

**GENİŞ BANT – GENİŞ AÇI TERS YAPAY
AÇIKLIKLIL RADAR (TYAR) GÖRÜNTÜLEME
ALGORİTMASI GELİŞTİRİLMESİ VE
NÜMERİK UYGULAMALARI**

ÖZKAN KIRIK

**MERSİN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ
ANA BİLİM DALI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**MERSİN
KASIM – 2009**

**GENİŞ BANT – GENİŞ AÇI TERS YAPAY AÇIKLIKLI RADAR
(TYAR) GÖRÜNTÜLEME ALGORİTMASI GELİŞTİRİLMESİ
VE NÜMERİK UYGULAMALARI**

ÖZKAN KIRIK

**Mersin Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü**


**Elektrik-Elektronik Mühendisliği
Ana Bilim Dalı**


YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Tez Danışmanı
Prof. Dr. Caner ÖZDEMİR**

**MERSİN
Kasım – 2009**

Bu tezin gerek bilimsel içerik, gerekse elde edilen sonuçlar açısından tüm gerekleri sağladığı kanaatine ulaşan ve aşağıda imzaları bulunan biz jüri üyeleri, sunulan tezi oy birliği ile Yüksek Lisans Tezi olarak kabul ediyoruz.


Tez Danışmanı
Prof. Dr. Caner ÖZDEMİR


Jüri Üyesi
Doç. Dr. Ali AKDAĞLI


Jüri Üyesi
Yrd. Doç. Dr. Mutlu AVCI

Bu tezin Fen Bilimleri Enstitüsü yazım kurallarına uygun olarak yazıldığı Enstitü Yönetim Kurulu'nun 07/01/2020 tarih ve 2020.01/04... sayılı kararıyla onaylanmıştır.


Prof. Dr. Mahir TURHAN
Enstitü Müdürü

Not: Bu tezde kullanılan özgün bilgiler, şekil, çizelge ve fotoğraflardan kaynak göstermeden alıntı yapmak 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunu hükümlerine tabidir.

ÖZ

Ters Yapay Açıklıklı Radar - TYAR (*Inverse Synthetic Aperture Radar - ISAR*), hareketli hedeflerin *menzil (range)* ve *yanca (cross-range)* uzaylarında radar görüntülerini çıkaran güçlü bir sinyal işleme metodudur. Bu tez çalışmasında, saçılan elektrik alan geniş açı ve geniş frekans bandında toplanmıştır. Bu durumda, 2-B TYAR görüntülerin elde edilmesi için hızlı fourier dönüşümü yönteminin kullanımı mümkün olmamaktadır. Dolayısıyla geniş açı ve geniş frekans bandında yapılan ölçümlerin TYAR görüntülerinin elde edilebilmesi için alternatif yöntemler araştırılmıştır.

HFD yönteminin kullanılmaması nedeniyle, akla gelen ilk yöntemlerden biri görüntüleme entegralinin nümerik olarak alınması yöntemidir. Bu yöntemde entegralin alınması için birleştirilmiş Simpson yaklaşımı kullanılmıştır. Bir başka yöntem olan kutupsal tekrar formatlama yönteminde, HFD ızgarasına oturmayan verilerin enterpole sürecinden geçirilerek HFD metodu kullanılabilmesine imkan tanımıştır. Alternatif olarak eşleşme kovalama yöntemi ile en güçlü saçılma merkezleri çıkarılarak TYAR görüntülerinde daha keskin sonuçlar elde edilmiştir. Bu tez çalışmasında geniş açı ve geniş frekans bandında görüntüleme için yeni bir teknik geliştirilmiştir. Alt Açıklık Yöntemi adı verilen bu metotta, dar bant dar açı yaklaşımlarına dayanan, dar bant dar açı ile elde edilen bir çok TYAR görüntüsünün döndürülerek üst üste toplanması ile geniş bant – geniş açı görüntüsü elde edilmiştir. Bu dört metot Matlab yazılımı ortamında kodlanarak gemi, uçak, tank gibi değişik hedeflerin geniş açılı ve geniş bantlı çok yüksek kalitedeki TYAR imajları elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Radarla Görüntüleme, Ters Yapay Açıklıklı Radar, Elektromanyetik Saçılma

ABSTRACT

Inverse Synthetic Aperture Radar (ISAR) is a powerful signal processing technique for imaging moving targets in range and cross-range domains. In this thesis, scattering EM field is collected within a wide band – wide angle range. If this is the case, FFT method cannot be readily used for 2D ISAR imaging application. Hence, alternative methods for getting wide band – wide angle ISAR images has been researched in this thesis.

Since the FFT cannot be used for wide band – wide angle ISAR data, the first method that comes to mind is to numerically solve the Fourier integral for imaging. Combined Simpson assumptions were used for this method. Another inspected method is the polar reformatting technique. In this method, measured data that does not lie uniformly on the FFT grid is interpolated by using the nearest neighborhood scheme. After the interpolation on the regular rectangular grid in spatial frequency domain, the FFT scheme can now be applied to get the wide-angle wide-bandwidth ISAR image. Alternatively, by extracting scattering centers using Matching Pursuit method, sharper ISAR images are obtained. In this work, a new method called sub-aperture method introduced for the wide-band, wide-angle ISAR imaging. The sub-aperture method, utilizes narrow band – narrow angle assumption. Wide band – wide angle ISAR images are obtained by summing the narrow bandwidth – narrow angle ISAR images of target after applying a rotation scheme. These four methods coded in Matlab environment and wide band – wide angle high resolution images of targets such as ship, plane, tank were obtained.

Key words: Radar Imaging, Inverse Synthetic Aperture Radar, Electromagnetic Scattering

TEŐEKKÖRLER

Yüksek Lisans tez çalışmaları süresince yardımlarını esirgemeyen Araştırma Görevlisi Betül YILMAZ ve Öğretim Görevlisi Deniz ÜSTÜN'e, Lisans ve Yüksek Lisans eğitimim süresince beraber çalıştığım ve deneyimleri ile her türlü desteğini eksik etmeyerek çalışmalarımın tamamlanmasını sağlayan değerli hocam Sayın Prof.Dr. Caner ÖZDEMİR'e teşekkürlerimi sunarım.

Tüm eğitim hayatım boyunca beni destekleyen aileme, ağabeyim N. Can KIRIK'a gösterdikleri sabırdan ve ilgiden dolayı teşekkürü bir borç bilir, saygılarımı sunarım.

İÇİNDEKİLER

	<u>SAYFA</u>
ÖZ	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER	iv
ÇİZELGELER DİZİNİ	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
SİMGE VE KISALTMALAR DİZİNİ	xi
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	2
2.1. RADAR KESİT ALANI	2
2.2. SEKEN IŞIN YÖNTEMİ	6
2.3. TERS YAPAY AÇIKLIKLI RADAR	8
2.3.1. TYAR Görüntüleme Tekniği	10
2.3.2. Dar Bant ve Dar Açık Yaklaşımı ile TYAR Görüntüleme	12
2.3.3. TYAR Görüntüsü İçin Çözünürlük, Bant-Genişliği Ve Örnekleme Dalga Denklemi	13
2.3.4. Geniş Bant Ve Geniş Açık Yaklaşımı ile TYAR Görüntüleme	14
3. MATERYAL VE METOT	15
3.1. RKA KESTİRİMİ	15
3.2. BİLGİSAYAR DESTEKLİ TASARIM MODELLERİNİN İNCELENMESİ	16
3.3. GENİŞ BANT GENİŞ AÇI TYAR GÖRÜNTÜLEME	21
3.3.1. Görüntüleme İntegralinin Nümerik Olarak Hesaplanması	21
3.3.1.1. Tek Katlı İntegrallerin Nümerik Olarak Hesaplanması	21
3.3.1.2. İki Katlı İntegrallerin Nümerik Olarak Hesaplanması	22
3.3.2. Kutupsal Tekrar Formatlama Yöntemi	24
3.3.3. Eşleşme Kovalama Yöntemi	26
3.3.4. Alt Açıklık Yöntemi (Yeni)	27
3.3.4.1. Metodun Sinyal İşleme Süreçleri	30

4. BULGULAR VE TARTIŞMALAR	33
4.1 PLANOR UÇAĞI BDT MODELİ İÇİN 2-B TYAR GÖRÜNTÜLEME BENZETİM SONUÇLARI	34
4.1.1. Planor Uçağı BDT Modeli için Simülasyon Parametreleri	34
4.1.2. Planor Uçağının Nümerik İntegral Yöntemi ile Elde Edilen TYAR Görüntüsü	35
4.1.3. Planor Uçağının Kutupsal Tekrar Formatlama Yöntemi ile Elde Edilen TYAR Görüntüsü	36
4.1.4. Planor Uçağının Eşleşme Kovalama Yöntemi ile Elde Edilen TYAR Görüntüsü	37
4.1.5. Planor Uçağının Alt Açıklık Yöntemi ile Elde Edilen TYAR Görüntüsü	38
4.1.6. Planor Uçağının Elde Edilen TYAR Görüntülerinin İncelenmesi	39
4.2 MIRAGE UÇAĞI BDT MODELİ İÇİN 2-B TYAR GÖRÜNTÜLEME BENZETİM SONUÇLARI	40
4.2.1. Mirage Uçağı BDT Modeli için Simülasyon Parametreleri	40
4.2.2. Mirage Uçağının Nümerik İntegral Yöntemi ile Elde Edilen TYAR Görüntüsü	41
4.2.3. Mirage Uçağının Kutupsal Tekrar Formatlama Yöntemi ile Elde Edilen TYAR Görüntüsü	42
4.2.4. Mirage Uçağının Eşleşme Kovalama Yöntemi ile Elde Edilen TYAR Görüntüsü	43
4.2.5. Mirage Uçağının Alt Açıklık Yöntemi ile Elde Edilen TYAR Görüntüsü	44
4.2.6. Mirage Uçağının Elde Edilen TYAR Görüntülerinin İncelenmesi	45
4.3 AIRBUS UÇAĞI BDT MODELİ İÇİN 2-B TYAR GÖRÜNTÜLEME BENZETİM SONUÇLARI	46
4.3.1. Airbus Uçağı BDT Modeli için Simülasyon Parametreleri	46
4.3.2. Airbus Uçağının Nümerik İntegral Yöntemi ile Elde Edilen TYAR Görüntüsü	47
4.3.3. Airbus Uçağının Kutupsal Tekrar Formatlama Yöntemi ile Elde Edilen TYAR Görüntüsü	48
4.3.4. Airbus Uçağının Eşleşme Kovalama Yöntemi ile Elde Edilen TYAR Görüntüsü	49
4.3.5. Airbus Uçağının Alt Açıklık Yöntemi ile Elde Edilen TYAR Görüntüsü	50
4.3.6. Airbus Uçağının Elde Edilen TYAR Görüntülerinin İncelenmesi	51

4.4 MALAYA SAVAŞ GEMİSİ BDT MODELİ İÇİN 2-B TYAR GÖRÜNTÜLEME BENZETİM SONUÇLARI	52
4.4.1. Malaya Savaş Gemisi BDT Modeli için Simülasyon Parametreleri	52
4.4.2. Malaya Savaş Gemisinin Nümerik İntegral Yöntemi ile Elde Edilen TYAR Görüntüsü	53
4.4.3. Malaya Savaş Gemisinin Kutupsal Tekrar Formatlama Yöntemi ile Elde Edilen TYAR Görüntüsü	54
4.4.4. Malaya Savaş Gemisinin Eşleşme Kovalama Yöntemi ile Elde Edilen TYAR Görüntüsü	55
4.4.5. Malaya Savaş Gemisinin Alt Açıklık Yöntemi ile Elde Edilen TYAR Görüntüsü	56
4.4.6. Malaya Savaş Gemisinin Elde Edilen TYAR Görüntülerinin İncelenmesi	57
4.5 TANK BDT MODELİ İÇİN 2-B TYAR GÖRÜNTÜLEME BENZETİM SONUÇLARI	58
4.5.1. Tank BDT Modeli için Simülasyon Parametreleri	58
4.5.2. Tankın Nümerik İntegral Yöntemi ile Elde Edilen TYAR Görüntüsü	59
4.5.3. Tankın Kutupsal Tekrar Formatlama Yöntemi ile Elde Edilen TYAR Görüntüsü	60
4.5.4. Tankın Eşleşme Kovalama Yöntemi ile Elde Edilen TYAR Görüntüsü	61
4.5.5. Tankın Alt Açıklık Yöntemi ile Elde Edilen TYAR Görüntüsü	62
4.5.6. Tankın Elde Edilen TYAR Görüntülerinin İncelenmesi	63
4.6 HELİKOPTER BDT MODELİ İÇİN 2-B TYAR GÖRÜNTÜLEME BENZETİM SONUÇLARI	64
4.6.1. Helikopter BDT Modeli için Simülasyon Parametreleri	64
4.6.2. Helikopterin Nümerik İntegral Yöntemi ile Elde Edilen TYAR Görüntüsü	65
4.6.3. Helikopterin Kutupsal Tekrar Formatlama Yöntemi ile Elde Edilen TYAR Görüntüsü	66
4.6.4. Helikopterin Eşleşme Kovalama Yöntemi ile Elde Edilen TYAR Görüntüsü	67
4.6.5. Helikopterin Alt Açıklık Yöntemi ile Elde Edilen TYAR Görüntüsü	68
4.6.6. Helikopterin Elde Edilen TYAR Görüntülerinin İncelenmesi	69
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	70
KAYNAKLAR	72
ÖZGEÇMİŞ	75

ÇİZELGELER DİZİNİ

ÇİZELGE	<u>SAYFA</u>
Çizelge 2.1. Farklı Hedefler için RKA Örnekleri	5
Çizelge 4.1. Planor Uçağı için Simülasyon Parametreleri	34
Çizelge 4.2. Planor uçağı TYAR görüntüleri için karşılaştırma sonuçları	39
Çizelge 4.3. Mirage Uçağı için Simülasyon Parametreleri	40
Çizelge 4.4. Mirage uçağı TYAR görüntüleri için karşılaştırma sonuçları	45
Çizelge 4.5. Airbus Uçağı için Simülasyon Parametreleri	46
Çizelge 4.6. Airbus uçağı TYAR görüntüleri için karşılaştırma sonuçları	51
Çizelge 4.7. Malaya Savaş Gemisi için Simülasyon Parametreleri	52
Çizelge 4.8. Malaya Savaş Gemisi TYAR görüntüleri için karşılaştırma sonuçları	57
Çizelge 4.9. Tank için Simülasyon Parametreleri	58
Çizelge 4.10. Tank TYAR görüntüleri için karşılaştırma sonuçları	63
Çizelge 4.11. Helikopter için Simülasyon Parametreleri	64
Çizelge 4.12. Helikopter TYAR görüntüleri için karşılaştırma sonuçları	69

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>SEKİL</u>	<u>SAYFA</u>
Şekil 2.1. Radarın Çalışma Prensibi	2
Şekil 2.2. Farklı Hedefler için RKA Örnekleri	4
Şekil 2.3. Seken Işın Yöntemi Geometrisi	6
Şekil 2.4. Yapay Açıklıklı Radar Geometrisi	8
Şekil 2.5. Ters Yapay Açıklıklı Radar Örneği	8
Şekil 2.6. Çeşitli Frekans ve Açılarda Toplanan TYAR Verileri	9
Şekil 2.7. Monostatik TYAR için Geometri	10
Şekil 2.8. Dar Bant Dar Açılı TYAR Verileri	12
Şekil 3.1. Facet İçin Köşe Köşeye Kuralı	16
Şekil 3.2. 1x1 m Boyutunda Plaka Şekli Ve Yüzeycik Oluşumu	17
Şekil 3.3. 1x1 m Boyutunda Plaka İçin Oluşturulmuş *.facet Dosya Örneği	17
Şekil 3.4. Xplaneh uçağının Rhinoceros programındaki tel çerçeve görüntüsü	19
Şekil 3.5. Xplaneh uçağının Rhinoceros ile perspektif yüzey görüntüsü	19
Şekil 3.6. Mirage uçağının Emerald programındaki tel çerçeve görüntüsü	20
Şekil 3.7. Mirage uçağının Emerald programındaki yüzey görüntüsü	20
Şekil 3.8. Kutupsal Olarak Toplanan Verinin Kesitli Izgara Üzerindeki Yeri	24
Şekil 3.9. En Yakın Dört Komşu Nokta Enterpolasyonu	25
Şekil 3.10. Toplanan verilerin parçalara bölünmesi	27
Şekil 3.11. Bölünen parçaların dar bant dar açılı da seçilmesi	28
Şekil 3.12. Elde edilen alt görüntüler, Çevirme ve Enterpolasyon	29
Şekil 3.13. Final TYAR Görüntüsü için Alt TYAR Görüntülerinin Toplanma	34
Şekil 3.14. En Yakın Dört Komşu Enterpolasyonu	31
Şekil 4.1. Planor Uçağının BDT Model Görüntüleri	34
Şekil 4.2. Planor Uçağı için Nümerik İntegral Yöntemi ile Elde Edilen 2-B TYAR Görüntüsü	35
Şekil 4.3. Planor Uçağı için Kutupsal Tekrar Formatlama Yöntemi ile Elde Edilen 2-B TYAR Görüntüsü	36
Şekil 4.4. Planor Uçağı için Eşleşme Kovalama Yöntemi ile Elde Edilen 2-B TYAR Görüntüsü	37
Şekil 4.5. Planor Uçağı için Alt Açıklık Yöntemi ile Elde Edilen 2-B TYAR Görüntüsü	38

Şekil 4.6.	Mirage Uçağının BDT Model Görüntüleri	40
Şekil 4.7.	Mirage Uçağı için Nümerik İntegral Yöntemi ile Elde Edilen 2-B TYAR Görüntüsü	41
Şekil 4.8.	Mirage Uçağı için Kutupsal Tekrar Formatlama Yöntemi ile Elde Edilen 2-B TYAR Görüntüsü	42
Şekil 4.9.	Mirage Uçağı için Eşleşme Kovalama Yöntemi ile Elde Edilen 2-B TYAR Görüntüsü	43
Şekil 4.10.	Mirage Uçağı için Alt Açıklık Yöntemi ile Elde Edilen 2-B TYAR Görüntüsü	44
Şekil 4.11.	Airbus Uçağının BDT Model Görüntüleri	46
Şekil 4.12.	Airbus Uçağı için Nümerik İntegral Yöntemi ile Elde Edilen 2-B TYAR Görüntüsü	47
Şekil 4.13.	Airbus Uçağı için Kutupsal Tekrar Formatlama Yöntemi ile Elde Edilen 2-B TYAR Görüntüsü	48
Şekil 4.14.	Airbus Uçağı için Eşleşme Kovalama Yöntemi ile Elde Edilen 2-B TYAR Görüntüsü	49
Şekil 4.15.	Airbus Uçağı için Alt Açıklık Yöntemi ile Elde Edilen 2-B TYAR Görüntüsü	50
Şekil 4.16.	Malaya Savaş Gemisinin BDT Model Görüntüleri	52
Şekil 4.17.	Malaya Savaş Gemisi için Nümerik İntegral Yöntemi ile Elde Edilen 2-B TYAR Görüntüsü	53
Şekil 4.18.	Malaya Savaş Gemisi için Kutupsal Tekrar Formatlama Yöntemi ile Elde Edilen 2-B TYAR Görüntüsü	54
Şekil 4.19.	Malaya Savaş Gemisi için Eşleşme Kovalama Yöntemi ile Elde Edilen 2-B TYAR Görüntüsü	55
Şekil 4.20.	Malaya Savaş Gemisi için Alt Açıklık Yöntemi ile Elde Edilen 2-B TYAR Görüntüsü	56
Şekil 4.21.	Tankın BDT Model Görüntüleri	58
Şekil 4.22.	Tank için Nümerik İntegral Yöntemi ile Elde Edilen 2-B TYAR Görüntüsü	59
Şekil 4.23.	Tank için Kutupsal Tekrar Formatlama Yöntemi ile Elde Edilen 2-B TYAR Görüntüsü	60
Şekil 4.24.	Tank için Eşleşme Kovalama Yöntemi ile Elde Edilen 2-B TYAR Görüntüsü	61
Şekil 4.25.	Tank için Alt Açıklık Yöntemi ile Elde Edilen 2-B TYAR Görüntüsü	62
Şekil 4.26.	Helikopterin BDT Model Görüntüleri	64

Şekil 4.27. Helikopter için Nümerik İntegral Yöntemi ile Elde Edilen 2-B TYAR Görüntüsü	65
Şekil 4.28. Helikopter için Kutupsal Tekrar Formatlama Yöntemi ile Elde Edilen 2-B TYAR Görüntüsü	66
Şekil 4.29. Helikopter için Eşleşme Kovalama Yöntemi ile Elde Edilen 2-B TYAR Görüntüsü	67
Şekil 4.30. Helikopter için Alt Açıklık Yöntemi ile Elde Edilen 2-B TYAR Görüntüsü	68

SİMGE VE KISALTMALAR DİZİNİ

λ	: Dalga boyu
ω	: Açısal Frekans
f	: Frekans
k	: Dalga Sayısı
c	: Dalga Yayılma Hızı
\hat{k}	: Dalga İlerleme Yönü
\hat{s}	: Dalga İlerleme Yönü
η	: Ortamın Bağıl Kırılma İndisi
Γ	: Yansımaya Katsayısı
σ	: Radar Kesit Alanı
dBsm	: Desibel Squarometer
1-B	: Bir Boyutlu
2-B	: İki Boyutlu
3-B	: Üç Boyutlu
BW	: Bant Genişliği (BandWidth)
DFT	: Kesikli Fourier Transformu (Discrete Fourier Transform)
E	: Elektrik alan şiddeti
E_i	: Gelen Elektrik Alan
EM	: Elektromanyetik
E_s	: Saçılan Elektrik Alan
FT	: Fourier Transformu
FFT	: Hızlı Fourier Dönüşümü (Fast Fourier Transform)
H	: Manyetik alan şiddeti
H_i	: Kaynaktan gönderilen Manyetik Alan şiddeti
H_s	: Yansıyan Manyetik Alan şiddeti
IFT	: Ters Fourier Dönüşümü (Inverse Fourier Transform)
J	: Akım yoğunluğu
PO	: Fiziksel Optik (Physical Optic)
SAR	: Yapay Açıklıklı Radar (Synthetic Aperture Radar)

TYAR	: Ters Yapay Açıklıklı Radar
YAR	: Yapay Açıklıklı Radar
SIY	: Seken Işın Yöntemi
RKA	: Radar Kesit Alanı
SM	: Saçılma Merkezi
RSM	: Radar Soğurucu Malzeme
GO	: Geometrik Optik
FO	: Fiziksel Optik
MP	: Matching Pursuit
HFD	: Hızlı Fourier Dönüşümü
BDT	: Bilgisayar Destekli Tasarım (Computer Aided Design)
UYBHM	: Ulusal Yüksek Başarımlı Hesaplama Merkezi

1. GİRİŞ

Ters Yapay Açıklıklı Radar - TYAR (Inverse Synthetic Aperture Radar – ISAR), hareketli hedeflerin menzil (range) ve yanca (cross-range) uzaylarında radar görüntülerini çıkaran güçlü bir sinyal işleme metodudur [1-3]. Ters Yapay Açıklıklı Radar genel olarak hedefin hareketli ve radar istasyonunun sabit olduğu durumu belirtir. Bu bağlamda hareketli hedef ile radar istasyonu hedefin hareketinden kaynaklanan açı değişimi ve radarın frekans bant genişliği ile toplanan verilerin kullanılmasıyla 2-B TYAR imajları elde edilmektedir [1].

TYAR görüntüleme genel olarak radarın frekans band genişliği ve açı değişimi dar bir bantta toplanmaktadır. Böylece açı – frekans uzayındaki veri dikdörtgenel ızgara üzerine yaklaşık olarak oturmuş olur. Toplanan verilerin dikdörtgenel ızgara üzerine oturması ile açı–frekans uzayındaki bilgilerin menzil–yanca uzayına taşınması kesikli fourier dönüşümü kullanılarak uygulanabilir hale gelmektedir. Bu veriye Hızlı Fourier Dönüşümü algoritmasının uygulanması ile çok hızlı olarak 2-B TYAR görüntüsü elde edilmektedir [4].

