

**T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ÇOK GENİŞ BANTLI RADAR İLE GİZLENMİŞ HEDEF TESPİT VE TAKİBİ İÇİN
GÖRÜNTÜLEME ALGORİTMALARININ GELİŞTİRİLMESİ**

MELEK ORHAN

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRONİK VE HABERLEŞME MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
HABERLEŞME PROGRAMI**

**DANIŞMAN
PROF. DR. AHMET SERDAR TÜRK**

İSTANBUL, 2016

**T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ÇOK GENİŞ BANTLI RADAR İLE GİZLENMİŞ HEDEF TESPİT VE TAKİBİ İÇİN
GÖRÜNTÜLEME ALGORİTMALARININ GELİŞTİRİLMESİ**

MELEK ORHAN

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRONİK VE HABERLEŞME MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
HABERLEŞME PROGRAMI**

**DANIŞMAN
PROF. DR. AHMET SERDAR TÜRK**

İSTANBUL, 2016

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ÇOK GENİŞ BANTLI RADAR İLE GİZLENMİŞ HEDEF TESPİT VE TAKİBİ İÇİN
GÖRÜNTÜLEME ALGORİTMALARININ GELİŞTİRİLMESİ**

Melek ORHAN tarafından hazırlanan tez çalışması 25.07.2016 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Prof. Dr. Ahmet Serdar TÜRK

Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Ahmet Serdar TÜRK

Yıldız Teknik Üniversitesi



Yrd. Doç. Dr. Hamid TORPİ

Yıldız Teknik Üniversitesi



Yrd. Doç. Dr. Ali Köksal HOCAOĞLU

Gebze Teknik Üniversitesi



Bu alışma, Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu'nun 114E241 numaralı projesi ve 2210-C ncelikli Alanlara Yönelik Yurt İçi Yüksek Lisans Burs Programı ile desteklenmiştir.

ÖNSÖZ

“Çok Geniş Bantlı Radar ile Gizlenmiş Hedef Tespit ve Takibi için Görüntüleme Algoritmalarının Geliştirilmesi” adlı yüksek lisans tezimin hazırlanmasında ilgi ve yardımlarını esirgemeyen, çalışmam süresince sunmuş olduğu önerilerle ve göstermiş olduğu özveriyle bu çalışmanın titizlikle yürütülmesini sağlayan tez danışmanım ve değerli hocam Sayın Prof. Dr. Ahmet Serdar TÜRK’e teşekkürlerimi sunarım.

En büyük manevi destekçim olan ve sevgilerini her zaman hissettiğim değerli aileme, Muhammet Bedrettin TOPRAK’a ve öğrenim hayatım boyunca emeği geçen tüm hocalarıma teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca bu çalışmayı, 114E241 proje koduyla ve 2210-C Öncelikli Alanlara Yönelik Yurt İçi Yüksek Lisans Burs Programı ile destekleyen TÜBİTAK’a teşekkür ederim.

Temmuz, 2016

Melek ORHAN

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ.....	vii
KISALTMA LİSTESİ.....	ix
ŞEKİL LİSTESİ.....	x
ÇİZELGE LİSTESİ	xiii
ÖZET	xiv
ABSTRACT.....	xvi
BÖLÜM 1	
GİRİŞ.....	1
1.1 Literatür Özeti	1
1.2 Tezin Amacı	2
1.3 Hipotez	4
BÖLÜM 2	
RADAR SİSTEMLERİ	5
2.1 ÇGB Radar Kavramı	7
2.2 Yere Nüfuz eden Radar	7
2.2.1 Frekans Adımlı Sürekli Dalga Radar	9
2.2.2 Darbeli Yere Nüfuz eden Radar	12
2.3 YNR Menzil Profilleri	14
2.3.1 A tarama	14
2.3.2 B tarama	14
2.3.3 C tarama	14
2.3.4 YAR Sistemi ve YAR Ham Versinin İşlenmesi	15
2.3.4.1 YAR Sistemi.....	17
2.3.4.2 YAR Görüntüleme Geometrisi.....	17
2.3.4.3 Menzil Çözünürlüğü	18
2.3.4.4 Azimut Çözünürlüğü	19

2.3.4.5 YAR Sisteminin Çalışma Modları	21
BÖLÜM 3	
FOURIER DÖNÜŞÜMÜ.....	23
3.1 Sürekli Fourier Dönüşümü	23
3.2 Kesikli Fourier Dönüşümü	23
3.3 DFT Parametrelerinin Hesaplanması	24
BÖLÜM 4	
MATERYAL VE METOT.....	26
4.1 Kullanılan Materyal	26
4.1.1 Tez Kapsamında Kullanılan Antenler	26
4.1.1.1 YNR Dalga Bandı için Kullanılan Antenler	27
4.1.1.2 Milimetrik Dalga Bandı için Kullanılan Antenler	29
4.2 Sistem Modeli ve Verilerin Elde Edilmesi	31
4.3 Sinyal İşleme Teknikleri.....	31
4.3.1 Arka Plan Kaldırma	31
4.3.2 Zamanla Değişen Sinyal Kazancı	32
4.3.3 Frekans Filtreleme	33
4.3.4 Wiener Filtreleme.....	34
4.3.5 Ortamın Dielektrik Sabitinin Hesaplanması.....	35
4.4 Görüntüleme Algoritmaları.....	36
4.4.1 Huzme Adaptif Yapay Açıklık Radarı (YAR) Algoritması.....	36
4.4.2 MUSIC Algoritması.....	41
4.5 Hedef Takip Algoritması.....	45
4.5.1 Elips Denklemi	45
4.5.2 Elips Parametrelerinin Uyarlanması	47
BÖLÜM 5	
UYGULAMALAR.....	50
5.1 Darbeli Radar Sistemi ile Hedef Takibi.....	50
5.2 Frekans Atlamalı Radar Sistemi ile Görüntüleme	55
5.2.1 Tek Hedef için Tasarlanan Ölçüm Senaryosu	56
5.2.2 İki Farklı Hedef için Tasarlanan Ölçüm Senaryosu.....	59
5.3 Frekans Atlamalı Milimetrik Dalga Radar Sistemi ile Hedef Tespiti.....	64
BÖLÜM 6	
SONUÇ VE ÖNERİLER	68
KAYNAKLAR.....	70
ÖZGEÇMİŞ.....	72

SİMGE LİSTESİ

$a(\tau)$	Mod vektörü
c	Işık hızı
E	İstatistiksel beklenen değer
f	Devre analizörü ile tarama yapılan frekans bandı
f_0	Başlangıç frekansı
f_D	Doppler kayması
f_{sample}	Örnekleme frekansı
k	Vektör dalga numarası
k_u	Fourier bölgesi değişkeni
L	Kurgusal dizi anten sayısı
L_a	Antenin uçuş doğrultusunun uzunluğu
$P_{\text{Gürültü}}$	Gürültü alt uzayı
r	Geri saçılan sinyal
r_{YAR}	r parametresine YAR etkisi
R	Menzil
S_{21}	Yansıma katsayısı
S_{YAR}	S parametresine YAR etkisi
T	S_{21} in zamana bağlı ifadesi
T_i	Hedef olmayan bölgeden elde edilen her bir A-tarama verisi
T_B	Hedefin olmadığı arka plan sinyali
T_{BR}	Arka plan silinmiş A-tarama sinyali
T_d	Radar sinyalinin hedefe çarpıp antene dönme süresi
T_R	Maksimum menzil
U	Gürültü alt uzayına ait baz vektörleri
V_{st}	Algılayıcının hedefe göre hızı
v	Dalganın ortamdaki hızı
ϵ_r	Bağıl dielektrik sabiti
Δf	Sabit yükselme frekansı
ΔR	Menzil çözünürlüğü
ΔR_s	Eğik menzil çözünürlüğü
ΔR_i	YAR huzmesi içerisindeki her bir antenin hedef noktaya olan uzaklığı arasındaki fark
Δu	Örnekleme periyodu

Δk_x	Frekans bölgesindeki örnekler arasındaki ayrılık
μ	Görüntüdeki her bir pikselin N'den M'e komşuluğu
θ	Faz
θ_H	Antenin yatay huzme genişliği
ρ	Hedefin yansıtıcılığı
τ	Bant genişliği
τ_i	Zaman gecikmesi
τ_L	Tarama süresi
σ	İletkenlik
v	Varyans

KISALTMA LİSTESİ

1-B	1 Boyutlu
2-B	2 Boyutlu
3-B	3 Boyutlu
ADE	Axially Displaced Elliptical
ÇGB	Çok Geniş Bantlı
DFT	Kesikli Zaman Fourier Transformu
DoA	Geliş Açıcı Tahmini
EM	Elektromanyetik
GAR	Gerçek Açıklıklı Radar
GPR	Ground-Penetrating Radar
LNA	Low Noise Amplifier
MMW	Milimetrik Dalga
MTS	Mayın Tespit Sistemleri
MUSIC	Multiple Signal Classification
NASA	National Aeronautics and Space Administration
PD	Partially Dielectric
PRF	Pulse Repetition Frequency
RADAR	Radio Detection and Ranging
RHA	Ridged Horn Antenna
SAR	Synthetic Aperture Radar
SFCWR	Frekans Adımlı Sürekli Dalga Radar
TEM	Transverse Electric Magnetic
UWB	Ultra Wide Band
VSWR	Voltage Standing Wave Ratio
YAR	Yapay Açıklık Radarı
YNR	Yere Nüfuz Eden Radar

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2. 1	Engel arkasına nüfuz eden dalganın model gösterimi 9
Şekil 2. 2	Frekans atlamalı YNR genel diyagramı..... 10
Şekil 2. 3	SFCWR’da frekans adımlarının temsili 11
Şekil 2. 4	Darbeli YNR genel diyagramı 13
Şekil 2. 5	YNR menzil profilleri (a) A-tarama (b) B-tarama (c) C-tarama..... 15
Şekil 2. 6	Gerçek Açıklıklı Radar sistemi 16
Şekil 2. 7	Yapay Açıklıklı Radar sistemi 16
Şekil 2. 8	Temel YAR görüntüleme geometrisi 17
Şekil 2. 9	Menzil doğrultusunda temel YAR görüntüleme geometrisi 18
Şekil 2. 10	Azimut doğrultusunda temel YAR görüntüleme geometrisi..... 20
Şekil 2. 11	YAR çalışma modları (a) şerit tarama (b) spot ışığı (c) tarama modu 22
Şekil 3. 1	Zaman bölgesi kesikli Fouier dönüşümü 25
Şekil 4. 1	Tasarlanan PDTEM-RHA-30 (a) anten gösterimi (b) anten resmi 28
Şekil 4. 2	Tasarlanan PDTEM-RHA-30 (a) anten kazancı (b) VSWR grafiği 28
Şekil 4. 3	Tasarlanan PDTEM-RHA-30 anten ışıma örüntüsü 28
Şekil 4. 4	ADE yansıtıcı anten tasarımı (a) benzetim (b) üretim..... 30
Şekil 4. 5	ADE yansıtıcı antenin ışıma örüntüsü (a) benzetim (b) üretim sonucu 30
Şekil 4. 6	(a) Ham radar datası (b) arka plan kaldırılmış radar datası (c) karşılık gelen ortalama vektör 32
Şekil 4. 7	Zamanla değişen sinyal kazancı (a) ham A-tarama (b) zaman-kazanç fonksiyonu (c) zamanla değişen kazanç uygulaması sonucu 33
Şekil 4. 8	Wiener filtrenin etkisi (a) ham radar datası (b) filtre sonucu 35
Şekil 4. 9	YAR işleminde kullanılan kurgusal anten dizisinin gösterimi..... 37
Şekil 4. 10	Antenin hesaplanan noktaya olan uzaklığı 37
Şekil 4. 11	YAR huzmesi içerisindeki her bir antenin hesaplanan noktaya olan uzaklığı arasındaki fark..... 38
Şekil 4. 12	Hesaplanan noktanın anten tarafından görüldüğü açı hesabı..... 39
Şekil 4. 13	YAR ayak izi görüntüsü 40
Şekil 4. 14	Radar görüntüleme sistemi..... 43
Şekil 4. 15	Sinyallerin zaman domeninde IFFT ve MUSIC ile gösterimi..... 44
Şekil 4. 16	Elips parametreleri..... 46
Şekil 4. 17	Hedef hareketini tespit etmeye yönelik tasarlanan ölçüm senaryosu 48
Şekil 5. 1	Hedef hareketini tespit etmeye yönelik tasarlanan test sistemi 51

Şekil 5. 2	Duvar arkasında yer alan metal hedefin V hareketine ait 1. ölçüm (a) senaryo (b) algoritma sonucu	51
Şekil 5. 3	Duvar arkasında yer alan metal hedefin V hareketine ait 2. ölçüm (a) senaryo (b) algoritma sonucu	52
Şekil 5. 4	Duvar arkasında yer alan metal hedefin V hareketine ait 3. ölçüm (a) senaryo (b) algoritma sonucu	52
Şekil 5. 5	Duvar arkasında yer alan metal hedefin V hareketine ait 4. ölçüm (a) senaryo (b) algoritma sonucu	53
Şekil 5. 6	Duvar arkasında yer alan metal hedefin ters V hareketine ait ölçüm (a) senaryo (b) algoritma sonucu	53
Şekil 5. 7	Duvar arkasında 2,5 m uzaklıkta yer alan metal hedefin düz yürüme hareketine ait ölçüm (a) senaryo (b) algoritma sonucu	54
Şekil 5. 8	Duvar arkasında 2 m uzaklıkta yer alan insanın düz yürüme hareketine ait ölçüm (a) senaryo (b) algoritma sonucu	54
Şekil 5. 9	Duvar arkasında yer alan insanın V hareketine ait 1. ölçüm (a) senaryo (b) algoritma sonucu	55
Şekil 5. 10	Duvar arkasında yer alan insanın V hareketine ait 2. ölçüm (a) senaryo (b) algoritma sonucu	55
Şekil 5. 11	Duvar arkası YAR uygulamasında kullanılan (a) metal hedef fotoğrafı (b) metal hedef modeli	56
Şekil 5. 12	1-7 Ghz frekans bandında görüntülenen duvar arkası (a) B-tarama kesiti (b) C-tarama kesit görüntüsü	57
Şekil 5. 13	1-7 Ghz frekans bandında görüntülenen duvar arkası veriye uygulanan YAR algoritması sonucu elde edilen (a) B-tarama kesiti (b) C-tarama kesit görüntüsü	58
Şekil 5. 14	1-7 Ghz frekans bandında görüntülenen duvar arkası veriye uygulanan YAR ve MUSIC algoritması sonucu elde edilen B-tarama kesiti	58
Şekil 5. 15	Duvar arkası YAR uygulamasında kullanılan metal hedeflerin fotoğrafı (a) kafa-gövde (b) el-kol	59
Şekil 5. 16	Duvar arkası YAR uygulamasında kullanılan metal hedeflerin modeli (a) kafa-gövde (b) el-kol	59
Şekil 5. 17	1-7 Ghz frekans bandında görüntülenen iki farklı hedef için duvar arkası (a) B-tarama kesiti (b) C-tarama kesit görüntüsü	60
Şekil 5. 18	1-7 Ghz frekans bandında görüntülenen iki farklı hedef için duvar arkası C-tarama kesit görüntüleri (a) kafa-gövde (b) el-kol	61
Şekil 5. 19	1-7 Ghz frekans bandında görüntülenen iki farklı hedef için duvar arkası veriye uygulanan YAR algoritması sonucu elde edilen (a) B-tarama kesiti (b) C-tarama kesit görüntüsü	61
Şekil 5. 20	1-7 Ghz frekans bandında görüntülenen iki farklı hedef için duvar arkası veriye uygulanan YAR algoritması sonucu elde edilen C-tarama kesit görüntüleri (a) kafa-göve (b) el-kol	62
Şekil 5. 21	1-7 Ghz frekans bandında görüntülenen iki farklı hedef için duvar arkası veriye uygulanan YAR ve MUSIC algoritması sonucu elde edilen (a) B-tarama kesiti (b) C-tarama kesit görüntüsü	63

Şekil 5. 22	1-7 Ghz frekans bandında görüntülenen iki farklı hedef için duvar arkası veriye uygulanan YAR ve MUSIC algoritması sonucu elde edilen C-tarama kesit görüntüleri (a) kafa-göve (b) el-kol	64
Şekil 5. 23	Test ölçümü için tasarlanan MMW radar sistemi (a) hedefler ile (b) antenler ve network analizör ile	64
Şekil 5. 24	MMW radar uygulamasına ait hedef senaryosu	65
Şekil 5. 25	MMW radar ile elde edilen B-tarama görüntüleri (a) ham veri (b) YAR algoritması sonucu	66
Şekil 5. 26	YAR ve MUSIC yöntemlerinin birleştirildiği B-tarama görüntüsü	67

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 2. 1 Radar frekans bantları.....	6
6Çizelge 4. 1 Çeşitli malzemelerin dielektrik özellikleri.....	36

ÇOK GENİŞ BANTLI RADAR İLE GİZLENMİŞ HEDEF TESPİT VE TAKİBİ İÇİN GÖRÜNTÜLEME ALGORİTMALARININ GELİŞTİRİLMESİ

Melek ORHAN

Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Ahmet Serdar TÜRK

Bu tezin amacı, elektromanyetik dalgaları kullanarak beton, tuğla, ağaç gibi engellerin arkasına gizlenmiş hedeflerin uzaktan tespitini sağlayabilecek askeri ve sivil uygulamalara yönelik çok geniş bantlı ileri bakan radar sistemi için çeşitli ortam senaryolarına uygun görüntüleme yapabilen adapte edilebilir işaret ve görüntü işleme algoritmalarının geliştirilmesidir.

Bu kapsamda, laboratuvar ortamında hazırlanmış deneysel düzenek ile engel arkası farklı senaryolar için darbe ve frekans atlamalı iki tip yere nüfuz eden radar sistemi kullanılarak tarama verileri toplanmıştır. Frekans atlamalı radar sistemi, yüksek dinamik aralık ve yüksek çözünürlükte görüntüleme sağlaması ile cisimlerin tomografik görüntülerinin oluşturulmasında tercih edilmiştir. Darbeli radar sistemi ise yüksek hızlı algılama üstünlüğü ve işaret işleme kolaylığı ile derine bakan hızlı taramalı uygulamalarda hedef hareketinin tespit performansının incelenmesi için kullanılmıştır.

Ayrıca, frekans atlamalı radar ile toplanan veriyi parazit ve gürültüden temizlemek ve hedeflerin yüksek çözünürlükte görüntüsünü oluşturabilmek için menzil ve huzme parametrelerine dayalı özgün yapay açıklık radarı algoritması, menzil çözünürlüğünü artırarak frekans ortamından zaman ortamına dönüşümü sağlayacak MUSIC algoritması gibi güncel sinyal işleme algoritmaları geliştirilmiştir.

Sonuç olarak, iki farklı tipte radar sisteminin performans üstünlüklerinden yola çıkarak, çok geniş bantlı engel arkası görüntüleme radar sistemleri ile çeşitli senaryolar için test

verileri toplanmıştır. Elde edilen veriler kullanarak, gizlenmiş hedef ya da hedeflerin tespit ve takibi adapte edilebilir sinyal işleme teknikleri ile gerçekleştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yere nşfuz eden radar, çok geniş bantlı radar, duvar arkası gşrşntşleme, yapay açıklık radarı, hedef takibi

**DEVELOPMENT OF IMAGING ALGORITHMS FOR DETECTING AND
TRACKING OF CONCEALED TARGET BY ULTRA-WIDE BAND RADAR**

Melek ORHAN

Department of Electronics and Communications Engineering

MSc. Thesis

Adviser: Prof. Dr. Ahmet Serdar TÜRK

The principal aim of this thesis is development of adaptive signal and image processing algorithms by using electromagnetic waves in accordance with various scenarios for ultra-wide band radar system suited to military and civilian application that will provide remote sensing of the concealed targets which in behind the obstacles such as concrete, brick, tree.

In this project, using the laboratory equipment, some measurements are taken for different scenarios of behind the obstacles by using two types of ground penetrating radar systems in frequency and time domains. Stepped frequency radar systems are preferred in tomographic imaging because of acquiring high dynamic range and high resolution. On the other hand, impulse radar systems provide high-speed detection capability and facilitate the signal processing. Therefore, performance of moving target detection was examined with impulse radar by using eclipse equations.

Furthermore, in order to reduce of interference and noise and obtain the focused image from the raw data which are collected with the stepped frequency radar system, signal processing algorithms are designed such as synthetic aperture radar algorithm based on range and beam parameters and MUSIC algorithm that provides transformation of signals from frequency domain to time domain with high range resolution.

As a result, based on performance advantages of two different types of radars, the test data were collected for various scenarios with ultra wide band radar systems. Using the obtained data, tracking and detecting of concealed target were carried out with adaptive signal processing techniques.

Keywords: Ground penetrating radar, ultra wide band radar, through the wall imaging, synthetic aperture radar, target tracking

1.1 Literatür Özeti

Yere Nüfuz eden Radar, son 20 yıldır yeraltındaki kusurlu oluşumları ve boru, maden, boşluk, su kanalı, petrol kuyusu, tünel ve yol gibi yapıları algılama, sınıflandırma ve görüntülemeye teknolojiye liderlik etmektedir. Yer bilimi, su bilimi, mineral kaynaklar, inşaat mühendisliği, ulaştırma, tahribatsız muayene, mayın detektörü ve uzaktan algılama gibi birçok bilimi içine alan geniş bir uygulama alanına sahiptir. Radar sistemine uygun olarak geliştirilen sinyal işleme teknikleri ile hedef tespit performansı artırılmakta, uzamsal ve derinlik menziline hedefin konumuna ilişkin daha doğru bir bilgi elde edilmektedir [1].

YNR duvar arkası çalışmalarda da tarama ve yüksek çözünürlükte görüntüleme sağlar. Duvar arkası görüntüleme sistemlerinin çalışma prensibi, elektromanyetik dalga teorisine dayalı olarak, elektriksel ve manyetik bünye parametreleri açısından duvar arkasında yer alan homojen olmayan değişimlerin algılanması, hedef cisme dair derinlik, boyut ve şekilsel değişim bilgilerinin elde edilmesi ve görüntülenmesine dayanmaktadır. Tespit menzili birkaç santimetreden onlarca metreye kadar uzanabilmektedir. Çok küçük boyutlu cisimlerin tespiti mümkündür. Uygun çalışma koşullarında duvar arkasında yer alan insan ve metal cisimler YNR ile tespit edilebilir. Sistem performansı esasta duvar arkasındaki cismin saçıcılığı ve duvarın (toprak, beton vb.) elektriksel kaybı dikkate alınarak hesaplanan verici gücü, frekans bandı, dinamik aralık, anten kazancı gibi temel radar parametrelerine bağlıdır [2]. Bu tür bir görüntüleme sisteminde geniş bant çalışmak faydalı olacaktır. Zira, hem düşük

frekanslar vasıtasıyla beton, tuğla, ağaç ya da yer altı gibi elektromanyetik açıdan kayıplı ortamların içine derinlemesine nüfuz etmek mümkün olacak, hem de yüksek frekanslarda hedeften yüksek çözünürlüklü görüntü elde edilmesi imkanı doğacaktır. YNR teknolojisi büyük ölçüde uygulama tabanlıdır. Donanım ve yazılım birimlerinin başarımları tümleşik sistem performansını belirler. Ayrıca, uygun işaret işleme teknikleriyle tespit başarımı iyileştirilir.

Küçük bir antenin platform üzerinde hareket ettirilmesi ile geliştirilen YAR tekniği ile duvar arkası çalışmalara ek olarak sis, yağmur gibi hava engelleri altında, gece ve gündüz görüntüleme de kullanılabilen yüksek çözünürlüklü uzaktan algılama sistemleri için algoritmalar tasarlanmaktadır [3], [4]. YAR yönteminde her nokta daha uzun süre gözlemlendiğinden platformun ilerleme yönüne paralel olan azimut doğrultusunda, aynı boydaki gerçek açıklıklı bir antene göre, yüksek çapraz menzil çözünürlüğü elde edilmektedir [5], [6], [7]. Radar görüntüleme tekniklerinden bir diğeri ise alt uzay yöntemlerini kullanan MUSIC algoritmasıdır. Simülasyon ve gerçek veriler üzerine yapılan çalışlmalar incelendiğinde MUSIC algoritmasının menzil çözünürlüğü yüksek bir görüntüleme sağladığı görölmektedir [8], [9].

1.2 Tezin Amacı

Radar sistemleri, antenler vasıtasıyla engellere nüfuz edebilen mikrodalga işaretler gönderir ve cisimlerden geri saçılan alanları toplar. Daha sonra, bu geri saçılan alan verisi işaret ve görüntü işleme yöntemlerine tabi tutulur. Böylece, engel arkasına gizlenmiş hedeflerin ve nesnelerin görüntüleri elde edilebilir. Bu tezin amacı, radar sistemi ile elde edilen veriler kullanılarak hedefin hızlı bir şekilde tespitine ve yüksek çözünürlükte görüntülenmesine yönelik elektromanyetik tabanlı adaptif işaret ve görüntü işleme algoritmalarının geliştirilmesidir.

Bu çalışmada laboratuvar ortamında hazırlanan deneysel düzenek ile engel arkası farklı senaryolar için iki farklı YNR sistemi kullanılarak tarama verileri toplanmış ve bu veriler kullanılarak gizlenmiş hedef tespit ve takip algoritmaları geliştirilmiştir.

Adaptif işaret işleme çalışmaları; frekans atlamalı radar sistemi ile yüksek çözünürlüklü hedef tespiti ve darbeli radar sistemi ile gizlenmiş hedef takibi olmak üzere iki ana başlıkta sürdürülmüştür.

İlk adımda yapılan taramalar frekans bölgesinde frekans atlamalı radar sistemi için Anritsu devre analizörü ile gerçekleştirilmiştir. Frekans atlama tekniği, darbeli YNR ile karşılaştırıldığında daha yüksek dinamik aralık ve frekans spektrumunun daha etkin kontrolü gibi bazı ayırt edici sinyal işleme yararları sağlamaktadır. Çözünürlüğün ve nüfuz etme derinliğinin artmasından ayrı olarak, frekans atlamalı YNR alınan sinyal spektrumunun reel ve faz terimlerinin okunması olanağı sağlamaktadır.

Frekans atlamalı YNR'den alınan ham verilerin elektromanyetizma teoremi temellerine dayandırılarak görüntüyü parazit saçılma verisi (clutter) ve gürültüden (noise) temizlemek ve odaklamak suretiyle, engel arkasında bulunan durağan cisimlerin ya da insanların net biçimde ayırt edilmesini hedeflemiştir. Bu bağlamda, çok geniş bantlı frekans atlamalı engel arkası radar sistemi ile toplanan veriden hedeflerin tomografik görüntüsünü oluşturmak amacıyla dinamik arka plan çıkarma, frekans filtreleme, geniş bantta frekansla değişen menzil ve huzme tabanlı Yapay Açıklık Radarı algoritması, frekans ortamından zaman ortamına geçişte kullanılacak ters Fourier dönüşümü ve MUSIC algoritması vb. sinyal işleme teknikleri uygulanmış ve senaryo tabanlı geliştirilmiştir.

