

**BÜYÜK VE KARMAŞIK HEDEFLERDEN
ELEKTROMAGNETİK SAÇILMANIN
HESAPLANMASI VE TERS YAPAY AÇIKLIKLI
RADAR GÖRÜNTÜLERİNİN ELDE EDİLMESİ**

BETÜL YILMAZ

**MERSİN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ
ANA BİLİM DALI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**MERSİN
HAZİRAN – 2008**

**BÜYÜK VE KARMAŞIK HEDEFLERDEN
ELEKTROMAGNETİK SAÇILMANIN HESAPLANMASI VE
TERS YAPAY AÇIKLIKLI RADAR GÖRÜNTÜLERİNİN ELDE
EDİLMESİ**

BETÜL YILMAZ

**Mersin Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü**

**Elektrik-Elektronik Mühendisliği
Ana Bilim Dalı**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Tez Danışmanı
Doç. Dr. Caner ÖZDEMİR**

**MERSİN
Haziran - 2008**

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
Doç. Dr. Caner ÖZDEMİR

Jüri Üyesi
Yrd. Doç. Dr. Ali YILDIZ

Jüri Üyesi
Yrd. Doç. Dr. Sami ARICA

Bu tezin Fen Bilimleri Enstitüsü yazım kurallarına uygun olarak yazıldığı Enstitü Yönetim Kurulu'nun/...../.....tarih ve/..... 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

Radarda tespit edilmenin önemli bir parametresi olan Radar Kesit Alanı (RKA) büyüklüğünün hesaplanması, dalgaboyuna göre çok büyük cisimlerin etkiyen düzlemsel dalgayı nasıl ve ne kadar saçtığı problemidir. Yüksek frekansta RKA değerinin hesaplanmasında Seken Işın Yöntemi, SIY, (shooting and bouncing ray, SBR) kullanılmaktadır. Ayrıca karmaşık modellerin RKA değerinden başka, Ters Yapay Açıklıklı Radar, TYAR, (Inverse Synthetic Aperture Radar, ISAR) görüntüleri de elde edilebilir. TYAR, hareketli hedefleri menzil ve çapraz – menzil bölgesinde görüntüleyen bir sinyal işleme tekniğidir. Yine radar uygulamalarında RKA değerini oluşturan noktalar seti olarak tanımlanabilen saçılma merkezleride önemli bir konudur. Karmaşık yapıların saçılma merkezi modeli, TYAR görüntülerinden CLEAN algoritması kullanılarak elde edilebilir. Ayrıca platformun üzerinden, nereden saçılmanın olduğunu biliyorsak, bu bölgelere mükemmel elektromanyetik (EM) emiciler yerleştirerek, platform saçılmasını azaltabiliriz.

Bu çalışmada, büyük ve karmaşık hedeflerden EM saçılmalar hesaplanıp cisimlerin 2 boyutlu (2-B) ve 3 boyutlu (3-B) TYAR görüntüleri elde edilmiştir. Bu hesaplanmalar yapılırken SIY tekniğini kullanan Fiziksel Optik (PO) bazlı Yüksek Frekans Saçılma Kodu kullanılmıştır. Ayrıca SM analizi yardımıyla hedefin görüntüsü daha kısa zamanda yeniden oluşturulmuştur. Yine SM analizi yardımıyla, veri sıkıştırması sağlanmış ve hedefin RKA değerinin azaltımı gerçekleştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Ters Yapay Açıklıklı Radar, Radar Kesit Alanı, Seken Işın Yöntemi

ABSTRACT

Radar Cross Section (RCS) is an important parameter of identifying large objects with respect to wavelength. RCS provides the information of how much of the energy that a target captures and reflects back. Shooting and Bouncing Ray Technique is used to analyze the RCS value of the object at high frequencies. Also, Inverse Synthetic Aperture Radar (ISAR) image can be constructed using the 2-D or 3-D RCS of a target. ISAR is an image processing technique that images the moving targets in range and cross range domains. Scattering centers are known to be discrete set of scattering points that add major contribution to the RCS value at radar applications. Scattering center model of complex target can be obtained from the ISAR image by using famous CLEAN extraction algorithm. If the major scattering centers of a platform are known, the RCS of this platform can be reduced by putting electromagnetic absorbers around these scattering centers.

In this thesis, 2-D and 3-D ISAR images are obtained by analyzing EM scattering of large and complex targets. For simulation, High Frequency Scattering Simulator that applies Shooting and Bouncing Ray (SBR) technique is used. Images of various targets are reconstructed in real by using scattering centers analysis. Also with this technique, RCS of a target is reduced and also provides various advantageous features such as data compression.

Key words: Inverse Synthetic Aperture Radar, Radar Cross Section, Shooting and Bouncing Ray (SBR)

TEŐEKKÖRLER

Yüksek lisans eğitimim süresince beraber çalıştığım ve deneyimleri ile her türlü desteğini eksik etmeyerek çalışmalarımın tamamlanmasını sağlayan değerli hocam Sayın Doç.Dr. Caner ÖZDEMİR'e bütün minnettarlığım ile teşekkürlerimi sunarım.

Tüm eğitim hayatım boyunca beni destekleyen aileme ve hayat arkadaşım sevgili eşim Savaş YILMAZ'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	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
SİMGE VE KISALTMALAR DİZİNİ	x
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	3
2.1. RADAR KESİT ALANI.....	3
2.2. SEKEN IŞIN YÖNTEMİ.....	8
2.3. TERS YAPAY AÇIKLIKLI RADAR.....	10
2.3.1. TYAR Teorisi.....	12
2.3.2. Küçük Bant Genişliği Ve Küçük Açı Yaklaşımı ile TYAR Görüntüleme.....	14
2.3.3. TYAR Görüntüsü İçin Çözünürlük, Bant-Genişliği Ve Örnekleme Dalga Denklemi.....	15
2.3.4. Büyük Bant-Genişliği Ve Büyük Açı Yaklaşımı ile TYAR Görüntüleme Genel Düzlemsel Dalga.....	16
2.3.5. Üç Boyutlu TYAR Görüntüsü.....	17
3. MATERYAL VE METOT	18
3.1. RKA KESTİRİMİ.....	18
3.2. BİLGİSAYAR DESTEKLİ TASARIM MODELLERİNİN İNCELENMESİ..	18
3.3. TYAR GÖRÜNTÜLERİNDEN SAÇILMA MERKEZİ ANALİZİ.....	25
3.3.1. SIY Yöntemi Kullanarak 3-B Saçılma Merkezi Çıkarımı.....	26
3.3.2. 3-B Işın Saçınım Fonksiyonu.....	28
3.3.3. CLEAN Algoritması Kullanılarak TYAR Görüntüsünden Saçılma Merkezlerinin Bulunması.....	30
3.4. TYAR GÖRÜNTÜLERİNDE SAÇILMA MERKEZİ ANALİZİ YARDIMIYLA PLATFORMLARIN RADAR SOĞURUCU MALZEME İLE KAPLANARAK RADAR KESİT ALANLARININ AZALTIMI.....	31
4. BULGULAR VE TARTIŞMALAR	35
4.1. RKA KESTİRİM KODUNUN DOĞRULANMASI.....	35

4.2 DENEYSEL BULGULAR.....	35
4.2.1 Dikdörtgen Levha.....	35
4.2.2 Küre.....	40
4.2.3 Dihedral Köşe Yansıtıcısı.....	45
4.3 2-B TYAR GÖRÜNTÜLERİ BENZETİM SONUÇLARI.....	48
4.3.1 Plaka İçin Oluşturulan Benzetim Sonucu.....	49
4.3.2 Uçak İçin Oluşturulan Benzetim Sonucu.....	50
4.3.2.1. Uçağın $\theta = 90^\circ$, $\phi = 0^\circ$ İçin Oluşturulan Benzetim Sonucu.....	50
4.3.2.2. Uçağın $\theta = 90^\circ$, $\phi = 45^\circ$ İçin Oluşturulan Benzetim Sonucu.....	53
4.3.2.3. Uçağın $\theta = 60^\circ$, $\phi = 0^\circ$ İçin Oluşturulan Benzetim Sonucu.....	56
4.3.3 Araba İçin Oluşturulan Benzetim Sonucu.....	59
4.3.4 Xplaneh Uçağı İçin Oluşturulan Benzetim Sonucu.....	62
4.3.5 Malaya Savaş Gemisi İçin Oluşturulan Benzetim Sonucu.....	65
4.3.6 Jet Uçağı İçin Oluşturulan Benzetim Sonucu.....	67
4.3.7 Tank İçin Oluşturulan Benzetim Sonucu.....	70
4.3.8 Helikopter İçin Oluşturulan Benzetim Sonucu.....	73
4.3.9 Airbus Uçağı İçin Oluşturulan Benzetim Sonucu.....	76
4.4.3-B TYAR GÖRÜNTÜLERİ BENZETİM SONUÇLARI.....	79
4.5. SAÇILMA MERKEZİ ANALİZİ BENZETİM SONUÇLARI.....	81
4.6. PLATFORMLARIN RADAR SOĞURUCU MALZEME İLE KAPLANARAK RADAR KESİT ALANININ AZALTILMASINA İLİŞKİN BENZETİM SONUÇLARI.....	86
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	90
KAYNAKLAR.....	91
EKLER.....	93
ÖZGEÇMİŞ.....	113

ÇİZELGELER DİZİNİ

ÇİZELGE	<u>SAYFA</u>
Tablo 1 Bazı hedefler için tipik RKA değerleri	6
Tablo 2. Uçağın $tetac = 90^\circ$, $phic = 0^\circ$ için oluşturulmuş simülasyon parametreleri	50
Tablo 3. Uçağın $tetac = 90^\circ$, $phic = 45^\circ$ için oluşturulmuş simülasyon parametreleri	53
Tablo 4. Uçağın $tetac = 60^\circ$, $phic = 0^\circ$ için oluşturulmuş simülasyon parametreleri	56
Tablo 5. Araba hedefi için $tetac = 60^\circ$, $phic = 45^\circ$ de oluşturulmuş simülasyon parametreleri.	59
Tablo 6. XPLANEH hedefi için $tetac = 60^\circ$, $phic = 45^\circ$ de oluşturulmuş simülasyon parametreleri.	62
Tablo 7. MALAYA savaş gemisi için $tetac = 60^\circ$, $phic = 45^\circ$ de oluşturulmuş simülasyon parametreleri	65
Tablo 8. JET Uçağı için $tetac = 80^\circ$, $phic = 30^\circ$ de oluşturulmuş simülasyon parametreleri	67
Tablo 9. TANK için $tetac = 70^\circ$, $phic = 45^\circ$ de oluşturulmuş simülasyon parametreleri	70
Tablo 10. Helikopter modeli benzetim analizi için kullanılan parametreler	73
Tablo 11. Airbus uçağı modeli, benzetim analizi için kullanılan parametreler	76
Tablo 12. Uçak modelinin, 3-B'lu benzetim analizi için kullanılan parametreler	79

ŞEKİLLER DİZİNİ

ŞEKİL	<u>SAYFA</u>
Şekil 2. 1. Radar Kesit Alanı İçin Sezgisel Tanım	4
Şekil 2. 2. RKA Hesaplama Tekniklerine Frekansa Bağlı Bir Bakış	7
Şekil 2. 3. Seken Işın Yöntemi Geometrisi	9
Şekil 2. 4. (a) YAR Sistemi, (b) TYAR Sistemi	11
Şekil 2. 5. Monostatik TYAR Görüntüsü İçin Geometri	12
Şekil 2. 6. Kutupsal TYAR Verisinin Dikdörtgensel Olarak Yeniden Biçimlendirilmesi	16
Şekil 3. 1. Yüzeycik İçin Köşe-Köşeye Kuralı	19
Şekil 3. 2. 1 (m) x 1 (m) Boyutunda Plaka Şekli Ve Yüzeycik Oluşumu	19
Şekil 3. 3. 1 (m) x 1 (m) Boyutunda Plaka İçin Oluşturulmuş *.facet Dosya Örneği	20
Şekil 3. 4. 1 (m) x 1 (m) Boyutunda Plaka İçin Oluşturulmuş *.raw Dosya Örneği	21
Şekil 3. 5. Airbus Uçağının Emerald Programındaki Görüntüsü	22
Şekil 3. 6. Battleship_Malaya Gemisinin Emerald Programındaki Görüntüsü	23
Şekil 3. 7. LT38 Tankının Rhinoceros Programındaki Görüntüsü	24
Şekil 4. 1. İletken Bir Dikdörtgen Levha Üzerine Gelen Düzgün Düzlemsel Dalga a) Dikdörtgen Levha. (b) yz düzleminde: TE^x Polarizasyon (c) yz düzleminde: TM^x Polarizasyon	36
Şekil 4. 2. $a = b = 1$ m, Boyutunda Bir Kare Plaka İçin, Sırasıyla $f=1$ GHz'den $f=10$ GHz'e Kadar RKA Hesabı Ve Analitik Çözümü İle Karşılaştırılması	39
Şekil 4. 3. İletken Bir Küre Üzerindeki Düzenli Dağılmış Düzlemsel Dalga Şekli	40
Şekil 4. 4. Yarıçapı $a = .5$ m Olan Kürenin Analitik Ve SIY Yöntemi İle Elde Edilen RKA İfadesi	44

Şekil 4. 5. Dihedral Köşe Yansıtıcısı Geometrisi	47
Şekil 4. 6. (a) Dihedral Köşe Yansıtıcısı İçin, Kırınım Ve Tek Yansımalar Hesaplanmadan SIY yöntemiyle elde edilen RKA Deseni (b) Dihedral Köşe Yansıtıcısı İçin, Kırınım Ve Tek Yansımalar Dahil Yaklaşık Analitik Çözümü	48
Şekil 4. 7. Görüntüsü oluşturulan 1 m x 1 m boyutlu Plaka hedefi	49
Şekil 4. 8. Plaka hedefi için elde edilen TYAR Görüntüsü	49
Şekil 4. 9. Uçağın ($\theta = 90^\circ, \phi = 0^\circ$) için 2-B TYAR Görüntüsü	51
Şekil 4.10. Uçağın ($\theta = 90^\circ, \phi = 0^\circ$) için oluşturulan Menzil Profili	52
Şekil 4.11. Uçağın ($\theta = 90^\circ, \phi = 45^\circ$) için 2-B TYAR Görüntüsü	54
Şekil 4.12. Uçağın ($\theta = 90^\circ, \phi = 45^\circ$) için oluşturulan Menzil Profili	55
Şekil 4.13. Uçağın ($\theta = 60^\circ, \phi = 0^\circ$) için oluşturulmuş 2-B TYAR Görüntüsü	57
Şekil 4.14. Uçağın ($\theta = 60^\circ, \phi = 0^\circ$) için oluşturulan Menzil Profili	58
Şekil 4.15. Araba hedefinin ($\theta = 60^\circ, \phi = 45^\circ$) için oluşturulmuş 2-B TYAR Görüntüsü	60
Şekil 4.16. Araba hedefinin ($\theta = 60^\circ, \phi = 45^\circ$) için oluşturulan Menzil Profili	61
Şekil 4.17. XPLANEH savaş uçağının ($\theta = 60^\circ, \phi = 45^\circ$) için oluşturulmuş 2-B TYAR Görüntüsü	63
Şekil 4.18. XPLANEH savaş uçağının ($\theta = 60^\circ, \phi = 45^\circ$) için oluşturulan Menzil Profili	64
Şekil 4.19. MALAYA savaş gemisinin ($\theta = 60^\circ, \phi = 45^\circ$) için oluşturulmuş 2-B TYAR Görüntüsü	66
Şekil 4.20. MALAYA savaş gemisinin ($\theta = 60^\circ, \phi = 45^\circ$) için oluşturulan Menzil Profili	66
Şekil 4.21. JET Uçağı için ($\theta = 80^\circ, \phi = 30^\circ$) için oluşturulmuş 2-B TYAR Görüntüsü	68

