafe için kullanılır. SAR uygulamalarında, iletilen darbe için yeterince geniş bir bant genişliği kullanılarak menzil ekseninde yüksek çözünürlük değeri elde edilir. Genellikle frekans modülasyonlu veya cıvıltı dalga formu kullanılır. Çapraz menzil ekseninde iyi çözünürlük elde edebilmek için hedefin farklı yönlerden aydınlatılan elektromanyetik yansımalarının tutarlı bir şekilde işlenmesi ve radarın düz bir yol boyunca hareket etmesi gerekmektedir. Mikrodalga elektroniğindeki son gelişmeler ile SAR görüntüleme teknolojisi, optik görüntüleme sistemlerine benzer çözünürlüklerde görüntüler sağlayabilmektedir. Aslında SAR, gece ve gündüz veya bulutlu, yağmurlu ve karlı hava koşullarında da çalışabileceği için daha da iyisini yapabilmektedir. Ayrıca, yalnızca sahnenin ışık yansıtıcılığının genlik bilgisini içeren fotoğraf görüntülerinden farklı olarak SAR, sahnenin elektromanyetik yansıtıcılığının hem genlik hem de faz bilgilerini sunmaktadır. Bu tür bilgiler sahnenin daha fazla özelliğini çıkarmak için çok faydalı olabilmektedir.

SAR, uyumlu aktif radar görüntüleme sistemi olduğu için temel radar prensiplerine bina edilmiştir. Radar EM bir dalga yayar ve dalga hedefe ve çevresine çarparak uzayda her yöne

saçılır. Geri saçılan sinyal, iletilen ve alınan sinyaller arasındaki zaman gecikmesi t_d 'yi ölçebilen bir donanımla toplanır. EM dalgalar ışık hızında hareket ettiğinden hedefin menzil mesafesi,

$$R = (c \cdot t_d)/2 \quad (2.9)$$

eşitliğiyle elde edilir. Denklem (2.9)'daki '2' katsayısı, radar ve hedef arasındaki iki yönlü yayılımı ifade eder. Konvansiyonel radarda olduğu gibi SAR sensörü de menzil bilgisini elde etmek için bu denklemi kullanır. Menzildeki iki yakın hedefi ayırt etmek için minimum mesafe ya da menzil çözünürlüğü aşağıdaki eşitlikle verilir.

$$\Delta r = c/(2B) \quad (2.10)$$

Burada B sinyalin bant genişliğidir.

Geleneksel radarlar için aynı mesafede iki yakın hedefin algılanması zordur. Çünkü herhangi bir radar anteninin açılal demet genişliği,

$$\Delta \theta = \lambda/D \quad (2.11)$$

eşitliğiyle bulunur. Burada λ çalışma frekansına ait dalga boyunu ve D 'de antenin maksimum fiziksel uzunluğunu temsil etmektedir. Aynı R menzil mesafesine sahip iki nesne, farklı radar demetlerinde oldukları zaman ayırt edilebilmektedirler. Bu durumda şekil 2.9. da gösterilen çapraz menzil çözünürlüğü, radar demetinin bir yay uzunluğuna eşit olup aşağıdaki şekilde ifade edilir.

$$\Delta x = R\Delta \theta = R\lambda/D \quad (2.12)$$

SAR görüntüleri, SAR işleme algoritmaları olarak da adlandırılan ardışık yoğun sinyal işleme teknikleri uygulandıktan sonra oluşturulmaktadır. SAR verilerini odaklamak için birçok SAR işleme algoritması geliştirilmiş ve etkili bir şekilde kullanılmıştır. En popüler olanları MDA ve CÖ algoritmalarıdır.

2.4. Radar Dalga Formları

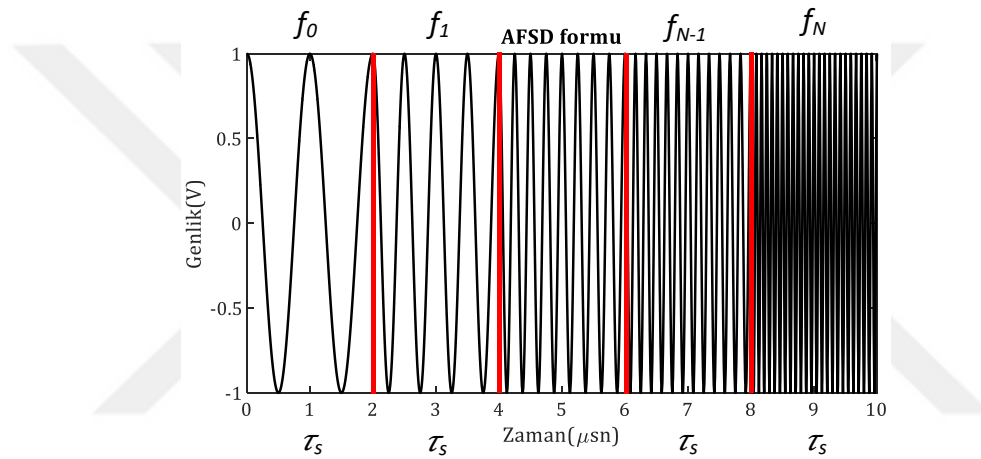
2.4.1. Adım Frekanslı Sürekli Dalga Formu

AFSD formu, sabit bir B bant genişliğine ve sıkıştırılmamış τ süresine sahip bir sinyalin, sabit seviyeli genliğe ve frekanslara sahip sinüzoidal yapıda olacak şekilde N adet eşit süreli alt

darbelere bölünmesiyle elde edilir. Bu şekilde bir dalga formunun tüm bant genişliği boyunca N adet eşit ayrılmış frekansları bulunmaktadır. Bu frekans sayısı arzu edilen her türlü sıralamaya göre ayarlanabilir. Bir adım frekans (AF) dalga formu analitik olarak aşağıdaki şekilde ifade edilebilir,

$$x(t) = \frac{1}{\sqrt{\tau}} \sum_{n=0}^{M-1} \text{rect}\left(\frac{t-n\tau_s}{\tau_s}\right) \exp(j2\pi f_n t) \quad (2.13)$$

Bu denklemde $f_n \in \{f_0, f_1, \dots, f_{M-1}\}$, n 'inci alt darbenin frekansını, τ_s ise alt darbe süresini temsil etmektedir. $\frac{1}{\sqrt{\tau}}$ katsayısı ise AF dalga formunun birim enerjisini sağlamaktadır. AF dalga formu her bir alt darbenin sayısına göre şekillenmektedir. Burada $\tau_s = \frac{\tau}{M}$ şeklinde verilir.



Şekil 2.11. Adım frekanslı dalga formu.

AF dalga formunda alt darbelerinin sayısı istenilen maksimum menzil mesafesini, frekans bant genişliği ise çözünürlüğü belirlemektedir. Maksimum menzil, çapraz menzil ve menzil çözünürlüğü gibi birçok parametre bölüm 2.3.2.'de tanımlanmıştır.

2.4.2. Doğrusal Frekans Modülasyonlu Dalga (DFMD) Formu

Doğrusal frekans modülasyonlu (FM) sinyal, SAR sistemlerinde oldukça çok kullanılan bir dalga formudur [35, 62, 63, 64]. Bu sinyalin anlık frekans değeri, zaman ile doğrusal olarak arttığı için bu ismi almıştır. Sinyalin matematiksel gösterimi aşağıdaki gibidir:

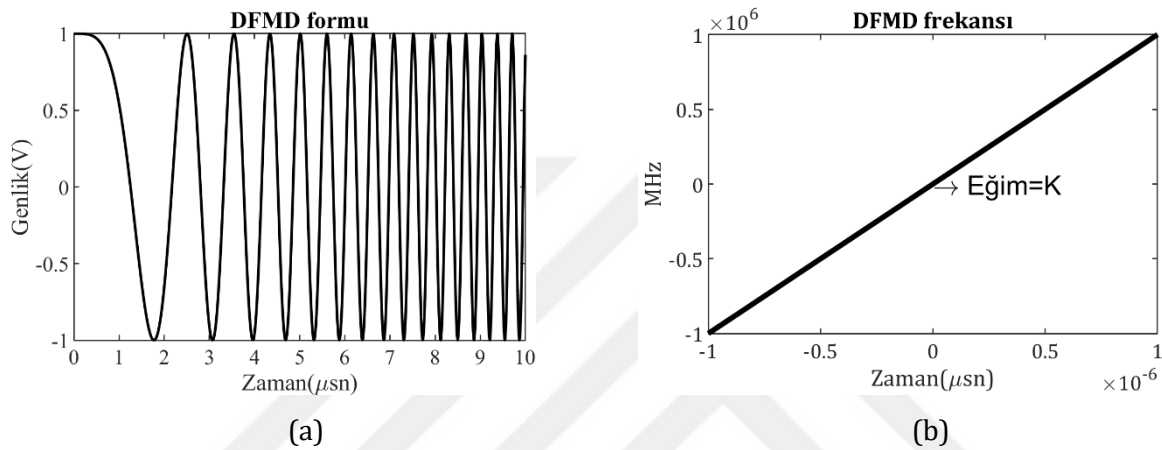
$$s(t) = \text{rect}\left(\frac{t}{T}\right) \exp\{j\pi K t^2\} \quad (2.14)$$

burada t saniye cinsinden zaman değişkenini, T sinyal darbesinin uzunluğunu, K doğrusal FM sinyalinin Hertz/s cinsinden oranını temsil etmektedir. Sinyalin bant genişliği ise;

$$B = |K|T \quad (2.15)$$

ile hesaplanmaktadır.

Doğrusal FM sinyaline ait dalga gösterimi Şekil 2.12.(a)'da çizilmiştir. Şekil 2.12.(a, b) incelendiğinde sinyalin sıklığı yani frekansı zamanla orantılı olarak arttığı görülmektedir.



Şekil 2.12. (a) Doğrusal FM sinyali, (b) Doğrusal FM sinyalinin zaman-frekans gösterimi.

2.5. DFMD SAR Sinyali Üretimi

Menzil sıkıştırma, radar da kullanılan bir sinyal işleme tekniğidir. Bu kapsamda radar sistemi, hedefe ait özellikleri çıkarabilmek için üretmiş olduğu sinyali hedefe doğru göndermekte ve hedeften çarpıp geri dönen sinyali işleyerek hedefe ait çıkarımlar yapmaktadır. Menzil sıkıştırma tekniğinin amacı, hedefe ait görüntü kalitesi ve hassas hedef tespitini arttırabilmek için en az güç ile yüksek SGO'yu elde edebilmektir. Bunun üstesinden gelebilmek için doğrusal frekans modüleli (Linear FM- FMCW) sinyal kullanılmaktadır. Bu sinyalden hedefe ait menzil bilgisini elde edebilmek için uyumlanmış filtre (UF, Matched Filter-MF) işlemi uygulanır [34, 35, 44].

2.5.1. Uyumlu Filtre ile Darbe Sıkıştırma

Darbe sıkıştırma (DS, Pulse Compression-PC) işlemindeki amaç hedefe ait mesafe, hız, şekil veya uzaktaki nesnenin yansıtırlılığını ölçmektir. Bunun üstesinden gelebilmek için gönderilen sinyalin gücünün arttırılması ve dolayısıyla darbe süresinin uzatılması

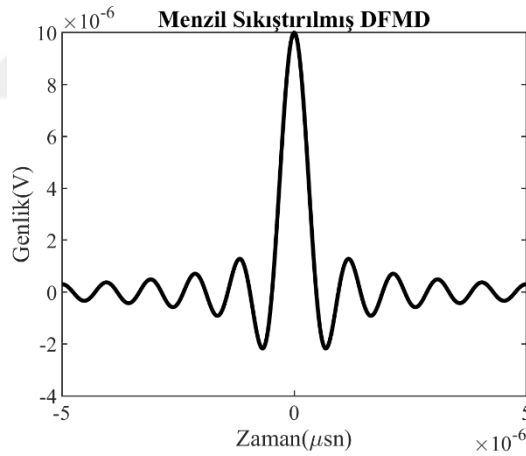
gerekmektedir. Darbe süresinin uzatılması, çapraz menzil çözünürlüğünün düşmesine ve dolayısıyla azimut ekseninde birbirine yakın iki hedefin birbirinden ayırt edilememesine sebep olur. Bundan dolayı darbe süresi olabildiğince kısa tutularak ve " $L_a/2$ " teorik çapraz menzil çözünürlüğü sağlanabilmektedir. Bununla birlikte yüksek menzil mesafelerine ulaşabilmek için toplam gücün artırılarak, alıcı radar sensörünün SGO'nun üzerinde bir değere ulaşması sağlanır. DFM sinyali kullanılarak bu isterler karşılanmaktadır. Ancak hedefe ait özellik çıkarımının yapılabilmesi için aşağıdaki uyumlu filtre işlemi gerçekleştirilmelidir.

$$s_{out}(t) = s_{rec}(t) * h(t) \quad (2.16.a)$$

$$s_{out}(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} s_{rec}(u)h(t - u)du \quad (2.16.b)$$

burada $h(t) = g^*(-t)$ olup, $g(t)$ sinyali ise doğrusal FM sinyali $s(t)$ 'nin birebir bir kopyasıdır. Bu işlemler yapıldıktan sonra $s_{out}(t)$, Şekil 2.13.'de gösterilen uyumlanmış çıkış sinyali, aşağıdaki denklem (2.17)'deki gibi ifade edilebilir.

$$s_{out}(t) \approx Tsinc(KT(t - t_0)) \quad (2.17)$$



Şekil 2.13. Uyumlu filtre sonrası sıkıştırılmış menzil profili.

Denklem (2.17)'de elde edilen sinyalin çözünürlüğü, sinyalin tepe değerinin -3dB'ye düştüğü iki nokta arasındaki mesafe olarak tanımlanır [34]. Çözünürlük aşağıdaki eşitlikle ifade edilir.

$$\Delta t = \frac{0.886}{|K|T} \approx \frac{1}{|K|T} \quad (2.18)$$

burada $|K|T$ sinyalin bant genişliğidir. Eğer menzil (metre) türünden çözünürlüğe ulaşılmak istenirse, denklem (2.18), $c/2$ ile çarpılmalıdır.

2.5.2. Menzil Yönündeki SAR Sinyali

Yukarıda bahsedildiği gibi SAR sistemlerinde en çok kullanılan darbe türü DFM (FMSSD veya civıltı) sinyalidir. Bu sinyale taşıyıcı frekansı eklenerek aşağıdaki şekilde ifade edilir.

$$s_{pul}(\tau) = w_{\tau}(\tau) \cos\{2\pi f_0 \tau + \pi K_{\tau} \tau^2\} \quad (2.19)$$

burada $w_{\tau}(\tau) = \text{rect}\left(\frac{\tau}{T_{\tau}}\right)$ olup, τ ise menzil zamanını (fast time) temsil etmektedir.

Geri yansıyan sinyalin herhangi bir andaki enerjisi ($s_r(\tau)$), gönderilen darbe dalga formu ($s_{pul}(\tau)$) ile ortamın yansıtırlılık ($g_{\tau}(\tau)$) değerinin konvolüsyonu eşittir. Bu ifade aşağıdaki şekilde gösterilir.

$$s_r(\tau) = g_{\tau}(\tau) * s_{pul}(\tau) \quad (2.20)$$

Radardan R_a mesafesi uzaklıkta konumlandırılmış A_0 genliğine sahip bir noktasal hedef olduğu varsayıldığında $g_{\tau}(\tau)$ ifadesi aşağıdaki şekilde yazılır.

$$g_{\tau}(\tau) = A_0 \delta\left(\tau - \frac{2R_a}{c}\right) \quad (2.21)$$

burada $\frac{2R_a}{c}$ ifadesi, radar ile noktasal hedef arasındaki zaman gecikmesine karşılık gelmektedir. Denklem (2.21)'deki ifade, denklem (2.20) de yerine yazıldığında $s_r(\tau)$ sinyali aşağıdaki şekilde ifade edilir.

$$s_r(\tau) = A_0 s_{pul}\left(\tau - \frac{2R_a}{c}\right) \quad (2.22)$$

Denklem (2.19), Denklem (2.22)'de yerine yazılırsa, alınan sinyal aşağıdaki gibi olur.

$$s_r(\tau) = A_0 w_{\tau}\left(\tau - \frac{2R_a}{c}\right) \cos\{2\pi f_0 \left(\tau - \frac{2R_a}{c}\right) + \pi K_{\tau} \left(\tau - \frac{2R_a}{c}\right)^2 + \emptyset\} \quad (2.23)$$

Burada \emptyset , yüzeyden yansıyan radar sinyalinin fazındaki değişimi temsil etmektedir.

2.5.3. Azimut Yönündeki SAR Sinyali

SAR sisteminde görüntü, radar sensörünün yol boyunca hareket ettirilmesi ile oluşturulmaktadır. Yol boyunca hareket edilen yöne, SAR terminolojisinde azimut eksenini denmektedir. Radar sensörü azimut boyunca ilerledikçe ardışık darbeler iletilip sürekli alınmaktadır. Azimut zamanı (η) boyunca toplanan veri, aşağıdaki şekilde ifade edilir.

$$s_r(\tau, \eta) = A_0 w_\tau \left(\tau - \frac{2R(\eta)}{c} \right) w_a(\eta - \eta_c) \cos \left\{ 2\pi f_0 \left(\tau - \frac{2R(\eta)}{c} \right) + \pi K_\tau \left(\tau - \frac{2R(\eta)}{c} \right)^2 + \emptyset \right\} \quad (2.24)$$

burada $w_a(\eta - \eta_c)$ azimut zarfı olup aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$w_a(\eta - \eta_c) = P_a^2 \{ \theta(\eta) \} \approx \text{sinc}^2 \left(\frac{0.886 \theta(\eta)}{\theta_{bw}} \right) \quad (2.25)$$

burada θ_{bw} SAR anteninin hüzmeye genişliği olup azimut yönünde L_a açıklığa sahip bir anten için aşağıdaki şekilde tanımlanır.

$$\theta_{bw} = \frac{0.886 \lambda}{L_a} \quad (2.26)$$

2.5.4. Demodüleli Temel Bant Sinyali

Azimut yönünde toplanan $s_r(\tau, \eta)$ sinyali içinde yüksek frekanslı $\cos\{2\pi f_0 \tau\}$ bileşeni bulunmaktadır. Radar sinyalini yüksek frekanslı bu taşıyıcıdan arındırabilmek için demodülasyon işlemi uygulanır. Bunun için karesel demodülatör kullanılmaktadır. Bu işlem sonunda denklem (2.24) aşağıdaki forma dönüşür.

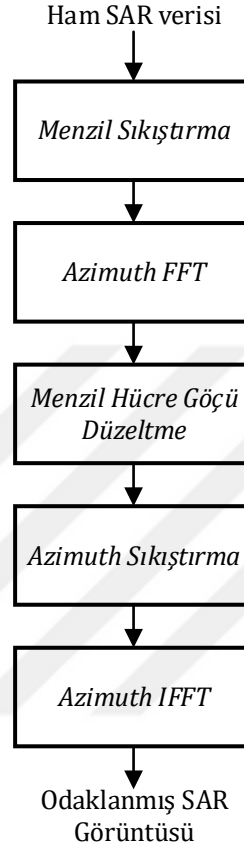
$$s_0(\tau, \eta) = A_0 w_\tau \left(\tau - \frac{2R(\eta)}{c} \right) w_a(\eta - \eta_c) \exp \left\{ -j4\pi f_0 R(\eta)/c \right\} \exp \left\{ j\pi K_\tau \left(\tau - \frac{2R(\eta)}{c} \right)^2 \right\} \quad (2.27)$$

Denklem (2.27)'de elde edilen ham SAR verisinin anlamlı bir görüntüye dönüştürülebilmesi için MDA ile odaklanması gerekmektedir.

2.6. DFMD SAR Verisi İçin MDA Uygulaması

MDA ile SAR görüntüleme, menzil sıkıştırma (MS, Range Compression-RC) ve azimut sıkıştırma (AS, Azimuth Compression-AC) denilen ardışık sinyal işleme prosedürlerine dayanır.

Genel olarak ham (Raw) SAR verileri, iki boyutlu (2B- frekans-uzamsal) hedef ya da hedeflerden saçılmış EM bilgi kümelerini içerir. Menzil ve azimut sıkıştırma, nihai SAR görüntüsünü elde etmek için birbirlerinden bağımsız olarak uygulanır. MDA ile SAR sinyal işlemenin temel adımları, şekil 2.14.'de gösterilmektedir.



Şekil 2.14. MDA kullanarak SAR görüntü oluşturma adımları.

2.6.1. Menzil Sıkıştırma

MDA algoritmasında menzil sıkıştırma işlemini gerçekleştirebilmek için denklem (2.27) ile denklem (2.21)'in zaman ekseninde terslenmiş kompleks eşleniği ($g^*(-t)$) ile konvolüsyonu alınarak ($s_{rc}(\tau, \eta) = s_0(\tau, \eta) * g^*(-t)$) menzil sıkıştırılmış SAR sinyali elde edilir. Ancak konvolüsyon işlemi, frekans bölgesinde çarpım olarak ifade edilebileceği için, menzil sıkıştırılmış sinyalin frekans bölge ifadesi denklem (2.28) ile kolayca elde edilir.

$$s_{rc}(f_\tau, \eta) = S_0(f_\tau, \eta) \cdot G(f_\tau) \quad (2.28)$$

burada, $S_0(f_\tau, \eta)$ ve $G(f_\tau)$ sırasıyla $s_0(\tau, \eta)$ ve $g^*(-t)$ ' nin menzil yönündeki Fourier dönüşümleridir (FD, forward Fourier Transform-FT). Denklem (2.28)'in ters Fourier dönüşümü (TFD, Inverse Fourier Transform-IFT) alınarak, menzil sıkıştırılmış SAR sinyali aşağıdaki şekilde elde edilir,

$$s_{rc}(\tau, \eta) = A_0 p_\tau(\tau - 2R(\eta)/c) w_a(\eta - \eta_c) \exp\{-j4\pi f_0 R(\eta)/c\} \quad (2.29)$$

burada p_τ , $W_\tau(f_\tau)$ ifadesinin TFD alınmış hali olup *sinc* fonksiyonuna denk gelmektedir.

Şekil 2.14.'deki MDA adımlarından ikincisini gerçekleştirmek için radar ile hedef arasındaki denklemin çözümüne ihtiyaç duyulmaktadır. Radar ile hedef arasındaki mesafe aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$R(\eta) = (R_0^2 + x^2)^{1/2} \quad (2.30)$$

burada $x = V_x \eta$ olup, x radarın azimuttaki konumuna, V_x ise radarın azimut yönündeki hızına karşılık gelmektedir. Şekil 2.10.'da görüldüğü gibi, R_0 radar ile hedef arasındaki en kısa mesafe iken $R(\eta)$ ise anlık azimut zamanına karşılık gelen eğik menzil mesafesini vermektedir. $R(\eta)$ ifadesinin, η' ya göre FD analitik olarak alınması mümkün olmadığından, $R(\eta)$ ifadesi Taylor serileri kullanılarak aşağıdaki gibi;

$$\begin{aligned} R(\eta) &= \sqrt{R_0^2 + x^2} \\ &= R_0 \sqrt{1 + \left(\frac{V_x^2 \eta^2}{R_0^2}\right)} \\ &\cong R_0 + \frac{V_x^2 \eta^2}{2R_0} - \frac{V_x^4 \eta^4}{8R_0^3} + \dots YDT \end{aligned} \quad (2.31)$$

yazılabilir. Burada Taylor serisi, $\left(\frac{V_x^2 \eta^2}{R_0^2}\right)$ ifadesine göre açılımı yapılmıştır. YDT ifadesi yüksek dereceli terimleri ifade etmek için kullanılmıştır. SAR literatüründe genellikle Taylor serisine açılmış olan ifadenin ilk iki teriminin $\left(\frac{V_x^2 \eta^2}{R_0^2} \ll 1, \text{ şartını sağlamanı durumunda}\right)$ kullanılması yeterli olmaktadır [33, 34, 35, 44]. Böylece denklem (2.31)'in kolaylıkla FD alınabilir.

2.6.2. Azimut Fourier Dönüşümü

2B boyutlu $s_{rc}(\tau, \eta)$ radar verisinde aynı menzilde fakat farklı azimut mesafelerinde birçok hedef bulunabilir. Azimut ekseninde yapılan taramadan (Şekil 2.15.) kaynaklı hedeflere ait

geri yansıyan sinyallerden elde edilen menzil sıkıştırma işleminden sonra ortaya hiperbolik bir iz çıkmaktadır. Bu iz, hedefe ait olmakla beraber aynı zamanda hedefe ait enerjinin hiperbolik bir dağılımını temsil etmektedir. Bu dağılımın menzil sıkıştırma işleminde yapıldığı gibi azimutta da yapılması gerekmektedir. Bu işleme, azimut odaklama da denmektedir. Bu işlem için menzil sıkıştırmadaki gibi uyumlu filtre kullanılmalıdır. Bunun için $s_{rc}(\tau, \eta)$ denkleminde $R(\eta)$ ifadesi yerine $R(\eta) \cong R_0 + V_x^2 \eta^2 / 2R_0$ yazılarak denklem (2.32) elde edilir.

$$s_{rc}(\tau, \eta) = A_0 p_\tau(\tau - 2R(\eta)/c) w_a(\eta - \eta_c) \exp\left\{-j \frac{4\pi f_0 R_0}{c}\right\} \exp\left\{-j\pi \frac{2V_x^2}{\lambda R_0} \eta^2\right\} \quad (2.32)$$

SAR verisinin azimut sıkıştırma işlemini gerçekleştirmek için denklem (2.32)'deki η ya bağlı faz ifadesi ($\exp\{-j\pi \frac{2V_x^2}{\lambda R_0} \eta^2\}$) kullanılır. Bu ifade, doğrusal FM sinyaline benzediğinden, aşağıdaki eşitlik tanımlanabilir.

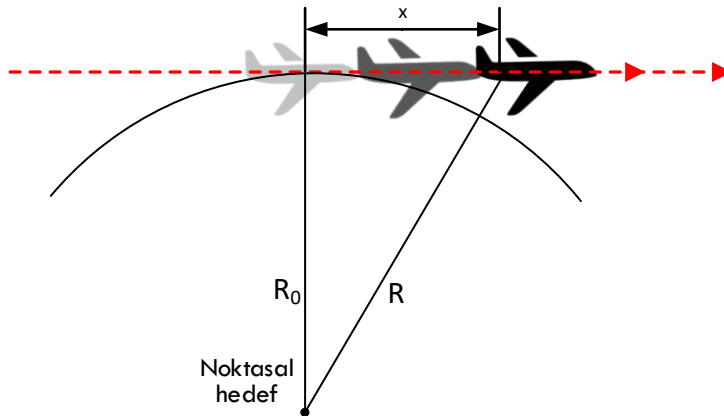
$$s_a(\eta) = \exp\{-j\pi K_a \eta^2\}, \quad K_a = \frac{2V_x^2}{\lambda R_0} \quad (2.33)$$

Durağan faz ilkesi (DFİ, Principle of Stationary Phase-POSP) [65] yöntemiyle, $\eta = -f_\eta / K_a$ kullanılarak $s_{rc}(\tau, \eta)$ sinyalinin azimut fourier dönüşümü aşağıdaki gibi elde edilir.

$$s_{afrc}(\tau, f_\eta) = FFT_\eta\{s_{rc}(\tau, \eta)\} \quad (2.34)$$

$$s_{afrc}(\tau, f_\eta) = A_0 p_\tau\left(\tau - \frac{2R_{rd}(f_\eta)}{c}\right) W_a(f_\eta - f_{\eta_c}) \exp\left\{-j \frac{4\pi f_0 R_0}{c}\right\} \exp\left\{j\pi \frac{f_\eta^2}{K_a}\right\} \quad (2.35)$$

Denklem (2.35)'deki $R_{rd}(f_\eta)$ ifadesi menzil-Doppler düzlemindeki menzil hücre göçüne (MHG, Range Cell Migration-RCM) karşılık gelmektedir [33, 34, 35, 44, 46].



Şekil 2.15. Azimut işlemi için 2B SAR geometrisi.

2.6.3. Menzil Hücre Göçü Düzeltmesi

MDA ile SAR görüntüleme son işlem olan azimut sıkıştırma adımı gerçekleştirilmeden önce denklem (2.35)'de ortaya çıkan menzil hücre göçü ifadesinin düzeltilmesi gerekmektedir. Bunun için $R(f_\eta)$ ifadesi aşağıdaki şekilde yeniden yazılabilir.

$$\begin{aligned} R(f_\eta) &\cong R_0 + \frac{V_x^2}{2R_0} \left(\frac{f_\eta}{K_a}\right)^2 + \dots YDT \\ &\cong R_0 + \frac{\lambda^2 R_0 f_\eta^2}{8V_x^2} \end{aligned} \quad (2.36)$$

Burada MHG düzeltme miktarı denklem (2.36)'nın ikinci terime göre yapılmalıdır.

$$\Delta R(f_\eta) = \frac{\lambda^2 R_0 f_\eta^2}{8V_x^2} \quad (2.37)$$

$s_{afrc}(\tau, f_\eta)$ verisindeki her bir menzil vektöründe bulunan her bir hücre, denklem (2.36)'da verilen düzeltme miktarı kadar kaydırılarak MHG doğrultma (MHGD, Range Cell Migration Correction-RCMC) işlemi tamamlanır. MHGD-SAR verisi aşağıdaki şekilde ifade edilir.

$$s_{rcmc/afrc}(\tau, f_\eta) = A_0 p_\tau \left(\tau - \frac{2R_0}{c}\right) W_a(f_\eta - f_{\eta_c}) \exp\left\{-j \frac{4\pi f_0 R_0}{c}\right\} \exp\left\{j\pi \frac{f_\eta^2}{K_a}\right\} \quad (2.38)$$

MHGD sonrası elde edilen sinyalde $R_{rd}(f_\eta)$ ifadesi, azimut frekansından kurtarılarak R_0 olarak düzeltilmiştir.