Çok geniş bantlı radar sistemi değişik senaryolar için ortama en uygun olan frekans bandının seçilebilmesi üstünlüğünü sağlamaktadır. Örneğin, düşük kayıplı ortamların (ince tuğla duvarlar) arkasındaki hedeflerin daha iyi açisal çözünürlüklü görüntüleri için yüksek frekans bantları tercih edilirken, kalın beton ya da toprak altı gibi çok kayıplı ortamlarda elektromanyetik dalga yayılımı için düşük frekans bölgesi tercih edilmektedir. Ayrıca, YNR çalışma bandının çok geniş olması, yüksek menzil çözünürlüğü imkanı da vermektedir. Dolayısıyla, bu sistem sayesinde 3-boyutta (yatay, düşey, derinlik) yüksek çözünürlüklü görüntü elde edilmiştir.

İkinci adımda ise Geozondas GZ-6E YNR kiti kullanılarak darbeli YNR sisteminin yüksek hızlı algılama üstünlüğünün getirdiği hareketli hedef tespit performansı incelenmiştir.

1.3 Hipotez

Engel arkası görüntüleme radar sistemi, askeri ve sivil uygulamalara yönelik güncel bir araştırma konusudur. Bu yöntem, terör operasyonlarında veya çeşitli askeri uygulamalarda, kurtarma operasyonlarında, deprem, çığ gibi doğal afetlere maruz kalan bölgelerde ya da yanan bir binada bulunan kazazedeleri (afetzedeleri) tespit etmek ve yerlerini belirlemek amacıyla kullanılabilir. Askeri uygulama olarak, hedef hareketinin tespit edilmesi ile sınır ve çevre gözetleme olanağı sağlanabilir. Ayrıca, yüksek çözünürlüklü görüntüleme, örneğin bir rehine veya kurtarma vaka'sında kolluk kuvvetlerine, bina içinde bulunan insanların doğru biçimde konumlandırılmasını mümkün kılar. Bunlara ek olarak, özellikle kritik yerlerde ve sınır bölgelerimizde güvenlik güçlerimizin operasyonel faaliyetlerinde yaralanma ve/veya ölüm vakalarının önüne geçilmesi amacıyla yer altına gömülü ya da gizlenmiş mayın tespiti imkanı verir.

Bu sebeple, gerçekleştirilen tez çalışmasında yukarıda belirtilen uygulama alanlarına paralel olarak farklı ortamlar için geliştirilen engel arkası işaret ve görüntü işleme algoritmalarının doğru tespit ve teşhis performansını artırmaya yönelik çalışmalar yapılmıştır. Elde edilen sonuçların askeri ve sivil uygulamalara yönelik işaret ve görüntü işleme algoritmalarına katkısı hedeflenmektedir.

BÖLÜM 2

RADAR SİSTEMLERİ

Genel anlamda radar, modüle edilmiş dalga formu ve anten ile hedef cisimleri tespit etmek için kullanılan elektromanyetik enerjinin iletilmesidir. Hedef, sinyalin bir kısmını radara geri yansıtmaktadır. Bu yansımalar radar alıcısı tarafından; hedefin hız, açısal pozisyon ve benzeri hedef karakteristiklerinin tespiti için kullanılır. Hedef obje tespiti için ana sensörler elektromanyetik, akustik, sismik ve optik teknolojilerini temel almaktadır. Elektromanyetik sensörler; metal dedektör, yere nüfuz eden radar ve mikrodalga tomografi olmak üzere üçe ayrılır [1].

Günümüzde kullanılan radar sistemleri II. Dünya Savaşı sırasında Büyük Britanya ve diğer ulusların katılımı ile gizli bir şekilde oluşturulmuştur. Radar kavramı 1940'lı yıllarda Birleşik Devletler donanması tarafından "Radio Detection And Ranging" ifadesinin kısaltması olarak kullanılmıştır. Günümüzde hemen hemen tüm dillere "radar" kelimesi olarak geçmiştir [10].

Radar sistemlerinin kullanımı zaman geçtikçe çeşitlenmiştir. Günümüzde hava trafik kontrolü, hava savunma sistemleri, füze savunma sistemleri, uçaklarda çarpışmayı önleyen sistemler, okyanus izleme sistemleri, denizaltı ve gemilerin yer belirleme sistemleri, uzay-gözlem ve uzay-buluşma sistemleri, meteorolojik tahmin sistemleri, yönlendirilmiş füze sistemleri radar teknolojisi ile çalışmaktadır.

Radarlar çalıştıkları frekans aralığına göre gruplandırılabilirler. Çizelge 2.1'de çalışma frekanslarına göre radar çeşitleri görülmektedir.

Çizelge 2. 1 Radar frekans bantları

Frekans Bandı	Frekans Aralığı	Dalga boyu Aralığı	Açıklama
HF	3–30 MHz	10–100 m	High Frequency – Yüksek Frekans Radarlar
VHF	30–300 MHz	1–10 m	Very High Frequency – Çok Yüksek Frekans. Uzun menzilli radar sistemleri
UHF	300–1000 MHz	0.3–1 m	Ultra High Frequency – Ultra Yüksek Frekans
L	1–2 GHz	15–30 cm	Long(L) – Uzun. Uzun menzilli hava trafik kontrol sistemleri
S	2–4 GHz	7.5–15 cm	Short(S) – Kısa. Orta menzilli izleme sistemleri, terminal hava kontrol sistemleri
C	4–8 GHz	3.75–7.5 cm	Compromise(C) - X ve S bantları arasında durmaktadır. Uzun menzilli izleme sistemleri
X	8–12 GHz	2.5–3.75 cm	Füze yönlendirme, deniz radarı, orta çözünürlüklü görüntüleme sistemleri
Ku	12–18 GHz	1.67–2.5 cm	Yüksek çözünürlüklü radar sistemleri
K	18–27 GHz	1.11–1.67 cm	Kurz – Kısa. Meteorologlar tarafından bulutların
Ka	27–40 GHz	0.75–1.11 cm	Upper K (Ku) – Üst K bandı. Havaalanı kontrol sistemleri,

Çizelge 2. 2 Radar frekans bantları (devamı)

Frekans Bandı	Frekans Aralığı	Dalga boyu Aralığı	Açıklama
V	40–75 GHz	4.0–7.5 mm	Atmosferdeki oksijen tarafından güçlü bir şekilde abzorbe edilir.
W	75–110 GHz	2.7–4.0 mm	Yüksek çözünürlüklü görsel sezici sistemleri,

2.1 ÇGB Radar Kavramı

Bu tez kapsamında ÇGB radar sistemi üzerinde çalışılmıştır. ÇGB radarlar çalışma bantları nedeniyle diğer frekans bantlarına göre birçok avantaj sağlamaktadırlar. ÇGB radar sistemleri geleneksel radar sistemlerine göre çok daha geniş bir frekans üzerinden sinyal iletimi yaparlar ve genellikle tespiti çok zordur.

ÇGB sistemlerin ticari uygulamaları arasında yüksek hızlı veri iletişimi, duvar arkası radar görüntüleme sistemleri, altimetre (havacılık), konum belirleme sayılabilir. Askeri uygulamalardan örnek vermek gerekirse, radar uygulamaları, bozulmaya karşı dayanıklı haberleşme, sınır ihlali algılama, yüksek hassasiyetli coğrafi konumlandırma, canlı algılama gibi uygulamalardan söz etmek mümkündür.

ÇGB darbenin düşük frekanslı bileşenleri duvar gibi materyallerden geçerek bu sistemleri duvar arkası görüntüleme uygulamaları için oldukça uygun hale getirmektedir. Bu özelliği sayesinde arama-kurtarma uygulamalarında oldukça gelecek vaat eden bir teknolojidir. Deprem sonrası göçük altında kalan kişilerin algılanması, konumlarının belirlenmesi, ya da yangın çıkmış bir binada kurtarılacak kişinin konumunun belirlenmesi gibi hayati önem taşıyan uygulamalarda kullanılabilir [11].

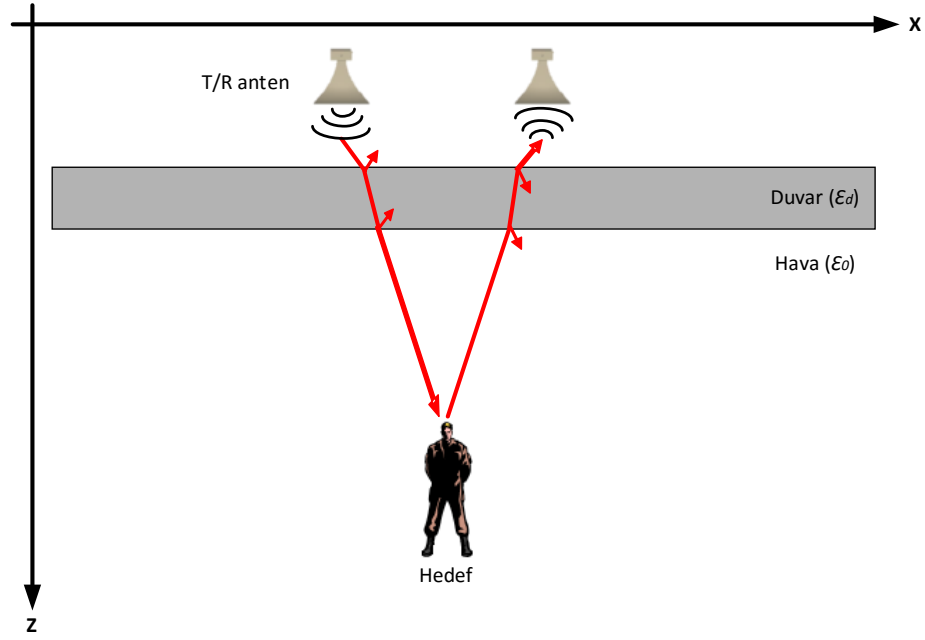
2.2 Yere Nüfuz eden Radar

Yeraltına uygun özelliklere sahip anten vasıtasıyla elektromanyetik dalga gönderip, yerin altındaki hedefe çarparak yansıyan dalgayı yine uygun özelliklere sahip diğer veya aynı antenle alan ve algılanan sinyali işlemek suretiyle anlamlı bilgi haline getirerek

yerin altındaki nesnelerin görüntülenmesini sağlayan radar sistemine “Yere Nüfuz Eden Radar” denir [12]. YNR sistemleri, geniş bantlı antenler kullanılarak ölçüm yapılmak istenen yere (toprağa, duvara vb.) kısa darbeleri elektromanyetik sinyaller gönderirler. Yerden yansıyan elektromanyetik sinyaller gerçek zamanlı olarak algılanır ve saklanır. YNR sisteminin ölçüm yapılan zemin üstündeki konumu değiştirilerek bu ölçümler tekrarlandığında ve elde edilen yansıma sinyalleri yan yana konduğunda, ortaya zaman ve konuma bağlı olarak iki boyutlu bir resim çıkar. Böylece ölçüm yapılan yerin altında gizlenen dielektrik sabiti ve/veya iletkenliği, ortamdaki farklı olan bir nesneden kaynaklanan yansımalar bu iki boyutlu resmin içinde algılanabilir [13].

YNR ile algılama, sınıflandırma ve belirleme oldukça ilgi çeken bir konudur; kısaca yüzey altındaki nesnelerin ve katmanların elektromanyetik teknikler ile algılanması ve konumlandırılması olarak ifade edilebilir. Günümüzde YNR sistemleri askeri ve sivil olmak üzere geniş uygulama alanı bulmuştur. Bina ve yapıların tahribatsız testi; yol ve tünel kalite değerlendirmesi; yeraltı boşluk, tünel, kara mayınları, boru ve kabloların tespiti vb. çalışmalar bu uygulama alanlarına örnek verilebilir. YNR, tahribat etkisinin olmamasından dolayı yol, havaalanı, santral, yerleşim alanı, maden galerisi araştırmaları, tavan, taban ve duvarların incelenmesi, antik şehir, tapınak, mezar, dehliz vb. tarihi kalıntıların bulunması, akaryakıt istasyonu, su yolu vb. kaçak ve sızıntılarının belirlenmesi, cezaevi firar tünellerinin tespiti, ceset ve toplu mezarların yerlerinin bulunması gibi birçok farklı alanda da kullanılır.

YNR sistemi elektromanyetik dalgaların farklı elektriksel ortamlarla etkileşimi prensibine dayanmaktadır. Farklı elektriksel ortamlarla karşılaşan elektromanyetik dalga enerjisinin bir kısmı söz konusu ortama belli bir açıyla nüfuz eder, geri kalan kısmı da yansıyarak geri döner. Yansıyarak geri dönen işaret bize farklı bir katmanın varlığını gösterir. Ortamın elektriksel geçirgenliği ve iletkenliği saçılmanın oluşmasında önemli faktörlerdir. Şekil 2.1’de temel bir YNR sistemi ile engel arkası nüfuz eden dalga modeli gösterilmiştir.



Şekil 2. 1 Engel arkasına nüfuz eden dalganın model gösterimi

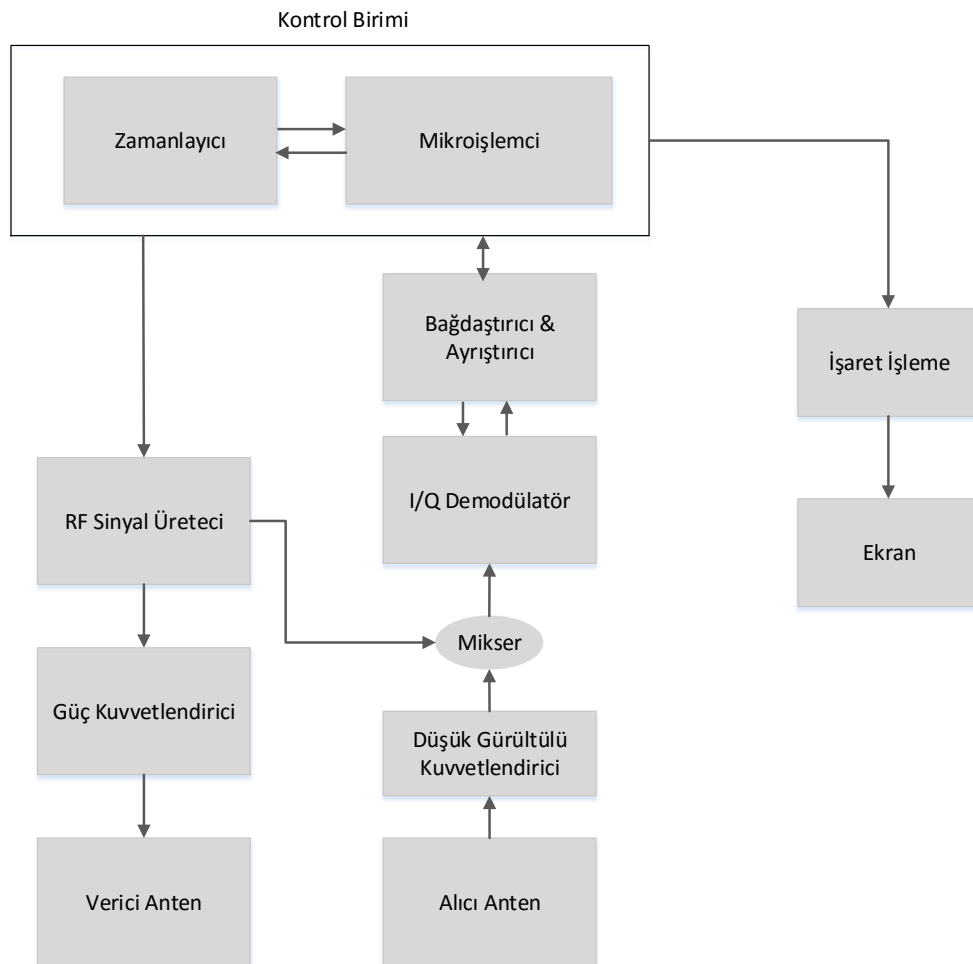
Darbeleri ve frekans atlamalı olmak üzere iki tür YNR sistemi mevcuttur. Darbeleri YNR zaman uzayında elektromanyetik darbe ışıma ve hedeften saçılma prensibini kullanır. Bir darbe sinyali gönderilir ve geniş bantlı bir anten sayesinde hedefe ışıması sağlanır. Darbe işaretinin şekli frekans bandını belirler. Hedeften dönen darbe işaretinin genliği ve gecikme süresi cismin derinliği, boyutu ve yapısı hakkında bilgi verir. Frekans atlamalı YNR’de ise belirli bir frekans bandı sürekli dalga modunda taranır ve elektromanyetik dalga saçılma problemi frekans uzayında çözülür. Hedef bilgisi geri saçılan işaretin frekansa bağlı genlik ve faz bilgilerini toplamak suretiyle elde edilir. Genelde derine bakan ve hızlı taramalı uygulamalarda işaret işlemesi daha kolay olan darbeleri YNR kullanılırken, yüzeye yakın küçük cisimlerin tomografik görüntülenmesinde dinamik aralığı ve çözünürlüğü yüksek, frekans atlamalı YNR sistemleri tercih edilir. Başta frekans bandı ve darbe gücü olmak üzere, ilgili YNR parametreleri uygulamanın niteliğine ve isterlerine bağlı olarak belirlenir [14].

2.2.1 Frekans Adımlı Sürekli Dalga Radar

SFCWR belirli frekans aralığındaki elektromanyetik dalgaları yeraltına gönderip yansıyan sinyallerden faz farkını ve hedefin yansıtılabilirlik katsayısını ölçerek görüntüleme yaparlar. Kullanılan frekans aralığının değişik derinliklerdeki hedefler için

ayarlanabilmesi, daha doğru ve hassas ölçümler alınabilmesi, yüksek dinamik aralığına sahip olması, yüksek güç gönderebilmesi ve alıcıda düşük gürültüye sahip olması gibi özelliklerinden dolayı SFCW YNR'ler zaman alanında çalışan YNR'lere göre daha avantajlı özelliklere sahiptir.

SFCW YNR'nin çok iyi özellikleri olmasına rağmen piyasada kullanılan sistemlerde yaygın değildir. Bunun en önemli sebebi, veri toplama zamanının uzun olmasıdır. Her tarama pozisyonunda harcanan zaman; vericinin anahtarlama süresi, gönderilen sinyalin seçilen maksimum uzaklıktaki hedeften yansıyıp geri dönmesi için gereken zaman, alıcının yeterli sinyal ve gürültü oranını oluşturabilmesi için harcanan zaman gibi etkenlere bağlıdır [15].



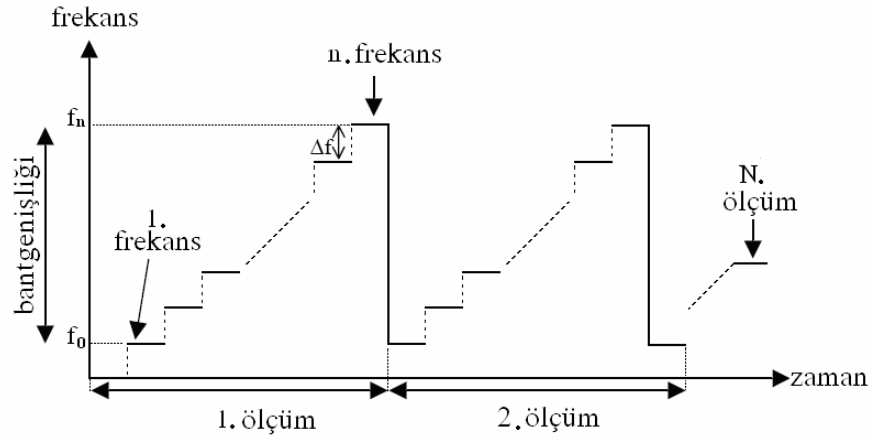
Şekil 2. 2 Frekans atlamalı YNR genel diyagramı

SFCW radar sistemi sürekli değişen taşıyıcı dalgayı gerilim kontrollü osilatör üzerinden seçilen frekansla gönderir. Alınan sinyal, gönderilen dalga şekliyle karıştırılır ve alınan sinyalin fazıyla ilişkili farklı bir frekansla sonuçlanır.

SFCW radarında verici zamanın bir fonksiyonu olarak değişir. Eğer değişim doğrusal ise ve hedeften T_d zamanında döndüğü kabul edilirse;

$$T_d = \frac{2R}{c} \quad (2.1)$$

olarak elde edilir. Burada, R ; menzil, c : ışık hızıdır [16].



Şekil 2. 3 SFCWR'da frekans adımlarının temsili

Frekans adımlı sürekli dalga radarda, iletilen sinyal, yükselen adım frekanslarının miktarından oluşmaktadır (Şekil 2.3). SFCWR'da her bir adım frekans sinyaline göre alınan sinyalin faz ve genlik bilgisi ölçülür. Elde edile bu ölçümdeki, karmaşık diziyi içeren faz bilgisi, saçıcının hedef bilgisini vermektedir.

SFCW de başlangıç frekansına f_0 ve sabit yükselme frekansı da Δf olduğunda alınan dizideki n . örneğin frekansı,

$$f_n = f_0 + n\Delta f \quad n = 0 \dots M-1 \quad (2.2)$$

şeklinde olacaktır. Serbest bir uzayda, orijinden R mesafe uzaklıktaki bir noktasal saçıcı için, geri yansıyan elektrik alan sinyali, frekans bölgesinde şu şekilde ifade edilir;

$$E_s(n) = \rho e^{-j4\pi \frac{f_n d}{v}} \quad n = 0 \dots M-1 \quad (2.3)$$

Burada ρ hedefin yansıtıcılığıdır ve v de dalga'nın ortamdaki hızıdır. Homojen ve kayıpsız bir ortam için bu hız;

$$v = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r}} \quad (2.4)$$

şeklindedir.

Bu sinyalin aynı zamanda dalga numarası k cinsinden ifadesi,

$$E_s(k) = \rho e^{-jk(2d)} \quad (2.5)$$

şeklindedir. (2.5)'te k vektör dalga numarasıdır ve

$$k = 2\pi \frac{f_n}{v} \quad (2.6)$$

şeklinde verilir. YNR'de bir noktadaki ölçüme A-tarama denir. Ve 2 boyutlu B-tarama verileriye, bir yapay açıklık boyunca, bu A-tarama verilerinin toplamasıyla elde edilir. Bir x açıklığı boyunca N kesikli noktada, (x_0, z_0) 'da konuşlanmış bir hedef için geri yansıma sinyali toplandığında, radar hedef uzaklığı d aşağıdaki formülle verilebilir.

$$d = \sqrt{z_0^2 + (X - x_0)^2} \quad X = 1, 2, 3, \dots, N \quad (2.7)$$

Böylece 2-B bir uzayda, radar anteni x yapay aralığı boyunca hareket ederken, EM saçılmalar, her bir kesikli nokta için toplanır. (x_i, z_i) 'de konuşlandırılmış ve ρ_i ; $i=1...S$ yansıtıcılığına sahip S adet noktasal hedef için alınan $E_s(x, k)$ sinyali aşağıdaki şekilde yazılabilir.

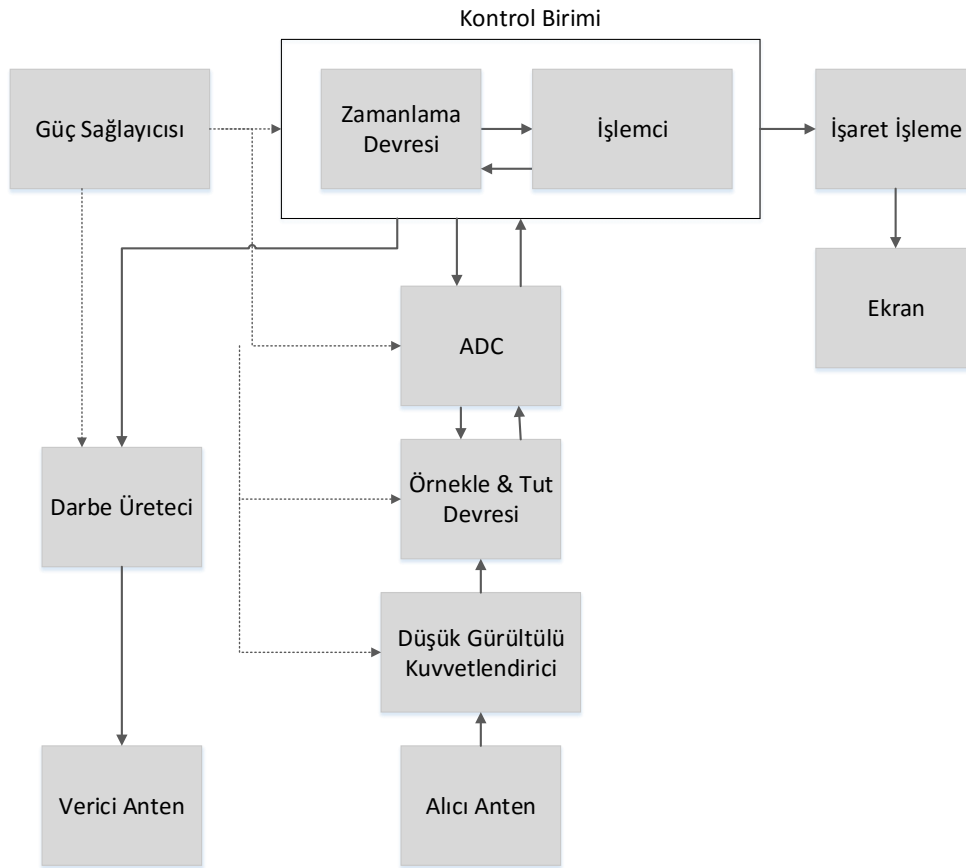
$$E_s(x, k) = \sum_{i=1}^S \rho_i e^{-jk(2\sqrt{z_i^2 + (x-x_i)^2})} \quad (2.8)$$

2.2.2 Darbeli Yere Nüfuz eden Radar

Darbeli YNR sisteminde bir zaman domeni sinyali gönderilir ve hedeflerden yansıyan enerji zamanın bir fonksiyonudur. Darbe sinyalinin şekli bant genişliğini belirler. Hedef, alıcıya gelen sinyalin genliği ve zaman gecikmesi ile tespit edilir.

Darbeli YNR sisteminin sağladığı avantajların başında, mayın ve hedef tespitin doğası gereği önemli olan yüksek tarama ve örnekleme hızı gelmektedir. Darbe üreten parçaların basitliği ve düşük maliyetli olması da bir diğer avantajdır.

