

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ BİLİŞİM ENSTİTÜSÜ

**YAPAY AÇIKLIKLI RADAR GÖRÜNTÜLERİNDE HAREKETLİ HEDEF
TESPİTİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Murat Hakan YUSUFOĞLU

İletişim Sistemleri Anabilim Dalı

Uydu Haberleşmesi ve Uzaktan Algılama Programı

OCAK 2013

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ BİLİŞİM ENSTİTÜSÜ

**YAPAY AÇIKLIKLI RADAR GÖRÜNTÜLERİNDE HAREKETLİ HEDEF
TESPİTİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Murat Hakan YUSUFOĞLU
(705091020)**

İletişim Sistemleri Anabilim Dalı

Uydu Haberleşmesi ve Uzaktan Algılama Programı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Mesut KARTAL

OCAK 2013

İTÜ, Bilişim Enstitüsü'nün 705091020 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Murat Hakan YUSUFOĞLU**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**YAPAY AÇIKLIKLI RADAR GÖRÜNTÜLERİNDE HAREKETLİ HEDEF TESPİTİ**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Doç. Dr. Mesut KARTAL**

İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Doç. Dr. Mesut KARTAL**

İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Sedef KENT

İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Osman Nuri UÇAN

İstanbul Aydın Üniversitesi

Teslim Tarihi : **13 Aralık 2012**

Savunma Tarihi : **24 Ocak 2013**

ÖNSÖZ

Bu tez çalışmamda bana sabırla yardımcı olan, fikirleriyle yeni ufuklar açan ve sürekli ilerlememi sağlayan sevgili hocam Doç. Dr. Mesut Kartal'a en içten teşekkürlerimi sunarım.

Bu uzun ve yorucu süreçte bana yardımcı ve destek olan başta Tron Elektronik Sistemler San. ve Tic. A.Ş. Genel Müdürü Mehmet Tunç Çelebi olmak üzere bütün Ar-Ge bölümü arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Bu günlere gelmemi sağlayan, her zaman yanımda olan, beni destekleyen ve bana yol gösteren anneme, babama ve ablalarıma en derin teşekkürlerimi sunarım. İyi ki varsınız.

Ocak 2013

Murat Hakan Yusufoglu
(Elektronik Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	v
İÇİNDEKİLER	vii
KISALTMALAR	ix
TÜRKÇELEŞTİRİLMİŞ KELİMELER	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xv
ÖZET.....	xvii
SUMMARY	xix
1. GİRİŞ	1
2. RADAR SİSTEMLERİ	5
2.1 Radar Sistemleri	5
2.1.1 Gerçek açıklıklı radar sistemleri	7
2.1.2 Yapay açıklıklı radar sistemleri	9
2.2 YAR Görüntüleme Modları	13
2.2.1 Stripmap YAR modu	13
2.2.2 Spotlight YAR modu	14
2.3 YAR Çözünürlük İncelemesi	15
2.3.1 Menzil çözünürlüğü	16
2.3.2 Azimut çözünürlüğü.....	18
2.4 YAR İşaret İşleme Algoritmaları	20
2.4.1 Omega-K algoritması	20
2.4.2 SPECAN algoritması	22
2.4.3 Polar Format algoritması.....	23
2.4.4 Chirp Scaling algoritması.....	25
2.4.5 Range-Doppler algoritması	27
2.5 Ham Radar İşaret Verisi Modeli	30
3. HAREKETLİ HEDEFİN TESPİT EDİLMESİ	33
3.1 Hareketli Hedefin YAR Görüntüsündeki Etkisinin İncelenmesi	35
3.2 Hareketli Hedef Tespiti İçin Önerilen Yeni Yöntemler	37
3.2.1 Yöntem I	37
3.2.1.1 Kesme ortalaması algoritması	37
3.2.1.2 Alt açıklık algoritması.....	42
3.2.2 Yöntem II	44
3.2.2.1 Alt yama algoritması	44
4. ÖNERİLEN YENİ YÖNTEMLERİN TEST EDİLMESİ	47
4.1 Görüntüleme Sistem Modeli	47
4.2 Yöntem I İncelemesi	48
4.2.1 Azimut doğrultusundaki hareketin incelenmesi.....	49
4.2.2 Menzil doğrultusundaki hareketin incelenmesi	53
4.2.3 Yöntem I sonuçları	59
4.3 Yöntem II İncelemesi	61

4.3.1 Azimut doğrultusundaki hareketin incelenmesi.....	61
4.3.2 Menzil doğrultusundaki hareketin incelenmesi.....	66
4.3.3 Yöntem II sonuçları.....	67
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	71
KAYNAKLAR.....	75
EKLER.....	77
ÖZGEÇMİŞ.....	91

KISALTMALAR

ATI	: Along Track Interferometry
CSA	: Chirp Scaling Algorithm
CPI	: Coherent Processing Intervals
DBS	: Doppler Beam Sharpening
DPCA	: Displaced Phase Centre Antenna
ESTEC	: European Space Technology Center
FFT	: Fast Fourier Transform
FM	: Frequency Modulation
GMTI	: Ground Moving Target Indication
IFFT	: Inverse Fast Fourier Transform
MDA	: MacDonald Dettwiler
MTI	: Moving Target Indication
PCR	: Pulse Compression Ratio
PRF	: Pulse Repetition Frequency
Radar	: Radio Detection and Ranging
RF	: Radyo Frekansı
RCMC	: Range Cell Migration Correction
RDA	: Range-Doppler Algorithm
SAR	: Synthetic Aperture Radar
SBR	: Space Based Radar
SRC	: Secondary Range Compression
ScanSAR	: Scanning Synthetic Aperture Radar
SPECAN	: Spectral Analysis
SLAR	: Side Looking Airborne Radar
SRC	: Secondary Range Compression

TÜRKÇELEŞTİRİLMİŞ KELİMELER

Block Matching Algorithm	: Blok Eşleştirme Algoritması
Clutter	: Yığın
Coherent Processing Intervals	: Uyumlu İşleme Aralıkları
Deskew	: Çarpıklık Düzeltme
Doppler Beam Sharpening	: Doppler Demet Keskinleştirme
Fast-Time Processing	: Hızlı Zamanda İşleme
Matched Filter	: Uyumlaştırma Filtresi
Moving Target Indication Radar	: Hareketli Hedef Gösterme Radarı
Multi-look Processing	: Çok Bakışlı İşleme
Pulse Compression Ratio	: Darbe Sıkıştırması Oranı
Range	: Menzil
Range-Azimuth Coupling	: Menzil-Azimut Kuplajı
Range Cell Migration Correction	: Menzil Hücre Göçü Düzeltme
Range Migration Algorithm	: Menzil Göç Algoritması
Resolution Cells	: Çözünürlük Hücreleri
Scanning SAR	: Taramalı Yapay Açıklıklı Radar
Scatterer	: Saçınım
Secondary Range Compression	: İkincil Menzil Sıkıştırma
Sharpness	: Keskinlik
Shear Averaging Algorithm	: Kesme Ortalaması Algoritması
Side-Looking Airborne Radar	: Yan Seyirli Uçuş Radarı
Single-look Processing	: Tek Bakışlı İşleme
Skew	: Çarpıklık
Slow-Time Processing	: Yavaş Zamanda İşleme
Space Based Radar	: Uzay Tabanlı Radar
Squint	: Eğilim
Stitching	: Görüntüleri Birleştirme
Sub-Aperture Algorithm	: Alt Açıklık Algoritması
Sub-Patch Processing Algorithm	: Alt Yama İşleme Algoritması
Swath	: Tarama Bölgesi
Tomographic Back Projection	: Tomografik Geri İzdüşümü

ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 4.1 : YAR benzetim sistemi parametreleri	48
Çizelge 4.2 : Tespit edilen hareketli hedefin gerçek hızı ile kesme ortalaması algoritması sonucunda hesaplanan hızı arasındaki ilişki.....	53
Çizelge 4.3 : Menzil doğrultusunda hareket eden hedefin ve sabit hedeflerin azimut ve menzil doğrultularında yer değiştirme miktarları	58

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1: Radar sistemi görüntüleme geometrisi.....	7
Şekil 2.2: Yan seyirli uçuş radarı çalışma prensibi.....	8
Şekil 2.3: Gerçek açıklık ile yapay açıklık arasındaki ilişki.....	11
Şekil 2.4: Yapay açıklıklı radar sistemi.....	12
Şekil 2.5: Stripmap YAR modu çalışması.....	14
Şekil 2.6: Spotlight YAR modu çalışması.....	15
Şekil 2.7: Radarlarda menzil çözünürlüğü.....	18
Şekil 2.8: YAR sisteminde menzil (r_m) ve azimut (r_{az}) çözünürlükleri.....	19
Şekil 2.9: Omega-K görüntü işleme algoritması, (a) kesin (b) yaklaşık.....	22
Şekil 2.10: SPECAN YAR görüntü işleme algoritması.....	24
Şekil 2.11: Spotlight YAR veri kaydetme biçimleri (a) dikdörtgen, (b) kutupsal biçim.....	25
Şekil 2.12: Polar Format YAR görüntü işleme algoritması.....	26
Şekil 2.13: Chirp Scaling görüntü işleme algoritması.....	28
Şekil 2.14: RDA algoritmasının üç versiyonunu gösteren fonksiyonel blok diyagram.....	30
Şekil 3.1: Sadece menzil yönünde hareket eden hedefin YAR görüntüsündeki etkisi.....	36
Şekil 3.2: Sadece azimut yönünde hareket eden hedefin YAR görüntüsündeki etkisi.....	36
Şekil 3.3: Kesme ortalaması algoritmasıyla hareketli hedef tespiti.....	39
Şekil 3.4: Alt açıklık algoritmasının çalışması.....	43
Şekil 3.5: Alt yama algoritmasının çalışması.....	45
Şekil 4.1: Yöntem I'de incelenen gözlem alanı.....	49
Şekil 4.2: Sadece azimut doğrultusunda 3,9m/s hızla hareket eden hedefin YAR gözlem alanında oluşturduğu etki.....	50
Şekil 4.3: Azimut doğrultusunda 3,9m/s hızla hareket eden hedefin YAR gözlem alanında oluşturduğu bozulmanın kesme ortalaması algoritmasıyla düzeltilmesi sonucu elde edilen yeni görüntü.....	51
Şekil 4.4: Azimut doğrultusunda hareket eden hedefin hızının tespitinde kullanılan sistem modeli.....	52
Şekil 4.5: Sadece azimut doğrultusunda 15,6m/s hızla hareket eden hedefin YAR gözlem alanında oluşturduğu etki.....	54
Şekil 4.6: Sadece azimut doğrultusunda 0,39m/s hızla hareket eden hedefin YAR gözlem alanında oluşturduğu etki.....	54
Şekil 4.7: Sadece menzil doğrultusunda 3,9m/s hızla hareket eden hedefin YAR gözlem alanında oluşturduğu etki.....	55
Şekil 4.8: Alt açıklık yöntemiyle elde edilen birinci alt açıklık görüntüsü.....	56
Şekil 4.9: Alt açıklık yöntemiyle elde edilen ikinci alt açıklık görüntüsü.....	57
Şekil 4.10: Menzil doğrultusunda hareket eden hedefin azimut doğrultusunda yer değiştirme miktarının hedef hızına bağlı olarak değişimi.....	59

Şekil 4.11: Menzil doğrultusunda 15,6m/s hızla hareket eden hedefin YAR görüntüsünde oluşturduğu etki.....	60
Şekil 4.12: Menzil doğrultusunda 1,56 m/s hızla hareket eden hedefin YAR görüntüsünde oluşturduğu etki.....	61
Şekil 4.13: Yöntem II’de incelenen gözlem alanı.....	62
Şekil 4.14: Sadece azimut doğrultusunda 3,9m/s hızla hareket eden hedefin YAR gözlem alanında oluşturduğu etki.	62
Şekil 4.15: Sadece azimut doğrultusunda 3,9m/s hızla hareket eden hedefin alt yama algoritmasıyla oluşturulan dört farklı görüntüsü.....	64
Şekil 4.16: Alt yama görüntüleri içinde sabit hedeflerin birbirleri arasındaki mesafeler.	65
Şekil 4.17: Alt yama görüntüleri içinde hareketli hedefin sabit hedeflerle arasındaki mesafenin değişimi.....	65
Şekil 4.18: Sadece menzil doğrultusunda 3,9m/s hızla hareket eden hedefin YAR gözlem alanında oluşturduğu etki.	66
Şekil 4.19: Sadece menzil doğrultusunda 3,9m/s hızla hareket eden hedefin alt yama algoritmasıyla oluşturulan dört farklı görüntüsü.....	68
Şekil 4.20: Alt yama görüntüleri içinde sabit hedeflerin birbirleri arasındaki mesafeler.	69
Şekil 4.21: Alt yama görüntüleri içinde hareketli hedefin sabit hedeflerle arasındaki mesafenin değişimi.....	69

YAPAY AÇIKLIKLI RADAR GÖRÜNTÜLERİNDE HAREKETLİ HEDEF TESPİTİ

ÖZET

Günümüzde gerçekleştirilen birçok uygulamada yapay açıklıklı radar (YAR) sistemlerinden yararlanılmaktadır. Bu sistemlerin sağladığı yüksek çözünürlüklü görüntüler kullanılarak belirli bir yeryüzü bölgesini uzaktan görüntüleme, bölge içinde hareketli hedef izleme ve görüntü analizi gibi uygulamalar başarılı bir şekilde gerçekleştirilebilmektedir.

YAR sistemleriyle elde edilen görüntüler içindeki hareketli hedeflerin tespit edilmesi son zamanlarda üzerinde sıkça çalışılan bir konudur. Bu tez çalışmasında, elde edilen YAR görüntüleri içindeki hareketli hedeflerin tespit edilmesiyle ilgili iki yeni yöntem önerilmiştir.

Önerilen ilk yöntemde (Yöntem I) yapay açıklıklı radar görüntüleri içindeki hareketli hedeflerin tespiti ve hareket parametrelerinin çıkartılması için yeni bir algoritma geliştirilmiştir. Önerilen algoritma ile hem menzil hem de azimut yönünde hareket eden hedefler tespit edilebilmektedir. Buna ilave olarak tespit edilen hareketli hedefin hız ve hareket doğrultusu gibi hareket parametreleri yüksek doğrulukla hesaplanabilmektedir.

Bu yöntemde hedefin azimut yönündeki hareketi kesme ortalaması algoritmasıyla; menzil yönündeki hareketi ise alt açıklık algoritmasıyla tespit edilmektedir. Bu iki algoritmanın birbirinden bağımsız olarak çalışabilmesi hedef tespitinin menzil ve azimut için aynı anda paralel olarak yapılabilmesini sağlar. Ayrıca veriler bağımsız olarak işlenebildiği için elde edilen sonuçların doğruluğu ve kararlılığı yüksektir.

Önerilen ikinci yöntemde (Yöntem II) YAR görüntüsü içindeki hareketli hedeflerin tespiti için alt yama algoritması kullanılmaktadır. Alt yama algoritması literatürdeki mevcut uygulamalarda görüntü çözünürlüğünü arttırmak amacıyla kullanılmaktadır. Ancak bu tez çalışmasında alt yama yönteminin görüntü çözünürlüğünü arttırmanın yanında görüntü içindeki hareketli hedefleri tespit edebilmek için kullanılabileceği gösterilmiştir.

Bu yöntem ile hem menzil hem de azimut yönlerinde hareket eden hedefler başarılı bir şekilde tespit edilebilmektedir. Önerilen yöntemin bu çalışmada gösterilen uygulamasında ana görüntüden dört tane alt yama görüntüsü oluşturulmaktadır. Bu alt yama görüntüleri kullanılarak sistemde bulunan hareketli hedeflerin tespit edilme başarımları arttırılmaktadır. Yöntem I'de olduğu gibi görüntü içinde azimut ve menzil doğrultularında hareket eden hedefler birbirlerinden bağımsız olarak incelenebilirler. Kullanılan veriler bağımsız olarak işlenebildiği için elde edilen sonuçların doğruluk ve kararlılığı yüksektir.

Önerilen her iki yöntem bilgisayar benzetimlerinde çalıştırılarak test edilmiştir. Bu yöntemlerde, hedef alanı içine yerleştirilen hareketli hedefler başarıyla tespit edilebilmiştir. Bu yöntemler kullanılarak herhangi bir yönde hareket eden hedeflerin

yüksek doğrulukla tespit edilebildiği gösterilmiştir. Ayrıca her iki yöntemle hareketli hedefin görüntü içinde hareket ettiği doğrultu bulunabilmekteyken Yöntem I ile buna ilave olarak hareketli hedefin hızı da başarılı bir şekilde hesaplanabilmektedir.

MOVING TARGET DETECTION IN SYNTHETIC APERTURE RADAR IMAGES

SUMMARY

Synthetic aperture radar (SAR) systems are used widely in modern world applications. Any terrain image can be collected easily with the help of SAR imagery technology. These detailed images are useful for researching terrain properties and these images can be used for remote sensing, target tracking and image analysis applications.

The main application area of SAR systems is aimed for high detailed imaging of specific earth terrains. Applications of SAR systems include environmental research such as calculating the rate of change of urban / forest areas, scientific researches, civilian applications such as observing population distribution, mapping, and military purposes like surveillance, enemy detection and tracking.

One widely used application of SAR systems is detecting moving targets within the SAR images, and if it is possible, tracking the detected moving targets. Detection and motion parameter estimation of moving targets within the observed region is possible by using the SAR images. Information of detected moving objects can be used in very different applications, such as monitoring traffic flow, observation of military field, tracking of a specific moving target and motion parameter estimation of the moving targets.

There are numerous papers exist in the literature defining different algorithms for detection of moving targets in SAR images. Most of the algorithms are detecting moving targets by using displaced phase centre antenna technique, along track interferometry, single-channel radar processing, and different kinds of focusing algorithms.

The main success criteria for an algorithm used for moving target detection applications should be considered by the following three subjects: detecting the existence of the moving target, finding its motion direction and calculating its velocity correctly within a considerable error range.

For detecting moving targets many algorithms are evaluated based on the typical blurring and displacement effects caused by the moving target within the image. Moving targets are appeared defocused or at wrong positions depending on the direction of the target motion within the SAR image. If a target moves in azimuth direction, motion causes blurring effect in azimuth direction, and if it moves in range direction, in addition to blurring effect, motion also causes a displacement in azimuth direction. If the velocity of the target is greater than a threshold value, moving target is even disappears.

In this thesis, two new methods (called Method I and Method II) are proposed for detecting moving targets in a SAR image. These two new methods are based on the image defects described in the previous paragraph.

The first method (Method I) proposes a new algorithm for detecting moving targets in SAR images. This algorithm combines two existing algorithms for detecting moving targets, which are shear averaging algorithm and sub-aperture processing algorithm. These two different algorithms are well defined, and can be independently used for detecting moving targets. The shear averaging algorithm can successfully detect moving targets travelling in the azimuth direction. On the other hand, sub-aperture processing algorithm can be used for detecting targets moving in the range direction. By combining these two algorithms moving targets travelling in any direction can be successfully detected.

In the second proposed method (Method II), sub-patch algorithm is used to detect moving targets in SAR images. Sub-patch algorithm is a well known algorithm mainly used for image focusing applications for increasing the resolution of the low resolution images. In the existing SAR applications, sub-patch algorithm is used to enhance the resolution of a SAR image. But in this thesis, it is shown that sub-patch algorithm can be used to detect moving targets within the SAR images besides the enhancement of the SAR image resolution.

Method II is capable of detecting targets moving in both range and azimuth directions. In the algorithm, four different subpatch images are formed from one whole scene image. By forming four different subpatch images of the same scene, the information for moving target detection process is increased; therefore moving targets can easily be detected.

Both of the two proposed methods can be used in parallel processing applications. The moving target detection process can be run independently for azimuth and range directions. By using a modern parallel processor, the same input data can be used for analysing azimuth direction in one processor core and analysing range direction at the same time in the second processor core. After these two analyses completed, the results can be combined, and the target motion parameters can be successfully obtained. Moreover, detection performance and motion parameter estimation accuracy is high because of the non-sequential processing of range and azimuth direction motion detection.

The performances of the proposed algorithms are tested in computer simulation. The simulations of the proposed algorithms are completed by considering single channel SAR system and using spotlight mode raw data. A good clutter cancellation process is applied before starting the algorithm steps. After all moving targets have been detected; number of detected targets, their movement directions and their motion parameters are reported.

In the simulation scenarios, moving and stationary targets are put to the simulation scene data. The simulation scenes contain both stationary and moving targets. The motion parameters of the moving target are completely controllable and in the simulation scenarios, moving target is put into the simulation scene with different velocities. Therefore, the performances of the proposed algorithms are completely tested for different magnitude of target velocities and different moving direction of the target. The simulation results are provided in the simulation results section of the thesis.

By using Method I, target moving not only in azimuth direction, but also in range direction (in different words, target moving in any direction) was detected successfully. Target moving in azimuth direction can be detected and its motion direction in azimuth can be found successfully and its azimuth direction velocity can

be calculated within 10% error range. Target moving in range direction can be detected, its motion direction in range can be found successfully. But its velocity can't be calculated within a sufficient accuracy, therefore additional work needed to improve the range direction velocity estimation of the moving target.

In Method II, movement of the target in both azimuth and range directions can be detected successfully. In the application of this proposed method, four sub-patch images are generated from the main SAR image. The number of the sub-patch can be chosen according to the requirements of the application. In simulations used in this thesis analyzing these four images, performance of the detection process of the moving target is increased and satisfactory results could be obtained. As in the Method I, moving target detection calculations can be processed independently in azimuth and range directions and high accurate results are obtained.

By using Method II, target moving not only in azimuth direction, but also in range direction was detected successfully. Target moving in azimuth direction can be detected, its motion direction in azimuth can be found successfully. Also, target moving in range direction can be detected and its motion direction in range can be found successfully.

As a result, Method I and Method II can be used as quick and accurate algorithms to detect the presence of the moving targets within an observation scene. The algorithm results can be sent to more accurate algorithms for more detailed extraction of the parameters of detected moving targets.

1. GİRİŞ

Yapay açıklıklı radar (YAR) teknolojisi günümüz dünyasına birçok yenilik getirmiştir. Bugün çok çeşitli uygulama alanlarında YAR teknolojisinden faydalanılır. Örneğin şehir bölgelerinin, ormanlık alanların, göl ve akarsuların değişiminin izlenmesi gibi çevre araştırmalarında; belirli bitki türlerinin popülasyonunun incelenmesi gibi bilimsel araştırmalarda; askeri tatbikat ve operasyonlarda hedef bölgesinin takip edilmesinde YAR uygulamalarından sıklıkla yararlanılmaktadır.

Belirli yeryüzü bölgelerinin yüksek çözünürlüklü görüntülerinin elde edilmesi YAR teknolojisinin en yaygın kullanım alanıdır. YAR görüntüleme ile herhangi bir yeryüzü bölgesinin detaylı görüntülerini elde etmek mümkündür. Elde edilen bu detaylı görüntüler sayesinde incelenen yeryüzü bölgesinin analizleri yapılabilmekte ve bölgenin özellikleri daha iyi anlaşılmaktadır.

YAR teknolojisi kullanılarak elde edilen yeryüzü bölgelerinin görüntüleri kullanılarak, hedef bölge içinde hareketli nesnelerin bulunup bulunmadığı tespit edilebilir. Tespit edilen hareketli hedeflerin bilgileri farklı amaçlar için kullanılabilir. Örneğin trafik akışının incelenmesi [1], askeri bölgelerin incelenmesi, bölge içindeki belirli bir hedefin takip edilmesi ve hareketli hedeflerin hız, yön gibi hareket parametrelerinin tespit edilmesi gerçekleştirilebilir.

Yapay açıklıklı radar görüntüsü içindeki hareketli hedefler hareket ettikleri yöne bağlı olarak görüntü içinde bulanık olarak veya olması gerektiğinden farklı yerde görünürler [2 ve 3]. Görüntülerde oluşan bu karakteristik özellikler birçok farklı algoritmanın temelini oluşturmuştur.

Hareketli hedeflerin tespit edilmesi için literatürde farklı algoritmalar önerilmiştir [2 – 9]. Bu algoritmalarda hareketli hedefi tespit edebilmek için çeşitli yöntemler kullanılmıştır. Bunların tamamına yakınında görüntü içindeki hareketli hedefin sadece azimut doğrultusundaki veya sadece menzil doğrultusundaki hareketi tespit edilebilmektedir.

Yapay açıklıklı radar sistemlerinde hareketli hedeflerin tespiti işlemlerinde belirli kriterleri sağlayan hareketli hedeflerin görüntü içinde var olup olmadıkları, bu kriterleri sağlayan hareketli hedefler tespit edildiyse bu hedeflerin görüntü içinde hareket ettikleri doğrultular ve bu hedeflerin sahip oldukları hız bileşenleri gibi büyüklükler belirlenmesi beklenen büyüklükler olmaktadır.

Bu tez çalışmasında yapay açıklıklı radar görüntüleri içinde hareketli hedefleri tespit edebilmek için Yöntem I ve Yöntem II olarak adlandırılan iki yeni yöntem önerilmiştir. Bu yöntemlerle yukarıda açıklanan yöntemlerin belirlemesi beklenen büyüklüklerin tamamı veya bir kısmı tespit edilebilmektedir. Önerilen yöntemler kullanılarak hedefin herhangi bir yönde sahip olduğu hareket tespit edilebilmektedir. Bu tespit etme işlemi azimut ve menzil doğrultularında birbirinden bağımsız olarak gerçekleştirilebilmektedir. Bu sayede görüntü her iki doğrultu için ayrı olarak işlenebilmektedir. Günümüzde kullanılan işlemcilerin paralel işlem yapabilme yetenekleri sayesinde bu iki hareket doğrultusu paralel olarak aynı anda incelenerek daha hızlı sonuç alınması mümkün hale gelmiştir.

Yöntemlerde her iki hareket doğrultusunun birbirinden bağımsız olarak işlenebilmesi için görüntü verisi kullanılmaktadır. Görüntü verisi üzerinde tek bir işlemde tek bir doğrultu incelendiği için yapılan bu işlemin diğer doğrultunun incelenmesi üzerinde herhangi bir bozucu etkisi olmamaktadır. Bu sebeple önerilen yöntemlerin çalıştırılmasıyla elde edilen sonuçların doğruluğu ve kararlılığı yüksektir.

Önerilen birinci yöntemde (Yöntem I) görüntü içindeki menzil doğrultusundaki hareketli hedef tespiti alt açıklık işleme ile yapılmaktadır. Azimut yönündeki hareketli hedef tespiti ise kesme ortalaması algoritmasıyla gerçekleştirilmektedir. Bu iki algoritma birbirinden bağımsız olarak çalışabildikleri için menzil ve azimut yönündeki hedef tespitleri ayrı olarak yapılabilir. Yöntem I kullanılarak; hareketli hedefin tespit edilmesi, tespit edilen hareketli hedefin hareket doğrultusunun belirlenmesi ve hedef hızının yüksek doğrulukla hesaplanması önerilen yöntemin üstün yönleridir.

Önerilen ikinci yöntemde (Yöntem II) yapay açıklıklı radar görüntüleri içindeki hareketli hedeflerin tespit edilmesi için alt yama yöntemi kullanılmaktadır. Bu yöntemin mevcut uygulamalardaki kullanım amacı görüntüye odaklanılarak görüntü çözünürlüğünün artırılmasıdır. Ancak bu tez çalışmasında alt yama yöntemi

kullanılarak görüntü çözünürlüğünün artırılması yanında görüntü içindeki hareketli hedeflerin tespit edilebileceği de gösterilmiştir.

Alt yama yönteminde incelenen görüntü daha küçük parçalara bölünür ve yeni parça merkezli odaklanmış görüntüler oluşturulur. Önerilen yeni yöntemde, alt yama yönteminde kullanılan bu yapıdan faydalanılarak hareketli hedeflerin hem menzil, hem de azimut doğrultusundaki hareketleri tespit edilebilmektedir. Uygulamada görüntü dört adet alt yama görüntüsüne bölünerek hareketli hedeflerin yüksek başarımla tespit edilmesi sağlanmıştır.

Tez çalışmasının ikinci bölümünde radar sistemleri incelenmiş, gerçek ve yapay açıklıklı radar kavramları açıklanmıştır. Ardından yapay açıklıklı radarlarda kullanılan görüntüleme modları, çözünürlük incelemeleri ve görüntü oluşturmak için kullanılan işaret işleme algoritmaları incelenmiştir. İkinci bölüm uygulamalarda kullanılan ham radar verisi modelinin tanımlanmasıyla bitirilmiştir.

Üçüncü bölümde hareketli hedeflerin yapay açıklıklı radar görüntüsü üzerinde oluşturdukları etkiler incelenmiştir. Bu etkilerden faydalanılarak oluşturulan Yöntem I ve Yöntem II yöntemleri tartışılmıştır. Önerilen bu yeni yöntemlerin özellikleri, matematiksel ifadeleri ve yöntemlerin kullanım adımları bu bölümde açıklanmıştır.

Dördüncü bölümde ise önerilen bu yeni yöntemler benzetim sisteminde test edilmiştir. Bunun için öncelikle görüntüleme sistemi modeli oluşturulup ardından önce azimut doğrultusunda hareket eden hedeflerin incelenmesi ve sonra menzil doğrultusunda hareket eden hedeflerin incelenmesi işlemleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar ayrı bir kısım içinde tartışılmıştır. Yapılan bu işlemler her iki yöntem için ayrı ayrı tekrarlanmıştır.

Son bölümde ise elde edilen sonuçlar tartışılmıştır ve bu tezi ilerletebilecek olası çalışma konuları önerilmiştir.

2. RADAR SİSTEMLERİ

2.1 Radar Sistemleri

Radar sistemlerinin teknolojik temelleri 1887 yılında Alman fizikçi Heinrich Hertz tarafından elektromanyetik dalgaların keşfedilmesine dayanır. 1900'lerin başında Amerika'da Tesla, Almanya'da ise Hülsmeyer radyo dalgaları kullanarak hedef tespiti konusunda çalışmışlardır.

Radar kelimesi RAdio Detection And Ranging (radyo algılama ve menzil tayini) kelimelerinin baş harflerinden oluşmaktadır. Özellikle radyo frekansındaki elektromanyetik dalgaların iletilmesi ve yansıyan işaretlerin toplanarak değerlendirilmesi radar sisteminin çalışma prensibini oluşturur. İlk defa 1934 yılında Fransız bilim insanı Pierre David radar kullanarak başarılı bir şekilde bir hava aracının varlığını tespit edebilmiştir [10].

Radar sistemlerindeki ilerlemeler özellikle İkinci Dünya Savaşı sırasında askeri amaçlı uygulamalar gerçekleştirilirken yaşanmıştır. Bu sistemlerin öncelikli kullanım amacı her türlü hava şartlarında ve günün her saatinde hava araçlarını ve gemileri izleyebilmektir. Radar sistemleri günümüzde radyo frekansı (RF), anten ve sayısal işleme teknolojilerinin gelişmesiyle sürekli ilerlemektedir.

Radar teknolojisindeki önemli kilometre taşları şöyle sıralanabilir [10]:

- 1960'ların başında geliştirilen darbe sıkıştırma tekniği
- 60'ların sonunda geliştirilen darbe Doppler radarı
- 70'lerdeki sayısal radarlar
- 70'lerin sonunda geliştirilen orta PRF radarlar
- 80'lerin ortalarında geliştirilen çoklu modda programlanabilir radarlar
- 90'larda geliştirilen elektronik tarama antenine sahip hava radarları

Gezegimizin ilk radar görüntüsü 1978 yılında Amerikan SEASAT uydusunda bulunan L-bandını (dalga boyu $\lambda = 30$ cm) kullanan yapay açıklıklı radar sistemiyle elde edilmiştir [10]. Bu radarda alınan verileri işlemek için ilk defa bir dijital YAR

işlemcisi kullanılmıştır. Bu işlemciyle 40 km x 40 km'lik bir yeryüzü alanının 25 metre çözünürlüklü görüntüsünün elde edilmesi yaklaşık 40 saat sürmüştür [11]. Radar uygulamaları günümüzde kara, hava ve deniz taşıtlarının tespiti ve menzil tayini, hava trafik kontrolü, yönlendirme, izleme, çarpışma önleme, hız ölçümü, uzaktan algılama, meteorolojik uygulamalar, görüntüleme, gezegen araştırmaları gibi çeşitli alanlarda yaygın biçimde kullanılmaktadır.

Radar sistemlerinin temel bileşeni radar sensörleridir. Radarlar sahip oldukları sensörlerin çalışma modlarına göre aktif ve pasif radarlar olmak üzere iki grupta toplanırlar. Aktif sensörlü radarların üzerinde kendi işaret kaynakları vardır. Bu tip radarlarda bir verici ve bir alıcı sistemi bulunur. Bunlara örnek olarak radar görüntüleme sistemleri, saçınım ölçerler ve altimetreler verilebilir. Pasif sensörlü radarlarda ise verici bulunmaz, sadece alıcı bulunur. Bu radarlar görüntüledikleri alandan yansıyan elektromanyetik dalgaları toplarlar. Bu radarlara örnek olarak mikrodalga radyometreler verilebilir [12].

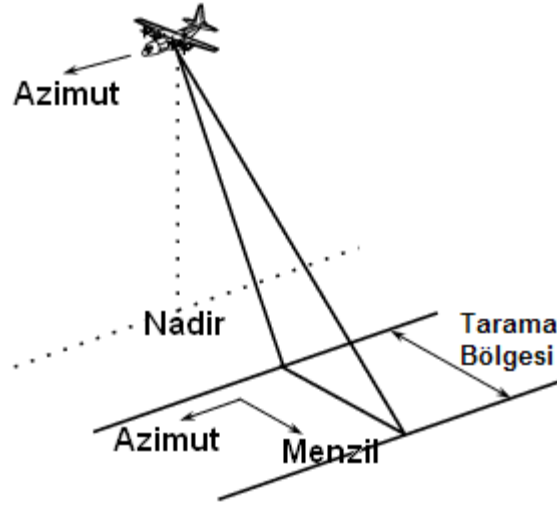
Radarların temel çalışma prensibi darbe göndermek ve yansıyan darbeleri almaktır. Genellikle milisaniye mertebelerindeki çok kısa süreli darbeler oluşturularak hedefe gönderilir ve hedeften yansıyan işaretler kaydedilir. Kaydedilen bu işaretler işlenerek genlik, faz, darbeler arasındaki gecikme, polarizasyon, Doppler frekansı gibi bilgiler elde edilir.

Radar sistemlerinde platformun hareket doğrultusuna paralel olan yön azimut, platformun hareket doğrultusuna dik yön menzil, platformun tam altından yeryüzüne dik olan doğrultu nadir olarak tanımlanmıştır. Ayrıca, radardan yeryüzüne gönderilen işaretlerin menzil doğrultusundaki aydınlattığı bölgeye tarama bölgesi adı verilir. Bu tanımlar Şekil 2.1'de gösterilmektedir [13].

Görüntüleme alanında kullanılan radar sistemleri gerçek açıklıklı radarlar ve yapay açıklıklı radarlar olmak üzere iki ana başlık altında incelenebilir.

Gerçek açıklıklı radarlar genellikle yan seyirli uçuş radarı (side-looking airborne radar – SLAR) olarak adlandırılır. Hem gerçek hem de yapay açıklıklı radarlar genellikle uçuş hattına dik yönde aydınlanmaya sahip yan seyirli sistemlerdir. Bu iki radar sistemi arasındaki temel fark azimut yönündeki çözünürlükten kaynaklanır. Gerçek açıklıklı radarların azimut çözünürlüğü anten demet genişliği ile belirlenir. Dolayısıyla çözünürlük radarla hedef arasındaki mesafeyle orantılıdır. Yapay

açıklıklı radarlarda ise işaret işleme yapılarak antenin gerçek boyutundan yüzlerce hatta binlerce defa daha büyük bir anten açıklığı sentezlenir. Bu sistemlerde azimut çözünürlüğü antenle hedef arasındaki mesafeden bağımsızdır. Nominal azimut çözünürlüğü ise anten boyutunun yarısıdır.



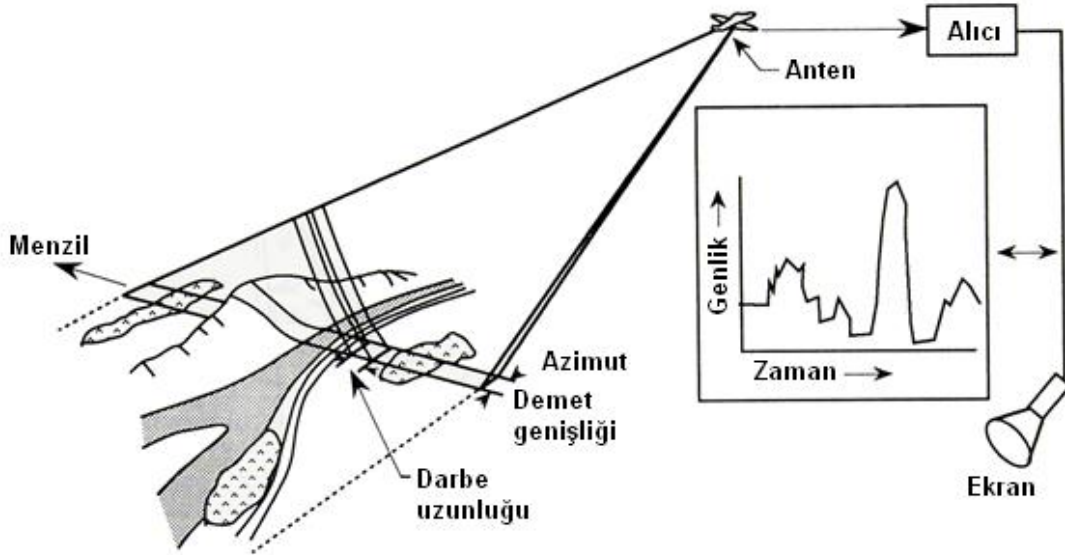
Şekil 2.1 : Radar sistemi görüntüleme geometrisi.