Şekil 4.22. JET Uçağı için ($\theta = 80^\circ, \phi = 30^\circ$) için oluşturulmuş Menzil Profili	69
Şekil 4.23. Tank için ($\theta = 70^\circ, \phi = 45^\circ$) de oluşturulmuş 2-B TYAR Görüntüsü	71
Şekil 4.24. Tank için ($\theta = 70^\circ, \phi = 45^\circ$) de oluşturulan Menzil Profili	72
Şekil 4.25. Helikopter için ($\theta = 60^\circ, \phi = -45^\circ$) de oluşturulmuş 2-B TYAR Görüntüsü	74
Şekil 4.26. Helikopter için ($\theta = 60^\circ, \phi = -45^\circ$) de oluşturulmuş Menzil Profili	75
Şekil 4.27. Airbus uçağının ($\theta = 80^\circ, \phi = 0^\circ$) da oluşturulmuş 2-B TYAR Görüntüsü	77
Şekil 4.28. Airbus uçağı için ($\theta = 80^\circ, \phi = 0^\circ$) de oluşturulmuş Menzil Profili	78
Şekil 4.29. Bir uçağın 3-B TYAR görüntüsünden elde edilmiş, değişik z değerleri için X-Y düzlemindeki 2-B TYAR görüntüleri	80
Şekil 4.30. Bir savaş uçağının (a) CAD dosyası, (b) Orijinal TYAR görüntüsü. (c) Çıkarılan 50 adet SMLerin yeri (d) SMLerinden oluşturulmuş yeni TYAR görüntüsü (e) Çıkarılan 50 SMLerin genlikleri.	83
Şekil 4.31. Uçağın (a) CAD dosyası, (b) Orijinal TYAR görüntüsü. SMLerinden oluşturulmuş yeni TYAR görüntüsü (d) Çıkarılan 200 SMLerin genlikleri (e) Çıkarılan 200 adet SMLerin yeri	85
Şekil 4.32. Uçağın ($\theta = 60^\circ, \phi = 0^\circ$) bakış açılarında 3-B benzetiminde elde edilen (a) xy düzlemindeki izdüşümü, (b) yz düzlemindeki izdüşümü, (c) xz düzlemindeki izdüşümü (d) çıkarılan 100 tane saçılma merkezlerinin şiddetleri.	88
Şekil 4.33. (a) Uçak modeli ve SMLerinin konumu, (b) SM'lerine 0.3 metre uzaklıktaki yüzeylerin RSM ile kaplanmış şekli, (c) Uçağın RSM ile kaplanmadan önce elde edilen 2-B TYAR görüntüsü, (d) RSM ile kaplandıktan sonra elde edilen 2-B TYAR görüntüsü.	89

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 Bağlı Kırılma İndisi
Γ	: Yansımaya Katsayısı
$h(x,y,z)$: 3-B Işın Saçınım Fonksiyonu
σ	: Radar Kesit Alanı
dBsm	: Desibel Squaremeter
j_n	: n. Dereceden Küresel Bessel Fonksiyonu
h_n^1	: n. Dereceden Hankel Fonksiyonu
1-B	: Bir Boyutlu
2-B	: İki Boyutlu
3-B	: Üç Boyutlu
BW	: Bant Genişliği
DFT	: Kesikli Fourier Transformu
E	: Elektrik alan şiddeti
E_i	: Gelen Elektrik Alan
EM	: Elektromanyetik
E_s	: Saçılan Elektrik Alan
FT	: Fourier Transformu
FFT	: Hızlı Fourier Transformu
H	: Manyetik alan şiddeti
H_i	: Kaynaktan gönderilen Manyetik Alan şiddeti
H_s	: Yansıyan Manyetik Alan şiddeti
IFT	: Ters Fourier Transform

J	: Akım yoğunluğu
PO	: Fiziksel Optik)
SAR	: Yapay Açıklıklı Radar
TYAR	: Ters Yapay Açıklıklı Radar
SIY	: Seken Işın Yöntemi
RKA	: Radar Kesit Alanı
SM	: Saçılma Merkezi
RSM	: Radar Soğurucu Malzeme
GO	: Geometrik Optik

1. GİRİŞ

Bilindiği üzere büyük ve karmaşık hedeflerden elektromagnetik (EM) saçılma alanlarının hesaplanması, henüz analitik olarak çözümlenmemiş bir problemdir. Ancak son yıllarda bilgisayar destekli EM simülatörlerinin devreye girmesiyle, birçok karmaşık EM problemi yaklaşık olarak çözülebilmektedir. Ülkemizde özellikle son yıllarda büyük ve karmaşık platform ve/veya hedeflerden saçılma olgusunun milli yazılım kodlarıyla gerçekleştirilmesi yönünde bir gereklilik oluşmuştur. Bu yüzden savaş gemisi, savaş uçağı, helikopter ve tank gibi yapısı karmaşık ve boyutları radar dalga boyları civarında çok büyük olan cisimlerden saçılmanın ve özellikle Radar Kesit Alanlarının (RKA) hesaplanabilmesi ve hatta Radar görüntülerinin çıkarılabilmesi ülkemiz açısından çok önem kazanmaktadır. Bu amaçla ülkemizde bu alanlarda son yıllarda, milli bir RKA kodunun hazırlanabilmesi için ilgili kurumlarca birçok araştırmalar başlatılmıştır [1–16].

Bu tez çalışmasında, Yüksek Frekans EM saçılma kodlarının yardımıyla savaş gemisi, savaş uçağı, helikopter ve tank gibi büyük ve karmaşık hedeflerden EM saçılmaları hesaplanacaktır. Bu hesaplamalar sonunda büyük önem arzeden hedeflerin RKA'ları çıkarılacak ve bu hedeflerin değişik bakış açılarından Ters Yapay Açıklıklı Radar (TYAR) [9–12] görüntüleri elde edilecektir.

İlk olarak, söz konusu askeri önem arzeden hedeflerin Bilgisayar Destekli Tasarımları (CAD) gerçekleştirilecektir. Bu işlemi yaparken mevcut CAD dosyaları bulunabilen hedef tasarımlarından faydalanılabileceği gibi, CAD dosyaları hali hazırda bulunmayan hedeflerin CAD tasarımları Rhinoceros gibi yazılımlar sayesinde yapılacaktır. Daha sonra bu hedeflerden oluşacak EM saçılmaların hesabı, değişik EM simülatörlerin yardımıyla gerçekleştirilecektir [2]. Saçılmalar hem monostatik hem de bistatik durumlar için ve değişik bakış açılarında Matlab programlama dili kullanılarak hesaplanacaktır. Daha sonra her bir hedef için RKA'lar hesaplanacaktır. Hedeflerin radar görüntülerinin elde edilmesi için iki boyutlu (2-B) ve üç boyutlu (3-B) TYAR algoritması geliştirilecek; dolayısıyla hedef algılama ve hedef tanımlama işlevleri için gerekli olan yöntem tamamlanmış olacaktır.

Radarda tespit edilmenin önemli bir parametresi olan RKA büyüklüğünün hesaplanması, dalgaboyuna göre çok büyük cisimlerin etkiyen düzlemsel dalgayı nasıl ve ne kadar saçtığı problemidir. Ticari yazılımların büyük bir kısmında, yüksek frekansta RKA değeri hesaplanmasında GO tekniğine dayanan, Bhalla ve Ling tarafından geliştirilen seken ışın yöntemi, SIY, (shooting and bouncing ray, SBR) kullanılmaktadır[2].

Ayrıca karmaşık yapıların 2-B ve 3-B saçılma merkezi, SM, (scattering center, SC) modeli, TYAR görüntülerinden CLEAN algoritması kullanarak elde edilebilmektedir. CLEAN, imajdaki en büyük noktayı bulan, bunu bir SM olarak kabul eden ve ilgili noktasal yayılım fonksiyonunu, NYF, (point-spread-function - PSF) imajdan ayıklayan iteratif bir tekniktir.

Son olarak TYAR görüntülerinden Saçılma merkezleri analizi ile hedefler üzerindeki sıcak bölgelerin tespit edilmesi ve bu bölgelerin Radar Soğurucu Malzeme, RSM, [Radar Absorbing Material, RAM] ile kaplanarak, RKA'larının azaltılması araştırılmaktadır.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. RADAR KESİT ALANI

Bu çalışmada radar kesit alanı ile ilgili genel olarak temel bilgiler verildikten sonra bazı basit geometriye sahip cisimler için RKA hesaplamaları yapıp, bu cisimlerin analitik sonuçlarıyla karşılaştırmalar yapılmıştır. RKA hesabı yapılırken fiziksel optik bazlı seken ışın yöntemine dayanan bir program kullanılmıştır.

Radarlar, vericilerinden çıkan elektromanyetik sinyallerinin alıcılarına erişen yansımalarıyla cisimleri algırlar. Radar sinyalleri için hedef konumunda olan cisimlerin ise, algılanmamaları için radara en az seviyede sinyal yansıtmaları gereklidir. Bu durumda görünmemeyi başarmış olurlar. Radara karşı görünmezlik teknolojisinin maksadı mutlak görünmezliği sağlamaktan çok hedef cismin bir radar tarafından tespit edilme mesafesinin kısaltılmasıdır. Diğer bir anlatımla bir cisim olduğundan küçük göstermektir. Buradaki büyüklük veya küçüklüğün tanımı metrekaare cinsinden ölçülen Radar Kesit Alanı (RKA) ile belirtilir.

İşte cisimlerin bu sinyal yansıtma özellikleri onların radar imzalarını (radar signature) oluşturur. Cisimlerin radar imzalarının bilinmesiyle, bir radara hangi konumda yaklaşırsa cismin algılanmayacağı da kestirilmiş olur. Aynı şekilde, bir cismin radar imzası biliniyorsa ve bu gerekenin üzerinde bir yansıtmayı işaret ediyorsa, o cisim için imza küçültme (signature reduction) yoluna gidilmesi ihtiyacı doğmuş olur. Bu nedenlerle cisimlerin radar imzaları büyük önem taşımaktadır.

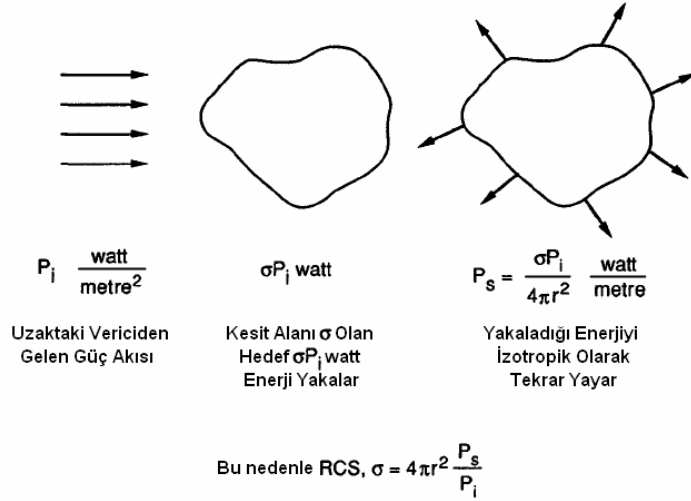
Radar Kesit Alanı, bir cismin veya platformun bir radardaki görünürlük miktarı veya elektromanyetik (EM) dalgalar olan radar sinyallerini yansıtma miktarı olarak tanımlanabilir. [4]'de, bir hedefin radar sinyallerini radar alıcısının yönünde yansıtma kabiliyeti olarak tanımlanmıştır. Birim açı (steradyan, sr) başına hedeften radar yönünde yayılan geri saçınım (backscatter) gücünün hedef tarafından alınan güç yoğunluğuna oranı olarak da tanımlanmıştır.

Radar Kesit Alanı için kavramsal tanımı, saçılan enerjinin tümünün hedef üzerine düşmeyeceği gerçeği ele alındığında, hedefin RKA (σ), üç faktörün çarpımı olarak düşünülür[4]. Şöyle ki,

$$\sigma = \text{izdüşümsel geometrik kesit alan} \times \text{yansıtıcılık oranı} \times \text{yönlülük oranı} \quad (2.1)$$

Hedeflerin RKA değerleri frekansa, hedefin geometrisine ve elektriksel özelliklerine bağlıdır. RKA, radar alıcısına yansıyan gücün, hedefe gelen güç yoğunluğuna oranı olarak verilmektedir. Elektromanyetik dalganın gücü veya yoğunluğu elektrik veya manyetik alanın karesi ile orantılıdır. Böylelikle RKA aşağıdaki şekilde de tanımlanabilir[15]. Yani ,

$$\sigma = \frac{\text{Birim katı açıda radar alıcısına yansıyan güç}}{\text{Hedefe gelen güç yoğunluğu} / 4\pi} \quad \left[m^2 \right] \quad (2.2)$$



Şekil 2.1. RKA için sezgisel tanım [22]

$$\sigma = 4\pi R^2 \frac{|E^{\text{saçılan}}|^2}{|E^{\text{gelen}}|^2} = 4\pi R^2 \frac{|H^{\text{saçılan}}|^2}{|H^{\text{gelen}}|^2} \quad (2.3)$$

IEEE sözlüğünde ise RKA aşağıdaki gibi formüle edilmiştir.

$$\sigma = \lim_{R \rightarrow \infty} 4\pi R^2 \frac{|\vec{P}_s|^2}{|\vec{P}_i|^2} \quad [m^2] \quad (2.4)$$

Saçılan \vec{P}_s ve \vec{P}_i yerine, alıcı yönünde saçılan ve hedefe gelen elektrik alanlar yönünde (E_s, E_i) olarakta yazılabilir. E_i , yüzeye etkiyen elektromanyetik alan şiddeti, E_s , 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.

$$\sigma = \lim_{R \rightarrow \infty} 4\pi R^2 \frac{|\vec{E}_s|^2}{|\vec{E}_i|^2} \quad [m^2] \quad (2.5)$$

Uzak alanda, E_s değeri 1/R ile değiştiğinden, RKA değeride mesafeden bağımsız olur. RKA'nın birimi metrekare $[m^2]$ 'dir. Fakat bir cismin değişik açılardaki RKA değeri $10^6 [m^2]$ 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 metrekare' $[dBm^2]$ veya İngilizce 'decibel square-meter' teriminin kısaltması olan 'dBsm' birimi kullanılır.