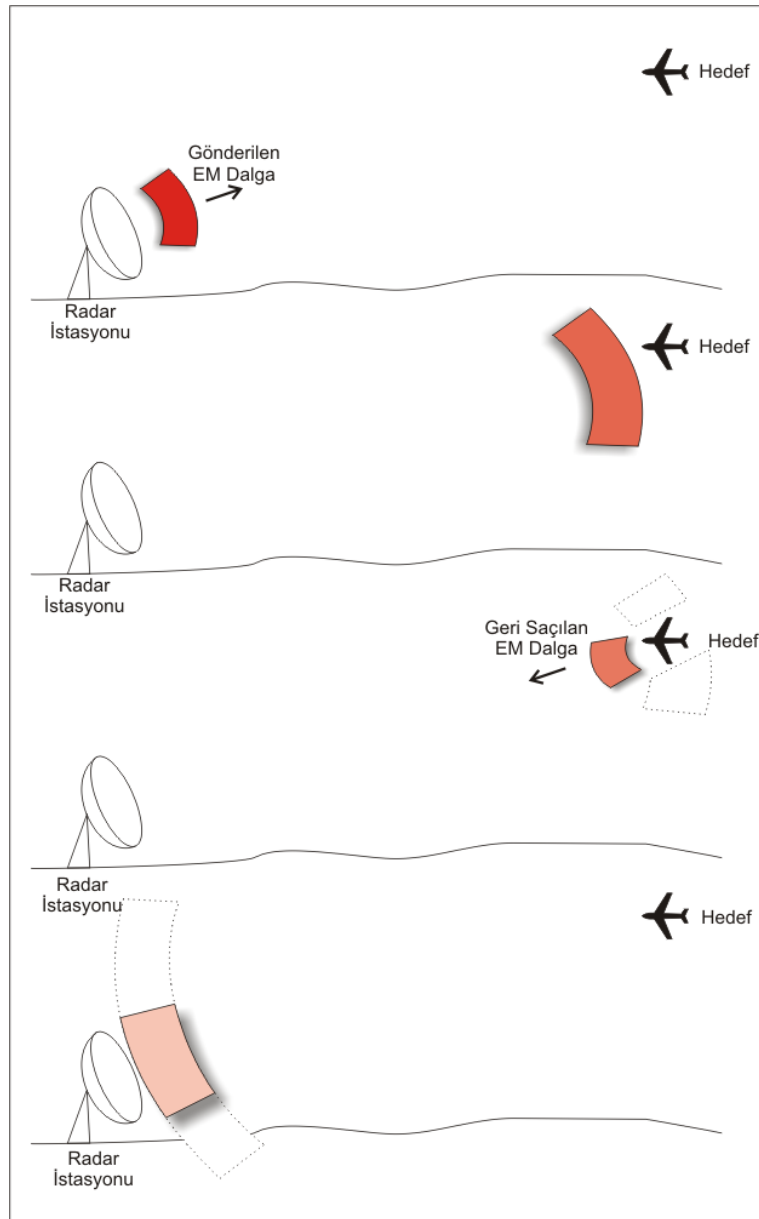
Ancak toplanan saçılan alan geniş açı ve geniş frekans bandında toplandığında, veriler dikdörtgenel ızgara üzerine oturmamaktadır. Bu durumda HFT algoritması direkt olarak uygulanamaz hale gelmektedir. Bu nedenle TYAR görüntüleme entegralinin nümerik olarak alınması gereği ortaya çıkmaktadır. Görüntüleme entegralinin nümerik olarak hesaplanması oldukça uzun hesaplama süreci ve çok yüksek miktarda bellek istemesinden dolayı görüntüyü elde etmek için alternatif çözüm yolları araştırılmaktadır.

Geniş açı ve geniş frekans bandında toplanan verilerin 2-B TYAR görüntüleri dar açı ve dar frekans bandında elde edilene göre çok daha yüksek kalite ve yüksek çözünürlükte sonuç vermektedir. Hedeflerinin RKA değerlerinin hesaplanması ve yüksek çözünürlüklü TYAR görüntülerinin elde edilmesi hedefin sınıflandırılmasına imkan tanıyacaktır.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. RADAR KESİT ALANI (RADAR CROSS SECTION)

Radarlar, gönderilen Elektro Manyetik (EM) dalgaların bir cisme çarpıp radar alıcılarına geri yansıyan sinyaller aracılığı ile cisimleri tespit ederler (Şekil 2.1). Cismin radarda görünebilirliği geri yansıttığı sinyal oranına bağlıdır. Cisim ne kadar az sinyal yansıtırsa radarda görünebilirliği o oranda azalır [4].



Şekil 2.1. Radarın Çalışma Prensibi

Cisimlerin sinyal yansıtma özellikleri, onların “Radar İmzası”nı oluşturmaktadır. Bir cismin radar imzası biliniyorsa ve cismin gerekenden fazla sinyal yansıtıyorsa bu cisim radar ile rahatça tespit edilebilir. Bu nedenle radar imzasının küçültülmesi (signature reduction) yoluna gidilmesi gerekmektedir. “Radarda Görünmezlik” ifadesi hedefin daha az sinyal yansıtarak, olduğundan küçük görünmesidir. Buradaki büyüklük ve küçüklük, hedefin metrekare cinsinden ölçülen Radar Kesit Alanı ile ifade edilebilir.

Radar Kesit Alanı, bir cismin veya platformun bir radardaki görünürlük miktarı veya EM dalgalar olan radar sinyallerini yansıtan yüzey alanı olarak tanımlanabilir [5]. Etkin Yansıtma Yüzeyi olarak da adlandırılan Radar Kesit Alanı, cismin geometrisi ve gönderilen dalganın dalga boyu ile orantılıdır. RKA değerinin matematiksel hesabı sadece basit yüzeylerde hesaplanabilir [6].

RKA, birim açı (steradyan, sr) başına hedeften radar yönünde yayılan geri saçınım (backscatter) gücünün hedef tarafından alınan güç yoğunluğuna oranı olarak da tanımlanabilir [4]. EM dalgalar incelenirken tüm boyutlar “dalga boyu” referans alınarak orantısal olarak ölçülürler.

$$Dalga\ Boyu = \lambda = \frac{Işık\ Hızı}{Frekans} = \frac{3 \times 10^8}{f} \left[\frac{m/s}{Hz} = m \right] \quad (2.1)$$

Bu nedenle RKA alanı kullanılan radar frekansına bağlı olarak değişir [5]. Gönderilen tüm EM dalganın hedefin üzerine düşmeyeceği düşünüldüğünde, hedefin RKA (σ) değeri aşağıdaki gibi düşünülür [4] :

$$\sigma \cong (\text{İzdüşümsel Geometrik Alan}) \times (\text{Yansıtıcılık Oranı}) \times (\text{Yönlülük Oranı}) \quad (2.2)$$

RKA, radar alıcısına yansıyan gücün, hedefe gönderilen güç yoğunluğuna oranı olarak tanımlanmıştır [8]:

$$\sigma = \frac{\text{Birim Katı Açıda Radar Alıcısına Yansıyan Güç}}{\text{Hedefe Gelen Güç Yoğunluğu} / 4\pi} \left[\frac{Watt}{Watt/m^2} = m^2 \right] \quad (2.3)$$

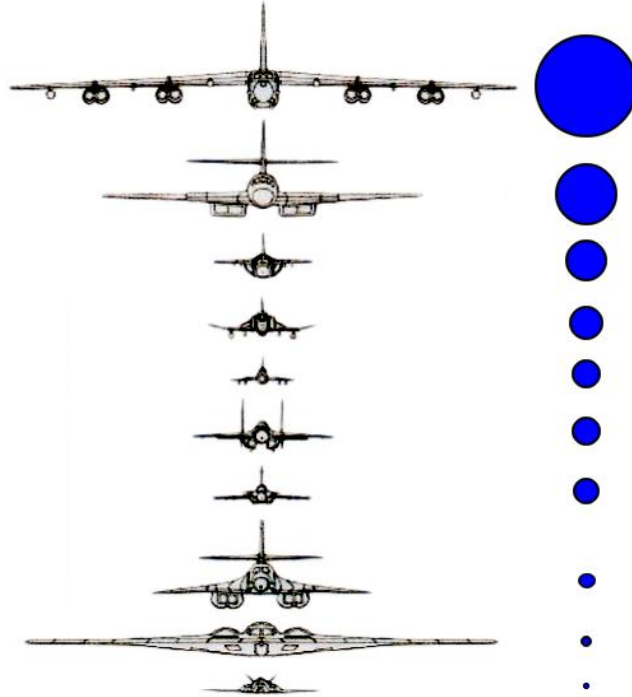
$$\sigma = 4\pi R^2 \frac{|E^{sacilan}|^2}{|E^{gelen}|^2} = 4\pi R^2 \frac{|H^{sacilan}|^2}{|H^{gelen}|^2} \quad (2.4)$$

IEEE sözlüğünde [24] RKA aşağıdaki gibi formüle edilmiştir.

$$\sigma = \lim_{R \rightarrow \infty} 4\pi R^2 \frac{|\overline{P^s}|^2}{|\overline{P^i}|^2} [m^2] \quad (2.5)$$

Güç birimleri $\overline{P^s}$ ve $\overline{P^i}$ yerine, alıcı yönünde saçılan ve hedefe gelen elektrik alanlar yönünde (E^s, E^i) olarak da yazılabilir. E^i değeri, yüzeye etkiyen elektromanyetik alan şiddetini, E_s ise yüzeyden saçılan elektromanyetik alan şiddetini gösterir. Bu formüldeki temel varsayım E^i 'nin düzlemsel bir dalga olduğu ve bu yüzden genliğinin R ile gösterilen mesafeye bağımlı olmadığıdır [4]. E^s değeri $1/R$ ile orantılı olduğundan dolayı aşağıdaki eşitlikte RKA değeri, mesafeden bağımsız olmaktadır.

$$\sigma = \lim_{R \rightarrow \infty} 4\pi R^2 \frac{|\overline{E^s}|^2}{|\overline{E^i}|^2} [m^2] \quad (2.6)$$



Şekil 2.2. Farklı Hedefler için RKA Örnekleri [5]

Radar Kesit Alanı'nın birimi m^2 dir. Aynı cismin farklı açılardaki RKA değerleri $10^{-6} m^2$ ile $10^6 m^2$ arasında değişim gösterebilmektedir. Bu kadar geniş aralıktaki RKA değerlerini aynı grafik üzerinde göstermek zor olduğu için RKA ölçümlerinde genellikle logaritmik bir ölçekle gösterilen “desibel metrekaare” [dBm^2] veya İngilizce olarak “decibel square-meter” teriminin kısaltması [$dBsm$] birimi kullanılır [5].

$$\sigma_{dB} = 10 \log_{10} \sigma \quad (2.7)$$

$$\sigma = 10^{(0.1 \times \sigma_{dB})} \quad (2.8)$$

Günümüzde gelişmiş hayalet uçakların RKA değeri $-60 dBsm$ iken kuşların RKA değeri ise $-20 dBsm$ dir. Modern radar teknolojileri sayesinde bu kadar küçük değerlere sahip hedefler de tespit edilebilmektedir.

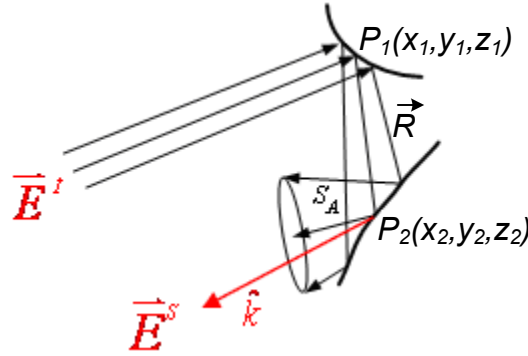
HEDEF	RKA (m^2)	RKA ($dBsm$)
Kamyonlar	200	23
Otomobiller	100	20
Yolcu Uçakları	40	16
Yelkenli	10	10
Savaş Uçakları	2 – 6	3 – 7.78
Yetişkin İnsanlar	1	0
Kuşlar	0.01	-20
Böcekler	0.00001	-50
Gelişmiş Hayalet Uçaklar	0.000001	-60

Çizelge 2.1. Farklı Hedefler için RKA Örnekleri [4,6]

2.2. SEKEN IŞIN YÖNTEMİ

Seken Işın Yöntemi (SIY) büyük ve karmaşık platformlardan elektromanyetik saçılmayı yüksek frekanslarda tahmin eden nümerik bir yöntemdir. Bu teknik 1990 yılından itibaren dalga boyuna göre büyük olan cisimlerin RKA hesaplamalarında ve bir nesneden saçılan elektromanyetik alanın bulunmasında kullanılmaktadır [9].

SIY yönteminde, çok yoğun ışın demeti platforma doğru gönderilir, ışınlar Geometrik Optik (GO) [17] kurallarına göre takip edilir (Şekil 2.3). Her bir ışının alan şiddeti, yansıma katsayıları (Γ) ve ışın-tüpü ıraksama faktörleri (DF) hesaplanarak bulunur. Dolayısıyla Şekil 2.3'den de görüleceği üzere P_1 noktasından saçılan alan, P_2 noktası civarında aşağıdaki şekilde hesaplanabilir [9, 10].



Şekil 2.3. Seken Işın Yöntemi Geometrisi [4]

$$\vec{E}(x_2, y_2, z_2) = (DF) \cdot (\Gamma) \cdot \vec{E}(x_1, y_1, z_1) \cdot \exp\{-jk\sqrt{[(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2]}\} \quad (2.9)$$

Buna göre P_2 civarına gelen elektrik alan, P_1 'deki elektrik alanın, $\vec{k} \cdot \vec{R}$ miktarı kadar faz kaybı ile Γ ve DF katsayılarıyla çarpılmasından [9] bulunur. Dolayısıyla her sekme için, sadece bu üç parametrenin hesaplanması o sekmeye ait elektrik alanın bulunması için yeterli olacaktır.

Elektrik alan takibinin bu şekilde yapılmasından sonra, ışın platformdan ayrılırken, bakış yönüne doğru saçılan elektrik alan aşağıdaki FO saçılma entegrali sayesinde hesaplanır.

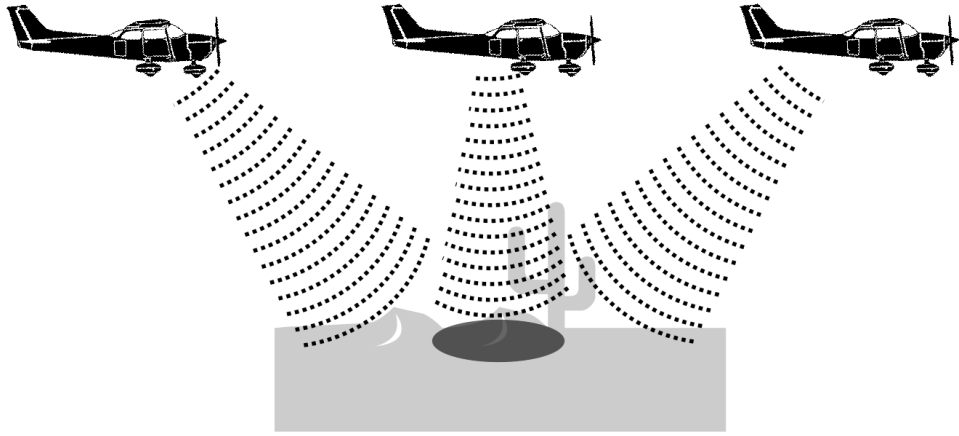
$$E^{BS}(\theta, \phi) = \frac{jk\eta \cdot \exp(-jkr)}{4\pi r} \cdot \iint_{S_A} \vec{J}_s \cdot \exp(jk\vec{r}_N) \cdot d\vec{s} \quad (2.10)$$

Burada, $\vec{J}_s = 2 \cdot \vec{E}(x_N, y_N, z_N) \times \hat{n}$ son sekme yüzeyindeki akım yoğunluğunu vermektedir.

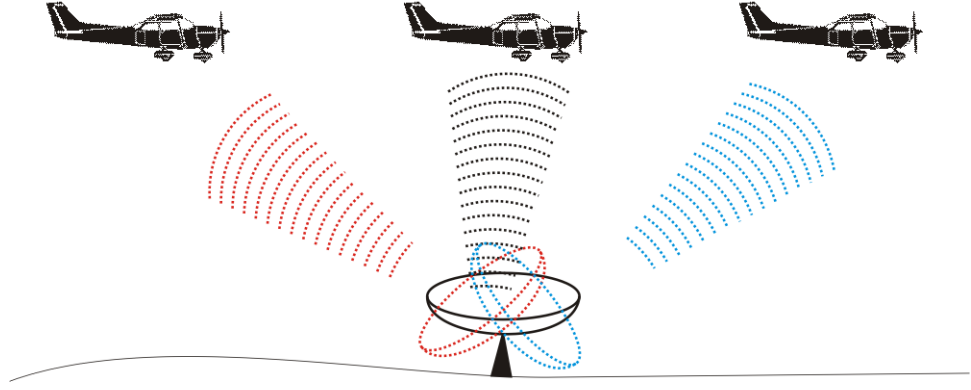
2.3. TERS YAPAY AÇIKLIKLI RADAR

Gelişen teknolojinin son basamağı olan “yüksek çözünürlüklü radar” adı verilen radar türü YAR ve TYAR dır. Klasik radarlar hedefin mesafe ve hız bilgilerini elde edebilirken bu radarlar hedefin radar görüntülerini oluşturma ve tanıma özelliklerine sahiptir [4].

Ters Yapay Açıklıklı Radar - TYAR (Inverse Synthetic Aperture Radar – ISAR), hareketli hedeflerin menzil (range) ve yanca (cross-range) uzaylarında radar görüntülerini çıkaran güçlü bir sinyal işleme metodudur [1-3]. Ters Yapay Açıklıklı Radar genel olarak hedefin hareketli ve radar istasyonunun sabit olduğu durumu belirtir. Bu bağlamda hareketli hedef ile radar istasyonu arasında hedefin hareketinden kaynaklanan açı değişimi ve radarın frekans bant genişliği ile toplanan verilerin kullanılmasıyla 2-B TYAR görüntüleri elde edilmektedir.



Şekil 2.4. Yapay Açıklıklı Radar Geometrisi

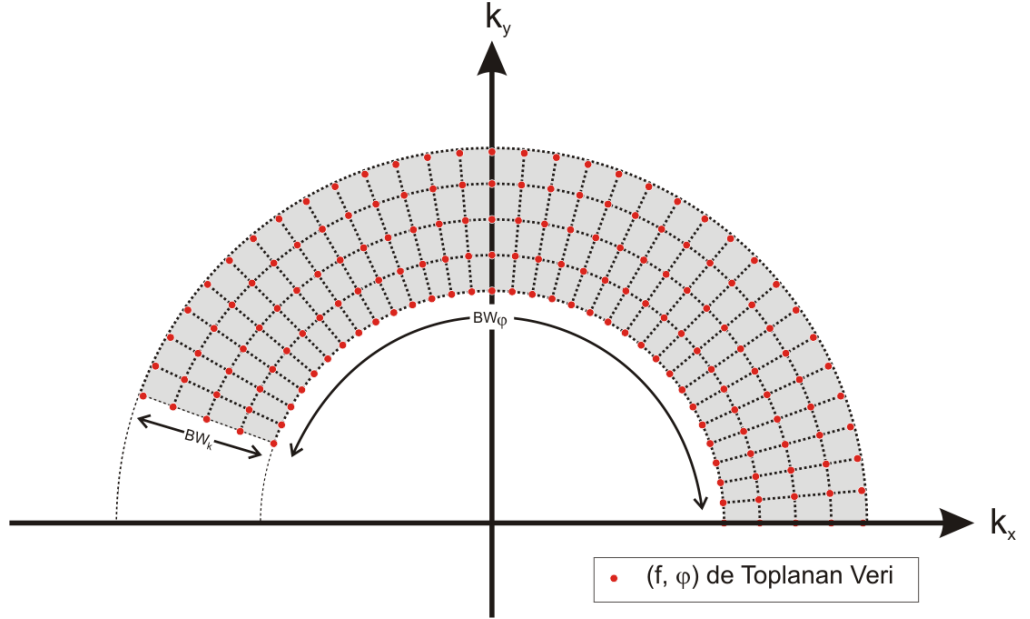


Şekil 2.5. Ters Yapay Açıklıklı Radar Örneği

Şekil 2.4 ve Şekil 2.5 te YAR ile TYAR arasındaki fark gösterilmektedir. Ters yapay açıklıklı radar ile toplanan veriler frekans uzayında toplanır. Toplanan veriler eğer bir boyutlu olarak işlenip, ters fourier dönüşümü uygulanarak zaman eksenine taşındığında elde edilen sonuç hedefin menzil profili olacaktır.

2.3.1. TYAR Görüntüleme Tekniği

Genellikle menzil ve yanca eksenleri üzerinde 2 boyutlu TYAR görüntüleri açı ve frekans çeşitliliği kullanılarak elde edilmektedir. Bu bağlamda çeşitli açı ve frekansta geri yansıyan bilgiler iki boyutlu bir grid üzerinde toplanır (Şekil 2.6).



Şekil 2.6. Çeşitli Frekans ve Açılarda Toplanan TYAR Verileri

Radarin alıcı ve vericilerin konumuna göre iki farklı durumu vardır. Eğer radar hem verici hem alıcı görevini görüyorsa bu uygulamaya “monostatik radar” denir. Verici ile alıcının fiziksel olarak farklı yerde olması durumuna ise “bistatik radar” adı verilir. Şekil 2.7 de gösterilen monostatik durumlar için $P(x_0, y_0)$ noktası için basitleştirilmiş saçılan elektrik alan aşağıdaki gibi ele alınmıştır:

$$E_s(k, \varphi) = A_0 \cdot \exp(-j2k \cdot r_0) \quad (2.11)$$

Yukarıdaki denklemde faz merkezi olarak orijin seçilmiş olup, A_0 değeri P noktasından geri saçılan EM yoğunluğudur. r_0 ise P noktası ile orijin arasında uzaklıktır. Denklemdeki “2” çarpanı ise radar ile saçıcı arasında gidiş-geliş olmak

üzere 2 kat yol alındığı için gereklidir. Vektör dalga numarası olan k ise x ve y yönlerinde aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$\vec{k} = k \cdot \hat{a}_k = k_x \cdot \hat{a}_x + k_y \cdot \hat{a}_y = k(\hat{a}_x \cdot \cos \varphi + \hat{a}_y \cdot \sin \varphi) \quad (2.12)$$

Burada \hat{a}_k , \hat{a}_x ve \hat{a}_y birim vektörlerdir. Denklem 2.11 deki $k \cdot r_0$ ifadesini yeniden düzenlersek:

$$\vec{k} \cdot \vec{r}_0 = k(\cos \varphi \cdot \hat{a}_x + \sin \varphi \cdot \hat{a}_y) \cdot (x_0 \cdot \hat{a}_x + y_0 \cdot \hat{a}_y) = k \cos \varphi \cdot x_0 + k \sin \varphi \cdot y_0 \quad (2.13)$$

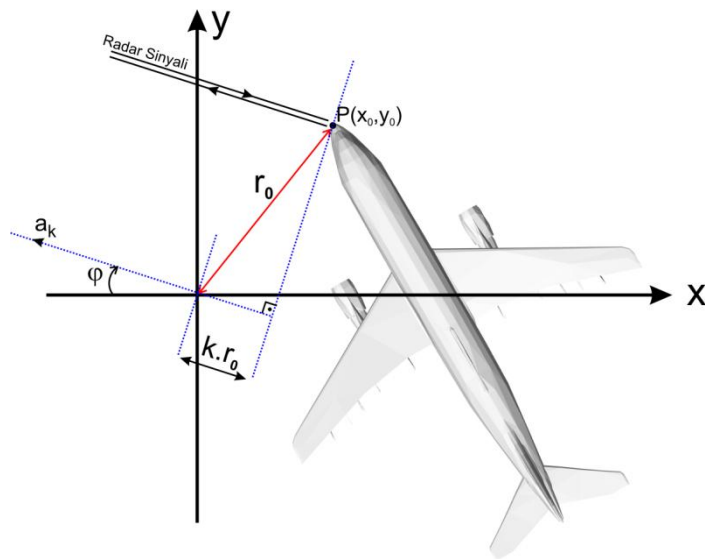
Denklem 2.11'i aşağıdaki gibi yazabiliriz:

$$E_s(k, \varphi) = A_0 \exp(-j2k \cos \varphi \cdot x_0) \cdot \exp(-j2k \sin \varphi \cdot y_0) \quad (2.14)$$

Denklem 2.15 incelendiğinde $2k \cos \varphi$ ile x_0 arasında ve $2k \sin \varphi$ ile y_0 arasında Fourier ilişkisi var olduğu görülmektedir. TYAR görüntüleme integrali aşağıda yer almaktadır:

$$E_s(x, y) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} E_s(k, \varphi) \cdot e^{j2k \cos \varphi \cdot x} \cdot e^{j2k \sin \varphi \cdot y} \cdot d(k) \cdot d(\varphi) \quad (2.15)$$

Bu bağlamda menzil ve çapraz menzil uzaylarındaki TYAR görüntüsü iki boyutlu (2-B) ters Fourier dönüşümü (IFT) ile elde edilebilir [1].



Şekil 2.7. Monostatik TYAR için Geometri [1]

2.3.2. Dar Bant ve Dar Açı Yaklaşımı ile TYAR Görüntüleme

Bu yöntem genellikle kolay ve hızlı bir şekilde olarak TYAR görüntüsü elde etmeye ihtiyaç duyulduğunda kullanılmaktadır. Frekans bant genişliği BW_f in merkez frekans f_c den çok küçük olduğu durumlarda Denklem 2.14 teki $k \approx k_c$ olarak alınabilir. Burada k_c merkez frekansa denk gelen dalga numarasıdır.

Birçok TYAR uygulamasında açısal bant genişliği BW_φ küçük değerlerde alınmaktadır. Bu durumda aşağıdaki yaklaşımlar doğru olarak kabul edilmektedir.

$$\begin{aligned}\cos \varphi &\cong 1 \\ \sin \varphi &\cong \varphi\end{aligned}\quad (2.16)$$

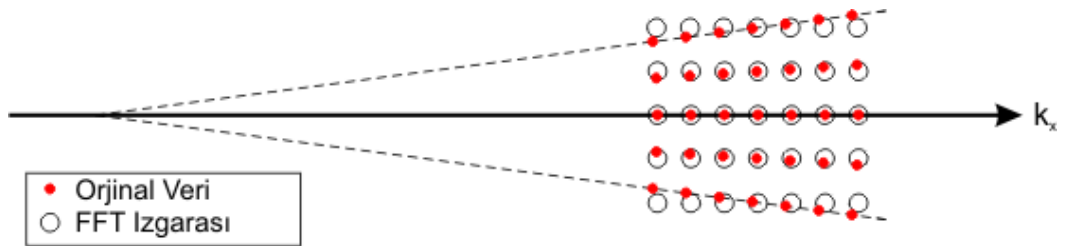
Bu durumda P noktasındaki saçılan EM alan aşağıdaki gibi hesaplanabilir:

$$E_s(k, \varphi) = A_0 \exp(-j2k \cdot x_0) \cdot \exp(-j2k_c \cdot \varphi \cdot y_0) \quad (2.17)$$

Denklem 2.16 ve 2.17 deki ifadeler Denklem 2.15'e uygulandığında TYAR görüntüleme integrali aşağıdaki hali almaktadır:

$$TYAR(x, y) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} E_s(k, \varphi) \cdot e^{j2k \cdot x} \cdot e^{j2k_c \varphi \cdot y} \cdot d(k) \cdot d(k_c \varphi) \quad (2.18)$$

İntegralin alt ve üst sınırları toplanan verinin açı ve frekans bantgenişliğine göre sınırlı olmalıdır.