2.1.1 Gerçek açıklıklı radar sistemleri

SLAR radarlarında dar bir enerji demeti, taşıyıcı platformun uçuş yönüne dik olacak biçimde yönlendirilir. Bu enerji demeti radar anteninden hedefe doğru gönderilir ve hedeften alınan yansımalar kullanılarak hedef alanının görüntüsü elde edilir. Genellikle yansıyan darbeler işaretin hedeflerden dönüş zamanına göre sıralanır. Bu işlem menzil yönü taramaya karşılık gelmektedir. Geniş menzillerden yansıyan işaretler antene daha geç sürede ulaşarak görüntünün menzil yönünü oluşturur. Bir sonraki darbe gönderildiğinde radar bir miktar ilerler ve dolayısıyla görüntülenen hedef alanı da bir miktar ötelenir. Bu şekilde radar anteninin hareketi boyunca alınan bu ardışık görüntüler yan yana birleştirilerek azimut yönü elde edilir. Bu ifadeler Şekil 2.2’de gösterilmektedir [14].

Menzil yönündeki çözünürlük darbe genişliğine bağlıdır. Ancak, çözünürlüğü arttırmak için darbe genişliği küçültülürse iletilen işaretin gücü azalacağından dolayı yansıyan işaretteki işaret/gürültü oranı da azalacaktır. Bu sebeple iletilen işaret uyumlaştırma filtresi vasıtasıyla alınan daha güçlü fakat daha geniş bantlı bir işaretle modüle edilerek işaret darbe genişliği çok dar ve yüksek güçlü olarak elde edilir. Bu işleme darbe sıkıştırma adı verilir [14]. Darbe sıkıştırma işlemiyle iletim frekansında

Δf büyüklüğü kadar bir artış yapıldığında genlik $\sqrt{T \Delta f}$ kadar artar ve darbe genişliği $1 / T \Delta f$ kadar daralır. Burada “T” ile darbe süresi gösterilmektedir. Darbe sıkıştırma işleminin menzil çözünürlüğü üzerindeki etkisi “2.3.1 Menzil çözünürlüğü” kısmında detaylı olarak incelenmektedir.



Şekil 2.2 : Yan seyirli uçuş radarı çalışma prensibi.

Gerçek açıklıklı radar sistemlerindeki azimut yönündeki çözünürlük, demet genişliği ile hedefe olan uzaklık değerlerinin çarpımına eşittir:

$$\Delta L = \beta R = \frac{\lambda R}{D} \quad (2.1)$$

ΔL : Azimut çözünürlüğü

β : Demet genişliği

R: Antenle hedef arasındaki mesafe

λ : Dalga boyu

D: Anten açıklığı

Dalga boyu kısaltılarak ve anten boyutu büyütülerek yüksek azimut çözünürlüğü elde edilebilir. Ancak anten boyutu belirli fiziksel büyüklüklere kadar artırılabilir. Örneğin L bandında dalga boyu $\lambda = 25$ cm kullanıldığında 100 km uzaklıktan 25 metre çözünürlük elde etmek için 1 km çaplı bir anten kullanmak gerekmektedir. Dolayısıyla böyle bir sistemin teknik olarak uygulanması imkânsızdır.

2.1.2 Yapay açıklıklı radar sistemleri

Yapay açıklıklı radar (YAR) teknolojisi günümüzde detaylı yeryüzü görüntüleri elde etmekten, şehircilik faaliyetlerinin takibine kadar değişik uygulamalarda kullanılmaktadır ve bu teknolojiyi kullanan onlarca uygulama hayatımızı kolaylaştırmaktadır.

Günümüzde görüntüleme amaçlı kullanılan radarların tamamına yakını yapay açıklıklı radar sistemleridir. Bu radarlar gerçek açıklıklı radarların sahip olduğu sınırlandırmaları ortadan kaldırmak için geliştirilmişlerdir. Bu sistemlerde yüksek azimut çözünürlüğü sağlamak için küçük boyutlu antenler ve göreceli uzun dalga boyları kullanılır.

YAR sistemleri özellikle yeryüzünün belirli bölgelerinin yüksek çözünürlüklü ve detaylı görüntülerinin oluşturulması için kullanılır. Bu görüntüler incelenerek yeryüzü bölgesi hakkında birçok bilgi elde edilebilir.

Günümüzde YAR görüntülerinin kullanıldığı belli başlı uygulamalar şunlardır:

- Belirli bir bölgedeki tarım ve orman alanlarının yıllara göre değişimi, kentsel değişimler, bitki topluluklarının yoğunluk değişiminin incelenmesi gibi çevre incelemeleri,
- Kar, buz, kirlilik gibi çevresel durumları izleme,
- Akarsu, göl, baraj, maden gibi yeryüzü kaynaklarının haritalandırılması,
- Gemi trafiği izleme,
- Keşif, istihbarat, algılama, hareketlilik izleme gibi askeri uygulamalar.

Yapay açıklıklı radar kavramı ilk defa 1951 yılında Goodyear Aircraft firmasından Carl Wiley tarafından tanımlanmıştır. Günümüzde yapay açıklıklı radar olarak adlandırılan kavram, Wiley tarafından Doppler demet keskinleştirme (Doppler Beam Sharpening - DBS) olarak adlandırılmıştır. Bu ifadeyi kullanma sebebini Wiley şu cümlelerle açıklamıştır [15]: “Yapay açıklıklı radar yerine, Doppler demet keskinleştirme olarak adlandırdığım temel fikri anlama şansına sahiptim. Bütün işaret işleme konularında olduğu gibi, burada da ikili teori mevcuttur. Birincisi frekans domeninde ifade edilmektedir ve Doppler demet keskinleştirme olarak

adlandırılır. İkincisi ise sistemi zaman domeninde analiz eder ve yapay açıklıklı radar olarak adlandırılır. Ekipman aynıdır, sadece açıklama biçimi değişiktir.”

1952 yılında Illinois Üniversitesi’nde YAR kavramını gösteren deneyler yapılmıştır. 1953 yılındaki bir yaz okulu sırasında Project Michigan olarak bilinen bir program düzenlenerek dönemin önde gelen araştırmacıları YAR konusundaki fikirleri tartışmıştır. Bunun sonucunda Michigan grubu tarafından başarılı bir YAR programı oluşturulmuştur [15].

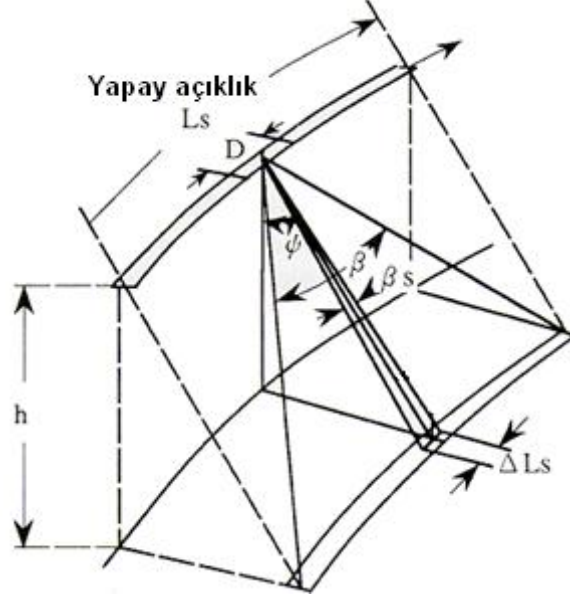
Hava veya uzay platformlarından yapılan yeryüzü görüntüleme işlemlerindeki temel amaç yeryüzünün yüksek çözünürlükte görüntüsünün elde edilmesidir. Bu amaçla elde edilen görüntülerin kalitesini değerlendirebilmek için menzil ve azimut çözünürlüğü tanımları oluşturulmuştur. Menzil çözünürlüğü radardan hedef alanına bakış doğrultusundaki çözünürlük olarak tanımlanır. Azimut çözünürlüğü ise bakış doğrultusuna dik ve yeryüzüne paralel yöndeki çözünürlük olarak tanımlanır (çapraz menzil çözünürlüğü olarak da ifade edilmektedir). Başka bir ifadeyle, azimut çözünürlüğü menzil sabit tutularak azimut bakış doğrultusunda değiştirilerek elde edilir.

Yapay açıklıklı radarlarda azimut çözünürlüğü, anten boyutu veya anten açıklığı yapay olarak sentezlenerek arttırılır. Hareketli bir platform üzerindeki radardan gönderilerek hedefe çarpan ve hedeften tekrar radara gelen işaret yansımalarına çeşitli işaret işleme algoritmaları uygulanarak yapay bir açıklık oluşturulur. Bu yapay açıklık gerçek açıklığa benzemekle birlikte bazı farklılıklara sahiptir. Gerçek açıklıklı radar ile yapay açıklıklı radar arasındaki ilişki Şekil 2.3’de gösterilmektedir [14].

Azimut yönündeki çözünürlük gerçek açıklıklı radarda elde edilenin yarısı kadardır. Bu sebeple küçük boyutlu bir antenle YAR sisteminde eğilim menziline veya uydunun aşırı yüksek irtifada olmasından bağımsız olarak yüksek azimut çözünürlüğü elde edilir.

Örneğin eğer $\lambda = 3$ cm ve $D = 2$ m ise, (2.2) denkleminde $\beta = 0,015$ radyan olur. $R = 100$ km menzilde azimut çözünürlüğü (2.3) denkleminde yaklaşık 1,5 km olacaktır. Bu çözünürlükte binalar gibi büyük nesnelere bile ayırt etmek çok zordur. Aynı dalga boyu ve menzil değerleri kullanılan YAR görüntüsüyle elde edilebilecek azimut çözünürlüğü incelendiğinde, 5 km yapay açıklık uzunluğunda (2.4)

denkleminde 0,000003 metrelik bir yapay demet genişliği ve hesaplanan bu sonuç (2.5) denkleminde kullanılarak 0,3 metrelik azimut çözünürlüğü elde edilmektedir. Bu örnekten açıkça görüldüğü üzere yapay açıklıklı radar sistemiyle gerçek açıklıklı radar sistemine göre çok daha yüksek çözünürlükte görüntüler elde edilebilmektedir.



Şekil 2.3 : Gerçek açıklık ile yapay açıklık arasındaki ilişki.

- Ls: Yapay açıklık uzunluğu
D: Gerçek anten açıklığı
Φ: Nadir açısı
β: Gerçek demet genişliği
βs: Yapay demet genişliği
ΔLs: Yapay açıklık için azimut çözünürlüğü
h: Platform yüksekliği

Gerçek demet genişliği:

$$\beta = \frac{\lambda}{D} \quad (2.2)$$

Gerçek azimut çözünürlüğü:

$$\Delta L = \beta R = Ls \quad (2.3)$$

Yapay demet genişliği:

$$\beta_s = \frac{\lambda}{2 Ls} = \frac{D}{2 R} \quad (2.4)$$

Yapay azimut çözünürlüğü:

$$\Delta L_s = \beta_s R = \frac{D}{2} \quad (2.5)$$

β : Gerçek demet genişliği

λ : Dalga boyu

D: Gerçek anten açıklığı

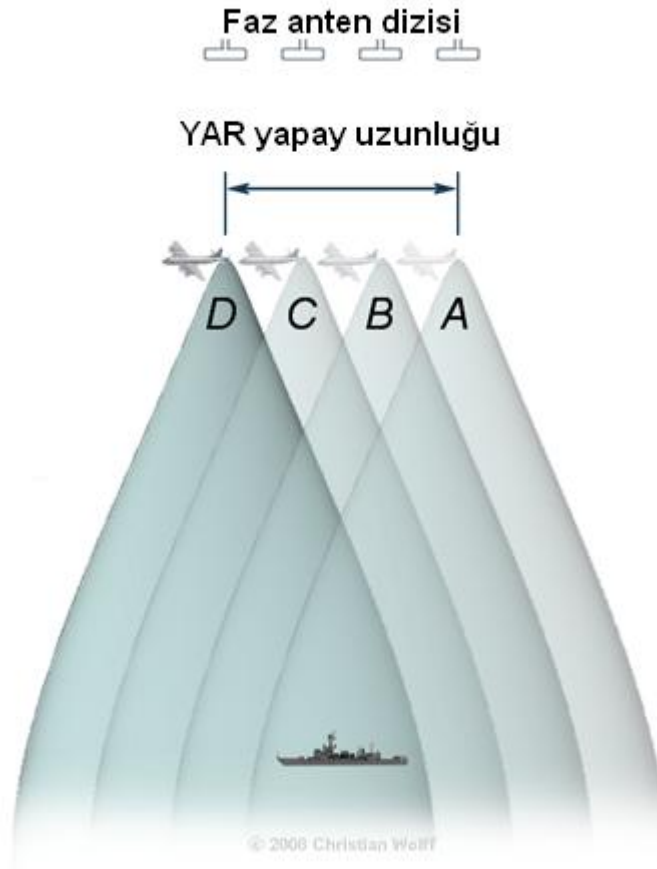
ΔL : Gerçek çözünürlük

R: Eğilim menzili

L_s : Yapay açıklık uzunluğu

β_s : Yapay demet genişliği

ΔL_s : Yapay çözünürlük



Şekil 2.4 : Yapay açıklıklı radar sistemi.

YAR sisteminin temel çalışma prensibini açıklamak için Şekil 2.4 incelenebilir [16]. Şekilde görüldüğü üzere yapay açıklıklı radar anteni bir hava veya uydu platformuna yerleştirilmiştir. Platform belirli bir yönde ve bilinen bir hız ve yükseklikte hareket etmektedir. YAR anteninden yeryüzüne darbe tekrarlama zamanı (pulse repetition time – PRT) olarak adlandırılan belirli zaman aralıklarında darbeler iletilir. Yansıyan

işaretler anten tarafından toplanarak o andaki yükseklik, doğrultu, hız, açı gibi anten parametreleriyle eşleştirilebilecek şekilde kaydedilir.

Ardından platform bir sonraki pozisyonuna gelir ve aynı işlem tekrarlanır. Tekrarlanan bu işlemler görüntülenmek istenilen alanın tamamı görüntülenene kadar devam eder. Her bir anten konumunda kaydedilen bu işaretler özel olarak geliştirilmiş algoritmalarla birleştirilerek nihai yeryüzü görüntüsü oluşturulur.

2.2 YAR Görüntüleme Modları

YAR sisteminden bahsedildiğinde genellikle odaklanmış YAR sistemi anlaşılmaktadır. Bu sistemlerde, faz bilgisi en uygun değerde işlenerek teorik limite yakın çözünürlük değerleri elde edilebilir. Günümüzde en iyi çözünürlük değerleri odaklanmış YAR modları kullanılarak elde edilmektedir.

Odaklanmış YAR sistemlerinde, alınan her yankı darbesi için faz düzeltme işlemi yapılır. Bu işlemler sayesinde (2.5) denkleminde belirtilen teorik azimut çözünürlüğüne yaklaşılr. YAR sistemlerinde farklı özelliklerde çeşitli görüntüleme modları kullanılmaktadır. Bu modların en bilinenleri stripmap YAR, spotlight YAR, Scan YAR (ScanSAR), Ters YAR (Inverse SAR, ISAR), Bistatic YAR ve İnterferometrik YAR (Interferometric, InSAR) modlarıdır. Bu modlarla elde edilen alan görüntüleri farklı özelliklere sahiptir. Bu tez çalışmasında bu modlardan en çok kullanılan iki tanesi incelenecektir.

2.2.1 Stripmap YAR modu

Bu YAR modunda anten açısı ve doğrultusu platform hareketi boyunca sabittir. Anten demeti yeryüzünü yaklaşık olarak aynı oranda tarayarak sürekli bir görüntü elde edilir. Bu modda platformun uçuş doğrultusuna paralel olarak yeryüzünün şerit halindeki görüntüsü elde edilir ve bu şeridin uzunluğu sadece platformun hareket ettiği mesafeye bağlıdır. Azimut çözünürlüğü anten uzunluğuyla kontrol edilir. Bu mod geniş alanları göreceli düşük çözünürlükte görüntülemek için uygundur.

Stripmap YAR modunda yapay açıklık açısı $\Delta\theta$ gerçek açıklık demet genişliğine aslında eşittir. Bu eşitlik (2.6) denklemi ile gösterilebilir.

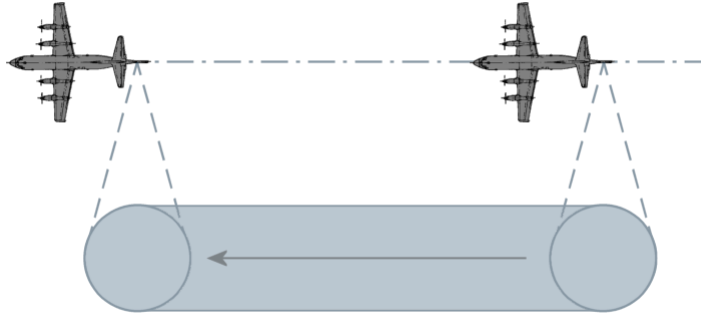
$$\Delta\theta \approx \beta \approx \frac{\lambda}{D} \quad (2.6)$$

$\Delta\theta$: Yapay açıklık açısı

Dolayısıyla (2.2) – (2.6) ifadelerinden (2.7) denklemine ulaşılır:

$$\Delta L_s = \frac{\lambda}{2 \Delta\theta} = \frac{D}{2} \quad (2.7)$$

İdeal koşullar altında $D \gg \lambda$ ve işaret gürültü oranı $\gg 1$ iken, menzilden bağımsız olarak gerçek anten boyutu küçüldükçe çözünürlük artar. Bu modun çalışması Şekil 2.5’de gösterilmektedir [17].



Şekil 2.5 : Stripmap YAR modu çalışması.

2.2.2 Spotlight YAR modu

Spotlight YAR modu (bazen spot YAR olarak da adlandırılır) bilinen bir bölgenin veya hedefin göreceli yüksek çözünürlüklü görüntüsünü elde etmek için kullanılır. Bunun için, platform hareketi boyunca anten demeti görüntülenmek istenilen alan üzerinde kalacak şekilde döndürülür. Bu sayede incelenen alanın daha uzun süreli görüntülenmesi sağlanarak daha uzun bir yapay açıklık oluşturulur. Görüntüleme daha çok darbe kullanıldığı için azimut çözünürlüğü artar. Bu sebeple spotlight YAR modu çözünürlüğü stripmap YAR modu çözünürlüğüne göre daha yüksektir.

Spotlight YAR görüntüsü oluşturmak için gereken veri toplama zamanı olarak ifade edilen yapay açıklık zamanı (t_A) (2.8) ve (2.9) denklemleriyle hesaplanır [15].

$$\Delta L_s = \frac{\lambda}{2 \Delta \theta} = \frac{\lambda R}{2 L_s \cos(\theta_{sq})} = \frac{\lambda R}{2 V t_A \cos(\theta_{sq})} \quad (2.8)$$

ve

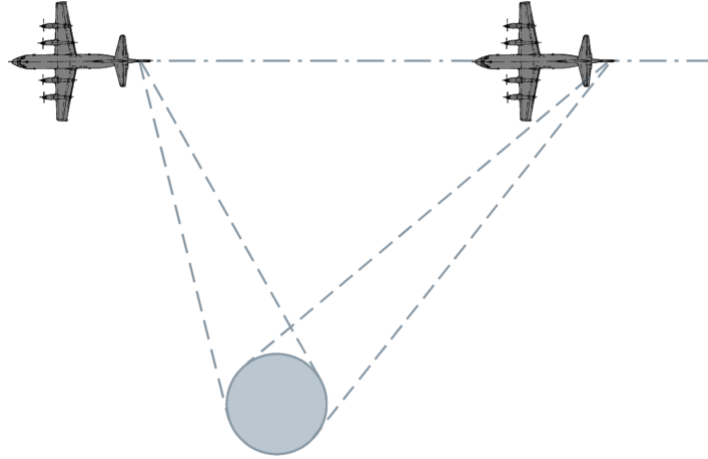
$$t_A \approx \frac{\lambda R}{2 V \Delta L_s \cos(\theta_{sq})} \quad (2.9)$$

V: Platform hızı

t_A : Yapay açıklık zamanı

θ_{sq} : Eğilim açısı

Spotlight YAR modunda anten belirli bir alanı görüntülemek için sürekli o alanı görüntüleyecek şekilde çevrilir. Bu sebeple antenin normalde erişebildiği diğer alanlardan işaret alınamaz ve uzaysal kaplama bölgesi azalır. Bu modun çalışması Şekil 2.6'da gösterilmektedir [17].



Şekil 2.6 : Spotlight YAR modu çalışması.

2.3 YAR Çözünürlük İncelemesi

Farklı YAR modlarıyla farklı çözünürlüklerde görüntüler elde edilebildiği “2.2 YAR Görüntüleme Modları” kısmında incelenmiştir. Farklı YAR modlarındaki azimut çözünürlüklerini karşılaştırmak için aşağıdaki örnek verilebilir [15].

$\lambda = 0,03$ m, $D = 2$ m, $R = 100$ km, $\theta_{sq} = 0$, $V = 180$ m/s, $L_{DBS} = 10$ m (15° saniye açısal tarama hızına karşılık gelir) ve spotlight yapay açıklık uzunluğu = 5 km ($\Delta\theta = 3$ derece) olan bir sistemde farklı görüntüleme modları için elde edilebilecek azimut çözünürlükleri şu şekilde hesaplanır:

Yan seyirli uçuş radarı: 1500 m ((2.2) ve (2.3) denklemlerinden)

Odaklanmamış stripmap YAR: 27 m

Stripmap YAR: 1 m ((2.7) denkleminde)

Spotlight YAR: 0.3 m ((2.8) denkleminde)

Bir radarın konumsal çözünürlüğü yan yana iki hedefin hem menzil hem de azimut yönlerinde ayırt edilebilme yeteneğidir. Çözünürlük, genel ifadeyle, bir nokta hedefin yerinin ölçülebileceği (iki nokta hedefi ayırt etme yeteneği şart değildir) hassasiyet olarak tanımlanır [15]. Yüksek menzil çözünürlüğü genellikle tek darbe ile elde edildiği için bu durumu ifade eden işleme “hızlı zamanda işleme (fast-time processing)” adı verilir. Diğer taraftan yüksek azimut çözünürlüğü çok sayıda darbeye elde edildiği için bu durumu ifade eden işleme “yavaş zamanda işleme (slow-time processing)” adı verilir.

2.3.1 Menzil çözünürlüğü

Yapay açıklıklı radar sistemi menzil çözünürlüğünün değil azimut çözünürlüğünün artırılması amacıyla geliştirilmiştir. Ancak yüksek azimut çözünürlüğü gibi menzil çözünürlüğünün de yüksek olması başarılı bir YAR sistemi için önemlidir.

Bir radar sistemi sürekli olarak aynı anda işaret gönderip alabilir. Veya darbeli radarlarda olduğu gibi kısa bir süre için işaret göndererek gönderdiği işaretin yansımalarının kendisine ulaşmasını bekleyip ardından yeni işareti gönderebilir. Modern YAR sistemleri bu şekildeki darbeli radarlardır. Bu radarlar sabit veya zamanla değişken darbe tekrarlama frekanslarında işaret gönderir ve alırlar. Günümüzdeki YAR sistemlerinin çoğu sabit genlik değerlikli analog lineer frekans modülasyonunu (FM - chirp) kullanırlar.

Bir radarın hedef çözünürlüğü aynı azimut açısında bulunan, fakat farklı menzillerdeki iki veya daha fazla hedefi birbirinden ayırt etme yeteneğidir. Radarın bu hedefleri ayırt edebilmesi için gönderilen işaretlerin hedeflerden geri yansıma süreleri arasında hedefleri ayırt etmeye yetecek miktarda fark olmalıdır.

Gönderilen ve alınan radar darbesi arasındaki zaman gecikmesi antenden saçıcı merkezine olan menzili gösterir. Dolayısıyla radar sisteminin çok küçük zaman gecikmesi değişimlerini ayırt edebilme yeteneği sistemin menzil çözünürlüğü

kapasitesini belirtir. Yansımalar, zamanda darbe genişliği sayesinde geciktirildiğinde radar sistemi menzile doğrultusunda iki yan yana hedeften yansıyan işaretleri ayırt edebilir. Bu menzile çözünürlüğü (2.10) denklemlle ifade edilir [18]. Bu denklemlde dalgaların yayılma sırasındaki kat ettikleri mesafe $c T_p$ ile gösterilmektedir. Bu denklemldeki “2” katsayısı gönderilen işaretin radarla hedef arasındaki mesafeyi 2 defa kat etmesini belirtmektedir [19].

$$\rho_r = \frac{c T_p}{2} \quad (2.10)$$

ρ_r : Menzile çözünürlüğü

c : Işık hızı

T_p : Darbe genişliği

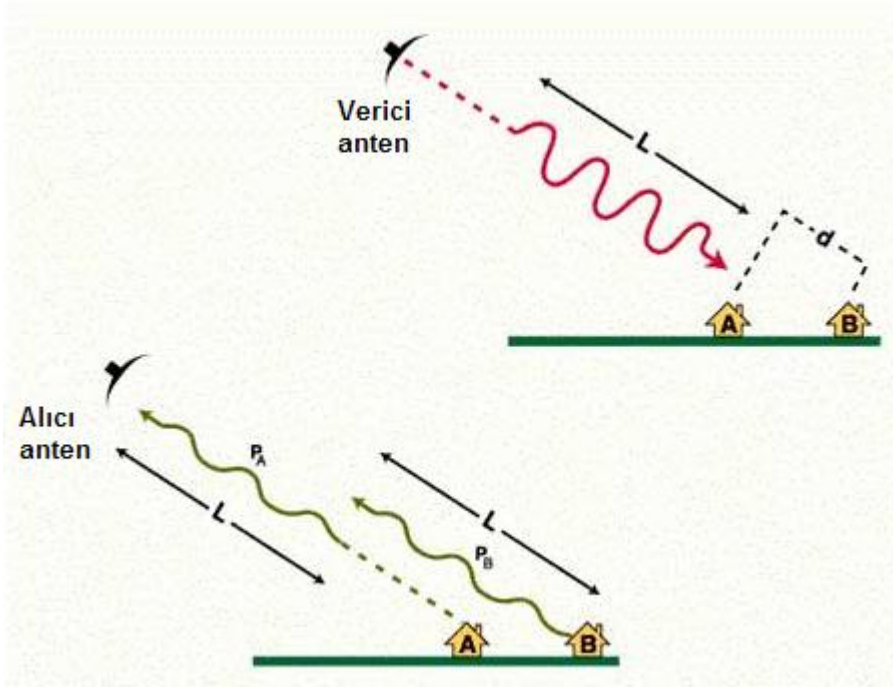
Darbe genişliği çok kısaysa radar yan yana iki hedeften iki farklı işaret alacaktır ve bu işaretleri birbirinden ayırabilecektir. Öte yandan eğer darbe genişliği uzunsa yan yana hedeflerden alınan işaretler birbirine karışacak ve hedefler ayırt edilemeyecektir.

Tek frekans dalga boyu ile kısa darbe, yüksek menzile çözünürlüğü anlamına gelir. Ancak kısa darbe yeterli ortalama güç değerini sağlayamadığı için bu durum pratikte sistemin maksimum gücünü sınırlar. Bu durumun üstesinden gelmek için kullanılan farklı yöntemler [18] kaynağında detaylı biçimde açıklanmıştır.

Menzile çözünürlüğü grafiksel olarak Şekil 2.7’de gösterilmektedir [20]. Sol tarafta L uzunluğundaki bir darbe A ve B hedeflerine gönderilmektedir. Bu hedefler arasındaki eğilim menzile d kadardır. Radar darbesi iki yönlü gitmek zorunda olduğu için eğer $d > L/2$ ise iki hedef iki farklı yankıya sahip olacaktır ve birbirlerinden ayırt edilebilecektir.

Diğer bütün parametreleri en iyi verimlilikte tasarlanmış bir radar sisteminde, aralarında yarı darbe süresine karşılık gelen açıklık bulunan hedeflerin radarda birbirinden ayırt edilmesi gerekir. Bu nedenle, bir radar sisteminin teorik menzile çözünürlüğü (2.10) denklemlle ile hesaplanabilir [21].

Darbe sıkıştırması ile “darbe sıkıştırması oranı (pulse compression rate – PCR)” ile belirtilen miktarda menzile çözünürlüğü artırılabilir. Örneğin 50:1 darbe sıkıştırması oranı, sistemin menzile çözünürlüğünün $1/50$ ’ye düştüğünü belirtir.



Şekil 2.7 : Radarlarda menzil çözünürlüğü.

Darbe sıkıştırma oranı B band genişliğinde ve T_p uzunluklu modülyonsuz darbenin menzil çözünürlüğünün aynı uzunluk ve aynı band genişliğindeki modülyonlu darbenin menzil çözünürlüğüne oranı biçiminde ifade edilir [22]:

$$PCR = \frac{cT_p/2}{c/2B} = B T_p \quad (2.11)$$

PCR: Darbe sıkıştırması oranı

B : Band genişliği

T_p : Modülyonsuz darbe uzunluğu

2.3.2 Azimut çözünürlüğü

YAR sistemlerinde kullanılan işaret işleme tekniği uzun, lineer FM olarak kodlanmış darbelerin sıkıştırılmasıyla kısa darbenin menzil çözünürlüğünü elde etmek için kullanılan menzil kanalı işaret işleme yöntemine benzerdir. Azimut yönünde yapay açıklık işlemede lineer FM modülyasyonundan faydalanılır. YAR işlemcisi, geniş demet genişlikli anten kullanılarak, dar demet genişliğinde sağlanabilecek anten çözünürlüğünü elde etmek için modüle edilmiş azimut işaretini sıkıştırabilir [18].

Bir YAR platformuyla yeryüzündeki birkaç nokta hedefin görüntülenmesi incelenir. YAR anteni birbirinin aynısı olan B band genişliğinde N adet darbe gönderir ve alır. Yeryüzündeki her bir hedefin yerini $c / 2B$ olan menzil çözünürlüğü ile belirler. YAR platformunun düz bir doğrultuda, sabit H yüksekliğinde ve sabit V hızında T zamanı için azimut yönünde hareket ettiği varsayılabilir. Yapay açıklık $LSA = VT$, R menziline (hedef bölgesinin merkezine olan mesafeden) yeterince küçük olsun. Radar yapay açıklığı boyunca hareket ederken hedef alanını küçük değişen açılarda görür. Basitlik açısından hedeflerin sabit olduğu durum için inceleme yapılır.

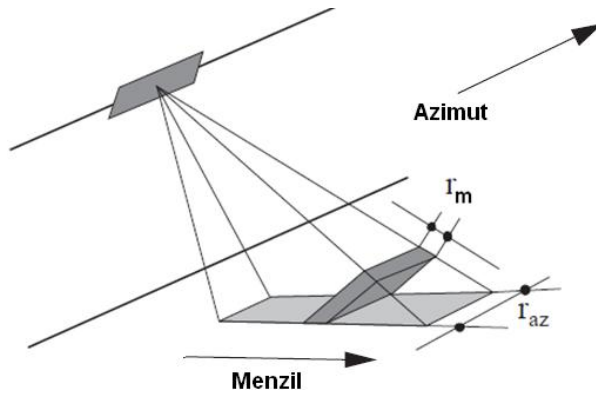
YAR platformundan bakıldığında, hedef alanı $\Omega = V / R$ açısal hızında döner gibi görülür. Veri toplama süresi boyunca hedef alanının döndüğü toplam açı $\Delta\theta = \Omega T = VT / R$ kadardır. Belirli bir nokta hedef YAR platformuna göre Ωr hızındaymış gibi görünür. Burada "r" hedefin bakış doğrultusundan olan mesafesidir. Bu belirgin hızlar $2v / \lambda = 2\Omega r / \lambda$ doppler frekanslarına sebep olur.

Her menzil hücresi için zaman domeninde farklı radar yankılarına karşılık gelen N adet karmaşık sayı elde edilmiştir. Ardışık alınan işaretler arasındaki frekans aralığı $\Delta f = 1 / T$ ve toplam frekans aralığı $(N-1) / T \approx N / T = PRF = fR$ olarak hesaplanır. Bu ifadeyi azimuta dönüştürmek için $\lambda / 2\Omega = \lambda R / 2V$ ile çarparak azimut çözünürlüğü elde edilir [15]:

$$\Delta_{L_s} \approx \frac{\lambda}{2\Omega T} = \frac{\lambda}{2\Delta\theta} \approx \frac{\lambda R}{2L_s} = \frac{\lambda R}{2VT} \quad (2.12)$$

- Ω : Açısal hız
T: Veri toplama süresi

YAR sistemindeki menzil ve azimut çözünürlükleri Şekil 2.8'de gösterilmektedir.



Şekil 2.8 : YAR sisteminde menzil (r_m) ve azimut (r_{az}) çözünürlükleri.

2.4 YAR İşaret İşleme Algoritmaları

Yapay açıklıklı radar işaretlerini işlemek için farklı işaret işleme algoritmaları geliştirilmiştir. Bunların birçoğu uygulamaya özel olarak geliştirilmesine karşın bu bölümde sözü edilecek olan algoritmalar uygun olan bütün sistemlerde kullanılabilir. Bu algoritmalarından özellikle Chirp Scaling ve Range Doppler algoritmaları kullanılarak yüksek çözünürlüklü görüntüler elde edilebilmektedir. Burada anlatılan algoritmaların dışında tomografik geri izdüşümü (tomographic back projection) algoritması medikal görüntüleme, özellikle bilgisayar destekli görüntüleme sıklıkla kullanılmaktadır. YAR işaret işleme yeni sayılabilecek bir diğer algoritma da menzil göç algoritmasıdır (range migration algorithm).

2.4.1 Omega-K algoritması

Omega-K algoritmasının temeli sismik işaret işlemeye dayanır. Sismik verileri elde etmek için bir dizi jeofon yeryüzünün yüzeyinde düz bir hat üzerine yerleştirilir. Hat boyunca dizilmiş olan belirli noktalardan birinde bir patlayıcı patlatıldıktan sonra, jeofonlar yüzeyin altındaki jeolojik oluşumlardan yansıyan işaretleri toplamak için kullanılır. Bu sistem, her sismik jeofon pozisyonunun yapay açıklıklı radar platform konumu gibi değerlendirilebilmesi sebebiyle YAR sistemiyle benzerlik gösterir [11].

Bu algoritma, geliştirildiğinden beri stripmap, spotlight ve interferometrik veri işleme konularında kullanılmaktadır. Ayrıca stripmap ve spotlight arasında kullanılan bir hibrit mod için de uygulanmaktadır.

Omega-K algoritması iki boyutlu frekans domeninde özel bir işlem kullanarak menzil-azimut kuplajının (range-azimuth coupling) menzil bağımlılığını ve azimut bağımlılığını düzeltir. Bu sayede algoritma, geniş azimut açıklığıyla veya yüksek eğilim açılarıyla elde edilmiş verileri işleme yeteneğine sahiptir. Ancak algoritma, efektif radar hızının menzilden bağımsız olduğunu varsayar. Bu nedenle algoritmanın geniş açıklıkları işleyebilmesinden ziyade geniş menzil tarama bölgelerini işleme kabiliyeti sınırlıdır.