2.6.4. Azimut Sıkıştırma

MDA'nın son işlemi Azimut sıkıştırmasıdır. Denklem (2.38)'de verilen sinyali azimutta sıkıştırabilmek için denklem (2.33)'de elde edilen azimut sinyalinin kompleks eşleniğinin hızlı Fourier dönüşümü (HFD, Fast Fourier Transform-FFT) alınarak aşağıdaki gibi çarpılır [34, 35, 44, 62].

$$s_{rcmc/acrc}(\tau, f_\eta) = \{s_{rcmc/afrc}(\tau, f_\eta)\} \cdot \{FFT\{s_a^*(-\eta)\}\} \quad (2.39)$$

$$s_{rcmc/acrc}(\tau, f_\eta) = \{s_{rcmc/afrc}(\tau, f_\eta)\} \cdot \{S_a(f_\eta)\} \quad (2.40)$$

Denklem (2.40)'da gösterilen çarpma işleminin sonucu aşağıda verilmiştir.

$$s_{rcmc/acrc}(\tau, f_\eta) = A_0 p_\tau \left(\tau - \frac{2R_0}{c} \right) W_a(f_\eta - f_{\eta_c}) \exp \left\{ -j \frac{4\pi f_0 R_0}{c} \right\} \quad (2.41)$$

Menzil Doppler düzleminden normal düzleme (menzil-azimut) geçebilmek için elde edilen sinyalin azimut düzleminde TFD alınması gerekmektedir.

$$s_{ra}(\tau, \eta) = IFFT_{f_\eta} \{ s_{rcmc/acrc}(\tau, f_\eta) \} \quad (2.42)$$

Denklem (2.42)'nin son hali, MDA ile odaklanmış SAR verisinin analitik ifadesi olarak aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$s_{ra}(\tau, \eta) = A_0 p_\tau \left(\tau - \frac{2R_0}{c} \right) w_a(\eta - \eta_c) \exp \left\{ -j \frac{4\pi f_0 R_0}{c} \right\} \quad (2.43)$$

3. MATERYAL ve YÖNTEM

Bu tez çalışması üç temel kısma ayrılmıştır. Bunlardan ilki, radyometrik alıcının üretilmesi ve PMMD görüntülerin elde edilmesi. İkincisi, PMMD görüntüsünden otomatik hedef tespitin yapılması ve hedefin sınıflandırılması. Son olarak da aktif radar görüntüleme için AFSD formülü radar sinyaline uygun yeni bir algoritma geliştirilmesidir. Bu üç temel aşama için aşağıdaki adımlar izlenmiştir:

- i. PMMD görüntülerin elde edilmesi için radyometrik alıcının tasarlanması, tasarım alt birimlerin görüntülemenin yapılacağı frekans bandı olan 34.5 GHz aralığındaki sinyalleri elde etmek üzere gerekli sinyal üretici, frekans katlayıcı, düşük gürültülü yükselteç, çarpıcı ve filtre devrelerinin bir araya getirilmesi.
- ii. Tasarlanan PMMD alıcısının tarayıcı düzeneğe yerleştirilebilmesi için gerekli olan güç sistemi, soğutma sistemi, anten ve kutulama işlemlerinin tamamlanması.
- iii. PMMD görüntüleme düzeneğinin kalibrasyonunun yapılması, cansız manken üzerinde deneylerinin yapılması ve sonrasında basitten zora giderek gerçek insan kullanılarak deneylerin gerçekleştirilmesi.
- iv. Yapılan deneylere göre PMMD görüntüleme sistem cevabının modellenmesi, çeşitli algoritmaların uygulanması, bunların sonucunda özgün algoritmaların geliştirilmesi ve cansız manken ya da insan üzerindeki hedeflerin tespit edilmesi.
- v. Aktif uzaktan algılama sistemlerinin incelenmesi ve geleneksel FMSD radar odaklama algoritmalarının kavranması.
- vi. AFSD radar için yeni bir odaklama algoritmasının geliştirilmesidir.

3.1. PMMD Görüntüleme

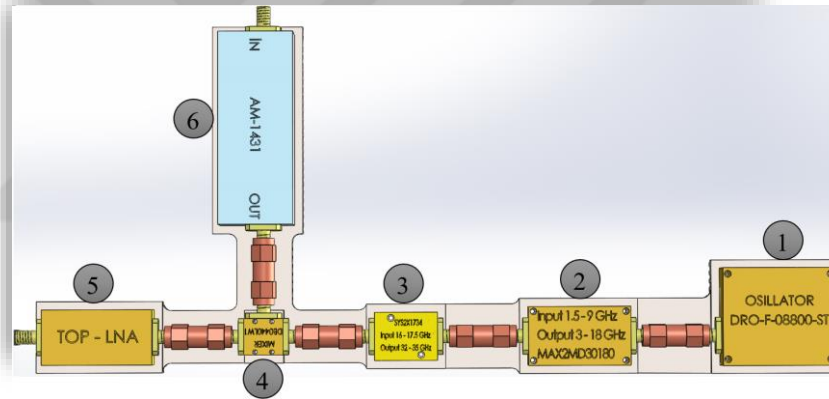
Tez çalışmasının bu bölümünde, tezin amacına yönelik özgün olarak geliştirilen PMMD görüntüleme ve hedef tespiti algoritmalarının uygulanması için gerekli olan deneysel veri toplama sisteminin nasıl üretildiği ve geliştirildiği açıklanmıştır.

3.1.1. Pasif Milimetre Dalga Alıcı Prototip Tasarımı

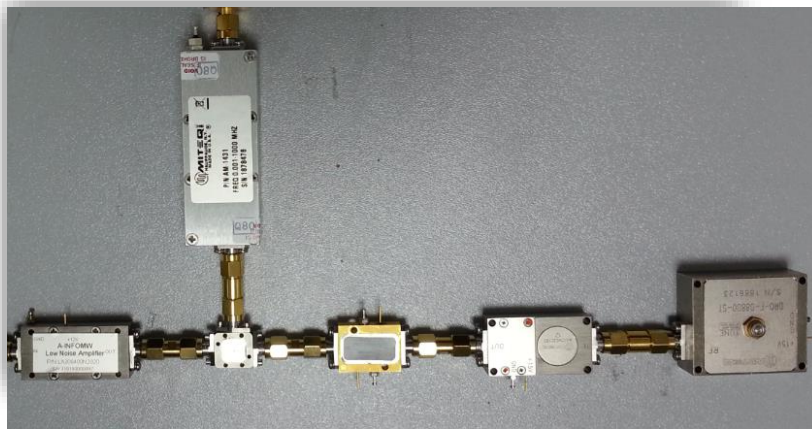
Pasif milimetre dalga alıcı tasarımı için literatürde var olan çeşitli tasarım konfigürasyonları incelenmiş ve bu yapılan araştırma sonrasında KAR fenomenoloji ihtiyaçlarını karşılamak için optimum tek kanallı radyometrik tasarımı benimsenmiştir. Pasif milimetre

görüntüleme sisteminde kullanılan alıcı bileşenleri şekil 3.1.'de görülmektedir. Bileşenlerin listesi ve özellikleri tablo 3.1.'de, işlevleri ise aşağıda verilmiştir.

1. Numaralı modül 8-9 GHz arasında sinüzoidal sinyal üreten osilatördür.
2. Numaralı modül aktif frekans katlayıcı olup (1,5-9 GHz / 3-18 GHz) aralığındaki frekans bileşenlerini 2 kat yükseltmektedir.
3. Numaralı modül aktif frekans katlayıcı olup (16-17.5 GHz / 32-35 GHz) aralığındaki frekans bileşenlerini 2 kat yükseltmektedir.
4. Numaralı modül ise, 3 ve 5 numaralı parçadan gelen sinyalleri çarparak 6 numaralı parçaya çıkış olarak vermektedir.
5. Numaralı modül DGY olup antenden gelen (30 GHz- 40 GHz) sinyalleri 20 dB yükseltmektedir.
6. Numaralı modül çarpıcıdan almış olduğu düşük ve yüksek frekans (0.001- 1 GHz) aralığındaki sinyalleri yükseltmede kullanılmaktadır.



(a)



(b)

Şekil 3.1. PMMD alıcı bileşenleri: (a) Tasarım görüntüsü, (b) Ön montaj görüntüsü.

Tablo 3.1. PMMD alıcı bileşenleri ve parametre değerleri

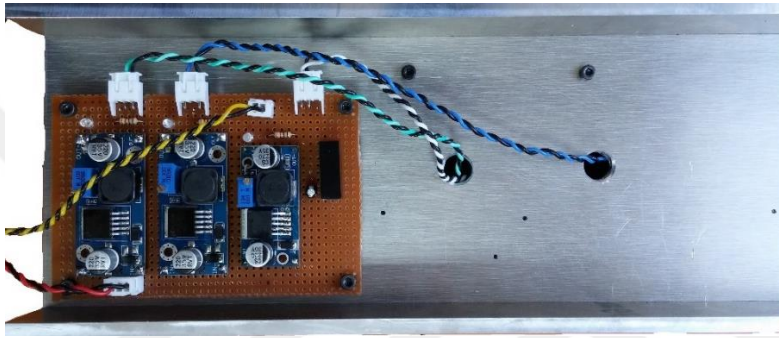
Ürün kodu	Açıklama	Besleme Voltajı ve Akımı	Giriş gücü	Çıkış gücü	Çalışma frekansı	Kazanç
AM-1431	Yükselteç	+15 ile +30 volt arası, 100 mA		(P1dB) +10dB	Giriş frekansı 0.001 - 1000 MHz	Min. 41 dB
GF-T2-18-40	Güç bölücü	-			Giriş frekansı 18.0-40.0 GHz	
DB0440LW1	Çift dengeli mikser	-	LO girişi +13dBm	(0 ile 2 GHz) 3 dB	Giriş frekansı 4 to 40 GHz Çıkış frekansı DC to 2 GHz	Kayıp -9 dB
MAX2M030180	Aktif frekans katlayıcı	+15 volt, 160 mA	8 - 12 dBm		Giriş frekansı 1.5 - 9 GHz Çıkış frekansı 3 - 18 GHz	0 dB
SBLP-933+	Alçak geçiren filtre	-			Giriş frekansı DC-560 MHz	Kayıp <1.2 dB
SYS2X1734	Aktif frekans katlayıcı	(9 ile 16 +V), 250 mA (- 9 ile -16 -V), 15 mA	12 dBm	13 ile 18 dBm	Giriş frekansı 16 - 17.5 GHz Çıkış frekansı 32 - 35 GHz	
JBQ-0020-NZ	Sıfır-bias Schottky detektörü	-		100 mW mak.	Giriş frekansı 0.01-2.0 GHz	
LB-180400	Geniş bant horn anten	-	Sürekli dalga mak. 20W			15 dBi
DRO-F-08800-ST	Osilatör	15 Volt		(P1dB) +10dB	Çıkış frekansı 6.5-8.8 Ghz	

Şekil 3.1.(a)'da tüm sistemin montajının yapıldığı çizim görülmektedir. Şekilden anlaşılacağı üzere, farklı bileşenler birbirleriyle doğrudan konektörler ile bağlanacak şekilde düzenlenmiş ve tek başına stabil bir yapı oluşturulmuştur. Şekil 3.1.(b)'de ise bileşenlerin ön montajı verilmiştir. Her bir bileşenin ismi ve sistemdeki bağlantı yeri şekil 3.1.'de ayrıntılı bir şekilde ifade edilmiştir. Şekil 3.1.(a)'da verilen "1" numaralı parça osilatör olup 8-9 GHz arasında sinüzoidal sinyal üretmektedir. Üretilen bu sinyal daha sonra "2" numaralı parçada verilen aktif frekans katlayıcıya (1,5-9 GHz / 3-18 GHz) aktarılarak, frekansı 2 kat yükseltilmektedir. "3" numaralı aktif frekans katlayıcı (16-17.5 GHz / 32-35 GHz) parçası ise gelen sinyali tekrar 2 kat daha yükselterek frekans bandını 32-35 GHz arasına getirmektedir. Şekilde verilen "5" numaralı parça DGY olup antenden gelen sinyali yükseltmektedir. "4" numaralı parça ise, "3" ve "5" numaralı parçalardan gelen sinyali çarpılarak "6" numaralı parçaya çıkış olarak vermektedir. Şekildeki "6" numaralı parça çarpıcıdan almış olduğu düşük ve yüksek frekanslı sinyalin (0.001 - 1 GHz) arasında kalan kısmını yükseltmede kullanılmaktadır. Şekil 3.1.'de önerilen 34.5 GHz'de çalışan pasif radyometrik alıcının modüler tasarımı gerçek bileşenler kullanılarak bir araya

getirilmiş ve alıcı devre tamamlanmıştır. Tüm bileşenlerin montaj sonrası tamamlanan alıcı devresi şekil 3.2.'de gösterilmiştir.



(a)



(b)



(c)

Şekil 3.2. PMMD alıcısının montaj sonrası: (a) bileşen katı, (b) besleme katı ve (c) perspektif görüntüsü.

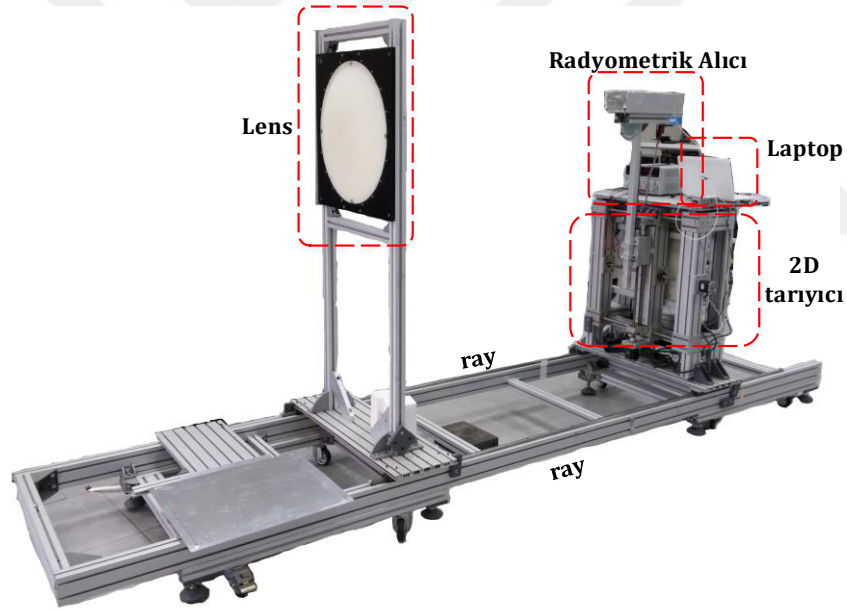
PMMD alıcısının, radyometrik görüntüleme düzeneği (RGD) üzerine montajlanmış hali Şekil 3.3.'de verilmiştir. Bu tezde tasarlanan radyometrik alıcı, TUBITAK MAM' da bulunan ve Şekil 3.3.'de verilen iki boyutlu tarama sistemi üzerine monte edilmiştir. Bu sistem, 2B tarama yöntemini kullanarak hedefe ait pasif milimetre dalga radar görüntüsünü elde etmektedir.

PMMD RGD bileşenleri:

- i. Dielektrik lens,
- ii. THz detektör,
- iii. W-bant boynuz tipi (Horn type) anten,
- iv. 2B mekanik tarama sistemi ve veri toplama kartından oluşmaktadır.

PMMD RGD özellikleri:

- Çalışma frekansı 34.5 GHz,
- Hedef ve lens arasındaki mesafe 9m,
- Görüntü düzlemindeki
 - Tarama alanı yaklaşık 31 cm x 31 cm,
 - Tarama adımı 0.24 cm,
- Hedef üzerindeki görüntülenebilir alan 1m x 2m'dir.



Şekil 3.3. PMMD algılayıcı sistemi.

3.1.2. Radyometrik Alıcının Kalibrasyonu

Radyometrik alıcının kalibrasyonunun yapılabilmesi için izlenecek yol şu şekildedir [52]: Değişik sıcaklıktaki ısı ortamları sıvı azot (-196°C, 77K), buzlu su (0°C, 273K) ve kaynar su (100°C, 373K) olmak üzere alıcı kalibrasyonunu belirlemek için kullanılmaktadır. Alıcının kalibrasyonu

için alıcı girişine yük olarak 50Ω dalga kılavuzu bağlanmaktadır. Yük, yukarıdaki sıcaklık ortamlarına maruz bırakılarak alıcının çıkışı ölçülmekte ve bu değerler hesaplanmaktadır. Ayrıca aynı anda termometre yardımı ile yükteki ortam sıcaklığı da ölçülmektedir.

Bu deneysel çalışma, uygulanan gerilimden bağımsız denge durumundaki bir iletken, elektron hareketinden sebeple oluşan termal dalgalanmanın sonucundaki elektronik gürültünün ölçülmesi prensibine dayanmaktadır. Bu gürültüye Johnson-Nyquist gürültüsü de denir. Yük üzerinde oluşan gerilim, denklem (3.1) ile elde edilirken, güç ise denklem (3.2)'de verilmiştir.

$$V = \sqrt{4K_B TR \Delta f} \quad (3.1)$$

$$P = \frac{V^2}{R} = 4K_B TB \quad (3.2)$$

burada R , Ohm cinsinden direnç değeri iken B , bant genişliğidir.

3.2. PMMD GÖRÜNTÜLEME ALGORİTMALARI

Bu bölümde, Şekil 3.3.'de kullanılan PMMD görüntüleme düzeneğini ile toplanan sinyallerden görüntü oluşturulması ve oluşturulan görüntülerden hedeflerin tespit edilmesine yönelik iki adet özgün algoritma geliştirilmiş ve geliştirilen bu algoritmalar ayrıntılı olarak verilmiştir [29, 30, 32].

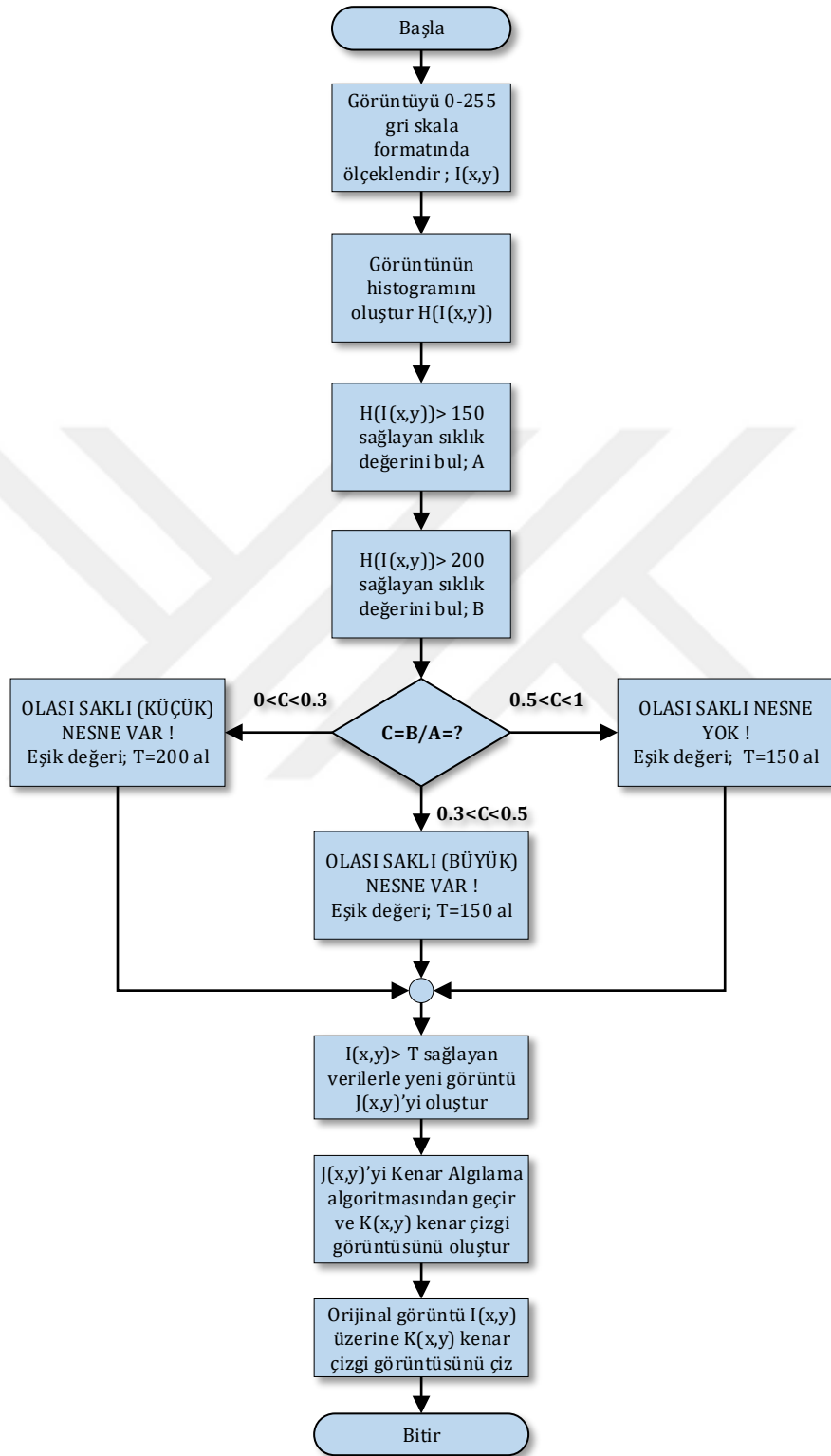
3.2.1. Pasif Radyometrik Sinyallerden Görüntü Oluşturma

Pasif radyometrik görüntünün oluşturabilmesi için bölüm 3.1.1.'de ayrıntıları sunulan 2B tarama düzeneği kullanılmıştır. Kozmik arka plan ışınması sonucu elde edilen görüntülerde metal cisimler ile metal olmayan cisimlere ait ışınma şiddeti farklı olduğundan, hedef üzerinde belirlenmesi amaçlanan metal nesnenin tespit edilebilmesi için uygun sinyal ve görüntü işleme tekniklerinin kullanılması gerekmektedir [1-4, 9-11, 66-78]. Elde edilen görüntü üzerinde metal hedefin sınıflandırılması, ayrıştırılması ve ham görüntü üzerine metal objenin konumunun ve şeklinin yerleştirilmesi için kullanılan yöntemler ilerleyen bölümlerde verilmiştir.

3.2.2. Otomatik Sınıflandırma Yöntemiyle Saklı Hedef Tespiti

Pasif görüntüleme sisteminin ilk işlemi, 2B tarama düzleminde veri toplamaktır. Bu amaçla şekil 3.3.'de gösterilen alıcı sistemden, x-y düzleminde 128×128 olmak üzere toplam

16384 noktada veri toplanmıştır. Toplanan bu ham veriler kullanılarak, hedefteki şahsın üzerinde saklı olabilecek muhtemel nesnelerin tespit edilebilmesi için gerekli akış diyagramı şekil 3.4'de verilmiştir.



Şekil 3.4. PMMD verileri için saklı hedef bulma ve görüntü oluşturma algoritması.

Şekil 3.4.'de verilen akış diyagramındaki işlem basamakları şu şekildedir:

1.Adım) Ham veri matrisinin piksel genlikleri ele alınarak; ölçeklendirilmiş yeni görüntü $I(x, y)$ en düşük sinyal seviyesi "0" ve en yüksek sinyal seviyesi "255" olacak şekilde normalize edilir.

2.Adım) $I(x, y)$ 'nin histogramı oluşturulur.

$$H(z) = \text{Hist}\{I(x, y)\} \quad (3.3)$$

3.Adım) H vektöründe değeri 150'den büyük eşit olan piksellerinin sayısı; A bulunur:

$$A = \text{Topla}\{H(z \geq 150)\} \quad (3.4)$$

4.Adım) H vektöründe değeri 200'den büyük eşit olan imaj piksellerinin sayısı; B bulunur:

$$B = \text{Topla}\{H(z \geq 200)\} \quad (3.5)$$

5.Adım) Değeri 200'den büyük olan imaj piksellerinin sayısı, değeri 150'den büyük olan imaj piksellerine oranlanarak; C katsayısı bulunur:

$$C = \frac{B}{A} \quad (3.6)$$

6.Adım) C katsayısı 3 farklı durum için değerlendirilir. Bunlar:

(i) Eğer C katsayısı; 0 ile 0,3 arasında ise hedefteki sıcak noktaların çok büyük olmadığını ve dolayısıyla tabanca gibi olası küçük metal bir hedef olabileceği ihtimalini göstermektedir.

(ii) Eğer C katsayısı; 0,3 ile 0,5 arasında ise hedefteki sıcak noktaların daha büyük bir alanı kapladığını ve dolayısıyla tüfek vb. gibi olası büyük metal bir hedef olabileceği olasılığını göstermektedir.

(iii) Eğer C katsayısı; 0,5 ile 1,0 arasında ise hedefteki sıcak noktaların çok büyük olduğunu ve dolayısıyla gelen güçlü ışımların şahsın vücudunun bir bölümünden geldiğini göstermektedir. Bu durumda şahsın üzerinde ya saklı metal bir hedef yoktur ya da eğer varsa bu hedef tespit edilemeyecek kadar küçüktür.

7.Adım) C katsayısı belirlendikten sonra, $I(x, y)$ matrisine eşiklendirme işlemi otomatik olarak uygulanır. Buna göre:

(i) Eğer C katsayısı; 0 ile 0,3 arasında ise eşiklendirme değeri: $T_E = 200$ alınır. Bu durumda: “HEDEF VAR, OLASI KÜÇÜK HEDEF” kararı verilir.

(ii) Eğer C katsayısı; 0,3 ile 0,5 arasında ise eşiklendirme değeri: $T_E = 150$ alınır. Bu durumda: “HEDEF VAR, OLASI BÜYÜK HEDEF” kararı verilir.

(iii) Eğer C katsayısı; 0,5 ile 1,0 arasında ise eşiklendirme değeri: $T_E = 150$ alınır. Bu noktada: “HEDEF YOK, YÜKSEK İŞİMA BÖLGESİ” kararı verilir.

8.Adım) Sonrasında seçilen T_E eşik değeri $I(x, y)$ imajına uygulanarak yeni eşiklendirilmiş $J(x, y)$ imajı elde edilir.

9.Adım) Eşiklendirilmiş $J(x, y)$ imajına kenar algılama (edge detection) [79] algoritması uygulanır ve saklı hedefin etrafını çizen $K(x, y)$ görüntüsü elde edilir.

10.Adım) Son olarak, orijinal ölçeklendirilmiş $I(x, y)$ imajı üzerine $K(x, y)$ hedef kenarı algılama görüntüsü çizilerek algoritma sonlandırılır.

3.2.3. Genişletilmiş (Otsu Tabanlı) Oto-Sınıflandırma Metodu

1979'da Otsu, görüntü içerisindeki nesnelerin ayırt edilmesine yönelik eşik seviyelerini en iyi şekilde hesaplayan bir algoritma sunmuştur [21]. Bu algoritma görüntünün tümüne ait histogramı inceleyerek otomatik bir eşik değeri üretmektedir. Algoritma sonrasında PMMD görüntüleme de dâhil olmak üzere birçok görüntü işleme uygulamasında başarıyla kullanılmıştır. Algoritmanın genel yapısı şu şekildedir:

Algoritma görüntünün L gri-seviyeden oluştuğu varsayımıyla başlar. Görüntüdeki i seviyesine ait piksel sayısı x_i ile temsil edilmektedir. Daha sonra, toplam piksel sayısı $N = x_1 + x_2 + \dots + x_L$ olarak hesaplanabilmektedir. Böylelikle; seçilen herhangi bir “ i ” gri seviye için olasılık hesabı aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$P_i = \frac{x_i}{N}, P_i \geq 0, \sum_{i=1}^L P_i = 1 \quad (3.7)$$

Eğer görüntü M adet gruba (C_1, C_2, \dots, C_M) ayrılabilirse, bu gruplara ait $(t_1, t_2, \dots, t_{M-1})$ $M-1$ adet eşik değeri oluşmaktadır. Gruplara ait seviye bilgisi şu şekildedir: C_1 grubu 1 ile t_1 arası, C_2 grubu t_1+1 ile t_2 arası ve son olarak C_M grubu ise $t_{M-1}+1$ ile L arası değerlerden oluşmaktadır. Gruplara ait kümülatif olasılık (w_1, w_2, \dots, w_M) ve ortalama seviye değerleri $(\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_M)$ aşağıdaki gibidir,

$$w_1 = \sum_{i=1}^{t_1} P_i, \quad (3.8)$$

$$w_2 = \sum_{i=t_1+1}^{t_2} P_i, \quad (3.9)$$

$$w_M = \sum_{i=t_{M-1}+1}^L P_i, \quad (3.10)$$

$$\mu_1 = \sum_{i=1}^{t_1} iP_i/w_1, \quad (3.11)$$

$$\mu_2 = \sum_{i=t_1+1}^{t_2} iP_i/w_2, \quad (3.12)$$

$$\mu_M = \sum_{i=t_{M-1}+1}^L iP_i/w_L. \quad (3.13)$$

Otsu en uygun eşik değeri t^* 'yi bulabilmek için gruplar arasındaki varyansı, denklem (3.14)'deki σ_B^2 'yi diskriminant analizi kullanarak maksimize etmektedir. Bu sayede, gri-seviyeye sahip görüntüyü iki parçaya ayırabilmektedir. Burada μ_T , tüm görüntünün ortalama yoğunluğunu temsil etmektedir.

$$t^* = \arg \max_{1 \leq t < L} \{\sigma_B^2(t) = w_1(\mu_1 - \mu_T)^2 + w_2(\mu_2 - \mu_T)^2\}, \quad (3.14)$$

$$\mu_T = \sum_{i=1}^L iP_i. \quad (3.15)$$

Bu tezde, görüntüyü iki gruba ayıran Otsu algoritması aşağıdaki denklemler kullanılarak çok seviyeli eşikleme yöntemine dönüştürülmüştür.

$$\sigma_B'^2 = \sum_{k=1}^M w_K(\mu_K - \mu_T)^2, \quad (3.16)$$

$$w_K = \sum_{i \in C_K} P_i, \quad (3.17)$$

$$\mu_K = \sum_{i \in C_K} iP_i / w_K = \mu(k) / w_K, \quad (3.18)$$

$$\mu(K) = \sum_{i \in C_K} iP_i, \quad (3.19)$$

burada K katsayısı, C_k grubuna ait w_k ve $\mu(k)$ değerlerinin sıfırcı ve birinci derece kümülatif momentlerine ait değeri temsil etmektedir. Böylelikle $(t_1^*, t_2^*, \dots, t_{M-1}^*)$ eşik değerleri, aşağıdaki eşitlikle kolaylıkla bulunabilir.

$$\{t_1^*, t_2^*, \dots, t_{M-1}^*\} = \underset{1 \leq t < \dots < t_{M-1} < L}{arg} \max\{\sigma_B'^2(t_1^*, t_2^*, \dots, t_{M-1}^*)\} \quad (3.20)$$

Bölüm 3.2.2.'de uygulanan otomatik sınıflandırma yöntemindeki T_E değeri, bu bölümde OTSU kullanılarak her bir görüntüye göre dinamik olarak tespit edilmiştir. Bu yönteme ait akış diyagramı Şekil 3.5.'de verilmiştir.

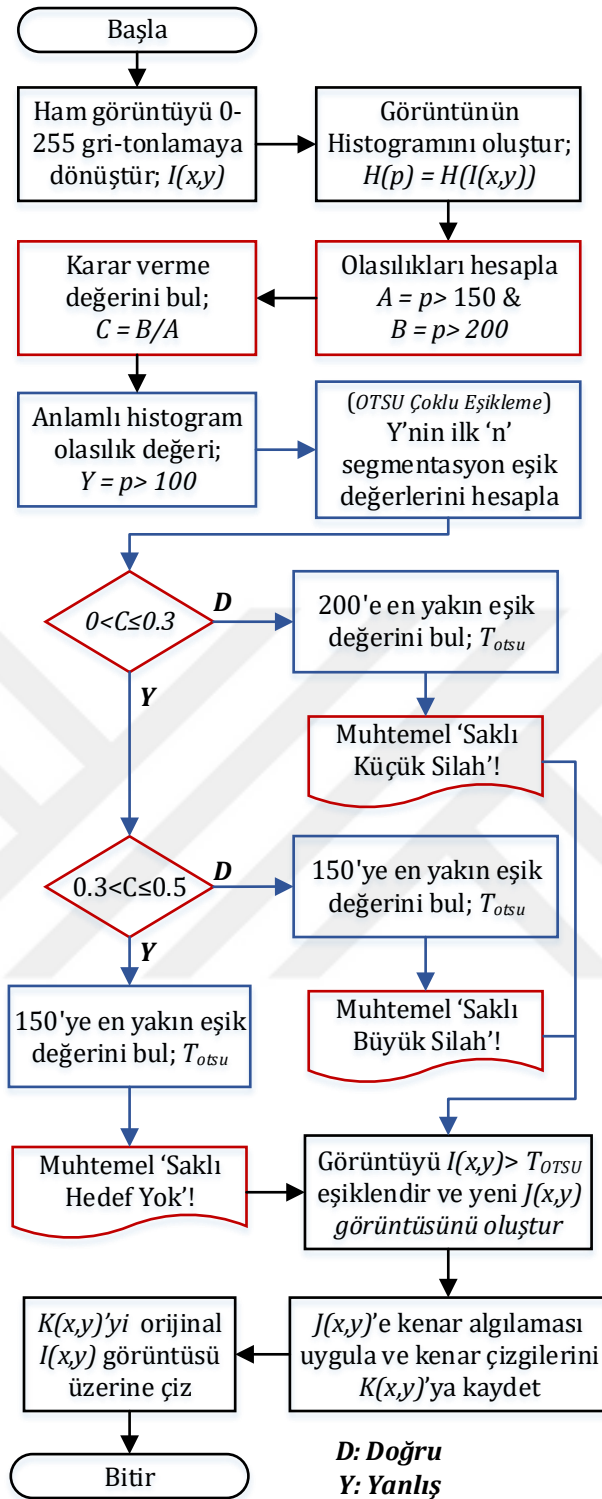
Akış diyagramında, algoritma adımları farklı renkler kullanılarak özetlenmiştir. Bu renklere kırmızı olanı, bölüm 3.2.2.'de verilen otomatik sınıflandırma yöntemindeki adımları temsil etmektedir. Mavi olanlar ise, Otsu'nun metodolojisinin eklenmesiyle geliştirilen algoritma basamaklarını temsil etmektedir. Siyah renkli olanlar ise geleneksel görüntü/sinyal işleme yöntemlerini belirtmek amacı ile kullanılmıştır. Algoritmaya ait ayrıntılar aşağıda verilmiştir.