Şekil 2.8. Dar Bant Dar Açı TYAR Verileri [1]

Bu yapı ile Şekil 2.8 deki 2-B kutupsal veri yaklaşık olarak dörtgenel ızgara üzerine oturmaktadır. Bu da KFD yöntemini uygulamamıza imkan tanımaktadır:

$$\begin{aligned} IFT_2\{E_s(k, \varphi)\} &= A_0 \cdot IFT_1\{\exp(-j2k \cdot x_0)\} \cdot IFT_1\{\exp(-j2k_c \cdot \varphi \cdot y_0)\} \\ E_s(x, y) &= A_0 \cdot \delta(x - x_0) \cdot \delta(y - y_0) \end{aligned} \quad (2.19)$$

Bu ifadede δ fonksiyonu birim darbe (impulse) fonksiyonudur. Böylece P noktası kendini (x_0, y_0) noktasındaki darbe fonksiyonu olarak gösterir.

2.3.3. TYAR Görüntüsü İçin Çözünürlük, Bant-Genişliği Ve Örnekleme Dalga Denklemi

Denklem 2.17 nin ilk fazında Fourier gereksinimleri aşağıdaki TYAR menzil çözünürlüğü ifadesini meydana getirmektedir:

$$\Delta r = \frac{2\pi}{2BW_k} = \frac{c}{2BW_f} \quad (2.20)$$

Denklem 2.17 nin ikinci fazına baktığımızda, çapraz menzil çözünürlüğü benzeri bir yollar elde edilebilir:

$$\Delta x = \frac{2\pi}{2k_c BW_\varphi} = \frac{c}{2f_c BW_\varphi} = \frac{\lambda_c}{2BW_\varphi} \quad (2.21)$$

Yukarıdaki denklemlere göre frekans bant genişliğinin artması menzil çözünürlüğünü artırırken, açı bant genişliğinin artması çapraz menzil (yanca) çözünürlüğünü arttırmaktadır.

Menzil ve çapraz menzil uzaylarında çözünürlüğü hesapladıktan sonra, örnekleme miktarının seçimi bu uzayların bant genişliklerini belirler (ör: görüntü büyüklüğünü).

Eğer frekans aralığı N kere ve açı aralığı da M kere örneklenirse oluşacak imaj uzayı bant genişlikleri aşağıdaki gibi olur:

$$BW_r = N \cdot \Delta r = \frac{N \cdot c}{2 \cdot BW_f} \quad (2.22)$$

$$BW_x = M \cdot \Delta x = \frac{N \cdot \lambda_c}{2BW_\varphi}$$

2.3.4. Geniş Bant ve Geniş Açı Yaklaşımı ile TYAR Görüntüleme

Dar bant ve dar açı yaklaşımlarının uygulanamadığı durumlarda, Ters Yapay Açıklıklı Radar görüntüleme integrali genel biçimde kullanılmalıdır:

$$E_s(x, y) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} E_s(k, \varphi) \cdot e^{j2kr} \cdot d(k) \cdot d(\varphi) \quad (2.23)$$

$$E_s(x, y) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} E_s(k, \varphi) \cdot e^{j2k \cos \varphi \cdot x} \cdot e^{j2k \sin \varphi \cdot y} \cdot d(k) \cdot d(\varphi)$$

TYAR Görüntüsünü oluştururken Kesikli Fourier Dönüşümünü uygulayabilmemiz için verilerin dikdörtgensel bir form üzerinde düzgün aralıklarda kesikli olarak yerleştirilmiş olması gerekmektedir. Ancak toplanan Fourier uzayındaki veriler kutupsal biçimde olduğundan dolayı veri dikdörtgensel ızgara üzerine oturmamaktadır. Bu durumda veri, Şekil 2.8 de gösterildiği gibi kutupsal koordinatlardan, Kartezyen koordinat sistemine dönüştürülmelidir. Bu yeniden düzenleme işleminde oluşacak hatayı minimuma indirmek için birçok enterpolasyon yöntemi örneğin “en yakın 4 komşu yaklaşımı” [11] uygulanabilir. Veriyi istenen biçime dönüştürdükten sonra TYAR görüntüsü basit olarak 2-B KFD işlemi uygulanarak elde edilebilir.

3. MATERYAL VE METOT

3.1. RKA KESTİRİMİ

Bilgisayar Destekli Tasarım (BDT) modellerinin radar kesit alanlarının elde edilmesi için farklı yöntemler ve farklı varsayımlar mevcuttur. Yüksek frekans radar kesit alanı hesaplaması yapan yazılımların çoğu metot olarak Geometrik Optik tekniğine dayanan Ling ve arkadaşları tarafından geliştirilen “Seken Işın Yöntemi”, SIY, (Shooting and Bouncing Ray, SBR) [9] kullanmaktadır.

Bu tez çalışmasında 3 Boyutlu BDT modellerinden saçılan EM alanlarının hesaplanması için SIY ve FO metotlarını kullanan bir kod kullanılmıştır. Bu yazılımın, kullanılan BDT modelinin yüzey sayısına göre ve ihtiyaç duyulan bant genişliği ve açı aralığına göre sonuçları hesaplaması normal bir bilgisayarda yaklaşık 24 gün sürmektedir. Aynı hesaplama İstanbul Teknik Üniversitesi (İTÜ) bünyesinde bulunan Ulusal Yüksek Başarımli Hesaplama Merkezi (UYBHM)'de çalıştırıldığında 15 dakikada sonuçlanmaktadır.

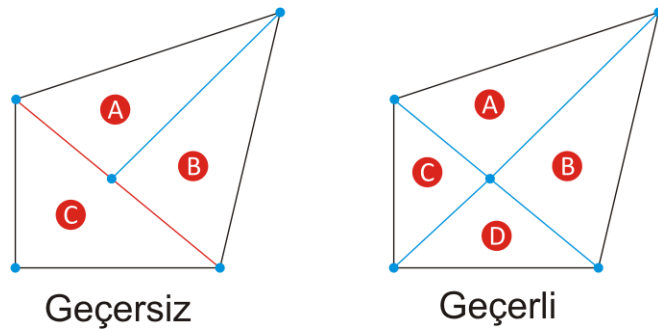
Dünyada en hızlı 500 bilgisayar listesinde [22] Kasım 2007'de 482. sırada yer alan İTÜ UYBHM'deki sistemi bir benzerinin MEÜ bünyesinde oluşturulması amacıyla Bilimsel Araştırma Projelerine başvurulmuştur. Bu tez çalışması Bilimsel Araştırma Projeleri'nden BAP-FBE EEM (ÖK) 2008-3 YL kodu ile desteklenmiş olup projeden alınan sunucular ile paralel dağıtık bir “Yüksek Başarımli Hesaplama Merkezi” (YBHM) oluşturulmuştur. MEÜ'de kurulan YBHM'e Deniz ÜSTÜN'ün BAP Projesinden (BAP_FBE EEM(DÜ) 2008-3 YL) alınan sunucular da eklenerek YBHM deki çekirdek sayısı 40'a ulaşmıştır. Kurulan YBHM aracılığı ile hesaplama süresi yaklaşık olarak 2 güne inmiştir.

3.2. BİLGİSAYAR DESTEKLİ TASARIM (CAD) MODELLERİNİN İNCELENMESİ

Kullanılan Fiziksel Optik bazlı Seken Işın Yöntemine dayanan RKA ve EM saçılma hesaplama programının mimarisi nedeniyle hedef geometrisi üçgen şeklinde modellenmelidir. Üç boyutlu modeli üçgen parçaları halinde saklayan formatlar “Facet” (*.facet) ve “Raw Triangle” (*.raw) türleridir.

İlgili formatlar üzerinde çalışabilmek için bilgisayar destekli tasarım yazılımlarına ihtiyaç duyulmuştur. Bu çalışmaları yürütmek için Emerald [19], Rhinoceros [20] vb. cad yazılımları kullanılmıştır.

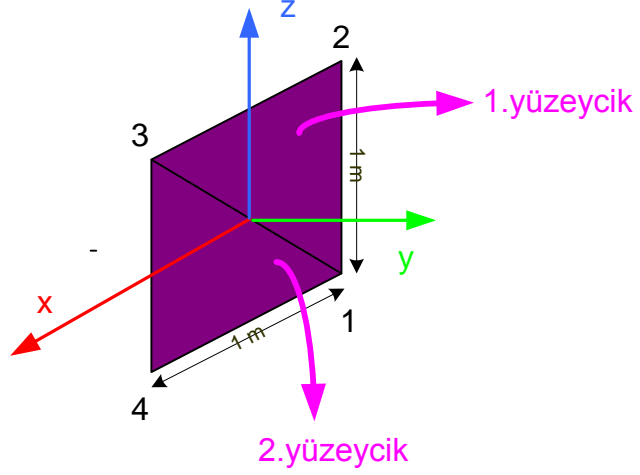
Facet dosya formatında cismin yüzeyi “facet” adı verilen küçük üçgen parçalardan oluşur. Bu dosya formatı 2 parçadan oluşmaktadır. Birinci kısımda üçgenlerin oturacağı köşe koordinatları birbirleri arasında bağlantıları belirtilmeden her biri nokta bir satıra gelecek şekilde dosyaya kaydedilir. Köşe noktalarının koordinatları 3 Boyutlu Kartezyen Koordinat sistemine göre saklanır. Bu bağlamda her satırda ilgili köşenin x , y , z koordinatları yan yana birer boşluk bırakılarak yazılır. İkinci kısımda ise önceden tanımladığımız noktaların hangilerinin birleşerek üçgeni oluşturduğu tanımlanır. Facet formatında “Köşe-Köşeye” kuralına göre bir üçgen, komşu üçgen ile 2 köşe paylaşmak zorundadır. Bir başka deyişle bir yüzeyin köşesi başka bir yüzeyin kenarı üzerinde olamaz [4]:



Şekil 3.1. Facet için köşe köşeye kuralı

Şekil 3.1 de gösterilen köşe-köşeye kuralında, sol taraftaki çizimde yer alan A ve B üçgenleri 2 köşede kesişmektedir. Ancak A-C ve B – C üçgenleri sadece 1 köşede kesişmektedir. Bu nedenle kural sağlanamamaktadır.

Aşağıda 1x1 m boyutlarında bir plaka nın facet dosyası incelenmektedir:



Şekil 3.2. 1x1 m boyutunda plaka şekli ve yüzeycik oluşumu

```

FACET FILE v1.0
1
Polyhedral Collection
0
4
1 numaralı köşenin konumu → -0.5 0 -0.5
2 numaralı köşenin konumu → -0.5 0 0.5
3 numaralı köşenin konumu → 0.5 0 0.5
4 numaralı köşenin konumu → 0.5 0 -0.5
1
Polyhedral Surface
2
1.yüzeycik → 1 2 3 0 1 1
2.yüzeycik → 1 3 4 0 1 2

```

Şekil 3.3. 1x1 m boyutundaki plaka için oluşturulmuş *.facet dosya

Örneği [4]

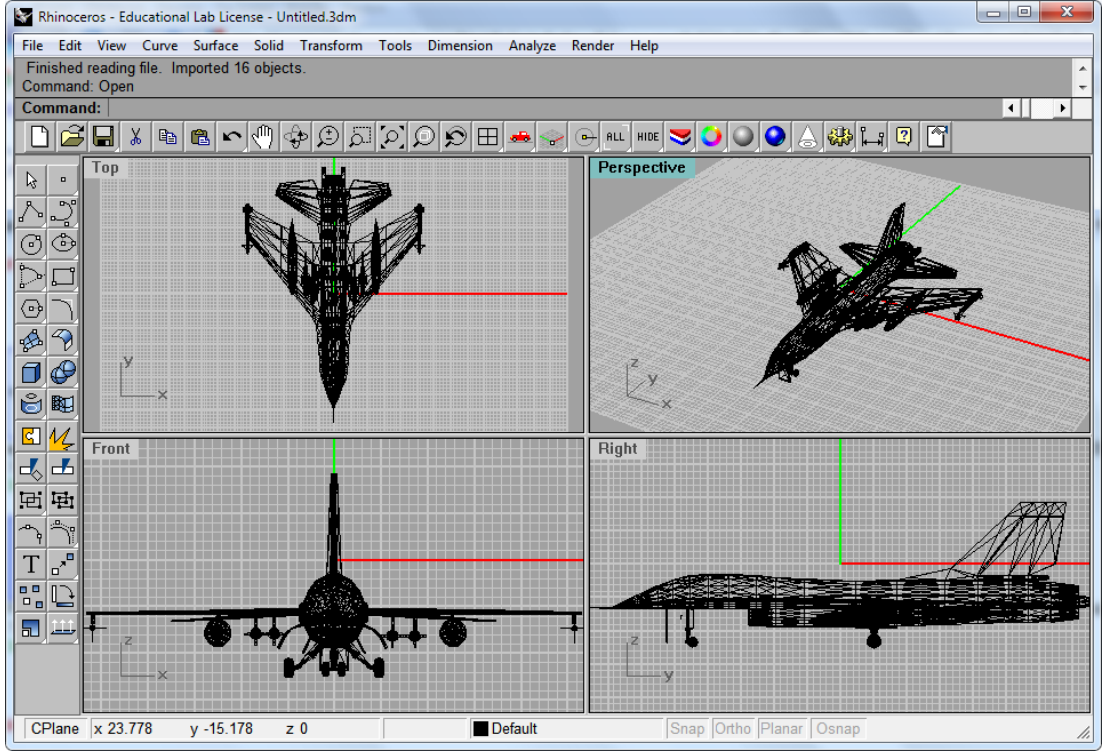
Şekil 3.3’de sunulan plaka cisminin facet dosya örneği için;

Versiyon = Facet File v1.0

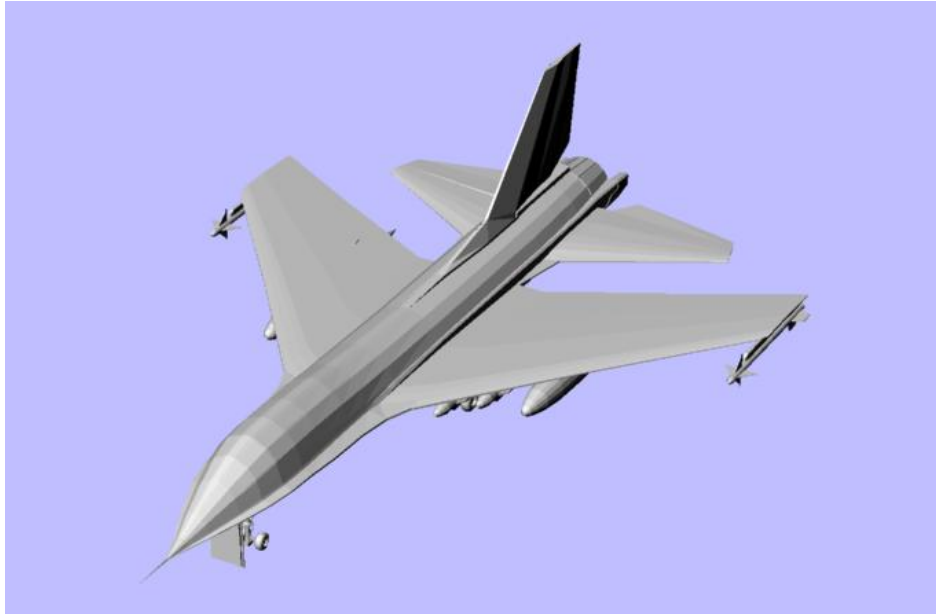
Başlık = Polyhedral Collection şeklinde gösterilmektedir.

Verilen plaka örneğinde 4 köşe mevcut olup, (1-2-3) ve (1-3-4) şeklinde 2 yüzeycik oluşmuş olur. Köşe numaraları Şekil 3.2’deki gibi numaralandırıldığında facet dosyası içerisinde de köşelerin 3-B’lu koordinatlarının yeri sırasıyla yazılmıştır. Böylelikle plaka cismini [4x3], boyutunda bir matrisle tanımlamış oluruz.

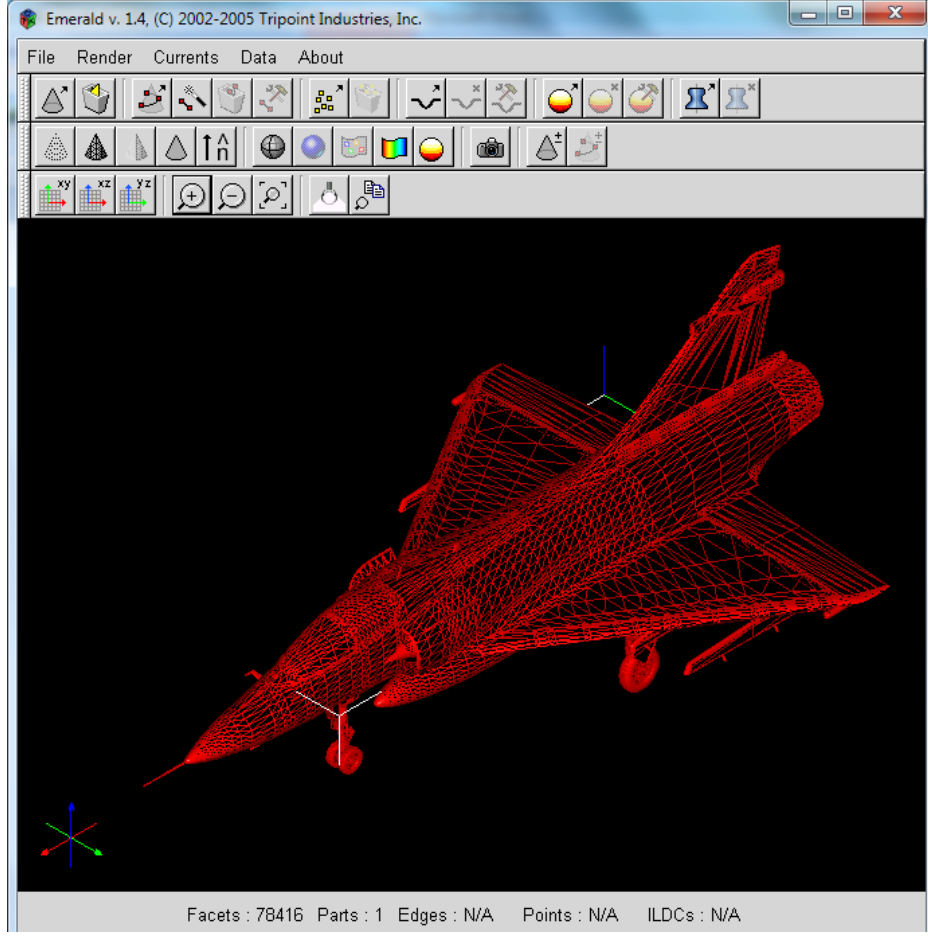
Farklı formatlarda elde edilen 3 boyutlu modeller için Rhinoceros yazılımı ile bilinen birçok 3 boyutlu CAD dosyasını Raw formatına dönüştürülüp MATLAB ile kodlanmış bir başka yazılımla da Facet formatına dönüştürülebilir.



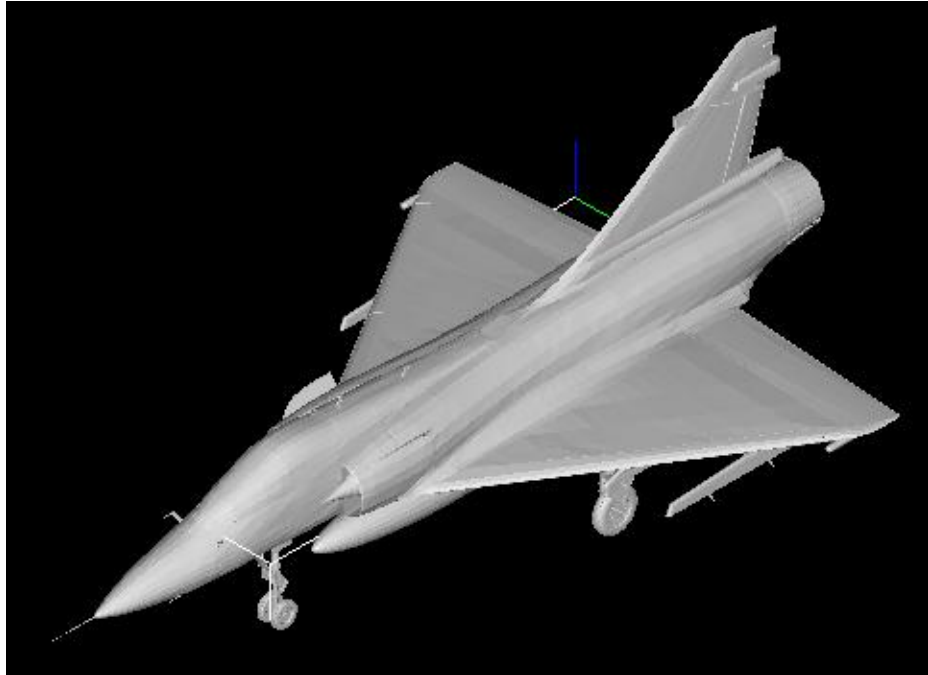
Şekil 3.4. Xplaneh uçağının Rhinoceros programındaki tel çerçeve görüntüsü



Şekil 3.5. Xplaneh uçağının Rhinoceros ile perspektif yüzey görüntüsü



Şekil 3.6. Mirage uçağının Emerald programındaki tel çerçeve görüntüsü



Şekil 3.7. Mirage uçağının Emerald programındaki yüzey görüntüsü

3.3. GENİŞ BANT GENİŞ AÇI TYAR GÖRÜNTÜLEME

3.3.1. Görüntüleme İntegralinin Nümerik Olarak Hesaplanması

Geniş bant – geniş açı TYAR görüntülemeye doğrudan THFD kullanılamaması, görüntünün hesaplanmasında ciddi süreç ve zaman sarfiyatına yol açmaktadır. Görüntüyü elde etmek için Denklem 2.21 deki integralin hesaplanması gerekmektedir:

$$TYAR(x, y) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} E_s(k, \varphi) \cdot e^{j2k \cos \varphi \cdot x} \cdot e^{j2k \sin \varphi \cdot y} \cdot d(k) \cdot d(\varphi) \quad (3.1)$$

Toplanan EM saçılan alan bilgileri, ölçüm frekans bantgenişliği ve ölçüm açı bantgenişliği elimizde mevcuttur. İntegralin içindeki $E_s(k, \varphi)$ fonksiyonunun her k, φ değerine göre farklı sonuç dönmesi ve nümerik olarak ölçülmüş olması, görüntüleme integralinin sembolik olarak hesaplanmasını imkansız kılmaktadır. Gerek bu nedenle gerekse bilgisayarın sonucu hızlı hesaplayabilmesi için integral nümerik yöntemlerle alınmalıdır.

3.3.1.1. Tek Katlı İntegrallerin Nümerik Olarak Hesaplanması

Nümerik analiz yöntemleri arasında integral hesaplamasında en yaygın olarak kullanılan yöntem Birleştirilmiş Simpson Yaklaşımıdır. Birleştirilmiş Simpson Yaklaşımı aşağıda gösterilmiştir [12]:

$$\int_a^b f(x) dx \approx \frac{h}{3} \left[f(x_0) + 2 \sum_{j=1}^{\frac{n}{2}-1} f(x_{2j}) + 4 \sum_{j=1}^{\frac{n}{2}} f(x_{2j-1}) + f(x_n) \right] \quad (3.2)$$

$$h = \frac{b-a}{n} \quad (3.3)$$

Denklem 3.2 deki ifadeyi MATLAB programında aşağıdaki gibi kodlayabiliriz [13]:

```
5 h=(b-a)/N-1;
6 % x: f fonksiyonunun alacağı degerler
7 x=(a:h:b) .';
8 % w: ağırlık (katsayı) matrisini hazırla
9 w=ones(1,N); w(2:2:N-1)=4; w(3:2:N-2)=2; w=w*h/3;
10 % İntegrali Hesapla
11 I=w*f(x);
```

3.3.1.2. İki Katlı İntegrallerin Nümerik Olarak Hesaplanması

Aşağıdaki biçimdeki çift katlı integrallerin hesaplanması için Birleştirilmiş Simpson İntegralini $N_x * N_y$ nokta ile oluşturacağız :

$$\int_a^b \int_c^d f(x,y) dy dx$$

(3.4)

Denlem 3.4 ün nümerik olarak hesaplayabilmek için MATLAB programında aşağıdaki gibi kodlayabiliriz [13]:

```
5 % x üzerindeki ağırlık matrisini ve Simpson noktalarını hazırla
6 h=(b-a)/(Nx-1);
7 x=(a:h:b) .';
8 wx=ones(1,Nx);
9 wx(2:2:Nx-1)=4; wx(3:2:Nx-2)=2;
10 wx=wx*h/3;
11
12 % y üzerindeki ağırlık matrisini ve Simpson noktalarını hazırla
13 h=(d-c)/(Ny-1);
14 y=(c:h:d) .';
15 wy=ones(1,Ny);
16 wy(2:2:Ny-1)=4; wy(3:2:Ny-2)=2;
17 wy=wy*h/3;
```

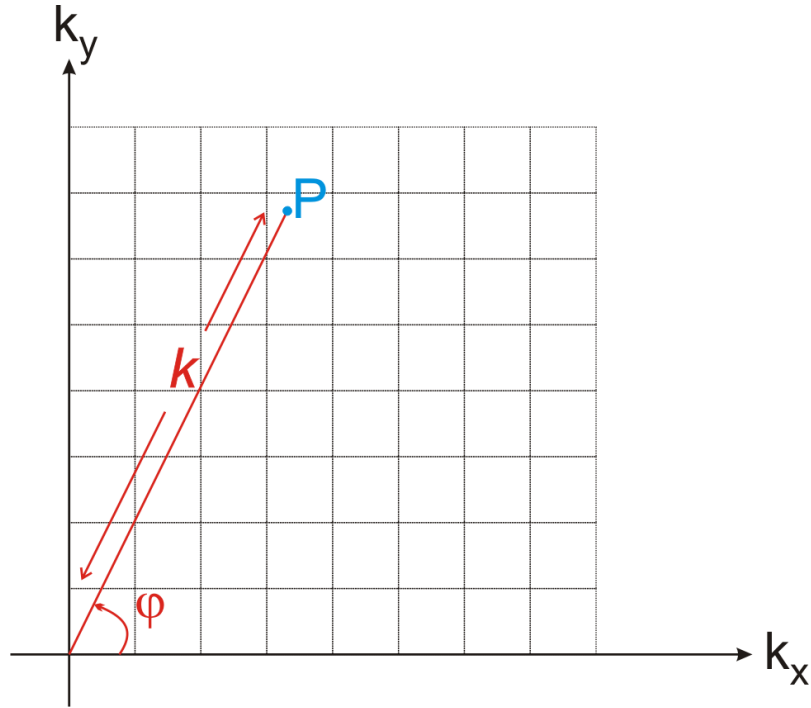
```
18
19     % Ağırlık Matrislerini Birleştir
20     [x, y]=meshgrid(x, y);x=x(:);y=( :)';
21     w=w*y.'*w*x;w=w(:).';
22
23     % Integrali Hesapla
24     I=w*f(x, y);
25
```

Yukarıdaki programın hesaplanması ölçülen verilerin miktarına göre kişisel bir bilgisayarda 1 gün ile 1 hafta arasında zaman almaktadır. Bu nedenle nümerik integral alma yöntemi tercih edilmemektedir.