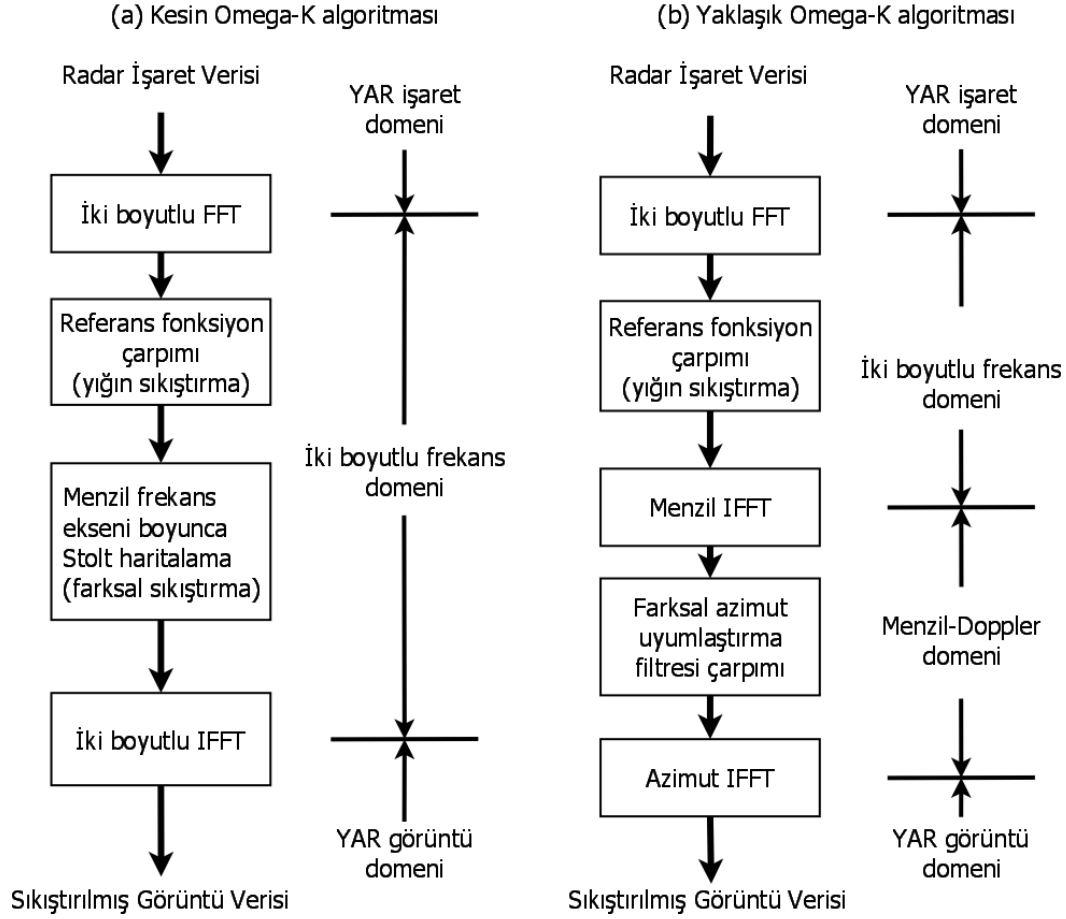
Algoritmanın iki uygulamasının blok diyagramı Şekil 2.9'da gösterilmektedir. En kesin uygulaması Şekil 2.9(a)'da gösterilmektedir. Bazı belirli durumlar altında algoritmanın Şekil 2.9(b)'de gösterilen yaklaşık biçimi yeterince kesin sonuçlar vermektedir.

Kesin sonuç veren uygulamanın işlem adımları aşağıdaki şekilde özetlenebilir [11]:

1. YAR işaret verisini iki boyutlu frekans domenine dönüştürmek için iki boyutlu FFT işlemi gerçekleştirilir.
2. İlk önemli odaklama adımı referans fonksiyon çarpımıdır. Referans fonksiyonu seçilen menzil için (genellikle menzilin tarama bölgesi merkezi) hesaplanır. Bu sayede menzildeki frekans modülasyonu, RCM, menzil-azimut kuplajı ve azimuttaki frekans modülasyonundan kaynaklanan bileşenleri içeren o menzildeki faz kompanze edilir. Uygulandıktan sonra referans menzildeki hedefe doğru biçimde odaklanılırken o menzilden uzakta olan hedeflere kısmen odaklanılır.
3. İkinci önemli adım “Stolt interpolasyonudur” ve bu işlemle menzil frekans yönünde interpolasyon yapılarak kalan diğer hedeflere odaklanılır. İkinci adımdaki referans fonksiyonla çarpma “yığın odaklama”, Stolt interpolasyonu ise “farksal odaklama” olarak düşünülebilir.
4. İki boyutlu IFFT işlemi gerçekleştirilerek veri zaman domenine, yani YAR görüntü domenine dönüştürülür.

Stolt interpolasyonunu kaldırarak basit faz çarpma işlemleri kullanılan yaklaşık uygulamanın işlem adımları aşağıdaki gibi açıklanabilir:

1. YAR işaret verisini iki boyutlu frekans domenine dönüştürmek için iki boyutlu FFT işlemi gerçekleştirilir.
2. Referans fonksiyonu çarpımı işlemi yapılır.
3. Menzil IFFT işlemi gerçekleştirilerek veri menzil-Doppler domenine dönüştürülür.
4. Referans fonksiyon çarpımından sonra azimut modülasyonunu yok etmek için menzil bağımlı bir farksal azimut uyumlaştırma filtresi uygulanır.
5. Sıkıştırılmış veriyi tekrar zaman domenine dönüştürmek için azimut IFFT uygulanır.



Şekil 2.9 : Omega-K görüntü işleme algoritması, (a) kesin (b) yaklaşık.

2.4.2 SPECAN algoritması

Eğilimsiz ve stripmap modunda toplanmış verileri işlemek için genellikle Range-Doppler Algoritması (RDA) kullanılır. Ancak RDA hassas sonuç veren bir algoritmadır ve genellikle gerçek zamanlı uygulamalarda kullanılamaz. Bu noktada akla ilk şu soru gelmektedir: Daha hızlı bir algoritma kullanarak daha düşük çözünürlükte bile olsa gerçek zamanlı görüntü oluşturmak mümkün müdür? Böyle bir algoritma ile operatör alınan görüntüyü inceleyerek daha detaylı görüntü alınmasına gerek olup olmadığına karar verebilir [11].

İkinci akla gelen soru, çözünürlüğün azalması pahasına bile olsa tarama bölgesi genişliğinin artırılabilir olup olmadığıdır. Stripmap modunda her hedef bütün izi boyunca taranır, yani pozlama süresi azimut izi boyutuyla orantılıdır. Eğer tam çözünürlük gerekli değilse demetin bütün pozlama süresi boyunca hedefin aydınlatılması şart değildir. Pozlama zamanındaki azalma demetin yeryüzündeki başka bir kısmı aydınlatması anlamına gelir. Bu düşünce Taramalı Yapay Açıklıklı

Radar (Scanning Synthetic Aperture Radar - ScanSAR) çalışma modunun temel düşüncesidir.

Stripmap verisinin hızlı bakış ile işlenmesi ve ScanSAR verisinin operasyonel işlenmesi avantajları bir araya getirilerek SPECTral ANalysis, veya kısaca SPECAN olarak bilinen algoritma oluşturulmuştur. Algoritma RDA'ya göre daha etkindir ve daha az bellek alanı kaplar. Ancak algoritmayla elde edilen görüntü orta çözünürlüğün yeterli olduğu uygulamalarda kullanılabilir.

SPECAN algoritmasının bugün kullanılan biçimi 1979 yılında gerçek zamanlı YAR işlemcisi tasarlamak ve üretmek üzere başlatılan bir projede MacDonald Dettwiler (MDA) ve Avrupa Uzay Teknoloji Merkezi (European Space Technology Center - ESTEC) tarafından geliştirilmiştir [11].

Birçok yeni YAR uydusu tarama bölgesi genişliği 500km'ye kadar ve 50m ve 100m çözünürlüğe sahip ScanSAR modunu içerecek şekilde tasarlanmaktadır. Bunlara örnek olarak RADARSAT, SIR-C ve ENVISAT verilebilir.

SPECAN algoritmasının blok diyagramı Şekil 2.10'da gösterilmektedir. Menzil sıkıştırma işlemi genellikle RDA algoritmasındakiyle aynı biçimdedir. Kalan işlemler SPECAN algoritmasına özgüdür. Algoritmada menzil sıkıştırma işleminden sonra doğrusal RCMC, ağırlıklandırma ve FFT, periyodik tarak biçiminde oluşan radyometrik varyansı (belirli bir mesafe ve hız için radar hassasiyetinin azalmasına sebep olur) düzeltme işlemi (descalloping), faz kompanzasyonu, çarpıklık düzeltme ve birleştirme işlemleri yapılmaktadır.

SPECAN algoritmasının temel özelliği azimut sıkıştırmasını yapma biçimidir. RDA algoritmasında olduğu gibi çok bakışlı işleme (multilook processing) gerçekleştirilebilir. Tek bakışlı karmaşık işleme gerçekleştirileceği zaman "çok bakışlı" olarak belirtilen bloğun "faz kompanzasyonu" olarak değiştirilmesi yeterlidir.

2.4.3 Polar Format algoritması

1960'ların başında Willow Run Laboratuvarları dönen nesnelerin radar kullanılarak yüksek çözünürlüklü görüntülerinin oluşturulması konusunda çalışmaya başlamıştır. Uzayda dönen nesnelerin görüntülenmesi amacını desteklemek üzere yeryüzünde sabit bir radar platformu kullanılarak deneyler yapılmıştır [18].

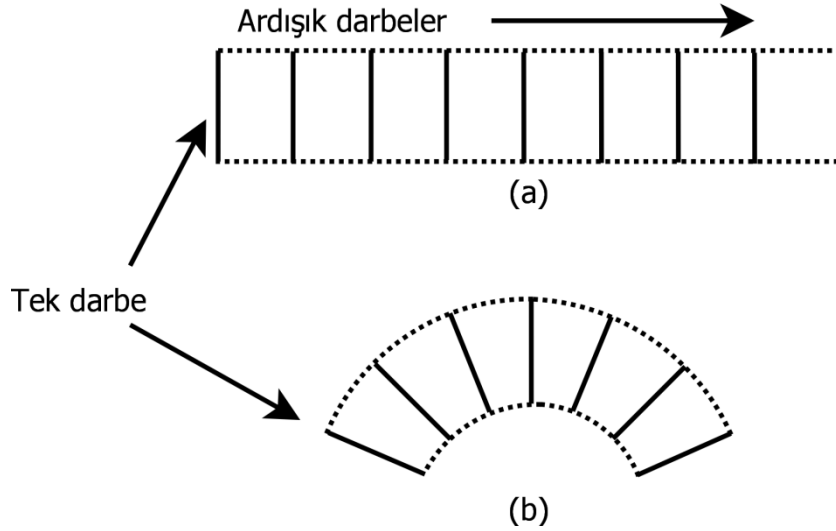


Şekil 2.10 : SPECAN YAR görüntü işleme algoritması.

Bu deneylerde karşılaşılan en büyük problem saçıcının çözünürlük hücreleri içindeki hareketinden kaynaklanan görüntüde oluşan hedef lekesidir. Azimut çözünürlüğünü elde etmek için gereken dönme sırasında tek bir saçıcı radar platformuna göre pozisyonunu hem menzil hem de azimut yönünde değiştirmektedir. Hareket artıp çözünürlük hücresi boyutu küçüldüğü için çözünürlük arttıkça leke etkisi de artmaktadır.

İlk çalışmalarda, elde edilen veriler Şekil 2.11(a)'da gösterildiği gibi dikdörtgen biçimi yöntemiyle kaydedilmiştir. Dikdörtgen biçimi yönteminde ardışık radar darbelerinden alınan veriler yan yana ve artacak biçimde kaydedilmektedir.

1969 yılında, bilim adamları elde edilen verilerin dikdörtgen biçimi yerine kutupsal biçimde kaydedilmesinin çözünürlük hücreleri boyunca oluşan hareket etkisi problemini hafifletebildiğini keşfetmişlerdir [18]. Bu keşif sayesinde spotlight modunda yüksek çözünürlüklü görüntü elde edilmesinin önü açılmıştır. Kutupsal biçim yönteminde, işlemci ardışık darbeleri Şekil 2.11(b)'de gösterildiği gibi radyal hatlar boyunca kaydeder. 24 Kasım 1970 tarihli bir Willow Run Laboratuvarları şirket içi bildirisi YAR görüntüsü oluşturmak için kutupsal biçim yöntemiyle kayıt alma işleminin anlatıldığı ilk dokümandır [18]. Kutupsal kaydetme yöntemi YAR görüntü işlemede kullanıldığı gibi çeşitli dalga fenomenlerinde de kullanılmaktadır.



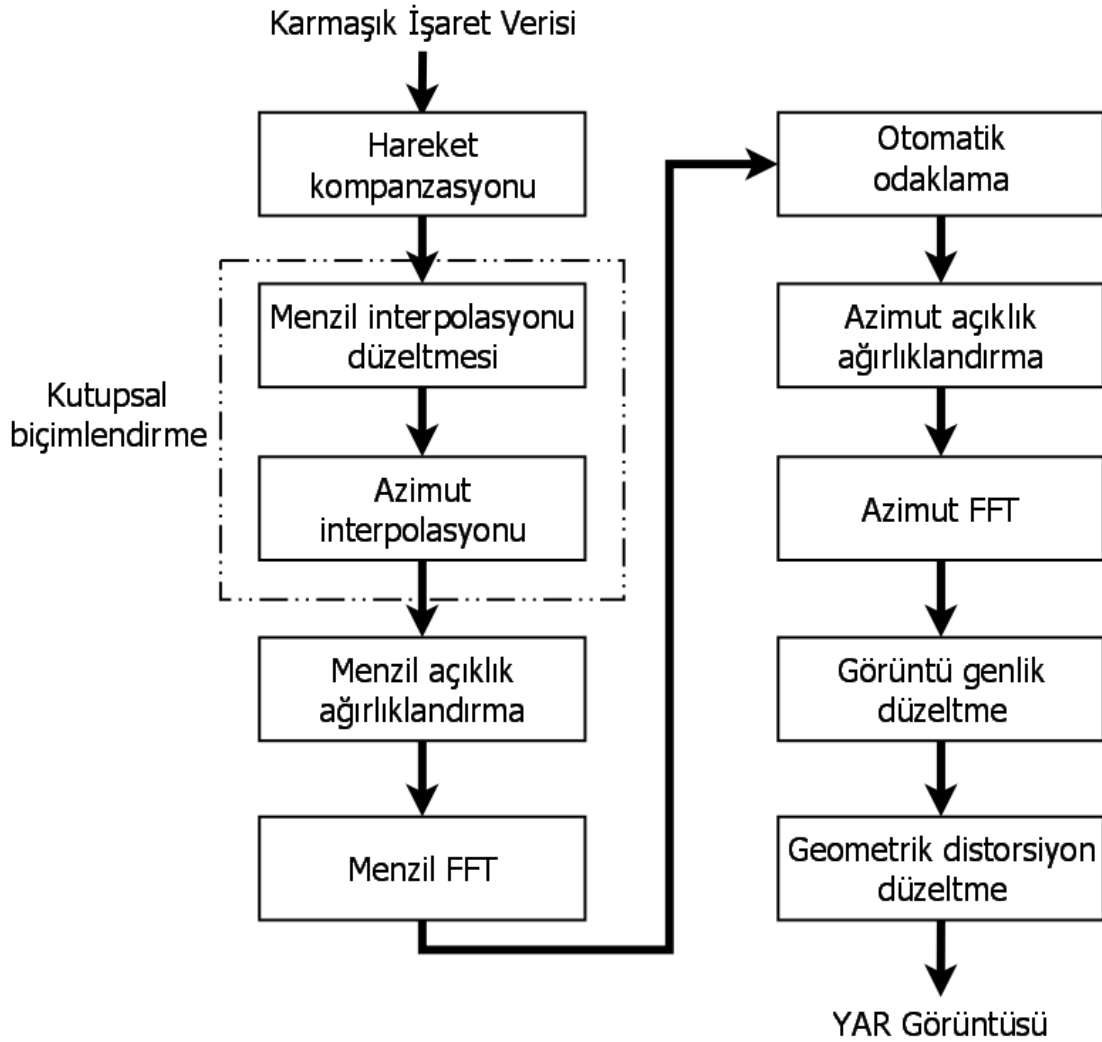
Şekil 2.11 : Spotlight YAR veri kaydetme biçimleri (a) dikdörtgen, (b) kutupsal biçim.

Polar format algoritmasıyla görüntü oluşturma adımları Şekil 2.12 blok diyagramında gösterilmektedir.

2.4.4 Chirp Scaling algoritması

Chirp scaling algoritması (CSA), yüksek hassasiyetli bir YAR işleme algoritmasıdır. Bu algoritma menzil hücre göçü düzeltme (range cell migration correction – RCMC) için kullanılan ekleyiciyi (interpolatörü) elemek için özel olarak geliştirilmiştir. Bu algoritma A. Papoulis tarafından belirtilen ölçekleme prensibini temel almaktadır

[11]. Algoritmada chirp olarak kodlanmış bir işarete frekans modülasyonu uygulanarak işaretin ötelenmesi veya ölçeklenmesi sağlanır. Bu chirp ölçekleme prensibi kullanılarak gereken menzil değişkenli RCMC ötelemesi zaman domeni ekleyicisi yerine faz çarpımlarıyla uyarlanabilir.



Şekil 2.12 : Polar Format YAR görüntü işleme algoritması.

CSA algoritmasının çalışması Şekil 2.13’de gösterilmektedir. Temel işlemler sadece 4 FFT ve 3 faz çarpması kullanılarak gerçekleştirilir. Algoritma adımları şu şekilde özetlenebilir [11]:

1. Veriyi menzil-Doppler domenine dönüştürmek için azimut FFT işlemi gerçekleştirilir.
2. Bütün hedef yörüngelerinin menzil göçünü eşitlemek için faz çarpması kullanarak chirp ölçekleme işlemi gerçekleştirilir. Bu aşama ilk faz fonksiyonudur.

3. Menzil FFT işlemi yapılarak veri iki boyutlu frekans domenine dönüştürülür.
4. Bir referans fonksiyonu kullanılarak faz çarpma işlemi gerçekleştirilir. Bu sayede menzil sıkıştırma, SRC ve yığın RCMC işlemleri tek bir işlem içinde uygulanır. Bu aşama ikinci faz fonksiyonudur.
5. Veriyi tekrar menzil-Doppler domenine dönüştürmek için menzil IFFT işlemi gerçekleştirilir.
6. Bir faz çarpması yapılarak menzil değişkenli uyumlaştırma filtresiyle azimut sıkıştırması gerçekleştirilir. İkinci adımda uygulanan chirp ölçekleme sonucunda bir faz düzeltme işlemi gereklidir. Bu aşama üçüncü faz fonksiyonudur.
7. Sıkıştırılmış veriyi iki boyutlu zaman domenine, yani YAR görüntü domenine dönüştürmek için azimut IFFT işlemi gerçekleştirilir.

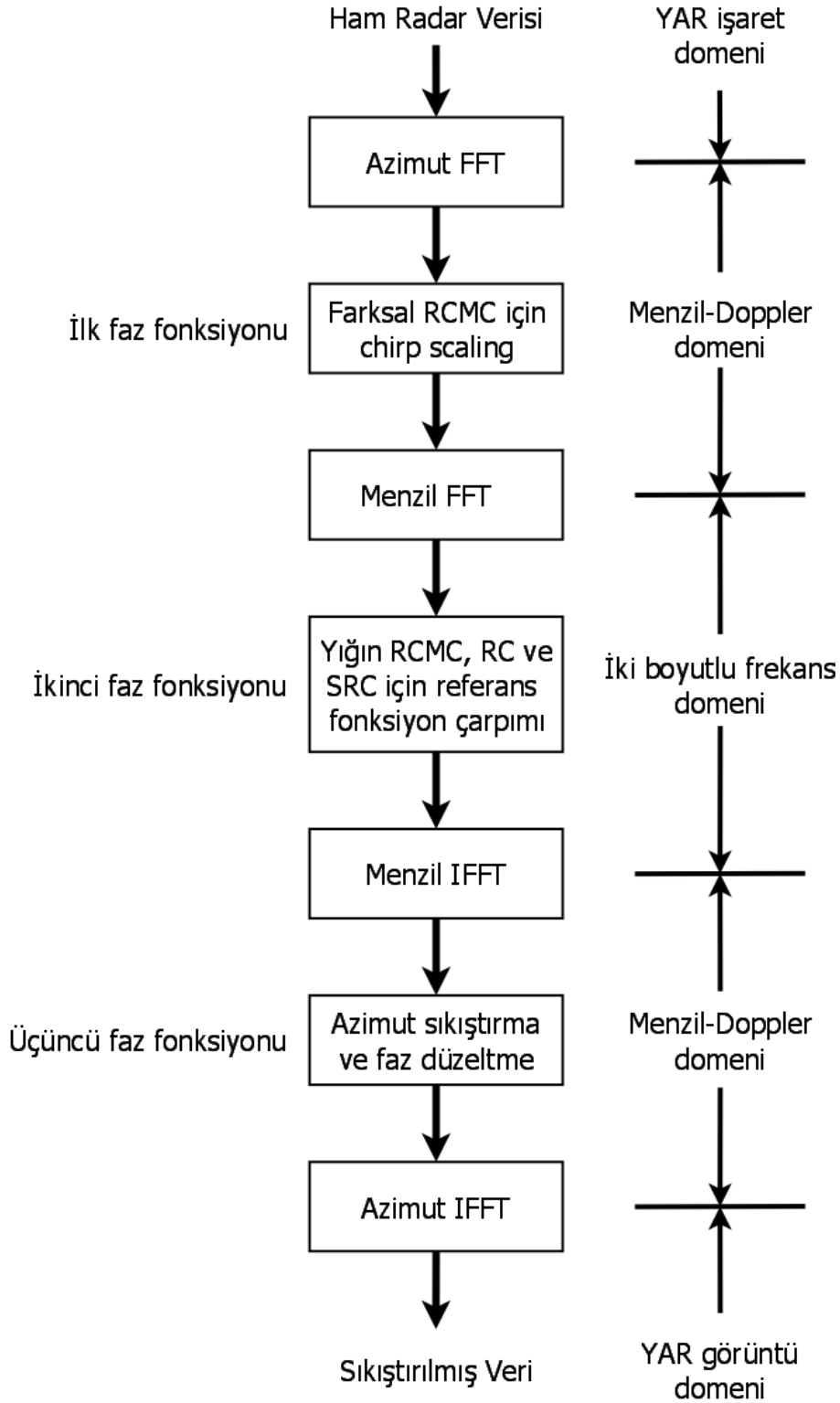
Algoritmanın önemli işlemlerinin farklı domenlerde gerçekleştirildiği görülmektedir. Özellikle birinci faz fonksiyonu menzil-zaman ve azimut-frekans (menzil-Doppler) domeninde, ikincisi iki boyutlu frekans domeninde ve üçüncüsü menzil-Doppler domeninde gerçekleştirilir. Bu özellikleriyle CSA algoritması hem menzil-Doppler hem de iki boyutlu frekans domeni işleme karakteristiklerini paylaşan bir hibrit algoritma olarak düşünülebilir.

2.4.5 Range-Doppler algoritması

Range-Doppler algoritması 1976–1978 yıllarında SEASAT YAR verilerini işlemek için geliştirilmiştir. Bu algoritma sivil uydularda YAR işleme için geliştirilen ilk dijital işleme algoritmasıdır ve dünyanın ilk dijital olarak işlenmiş uzay platformundan alınmış YAR görüntüsü 1978 yılında bu algoritma kullanılarak oluşturulmuştur [11]. Range-Doppler algoritması Chirp scaling algoritması gibi yüksek hassasiyetli bir YAR işleme algoritmasıdır. Ancak genellikle gerçek zamanlı uygulamalarda kullanılamaz.

Günümüzde, olgunluk, basitlik, etkinlik ve kararlılık özelliklerinden dolayı halen en yaygın kullanılan algoritmadır. Algoritma, hem azimut hem de menzilde frekans domeni işlemlerini kullanarak blok işleme etkinliğine ve tek boyutlu işlemlerin sağladığı basitliğe sahiptir. Blok işleme etkinliği menzil zaman ve azimut frekans

domeninde (bu domene “menzil-Doppler” domeni adı da verilir) gerçekleştirilmesi sebebiyle RCMC işlemleri için de sağlanmaktadır. Algoritmaya “menzil-Doppler algoritması” denilmesinin sebebi algoritmanın en ayırt edici özelliği olan RCMC işleminin bu domende gerçekleştirilmesinden dolayıdır.



Şekil 2.13 : Chirp Scaling görüntü işleme algoritması.

Aynı menzilde fakat farklı azimutlarda bulunan nokta hedeflerden alınan enerji azimut frekans domenindeki aynı konuma dönüştürülmektedir. Dolayısıyla bu domendeki bir hedef yörüngesinin düzeltilmesi, en yakında bulunan benzer eğilim menziline sahip hedef yörünge ailesinin de etkin olarak düzeltilmesini sağlar. Bu özellik, RCMC işleminin menzil-Doppler domeninde etkin biçimde yapılabilmesini sağlayan, algoritmanın kilit özelliklerindedir.

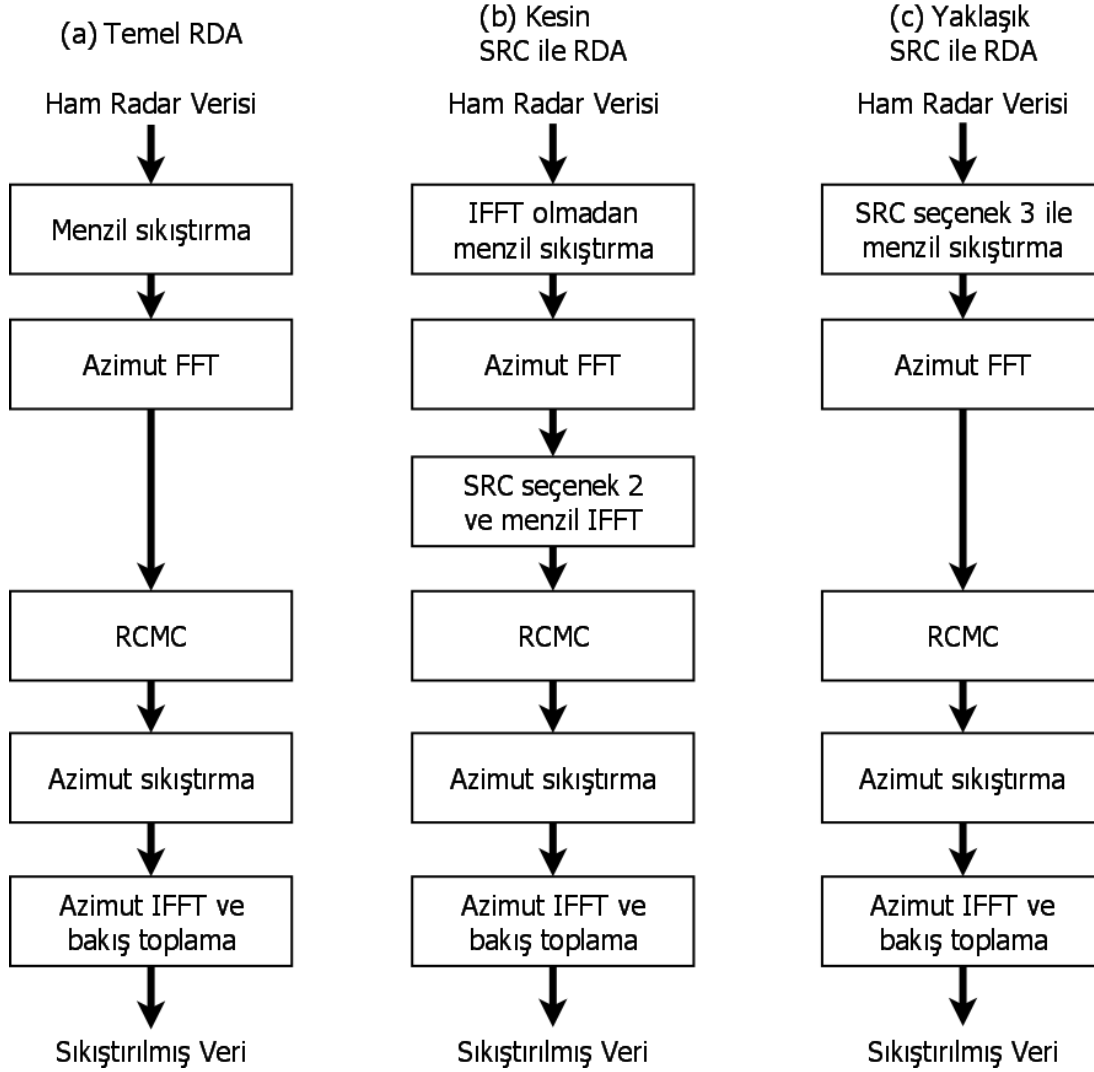
Range-Doppler algoritmasının bazı durumlarda iki dezavantajı olduğu görülür. Bunların ilki RCMC işleminde yüksek doğruluk istenildiğinde kullanılması gereken uzun bir “kernel” ifadesinin oluşturduğu yüksek işlem yüküdür. İkincisi, belirli yüksek eğilim ve geniş açıklık durumlarında doğruluğu sınırlayan SRC işleminin azimut frekans bağımlılığının algoritmaya kolaylıkla dahil edilememesidir [11].

Şekil 2.14(a)'da temel RDA algoritmasının düşük eğilim açılarında ve kısa açıklık uzunluklarındaki verileri işlemeye uygun olan versiyonunun blok diyagramı gösterilmektedir. Şekil 2.14(b)'de iki boyutlu frekans domeninde kesin olarak uygulanmış SRC içeren eğilimli verileri işlemek için gereken ikincil menzil sıkıştırma (secondary range compression, SRC) modifikasyonu gösterilmektedir. Şekil 2.14(c)'de ise menzil frekans domenindeki SRC işleminin yaklaşık olarak uygulanmasını gösteren blok diyagram verilmiştir.

Bu üç algoritma versiyonunun birçok işleme adımları aynıdır, sadece SRC uygulanmasında farklılık görülür. Algoritmaların adımları şu şekilde açıklanabilir:

1. Veri azimut zaman domenindeyken menzil sıkıştırması hızlı konvolüsyon işlemiyle gerçekleştirilir. Bu işlem (a) ve (c) versiyonlarında yapılırken (b) versiyonunda yapılmaz.
2. Bir azimut FFT işlemi veriyi menzil-Doppler domenine dönüştürür. Bu domende Doppler merkezi tahmini ve birçok ilgili işlemler gerçekleştirilir.
3. RCMC işlemi menzil-Doppler domeninde gerçekleştirilir. RCMC işlemi aynı menzildeki hedef yörüngelerini doğrultarak azimut frekans eksenine paralel durumda olmalarını sağlar.
4. Azimut uyumlaştırma filtrelemesi, her menzil kapısındaki frekans domeni uyumlaştırma filtresi çarpımıyla gerçekleştirilir.

5. En son adımda azimut IFFT işlemi gerçekleştirilerek işlenen veri tekrar zaman domenine dönüştürülerek sıkıştırılmış karmaşık görüntü elde edilir.



Şekil 2.14 : RDA algoritmasının üç versiyonunu gösteren fonksiyonel blok diyagramı.

2.5 Ham Radar İşaret Verisi Modeli

Radar sisteminden toplanan veriye ham radar işaret verisi veya ham veri denilir. Daha anlaşılabilir ve kolay olduğu için range-Doppler algoritmasındaki SRC işlemi gerekmeyen düşük eğilim durumu için incelemeler yapılmıştır. Bu tez çalışmasında uygulamalarda kullanılan ham radar işaret verileri (2.13) denkleminde belirtilen model kullanılarak oluşturulmuştur.

Radar sisteminden alınan veriler önce temel banda demodüle edilir. Böylece nominal merkez menzil frekansı sıfır olur. Bir nokta hedeften alınan demodüle radar işareti **(2.13)** denklemiyle modellenebilir [11]:

$$s_0(\tau, \eta) = A_0 \omega_r \frac{\tau - 2R(\eta)}{c} \omega_a(n - \eta_c) \exp\left\{\frac{-j 4\pi f_0 R(\eta)}{c}\right\} \exp\left\{j \pi K_r \left(\frac{\tau - 2R(\eta)}{c}\right)^2\right\} \quad (2.13)$$

A_0 : Rastgele karmaşık değerli bir sabit

T : Menzil zamanı

η : En yakın yaklaşıma referanslı azimut zamanı

η_c : Demet merkezi ofset zamanı

$\omega_t(\tau)$: Menzil zarfı (dikdörtgen fonksiyonda)

$\omega_a(\tau)$: Azimut zarfı (sinc-kare fonksiyonda)

f_0 : Radar merkez frekansı

K_r : Menzil chirp FM oranı

$R(\eta)$: Ani eğilim menzili

“ K_r ” FM oranına sahip doğrusal bir FM radar darbesi olduğu varsayılınsın. İfadedeki iki tane “ ω ” terimi menzil ve azimut işaretlerinin şiddetlerini belirtir ve bu terimler genellikle işaret analizlerinde göz ardı edilirler. Ani eğilim menzili **(2.14)** denklemiyle gösterilir [11]:

$$R(\eta) = \sqrt{R_0^2 + V_t^2 \eta^2} \quad (2.14)$$

R_0 : En yakın yaklaşımın eğilim menzili

V_t : Radar platformu hızı

Bu hedef için azimut zamanı **(2.13)** denkleminde sıfır Doppler’e referanslıdır. Birden fazla hedef durumu düşünüldüğünde veri toplama başlangıcında ortak bir mutlak zaman, “ η ”, veri toplama işleminin başlangıcında gereklidir.

3. HAREKETLİ HEDEFİN TESPİT EDİLMESİ

Yapay açıklıklı radar görüntüleri içindeki hareketli hedefleri tespit etmek üzere birçok farklı yöntem geliştirilmiştir. Bu algoritmalarda hareketli hedefleri tespit edebilmek için görüntü odaklama algoritması [3], yer değiştirmiş faz merkezli anten (Displaced Phase Centre Antenna - DPCA) yöntemi [4 ve 5], hat boyunca interferometre (Along Track Interferometry) [6] yöntemi, tek kanallı ve çok kanallı radar görüntüsü işleme [7 – 9] gibi çeşitli yöntemler kullanılmıştır. Geliştirilen bu farklı yöntemler incelenerek hareketli hedef tespitinde kullanılan farklı uygulamalar hakkında bilgi edinilebilir.

1970 yılında Amerikan ordusunun hiçbir biriminde hava araçlarında taşınan sürekli olarak yerdeki hareketli hedefleri izleyen bir gözetleme radarı bulunmamaktaydı. YAR sadece sabit hedefler için kullanılabilirdi. Hareketli hedeflerin saptanması aynı bölgenin iki tane YAR haritasının “değişim yakalama” yöntemi ile karşılaştırılmasıyla gerçekleştirilmekteydi. Bu yöntem belirli aralıklarla bilgi vermekteydi ve hareketli hedeflere hızlı askeri müdahaleler için uygun değildi [23].

Venus ve ay yüzeyinin menzil-Doppler haritalarındaki belirsizlikleri yok etmek için kullanılan interferometre teknikleri kullanılarak yeryüzünde düşük hızlı hareket eden hedeflerin hava araçlarında taşınan hareketli hedef gösterme radarıyla çok büyük antenler kullanılmadan saptanabileceği fikri 1970 yılında Walter E. Morrow tarafından belirtilmiştir. Charles Edward Muehe aynı yıl bir bildiriyle iki adet küçük antenin hava aracının yan taraflarına yerleştirilerek oluşturulan sistemin interferometre performansı sonuçlarını yayınlamıştır. Bu bildiri sonucunda elde edilen antenler arasında faz düzenlemesi yapılması için hava aracının iki anten arasındaki mesafeyi kat ettiği zaman kadar bir gecikme sağlanması işlemi DPCA yönteminde de aynı şekilde kullanılmaktadır [23].

DPCA yöntemi yeryüzünde hareketli hedef gösterme (ground moving target indication - GMTI) konusunda kullanılan yığın bastırma tekniklerinden birisidir. Bu yöntemde, her bir kanalda menzil sıkıştırma işlemi gerçekleştirildikten sonra elde

edilen karmaşık YAR verilerinin farkı kullanılır. Durağan yığın her iki kanalda aynı etkiye sebep olurken, hareketli hedefler gözlemler arasındaki hedef mesafesinin değişmesinden dolayı faz farkına sebep olurlar [4]. Eğer elde edilen iki görüntü mükemmel şekilde üst üste bindirilebilirse DPCA işlemi en iyi sonucu verir. Ancak, gerçek uygulamalarda görüntüleri mükemmel bir biçimde üst üste bindirmek mümkün değildir. Bu üst üste bindirme ne kadar başarılı yapılabilirse, DPCA tekniğiyle elde edilecek hedef tespit oranı da o kadar artar.

Uzay tabanlı radarlardan dünya üzerindeki hareketli hedeflerin saptanması zordur. Radar platformunun yüksek hızla hareket etmesi sonucunda oluşan yoğun dünya yığını frekans domenine saçılarak yüksek hızla hareket eden hedeflerin bile saptanmasını zorlaştırır. DPCA tekniğiyle platformun hareketi kompanze edilerek sabit saçılımların zayıflatılarak hareketli hedeflerin tespit edilmesi amaçlanır [24].

Hareketli hedefleri tespit edebilmek için kullanılan başka bir algoritma hat boyunca interferometre (Along Track Interferometry - ATI) yöntemidir. Bu yöntem, yığının homojen olarak dağıldığı çimenlik alanlar, ormanlar, ovalar gibi bölgelerde DPCA yöntemindeki kadar iyi sonuçlar vermektedir. Ancak kentsel bölgeler, engebeli araziler gibi homojen olmayan bölgelerde DPCA yöntemine göre daha iyi sonuçlar verir. ATI yönteminde hareketli hedefi tespit etmek için uçuş yönü doğrultusu boyunca yerleştirilen farklı antenlerden elde edilen karmaşık değerli YAR görüntüleri arasındaki faz farkı kullanılır [6].