- i.** İlk olarak, orijinal ham radyometrik görüntü gri tonlamalı görüntüye dönüştürülür. $I(x, y)$: 0-255 seviyelerine normalize edilir.
- ii.** Daha sonra, $I(x, y)$ 'nin histogramı alınarak $H(p)$ histogram vektörü elde edilir. Burada p değişkeni 0 ile 255 arasında değişmektedir.
- iii.** Algoritma, H vektörünün $p > 150$ ve $p > 200$ 'e ait değerlerini bularak bunları sırasıyla A ve B değişkenlerine atamaktadır.
- iv.** Sonraki adımda, $C = B/A$ karar verme oranı hesaplanır. Bu noktada, Otsu'nun çok seviyeli eşikleme prosedürü aşağıdaki eklemeleri içeren teknikle birleştirilmiştir.
- v.** İlk olarak H vektörünün $p > 100$ olan değerleri alınarak yeni bir matris elde edilir. Bu şekilde pasif görüntüdeki arka plan görüntüsünü elimine ederek, sadece anlamlı pikseller değerlendirilir. Denklem (3.20)'ye göre T_E 'nin $(n - 1)$ farklı eşik değeri elde edilir.
- vi.** C karar verme oranının değeri 0.3'ten küçükse algoritma, küçük boyutlu gizli bir nesne olduğuna karar verir ve (ix) adımına ilerler. Ayrıca, 200'e en yakın eşik değeri Otsu metodu kullanılarak elde edilir ve bu değer T_{otsu} değişkeni olarak isimlendirilir.

- vii.** C 'nin karar verme oranının değeri 0.3 ile 0.5 arasındaysa algoritma, muhtemel hedefin büyük boyutlu gizli bir nesne olduğuna karar verir. Bir sonraki adım (ix)'dir. Bu noktada, T_{otsu} değişkenine, 150'ye en yakın eşik değeri hesaplanarak atanır.
- viii.** C 'nin karar verme oranının değeri 0.5'den büyükse, görüntüde gizli bir nesne bulunmadığı anlamına gelir ve T_{otsu} değişkenine, 150'ye en yakın eşik değeri atanır.
- ix.** $J(x, y)$ yeni iki boyutlu görüntü matrisi, Otsu'nun T_{otsu} eşik değeri kullanılarak hesaplanır.
- x.** Yeni görüntü matrisine Canny'nin [79] kenar algılama algoritmasını uygulayarak $K(x, y)$, olası metal nesneye ait kenar değerlerini temsil eden matris elde edilir.

Algoritmanın son adımında, $K(x, y)$ 'yi, algılamayı tamamlamak için $I(x, y)$ nin orijinal ham görüntüsü üzerine çizilir.





Şekil 3.5. PMMD görüntüleme için önerilen OTSU tabanlı otomatik sınıflandırma yöntemi.

3.3. AFSD Radar Verileri İçin MDA Temelli Özgün Odaklama Algoritması

Bu tez çalışmasının son bölümünde, aktif uzaktan algılama için SAR görüntülemeye yönelik yeni bir algoritma geliştirilmiş ve aktif görüntülemeye kullanılan ham azimut zaman eksenli SAR verileri, hiperbolik bozulmadan negatif etkilendiğinden dolayı, literatürde yüksek çözünürlüklü SAR görüntüleri oluşturmak için etkili standart odaklama algoritmaları sunulmuştur [36-43]. Tüm bu algoritmalar, başlangıçta DFM ve literatürde cıvıltı (Chirp) darbe dalga formu ya da FMSD formu olarak isimlendirilen sinyaller için geliştirilmişlerdir. Bunun nedeni, SAR platformlarının genellikle uydu, uçak, uzay aracı gibi yüksek hızlarda hareket eden araçlar üzerine konumlandırılması, kullanılacak sinyalin küçük bir darbe süresi içerisinde yeterince büyük bir bant genişliği sağlayabilme gereksinimini doğurmuştur. Cıvıltı darbe dalga formu [34, 35, 44] bu ihtiyacı tam olarak karşılayabilmektedir. Ancak, cıvıltı darbe dalga formundaki frekans bant genişliği artırılması elektronik donanım kısıtlamaları nedeniyle sınırlıdır. Ayrıca, frekans yanıtı pratikte Fourier alanında genellikle tamamen düz bir yanıt sağlamamaktadır. Öte yandan, AFSD dalga formulu radar uygulamalarının; yüksek SGO, tamamen düz frekans yanıtı, yüksek ortalama güç iletimi ve hassas frekans iletimi gibi birçok avantajı vardır [45]. Bir AFSD radar sisteminin temel dezavantajları şunlardır: AFSD elektronik donanımı biraz karmaşık olduğundan genellikle daha pahalıdır. Ayrıca, AFSD alıcısının veri toplama hızı, DFM alıcısına göre daha yavaştır. Çünkü entegrasyon süresi her bir frekans için ayrı ayrı uygulandığından toplam süre daha uzundur. Günümüzde çeşitli kara [80-82] ve hava [83, 84] araçlarına montajı yapılan AFSD formulu SAR platformları ile çeşitli görüntülemeler yapılmaktadır. Fakat bu görüntülemelerde kullanılan algoritmalar genellikle GİA ve ω -kA olmuştur [80-84]. Literatürde, benzetimi yapılmış veya ölçülmüş AFSD tabanlı MDA kullanımı bulunmamaktadır. Bu nedenle, AFSD sinyalinin avantajlarından yararlanmak için AFSD sinyalli MDA uygulamasına ihtiyaç duyulmaktadır. Böylece daha iyi çözümlenmiş SAR görüntüleri, MDA'nın odaklama üstünlüğü ile birlikte geniş bant özellikleri ve iyi AFSD SGO özellikleri ile yeniden oluşturulabilir. Bu amaçla, bu bölümde MDA'nın AFSD tabanlı uygulamasının formülasyonu ayrıntıları ile sunulmuştur.

3.3.1. AFSD Sinyal Modeli

AFSD formuna MDA uygulayabilmek için ilk olarak AFSD sinyalinin matematiksel tanımıyla işleme başlanır. AFSD sinyalinin temel matematiksel ifadesi aşağıda verilmiştir.

$$S_{pui}(f_i, t) = A_i \cos(2\pi f_i t + \theta_i) \quad (3.21)$$

burada $f_i = f_0 + i\Delta f$, ($i = 0, \dots, N - 1$) olup i ' ninci frekansı temsil etmektedir. A_i ve θ_i , sırasıyla gönderilen sinyalin genlik ve faz bilgisini belirtmektedir. N ise AFSD sinyalinin frekans sayısını göstermektedir. Antenden R uzaklıktaki sabit bir hedeften geri saçılan AFSD sinyali;

$$S_r(f_i, t, \Phi) = B_i \cos(2\pi f_i(t - \Phi) + \theta_i) \quad (3.22)$$

şeklinde ifade edilir. Burada B_i ve Φ sırasıyla geri saçılan her bir frekans bileşenine karşılık gelen sinyalin genliğini ve R uzaklığına karşılık gelen gidiş dönüş zamanını ifade etmektedir. R menzil mesafesi Φ cinsinden şu şekilde ifade edilebilir.

$$R = \frac{c\Phi}{2} \quad (3.23)$$

burada c , radar sinyalinin boşluktaki yayılım hızı olup 3×10^8 m/s'dir. AFSD sinyalini t ifadesinden bağımsız hale getirebilmek için normalize edilmiş karesel-genlik demodülatör işlemi [44] uygulanarak denklem (3.24)'deki hale getirilir.

$$I_i(f_i, \Phi) = \cos(-2\pi f_i \Phi) = \cos(\varphi_i) \quad (3.24.a)$$

$$Q_i(f_i, \Phi) = \sin(-2\pi f_i \Phi) = -\sin(\varphi_i) \quad (3.24.b)$$

Demodüleli I ve Q sinyalinin $\varphi_i = 2\pi f_i \Phi$ faz değerinden hedefe ait menzil bilgisi elde edilebilir. I ve Q bileşenleri kompleks olarak aşağıdaki şekilde gösterilir.

$$C_i(f_i, \Phi) = I_i(f_i, \Phi) + jQ_i(f_i, \Phi) = \exp(-j2\pi f_i \Phi) = \exp(-j\varphi_i) \quad (3.25)$$

Her bir frekansa karşılık gelen C_i değerleri vektörel olarak şu şekilde ifade edilebilir.

$$E^S = [C_0, C_1, \dots, C_{N-1}] \quad (3.26)$$

Frekans bölgesindeki AFSD sinyalini, zaman bölgesinde ifade etmek için kompleks C_i vektör bileşenlerine TFD uygulanır.

$$S_\tau = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} C_i \exp\left(\frac{j2\pi i\tau}{N}\right) \quad (3.27)$$

TFD işlemi için genellikle ters hızlı Fourier dönüşümü (THFD, Inverse Fast Fourier Transform - IFFT) algoritması kullanılmaktadır. Burada τ , radar sinyalinin zaman bölgesindeki zaman değişkenini ifade etmektedir. Bu algoritmanın daha hızlı çalışması ve hedefe ait menzilin daha doğru bir şekilde elde edilebilmesi için E^S vektörünün sonuna, 2'nin katı olacak şekilde sıfır eklenmesi gerekmektedir. Sıfır ekledikten sonra yeni vektör dizisi $k = 1, 2, \dots, M - 1$ için M adet C_k vektöründen oluşmaktadır. C_k vektörü $1 \leq k \leq N - 1$ aralığında $C_k = \exp(-j\varphi_k) = \exp(-j2\pi f_k \Phi)$ ifadesine eşit olmakta ve diğer aralıkta sıfır olmaktadır. Yeni C_k vektörünü denklem (3.28)'de yerine yazarsak;

$$S_\tau = \frac{1}{M} \sum_{k=0}^{N-1} \exp\left(\frac{j2\pi\tau k}{M} - j2\pi f_k \Phi\right) \quad (3.28)$$

Denklem (3.28) de yer alan Φ ifadesinin yerine denklem (3.23) de verilen $\frac{2R}{c}$ ifadesi ve f_k yerine $f_0 + k\Delta f$ ifadesi yazıldığında, yeni eşitlik aşağıdaki gibi olmaktadır. Burada f_0 başlangıç frekansını ya da taşıyıcı frekansı temsil etmektedir.

$$S_\tau = \frac{1}{M} \sum_{k=0}^{N-1} \exp\left(\frac{j2\pi\tau k}{M} - \frac{j2\pi(f_0 + k\Delta f)2R}{c}\right) \quad (3.29)$$

Denklem (3.29) aşağıdaki hali ile yeniden yazılabilir.

$$S_\tau = \frac{1}{M} \exp\left\{-j\frac{4\pi f_0 R}{c}\right\} \sum_{k=0}^{N-1} \exp\left[j2\pi\left(\frac{\tau}{M} - \frac{2R}{c}\Delta f\right)k\right] \quad (3.30)$$

Denklem (3.30)'daki toplam ifadesi şu şekilde yeniden yazılabilir.

$$S_\tau = \frac{1}{M} \exp\left\{-j\frac{4\pi f_0 R}{c}\right\} \sum_{k=0}^{N-1} \exp[j\alpha k], \quad \alpha = 2\pi\left(\frac{\tau}{M} - \frac{2R}{c}\Delta f\right) \quad (3.31)$$

Denklem (3.31)'deki toplam ifadesinin çözümü aşağıdaki şekilde ifade edilir [85, 86].

$$\sum_{k=0}^{N-1} \exp[j\alpha k] = \exp\left[j\frac{\alpha(N-1)}{2}\right] \frac{\sin(\alpha N/2)}{\sin(\alpha/2)} \quad (3.32)$$

burada $\frac{\sin(\alpha N/2)}{\sin(\alpha/2)}$ katsayısı, hedefin zamana bağlı konum bilgisini içermektedir. Denklem (3.32)'deki üstel ifadede yer alan α nın değeri yerine yazılırsa, denklem (3.31) aşağıdaki şekilde yeniden yazılabilir.

$$S_{\tau} = \frac{1}{M} \exp \left\{ -j \frac{4\pi f_0 R}{c} \right\} \exp \left\{ -j \frac{2\pi \Delta f (N-1) R}{c} \right\} \exp \left\{ j \frac{(N-1)\pi \tau}{M} \right\} \left[\frac{\sin(\alpha N/2)}{\sin(\alpha/2)} \right] \quad (3.33)$$

Denklem (3.33)'de fazdaki R ye bağlı ifadeler birleştirilirse, denklemin yeni hali aşağıdaki şekilde olur.

$$S_{\tau} = \frac{1}{M} \exp \left\{ -j \frac{4\pi R}{c} \left(f_0 + \frac{\Delta f (N-1)}{2} \right) \right\} \exp \left\{ j \frac{(N-1)\pi \tau}{M} \right\} \left[\frac{\sin(\alpha N/2)}{\sin(\alpha/2)} \right] \quad (3.34)$$

Denklem (3.34)'de AFSD sinyalinin yapısı gereği ortaya çıkan τ ya bağlı üstel ifade, menzil profilinde faz kaymasına neden olmaktadır. Bu nedenle, bu ifadenin telafi edilebilmesi için denklem (3.34)'ün aşağıda verilen ifade ile çarpılması gerekmektedir.

$$\exp \left\{ -j \frac{(N-1)\pi \tau}{M} \right\} \quad (3.35)$$

Denklem (3.34) ile denklem (3.35)'in çarpılması sonucu elde edilen faz telafili sinyal, aşağıdaki formda olmaktadır.

$$S'_{\tau} = \frac{1}{M} \exp \left\{ -j \frac{4\pi R}{c} \left(f_0 + \frac{\Delta f (N-1)}{2} \right) \right\} \left[\frac{\sin(\alpha N/2)}{\sin(\alpha/2)} \right] \quad (3.36)$$

AFSD sinyaline MDA uygulanabilmesi için yapılması gereken bir diğer düzeltme ise $\left(f_0 + \frac{\Delta f (N-1)}{2} \right)$ ifadesine aittir. Klasik DFMD temelli MDA algoritmasında azimut sinyali f_0 değeri kullanılarak oluşturulurken, AFSD sinyalinde ise denklem (3.36) da yer alan $\left(f_0 + \frac{\Delta f (N-1)}{2} \right)$ ifade kullanılarak oluşturulmaktadır. Bu ifadeye dikkat edilirse, AFSD sinyalinin orta frekansına denk geldiği rahatlıkla görülebilmektedir. AFSD sinyali için MDA uygulamasında $(f_0 + \Delta f (N-1)/2) \triangleq f_c$ ifadesi yeniden yazılırsa denklem (3.36) aşağıdaki formu alır.

$$S'_{\tau} = \frac{1}{M} \exp \left\{ -j \frac{4\pi R f_c}{c} \right\} \left[\frac{\sin(\alpha N/2)}{\sin(\alpha/2)} \right] \quad (3.37)$$

Denklem (3.37) ile verilen sinüs fonksiyonu $\text{sinc}(x) = \sin(x)/x$ eşitliği kullanılarak aşağıdaki gibi düzenlenir.

$$S'_t = \frac{N}{M} \exp \left\{ -j \frac{4\pi R f_c}{c} \right\} \left[\frac{\text{sinc}(\alpha N/2)}{\text{sinc}(\alpha/2)} \right] \quad (3.38)$$

Denklem (3.38) dikkatle incelendiğinde, paydaki iç fonksiyon argümanı şu şekilde yeniden yazılabilir.

$$\begin{aligned} \text{sinc}(\alpha N/2) &= \text{sinc} \left(\pi N \left(\frac{\tau}{N} - \frac{2R}{c} \Delta f \right) \right) \\ &= \text{sinc} \left(\pi B \left(\tau \Delta t - \frac{2R}{c} \right) \right) \\ &= \text{sinc} \left(\pi B \left(t - \frac{2R}{c} \right) \right) \end{aligned} \quad (3.39)$$

burada $B = N\Delta f$ toplam bant genişliğini, $t = \tau \Delta t$ ise Δt sabit zaman aralıklı zaman değişkenini vermektedir. Hedeflere ait menzil bilgisi, sinc fonksiyonundaki $(t - 2R/c)$ ifadesinden elde edilebilmektedir. Menzil çözünürlüğünü elde edebilmek için aşağıdaki denklem kullanılmaktadır.

$$\Delta r = \Delta \tau \frac{c}{2} = \frac{c}{2B} \quad (3.40)$$

3.3.2. AFSD Formu Kullanılarak 2B SAR Verilerinin Oluşturulması

Denklem (3.38)'de verilen menzil profili ile 2B SAR verisinin elde edilebilmesi için azimut eksenindeki tarama verisinden kaynaklı etkinin de her bir menzil profiline eklenmesi gerekmektedir. Klasik MDA algoritmasında bu etki aşağıda verilen azimut zaman zarfı $w_a(\eta)$ ile ifade edilmiştir [34].

$$w_a(\eta) = \text{sinc}^2 \left(\frac{L_a \theta(\eta)}{\lambda} \right) \quad (3.41)$$

burada θ , eğik menzil düzlemi ile anten bakış açısının merkezi arasında kalan açıdır. L_a , η ve λ sırasıyla antenin azimuth eksenindeki uzunluğu, azimuth zamanı ve f_c frekansına ait dalga boyuna karşılık gelmektedir. Burada denklem (3.41) ile denklem (3.38) çarpılıp, R yerine R' 'nin η bağlı olan ifadesi $R(\eta)$ yazıldığında, 2B SAR verisine ait denklem aşağıdaki şekilde elde edilir.

$$S'(\tau, \eta) = \frac{N}{M} w_a(\eta) \exp \left\{ -j \frac{4\pi R(\eta) f_c}{c} \right\} \left[\frac{\text{sinc}(\alpha N/2)}{\text{sinc}(\alpha/2)} \right] \quad (3.42)$$

burada τ menzil zamanını (fast time) ve η azimut zamanını (slow time) göstermektedir. Denklem (3.41)'de sinyal uyumlanmış yani menzil sıkıştırılmış haldedir.

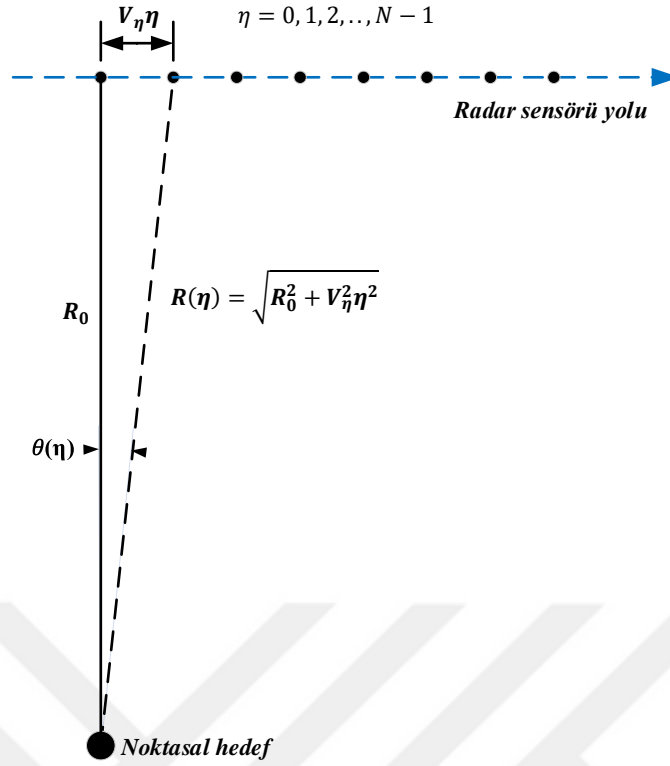
Denklem (3.31)'de ifade edilen α , menzil zaman indeksi τ 'ya direk ve η azimut zaman indeksine, R 'nin η 'ya ($R(\eta)$) bağlı olması nedeniyle, dolaylı olarak ilişkisi bulunmaktadır. Bu nedenle, 2B SAR verisi içerisindeki genlik bilgisini içeren $\frac{\text{sinc}(\alpha N/2)}{\text{sinc}(\alpha/2)}$ ifadesi, menzil zaman değişkeni ile menzil profilini vermekteyken, içerdiği azimut zaman değişkeninden dolayı hiperbolik bozulmaların oluşmasına neden olmaktadır. Hiperbolik bozulmaların düzeltilmesi için, bu ifadenin azimut zaman değişkeninden bağımsız hale getirilmesi gerekmektedir. Bu işlem, ileride anlatılmıştır.

Denklem (3.42)'de, sinüzoidal katsayı dışında kalan kısım sadece azimut zamanı ile değişmektedir. Şekil 3.6.'da gösterildiği gibi, azimut ekseninde V_η hızıyla hareket eden bir radar antenin hedefle arasındaki mesafe $R(\eta) = \sqrt{R_0^2 + V_\eta^2 \eta^2}$ şeklinde ifade edilir. Denklem (3.42)'de verilen ifade (menzil zaman)-(azimut zaman) bölgesinde olduğu ve (menzil zaman)-(azimut frekans) bölgesine (menzil Doppler bölgesi) geçebilmek için azimut FD uygulanmalıdır. Bunun için ilk olarak $R(\eta)$ ifadesi Taylor serisine açılarak menzil ifadesi kök dışına çıkarılır.

$$\begin{aligned} R(\eta) &= (R_0^2 + (V_\eta \eta)^2)^{\frac{1}{2}} \\ &\cong R_0 + \frac{V_\eta^2 \eta^2}{2R_0} + \dots \text{YDT} \\ &\cong R_0 + \frac{V_\eta^2 \eta^2}{2R_0} \end{aligned} \quad (3.43)$$

Denklem (3.43)'de bulunan ifade, denklem (3.42)'de $R(\eta)$ ifadesi yerine yazılarak aşağıdaki eşitlik elde edilir.

$$S'(\tau, \eta) = \frac{N}{M} w_a(\eta) \exp \left(-j \frac{4\pi f_c R_0}{c} \right) \exp \left\{ -j \frac{2\pi f_c V_\eta^2 \eta^2}{R_0 c} \right\} \left[\frac{\text{sinc}(\alpha N/2)}{\text{sinc}(\alpha/2)} \right] \quad (3.44)$$



Şekil 3.6. 2B SAR görüntüleme sistem geometrisi.

3.3.3. 2B SAR Verilerine MDA Uygulaması

Denklem (3.44)'de 2B SAR verilerine azimut sıkıştırma işlemi uygulamak için, izlenecek MDA adımları aşağıdaki gibidir. Denklem (3.44)'ün ikinci üstel ifadesinin [34] referansı ile verilen azimut FM oranı, K_a 'ya benzerliğinden yola çıkarak aynı şekilde $K'_a = 2f_c V_\eta^2 / R_0 c$ tanımlaması yapılabilir. Böylece K'_a 'ya bağlı yeni ifade aşağıdaki şekilde olur.

$$S'(\tau, \eta) = \frac{N}{M} w_a(\eta) \exp\left(-j \frac{4\pi f_c R_0}{c} \tau\right) \exp\{-j\pi K'_a \eta^2\} \left[\frac{\text{sinc}(\alpha N/2)}{\text{sinc}(\alpha/2)} \right] \quad (3.45)$$

DFİ (POSP) [65] yöntemi ile denklem (3.45)'in azimut FD alınır, f_η ve η arasındaki ilişki aşağıdaki şekilde tanımlanabilir.

$$\begin{aligned} f_\eta &\approx -K'_a \eta \\ \eta &\approx -\frac{f_\eta}{K'_a} \end{aligned} \quad (3.46)$$

Denklem (3.45)'de η yerine $-\frac{f_\eta}{K'_a}$ yazıldığı zaman, menzil-Doppler bölgesindeki sinyal aşağıdaki formu almaktadır.

$$S'(\tau, f_\eta) = \frac{N}{M} W_a(f_\eta) \exp\left(-j \frac{4\pi f_c R_0}{c}\right) \exp\left\{j \frac{\pi f_\eta^2}{K'_a}\right\} \left[\frac{\text{sinc}(\alpha_{rd} N/2)}{\text{sinc}(\alpha_{rd}/2)} \right] \quad (3.47)$$

Böylece azimut zarfı $w_a(\eta)$ 'nin şekli değişmeden $W_a(f_\eta)$ haline dönüşmektedir. Denklem (3.47)'deki birinci faz terimi interferometri ve polarimetri gibi uygulamalarda hedefin faz bilgisini içerdiğinden önemlidir. Ancak klasik radar görüntülerinde sadece yoğunluk bilgisi kullanıldığı için önemli değildir. İkinci faz terimi ise f_η ile değişen frekans modüleli azimut sinyaldir. Denklem (3.31) ve denklem (3.43)'den anlaşıldığı üzere α , η' ya bağlı olduğu için, DFİ sonrası α' daki değişim α_{rd} olarak ifade edilmiştir.

Çünkü α' 'daki $R(\eta)$ ifadesi, DFİ sonunda aşağıda verildiği şekilde $R(f_\eta)$ 'ya dönüştürülmüştür.

$$\begin{aligned} R(f_\eta) &\cong R_0 + \frac{R_0 c^2 f_\eta^2}{8 f_c^2 V_\eta^2} + \dots \text{YDT} \\ &\cong R_0 + \frac{R_0 c^2 f_\eta^2}{8 f_c^2 V_\eta^2} \end{aligned} \quad (3.48)$$

Burada c/f_c yerine λ_c yazılarak denklem (3.48), DFMD temelli MDA'daki forma dönüşecektir.

$$R(f_\eta) \approx R_0 + \frac{R_0 \lambda_c^2 f_\eta^2}{8 V_\eta^2} \quad (3.49)$$

Denklem (3.49)'un ikinci terimi, MHG miktarını vermektedir.

$$\Delta R(f_\eta) = \frac{R_0 \lambda_c^2 f_\eta^2}{8 V_\eta^2} \quad (3.50)$$

Burada MHG düzeltmesi R_0 mesafesine göre yapılmaktadır. Bu değer genellikle SAR sahnesinin orta noktası olarak alınmaktadır. MHG düzeltmesi yapıldıktan sonra sinyaldeki α_{rd} ifadesindeki $R(f_\eta)$ değeri R_0 'a eşitlenmekte ve böylelikle α_{rd} ifadesi α_{r0} olarak değişmektedir.

$$S'(\tau, f_\eta)_{rcm} = \frac{N}{M} W_a(f_\eta) \exp\left(-j \frac{4\pi f_c R_0}{c}\right) \exp\left\{j \frac{\pi f_\eta^2}{K'_a}\right\} \left[\frac{\text{sinc}(\alpha_{r_0} N/2)}{\text{sinc}(\alpha_{r_0}/2)} \right] \quad (3.51)$$

Menzil-Doppler bölgesinde MHG yapıldıktan sonra azimut sıkıştırma işlemini gerçekleştirebilmek için denklem (3.51)'deki ikinci üstel ifadenin kompleks eşleniği alınarak, denklem (3.52)'de verilen uyumlanmış filtre işleminden geçirilir.

$$H_a(f_\eta) = \exp\left\{-j \frac{\pi f_\eta^2}{K'_a}\right\} \quad (3.52)$$

Uyumlanmış filtreden geçirilen sinyalin TFD alınarak odaklanmış SAR görüntüsü aşağıdaki şekilde elde edilir.

$$S'(\tau, \eta)_{ac_rcm} = \text{IDFT}\left\{S'(\tau, f_\eta)_{rcm} \cdot H_a(f_\eta)\right\} \quad (3.53)$$

$$S'(\tau, \eta)_{ac_rcm} = \frac{N}{M} W_a(\eta) \left[\frac{\text{sinc}(\alpha_{r_0} N/2)}{\text{sinc}(\alpha_{r_0}/2)} \right] \exp\left(-j \frac{4\pi f_c R_0}{c}\right) \quad (3.54)$$

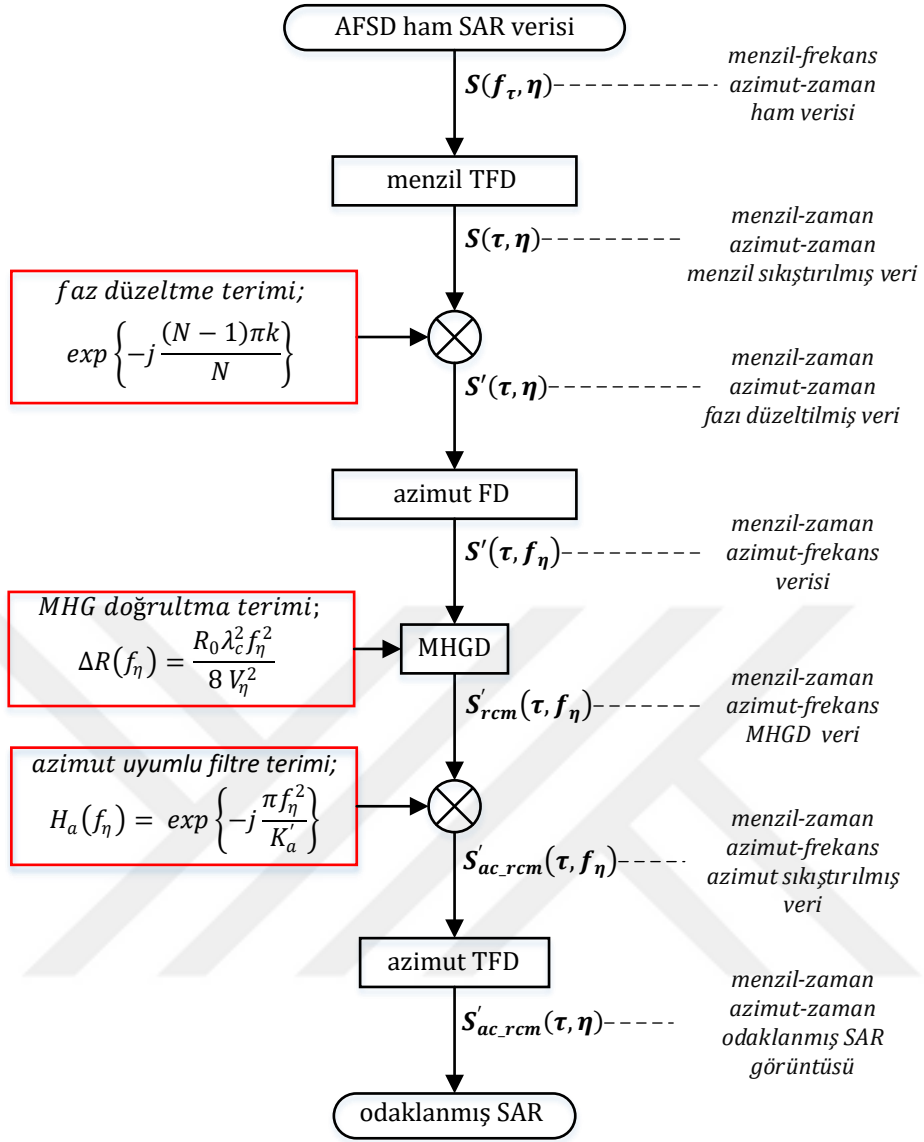
AFSD sinyali için MDA formülasyonu tamamlandıktan sonra, şekil 3.7.'de verilen akış diyagramı ile AFSD tabanlı MDA işlem adımları özetlenebilir. Ayrıca DFMD ve AFSD tabanlı MDA arasındaki fark, tablo 3.2.'de sunulmuştur. AFSD tabanlı MDA algoritmasının adımları aşağıdaki gibidir:

- i. Algoritma; $S(f_\tau, \eta)$ menzil-frekans, azimut-zaman ham verilerinin toplanmasıyla başlar.
- ii. Daha sonra, ham SAR $S(\tau, \eta)$ verilerini menzil-zaman, azimut-zaman verilerine dönüştürmek için menzil TFD işlemi uygulanır.
- iii. Bu noktada menzil sıkıştırması, Fourier işleminin yararlı özelliği ile başarılmıştır. Öte yandan bu veriler, cıvıltı tabanlı menzil-zaman, azimut-zaman verilerinden farklıdır. Çünkü fazladan bir $\exp\left(j \frac{(N-1)\pi k}{N}\right)$ fazına sahiptir. Üçüncü aşama olarak, bu ekstra fazı telafi ederek $S'(\tau, \eta)$ elde etmek için $S(\tau, \eta)$ denklemini $\exp\left(-j \frac{(N-1)\pi k}{N}\right)$ ile çarpmak gerekmektedir. DFM tabanlı MDA'da böyle bir faz düzeltme adımına gerek olmadığına dikkat edilmesi gerekmektedir. Öte yandan bu, AFSD tabanlı MDA'da gereklidir. Aksi takdirde doğru odaklama sağlanamaz.