Darbeli YNR; zamanlayıcı birimi, darbe üretici, güç elemanı, anten, analog dijital çevirici, LNA, örnekle ve tut kuvvetlendiricisi gibi birimlerden oluşur (Şekil 2.4).



Şekil 2. 4 Darbeli YNR genel diyagramı

Darbeli YNR sistemi tasarlanırken bazı parametrelerin seçilmesi gerekir. Darbenin genişliği ve örnekleme, menzil çözünürlüğüne etki eden parametrelerdir. Menzil çözünürlüğü radarın arka arkaya iki cismi tespit edebilme kabiliyetini belirtir. c ışık hızı, ϵ_r ortamın dielektrik sabiti, τ ise band genişliği olmak üzere menzil çözünürlüğü, ΔR , şu şekilde hesaplanır.

$$\Delta R = \frac{c\tau}{2\sqrt{\epsilon_r}} \quad (2.9)$$

PRF yani darbe tekrarlama sıklığı T_R ise maksimum menzil mesafesi,

$$R_{\max} = \frac{cT_R}{2\sqrt{\epsilon_r}} \quad (2.10)$$

2.3 YNR Menzil Profilleri

Bu bölümde tez kapsamında elde edilen sonuçlarının anlaşılabilmesi için YNR menzil profillerinden bahsedilecektir.

2.3.1 A tarama

YNR görüntüleriyle ilgilenirken, birkaç tip tarama tanımlanmaktadır. Bunlardan ilki A-taramadır. A-tarama; kısaca radarın tek bir darbesi veya frekans tarama neticesinde elde edilen menzil profili olarak adlandırılabilir. Bu tarama tipi şu şekilde ifade edilebilir. Tek bir noktada verici antenden yollanan darbe sinyalinin, aynı anten tarafından veya başka bir anten tarafından alınması ve bu sinyalin genliğinin yorumlanmasıdır. Hareket ortamının özelliği bilindiği sürece, uzamsal ekseninde alınan bu sinyal doğru bir şekilde ifade edilebilir.

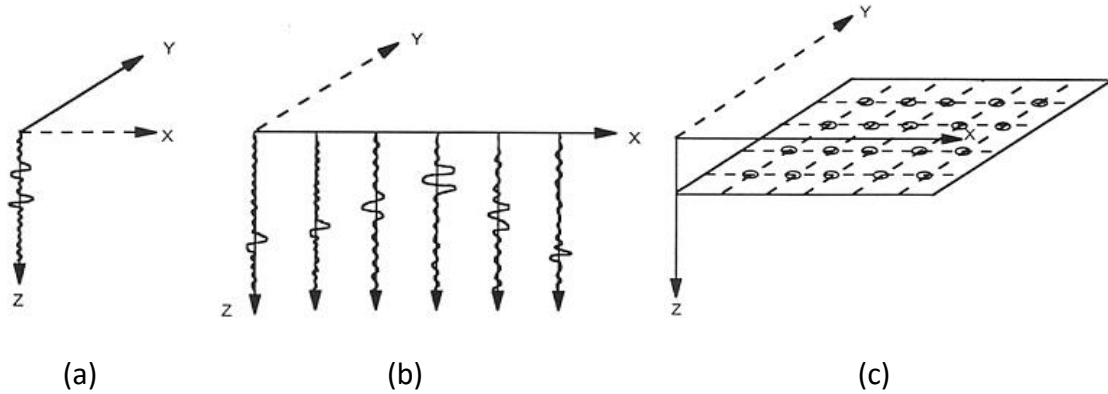
2.3.2 B tarama

B-tarama kısaca A-taramaların ardı ardına eklenmesi şeklinde ifade edilebilir. B-tarama görüntüsünde, bir hat boyunca, her bir adımda A-tarama verileri toplanarak, 2-B bir matris elde edilir. Bu 2-B matris görüntü ekseninde 2-B bir görüntü olarak karşımıza çıkar. 2-B bir uzayda yerleştirilmiş iki adet noktasal hedef için, B-tarama sonrası elde edilen görüntü Şekil 2.6'daki gibi olacaktır. Burada menzil olarak tanımlanan ifade antenden olan uzaklığı gösterirken, çapraz menzil olarak tanımlanan ifade ise antenin hareket menzlidir. Her bir nokta için toplanan A-tarama verisinde, hedefe olan menzil mesafesi değiştiğinden 2-B görüntü hiperbolik olarak oluşmaktadır.

2.3.3 C tarama

C-tarama ise B-tarama verilerinin ardı ardına toplanması olarak ifade edilebilir. Radarda bir x hattı boyunca her bir noktada A-tarama verilerinin toplanması sonrası elde edilen 2-B veriye B-tarama denildiğini söylenmişti. C-tarama ise bir y hattı boyunca, her bir y noktasında, B-tarama verilerinin yan yana toplanması neticesinde elde edilen üç

boyutlu (3-B) menzil profilidir. Şekil 2.5'te her bir A, B, ve C tarama yolları gösterilmektedir.



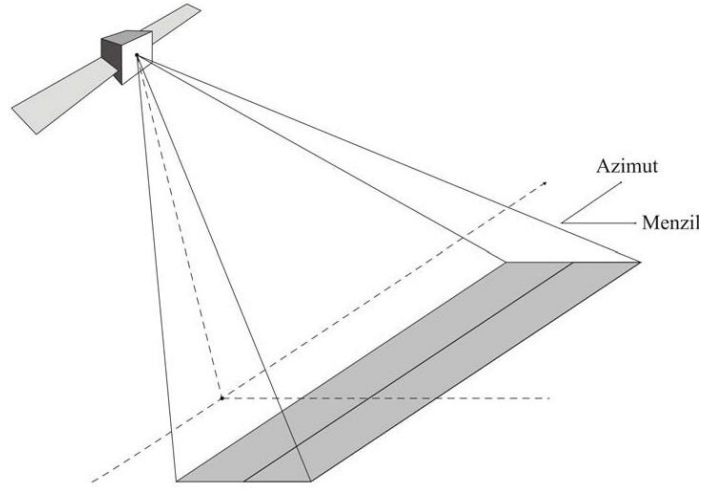
Şekil 2. 5 YNR menzil profilleri (a) A-tarama (b) B-tarama (c) C-tarama

Yukarıda da bahsedildiği gibi C-tarama sonrası elde edilen veri 3-B bir veridir. 3-B bir verinin görüntülenmesi kolay olmadığından, C-tarama verisi genellikle, z derinlik eksenini üzerindeki, ayrıntı spesifik konumlardaki, yatay x-y dilimlerinin ardışık olarak gösterimi ile görüntülenebilir. Her bir dilim, B-taramanın dikey eksenine (y) eşdeğer olan belirli bir derinlik seviyesine karşılık gelir [17].

2.3.4 YAR Sistemi ve YAR Ham Versinin İşlenmesi

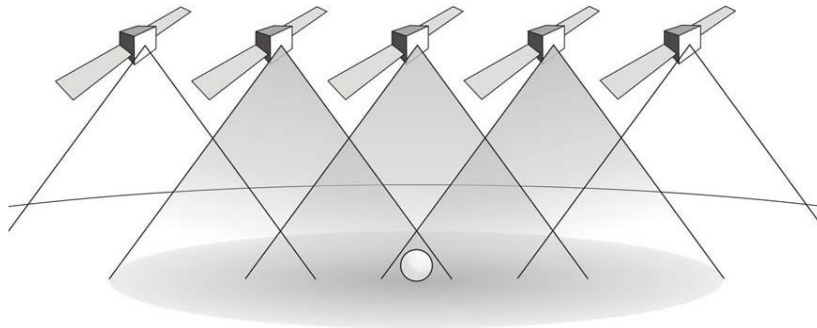
Uzaktan algılama sistemleri anten konumlarına göre Gerçek Açıklıklı Radar ve Yapay Açıklıklı Radar olarak ikiye ayrılırlar [18].

GAR sisteminde, dar bir anten huzmesi (veya demeti), taşıyıcı platformun uçuş doğrultusuna dik olarak yöneltilmektedir. Enerji darbesi radar anteninden gönderilmektedir ve yansıyan işaretler dar bir şeridin görüntüsünü oluşturmak üzere toplanmakta ve işlenmektedir. GAR sisteminde, uçuş doğrultusuna paralel olan azimut yönündeki çözünürlüğü artırmak için darbe süresini kısaltmak gerekmektedir. Ancak darbe süresinin kısılması işaret-gürültü oranını azaltmaktadır. GAR sistemlerinde arzu edilen çözünürlüğü yakalamak için pratikte gerçekleştirilemeyecek anten boyutları gerekmektedir. GAR sistemi genellikle çözünürlüğün çok önemli olmadığı uygulamalarda tercih edilmektedir. Örnek bir GAR sistemi Şekil 2.6'da gösterilmektedir.



Şekil 2. 6 Gerçek Açıklıklı Radar sistemi

Yapay Açıklıklı Radar, Gerçek Açıklıklı Radar sisteminin kısıtlarını ortadan kaldıran bir yöntem olarak geliştirilmiştir. YAR yönteminde, bir uydu veya bir uçak ile taşınan radar, mümkün olduğunca sabit bir hızla ileri yönde hareket ettirilmektedir. Radar, ileri yönlü hareketi esnasında, belirli bir süre boyunca belirli sayıda darbe göndermektedir. Radar tarafından gönderilen darbelere ait yansıyan işaretler yine radar tarafından toplanmaktadır. Toplanan işaretler, uygun biçimde kaydedilmekte ve birleştirilmektedir. Bu sayede yapay açıklık oluşturulmaktadır. Platformun hızı ve toplam darbe gönderme süresi yapay açıklığın boyunu belirlemektedir. YAR yönteminde her nokta daha uzun süre gözlenmektedir. Bu sayede platformun ilerleme yönüne paralel olan azimut doğrultusunda, aynı boydaki gerçek açıklıklı bir antene göre, yüksek çözünürlük elde edilmektedir. Örnek bir YAR sistemi Şekil 2.7'de gösterilmektedir.



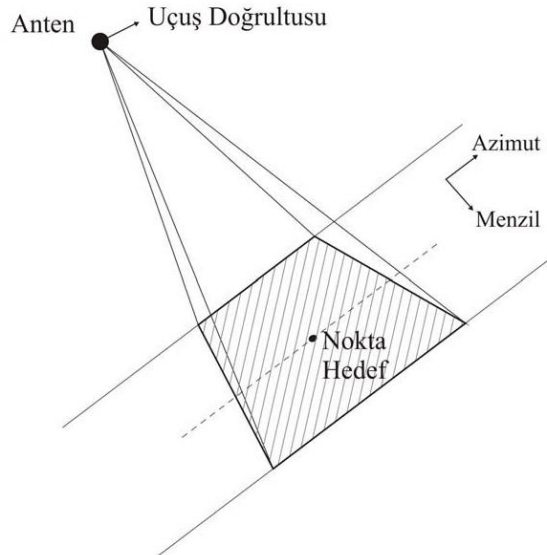
Şekil 2. 7 Yapay Açıklıklı Radar sistemi

2.3.4.1 YAR Sistemi

YAR sistemi, en temelde, uyumlu, aktif, yan görüşlü (side-looking) bir radar ve ham veriyi odaklanılmış bir görüntüye çeviren bir YAR işlemcisinden oluşmaktadır [19]. Sabit bir hızla hareket eden bir platform üzerindeki radardan, belirli bir süre boyunca, belirli sayıda gönderilen darbeler hedeflere çarpmakta ve yansımaktadır. Yansıyan işaretler hedeflerin yansıtıcılığı (reflectivity) ile ilgili bilgi taşımaktadır. İletilen darbe kümesine ait yansıyan işaretler radar tarafından alınmakta, demodüle edilmekte, sayısallaştırılmakta ve kaydedilmektedir. Kaydedilen sayısal işaretler ham veri adını almaktadır. YAR işlemcisi ise ham veri üzerinde çeşitli algoritmalar uygulayarak görüntü oluşturmaktadır.

2.3.4.2 YAR Görüntüleme Geometrisi

Temel YAR görüntüleme geometrisi Şekil 2.8’de gösterilmektedir. Belirli ve bilinen bir hız ile ilerleyen yan görüşlü radar, yerde uçuş yönüne paralel bir alanı (swath) aydınlatmaktadır. Aydınlatılan alanın genişliği ve alan içerisinde aydınlatılan hedeflerin aydınlatılma süresi YAR antenin huzme (veya demet) karakteristiklerine bağlıdır [19]. Anten hareket eksenini azimut (veya çapraz menzil) olarak adlandırılmaktadır. Anten hareket eksenine dik olan eksen ise menzil olarak adlandırılmaktadır.



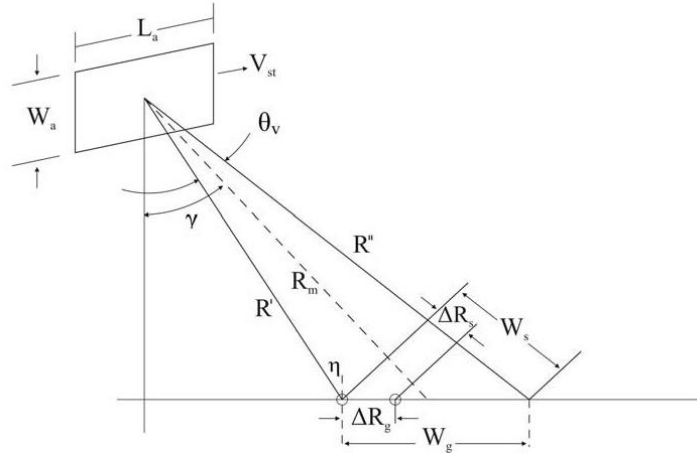
Şekil 2. 8 Temel YAR görüntüleme geometrisi

YAR sistemi için çözünürlük (resolution), farklı iki hedefin birbirinden ayırt edilebilmesi için aralarında bulunması gereken en düşük mesafedir. Bu aynı zamanda uzamsal çözünürlük (spatial resolution) olarak da adlandırılmaktadır. Çözünürlük, YAR sisteminin performansını belirleyen en önemli parametrelerdendir ve iki boyutta, menzil ve azimut, ölçülmektedir.

2.3.4.3 Menzil Çözünürlüğü

YAR sisteminde anten, hareketi esnasında, Darbe Tekrarlama Frekansı (Pulse Repetition Frequency), kısaca PRF, ile darbeler göndermektedir. Aydınlatılan alan içerisinde, antene göre aynı azimut konumunda fakat farklı menzillerde bulunan hedefler, gönderilen işaretlerin gidiş-geliş gecikmesi (round-trip delay) sayesinde ayırt edilmektedir. Hedefin menzili, yani antene olan uzaklığı, arttıkça işaretin gidiş-geliş gecikmesi de artmaktadır [19].

Şekil 2.9’da menzil doğrultusunda temel YAR görüntüleme geometrisi gösterilmektedir.



Şekil 2. 9 Menzil doğrultusunda temel YAR görüntüleme geometrisi

Bakış açısı γ çoğu kez radar huzmesi ile görüntülenen yüzeyin normali arasındaki açı η ile eşit kabul edilmektedir. Radar anteninin dikey yöndeki huzme genişliği,

$$\theta_v = \lambda / W_a \quad (2.11)$$

ile bulunur. Böylece süpürme genişliği,

$$W_g \approx \frac{\lambda R_m}{W_a \cos \eta} \quad (2.12)$$

olarak verilir. Radarın menzil doğrultusundaki çözünürlüğü ise Şekil 2.9'da ΔR_g ile gösterilmektedir. Eğer radar darbesinin süresi τ_p ise aynı menzildeki iki hedefin ayırt edilebilmesi için aralarında bulunması gereken en düşük mesafe, yani menzil çözünürlüğü,

$$\Delta R_g = \frac{\Delta R_s}{\sin \eta} = \frac{c\tau_p}{2\sin \eta} \quad (2.13)$$

olarak belirlenmektedir. Burada ΔR_s eğik menzil çözünürlüğü, c ise ışık hızıdır [20].

Kullanılan darbelerin süresi kıaldıkça menzil çözünürlüğü iyileşmektedir. Ancak istenilen menzil çözünürlüğünü sağlamak için gerekli darbe süresi çok kısa olduğundan işaretin enerjisi de düşük olmaktadır. Bu da işaret-gürültü oranının azalmasına sebep olmaktadır. Frekans modülasyonlu darbeler kullanılarak bu sorunun üstesinden gelinmektedir [19].

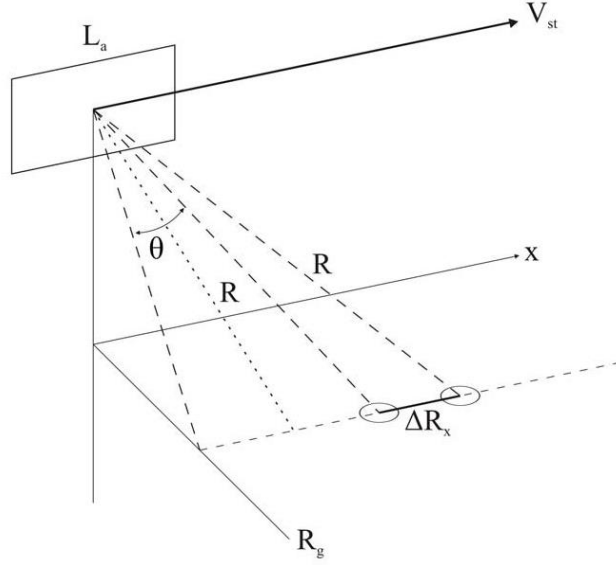
2.3.4.4 Azimut Çözünürlüğü

Aydınlatılan alan içerisindeki hedefin azimut yanıtı Doppler etkisi ile açıklanmaktadır. Anten belirli menzildeki bir hedefe azimut ekseninde yaklaşırken alınan işaretin frekansı artmaktadır. Anten hedeften uzaklaştıkça ise alınan işaretin frekansı azalmaktadır [19]. Hedef ile anten aynı azimut konumundayken anlık frekans sıfır olmaktadır [21]. Bu fenomen sayesinde Doppler kaymaları analiz edilerek hedefler birbirinden ayırt edilebilmektedir. YAR görüntüleme geometrisi kullanılarak Doppler kayması zamanın bir fonksiyonu haline gelmektedir. Yani frekans modülasyonlu darbeler, azimut ekseninde YAR görüntüleme geometrisinin bir sonucu olarak oluşmaktadır [19].

Şekil 2.10'da azimut doğrultusunda temel YAR görüntüleme geometrisi gösterilmektedir.

Antenin uçuş doğrultusundaki uzunluğu L_a ile gösterilirse anten huzmesinin enine genişliği $\theta_H = \lambda/L_a$ ile bulunur. Bu enine huzme genişliği gerçek açıklık için azimut çözünürlüğünü belirlemektedir.

$$\Delta R_x = R\theta_H = \frac{R\lambda}{L_a} \quad (2.14)$$



Şekil 2. 10 Azimut doğrultusunda temel YAR görüntüleme geometrisi

YAR için algılayıcının hareketinden kaynaklanan Doppler kayması gönderilen dalganın frekansına ve hareket doğrultusundaki nokta hedefin konumuna;

$$f_D = \frac{2(V_{st} \sin \theta)}{\lambda} = \frac{2V_{st} x}{\lambda R} \quad (2.15)$$

olarak bağlıdır. (2.15) ifadesinde V_{st} algılayıcının hedefe göre hızı, θ huzmenin maksimum doğrultusunda hedefi görmesi durumunda referansa göre açığı göstermektedir. Enine doğrultudaki çözünürlüğü belirlemek için kullanılan ilk hedefin uçuş yönündeki koordinatı x_1 referansına göre Doppler kaymasına bağlı olarak bulunur.

$$x_1 = \frac{\lambda R f_{D1}}{2V_{st}} \quad (2.16)$$

Benzer şekilde aynı menzilde bulunan diğer hedefin koordinatı x_2 için Doppler kayması f_{D2} olur. Böylelikle eşit menzilde ve aynı huzme içerisinde aynı anda bulunan hedefler, dönen işaretlerin Doppler frekans spektrumu analizi yardımıyla birbirinden ayırt edilebilirler. Buradan hareketle YAR için azimut çözünürlüğü;

$$\Delta R_x = \left(\frac{R\lambda}{2V_{st}} \right) \delta f_D \quad (2.17)$$

olarak belirlenmektedir. Frekans boyutundaki çözünürlük zaman boyutunda hedeflerin huzme içinde kalma süresinin (T) tersi olarak alınabilir ($\Delta f_D = 1/T$). Bu süre huzme içindeki belirli bir hedefin huzmede kalma süresidir.

$$T = \frac{R\theta_H}{V_{st}} = \frac{R\lambda}{L_a V_{st}} \quad (2.18)$$

(2.18) ifadesi (2.17) ifadesinde yerine konulursa;

$$\Delta R_x = \left(\frac{\lambda R}{2V_{st}} \right) \left(\frac{L_a V_{st}}{R\lambda} \right) = \frac{L_a}{2} \quad (2.19)$$

(2.19) ifadesi ile YAR için azimut çözünürlüğü bulunmuş olur [22].

(2.14) ve (2.19) eşitliklerinden görüleceği üzere, GAR sisteminde azimut çözünürlük menzile bağlıdır. Ancak YAR sisteminde azimut çözünürlük menzilden bağımsızdır. YAR sisteminde antenin azimut uzunluğu azaldıkça azimut çözünürlük iyileşmektedir. GAR sisteminde ise antenin azimut uzunluğu arttıkça azimut çözünürlük iyileşmektedir. Bu da GAR sisteminde uygulamayı güçleştiren bir durumdur.

2.3.4.5 YAR Sisteminin Çalışma Modları

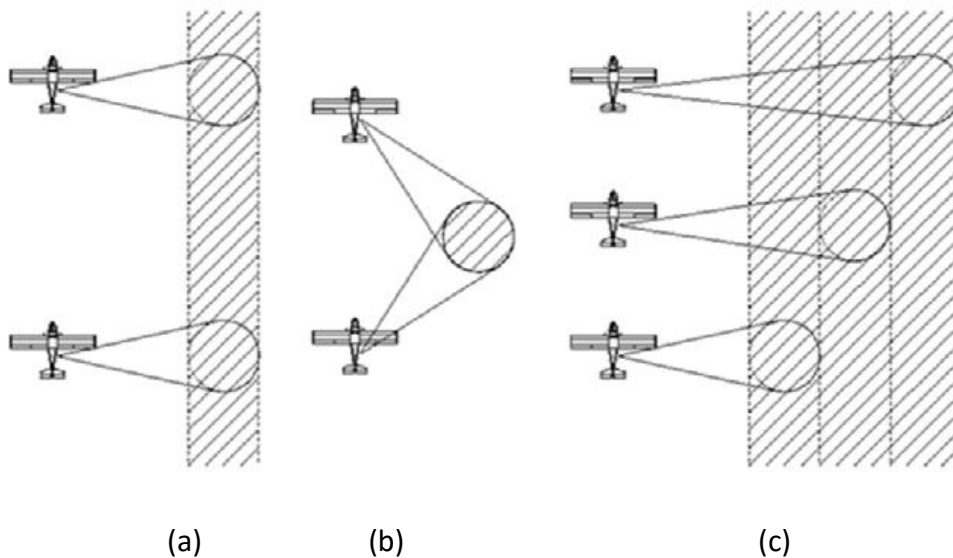
YAR sistemlerinin başta şerit tarama (stripmap) ve spot aydınlatma (spotlight) olmak üzere farklı çalışma modları vardır [23]. Çalışma kapsamında işlenen ham veri şerit taramalı modda alınmıştır.

Şerit tarama modunda, radar anteni uçuş platformunun yolu boyunca sabit bir yönde görüntüleme yapar ve yeryüzündeki anten izi (antenna footprint) platform hareket ettikçe ve sistem çalıştıkça belli bir bandı kapsar. Şerit tarama çalışma modu, iki görüntüleme geometrisi içerir. En geleneksel olarak kullanılanı dik-bakış (boresight) geometrisidir. Bu geometride, anten hüzmesi uçuş yönüne diktir. İkinci görüntüleme geometrisi de açılı-bakış (squinted) görüntüleme geometrisidir. Bu geometride, dik bakış açısına göre ileri veya geri yönde belli bir açıda ışıma yapılır. Bu açıya yan bakış

açısı denir. Düz arazilerde dik bakış geometrisi kullanılırken, engebeli arazilerde açılı bakış geometrisinin kullanılması daha iyi sonuç verecektir.

Tarama modu, yer parçasının menzil boyutundaki görüntülemenin iyileştirilmesini sağlamaktadır. Bu yetenek, anten hızmasının komşu yer parçalarına (subswath) periyodik olarak atlamasıyla gerçekleşir. Bu modda, radar sürekli olarak çalışır, fakat komşu yer parçalarındaki her hedef için tüm sentetik anten uzunluğunun sadece belli parçası kullanılır. Bu da, çapraz menzil çözünürlüğünde şerit tarama moduna göre azalmaya neden olmaktadır.

Spot ışığı modunda ise önceki modlara göre daha farklı bir yöntem kullanılmıştır. Bu modda, radar anteni, işlem boyunca aynı bölgeyi ışınlandırır. Tarama moduna göre çapraz menzil çözünürlüğünü artırmak için, bu modda anten boyutu büyütülmelidir.



Şekil 2. 11 YAR çalışma modları (a) şerit tarama (b) spot ışığı (c) tarama modu

FOURIER DÖNÜŞÜMÜ

Sinyal işleme tekniklerinin kavranabilmesi, Fourier dönüşümünün ve buna ait kavramların bilinmesinden geçmektedir. Bu bölümde kesikli Fourier dönüşümünün basit kavramları, zaman/frekans ve uzay/frekans bilgileri verilecektir.

3.1 Sürekli Fourier Dönüşümü

Bu tezde $f(u)$ sinyalinin ileri Fourier dönüşümü;

$$F(k_u) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} f(u) e^{-jk_u u} du \quad (3.1)$$

şeklinde ve ters Fourier dönüşümü de;

$$f(u) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} F(k_u) e^{jk_u u} dk_u \quad (3.2)$$

şeklinde verilecektir. Burada k_u Fourier bölgesi değişkenidir. Eğer u zamanı temsil ederse $k_u = w$ genel frekans bölgesi Fourier değişkenidir. x gibi uzamsal bir değişken için, $u=x$ ve $k_u = k_x$ eşitlikleri kullanılacaktır. İleri Fourier dönüşümü için exponansiyel eşitlik olarak pozitif ve geri dönüşüm için negatif exponansiyel terimi kullanılacaktır.