[7] çalışmasında hareketli hedefin menzil hızının, tespit edilebilecek maksimum menzil hızı değerini aştığında hareketli hedefin tespit edilebilmesiyle ilgili bir yöntem önerilmiştir. Bu yöntemde azimut gözlem zamanı “uyumlu işleme aralıkları” (coherent processing intervals – CPI) olarak adlandırılan aralıklara bölünür. Ardından hedefin izi Hough dönüşümü yardımıyla hesaplanır. CPI fonksiyonunun Hough dönüşümü belirli bir eşik değerden büyükse hedef tespit edilmiş olur ve hedefin menzil yönündeki hızı tespit edilen izin çarpıklığı kullanılarak hesaplanabilir. Azimut yönündeki hız bileşeni ise menzil yönü boyunca RCMC işlemi gerçekleştirildikten sonra azimut yönünde otomatik odaklama ile tahmin edilir.

Hareketli hedefi tespit etmek için önerilen [8] çalışmasında orijinal görüntü alt parçalara bölünerek bir dizi alt görüntü oluşturulur. Durağan hedeflerin frekans

öteleme değeri hesaplanır ve ardından ardışık alt görüntüler birbirlerinden çıkartılarak sadece hareketli hedefler tespit edilir. Hareketli hedefler tespit edildikten sonra iki alt görüntü arasındaki hareketli hedeflerin bağıl hareketinin belirlenmesi ve aynı zamanda hareket parametresi hesaplaması kesme ortalaması algoritması kullanılarak gerçekleştirilir.

Herhangi bir yönde hızlı ve yavaş hareket eden hedefleri tespit etmek için bir diğer yöntem [9] çalışmasında önerilmiştir. Algoritmada, tek bakışlı bir dizi YAR görüntüsü oluşturulmaktadır. Ardından hızdaki distorsiyon miktarı hesaplanarak hareketli hedeflerin pozisyon ve hız bilgileri tahmin edilmektedir. İki alt görüntü arasındaki bağıl hareketin belirlenmesi işlemi blok eşleştirme algoritması (block matching algorithm) ile yapılmaktadır.

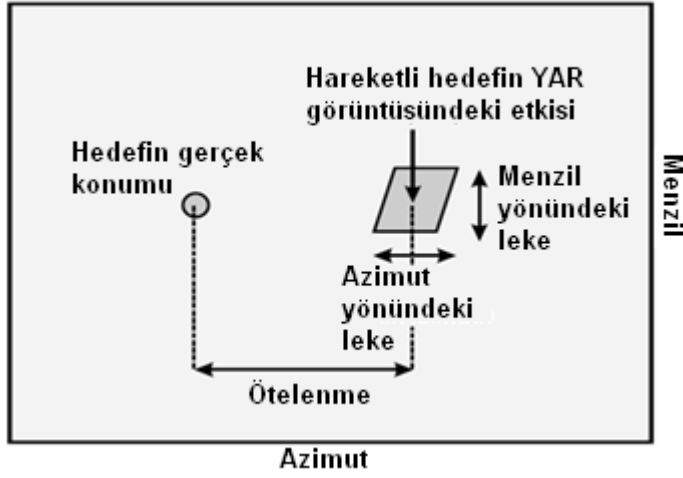
[3] çalışmasında önerilen algoritmada görüntünün bir kısmını içeren bir alt parça görüntüsü içindeki hareketli hedefin oluşturduğu leke araştırılır. Böyle bir leke tespit edildiğinde, tespit edilen alt parça görüntüsüne odaklanılır ve hareketli hedefin daha iyi tespit edilebilmesi ve hatalı alarmların azaltılması için parçanın keskinliği artırılır.

3.1 Hareketli Hedefin YAR Görüntüsündeki Etkisinin İncelenmesi

Yapay açıklıklı radar görüntüsü içindeki hareketli hedefler hareket ettikleri yöne bağlı olarak görüntü içinde bulanık biçimde ve/veya olması gerektiğinden farklı yerde görünürler [2 ve 3]. Hedef azimut yönünde hareket ediyorsa elde edilen görüntüde hareketten kaynaklanan azimut yönünde bir bulanıklık olur. Benzer şekilde, hedef menzil yönünde hareket ediyorsa hareketten kaynaklanan bulanıklığa ilave olarak hedef olması gereken yerden ötelenerek çok farklı bir yerde görüntülenir. Hatta çok yüksek menzil hızlarına sahip hedefler elde edilen görüntü içinden tamamen kaybolabilir.

Şekil 3.1’de sadece menzil yönünde hareket eden bir hedef gösterilmektedir [25]. Şekilde daire biçimindeki bir hedefin menzil yönündeki hareketi gösterilmektedir. Hedefin gerçek konumu sol tarafta görülmektedir. Ancak menzil yönündeki hareketinden dolayı hedef görüntü içinde sağ tarafa ötelenmiştir. Bu ötelenme miktarı hedefin hızına bağlı olarak değişir. Hedef hızı arttıkça, hedefin görüntüdeki ötelenme miktarı da artar. Ayrıca dairesel hedef hem azimut hem de menzil yönlerinde bulanık olarak görülmektedir. Menzil hareketinin oluşturduğu bu

karakteristik özellikten faydalanılarak görüntü içinde menzil yönünde hareket eden hedef olup olmadığı kolaylıkla tespit edilebilir.



Şekil 3.1 : Sadece menzil yönünde hareket eden hedefin YAR görüntüsündeki etkisi.

Şekil 3.2’de sadece azimut yönünde hareket eden bir hedef gösterilmektedir. Bu şekilde hedef olması gereken konumun yakınlarındadır. Azimut hızından dolayı görüntüde azimut yönünde bir leke oluşmaktadır. Bu lekenin uzunluğu hareketli hedefin azimut hızına bağlıdır ve hız arttıkça leke uzunluğu da artar. YAR görüntüsü içinde azimut hareketinin oluşturduğu bu gibi leke etkileri araştırılarak azimut yönünde hareket eden hedef olup olmadığı tespit edilebilir. Eğer bir hareketli hedef tespit edilirse, bu hedefin hızı ve hareket doğrultusu parametreleri bu lekenin özellikleri incelenerek hesaplanabilir.



Şekil 3.2 : Sadece azimut yönünde hareket eden hedefin YAR görüntüsündeki etkisi.

3.2 Hareketli Hedef Tespiti için Önerilen Yeni Yöntemler

Bir önceki kısımda, hareketli hedefin YAR görüntüsünde oluşturduğu etkiler incelenerek hareketli hedef hakkında bilgi sahibi olunabileceği gösterilmiştir. Bu tez çalışmasında, hareketli hedeflerin oluşturduğu bu etkileri gözlemleyerek hareketli hedef parametrelerini belirlemek için iki yeni yöntem önerilmiştir. İlk yöntemde YAR görüntüsü azimut ve menzil yönlerinde ayrı ayrı incelenmektedir. Hareketli hedef tespiti işlemleri incelenen yönde çok iyi sonuç veren iki farklı algoritmanın kullanılmasıyla elde edilen sonuçların birleştirilmesiyle gerçekleştirilmektedir. İkinci yöntemde ise alt yama algoritması tek başına kullanılarak hareketli hedeflerin tespit edilebileceği gösterilmiştir. Önerilen bu yeni yöntemler aşağıdaki bölümlerde incelenmektedir.

3.2.1 Yöntem I

Hareketli hedef tespiti yapabilmek için önerilen ilk yöntem, görüntünün azimut ve menzil yönlerinde ayrı ayrı incelenmesini içerir. Bu yöntem ile yapay açıklıklı radar görüntüleri içindeki hareketli hedefler tespit edilebilmekte ve tespit edilen hedeflerin hareket parametreleri hesaplanabilmektedir.

Önerilen yöntemde azimut yönündeki hareket kesme ortalaması algoritmasıyla (Shear Averaging Algorithm) ve menzil yönündeki hareket alt açıklık işleme algoritmasıyla tespit edilmektedir. Bu iki algoritmanın birbirinden bağımsız olarak çalışması hedef tespitinin menzil ve azimut doğrultuları için aynı anda paralel olarak yapılabilmesini sağlar. Ayrıca veriler bağımsız olarak işlenebildiği için elde edilen doğruluk ve kararlılık yüksektir.

Bu iki algoritmanın bir arada kullanılması sayesinde hem azimut hem de menzil yönlerinde hareket eden hedefler kolaylıkla tespit edilebilmektedir. Kesme ortalaması algoritması azimut yönünde yüksek doğruluklu sonuçlar sağlarken alt açıklık algoritması menzil yönündeki hedef hareketini tespit edebilmektedir. Bu algoritmalar aşağıdaki kısımlarda detaylı biçimde incelenmektedir.

3.2.1.1 Kesme ortalaması algoritması

Yöntem I'de azimut yönündeki hareket parametrelerini elde etmek için kesme ortalaması algoritması kullanılmaktadır. Bu yöntemde karmaşık değerlikli YAR görüntüsü küçük parçalara bölünüp ardından her bir parçaya ayrı olarak

odaklanılarak parça içindeki keskinlik artışının ölçülmesiyle hareketli hedef tespiti yapılmaktadır [3 ve 26].

Bu algoritma azimut hızlarına ve hedefin radyal ivmelenmesine duyarlıdır. Bir başka deyişle, algoritma hızın azimut bileşenine ve menzil doğrultusundaki ivmelenmeye duyarlıdır. Bu sayede herhangi bir yöndeki hareketi tespit edebilmektedir ve Doppler duyarlı geleneksel hareketli hedef göstergelerine yardımcı olarak kullanılabilir.

Bu algoritmanın uygulanması için karmaşık değerli bir YAR görüntüsü yeterlidir. Algoritmanın temelinde hedef hareketinin faz hatası üreterek görüntü üzerinde leke etkisi oluşturması gerçeği yer alır. Bu faz hataları otomatik odaklama algoritmasıyla tespit edilebilir. Hatalı alarmları önlemek için odaklanılan görüntü parçasının orijinal görüntü üzerindeki daha yüksek keskinlik değerine sahip olması yeterlidir.

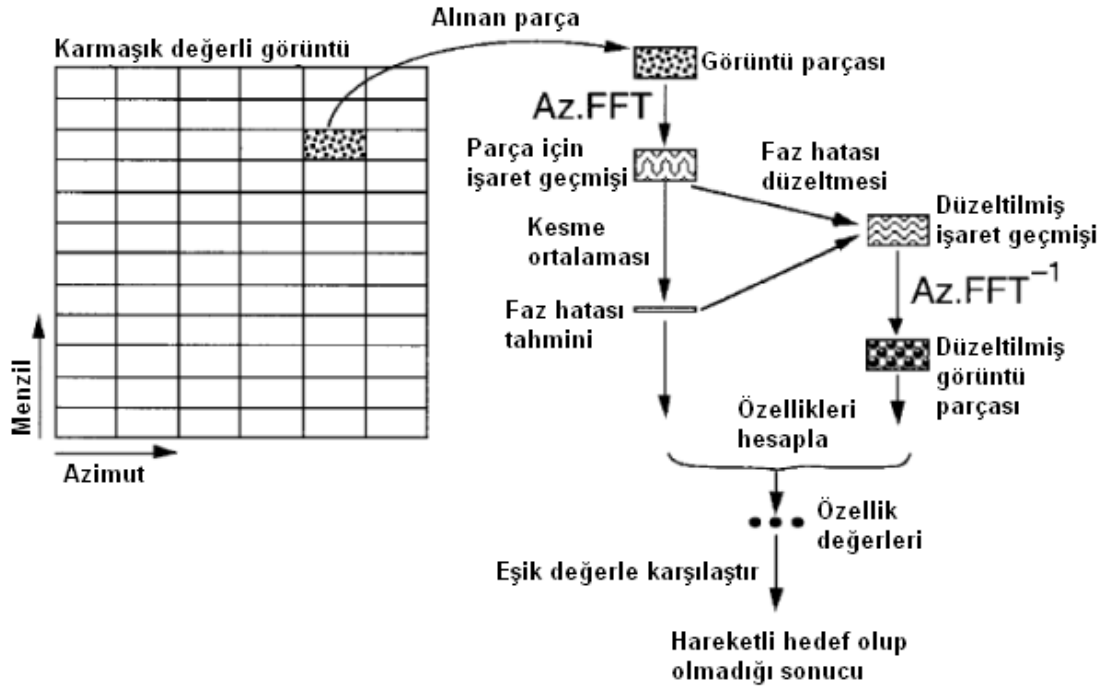
Kesme ortalaması algoritmasının kendisinden önceki çalışmalara göre üstünlükleri şöyle sıralanabilir:

- Odaklamadan sonra görüntü keskinliği ciddi miktarda arttığı için daha iyi sonuçlar elde edilir.
- Yapay faz hatası tahminlerinden kaynaklanan yanlış alarmlara karşı daha dayanıklıdır.
- Görüntünün parçalara bölünmesinden ve her parça üzerinde odaklama yapılmasından dolayı hareketli hedefin arka plan enerjisine oranı daha yüksek değerlerde elde edilir. Bu sayede daha düşük hedef hızları tespit edilebilir.

İşaret geçmişinin bütün olarak herhangi bir önemli faz hatası içermemesi, ancak hareketli hedefin bulanık görüntüsüne karşı gelen işaret geçmişi bileşeninin ölçülebilen bir faz hatasına sahip olması sebebiyle bu algoritma hareketli hedef tespitinde kullanılabilir. “Kesme ortalaması” adlı hızlı sonuç veren bir algoritmayla bu faz hataları tespit edilebilir ve böylece hareketli hedef varlığı belirlenebilir. Ayrıca bu algoritma görüntü içindeki hareketli hedefe odaklanma amaçlı kullanım için de uygundur.

Algoritmanın azimut yönündeki hız bileşenini hassas şekilde tespit etmesi, çok hızlı şekilde sonuç vermesi, yüksek dereceli faz hatalarını tespit edebilmesi ve hedef üzerinde önceden bilinen bir saçıcı yerleştirilmesine gerek duymaması

özelliklerinden dolayı kesme ortalaması algoritması azimut yönündeki hareketi tespit etmek için kullanılmaktadır.



Şekil 3.3 : Kesme ortalaması algoritmasıyla hareketli hedef tespiti.

Algoritmanın çalışmasını incelemek için $K \times L$ (azimut x menzil) piksel boyutunda bir görüntü olsun ve bu görüntü her biri $M \times N$ (azimut x menzil) pikselden oluşan alt parçalara bölünsün. Burada, hareketli hedefi tespit etmek için en uygun parça boyutu hareketli hedefin yaklaşık leke görüntüsü kadar olmalıdır. İncelenecek parçanın en uygun parça boyutundan daha büyük olması gereksiz arka fon oluşmasına, daha küçük olması ise hareketli hedefin sadece bir kısım leke görüntüsünü içermesine sebep olur. Dolayısıyla, farklı hedef hızlarının tespit edilmesi istendiğinde algoritma iki defa çalıştırılacaktır. İlkinde azimutta kısa parça uzunluğu kullanılarak kısa lekeler tespit edilirken, ikincisinde azimutta daha uzun parçalar kullanılarak daha uzun lekeler tespit edilebilir.

Parçalar oluşturulduktan sonra her parça için şu işlemler yapılır:

- Kompleks görüntü parçasında azimut yönünde Fourier işlemi yapılarak bu parça için menzil sıkıştırılmış işaret geçmişi elde edilir.
- Kesme ortalaması kullanılarak parça için faz hatası tahmini yapılır.

- Faz hatası tahmini büyüklüğü ölçülür ve bu değer belirli bir eşik değeri aşarsa incelenen parça içinde hareketli hedef bulunduğu anlaşılır. Faz hatası tahmini büyüklüğünün kabul edilebilir bir ölçüsü faz hatasının standart sapmasıdır.

Bu ifadeler matematiksel olarak gösterilirken normal işaret geçmişi $F(u,v)$ olsun. İdeal görüntü bunun ters Fourier dönüşümüyle elde edilen $f(x,y)$ olur.

$$G(u,v) = F(u,v) * \exp[i * \Phi_e(v)] \quad (3.1)$$

$\Phi_e(v)$: 1 boyutlu faz hatası

Spotlight görüntü işlemede kullanılan değişkenler ve bunlara karşı gelen anlamları şöyledir:

u: görüntünün frekans koordinatı

x: görüntünün menzil koordinatı

v: işaret geçmişindeki azimut koordinatı (veya azimuttaki darbe numarası)

y: görüntü uzayındaki azimut koordinatı

Kesme ortalaması algoritmasının formülasyonu [3] makalesinde gösterilmiştir. Bu algortmada ilk olarak kesme ortalama büyüklüğü olan $S(v)$ değeri hesaplanır:

$$S(v) = \sum_{u=1}^N G(u,v) G^*(u,v-a) \quad (3.2)$$

N: Frekanstaki örnek sayısı (veya menzil hücresi sayısı)

a: Sabit sayıdaki darbe veya azimut örneği sayısı (genellikle 1 alınır)

Bu ifade, azimutun “v” anındaki ifadesi için bütün menzil hücreleri boyunca işaret geçişini, ötelenmiş karmaşık konjugesi ile çarpıp toplamaya karşılık gelmektedir.

Bu ifade şu şekilde de gösterilebilir:

$$S(v) = |S(v)| * \exp[i * \theta(v)] = N \bar{I} \mu(0,a) \exp[i * \Phi_e(v) - i * \Phi_e(v-a)] \quad (3.3)$$

$\theta(v)$: $S(V)$ 'nin fazı

I_0 : Ortalama açıklık düzlemi yoğunluğu

μ : Korelasyon katsayısı, hedef veya görüntü yansıtma yoğunluğunun Fourier dönüşümünün orijinde bire normalize edilmiş hali

Bu ifadeden $S(v)$ ifadesi fazının, $\theta(v)$ 'nin, faz hatasının “ $(v - a)$.” örneği ile “ v .” örneği arasındaki faz hatası farkına yaklaşık eşit olduğu görülmektedir. $\mu(0,a)$ sabitinin sıfır olmayan fazı bulunabilir. Fakat bu sabit faz terimi faz hatası tahmininde önemsiz bir lineer terim oluşmasına sebep olur. Dolayısıyla faz hatası tahmini şu şekilde hesaplanabilir:

$$\dot{\Phi}_e(0) = 0, \quad \dot{\Phi}_e(v) = \dot{\Phi}_e(v - a) + \theta(v) = \dot{\Phi}_e(v) = \sum_{m=1}^{v/a} \theta(m a) \quad (3.4)$$

İşaret geçmişinin faz hatası düzeltilmiş halini elde etmek için şu işlem yapılır:

$$G_{\text{cor}}(u,v) = G(u,v) * \exp[-i \dot{\Phi}_e(v)] \quad (3.5)$$

Algoritma adımları şu şekilde gösterilebilir:

1. Bütün görüntü küçük alt görüntülere bölünür ve belirli boyutlarda bir görüntü parçası alınır ($g(u,y)$).
2. Parça içinde azimut FFT işlemiyle $G(u,v)$ hesaplanır.

$$G(u,v) = \text{FFT}_{\text{az}}(g(u,y)) \quad (3.6)$$

3. Kesme ortalama büyüklüğü olan $S(v)$ hesaplanır.

$$S(v) = |S(v)| * \exp[i * \theta(v)] \quad (3.7)$$

4. Azimut konumu içindeki faz hatası hesaplanır.

$$\dot{\Phi}_e(0) = 0, \quad \dot{\Phi}_e(v) = \dot{\Phi}_e(v - a) + \theta(v) \quad (3.8)$$

5. Faz düzeltmesi yapılır.

$$G_{\text{cor}}(u,v) = G(u,v) * \exp[-i * \dot{\Phi}_e(v)] \quad (3.9)$$

6. Düzeltilmiş ifadenin ters Fourier dönüşümü alınarak düzeltilmiş alt görüntü oluşturulur. Böylece bozulmuş görüntüden odaklanmış görüntü elde edilir.

$$g_{\text{cor}}(u,y) = \text{IFFT}[G_{\text{cor}}(u,v)] \quad (3.10)$$

7. Faz hatasının standart sapması hesaplanır.

$$f_1 = \Phi_{rms} = \sqrt{M^{-1} \sum_m \Phi^2(m) - \left(M^{-1} \sum_m \Phi(m) \right)^2} \quad (3.11)$$

8. Elde edilen standart sapma değeri belirli bir eşğin üzerindeyse hareketli hedef bulunmuştur.

9. Hareketli hedef bulunduktan sonra hedefin hız ve hareket yönü bilgileri önceden hazırlanan sistem modelinden faydalanılarak hesaplanır.

Verilen algoritma adımlarından 7. adıma kadarki ifadeler literatürde yer alan kesme ortalama algoritmasının standart adımlarıdır. Sonraki 8. ve 9. adımlar ise bu tez çalışmasında hareketli hedef tespiti için önerilen yeni yöntemin adımlarıdır.

(3.11) denkleminde $\Phi(m)$ ile gösterilen ifade m . ($m = 1 \dots M$) azimut örneğindeki görüntü parçası için faz hatası tahmininin lineer bileşeninin çıkartıldıktan sonraki faz hatası tahmini değeridir.

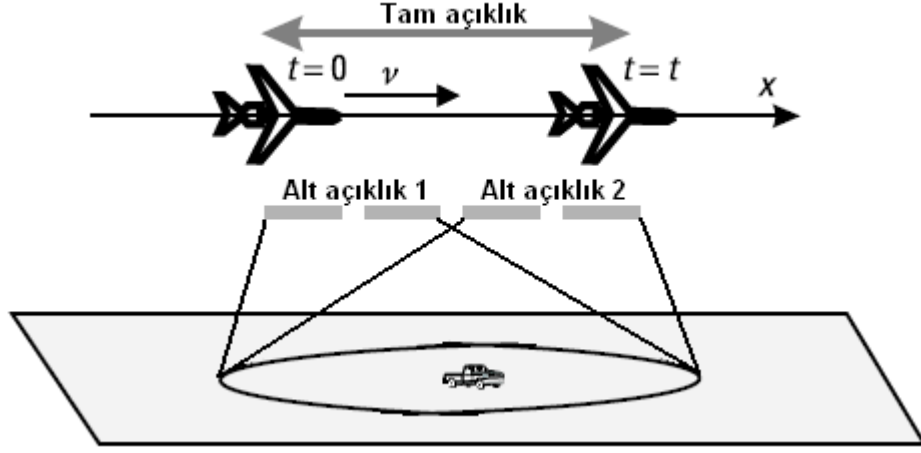
Algoritmanın 8. adımında hareketli hedefin varlığının tespiti için kullanılan eşik değeri bütün görüntü için sabit bir değer olarak hesaplanabileceği gibi her bir alt görüntü için yeniden de hesaplanabilir. Bu tez çalışmasında yapılan uygulamalarda doğruluğu arttırmak için her bir alt görüntü için yeni bir eşik değeri hesaplanmaktadır.

Algoritma çalıştırdıktan sonra, hareketli hedefi belirten maksimum genlikli noktanın orijinal görüntü ve faz düzeltilmiş görüntü içindeki yer değiştirmesinden yararlanılarak hedefin azimut doğrultusundaki hareket yönü ve hızı belirlenmektedir.

3.2.1.2 Alt açıklık algoritması

Alt açıklık algoritmasında (subaperture algorithm), 3.1 kısmında tartışılan hareketli hedefin görüntü içinde oluşturduğu etkilerden yararlanılarak hareketli hedef tespiti yapılmaktadır.

[27] çalışmasında açıklanan alt açıklık algoritmasında Spotlight görüntüleme modu kullanılmaktadır. Bu algoritmanın uygulamasında hedef tespit işlemleri ham veri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Alt açıklık algoritmasının çalışma biçimi temsili olarak Şekil 3.4'de gösterilmektedir.



Şekil 3.4 : Alt açıklık algoritmasının çalışması.

Spotlight görüntüleme moduyla yeryüzünün görüntülenmesi gerçekleştirilmektedir. “v” hızında hareket eden YAR platformundan “t = 0” anında yeryüzüne işaret gönderilir ve yansıyan işaretler kaydedilir. Platform hareketi boyunca bu şekilde veri toplanır ve “t = t” anında veri toplama işlemi sonlandırılır. Bu zaman aralığı içinde görüntülenen alanın çeşitli anlardaki bilgileri elde edilmiştir. Kaydedilen bütün bu veriler sayesinde hedef alanına ait ham veri oluşturulabilir.

Uygulamada kullanılan ham veri azimut yönünde iki eşit parçaya ayrılarak iki farklı yapay açıklıklı radar görüntüsü oluşturulur. Bu işlemle aynı gözlem alanının iki farklı zamanda görüntülenmesi durumu yaratılır. İlk görüntü, antenden alınan ilk yarı gözlem aralığında oluşturulan görüntüye karşılık gelir. İkinci görüntü ise antenin ikinci yarı gözlem aralığındaki verileri kullanılarak elde edilir. Bu sayede gözlem alanının iki farklı zaman dilimindeki görüntüsü oluşturulur.

Spotlight görüntüleme modunun aynı alanı incelemesi sebebiyle elde edilen bu iki görüntü aslında aynı bölgenin görüntüsüdür ve iki farklı zamandaki içeriğini göstermektedir.

Oluşturulan bu iki farklı görüntü yapay açıklıklı radar sisteminin parametreleri kullanılarak üst üste oturtulur. Bu görüntülerde sabit hedefler aynı konumlarda bulunurken, hareketli hedeflerin konumları aynı değildir. Bu üst üste oturtulmuş görüntülerin farkı alınarak gözlem alanı içindeki sabit hedefler yok edilir ve sadece hareketli hedefler görüntü içinde bırakılır. Hareketli hedefler bulunduktan sonra oluşturulan iki görüntü arasındaki yer değiştirme bilgisi kullanılarak hedefin menzil doğrultusundaki hareket yönü belirlenir ve hızı hesaplanır.

Alt açıklık algoritması adımları şu şekildedir:

1. Ham veri kullanılarak $t = 0$ ile $t = t / 2$ anı için ilk görüntü oluşturulur. Bu görüntü platformun oluşturduğu bütün açıklığın ilk yarısını içermektedir.
2. Ham veri kullanılarak $t = t / 2$ anından görüntüleme anının sonuna kadarki ikinci görüntü oluşturulur. Bu görüntü platformun oluşturduğu bütün açıklığın ikinci yarısını içermektedir.
3. Her iki görüntü içindeki bütün hedeflerin koordinatları tespit edilir.
4. YAR sisteminin parametreleri ve tespit edilen hedef koordinatlarından faydalanılarak her iki görüntü arasındaki kayma miktarı hesaplanır.
5. Hesaplanan bu kayma miktarı kullanılarak görüntüler üst üste bindirilir.
6. Üst üste bindirilen görüntülerin farkı alındığında sabit hedefler kaybolur ve sadece hareketli hedefler elde edilir.
7. İlk iki adımda elde edilen görüntüler içindeki hedef koordinat bilgileri ve YAR sistemi parametreleri kullanılarak tespit edilen hareketli hedefin hareket bilgileri hesaplanır.

3.2.2 Yöntem II

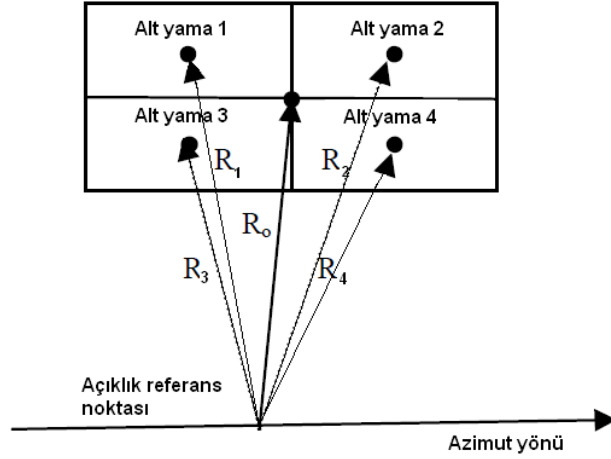
Alt yama yöntemi (sub-patch algorithm) literatürde YAR görüntü kalitesini iyileştirmek ve incelenen alanın daha net görüntüsünü elde etmek için kullanılmaktadır. Bu tez çalışmasında hareketli hedefleri tespit etmek için alt yama yönteminin kullanılabileceği gösterilmiştir. Hareketli hedefleri tespit edebilmek için önerilen ikinci yöntemde alt yama algoritması tek başına kullanılarak incelenen görüntü içinde hareketli hedef olup olmadığı bilgisi elde edilebilmektedir. Bu algoritmanın çalışması aşağıdaki kısımda detaylı olarak anlatılmaktadır.

3.2.2.1 Alt yama algoritması

Bu yöntem ile hem menzil hem de azimut yönlerinde hareket eden hedefler başarılı bir şekilde tespit edilebilmektedir. Algoritma kullanılarak ana görüntüden belirli sayıda alt yama görüntüsü elde edilmektedir. Bu alt yama görüntüleri sayesinde sistemdeki hareketli hedeflerin tespit edilme başarımı artırılmaktadır [28].

Alt yama işleme yöntemi esas olarak görüntü odaklamasında kullanılmaktadır. Bu tez çalışmasında, alt yama yönteminin odaklama işlemine ilave olarak hareketli

hedeflerin tespit edilmesinde de kullanılabileceği gösterilmiştir. Ana görüntü Şekil 3.5’de gösterildiği biçimde daha küçük alt yama görüntülerine bölünür. Her bir alt yama görüntüsünün merkezi belirlenir ve işaretin bu noktaya olan gidip gelme zamanı hesaplanır.



Şekil 3.5 : Alt yama algoritmasının çalışması.

Bu işlemden sonra ana görüntü merkezi için elde edilen ara frekans işareti ile hesaplanan gidip gelme gecikme zamanı kullanılarak oluşturulan referans işareti karıştırılarak her bir alt yama için demodülasyonlu işaret elde edilir. Bu işlem ile yeni bir koordinat noktası için bütün görüntünün yeni bir alt yaması oluşturulur. Bu işlem Şekil 3.5’de gösterilen alt yama görüntü merkezleri kullanılarak tekrarlanır. Sonuçta belirli sayıda farklı merkez koordinatları için ana görüntünün belirli sayıda farklı alt yama görüntüsü oluşturulur. Elde edilen bu alt yama görüntüleri aynı alana farklı açılardan bakılıyormuş gibi değerlendirilebilir ve bu görüntüler içindeki farklar incelenerek bölge içinde hareketli hedef olup olmadığı tespit edilmektedir.

Hareketli hedef tespit algoritmasında aşağıdaki adımlar takip edilmektedir:

1. Ana görüntü Şekil 3.5’de gösterildiği gibi belirli sayıda alt yama görüntüsüne bölünür.
2. Her bir alt yama görüntüsünün merkezi bulunur ve buna karşılık gelen işaretin gidip gelme gecikmesi hesaplanır.
3. Ana görüntü merkezi için elde edilen ara frekans işareti ve hesaplanan gidip gelme gecikme zamanı kullanılarak oluşturulan referans işareti karıştırılarak her bir alt yama için demodülasyonlu işaret hesaplanır.

4. Elde edilen görüntüler içindeki hem hareketli hem de sabit bütün hedefler tespit edilir.
5. Bu görüntüler içindeki hedeflerin yer değiştirme miktarı hesaplanır.
6. Bir önceki adımda hesaplanan yer değiştirme miktarı kullanılarak elde edilen görüntüler üst üste bindirilir.
7. Üst üste bindirilmiş görüntülerin farkı hesaplanarak görüntü içindeki hareketli hedefler bulunur.

Alt yama merkezi ve ana görüntü merkezi arasındaki farktan dolayı oluşturulan bütün görüntülerin içindeki sabit ve hareketli hedefler bir miktar ötelenmiştir. Her bir alt yama görüntüsündeki sabit hedeflerin ötelenme miktarları aynıdır. Öte yandan, incelenen alt yama görüntüsüne bağlı olarak hareketli hedefin yer değiştirme miktarı sabit değildir. Hareketli hedefler farklı alt yama görüntülerinde farklı miktarlarda ötelenmektedir. Bu bilgi değerlendirilerek görüntü içinde hareketli hedef bulunduğu kolayca tespit edilebilmektedir.

Alt yama algoritmasıyla hareketli hedefin varlığı tespit edilebilirken hız ve hareket yönü bilgilerinin elde edilmesiyle ilgili analizler yapılabilir. Belirli hedef dinamikleri durumunda alt yama sayısının optimizasyonu problemi incelenerek daha az sayıda alt yama görüntüsü kullanılarak incelenen görüntüdeki hedeflerin daha hızlı tespit edilebilmesi durumu araştırılabilir.

4. ÖNERİLEN YENİ YÖNTEMLERİN TEST EDİLMESİ

YAR görüntüleri içindeki hareketli hedefleri tespit edebilmek için önerilen iki yeni yöntem 3. bölümde incelenmiştir. Bu bölümde ise önerilen bu yeni yöntemlerin benzetim sisteminde test edilmesi incelenmektedir. Bu amaçla ilk önce testlerin yapılacağı benzetim sistemi tanımlanıp ardından belirli özellikteki YAR görüntüleri içinde hareketli hedef olup olmadığı, eğer hareketli hedef varsa bu hedefin hareket hız, hareket yönü gibi bazı hareket parametrelerinin hesaplanması incelenmektedir. Bu incelemeler bilgisayar ortamında ve Matlab programı kullanılarak yapılmaktadır.

4.1 Görüntüleme Sistem Modeli

Bu tez çalışmasında Çizelge 4.1'de belirtilen YAR sistemi parametrelerinden faydalanılarak benzetim sistemi oluşturulmaktadır ve önerilen yöntemler için farklı görüntüler elde edilmektedir. Oluşturulan bu görüntüler içerisine sabit hedefler ve kontrollü olarak hareket ettirilebilen hareketli hedefler yerleştirilmiştir. Bu hedefler ilk aşamada sabit veya hareketli hedef olarak sınıflandırılıp, ardından belirlenen hareketli hedeflerin hareket parametrelerinin hesaplanması incelenmektedir.

YAR görüntüsü boyutu 512 x 512 piksel ve bu görüntünün belirttiği yeryüzü alanı 200 x 200 metre olduğu için, oluşturulan YAR görüntüsündeki her bir 1 x 1 piksellik alan yaklaşık olarak 0,39 x 0,39 metrelik bir alanı göstermektedir. Azimut çözünürlüğü (2.8) denkleminde ve menzil çözünürlüğü (2.10) denkleminde hesaplanmıştır.

Önerilen yeni yöntemleri test etmek için spotlight modunda oluşturulmuş tek kanallı yapay açıklıklı radar verisi kullanılmaktadır. Spotlight modunun sağladığı yüksek çözünürlüklü görüntüler kullanılarak hedef tespit etme işlemlerindeki doğruluk artırılmıştır. Ayrıca Yöntem I'de menzil yönündeki hareketli hedeflerin tespit edilmesi için kullanılan alt açıklık algoritmasının yapısı Spotlight modu ile elde edilen görüntülerle kullanım için diğer modlara göre daha uygundur.

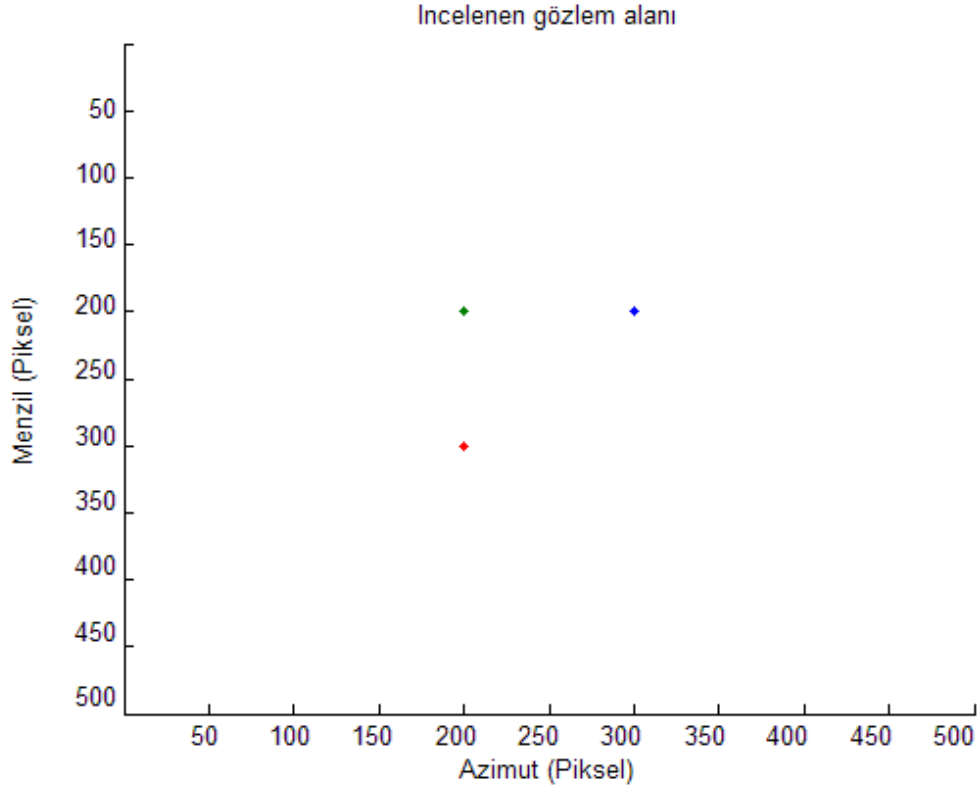
Çizelge 4.1 : YAR benzetim sistemi parametreleri.