Hedef	RKA (m^2)	RKA ($dBsm$)
Otomobiller	100	20
Yolcu uçakları	40	16
Savaş uçakları	2 - 6	3 - 7.78
Yetişkin insanlar	1	0
Kuşlar	0.01	-20
Böcekler	0.00001	-50
Gelişmiş hayalet uçaklar	0.000001	-60

Tablo 1. Bazı hedefler için tipik RKA değerleri

Tablo 1’de bazı hedefler için RKA değerleri verilmiştir[7]. Gelişmiş hayalet uçaklar için RKA değeri tipik olarak -60 $dBsm$ iken kuşlar için bu değer -20 $dBsm$ dir. Modern radarlar bu kadar küçük hedefleri bile algılayabilmektedir.

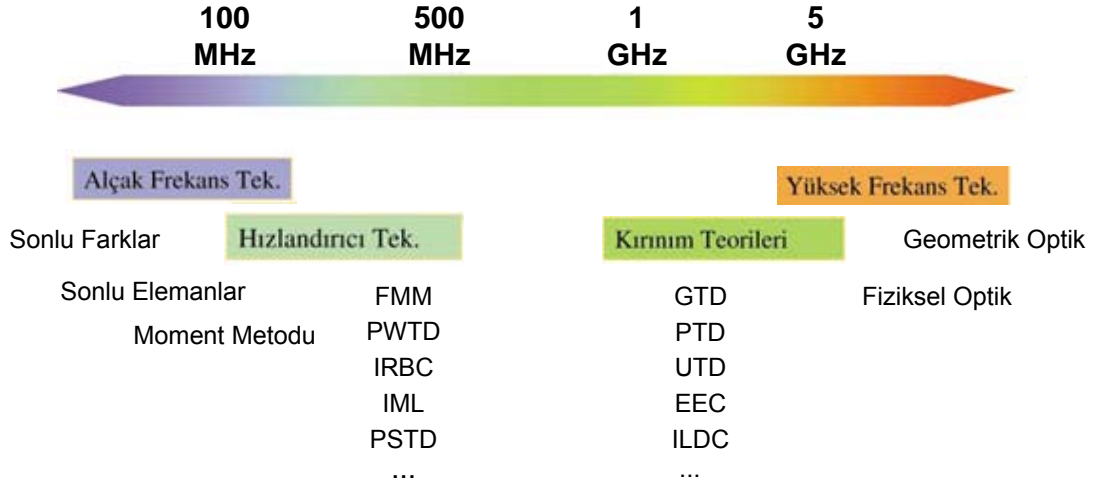
İkinci dünya savaşından itibaren cisimlerin RKA değerlerini hesaplamak için pekçok yöntem önerilmiştir[18]. Geliştirilen ilk tekniklerde mikrodalga frekanslardaki elektromanyetik dalganın optik kurallarına uyduğu varsayılmıştır. Bu yaklaşımlarda elektromanyetik dalganın cisimle etkileşmesi modellenirken kırınım [diffraction] etkileri tamamen ihmal edilmiştir. Bu yüzden ‘fiziksel optik’ ve ‘geometrik optik’ gibi yaklaşımlar, elektromanyetik dalganın etkileşimde bulunduğu cismin yüzeyinde keskin kenarlar ve köşeler bulunmadığı durumlarda oldukça iyi tahmin değerleri vermektedir. Ancak keskin kenarların bulunduğu durumlarda kırınım etkilerini ihmal eden yöntemlerle yapılan tahminler yüksek hata payına sahip olurlar. Optik yöntemlerin hata payı, cismin şekline bağlı olduğu için de tam bir analiz yapılmadan hata miktarı belirlenememektedir.

80lerden itibaren bilgisayarların işlem kapasitesinde hızlı bir artış yaşanmıştır. Bu artışa paralel olarak RKA hesabında kullanılan yaklaşımları azaltan yöntemler de geliştirilmiştir. 80 sonrası dönemdeki RKA hesaplama tekniklerini iki temel gruba ayırmak mümkündür: Optik tabanlı yaklaşımlarla çalışan yüksek frekans teknikleri ve elektromanyetik problemi tam olarak çözmeyi hedefleyen alçak frekans teknikleri. Şekil 2.2’de 30 metre uzunluğundaki bir cisim

için bu iki tekniğin RKA hesabında kullanılabileceği frekans bölgeleri gösterilmiştir[19].

Elektromanyetik Analiz Teknikleri

Bu dağılım yaklaşık 30 m uzunluğunda bir cisim için verilmiştir



Şekil 2.2. RKA hesaplama tekniklerine frekansa bağlı bir bakış

Görüldüğü üzere ‘fiziksel optik’ ve ‘geometrik optik’ gibi yüksek frekans teknikleri mikrodalga radarların çalıştığı 2 GHz’in altındaki frekans bandını tam olarak kaplayamamaktadırlar. Buna karşın ‘sonlu farklar [finite difference]’, ‘sonlu elemanlar [finite element]’ ve ‘moment metodu [method of moments]’ gibi alçak frekans teknikleri ile GHz bandında çözüm üretmek mümkün değildir. Ancak hem alçak frekans, hem de yüksek frekans tekniklerinin eksik olduğu yönlerini telafi etmek üzere pek çok yöntem geliştirilmektedir[20]. Geliştirilen bu tekniklerle birlikte günümüz hesaplama yöntemleri değerlendirildiğinde mikrodalga radar frekanslarında en etkin çözümün kırınım teorileriyle desteklenmiş yüksek frekans tekniklerinin olduğu görülmektedir. Bu sonuç kesinlikle alçak frekans tekniklerinin gereksiz olduğu olarak yorumlanamaz çünkü yüksek frekans teknikleri daima EM dalganın davranışı hakkında belirli varsayımlarla çalışırlar ve bu varsayımlar daima [mertebesi

tahmin edilemeyen] hatalar üretebilirler. Fakat alçak frekans teknikleri temelde hiçbir teorik kısıtlama getirilmeden cisim ile EM dalganın etkileşimini modellerle ve ortaya çıkan hata seviyesi genellikle mühendislik yaklaşımlarının gerektirdiğinin çok altında kalır.

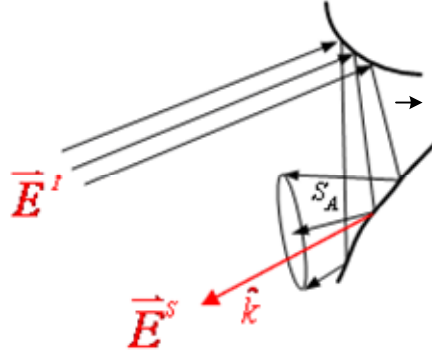
Yapılan tanımlamalar ışığında RKA'nın,

- Vericinin ve alıcının hedefe göre konumlarına,
 - Vericinin ve alıcının polarizasyonlarına,
 - Hedefin sekline ve malzeme özelliklerine,
 - Hedefin açısal duruşuna,
 - Sinyalin dalga boyuna
- bağlı olduğu söylenebilir [15].

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 dalgaboyuna göre büyük olan cisimlerin RKA hesaplamalarında ve bir nesneden saçılan elektromanyetik alanın bulunmasında kullanılmaktadır[2].

SIY yönteminde, çok yoğun ışın demeti platforma doğru gönderilir, ışınlar Geometrik Optik (GO) kurallarına göre takip edilir (Şekil 2.3). Her bir ışının alan şiddeti, Yansıma katsayıları (Γ) ve Işın-Tüpü ıraksama faktörleri (DF) hesaplanarak bulunur. Dolayısıyla Şekil 2.3'den de görüleceği üzere P1 noktasından saçılan alan, P2 noktası civarında aşağıdaki şekilde hesaplanabilir [2, 3].



Şekil 2.3. Seken Işın Yöntemi Geometrisi

$$\vec{E}(x_2, y_2, z_2) = (DF) \cdot (\Gamma) \cdot \vec{E}(x_1, y_1, z_1) \cdot \exp\left(-jk\left[(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2\right]^{1/2}\right) \quad (2.5)$$

Buna göre P2 civarına gelen elektrik alan, P1'deki elektrik alanın, $\vec{k} \cdot \vec{R}$ miktarı kadar faz kaybı ile Γ ve DF katsayılarıyla çarpılmasından bulunur. Dolayısıyla her sekme için, sadece bu üç parametrenin hesaplanması o sekmeyle 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.

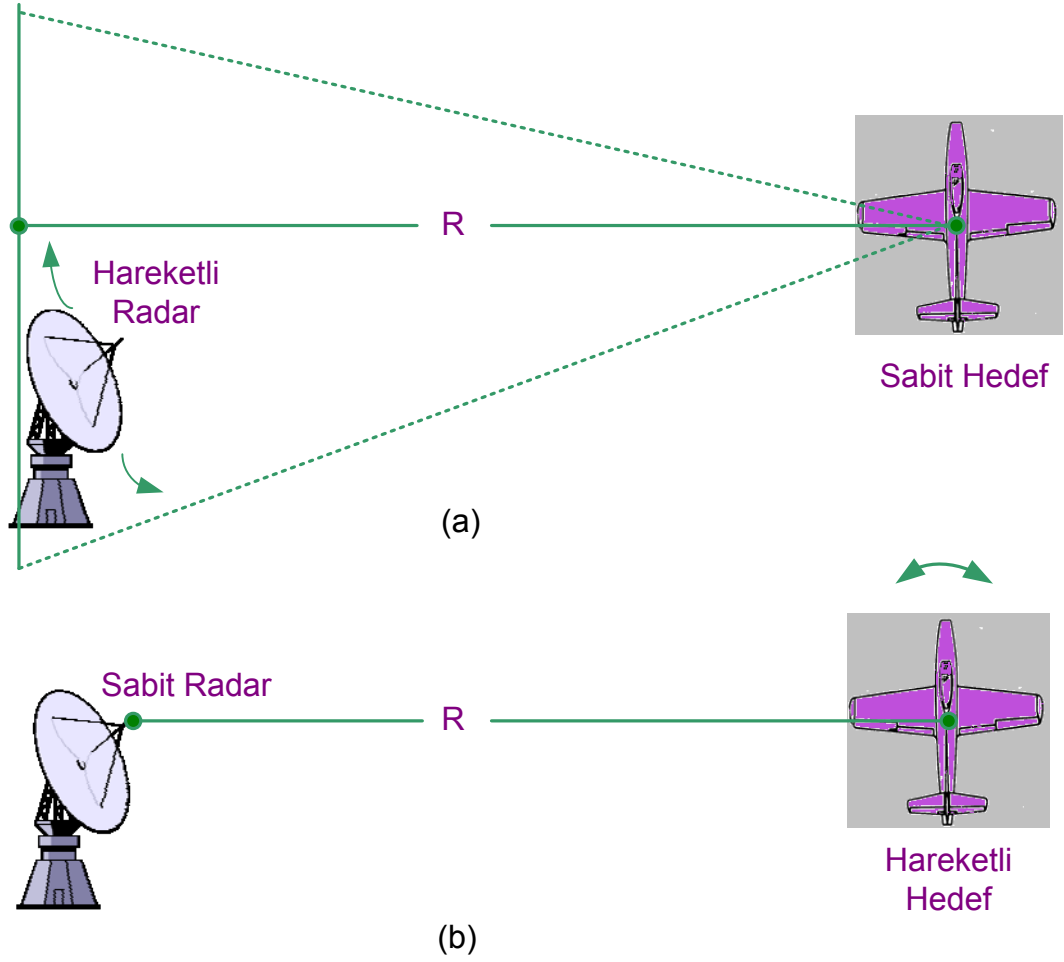
$$E^{BS}(\theta, \phi) = \frac{jk\eta \cdot \exp(-jkr)}{4\pi r} \iint_{S_A} \vec{J}_S \cdot \exp(jk\vec{r}_N) d\vec{s} \quad (2.6)$$

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

2.3. TERS YAPAY AÇIKLIKLI RADAR

Günümüzde radar teknolojisinin son basamağı Yüksek Çözünürlüklü Radar adı verilen radarlardır. Bu radarlar konum ve hız bilgilerinin yanısıra çevredeki cisimlerin görüntülerini oluşturma ve tanıma kabiliyetine de haizdirler. Yüksek Çözünürlüklü Radarların ilk uygulaması Yapay Açıklıklı Radarlardır. Bu radarlar uçan platformlarda konuşlu olup, günümüzde uydularda da konuşlandırılarak, hava durumu tahmini, tarımda üretim planlamaları, orman yangınlarının izlenmesi, istihbarat gibi amaçlarla kullanılmaktadırlar.

Ters Yapay Açıklıklı Radar (TYAR), hareketli hedeflerin menzil ve çapraz menzil uzaylarında görüntülenebilmesi için kullanılan güçlü bir sinyal işleme tekniğidir. YAR larda genellikle radar platformu hareketliyken, hedef sabittir. YAR da gerekli açısız bantgenişliği, radarın hedef veya arazi etrafındaki hareketiyle elde edilirken TYAR sistemlerinde ise radar sabit olup, uçak, gemi ya da tank gibi hedeflerin hareketiyle sağlanır. Bu tür radarların büyük bir kısmı askeri maksatlarla kullanılmaktadırlar. Şekil 2.4’de YAR ve TYAR sistemlerinin farklılığını göstermektedir.



Şekil 2.4. (a) YAR Sistemi (b) TYAR Sistemi

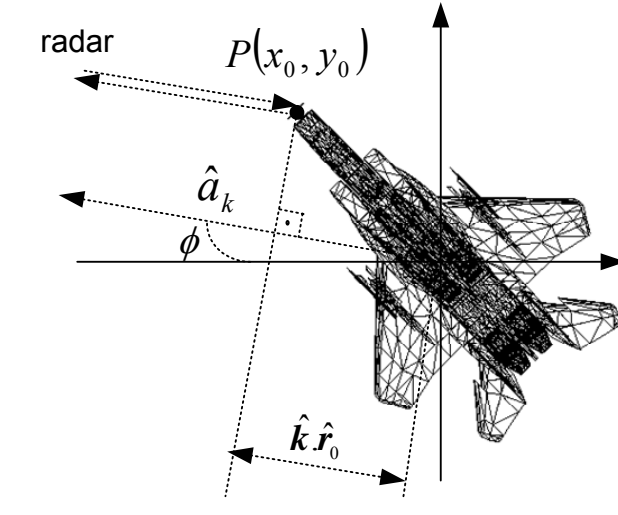
Ters Yapay Açıklıklı radar ile frekans bölgesinde toplanan veriler, bir boyutlu olarak işlenerek, menzil profilleri elde edilmektedir. Frekans bölgesindeki verileri zaman bölgesine dönüştürmek için en yaygın kullanılan yöntem *Ters Hızlı Fourier Dönüşümü*'dür.