3.3.2. “Kutupsal Tekrar Formatlama” Yöntemi

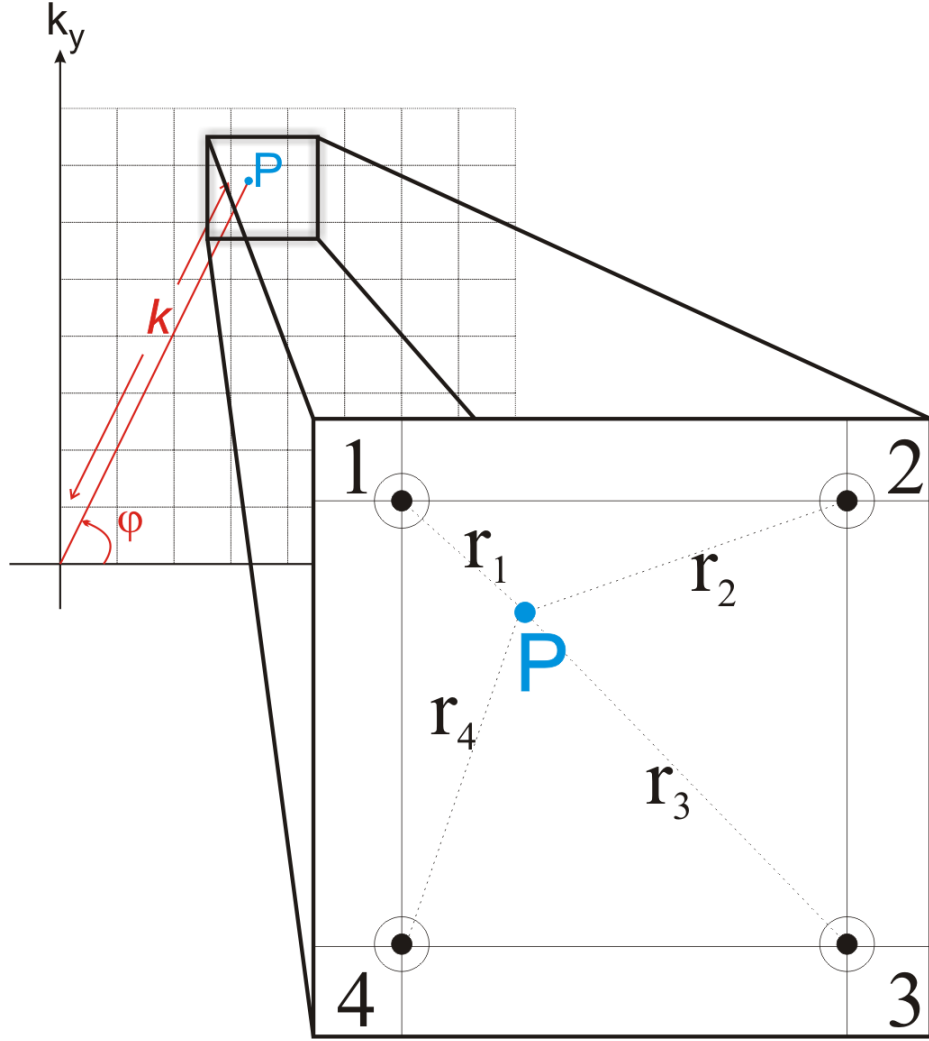
Ters Yapay Açıklıklı Radar Görüntülemeye bilinen en hızlı yöntem dar bant ve dar açıda Ters Hızlı Fourier Dönüşümü (THFD)’dür. Dar bant ve dar açıda KFD yöntemine dayanan THFD’yi rahatça uygulayabilmemizin nedeni ölçülen verilerin dikdörtgen kesikli ızgaraya yaklaşık olarak oturmasıdır.

Geniş bant – geniş açı TYAR görüntülemeye THFD kullanabilmemiz için ölçülen verilerin eşit aralıklı kesikli ızgaraya enterpole edilmesi gerekmektedir.



Şekil 3.8. Kutupsal Olarak Toplanan Verinin Kesitli Izgara Üzerindeki Yeri

Toplanan veriler kutupsal formatta (Şekil 3.8) olmasından dolayı öncelikle noktayı kartezyen koordinatlara dönüştürülüp o noktadaki ölçülen değeri Şekil 3.9 da gösterildiği üzere en yakın dört komşu noktaya dağıtarak “En Yakın Komşu Enterpolasyonu” [14] uygulanmalıdır. Bu süreçler uygulandıktan sonra veriler THFD yöntemi ile TYAR görüntüsü elde edilebilir.



Şekil 3.9. En Yakın Dört Komşu Nokta Enterpolasyonu

P noktasındaki saçılma miktarı A_P ve komşu dört noktaya düşen saçılma miktarı A_1, A_2, A_3, A_4 olarak tanımlanırsa dört en yakın komşu noktaya düşen yük dağılımı aşağıdaki gibi hesaplanabilir:

$$R = \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \frac{1}{r_3} + \frac{1}{r_4}$$

$$A_1 = A_P / (r_1 \cdot R)$$

$$A_2 = A_P / (r_2 \cdot R)$$

$$A_3 = A_P / (r_3 \cdot R)$$

$$A_4 = A_P / (r_4 \cdot R)$$

(3.5)

3.3.3. “Eşleşme Kovalama” Yöntemi

Eşleşme Kovalama (Matching Pursuit) yöntemi, çok boyutlu bir veri matrisi üzerinde, kılavuz sinyallere uyan “en iyi eşleşme” yansımasını bulan nümerik bir yöntemdir[25,26]. Belirli model sinyallerin toplamından oluşan f sinyalini atomlarına ayırarak atomların katsayıları hesaplanabilmektedir. Bu süreç için f sinyali içinde kullanılmış olma olasılığını düşündüğümüz, model sinyallerin sayısal sonuçları olan atomlardan (P_n) oluşan bir sözlüğe (D) ihtiyacımız olmaktadır.

$$E^s(k, \varphi) = \sum_{n=1}^N A_n \cdot P_n \quad (3.6)$$

$$P_n = \exp(-j2k * (\cos \varphi x + \sin \varphi y)) \quad (3.7)$$

Eşleşme kovalama algoritması [25,26]:

Giriş: $E^s(k, \varphi)$ sinyali

Çıkış: A_n, P_n katsayıları

Başlangıç:

$$E_R^S \leftarrow E^s$$

Tekrarla:

$$A_m = \max_{(x_m, y_m)} \{|E_R^S \cdot P_m^*(x_m, y_m)|\}$$

$$E_R^S \leftarrow E_R^S - A_m \cdot P_m$$

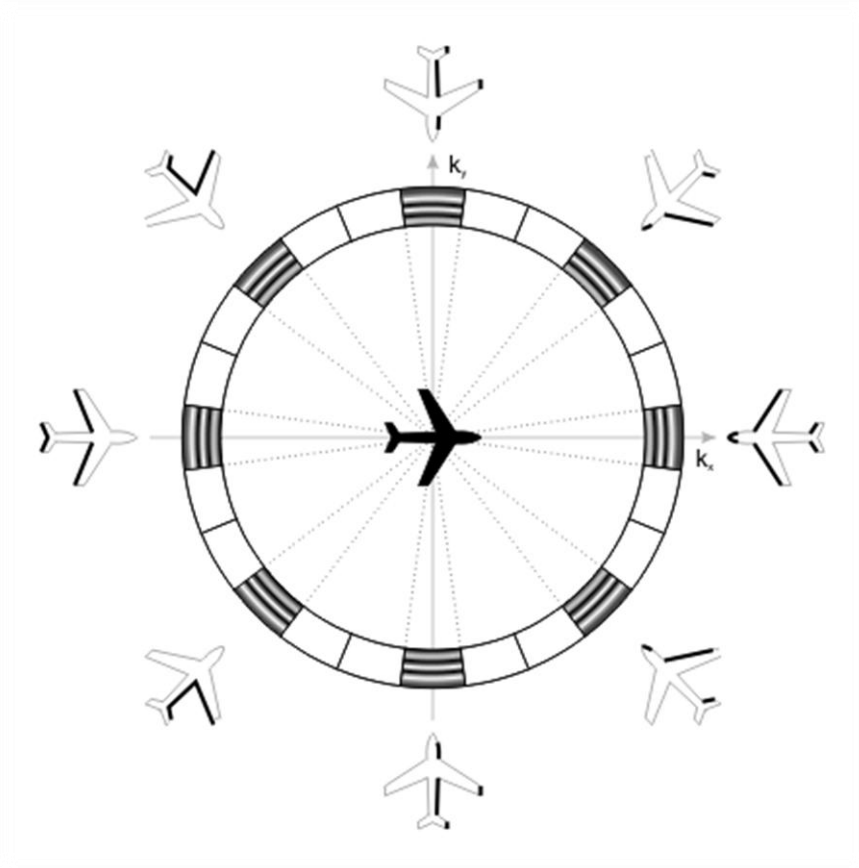
$$n = n + 1$$

Durma koşulu: $|E_R^S| < Eşik\ Değeri$

D sözlüğü, görüntülenecek alandaki bütün (x, y) noktalarının model sinyal değerini hesaplayarak elde edilmektedir. Ayrıca D sözlüğü içerisinde yer alan her P_n atomu için hangi (x, y) noktasından elde edildiğine dair bilgi saklanmalıdır. Yukarıdaki algoritma sonucunda elde edilen A_n ve P_n değerlerine bakılarak, P_n 'e karşılık gelen (x, y) koordinatlarında A_n şiddetinde saçılmalar çizilerek radar görüntüleri elde edilmektedir.

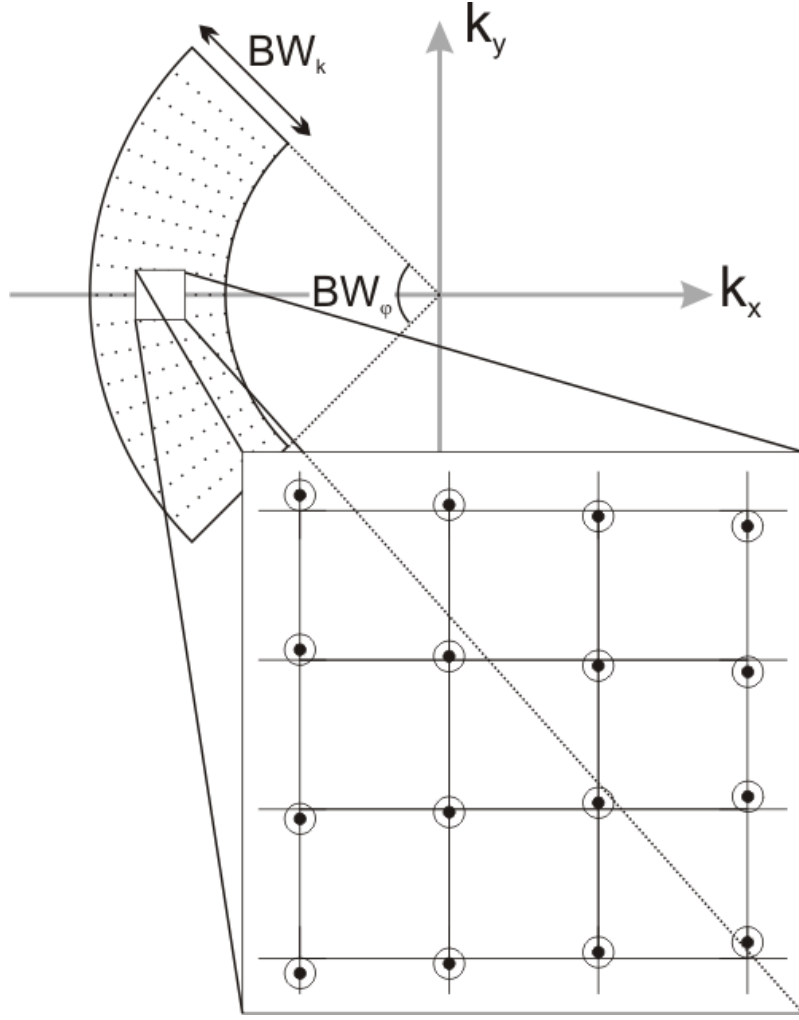
3.3.4. Alt Açıklık Yöntemi

Alt açıklık yöntemi, geniş bant geniş açı TYAR görüntülemeye alışlagelmiş yöntemlerden farklı bir görüntü elde etme yöntemidir. Bu alternatif yöntemde Fourier uzayındaki disk görünümdeki toplanan veriler, kareye yakın küçük parçalara bölünür (Şekil 3.10). Oluşacak alt parçalar, dar bant dar açı aralığında olacak şekilde parça sayısı seçilmelidir (Şekil 3.11). Verileri $M * N$ karesel alt parçaya böldükten sonra M değeri Frekansların değişimi üzerindeki parça sayısını, N değeri ise açılardan değişimi üzerindeki parça sayısını ifade etmektedir.



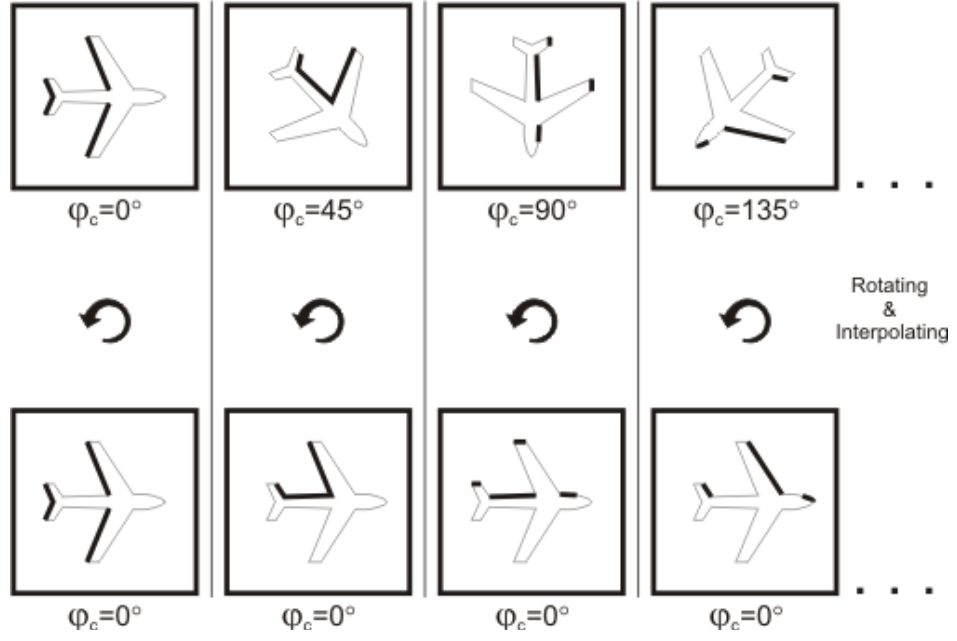
Şekil 3.10. Toplanan verilerin parçalara bölünmesi

Her bir alt görüntüyü oluşturmak için önceki aşamada elde edilen her alt parçanın dar bant dar açı da olması avantajı ile Hızlı Fourier Dönüşümü uygulanır. Bu aşamada her biri farklı merkez frekanslarında ve farklı bakış açılarında $M * N$ adet TYAR Görüntüsü elde edilir (Şekil 3.12).



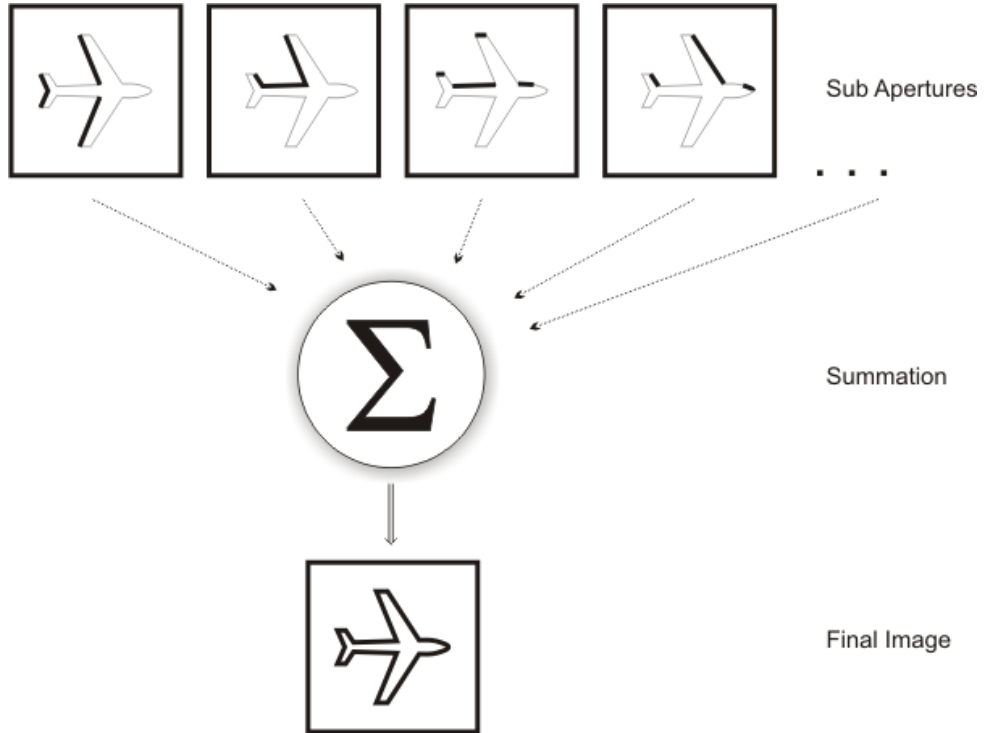
Şekil 3.11. Bölünen parçaların dar bant dar açılı da seçilmesi

Her alt TYAR görüntüsü farklı bakış açılarında olması nedeniyle kendi koordinat sistemlerinden genel koordinat sistemlerine çevrilmelidir. Elde edilecek tüm alt TYAR görüntüleri ilk imaj ile aynı bakış açısına getirilmelidir. Bu aşamada çevrilen ızgara genel koordinat sistemine (ilk imajın ızgarasına) genellikle oturmamaktadır. Bu nedenle çevrilen görüntü üzerine enterpolasyon [14] süreci uygulanmalıdır (Şekil 3.12).



Şekil 3.12. Elde edilen alt görüntüler, Çevirme ve Enterpolasyon

Tüm çevrilen alt TYAR görüntüleri toplanarak odaklanmış final TYAR görüntüsü elde edilmektedir (Şekil 3.13).

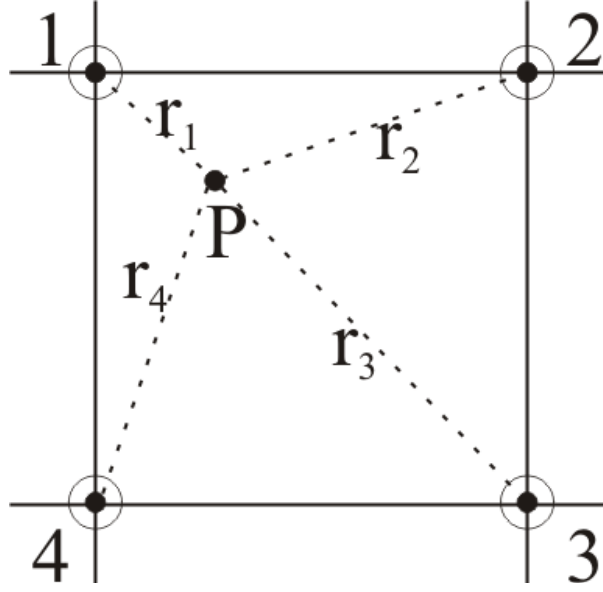


Şekil 3.13. Final TYAR Görüntüsü için Alt TYAR Görüntülerinin Toplanması

3.3.4.1. Metodun Sinyal İşleme Süreçleri

Bu metot uygulanırken birçok sinyal işleme süreçleri dikkatli bir şekilde uygulanmıştır.

- i. Toplanan veriler, $M * N$ parçaya bölünürken, yeni parça dar bant dar açılı yaklaşımını sağlamalıdır. Bu kriterin sağlanması, TYAR görüntülerinin hızlı bir şekilde FFT yardımı ile oluşturulması için gereklidir. Ancak her parçanın merkez frekansı, frekans bantgenişliğinden en az 10 kat büyük olmalıdır. Benzer olarak da her alt parçanın bantgenişliği yaklaşık 6° den az olmalıdır.
- ii. FFT ile görüntüleri elde ettikten sonra, her görüntünün menzil ve çapraz menzil eksenleri farklı olması nedeniyle koordinatların dönüşümü ihtiyacı doğmaktadır. Resme Kartezyen'den kutupsal formata dönüştürme işlemi uygulanır. Bu nedenle her alt TYAR görüntüsü kendi merkez açısı kadar çevrilmelidir.
- iii. Yerel koordinat sisteminde alt TYAR görüntülerine çevirme işlemi uygulandıktan sonra çevrilmiş görüntüler Kutupsal'dan Kartezyene dönüştürülmesinden dolayı ilk görüntünün ızgarasına düzgün bir biçimde oturmamaktadır. Bu nedenle tüm alt TYAR görüntülerine bir enterpolasyon yöntemi uygulanmalıdır. Bu tarz uygulamalarda genel enterpolasyon şekli "En Yakın Komşu Enterpolasyonu" (Nearest Neighbour Interpolation - NNI) dir[14].



Şekil 3.14. En Yakın Dört Komşu Enterpolasyonu

Birinci derece “En Yakın Dört Komşu Enterpolasyonu” süreci Şekil 3.V de gösterilmiştir. Eğer A_P P noktasının genliği ve r_1, r_2, r_3, r_4 P noktasının en yakın grid noktalarına uzaklığı ise bu grid noktaları uzaklıklarına göre orijinal noktadan aşağıdaki şekilde güncellenir:

$$R = \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \frac{1}{r_3} + \frac{1}{r_4} \quad (3.8)$$

$$A_1 = A_P / (r_1 \cdot R) \quad (3.9)$$

$$A_2 = A_P / (r_2 \cdot R) \quad (3.10)$$

$$A_3 = A_P / (r_3 \cdot R) \quad (3.11)$$

$$A_4 = A_P / (r_4 \cdot R) \quad (3.12)$$

Bu enterpolasyon süreci sonunda yeni veri, genel menzil ve çapraz menzil ızgarasına düzgün bir şekilde örneklenecek elde edilmiştir.

- iv. Birçok YAR / TYAR uygulamasında genel olarak öncelikle Hanning [15], ve Kaiser [16] gibi çerçeve fonksiyonu uygulanarak ölçüm veya hesaplamalardan kaynaklanan parazit filtrelenmektedir.
- v. Yukarıdaki süreçlerden sonra tüm alt TYAR görüntüleri eşit boyutlardadır. Son olarak tüm alt TYAR görüntü matrisleri toplanarak Final görüntü elde edilebilir.

4. BULGULAR VE TARTIŞMALAR

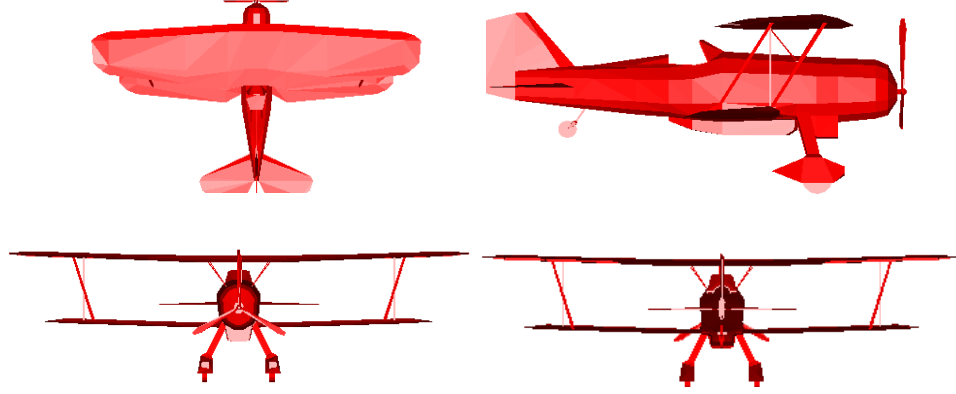
Bu çalışmada Planor uçağı, Mirage uçağı, AirBus uçağı, Malaya savaş gemisi, tank ve helikopter BDT modellerinin geniş bant geniş açı EM saçılma simülasyonları yapılarak, nümerik integral, kutupsal tekrar formatlama, eşleşme kovalama ve alt açıklık yöntemleri ile TYAR görüntüleri elde edilmiştir.