Merkez frekans	10 GHz
Darbe süresi	1 μ s
Radar PRF	200 Hz
Örnekleme frekansı	180 MHz
Chirp oranı	1.5×10^{14}
Platform hızı	200 m/s
Eğim menzil alan merkezi	10 km
Menzil çözünürlüğü	0,3 m
Azimut çözünürlüğü	0,3 m
Eğim açısı	0°
Gözlem alanı boyutu	200 m x 200 m
YAR görüntüsü boyutu	512 x 512 piksel
Alt açıklık sayısı	2
Alt yama sayısı	4
Alt açıklık boyutu (Azimut x Menzil)	256 x 512 piksel
Alt görüntü boyutu (Azimut x Menzil)	128 x 16 piksel
Hareketli hedef hızı	0,39 m/s – 15,6 m/s

Önerilen yöntemlerle hareketli hedef tespit etme işlemlerine başlamadan önce görüntüde iyi derecede yığın bastırması gerçekleştirilerek görüntü içindeki olası hedefler belirginleştirilmektedir ve yöntemlerin hedef tespit etme başarıları arttırılmaktadır. Tespit edilmeye çalışılan hareketli hedefler üzerinde önceden bilinen herhangi bir saçıcı bulunmamaktadır ve bu hedefler sadece menzil, sadece azimut veya herhangi bir yönde hareket edebilirler. Yöntemlerin daha iyi açıklanabilmesi için incelenen örneklerde hedefler sadece tek doğrultuda hareket ettirilerek yöntemlerin başarısı değerlendirilmektedir.

4.2 Yöntem I İncelemesi

Bölüm 3.2.1’de detayları açıklanan Yöntem I için yapılan benzetim çalışmalarında kullanılan gözlem alanı Şekil 4.1’de gösterilmektedir. Bu gözlem alanı içinde toplam üç tane hedef bulunmaktadır. Bu hedeflerin soldaki iki tanesi sabittir ve testler sırasında sadece sağ taraftaki hedef hareket ettirilmektedir. Hareket ettirilen bu hedefin azimut ve menzil yönlerindeki hareketi aşağıdaki kısımlarda ayrı ayrı ele alınmaktadır.



Şekil 4.1 : Yöntem I' de incelenen gözlem alanı.

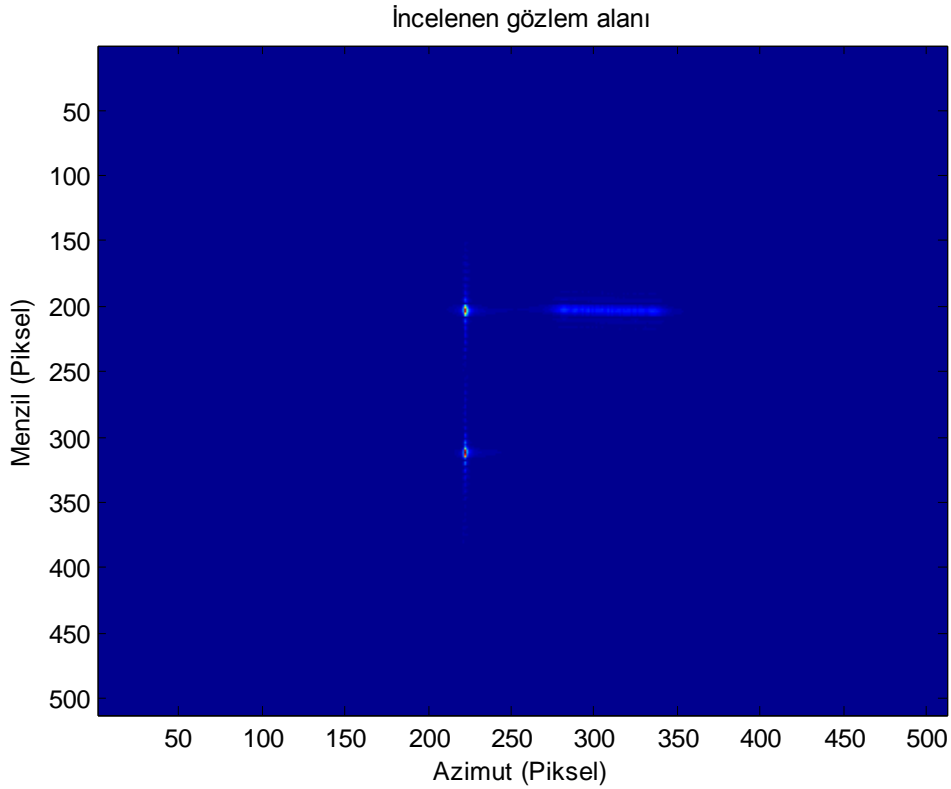
4.2.1 Azimut doğrultusundaki hareketin incelenmesi

Azimut doğrultusunda hareket eden hedeflerin tespit edilmesi işlemi 3.2.1.1 kısmında açıklanan kesme ortalaması algoritmasıyla yapılmaktadır. Sadece azimut doğrultusunda 3,9m/s hızla hareket eden bir hedefin YAR görüntüsü üzerinde oluşturduğu etki Şekil 4.2'de gösterilmiştir.

Bu görüntü 128 x 16 (azimut x menzil) boyutlarındaki alt görüntülere bölünerek her bir alt görüntü içinde kesme ortalaması algoritması kullanılarak görüntü düzeltilmesi ve ardından hedef tespit işlemleri yapılmaktadır. Şekil 4.3'te hareketli hedefin YAR görüntüsü üzerinde oluşturduğu bozulmanın kesme ortalaması algoritmasıyla düzeltilmesi sonucu elde edilen yeni görüntü görülmektedir.

Orijinal görüntü ile düzeltilmiş görüntü arasındaki farklar incelendiğinde sabit hedeflerin her iki görüntü içindeki konumunu koruduğu, ancak hareketli hedefin oluşturduğu bozulma etkisinin düzeltilmiş görüntüde azaldığı görülmektedir. Bu iki görüntüde hareketin oluşturduğu lekeli alan içindeki maksimum değerlikli noktaların değişimi incelenerek hareketli hedefin yeri tespit edilir. Ayrıca bu maksimum değerlikli noktanın orijinal ve düzeltilmiş görüntü arasındaki değişimi incelenerek

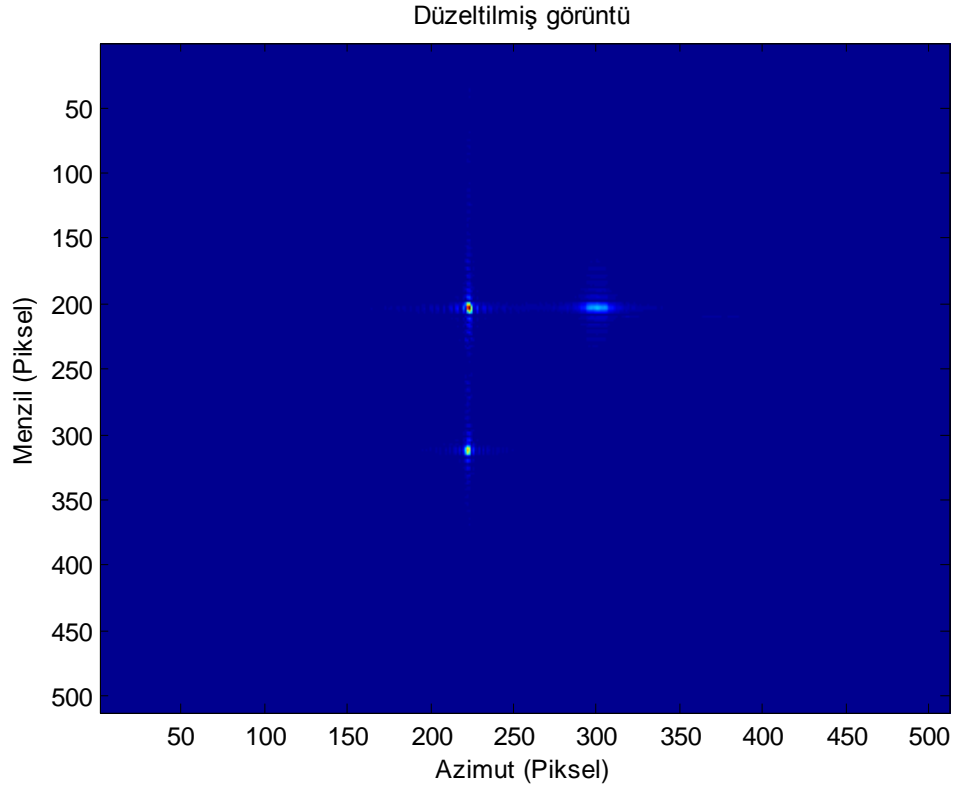
hedef yerine ilave olarak hedefin hızı ve hareket doğrultusu hakkında da bilgi edinilebilir.



Şekil 4.2 : Sadece azimut doğrultusunda 3,9m/s hızla hareket eden hedefin YAR gözlem alanında oluşturduğu etki.

Benzetim sistemi içinde hareketli hedefin çeşitli hız değerleri test edilerek bir sistem modeli oluşturulmuştur. Bu modelde hareketli hedefin orijinal görüntü ile kesme ortalaması algoritmasıyla düzeltilmiş görüntüsü içindeki konum değişimi miktarıyla hedefin gerçek hızı arasındaki ilişki tespit edilmiştir. Oluşturulan bu model Şekil 4.4'te gösterilmektedir. Bu sistem modeli yardımıyla, incelenen bir YAR görüntüsü içinde tespit edilen hareketli hedefin hızı kestirilebilmektedir.

Benzetim modelinden açıkça görülebildiği üzere hedefin gerçek hızıyla kesme ortalaması algoritmasıyla tespit edilen piksel yer değiştirme miktarı arasında neredeyse doğrusal bir ilişki vardır. Bu uygulamada kullanılan YAR benzetim sistemi parametreleri için bu ilişki (4.1) denklemiyle yaklaşık olarak ifade edilebilir. Başka uygulamalarda başka YAR benzetim sistemi parametreleri kullanılarak bir benzetim sistemi modeli oluşturulabilir ve ardından benzer bir ilişki denklemi üretilir. Bu denklem kullanılarak tespit edilen hareketli hedefin hızı hesaplanabilir.



Şekil 4.3 : Azimut doğrultusunda 3,9m/s hızla hareket eden hedefin YAR gözlem alanında oluşturduğu bozulmanın kesme ortalaması algoritmasıyla düzeltilmesi sonucu elde edilen yeni görüntü.

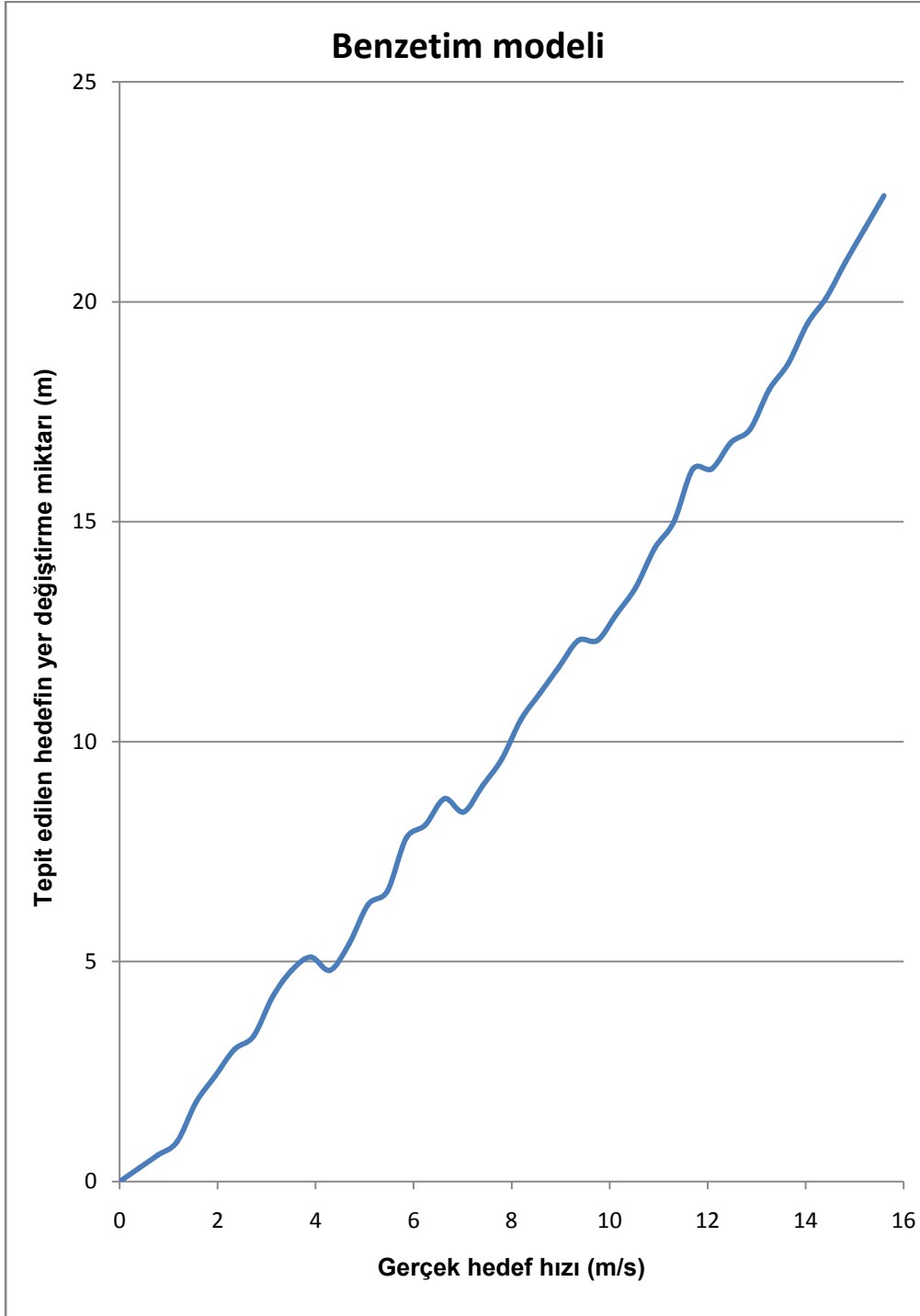
$$\text{Hesaplanan hız} = \frac{\text{Hareketli hedefin yer değiştirme miktarı} + 0,5417}{1,3783} \quad (4.1)$$

Hareketli hedefin gerçek hızı ile kesme ortalaması algoritması sonucunda tespit edilen hızı arasındaki ilişki Çizelge 4.2’de gösterilmiştir. Bu çizelge yorumlandığında hesaplanan hız değeriyle gerçek hız değeri arasındaki farkın yaklaşık olarak %10’luk bir hata aralığı içinde kaldığı sonucu çıkartılmaktadır.

Kesme ortalaması algoritması kullanılarak tespit edilebilecek en yüksek ve en düşük hedef hızları, uygulamada kullanılan YAR sistemi parametrelerine bağlıdır. 3.1 kısmında azimut doğrultusunda hareket eden hedefin hızından dolayı görüntü içinde azimut doğrultusunda bir leke oluştuğu anlatılmıştır ve ardından bu leke kullanılarak hareketli hedef tespiti yapılabileceği gösterilmiştir.

Görüntü içinde oluşan bu leke, kullanılan YAR sisteminin parametrelerine bağlı olarak görüntü içinde kalabilir veya görüntü dışına taşabilir. Hız tespiti için kullanılan bu leke görüntü dışına taşıdığı andan itibaren hedefin hızı artık doğru biçimde tespit edilemez. Dolayısıyla tespit edilebilecek hedef hızının üst değeri bu

şekilde belirlenebilir. Uygulamada kullanılan YAR sistemi parametreleriyle tespit edilebilecek en yüksek hedef hızı değerinin 15,6 m/s olabileceği görülmüştür. Bu hız değeri için elde edilen görüntü Şekil 4.5'te gösterilmektedir.



Şekil 4.4 : Azimut doğrultusunda hareket eden hedefin hızının tespitinde kullanılan sistem modeli.

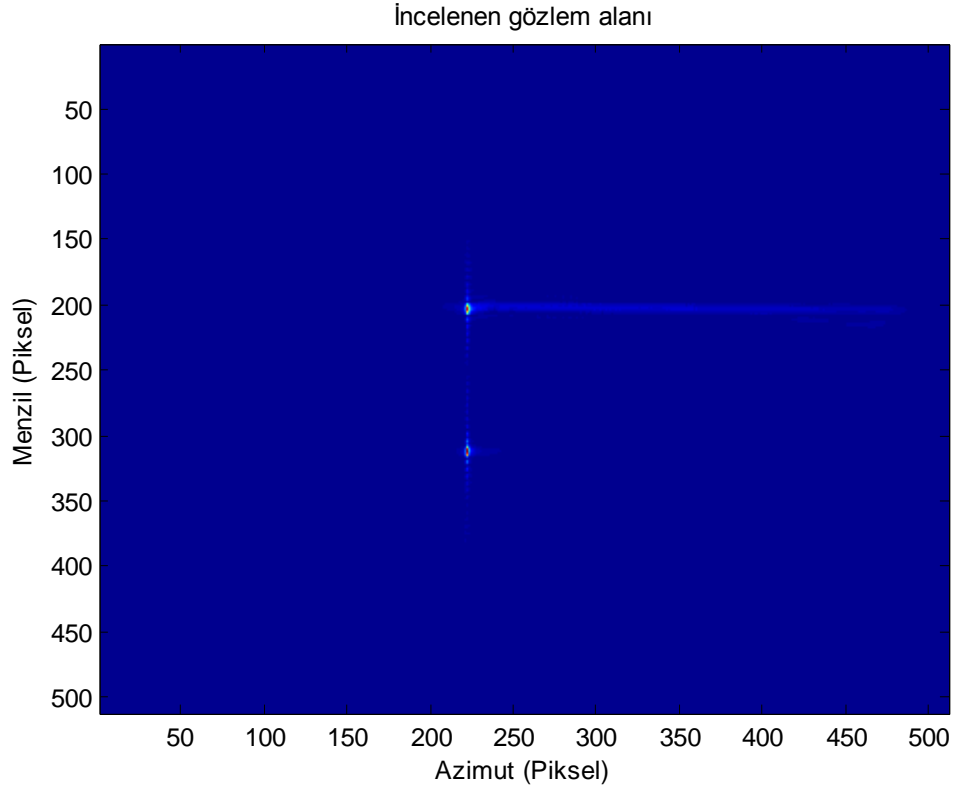
Çizelge 4.2 : Tespit edilen hareketli hedefin gerçek hızı ile kesme ortalaması algoritması sonucunda hesaplanan hızı arasındaki ilişki.

Gerçek hız (m/s)	Hesaplanan hız (m/s)	Doğruluk %	Gerçek hız (m/s)	Hesaplanan hız (m/s)	Doğruluk %
0	0,495390071	-	8,19	8,011100631	97,81517919
0,39	0,610679823	156,5855564	8,58	8,446419502	98,44265291
0,78	0,828339259	106,1976783	8,97	8,881738373	99,01556365
1,17	1,045998694	89,40171893	9,36	9,317057244	99,54073183
1,56	1,698977001	108,9086394	9,75	9,317057244	95,55910256
1,95	2,134295872	109,4508316	10,14	9,752376116	96,17681404
2,34	2,569614743	109,812293	10,53	10,18769499	96,74876907
2,73	2,787274178	102,0976512	10,92	10,84067329	99,27307736
3,12	3,440252485	110,2641199	11,31	11,27599216	99,69881952
3,51	3,875571356	110,4147288	11,7	12,14662991	103,8168322
3,9	4,093230792	104,954236	12,09	12,14662991	100,4679022
4,29	3,875571356	90,33932358	12,48	12,58194878	100,8163927
4,68	4,310890227	92,11268	12,87	12,79960821	99,45255661
5,07	4,963868534	97,90627385	13,26	13,45258652	101,4518755
5,46	5,181527969	94,89938293	13,65	13,88790539	101,742382
5,85	6,052165711	103,4553707	14,04	14,5408837	103,5670214
6,24	6,269825147	100,4775226	14,43	14,97620257	103,7846586
6,63	6,705144018	101,1329389	14,82	15,56388304	105,0194537
7,02	6,487484582	92,41389789	15,21	16,10803163	105,9042185
7,41	6,922803454	93,42472432	15,6	16,65218022	106,744745
7,8	7,358122325	94,33446815			

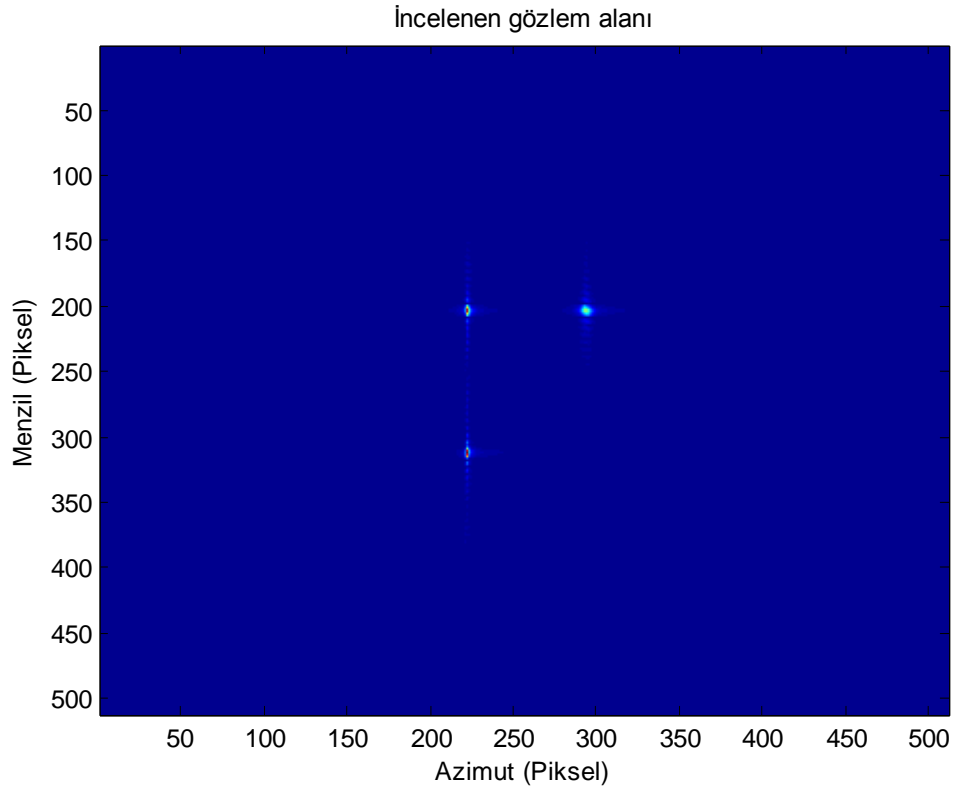
Benzer şekilde, hareketli hedefin görüntü içinde oluşturduğu lekenin tespit edilebildiği en düşük hız değeri bu YAR sistemi içinde tespit edilebilecek en düşük hedef hızı değerini belirtir. Yapılan gözlemlerde hedef en az 0,39m/s hızla giderken görüntü içinde bir leke oluşturmakta ve oluşan bu leke kullanılarak hareketli hedefin varlığının tespit edilebilirliği sonucuna ulaşılmıştır. Şekil 4.6'da uygulamada kullanılan YAR sistemi parametreleriyle tespit edilebilen en düşük hedef hızı olan 0,39m/s ile hareket eden bir hedef gösterilmektedir.

4.2.2 Menzil doğrultusundaki hareketin incelenmesi

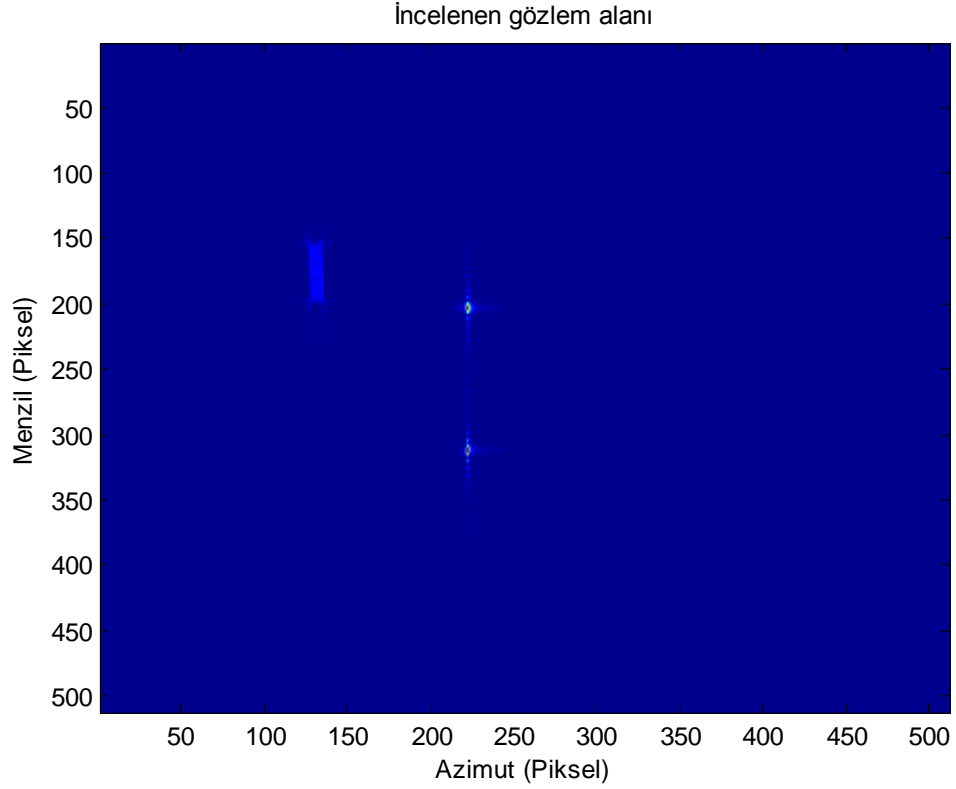
Yöntem I ile menzil doğrultusunda hareket eden hedeflerin tespit edilmesi işlemi 3.2.1.2 kısmında açıklanan alt açıklık algoritmasıyla yapılmaktadır. Sadece menzil doğrultusunda 3.9m/s hızla hareket eden bir hedefin YAR görüntüsü üzerinde oluşturduğu etki Şekil 4.7'de gösterilmiştir.



Şekil 4.5 : Sadece azimut doğrultusunda 15,6m/s hızla hareket eden hedefin YAR gözlem alanında oluşturduğu etki.



Şekil 4.6 : Sadece azimut doğrultusunda 0,39m/s hızla hareket eden hedefin YAR gözlem alanında oluşturduğu etki.



Şekil 4.7 : Sadece menzil doğrultusunda 3.9m/s hızla hareket eden hedefin YAR gözlem alanında oluşturduğu etki.

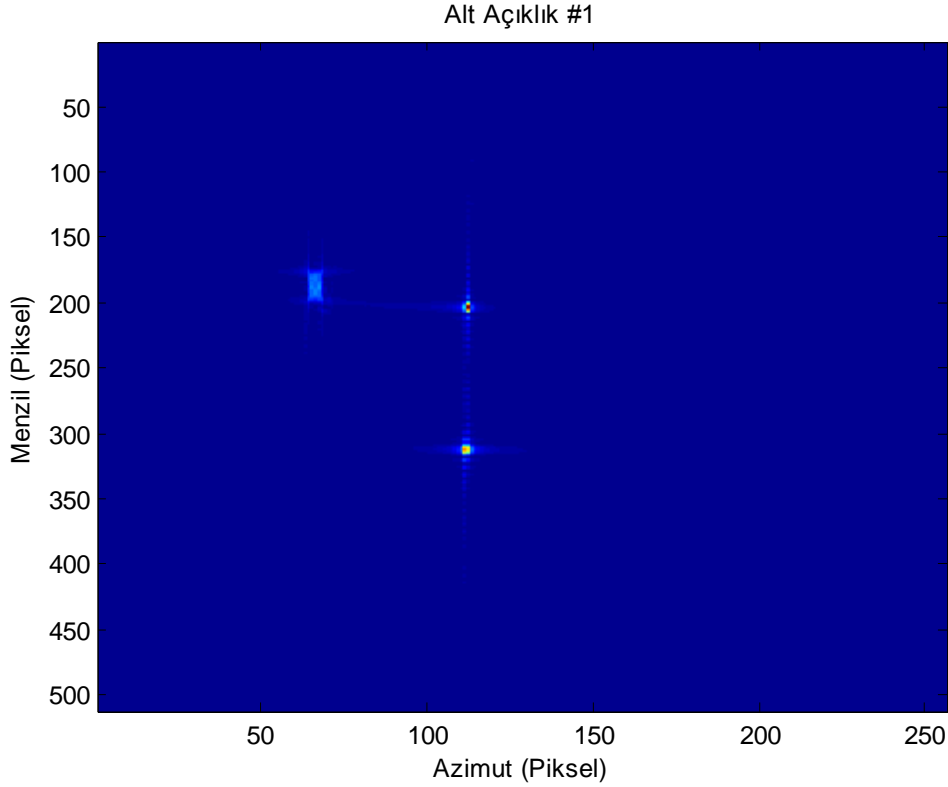
Şekilde oluşan etki, 3.1 kısmında açıklanan hareketli hedefin yapay açıklık görüntüsü üzerinde oluşturduğu etkiyle paralellik göstermektedir. Sadece menzil yönünde hareket eden hedef azimut yönünde ötelenmiştir ve hedef hem azimut hem de menzil yönlerinde bulanık olarak görülmektedir.

Hareketli hedef tespiti işlemi yapmak üzere, kaydedilen radar verileri kullanılarak alt açıklık yöntemiyle azimut doğrultusunda iki tane alt açıklık görüntüsü oluşturulmaktadır. Bu görüntüler hedef gözlem alanının azimutta iki eşit parçaya bölünmesiyle elde edilmektedir. Oluşturulan bu görüntüler Şekil 4.8 ve Şekil 4.9’da gösterilmektedir.

Elde edilen bu iki görüntü incelendiğinde sağ tarafta görünen sabit hedeflerin konumlarının değişmediği, sadece hareketli hedefin bu iki alt açıklık içinde menzil yönünde bir miktar yer değiştirdiği görülmektedir. Referans olarak sabit hedefler kullanılarak iki alt açıklık görüntüsü üst üste bindirilip, ardından bu iki görüntünün farkı alındığı zaman yer değiştirme miktarı rahatlıkla görülmektedir.

YAR benzetim sistemi kullanılarak çeşitli hareketli hedef hızları için denemeler yapılmıştır. Bu deneme sonuçları Çizelge 4.3’de gösterilmektedir. Bu çizelgede iki

alt açıklık görüntüsü üst üste bindirildiği zaman sabit hedeflerin ve hareketli hedefin koordinatlarının yer değiştirme miktarları gösterilmiştir. Bu çizelgeden görülebileceği üzere sabit hedefler oldukları konumu korumuşlardır ve menzil yönünde hareket eden hedef azimut doğrultusunda yer değiştirmektedir.



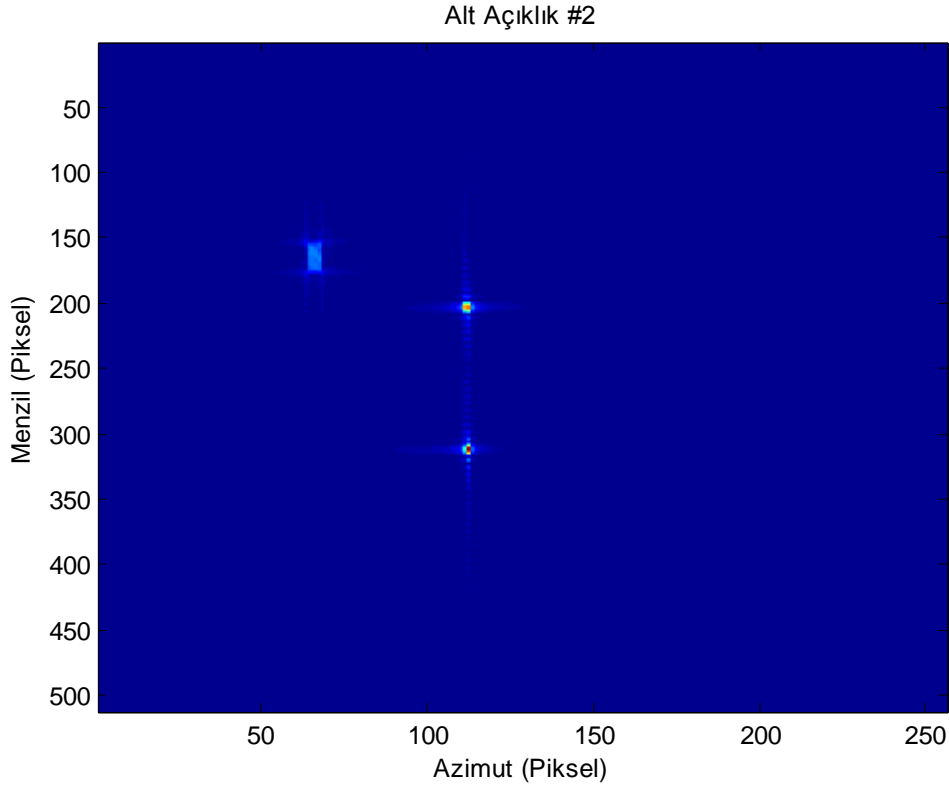
Şekil 4.8 : Alt açıklık yöntemiyle elde edilen birinci alt açıklık görüntüsü.

Hareket eden hedefin yer değiştirme miktarı sabit hedeflerden kolaylıkla ayırt edilebildiği için görüntü içinde tespit edilen bir hedefin sabit veya hareketli hedef olduğu kolaylıkla anlaşılabilir. Çizelgenin ilk satırlarındaki negatif hız değerleri hareketli hedefin menzil doğrultusuna ters yönde hareket ettiğini belirtmektedir.

Bu çizelgeden elde edilen veriler kullanılarak menzil doğrultusunda hareket eden hedefin hızı ile azimut doğrultusunda yer değiştirme miktarı arasındaki ilişki grafik olarak gösterilebilir. Bu ilişki Şekil 4.10'da gösterilmektedir. Bu şekilden hareketli hedefin hızıyla ilgili tahmini bir sonuç elde edilebilmektedir. Fakat hedef hızının daha doğru olarak hesaplanması konusunda detaylı çalışmalar yapmak gereklidir.

Alt açıklık algoritması kullanılarak tespit edilebilecek en yüksek ve en düşük hedef hızları, uygulamada kullanılan YAR sistemi parametrelerine bağlıdır. 3.1 kısmında

menzil doğrultusunda hareket eden hedefin hızından dolayı hedefin görüntü içinde azimut doğrultusunda olması gerekenden farklı bir yere öteleneceği ve hem azimut hem de menzil doğrultularında bir leke oluşturduğu gösterilmiştir. Bu tezde kullanılan uygulamada alt açıklık yöntemi ile iki adet alt açıklık görüntüsü elde edilmektedir ve bu iki görüntü üst üste bindirilerek hareketli hedef tespit işlemi gerçekleştirilmektedir.



Şekil 4.9 : Alt açıklık yöntemiyle elde edilen ikinci alt açıklık görüntüsü.