- iv. Daha sonra, MHGD'yi gerçekleştirebilmek için menzil-zaman, azimut-frekans (veya Doppler) alanına geçebilmek için bir azimut FD işlemi gerçekleştirilir ve böylece $S'(\tau, f_\eta)$ elde edilir.
- v. Aynı aralıktaki hedeflerin aynı hiperbolik yörünge zarflarına sahip olacağını ve aynı miktarda Doppler frekans kayması yaşadıklarını belirtmek gerekir. Veriler menzil-Doppler düzleminde olduğunda, aynı hiperbolik yörüngede sıralanırlar. Böylece MHGD aynı aralıktaki hedefler için bir bütün olarak uygulanabilir. Denklem (3.50)'de verilen MHGD miktarı, birinci frekansın dalga boyu λ_o yerine merkez frekansın dalga boyu λ_c yi kullanmaktadır. Burada küçük bir farkla civıltıya dayalı MDA durumundakine benzemektedir. Doppler kaymaları, antenin iz çizgisi boyunca menzil mesafelerine göre düzeltildikten sonra menzil-Doppler alan verilerindeki menzil sıkıştırılmalı MHG düzeltilmiş 2B SAR, $S'(\tau, f_\eta)_{rcm}$ denklemi olarak elde edilir.
- vi. Algoritmanın son adımı olarak azimut sıkıştırma prosedürü uygulanır. Bu, daha sonra azimut eksenini boyunca uyumlu bir filtreleme ve TFD kullanılarak yapılır.

Tablo 3.2. DFMD ve AFSD tabanlı MDA parametrelerinin karşılaştırılması

<i>Parametre</i>	<i>DFMD</i>	<i>AFSD</i>
Faz telafisi	-	$\exp\left\{-j\frac{(N-1)\pi\tau}{M}\right\}$
Taşıyıcı Frekans	f_0	$f_{new} = f_0 + \frac{\Delta f(N-1)}{2}$
Azimut FM-oranı	$K_a = \frac{2f_0V_\eta^2}{R_0C}$	$K_{a_{new}} = \frac{2f_{new}V_\eta^2}{R_0C}$
MHGD	$\Delta R(f_\eta) = \frac{R_0\lambda_0^2f_\eta^2}{8V_\eta^2}$	$\Delta R(f_\eta) = \frac{R_0\lambda_{new}^2f_\eta^2}{8V_\eta^2}$ $\lambda_{new} = c/f_{new}$
Azimut uyumlu filtre	$H_a(f_\eta) = \exp\left\{-j\frac{\pi f_\eta^2}{K_a}\right\}$	$H_a(f_\eta) = \exp\left\{-j\frac{\pi f_\eta^2}{K_{a_{new}}}\right\}$



Şekil 3.7. AFSD-SAR için MDA akış şeması.

4. BULGULAR ve TARTIŞMA

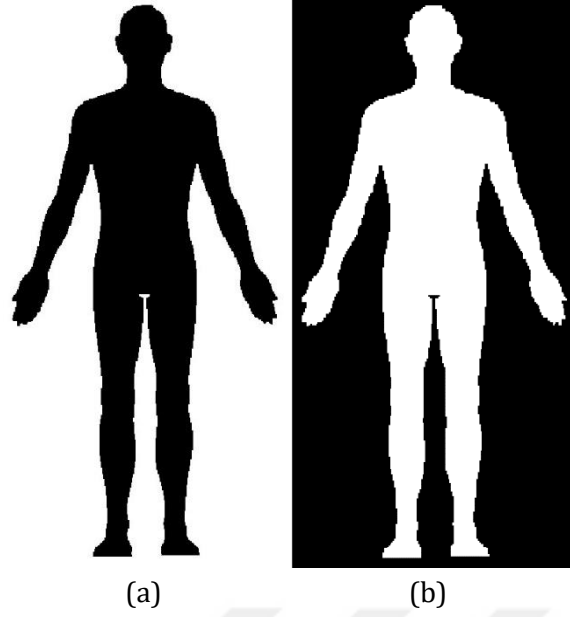
Bu bölümde, geliştirilen radyometrik alıcı ile elde edilen PMMD görüntüleri ve bu görüntülerle yapılan hedef tespiti çalışmaları verilmiştir. PMMD görüntülerindeki saklı nesnelere tespiti için ilk olarak benzetim çalışmaları yapılmış, ardından cansız manken üzerinde gerçek PMMD verileri elde edilmiştir. Daha sonra gerçek insan üzerinde saklı nesne tespitine yönelik çalışmalar yapılmış ve elde edilen PMMD görüntüleri bölüm 3.'te önerilen iki adet yöntemle işlenmiştir. İşlenen görüntülerden, hedefler başarılı bir şekilde tespit edilmiştir. Son olarak, üçüncü bölümde ayrıntıları sunulan AFSD-MDA, benzetim verilerine uygulanmış ve oldukça başarılı SAR görüntüleri elde edilmiştir. Algoritmanın performansı altı farklı parametre (menzil çözünürlüğü, azimut çözünürlüğü, menzil sinyali tepe/yan lob oranı, azimut sinyali tepe/yan lob oranı, bir boyutlu menzil sinyali tümleşik yan lob oranı ve bir boyutlu azimut sinyali tümleşik yan lob oranı) ile değerlendirilmiş ve odaklanmış görüntülerde elde edilen ölçüm sonuçlarının teorik sonuçlarla tutarlı olduğu gözlemlenmiştir.

4.1. PMMD Benzetim Çalışmaları

Geliştirilen algoritmanın kontrollü test edilebilmesi için yapay metal objeler ve yapay insan modelleri kullanılmıştır (Şekil 4.1.,4.2.). Bu metal objelerden şekil 4.1.(b) ve 4.1.(d)'deki objeler sırasıyla yapay insan modeli üzerine şekil 4.3.(a) ve 4.5.(a)'daki gibi yerleştirilerek PMMD benzetim görüntüleri elde edilmiş ve geliştirilen algoritma bu görüntüler üzerinde test edilmiştir. Algoritma şekil 4.3. ve 4.5.'den görüleceği üzere, hedef tespitini hiçbir hata yapmadan bulmuş ve insan modeli üzerinde çizerek işaretlemiştir. Şekil 4.3.(b) ve 4.5.(b)'deki histogramlar incelendiğinde sadece üç kısımda verilerin bulunduğu anlaşılmıştır. Bunlar sırasıyla arka plan, yapay insan modeli ve metal objeye ait piksel değerlerini göstermektedir. PMMD görüntüleme kozmik arka plan yansımaları, metal objeler üzerinden alıcı antenlere iletilmekte ve en yüksek genlik değerleri, bu tür metal objeler tarafından elde edilmektedir. İnsan vücudu metal objelere göre daha az yansıtıcı olduğundan dolayı bu fiziksel fark kullanılarak metal obje tespitinin yapılabilmesi mümkün olmaktadır.



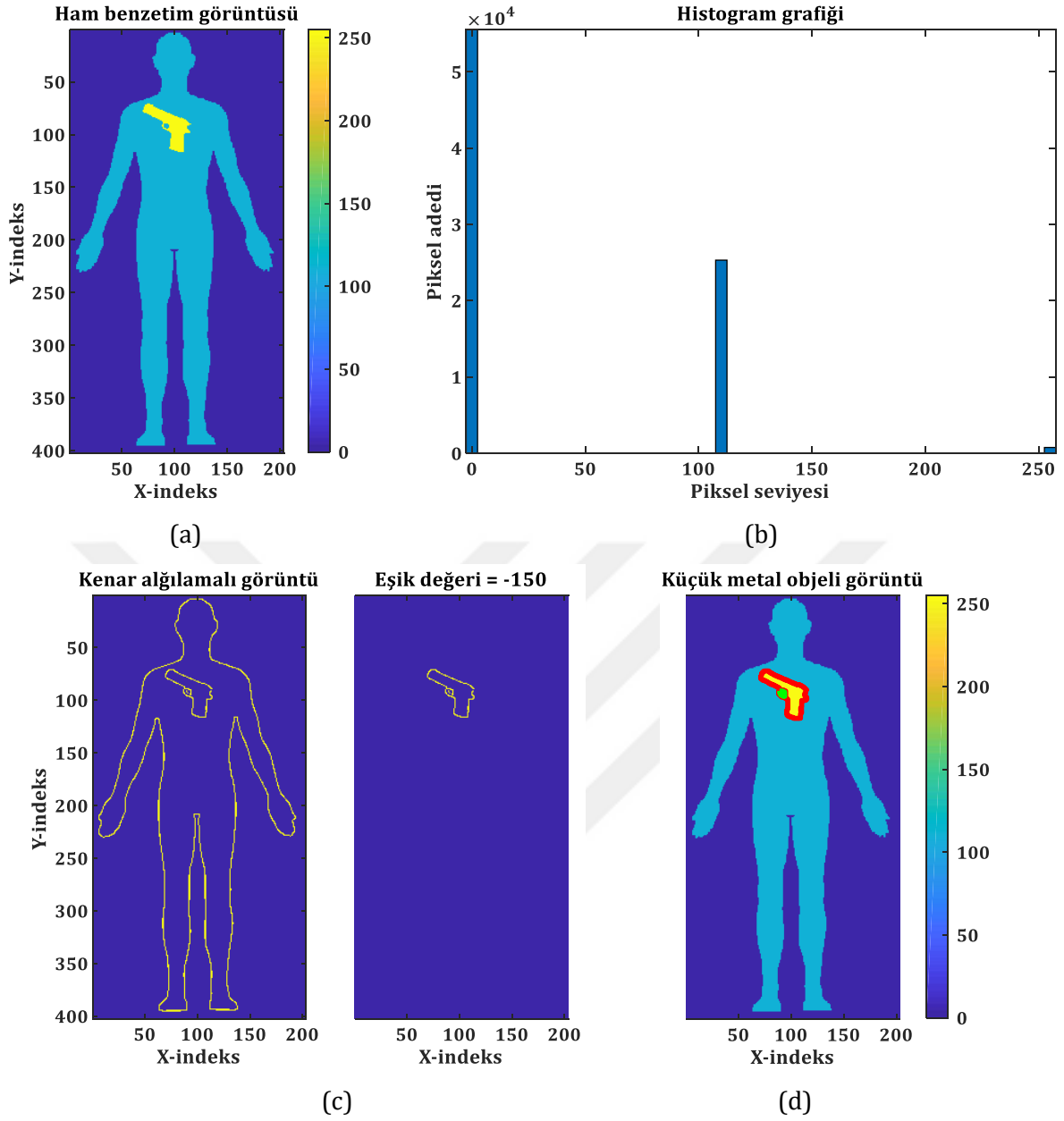
Şekil 4.1. Simülasyon için farklı boyutlarda (a) tüfek, (b) tabanca, (c) küçük tabanca ve (d) otomatik silahlar.



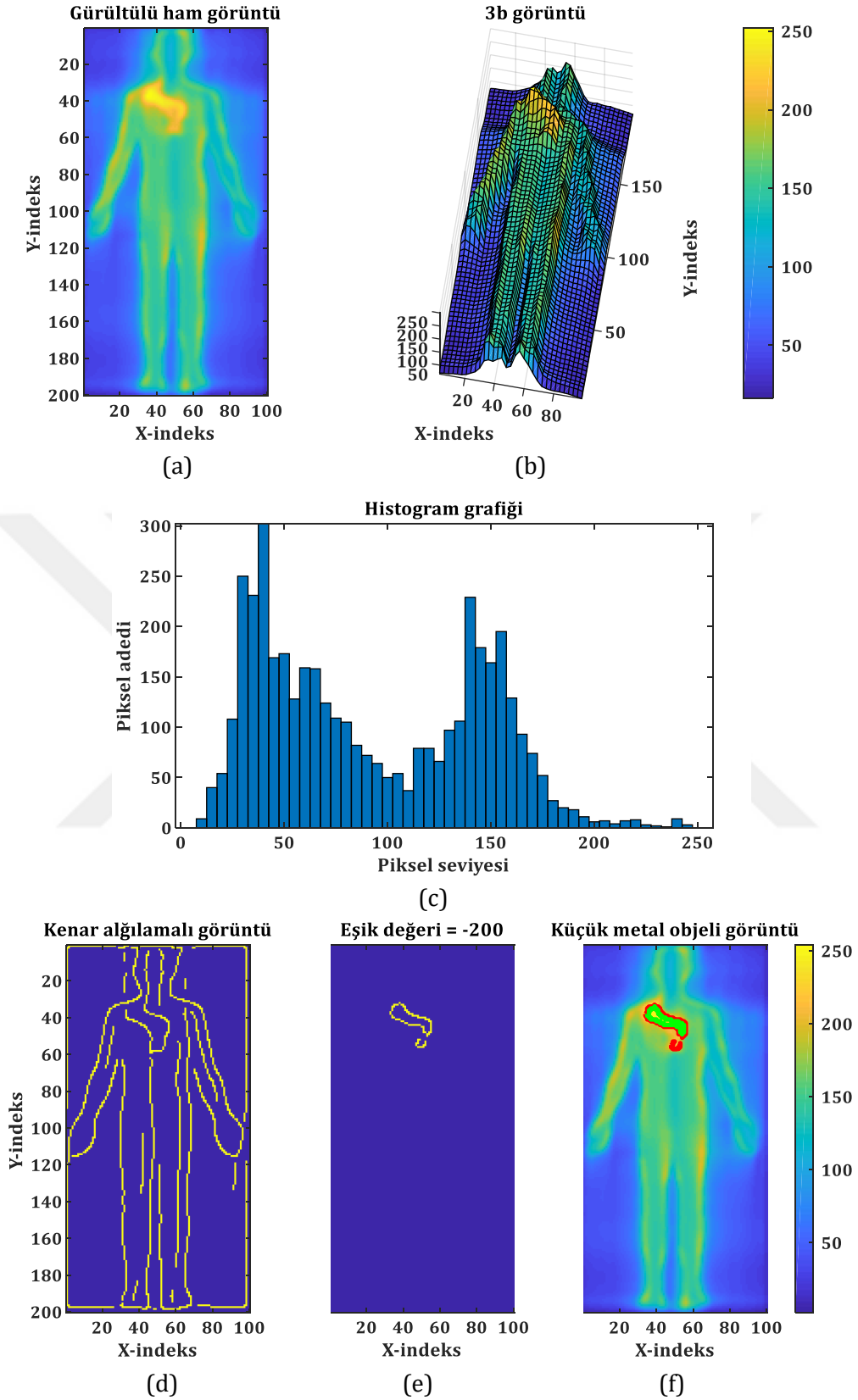
Şekil 4.2. MATLAB programı ortamında hazırlanmış (a) yapay insan ve (b) terslenmiş görüntüsüne ait modeller [87].

4.1.1. PMMD Küçük Metal Obje İle Benzetimi

Şekil 4.3.(a) ve 4.5.(a)'da verilen benzetim görüntüsü, ideal bir hedefe ait olması nedeniyle gerçek PMMD görüntülerine benzememektedir. Bu nedenle gerçek PMMD görüntülerine yakın bir benzetim yapabilmek için şekil 4.3.(a) ve 4.5.(a)'ya sabit ortalama ve sabit değişimli Gaussian beyaz gürültü eklenmiş, daha sonra 20×20 'lik bir kare matris ile sigma değeri '2' olan Gaussian alçak geçiren filtreden geçirilerek şekil 4.4.(a) ve 4.6.(a)'daki görüntüler elde edilmiştir. Görüntüye ait histogram grafiği şekil 4.4.(c) ve 4.6.(c)'de verilmiştir. Şekil 4.3.(b) ve 4.5.(b)'yi sırasıyla şekil 4.4.(c) ve 4.6.(c) ile kıyaslandığında pikseller arasındaki dağılım rahatlıkla fark edilebilmektedir. Şekil 4.4.(f) ve 4.6.(f) incelendiğinde kullanılan algoritmanın hedefi başarılı bir şekilde tespit ettiği görülmektedir.

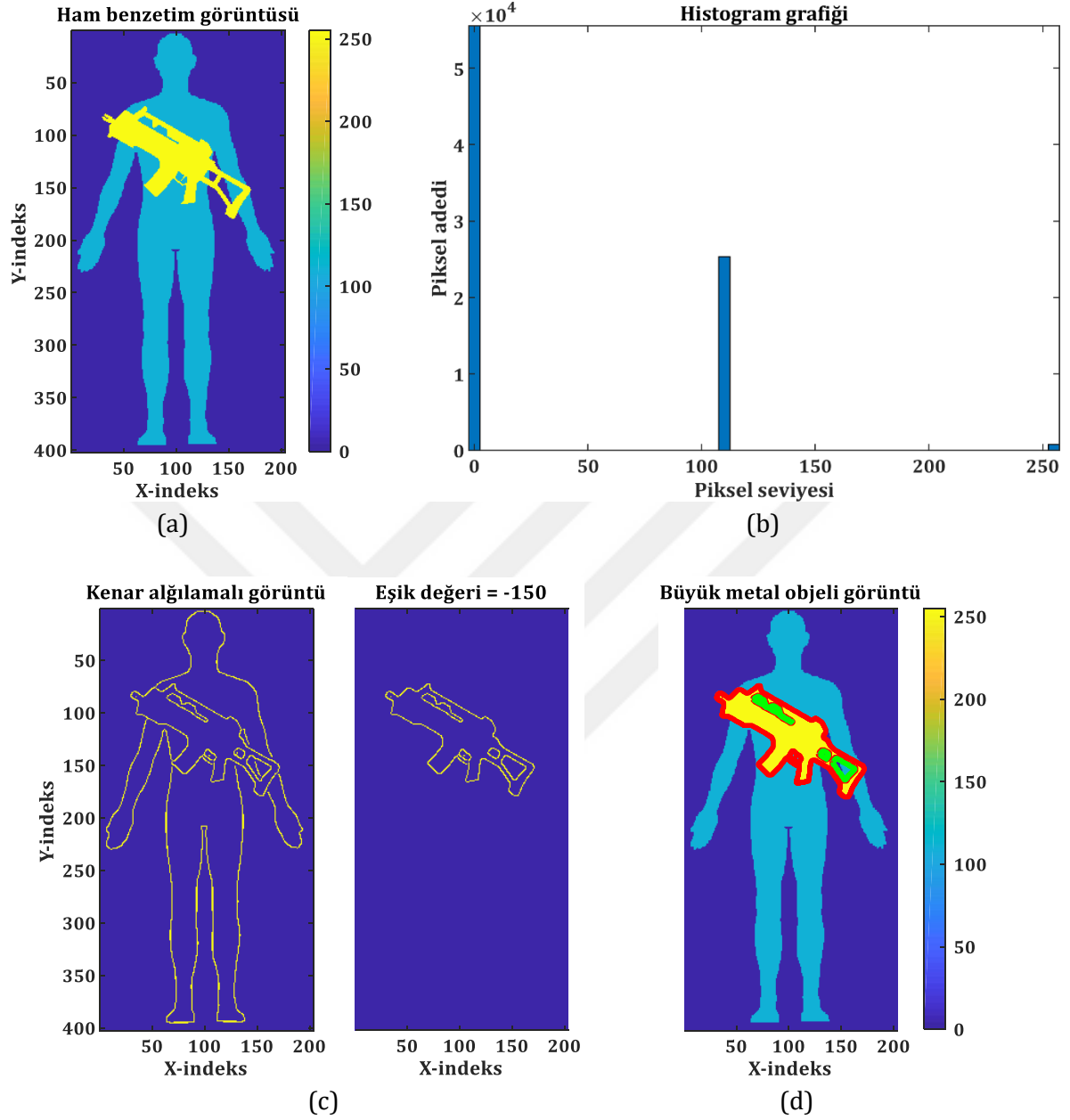


Şekil 4.3. (a) Şekil 4.2.(b)'deki yapay insan modeline şekil 4.1.(b)'deki metal objenin eklenmesi ile elde edilen benzetim verisine ait görüntü. (b) Görüntüye ait histogram (c) Kenar algılama algoritması sonucu (d) Hedef tespiti.

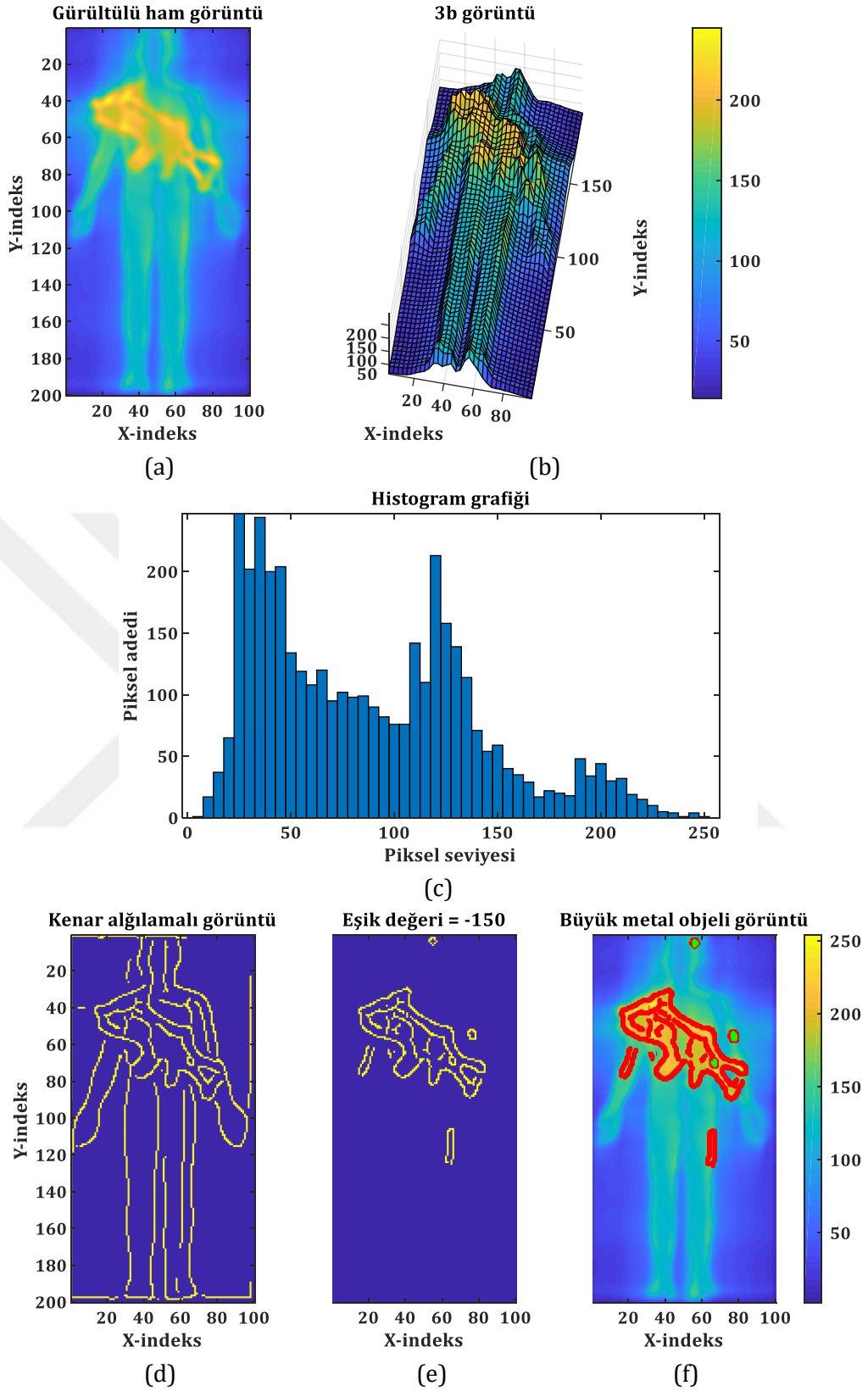


Şekil 4.4. (a) Şekil 4.3.(a)'ya gürültü eklenip, filtreden geçirilmesiyle elde edilen yeni görüntü (b) Şeklin 3B gösterimi (c) Şekle ait histogram (d) Şeklin kenar algoritmasından geçirilmiş hali (e) Kenar algoritmasından geçirilmiş şeklin 200 değeriyle eşiklenmiş hali (f) Şekil 4.4.(a)'daki görüntü üzerine Şekil 4.4.(e)'nin çizilmesiyle hedefe ait görüntünün elde edilmesi.

4.1.2. PMMD Büyük Metal Obje İle Benzetimi



Şekil 4.5. (a) Şekil 4.2.(b)'deki yapay insan modeline Şekil 4.1.(d)'deki metal objenin eklenmesi ile elde edilen benzetim verisine ait görüntü. (b) Görüntüye ait histogram (c) Kenar algılama algoritması sonucu (d) Hedef tespiti.



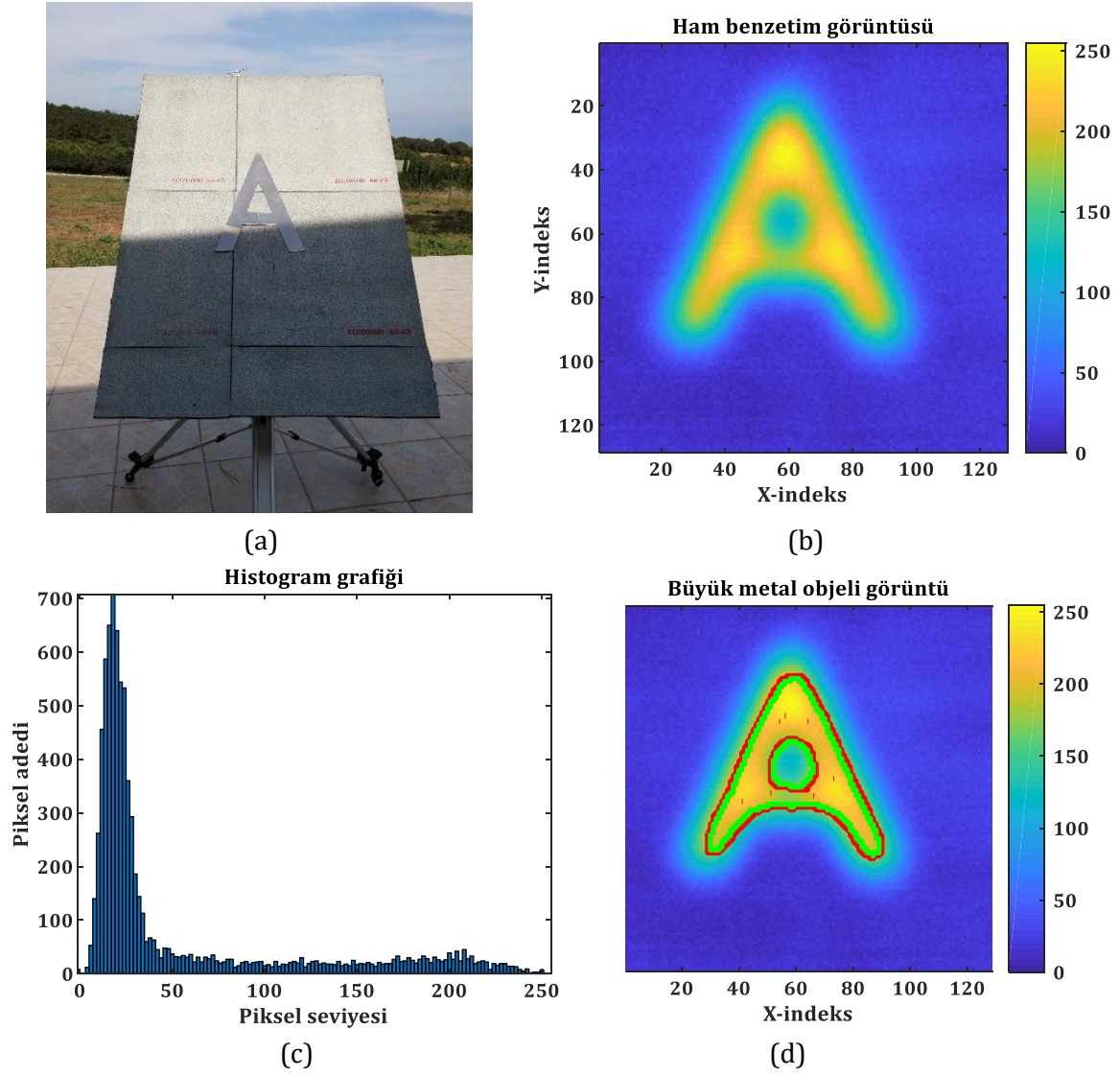
Şekil 4.6. (a) Şekil 4.5.(a)'ya gürültü eklenip, filtreden geçirilerek elde edilen yeni görüntü (b) Şeklin 3B gösterimi (c) Şekle ait histogram (d) Şeklin kenar algoritmasından geçirilmiş hali (e) Kenar algoritmasından geçirilmiş şeklin 200 değeriyle eşiklenmiş hali (f) Şekil 4.6.(a)'daki görüntü üzerine Şekil 4.6.(e)'nin çizilmesiyle hedefe ait görüntünün elde edilmesi.