Nümerik integral yönteminde Birleştirilmiş Simpson[12] yaklaşımı uygulanmıştır. Kutupsal tekrar formatlama yöntemi ile HFD ızgarasına oturmayan veriler, enterpole edilerek ızgara üzerine dağıtılmıştır. Eşleşme kovalama yönteminde ise iterasyon sayısı, EM saçılma matrisindeki eleman sayısı ile ikinci dereceden bir ilişkiye sahiptir. Eşleşme kovalama yönteminin çok uzun sürmesine neden olan yüksek iterasyon sayısını azaltmak için yeni geliştirilen Alt Açıklık Yönteminden faydalanılmıştır.

Elde edilen Alt Açıklıkların eleman sayıları daha az olduğundan dolayı, alt açıklıklara eşleşme kovalama yöntemini uygulanıp çok daha kısa zaman zarfında TYAR görüntüleri elde edilmiştir.

4.1. PLANOR UÇAĞI BDT MODELİ İÇİN 2-B TYAR GÖRÜNTÜLEME BENZETİM SONUÇLARI

4.1.1 Planor Uçağı BDT Modeli için Simülasyon Parametreleri



Şekil 4.1. Planor Uçağının BDT Model Görüntüleri

1214 adet üçgencikten oluşan planor uçağının (Şekil 4.1) simülasyonu için ışın yoğunluğu 4 (ışın/dalgaboyu) olarak yapılmıştır.

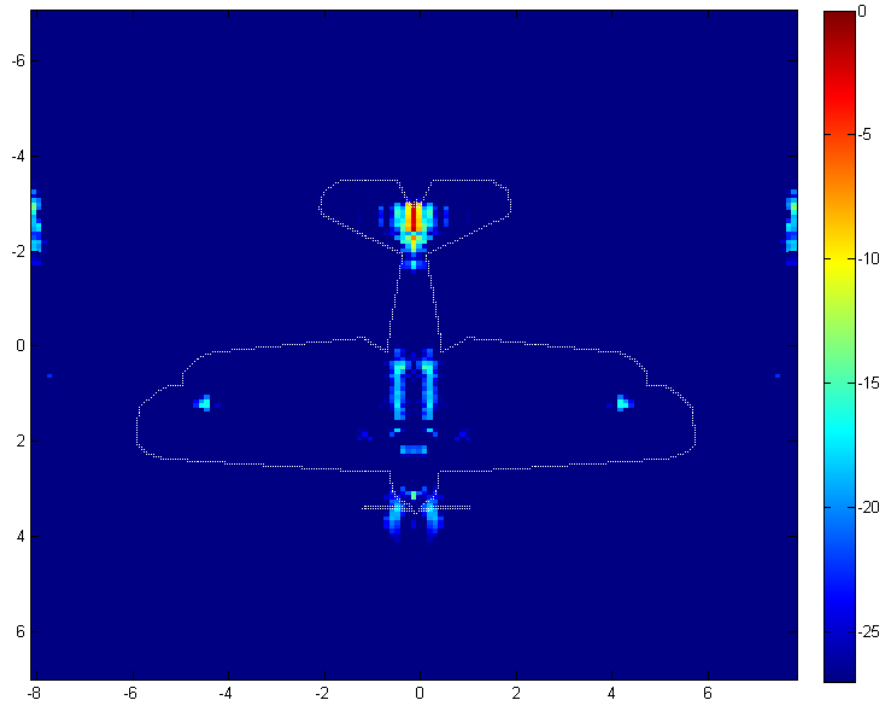
Çizelge 4.1. Planor Uçağı için Simülasyon Parametreleri

BW_f	0.6750 GHz	Δf	0.0107 GHz
BW_φ	179.6047°	$\Delta\varphi$	0.0877°
BW_x	14 metre	Δx	0.2187 m
BW_y	14 metre	Δy	0.0068 m
f_{min}	6.6571 GHz	φ_{min}	0°
f_{max}	7.3428 GHz	φ_{max}	179.6047°
M	64	N	2048

Bakış açısı $\theta = 90$, $\varphi = 0 - 179.6047^\circ$ arasında seçilmiştir. Açı değişimi 0.0877° olup $N = 2048$ adet örnekleme alınmıştır. Menzil ve çapraz menzil bantgenişlikleri ise $BW_x = 14 m$, $BW_y = 14m$ dir.

4.1.2 Planor Uçağının Nümerik İntegral Yöntemi ile Elde Edilen TYAR Görüntüsü

Bu yöntem ile EM saçılma verileri 2-B TYAR görüntüleme integrali nümerik olarak alınarak görüntüye çevrilmiştir. İntegral süreci 2 çekirdekli AMD Turion64 X2 TL-56 1.8 GHz işlemcili bir sistemde 1223 *sn* sürmüştür. Aynı işlem, 12 çekirdekten oluşan Intel Xeon X7460 2.66 GHz işlemcili bir sistemde 138 *sn* sürmüştür.

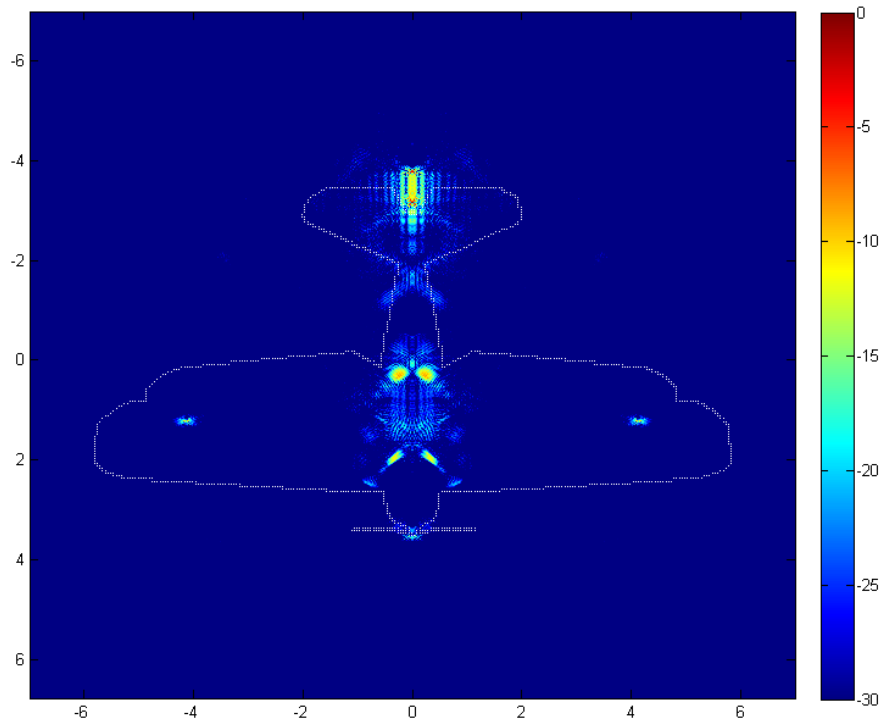


Şekil 4.2. Planor Uçağı için Nümerik İntegral Yöntemi ile Elde Edilen 2-B TYAR Görüntüsü

Bu görüntünün elde edilmesinde herhangi bir pencereleme işlemi yapılmamıştır.

4.1.3 Planor Uçağının Kutupsal Tekrar Formatlama Yöntemi ile Elde Edilen TYAR Görüntüsü

Bu yöntem ile EM saçılma verileri en yakın 4 komşu enterpolasyonu ile düzgün kesikli bir ızgara üzerine dağıtılmıştır. Enterpolasyon süreci ve 2-B TYAR görüntüsünün elde edilmesi 2 çekirdekli AMD Turion64 X2 TL-56 1.8 GHz işlemcili bir sistemde 7.7552 sn sürmüştür. Aynı işlem, 12 çekirdekten oluşan Intel Xeon X7460 2.66 GHz işlemcili bir sistemde 2.5158 sn sürmüştür.

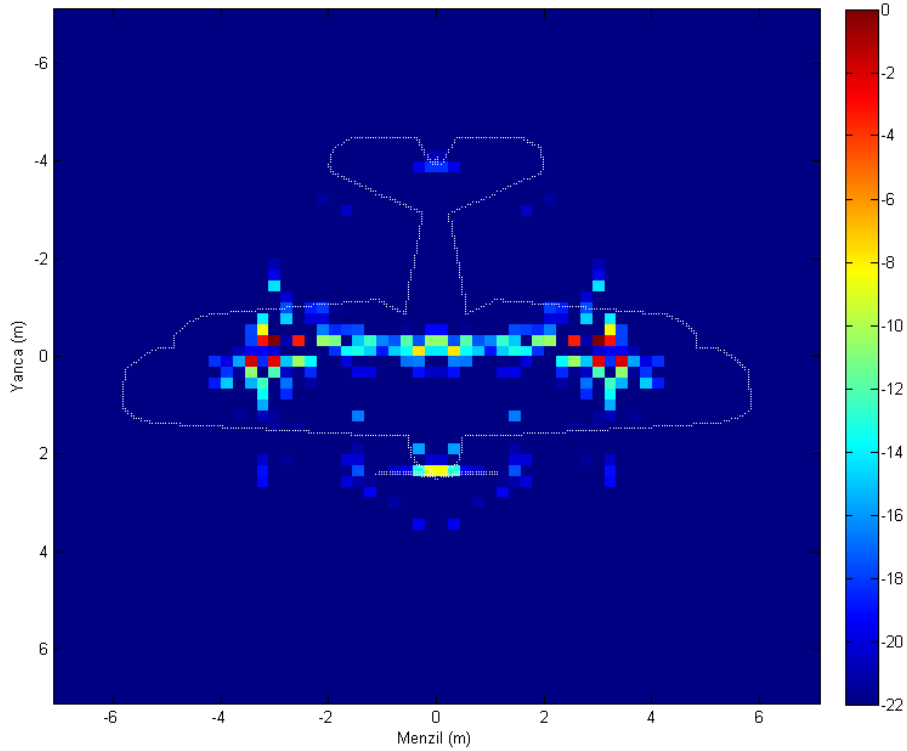


Şekil 4.3. Planor Uçağı için Kutupsal Tekrar Formatlama Yöntemi ile Elde Edilen 2-B TYAR Görüntüsü

Bu görüntünün elde edilmesinde görüntünün iyileştirilmesi amacı ile Hanning[23] pencereleme tekniği kullanılmıştır.

4.1.4 Planor Uçağının Eşleşme Kovalama Yöntemi ile Elde Edilen TYAR Görüntüsü

Bu yöntem ile EM saçılma verileri $5,6128^\circ$ lik 32 adet parçaya bölünmüştür. Toplamda 32 kare üzerinde eşleşme kovalama yöntemi uygulanması, 12 çekirdekten oluşan Intel Xeon X7460 2.66 GHz işlemcili bir sistemde 110 dk sürmüştür.

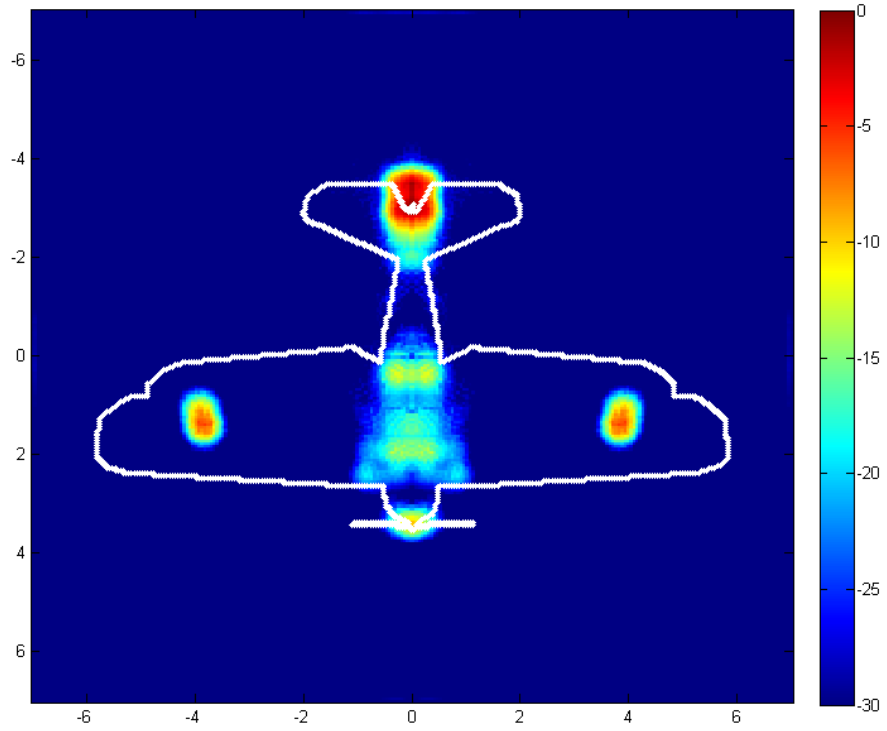


Şekil 4.4. Planor Uçağı için Eşleşme Kovalama Yöntemi ile Elde Edilen 2-B TYAR Görüntüsü

Bu görüntünün elde edilmesinde herhangi bir pencereleme tekniği uygulanmamıştır.

4.1.5 Planor Uçağının Alt Açıklık Yöntemi ile Elde Edilen TYAR Görüntüsü

Bu yöntem ile EM saçılma verileri $5,6128^\circ$ lik 32 adet parçaya bölünmüştür. Toplamda 32 kare 2-B TYAR görüntüsünün elde edilmesi ve toplanması 2 çekirdekli AMD Turion64 X2 TL-56 1.8 GHz işlemcili bir sistemde 88.1636 sn sürmüştür. Aynı işlem, 12 çekirdekten oluşan Intel Xeon X7460 2.66 GHz işlemcili bir sistemde 41.8190 sn sürmüştür.



Şekil 4.5. Planor Uçağı için Alt Açıklık Yöntemi ile Elde Edilen 2-B TYAR Görüntüsü

Bu görüntünün elde edilmesinde görüntünün iyileştirilmesi amacı ile Hanning[23] pencereleme tekniği kullanılmıştır.

4.1.6 Planor Uçağının Elde Edilen TYAR Görüntülerinin İncelenmesi

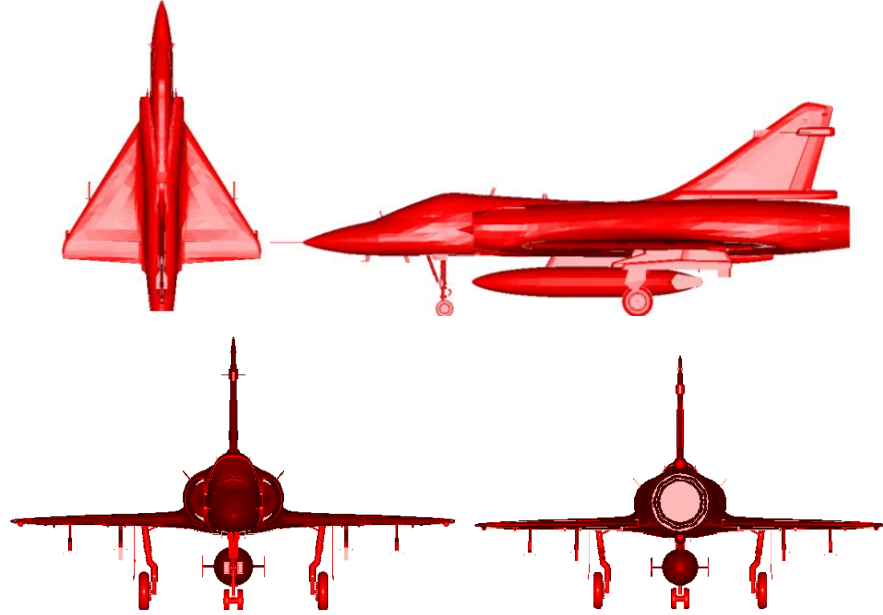
Planor uçağı için uygulanan nümerik integral, kutupsal tekrar formatlama, eşleşme kovalama ve alt açıklık yöntemleri ile elde edilen TYAR görüntülerinin karşılaştırmalı değerleri Çizelge 4.2 de yer almaktadır:

Çizelge 4.2. Planor uçağı TYAR görüntüleri için karşılaştırma sonuçları

Yöntem	Hesaplama Süresi	Çözünürlük (pixel)	Parazit Eşiği (dB)
Nümerik İntegral	138 sn	131072 px	-35dB
Kutupsal Tekrar Formatlama	2.5158 sn	819200 px	-33dB
Eşleşme Kovalama	6600 sn	4096 px	-25dB
Alt Açıklık	41.8190 sn	4096 px	-40dB

4.2. MIRAGE UÇAĞI BDT MODELİ İÇİN 2-B TYAR GÖRÜNTÜLEME BENZETİM SONUÇLARI

4.2.1 Mirage Uçacağı BDT Modeli için Simülasyon Parametreleri



Şekil 4.6. Mirage Uçacağının BDT Model Görüntüleri

78416 adet üçgencikten oluşan Mirage Uçacağının (Şekil 4.6) simülasyonu için ışın yoğunluğu 4 (ışın/dalgaboyu) olarak yapılmıştır.

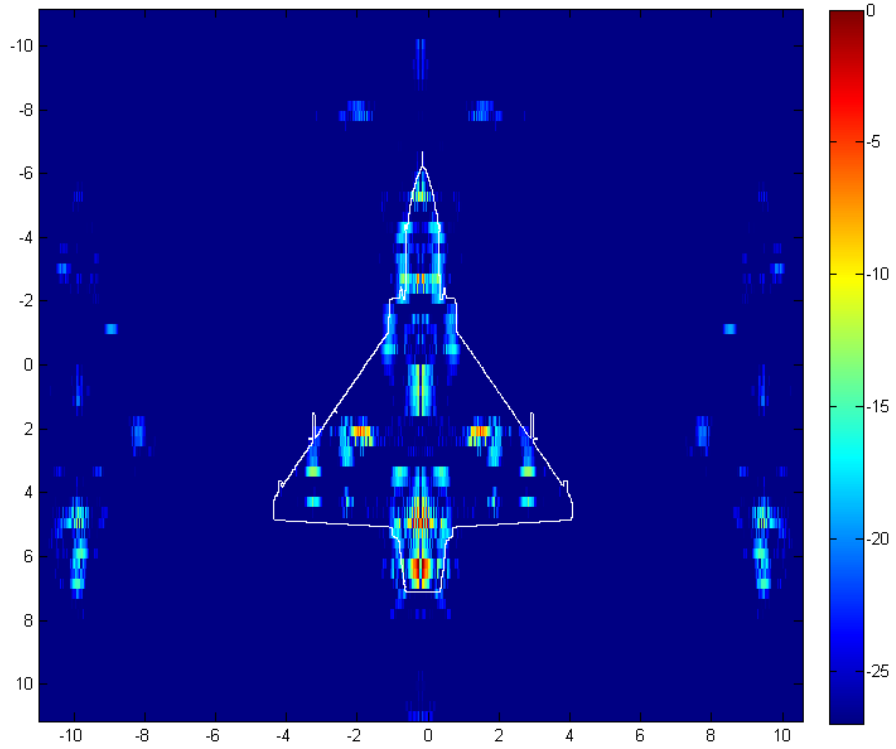
Çizelge 4.3. Mirage Uçacağı için Simülasyon Parametreleri

BW_f	0.48 GHz	Δf	0.0075 GHz
BW_φ	183.3464°	$\Delta\varphi$	0.0716°
BW_x	20 metre	Δx	0.3125 m
BW_y	20 metre	Δy	0.0078 m
f_{min}	5.76 GHz	φ_{min}	0°
f_{max}	6.24 GHz	φ_{max}	183.3464°
M	64	N	2560

Bakış açısı $\theta = 90$, $\varphi = 0 - 183.3464^\circ$ arasında seçilmiştir. Açı değişimi 0.0716° olup $N = 2560$ adet örnekleme alınmıştır. Menzil ve çapraz menzil bantgenişlikleri ise $BW_x = 20 m$, $BW_y = 20 m$ dir.

4.2.2 Mirage Uçağının Nümerik İntegral Yöntemi ile Elde Edilen TYAR Görüntüsü

Bu yöntem ile EM saçılma verileri 2-B TYAR görüntüleme integralinin nümerik olarak alınarak görüntüye çevrilmiştir. İntegral süreci 2 çekirdekli AMD Turion64 X2 TL-56 1.8 GHz işlemcili bir sistemde 13034 sn sürmüştür. Aynı işlem, 12 çekirdekten oluşan Intel Xeon X7460 2.66 GHz işlemcili bir sistemde 1470 sn sürmüştür.

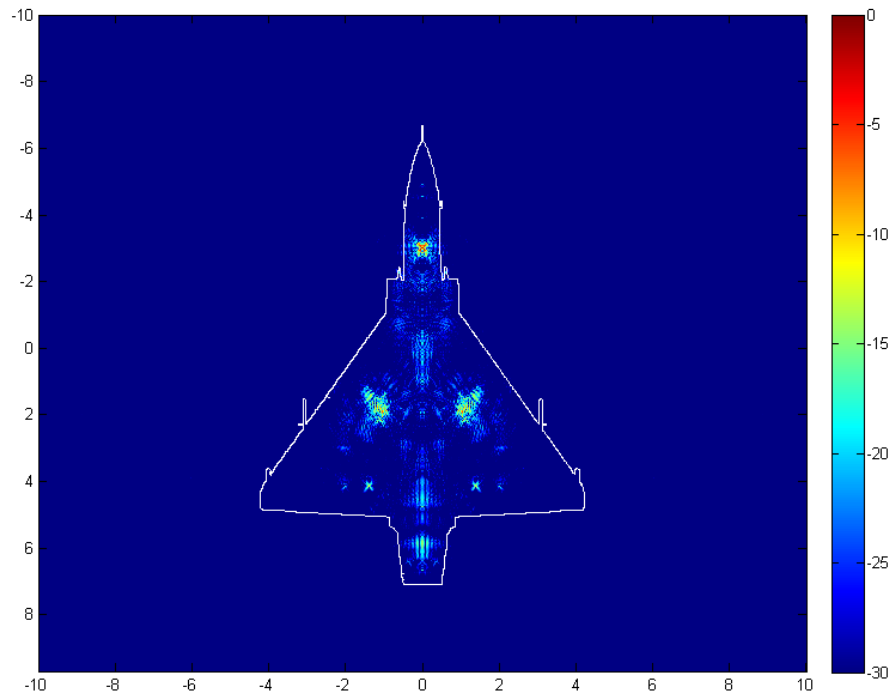


Şekil 4.7. Mirage Uçağı için Nümerik İntegral Yöntemi ile Elde Edilen 2-B TYAR Görüntüsü

Bu görüntünün elde edilmesinde herhangi bir pencereleme işlemi yapılmamıştır.

4.2.3 Mirage Uçağının Kutupsal Tekrar Formatlama Yöntemi ile Elde Edilen TYAR Görüntüsü

Bu yöntem ile EM saçılma verileri en yakın 4 komşu enterpolasyonu ile düzgün kesikli bir ızgara üzerine dağıtılmıştır. Enterpolasyon süreci ve 2-B TYAR görüntüsünün elde edilmesi 2 çekirdekli AMD Turion64 X2 TL-56 1.8 GHz işlemcili bir sistemde 4.3537 sn sürmüştür. Aynı işlem, 12 çekirdekten oluşan Intel Xeon X7460 2.66 GHz işlemcili bir sistemde 2.0656 sn sürmüştür.

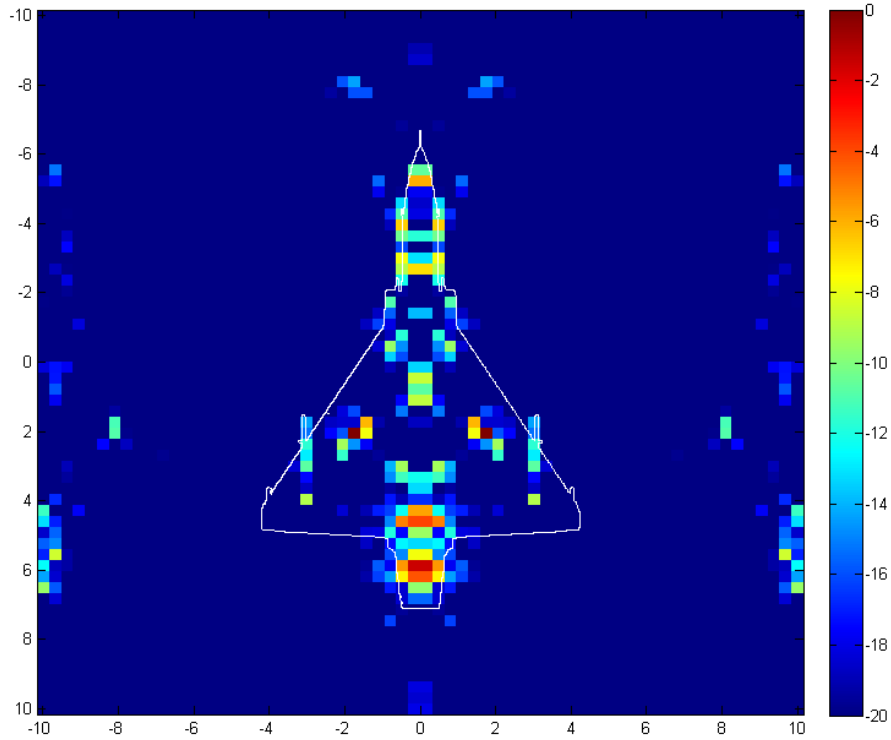


Şekil 4.8. Mirage Uçağı için Kutupsal Tekrar Formatlama Yöntemi ile Elde Edilen 2-B TYAR Görüntüsü

Bu görüntünün elde edilmesinde görüntünün iyileştirilmesi amacı ile Hanning[23] pencereleme tekniği kullanılmıştır.