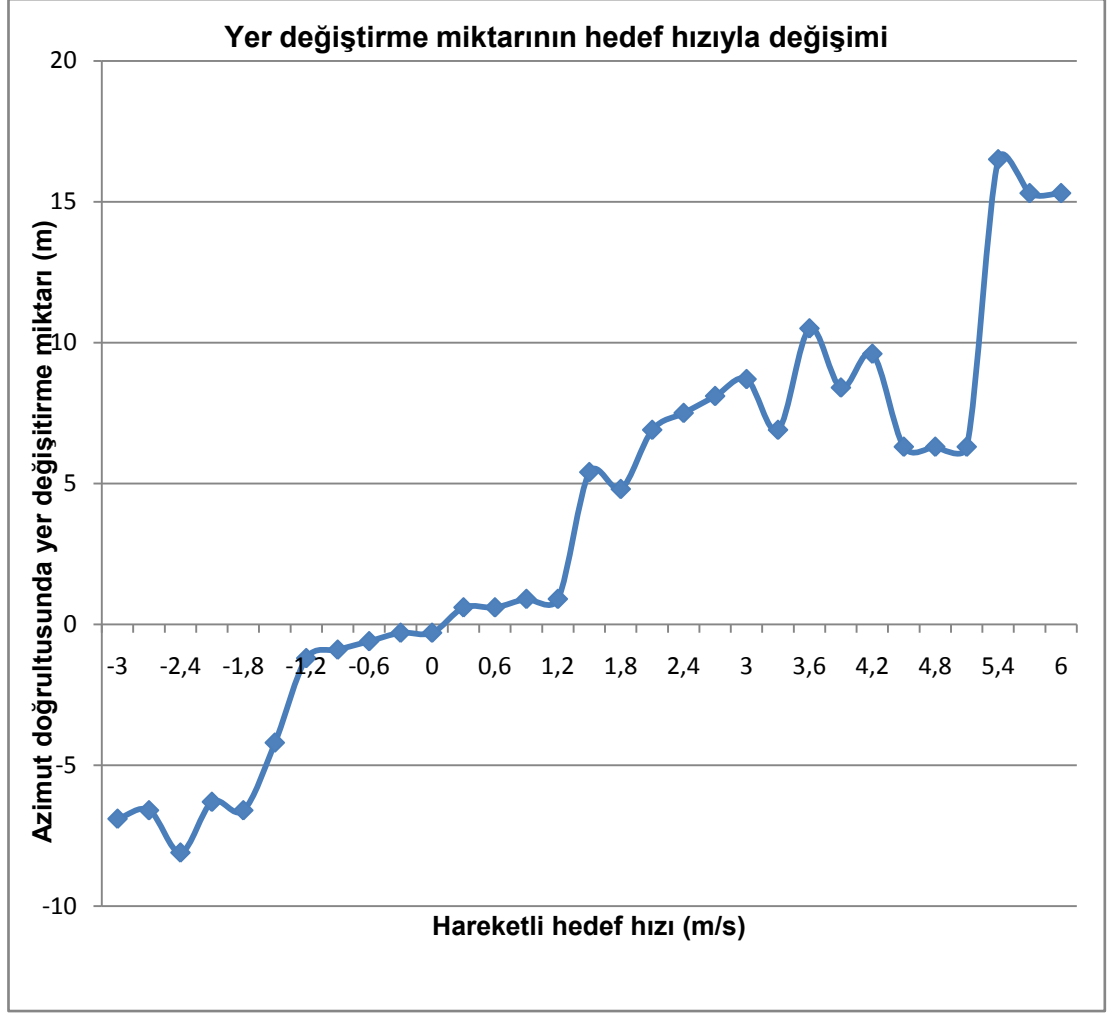
Uygulamada kullanılan YAR sistemi parametreleriyle tespit edilebilecek hedef hızının en fazla 15,6m/s olabileceği gözlenmiştir. Bu hız değerine kadarki hızlara sahip olan hedeflerin görüntü içinde oluşturduğu ötelenme ve leke etkisi kullanılarak hedef tespiti yapılabilmektedir. Ancak bu hız değerinden daha yüksek hızlarda hareket eden hedeflerin oluşturduğu bu etki kullanılarak doğru bir şekilde hedef tespiti yapılamamaktadır. Menzil doğrultusunda 15,6m/s hızla hareket eden bir hedef için elde edilen görüntü Şekil 4.11’de gösterilmektedir.

Üst üste bindirilen alt açıklık görüntülerinde hedefin yer değiştirmesinin hesaplanabileceği en düşük yer değiştirme miktarı hareketli hedefin tespit edilebilecek hız değerinin en düşük olduğu değeri belirtir. Uygulamada kullanılan YAR sistemi parametreleriyle tespit edilebilecek en düşük hedef hızı değerinin

1,56m/s olabileceği görülmüştür. Bu hız değeri için elde edilen görüntü Şekil 4.12’de gösterilmektedir.

Çizelge 4.3 : Menzil doğrultusunda hareket eden hedefin ve sabit hedeflerin azimut ve menzil doğrultularında yer değiştirme miktarları.

Hız (m/s)	Hedeflerin yer değiştirme miktarları (m)					
	Sabit hedef 1		Sabit hedef 2		Hareketli hedef	
	Menzil	Azimut	Menzil	Azimut	Menzil	Azimut
-3	0	0	0	0	-6,9	0
-2,7	0	0	0	0	-6,6	0
-2,4	0	0	0	0	-8,1	-0,3
-2,1	0	0	0	0	-6,3	0
-1,8	0	0	0	0	-6,6	0
-1,5	0	0	0	0	-4,2	0
-1,2	0	0	0	0	-1,2	0
-0,9	0	0	0	0	-0,9	0
-0,6	0	0	0	0	-0,6	0
-0,3	0	0	0	0	-0,3	0
0	-0,3	0	0,3	-0,3	-0,3	0
0,3	-0,3	0	0,3	-0,3	0,6	0
0,6	-0,3	0	0,3	-0,3	0,6	0,3
0,9	-0,3	0	0,3	-0,3	0,9	0,3
1,2	-0,3	0	0,3	-0,3	0,9	0,3
1,5	-0,3	1	0,3	-0,3	5,4	0
1,8	-0,3	0	0,3	-0,3	4,8	-0,3
2,1	-0,3	0	0,3	-0,3	6,9	0
2,4	-0,3	0	0,3	-0,3	7,5	0
2,7	-0,3	0	0,3	-0,3	8,1	0
3	-0,3	0	0,3	-0,3	8,7	0,6
3,3	0	0	0	0	6,9	0
3,6	0	0	0	0	10,5	0
3,9	0	0	0	0	8,4	-0,3
4,2	0	0	0	0	9,6	0
4,5	0	0	0	0	6,3	-0,9
4,8	0	0	0	0	6,3	-0,9
5,1	0	0	0	0	6,3	-0,9
5,4	0	0	0	0	16,5	-0,6
5,7	0	0	0	0	15,3	0
6	0	0	0	0	15,3	0



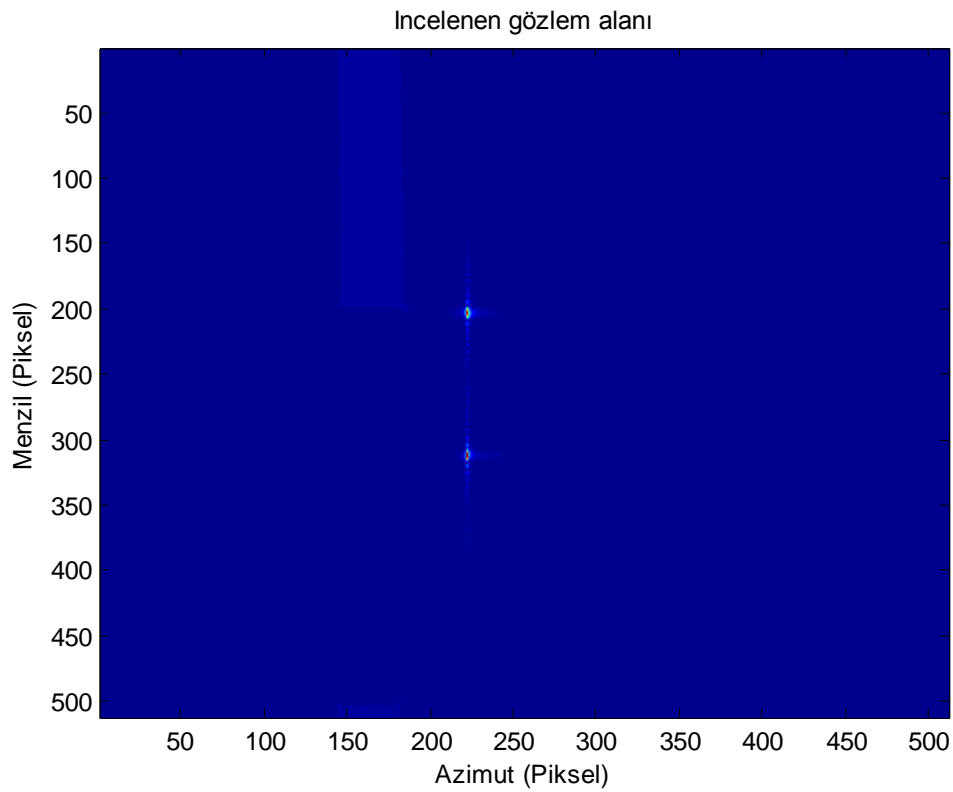
şekil 4.10 : Menzil doğrultusunda hareket eden hedefin azimut doğrultusunda yer değiştirme miktarının hedef hızına bağlı olarak değişimi.

4.2.3 Yöntem I sonuçları

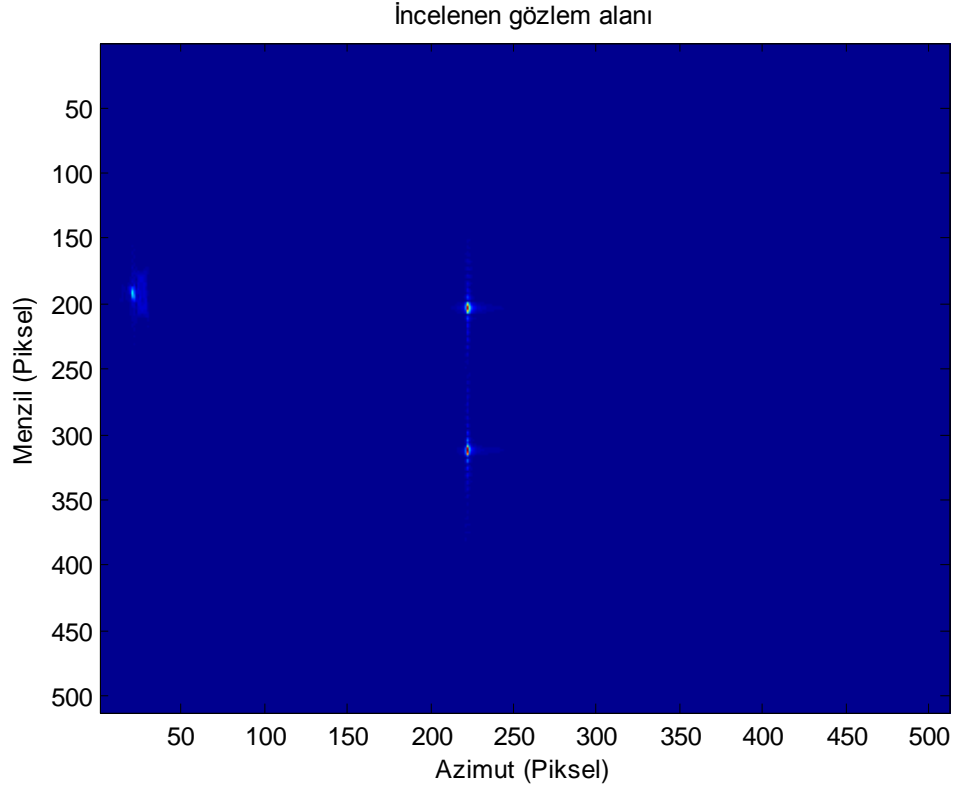
Bu tez çalışmasında hareketli hedefleri tespit etmek için önerilen ilk yöntem olan Yöntem I için yapılan inceleme işlemleri önceki bölümlerde açıklanmıştır. Bu inceleme sonucu Yöntem I'in aşağıdaki özellikleri olduğu gösterilmiştir:

- Azimut doğrultusunda hareket eden hedef tespit edilebilir.
- Azimut doğrultusunda hareket eden hedefin hareket yönü bulunabilir.
- Azimut doğrultusunda hareket eden hedefin hızı %10 hata payı aralığı içinde tespit edilebilir.
- Azimut doğrultusunda 0,39m/s ile 15,6m/s arasındaki hızlarda hareket eden hedefler tespit edilebilmektedir.

- Menzil doğrultusunda hareket eden hedef tespit edilebilir.
- Menzil doğrultusunda hareket eden hedefin hareket yönü bulunabilir.
- Menzil doğrultusunda hareket eden hedefin hızını hesaplayabilmek için ilave çalışmalar yapmak gereklidir. Önerilen bu yöntemle yakın olmayan tahmini bir menzil hızı değeri hesaplanabilir.
- Menzil doğrultusunda 1,56m/s ile 15,6m/s arasındaki hızlarda hareket eden hedefler tespit edilebilir.
- Azimut ve menzil yönünde elde edilen sonuçlar birleştirilerek herhangi bir yönde hareket eden hareketli hedef tespit edilebilir.
- Azimut ve menzil doğrultularında hedef tespiti birbirlerinden bağımsız olarak gerçekleştirildiği için hedef tespit işlemleri paralel olarak gerçekleştirilebilir. Bu sayede çok kısa sürede hedef tespiti sonucu alınabilir.
- Bu yöntem, hassas hedef parametreleri kestirimi yapan başka yöntemlere yardımcı olarak kullanılabilir.



Şekil 4.11 : Menzil doğrultusunda 15,6m/s hızla hareket eden hedefin YAR görüntüsünde oluşturduğu etki.



Şekil 4.12 : Menzil doğrultusunda 1,56m/s hızla hareket eden hedefin YAR görüntüsünde oluşturduğu etki.

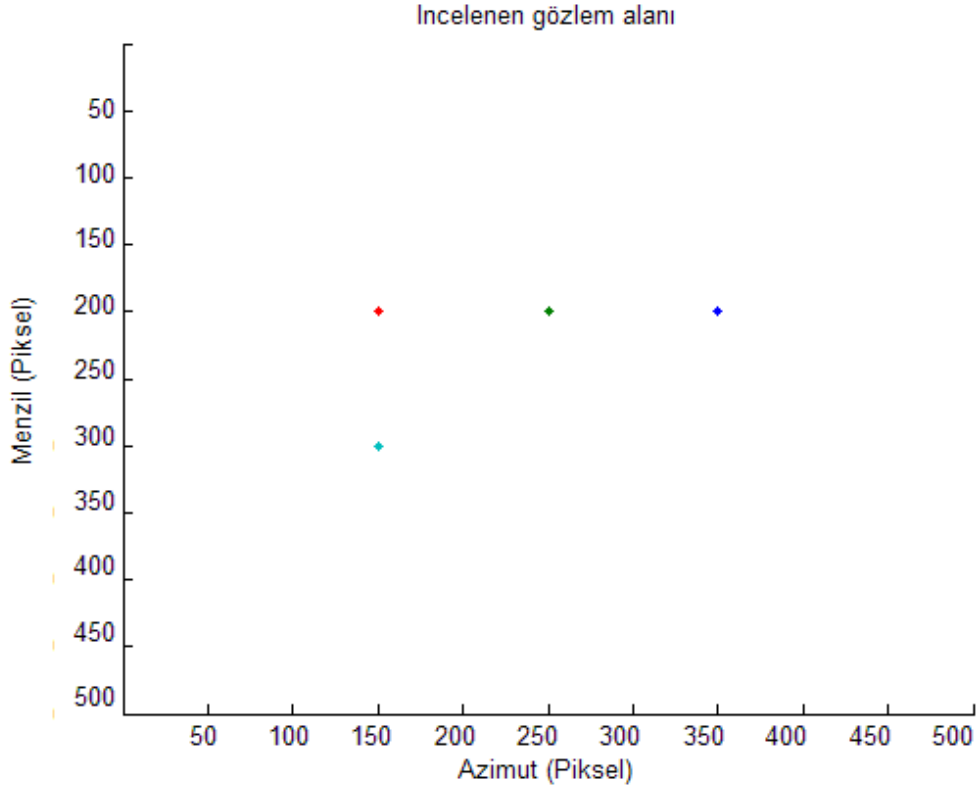
4.3 Yöntem II İncelemesi

Bölüm 3.2.2’de detayları açıklanan Yöntem II için yapılan incelemelerde kullanılan gözlem alanı Şekil 4.13’de gösterilmektedir. Bu gözlem alanı içinde toplam dört tane hedef bulunmaktadır. Bu hedeflerden sadece en sağda olan hedef hareket ettirilmektedir. Bu bölümde gösterilen şekiller hareketli hedefin 3,9m/s hızla hareket etmesi durumu için elde edilmişlerdir.

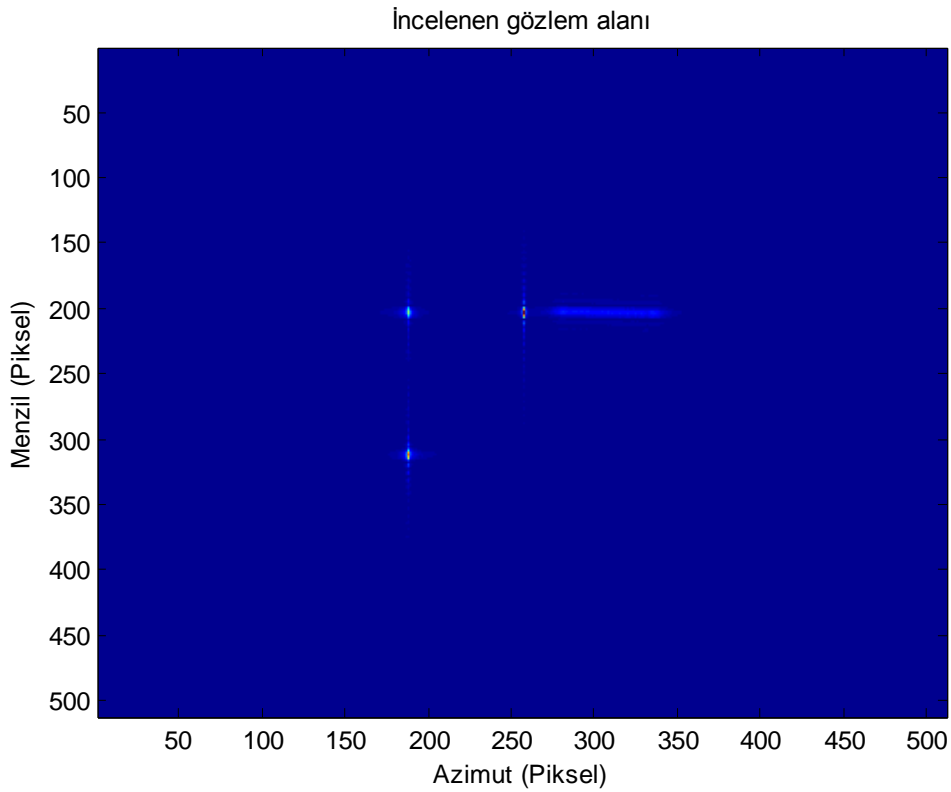
Sabit hızda hareket ettirilen bu hedefin azimut ve menzil yönlerindeki hareketinin etkileri ve bu hareketi tespit etme işlemleri aşağıdaki kısımlarda ayrı ayrı incelenmektedir.

4.3.1 Azimut doğrultusundaki hareketin incelenmesi

Yöntem II ile azimut doğrultusunda hareket eden hedeflerin tespit edilmesi işlemi 3.2.2.1 kısmında açıklanan alt yama algoritmasıyla yapılmaktadır. Sadece azimut doğrultusunda 3,9m/s hızla hareket eden bir hedefin YAR gözlem alanında oluşturduğu etki Şekil 4.14’de gösterilmiştir.



Şekil 4.13 : Yöntem II’de incelenen gözlem alanı.



Şekil 4.14 : Sadece azimut doğrultusunda 3,9m/s hızla hareket eden hedefin YAR gözlem alanında oluşturduğu etki.

Bu görüntü alt yama algoritması kullanılarak dört tane alt görüntüye bölünmüştür. Elde edilen bu alt yama görüntüleri Şekil 4.15’de gösterilmektedir. Daha iyi bir gösterim için bu görüntüler büyütülerek içlerindeki hedeflerin daha net görünmesi sağlanmıştır.

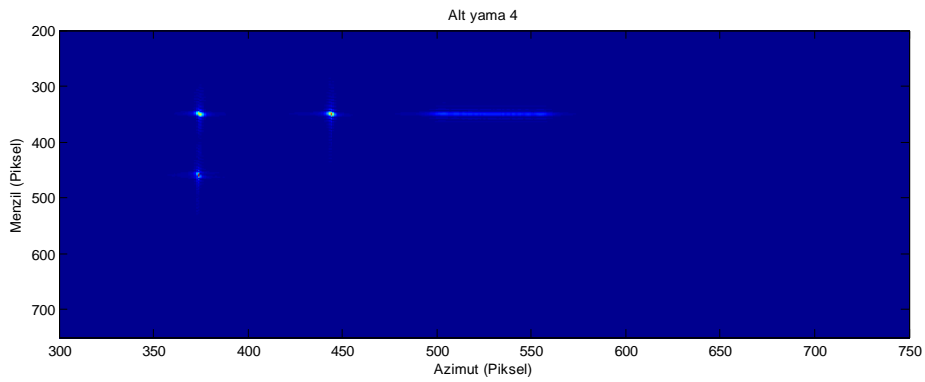
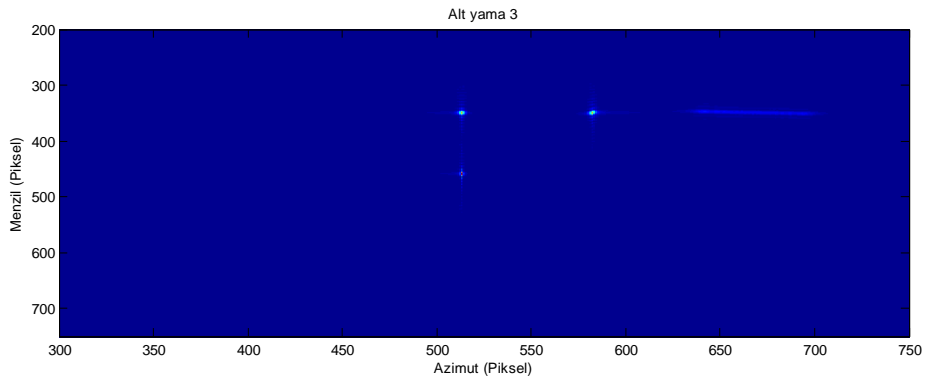
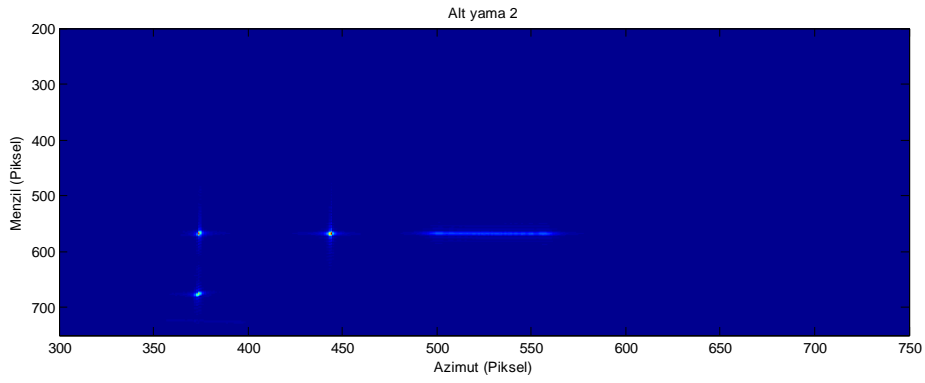
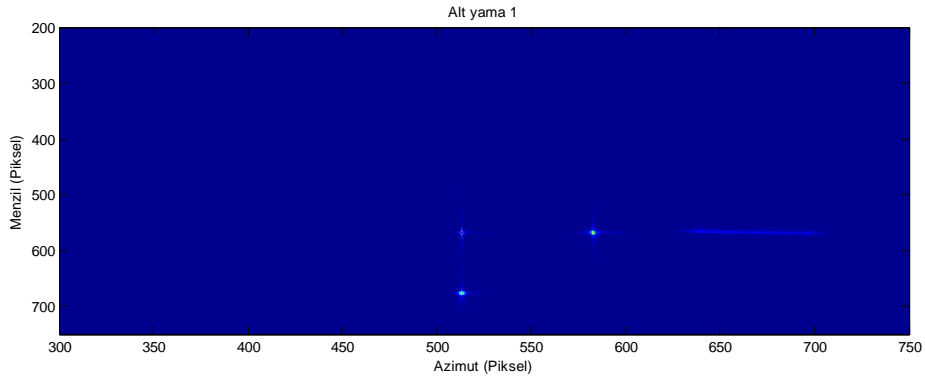
Her bir alt yama görüntüsüne alt yama algoritması uygulanarak görüntü içindeki hedefler tespit edilmektedir. Ardından tespit edilen hedef bilgileri kullanılarak elde edilen görüntüler üst üste bindirilerek hareketli hedefler tespit edilir.

YAR benzetim sistemi kullanılarak çeşitli hareketli hedef hızları için denemeler yapılmıştır. Bu deneme sonuçları Şekil 4.16 ve Şekil 4.17’de toplu olarak gösterilmektedir. İncelenen gözlem alanı içinde sadece azimut yönünde hareket eden bir hedef olması durumu için oluşturulan 4 tane alt yama görüntüsü içindeki sabit hedeflerin birbirlerine göre mesafeleri Şekil 4.16’da gösterilmiştir. Şekil 4.17’de ise hareketli hedefin her bir sabit hedefe göre olan mesafesi gösterilmiştir.

Bu şekilde, incelenen görüntü alanı içinde bulunan 3 tane sabit hedefin 4 tane alt yama görüntüsü için elde edilen inceleme sonuçları gösterilmektedir. Hedeflerin ikişerli olarak her bir alt yama görüntüsü içindeki hesaplanan birbirlerine göre yer değiştirme miktarı azimut ve menzil cinsinden gösterilmektedir. Örneğin “Hedef 1-2 A#1” ifadesiyle “hedef 1” ile “hedef 2” sabit hedefleri arasındaki değişimi miktarının “alt yama 1” görüntüsü için hesaplanan değeri belirtilmektedir. Şekilden görülebileceği üzere “alt yama 1” görüntüsünde “hedef 1” ile “hedef 2” arasındaki mesafe azimut yönünde -70 piksel ve menzil yönünde 0 pikseldir.

Alt yama algoritmasında kullanılan farklı görüntü merkezleri sebebiyle aynı iki hedef arasındaki mesafenin farklı alt yama görüntülerinde farklı olması beklenmektedir. Şekil 4.16’dan görülebileceği üzere sabit hedeflerin birbirlerine olan mesafeleri bütün alt yama görüntüleri içinde çok az miktarda değişmektedir. Aynı hedefler arasındaki mesafelerin farklı alt yama görüntüleri içindeki bu değişimi eğer seçilen bir aralık içinde kalıyorsa bu hedeflerin sabit hedefler olduğu söylenebilir.

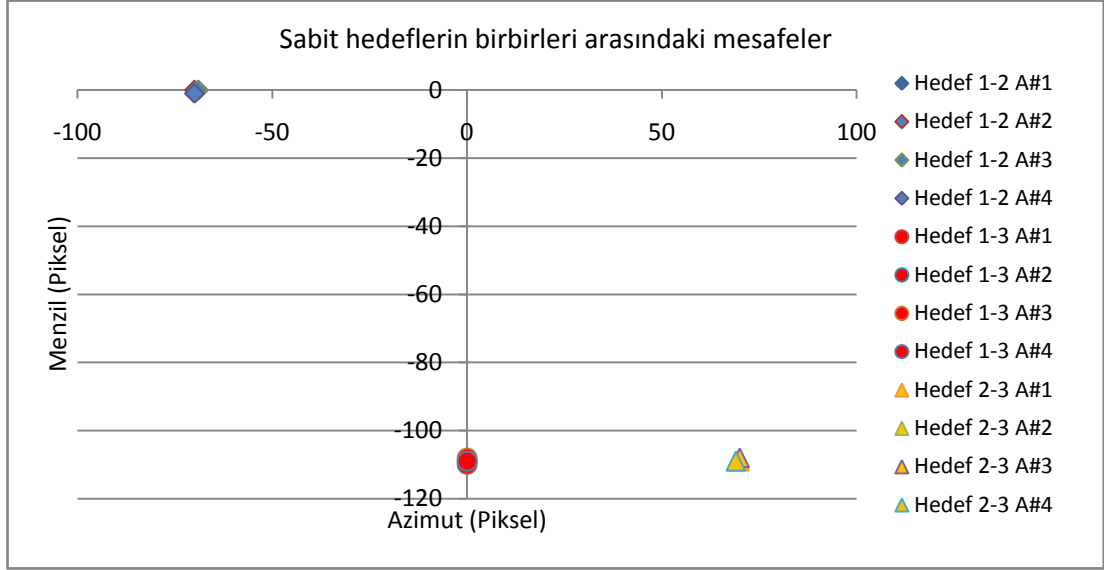
Şekil 4.17’de, oluşturulan 4 tane alt yama görüntüsü içindeki bir hareketli hedefin her bir sabit hedefe göre mesafesi gösterilmiştir. Örneğin “Hedef H-S1 A#1” ifadesiyle “hareketli hedef” ile “sabit hedef 1” arasındaki “alt yama 1” görüntüsü içindeki mesafe gösterilmektedir. Bu mesafe azimut yönünde 58 piksel ve menzil yönünde -2 pikseldir.



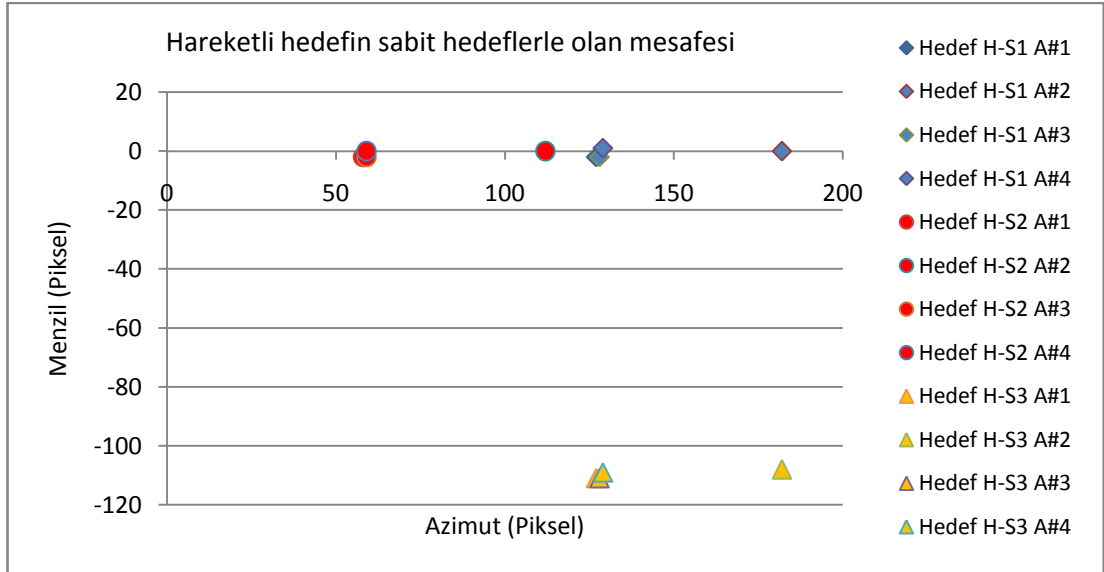
Şekil 4.15 : Sadece azimut doğrultusunda 3,9m/s hızla hareket eden hedefin alt yama algoritmasıyla oluşturulan dört farklı görüntüsü.

Bu şekilden görüleceği üzere hareketli hedef ile sabit hedef arasındaki mesafe farklı alt yama görüntüleri içinde büyük miktarda değişmektedir. Aynı iki hedef arasındaki

mesafenin farklı alt yama görüntüleri içinde belirlenen bir değerden daha büyük olduğu tespit edildiğinde, incelenen hedefin hareketli bir hedef olduğu anlaşılır.



Şekil 4.16 : Alt yama görüntüleri içinde sabit hedeflerin birbirleri arasındaki mesafeler.



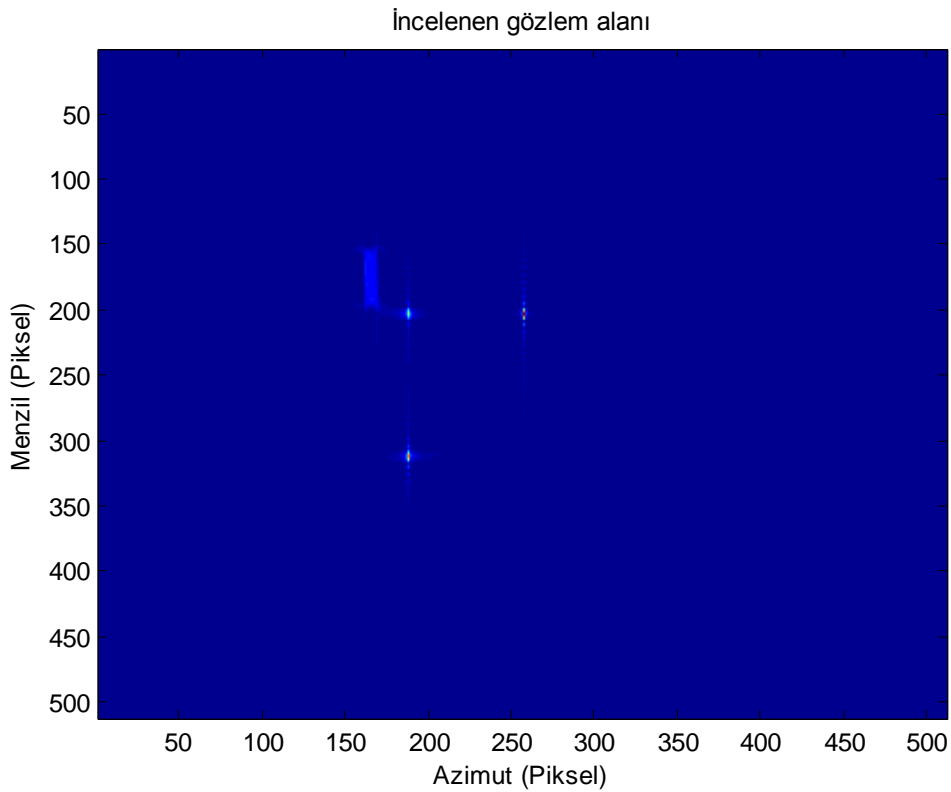
Şekil 4.17 : Alt yama görüntüleri içinde hareketli hedefin sabit hedeflerle arasındaki mesafenin değişimi.

Yöntem II ile azimut doğrultusunda hareket eden hedefin tespit edilebileceği en yüksek ve en düşük hız değerleri incelenirken 4.2.1 kısmında tartışılan sebepler kullanılabilir. YAR sistemi parametreleri azimut hareketinin oluşturduğu lekenin görüntü içinde kalmasını sınırladığı için önerilen yöntemle azimut doğrultusunda 0,39m/s ile 15,6m/s arasındaki hızlarda hareket eden hedefler tespit edilebilir.

4.3.2 Menzil doğrultusundaki hareketin incelenmesi

Yöntem II ile menzil doğrultusunda hareket eden hedeflerin tespit edilmesi işlemi 3.2.2.1 kısmında açıklanan alt yama algoritmasıyla yapılmaktadır. Sadece menzil doğrultusunda 3.9m/s hızla hareket eden bir hedefin YAR gözlem alanında oluşturduğu etki Şekil 4.18’de gösterilmiştir.

Bu görüntü alt yama algoritması kullanılarak dört tane alt yama görüntüsüne bölünmüştür. Elde edilen bu alt yama görüntüleri Şekil 4.19’da gösterilmektedir. Daha iyi bir gösterim için bu görüntüler büyütülerek içlerindeki hedeflerin net olarak görünmesi amaçlanmıştır.



Şekil 4.18 : Sadece menzil doğrultusunda 3,9m/s hızla hareket eden hedefin YAR gözlem alanında oluşturduğu etki.

Şekilde oluşan etki 3.1 kısmında açıklanan hareketli hedefin yapay açıklık görüntüsü üzerinde oluşturduğu etkiyle benzer bir biçimde elde edilmiştir. Sadece menzil yönünde hareket eden hedef azimut yönünde ötelenmiştir ve hedef hem azimut hem de menzil yönlerinde bulanık olarak görülmektedir.

Azimut doğrultusunda hareketin incelenmesiyle aynı adımlar izlenerek hareketli hedef tespiti yapılmaktadır. Her bir alt yama görüntüsüne alt yama algoritması

uygulanarak görüntü içindeki hedefler tespit edilmektedir. Ardından tespit edilen hedef bilgileri kullanılarak elde edilen görüntüler üst üste bindirilerek hareketli hedefler tespit edilir.

YAR benzetim sistemi kullanılarak çeşitli hareketli hedef hızları için denemeler yapılmıştır. Bu deneme sonuçları Şekil 4.20 ve Şekil 4.21’de toplu olarak gösterilmektedir. İncelenen gözlem alanı içinde menzil yönünde hareket eden bir hedef olması durumu için oluşturulan 4 tane alt yama görüntüsü içindeki sabit hedeflerin birbirlerine göre mesafesi Şekil 4.20’de gösterilmiştir. Şekil 4.21’de ise hareketli hedefin her bir sabit hedefe göre olan mesafesi gösterilmiştir.