4.2. PMMD Deneyleri ve Sonuçları

Bu bölümde, sırasıyla PMMD radyometrik alıcı ön testlerinin yapılabilmesi için radyometrik görüntüleme düzeneği ile metal levhadan üretilmiş “A” şeklinde hedef kullanılarak kontrollü deneyler yapılmıştır. Başarılı geçen deneyler sonrasında, büyük metal bir hedefin cansız manken üzerine gizlenmesi ile hedef tespiti gerçekleştirilmiştir. Daha sonra, aynı hedef şahıs üstüne açıkça görülebilecek şekilde konumlandırılarak deneyler gerçekleştirilmiştir. Burada şahıs üzerinden PMMD ışınlarının geri yansımaları da hesaba katılarak algoritma daha da geliştirilmiştir. Bölüm 3.2.’de bahsedilen algoritmalara geçmeden önce, son olarak küçük bir tabancanın şahıs üzerine gizlenerek ve arka plan olarak elektromanyetik soğurucu kullanılması ile hedef tespitinin yapılması denenmiş fakat hedef tam olarak tespit edilememiştir. Gerçekleştirilen sayısız deneyler sonucunda hedefin düzgün bir şekilde tespit edilebilmesi için iki adet özgün algoritma geliştirilmiş ve bunlar; büyük saklı hedef, küçük saklı hedef ve hedef yok senaryoları kullanılarak incelenmiştir.

4.2.1. PMMD Radyometrik Alıcısının “A” Harfi Şeklindeki Metal Levha ile Testi

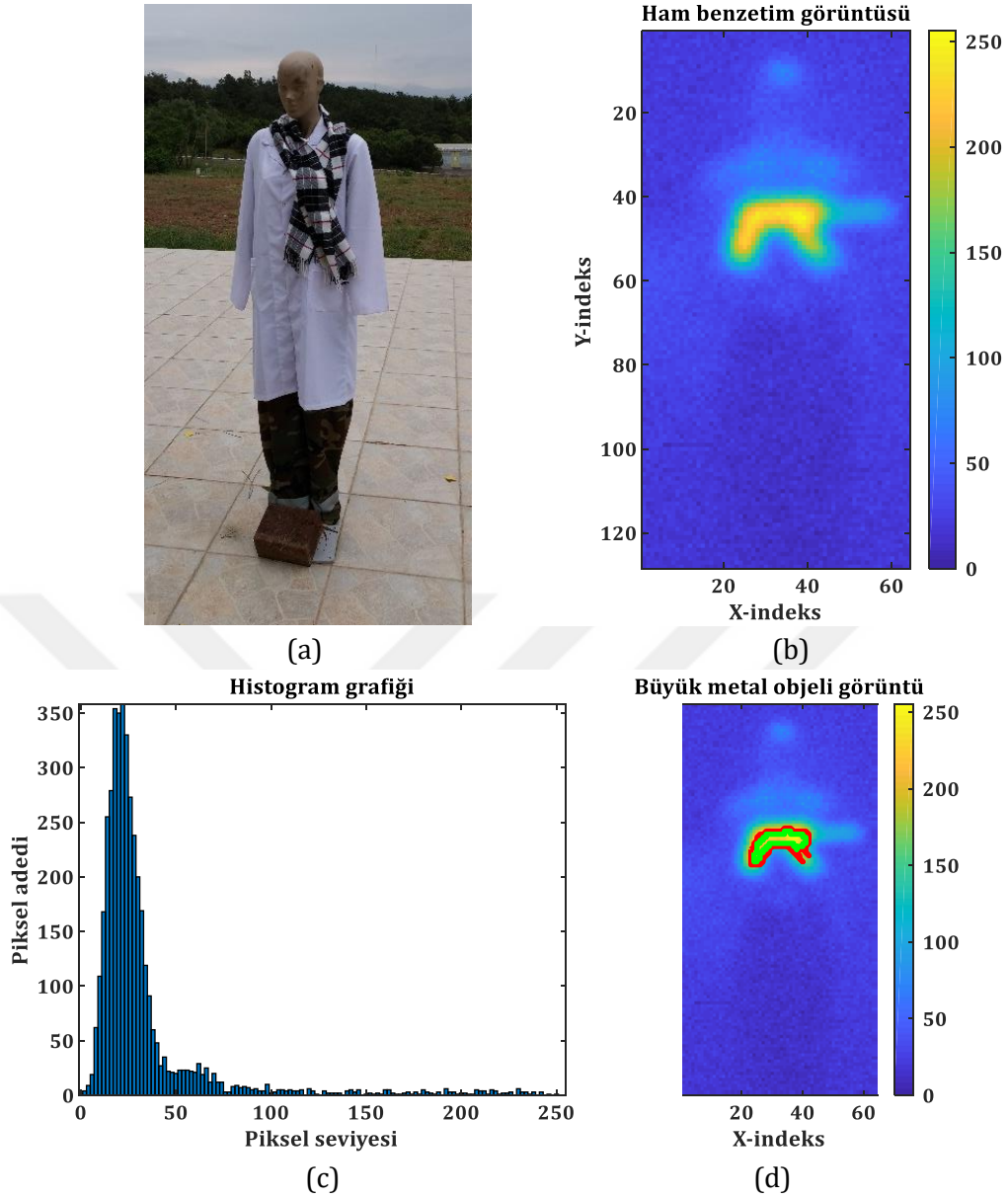
Radyometrik görüntüleme düzeneği olarak, TÜBİTAK MAM’da bulunan PMMD RGD kullanılmıştır. PMMD görüntüleme için kullanılan ölçümler, insan üzerindeki metal cisimlerin tespit edilmesine dayanan deneylerden oluşmaktadır. İlk deney geometrisi, şekil 4.7. (a)’da verilen “A” harfi şeklinde metal levhadan yapılmış nesnenin görüntülenmesine dairdir. RGD sisteminden alınan görüntü, Şekil 4.7. (b)’de gösterilmiştir. Görüntüye ait histogramın grafiği, Şekil 4.7. (c)’de verilmiştir. Kullanılan ilk algoritmalar ile tespit edilen nesneye ait hedef, Şekil 4.7. (d)’de paylaşılmıştır. Şekiller incelendiğinde “A” harfinin net bir şekilde tespit edildiği görülmektedir.



Şekil 4.7. (a) “A” harfi şeklinde metal plaka (b) RGD ham görüntü verisi (c) Görüntüye ait histogram (d) Metal plakanın PMMD görüntüsü.

4.2.2. RGD ile Büyük Metal Silahlı Cansız Manken Deneyi

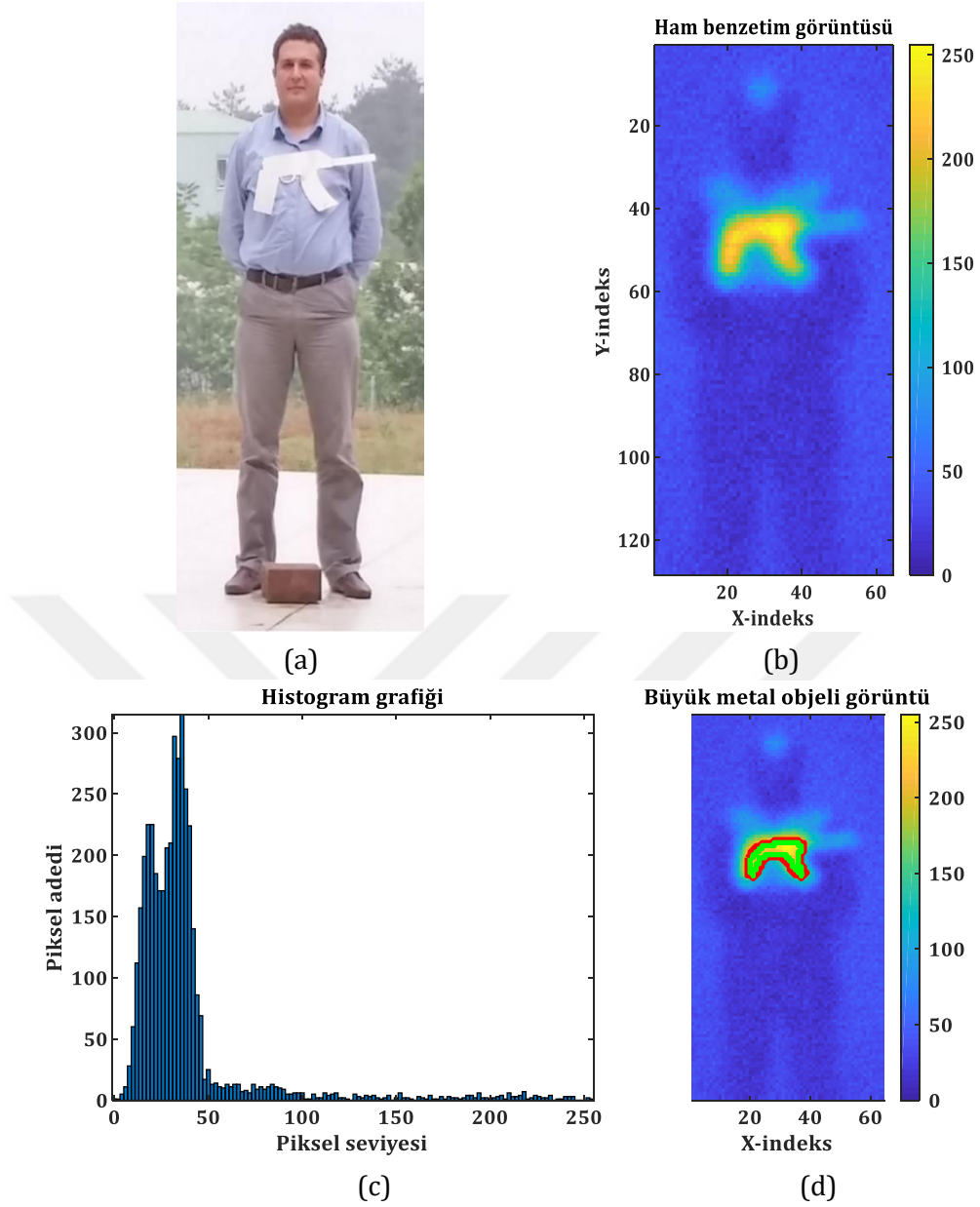
Şekil 4.8.’te aşamalı sonuçları paylaşılan deneyde, cansız bir manken üzerinde saklı hedefin tespiti amaçlanmıştır. Şekil 4.8. (a)’ya bakıldığında büyük metal silah görülememektedir. Ancak RGD’den sonra elde edilen veri ham olarak görüntülendiğinde, Şekil 4.8. (b)’deki PMMD görüntüsü elde edilmektedir. Algoritma uygulandıktan sonra ise sonucu, Şekil 4.8. (d)’deki PMMD görüntüsü elde edilmiştir ki bu görüntüde metal cismin sınırları belirlenerek saklı hedefin tespiti yapılabilmektedir.



Şekil 4.8. (a) Cansız manken üzerinde gizlenmiş büyük metal silah (b) RGD ham görüntü verisi (c) Görüntüye ait histogram (d) Manken üzerinde tespit edilmiş hedef ve görüntüsü.

4.2.3. RGD ile Büyük Metal Silahlı Şahıs Deneyi

Şekil 4.9.'da verilen deneyde ise şahıs üzerinde asılı duran ve kıyafetin altına saklanmayan bir hedefin tespiti yapılmıştır. Şekil 4.9. (a) incelendiğinde, silah şeklindeki büyük metal hedef görülmektedir. RGD'den alınan ham veri görüntülendiğinde, Şekil 4.9. (b)'deki görüntü elde edilmiştir. Bu çalışmada ayrıntıları verilen algoritma uygulandıktan sonra, metalin odaklı PMMD görüntüsü şekil 4.9. (d)'de paylaşılmıştır. Şekilden de rahatlıkla görülebileceği üzere, hedefi belirleyen kenar çizgileri kullanılan algoritma ile doğru bir şekilde tespit edilmiştir.

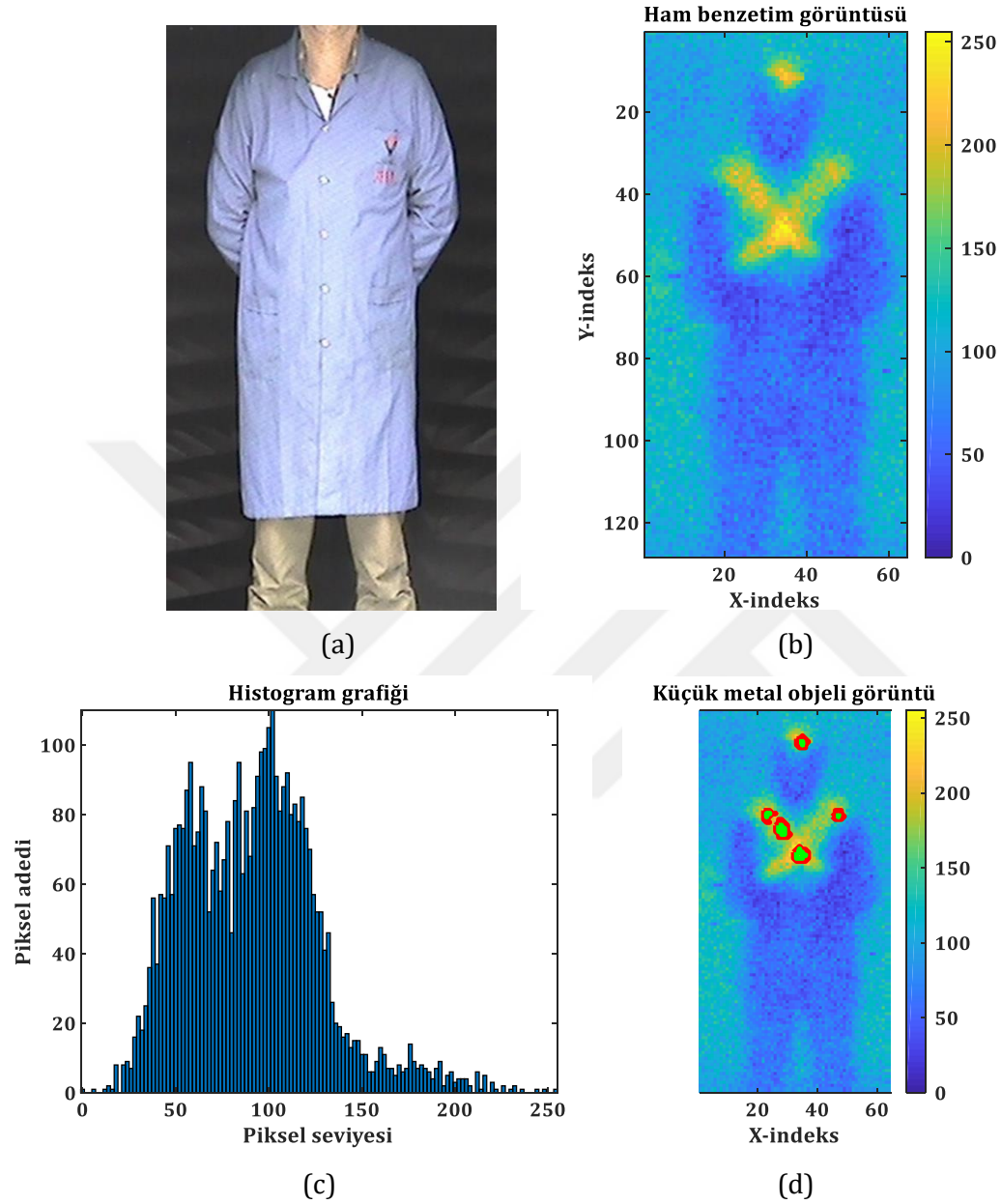


Şekil 4.9. (a) Kişi üzerinde saklı olmayan büyük metal silah (b) RGD ham görüntü verisi (c) Görüntüye ait histogram (d) Kişi üzerinde tespit edilmiş hedef ve görüntüsü.

4.2.4. RGD ile Şahıs Üzerinde Saklı Küçük Silah Deneyi

Şekil 4.10.'da gösterilen son deneyde, şahıs üzerinde asılı duran ancak şahsın giydiği montun altına saklanmış küçük hedefin tespiti amaçlanmıştır. Şekil 4.10. (a) incelendiğinde, montun altında bulunan gizlenmiş küçük silah gözle görülememektedir. Şekil 4.10. (b)'de, RGD'den sonra elde edilen ham verinin PMMD görüntüsü verilmektedir. Bu görüntüden, gözle görülemeyen gizlenmiş küçük metal silahın, PMMD görüntüleme yöntemiyle tespit edilebildiği

açıkça görülmektedir. Son olarak sunulan algoritma uygulandığında, PMMD görüntüsü Şekil 4.10. (d)'de gösterilen ve kenarları tespit edilebilen odaklanmış görüntü paylaşmıştır.

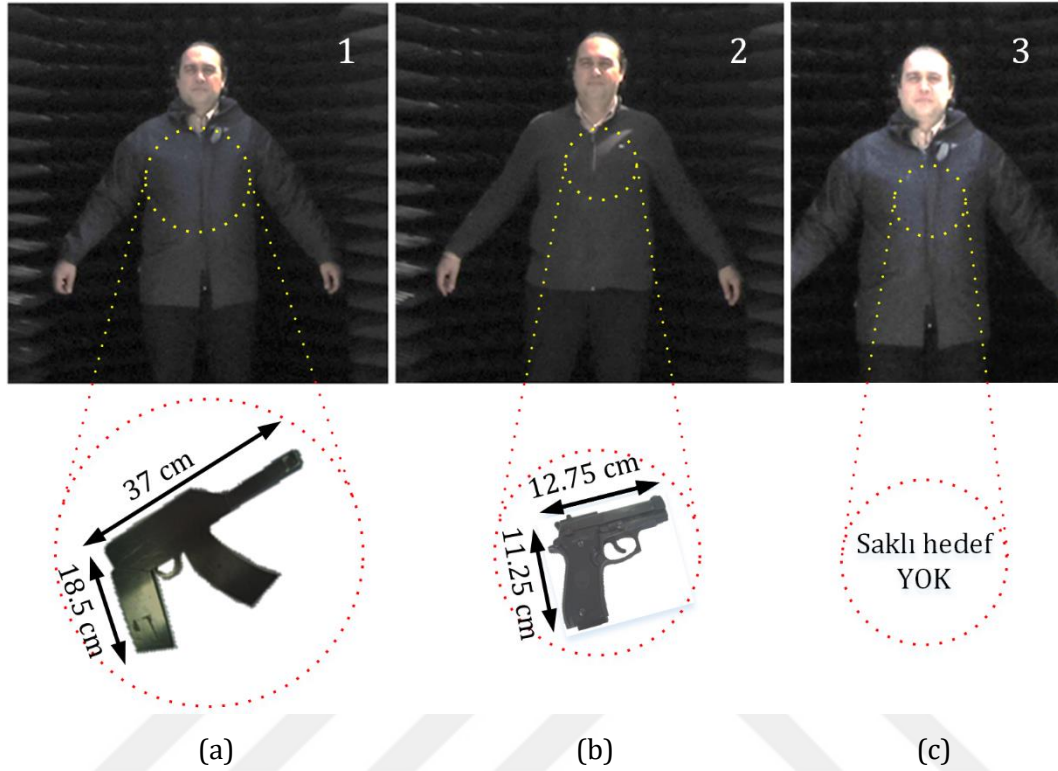


Şekil 4.10. (a) Kişi üzerinde gizlenmiş küçük silah (b) RGD ham görüntü verisi (c) Görüntüye ait histogram (d) Kişi ve üzerinde gizlenmiş küçük silaha ait PMMD görüntüsü.

4.2.5. Otomatik Sınıflandırma Algoritması Deneyleri ve Sonuçları

Bu çalışmada, insan üzerindeki metal cisimlerin tespit edilmesi amacıyla, PMMD görüntüleri elde edilmiş ve üç adet farklı ölçüm kullanılmıştır. Bunlardan şekil 4.11. (a)'da '1' numara ile ifade edilen görüntüde, büyük metal obje kullanılmıştır. Bu metal obje, mont altına

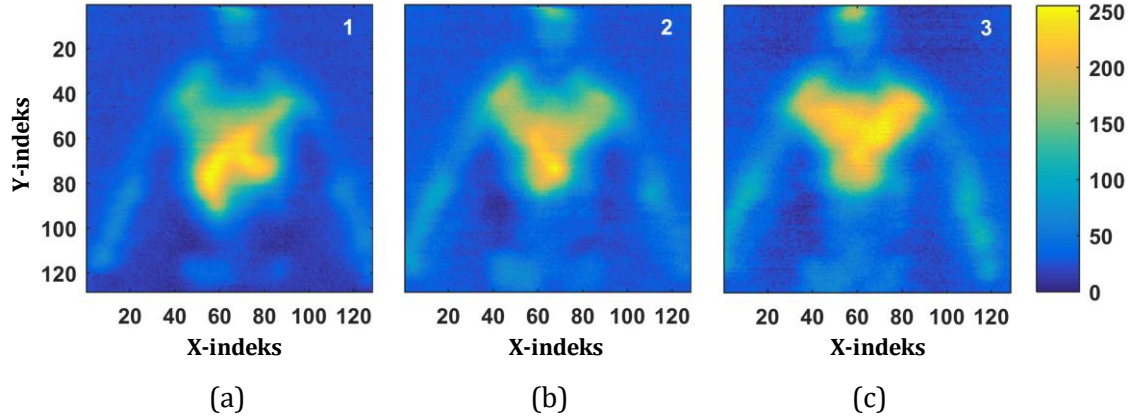
gizlenerek pasif görüntüleme yapılmıştır. Şekil 4.11. (b)'de '2' numara ile ifade edilen görüntüde, küçük el tabancası kazak altına gizlenerek görüntü alınmıştır. Şekil 4.11. (c)'de '3' numara ile ifade edilen görüntüde ise herhangi bir saklı hedef olmadan görüntüleme yapılmıştır.



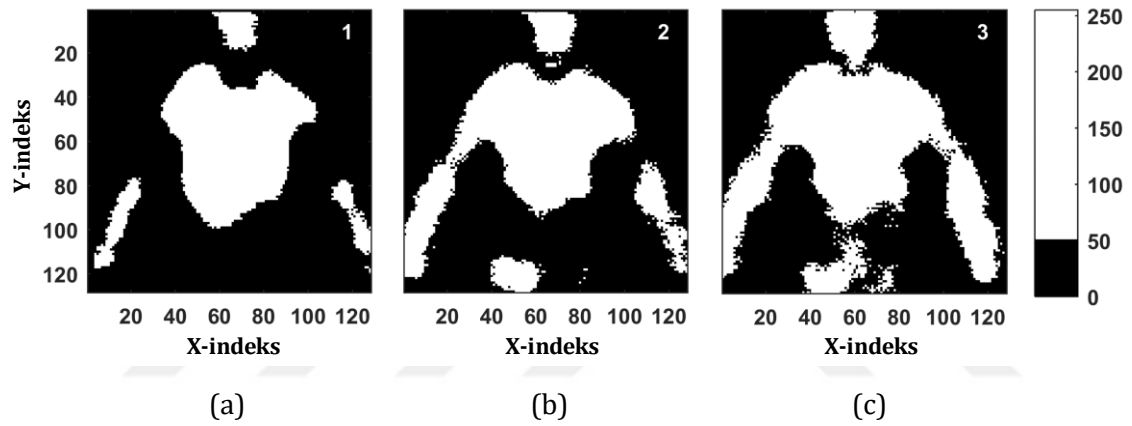
Şekil 4.11. Resimler üç farklı senaryoyu içermekte ve resimdeki kişiye ait (a) büyük saklı metal obje, (b) küçük saklı el tabancası ve (c) saklı hedef içermeme durumlarını temsil etmektedir.

Bölüm 3.2.2.'de değinilen ve akış diyagramı şekil 3.4. verilen algoritma kullanılarak senaryo incelendiğinde, sırasıyla aşağıdaki sonuçlar elde edilmektedir.

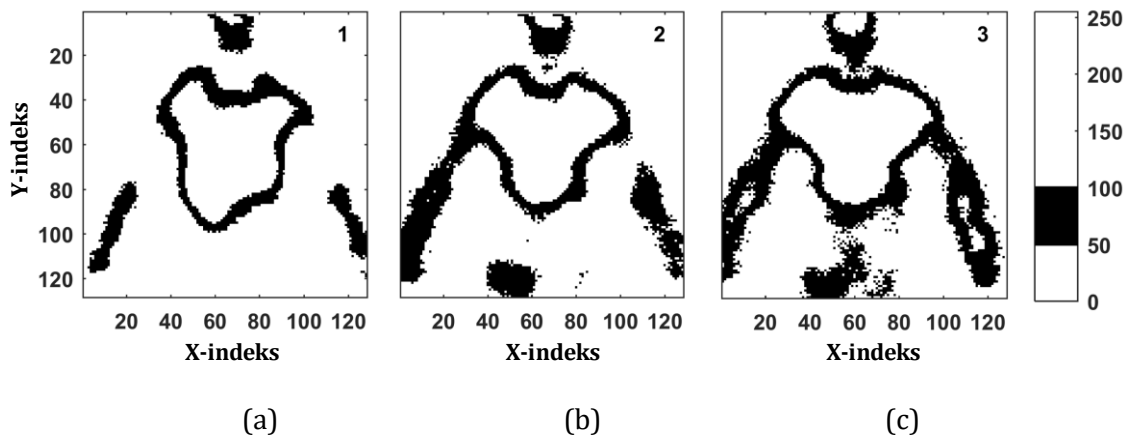
Şekil 4.16. ile şekil 4.17.'deki metal objelere ait piksellerin genlik değerlerinin 150-200 ve 200-255 aralığında değiştiği görülmektedir. Buradan yola çıkarak metal objelere ait genlik değerlerinin 150-255 aralığında olduğu kanısına varılabilir. Şekil 4.17. (a) ile (b) incelendiğinde, büyük metal objelerin görünürlülüğü ve sınıflandırılması için eşik değerinin 200 yerine 150 olarak belirlenmesinin daha ideal olduğu anlaşılmaktadır (Şekil 4.16. (a)). Ancak bu eşik değerinin küçük metal objeler için uygun olmadığı şekil 4.16. (b) incelendiğinde görülecektir. Bu nedenle, küçük metal objelerin tespit edilebilmesi için eşik değerinin 200'e çıkarılması gerekmektedir. Şekil 4.17. (b)'de bu etki açıkça görülmektedir. Son olarak, saklı hedefin bulunmadığı Şekil 4.16. (c) ve Şekil 4.17. (c)'deki "3" numaralı görüntü incelendiğinde geliştirilen algoritma, bunun göğüs yansıması olduğunu ve herhangi bir metal obje içermediğini tespit etmekte ve operatörü uyarmaktadır.



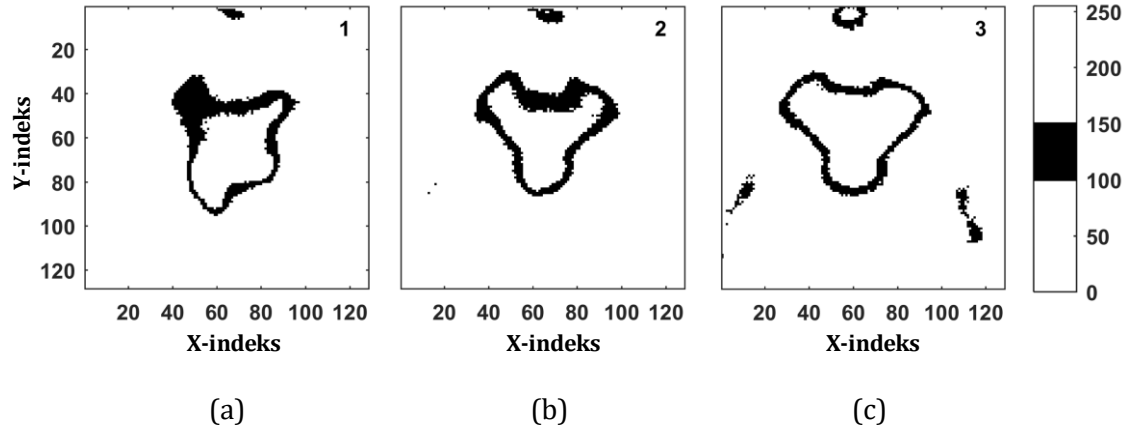
Şekil 4.12. (a) Montun altına gizlenmiş büyük metal obje (b) Kazak altına gizlenmiş küçük metal obje (c) Metal obje yok.



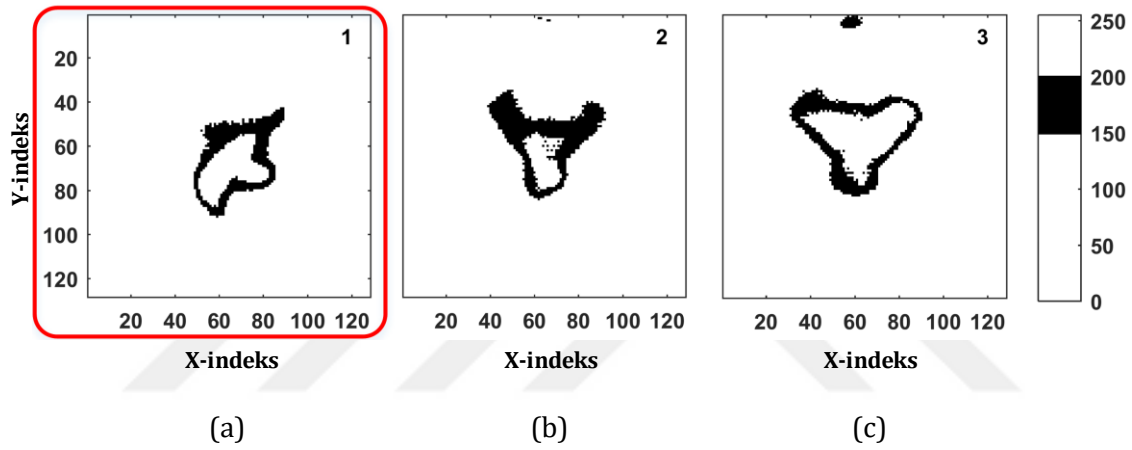
Şekil 4.13. Sırasıyla şekil 4.12.'deki (a), (b) ve (c) görüntülerine ait 0-50 genlik seviyesine sahip piksellerin gösterimi. Siyah renkler 0-50 ve beyaz renkler ise 50-255 arasında temsil etmektedir.



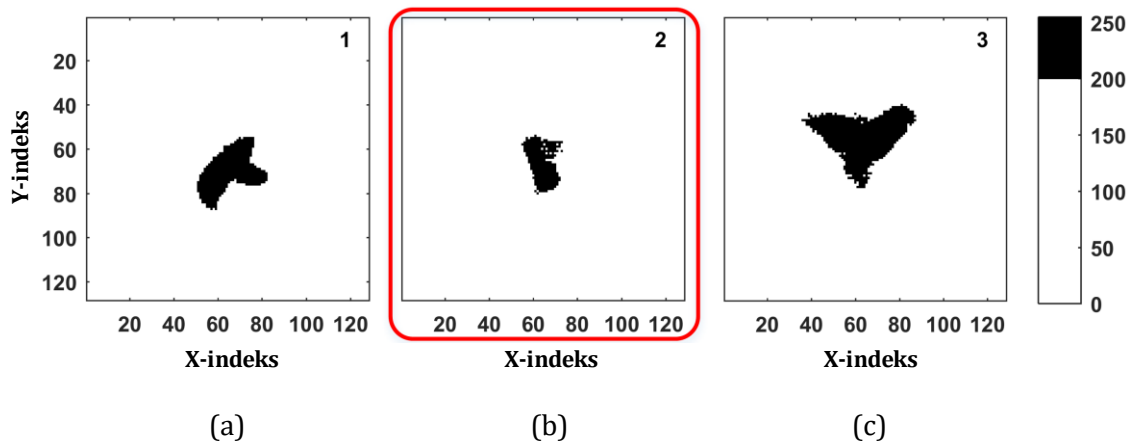
Şekil 4.14. Sırasıyla şekil 4.12. (a), (b) ve (c) 'deki 50-100 piksel aralığına sahip görüntüler.