4.2.4 Mirage Uçağının Eşleşme Kovalama Yöntemi ile Elde Edilen TYAR Görüntüsü

Bu yöntem ile EM saçılma verileri $4,5824^\circ$ lik 40 adet parçaya bölünmüştür. Toplamda 40 kare üzerinde eşleşme kovalama yöntemi uygulanması, 12 çekirdekten oluşan Intel Xeon X7460 2.66 GHz işlemcili bir sistemde 40 dk sürmüştür.

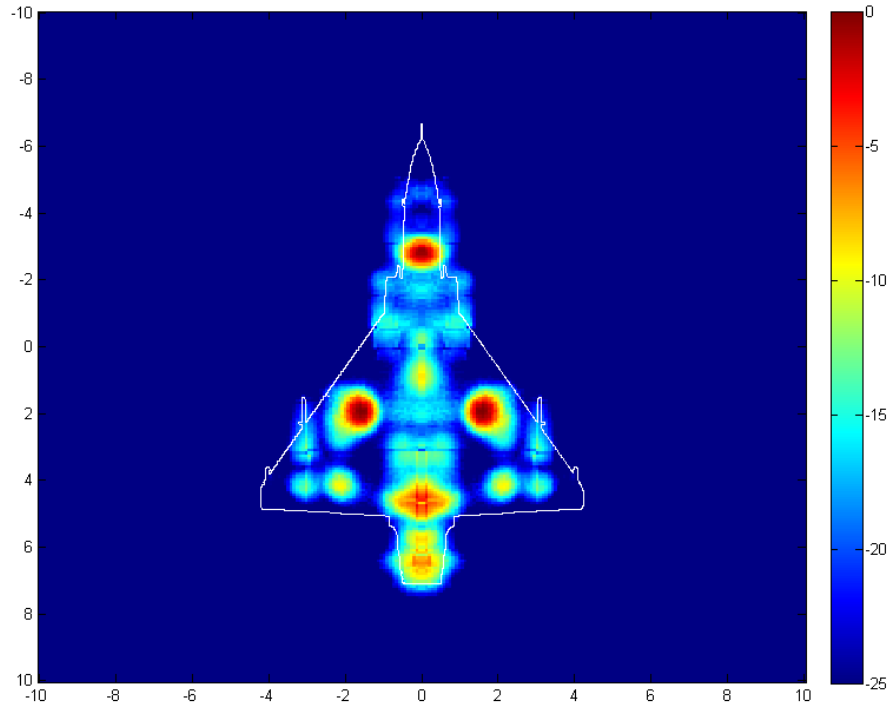


Şekil 4.9. Mirage Uçağı için Eşleşme Kovalama Yöntemi ile Elde Edilen 2-B TYAR Görüntüsü

Bu görüntünün elde edilmesinde herhangi bir pencereleme tekniği uygulanmamıştır.

4.2.5 Mirage Uçağının Alt Açıklık Yöntemi ile Elde Edilen TYAR Görüntüsü

Bu yöntem ile EM saçılma verileri $4,5824^\circ$ lik 40 adet parçaya bölünmüştür. Toplamda 40 kare 2-B TYAR görüntüsünün elde edilmesi ve toplanması 2 çekirdekli AMD Turion64 X2 TL-56 1.8 GHz işlemcili bir sistemde 112.9898 sn sürmüştür. Aynı işlem, 12 çekirdekten oluşan Intel Xeon X7460 2.66 GHz işlemcili bir sistemde 52.2992 sn sürmüştür.



Şekil 4.10. Mirage Uçağı için Alt Açıklık Yöntemi ile
Elde Edilen 2-B TYAR Görüntüsü

Bu görüntünün elde edilmesinde görüntünün iyileştirilmesi amacı ile Hanning[23] pencereleme tekniği kullanılmıştır.

4.2.6 Mirage Uçağının Elde Edilen TYAR Görüntülerinin İncelenmesi

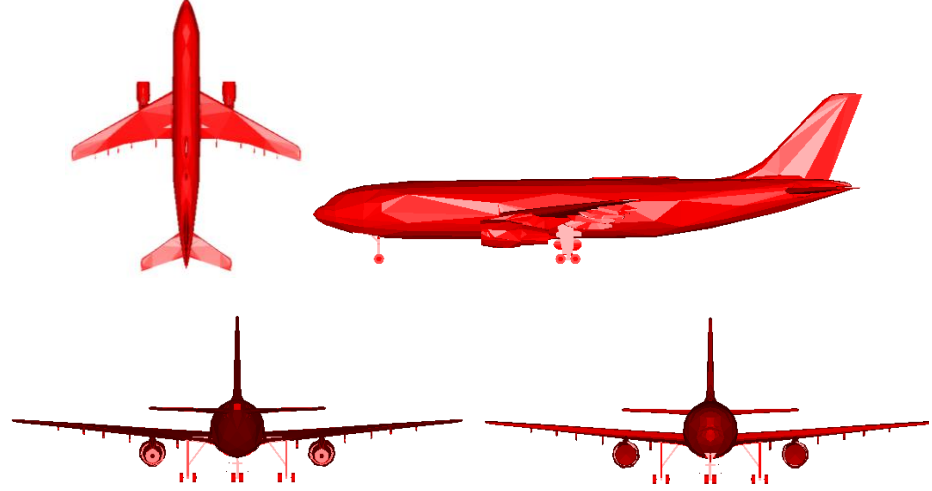
Mirage uçağı için uygulanan nümerik integral, kutupsal tekrar formatlama, eşleşme kovalama ve alt açıklık yöntemleri ile elde edilen TYAR görüntülerinin karşılaştırmalı değerleri Çizelge 4.4 de yer almaktadır:

Çizelge 4.4. Mirage uçağı TYAR görüntüleri için karşılaştırma sonuçları

Yöntem	Hesaplama Süresi	Çözünürlük (pixel)	Parazit Eşiği (dB)
Nümerik İntegral	1470 sn	163840 px	-27dB
Kutupsal Tekrar Formatlama	2.0656 sn	2048000 px	-35dB
Eşleşme Kovalama	2400 sn	4096 px	-20dB
Alt Açıklık	52.2992 sn	4096 px	-37dB

4.3. AIRBUS UÇAĞI BDT MODELİ İÇİN 2-B TYAR GÖRÜNTÜLEME BENZETİM SONUÇLARI

4.3.1 Airbus Uçağı BDT Modeli için Simülasyon Parametreleri



Şekil 4.11. Airbus Uçağının BDT Model Görüntüleri

3592 adet üçgençikten oluşan Airbus uçağının (Şekil 4.11) simülasyonu için ışın yoğunluğu 4 (ışın/dalgaboyu) olarak yapılmıştır.

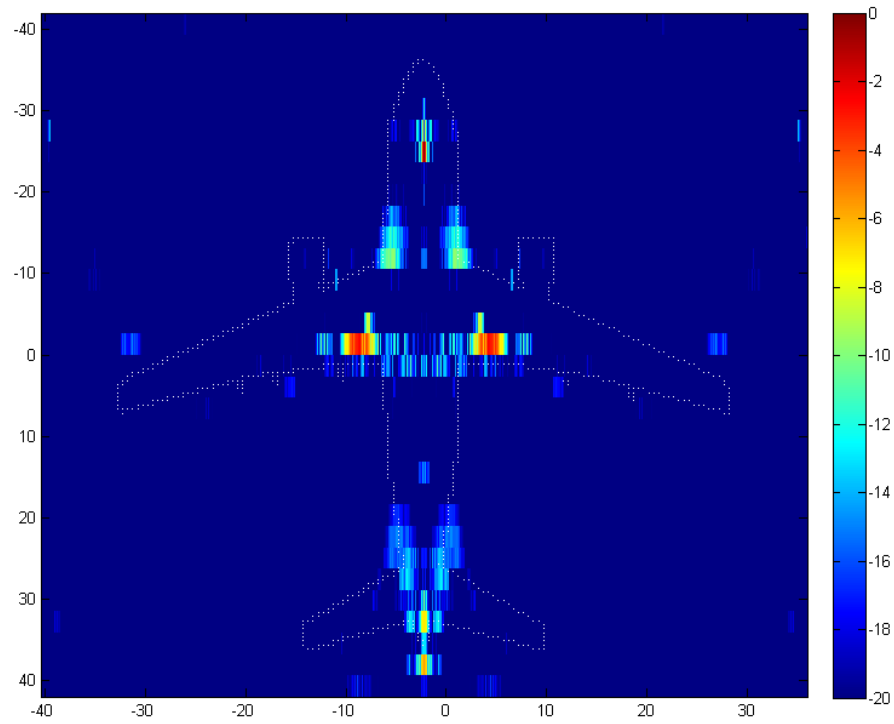
Çizelge 4.5. Airbus Uçağı için Simülasyon Parametreleri

BW_f	0.0608GHz	Δf	0.0019 GHz
BW_φ	180.0000°	$\Delta\varphi$	0.0270°
BW_x	80 metre	Δx	2.4671 m
BW_y	79.4501 metre	Δy	0.0119 m
f_{min}	3.9696 GHz	φ_{min}	0°
f_{max}	4.0304 GHz	φ_{max}	180.0000°
M	32	N	6656

Bakış açısı $\theta = 90$, $\varphi = 0 - 180.0000^\circ$ arasında seçilmiştir. Açı değişimi 0.0270° olup $N = 6656$ adet örnekleme alınmıştır. Menzil ve çapraz menzil bantgenişlikleri ise $BW_x = 80 m$, $BW_y = 79.4501 m$ dir.

4.3.2 Airbus Uçağının Nümerik İntegral Yöntemi ile Elde Edilen TYAR Görüntüsü

Bu yöntem ile EM saçılma verileri 2-B TYAR görüntüleme integralinin nümerik olarak alınarak görüntüye çevrilmiştir. İntegral süreci 2 çekirdekli AMD Turion64 X2 TL-56 1.8 GHz işlemcili bir sistemde 28940 *sn* sürmüştür. Aynı işlem, 12 çekirdekten oluşan Intel Xeon X7460 2.66 GHz işlemcili bir sistemde 3264 *sn* sürmüştür.

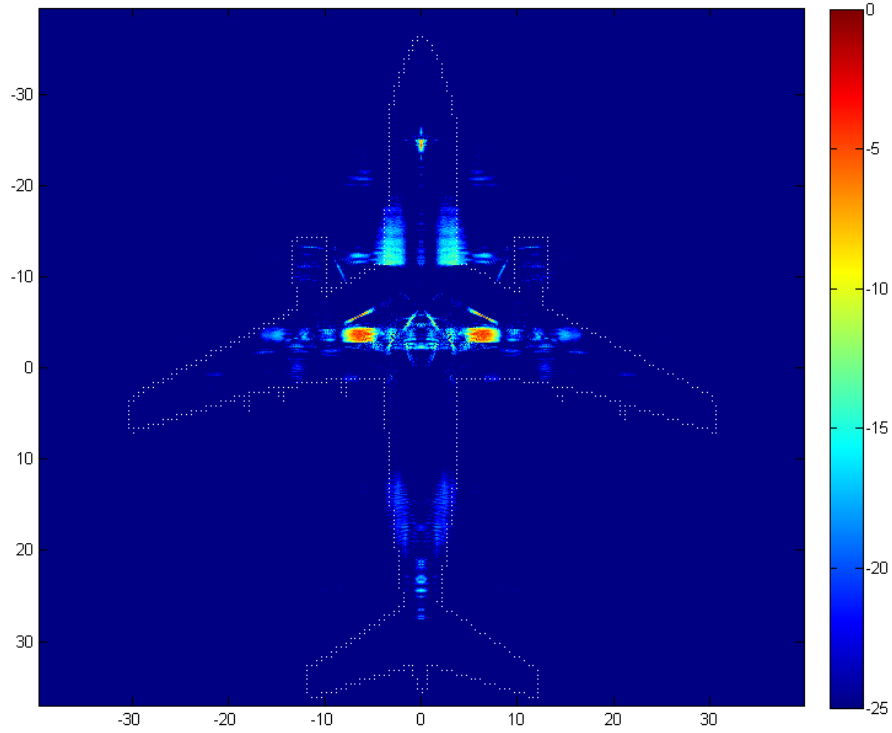


Şekil 4.12. Airbus Uçağı için Nümerik İntegral Yöntemi ile Elde Edilen 2-B TYAR Görüntüsü

Bu görüntünün elde edilmesinde herhangi bir pencereleme işlemi yapılmamıştır.

4.3.3 Airbus Uçağının Kutupsal Tekrar Formatlama Yöntemi ile Elde Edilen TYAR Görüntüsü

Bu yöntem ile EM saçılma verileri en yakın 4 komşu enterpolasyonu ile düzgün kesikli bir ızgara üzerine dağıtılmıştır. Enterpolasyon süreci ve 2-B TYAR görüntüsünün elde edilmesi 2 çekirdekli AMD Turion64 X2 TL-56 1.8 GHz işlemcili bir sistemde 8.4436 sn sürmüştür. Aynı işlem, 12 çekirdekten oluşan Intel Xeon X7460 2.66 GHz işlemcili bir sistemde 2.6211 sn sürmüştür.

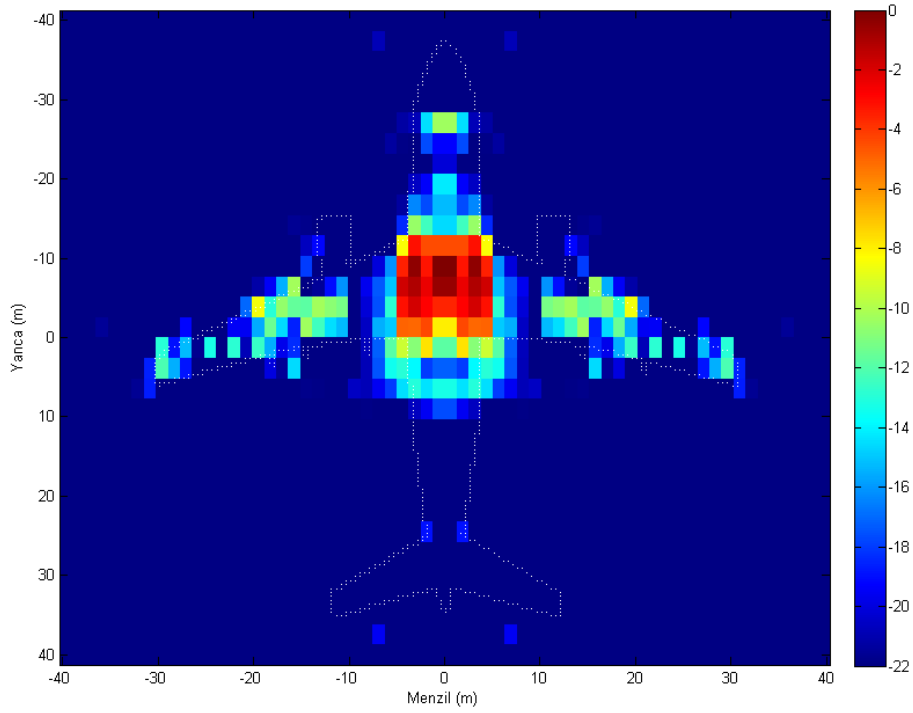


Şekil 4.13. Airbus Uçağı için Kutupsal Tekrar Formatlama Yöntemi ile Elde Edilen 2-B TYAR Görüntüsü

Bu görüntünün elde edilmesinde görüntünün iyileştirilmesi amacı ile Hanning[23] pencereleme tekniği kullanılmıştır.

4.3.4 Airbus Uçağının Eşleşme Kovalama Yöntemi ile Elde Edilen TYAR Görüntüsü

Bu yöntem ile EM saçılma verileri $1,7280^\circ$ lik 104 adet parçaya bölünmüştür. Toplamda 104 kare üzerinde eşleşme kovalama yöntemi uygulanması, 12 çekirdekten oluşan Intel Xeon X7460 2.66 GHz işlemcili bir sistemde 45 dk sürmüştür.

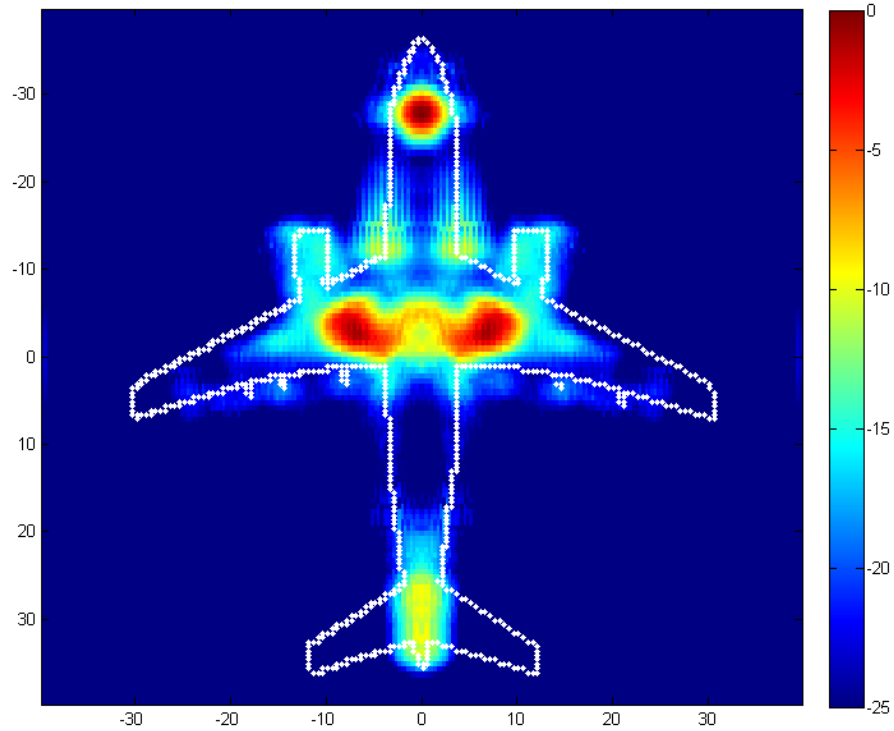


Şekil 4.14. Airbus Uçağı için Eşleşme Kovalama Yöntemi ile Elde Edilen 2-B TYAR Görüntüsü

Bu görüntünün elde edilmesinde herhangi bir pencereleme tekniği uygulanmamıştır.

4.3.5 Airbus Uçağının Alt Açıklık Yöntemi ile Elde Edilen TYAR Görüntüsü

Bu yöntem ile EM saçılma verileri $1,7280^\circ$ lik 104 adet parçaya bölünmüştür. Toplamda 104 kare 2-B TYAR görüntüsünün elde edilmesi ve toplanması 2 çekirdekli AMD Turion64 X2 TL-56 1.8 GHz işlemcili bir sistemde 143.0079 sn sürmüştür. Aynı işlem, 12 çekirdekten oluşan Intel Xeon X7460 2.66 GHz işlemcili bir sistemde 67.2187 sn sürmüştür.



Şekil 4.15. Airbus Uçağı için Alt Açıklık Yöntemi ile Elde Edilen 2-B TYAR Görüntüsü

Bu görüntünün elde edilmesinde görüntünün iyileştirilmesi amacı ile Hanning[23] pencereleme tekniğı kullanılmıştır.

4.3.6 Airbus Uçağının Elde Edilen TYAR Görüntülerinin İncelenmesi

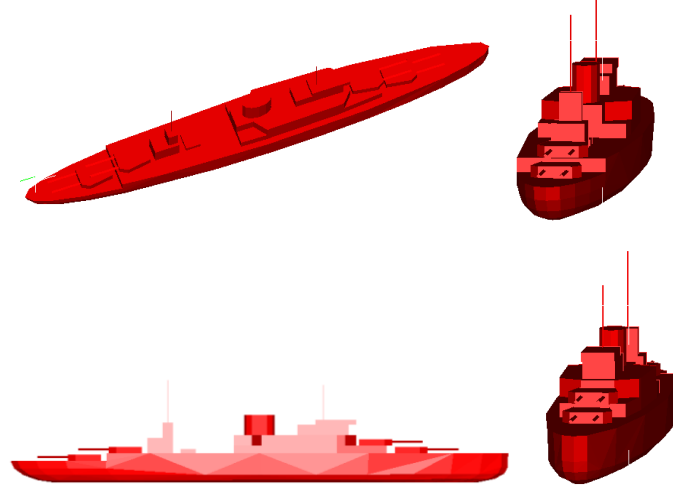
Airbus uçağı için uygulanan nümerik integral, kutupsal tekrar formatlama, eşleşme kovalama ve alt açıklık yöntemleri ile elde edilen TYAR görüntülerinin karşılaştırmalı değerleri Çizelge 4.6 de yer almaktadır:

Çizelge 4.6. Airbus uçağı TYAR görüntüleri için karşılaştırma sonuçları

Yöntem	Hesaplama Süresi	Çözünürlük (pixel)	Parazit Eşiği (dB)
Nümerik İntegral	3264 sn	163840 px	-25dB
Kutupsal Tekrar Formatlama	2.6211 sn	2048000 px	-27dB
Eşleşme Kovalama	2700 sn	4096 px	-22dB
Alt Açıklık	67.2187 sn	4096 px	-35dB

4.4. MALAYA SAVAŞ GEMİSİ BDT MODELİ İÇİN 2-B TYAR GÖRÜNTÜLEME BENZETİM SONUÇLARI

4.4.1 Malaya Savaş Gemisi BDT Modeli için Simülasyon Parametreleri



Şekil 4.16. Malaya Savaş Gemisinin BDT Model Görüntüleri

802 adet üçgencikten oluşan Malaya Savaş Gemisinin (Şekil 4.16) simülasyonu için ışın yoğunluğu 4 (ışın/dalgaboyu) olarak yapılmıştır.

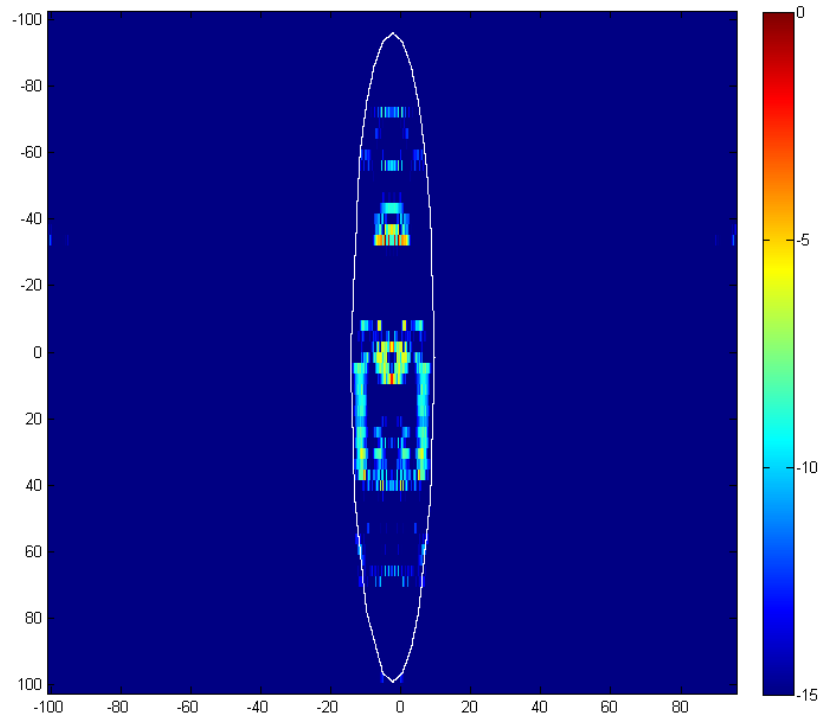
Çizelge 4.7. Malaya Savaş Gemisi için Simülasyon Parametreleri

BW_f	0.0480 GHz	Δf	0.00075 GHz
BW_φ	181.5130°	$\Delta\varphi$	0.0430°
BW_x	200 metre	Δx	3.1250 m
BW_y	200 metre	Δy	0.0474 m
f_{min}	0.976 GHz	φ_{min}	0°
f_{max}	1.024 GHz	φ_{max}	181.5130°
M	64	N	4224

Bakış açısı $\theta = 90$, $\varphi = 0 - 181.5130^\circ$ arasında seçilmiştir. Açı değişimi 0.0430° olup $N = 4224$ adet örnekleme alınmıştır. Menzil ve çapraz menzil bantgenişlikleri ise $BW_x = 200 m$, $BW_y = 200 m$ dir.

4.4.2 Malaya Savaş Gemisinin Nümerik İntegral Yöntemi ile Elde Edilen TYAR Görüntüsü

Bu yöntem ile EM saçılma verileri 2-B TYAR görüntüleme integralinin nümerik olarak alınarak görüntüye çevrilmiştir. İntegral süreci 2 çekirdekli AMD Turion64 X2 TL-56 1.8 GHz işlemcili bir sistemde 40972 *sn* sürmüştür. Aynı işlem, 12 çekirdekten oluşan Intel Xeon X7460 2.66 GHz işlemcili bir sistemde 4621 *sn* sürmüştür.