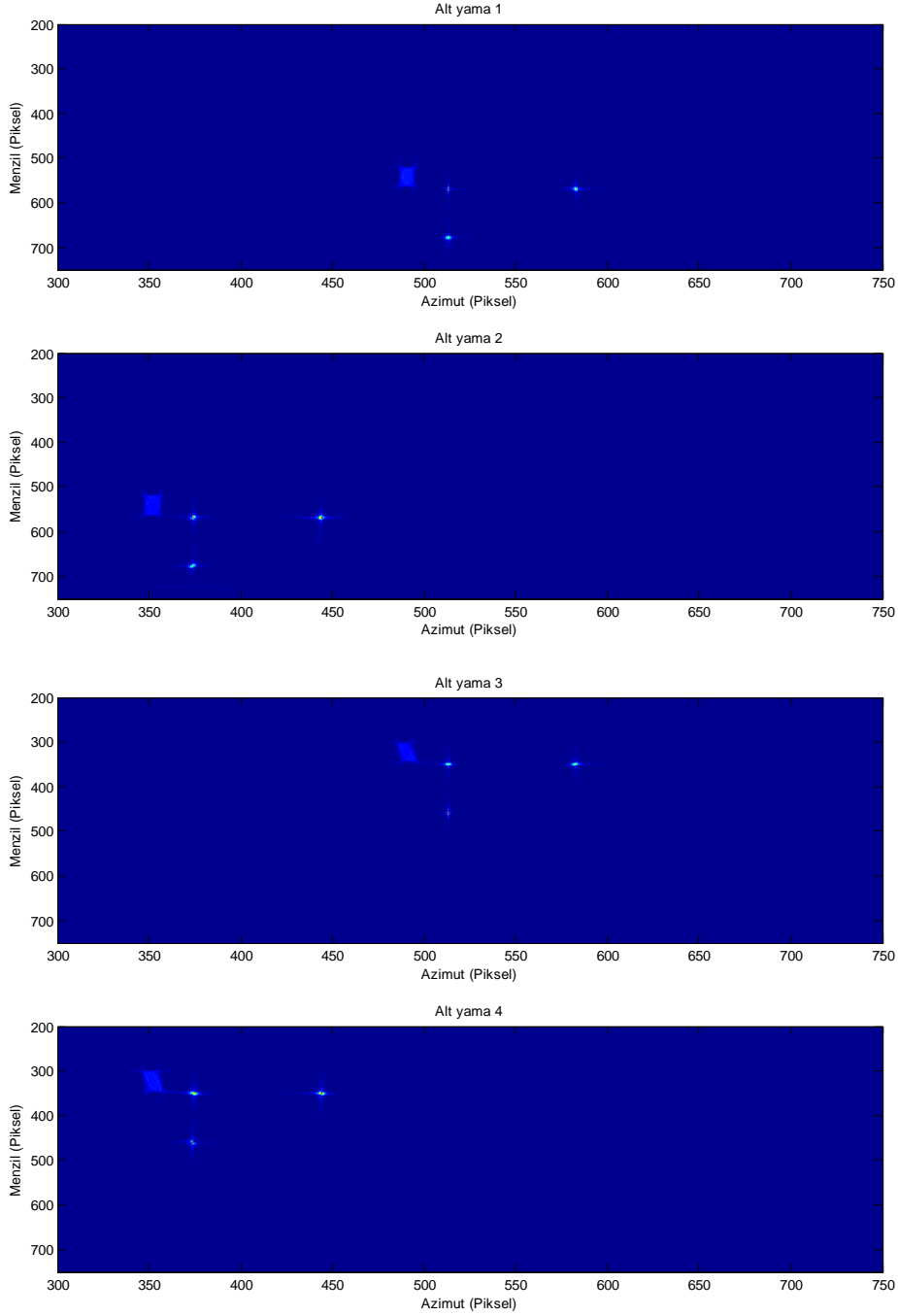
Yöntem II ile menzil doğrultusunda hareket eden hedefin tespit edilebileceği en yüksek ve en düşük hız değerleri incelenirken 4.2.2 kısmında tartışılan sebepler kullanılabilir. Uygulamada kullanılan YAR sistemi parametreleri için önerilen yöntemle menzil doğrultusunda 1,56m/s ile 15,6m/s arasındaki hızlarda hareket eden hedefler tespit edilebilir.

4.3.3 Yöntem II sonuçları

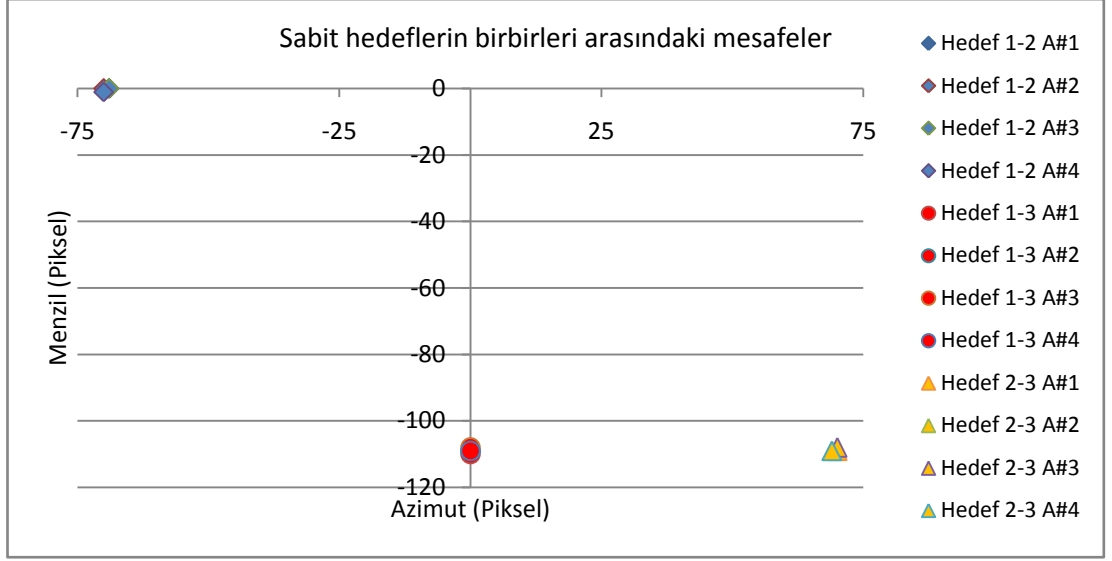
Bu tez çalışmasında hareketli hedefleri tespit etmek için önerilen ikinci yöntem olan Yöntem II için yapılan inceleme işlemleri önceki bölümlerde açıklanmıştır. Bu inceleme sonucu Yöntem II’nin aşağıdaki özelliklere sahip olduğu gösterilmiştir:

- Azimut doğrultusunda hareket eden hedef tespit edilebilir.
- Azimut doğrultusunda hareket eden hedefin hareket yönü bulunabilir.
- Azimut doğrultusunda 0,39m/s ile 15,6m/s arasındaki hızlarda hareket eden hareketli hedefler tespit edilebilmektedir.
- Menzil doğrultusunda hareket eden hedef tespiti yapılabilir.
- Menzil doğrultusunda hareket eden hedefin hareket yönü bulunabilir.
- Menzil doğrultusunda 1,56m/s ile 15,6m/s arasındaki hızlarda hareket eden hedefler tespit edilebilmektedir.
- Azimut ve menzil doğrultularında hedef tespiti birbirlerinden bağımsız olarak gerçekleştirildiği için hedef tespit işlemleri paralel olarak gerçekleştirilebilir. Bu sayede çok kısa sürelerde hızlı hedef tespiti sonucu alınabilir.

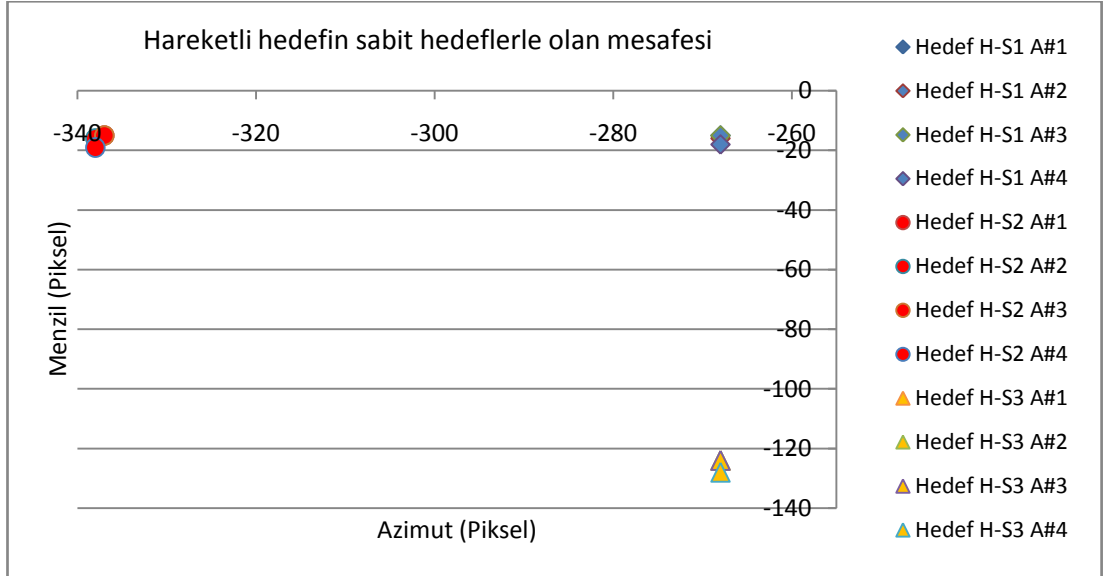
- Hareket eden hedeflerin hızlarını hesaplayabilmek için ilave çalışmalar yapmak gereklidir.
- Bu yöntem, hassas hedef parametreleri kestirimi yapan başka yöntemlere yardımcı olarak kullanılabilir.



Şekil 4.19 : Sadece menzül doğrultusunda 3,9m/s hızla hareket eden hedefin alt yama algoritmasıyla oluşturulan dört farklı görüntüsü.



Şekil 4.20 : Alt yama görüntüleri içinde sabit hedeflerin birbirleri arasındaki mesafeler.



Şekil 4.21 : Alt yama görüntüleri içinde hareketli hedefin sabit hedeflerle arasındaki mesafenin değişimi.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında radar sistemleri genel olarak incelenmiş, kullanılan temel görüntüleme modları ve işaret işleme algoritmaları açıklanmıştır. Ardından hareketli hedefin YAR görüntüleri üzerinde oluşturduğu etkiler ortaya konulmuş ve bu etkilerden yararlanılarak görüntü içinde hareketli hedef olup olmadığı bilgisini bulabilmek için iki yeni yöntem önerilmiştir. Önerilen bu yöntemler 4. bölümde çeşitli senaryolar için başarıyla test edilmiştir ve elde edilen sonuçlar tartışılmıştır.

Önerilen her iki yöntemde de incelenen görüntü alanı içinde bulunan sabit hedefler ile hareket eden hedefler birbirlerinden ayırt edilebilmektedir. Hareketli hedefleri tespit etmek için önerilen literatürdeki birçok çalışma hedefi sadece tek doğrultuda (sadece azimut veya sadece menzil doğrultusunda) tespit edebilmektedir. Bu tez çalışmasında önerilen yöntemlerin hareket eden hedefleri hem azimut doğrultusunda hem de menzil doğrultusunda tespit edebildiği gösterilmiştir. Sonuç olarak uygulamalarda herhangi bir doğrultuda hareket eden hedefler bu tez çalışmasında önerilen yöntemlerle tespit edilebilmektedir.

Önerilen yöntemler kullanılarak tespit edilen hareketli hedeflerin hareket ettikleri doğrultular belirlenebilmektedir. Örneğin tespit edilen hedefin radarın azimut yönünde veya ters azimut yönünde hareket ettiği bilgisi belirlenebilmektedir. Bu sayede hedefin harekete başladığı ve hareketine devam edeceği rota hakkında yaklaşık fikir sahibi olunabilmektedir.

Yöntem I ile, hareket eden hedefin azimut doğrultusundaki hızı yüksek doğrulukla hesaplanabilmektedir. Ancak menzil doğrultusundaki hesaplanabilen hız doğruluğu azimut yönündeki doğruluğa göre daha düşüktür. Yöntem II’de ise hareketli hedefin hareket ettiği doğrultu belirlenebilmiş, ancak hedef hızının hesaplanabilmesi için daha kapsamlı bir çalışma gerektiği için hedef hızı hesaplaması bu tez çalışmasına dahil edilmemiştir ve aşağıda verilen ileride yapılabilecek çalışmalar listesinde belirtilmiştir.

Her iki yöntemde azimut ve menzil doğrultularındaki hedef tespit işlemleri birbirlerinden bağımsız olarak gerçekleştirilmektedir. Günümüzdeki modern işlemcilerin sağladıkları paralel işlem yapabilme yeteneği kullanılarak, işlenecek radar görüntüsü azimut ve menzil doğrultularında aynı anda kullanılabilir. Bu sayede her iki doğrultuda eş zamanlı olarak hedef taraması yapılarak toplam sonuç alma süresi büyük miktarda kısaltılabilir.

Ayrıca menzil ve azimut doğrultularında hedef tespit etme işlemi birbirinden bağımsız olarak gerçekleştirilmektedir. Bu sayede bu iki işlemde ortaya çıkan hataların birbiri önüne geçmesi engellenmiştir. Dolayısıyla kullanılan veride işlemeden dolayı herhangi bir bozulma oluşmamakta ve elde edilen sonuçların incelenen sisteme göre doğruluğu ve tekrarlanabilirliği yüksek olmaktadır.

Her iki yöntem ile görüntü içindeki hareketli hedeflerin tespiti başarılı bir şekilde yapılabilmektedir. Önerilen bu yöntemler kullanılarak hızlı bir biçimde ön tarama yapıp incelenen görüntü alanı içinde hareketli hedef varlığı kısa bir süre içinde belirlenebilir. Yöntemlerden elde edilen sonuçlarda hareketli hedef varlığı bulunursa bu bilgiler daha hassas biçimde hareketli hedef incelemesi yapan başka algoritmalara aktarılabilir. Bu sayede uygulamada hızlı biçimde hareketli hedef tespiti ve ardından sadece tespit edilen hedeflerin hassas biçimde incelenmesi gerçekleştirilerek daha detaylı sonuçlar daha kısa sürede elde edilebilir.

- Bu tez çalışmasının kapsamını genişletecek veya diğer çalışmalara yardımcı olabilecek şekilde aşağıda sıralanan çalışmalar ileride yapılabilir:
- Önerilen yöntemlerle elde edilen hareketli hedef tespiti sonuçlarının daha da iyileştirilmesi için çalışmalar yapılabilir.
- Yöntem I ile menzil doğrultusunda hareket eden hedef tespit edildikten sonra hedefin hızını daha doğru hesaplama konusunda çalışmalar yapılabilir.
- Yöntem I ve Yöntem II ile tespit edilebilecek hedef hız değerleri aralığının arttırılması için çalışmalar yapılabilir.
- Yöntem II'de tespit edilen hedeflerin hız bilgilerinin hesaplanması için çalışmalar yapılabilir.
- Yöntem II'de kullanılan alt yama sayısının hareketli hedef tespit etme performansındaki etkileri ayrıntılı olarak incelenebilir.

- Belirli hedef dinamikleri durumunda alt yama sayısının optimizasyonu problemi incelenebilir. Bu sayede incelenen sisteme bağlı olarak daha az sayıda alt yama görüntüsü kullanılarak hedeflerin daha hızlı tespit edilebilmesi durumu incelenebilir.
- 4.2.2 kısmında incelenen menzil doğrultusunda hareket eden hedefin alt açıklık algoritmasıyla tespit edilmesi sonucunda elde edilen ve Şekil 4.10'da gösterilen periyodikliğin sebebi incelenebilir.
- 4. kısımda gerçekleştirilen testlerde, YAR sistem parametrelerinden birisi olan PRF değerinin değişimiyle azimut veya menzil yönünde hareket eden hedefin tespit edilmesi işlemlerinin verdiği sonuçların değişimi incelenebilir.

KAYNAKLAR

- [1] **Palubinskas, G. ve Runge, H.** (2008). Detection of Traffic Congestion in SAR Imagery. Proc. of 7th European Conference on SAR, Fridrichshafen, Germany.
- [2] **Kirscht, M.** (1998). Detection, Velocity Estimation and Imaging of Moving Targets with Single-Channel SAR. Proc. of European Conference on Synthetic Aperture Radar, EUSAR '98.
- [3] **Fienup, J.R.** (2001). Detecting Moving Targets in SAR imagery by focusing. IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems.
- [4] **Jung, J.H.** (2009). Ground Moving Target Displacement Compensation in the DPCA based SAR-GMTI System. 2009 IEEE Radar Conference.
- [5] **Qin, F., Zhang, X. ve Dong, M.** (2006). A method of hybrid ATI and DPCA technique to detect moving target. International Conference on Radar, CIE '06.
- [6] **Kohleppel, R., Gierull, G.** (2008). Enhancement of along-track interferometry for ground moving target indication. International Geoscience and Remote Sensing Symposium.
- [7] **Li, G., Xu, J., Peng, Y. ve Xia, X.** (2006). Detection, Velocity Estimation and Imaging of Fast Moving Targets Using Single Antenna SAR. International Conference on Radar.
- [8] **Liu, S., Yuan, Y., Gao, F. ve Mao, S.** (2007). Method of moving target detection based on sub-image cancellation for single-antenna airborne synthetic aperture radar. Journal of Systems Engineering and Electronics.
- [9] **Kirscht, M.** (2002). Detection and imaging of arbitrarily moving targets with single-channel SAR. RADAR 2002.
- [10] **Lacomme, P., Hardange, J. P., Marchais, J. C. ve Normant, E.** (2001). Air and Spaceborne Radar Systems: An Introduction, Scitech Publishing Inc.
- [11] **Cumming, I. G. ve Wong, F. H.** (2004). Digital Processing of Synthetic Aperture Radar Data, Algorithms and Implementation, Artech House.
- [12] **Url-1** <http://earth.esa.int/applications/data_util/SARDOCS/spaceborne/Radar_Courses/Radar_Course_II/radar_principles.htm>, alındığı tarih: 05.12.2012.
- [13] **Url-2** <<http://www.nrcan.gc.ca/earth-sciences/geography-boundary/remote-sensing/fundamentals/1742>>, alındığı tarih: 05.12.2012.
- [14] **Url-3** <<http://stlab.iis.u-tokyo.ac.jp/~wataru/lecture/rsgis/rsnote/cp4/cp4-2.htm>>, alındığı tarih: 05.12.2012.
- [15] **Skolnik, M. I.** (2008). Radar Handbook 3rd Edition. McGraw Hill.

- [16] **Url-4** <<http://www.radartutorial.eu/20.airborne/ab07.en.html>>, alındığı tarih: 05.12.2012.
- [17] **Url-5** <<http://www.radartutorial.eu/20.airborne/ab08.en.html>>, alındığı tarih: 05.12.2012.
- [18] **Carrara, W.G., Goodman, R.S. ve Majewski, R.M.** (1995). Spotlight Synthetic Aperture Radar Signal Processing Algorithms. Artech House, Norwood, MA.
- [19] **Maitre, H.** (2008). Processing of Synthetic Aperture Radar Images, Wiley
- [20] **Url-6** <http://earth.esa.int/applications/data_util/SARDOCS/spaceborne/Radar_Courses/Radar_Course_III/real_aperture_radar_range_resolution.htm>, alındığı tarih: 05.12.2012.
- [21] **Url-7** <<http://www.radartutorial.eu/01.basics/rb18.tr.html>>, alındığı tarih: 05.12.2012.
- [22] **Url-8** <<http://www.radartutorial.eu/08.transmitters/tx17.en.html>>, alındığı tarih: 05.12.2012.
- [23] **Muehe, C.E. ve Labitt, M.** (2000). Displaced Phase Center Antenna Technique. Lincoln Laboratory Journal, Volume 12, Number 2
- [24] **Faubert, D. ve Tam, W.** (1987). Improvement in the detection performance of a space based radar using a displaced phase center antenna, In proceeding of: Antennas and Propagation Society International Symposium, 1987, Volume: 25
- [25] **Chen, V. C., Ling, H.** (2002). Time-frequency transforms for radar imaging and signal analysis, Artech House.
- [26] **Fienup, J.R.** (1989). Phase Error Correction by Shear Averaging. Signal Recovery and Synthesis III, digest of papers, Optical Society of America.
- [27] **Franceschetti, G. ve Lanari, R.** (1999). Synthetic Aperture Radar Processing. CRC Press.
- [28] **Kartal, M. Paker, S. ve Kent, S.** (2010). A New Subpatch Focusing Algorithm for Spotlight SAR Processing of Large Scenes, EUSAR 2010.

EKLER

EK A: Yusifoğlu, M. H., Kartal, M. (2012). A New Method for Moving Target Detection in SAR Imagery. 1st International Conference on Telecommunications and Remote Sensing, ICTRS 2012, August 29–30, 2012 Sofia, Bulgaria

EK B: Yusifoğlu, M. H., Kartal, M. (2012). Yapay Açıklıklı Radar Görüntülerinde Hareketli Hedef Tespiti İçin Yeni Bir Yaklaşım, 6. URSI Konferansı, URSI 2012, 2–5 Eylül, 2012 Doğuş Üniversitesi, İstanbul

EK C: Yusifoğlu, M. H., Kartal, M. (2012). Alt Yama Yöntemiyle Yapay Açıklıklı Radar Görüntülerindeki Hareketli Hedeflerin Tespit Edilmesi, Eleco 2012, 29 Kasım – 1 Aralık 2012, Bursa

A NEW METHOD FOR MOVING TARGET DETECTION IN SAR IMAGERY

Murat Hakan Yusufoglu, Mesut Kartal

Informatics Institute, Istanbul Technical University, Istanbul, Turkey
hakan.yusufoglu@gmail.com, kartalme@itu.edu.tr

Keywords: Synthetic Aperture Radar, Moving Target Detection, Shear Averaging, Sub-aperture Processing.

Abstract: This paper presents a new algorithm for detection and parameter estimation of moving targets in synthetic aperture radar (SAR) images. The proposed algorithm is capable of detecting targets moving in both range and azimuth directions, and also motion parameter estimation of the detected targets. This new algorithm uses “sub-aperture processing” and “shear averaging algorithm” for detection of range and azimuth direction movements respectively. Detection algorithm is processed in range and azimuth directions independently; therefore, algorithm is suitable for parallel processing. In addition to this property, detection performance and motion parameter estimation accuracy is high because of the non-sequential processing of range and azimuth motion detection. Computer simulations gives promising results of detecting moving targets in all directions and also extracting motion parameters of the detected target.

1 INTRODUCTION

Synthetic aperture radar technology brings new developments in modern world. Today, numerous SAR applications are seen in very different areas. These applications include environmental research, scientific, civilian and military purposes. The main application area of SAR is aimed for detailed imaging of specific earth terrains. By using SAR imagery technology, any terrain image can be collected easily. These detailed images are useful for researching terrain properties.

Detection and motion parameter estimation of moving targets within the observed region is also possible by using the SAR images. Information of detected moving objects can be used in very different applications, such as monitoring traffic flow (Palubinskas and Runge, 2008), observation of military field, tracking of a specific moving target and motion parameter estimation of the targets.

Different algorithms are proposed for detection of moving targets. They are detecting moving targets by using displaced phase centre antenna (Jung, 2009, and Qin, Zhang and Dong, 2006), along track interferometry (Kohlleppel and Gierull, 2008), single-channel radar processing (Li, Xu, Peng and Xia, 2006, Liu, Yuan, Gao and Mao, 2007, Kirscht,

1998, and Kirscht, 2002), and focusing algorithms (Fienup, 2001).

As discussed by Kirscht (1998), moving targets are appeared defocused or at wrong positions depending on the direction of the target motion within the SAR image. If a target moves in azimuth direction, motion causes blurring effect in azimuth direction, and if it moves in range direction, motion also causes a displacement in azimuth direction or for a higher range velocity of the target, it even disappears (Kirscht, 1998 and Fienup, 2001). Many algorithms are evaluated based on these blurring and displacement effects on the images to detect moving targets.

Our proposed algorithm is capable of detecting targets moving not only in azimuth direction, but also in range direction. “Sub-aperture processing” and “shear averaging algorithm” is used to detect moving targets in range and azimuth directions respectively. Detection algorithm for range direction and for azimuth direction can be processed separately. This property gives the advantage of using parallel processing techniques. Therefore range and azimuth movement processes can be completed simultaneously. Also, independent motion detection processing of range and azimuth movements gives more accurate detection results.

2 THE PROPOSED ALGORITHM

In the proposed algorithm, single-channel SAR system is considered and spotlight mode raw data is used. A good clutter cancellation is applied before starting the algorithm steps.

Motion effects on the SAR images as discussed by Kirscht (1998) and Fienup (2001) are used in the algorithm. Target motion in azimuth direction, causes smear effect due to the motion induced phase errors. On the other hand, target motion in range direction causes displacement of the targets in azimuth direction.

After all moving targets has been detected number of detected targets, their velocities and movement directions are reported. Range and azimuth movement detection processes are detailed in the following subsections.

2.1 Range Direction Movement Detection

In the proposed algorithm, range direction movement is detected by using sub-aperture processing (Franceschetti and Lanari, 1999). Raw data is divided in two equal blocks across the azimuth direction, and two SAR images are formed. This process provides looking to the same observed region in two different time intervals. The first image contains data from beginning to the divided position of the antenna. Therefore, an image is generated for “t” time position of the antenna. The second image contains data from the divided position to the end position of the antenna. So, second image is generated for “t + 1” time position of the antenna.

After generation of the images, these two images are overlapped with the help of the SAR system parameters. By taking the difference between the two overlapped images, stationary targets will be disappeared and only moving targets within the observed region are detected.

After moving target has been detected, position difference of the target between the first and the second images gives the range direction movement information of the target. This information is used to extract range direction motion parameters.

2.2 Azimuth Direction Movement Detection

Shear averaging algorithm is used for detecting moving targets in azimuth direction. There are numerous algorithms for detecting azimuth movement. But shear averaging algorithm is chosen for its sensitivity to the azimuth component of velocity, providing very fast calculation, higher order phase errors detection ability, and not requiring a prominent point scatterer on the target (Fienup, 2001).

In the algorithm, whole image is divided into small patches. By processing each patch, moving targets can be detected by using “shear averaging algorithm” detailed by Fienup (1989). If good clutter cancellation is applied at the beginning of the algorithm, only targets will be stayed in the image. So, moving targets can accurately be detected with very low false alarm rate.

In the proposed algorithm, following steps are used to detect azimuth motion.

- a. Divide the image into patches.
- b. Take a patch data, $g(u,v)$.
- c. Calculate $G(u,v)$ by taking azimuth FFT of $g(u,v)$.
- d. Calculate shear averaged quantity.
- e. Calculate phase error estimate in azimuth coordinate.
- f. Make phase correction.
- g. Take inverse Fourier of corrected data.
- h. Calculate standard deviation of the phase error.
- i. Compare standard deviation value with the threshold value to detect moving target.
- j. If a moving target is detected, find the azimuth velocity of the target by using the system model.

Threshold value could be calculated by processing either whole image or only patch data. The whole image processing gives a fixed threshold value. But, for good detection results in simulations, dynamic threshold value is calculated for each patch.

In “jth” step of the algorithm, azimuth velocity is calculated by finding the displacement of position of maximum amplitude within the unfocused and focused images. From simulation results, a relationship between real target velocity and detected target velocity is extracted and shown in Figure 1. This relation is used as a reference system model for the velocity estimation of the detected targets.

By combining the range and azimuth direction detection results, the real movement direction and velocity of the target is calculated.

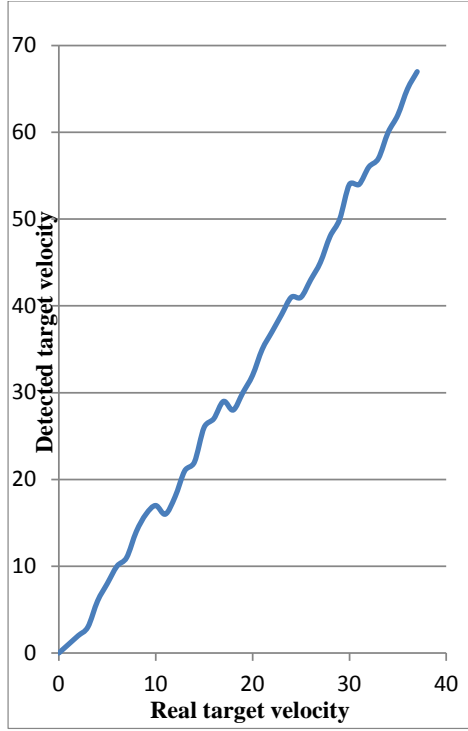


Figure 1: System model, extracted from simulation results, is used to find the azimuth velocity estimation of moving targets in azimuth direction.

3 SIMULATION RESULTS

The performance of the proposed algorithm is tested with Matlab simulation. In the simulation scenario, moving and stationary targets are put within the simulation data. The simulated scene used in the simulations is shown in Figure 2. Simulated SAR system parameters are given in the Table 1.

Simulated scene contains 3 targets. Only the rightmost target is non-stationary, and the other two are stationary. The moving target is marked in the images shown in Figure 3 and Figure 4. In these figures, moving targets have a constant velocity of 3.9m/s (14km/h) only in range and azimuth direction, respectively.

In the simulation scenarios, moving targets with different velocities between 0.39m/s to 15.6m/s are considered. All moving targets in the azimuth direction are detected successfully, and target velocities are estimated by using the system model given in Figure 1. On the range velocity detection

process, moving targets with velocities smaller than 1.56m/s couldn't be detected by using two sub-apertures. But all other targets and also their movement direction are detected successfully.

Table 1: Simulation system parameters.

Center Frequency	10 GHz
Pulse duration	1 μ s
Radar PRF	200 Hz
Sampling Frequency	180 MHz
Chirp rate	1.5×10^{14}
Platform velocity	200 m/s
Slant range scene center	10 km
Resolution range	0.3 m
Resolution azimuth	0.3 m
Squint angle	0°
Scene size	200 m x 200 m
SAR image size	512x512 pixels
Number of sub-apertures	2
Aperture size (Az x Range)	256x512 pixels
Patch size (Az x Range)	128x16 pixels
Moving target velocity	3.9 m/s

Excluding targets with very low range velocities, the moving targets are detected and separated from stationary targets by sub-aperture processing. Also, their motion parameters are extracted. In addition to range direction detection results, azimuth movement, its direction and velocity of the target are detected successfully.

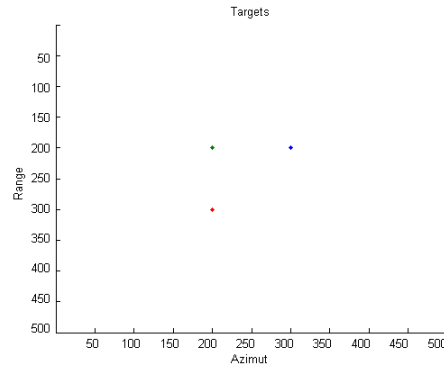


Figure 2: Simulated scene.

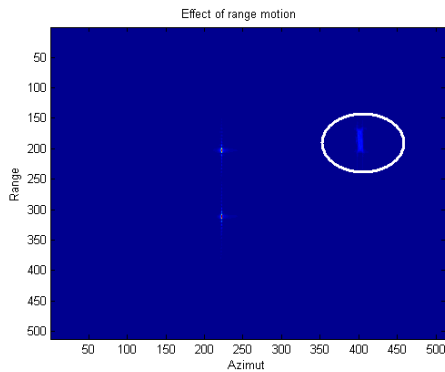


Figure 3: Range-only motion.

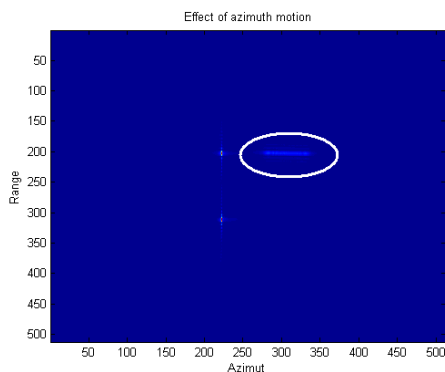


Figure 4: Azimuth-only motion.

4 CONCLUSION

A new algorithm for detecting both range and azimuth motion of moving targets in SAR images is proposed. The combination of sub-aperture processing and shear averaging algorithms provides the detection of the movement in all directions. Detection algorithm is processed in range and azimuth directions independently; therefore parallel processing techniques could be used. By parallel processing, moving targets can be detected very fast. Algorithm is capable of not only moving target detection, but also motion parameter estimation of the moving targets. Moreover, detection performance and motion parameter estimation accuracy is high because of the non-sequential processing of range and azimuth direction movement.

REFERENCES

- Fienup, J.R., 1989. Phase Error Correction by Shear Averaging. In *Optical Society of America, Signal Recovery and Synthesis III, digest of papers*.
- Fienup, J.R., 2001. Detecting Moving Targets in SAR imagery by focusing. In *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*.
- Franceschetti, G. and Lanari, R., 1999. *Synthetic Aperture Radar Processing*, CRC Press. London.
- Jung, J.H., 2009. Ground Moving Target Displacement Compensation in the DPCA based SAR-GMTI System. In *2009 IEEE Radar Conference*.
- Kirscht, M., 1998. Detection, Velocity Estimation and Imaging of Moving Targets with Single-Channel SAR. In *Proc. of European Conference on Synthetic Aperture Radar, EUSAR '98*.
- Kirscht, M., 2002. Detection and imaging of arbitrarily moving targets with single-channel SAR. In *RADAR 2002*.
- Kohlleppel, R. and Gierull, G., 2008. Enhancement of along-track interferometry for ground moving target indication. In *International Geoscience and Remote Sensing Symposium*.
- Li, G., Xu, J., Peng, Y. and Xia, X., 2006. Detection, Velocity Estimation and Imaging of Fast Moving Targets Using Single Antenna SAR. In *International Conference on Radar, 2006*.
- Liu, S., Yuan, Y., Gao, F. and Mao, S., 2007. Method of moving target detection based on sub-image cancellation for single-antenna airborne synthetic aperture radar. In *Journal of Systems Engineering and Electronics*.
- Palubinskas, G. and Runge, H., 2008. Detection of Traffic Congestion in SAR Imagery. In *Proc. of 7th European Conference on SAR, Fridrichshafen, Germany*.
- Qin, F., Zhang, X., and Dong, M., 2006. A method of hybrid ATI and DPCA technique to detect moving target. In *CIE '06, International Conference on Radar*.

YAPAY AÇIKLIKLI RADAR GÖRÜNTÜLERİNDE HAREKETLİ HEDEF TESPİTİ İÇİN YENİ BİR YAKLAŞIM

Murat Hakan Yusufoglu, Mesut Kartal
İstanbul Teknik Üniversitesi
Bilişim Enstitüsü
İstanbul, Türkiye
hakan.yusufoglu@gmail.com, kartalme@itu.edu.tr

Özet: *Bu çalışmada yapay açıklıklı radar görüntüleri içindeki hareketli hedeflerin tespiti ve hareket parametrelerinin çıkartılması için yeni bir algoritma önerilmiştir. Algoritma hem menzil hem de azimut yönünde hareket eden hedefleri tespit edebilmektedir ve hareket parametrelerini hesaplayabilmektedir. Algoritmada menzil yönündeki hareket alt-açıklık işleme ile ve azimut yönündeki hareket kırpma ortalaması algoritmasıyla tespit edilmektedir. Bu iki algoritmanın birbirinden bağımsız olarak çalışması hedef tespitinin menzil ve azimut için aynı anda paralel olarak yapılabilmesini sağlar. Ayrıca veriler bağımsız olarak işlenebildiği için elde edilen doğruluk ve tutarlılık yüksektir. Önerilen algoritma bilgisayar benzetimlerinde çalıştırılarak hareketli hedef tespiti yapılmıştır ve hareket parametreleri başarılı bir şekilde elde edilmiştir.*

1. Giriş

Yapay açıklıklı radar (YAR) teknolojisi günümüzde birçok farklı alanda kullanılmaktadır. Bu teknolojiyi kullanan onlarca uygulama hayatımızı kolaylaştırmaktadır. Bu uygulama alanlarına örnek olarak çevre araştırmaları, bilimsel, sivil ve askeri amaçlı uygulamalar gösterilebilir. Yapay açıklıklı radar teknolojisi ağırlıklı olarak yeryüzünün yüksek çözünürlükte görüntülenmesi için kullanılmaktadır. Bu görüntüler ile yeryüzü araştırmalarında önemli ilerlemeler gerçekleştirilmiştir.

Elde edilen yeryüzü görüntüleri işlenerek bu görüntüler içinde bulunan hareketli hedefleri tespit etmek ve bunların hareket parametrelerini çıkartmak mümkündür. Tespit edilen hareketli hedef bilgileri trafik akışını izlemek [1], askeri alanları gözetlemek, belirli bir alan içinde hareket eden belirli tipteki hedefleri izlemek gibi amaçlar için kullanılabilir.

Hareketli hedefleri tespit edebilmek için çok çeşitli algoritmalar önerilmiştir [2 – 9]. Bu algoritmalarda hareketi tespit edebilmek için yer değiştirmiş faz merkezli anten (Displaced phase centre antenna) [3 ve 4], hat boyunca interferometre (along track interferometry) [5], tek kanallı ve çok kanallı radar görüntüsü işleme [6 - 8] ve görüntü odaklama algoritmaları [9] gibi çeşitli yöntemler kullanılmıştır.

Yapay açıklıklı radar görüntüsü içindeki hareketli hedefler hareket ettikleri yöne bağlı olarak görüntü içinde bulanık veya olması gerektiğinden farklı yerde görünürler [2]. Hedef azimut yönünde hareket ediyorsa elde edilen görüntüde hareketten kaynaklanan azimut yönünde bir bulanıklaşma olur. Benzer şekilde, hedef menzil yönünde hareket ediyorsa hareketten kaynaklanan bulanıklaşmaya ilave olarak hedef olması gereken yerden çok farklı bir yerde görüntülenir. Hatta çok yüksek menzil hızlarına sahip hedefler elde edilen görüntü içinden tamamen kaybolur [2 ve 9]. Görüntülerde oluşan bu özellikler birçok farklı algoritmada temel alınmıştır.