3.2 Kesikli Fourier Dönüşümü

Kesikli zaman Fourier dönüşümü, sürekli Fourier dönüşümünün kesikli olarak örneklenmesi sonucu elde edilir. Eğer u bölgesi sinyali, toplam N kesikli noktada, örnekleme periyodu Δu olmak üzere kesikli hale getirilirse;

$$F(k_u) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^{N\Delta u} f(u) e^{-jk_u u} du \quad (3.3)$$

şeklini alır fakat, örnekleme söz konusu olduğundan (3.3) şu şeklide yazılır;

$$F(k_u) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \sum_{n=0}^{N-1} f(n\Delta u) e^{-jk_u n\Delta u} \Delta u \quad (3.4)$$

Burada dikkat edilmesi gereken husus k_u 'nun hala sürekli değişken olmasıdır. k_u tekrar kesikli noktalar kümesi olarak örneklenirse;

$$k_u^m = 2\pi \frac{m}{N-1} \Delta u \quad m = 0, 1, 2, \dots, N-1 \quad (3.5)$$

olur. Bu şekilde dönüşüm $\sqrt{2\pi} / \Delta u \cdot k_u$ ile çarpılır ki bu değer $-k_{umax}$ 'tan k_{umax} 'a kadar olan aralıktaki noktalar kümesidir.

DFT tanımlanırsa;

$$F(k_u^m) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \sum_{n=0}^{N-1} f(n\Delta u) e^{-j2\pi m \frac{n}{N}} \quad (3.6)$$

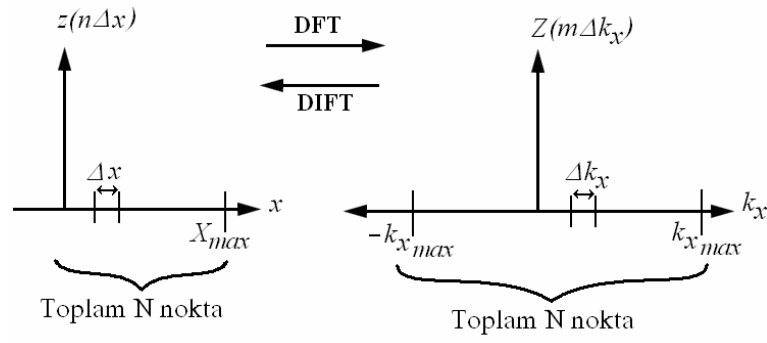
Ters DFT ise şöyle tanımlanabilir.

$$F(k_u^m) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \sum_{n=0}^{N-1} f(n\Delta u) e^{-j2\pi m \frac{n}{N}} \quad (3.7)$$

3.3 DFT Parametrelerinin Hesaplanması

Bu tezde kullanılan görüntüleme algoritması, verinin toplanmasıyla ve Fourier dönüşümüyle doğrudan alakalıdır. Dolayısıyla görüntüleme ile Fourier dönüşümü arasındaki ilişki incelenmiştir.

N tek sayı olmak üzere, bir u bölgesinde, $x=0$ 'dan $x=x_{max}$ 'a kadar N kez örneklenmiş (örnekleme arasındaki ayrılık Δx 'tir) bir sinyal düşünölsün. Böyle bir sinyalin DFT'si frekans bölgesinde $-k_{xmax}$ 'tan k_{xmax} 'a giden N adet noktasal sinyal olarak kendini göstermektedir.



Şekil 3. 1 Zaman bölgesi kesikli Fouier dönüşümü

Frekans bölgesindeki örnekler arasındaki ayırım, Δk_x 'tir. Şekil 3.1'de temsil edilen DFT'nin türetimi için $N-1$ aralık içeren N örneklenmiş nokta düşünüldüğünde;

$$X_{max} = (N-1)\Delta x \quad (3.8)$$

$$2k_{xmax} = (N-1)\Delta k_x \quad (3.9)$$

şeklinde olacaktır. Örnekleme frekansı f_{sample} şu şekilde yazılabilir.

$$f_{sample} = \frac{1}{\Delta x} \quad (3.10)$$

Nyquist örnekleme teoremine göre, k vektör dalga numarasının maksimum değeri,

$$k_{xmax} = \frac{2\pi f_{sample}}{2} = \frac{\pi}{\Delta x} \quad (3.11)$$

denklemleriyle verilir. k_{xmax} ve Δx ile ilişki için gerekli eşitliklerin bulunmasıyla Δk_x ve X_{max} denklem (3.8) kullanılarak tanımlanabilir.

$$\Delta k_x = \frac{2k_{xmax}}{N-1} = \frac{2\pi}{(N-1)\Delta x} = \frac{2\pi}{X_{max}} \quad (3.12)$$

$$X_{max} = (N-1)\Delta x = \frac{\pi(N-1)}{k_{xmax}} = \frac{2\pi}{\Delta k_x} \quad (3.13)$$

(3.12) ve (3.13) denklem kümelerini kullanarak, her bir kesikli ters Fourier dönüşümü gibi ileri ve geri kesikli Fourier dönüşümü için, birbiri arasında istenilen bütün eşitlikler ilişkilendirilebilir [13].

MATERYAL VE METOT

Bu bölümde tez kapsamında kullanılan antenler ve çalışmanın temelini oluşturan EM tabanlı adaptif sinyal işleme teknikleri verilmektedir.

4.1 Kullanılan Materyal

Bu tez süresince tasarlanan deneysel düzenek ile performans testleri gerçekleştirilmiştir. Yapılan testler için Yıldız Teknik Üniversitesi Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği bölümü Mikrodalga, Anten ve Haberleşme Laboratuvarları'nda yer alan; düşük frekans (100 MHz- 15 GHz) (YNR bandı) bölgelerinde çalışacak çok geniş bantlı ridged horn içine yerleştirilmiş kısmi dielektrik yüklü Vivaldi şekilli TEM horn alıcı/verici antenleri ve yüksek frekans (24-26 GHz) (milimetrik dalga bandı) bandında çalışacak parabolik yansıtıcı ADE anten, darbe atlamalı YNR sistemi için Geozondas GZ-6E darbe YNR kiti (15 GHz) ve frekans atlamalı YNR sistemi için ise Anritsu devre analizörü (40 GHz) kullanılmıştır.

4.1.1 Tez Kapsamında Kullanılan Antenler

Düşük ve yüksek frekans bölgelerinin senaryolarımız için avantaj ve dezavantajları mevcuttur. Bu sebeple, kullanılan antenler senaryolara uygun olarak seçilmiştir.

YNR bandının avantajları şu şekildedir:

- Dalga boyu çok büyük olduğu için toprak altı ve yoğun ormanlık alan görüntülemeleri yapılmasına imkân sağlayacaktır. Ormanlık alandaki büyük cisimler ya da toprak altında açılmış mağaraların tespit edilmesinde kullanılacaktır.

- Anten huzmeleri daha geniş olduğu için baktığı alan artacak ve daha büyük bölgeler taranabilecektir.

YNR bandının dezavantajları ise şu şu şekildedir:

- Düşük frekanslara inebilmek için anten boyları büyümüştür.
- Dalga boyları büyük olduğu için küçük cisim tespitinde kullanılamamaktadır.

Tez kapsamında kullanılan bir diğer frekans bandı olan milimetrik dalga bandının avantajları:

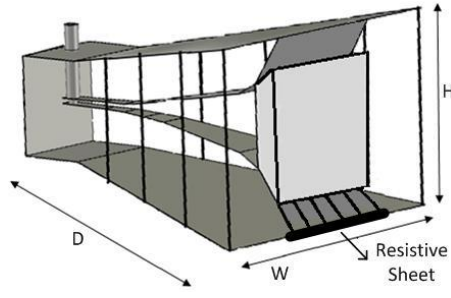
- Dalga boyları 1 cm'ye kadar inebildiği için yüksek çözünürlüklü görüntüler elde edilebilmektedir.
- Küçük cisimlerin tespit edilebilmesi mümkündür.
- Anten boyları daha küçüktür.

Milimetrik dalga bandının dezavantajları:

- Dalga boyundan dolayı toprakta ve yoğun orman bölgesinde elektromanyetik dalga çok zayıflamaya maruz kalacağından dolayı derinlere inemeyecektir.
- Anten huzmeleri daha dar olduğundan taranan alan daha küçüktür.

4.1.1.1 YNR Dalga Bandı için Kullanılan Antenler

Yapılan çalışmada çok geniş bantlı YNR sistemi için ridged horn içine yerleştirilmiş Vivaldi şekilli TEM horn dizi anteni (TEM-RHA-30) kullanılmıştır [24]. Antenin benzetim ve ölçüm sonuçları Şekil 4.2 ve Şekil 4.3'te verilmektedir. 100 MHz – 15 GHz aralığında çok geniş (hyper-wide) frekans bandının hedeflendiği bu özgün anten tasarımında giriş geri yansıma ve anten ışıma kazanç performansları yüksektir ve çok geniş bantlı olması itibarıyla çoklu bant YNR kullanımına uygun olduğu görülmüştür.

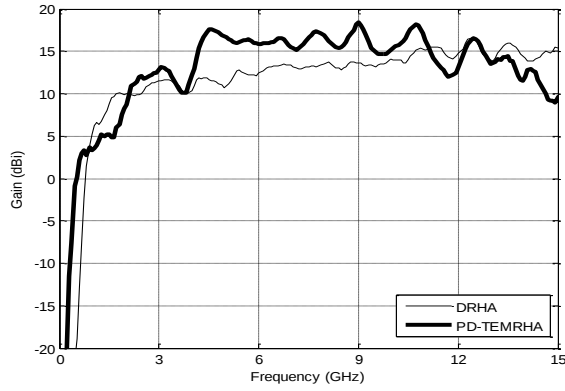


(a)

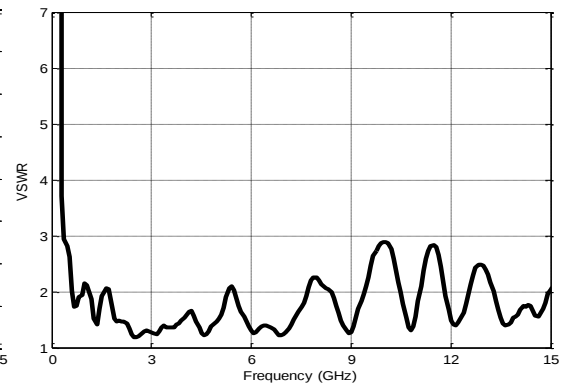


(b)

Şekil 4. 1 Tasarlanan PDTEM-RHA-30 (a) anten gösterimi (b) anten resmi

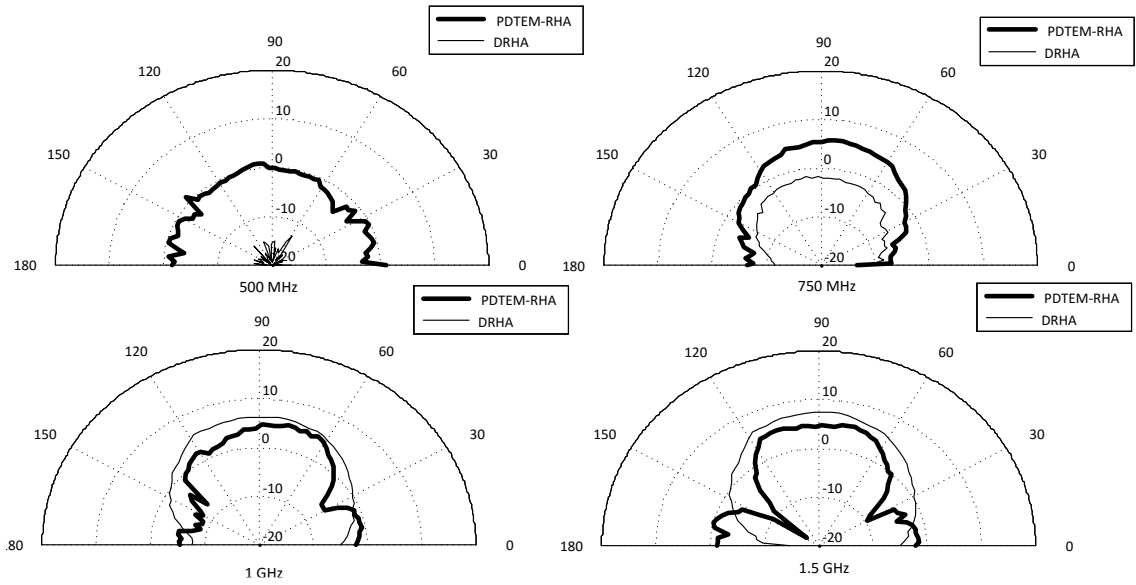


(a)

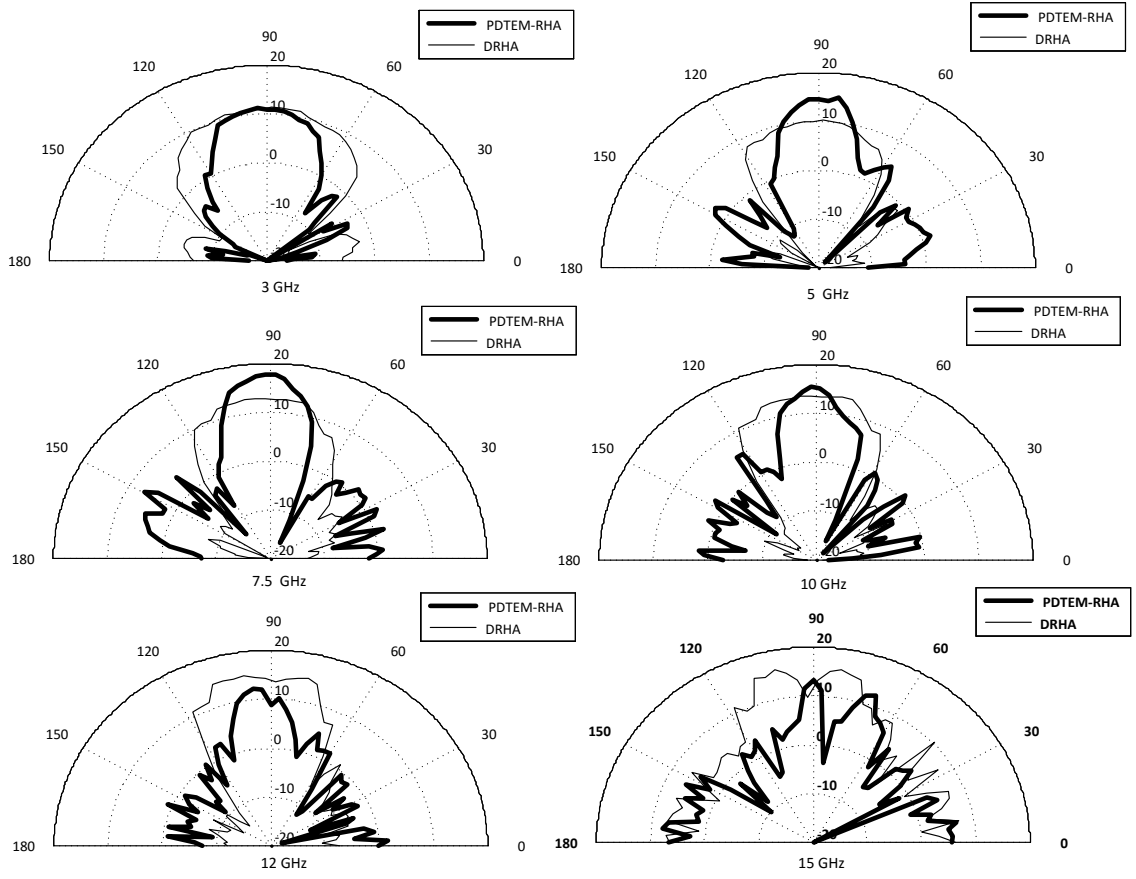


(b)

Şekil 4. 2 Tasarlanan PDTEM-RHA-30 (a) anten kazancı (b) VSWR grafiği



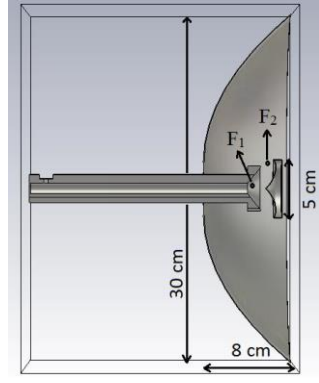
Şekil 4. 3 Tasarlanan PDTEM-RHA-30 anten ışıma örüntüsü



Şekil 4. 3 Tasarlanan PDTEM-RHA-30 anten ışıma örüntüsü (devamı)

4.1.1.2 Milimetrik Dalga Bandı için Kullanılan Antenler

Şekil 4.4'te görüldüğü gibi parabolik yansıtıcı ADE anten iki parçalı parabolden oluşmaktadır. Cassegrain antenin aksine alt yansıtıcı besleme anteni olan horn antenden gelen elektromanyetik dalgayı ters çevirip yansıtıcı antene verir, yani besleme anteninin ana huzmesini çanak antenin dış yüzeyine doğru yansır. Huzmenin nispeten zayıf kısımlarını ise iç yüzeye yansır. Böylece ana huzmenin güçlü kısmı yansıtıcının yüzey alanı fazla olan dış kısma geldiği için anten verimi artmaktadır. Şekil 4.4'te yapılan tasarım ve prototip üretimi tamamlanmış ADE anten görülmektedir.



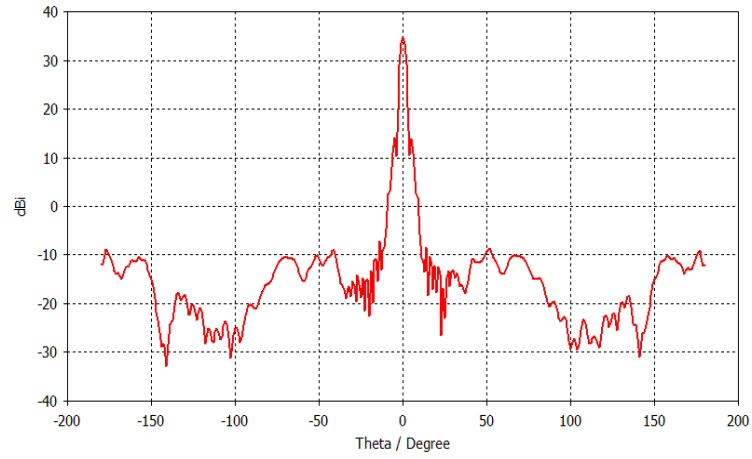
(a)



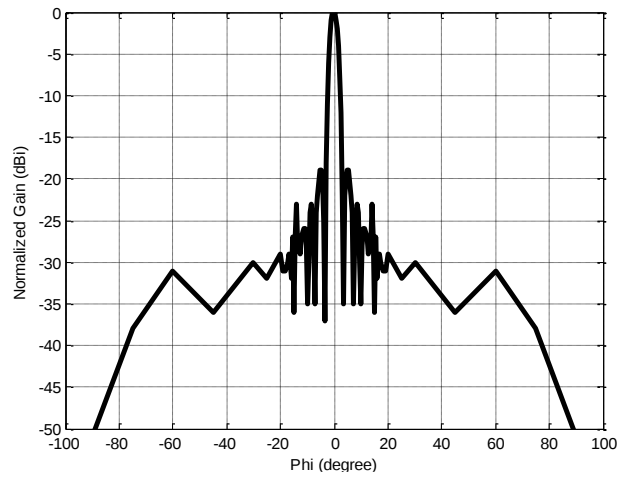
(b)

Şekil 4. 4 ADE yansıtıcı anten tasarımı (a) benzetim (b) üretim

Antenin benzetim programı ve ölçüm sonucu Şekil 4.5'te gösterilmektedir.



(a)



(b)

Şekil 4. 5 ADE yansıtıcı antenin ışıma örüntüsü (a) benzetim (b) üretim sonucu

4.2 Sistem Modeli ve Verilerin Elde Edilmesi

Bu tez kapsamında engel arkası görüntüleme amacıyla frekans adımlı radar ile çeşitli senaryolar için duvar arkası ölçümleri yapılacaktır. Bu sistemde, alıcı ve verici anten sabit bir tarama eksenini boyunca hareket ettirilmektedir. Sabit bir yatay tarama eksenini boyunca belirli aralıklar ile anlık A-tarama verisi toplanmaktadır. Ölçümlerin p adet nokta sayısı (number of points) üzerinden alındığı varsayılır ise i 'ninci tarama noktasında alınan frekans ölçümleri (4.1)'deki gibi ifade edilebilir.

$$S_{21}^{(i)} = \sum_{k=1}^p r_k e^{j\theta_k} \quad (4.1)$$

Burada r genlik bilgisi, θ ise faz bilgisidir.

4.3 Sinyal İşleme Teknikleri

Bu bölümde, hedef tespit performansının artırılması ve uzamsal ve derinlik menziline konumuna ilişkin daha doğru bir bilgi elde edilmesi amacı ile geliştirilen sinyal işleme tekniklerinden bahsedilecektir. Bu teknikler elektromanyetizma temelleri göz önünde bulundurularak optimize edilmiş ve radar verileri üzerinde test edilmiştir.

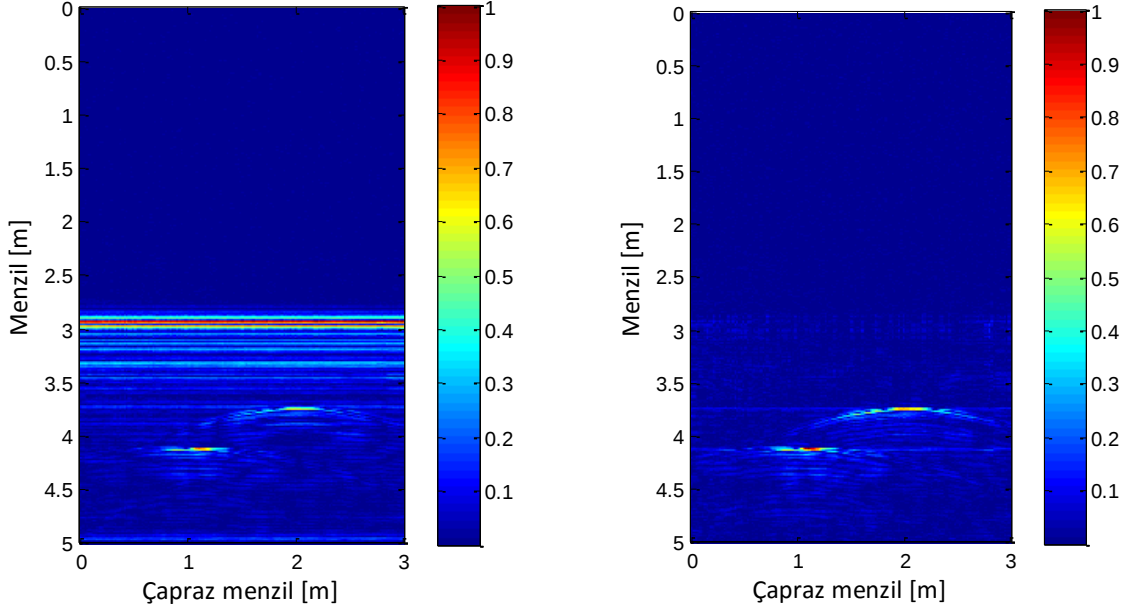
4.3.1 Arka Plan Kaldırma

Toplanan verilerin görüntüsünü iyileştirmek için bir kalibrasyon ya da referans sinyali tanımlanır. Bu sinyal, antenin huzmesi içerisindeki verici ve alıcı antenlerden yöneltilen darbeyi, antenlerden gelen ringing'leri ve elektromanyetik enerji yayan diğer cisimlerden (hedef olmayan) gürültüleri içerir. B-tarama çiziminde parazit yansımaların etkisini azaltmak için, tarama bölgesinin hedef olmayan bölgesinde referans sinyali toplanır. Yansıma katsayısı S_{21} 'in zamana bağlı ifadesi T olarak sembolize edilirse, arka plan kaldırılmış A-tarama sinyali şu şekilde hesaplanır.

$$T_B(z) = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M T_i(z) \quad (4.2)$$

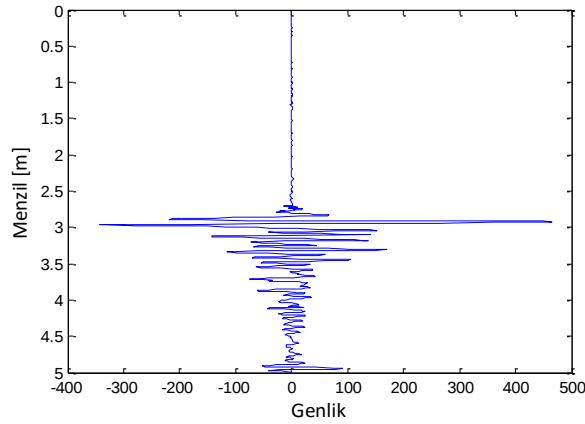
$$T_{BR}(z) = T(z) - T_B(z) \quad (4.3)$$

Burada T_i temiz bölgeden elde edilen her bir A-tarama verisi, M başlangıçta hedefin olmadığı temiz bölgeden elde edilen A-tarama verisinin sayısıdır. T_B hedefin olmadığı arka plan sinyalini ve T_{BR} arka plan silinmiş A-tarama sinyalini gösterir.