Radar Kesit Alanı çalışmalarında, elektriksel olarak büyük bir hedeften elektromanyetik saçılma, hedef üzerinde saçılma merkezi olarak adlandırılan ayırık noktalardan oluştuğu kabulüyle yaklaşık olarak modellenenir. Saçılma merkezi modeli birçok radar uygulamalarında gerçek karmaşık hedefin seyrek soyutlamasını sağlar. Büyük veri setlerini saklamak yerine, saçılma merkezinin konumu ve şiddeti bilgisiyle hedefin bir boyutlu (1-B) menzil profili ve iki boyutlu (2-B) Ters Yapay Açıklıklı Radar İmgesi ve RKA değeri gerçek zamanlı olarak kolaylıkla elde edilebilir[10].

2.3.1. TYAR Teorisi

Genellikle iki boyutlu (2-B) TYAR imgeleri, geri saçılan sinyalin frekans ve bakış açıları ile menzil ve çapraz menzilde oluşturulur. *Bistatik* TYAR sisteminde, radarın alıcısı ve vericisi farklı konumlardadır. Eğer radar, hem alıcı hemde verici olarak çalışıyor ise bu durumda *Monostatik* TYAR olarak adlandırılır.

Şekil 2.5’ de TYAR imgesinin *Monostatik* durum için geometrisini göstermektedir ve $P(x_0, y_0)$ hedef üzerinde noktasal bir saçıcıdır.



Şekil 2.5. Monostatik TYAR görüntüsü için geometri

Faz merkezi olarak orijin noktası alınırsa, P noktasından ϕ bakış açısı yönünde geri saçılan elektrik alan aşağıdaki gibi yazılabilir,

$$E_s(k, \phi) = A_0 \exp(j2\hat{k}.r_0) \quad (2.7)$$

Burada A_0 geri saçılan elektrik alanının genliği, \hat{k} ilerleme yönündeki vektörel dalganumarasını ve r_0 ise orjinden P noktasına olan uzlamsal vektörü vermektedir. Dalga numarası \hat{k} vektörünün x ve y yönlerindeki bileşenleri şu şekilde yazılabilir,

$$\begin{aligned} \hat{k} &= k.\hat{a}_k = k_x.\hat{a}_x + k_y.\hat{a}_y \\ &= k.(\hat{a}_x \cos \phi + \hat{a}_y \sin \phi) \end{aligned} \quad (2.8)$$

Burada \hat{a}_k , \hat{a}_x ve \hat{a}_y sırasıyla k , x ve y yönlerindeki birim vektörlerdir. Denklem 2.7'deki fazda bulunan $\hat{k}.r_0$ çarpanı aşağıdaki forma rahatlıkla dönüştürülebilir.

$$\begin{aligned} \hat{k}.r_0 &= k(\cos \phi.a_x + \sin \phi.a_y).(x_0.a_x + y_0.a_y) \\ &= k \cos \phi.x_0 + k \sin \phi.y_0 \end{aligned} \quad (2.9)$$

2.7' deki denklemi yeniden yazacak olursak,

$$E_s(k, \phi) = A_0 \exp(j2k \cos \phi.x_0). \exp(j2k \sin \phi.y_0) \quad (2.10)$$

Denklem 2.9' da da görüldüğü gibi, $2k \cos \phi$ ile x_0 ve $2k \sin \phi$ ile y_0 arasında *Fourier* ilişkisi mevcuttur. Bu nedenle TYAR imgesi, menzil ve çapraz menzilde 2-B lu *Fourier* dönüşümü kullanarak oluşturulabilir[6].

2.3.2. Küçük Bant Genişliği Ve Küçük Açılı Yaklaşımı ile TYAR Görüntüleme

Frekans bant genişliği BW_f 'in merkez çalışma frekansı f_c den küçük olduğu varsayıldığında, denklem 2.9' daki toplam ifadesindeki 2. ve 3. terimlerdeki $k \approx k_c$ olarak alınabilir. Ayrıca, geri saçılan alanın $+x$ yönünde, ϕ yönündeki açılmal bant genişliğinin küçük olduğu varsayıldığında, aşağıdaki yaklaşımlar geçerlidir.

$$\begin{aligned} \cos \phi &\approx 1 \\ \sin \phi &\approx \phi \end{aligned} \tag{2.11}$$

Bu durumda, P noktasından saçılan elektrik alan ifadesi yaklaşık olarak aşağıdaki gibi yazılabilir,

$$E_s(k, \phi) \cong A_0 \cdot \exp(j2k \cdot x_0) \cdot \exp(j2k_c \phi \cdot y_0) \tag{2.12}$$

P noktasındaki noktasal saçımın görüntüsünü menzil ve çapraz menzil de, k ve ϕ yönlerinde 2-B lu *Fourier* dönüşümü olarak elde edilebilir.

$$IFT_2 \{E_s(k, \phi)\} = A_0 \cdot IFT_1 \{\exp(j2k \cdot x_0)\} \cdot IFT_1 \{\exp(j2k_c \phi \cdot y_0)\} \tag{2.13}$$

$$E_s(x, y) = A_0 \cdot \delta(x - x_0) \cdot \delta(y - y_0)$$

Burada $\delta(\cdot)$ ile gösterilen darbe fonksiyonudur. Bir hedefin 2-B lu TYAR görüntüsü, saçılan alanın *Fourier* integrali ile elde edilir.

$$TYAR(x, y) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} E_s(k, \phi) \cdot e^{j2k \cdot x} \cdot e^{j2k_c \phi \cdot y} \cdot d(k) \cdot d(k_c \phi) \quad (2.14)$$

Fourier entegrali alınırken sonsuz frekans ve açılı bant genişliği olduğunda doğrudur. Ancak, gerçekte saçılan alan sonlu frekans bant genişliği ve açılar için toplanmaktadır. Dolayısıyla; denklem 2.8'deki 2-B birim darbe fonksiyonu, 2-B sinc (sinus cardinalis) fonksiyonuna dönüşecektir [6].

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

Denklem (2.11)' in ilk faz teriminden de görüldüğü gibi, TYAR görüntüsünün menzil çözünürlüğü ,

$$\Delta r = \frac{2\pi}{2BW_k} = \frac{c}{2BW_f} \quad (2.15)$$

Aynı denklemin ikinci faz teriminde, çapraz menzil çözünürlüğü, Δx , benzer şekilde elde edilir,

$$\Delta x = \frac{2\pi}{2k_c BW_\phi} = \frac{c}{2f_c BW_\phi} = \frac{\lambda_c}{2BW_\phi} \quad (2.16)$$

Bu nedenle, geniş frekans bant-genişliği iyi menzil çözünürlüğü ve geniş açılı bant-genişliği iyi çapraz menzil çözünürlüğünü verir. Örneğin, eğer bir hedefin EM yansıtıcılığı 9.5 GHz ve 10.5 GHz frekans aralığında ve 11.5 derece açılı bant genişliğinde ele alınacak olunursa, menzil ve çapraz menzil çözünürlüklerinin her ikisinde 15 cm olacaktır.

Menzil ve çapraz menzil çözünürlükleri bulunarak, örnekleme noktalarının sayısı ile bu alanlarda bant-genişlikleri belirlenebilir. Eğer frekans aralığında N tane ve açılı aralıkta da M tane örnekleme yapılacak olunursa, imge uzayının bant-genişlikleri aşağıdaki gibi verilir,

$$BW_r = N.\Delta r = \frac{N.c}{2.BW_f} \quad (2.17)$$

$$BW_x = M.\Delta x = \frac{M.c}{2.BW_\phi}$$

Örneğin, 2-B lu frekans-açı verisi, menzil ve çapraz menzil uzaylarında 128 örnek alınarak toplanırsa, görüntünün boyutları 19,2 m x 19,2 m olarak bulunur[6].

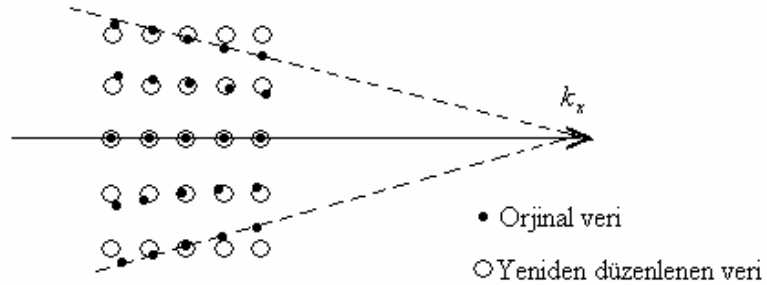
2.3.4. Büyük Bant-Genişliği Ve Büyük Açılı Yaklaşımı ile TYAR Görüntüleme Genel Düzlemsel Dalga

Eğer küçük bant-genişliği ve küçük açılı yaklaşımı geçerli değilse, denklem 2.8' deki TYAR görüntüsü integrali,

$$E_s(x, y) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} E_s(k, \phi) . e^{j2k.r} d(k) . d(\phi)$$

$$= \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} E_s(k, \phi) . e^{j2k \cos \phi . x} . e^{j2k \sin \phi . y} d(k) . d(\phi) \quad (2.18)$$

şeklinde yazılır.



Şekil 2.6. Kutupsal TYAR verisinin dikdörtgensel olarak yeniden biçimlendirilmesi

TYAR görüntüsünün oluşumunda ayrık Fourier dönüşümünü kullanabilmek için, verilerin düzgün dikdörtgensel biçimde ayrık şekilde olması gerekir. Bu nedenle, veriler, Şekil 2.6' da da gösterildiği gibi kutupsal koordinatlardan, kartezyen koordinatlara dönüştürülmelidir[6].

2.3.5. Üç Boyutlu TYAR Görüntüsü

Üç boyutlu TYAR görüntüsü için, bakış açısında saçılan veriler 2-B'lu olarak toplanır. Küçük bant-genişliği, küçük açı yaklaşımı ile eğer BW_f , BW_θ ve BW_ϕ sırasıyla frekans, azimuth, elevation' nun bant-genişlikleri ise o zaman uygun görüntü çözünürlükleri menzil ve iki çapraz menzil boyutlarında aşağıdaki gibi verilir,

$$\Delta x = \frac{2\pi}{2.BW_f} \quad \Delta y = \frac{\lambda_c}{2.BW_\phi} \quad \Delta z = \frac{\lambda_c}{2.BW_\theta} \quad (2.19)$$

λ_c , merkez frekansa karşılık gelen dalga boyudur. Böylece 3-B'lu görüntü, 3-B'lu *Fourier integral*'ini alarak elde edilebilir.

$$TYAR_{3B}(x, y, z) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} E_S(k, \phi, \theta) e^{j2k.x} . e^{j2k_c\phi.y} . e^{j2k_c\theta.z} d(k) d(k_c\phi) d(k_c\theta) \quad (2.20)$$

3. MATERYAL VE METOT

3.1. RKA KESTİRİMİ

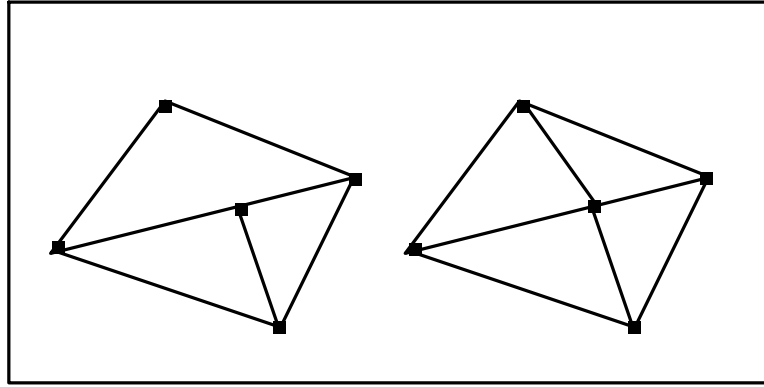
RKA değerini farklı yöntemler kullanarak ve farklı varsayımlara dayanarak kestirmek mümkündür. Ticari yazılımların büyük bir kısmında, yüksek frekansta RKA değeri hesaplanmasında GO tekniğine dayanan, Bhalla ve Ling tarafından geliştirilen seken ışın yöntemi, SIY, (shooting and bouncing ray, SBR) kullanılmaktadır[2].

Bu çalışmada da öncelikle EM saçılma alanlarının hesaplanması için Bölüm 2’de anlatılan SIY’a dayanan, Fortran dilinde yazılıp derlenmiş bir kodla gerçekleştirilmektedir. Saçılmalar hem monostatik hem de bistatik durumlar için ve değişik bakış açılarında Matlab programlama dili kullanılarak hesaplanmaktadır ve hedeflerin görüntüleri oluşturulmaktadır.

3.2. BİLGİSAYAR DESTEKLİ TASARIM MODELLERİNİN İNCELENMESİ

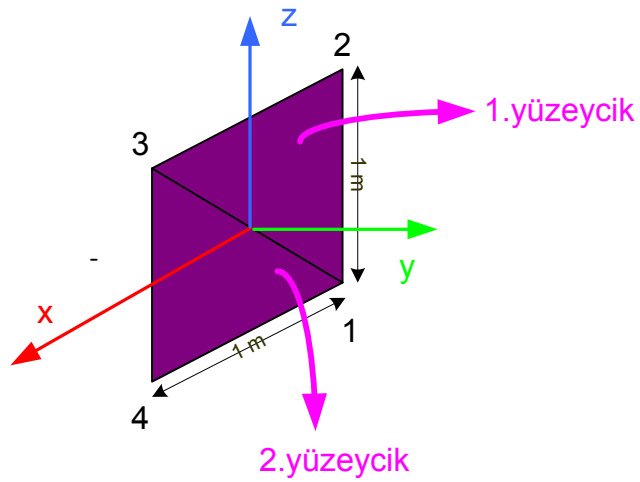
Hedef cismin şeklini tanımlamak için bir bilgisayar destekli tasarım (computer aided design – CAD) programı kullanmak gerekmektedir. Tez çalışmasında kullanılan BDT programları Rhinoceros, Emerald ve 3Dview programları olup kullanılan dosya formatları da *.facet ve *.Raw formatındadır. Örnek dosya formatları incelenerek bu dosya türlerinin yapıları hakkında bilgiler sunulmuştur. *.facet dosya formatında cismin yüzeyi küçük parçalar şeklinde oluşturulur ve bu yüzeycik (facet) adı verilen küçük üçgenlere ayırarak tanımlar. Her yüzeycik için üç köşe noktasının koordinatları, 3-B lu kartezyen koordinat sistemine göre verilir. Dolayısıyla her bir yüzeycik için 9 sayı kullanılmaktadır (3 köşe koordinatı x 3 kartezyen sistemi elemanı). Tez çalışmasında Fiziksel Optik (*Physical Optics, PO*) bazlı SIY yöntemine dayanan bir kod kullanıldığından hedef geometrisi üçgen şeklinde modellenerek incelenir.

Köşe- köşeye kuralına göre, bir üçgen yüzeycik komşu üçgen yüzeycik ile iki köşe paylaşmak zorundadır. Bir başka deyişle, bir yüzeycik köşesi başka bir yüzeycik kenarı üzerinde olamaz. Bu kural da Şekil 3.1’de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Yüzeycik için köşe-köşeye kuralı

Aşağıda 1 (m) x 1 (m) boyutunda bir plaka için oluşturulmuş örnek bir facet dosyası verilmektedir.