Şekil 4.15. Sırasıyla şekil 4.12. (a), (b) ve (c) 'deki 100-150 piksel aralığına sahip görüntüler.

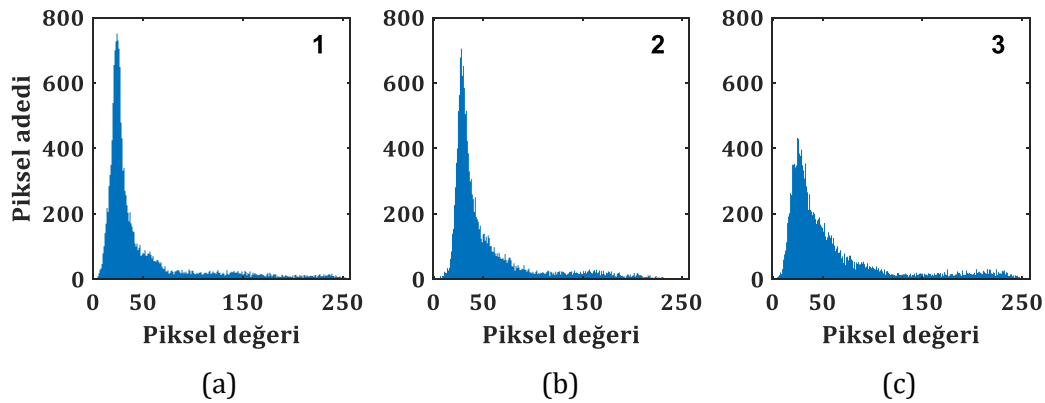


Şekil 4.16. Sırasıyla şekil 4.12. (a), (b) ve (c) 'deki 150-200 piksel aralığına sahip görüntüler.

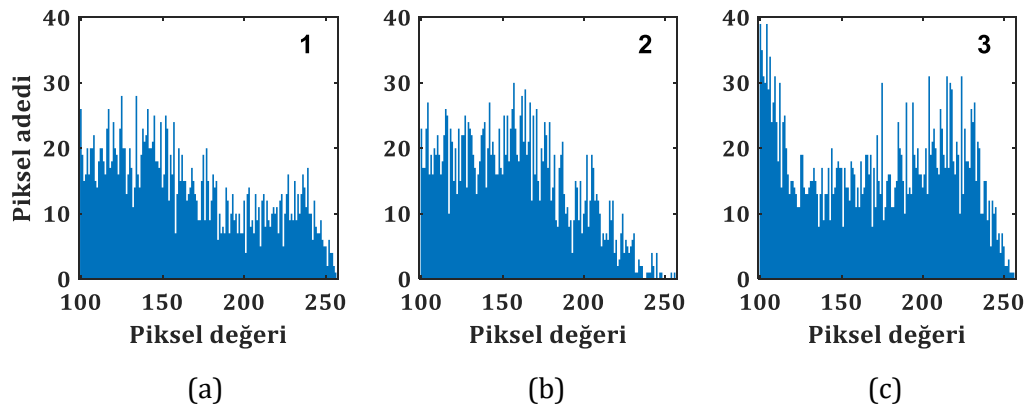


Şekil 4.17. Sırasıyla şekil 4.12. (a), (b) ve (c) 'deki 200-250 piksel aralığına sahip görüntüler.

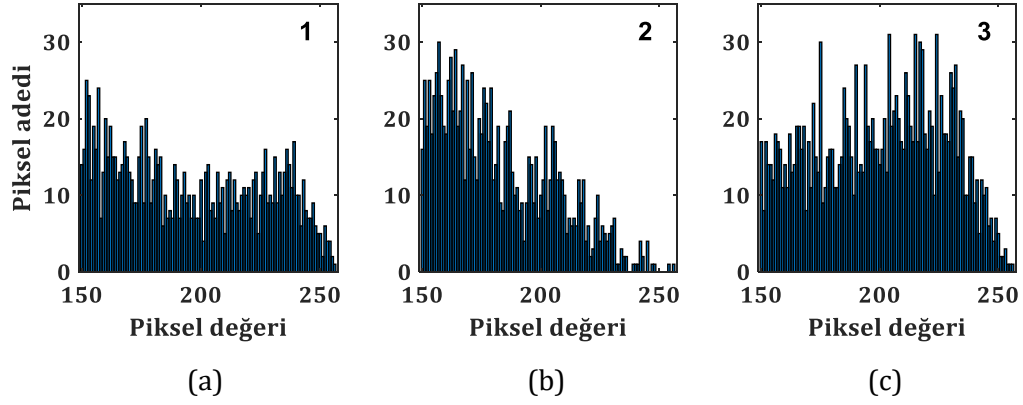
Yukarıda verilen iki kademeli eşik değerinden hangisinin kullanılacağına belirlenebilmesi için histogram değerleri kullanılmıştır. Üç adet görüntüye ait histogram değerleri sırasıyla şekil 4.18.-4.21. arasında verilmiştir. Şekil 4.20. (a)'daki büyük metal objeye ait ilk histogram verisi incelendiğinde, 150-180 aralığındaki yığılma 180-255 aralığına kıyasen çok küçük bir fazlalık göstermektedir. Bu farklılık büyük silahların ayırt edilmesine imkân vermektedir. Küçük metal objeye ait şekil 4.20. (b)'deki histogram incelendiğinde, veri yığılmasının 150-200 arasında oldukça fazla olduğu, 200-255 aralığında ise objenin kapladığı alanın küçüklüğünden kaynaklı yığılmanın düşük olduğu görülmektedir. Metal objenin olmadığı şekil 4.20. (c) ile şekil 4.21. (c) durumlarında ise 150-255 arası ortalama bir dağılım görülürken, bu dağılımın 200-230 arasında biraz daha fazla bir yığılma olduğu görülmektedir. Histogramlar arasındaki bu farklılıklar; büyük metal obje, küçük metal obje ve metal obje olmama durumlarını birbirinden ayırt edebilme imkânı sağlamaktadır. Hedef tespiti yapılmış nihai görüntüler şekil 4.22.'de verilmiştir.



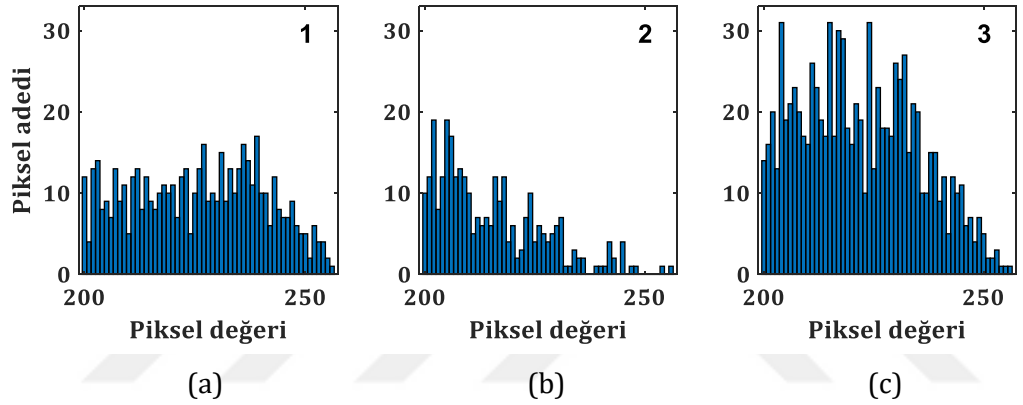
Şekil 4.18. Sırasıyla şekil 4.12. (a), (b) ve (c) 'deki görüntülere ait 0-255 aralığındaki histogram değerleri.



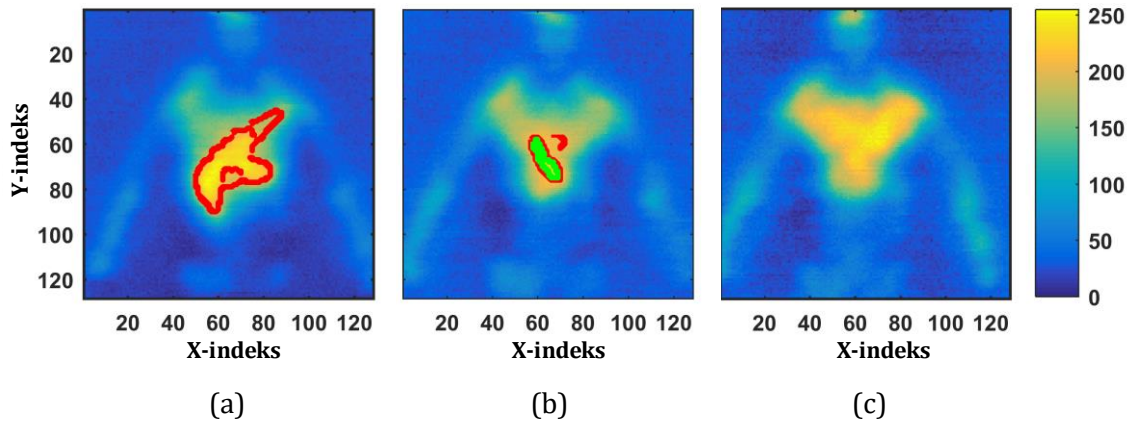
Şekil 4.19. Sırasıyla şekil 4.12. (a), (b) ve (c) 'deki görüntülere ait 100-255 aralığındaki histogram değerleri.



Şekil 4.20. Sırasıyla şekil 4.12. (a), (b) ve (c) 'deki görüntülere ait 150-255 aralığındaki histogram değerleri.



Şekil 4.21. Sırasıyla şekil 4.12. (a), (b) ve (c) 'deki görüntülere ait 200-255 aralığındaki histogram değerleri.



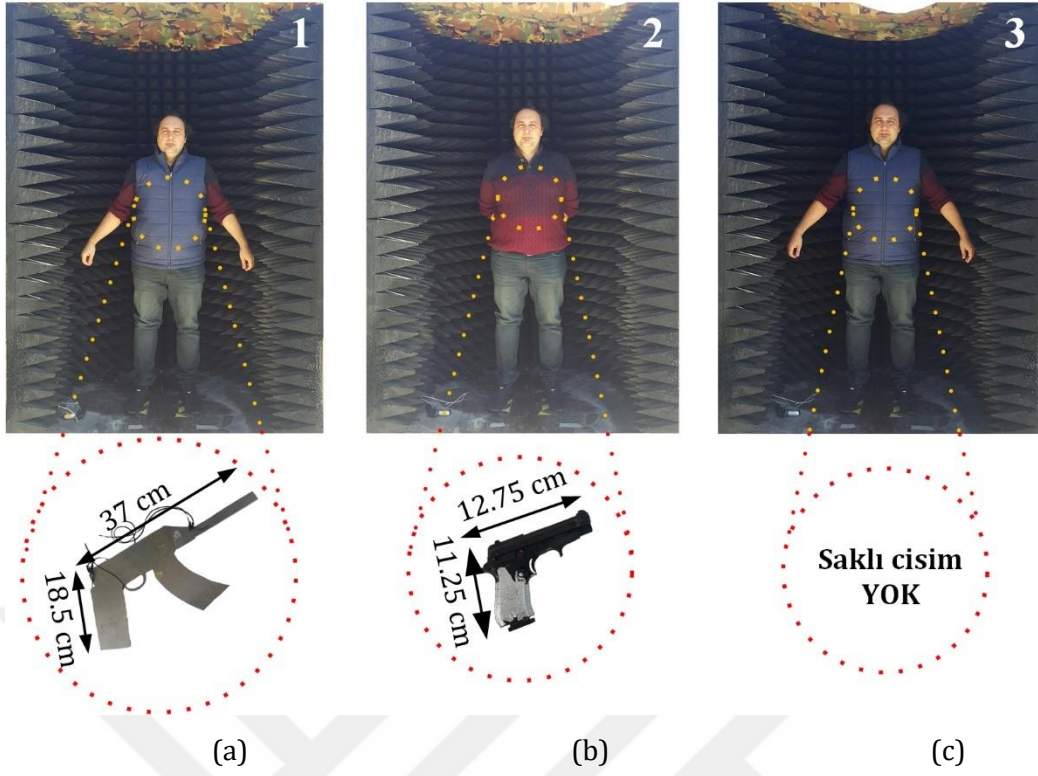
Şekil 4.22. Önerilen algoritma ile sırasıyla şekil 4.12. (a), (b) ve (c) 'deki saklı hedeflerin tespit edilerek işaretlenmesine ait nihai görüntüler.

4.2.6. Genişletilmiş Otomatik Sınıflandırma Algoritması Deneyleri

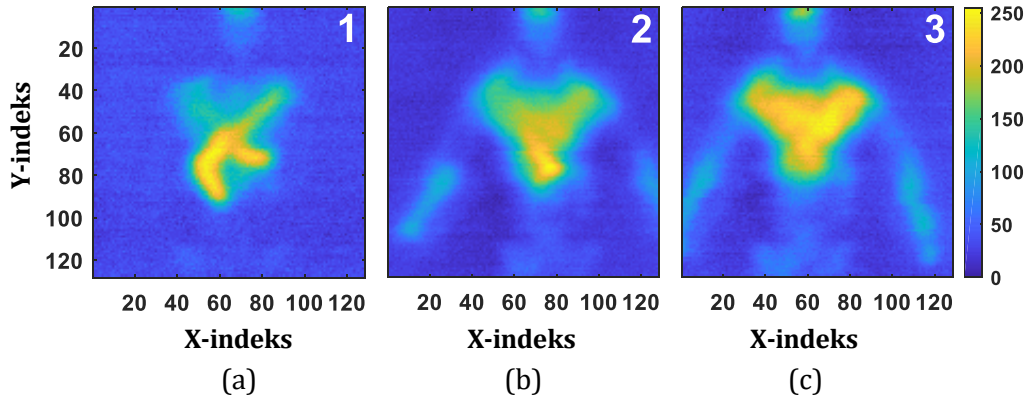
Genişletilmiş oto-sınıflandırma algoritmasının test edilebilmesi amacıyla üç farklı senaryo oluşturulmuştur. Bu senaryolar kişi üzerine gizlenmiş:

- i. Büyük boyutlu saklı silahları temsil etmek amacıyla büyük metal nesne,
- ii. Küçük boyuttaki silahları temsilen küçük saklı tabanca,
- iii. Herhangi bir metal nesnenin olmadığı durumları içermektedir.

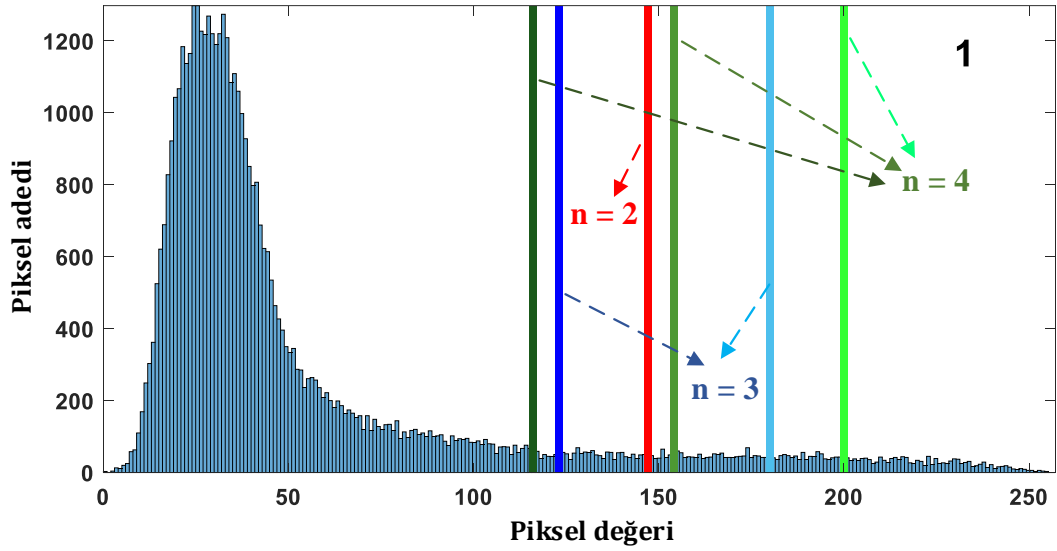
Bu senaryolara ait resimler şekil 4.23.'de, ham PMMD görüntüleri de şekil 4.24.'de verilmektedir. Şekil 4.24. (a) dikkatlice incelenirse herhangi bir yöntem uygulamadan da kişi üzerinde büyük bir metal objenin olduğu görülebilmektedir. Şekil 4.24. (b) incelendiğinde ise kişinin göğüs altından başlayarak omuzlara doğru azalan bir parlaklık olduğu görülebilmektedir. Bu görüntüden metal bir cisim olduğu anlaşılabilmesine rağmen, bunun boyutu ile ilgili bir tahmin ancak eğitimli bir gözlemci tarafından yapılabilmektedir. Şekil 4.24. (c)'de ise durum tamamen farklı bir hal almaktadır. Burada saklı bir nesne var mı? yok mu? sorusu oluşmaktadır. Eğer nesne varsa boyutu hakkında kesin bir bilgiye ulaşmak hemen hemen imkânsızdır. Bu sebeple bu tezde önerilen algoritma uygulanmıştır. Bu senaryolara ait histogram ve eşiklenmiş PMMD görüntüleri sırasıyla Şekil 4.25., Şekil 4.26. ve Şekil 4.27.'da verilmiştir.



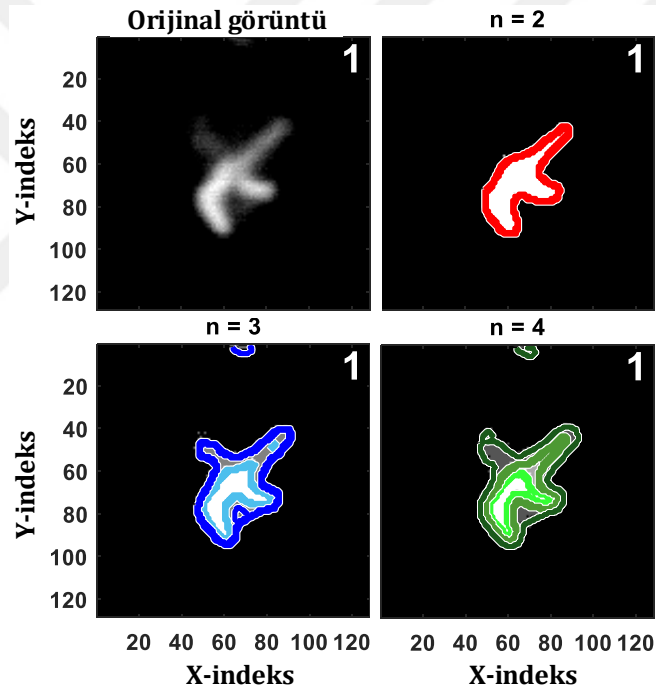
Şekil 4.23. Resimler üç farklı senaryoyu içermektedir. Resimdeki kişiye ait (a) büyük saklı silah, (b) küçük saklı el tabancası ve (c) nesne içermeme durumlarını temsil etmektedir.



Şekil 4.24. Ham PMMD görüntüleri (a) büyük saklı silah, (b) küçük saklı el tabancası ve (c) nesne içermeyen durumlar.

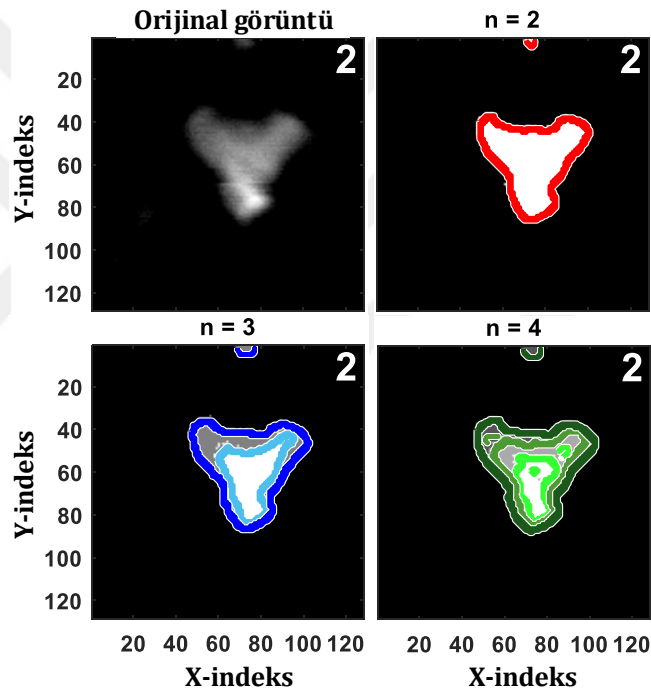
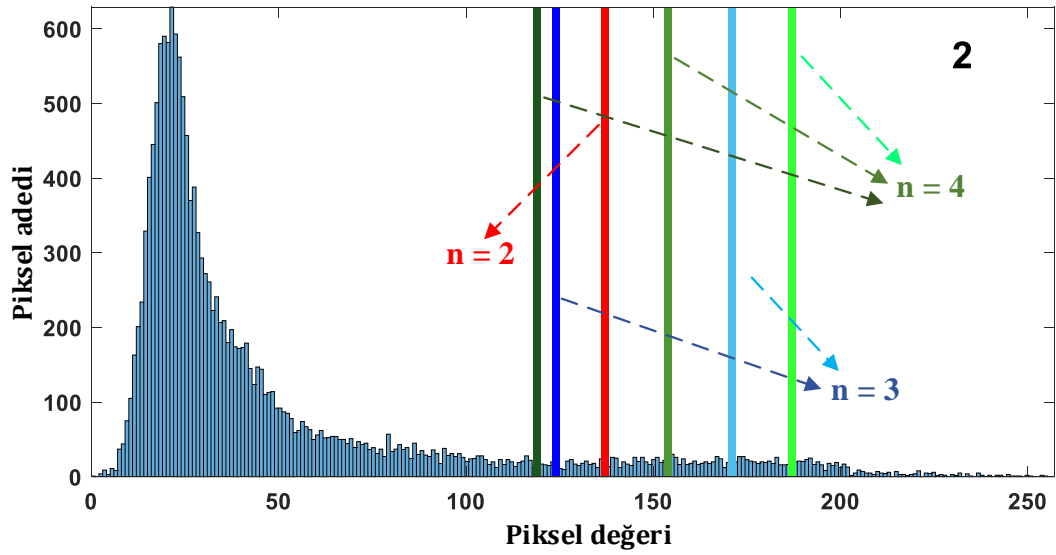


(a)

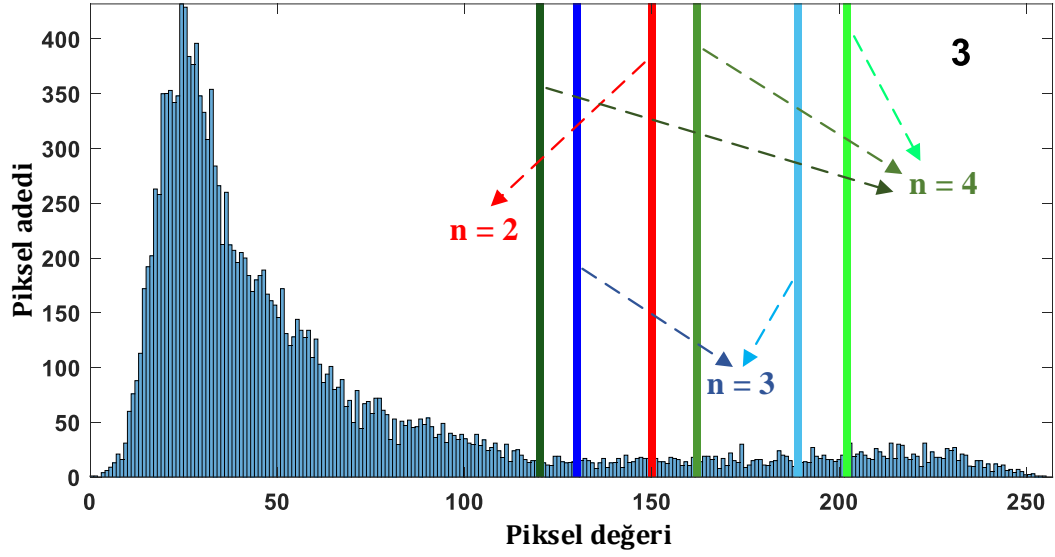


(b)

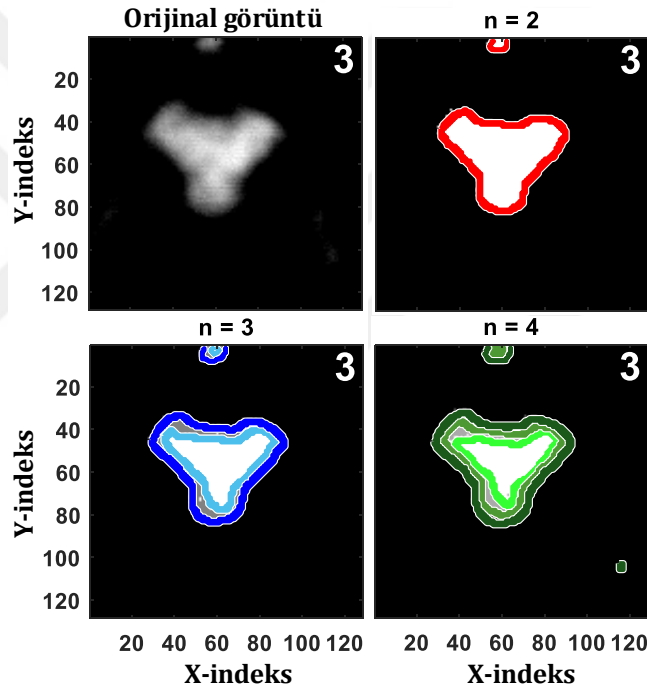
Şekil 4.25. (a) Büyük saklı silaha ait histogram (b) Orijinal PMMD görüntüsü ve Otsu algoritması kullanılarak elde edilmiş histogram eşik değerleri kullanılarak kenarları çizilmiş görüntüler.



Şekil 4.26. (a) Küçük saklı el tabancasına ait histogram (b) Orijinal PMMD görüntüsü ve Otsu algoritması kullanılarak elde edilmiş histogram eşik değerleri kullanılarak kenarları çizilmiş görüntüler.



(a)

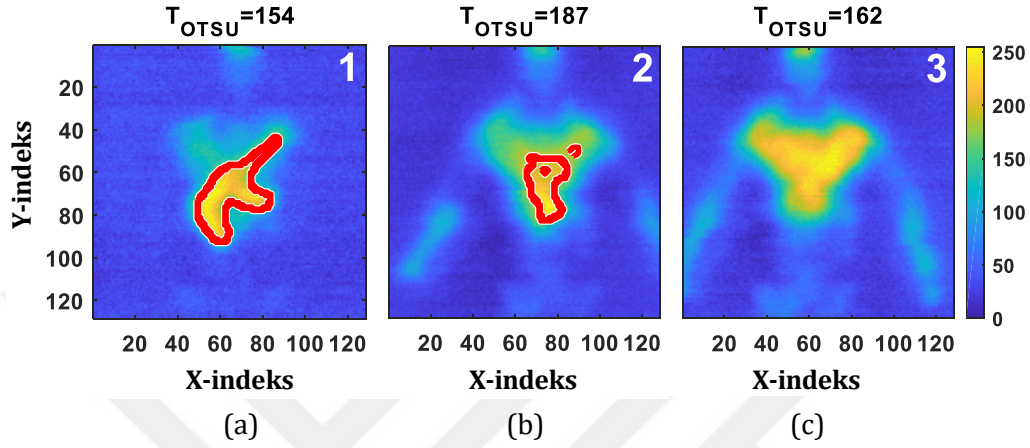


(b)

Şekil 4.27. (a) Saklı hedefin olmadığı duruma ait histogram (b) Orijinal PMMD görüntüsü ve Otsu algoritması kullanılarak elde edilmiş histogram eşik değerleri kullanılarak kenarları çizilmiş görüntüler.

Deneylere ait eşik değerleri Tablo 4.1.'de verilmiştir. Bu tablodaki değerler, Otsu çok seviyeli eşikleme yöntemi kullanılarak elde edilmiştir. Yapılan çeşitli denemeler sonucunda, ilk üç eşik değerinin alınması yeterli görülmüştür. Genişletilmiş oto-sınıflandırma algoritmasında da bu ilk üç değer kullanılarak T_{otsu} değeri hesaplanmıştır. Tablo 4.1.'de saklı büyük hedefe ait $n=4$ için eşik değerleri incelendiğinde, burada hedef büyük olduğu için algoritma, eşik değeri

sonuçlarından “150” ye en yakın olanı seçmiştir. Bu sonucu $T_2 = 154$ değeri karşılamaktadır. Aynı şekilde saklı küçük hedef için de algoritma, “200” değerine en yakın olan $T_3 = 187$ değerini seçmiştir. Bu seçimden sonra T_{otsu} değerine göre eşikleme yapıp, gerekli kenar algılama yöntemiyle hedefe ait dış hat tespit edilerek şekil 4.28.’de görüldüğü gibi çizilmiştir. Böylece gözlemcinin bu sonuçları değerlendirerek daha net karar vermesi sağlanmıştır.



Şekil 4.28. Hedef tespiti gerçekleştirilmiş PMMD görüntüleri; (a) tespit edilmiş büyük saklı silah, (b) küçük saklı el tabancası ve (c) hedef yok durumları.

Tablo 4.1. Segmentasyon için eşik değerleri.

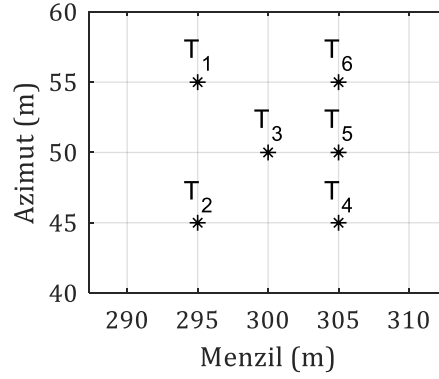
	Saklı büyük hedef	Saklı küçük hedef	Saklı hedef yok
n = 2	$T_1 = 147$	$T_1 = 137$	$T_1 = 150$
n = 3	$T_1 = 123$	$T_1 = 124$	$T_1 = 130$
	$T_2 = 180$	$T_2 = 171$	$T_2 = 189$
n = 4	$T_1 = 116$	$T_1 = 119$	$T_1 = 120$
	$T_2 = 154$	$T_2 = 154$	$T_2 = 162$
	$T_3 = 200$	$T_3 = 187$	$T_3 = 202$

4.3. Aktif Radar Benzetim Çalışmaları

Literatürde, benzetim veya deneysel ölçüm yapılmış AFSD tabanlı MDA kullanımı bulunmamaktadır. Bu nedenle, AFSD sinyalinin avantajlarından yararlanmak için AFSD sinyalli MDA uygulanmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Böylece daha iyi çözümlenmiş SAR görüntüleri, MDA'nın odaklama üstünlüğü ile birlikte geniş bant ve iyi SGO özelliklerine sahip AFSD formülü sinyaliyle yeniden oluşturulabilir. Bu amaç için, bu çalışma boyunca DFMD-MDA formülasyonuna kıyasla geliştirilen algoritmanın tüm adımları ayrıntılı olarak sunulmuş ve MDA'nın AFSD tabanlı uygulaması formülize edilmiştir. Önerilen algoritmanın sunumunda, yeni uygulamanın geleneksel DFMD-MDA'sına benzerliğinin matematiksel olarak gösterildiği ve iki dalga formu arasındaki farklılıkların ortaya konulduğu bir yol izlenmiştir.