(a)

(b)



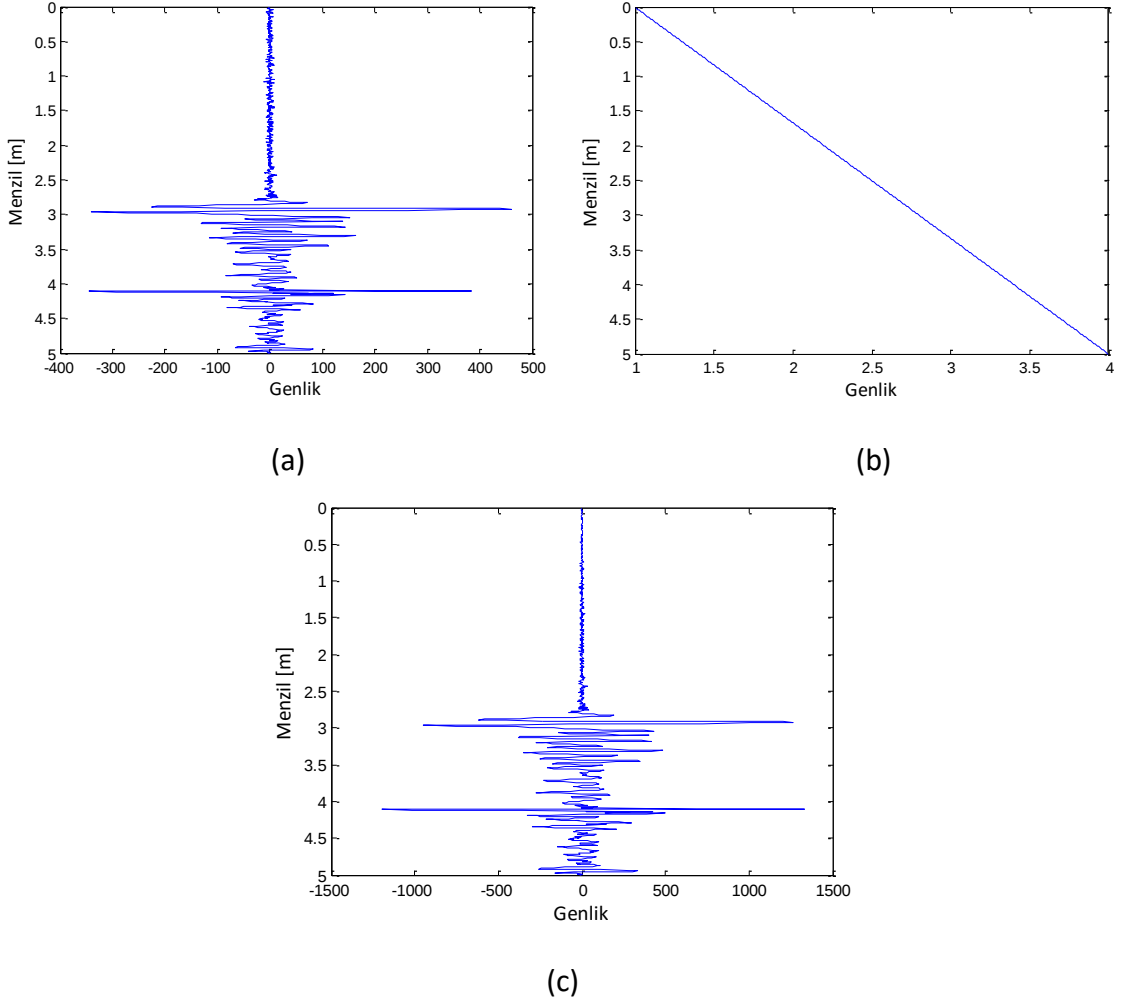
(c)

Şekil 4. 6 (a) Ham radar datası (b) arka plan kaldırılmış radar datası (c) karşılık gelen ortalama vektör

4.3.2 Zamanla Değişen Sinyal Kazancı

Radar sinyali bir engel içinde ilerlerken hızla azaldığı için daha derinden gelen bir sinyalin seviyesi yüzeyden gelen sinyale göre zayıf kalmaktadır. Farklı derinliklerdeki sinyal genlikleri zamanla değişen kazanç fonksiyonu uygulanarak eşitlenebilir. Şekil 4.7'de örnek bir A-tarama sinyali ve bu veriye uygulanan zaman kazanç fonksiyonu

verilmiştir. Uygulanan fonksiyon ile derinlik arttıkça artan kayıpların dengelendiği görülmektedir.



Şekil 4. 7 Zamanla değişen sinyal kazancı (a) ham A-tarama (b) zaman-kazanç fonksiyonu (c) zamanla değişen kazanç uygulaması sonucu

4.3.3 Frekans Filtreleme

Radar sistemlerinde uygulama alanına göre hem alçak ve hem de yüksek frekanslarda gürültü var olmaktadır. YNR sistemlerinde anten-yer etkileşimi düşük frekans gürültüsünün temel nedenidir. Yüksek frekans gürültüsü ise başlıca radar sisteminin cihazlarından kaynaklanmaktadır. Bu iki gürültü bant geçiren filtre kullanılarak kaldırılabilir. Diğer bir seçenek ise alçak geçiren ve bant geçiren filtrenin kaskad dizilişiyle elde edilir.

Geniş bantlı radar sistemleri değişik senaryolar için ortama en uygun olan frekans bandının seçilebilmesi üstünlüğünü sağlamaktadır. Frekans seçiminde engel kayıpları

önemli etkenlerden biridir. Örneğin, düşük kayıplı ortamların (ince tuğla duvarlar) arkasındaki hedeflerin daha iyi açısal çözünürlüklü görüntüleri için yüksek frekans bantları tercih edilirken, kalın beton ya da toprak altı gibi çok kayıplı ortamlarda elektromanyetik dalga yayılımı için düşük frekans bölgesi tercih edilmektedir. Bu sebeple kurgulanan senaryolar için toplanan A-tarama verilerine, optimum fayda sağlayacak bir frekans aralığı seçilerek frekans filtreleme uygulanmaktadır.

4.3.4 Wiener Filtreleme

Sinyal işleme uygulamalarında bir sinyali başka bir sinyalin verilerinden tahmin etmek önemli bir problemdir ve çok geniş bir uygulama alanına sahiptir. Ölçülen radar sinyalinde belirli nedenlerden dolayı istenen hedef bilgisi ilk aşamada elde edilemeyebilir. Bunun sebebi ortamın gürültülü olmasından kaynaklanabileceği gibi, ölçüm sırasında kullanılan sistemin ancak sınırlı çözünürlük sağlayabilmesinden kaynaklanan bozulmalar da olabilir. Bu gibi durumlarda klasik olarak kullandığımız alçak geçiren, yüksek geçiren ve bant geçiren filtrelerin kullanımı yetersiz kalabilir. Bu yüzden bozulmuş sinyalden en iyi tahminle doğru sinyali çıkartabilecek filtrelere ihtiyaç duyarız.

Wiener filtre genellikle gürültü temizleme ve doğrusal tahmin gibi sayısal sinyal işleme yöntemlerinde kullanılan optimal bir sayısal filtredir. Amaç giriş sinyalinden istenen içeriği yine giriş sinyalinin şimdiki ve geçmiş istatistiksel verilerinden faydalanarak çıkartmaktır. Bu yöntemde kullanılan Matlab komutu her piksel için ortalama ve varyans değerini hesaplamaktadır.

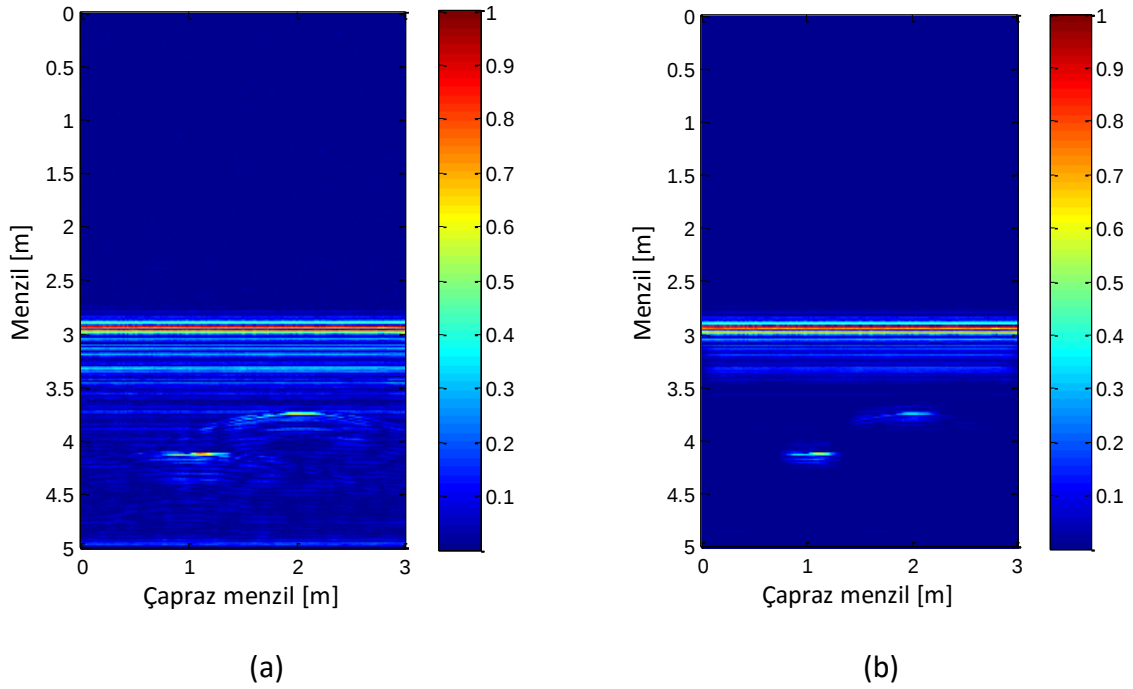
$$\mu = \frac{1}{NM} \sum_{n_1, n_2 \in \eta} a(n_1, n_2) \quad (4.4)$$

$$\sigma^2 = \frac{1}{NM} \sum_{n_1, n_2 \in \eta} a^2(n_1, n_2) - \mu^2 \quad (4.5)$$

Burada η , görüntüdeki her pikselin N' 'den M' 'e komşuluğudur. Her piksel için filtrelenmiş veri,

$$b(n_1, n_2) = \mu + \frac{(\sigma^2 + v^2)}{\sigma^2} (a(n_1, n_2) - \mu) \quad (4.6)$$

şeklinde ifade edilir. Burada v gürültünün varyansıdır. Bu değer filtreye girilmezse hesaplanan tüm varyansların ortalaması kullanılır.



Şekil 4. 8 Wiener filtrenin etkisi (a) ham radar datası (b) filtre sonucu

4.3.5 Ortamın Dielektrik Sabitinin Hesaplanması

Elektromanyetizmada yalıtkanlık sabiti veya dielektrik sabiti, bir malzemenin üzerinde yük depolayabilme yeteneğini ölçmeye yarayan katsayıdır. Başka bir ifade ile yalıtkanlık sabiti, bir elektriksel alanın etkilerinin veya yalıtkan bir ortam tarafından nasıl etkilendiğinin ölçümüdür. Bir ortamın yalıtkanlık sabiti, ortamdaki birim yük başına, elektrik alanının (daha doğru bir ifade ile akının) ne kadar oluştuğudur.

Yapılan çalışmada ortamın bağıl dielektrik sabiti için dalgaın duvar içerisinde ve havada ilerleme mesafesi dikkate alınarak yaklaşık değerler denenmiştir.

Çizelge 4. 1 Çeşitli malzemelerin dielektrik özellikleri

Malzeme	İletkenlik (S/m) (σ)	Geçirgenlik (F/m) (ϵ)
Hava	0	1
Kuru asphalt	$10^{-2}:10^{-1}$	2-4
Islak asphalt	$10^{-3}:10^{-1}$	6-12
Kuru kil	$10^{-1}:100$	2-6
Islak kil	$10^{-1}:100$	5-40
Kuru beton	$10^{-3}:10^{-2}$	4-10
Islak beton	$10^{-2}:10^{-1}$	10-20
Su	$10^{-6}:10^{-2}$	81
Kuru kum	$10^{-7}:10^{-3}$	2-6
Islak kum	$10^{-3}:10^{-2}$	10-30

4.4 Görüntüleme Algoritmaları

4.4.1 Huzme Adaptif Yapay Açıklık Radarı (YAR) Algoritması

Fiziksel anten açıklık sınırlamalarının ötesinde yatay çözünürlüğü arttırmak için kullanılan sinyal işleme tekniklerinden en iyi bilineni YAR tekniğidir. Gerçek antenin ilerleme doğrultusunda çok uzun bir anten sentezlemek için kullanılır. YAR daha uzun dalga boylarının kullanılmasına ve bu koşul altında makul boyutlarda anten yapıları ile yüksek çözünürlüğe ulaşılmasına imkân verir.

YAR algoritması antenin ayak izinin oluşturduğu alanda daha dar bir huzme elde etmek için kurgusal bir anten dizisi oluşturularak tasarlanır. YAR algoritması için Şekil 4.9'da yer alan kurgusal anten dizisi ele alınarak hesaplamalar yapılmıştır. Her bir noktada antenin YAR huzmesini elde etmek için, devre analizöründen elde edilen S_{21} parametrelerine hedef odak mesafesine göre uygun denge faz terimleri eklenir ve veriler toplanır. Bu faz terimi, frekans uzayında faz kayması zaman uzayında ise gecikme olarak etki edeceğinden, darbeli YNR uygulamasında ise, zaman uzayında hedef mesafesine göre hedeften geri saçılan sinyale (r) zaman gecikmesi (τ_i) eklenir. Burada r parametresi, S_{21} parametresinin zaman uzayındaki karşılığıdır.

Burada h , referans antenin (j . anten) hedef noktaya olan dikey uzaklığı, d ise antenler arasındaki diziliş (ya da adım) mesafesidir.

Referans antenin hedef noktaya olan uzaklığı ile YAR huzmesi içerisindeki her bir antenin hedef noktaya olan uzaklığı arasındaki fark, ΔR_i ,

$$\Delta R_i = R_i - h \quad (4.8)$$

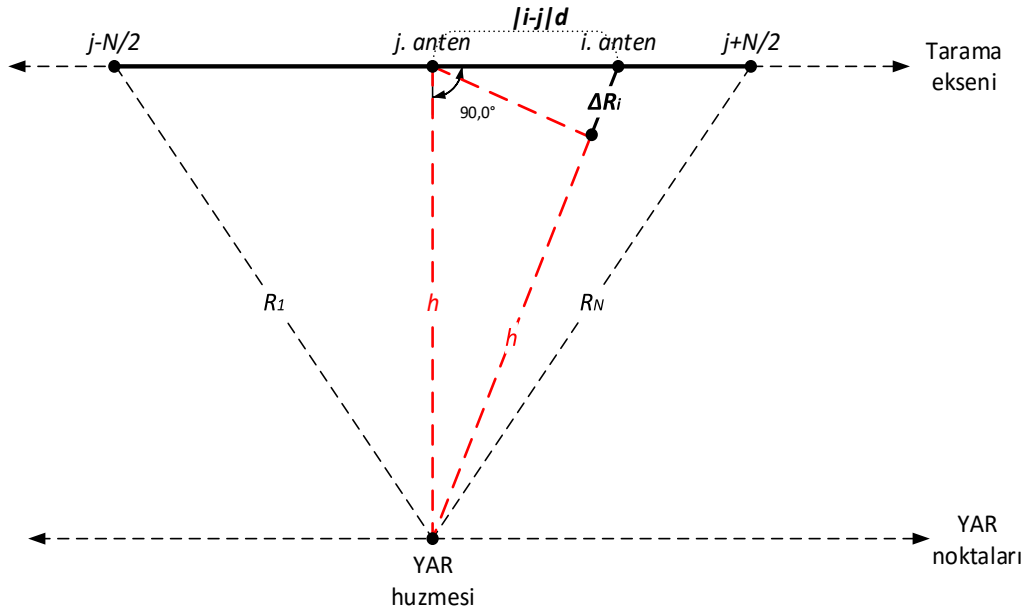
şeklinde ifade edilir. Böylece, frekans uzayında S_{21} parametresine YAR etkisi, S_{21YAR} ,

$$S_{21YAR} = \sum_{n=1}^L S_{21} e^{jk\Delta R_i} \quad (4.9)$$

şeklinde hesaplanabilir. Burada k ve L sırasıyla, dalga sayısı ve kurgusal dizi anten sayısıdır. Dielektrik bir ortamda ilerleyen dalganın dalga sayısı,

$$k = \frac{2\pi\sqrt{\epsilon_r} f}{c} \quad (4.10)$$

şeklinde hesaplanır. Burada f devre analizörü ile tarama yapılan frekans bandı, ϵ_r ortamın dielektrik sabiti, c ise ışık hızıdır.



Şekil 4. 11 YAR huzmesi içerisindeki her bir antenin hesaplanan noktaya olan uzaklığı arasındaki fark

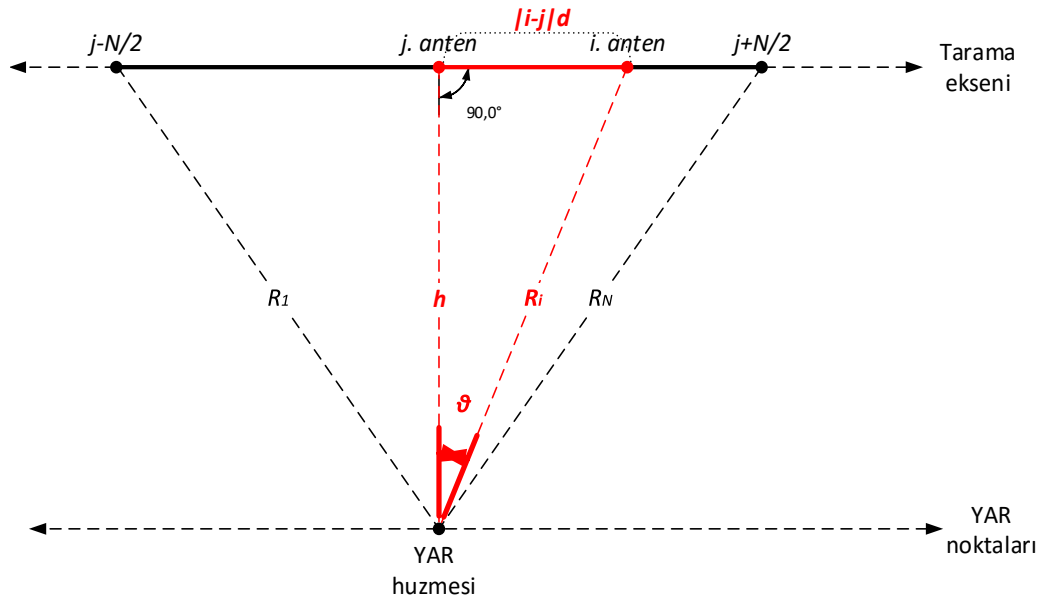
Kullanılan antenin ışıma örüntüsü dikkate alındığında analizi yapıldığı frekans bandında açı değerleri ve bu değerlere karşılık düşen kazanç bilgisi yer almaktadır. S_{21YAR} verisi hesaplanırken bu kazanç bilgisi YAR huzmesi içerisinde yer alan S_{21} verisi ile çarpılarak anten huzmesinin etkisi yansıma katsayısına eklenir.

YAR huzmesi içerisindeki her antenin faz terimleri eklenirken, i . antenin hedef noktaya olan uzaklığı ile referans antenin (j . anten) hedef noktaya olan uzaklığı arasında kalan açı değeri, θ görülmektedir ve şu şekilde hesaplanır.

$$\tan(\theta) = \frac{|i-j|d}{h} \quad (4.13)$$

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{|i-j|d}{h} \cdot \frac{180}{\pi}\right) \quad (4.14)$$

Böylece gelen sinyalin hangi açıdan geldiği tespit edilerek anten huzmesi ile ilişkilendirilebilir.



Şekil 4. 12 Hesaplanan noktanın anten tarafından görüldüğü açı hesabı

Geliştirilen algoritmaların uygulanması ile elde edilen B-tarama verisini görüntülemek için S_{21} zamana bağlı olmak zorundadır. Bu nedenle S_{21} matrisine ters Fourier dönüşümü uygulanmıştır. Matematiksel olarak ters Fourier dönüşümü,

$$T_i(z) = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} S_{21} e^{\frac{-2\pi jkn}{N}} \quad (4.15)$$

şeklinde ifade edilir. Oluşan T vektörü, x-ekseni boyunca alınan veri sayısı ve işaretin frekans uzunluğuna bağlı olarak boyutları belirlenen bir B-tarama verisidir. Burada, k zaman ortamındaki örnekleme nokta aralığı, n frekans ortamındaki örnekleme nokta aralığı ve N örneklenmiş nokta sayısıdır.

Bunun yanı sıra, darbeli radarda ise, hedeften saçılan sinyal i . antene τ_i kadar bir gecikme ile ulaşır.

$$\tau_i = \frac{2\Delta R_i}{v} \quad (4.16)$$

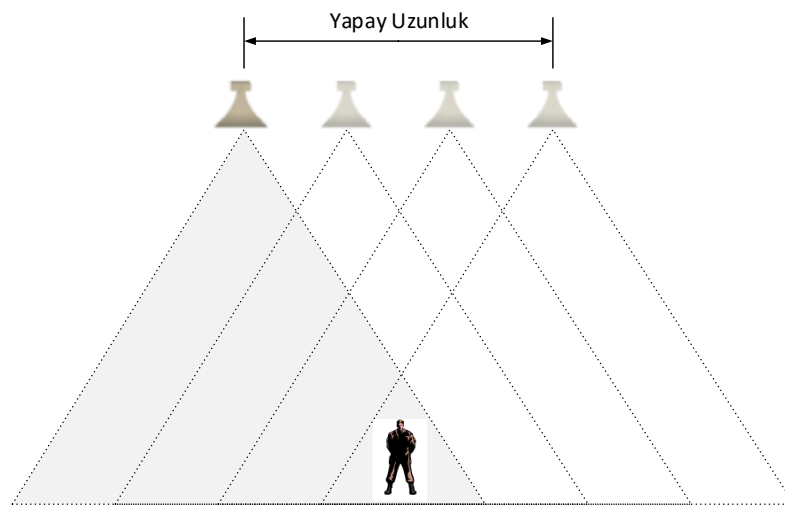
Böylece, zaman uzayında r parametresine YAR etkisi, r_{YAR} , şu şekilde hesaplanır.

$$r_{YAR}(t) = \sum_{i=1}^L r_i(t - \tau_i) \quad (4.17)$$

Uygulanan işlemin YAR uzunluğu,

$$L_{YAR} = Nd \quad (4.18)$$

ile verilir. Maksimum yapılabilecek YAR uzunluğu antenin ayak izinin iki katıdır (Şekil 4.13).



Şekil 4. 13 YAR ayak izi görüntüsü

4.4.2 MUSIC Algoritması

YNR uygulamalarında yüksek çözünürlük, yüzeye yakın gömülü cisimlerin görüntülenmesi için çok önemli bir etkidir. Ancak YNR sinyalleri çok zayıf ve gürültülü olduğunda yüksek çözünürlük elde etmek zorlaşmaktadır. Yüksek çözünürlüklü görüntüleme yöntemlerinden birisi olan MUSIC (Multiple Signal Classification) algoritması, YNR alanında yüksek çözünürlükte görüntü elde etmek için kullanılacaktır. Buna ek olarak, alıcıdan alınan sinyalin yüksek doğrulukta elde edilmesinde kullanılan IFFT (inverse fast Fourier transform) yöntemi ile elde edilen sonuçlar karşılaştırılacaktır.

MUSIC algoritması ilk olarak geliş açıcı tahmini (DoA) problemi için önerilmiş korelasyon temelli bir spektral kestirim yöntemidir. Gelen işaretin korelasyonu hesaplandıktan sonra öz değer açılımı ile işaret ve gürültü alt uzayına ayrıştırılır. İşaret ve gürültü alt uzaylarının birbirine dik olması özelliği kullanılarak görüntüleme yapılacak bölgede incelenen noktanın hangi alt uzaya düştüğü bulunur. x radara gelen işaret olmak üzere, bu işaret

$$x = a(\tau)s + v \quad (4.19)$$

şeklinde modellenebilir. Burada ki x ölçümü, v ifadesi korelasyonsuz beyaz gürültüyü, s gönderilen işareti ve $a(\tau)$ ise mod vektörü tanımlar ve ölçülen işaret ile gönderilen işaret arasında ki gecikmeyi içerir. Ölçüm matrisinin korelasyonu,

$$S = E\{xx^H\} = a(\tau)|s|^2 a(\tau)^H + I\lambda \quad (4.20)$$

ifadesi ile bulunur. Burada ki E operatörü istatistiksel beklenen değerdir. Üst indis H ise 'Hermitian' anlamına gelip kompleks konjuge transpozu anlamına gelir. Korelasyon matrisinin sıfırdan farklı öz değerlerine karşı gelen öz vektörler işaret alt uzayına ait baz vektörleri olurken, sıfır ve sıfıra çok yakın öz değerlerine karşı düşen öz vektörler ise gürültü alt uzayına ait baz vektörleridir. Korelasyon matrisinin öz değer açılımı genel halde

$$S \begin{bmatrix} v_1 & \dots & v_{n+1} & v_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v_1 & \dots & v_{n+1} & v_m \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \sigma_1 & & & \\ & \ddots & & \\ & & \sigma_n & \\ & & & 0 \\ & & & & 0 \end{bmatrix} \quad (4.21)$$

şeklindedir. (4.21) eşitliğinde görüleceği üzere σ_n değerine kadar olan öz değerler sıfırdan farklı olduğu için bu öz değerlere karşı gelen öz vektörler işaret alt uzayına ait baz vektörleri olurken, σ_{n+1} den sonra ki öz vektörler sıfır veya sıfıra çok yakın olduğu için bu değerlere karşı düşen öz vektörler gürültü alt uzayına ait vektörler olur. U matrisi gürültü alt uzayına ait baz vektörlerini gösterdiği durumda, gürültü alt uzayına ait iz düşüm matrisi

$$U = \begin{bmatrix} v_{n+1} & \dots & v_m \end{bmatrix} \quad (4.22)$$

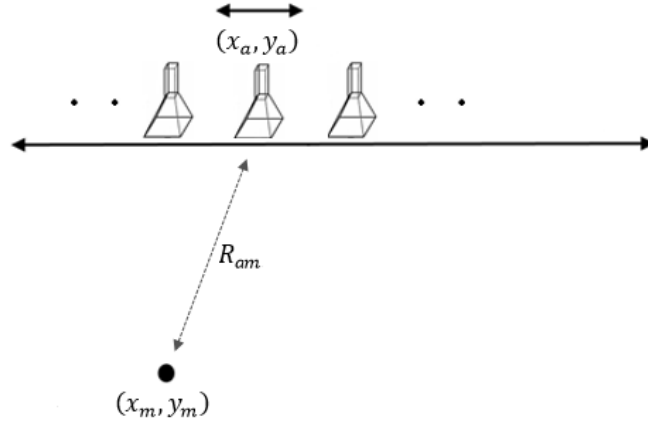
$$P_{Gürültü} = U(U^H U)^{-1} U^H \quad (4.23)$$

ile bulunur. Öz değer açılımındaki öz vektörler ortonormal vektörler olduğu için bu ifade

$$P_{Gürültü} = U U^H \quad (4.24)$$

şekline sadeleşir. İşaret alt uzayına ait herhangi bir vektör gürültü alt uzayına ve gürültü alt uzayına ait $P_{Gürültü}$ izdüşüm matrisine diktir.

Radar görüntülemeye incelenen nokta belirli bir faz farkı ile ölçüm yapılan noktaya gelir. Frekans ortamında faz farkı zaman ortamında gecikmeye karşı gelir. (x_m, y_m) noktasının antene olan uzaklığı d olursa, c dalga yayılma hızında hava ortamında ilerleyen işaret $2d/c$ kadar bir gecikme ile alıcıya geri döner.