Şekil 3.2. 1 (m) x 1 (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. 1 (m) x 1 (m) boyutundaki plaka için oluşturulmuş *.facet dosya örneği

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

Versiyon = Facet File v1.0

Başlık = Polyhedral Collection şeklinde gösterilmektedir.

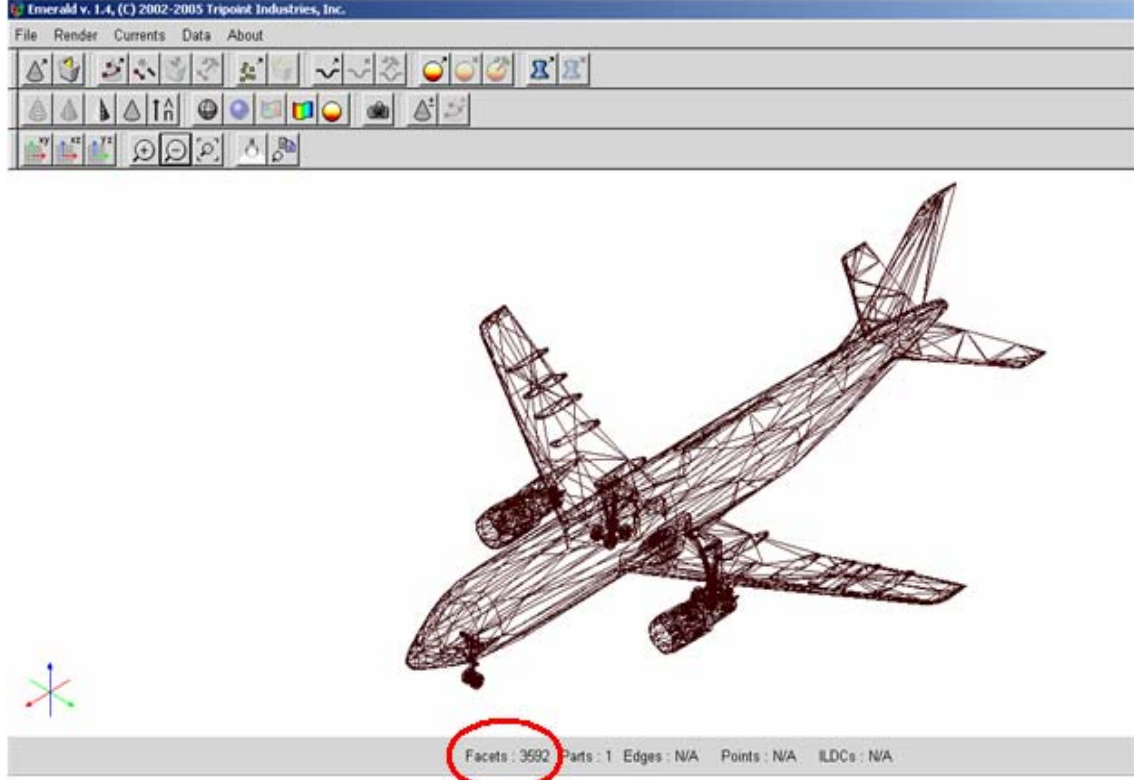
Verilen plaka örneğinde 4 köşe mevcut olup, (1-2-3) ve (1-3-4) şeklinde 2 yüzeycik oluşmuş olur. Köşe numaraları Şekil 3.2’deki gibi numaralandırıldığında facet dosyası içerisinde de köşelerin 3-B’li koordinatlarının yeri sırasıyla yazılmıştır. Böylelikle plaka cismini [4x3], boyutunda bir matrisle tanımlamış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

```
Object      1
-0.5000  0.0000 -0.5000 -0.5000  0.0000  0.5000  0.5000  0.0000  0.5000
-0.5000  0.0000 -0.5000  0.5000  0.0000  0.5000  0.5000  0.0000 -0.5000
```

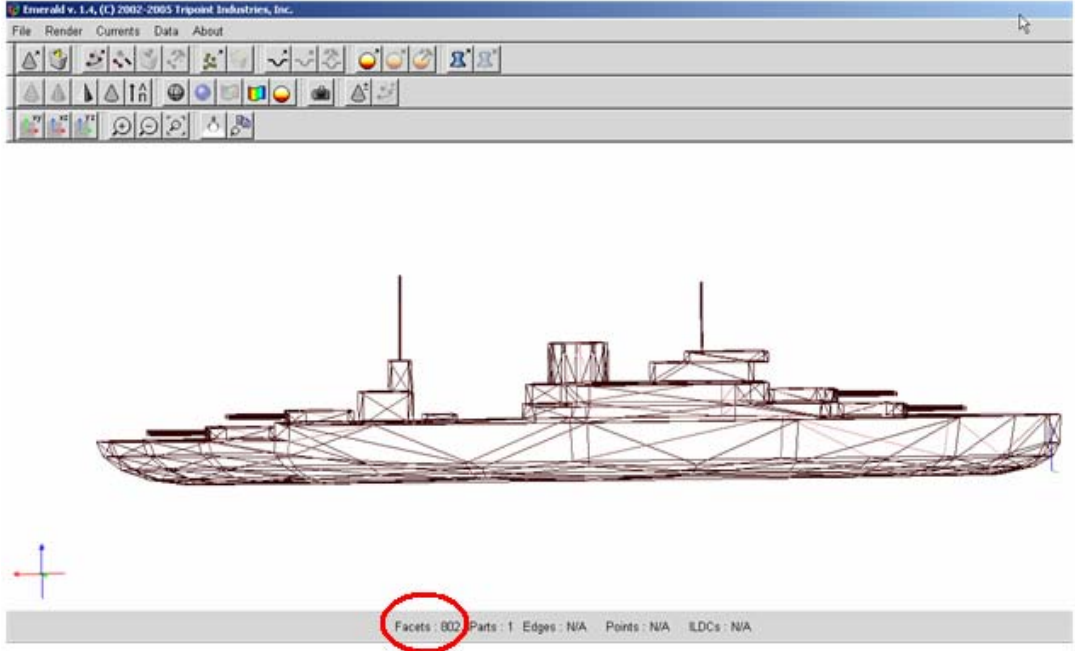
Şekil 3.4. 1 (m) x 1 (m) boyutundaki plaka için oluşturulmuş *.raw dosya örneği

Örnek dosyadan da görüleceği gibi raw dosyası 9 sütun' dan oluşmaktadır. Satır sayısı, oluşturulan yüzey sayısına eşittir. Şekil 3.3' de de gösterildiği gibi facet dosyası içeriği, her bir köşenin konumunu ve bu köşelerin birlikte oluşturdukları yüzeycikleri gösterir. Raw dosyasında ise, hangi yüzeyler oluşmuşsa sırasıyla, o yüzeyleri oluşturan her bir köşenin koordinatları Şekil 3.4' de ki formatta yazılır. Yani, plaka örneğini tekrar ele alırsak, plakada [1 2 3] ve [1 3 4] şeklinde olmak üzere 2 yüzeycik ve 4 köşe elemanı vardır. Bunu raw dosyası olarak oluşturduğumuzda [2*9]'luk bir matris şeklini alacaktır. Yüzeyin 2 tane olduğu ve $9 = 3$ köşe koordinatı x 3 kartezyen sistemi elemanı olduğundandır. Facet dosyası içerisinde ilk yüzey her zaman [1 2 3] yüzeyi olarak adlandırılır ve bu noktaların konumları $([x_1 y_1 z_1 x_2 y_2 z_2 x_3 y_3 z_3])$ şeklinde raw dosyası içerisinde ilk satırda oluşturulur.

Plaka cisimi basit bir geometriye sahip cisim olduğundan yüzey sayısı yalnızca ikidir. Daha karmaşık cisimler de bu değer çok fazlasıyla artmaktadır. Emerald programı, *.facet dosyasını okumaktadır. Aşağıdaki şekillerde uçak, gemi gibi farklı ve büyük geometrilere sahip cisimlerin görüntüleri Emerald programı kullanılarak gösterilmiştir.

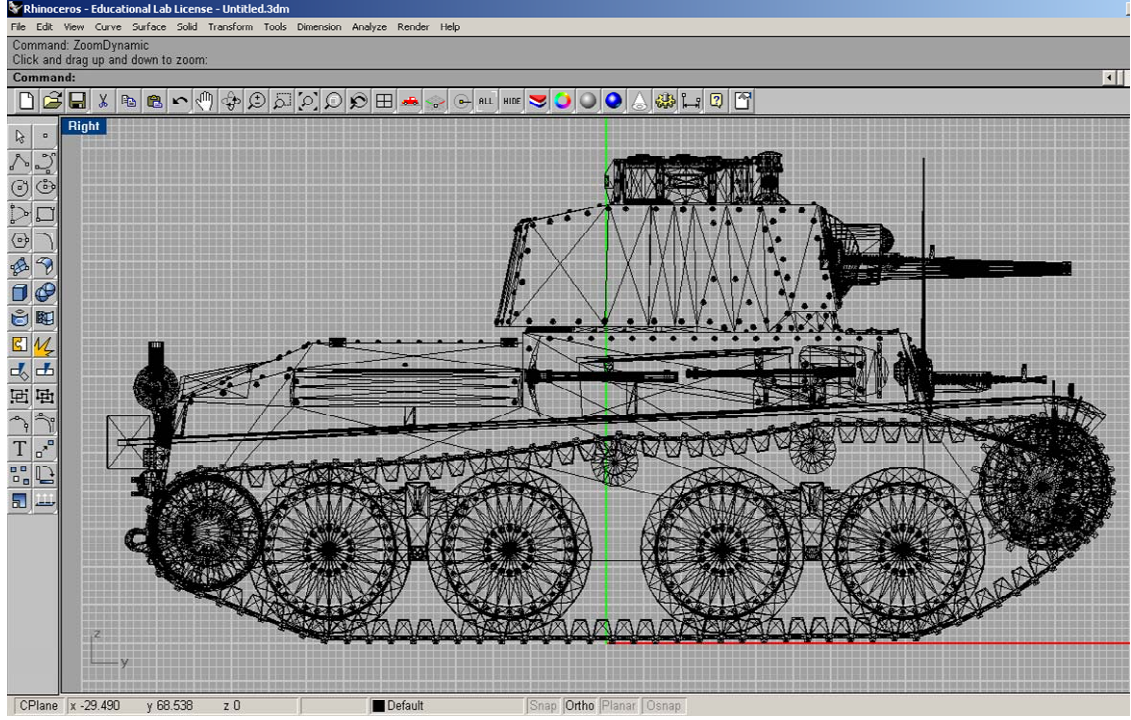


Şekil 3.5. Airbus uçağının Emerald programındaki görüntüsü



Şekil 3.6. Battleship_Malaya gemisinin Emerald programındaki görüntüsü

Şekil 3.5 ve 3.6' da Airbus uçağının ve Battleship_Malaya gemisi Emerald BDT programında yer almaktadır. Programdan da görüleceği gibi Airbus uçağı 3592 üçgen yüzeycikle ve Battleship_Malaya gemisi'de 802 üçgen yüzeycikle modellenmiştir.



Şekil 3.7. Lt38 Tankının Rhinoceros programındaki görüntüsü

Şekil 3.7’de Lt38 tankı Rhinoceros programında gösterilmiştir. BDT programlarında çoğunlukla *.raw dosya türü kullanıldığından mevcut *.facet dosyalarını, *.raw dosya türüne dönüştüren bir kod MATLAB’ da hazırlanmıştır. Oluşturulan *.m dosyası ekte sunulmaktadır.

3.3. TYAR GÖRÜNTÜLERİNDEN SAÇILMA MERKEZİ ANALİZİ

TYAR sistemlerinde radar sabit olup, açıklık hedefin hareketiyle oluşturulur. Elde edilen görüntüde, herhangi bir noktanın piksel yoğunluğu veya görüntünün parlaklığı geri saçılmanın gücüyle orantılıdır. İşte bu yüksek oranda geri saçılmaya sebep olan noktalara “saçılma merkezi” veya “hot spot” denir.

Radar Kesit Alanı çalışmalarında, elektriksel olarak büyük bir hedeften elektromanyetik saçılma, hedef üzerinde saçılma merkezi olarak adlandırılan ayrık noktalardan oluştuğu kabulüyle yaklaşık olarak modellenenir. Saçılma merkezi modeli birçok radar uygulamalarında gerçek karmaşık hedefin seyrek soyutlamasını sağlar. Büyük veri setlerini saklamak yerine, saçılma merkezinin konumu ve şiddeti bilgisiyle hedefin bir boyutlu (1-B) menzil profili ve iki boyutlu (2-B) Ters Yapay Açıklıklı Radar görüntüsü ve RKA değeri gerçek zamanlı olarak kolaylıkla elde edilebilir[10]. Saçılma merkezleri analizi, TYAR görüntüleme, veri sıkıştırması, elektrik-alan değerinin hızlı oluşturulması gibi önemli avantajlar sağlayan önemli bir analizdir.

TYAR görüntüleri dikkatli olarak incelendiğinde, genel olarak sınırlı sayıda noktasal saçıcılardan oluştuğu görülecektir. Bu yüzden, büyük ve karmaşık TYAR görüntülerinin aslında oldukça seyrek bir matrisden oluşmaktadır. Dolayısıyla, TYAR görüntüleri, aşağıda görüldüğü üzere sonlu sayıdaki Saçılma Merkezleri (SM) ile yaklaşık olarak gösterilebilir.

$$TYAR(x, y) \approx \sum_{i=1}^N A_n \cdot s(x - x_0, y - y_0) \quad (3.1)$$

Burada $s(x, y) = \sin c(2\Delta k) \cdot \sin c(2k_c \Delta \phi)$; radar görüntüleme noktasal yayılma fonksiyonu - NYF (point-spread-function - PSF) olarak bilinen ve saçılan alanın sonlu frekans ve açılı bant genişliklerinde toplanmasından dolayı görüntüde kendini gösteren bir olgudur[3]. SM'lerini görüntüden çıkarmak için CLEAN algoritması standart olarak kullanılan bir tekniktir [5]. CLEAN algoritması ilk kez radyo astronomi alanında kullanılmış ve mikrodalga modellemesi için uyarlanmıştır[5]. CLEAN, imajdaki en büyük noktayı bulan, bunu bir SM olarak kabul eden ve ilgili NYF'i imajdan ayıklayan iteratif bir tekniktir. Buna göre CLEAN tekniğinin m. iterasyonunda, 2-B kalan TYAR imajı aşağıdaki formülle bulunmaktadır.

$$\{2 - B \text{ TYAR imajı}\}^m = \{2 - B \text{ TYAR imajı}\}^{m-1} - A_m \cdot s(x - x_m, y - y_m) \quad (3.2)$$

3.3.1. SIY Yöntemi Kullanarak 3-B Saçılma Merkezi Analizi

Bir hedefin 3-B saçılma merkezi modelini bulabilmek için 3-B TYAR görüntüsünün elde edilmesi gerekir. SIY yöntemi kullanarak 3-B saçılma merkezleri bulunabilir. SIY yöntemini kullanarak, bir hedefin 3-B TYAR görüntüsü, bir bakış açısında TYAR algoritması üzerine kurularak oluşturulabilir. Burada temel fikir, ışın saçılım fonksiyonu kullanarak her bir ışın için görüntü uzayının güncellenmesidir[10].