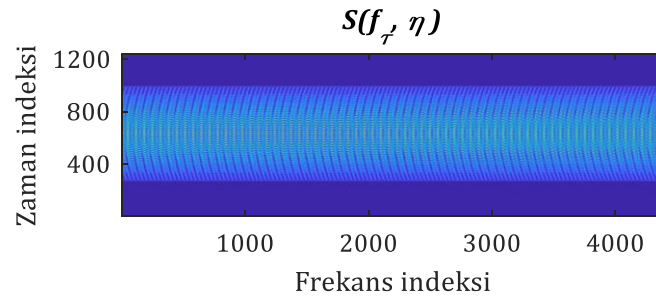
4.3.1. Yeni Geliştirilen MDA'nın AFSD Tabanlı Benzetim Sonuçları

Geliştirilen AFSD tabanlı MDA algoritmasının etkinliğini incelemek için, Şekil 4.29.'de gösterildiği gibi altı ideal izotropik nokta saçılımından oluşan bir test senaryosu MATLAB programı kullanılarak [87] oluşturulmuştur. Şekil 4.29.'de gösterildiği gibi hedefler çapraz menzil boyunca 45 m ile 55 m arasında ve menzil boyunca 295 m ile 305 m mesafesinde olacak şekilde yerleştirilmiştirler. $L_a = 20$ cm uzunluğunda antene sahip bir SAR platformu, 10 m/s'lik sabit bir hızda seyrederken her 80.6 ms'de ve darbe tekrarlama frekansı (DTF, Pulse Repetition Frequency-PRF) 124 Hz olacak şekilde AFSD verilerini toplamaktadır. Toplam sentetik açıklık uzunluğunun 100 m olması için veri toplama süresi 10 s olarak ayarlanmıştır. AFSD formundaki geri saçılan sinyaller, 0 ile 100 m arasında değişen düz yol boyunca, toplamda 1240 eşit aralıklı uzamsal nokta olacak şekilde toplanmaktadır. AFSD sinyali; frekans aralığı 8.4 ile 10.4 GHz, frekans adım genişliği $\Delta f = 0.454$ GHz ve toplam 4400 noktadan oluşacak şekilde oluşturulmuştur. Bu nedenle, menzil-frekans ve azimut-zaman alanında 1240×4400 ebadında 2B ham SAR verileri toplanmıştır.

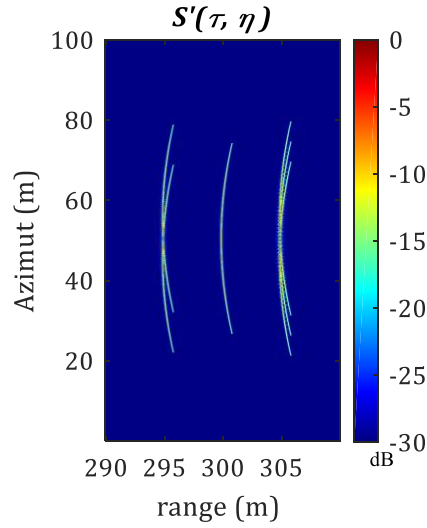


Şekil 4.29. Benzetimde kullanılan altı hedefe ait konumlar.

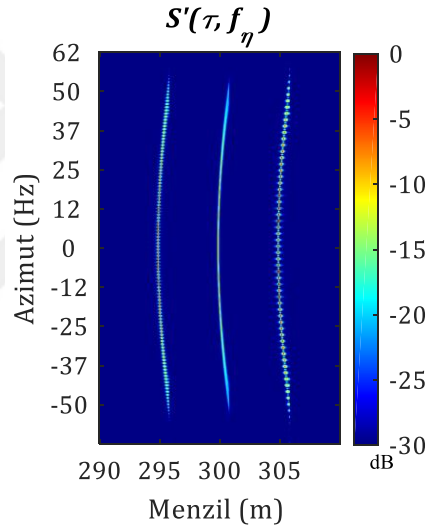
Algoritma adımları şekil 3.7.'de paylaşılan akış diyagramında gösterildiği gibi uygulanmıştır. İlk olarak, toplanan 2B ham veriler $S(f_\tau, \eta)$, Şekil 4.30.'da gösterildiği gibi elde edilmiştir. Daha sonra menzil sıkıştırma prosedürü, $S(\tau, \eta)$ menzil-zaman ve azimut-zaman verilerini elde etmek için menzil yönünde TFD uygulanmıştır. Ayrıca faz düzeltme prosedürünün, menzil sıkıştırılmış sinyalin genliği üzerinde bir etkisi olmamaktadır. Faz düzeltilmiş menzil-zaman ve azimut-zaman $S'(\tau, \eta)$ verisine karşılık gelen 2B SAR görüntüsü, Şekil 4.31.'de çizilmiştir. Sentetik açıklık boyunca hareket eden antenlerin, hedeflerin değişen anlık menzil mesafesine bağlı olarak oluşturmuş olduğu toplamda altı hiperbolik yörüngeye ait izler açıkça görülebilmektedir. MHGD işlemi için azimut yönü boyunca 1B TFD alınarak veriler menzil-zaman ve azimut-frekans (veya Doppler) düzlemine taşınmış ve taşınan bu $S'(\tau, f_\eta)$ sinyal şekil 4.32.'deki gibi çizilmiştir. Burada, aynı menzildeki hedefler, aynı Doppler kaymasını maruz oldukları için Doppler ekseninde aynı menzilde sıralanmışlardır. Örneğin, T_1 ve T_2 yukarıda belirtilen Doppler etkisinden ötürü, T_4 , T_5 ve T_6 'da benzer şekilde üst üste dizilmiştir.



Şekil 4.30. AFSD formu kullanılarak elde edilen ham 2B SAR görüntüsü.



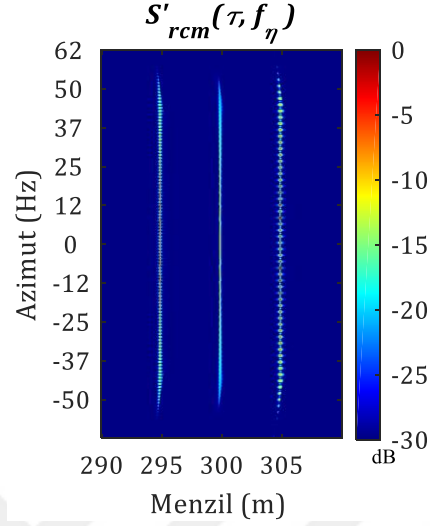
Şekil 4.31. Sıkıştırılmış menzil-zaman ve azimut-zaman SAR görüntüsü.



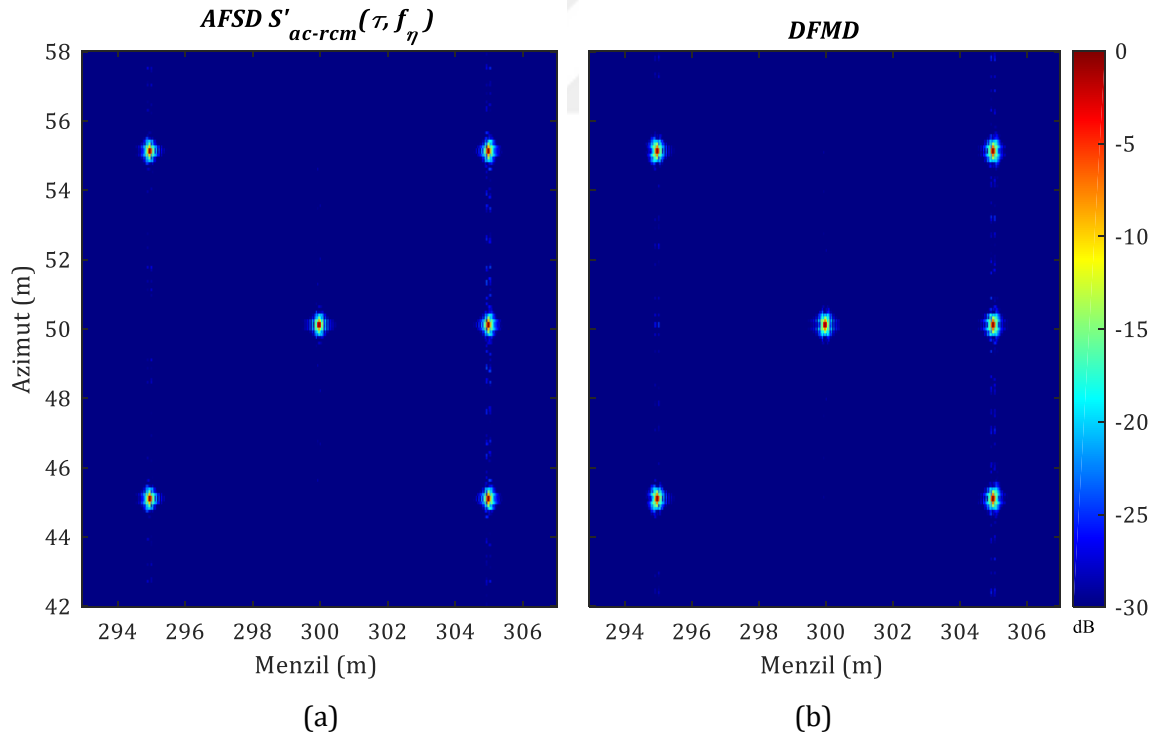
Şekil 4.32. Azimut FD'den sonra menzil-zaman Doppler SAR verisi.

MDA'nın bir sonraki adımında, her menzil aralığı için bölüm 3.3.3.'de verilen denklem (3.50) kullanılarak MHG düzeltme işlemi uygulanmıştır. Böylece 2B MHG düzeltilmiş, menzil-zaman ve azimut-frekans SAR görüntüsü şekil 4.33.'de gösterildiği gibi elde edilmiştir. Tüm hedeflere ait profiller, azimut sıkıştırma işlemine hazır olacak şekilde, azimut yönünde hizalanmıştır. Böylece bir sonraki aşama için, bölüm 3.3.3.'de verilen denklem (3.52) kullanılarak azimut yönünde sıkıştırma işlemi gerçekleştirilir. 2B SAR görüntüsünü elde etmek için sırasıyla aralık sıkıştırma, MHG düzeltme, azimut sıkıştırma işlemleri tamamlandıktan sonra son olarak azimut ekseninde art arda azimut TFD işlemleri gerçekleştirilir ve şekil 4.34. (a)'daki odaklanmış görüntü elde edilir. Elde edilen SAR görüntüsü -30 dB dinamik aralığında incelendiğinde, oldukça

iyi SGO değerleri vermekte ve hedeflerin tümü gerçek konumlarında odaklanmaktadır. Bu sonuçlar, 2B SAR odaklama işleminin AFSD tabanlı MDA kullanılarak başarılı bir şekilde gerçekleştirildiğini ortaya koymaktadır.



Şekil 4.33. MHG düzeltilmiş menzil-zaman Doppler SAR verisi.



Şekil 4.34. MDA kullanılarak yeniden yapılandırılmış (a) AFSD sinyal formülü ve (b) DFMD sinyal formülü 2B SAR görüntüsü.

4.3.2. Noktasal Hedef Analizleri

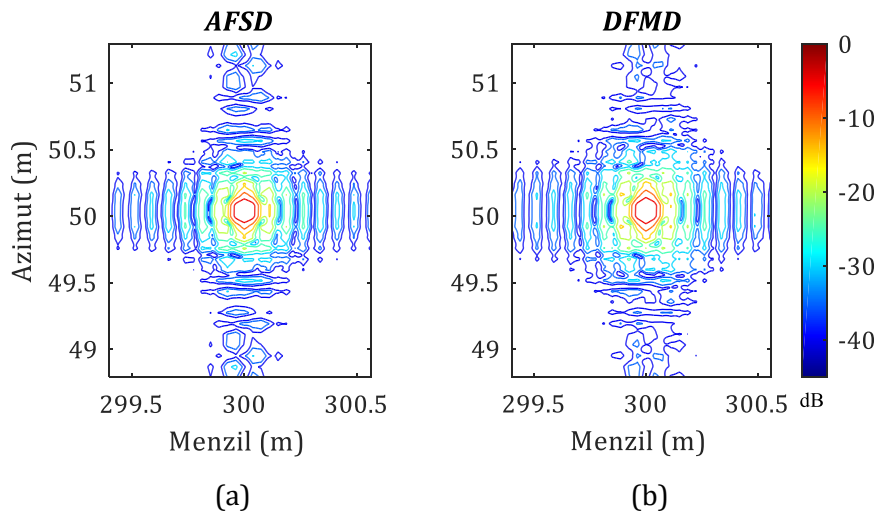
Önerilen AFSD-MDA'nın performansını daha iyi değerlendirebilmek için, DFMD-MDA kullanılarak elde edilen SAR görüntüsü de şekil 4.34. (b) 'de eklenmiştir. Şekil 4.34. (b)'deki görüntü incelendiğinde, şekil 4.34. (a)'daki görüntünün aynı zamanda, çok başarılı bir şekilde yeniden oluşturulmuş ve tüm noktasal hedeflerin gerçek konumlarına oldukça iyi odaklanmış oldukları görülmektedir. AFSD tabanlı MDA ile DFMD tabanlı MDA'nın performansını daha iyi değerlendirmek için:

- i. Darbe yanıt genişliği “-3dB” (DYG, Impulse Response With-IRW),
- ii. Tepe / yan lob oranı “dB” (TYLO, Peak to Side Lobe Ratio-PSLR),
- iii. Bir boyutlu tümleşik yan lob oranı (BB-TYLO, Integrated Side Lobe Ratio-ISLR) kullanılmıştır.

Seçilen bir hedefin (yani T₃) -3 dB'lik çözünürlük değerleri, şekil 4.34.'deki SAR görüntüleri kullanılarak analizleri gerçekleştirilmiştir. Teorik olarak, menzil ve azimut çözünürlük değerleri denklem (4.1) kullanılarak kolayca [34, 35, 41, 44] hesaplanmaktadır.

$$\begin{aligned} \delta x &= \frac{c}{2B} = 7.5 \text{ cm} \\ \delta y &= \frac{L_a}{2} = 10 \text{ cm} \end{aligned} \quad (4.1)$$

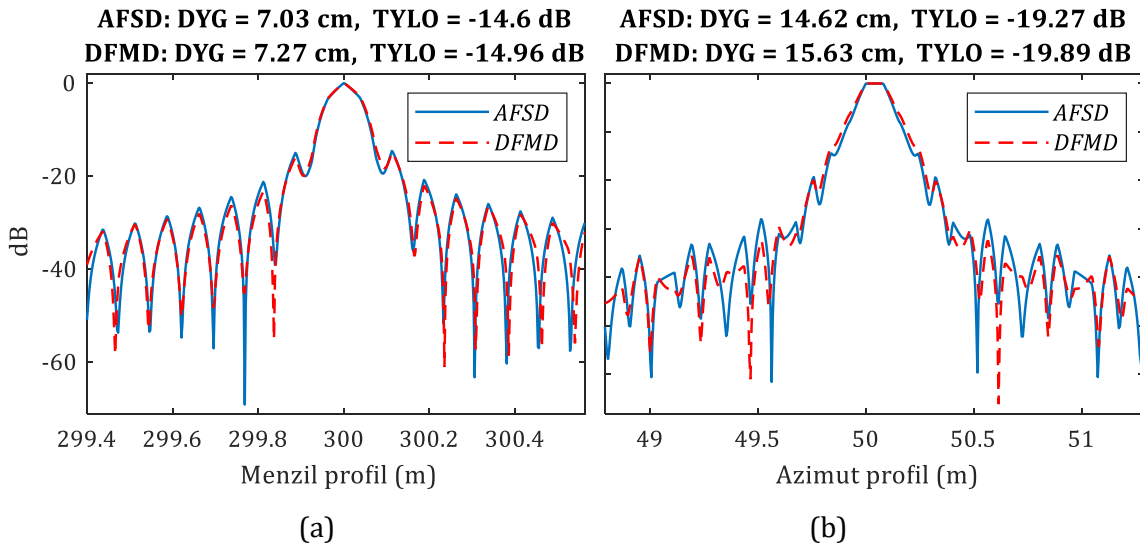
burada δx ve δy sırasıyla menzil ve azimut yönündeki çözünürlükleri temsil etmektedir.



Şekil 4.35. T₃ hedefinin etrafındaki SAR kontur görüntüleri: (a) AFSD sinyal formu ve (b) DFSD sinyal formu.

DYG, TYLO ve BB-TYLO analizleri, şekil 4.35.'de verilen T_3 hedefinin SAR kontur görüntülerine dayanarak oluşturulmuştur. Görüntüyü yeniden yapılandırırken, 16 kat enterpolasyon işlemi kullanılmıştır.

DYG, menzil veya azimut sinyalinin -3 dB genişliğine karşılık gelen ve çözünürlük hesaplamasında oldukça çok kullanılan bir ölçüm hesaplamasıdır. Bu amaç için, normalize edilmiş 50 m azimut ve 300 m menzil profilleri sırasıyla şekil 4.36.(a) ve (b) 'de çizilmiştir. Her iki şekilde de mavi kesikli çizgi ile kırmızı kesik çizgi sırasıyla AFSD -MDA ve DFMD-MDA sinyal profillerini göstermek için kullanılmıştır. Her iki algoritmanın da benzer performans değerlerini sağladığı görülmektedir. Daha ayrıntılı bir analiz için, DYG analizinden hesaplanan çözünürlük değerleri ile beklenen teorik değerler birlikte tablo 4.2.'de verilmiştir. Her iki MDA yaklaşımı da benzer çözünürlük metrik değerlerini sağlarken, AFSD-MDA hem menzil hem de azimutta biraz daha keskin bir çözünürlük istatistiği sunarak, DFMD-MDA'dan daha iyi bir performans sergilemektedir.



Şekil 4.36. (a) Noktasal hedef T_3 'ün 50 m azimuttaki menzil profili, (b) Noktasal hedef T_3 'ün 300 m menzildeki azimut profili.

İkinci analiz olarak, her iki MDA algoritmasının TYLO sonuçları sırasıyla, şekil 4.36. (a) ve (b)'de normalize edilmiş menzil ve azimut profilleri kullanılarak verilmiştir. TYLO, sinyalin genellikle dB cinsinden ifade edilen en büyük yan lobun yüksekliği ile ana lobunun yüksekliği arasındaki mesafe olarak tanımlanır. Şekil 4.35. (a) ve (b) 'de, ana lob en içteki konturken, ikinci en iç konturlar sırasıyla AFSD-MDA ve DFMD-MDA SAR görüntüleri için en büyük yan loblara karşılık gelmektedir. Her iki yaklaşımın TYLO analizleri, şekil 4.36.'daki grafikler kullanılarak kolayca yapılabilmektedir. Hesaplanan TYLO değerleri daha iyi bir karşılaştırma için tablo 4.2.'de

listelenmiştir. Yine, TYLO performansları oldukça benzerlik göstermekle birlikte; DFMD-MDA, AFSD-MDA'dan biraz daha iyi performans sergilemekte ve çok küçük farklılıklar bulunmaktadır. Çünkü daha yüksek TYLO değeri, daha fazla odaklanma yeteneği anlamına gelmektedir. Her iki yaklaşım da noktasal hedeflere odaklanmada son derece başarılıdır.

Tablo 4.2. Ölçülen görüntü kalitesi parametrelerinin karşılaştırılması.

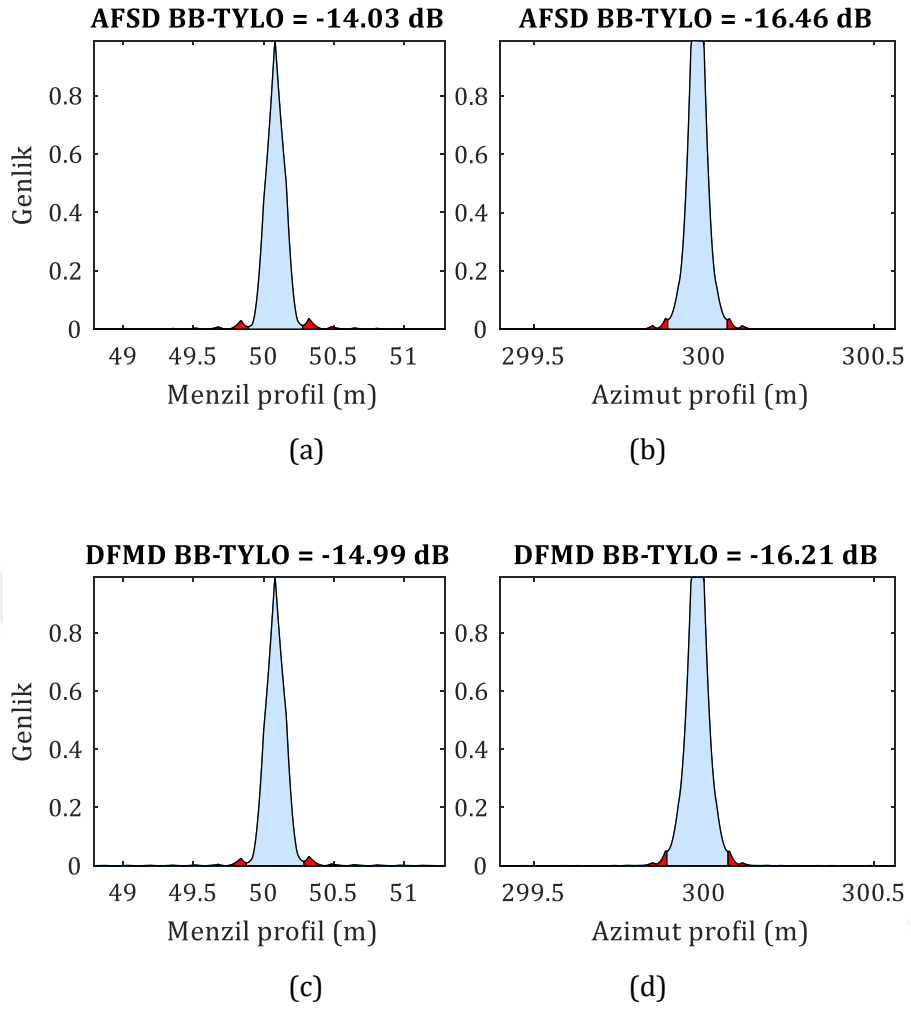
<i>Parametre</i>	<i>Teori</i>	<i>DFMD</i>	<i>AFSD</i>
DYG azimut çözünürlüğü	10 cm	15.62 cm	14.62 cm
DYG menzil çözünürlüğü	7.5 cm	7.26 cm	7.03 cm
TYLO azimut profili	-	-19.89 dB	-19.26 dB
TYLO menzil profili	-	-14.95 dB	-14.59 dB
BB-TYLO azimut profili	-	-16.21 dB	-16.46 dB
BB-TYLO menzil profili	-	-14.99 dB	-14.07 dB

Son analiz olarak BB-TYLO çalışması yapılmıştır. BB-TYLO, ana lob enerji konsantrasyonunu ölçmek için yararlı bir araçtır. Aslında aşağıdaki formülle, ana lobdaki enerjinin tüm yan loblardaki toplam enerjiye oranı olduğu görülmektedir.

$$BB - TYLO = 10 \log_{10} \left(\frac{E_{total} - E_{main}}{E_{main}} \right) \quad (4.2)$$

burada E_{total} toplam enerjiye ve E_{main} ise ana lobun altındaki enerjiye karşılık gelmektedir. Bu nedenle, bir noktasal hedefin görüntüsünün tüm yan loblarında bulunan toplam enerji daha küçükse, BB-TYLO değeri de o denli küçük olur. Bu da ana lob ile görüntünün geri kalanı arasındaki kontrastın daha çok olduğuna, dolayısıyla görüntü kalitesini ifade etmede oldukça etkin bir hesaplama olarak kullanılmaktadır.

Önerilen algoritmanın BB-TYLO performansını daha iyi kavramak için, T_3 hedefine ait menzil ve azimut profilleri şekil 4.37.'de verilmiştir. Daha iyi bir görsel yorumlama için, ana lob ve yan lobların altında bulunan toplam enerjiler açık mavi ve koyu kırmızı renkler ile gösterilmiştir. Denklem (4.2)'deki formüle dayanarak, AFSD tabanlı MDA ve DFMD tabanlı MDA yaklaşımları için menzil ve azimut profillerinin BB-TYLO değerleri tablo 4.2.'de listelenmiştir. Yine, her iki yaklaşım için birbirinden önemli bir üstünlük olmaksızın çok yakın performanslar elde edilmiştir. Bu tablodaki BB-TYLO değerleri, açıkça her iki algoritmanın hedef görüntülerini başarılı bir şekilde odakladığını göstermektedir. Tablo 4.2.'de sunulan sonuçlar, AFSD'nin MDA'ya tam olarak adaptasyonunun başarılı bir şekilde gerçekleştirildiğini göstermektedir.



Şekil 4.37. (a) AFSD-MDA'nın enerji menzil profili, (b) AFSD-MDA'nın enerji azimut profili, (c) DFMD-MDA'nın enerji menzil profili, (d) DFMD-MDA'nın enerji azimut profili.

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında, aktif ve pasif uzaktan algılamaya yönelik olarak, PMMD görüntüleme sistemi ve algoritmaları geliştirilmiş, aktif görüntüleme için yeni bir SAR odaklama algoritması önerilmiştir. Geliştirilen PMMD görüntüleme düzeneğinden elde edilen verilere uygulanan “Otomatik Sınıflandırma Algoritması” ile, giysilerin altındaki gizli nesnelere tespit etmek ve yerlerini belirlemek için pratik bir otomatik sınıflandırma algoritması geliştirilmiştir. Algoritma adımları ayrıntılı olarak açıklamalarla verilmiştir. Herhangi bir gizli metal silahın varlığını ve büyüklüğünü belirlemek için iki eşik seviyesine ait histogramlar arasındaki orana bakılarak karar verilebileceği gösterilmiştir. Önerilen algoritmanın etkinliğini ve geçerliliğini test etmek için hem simülasyon hem de ölçüm verileri sağlanmıştır. Algoritma sonuçları ve yeniden yapılandırılan nihai görüntülerle önerilen tekniğin başarısı ortaya konmuştur.

Geliştirilen yöntemde ilk olarak, ham görüntü 0 ile 255 arasındaki gri skalaya normalize edilmiştir. Bu süreç, KAR'ın alıcı sinyal seviyesinin atmosferik koşullara (sis, yağmur, kar, bulut, nem, vb.) göre her zaman değişmesi açısından gerekmektedir. Ayrıca, sinyal seviyesi genellikle günün saatine, gününe, mevsime vb. göre değişmektedir. Bu nedenle, normalize prosedürü alınan sinyalin değişim problemini çözmektedir. İkinci olarak, algoritmanın diğerlerine kıyasla ana avantajı, saklı hedeflerin boyutuna bağlı olarak olası gizli silahların varlığı ve tespiti için kullanılacak iki ayrı eşik değerini kullanarak üç farklı koşula “küçük saklı silah”, “büyük saklı silah” ve “saklı silah yok” karar vermesidir. Histogram grafikleri, bu eşik seviyelerinin tespit fizibilitesini göstermektedir. Bu eşik seviye değerleri, kullanılan radyometrik alıcının hassasiyeti nedeniyle değişebilmektedir. Bu tez çalışmasında açıklanan eşik seviye değerlerini diğer araştırmacılar kullanırken, kendi PMMD görüntüleme alıcılarına ve alıcı duyarlılık değerlerine göre yeniden ayarlamaları gerekebilecektir.

Tez çalışmasında geliştirilen ikinci algoritma; “Genişletilmiş Otomatik Sınıflandırma Algoritması”dır. Bu algoritma geliştirilirken, dört seviyeli segmentasyon sonuçları kullanılarak gizli nesnelere ana hatlarının daha kesin bir şekilde ortaya çıkarıldığı şekil 4.25, şekil 4.26. ve şekil 4.27. incelendiğinde rahatlıkla görülebilmektedir. Otsu'nun metodolojisinin önerilen genişletilmiş otomatik sınıflandırma algoritmasına dahil edilmesiyle, PMMD görüntülerdeki gizli metalik nesnelere yukarıda bahsedilen üç farklı koşula göre sınıflandırmada daha doğru seçim yapması sağlanmıştır.

Algoritmanın dikkate değer bir başka yönü şudur: Küçük saklı nesnelere tespiti için algoritma, çok düzeyli eşiklerden en yakın eşik değerini “200” olarak seçmekte ve bu seviyeyi nesnenin ana hatları olarak almaktadır. Daha büyük gizli nesnelere tespiti için, hedefin son konturu olarak “150”ye en yakın eşik seviyesi seçilmektedir. Bu çalışmada paylaşılan deneyler

için eşik seviyeleri, büyük ve küçük saklı nesnelere için sırasıyla, tablo 4.1.'de kırmızı koyu renk ile işaretlenmiş ve "154" ile "187" olarak bulunmuştur.

Bu tezin son çalışması olan ve aktif radar görüntüleme için kullanılmak üzere literatüre büyük katkı yapması hedeflenen "Yeni geliştirilen MDA'nın AFSD tabanlı uygulaması" adlı çalışmada, SAR görüntüleme için en çok kullanılan MDA odaklama tekniği ilk kez AFSD sinyal formu için türetilmiştir. AFSD temelli MDA için matematiksel formülasyonu detaylı olarak verilmiş ve DFMD bazlı MDA formülasyonu ile karşılaştırılmıştır.

AFSD tabanlı SAR operasyonu için MDA'nın performansı, noktasal hedef dağılımlarına dayanan simülasyon verileriyle test edilmiştir. Odaklanma performansı ve görüntü kalitesi DYG, TYLO ve BB-TYLO ölçümleriyle değerlendirilmiştir. Bu ölçümler, beklenen teorik değerlerle tutarlı sonuçlar ortaya koymuştur. Ayrıca bu ölçümler AFSD'nin MDA uygulamasına adaptasyonunun başarısının birer kanıtıdır. Bu tezde geliştirilen AFSD-MDA'nın İHA-SAR'dan yer tabanlı SAR'a kadar birçok uygulama için etkili bir şekilde kullanılabilmesi değerlendirilmektedir.