Şekil 4. 14 Radar görüntüleme sistemi

$a(\tau)$ mod vektörü antenler ile saçıcı cisim arasındaki mesafeye bağlı olarak oluşacak gecikme değerlerini içerir. Radar görüntülemeye incelenen noktanın işaret alt uzayına ait olabilmesi için incelenen noktada saçıcı olması gerekmektedir. Bir başka deyişle incelenen noktanın radar işaretine katkı sağlaması gerekmektedir. Mod vektörü saçıcı cismin radar işaretinde oluşturduğu zaman gecikmesini barındırır. İncelenen noktada saçıcı cisim var ise birbirine dik olma özelliğinden dolayı bu mod vektörün gürültü alt uzayına izdüşümü sıfır olur ve

$$\|P_{Gürültü}a(\tau)\| = 0 \quad (4.25)$$

eşitliği elde edilir. Görüntüleme yapılan bölgedeki her nokta için yukarıdaki eşitlik kullanılırsa saçıcı cismin görüntülenmesi yapılmış olur.

Bir başlangıç zamanından $\tau=\tau_1$ bir bitiş zamanına $\tau=\tau_2$ kadar olan zaman aralıklarından hangisi gürültü alt uzayına dik ise $\tau=\tau_x$ zaman anında bir saçıcı vardır. Bu faz gecikmesinin oluşturduğu mod vektörü genel halde

$$a(\tau) = \left[e^{-2\pi f_1 \tau_L}, e^{-2\pi f_2 \tau_L}, \dots, e^{-2\pi f_k \tau_L} \right] \quad (4.26)$$

ifadesi ile tanımlanır ve monostatik ölçümdeki her bir frekanstaki zaman gecikmesini içerir. k adet frekans ölçümü için τ_L tarama süresi boyunca hesaplanır. Her bir τ_L değeri için MUSIC fonksiyonu oluşturulursa, MUSIC fonksiyonunun tepe yaptığı yerlerde saçıcı cisim vardır.

(4.25) eşitliği kullanılarak en genel halde MUSIC fonksiyonu,

$$P_{MUSIC}(\tau) = \frac{a(\tau)^H a(\tau)}{a(\tau)^H P_{Gürültü} a(\tau)} \quad (4.27)$$

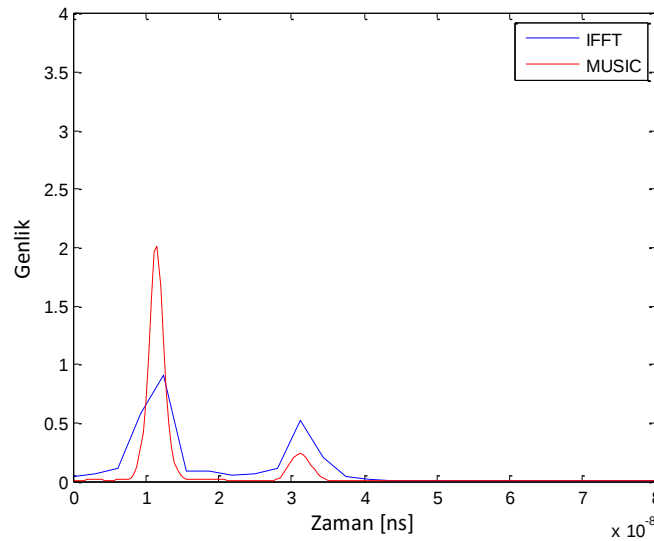
şeklinde tanımlanır.

MUSIC algoritmasının benzetim verisine uygulanması ve ters Fourier transformu ile karşılaştırılmasına ait sonuçlar aşağıda verilmektedir.

Simülasyon verisi için bir band geçiren filtre kullanılarak oluşturulan radar sinyali benzetimi,

$$H(f) = \frac{j(w_0/Q)w}{(w_0^2 - w^2) + j\left(\frac{w_0}{Q}\right)w} \quad (4.28)$$

olarak ifade edilmektedir. Burada $w=2\pi f$, $Q=1$ ve $f_0=167 \text{ MHz}$ değerindedir. Tasarlanan bant geçiren filtre 320 MHz band genişliğine sahiptir ve sırasıyla 10 ns ve 30 ns gecikme zamanında iki hedef yer almaktadır. İkinci hedefin daha derinde olduğu varsayılarak ikinci hedefin genliği yani sinyal seviyesi birinci hedefin yarısı kadar alınmıştır. BGF ile üretilen frekans ortamı verisinin ters Fourier dönüşümü ve MUSIC yöntemleriyle zaman ortamına dönüştürülerek karşılaştırılmıştır.



Şekil 4. 15 Sinyallerin zaman domeninde IFFT ve MUSIC ile gösterimi

Sanal olarak üretilen radar verisine IFFT ve MUSIC uygulanarak zaman ortamında elde edilen sonuçlar Şekil 4.15'te gösterilmektedir. Şekil 4.15 incelenecek olursa IFFT

uygulandığında mavi işarette görüldüğü gibi ikinci sinyalin genliği birinci sinyalin genliğinin yarısı olmasına rağmen çözünürlük oldukça düşüktür. Kırmızı işaret ile gösterilen MUSIC algoritması sonucunda ise çıkış sinyallerinin seviyeleri keskin ve çözünürlük yüksektir. Ancak ikinci sinyal seviyesi birinciye göre oldukça düşüktür. Bunun anlamı MUSIC işleminde alınan sinyalin seviyesi yetersizdir.

4.5 Hedef Takip Algoritması

Bu çalışmada darbeli YNR ile kaydedilen 45 ns uzunluklu A-tarama verileri sayesinde elde edilen elips parametreleri kullanılarak, geliştirilen algoritma ile duvar arkasında bulunan hedef hareketinin gerçek zamanlı tespiti amaçlanmaktadır.

4.5.1 Elips Denklemi

Tanım 4.1 Geometride, elips bir koninin bir düzlem tarafından kesilmesi ile elde edilen düzlemsel, ikinci dereceden, kapalı eğridir.

Tanım 4.2 Elips, bir düzlemde verilen iki noktaya (F_1, F_2) uzaklıkları toplamı sabit olan noktaların geometrik yeridir; verilen bu iki noktaya elipsin odakları denir. Odaklarının arasındaki uzunluğa $|F_1, F_2|$ dersek ortadaki nokta elipsin merkez noktasıdır. Şekil 4.16'daki elipsin $|S_1S_2|$ asal, $|S_3S_4|$ ise yedek eksenidir.

Odakları x ekseninde olan merkezci elipse ait aşağıdaki eşitlikler kullanılarak elips denklemi elde edilmiştir.

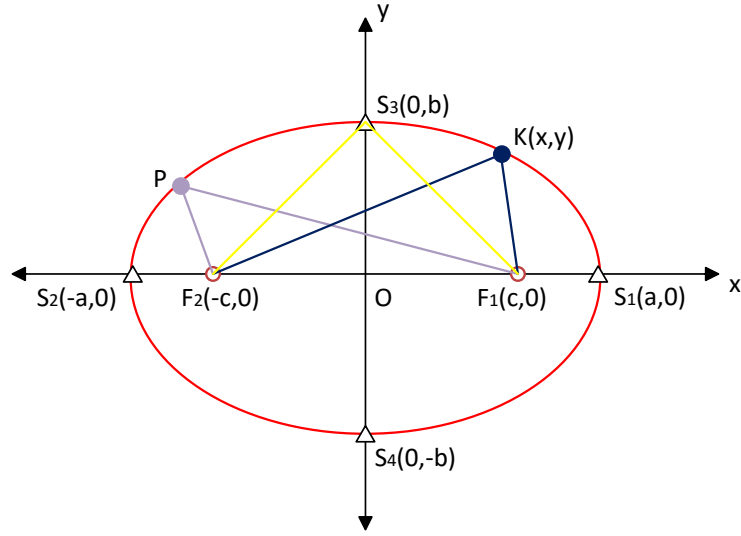
F_1OS_3 dik üçgeninde, Pisagor bağıntısından,

$$|F_1S_3|^2 = |OF_1|^2 + |OS_3|^2 \quad (4.29)$$

Aynı zamanda;

$$a^2 = c^2 + b^2 \quad (4.30)$$

eşitliğinde görüldüğü gibi b ve F_1 ile merkez arasındaki doğru parçası, yani c , dik kenarlar, a ise hipotenüs'tür.



Şekil 4. 16 Elips parametreleri

$F_1S_3F_2$ üçgeninin oluşabilmesi için;

$$|F_1S_3| + |F_2S_3| > |F_1F_2| \quad (4.31)$$

olmalıdır. Böylece, $2a > 2c$ yani, $a > c$ olmalıdır.

Düzlemde, sabit iki noktaya (odak noktalarına) olan uzaklıkları toplamı sabit olan noktaların elipsi meydana getirmesi özelliğinden faydalanılarak,

$$|F_2P| + |PF_1| = |F_2K| + |KF_1| = |S_1S_2| \quad (4.32)$$

eşitliği elde edilir.

$$|KF_1| = \sqrt{(x-c)^2 + y^2} \quad (4.33)$$

$$|KF_2| = \sqrt{(x+c)^2 + y^2} \quad (4.34)$$

$$|F_2K| + |KF_1| = |S_1S_2| = 2a \quad (4.35)$$

olduğundan,

(4.33) eşitliği sadeleştirildiğinde,

$$a\sqrt{(x-c)^2 + y^2} = (a^2 - cx) \quad (4.36)$$

elde edilir. (4.36) eşitliğinde her iki tarafın karesini alındığında,

$$\left(a\sqrt{(x-c)^2 + y^2} \right)^2 = (a^2 - cx)^2 \quad (4.37)$$

$$a^2(x^2 - 2cx + c^2 + y^2) = a^4 - 2a^2cx + c^2x^2 \quad (4.38)$$

Buradan,

$$a^2x^2 - 2a^2cx + a^2c^2 + a^2y^2 = a^4 - 2a^2cx + c^2x^2 \quad (4.39)$$

$$a^2x^2 - c^2x^2 + a^2y^2 = a^4 - a^2c^2 \quad (4.40)$$

$$x^2(a^2 - c^2) + a^2y^2 = a^2(a^2 - c^2) \quad (4.41)$$

$a^2 - c^2 = b^2$ olduğundan,

$$b^2x^2 + a^2y^2 = a^2b^2 \quad (4.42)$$

Eşitliğin her iki tarafı a^2b^2 ifadesi ile bölünürse,

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1 \quad (4.43)$$

elde edilir ve bu bağıntıya merkezli elips denkleminin denir.

Merkezi (h,k) noktasında bulunan bir elipsin eşitliği de,

$$\frac{(x-h)^2}{a^2} + \frac{(y-k)^2}{b^2} = 1 \quad (4.44)$$

4.5.2 Elips Parametrelerinin Uyarlanması

Bu uygulamada ilk olarak alıcı antenlere gelen 1-boyutlu sinyallerin konvolüsyonu alınarak hedeften yansıyan maksimum genlikli sinyal ve bu sinyalin bilgisi kullanılarak hedef menzili kestirilmeye çalışılır.

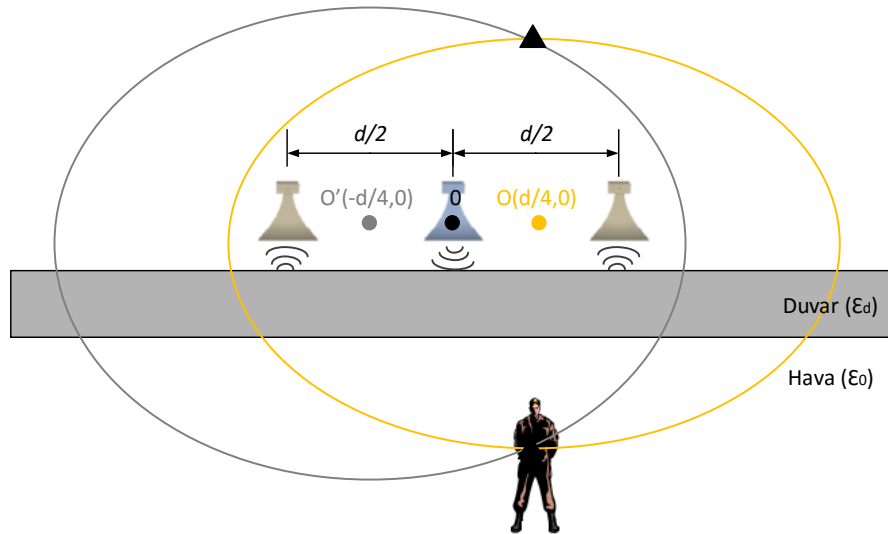
Verici anten ile gönderilen ve hedefe çarparak alıcı antene geri dönen sinyalin menzili, alıcı ve verici antene uzaklıkları toplamı sabit olan noktaların geometrik yerine ait

bilgiyi verir. Bu geometrik yer yukarıda tanımlı yapıldığı üzere odakları alıcı ve verici anten olan elipse karşılık gelmektedir. Elips denkleminde yola çıkıldığında; elipsin $2a$ asal eksenini hedef menziline, odakları arasındaki $2c$ uzunluğu ise alıcı ve verici anten arasındaki uzaklığa karşılık gelir.

$$b = \sqrt{a^2 - c^2} \quad (4.45)$$

ifadesi kullanılarak elipsin $2b$ yedek eksenini hesaplanır.

Elipsin genel mantığı dikkate alınarak odak noktaları alıcı ve verici anten çifti olan bir sistem tasarlandığında hedefin elips çemberi üzerinde yer alması gerekmektedir. Aynı şekilde verici antenin diğer yanına ikinci bir alıcı anten ile tasarlanacak yapıda oluşacak iki elipsin kesişimi kullanılarak elde edilecek iki noktadan antenlerin yayılma yönünde olanın hedefe ait olduğu tespit edilecektir. Bu mantık ile iki alıcı ve merkezlerinde bir verici anten sistemi kurularak darbeli YNR ile hedef hareketini hızlı bir şekilde kestirmek mümkün olacaktır.



Şekil 4. 17 Hedef hareketini tespit etmeye yönelik tasarlanan ölçüm senaryosu

İki alıcı anten arasındaki mesafe d ile ifade edildiği durumda orijine yerleştirilen verici anten ve bu verici antenin her iki tarafına $d/2$ mesafede yerleştirilen iki alıcı antenin oluşturacağı elipslerin merkezleri $A(-d/4, 0)$ ile $B(d/4, 0)$ noktaları olacaktır.

Merkezi $A(-d/4, 0)$ olan 1. elips denklemini,

$$\frac{(x+d/4)^2}{(a_1)^2} + \frac{(y)^2}{(b_1)^2} = 1 \quad (4.46)$$

Merkezi $B(d/4,0)$ olan 2. elips denklemini,

$$\frac{(x-d/4)^2}{(a_2)^2} + \frac{(y)^2}{(b_2)^2} = 1 \quad (4.47)$$

(4.46) ve (4.47)'de y yalnız bırakıldığında sırası ile,

$$y^2 = \left(1 - \frac{(x+d/4)^2}{(a_1)^2}\right)(b_1)^2 \quad (4.48)$$

$$y^2 = \left(1 - \frac{(x-d/4)^2}{(a_2)^2}\right)(b_2)^2 \quad (4.49)$$

eşitlikleri elde edilir. Elde edilen eşitliklerin sağ tarafları birbirine eşitlenerek merkezleri $A(-d/4,0)$ ve $B(d/4,0)$ olan bu iki elipsin denklemlerine ait ortak çözüm,

$$(b_1)^2 - (x^2 + x(d/2) + (d^2/16)) \frac{(b_1)^2}{(a_1)^2} = (b_2)^2 - (x^2 - x(d/2) + (d^2/16)) \frac{(b_2)^2}{(a_2)^2} \quad (4.50)$$

$$x^2 \left[\frac{(b_2)^2}{(a_2)^2} - \frac{(b_1)^2}{(a_1)^2} \right] + x \left[\frac{d}{2} \left(\frac{(b_2)^2}{(a_2)^2} - \frac{(b_1)^2}{(a_1)^2} \right) \right] + \left[(b_1)^2 - (b_2)^2 + \left(\frac{d^2}{16} \right) \left(\frac{(b_2)^2}{(a_2)^2} - \frac{(b_1)^2}{(a_1)^2} \right) \right] = 0 \quad (4.51)$$

polinomunu verir. Elde edilen polinomun kökleri hesaplanarak bulunacak x değeri elips denkleminde yerine konulursa,

$$y = \pm \sqrt{\left(1 - \frac{(x-(d/4))^2}{a_1^2}\right) b_1^2} \quad (4.52)$$

ifadesi elde edilir. Böylece iki elipsin kesişimine ait noktalardan antenin ışıma yönünde olan değer hedefin koordinatlarına karşılık gelecektir.

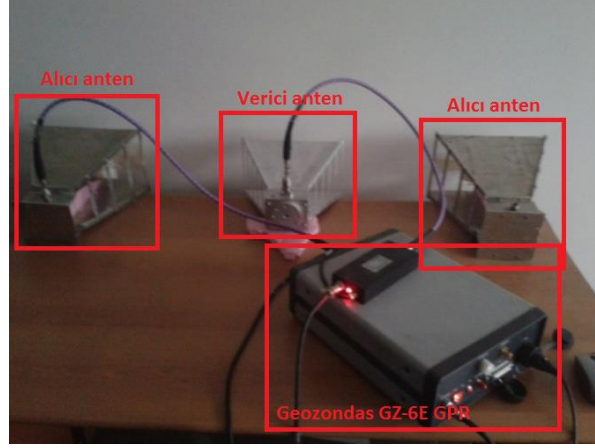
UYGULAMALAR

Bu bölümde laboratuvar ortamında kurulan deney düzeneği ile farklı senaryolar için alınan ölçüm sonuçları incelenmiştir. Bölüm 4’te bahsedilen elektromanyetik tabanlı adaptif sinyal ve görüntüleme işleme teknikleri ile Matlab programı kullanılarak hedef tespiti ve takibine yönelik görüntülerde iyileştirme çalışmaları yapılmıştır.

5.1 Darbeli Radar Sistemi ile Hedef Takibi

Bu çalışma kapsamında Geozondas GZ-6E darbe YNR kiti kullanılarak YNR sisteminin yüksek hızlı algılama üstünlüğü ile hedef hareketinin tespit performansı incelenecektir. Sistem testleri 900 MHz-3 GHz frekans bandında, çeşitli hareket senaryoları için engel arkasında yer alan hedefin hareketini tespit etmeye yönelik ölçümleri içermektedir. Ölçüm senaryosunda bir verici, iki de alıcı anten yer almaktadır (Şekil 5.1). Verici anten olarak 800 MHz -18 GHz frekans bandında çalışan A-Info horn anteni, alıcı antenlerde ise, 300 MHz – 15 GHz aralığında aşırı geniş frekans bandının hedeflendiği özgün bir anten tasarımı kullanılmıştır.

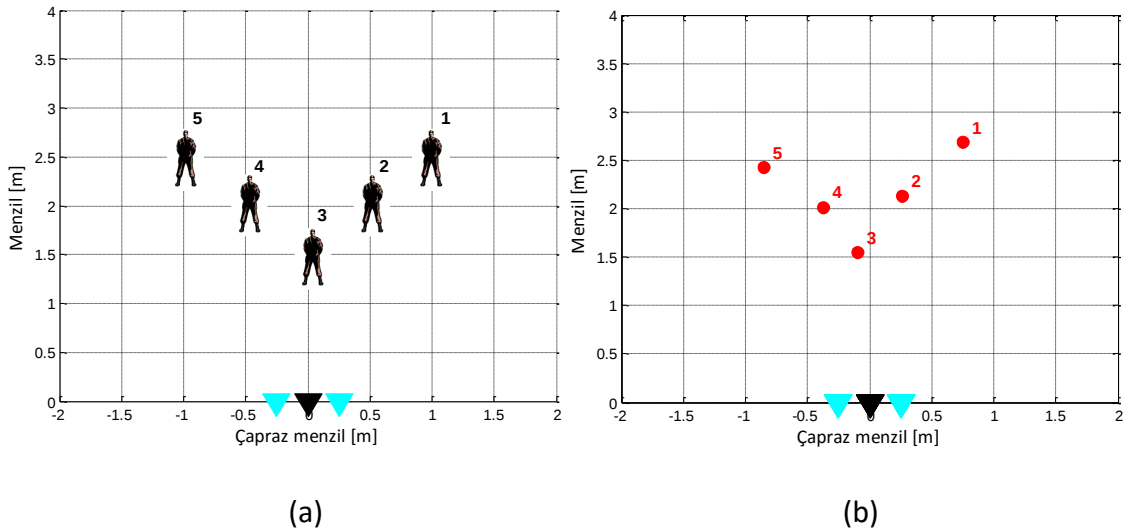
Sistem ölçümleri ilk olarak duvar arkasında yer alan metal insan modelinin belirli koordinatlara yerleştirilmesi ile alıcı antenler tarafından kaydedilen verilerin işlenmesini içermektedir.



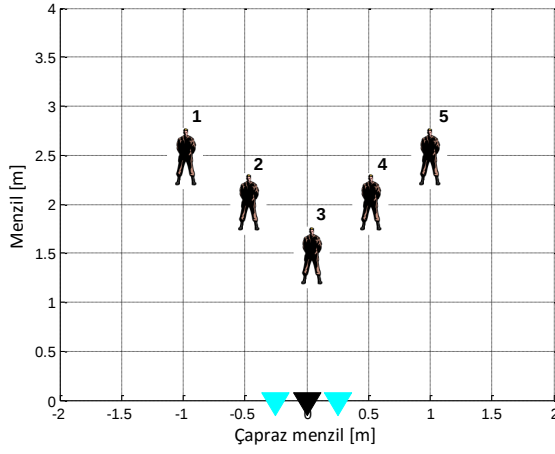
Şekil 5. 1 Hedef hareketini tespit etmeye yönelik tasarlanan test sistemi

Farklı hareket senaryoları için her iki alıcı antenden toplanan 64 adet A-tarama verisinin ortalaması alınarak kaydedilen veriler kullanılarak elde edilen ölçüm sonuçları aşağıda yer almaktadır.

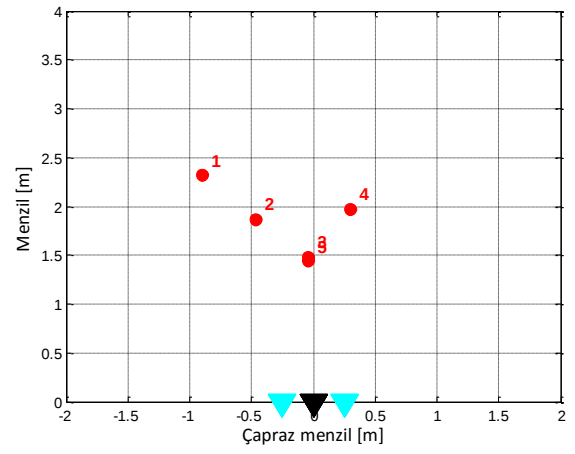
Ölçüm sonuçları incelendiğinde, duvar arkasında yer alan metal ve insan hedefin hareketine ait konum verilerinde, gerçek konum değerlerinden yatay ve düşey ekseninde maksimum 15 cm kayma olacak şekilde tespit gerçekleştirilmiştir. Test ölçümleri sonucunda tasarlanan algoritmanın doğruluğunun yaklaşık oranının %70 olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 5. 2 Duvar arkasında yer alan metal hedefin V hareketine ait 1. ölçüm (a) senaryo (b) algoritma sonucu

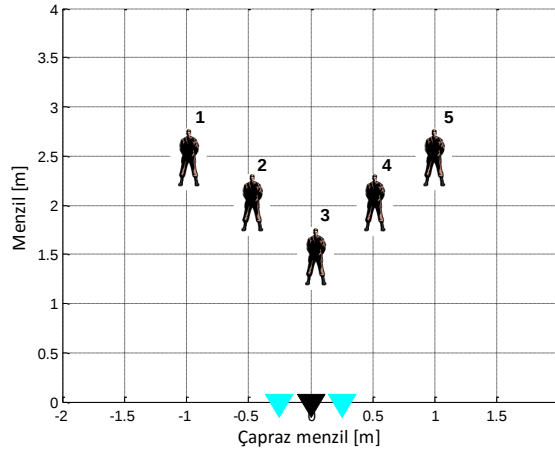


(a)

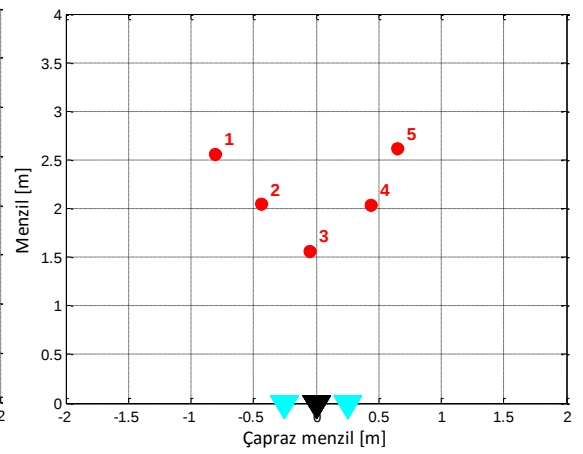


(b)

Şekil 5. 3 Duvar arkasında yer alan metal hedefin V hareketine ait 2. ölçüm (a) senaryo
(b) algoritma sonucu

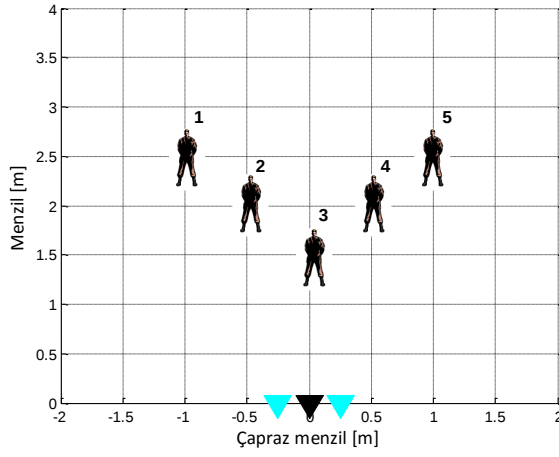


(a)

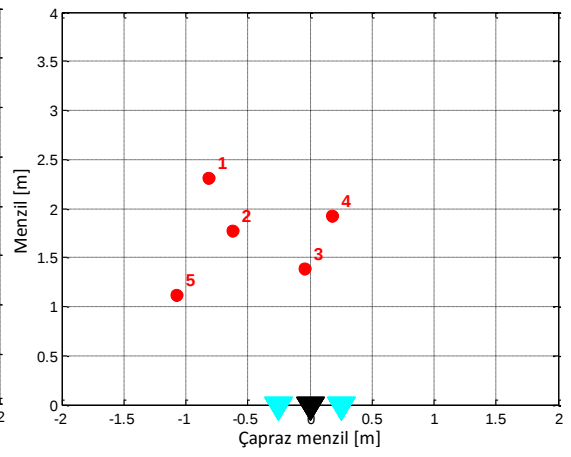


(b)