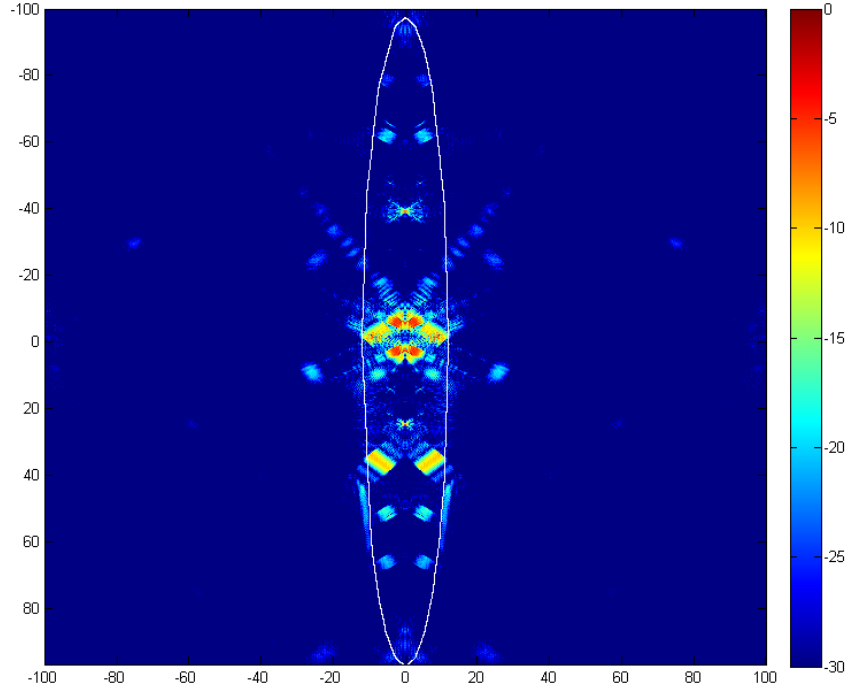


Şekil 4.17. Malaya Savaş Gemisi için Nümerik İntegral Yöntemi ile Elde Edilen 2-B TYAR Görüntüsü

Bu görüntünün elde edilmesinde herhangi bir pencereleme işlemi yapılmamıştır.

4.4.3 Malaya Savaş Gemisinin Kutupsal Tekrar Formatlama Yöntemi ile Elde Edilen TYAR Görüntüsü

Bu yöntem ile EM saçılma verileri en yakın 4 komşu enterpolasyonu ile düzgün kesikli bir ızgara üzerine dağıtılmıştır. Enterpolasyon süreci ve 2-B TYAR görüntüsünün elde edilmesi 2 çekirdekli AMD Turion64 X2 TL-56 1.8 GHz işlemcili bir sistemde 7.2749 *sn* sürmüştür. Aynı işlem, 12 çekirdekten oluşan Intel Xeon X7460 2.66 GHz işlemcili bir sistemde 3.1998 *sn* sürmüştür.

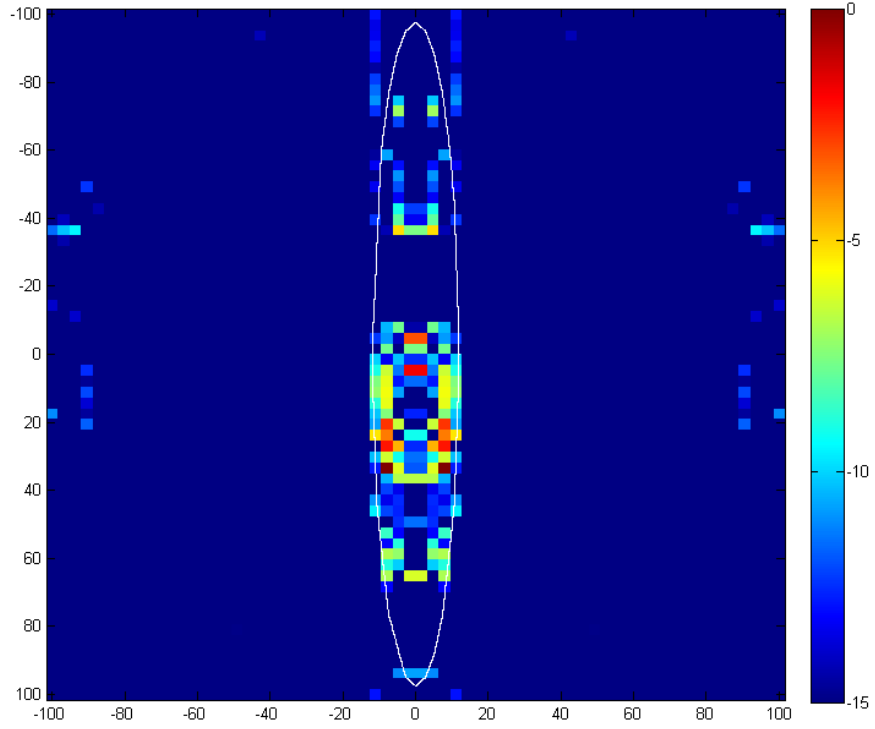


Şekil 4.18. Malaya Savaş Gemisi için Kutupsal Tekrar Formatlama Yöntemi ile Elde Edilen 2-B TYAR Görüntüsü

Bu görüntünün elde edilmesinde görüntünün iyileştirilmesi amacı ile Hanning[23] pencereleme tekniği kullanılmıştır.

4.4.4 Malaya Savaş Gemisinin Eşleşme Kovalama Yöntemi ile Elde Edilen TYAR Görüntüsü

Bu yöntem ile EM saçılma verileri $2,752^\circ$ lik 66 adet parçaya bölünmüştür. Toplamda 66 kare üzerinde eşleşme kovalama yöntemi uygulanması, 12 çekirdekten oluşan Intel Xeon X7460 2.66 GHz işlemcili bir sistemde 200 dk sürmüştür.

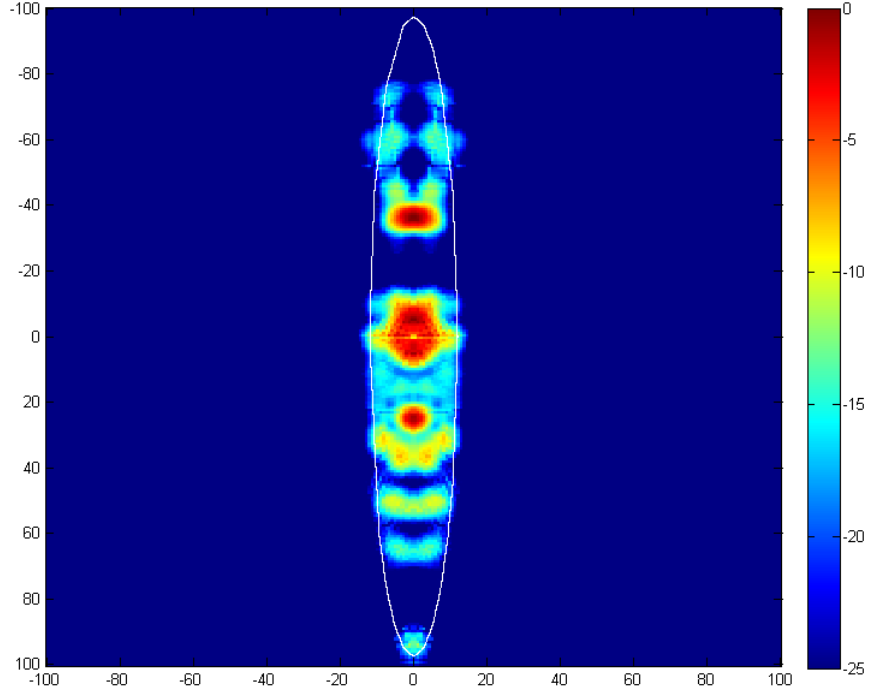


Şekil 4.19. Malaya Savaş Gemisi için Eşleşme Kovalama Yöntemi ile Elde Edilen 2-B TYAR Görüntüsü

Bu görüntünün elde edilmesinde herhangi bir pencereleme tekniği uygulanmamıştır.

4.4.5 Malaya Savaş Gemisinin Alt Açıklık Yöntemi ile Elde Edilen TYAR Görüntüsü

Bu yöntem ile EM saçılma verileri $2,7520^\circ$ lik 66 adet parçaya bölünmüştür. Toplamda 66 kare 2-B TYAR görüntüsünün elde edilmesi ve toplanması 2 çekirdekli AMD Turion64 X2 TL-56 1.8 GHz işlemcili bir sistemde 180.8868 sn sürmüştür. Aynı işlem, 12 çekirdekten oluşan Intel Xeon X7460 2.66 GHz işlemcili bir sistemde 87.1541 sn sürmüştür.



Şekil 4.20. Malaya Savaş Gemisi için Alt Açıklık Yöntemi ile Elde Edilen 2-B TYAR Görüntüsü

Bu görüntünün elde edilmesinde görüntünün iyileştirilmesi amacı ile Hanning[23] pencereleme tekniği kullanılmıştır.

4.4.6 Malaya Savaş Gemisinin Elde Edilen TYAR Görüntülerinin İncelenmesi

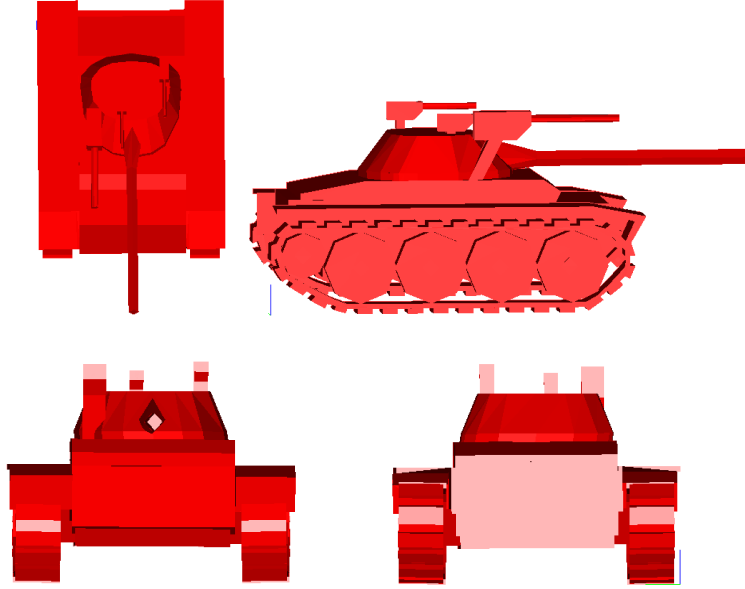
Malaya Savaş Gemisi için uygulanan nümerik integral, kutupsal tekrar formatlama, eşleşme kovalama ve alt açıklık yöntemleri ile elde edilen TYAR görüntülerinin karşılaştırmalı değerleri Çizelge 4.8 de yer almaktadır:

Çizelge 4.8. Malaya Savaş Gemisi TYAR görüntüleri için karşılaştırma sonuçları

Yöntem	Hesaplama Süresi	Çözünürlük (pixel)	Parazit Eşiği (dB)
Nümerik İntegral	4621 sn	270336 px	-25dB
Kutupsal Tekrar Formatlama	3.1998 sn	3087360 px	-30dB
Eşleşme Kovalama	12000 sn	4096 px	-15dB
Alt Açıklık	87.1541 sn	4096 px	-38dB

4.5. TANK BDT MODELİ İÇİN 2-B TYAR GÖRÜNTÜLEME BENZETİM SONUÇLARI

4.5.1 Tank BDT Modeli için Simülasyon Parametreleri



Şekil 4.21. Tankın BDT Model Görüntüleri

2208 adet üçgencikten oluşan Tankın (Şekil 4.21) simülasyonu için ışın yoğunluğu 4 (ışın/dalgaboyu) olarak yapılmıştır.

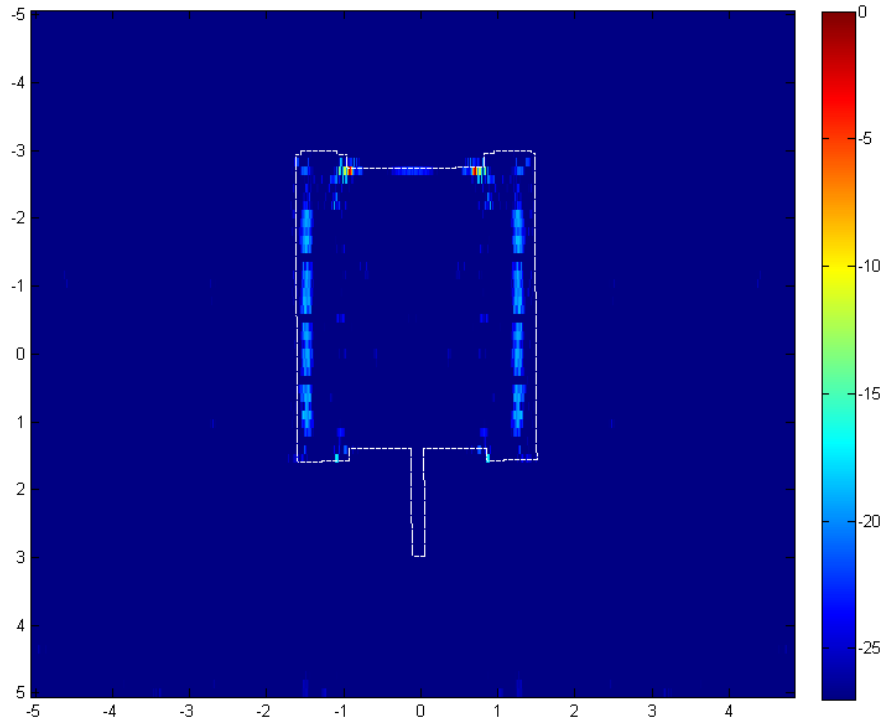
Çizelge 4.9. Tank için Simülasyon Parametreleri

BW_f	1.200 GHz	Δf	0.01875 GHz
BW_φ	180.4817°	$\Delta\varphi$	0.1343°
BW_x	8 metre	Δx	0.1270 m
BW_y	8 metre	Δy	0.0060 m
f_{min}	7.400 GHz	φ_{min}	0°
f_{max}	8.600 GHz	φ_{max}	180.4817°
M	64	N	1344

Bakış açısı $\theta = 90$, $\varphi = 0 - 180.4817^\circ$ arasında seçilmiştir. Açı değişimi 0.1343° olup $N = 1344$ adet örnekleme alınmıştır. Menzil ve çapraz menzil bantgenişlikleri ise $BW_x = 8 m$, $BW_y = 8 m$ dir.

4.5.2 Tankın Nümerik İntegral Yöntemi ile Elde Edilen TYAR Görüntüsü

Bu yöntem ile EM saçılma verileri 2-B TYAR görüntüleme integralinin nümerik olarak alınarak görüntüye çevrilmiştir. İntegral süreci 2 çekirdekli AMD Turion64 X2 TL-56 1.8 GHz işlemcili bir sistemde 13904 *sn* sürmüştür. Aynı işlem, 12 çekirdekten oluşan Intel Xeon X7460 2.66 GHz işlemcili bir sistemde 484 *sn* sürmüştür.

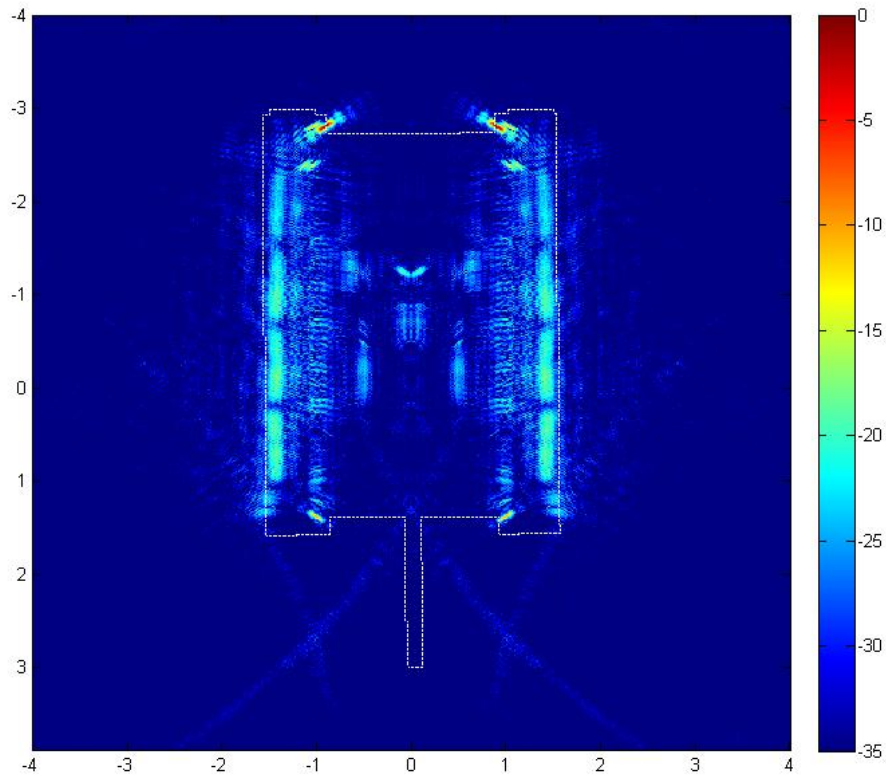


Şekil 4.22. Tank için Nümerik İntegral Yöntemi ile Elde Edilen 2-B TYAR Görüntüsü

Bu görüntünün elde edilmesinde herhangi bir pencereleme işlemi yapılmamıştır.

4.5.3 Tankın Kutupsal Tekrar Formatlama Yöntemi ile Elde Edilen TYAR Görüntüsü

Bu yöntem ile EM saçılma verileri en yakın 4 komşu enterpolasyonu ile düzgün kesikli bir ızgara üzerine dağıtılmıştır. Enterpolasyon süreci ve 2-B TYAR görüntüsünün elde edilmesi 2 çekirdekli AMD Turion64 X2 TL-56 1.8 GHz işlemcili bir sistemde 3.7757 *sn* sürmüştür. Aynı işlem, 12 çekirdekten oluşan Intel Xeon X7460 2.66 GHz işlemcili bir sistemde 2.5489 *sn* sürmüştür.

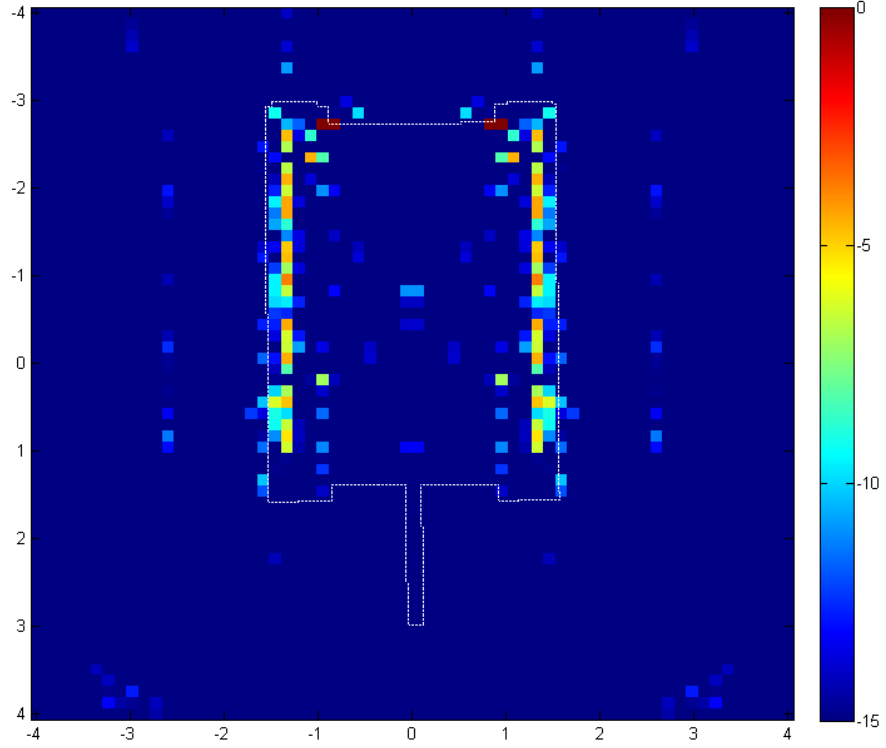


Şekil 4.23. Tank için Kutupsal Tekrar Formatlama Yöntemi ile Elde Edilen 2-B TYAR Görüntüsü

Bu görüntünün elde edilmesinde görüntünün iyileştirilmesi amacı ile Hanning[23] pencereleme tekniği kullanılmıştır.

4.5.4 Tankın Eşleşme Kovalama Yöntemi ile Elde Edilen TYAR Görüntüsü

Bu yöntem ile EM saçılma verileri $8,5952^\circ$ lik 21 adet parçaya bölünmüştür. Toplamda 21 kare üzerinde eşleşme kovalama yöntemi uygulanması, 12 çekirdekten oluşan Intel Xeon X7460 2.66 GHz işlemcili bir sistemde 110 dk sürmüştür.

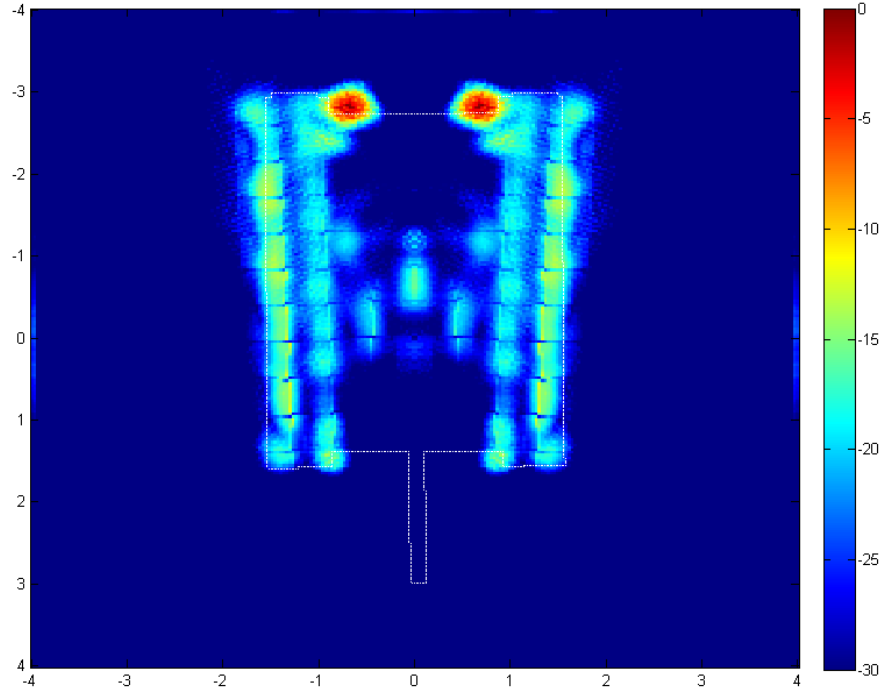


Şekil 4.24. Tank için Eşleşme Kovalama Yöntemi ile Elde Edilen 2-B TYAR Görüntüsü

Bu görüntünün elde edilmesinde herhangi bir pencereleme tekniği uygulanmamıştır.

4.5.5 Tankın Alt Açıklık Yöntemi ile Elde Edilen TYAR Görüntüsü

Bu yöntem ile EM saçılma verileri $8,5952^\circ$ lik 21 adet parçaya bölünmüştür. Toplamda 21 kare 2-B TYAR görüntüsünün elde edilmesi ve toplanması 2 çekirdekli AMD Turion64 X2 TL-56 1.8 GHz işlemcili bir sistemde 58.6320 sn sürmüştür. Aynı işlem, 12 çekirdekten oluşan Intel Xeon X7460 2.66 GHz işlemcili bir sistemde 26.7766 sn sürmüştür.



Şekil 4.25. Tank için Alt Açıklık Yöntemi ile
Elde Edilen 2-B TYAR Görüntüsü

Bu görüntünün elde edilmesinde görüntünün iyileştirilmesi amacı ile Hanning[23] pencereleme tekniği kullanılmıştır.

4.5.6 Tankın Elde Edilen TYAR Görüntülerinin İncelenmesi

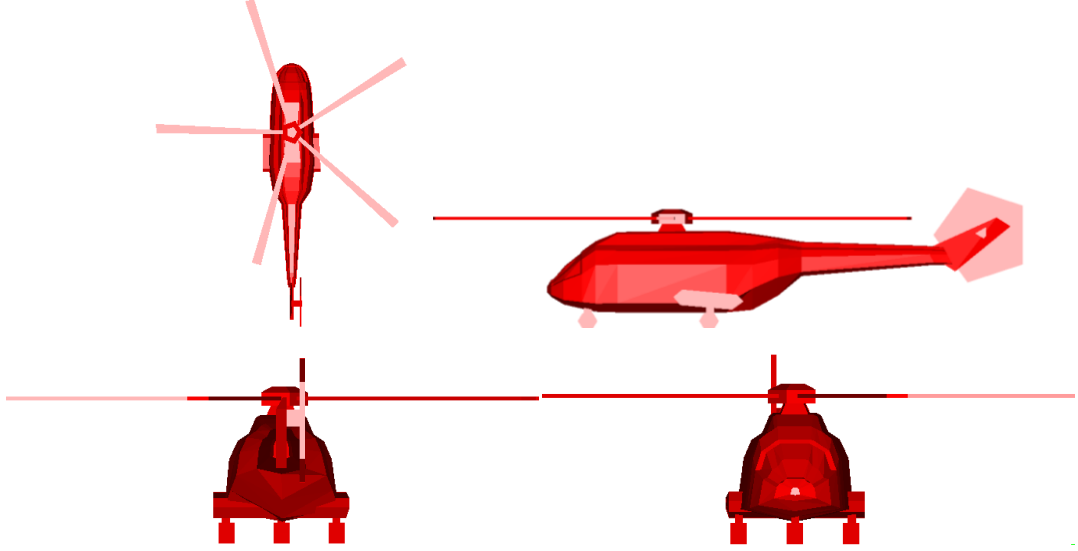
Tank için uygulanan nümerik integral, kutupsal tekrar formatlama, eşleşme kovalama ve alt açıklık yöntemleri ile elde edilen TYAR görüntülerinin karşılaştırmalı değerleri Çizelge 4.10 de yer almaktadır:

Çizelge 4.10. Tank TYAR görüntüleri için karşılaştırma sonuçları

Yöntem	Hesaplama Süresi	Çözünürlük (pixel)	Parazit Eşiği (dB)
Nümerik İntegral	484 sn	86016 px	-30dB
Kutupsal Tekrar Formatlama	2.5489 sn	401408 px	-33dB
Eşleşme Kovalama	6600 sn	4096 px	-15dB
Alt Açıklık	26.7766 sn	4096 px	-35dB

4.6. HELİKOPTER BDT MODELİ İÇİN 2-B TYAR GÖRÜNTÜLEME BENZETİM SONUÇLARI

4.6.1 Helikopter BDT Modeli için Simülasyon Parametreleri



Şekil 4.26. Helikopterin BDT Model Görüntüleri

594 adet üçgencikten oluşan Helikopterin (Şekil 4.26) simülasyonu için ışın yoğunluğu 4 (ışın/dalgaboyu) olarak yapılmıştır.