KAYNAKLAR

- [1]. Chen, H.-M., Lee, S., Rao, R., Slamani, M.-A., & Varshney, P. (2005). Imaging for concealed weapon detection: a tutorial overview of development in imaging sensors and processing. *IEEE Signal Processing Magazine*, 22(2), 52–61. doi: 10.1109/msp.2005.1406480
- [2]. Yujiri, L., Shoucri, M., & Moffa, P. (2003). Passive millimeter-wave imaging. *IEEE Microwave Magazine*, 4(3), 39–50. doi: 10.1109/mmw.2003.1237476
- [3]. Herranz, D., & Vielva, P. (2010). Cosmic microwave background images. *IEEE Signal Processing Magazine*, 27(1), 67. doi: 10.1109/msp.2009.934716
- [4]. Dicke, R. H. (1946). The Measurement of Thermal Radiation at Microwave Frequencies. *Review of Scientific Instruments*, 17(7), 268–275. doi: 10.1063/1.1770483
- [5]. Hu, T., Xiao, Z., Xu, J., & Wu, L. (2010). Methods of personnel screening for concealed contraband detection by millimeter-wave radiometric imaging. *Procedia Engineering*, 7, 28–37. doi: 10.1016/j.proeng.2010.11.005
- [6]. Clark, S. E., Lovberg, J. A., Martin, C. A., & Kolinko, V. G. (2003). Passive millimeter-wave imaging for airborne and security applications. *Passive Millimeter-Wave Imaging Technology VI and Radar Sensor Technology VII*. doi: 10.1117/12.484871
- [7]. Shi, X., & Yang, M. (2014). Development of passive millimeter wave imaging for concealed weapon detection indoors. *Microwave and Optical Technology Letters*, 56(7), 1701–1706. doi: 10.1002/mop.28420
- [8]. Yeom, S., Lee, D.-S., Son, J.-Y., Jung, M.-K., Jang, Y., Jung, S.-W., & Lee, S.-J. (2011). Real-time outdoor concealed-object detection with passive millimeter wave imaging. *Optics Express*, 19(3), 2530. doi: 10.1364/oe.19.002530
- [9]. Ahmed, S., Schiessl, A., Gumbmann, F., Tiebout, M., Methfessel, S., & Schmidt, L.-P. (2012). Advanced Microwave Imaging. *IEEE Microwave Magazine*, 13(6), 26–43. doi: 10.1109/mmm.2012.2205772
- [10]. Stanko, S., Notel, D., Wahlen, A., Huck, J., Kloppel, F., Sommer, R., ... Essen, H. (2008). Active and passive mm-wave imaging for concealed weapon detection and surveillance. *2008 33rd International Conference on Infrared, Millimeter and Terahertz Waves*. doi: 10.1109/icimw.2008.4665741
- [11]. Appleby, R., & Anderton, R. N. (2007). Millimeter-Wave and Submillimeter-Wave Imaging for Security and Surveillance. *Proceedings of the IEEE*, 95(8), 1683–1690. doi: 10.1109/jproc.2007.898832
- [12]. Appleby, R., & Wallace, H. B. (2007). Standoff Detection of Weapons and Contraband in the 100 GHz to 1 THz Region. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 55(11), 2944–2956. doi: 10.1109/tap.2007.908543
- [13]. Kapilevich, B., Litvak, B., Shulzinger, A., & Einat, M. (2013). Portable Passive Millimeter-Wave Sensor for Detecting Concealed Weapons and Explosives Hidden on a Human Body. *IEEE Sensors Journal*, 13(11), 4224–4228. doi: 10.1109/jsen.2013.2263279
- [14]. Zheng, C., Yao, X., Hu, A., & Miao, J. (2013). Initial Results Of A Passive Millimeter-Wave Imager Used For Concealed Weapon Detection Bhu-2D-U. *Progress In Electromagnetics Research C*, 43, 151–163. doi: 10.2528/pierc13062801
- [15]. Notel, D., Huck, J., Neubert, S., Wirtz, S., & Tessmann, A. (2007). A compact mmW imaging radiometer for concealed weapon detection. *2007 Joint 32nd International Conference on Infrared and Millimeter Waves and the 15th International Conference on Terahertz Electronics*. doi: 10.1109/icimw.2007.4516492
- [16]. Tiuri, M. (1964). Radio astronomy receivers. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 12(7), 930–938. doi: 10.1109/tap.1964.1138345

- [17]. Lettington, A. H., Yallop, M. R., & Tzimopoulou, S. (2001). *Passive Millimeter-Wave Imaging Technology V*. doi: 10.1117/12.438131
- [18]. Park, H., Kim, S.-H., Singh, M. K., Choi, J.-H., Lee, H.-J., & Kim, Y.-H. (2005). Performance analysis of wavelet based restoration for passive millimeter-wave images. *Passive Millimeter-Wave Imaging Technology VIII*. doi: 10.1117/12.602667
- [19]. Pang, H.-Y., Sundareshan, M. K., & Amphay, S. A. (1997). *Passive Millimeter-Wave Imaging Technology*. doi: 10.1117/12.277085
- [20]. Lettington, A. H., Yallop, M. R., & Dunn, D. (2002). Review of super-resolution techniques for passive millimeter-wave imaging. *Infrared and Passive Millimeter-Wave Imaging Systems: Design, Analysis, Modeling, and Testing*. doi: 10.1117/12.477467
- [21]. Otsu, N. (1979). A Threshold Selection Method from Gray-Level Histograms. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 9(1), 62–66. doi: 10.1109/tsmc.1979.4310076
- [22]. Brox, T., & Weickert, J. (2006). Level Set Segmentation With Multiple Regions. *IEEE Transactions on Image Processing*, 15(10), 3213–3218. doi: 10.1109/tip.2006.877481
- [23]. Shi, J., & Malik, J. (2000). Normalized cuts and image segmentation. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 22(8), 888–905. doi: 10.1109/34.868688
- [24]. Grady, L. (2006). Random Walks for Image Segmentation. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 28(11), 1768–1783. doi: 10.1109/tpami.2006.233
- [25]. Dubes, R., Jain, A., Nadabar, S., & Chen, C. (1990). MRF model-based algorithms for image segmentation. *Proceedings. 10th International Conference on Pattern Recognition*. doi: 10.1109/icpr.1990.118221
- [26]. Demirci, S., Ozdemir, C., Akdagli, A., & Yigit, E. (2008). Clutter reduction in synthetic aperture radar images with statistical modeling: An application to MSTAR data. *Microwave and Optical Technology Letters*, 50(6), 1514–1520. doi: 10.1002/mop.23413
- [27]. Kapur, J., Sahoo, P., & Wong, A. (1985). A new method for gray-level picture thresholding using the entropy of the histogram. *Computer Vision, Graphics, and Image Processing*, 29(1), 140. doi: 10.1016/s0734-189x(85)90156-2
- [28]. Maes, F., Collignon, A., Vandermeulen, D., Marchal, G., & Suetens, P. (1997). Multimodality image registration by maximization of mutual information. *IEEE Transactions on Medical Imaging*, 16(2), 187–198. doi: 10.1109/42.563664
- [29]. İşiker, H., Ozdemir, C., & Unal, I. (2015). Millimeter-wave band radiometric imaging experiments for the detection of concealed objects. *2015 IEEE Radar Conference*. doi: 10.1109/radarconf.2015.7411847
- [30]. İşiker, H., Ünal, I., Tekbaş, M., & Özdemir, C. (2018). An auto-classification procedure for concealed weapon detection in millimeter-wave radiometric imaging systems. *Microwave and Optical Technology Letters*, 60(3), 583–594. doi: 10.1002/mop.31005
- [31]. Huang, D.-Y., & Wang, C.-H. (2009). Optimal multi-level thresholding using a two-stage Otsu optimization approach. *Pattern Recognition Letters*, 30(3), 275–284. doi: 10.1016/j.patrec.2008.10.003
- [32]. İşiker, H., & Özdemir, C. (2019). A Multi-Thresholding Method Based on Otsu's Algorithm for the Detection of Concealed Threats in Passive Millimeter-Wave Images. *Frequenz*, 73(5-6), 179–187. doi: 10.1515/freq-2018-0255
- [33]. Wehner, D. R., Barnes, B., Flores, B. C., & Wehner, D. R. (1996). *High-resolution radar*. Norwood, MA: Artech House.
- [34]. Cumming, I. G., & Wong, F. H.-chee. (2005). *Digital processing of synthetic aperture radar data: algorithms and implementation*. Boston: Artech House.
- [35]. Özdemir C. (2005). Synthetic Aperture Radar, in *Encyclopedia of RF and Microwave Engineering*, K. Chang (Ed), New York: Wiley-Interscience, Feb. 2005, ISBN 0-471-27053-9.

- [36]. Bamler, R. (1992). A comparison of range-Doppler and wavenumber domain SAR focusing algorithms. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 30(4), 706–713. doi: 10.1109/36.158864
- [37]. Meta, A., Hoogeboom, P., & Ligthart, L. P. (2007). Signal Processing for FMCW SAR. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 45(11), 3519–3532. doi: 10.1109/tgrs.2007.906140
- [38]. Raney, R., Runge, H., Bamler, R., Cumming, I., & Wong, F. (1994). Precision SAR processing using chirp scaling. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 32(4), 786–799. doi: 10.1109/36.298008
- [39]. Amein, A., & Soraghan, J. (2005). A new chirp scaling algorithm based on the fractional Fourier transform. *IEEE Signal Processing Letters*, 12(10), 705–708. doi: 10.1109/lsp.2005.855547
- [40]. Yigit, E., Demirci, S., Ozdemir, C., & Kavak, A. (2007). A synthetic aperture radar-based focusing algorithm for B-scan ground penetrating radar imagery. *Microwave and Optical Technology Letters*, 49(10), 2534–2540. doi: 10.1002/mop.22724
- [41]. Yigit, E., Demirci, S., Ozdemir, C., & Tekbas, M. (2013). Short-range ground-based synthetic aperture radar imaging: performance comparison between frequency-wavenumber migration and back-projection algorithms. *Journal of Applied Remote Sensing*, 7(1), 073483. doi: 10.1117/1.jrs.7.073483
- [42]. Yegulalp, A. (1999). Fast backprojection algorithm for synthetic aperture radar. *Proceedings of the 1999 IEEE Radar Conference. Radar into the Next Millennium (Cat. No.99CH36249)*. doi: 10.1109/nrc.1999.767270
- [43]. Demirci, S., Cetinkaya, H., Yigit, E., Ozdemir, C., & Vertiy, A. A. (2012). A Study On Millimeter-Wave Imaging Of Concealed Objects: Application Using Back-Projection Algorithm. *Progress In Electromagnetics Research*, 128, 457–477. doi: 10.2528/pier12050210
- [44]. Özdemir C. (2012). *Inverse synthetic aperture radar imaging with Matlab algorithms*. Oxford: Wiley.
- [45]. Springer. (2016). *Stepped-frequency radar sensors: theory, analysis and design*. Cham, Switzerland.
- [46]. Thompson, T., & Laderman, A. (1976). SEASAT-A Synthetic Aperture Radar: Radar System Implementation. *Oceans 76*. doi: 10.1109/oceans.1976.1154214
- [47]. Neo, Y. L., Wong, F. H., & Cumming, I. G. (2008). Processing of Azimuth-Invariant Bistatic SAR Data Using the Range Doppler Algorithm. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 46(1), 14–21. doi: 10.1109/tgrs.2007.909090
- [48]. Luo, Y., Zhao, B., Han, X., Wang, R., Song, H., & Deng, Y. (2014). A Novel High-Order Range Model and Imaging Approach for High-Resolution LEO SAR. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 52(6), 3473–3485. doi: 10.1109/tgrs.2013.2273086
- [49]. Comblet, F., Pellen, F., Baussard, A., & Khenchaf, A. (2005). Bistatic SAR: theory and simulation. *2005 IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium*. doi: 10.1109/aps.2005.1551899
- [50]. Liu, Y., Deng, Y. K., Wang, R., & Loffeld, O. (2013). Bistatic FMCW SAR Signal Model and Imaging Approach. *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, 49(3), 2017–2028. doi: 10.1109/taes.2013.6558035
- [51]. Vertiy, A., Ozbek, S., Pavlyuchenko, A., Tekbas, M., Kizilhan, A., Cetinkaya, H., ... Panin, S. (2011). Passive radiometric imaging systems in millimeter wavelength range. *2011 IEEE International Symposium on Antennas and Propagation (APSURSI)*. doi: 10.1109/aps.2011.5996927

- [52]. Tekbaş, M. (2014). *Terahertz görüntüleme ve tanıma sistemleri*, Yüksek lisans tezi, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Bilecik.
- [53]. Daniels, D. J. (2010). *Em detection of concealed targets*. Hoboken, N.J: Wiley.
- [54]. Agurto, A., Li, Y., Tian, G. Y., Bowring, N., & Lockwood, S. (2007). A Review of Concealed Weapon Detection and Research in Perspective. *2007 IEEE International Conference on Networking, Sensing and Control*. doi: 10.1109/icnsc.2007.372819
- [55]. Zheng, C., Yao, X., Hu, A., & Miao, J. (2013). Initial Results Of A Passive Millimeter-Wave Imager Used For Concealed Weapon Detection Bhu-2D-U. *Progress In Electromagnetics Research C*, 43, 151–163. doi: 10.2528/pierc13062801
- [56]. Sheen, D., McMakin, D., & Hall, T. (2001). Three-dimensional millimeter-wave imaging for concealed weapon detection. *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, 49(9), 1581–1592. doi: 10.1109/22.942570
- [57]. Li, R., Li, C., Li, H., Wu, S., & Fang, G. (2019). Study of Automatic Detection of Concealed Targets in Passive Terahertz Images for Intelligent Security Screening. *IEEE Transactions on Terahertz Science and Technology*, 9(2), 165–176. doi: 10.1109/tthz.2018.2889407
- [58]. WMAP uydusunun toplamış olduğu dokuz yıllık radyometrik verisine 3 Şubat 2020 tarihinde <https://map.gsfc.nasa.gov/media/121238/index.html> adresinden erişildi.
- [59]. Balanis, C. A. (2016). *Antenna theory: analysis and design*. Chichester, West Sussex: Wiley Blackwell.
- [60]. Ausherman, D. A., Kozma, A., Walker, J. L., Jones, H. M., & Poggio, E. C. (1984). Developments in Radar Imaging. *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, AES-20(4), 363–400. doi: 10.1109/taes.1984.4502060
- [61]. Carrara, W. G., Goodman, R. S., & Majewski, R. M. (1995). *Spotlight synthetic aperture radar: signal processing algorithms*. Boston: Artech House.
- [62]. Hou, H.-P., Qu, C.-W., Sun, H.-B., & Song, R.-G. (2009). Research on FMCW SAR signal characteristic and improved azimuth matched filtering algorithm. *2009 2nd Asian-Pacific Conference on Synthetic Aperture Radar*. doi: 10.1109/apsar.2009.5374152
- [63]. Jia, G., Buchroithner, M., Chang, W., & Li, X. (2015). Simplified Real-Time Imaging Flow for High-Resolution FMCW SAR. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 12(5), 973–977. doi: 10.1109/lgrs.2014.2370733
- [64]. Lim, B.-G., Woo, J.-C., Lee, H.-Y., & Kim, Y.-S. (2008). A Modified Subpulse SAR Processing Procedure Based on the Range-Doppler Algorithm for Synthetic Wideband Waveforms. *Sensors*, 8(12), 8224–8236. doi: 10.3390/s8128224
- [65]. Mulgrew, B. (2014). The Stationary Phase Approximation, Time-Frequency Decomposition and Auditory Processing. *IEEE Transactions on Signal Processing*, 62(1), 56–68. doi: 10.1109/tsp.2013.2284479
- [66]. Gilreath, L., Jain, V., & Heydari, P. (2011). Design and Analysis of a W-Band SiGe Direct-Detection-Based Passive Imaging Receiver. *IEEE Journal of Solid-State Circuits*, 46(10), 2240–2252. doi: 10.1109/jssc.2011.2162792
- [67]. Sankur, B. (2004). Survey over image thresholding techniques and quantitative performance evaluation. *Journal of Electronic Imaging*, 13(1), 146. doi: 10.1117/1.1631315
- [68]. Pal, N. R., & Pal, S. K. (1993). A review on image segmentation techniques. *Pattern Recognition*, 26(9), 1277–1294. doi: 10.1016/0031-3203(93)90135-j
- [69]. López-Tapia, S., Molina, R., & Pérez De La Blanca, N. (2018). Using machine learning to detect and localize concealed objects in passive millimeter-wave images. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 67, 81–90. doi: 10.1016/j.engappai.2017.09.005
- [70]. Li, Y., Ye, W., Chen, J. F., Gong, M., Zhang, Y., & Li, F. (2018). A Visible and Passive Millimeter Wave Image Fusion Algorithm Based on Pulse-Coupled Neural Network in Tetrolet Domain for

- Early Risk Warning. *Mathematical Problems in Engineering*, 2018, 1–11. doi: 10.1155/2018/4205308
- [71]. Bisjerdi, M.-H., & Mosavi, M.-R. (2018). An Optimal Algorithm for Fusion of Passive Millimeter Wave and Visible Images Based on Non-subsampled Shearlet Transform and Improved Spiking Cortical Model. *Wireless Personal Communications*, 103(3), 2599–2620. doi: 10.1007/s11277-018-5950-8
- [72]. Zong, H., Bao, L., Liu, B., & Qiu, J. (2018). Application of Convolutional Neural Network in Target Detection of Millimeter Wave Imaging. *2018 IEEE International Symposium on Antennas and Propagation & USNC/URSI National Radio Science Meeting*. doi: 10.1109/apusncursinrsm.2018.8608485
- [73]. Ou, Z., Geng, H., Zheng, X., Ma, H., & Yu, Y. (2018). Segmentation of Concealed Objects in Active Terahertz Images. *2018 IEEE International Conference on Imaging Systems and Techniques (IST)*. doi: 10.1109/ist.2018.8577111
- [74]. Roy, P., Dutta, S., Dey, N., Dey, G., Chakraborty, S., & Ray, R. (2014). Adaptive thresholding: A comparative study. *2014 International Conference on Control, Instrumentation, Communication and Computational Technologies (ICCICCT)*. doi: 10.1109/iccicct.2014.6993140
- [75]. Chaki, J., Dey, N., Shi, F., & Sherratt, R. S. (2019). Pattern Mining Approaches Used in Sensor-Based Biometric Recognition: A Review. *IEEE Sensors Journal*, 19(10), 3569–3580. doi: 10.1109/jsen.2019.2894972
- [76]. Xiong, J., Li, S., Yang, J., Xue, X., Mao, J., & Mao, Z. (2016). A Novel Otsu Method Based on Prior Area Information for Concealed Target Detection in PMMW Images. *MATEC Web of Conferences*, 59, 08002. doi: 10.1051/mateconf/20165908002
- [77]. Liao, P., Chen, T., & Chung, P. (2001). A Fast Algorithm for Multilevel Thresholding, *J. Inf. Sci. Eng.*, 17, 713-727
- [78]. Sezgin, M. & Sankur, B. (2004). Survey over image thresholding techniques and quantitative performance evaluation. *Journal of Electronic Imaging*, 13(1), 146. doi: 10.1117/1.1631315
- [79]. Canny, J. (1986). A Computational Approach to Edge Detection. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, PAMI-8*(6), 679–698. doi: 10.1109/tpami.1986.4767851
- [80]. Cho, B.-L., Kong, Y.-K., Park, H.-G., & Kim, Y.-S. (2006). Automobile-Based SAR/InSAR System for Ground Experiments. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 3(3), 401–405. doi: 10.1109/lgrs.2006.873358
- [81]. Jung, D.-H., & Park, S.-O. (2018). Experimental Demonstration of Ku-band FMCW Automobile-based SAR in Stripmap Mode. *12th European Conference on Synthetic Aperture Radar (EUSAR 2018)*.
- [82]. Demirci, S., Yilmaz, B., Isiker, H., Gokkan, S., & Ozdemir, C. (2019). Characterization of natural and manmade targets from L-band ground-based polarimetric synthetic aperture radar data. *Journal of Applied Remote Sensing*, 13(04), 1. doi: 10.1117/1.jrs.13.044512
- [83]. Lort, M., Agasca, A., Lopez-Martinez, C., & Marin, T. M. (2018). Initial Evaluation of SAR Capabilities in UAV Multicopter Platforms. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 11(1), 127–140. doi: 10.1109/jstars.2017.2752418
- [84]. Li, C. J., & Ling, H. (2015). Synthetic aperture radar imaging using a small consumer drone. *2015 IEEE International Symposium on Antennas and Propagation & USNC/URSI National Radio Science Meeting*. doi: 10.1109/aps.2015.7304729
- [85]. Kerimov, N. B., & Maris, E. A. (2018). On the Uniform Convergence of Fourier Series Expansions for Sturm–Liouville Problems with a Spectral Parameter in the Boundary Conditions. *Results in Mathematics*, 73(3). doi: 10.1007/s00025-018-0864-z

[86]. Kerimov, N. B., & Maris, E. A. (2015). On the uniform convergence of the Fourier series for one spectral problem with a spectral parameter in a boundary condition. *Mathematical Methods in the Applied Sciences*, 39(9), 2298–2309. doi: 10.1002/mma.3640

[87]. [http://www.mathworks.com/products/matlab/\(03.02.2020\)](http://www.mathworks.com/products/matlab/(03.02.2020))



ÖZGEÇMİŞ

Adı ve Soyadı : Hakan İŞİKER

Doğum Tarihi : 24.12.1979

E-mail : hakan.isiker@mersin.edu.tr / hakanisiker@hotmail.com

Öğrenim Durumu :

Derece	Bölüm/Program	Üniversite	Yıl
Lisans	Elektronik Mühendisliği	Niğde Üniversitesi	1998-2002
Yüksek Lisans	Elektrik-Elektronik Mühendisliği	Mersin Üniversitesi	2003-2007
Doktora	Elektrik-Elektronik Mühendisliği	Mersin Üniversitesi	2012-2020

Görevler :

Görev Ünvanı	Görev Yeri	Yıl
AR-GE Müh.	Çukurova Silo İmalat ve Makine Sanayii, Adana	2002-2004
Otomasyon Müh.	Alper Elektronik, Mersin	2004-2004
Proje Müh.	Detay Bilişim Müh. Tel. Oto. Yaz. Dış ve Eğt Hiz., Mersin	2005-2007
AR-GE Müh.	My Silo Tahıl Depolama Sistemleri, Aksaray	2007-2010
Öğr. Gör.	Elektrik ve Enerji Bölümü, MYO Artvin Çoruh Üniversitesi, Artvin	2010-2011
Öğr. Gör.	Elektronik ve Otomasyon Bölümü, TBMYO Mersin Üniversitesi, Mersin	2011-sürüyor

ESERLER (Makaleler ve Bildiriler)

Makaleler:

- B.5)** **İşiker, H.**, Özdemir, C., “Adaptation of Stepped Frequency Continuous Waveform to Range-Doppler Algorithm for SAR Applications”, *isimli yayın gönderilmek üzere hazırlanmıştır*, (2020).
- B.4)** Demirci, Ş, Yılmaz, B., **İşiker, H.**, Gökkan, S., Özdemir, C., “Polarimetric ground-based synthetic aperture radar characterization of natural and manmade targets examined at L-band”, *Journal of Applied Remote Sensing*, 13(4), 044512, (2019). doi: 10.1117/1.JRS.13.044512
- B.3)** **İşiker, H.**, and Özdemir, C., “A Multi-Thresholding Method Based on Otsu’s Algorithm for the Detection of Concealed Threats in Passive Millimeter-Wave Images,” *Frequenz*, Vol. 73, issue 5-6, 179-187. (2019). Doi: 10.1515/freq-2018-0255
- B.2)** **İşiker, H.**, Ünal, İ., Tekbaş M, Özdemir, C., “An Auto-Classification Procedure for Concealed Weapon Detection in Millimeter-Wave Radiometric Imaging Systems”, *Microwave Opt. Tech. Letters*, 60(3), 583–594 (2018).
- B.1)** **H. İşiker** and H. Canbolat, “Concept for a novel grain level measurement method in silos,” *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 65, no. 2, pp. 258–267, (2009).

Uluslararası Bildiriler :

- C.15)** Özdemir, C., **İşiker, H.**, “Design and Prototype of a Slotted Waveguide Array Antenna for Marine Radar Applications”, *2nd Cilicia International Symposium on Engineering and Technology (CISSET 2019)*, pp. 581-584, Mersin, Turkey (10-12 Ekim 2019). (sözlü)
- C.14)** E. Yigit, A. Toktas, K. Sabanci, D. Ustun, and **H. Isiker**, “3D level measurement design by using multi static X-band radar,” *2018 Electric Electronics, Computer Science, Biomedical Engineerings Meeting (EBBT)*, 2018.
- C.13)** **İşiker, H.**, and Özdemir, C., “Evaluation Of Advantages And Disadvantages Of Active And Passive Millimeter Wave Imaging Techniques”, *1. International Mediterranean Symposium, Mersin, Turkey* (2018). (sözlü)
- C.12)** Demirci, Ş., Yılmaz, B., **İşiker, H.**, Gökkan, S., and Özdemir, C., “An Experimental Study of Foliage Penetrating Radar with Coherent Change Detection”, *Proceedings of Progress in Electromagn. Research Symposium (PIERS 2018)*, Toyoma, Japan (2018). (sözlü)
- C.11)** Demirci, Ş., Yılmaz, B., Gökkan, S., **İşiker, H.**, and Özdemir, C., “An Experimental Assessment of Polarimetric L-band Backscattering Using GB-SAR Data”, *Proceedings of Progress in Electromagn. Research Symposium (PIERS 2018)*, Toyoma, Japan (2018). (sözlü)
- C.10)** **İşiker, H.**, Demirci, Ş., Yılmaz, B., Gökkan, S., and Özdemir, C., “Detection of Small and Large Hidden Metallic Objects via Passive Millimeter Wave Imaging System with an Auto-segmentation Routine”, *Proceedings of Progress in Electromagn. Research Symposium (PIERS 2018)*, Toyoma, Japan (2018). (poster)
- C.9)** Yılmaz, B., **İşiker, H.**, Gökkan, S., and Özdemir, C., “A Practical and Precise Algorithm for Detecting and Locating Human Movement Behind Walls”, *2nd International Mediterranean Science and Engineering Congress (IMSEC 2017)*, October 25-27, 2017, Adana, Turkey, (2017). (sözlü)
- C.8)** Gökkan, S., Yılmaz, B., **İşiker, H.**, and Özdemir, C., “Imaging of Tree Trunk’s Interior Region Using Circular Back Projection Focusing Algorithm”, *2nd International Mediterranean Science and Engineering Congress (IMSEC 2017)*, October 25-27, 2017, Adana, Turkey, (2017). (sözlü)
- C.7)** **İşiker, H.**, Ünal, İ., Gökkan, S., Yılmaz, B. and Özdemir, C., “An Experimental Study on Imaging Human/Object Targets With the help of Passive Millimeter Wave Imaging System”, *2nd International Mediterranean Science and Engineering Congress (IMSEC 2017)*, October 25-27, 2017, Adana, Turkey, (2017). (sözlü)
- C.6)** E. Yigit and **H. Isiker**, “Tahıl siloları için yeni bir seviye ölçüm yöntemi”, *4th International Symposium On Development Of Kop Region*, Karaman - Turkey / October 21-23, 2016. (sözlü)
- C.5)** E. Yigit, M. Tekba, **H. Isiker**, H. Duysak, “Seviye Ölçüm Radarı için Üç Boyutlu Yazıcı Kullanarak Boynuz Tipi Anten Üretimi”, *4th International Symposium On Development Of Kop Region*, Karaman - Turkey / October 21-23, 2016. (sözlü)
- C.4)** E. Yigit, **H. Isiker**, A. Toktas, and S. Tjuatja, “CS-based radar measurement of silos level,” *2015 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)*, 2015.

- C.3)** **İşiker, H.**, Özdemir, C., Unal, İ. , “Millimeter-Wave Band Radiometric Imaging Experiments for the Detection of Concealed Objects”, *2015 IEEE Radar Conference, Johannesburg, South Africa, 27-30 October (2015)*. (sözlü)
- C.2)** M. M. Ozbilen, E. Yigit, **H. İşiker**, and M. Kaplanoglu, “Course of unborn babys heart by wireless baby tracking system,” *2013 8th International Conference on Electrical and Electronics Engineering (ELECO)*, 2013. (sözlü)
- C.1)** **H. İşiker**, and H. Canbolat, “A Novel Grain Level Measurement Method For Silos”, *Proc. of 5th International Conference on Electrical and Electronics Engineering*

ULUSAL BİLDİRİLER :

- D.1)** İşiker, H., Unal, İ., Tekbaş, M., **Özdemir, C.**, “Yakın Alanda Elektromanyetik Işıma Yapmadan İnsan/Nesne Tespiti: Pasif Milimetre Dalga Görüntüleme”, *Elektrik Alanlar ve Etkileri Sempozyumu (EMANET2015)*, 13-15 Kasım 2015, Mersin (sözlü)

PROJELER:

- E9)** **İşiker, H.** Özdemir, C. Bozay, A. Yeğin, K., “Portatif Aktif Radar Reflektör Prototipi Geliştirilmesi Projesi” , Tübitak Kobi Ar-Ge Başlangıç Destek Programı – AGY101-02, Proje Kodu:7170665, (01.08.2018-01.02.2020 18Ay). (Proje yürütücü ve Araştırmacı)
- E8)** Özdemir, C. **İşiker, H.**, “34.5 Ghz'de Çalışan Pasif Milimetre Dalga Radyometresi Tasarımı, Prototip İmalatı ve Pasif Radar Görüntülerinin Elde Edilmesi”, BAP, Proje No: 2017-1-TP3-2129, 21000 TL, 2018. (Araştırmacı)
- E7)** Özdemir, C. **İşiker, H.**, Yılmaz, B., “El Tipi Ultra Geniş Bant Engel/Duvar Arkası Radar Görüntüleme Sistemi Prototipi Geliştirilmesi Projesi” , Tübitak Kobi Ar-Ge Başlangıç Destek Programı – AGY101-02, Proje Kodu:, (01.09.2016-01.03.2018 18Ay). (Araştırmacı)
- E6)** **İşiker, H.**, “Terahertz Teknolojisinin Kazanımı Projesi”, TÜBİTAK MAM Malzeme Enstitüsünde Proje Kodu: 5085513 Numaralı, 2014. (Araştırmacı)
- E5)** Yiğit, E. **İşiker, H.** Kaplanoğlu, M., “Hastane Dışında Anne karnındaki bebeğin kalp atış seyrini ölçen ve kablosuz olarak ileten NST cihaz tasarımı”, Tübitak Kobi Ar-Ge Başlangıç Destek Programı – AGY101-02, Proje Kodu:7140240, (01.06.2014-30.11.2015 18Ay). (Araştırmacı)
- E4)** **İşiker, H.** Yiğit, E. Bozay, A., “Tahıl Silolarında Radar Yardımı ile Üç Boyutlu Seviye Ölçümü”, Tübitak Kobi Ar-Ge Başlangıç Destek Programı – AGY101-02, Proje Kodu:7140067, (01.05.2014-31.10.2015 18Ay). (Proje yürütücü ve Araştırmacı)
- E3)** Yiğit, E. **İşiker, H.** Kaplanoğlu, M., “Hastane Dışında Anne karnındaki bebeğin kalp atış seyrininin Kablosuz Harici Bebek Takip Sistemi ile ölçümü ve iletilmesi” Sanayi bakanlığı, Teknogirişim projesi- 0018.TGSD.2012, (2012-2013). (Araştırmacı)
- E2)** **İşiker, H.** Yiğit, E. Demirci, Ş., “Tahıl Silolarında Radar Yardımı ile Nem ölçümü” Sanayi bakanlığı, Teknogirişim projesi- 0738.TGSD.2012, Proje yürütücü ve Araştırmacı, (2012-2013). (Proje yürütücü ve Araştırmacı)
- E1)** **İşiker, H.** Yiğit, E. Canbolat, H., “Tahılların İç Neminin Ölçülmesini Sağlayacak Bir Cihazın Tasarlanması ve Türkiye’ye Özgü Bazı Buğdayların Öz Dielektrik

Katsayılarının Tesbit Edilmesi” MEÜ BAP, Proje No:BAP-MÜHFEEM(HC)2007-1
Mersin Üniversitesi.

DERS VERME

Ön Lisans:

Bilgisayarlı Kontrol
Bilgisayar Destekli Devre Tasarımı
Sayısal Haberleşme
Endüstriyel Ağlar
Fiber Optik Haberleşme
Gelişen Haberleşme Teknolojileri
Bilgisayar Donanımı
Algoritmalar

KURUM ÜYELİKLERİ

H1) Elektrik Mühendisleri Odası, Türk Mühendis ve Mimar Odaları Birli