Bu makalede önerilen algoritma ile yapay açıklıklı radar görüntüleri içindeki hareket eden hedefler hem menzil hem de azimut yönünde tespit edilebilmektedir. Menzil yönündeki hareketli hedef tespiti alt-açıklık işleme ile yapılmaktayken azimut yönündeki hareketli hedef tespiti kırpma ortalaması algoritmasıyla (shear averaging algorithm) yapılır. Bu iki algoritma birbirinden bağımsız çalışabildikleri için menzil ve azimut yönündeki hedef tespitleri ayrı olarak yapılabilir. Günümüzdeki gelişmiş işlemcilerin paralel işlem yapabilme özellikleri kullanılarak hareket eden hedeflerin bu iki yöndeki hareketleri eş zamanlı olarak tespit edilebilir. Ayrıca hareket tespit etme işlemi bağımsız olarak yapıldığı için elde edilen sonuçların doğruluğu ve tutarlılığı yüksektir.

2. Önerilen yöntem

Önerilen algoritmada spotlight moduyla kaydedilmiş tek kanallı yapay açıklıklı radar verisi kullanılmaktadır. Algoritmaya başlamadan önce veri içinde kargaşa bastırması yapılarak hedef tespit işleminin doğruluğu artırılmıştır.

Algoritmada [2] ve [9] çalışmalarında belirtilen hareketli hedefin görüntü içinde oluşturduğu etkilerden yararlanılarak hareketli hedef tespiti yapılmaktadır. Azimut yönündeki hareket, hareketten kaynaklanan faz hatalarından dolayı görüntü içinde lekelerle sebep olur. Benzer şekilde menzil yönündeki hareket hedefin görüntü içinde yer değiştirmesine sebep olur.

Algoritma çalıştırılıp bütün görüntü menzil ve azimut yönlerinde işlendikten sonra tespit edilen hedeflerin sayısı, hızları ve hareket yönleri elde edilmektedir. Menzil ve azimut yönündeki hareketli hedef tespit etme işlemleri aşağıdaki alt kısımlarda detaylarıyla anlatılmaktadır.

2.1. Menzil yönündeki hareket tespiti

Önerilen algoritmada menzil yönündeki hareketli hedef tespiti alt-açıklık işleme yöntemiyle yapılmaktadır [11]. Uygulamada kullanılan ham veri azimut yönünde iki eşit parçaya ayrılarak iki farklı yapay açıklıklı radar görüntüsü oluşturulur. Bu işlemle aynı gözlem alanının iki farklı zamanda görüntülenmesi durumu yaratılır. İlk görüntü, antenden alınan ilk yarı gözlem aralığında oluşturulan görüntüyü içerir. İkinci görüntü ise antenin ikinci yarı gözlem aralığındaki verileri kullanılarak elde edildiği için gözlem alanının bu zaman dilimindeki görüntüsünü içerir.

Oluşturulan iki farklı görüntü yapay açıklıklı radar sisteminin parametreleri kullanılarak üst üste oturtulur. Bu üst üste oturtulmuş görüntülerin farkı alınarak gözlem alanı içindeki sabit hedefler yok edilerek sadece hareketli hedefler görüntü içinde bırakılır.

Hareketli hedefler bulunduktan sonra, hedefin oluşturulan iki görüntü arasındaki yer değiştirme bilgisi kullanılarak hedefin menzil doğrultusundaki hareket yönü ve hareket hızı elde edilir.

2.2. Azimut yönündeki hareket tespiti

Azimut yönündeki hareketli hedef kırpma ortalaması algoritmasıyla (shear averaging algorithm) tespit edilmektedir [9] ve [10]. Literatürde azimut yönündeki hareketli hedefi tespit etmek için çok sayıda yöntem önerilmiştir. Bu çalışmada azimut yönündeki hareketi tespit etmek için kırpma ortalaması algoritmasının seçilme sebebi algoritmanın azimut yönündeki hız bileşenini hassas şekilde tespit etmesi, çok hızlı şekilde sonuç vermesi, yüksek dereceli faz hatalarını tespit edebilmesi ve hedef üzerinde önceden bilinen bir saçıcıya ihtiyaç duymaması özelliklerine sahip olmasından dolayıdır [9].

Önerilen algoritmada bütün görüntü küçük alt görüntülere bölünür. Her bir alt görüntü [10] makalesinde detaylı şekilde anlatılan kırpma ortalaması algoritmasıyla işlenerek azimut yönündeki hareketli hedefler tespit edilir. Algoritma çalıştırılmadan önce kullanılacak veri içinde iyi seviyede kargaşa bastırması yapıldığı için hareketli hedeflerin tespit edilmesi olasılığı oldukça yüksektir.

Azimut yönündeki hareketi tespit etmek için algoritmada aşağıdaki adımlar takip edilmektedir:

- Bütün görüntü küçük alt görüntülere bölünür.
- Tek bir alt görüntü verisi alınır.
- Bu alt görüntü verisinin azimut yönünde FFT'si alınır.
- Kırpma ortalaması değeri hesaplanır.
- Azimut yönündeki faz hatası hesaplanır.
- Faz düzeltmesi yapılır.
- Düzeltilmiş verinin ters Fourier dönüşümü alınır.
- Faz hatasının standart sapması hesaplanır.
- Elde edilen standart sapma değeri belirli bir eşik üzerindeyse hareketli hedef bulunmuştur.
- Hareketli hedef bulunduktan sonra hedefin hız ve hareket yönü bilgileri sistem modelinden faydalanılarak hesaplanır.

Hareketli hedefin varlığının tespiti için kullanılan eşik değeri bütün görüntü için sabit bir değer olarak hesaplanabileceği gibi her bir alt görüntü için ayrı olarak da hesaplanabilir. Uygulamada doğruluğu arttırmak için her bir alt görüntü için yeni bir eşik değeri hesaplanılarak kullanılmaktadır.

Uygulamanın son adımında, hareketli hedefi belirten maksimum genlikli noktanın orijinal görüntü ve faz düzeltilmiş görüntü içindeki yer değiştirmesinden yararlanılarak hedefin hareket yönü ve hızı belirlenir. Benzetim sonucunda hedefin gerçek hızıyla, tespit edilen hızları arasında Şekil 1'de gösterilen ilişki elde edilmiştir. Bu ilişki modeliyle referans sistemde azimut yönündeki gerçek hız hesaplanabilmektedir.

Menzil ve azimut yönlerinde elde edilen sonuçlar birleştirilerek tespit edilen hedeflerin gerçek hareket yönleri ve hızları hesaplanır.

3. Benzetim sonuçları

Önerilen algoritmanın performansı Matlab ortamında test edilmiştir. Benzetim senaryosunda bir gözlem alanı içine sabit ve hareketli hedefler yerleştirilmiştir. Benzetimlerde kullanılmak üzere oluşturulan bu gözlem alanı Şekil 2’de gösterilmiştir. Uygulamada kullanılan yapay açıklıklı radar sisteminin parametreleri Tablo’1 de gösterilmiştir.

Oluşturulan gözlem alanı içinde üç adet hedef bulunmaktadır. Bu hedeflerden soldaki iki tanesi sabit iken sadece sağdaki hedef hareketlidir. Bu hareketli hedef Şekil 3 ve Şekil 4’te işaretlenerek gösterilmektedir. Bu şekillerde hareketli hedef sadece menzil veya sadece azimut yönünde 3,9 m/s sabit hızla hareket etmektedir.

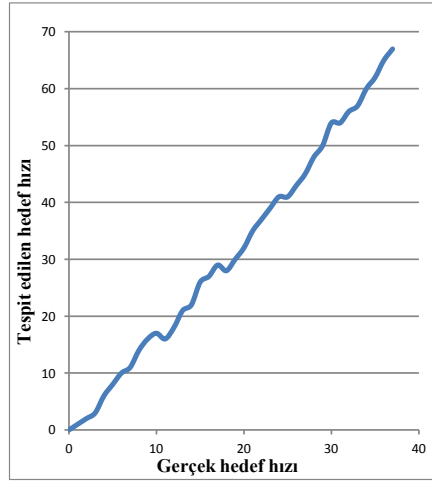
Benzetimlerde hızları 0,39 m/s ile 15,6 m/s olarak değişen çeşitli hedef hareketleri incelenmiştir. Azimut yönünde yapılan incelemelerde bu hızlara sahip bütün hareketli hedefler başarılı bir şekilde tespit edilmiştir. Tespit edilen hareketli hedeflerin gerçek hızları Şekil 1’de gösterilen referans sistem modeli kullanılarak hesaplanmıştır.

Menzil yönü için yapılan incelemelerde 1,56 m/s’den daha yavaş hızlarda menzil yönünde hareket eden hedefler tespit edilememiştir. Fakat bu hız değerinden daha yüksek hızlarda hareket eden bütün hedefler tespit edilmiştir ve hareket yönleri ve hızları hesaplanmıştır.

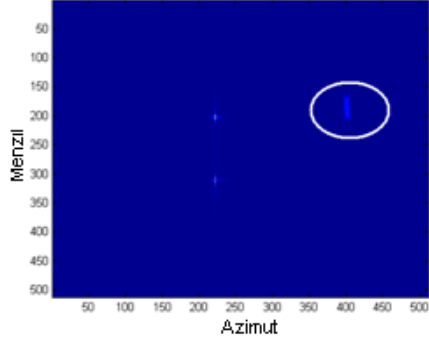
Merkez frekans	10 GHz
Darbe süresi	1 μ s
Radar PRF	200 Hz
Örnekleme frekansı	180 MHz
Chirp oranı	1.5×10^{14}
Platform hızı	200 m/s
Eğim menzil alan merkezi	10 km
Menzil çözünürlüğü	0,3 m
Azimut çözünürlüğü	0,3 m
Eğim açısı	0°
Gözlem alanı boyutu	200 m x 200 m
YAR görüntüsü boyutu	512 x 512 piksel
Alt-açıklık sayısı	2
Açıklık boyutu (Azm x Menzil)	256 x 512 piksel
Alt görüntü boyutu (Azm x Menzil)	128 x 16 piksel
Hareketli hedef hızı	0,39 m/s – 15,6 m/s

Tablo 1: Benzetimlerde kullanılan yapay açıklıklı radar sisteminin parametreleri

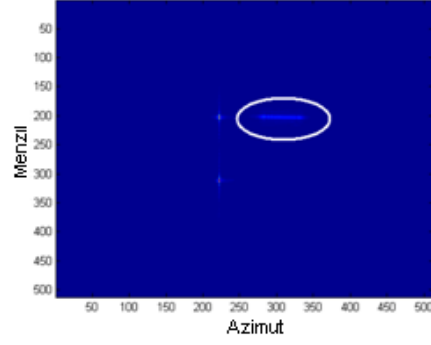
Menzil yönünde çok düşük hızlarda hareket eden hedefler dışındaki bütün hareketli hedefler alt-açıklık işleme ile sabit hedeflerden ayrıştırılmıştır. Ayrıca bu hedeflerin hızları ve hareket doğrultuları tespit edilmiştir. İlave olarak azimut hareketi, hareket yönü ve hızı başarılı bir şekilde tespit edilmiştir.



Şekil 1: Benzetim sonuçlarından elde edilen referans sistem modeli.



Şekil 3: Sadece menzil yönündeki hareket etkisi.



Şekil 4: Sadece azimut yönündeki hareket etkisi.

4. Sonuçlar

Yapay açıklıklı radar görüntüleri içindeki hareketli hedefleri hem menzil hem de azimut doğrultusunda tespit eden yeni bir algoritma önerilmiştir. Alt-açıklık işleme ve kırpma ortalaması algoritmasının bir arada kullanılmasıyla herhangi bir yönde hareket eden hedefler tespit edilebilmektedir. Tespit etme algoritması menzil ve azimut yönleri için birbirinden bağımsız çalışabilmektedir. Bu sayede paralel işleme yapılarak daha hızlı bir şekilde hedef tespiti yapılabilmektedir. Ayrıca menzil ve azimut yönlerinde bağımsız işleme yapıldığı için sonuçların doğruluğu ve tutarlılığı yüksektir. Algoritma sadece hareketli hedefi tespit etmekle kalmayıp ayrıca hedefin hareket doğrultusunu ve hızını da tespit edebilmektedir.

Teşekkür

Bu çalışmaya katkılarından dolayı Tron Elektronik Sistemler San. ve Tic. A.Ş.'ye teşekkür ederiz.

Kaynaklar

1. Palubinskas, G., Runge, H., "Detection of Traffic Congestion in SAR Imagery." Proc. of 7th European Conference on SAR, Fridrichshafen, Germany, 2008.
2. Kirscht, M., "Detection, Velocity Estimation and Imaging of Moving Targets with Single-Channel SAR." Proc. of European Conference on Synthetic Aperture Radar, EUSAR '98, 1998.
3. Jung, J.H., "Ground Moving Target Displacement Compensation in the DPCA based SAR-GMTI System." 2009 IEEE Radar Conference, 2009.
4. Qin, F., Zhang, X., Dong, M., "A method of hybrid ATI and DPCA technique to detect moving target." International Conference on Radar, CIE '06, 2006.
5. Kohlleppel, R., Gierull, G., "Enhancement of along-track interferometry for ground moving target indication." International Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2008.
6. Li, G., Xu, J., Peng, Y., Xia, X., "Detection, Velocity Estimation and Imaging of Fast Moving Targets Using Single Antenna SAR." International Conference on Radar, 2006.
7. Liu, S., Yuan, Y., Gao, F., Mao, S., "Method of moving target detection based on sub-image cancellation for single-antenna airborne synthetic aperture radar." Journal of Systems Engineering and Electronics, 2007.
8. Kirscht, M., "Detection and imaging of arbitrarily moving targets with single-channel SAR." RADAR 2002.
9. Fienup, J.R., "Detecting Moving Targets in SAR imagery by focusing." IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, 2001.
10. Fienup, J.R., "Phase Error Correction by Shear Averaging." Signal Recovery and Synthesis III, digest of papers, Optical Society of America, 1989.
11. Franceschetti, G., Lanari, R., Synthetic Aperture Radar Processing. CRC Press, 1999.

Alt Yama Yöntemiyle Yapay Açıklıklı Radar Görüntülerindeki Hareketli Hedeflerin Tespit Edilmesi

Moving Target Detection in SAR Images by Using Subpatch Method

Murat Hakan Yusufoglu¹, Mesut Kartal¹

¹Bilişim Enstitüsü
İstanbul Teknik Üniversitesi
hakan.yusufoglu@gmail.com, kartalme@itu.edu.tr

Özet

Radar sistemlerinde, yapay açıklıklı radar (YAR) görüntüleri içindeki hareketli hedeflerin tespit edilmesi son zamanlarda öne çıkan bir konudur. Bu çalışmada YAR görüntüleri içindeki hareketli hedeflerin tespit edilmesiyle ilgili yeni bir yöntem önerilmiştir. Hareketli hedeflerin tespiti için "alt yama" işleme yöntemi kullanılmaktadır. Bu yeni yöntem hem menzil hem de azimut yönlerinde hareket eden hedefleri başarılı bir şekilde tespit edebilmektedir. Algoritmada ana görüntüden dört alt yama elde edilmektedir. Bu alt yamalar sayesinde sistemdeki hareketli hedeflerin tespit edilme başarımı arttırılmaktadır. Bilgisayar benzetimleri sonucunda önerilen bu yöntemle herhangi bir yönde hareket eden hedeflerin başarılı bir şekilde tespit edilebildiği gösterilmiştir.

Abstract

In radar systems, moving target detection within the synthetic aperture radar (SAR) images is an important topic. This paper presents a new algorithm for detection of moving targets in SAR images. Subpatch processing algorithm is used to detect moving targets. This new algorithm successfully detects targets moving in both range and azimuth directions. In the algorithm, four different subpatch images are formed from one whole scene image. By forming four different subpatch images probability of moving target detection is increased. Computer simulations show that the excellent detection results of targets moving in any direction is possible by the proposed method.

1. Giriş

Yapay açıklıklı radar teknolojisi günümüz dünyasına birçok yenilik getirmiştir. Bugün çok çeşitli uygulama alanlarında YAR teknolojisinden faydalanılır. Bu uygulamalara örnek olarak çevre araştırma, bilimsel, sivil ve askeri amaçlı uygulamalar gösterilebilir. YAR teknolojisinin yaygın uygulama alanı belirli yeryüzü bölgelerinin yüksek çözünürlüklü görüntülerinin elde edilmesidir. YAR görüntüleme ile herhangi bir yeryüzü bölgesinin detaylı görüntülerini elde etmek mümkündür. Elde edilen bu detaylı görüntüler sayesinde yeryüzü bölgesinin analizleri yapılabilmekte ve özellikleri daha iyi anlaşılmaktadır.

YAR teknolojisiyle elde edilen yeryüzü bölgelerinin görüntüleri kullanılarak, hedef bölge içinde hareketli

nesnelerin bulunup bulunmadığı tespit edilebilir. Tespit edilen hareketli hedeflerin bilgileri farklı amaçlar için kullanılabilir. Örneğin trafik akışının incelenmesi [1], askeri bölgelerin incelenmesi, bölge içindeki belirli bir hedefin takip edilmesi ve hareketli hedeflerin hız, yön gibi hareket parametrelerinin tespit edilmesi gerçekleştirilebilir.

Hareketli hedeflerin tespit edilmesi için birçok yöntem önerilmiştir [2...9]. Bu algoritmalarda hareketi tespit edebilmek için yer değiştirmiş faz merkezli anten (Displaced phase centre antenna) [3 ve 4], hat boyunca interferometre (along track interferometry) [5], tek kanallı ve çok kanallı radar görüntüsü işleme [6...8] ve görüntü odaklama algoritmaları [9] gibi çeşitli yöntemler kullanılmıştır.

Yapay açıklıklı radar görüntüsü içindeki hareketli hedefler hareket ettikleri yöne bağlı olarak görüntü içinde bulanık veya olması gerektiğinden farklı yerde görünürler [2]. Hedef azimut yönünde hareket ediyorsa elde edilen görüntüde hareketten kaynaklanan azimut yönünde bir bulanıklık oluşur. Benzer şekilde, hedef menzil yönünde hareket ediyorsa hareketten kaynaklanan bulanıklığa ilave olarak hedef olması gereken yerden çok farklı bir yerde görüntülenir. Hatta çok yüksek menzil hızlarına sahip hedefler elde edilen görüntü içinden tamamen kaybolur [2 ve 9]. Görüntülerde oluşan bu özellikler birçok farklı algoritmanın temelini oluşturmuştur.

Konumla değişen faz hatası geometrik bozulmaya ve görüntü alanı içindeki saçıcının konumuna bağlı olarak bulanıklığa sebep olur [10]. Bu özellikten faydalanarak YAR görüntüsü içindeki hareketli hedefler tespit edilebilir. Alt yama işleme yöntemi [11] ile ana görüntü küçük alt yamalara bölünür ve bu alt yamalar içindeki hedeflerin yer değiştirmeleri incelenerek hareket tespit edilir.

Bu çalışmada yapay açıklıklı radar görüntüleri içindeki hareketli hedeflerin tespit edilmesi için alt yama yöntemini kullanan yeni bir algoritma önerilmiştir. Alt yama yönteminde incelenen ana bölge daha küçük parçalara bölünerek yeni parça merkezlerine göre görüntüler oluşturularak görüntüye odaklanılır. Önerilen yeni yöntemde, alt yama yönteminde

kullanılan bu yapıdan faydalanılarak hareketli hedeflerin hem menzil, hem de azimut doğrultusundaki hareketleri tespit edilebilmektedir. Görüntü dört adet alt yamaya bölünerek hareketli hedeflerin yüksek başarımla tespit edilmesi sağlanmıştır.

1. Önerilen Yöntem

Önerilen algoritmada spotlight moduyla kaydedilmiş tek kanallı yapay açıklıklı radar verisi kullanılmaktadır. Algoritmaya başlamadan önce veri içinde kargaşa bastırması yapılarak hedef tespit işleminin doğruluğu artırılmıştır.

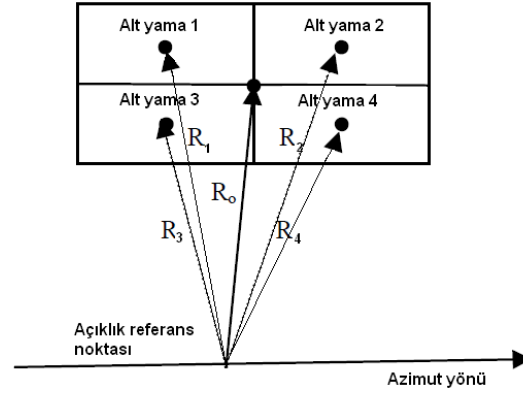
Alt yama işleme yönteminin esas kullanım alanı görüntü odaklamasıdır. Bu çalışmada, bu yöntemin odaklama işlemine ilave olarak hareketli hedeflerin tespit edilmesinde de kullanılabilmesi gösterilmiştir. Ana görüntü Şekil 1’de gösterildiği biçimde daha küçük alt yamalara bölünür. Her bir alt yama görüntüsünün merkezi belirlenir ve işaretin bu noktaya olan gidip gelme zamanı hesaplanır.

Bu işlemden sonra ana görüntü merkezi için elde edilen ara frekans (IF) işareti ile, hesaplanan gidip gelme gecikme zamanı kullanılarak oluşturulan referans işareti karıştırılarak her bir alt yama için demodülasyonlu işaret elde edilir. Bu işlem ile yeni bir koordinat noktası için bütün görüntünün yeni bir alt yaması oluşturulur. Bu işlem Şekil 1’de gösterilen dört alt yama merkezi kullanılarak tekrarlanır. Sonuçta dört farklı merkez koordinatı için ana görüntünün dört farklı alt yama görüntüsü oluşturulur. Bu alt yama görüntüleri aynı alana farklı açılardan bakılmış gibi değerlendirilebilir. Bu alt yama görüntülerindeki farklar kullanılarak bölge içinde hareketli hedef olup olmadığı tespit edilmektedir.

Hareketli hedef tespit algoritması aşağıdaki adımlarla ifade edilebilir:

- Ana görüntüyü Şekil 1’de gösterildiği gibi dört alt yama görüntüsüne böl.
- Her bir alt yama görüntüsünün merkezini bul ve buna karşılık gelen işaretin gidip gelme gecikmesini hesapla.
- Ana görüntü merkezi için elde edilen IF işareti ile, hesaplanan gidip gelme gecikme zamanı kullanılarak oluşturulan referans işaretini karıştırarak her bir alt yama için demodülasyonlu işareti elde et.
- Elde edilen bu görüntüler içindeki bütün hedefleri (hem hareketli hem de sabit) bul.
- Bu görüntüler içindeki hedeflerin yer değiştirme miktarını hesapla.
- Bir önceki adımda hesaplanan yer değiştirme miktarını kullanarak elde edilen görüntüleri üst üste bindir.
- Üst üste bindirilmiş görüntülerin farkını hesaplayarak görüntü içindeki hareketli hedefleri bul.

Alt yama merkezi ve ana görüntü merkezi arasındaki farktan dolayı oluşturulan bütün görüntüler içindeki sabit ve hareketli hedefler bir miktar ötelenmiştir. Dört alt yama görüntüsündeki sabit hedeflerin ötelenme miktarları aynıdır. Öte yandan, incelenen alt yama görüntüsüne bağlı olarak hareketli hedefin yer değiştirme miktarı sabit değildir. Hareketli hedefler farklı alt yama görüntülerinde farklı miktarlarda ötelenmektedir. Bu bilgi değerlendirilerek görüntü içinde hareketli hedef bulunduğu kolayca tespit edilir.



Şekil 1: Alt yama yerleşimi.

2. Benzetim Sonuçları

Önerilen yöntemin performansı Matlab benzetimleriyle ölçülmüştür. Benzetim senaryosunda hareketli ve sabit hedefler görüntü alanına yerleştirilmiştir. Benzetimlerde kullanılan görüntü Şekil 2’de gösterilmektedir. Ayrıca benzetimde kullanılan yapay açıklıklı radar sisteminin parametreleri Tablo 1’de belirtilmiştir.

Benzetimde oluşturulan görüntü içine dört adet hedef yerleştirilmiştir. Bu hedeflerden üç tanesi sabit, sadece en sağdaki hedef hareketlidir. Bu hareketli hedefte saniyede 2,34 metre yer değişecek şekilde bir hareket verilmiştir. Bu hareket sırasıyla sadece menzil ve sadece azimut yönünde uygulanmıştır. Elde edilen bu görüntüler önerilen yöntemle işlenerek görüntülerin içindeki hareketli hedef tespit edilmiştir. Sadece menzil yönünde hareket eden hedef Şekil 3’te, sadece azimut yönünde hareket eden hedef Şekil 4’te işaretlenmiş olarak gösterilmektedir.

Benzetim sonuçları Şekil 5’ten Şekil 8’e kadar gösterilmektedir. Bu şekillerde 2,34 m/s hızında sadece menzil yönünde ve 2,34 m/s hızında sadece azimut yönünde hareket eden hedefler için yapılan inceleme sonuçları gösterilmiştir. Bütün alt yamalar için iki hedef arasındaki yer değiştirme farkı hesaplanmış ve şekillerde gösterilmiştir. Aynı hedefin dört farklı alt yama verisi için elde edilen sonuçlar gruplanarak aynı görüntü içinde gösterilmiştir. Şekillerde belirtilen “Hedef a-b A#x” ifadesi, “a” ve “b” hedeflerinin “x” numaralı alt yama işleme sonucunu göstermektedir. Örneğin “Hedef 1-2 A#1” ifadesi “1” numaralı alt yama içindeki “hedef 1” ile “hedef 2” arasındaki yer değiştirme farkını göstermektedir. Şekil 7 ve Şekil 8’de bu gösterim içinde görülen “M” ise hareketli hedefi belirtmek için kullanılmıştır.

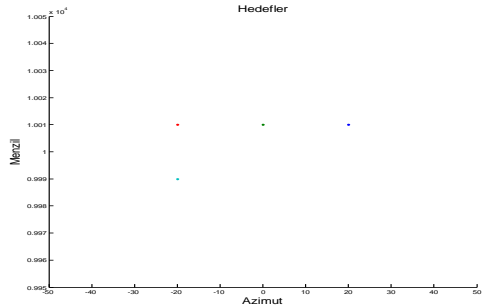
Şekil 5 ve Şekil 6’da görülebileceği üzere sabit hedeflerin bütün alt yamalar için menzil ve azimut yönü yer değiştirme miktarları çok dar bir alan içinde bulunmaktadır. Dolayısıyla sabit hedeflerin alt yamalar içindeki yer değiştirme miktarları sabit olarak düşünülebilir. Öte yandan Şekil 7 ve Şekil 8’de görülebileceği gibi alt yamalar içinde hareketli hedefin sabit

hedeflere göre yer değıştirme miktarı çok farklı değerler alabilmektedir. Böylelikle hareketli hedefin sabit hedeflerden ayrıştırılması kolaylıkla yapılabilir. Sonuç olarak sabit hedefler alt yamalar içinde belirli bir miktarda yer değıştirirken, hareketli hedefler alt yamalar içinde çok farklı miktarlarda yer değıştirir.

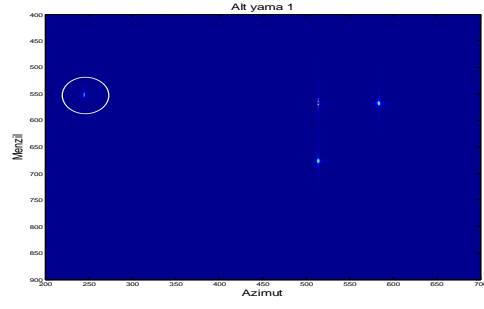
Benzetim senaryolarında hedefin sadece menzil ve sadece azimut yönündeki hareketi 0,39 m/s hızından başlayarak 15,6 m/s hızına kadar incelenmiştir. Bütün bu hız değerleri için elde edilen sonuçlarda Şekil 5 ve Şekil 6'da gösterildiği gibi sabit hedeflerin alt yamalar içindeki yer değıştirme miktarının her zaman sabit kaldığı gözlenmiştir. Fakat hareketli hedefler ile sabit hedefler arasındaki yer değıştirme farkının değışken olduğu gözlenmiştir. Bu farklılıktan faydalanılarak hareketli hedefler her zaman tespit edilebilmiştir. Örneğin menzil yönünde hareket eden bir hedef ile sabit hedef arasındaki yer değıştirme miktarı hedef hareketi 0,39 m/s iken 0,78 metre olmasına karşın, hedef hızı arttıkça fark artmış ve hedef hızı 15,6 m/s iken fark 10,1 metreye çıkmıştır. Bütün senaryolarda menzil ve azimut yönünde hareket eden hedefler başarılı bir şekilde tespit edilmiştir.

Tablo 1: Benzetim sistemi parametreleri

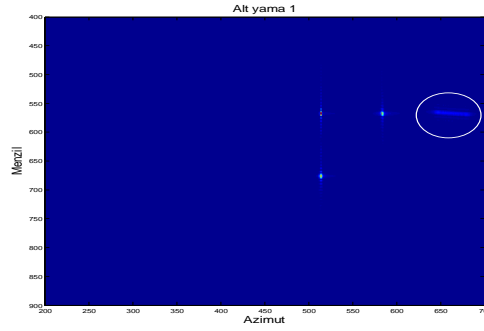
Merkez frekans	10 GHz
Darbe süresi	1 μ s
Radar PRF	200 Hz
Örnekleme frekansı	180 MHz
Chirp oranı	1.5×10^{14}
Platform hızı	200 m/s
Eğim menzil alan merkezi	10 km
Menzil çözünürlüğü	0.3 m
Azimut çözünürlüğü	0.3 m
Eğilim açısı	0°
Gözlem alanı boyutu	200 m x 200 m
YAR görüntüsü boyutu	1024 x 1024 piksel
Alt yama sayısı	4
Hareketli hedef hızı	0,39 m/s – 15,6 m/s



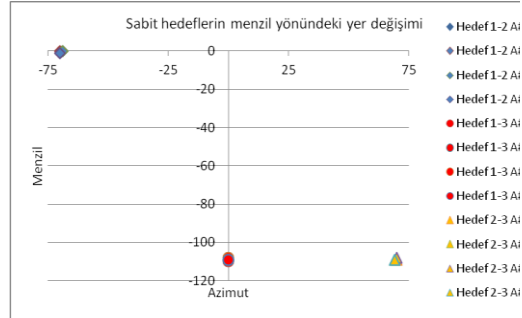
Şekil 2: Benzetimlerde kullanılan hedefler.



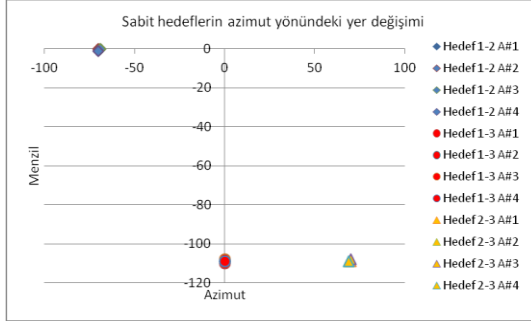
Şekil 3: Sadece menzil yönündeki hareketin alt yama 1 görüntüsü.



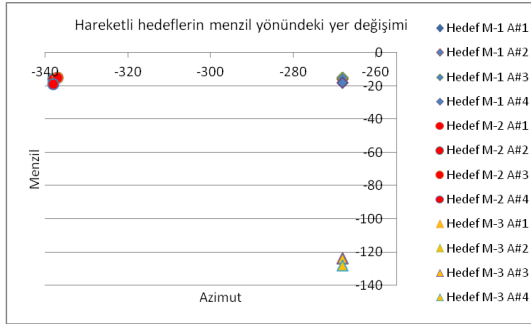
Şekil 4: Sadece azimut yönündeki hareketin alt yama 1 görüntüsü.



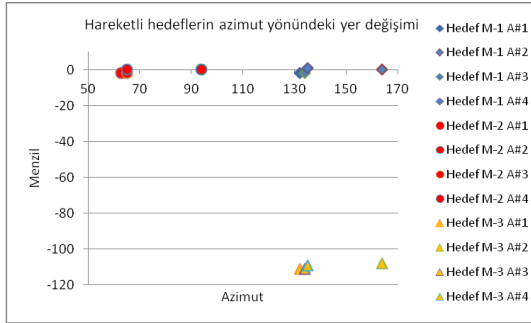
Şekil 5: Sabit hedeflerin menzil yönündeki yer değışimi.



Şekil 6: Sabit hedeflerin azimut yönündeki yer değişimi.



Şekil 7: Hareketli hedeflerin menzil yönündeki yer değişimi.



Şekil 8: Hareketli hedeflerin azimut yönündeki yer değişimi.

1. Sonuçlar

Yapay açıklıklı radar görüntüleri içindeki hem menzil hem de azimut yönünde hareket eden hedeflerin tespit edilmesi için yeni bir yöntem önerilmiştir. Alt yama işleme yöntemiyle herhangi bir yöndeki hedef hareketi tespit edilebilmektedir. Ana görüntüden dört farklı alt yama görüntüsü oluşturulmuştur. Bu alt yama görüntüleri içindeki sabit hedeflerin yer değiştirme miktarı hesaplanarak bu yer değişim

miktarlarına göre belirgin şekilde farklı yer değiştirmeye sahip hedeflerin hareketli olduğuna karar verilmektedir. Bundan sonraki çalışmalarda alt yama sayısının artırılmasının algoritmanın hareketli hedefleri tespit etme performansındaki etkileri incelenebilir ve hareketli hedeflerin hız ve hareket parametrelerinin elde edilmesiyle ilgili analizler yapılabilir.

Kaynaklar

- [1] G. Palubinskas, and H. Runge, Detection of Traffic Congestion in SAR Imagery, *Proc. of 7th European Conference on SAR*, Fridrichshafen, Germany, 2008
- [2] M. Kirscht, Detection, Velocity Estimation and Imaging of Moving Targets with Single-Channel SAR, *Proc. of European Conference on Synthetic Aperture Radar, EUSAR '98* 1998
- [3] J.H. Jung, Ground Moving Target Displacement Compensation in the DPCA based SAR-GMTI System, *2009 IEEE Radar Conference*, 2009
- [4] F. Qin, X. Zhang, and M. Dong, A method of hybrid ATI and DPCA technique to detect moving target, *CIE '06, International Conference on Radar*, 2006.
- [5] R. Kohlleppel, and G. Gierull, Enhancement of along-track interferometry for ground moving target indication, *International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, 2008.
- [6] G. Li, J. Xu, Y. Peng, and X. Xia, Detection, Velocity Estimation and Imaging of Fast Moving Targets Using Single Antenna SAR, *International Conference on Radar*, 2006.
- [7] S. Liu, Y. Yuan, F. Gao, and S. Mao, Method of moving target detection based on sub-image cancellation for single-antenna airborne synthetic aperture radar, *Journal of Systems Engineering and Electronic*, 2007.
- [8] M. Kirscht, Detection and imaging of arbitrarily moving targets with single-channel SAR, *RADAR 2002*, 2002.
- [9] J.R. Fienup, Detecting Moving Targets in SAR imagery by focusing, *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, 2001
- [10] W.G. Carrara, R.S. Goodman, and R.M. Majewski, *Spotlight Synthetic Aperture Radar Signal Processing Algorithms* (Artech House, Norwood, MA, 1995).
- [11] M. Kartal, S. Paker, S. Kent, A New Subpatch Focusing Algorithm for Spotlight SAR Processing of Large Scenes, *EUSAR 2010*, 2010.

ÖZGEÇMİŞ

- Ad Soyadı:** Murat Hakan Yusufoglu
- Doğum Yeri ve Tarihi:** Burdur, 1984
- E-Posta:** hakan.yusufoglu@gmail.com
- Lisans:** İstanbul Teknik Üniversitesi
Elektronik Mühendisliği Bölümü, 2006
- Ortaokul ve Lise:** Gaziantep Anadolu Lisesi, 2002
- İlkokul:** Gaziantep Akyol İlköğretim Okulu, 1995
- Mesleki Deneyim ve Ödüller:**
- 2008 Ocak – ... – Ar-Ge mühendisi, Tron Elektronik Sistemler San. ve Tic. A.Ş.
 - 2006 – 2007 – Ar-Ge mühendisi
 - 2006, Haziran – Ekim, Microsoft Office 2007 Türkçeleştirme Projesi, ES Dil Hizmetleri Ltd. Şti.

TEZDEN TÜRETİLEN YAYINLAR / SUNUMLAR

- Yusufoglu, M. H., Kartal, M., 2012: A New Method for Moving Target Detection in SAR Imagery. 1st International Conference on Telecommunications and Remote Sensing, ICTRS 2012, August 29–30, 2012 Sofia, Bulgaria
- Yusufoglu, M. H., Kartal, M., 2012: Yapay Açıklıklı Radar Görüntülerinde Hareketli Hedef Tespiti İçin Yeni Bir Yaklaşım, 6. URSI Konferansı, URSI 2012, 2–5 Eylül, 2012 Doğu Üniversitesi, İstanbul
- Yusufoglu, M. H., Kartal, M., 2012: Alt Yama Yöntemiyle Yapay Açıklıklı Radar Görüntülerindeki Hareketli Hedeflerin Tespit Edilmesi, Eleco 2012, 29 Kasım – 1 Aralık 2012, Bursa