Şekil 5. 4 Duvar arkasında yer alan metal hedefin V hareketine ait 3. ölçüm (a) senaryo
(b) algoritma sonucu

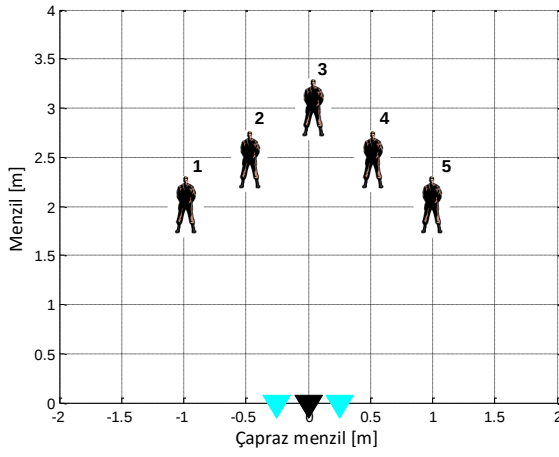


(a)

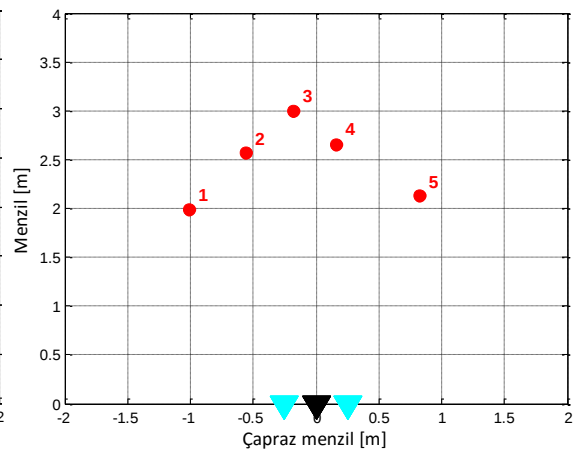


(b)

Şekil 5. 5 Duvar arkasında yer alan metal hedefin V hareketine ait 4. ölçüm (a) senaryo (b) algoritma sonucu

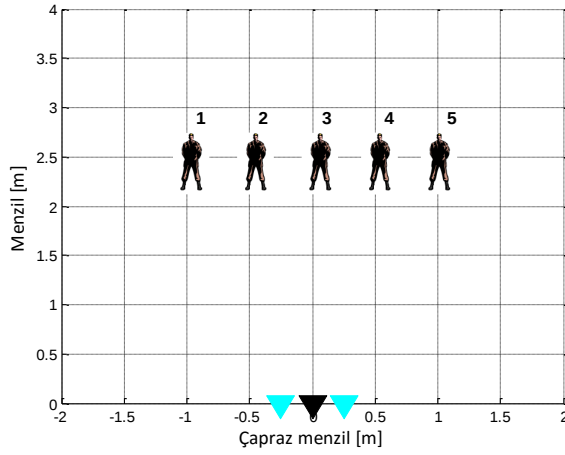


(a)

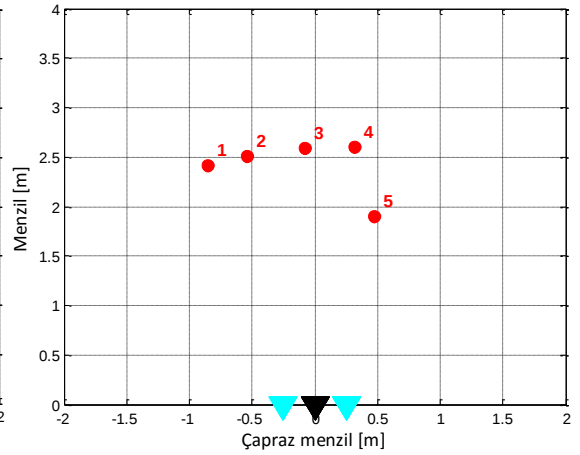


(b)

Şekil 5. 6 Duvar arkasında yer alan metal hedefin ters V hareketine ait ölçüm (a) senaryo (b) algoritma sonucu

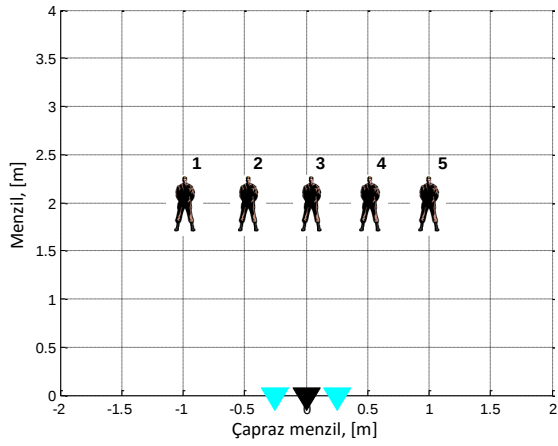


(a)

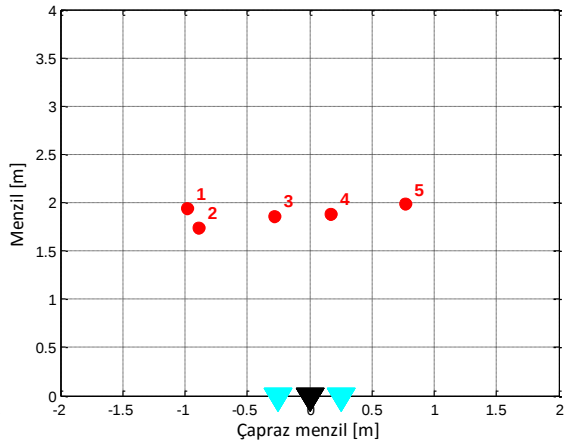


(b)

Şekil 5. 7 Duvar arkasında 2,5 m uzaklıkta yer alan metal hedefin düz yürüme hareketine ait ölçüm (a) senaryo (b) algoritma sonucu



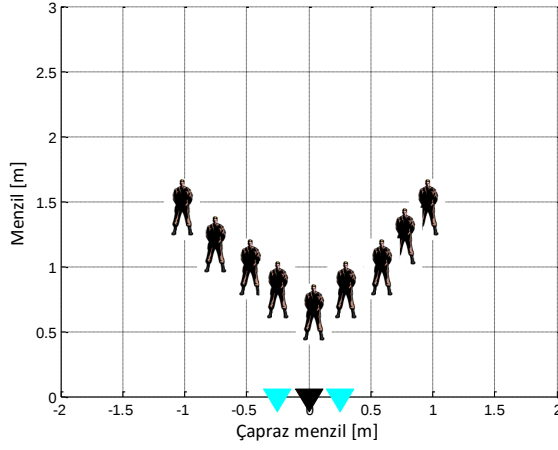
(a)



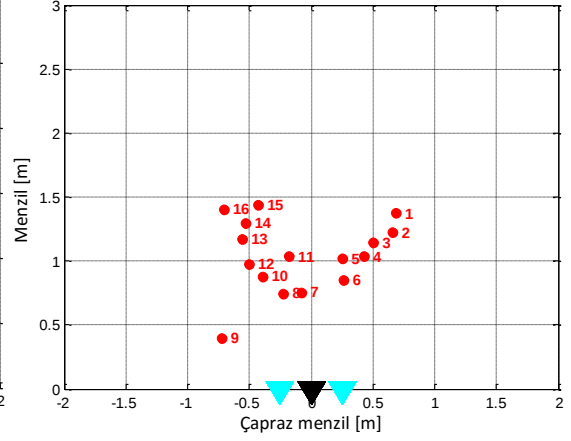
(b)

Şekil 5. 8 Duvar arkasında 2 m uzaklıkta yer alan insanın düz yürüme hareketine ait ölçüm (a) senaryo (b) algoritma sonucu

Test ölçümlerinin ikinci aşamasında ise anahtarlama devre elemanı kullanılarak her iki alıcı antenden sırayla ve sürekli bir şekilde veri kaydedilmesi sağlanmıştır. Bu şekilde duvar arkasında yer alan insanın zamanda sürekli hareketi tespit edilmiştir. Farklı hareket senaryoları için 24 adet A-tarama verisinin ortalaması alınarak kaydedilen A-tarama verileri kullanılarak elde edilen ölçüm sonuçları aşağıda yer almaktadır.

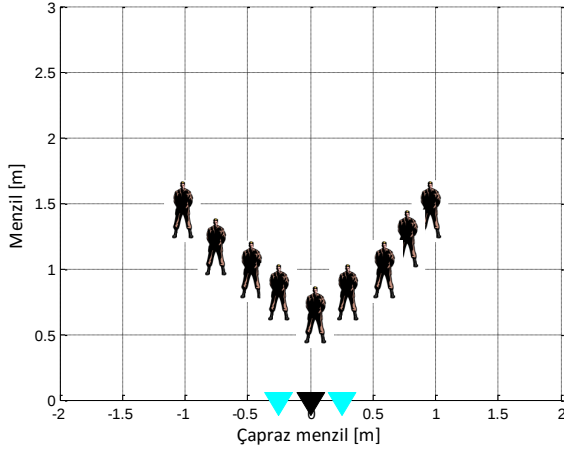


(a)

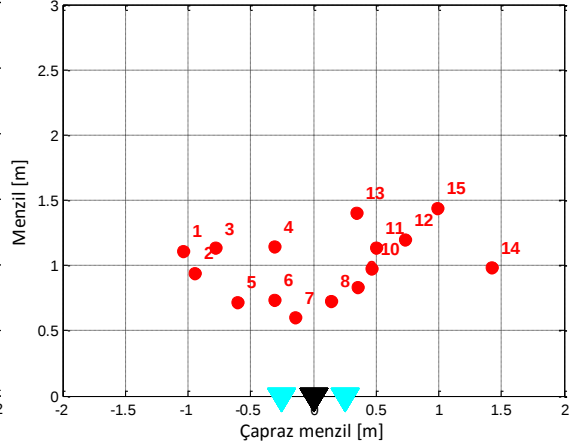


(b)

Şekil 5. 9 Duvar arkasında yer alan insanın V hareketine ait 1. ölçüm (a) senaryo (b) algoritma sonucu



(a)



(b)

Şekil 5. 10 Duvar arkasında yer alan insanın V hareketine ait 2. ölçüm (a) senaryo (b) algoritma sonucu

5.2 Frekans Atlamalı Radar Sistemi ile Görüntüleme

Bu çalışma kapsamında Anritsu networ analizör kullanılarak frekans atlamalı YNR sisteminin yüksek dinamik aralığı ve frekans spektrumunun daha etkin kontrolü gibi ayırt edici üstünlükleri kullanılarak hedef tespitine yönelik tasarlanan algoritmalar test edilecektir. Sistem testleri 100 MHz - 15 GHz frekans bandında, çeşitli senaryolar için duvar arkasında yer alan hedefin görüntülenmesine yönelik ölçümleri içermektedir. Tuğla ile örülü duvarın kalınlığı yaklaşık olarak 30 cm'dir. Ölçüm senaryosunda bir verici, bir de alıcı anten yatay doğrultuda (x-ekseni) 2 cm'lik adım aralıkları ile yaklaşık 3

metrelik bir tarama yapmaktadır. Sistemin y-ekseninde 10 cm'lik adım aralıkları ile kaydırılması sonucu elde edilen B-tarama verileri birleştirilerek C-tarama görüntüleri elde edilmiştir.

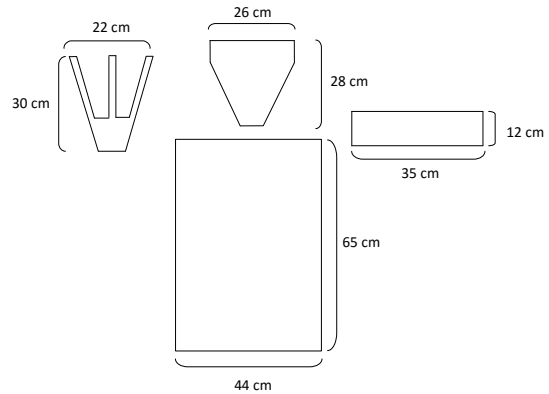
Elde edilen ham görüntülere frekans filtreleme, YAR algoritması, huzme adaptif EM sinyal işleme, MUSIC algoritması, arka plan çıkarma ve wiener filtreleme gibi adaptif işaret ve görüntü işleme teknikleri uygulanmıştır.

5.2.1 Tek Hedef için Tasarlanan Ölçüm Senaryosu

ÇGB frekans atlamalı duvar arkası görüntüleme test senaryosunda, antene olan dikey uzaklığı 85 cm bulunan metal insan modeli (Şekil 5.11) görülmektedir. Frekans uzayında 75 MHz frekans arttırımı ile 201 adet frekans için toplanan verilere arka plan çıkarma, 1-7 GHz frekans filtreleme ve ters Fourier dönüşümü uygulanarak elde edilen kesit görüntüleri Şekil 5.12'de verilmektedir. Ham B-tarama görüntüsünde hiperbolun geniş ve kuyruklu olması yeterince odaklama yapılamadığını göstermektedir. Ham C-tarama kesitinden de görüldüğü üzere ham veriden hedef hakkında bilgi sahibi olmak oldukça zordur.

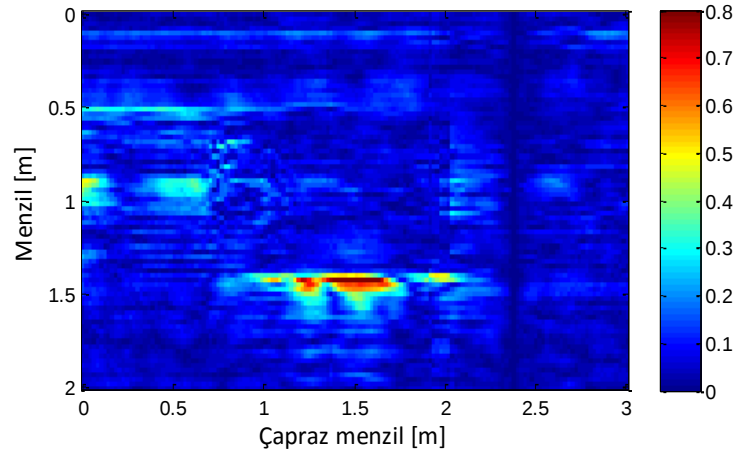


(a)

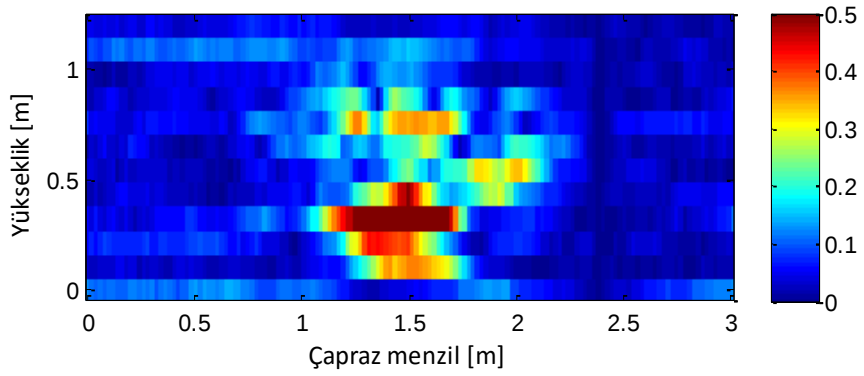


(b)

Şekil 5. 11 Duvar arkası YAR uygulamasında kullanılan (a) metal hedef fotoğrafı (b) metal hedef modeli



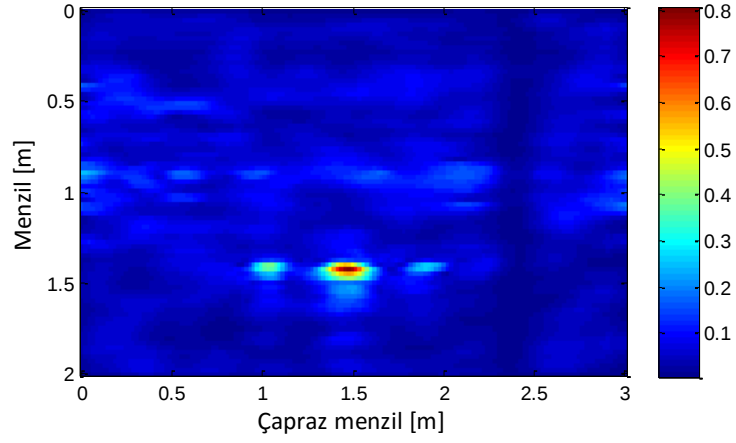
(a)



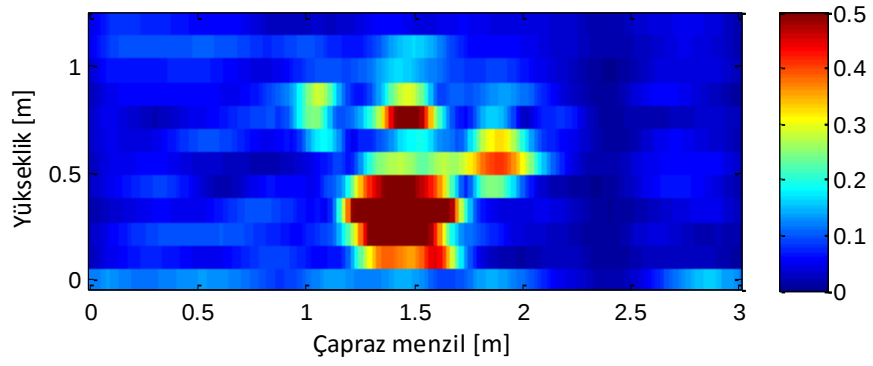
(b)

Şekil 5. 12 1-7 Ghz frekans bandında görüntülenen duvar arkası (a) B-tarama kesiti (b) C-tarama kesit görüntüsü

Yatay doğrultuda uygulanan YAR algoritması sonucunda elde edilen odaklanmış B-tarama kesiti Şekil 5.13'te verilmiştir. Oluşan görüntülerden de görülmektedir ki, duvar arkası YAR görüntüleme, geleneksel YNR uygulamasına göre daha iyi çözünürlük sağlamaktadır.

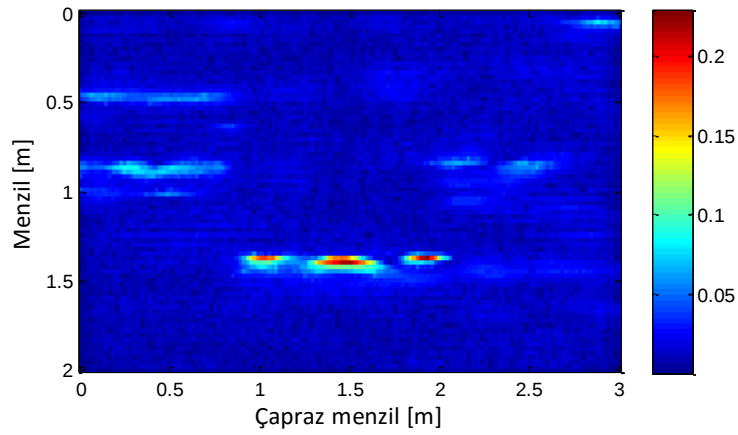


(a)



(b)

Şekil 5. 13 1-7 Ghz frekans bandında görüntülenen duvar arkası veriye uygulanan YAR algoritması sonucu elde edilen (a) B-tarama kesiti (b) C-tarama kesit görüntüsü



Şekil 5. 14 1-7 Ghz frekans bandında görüntülenen duvar arkası veriye uygulanan YAR ve MUSIC algoritması sonucu elde edilen B-tarama kesiti

5.2.2 İki Farklı Hedef için Tasarlanan Ölçüm Senaryosu

Geliştirilen algoritmaların farklı senaryolar üzerinden test edilmesi için Şekil 5.15'te görüldüğü gibi insan modelinin kafa ve gövde kısımları ile kol ve el kısımlarının duvar arkasında farklı uzaklıklarda yer alacağı ayrı bir senaryo kurgulanmıştır. Antenden sırası ile 105 cm ve 150 cm derinliğe konulan el-kol ve kafa-gövde hedeflerini görüntülemek amacı ile frekans uzayında 32.5 MHz frekans arttırımı ile 402 adet frekans için toplanan verilere arka plan çıkarma, 1-7 GHz frekans filtreleme ve ters fourier dönüşümü uygulanarak elde edilen kesit görüntüleri Şekil 5.17'de verilmektedir.

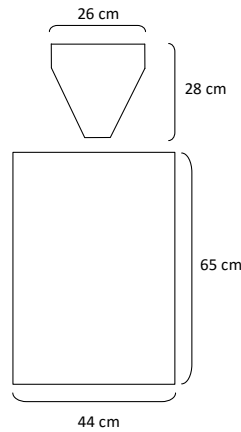


(a)

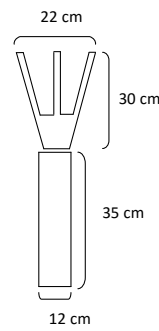


(b)

Şekil 5. 15 Duvar arkası YAR uygulamasında kullanılan metal hedeflerin fotoğrafı (a) kafa-gövde (b) el-kol



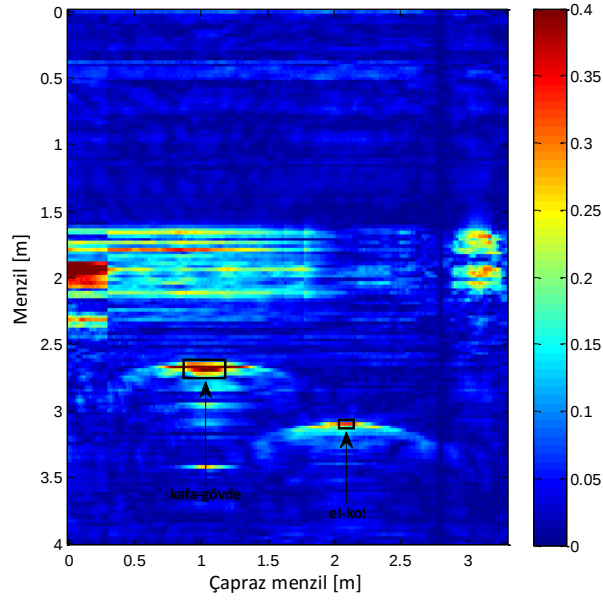
(a)



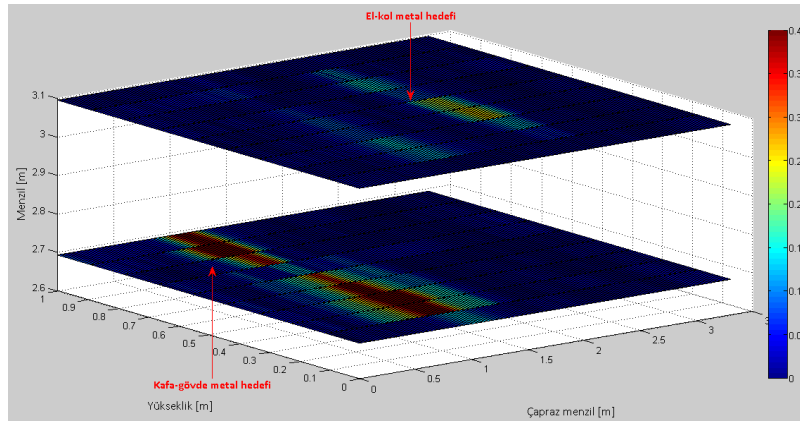
(b)

Şekil 5. 16 Duvar arkası YAR uygulamasında kullanılan metal hedeflerin modeli (a) kafa-gövde (b) el-kol

İki farklı derinlikte yer alan hedefler için tasarlanan duvar arkası görüntüleme senaryosuna ait B-tarama kesit görüntüsü Şekil 5.17’de verilmiştir. Tarama görüntüsünde iki farklı derinlikte gözlemlenen hiperboller hedeflerin sayısı ve derinlikleri hakkında bilgi vermektedir.