Küçük açılı görüntüleme için, ışın yayılım fonksiyonu kapalı formda uygundur ve her bir ışının toplam TYAR görüntüsüne katkısı açıkça verilir.

SIY yönteminde çok yoğun olan ışın demeti platforma doğru gönderilir ve ışınlar geometrik optik (GO) kurallarına göre takip edilir. Her ışının saçıcıyı terk ettiği noktada, saçılan alana katkısını bulabilmek için ışın tüpü integrasyonu kullanılır. SIY tekniğinde ışın tüpü integrasyonu frekans uzayında elde edilir. Mükemmel iletken hedeflerin menzil profillerini doğrudan hesaplamak için, her ışının zaman uzayındaki katkısını bulmak gerekir.[12],[13] de 2-B lu TYAR

görüntüsünü oluşturarak imge uzayında her ışının katkısı kapalı formda 2-B saçınım fonksiyonunu oluşturur. Bunun gibi, 3-B lu TYAR görüntüsünden de 3-B lu ışın saçınım fonksiyonu elde edilir[10]. 3-B TYAR görüntüsü formülasyonu,

$$\text{Image3D}(x, y, z) = \sum_{i.\text{ışın}} \alpha_i h(x - x_i, y - y_i, z - z_i) \quad (3.3)$$

ile ifade edilir. Radar bantgenişliğinin, merkez frekanstan daha küçük olduğu yaklaşımla, kapalı form 3-B ışın saçınım fonksiyonu,

$$h(x, y, z) = e^{2jk_0z} k_0 \sin c(\Delta kz) \sin c(k_0 \Delta \theta x) \sin c(k_0 \Delta \theta y) \quad (3.4)$$

ile ifade edilir.

Yukarıdaki eşitlikte z aşağı menzili, x ve y de dikey çapraz menzil yönlerini ifade eder. Burada z_i i.ışının toplam menzil gecikmesi, x_i ve y_i de hedef üzerindeki vuruş noktasının çapraz menzil yerlerini belirtir. Doppler yorumu hedefin ilk ve son sekme noktalarının çapraz menzil yerinin ortasıdır[17]. Merkez frekans ve frekans bantgenişliğini k_0 ve Δk temsil ederken, $\Delta \theta$ ve $\Delta \phi$ sırasıyla 3-B lu TYAR görüntüsünün x ve y yönlerindeki açısal genişlik ifadeleridir. 3-B ışın saçınım fonksiyonu olan $h(x,y,z)$, SIY, tekniğine dayanır ve her ışının 3-B TYAR görüntüsüne katkısını ifade eder. Radar terminolojisinde sıklıkla kullanılan noktasal yayılım fonksiyonunun benzer şeklidir.

3-B TYAR görüntüsü, ayırık noktasal saçılım seti olan 3-B lu saçılma merkezleri kullanılarak elde edilebilir. Bu saçılma merkezleri (x_n, y_n, z_n) koordinatlarında ve genliği (A_n) olan noktasal saçıcılardır. Bilinen saçılma merkezlerini kullanarak 3-B'lu TYAR görüntüsü aşağıdaki şekilde yeniden yapılandırılabilir.

$$\text{Image3D}(x, y, z) \approx \sum_{n \text{ saçılma merkezi}} A_n h(x - x_n, y - y_n, z - z_n) \quad (3.5)$$

Burada $h(x,y,z)$, 3-B'lu ışın saçınım fonksiyonudur. 3-B lu TYAR görüntüsünden de (A_n, x_n, y_n, z_n) ifadeleri elde edilebilir[10].

3.3.2. 3-B Işın Saçınım Fonksiyonu

Bir hedefin 3-B'lu TYAR görüntüsünü elde etmek için, saçılan alanın frekans ve bakış açısı üzerinden ters *Fourier* dönüşümü alınmaktadır. SIY kullanılarak her ışının TYAR görüntüsüne doğrudan katkısı hesaplanarak, TYAR görüntüsü, görüntü uzayında doğrudan oluşturulmaktadır.

Her ışının görüntüye katkısı, ışın saçınım fonksiyonu ile hesaplanmaktadır. Işın saçınım fonksiyonunu bulabilmek için toplam saçılan alan bulunmalıdır. Hedefin mükemmel iletken olması durumunda, ışının katettiği yoldan dolayı oluşan faz gecikmesi de bu denklemde gösterilmelidir. Bu durumda, d_i , i . ışının kat ettiği mesafe olmak üzere elektrik alan bileşenleri,

$$E_{i\theta}^s = \frac{e^{-jkr}}{r} \frac{-jk}{4\pi} \sum_{i.ışın} e^{-jk(d_i - r_{A_i} \hat{r}_g)} \Delta A_i (\hat{\theta} \times \hat{s}_i - \hat{\phi}) \cdot [\hat{s}_i \times E(rA_i)] \quad (3.6)$$

$$E_{i\phi}^s = \frac{e^{-jkr}}{r} \frac{-jk}{4\pi} \sum_{i.ışın} e^{-jk(d_i - r_{A_i} \hat{r}_g)} \Delta A_i (\hat{\phi} \times \hat{s}_i + \hat{\theta}) \cdot [\hat{s}_i \times E(rA_i)] \quad (3.7)$$

olarak yazılabilir.

Elektrik alanın frekanstan bağımsız kısmı her ışın için elde edilen ışın genlikleri değerini oluşturur. İki polarizasyonda elde edilen ışın genlikleri,

$$A_{\theta}^i = \Delta A_i (\hat{\theta} \times \hat{s}_i - \hat{\phi}) \cdot [\hat{s}_i \times E(rA_i)] \quad (3.8)$$

$$A_{\phi}^i = \Delta A_i (\hat{\phi} \times \hat{s}_i + \hat{\theta}) \cdot [\hat{s}_i \times E(rA_i)] \quad (3.9)$$

olarak tanımlandığında denlem (3.6) ve (3.7),

$$E_{i\theta}^s = \frac{e^{-jkr}}{r} \frac{-jk}{4\pi} \sum_{i.işin} e^{-jk(d_i - r_{A_i} \cdot \hat{r}_g)} A_{\theta}^i \quad (3.10)$$

$$E_{i\phi}^s = \frac{e^{-jkr}}{r} \frac{-jk}{4\pi} \sum_{i.işin} e^{-jk(d_i - r_{A_i} \cdot \hat{r}_g)} A_{\phi}^i \quad (3.11)$$

olarak ifade edilebilir.

3-B'lu TYAR görüntüsünü oluşturmak için üç boyutlu *Fourier* dönüşümü konumsal uzayda (spatial domain) hesaplanır.

$$O_{\theta,\phi}(x, y, z) = \frac{1}{(2\pi)^3} \iiint_V \tilde{O}_{\theta,\phi}(k_x, k_y, k_z) e^{-jk_x x} e^{-jk_y y} e^{-jk_z z} dk_x dk_y dk_z \quad (3.12)$$

Burada $O_{\theta,\phi}(x, y, z)$ hedefin TYAR görüntüsü, $\tilde{O}_{\theta,\phi}(k_x, k_y, k_z)$ ise menzil bağımsız saçılan alan ifadesidir.

$$E_{\theta,\phi}^s = \frac{e^{-jkr}}{r} \frac{-jk}{4\pi} \tilde{O}_{\theta,\phi}(k_x, k_y, k_z) \quad (3.13)$$

Denklem (3.10)'daki ifadeden $\tilde{O}_{\theta,\phi}(k_x, k_y, k_z)$ iki şekilde yazılabilir[13].

$$\tilde{O}_{\theta,\phi}(k_x, k_y, k_z) = \sum_{i.işin} e^{-jk(d_i - r_{A_i} \cdot \hat{r}_g)} A_{\theta,\phi}^i = \frac{4\pi}{-jk} \frac{r}{e^{-jkr}} E_{\theta,\phi}^s \quad (3.14)$$

Bu denklem (3.11)'de yerine konularak,

$$O_{\theta,\phi}(x, y, z) = \frac{-1}{8\pi^3} \sum_{i.işin} A_{\theta,\phi}^i \iiint_V e^{-jk(d_i - r_{A_i} \cdot \hat{r}_g)} e^{-jk_x x} e^{-jk_y y} e^{-jk_z z} dk_x dk_y dk_z \quad (3.15)$$

olarak elde edilir.

3.3.3. CLEAN Algoritması Kullanılarak TYAR Görüntüsünden Saçılma Merkezlerinin Bulunması

TYAR görüntüsünden, Saçılma merkezi modelini elde etmek için bir çok yöntem mevcuttur. Tez çalışmasında 2-B'lu ve 3-B'lu görüntüden baskın saçılma merkezlerini bulmak için bir görüntü işleme algoritması olan CLEAN algoritması uygulanacaktır[5]. CLEAN, imajdaki en büyük noktayı bulan, bunu bir SM olarak kabul eden ve ilgili NYF'i imajdan ayıklayan iteratif bir tekniktir.

TYAR görüntüsünün en yüksek genliktesi noktası alınır ve bu noktada bir saçılma merkezi olduğu varsayılır. Böylelikle bir saçılma merkezi, 2-B'lu veya 3-B'lu görüntünün en yüksek genliğin bulunduğu (x_n, y_n) yada (x_n, y_n, z_n) noktasında elde edilmiş olur. SM'nin şiddeti de o noktadaki görüntünün genlik değeridir.

Buna göre CLEAN tekniğinin n. iterasyonunda, 2-B kalan TYAR imajı aşağıdaki formülle bulunmaktadır.

$$(2 - B \text{ TYAR İmaj}_{n+1}) = (2 - B \text{ TYAR İmaj}_n) - A_n h(x - x_n, y - y_n) \quad (3.16)$$

3-B kalan TYAR imajı da aşağıdaki formülle elde edilir,

$$(Kalan 3 - B İmaj_{n+1}) = (Kalan 3 - B İmaj_n) - A_n h(x - x_n, y - y_n, z - z_n) \quad (3.17)$$

CLEAN tekniği, kalan görüntüdeki enerjiyi monotonik olarak azalttığından, sonlanma ölçütü olarak görüntüdeki maksimum genliğin, başlangıçtaki maksimum genliğin belirli bir yüzdesine ulaşması olarak seçilebilir. Bu teknik, N döngü sonunda belirli bir sonlanma ölçütü olana kadar devam eder. 3-B'lu saçılma merkezlerinin elde edilmesi hem işlem yükü hemde bellek kullanımı açısından oldukça yoğundur. Örneğin, 128 x 128 x 128 noktadan oluşan bir görüntüyü güncellemek için her bir

ışın başına (128^3) adet kompleks işlem gerekecektir. On milyon ışıdan TYAR görüntüsünü oluşturmak için yaklaşık 2×10^3 işlem yapılmalıdır.

Bu sebeple işlem yükünü azaltmak için tüm TYAR görüntüsünün yeniden oluşturulması yerine öncelikle saçılma noktaları elde edilmelidir. Böylelikle aşağıdaki denklemde konvolosyon formunda ışın saçınım fonksiyonu,

$$h(x, y, z) = e^{-2jk_0z} k_0 \sin c(\Delta kz) \sin c(k_0 \Delta \theta x) \sin c(k_0 \Delta \phi y) \quad (3.18)$$

olmak üzere,

$$3-B \text{ görüntü } (x, y, z) = \left[\sum_{i.ışın} \alpha_i \delta(x - x_i) \delta(y - y_i) \delta(z - z_i) \right] * h(x, y, z) \quad (3.19)$$

olarak yazılabilir.

3-B'lu TYAR görüntüsü yerine, menzil ve çapraz menzil yönlerinde 1-B'lu TYAR görüntüleri oluşturulur. Ve her boyutta ayrı olarak 1-B'lu saçılma merkezleri bulunur. 1-B'lu saçılma merkezleri, 3-B'lu saçılma merkezlerinin menzil ve çapraz menzilde izdüşüm noktalarıdır ve kesişimlerinde muhtemel 3-B'lu saçılma merkezlerinin yerlerini gösterir. Bu sebeple TYAR görüntüsünü yalnızca saçılma merkezlerinin olduğu yerlerde oluşturmak işlem sayısını azaltacaktır. CLEAN algoritması da bu SM noktalarındaki en yüksek genlikli değerleri çekme işlemi yapar.

3.4. Ters Yapay Açıklıklı Radar Görüntülerinde Saçılma Merkezi Analizi Yardımıyla Platformların Radar Soğurucu Malzeme ile Kaplanarak RKA'larının Azaltılması

Muharebe sahasında düşman kuvvetler tarafından geç tespit edilmek ve hatta mümkünse hiç tespit edilememek doğal bir üstünlük sağlar. Görünmezlik [stealth] teknolojilerinin temel hedefi bu üstünlüğü elde etmektir. İngilizce'deki 'stealth' kelimesine tam karşılık gelen Türkçe bir kelime bulunmamakla birlikte genel olarak 'görünmezlik' olarak tercüme edilmektedir. Burada görünmezlikten kasıt, gözetleme

yapan birimlerin sensörlerinde alarm oluşturacak seviyede bir tespite sebep olmamaktır. Örneğin optik sensörler söz konusuysa görünmezlik, ortama uyum sağlayarak ayrı bir nesne olarak seçilmeyi güçleştirmek manasına gelir ki bu da kamufleji tanımlar. Ancak radar ve sonar gibi kendi yolladığı sinyalin ekolarına göre tespit yapan aktif sensörlere karşı görünmezlik ancak bu sensörlere kendi sinyallerini geri yansıtmayarak mümkündür. Aktif sensörlerde mutlak anlamda görünmezliğin sağlanması mümkün değildir. Bunun sebebi, en küçük cisimlerin bile sensöre yeterince yaklaştıklarında mutlaka tespit edilebilmeleridir. Dolayısıyla, radara karşı görünmezlik teknolojisinin maksadı mutlak görünmezliği sağlamaktan çok hedef cismin bir radar tarafından tespit edilme mesafesinin kısaltılmasıdır. Diğer bir anlatımla bir cismi olduğundan küçük göstermektir. Buradaki büyüklük veya küçüklüğün tanımı metre-kare cinsinden ölçülen RKA ile belirtilir. RKA hakkında bilgiler bölüm 2’de verilmişti.