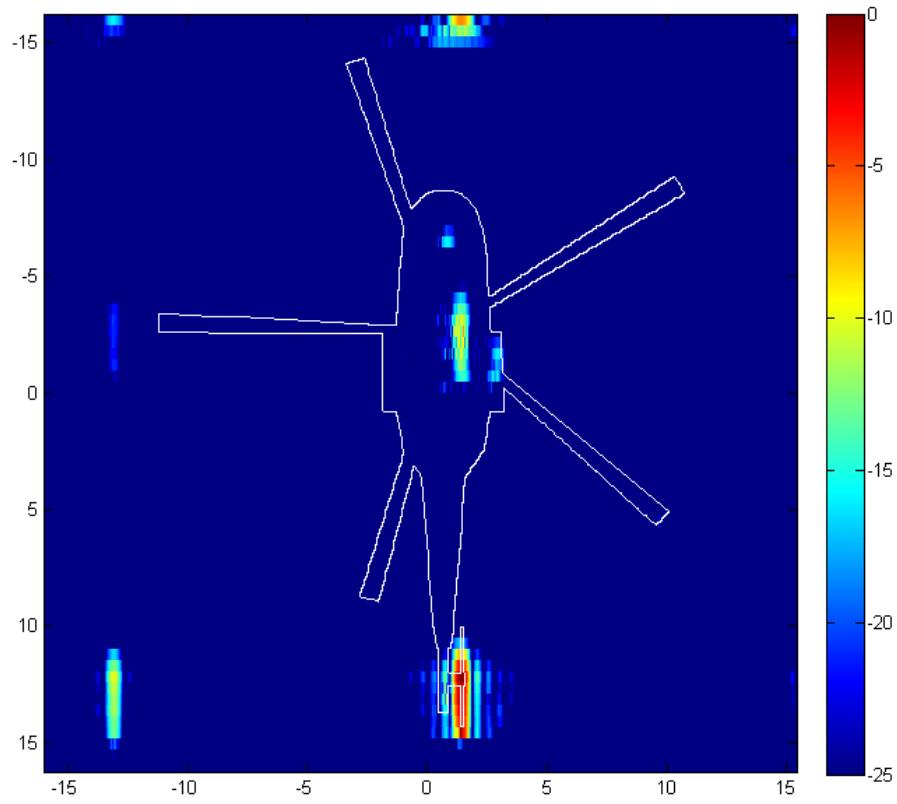
Çizelge 4.11. Helikopter için Simülasyon Parametreleri

BW_f	0.3200 GHz	Δf	0.0050 GHz
BW_φ	179.6795°	$\Delta\varphi$	0.0573°
BW_x	30 metre	Δx	0.4688 m
BW_y	30 metre	Δy	0.0096 m
f_{min}	4.84 GHz	φ_{min}	0°
f_{max}	5.16 GHz	φ_{max}	179.6795°
M	64	N	3136

Bakış açısı $\theta = 90$, $\varphi = 0 - 179.6795^\circ$ arasında seçilmiştir. Açı değişimi 0.0573° olup $N = 3136$ adet örnekleme alınmıştır. Menzil ve çapraz menzil bantgenişlikleri ise $BW_x = 30 m$, $BW_y = 30 m$ dir.

4.6.2 Helikopterin Nümerik İntegral Yöntemi ile Elde Edilen TYAR Görüntüsü

Bu yöntem ile EM saçılma verileri 2-B TYAR görüntüleme integralinin nümerik olarak alınarak görüntüye çevrilmiştir. İntegral süreci 2 çekirdekli AMD Turion64 X2 TL-56 1.8 GHz işlemcili bir sistemde 20180 *sn* sürmüştür. Aynı işlem, 12 çekirdekten oluşan Intel Xeon X7460 2.66 GHz işlemcili bir sistemde 2276 *sn* sürmüştür.

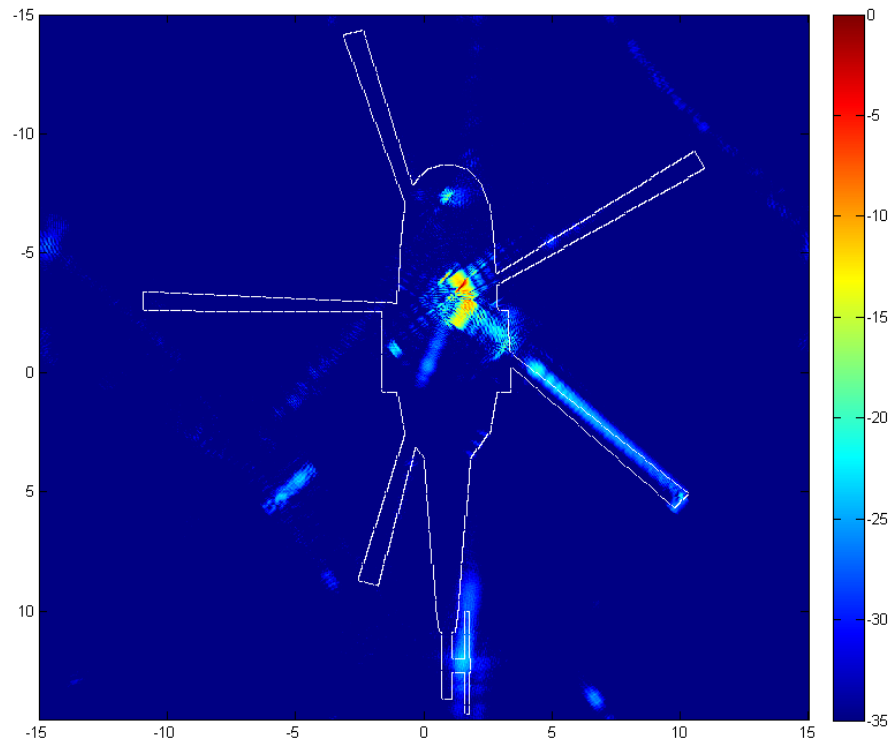


Şekil 4.27. Helikopter için Nümerik İntegral Yöntemi ile Elde Edilen 2-B TYAR Görüntüsü

Bu görüntünün elde edilmesinde herhangi bir pencereleme işlemi yapılmamıştır.

4.6.3 Helikopterin Kutupsal Tekrar Formatlama Yöntemi ile Elde Edilen TYAR Görüntüsü

Bu yöntem ile EM saçılma verileri en yakın 4 komşu enterpolasyonu ile düzgün kesikli bir ızgara üzerine dağıtılmıştır. Enterpolasyon süreci ve 2-B TYAR görüntüsünün elde edilmesi 2 çekirdekli AMD Turion64 X2 TL-56 1.8 GHz işlemcili bir sistemde 5.4093 sn sürmüştür. Aynı işlem, 12 çekirdekten oluşan Intel Xeon X7460 2.66 GHz işlemcili bir sistemde 2.2358 sn sürmüştür.

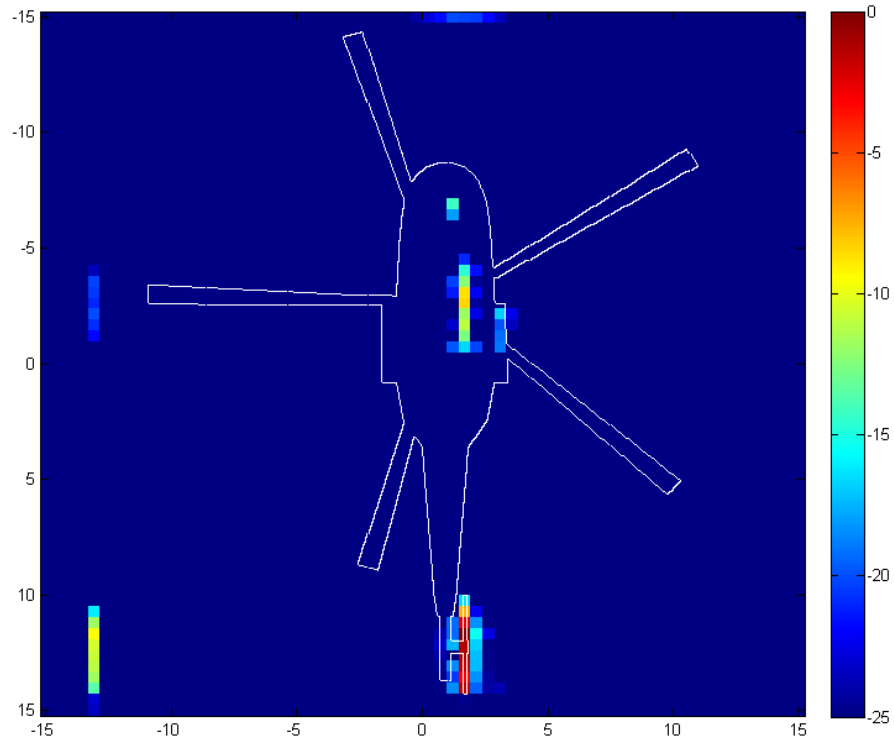


Şekil 4.28. Helikopter için Kutupsal Tekrar Formatlama Yöntemi ile Elde Edilen 2-B TYAR Görüntüsü

Bu görüntünün elde edilmesinde görüntünün iyileştirilmesi amacı ile Hanning[23] pencereleme tekniği kullanılmıştır.

4.6.4 Helikopterin Eşleşme Kovalama Yöntemi ile Elde Edilen TYAR Görüntüsü

Bu yöntem ile EM saçılma verileri $3,6672^\circ$ lik 49 adet parçaya bölünmüştür. Toplamda 49 kare üzerinde eşleşme kovalama yöntemi uygulanması, 12 çekirdekten oluşan Intel Xeon X7460 2.66 GHz işlemcili bir sistemde 110 dk sürmüştür.

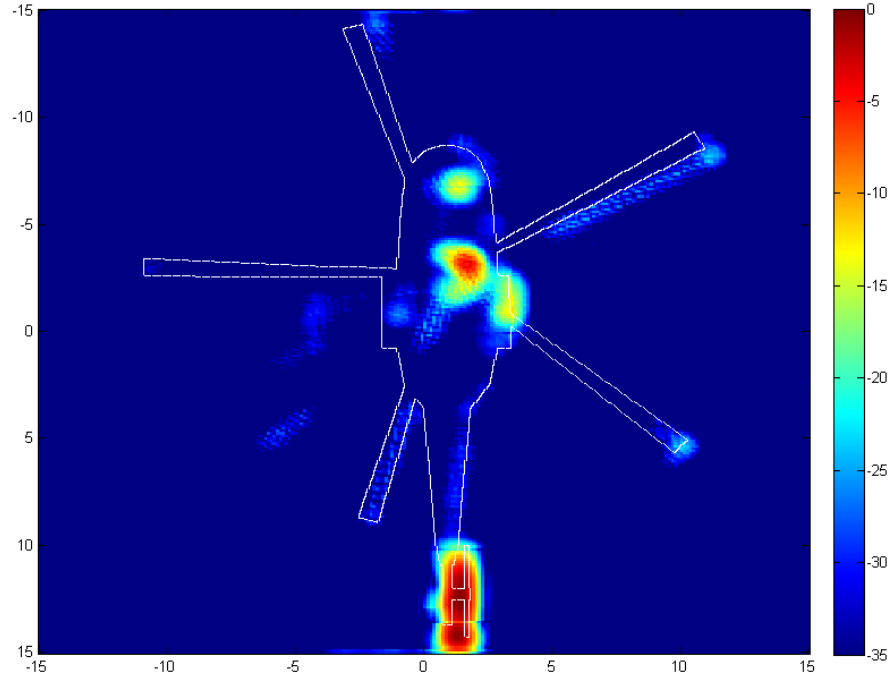


Şekil 4.29. Helikopter için Eşleşme Kovalama Yöntemi ile Elde Edilen 2-B TYAR Görüntüsü

Bu görüntünün elde edilmesinde herhangi bir pencereleme tekniği uygulanmamıştır.

4.6.5 Helikopterin Alt Açıklık Yöntemi ile Elde Edilen TYAR Görüntüsü

Bu yöntem ile EM saçılma verileri $3,6672^\circ$ lik 49 adet parçaya bölünmüştür. Toplamda 49 kare 2-B TYAR görüntüsünün elde edilmesi ve toplanması 2 çekirdekli AMD Turion64 X2 TL-56 1.8 GHz işlemcili bir sistemde 134.4930 sn sürmüştür. Aynı işlem, 12 çekirdekten oluşan Intel Xeon X7460 2.66 GHz işlemcili bir sistemde 64.5212 sn sürmüştür.



Şekil 4.30. Helikopter için Alt Açıklık Yöntemi ile Elde Edilen 2-B TYAR Görüntüsü

Bu görüntünün elde edilmesinde görüntünün iyileştirilmesi amacı ile Hanning[23] pencereleme tekniği kullanılmıştır.

4.6.6 Helikopterin Elde Edilen TYAR Görüntülerinin İncelenmesi

Helikopter için uygulanan nümerik integral, kutupsal tekrar formatlama, eşleşme kovalama ve alt açıklık yöntemleri ile elde edilen TYAR görüntülerinin karşılaştırmalı değerleri Çizelge 4.12 de yer almaktadır:

Çizelge 4.12. Helikopter TYAR görüntüleri için karşılaştırma sonuçları

Yöntem	Hesaplama Süresi	Çözünürlük (pixel)	Parazit Eşiği (dB)
Nümerik İntegral	2276 sn	200704 px	-30dB
Kutupsal Tekrar Formatlama	2.2358 sn	2006400 px	-33dB
Eşleşme Kovalama	6600 sn	4096 px	-25dB
Alt Açıklık	64.5212 sn	4096 px	-42dB

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tezde, geniş frekans bandı ve geniş açılı bandında ölçülen EM saçılma verilerinin farklı yöntemler kullanılarak 2-B TYAR görüntülerinin hesaplanma süresi, çözünürlüğü, parazitlerin oranı ve benzeri parametreleri karşılaştırılmıştır.

EM saçılma verilerinin elde edilmesi için Seken Işın Yöntemi – Fiziksel Optik tekniklerine dayalı bir EM benzetim programı kullanılmıştır. Hedeflerin bilgisayar destekli tasarım modelleri (BDT) mevcut bulunabilen BDT modellerinden faydalandığı gibi mevcut olmayan modeller, Rhinoceros gibi modelleme yazılımları ile yapılmıştır.

Elde edilen EM saçılma verileri, Nümerik İntegral Yöntemi, Kutupsal Tekrar Formatlama Yöntemi, Eşleşme Kovalama Yöntemi ve yeni geliştirdiğimiz Alt Açıklık Yöntemi ile 2-B TYAR imajlarına dönüştürülmüştür. Verilerin görüntüye dönüştürülmesi esnasındaki harcanan hesaplama süresi büyük önem arz etmektedir. Hesaplama süresinin uzaması gerçek hayatta uygulanabilirliği azaltmaktadır. Aksi halde geliştirilen uygulamanın paralel dağıtık sistemler üzerinde çalıştırılması ihtiyacı doğmaktadır. Bu bağlamda uygulamanın çalıştırılacağı platforma uygun ve iş parçacıklarına bölünebilir yapıda tasarlanmış olması gerekmektedir.

EM saçılma verileri 64×2048 boyutunda olan uçak modelinin hesaplanma süresi açısından en hızlı sonucu yaklaşık 2.5 sn ile kutupsal yeniden formatlama yöntemi sağlamaktadır. Hemen arkasından 41.8 sn ile yeni geliştirdiğimiz alt açıklık yöntemi gelmektedir. Alt açıklık yönteminin kodu SPMD (Single Program Multiple Data) yöntemi ile iş parçacıklarına bölündüğünde ise MATLAB'ın varsayılan jenerik görev zamanlayıcısı ile 8 kat daha hızlı sonuç verecektir. Bu kazanç oranı, üçüncü parti zamanlayıcılar (scheduler) ile daha da arttırılabilir. Nümerik integral yöntemi de 138 sn de görüntülemeyi tamamlamıştır. Aynı veriler için eşleşme kovalama yönteminde yaptığımız hesaplamalara göre dakikada 2 saçılma noktası elde edilebilmektedir. Görüntü matrisinin oluşması 45 gün civarında bir süreç gerektirmektedir.

Hesaplanma süresinin dışında dikkat edilmesi gereken bir diğer önemli husus ise bellek tüketimidir. Hesaplanma performansı açısından en avantajlı görünen kutupsal yeniden formatlama yöntemi, bellek tüketimi açısından ciddi bir sarfiyat yapmaktadır. Bu yöntem, 64x2048 ölçülerindeki Uçak modelinin görüntülenmesi için 1045 MB bellek tüketmektedir. Hesaplama performansı açısından kutupsal yeniden formatlama yöntemini takip eden Alt açıklık yöntemi ise bellek tüketimi açısından en avantajlı çözüm olarak gözlenmiştir. Aynı uçak modeli için alt açıklık yöntemi 392 MB bellek tüketmektedir. Nümerik integral yöntemi ise 491 MB bellek tüketimi ile alt açıklık yöntemini takip etmektedir. Eşleşme yöntemi ise 400 MB bellek tüketmektedir.

Önem arz eden diğer bir parametre ise çözünürlük değeridir. Çözünürlük, asıl olarak yapılan ölçümlere bağlı olmakla birlikte, görüntüleme yöntemindeki kayıplar veya iyileştirmeler de çözünürlük üzerinde değişimler göstermektedir. Alt Açıklık Yönteminde her bir görüntü karesinin açılı bant genişliği dar olması nedeniyle elde edilecek çapraz menzil çözünürlüğünde kayıplar olacaktır. Nümerik İntegral Yönteminde ise çözünürlük tamamen yapılan ölçüme bağlıdır, görüntüleme esnasında herhangi bir iyileştirme veya kayıp yaşanmamaktadır. Kutupsal yeniden formatlama yöntemi, yapılan ölçümleri çok daha sık bir ızgaraya “enterpole” ettiği için dolayı yeni ara değerler de elde edilmektedir. Girdi sayısının artması nedeniyle çözünürlük de aynı oranda artmaktadır. Eşleşme kovalama yönteminde ise denenen x ve y koordinatlarının değişim miktarı yapılan ölçümden elde edilen dx ve dy olarak seçilmesi nedeniyle ölçümdeki çözünürlüğe eşit bir sonuç elde edilmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Ozdemir, C. , Chang, K. (Ed), “Synthetic Aperture Radar The Wiley Encyclopedia of RF and Microwave Engineering”, Wiley-Interscience, New York, 2005
- [2] Skolnik, M. I. “Introduction to Radar Systems”, McGraw Hill College Div, New York, 1980
- [3] D. L. Mensa, “High Resolution Radar Imaging”, Artech House Inc., 1981
- [4] Ozdemir, C. ve Yılmaz, B. “Büyük ve Karmaşık Hedeflerden Elektromagnetik Saçılmanın Hesaplanması ve Ters Yapay Açıklıklı Radar Görüntülerinin Elde Edilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Mersin, Haziran 2008.
- [5] Ergin, A. “Görünmezlik Teknolojileri: Radar Kesit Alanı Nedir?” http://www.ctech.com.tr/images/Dergi_SvH.pdf , 2007
- [6] “Radar Kesiti” <http://www.radartutorial.eu/18.explanations/ex09.tr.html>, 2009
- [7] Wikipedia, the free encyclopedia, http://en.wikipedia.org/wiki/Radar_cross_section, 2007
- [8] Knott E. F., Shaeffer J. F., Tuley M. T., “Radar Cross Section (2nd Edition)”, SciTech Publishing, 601 s., 2008
- [9] Ling H., Chou R.C., Lee S.W., “Shooting and Bouncing Rays: Calculating the RCS of an Arbitrarily Shaped Cavity”, IEEE Trans Antennas Propagat, 44: 194–205, 1989
- [10] Bhalla R., Ling H., “A fast algorithm for signature prediction and image formation using the shooting and bouncing ray technique”, IEEE Trans Antennas Propagat, 43: 727–731, 1995
- [11] Bhalla R., Ling H., “ISAR image formation using bistatic data computed from the shooting and bouncing ray technique”, J. Electromag. Waves App., vol. 7(9): 1271 - 1287, 1993
- [12] Wikipedia, the free encyclopedia, http://en.wikipedia.org/wiki/Simpson%27s_rule, 2009

- [13] Getreuer, P., “Writing Fast MATLAB Code”, <http://www.vision.ee.ethz.ch/~blloyd/summerschool/WritingFastMatlabCode.pdf>, 2006
- [14] Özdemir C., Bhalla R., Trintinalia L. C., and Ling H., “ASAR – Antenna Synthetic Aperture Radar Imaging”, *IEEE Transactions on Antennas and Propagation* Vol. 46 No. 12, pp. 1845-1852, Aralık 1998
- [15] Blackman R. B., Tukey J. W., “Particular Pairs of Windows”, *The Measurement of Power Spectra, From the Point of View of Communications Engineering*. Dover, pp. 95-101, New York, USA, 1959
- [16] Kaiser J. F., “Nonrecursive Digital Filter Design Using the I_0 -sinh Window Function”, *Proc. 1974 IEEE Symp, Circuits and Systems*, pp. 20-23, 1974
- [17] Herzberger M., “Modern Geometrical Optics”, Krieger Pub, 1980
- [18] Choi H., Krone A. W., Munson D. C., JR., “A Fourier Model of ISAR Imaging of Approaching Targets”, *ICASSP-92 IEEE International Conf., Acoustics, Speech and Signal Processing*, 1992
- [19] Tripoint Industries Inc., “Emerald OpenGL Geometry Model Viewer”, <http://www.tripointindustries.com/>
- [20] “Rhinceros, NURBS Modelling Software”, <http://www.rhino3d.com/>
- [21] Wang, X.B., Zhou, X.Y., Cui, T.J., Tao, Y.B., Lin, H., “High Resolution Inverse Synthetic Aperture Radar Imaging Based on the Shooting and Bouncing Ray Method”, *Millimeter Waves, 2008. GSMM 2008. Global Symposium*, Nisan 2008
- [22] “Top500 Supercomputers”, <http://www.top500.org>
- [23] Lyons R. G., “Understanding Digital Signal Processing, Second Edition”, Prentice Hall, 2004
- [24] Jay F., “IEEE Standard Dictionary of Electrical and Electronics Terms 3rd Edition”, ANSI/IEEE Std. 100-1984, IEEE Press, New York, 1984
- [25] Wikipedia, the free encyclopedia, http://en.wikipedia.org/wiki/Matching_pursuit, 2009

- [26] Mallat S. G., Zhang Z., “Matching Pursuits with Time-Frequency Dictionaries” , IEEE Transactions on Signal Processing, pp. 3397-3415, December 1993

ÖZGEÇMİŞ

1. GENEL

Düzenlenme Tarihi	02.11.2009
Adı Soyadı	Özkan KIRIK
Doğum Tarihi	07.07.1983
Adresi	Mersin Üniversitesi Uzaktan Eğitim Araştırma ve Uygulama Merkezi, 33343 Çiftlikköy / MERSİN
Telefon	0324 361 00 01 / 6868
GSM	0533 924 94 74
Faks	0324 361 02 33
e-Posta	ozkan@mersin.edu.tr

2. EĞİTİM

Öğrenim Dönemi	Derece	Üniversite	Alanı
2007-2009	Yüksek Lisans	Mersin Üniversitesi	Elektrik – Elektronik Mühendisliği ABD.
2001-2006	Lisans	Mersin Üniversitesi	Elektrik – Elektronik Mühendisliği

3. AKADEMİK DENEYİM

Görev Dönemi	Unvan	Bölüm	Üniversite
2007 – Devam Ediyor	Okutman	Mersin Meslek Yüksekokulu	Mersin Üniversitesi

4. UZMANLIK ALANLARI

UZMANLIK ALANI	ANAHTAR SÖZCÜKLER
Radar	Geniş Bant Geniş Açılı Görüntüleme, Ters Yapay Açıklıklı Radar, Sinyal İşleme

5. BİLGİSAYAR BİLGİSİ

Uygulama Branşı	Uygulama Adı	Deneyimi
Teknik Yazılımlar	MATLAB	İyi
Teknik Yazılımlar	Gnuplot	İyi
Teknik Yazılımlar	Octave	İyi
İşletim Sistemleri	*NiX	Çok iyi
İşletim Sistemleri	Windows	Çok iyi
Programlama Dilleri	PHP	Çok iyi
Programlama Dilleri	C	İyi
Veritabanı	MySQL	Çok iyi
Veritabanı	Oracle	İyi

6. TEZ DÖNEMİNDE YAPILAN AKADEMİK ÇALIŞMALAR

Uluslar arası Bilimsel Toplantılarda Sunulan ve Bildiri Kitabında Basılan Bildiriler
Özdemir C., Kırık Ö., Yılmaz B., “Sub-aperture Method for the Wide-Bandwidth Wide-Angle Inverse Synthetic Aperture Radar Imaging”, ELECO’09 6th International Conference on Electrical and Electronics Engineering, Bursa, Türkiye, 2009
Projeler
Özdemir C., Kırık Ö., “Geniş Bant - Geniş Açılı Ters Yapay Açıklıklı Radar (TYAR) Görüntüleme Algoritması Geliştirilmesi ve Nümerik Uygulamaları”, MEÜ. BAP., 2008