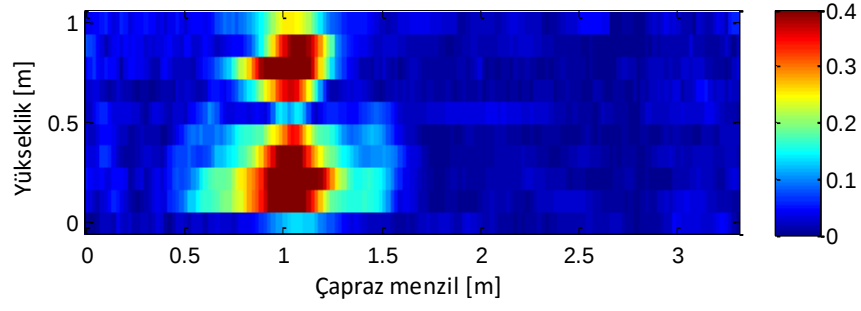


(a)

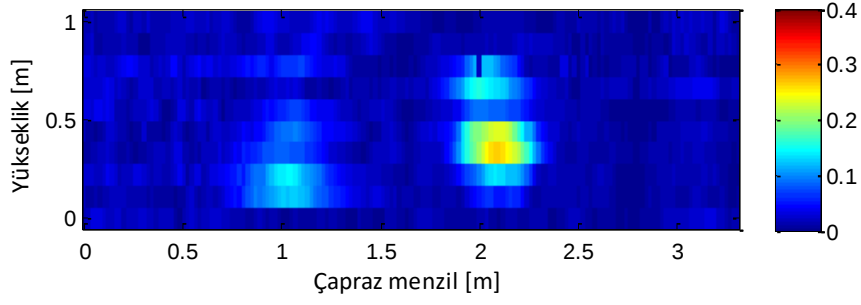


(b)

Şekil 5. 17 1-7 Ghz frekans bandında görüntülenen iki farklı hedef için duvar arkası (a) B-tarama kesiti (b) C-tarama kesit görüntüsü

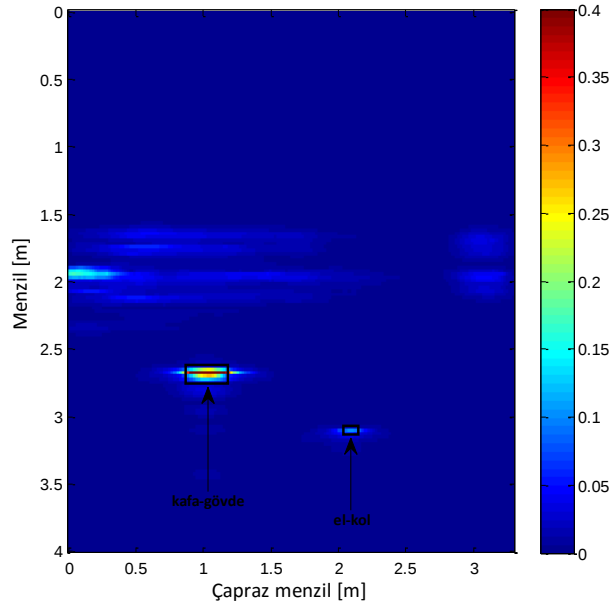


(a)



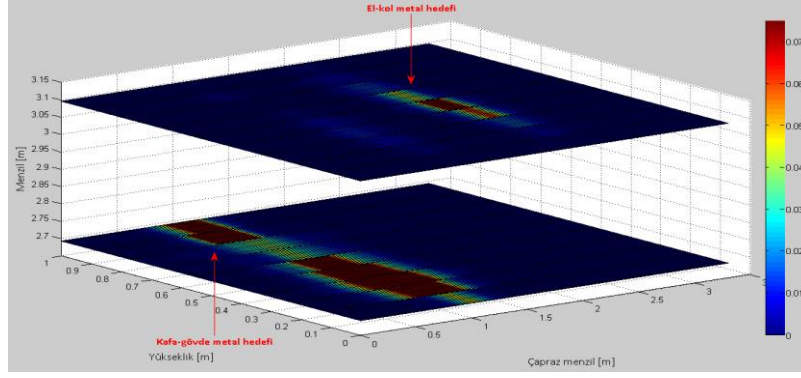
(b)

Şekil 5. 18 1-7 Ghz frekans bandında görüntülenenen iki farklı hedef için duvar arkası C-tarama kesit görüntüleri (a) kafa-gövde (b) el-kol



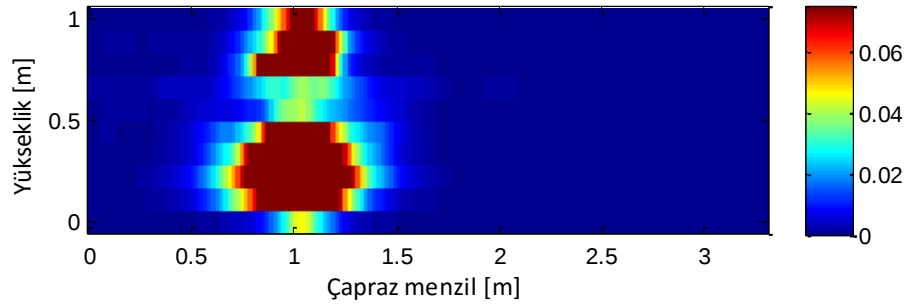
(a)

Şekil 5. 19 1-7 Ghz frekans bandında görüntülenenen iki farklı hedef için duvar arkası veriye uygulanan YAR algoritması sonucu elde edilen (a) B-tarama kesiti (b) C-tarama kesit görüntüsü

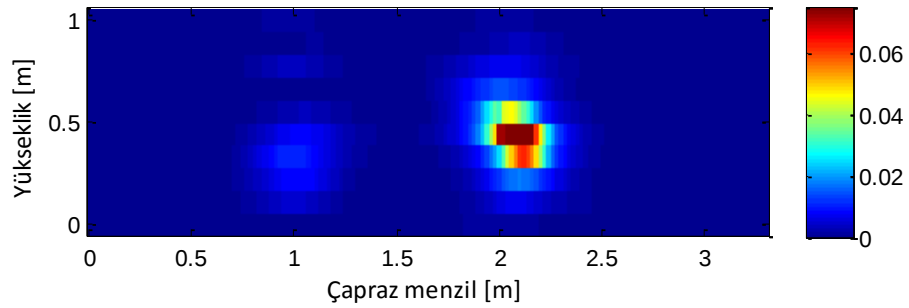


(b)

Şekil 5. 19 1-7 Ghz frekans bandında görüntülenenen iki farklı hedef için duvar arkası veriye uygulanan YAR algoritması sonucu elde edilen (a) B-tarama kesiti (b) C-tarama kesit görüntüsü (devamı)



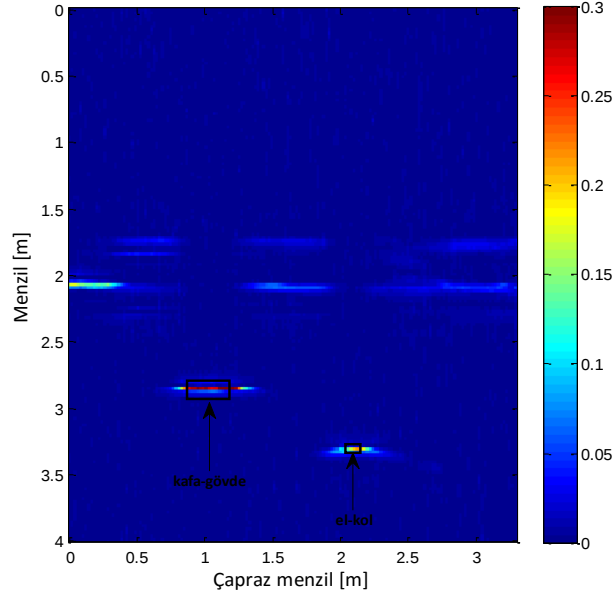
(a)



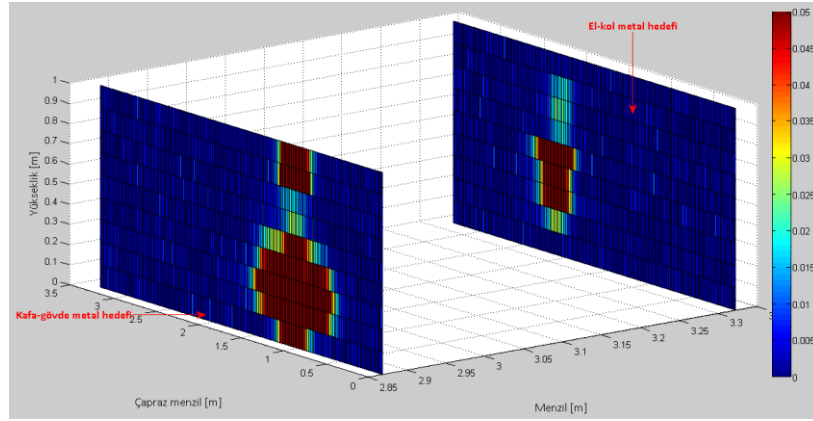
(b)

Şekil 5. 20 1-7 Ghz frekans bandında görüntülenenen iki farklı hedef için duvar arkası veriye uygulanan YAR algoritması sonucu elde edilen C-tarama kesit görüntüleri (a) kafa-göğüs (b) el-kol

Yatay ve düşey doğrultuda uygulanan YAR algoritması sonucunda elde edilen odaklanmış B-tarama kesiti Şekil 5.19’da verilmiştir. Oluşan görüntülerden de görülmektedir ki, duvar arkası YAR görüntüleme ve ardından uygulanan MUSIC algoritması sonucunda yüksek çözünürlüklü görüntüler elde edilmektedir.

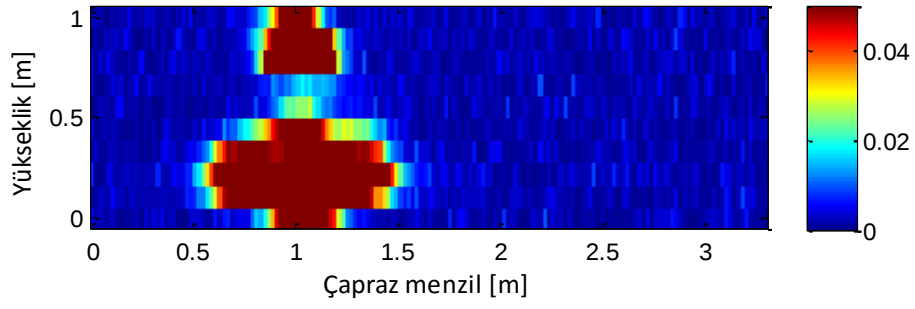


(a)

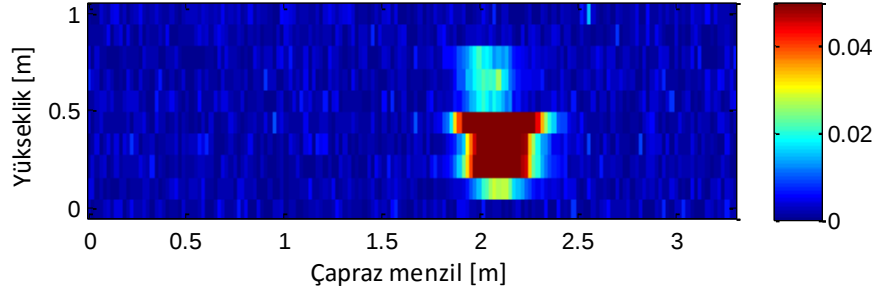


(b)

Şekil 5. 21 1-7 Ghz frekans bandında görüntülenen iki farklı hedef için duvar arkası veriye uygulanan YAR ve MUSIC algoritması sonucu elde edilen (a) B-tarama kesiti (b) C-tarama kesit görüntüsü



(a)



(b)

Şekil 5. 22 1-7 Ghz frekans bandında görüntülenenen iki farklı hedef için duvar arkası veriye uygulanan YAR ve MUSIC algoritması sonucu elde edilen C-tarama kesit görüntüleri (a) kafa-göve (b) el-kol

5.3 Frekans Atlamalı Milimetrik Dalga Radar Sistemi ile Hedef Tespiti

Tasarlanan sistemde, parabolik yansıtıcı ADE alıcı ve verici antenleri sabit bir yatay eksen boyunca 0.6 cm aralıklar ile 3 m menzilde hareket ettirilmektedir.



(a)



(b)

Şekil 5. 23 Test ölçümü için tasarlanan MMW radar sistemi (a) hedefler ile (b) antenler ve network analizör ile

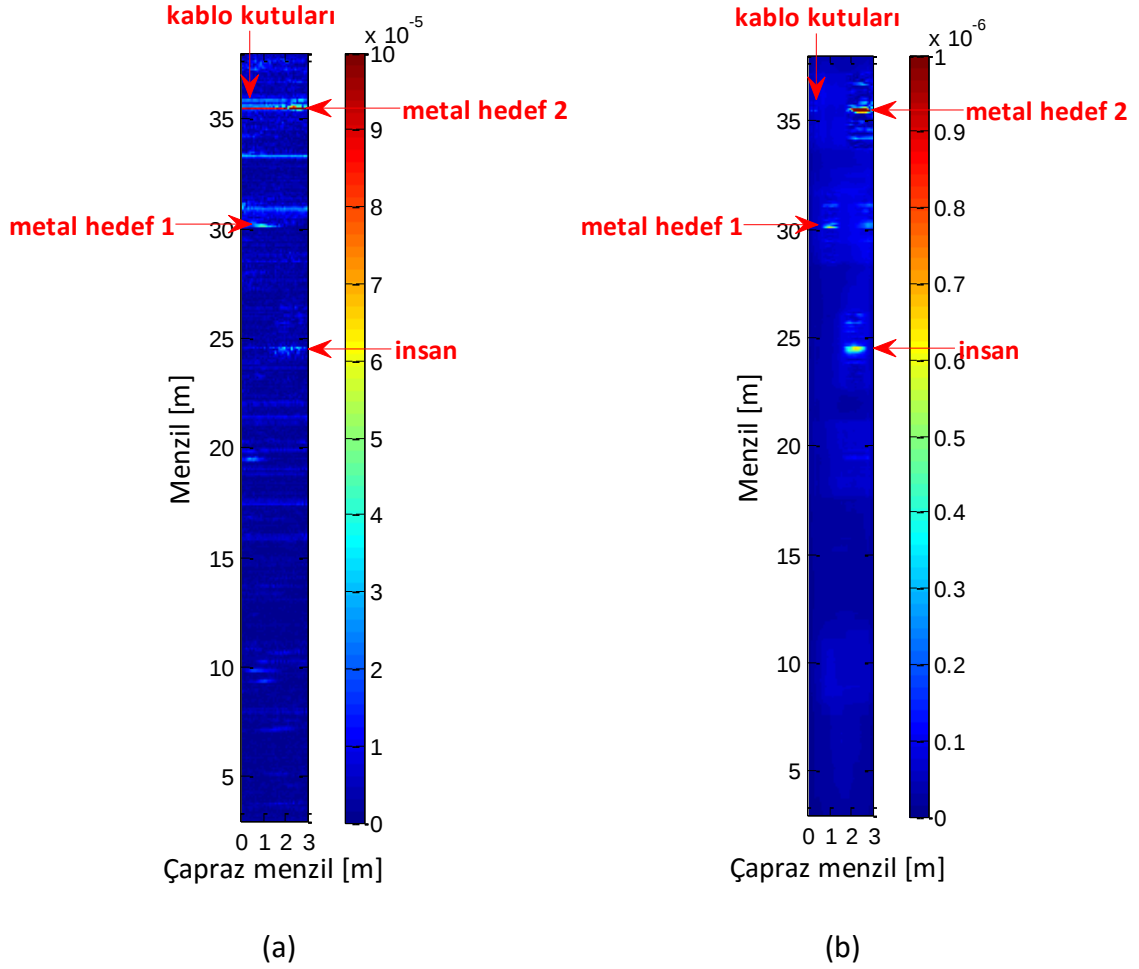
Şekil 5.23'te görüldüğü gibi metal hedeflerin ve insan hedefinin bulunduğu uzak alan senaryosu için 24-26 GHz frekans bandında 801 frekans adımı ile S_{21} yansıma katsayıları ölçülmüştür.

MMW radar hedef görüntüleme uygulaması için boyutları sırası ile 15x65 cm ve 70x40 cm olan iki adet metal ve bir adet insan hedef Şekil 5.24'te görüldüğü gibi konumlandırılmıştır. Antenlerden hedeflere olan dikey mesafeler soldan sağa 30 m, 25 m ve 35 m'dir.



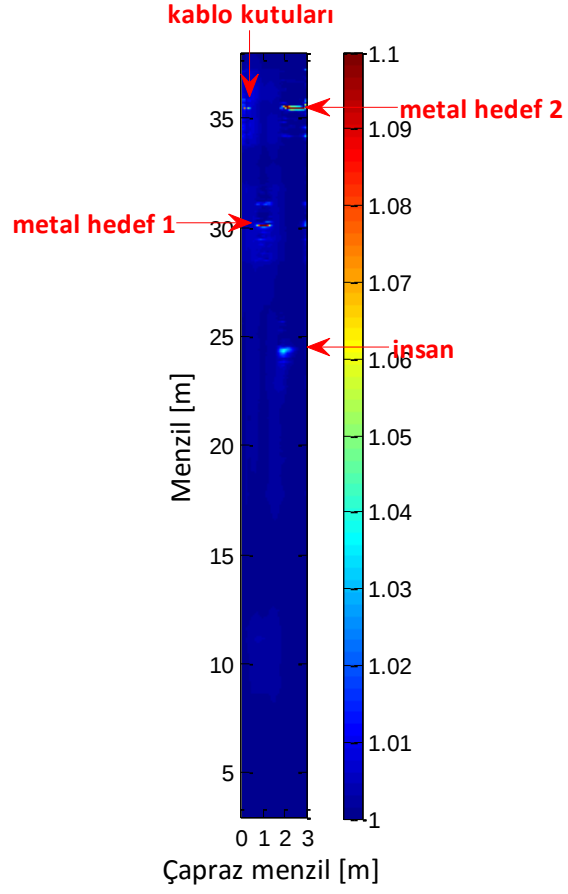
Şekil 5. 24 MMW radar uygulamasına ait hedef senaryosu

Frekans adımlı MMW radar ile toplanan ham veri görüntüsü ve YAR algoritması ile elde edilen B-tarama sonucu Şekil 5.25'te verilmiştir. Şekil 5.25'te görüldüğü gibi YAR algoritması ile elde edilen görüntü geleneksel MMW radar uygulamasına göre daha yüksek çözünürlüğe sahiptir.



Şekil 5. 25 MMW radar ile elde edilen B-tarama görüntüleri (a) ham veri (b) YAR algoritması sonucu

Şekil 5.26'da ise yatay ve düşey tarama menziline yüksek çözünürlük elde etmek için YAR ve MUSIC yöntemlerinin birleştirildiği algoritma sonucu verilmektedir. Hedef olarak tanımlanmadığı halde yaklaşık 35 m mesafede yer alan içi kablo dolu kutular da MUSIC algoritması sonucu elde edilen 2-B görüntüde belirgin bir biçimde görülmektedir.



Şekil 5. 26 YAR ve MUSIC yöntemlerinin birleştirildiği B-tarama görüntüsü

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu proje kapsamında, engel arkası görüntüleme senaryoları için uygun olarak tasarlanmış antenler frekans atlamalı ve darbeli YNR sistemlerinde kullanılarak geliştirilen algoritmaların performans sonuçları incelenmiştir. Elde edilen ham sonuçlar, adaptif sinyal işleme teknikleri ile iyileştirilerek engel arkası senaryoları için 3 boyutlu sonuçlar oluşturulmuştur.

Bu çalışma kapsamında, YAR algoritması ile her bir sinyale belirli YAR uzunluğu boyunca yer alan sinyallerin etkilerini huzme adaptif eklemek hedefin yatay görüntü çözünürlüğünü büyük ölçüde artırmıştır. Aynı şekilde yüksek çözünürlüklü görüntü elde etmemizi sağlayan MUSIC algoritması ile de menzil boyutunda çözünürlük sağlanmış ve aynı derinlikte yer alan yakın iki hedefin kolaylıkla ayırt edilebileceği gözlemlenmiştir. Ortam gürültüsünü kaldırmak için tahminen hedefin olmadığı yerden toplanan A-tarama verilerinin ortalamasının her bir A-taramadan çıkarılması ise duvar gibi sabit bir katmandan gelen yansımalar azaltmıştır. Aynı şekilde wiener filtreleme yöntemi de ortamdaki rastgele gürültüleri bastırması ve görüntüyü netleştirmiştir. Hedefin bulunduğu menzile göre istatistiksel olarak yapılan frekans filtreleme tekniği ise hedefe ait doğru saçılma verilerini kullanmamızı sağlamıştır. Uygulamaların ikinci kısmında ise, darbeli YNR'nin tarama hızının yüksek olması avantajı kullanılarak kaydedilen veriler elips parametrelerine uyarlanarak hareketli hedeflerin tespiti sağlanmıştır.

Tasarlanan farklı sistemler üzerinden geliştirilen algoritmaların test edilmesi sonucunda yakın mesafede gerçekleştirilen senaryolar için istenilen performans alınmıştır. Uzak mesafede görüntüleme için ise alıcı gücümüzü artırmamız gerektiği görülmüştür. Bu artırımın; veri radar sistemi üzerinden kaydedilirken daha fazla sinyalin ortalaması

alınarak kaydedilecek A-taramalar ile, darbenin genliğini artırarak ve ya anten tasarımında kazancın arttırılması ile gerçekleşebileceği radar denklemindeki parametreler incelendiğinde anlaşılmaktadır. Sistem parametrelerinin uygun şekilde tasarlanması sonucunda uzak mesafede algoritmaların başarı elde edebileceği y6nlendiricilik kazancı y6ksek çanak antenlerin kullanımı ile g6zlemlenmiştir. evre g6zetlemesinde sis, yağmur gibi hava engelleri altında da kullanılabilecek bu sistem ile y6ksek 6z6n6rl6kl6 g6r6nt6lerin elde edilebileceği tartışılmıştır.

KAYNAKLAR

- [1] Türk, A.S., Hocaoglu, A.K., Vertiy, A.A., (2011). Subsurface Sensing, John Wiley & Sons, Inc., USA.
- [2] Kong, F.N. ve By, T.L., (1993). "Theory and Performance of a GPR System Which Uses Step Frequency Signals", J. Appl. Geophys, 33: 453-445.
- [3] Curlander, J.C. ve McDounough, R.N., (1991). Synthetic Aperture Radar, Systems and Signal Processing, John Wiley & Sons, NewYork.
- [4] Burki, J., Ali, T., Arshad, S., (2013). "Vector Network Analyzer (VNA) Based Synthetic Aperture Radar (SAR) Imaging", 16th International Multi Topic Conference, 19-20 December 2013, Lahore, Pakistan.
- [5] Türk, A.S., Özkan-Bakbak, P., Durak-Ata, L., Orhan, M., Ünal, M., (2016). "High-Resolution Signal Processing Techniques for Through-the-Wall Imaging Radar Systems", International Journal of Microwave and Wireless Technologies, 1-9.
- [6] Ünal, M., Çalışkan, A., Türk, A.S., Orhan, M., Özdemir, M., (2014). "Development of Signal Processing Techniques for Through-Wall Imaging Radar Systems", 20th International Conference on Microwaves, Radar, and Wireless Communications, 16-18 June, Gdansk, Poland.
- [7] Özdemir, C. ve Ling, H., (2006). "An Experimental Investigation of Buried-Object Imaging in a Homogeneous Medium Using Synthetic-Aperture Radar Concepts", Microwave and Optical Technology Letters, 48(6): 1209-1214.
- [8] Arai, L. ve Shanker, M.S., (2003). "Signal Processing of Ground Penetrating Radar Using Spectral Estimation Techniques to Estimate the Position of Buried Targets", EURASIP Journal on Applied Signal Processing., 12: 1198-1209.
- [9] Devaney, A.J., (2000). Super-resolution Processing of Multi-static Data Using Time Reversal and MUSIC, Department of Electrical Engineering Northeastern University Boston, MA 02115.
- [10] NASA, (2011). RADAR means: Radio Detection and Ranging, Nasa Explores.
- [11] Irmak, Ö., (2011). Aşırı Geniş Bantlı Radar Verileri ile Üç Boyutlu Kısa Mesafe Hedef Konumlandırma Algoritması, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

- [12] Daniels, D.J., (1996). Surface Penetrating Radars, The Institution of Electrical Engineers, London, UK.
- [13] Bilkent Üniversitesi MTS Proje Grubu, (1999). Mayın Tespit Sistemleri (MTS) Geliştirilmesi Projesi GPR Simülasyonu Sonuç Raporu, 1-5.
- [14] Öztürk, E., (2010). Yere Nüfuz Eden Radar Sisteminin Zaman Uzayında Sonlu Farkla Yöntemi ile Modellenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gebze İleri Teknoloji Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.
- [15] Tuncer, M.A.Ç., (2011). Basamak Frekanslı Yere İşleyen Radar (GPR) İçin Seyreklik Tabanlı Hızlı Yeraltı Görüntüleme Yöntemlerindeki Problemlere Çözümler, Yüksek Lisans Tezi, TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [16] Alper, A., (2011). Yere Nüfuz Eden Radar (YNR) Görüntülerinin Elde Edilmesinde Zaman Bölgesinde Sonlu Farklar (FDTD) Metodunun Kullanılması, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [17] Yiğit, E., (2007). Elektromagnetik Alan Ölçümleriyle Yeraltındaki Nesnelerin Tespit Edilmesi ve Yere Nüfuz Eden Radar (YNR) Görüntülerinin Elde Edilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Mersin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Mersin.
- [18] Franceschetti, G., Lanari, R., (1999). Synthetic Aperture Radar Processing, CRC Press., Florida.
- [19] Schotter, R., (1987). "Data Processing Aspects of Synthetic Aperture Radar", Instrument Science and Technology, 20: 829-834.
- [20] Cumming, I. ve Wong, F., (2005). Digital Processing of SAR Data, Artech House, Norwood.
- [21] Soumekh, M., (1999). Synthetic Aperture Radar Signal Processing with MATLAB Algorithms, John Wiley & Sons, Inc., USA.
- [22] Curlender, J., Mcdonough, R., (1991). Synthetic Aperture Radar Systems and Signal Processing, John Wiley & Sons, Inc., USA.
- [23] Gough, P.T. ve Hawkins, D.W., (1997). "Unified Framework for Modern Synthetic Aperture Imaging Algorithms", International Journal on Information Systems and Technologies, 4: 343-358.
- [24] Türk, A.S., Keskin, A.K., Şentürk, M.D., (2015). "Dielectric Loaded TEM Horn-Fed Ridged Horn Antenna Design for Ultra Wideband Groundpenetrating Impulse Radar," Turkish J. Elect. Eng. Comput. Sci., 23: 1479–1488.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Melek ORHAN
Doğum Tarihi ve Yeri : 07.09.1992, İstanbul
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : melekorn@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Y. Lisans	Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği	Yıldız Teknik Üniversitesi	2016
Lisans	Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği	Yıldız Teknik Üniversitesi	2014
Lise	Sayısal	Turgut Özal Anadolu Lisesi	2010

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2015	GATE Elektronik A.Ş.	Ar-Ge Mühendisi
2013	AELSAN A.Ş., Akyurt MGEO Tesisleri	Stajyer
2012	TÜBİTAK, BİLGEM	Stajyer

YAYINLARI

Makale

1. Türk, A.S., Özkan-Bakbak, P., Durak-Ata, L., Orhan, M., Ünal, M., (2016). "High Resolution Signal Processing Techniques for Through-the-Wall Imaging Radar Systems", International Journal of Microwave and Wireless Technologies, 1-9.

Bildiri

1. Bektaş, H.Ö., Özdemir, O., Orhan, M., Türk, A.S., (2016). "An Experimental Investigation of F-K Migration and SAR Algorithm using BeamSpace MUSIC for UWB Through-the-Wall Imaging", IEEE Radar Methods and Systems Workshop, 27-28 September, Kiev, Ukraine.

2. Solak, S.N., Orhan, M., Türk, A.S., (2016). "SAR Imaging Techniques for Ground Penetrating Impulse Radar", 9th International Kharkiv Symposium on Physics and Engineering of Microwaves, Millimeter and Submillimeter Waves, 20-24 June, Kharkiv, Ukraine.

3. Türk, A.S., Kızılay, A., Orhan, M., Çalışkan, A., (2016). "High Resolution Signal Processing Techniques for Millimeter Wave Short Range Surveillance Radar", 17th International Radar Symposium, 10-12 May, Krakow, Poland.

4. Türk, A.S., Özkan-Bakbak, P., Durak-Ata, L., Orhan, M., Ünal, M., (2015). "Reconstruction of Through-the-Wall Imaging Radar Signals by Compressive Sensing", Signal Processing Symposium, 10-12 June, Debe, Poland.

5. Ünal, M., Çalışkan, A., Türk, A.S., Orhan, M., Özdemir, M., (2014). "Development of Signal Processing Techniques for Through-Wall Imaging Radar Systems", 20th International Conference on Microwave, Radar and Wireless Communications, 16-18 June, Gdansk, Poland.

Proje

1. 114E241 proje numaralı "Millimeter Wave Short Range Active and Passive Sensors for Intelligent Alarm Systems" isimli TÜBİTAK Araştırma Projesi.

ÖDÜLLERİ

1. TÜBİTAK 2210-C Öncelikli Alanlara Yönelik Yurt İçi Yüksek Lisans Bursu.

2. NETAŞ Telekomünikasyon A. Ş. Bursu.