RKA değeri sadece metre-kare cinsinden bir ölçüdür. Fakat tasarımcılar, RKA değerinin yüksek çıkmasına sebep olan platform bölgeleri hakkında da bilgi sahibi olmak isterler. Bu ihtiyaç, ölçüm ortamlarında cismin ISAR görüntülerinin çıkarılmasıyla gerçekleştirilmektedir. RKA hesaplamaları sırasında da ‘anlık Doppler yaklaşımı’ gibi teknikler kullanılarak RKA değeri kestirilen platformun SAR görüntüleri oluşturulabilir. Bu görüntülerde cismin kuvvetli yansımaya sebep olan kısımları belirgin haldedir. Bu kuvvetli yansıma kısımları yukarıdaki bölümde de bahsedildiği gibi ‘saçılma merkezleri [scattering centers]’ veya ‘sıcak noktalar [hot spots]’ olarak da anılır [10]. Doğru kullanıldığı takdirde, bir açı $[\theta]$ ve frekansta $[f_0]$ yapılan saçılma merkezi analizi neticesinde elde edilen sonuçlardan, cismin $\theta_0 \pm \Delta\theta$ ve $f_0 \pm \Delta f$ açı ve frekans bölgelerindeki RKA değerlerini belli bir hassasiyette tahmin etmek mümkün olmaktadır. Bu da yukarıda ‘açısal bağımlılık’ başlığı altında belirtildiği üzere tepe RKA değerlerini kaçırmamak için miliradyan adımlarla açısal tarama yapma kısıtının üstesinden gelinmesini sağlar.

Yukarıda da ifade edildiği üzere, bir cismin RKA değeri, radarın o cisme bakış açısına ve frekansına göre değişir. Silahlı kuvvetlere ait gemi, uçak, güdümlü mermi gibi platformların RKA değerlerinin düşük olması, bu platformların düşman

radarları tarafından daha yakın menzilde görülmesini sağlar veya arka plandaki gürültü [veya kargaşa] arasında seçilmesini zorlaştırır. Dolayısıyla düşük RKA değerine sahip olan platformlara karşı tedbir geliştirme süresi kısa olur ve bu platformların saldırı kabiliyetleri artar. Bu sebepten, silahlı kuvvetler tarafından kullanılan platformların RKA değerlerini düşürmek için gelişmiş ülkelerde pek çok çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmalar genel olarak iki grupta toplanabilir.

Birincisi, platformların tasarımları ve geliştirmeleri sürecinde geometrik şekilleri ile oynanarak RKA azaltımı sağlanmasıdır. ABD Hava Kuvvetleri [USAF] envanterindeki F-117 ve B-2 uçaklarının ve yeni nesil hücum botlarının alışılmışın dışındaki görünüşleri radar sinyallerini geri yansıtmamak üzere yapılmış çalışmaların eseridir. Geometrik tasarım faaliyeti envanterde bulunan platformlar için uygun bir yöntem değildir.

RKA azaltıcı çalışmaların ikincisi, radar soğurucu malzeme [RSM; Radar Absorbing Material, RAM] ile platformların yüksek RKA'ya sebep olan kısımlarının boyanmasıdır. Bu faaliyetin temel kısıtları olarak uygun RSM teknolojilerinin geliştirilmesi ve tatbik edilen platformların şartlarına uygun hale getirilmesi [Ör: hava platformları için yüksek hızlardaki sürtünmeye ve yağmur erozyonuna karşı; deniz platformları için nem ve tuzluluğa karşı dayanımının sağlanması] düşünülebilir. Ayrıca platform üzerinde hangi bölgelere RSM tatbik edileceğinin bulunması da başlı başına bir problemdir. RKA düşürmeye yönelik iki faaliyet de sadece denemeler ve doğrudan RKA ölçümleriyle yürütülürse hem zaman, hem de maliyet olarak çok yüksek bedeller gerektirebilir. Ancak, bu iki faaliyette de gerçek platformlar üzerinde denemelerin yapılmasından önce bir yazılım ile bilgisayar ortamında tanımları yapılmış olan platformların RKA değerlerinin hesaplanması ve ön tasarımların simülasyon ortamında tamamlanması zaman ve maliyet olarak büyük tasarruf sağlar.

Bu tez çalışmasında; nümerik elektromanyetik yöntemler kullanarak gemi ve uçak gibi büyük ve karmaşık platformdan elektrik alan saçılımı sonrasında elde edilen TYAR görüntülerinden Saçılma merkezleri analizi ile hedefler üzerindeki

sıcak bölgelerin tespit edilmesi ve bu bölgelerin RSM ile kaplanarak, RKA'larının azaltılması araştırılmaktadır. Hedeflerin EM saçılması hesabında Seken Işın Yöntemi, SIY, (Shooting and Bouncing Ray - SBR) bazlı bir benzetim yazılımı kullanılmaktadır [3]. Bölüm 4'de de değişik uçak ve gemi hedeflerin çoklu-frekans, çoklu-açı EM benzetimleri sonucunda elde edilen TYAR görüntülerine SM analizi uygulanması neticesinde bulunan saçılma merkezleri civarına Mükemmel Soğurucu (MS) malzeme kaplanmıştır. MS malzeme kaplanmış yeni hedefin EM benzetimi tekrar gerçekleştirilerek, 2-B yeni TYAR görüntüsü çıkarılmıştır. Hedefin eski ve yeni RKA değerleri ve benzer olarak eski ve yeni TYAR görüntülerinin karşılaştırılmasıyla; saçılma merkezleri analizinin RKA değerinin azaltılmasındaki performansı incelenmiştir.

4. BULGULAR VE TARTIŞMALAR

Bu bölümde, bölüm 2 ve 3 de anlatılan RKA, TYAR görüntüsü elde etme ve SM analizi ile ilgili olarak yapılan benzetim çalışmaları sunulmaktadır.

4.1. RKA KESTİRİM KODUNUN DOĞRULANMASI

Bölüm 2 ve 3' de anlatılan RKA hesabı ve hedeflere uygulanan RKA kestirim programının bazı basit hedeflerdeki sonuçları gözlemlenmiştir. Bu basit cisimlerin yaklaşık analitik hesapları da ele alınarak, analitik sonuçlarıyla ve SIY yöntemine dayanan kodumuzun sonuçları karşılaştırılmıştır.

4.2. DENEYSEL BULGULAR

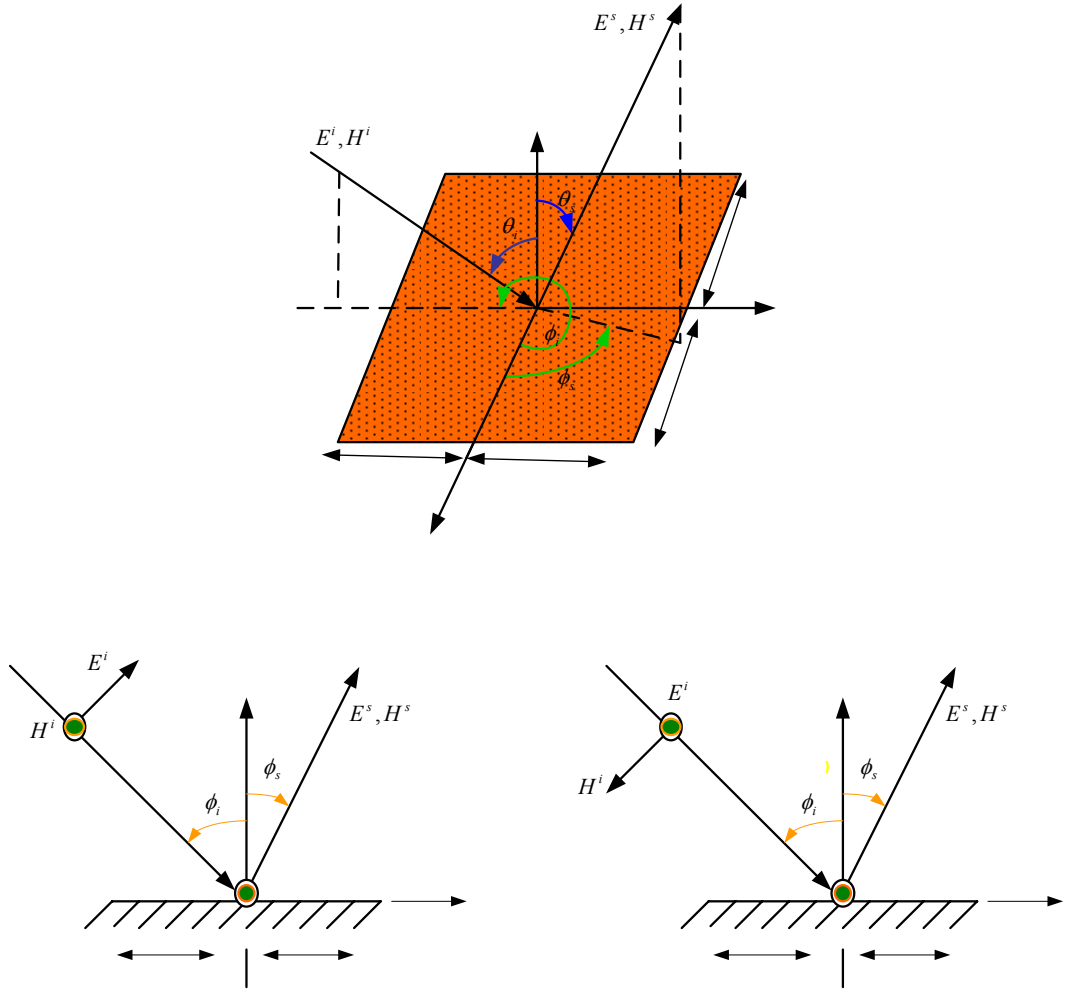
Çalışmanın bu kısmında, büyük ve karmaşık hedefler üzerinde Bölüm 2 ve 3' de anlatılan konuların analizi yapılmış olup sonuçları sunulmuştur.

4.2.1. DİKDÖRTGEN LEVHA

Şekil 4.1'(a) da gösterildiği gibi, kenar uzunlukları a ve b olan bir dikdörtgen levhayı ele alalım. TE^x polarizasyonunda ve yz düzleminde yer alan düzenli düzlemsel dalga Şekil 4.1(b)'de gösterilmiştir. Elektrik ve manyetik alan bileşenleri aşağıdaki şekilde yazılabilir[11].

$$E^i = \eta H_0 (\hat{a}_y \cos \theta_i + \hat{a}_z \sin \theta_i) e^{-j\beta(y \sin \theta_i - z \cos \theta_i)} \quad (4.1)$$

$$H^i = \hat{a}_x H_0 e^{-j\beta(y \sin \theta_i - z \cos \theta_i)} \quad (4.2)$$



Şekil 4.1. İletken bir dikdörtgen levha üzerine gelen düzgün düzlemsel dalga.
 (a) Dikdörtgen Levha. (b) yz düzleminde: TE^x polarizasyon. (c) yz düzleminde: TM^x polarizasyon [11].

Burada H_0 gelen manyetik dalganın büyüklüğüdür. Saçılan alan fiziksel optik tekniklerini kullanarak, kenar etkilerini ihmal ederek bulunabilir. Plaka'nın yüzeyinde oluşan akım yoğunluğu ;

$$J_s \cong 2\hat{n} \times H^i \Big|_{\substack{z=0 \\ y=y'}} = 2\hat{a}_z \times \hat{a}_x H_x \Big|_{\substack{z=0 \\ y=y'}} = \hat{a}_y 2H_0 e^{-j\beta y' \sin \theta_i} \quad (4.3)$$

$$J_x = J_z = 0 \quad \text{ve} \quad J_y = 2H_0 e^{-j\beta y' \sin \theta_i} \quad (4.4)$$

şeklindedir. Saçılan alan ifadeleri ise, E düzleminde ($\phi_s = \pi/2$) ve H düzleminde ($\theta_s = \theta_i, \phi_s = 0$), elektrik alan bileşenleri, E düzleminde ($\phi_s = \pi/2$);

$$E_r^s \approx E_\phi^s \approx 0 \quad (4.5)$$

$$E_\theta^s \cong C \frac{e^{-j\beta r}}{r} \left\{ \cos \theta_s \left[\frac{\sin \left[\frac{\beta b}{2} (\sin \theta_s - \sin \theta_i) \right]}{\frac{\beta b}{2} (\sin \theta_s - \sin \theta_i)} \right] \right\} \quad (4.6)$$

H düzleminde ($\phi_s = 0$)

$$E_r^s \approx E_\theta^s \approx 0 \quad (4.7)$$

$$E_\phi^s \cong C \frac{e^{-j\beta r}}{r} \left\{ \frac{\sin \left[\frac{\beta b}{2} (\sin \theta_i) \right]}{\frac{\beta b}{2} (\sin \theta_i)} \right\} \left\{ \frac{\sin \left[\frac{\beta a}{2} (\sin \theta_s) \right]}{\frac{\beta a}{2} (\sin \theta_s)} \right\} \quad (4.8)$$

Toplam saçılan alanın maksimum değeri aşağıdaki şekilde ifade edilir.

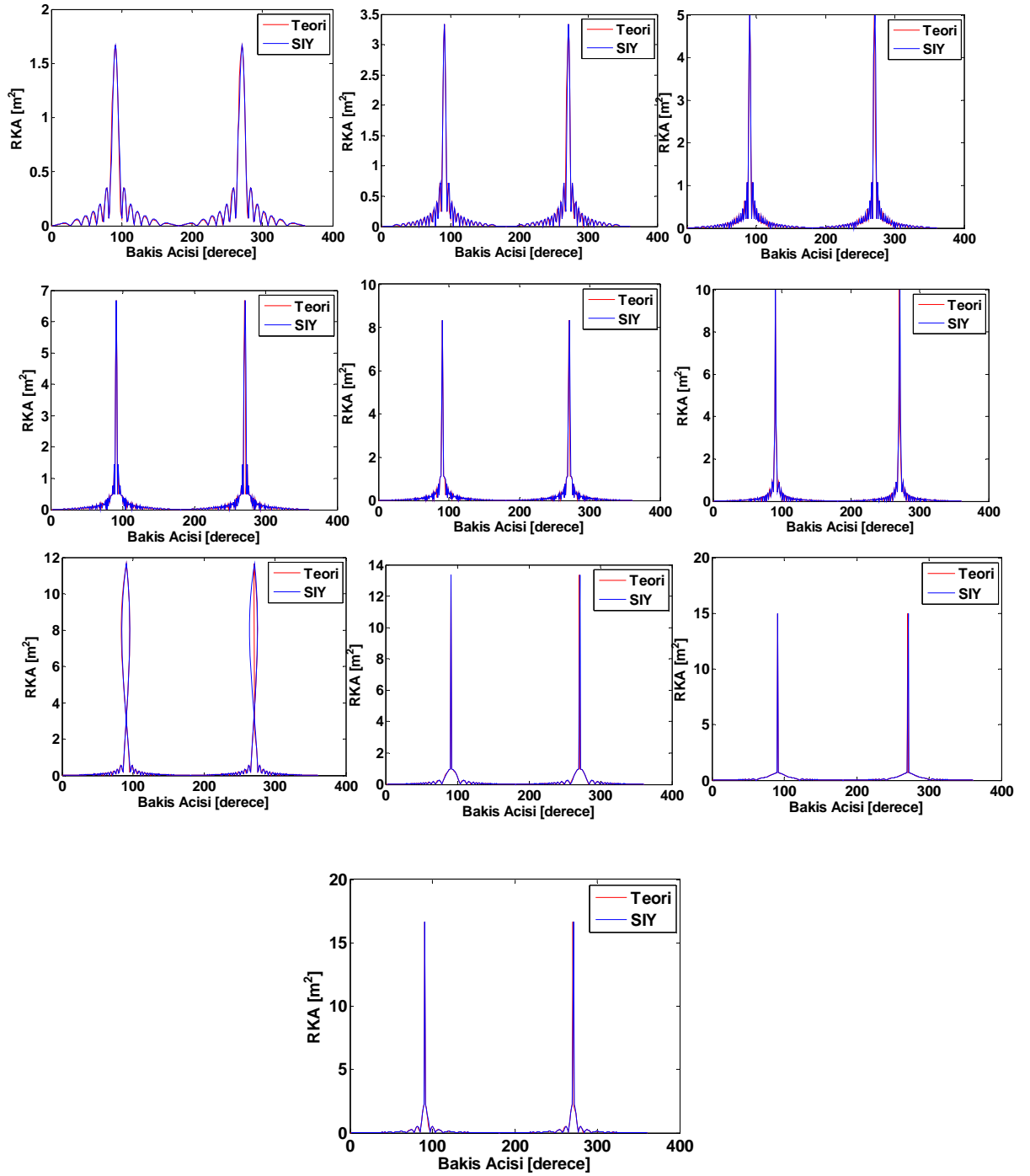
$$E^s = \sqrt{(E_r^s)^2 + (E_\theta^s)^2 + (E_\phi^s)^2} \cong \sqrt{(E_\theta^s)^2 + (E_\phi^s)^2} \quad (4.9)$$

Levhanın alanını, $A=ab$, şeklinde hesaba katarak radar kesit alanı hesabı;

$$\sigma_{3-D} = \lim_{r \rightarrow \infty} \left[4\pi r^2 \frac{|E^s|^2}{|E^i|^2} \right] = \lim_{r \rightarrow \infty} \left[4\pi r^2 \frac{|H^s|^2}{|H^i|^2} \right] \quad (4.10)$$

$$\sigma_{3-D} = 4\pi \left(\frac{ab}{\lambda} \right)^2 \cos^2 \theta_i \left[\frac{\sin(\beta b \sin \theta_i)}{(\beta b \sin \theta_i)} \right]^2 \quad (4.11)$$

monostatik durumda RKA ifadesi denklem (4.11)şeklindedir.

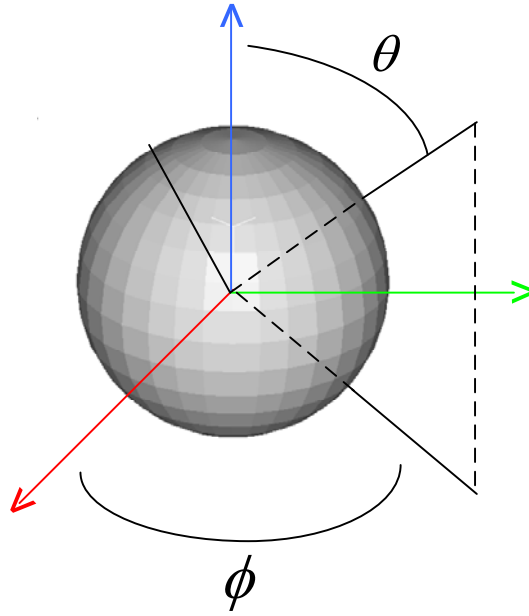


Şekil 4.2. $a = b = 1$ m, boyutunda bir kare plaka için, sırasıyla $f=1$ GHz'den $f=10$ GHz'e kadar RKA hesabı ve analitik çözümü ile karşılaştırılması

Şekil 4.2'den de görüldüğü gibi teorik ve SIY ile hesaplanan RKA değeri mükemmel olarak örtüşmektedir. Bu da SIY ile yansıma etkilerinin başarılı olarak bulunabileceğini gösterir.

4.2.2. KÜRE

Saçılma problemlerinin az sayıda cisim için uygulanabilir bir matematiksel çözümü mevcuttur. Küre, simetrisinden dolayı bu cisimlerin saçılım özelliklerini incelemek için, referans saçıcı olarak kullanılır. Bu sebeple iletken bir kürenin saçılma karakteristiğini anlamak oldukça önemlidir[11].



Şekil 4.3 İletken bir küre üzerindeki düzenli dağılmış düzlemsel dalga şekli

Yarıçapı a olan mükemmel iletken bir küreden saçılan elektrik alanlar ve geri saçılma için RKA değerlerini analitik olarak hesaplamak mümkündür[14].

Bu hesaplamalarda kullanılan $P_n^1 \cos(\theta)$ n'inci dereceden birinci mertebe birleştirilmiş Legendre polinomu, $P_n^1 \cos(\theta)$ ise aynı polinomun birinci dereceden türevidir.

$B_n(x)$, bir Bessel fonksiyonu olmak üzere,

$$\hat{B}_n(x) = \sqrt{\frac{\pi x}{2}} B_{n+1/2}(x) \quad (4.12)$$

şeklinde tanımlanmıştır. \hat{J}_n , n'inci dereceden küresel Bessel fonksiyonu, \hat{J}_n' aynı fonksiyonun birinci dereceden türevi, \hat{H}_n^2 , n'inci dereceden ikinci tip Hankel fonksiyonu, $\hat{H}_n^{2'}$ ise bu fonksiyonun birinci dereceden türevidir. Etkiyen elektrik alan, E_0 , x polarizasyonunda ve z yönünde seçilmiştir.

$$E_x^i = E_0 e^{-jkz} \quad (4.13)$$

Gelen dalganın oluşturduğu elektrik alan, kutupsal koordinatlarda birinci tip Bessel fonksiyonu ve birinci tip Legendre fonksiyonu türünden seriye açılarak ifade edilirse;

$$E_r^i = \frac{-jE_0 \cos \phi}{(kr)^2} \sum_{n=1}^{\infty} j^{-n} (2n+1) \hat{J}_n(kr) P_n^1(\cos \theta) \quad (4.14)$$

olarak bulunur.

$$A_r^i = \frac{E_0}{\omega \mu} \cos \phi \sum_{n=1}^{\infty} a_n \hat{J}_n(kr) P_n^1(\cos \theta) \quad (4.15)$$

$$F_r^i = \frac{E_0}{k} \sin \phi \sum_{n=1}^{\infty} a_n \hat{J}_n(kr) P_n^1(\cos \theta) \quad (4.16)$$

Burada E_r^i , denklem (4.14) ile bilinmektedir ve manyetik vektör potansiyeli cinsinden ifadesi şu şekildedir,

$$E_r^i = \frac{1}{j\omega\epsilon} \left(\frac{\partial^2}{\partial r^2} + k^2 \right) A_r^i \quad (4.17)$$

Denklem (4.6)'dan faydalanılarak a_n katsayısını şu şekilde buluruz,

$$a_n = \frac{j^{-n}(2n+1)}{n(n+1)} \quad (4.18)$$

Saçılan alanlar için elektrik ve manyetik vektör potansiyeli ifadesinde denklem (4.16)'deki ifadede 1. tür Bessel fonksiyonu yerine 2.tür Hankel fonksiyonu kullanılması gerekmektedir.

$$H_v^{(2)}(z) \approx e^{-j(z - \frac{1}{2}(v + \frac{1}{2})\pi - \frac{1}{4}\pi)kr} \quad z \rightarrow \infty \quad (4.19)$$

İkinci tür Hankel fonksiyonunun asimptotik ifadesi, ilerleyen bir dalgayı tanımlamak için uygundur. Saçılan alanlardan doğan elektrik ve manyetik vektör potansiyeli ifadelerini aşağıdaki gibi göstermek mümkündür.

$$A_r^s = \frac{E_0}{\omega\mu} \cos\phi \sum_{n=1}^{\infty} b_n \hat{H}_n^{(2)}(kr) P_n^1(\cos\theta) \quad (4.20)$$

$$F_r^s = \frac{E_0}{k} \sin\phi \sum_{n=1}^{\infty} c_n \hat{H}_n^{(2)}(kr) P_n^1(\cos\theta)$$

Küre üzerindeki sınır koşulları kullanılarak, b_n ve c_n bilinmeyenleri bulunabilir. Aynı zamanda küre üzerindeki elektriksel alanın teğetsel bileşenleri sıfırdır.

$$E_\theta = E_\phi = 0 \quad r = a \text{ iken} \quad (4.21)$$

Elektrik alan ifadesini, manyetik ve elektrik vektör potansiyeli ifadelerinin de kullanılmasıyla şu şekilde yazabiliriz,

$$E_{\theta}^s = -\frac{1}{r \sin \theta} \frac{\partial F_r^s}{\partial \phi} + \frac{1}{j\omega\epsilon r} \frac{\partial^2 A_r^s}{\partial r \partial \theta} \quad (4.22)$$

$$E_{\phi}^s = \frac{1}{r} \frac{\partial F_r^s}{\partial \theta} + \frac{1}{j\omega\epsilon r \sin \theta} \frac{\partial^2 A_r^s}{\partial r \partial \phi}$$

Denklem (4.20)'deki ifadeler (4.22)'de yerine konularak ve (4.21)'deki sınır koşulları uygulanırsa, b_n ve c_n bilinmeyenleri bulunmuş olur.

$$b_n = -a_n \frac{\hat{J}_n'(ka)}{\hat{H}_n^{(2)'}(ka)} \quad (4.23)$$

$$c_n = -a_n \frac{\hat{J}_n(ka)}{\hat{H}_n^{(2)}(ka)} \quad (4.24)$$

Elektrik ve manyetik vektör potansiyelleri, gelen ve saçılan dalgaların oluşturduğu potansiyellerin toplamı şeklindedir.

$$A_r = A_r^i + A_r^s \quad (4.25)$$

$$F_r = F_r^i + F_r^s$$

Küreden θ ve ϕ yönünde saçılan elektrik alanlar ,

$$E_{\theta}^s = \frac{jE_0}{kr} e^{-jkr} \cos \phi \sum_{n=1}^{\infty} j^n \left[b_n \sin \theta P_n'(\cos \theta) - c_n \frac{P_n^1(\cos \theta)}{\sin \theta} \right] \quad (4.26)$$

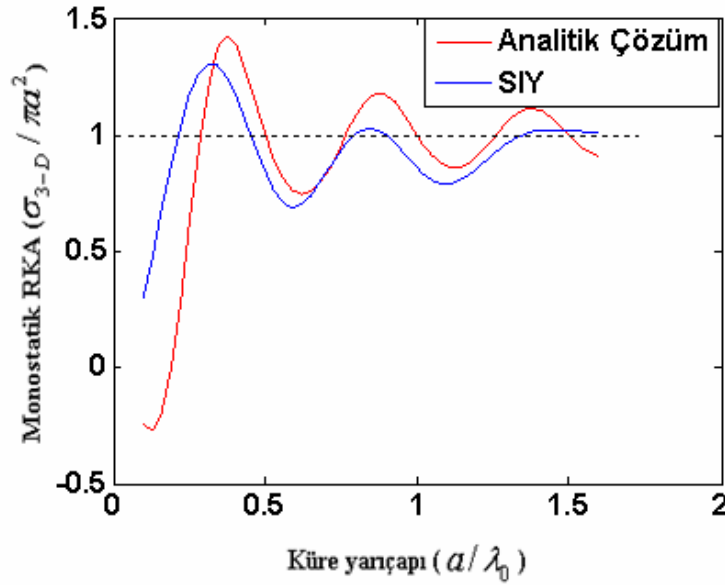
$$E_{\phi}^s = \frac{jE_0}{kr} e^{-jkr} \sin \phi \sum_{n=1}^{\infty} j^n \left[b_n \frac{P_n^1(\cos \theta)}{\sin \theta} - c_n \sin \theta P_n^1(\cos \theta) \right] \quad (4.27)$$

şeklinde bulunur. Geri saçılan alan için monostatik RKA değeri ifadesi;

$$\sigma = \frac{\lambda^2}{4\pi} \left| \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-1)^n (2n+1)}{\hat{H}_n^2(ka) \hat{H}_n^{\prime 2}(ka)} \right|^2 \quad (4.28)$$

şeklindedir. Bu tür analitik çözüme Mie serisi çözümü denir[14].

Elde edilen monostatik RKA değeri ifadesi (4.28), $a = .5$ m olan iletken küre için analitik çözümü olarak uygulanmıştır. Aynı zamanda $a = .5$ metre ve 60 MHz ile 960 MHz frekans aralığında 50 farklı frekans değerinde, $\theta_c = 90^\circ$ için analiz SIY yöntemiyle hesaplanarak, analitik sonucuyla karşılaştırılmıştır. Sonuç ifadesi Şekil 4.4'de mevcuttur.



Şekil 4.4. Yarıçapı $a = .5$ m olan kürenin analitik ve SIY yöntemi ile elde edilen RKA ifadesi

4.2.3. Dihedral Köşe Yansıtıcısı

Dihedral köşe yansıtıcısı için yüksek frekans elektromanyetik saçılma, RKA çalışmalarında önemli bir problemdir. [9] 'a göre, rastgele bakış açılarında dihedral yansıtıcı için RKA formülasyonu sunulmuştur. Bu formül hedeften çoklu yansıma, tek yansıma ve tek kırınımlar için hesaplanmıştır. Bu çalışmada dihedral köşe yansıtıcısının RKA değeri hesaplanırken Seken Işın Yöntemini kullanan kodla, geometrinin teorideki hesabı karşılaştırılmıştır. Sonuçta RKA değerlerinin aynı olduğu görülüp kodun ve yöntemin güvenilirliği doğrulanmıştır.

Dihedral köşe yansıtıcısı a x b boyutunda iki dikdörtgen plakadan oluştuğunu ele alalım. Toplam RKA,

$$\sigma_{U,V} = \left| \sqrt{\sigma_{U,V}^{\text{çoklu}}} + \sqrt{\sigma_{U,V}^{\text{plakalar}}} + \sqrt{\sigma_{U,V}^{\text{kenarlar}}} \right|^2 \quad (4.29)$$

$$\sigma_{U,V} = \left| \sqrt{\sigma_{U,V}^{\text{çoklu}}} + \sqrt{\sigma_{U,V}^{\text{plakalar}}} + \sqrt{\sigma_{U,V}^{\text{kenarlar}}} \right|^2$$

Bu üç bileşen, çoklu yansıma, tek yansıma ve tek kırınımın geri saçılmaya katkısı ile ilişkilidir. Bu yansıma ve kırınımlar için formüller aşağıda verilenler şeklindedir[9]. Çoklu yansıma için,

$$a) \quad |\tan \theta_i \cdot \cos \phi_i| \geq a/b \quad 0^\circ < \phi_i \leq 45^\circ$$

$$\left[\sqrt{\sigma} \right]^{cift} \leq a/b = \frac{a}{\sqrt{\pi}} \tan \theta_i \cdot \sin \phi_i \cdot \beta \leq 45^\circ \quad (4.30)$$

$$\beta \leq 45^\circ = e^{j\varphi_1} \cdot \sin c(\mu l) - e^{j\varphi} \quad , \quad \varphi_1 = k \cos \theta_i (b - a / \tan \theta_i \cdot \cos \phi_i)$$

$$\mu_1 = ka \cdot \cos \theta_i / \tan \theta_i \cdot \cos \phi_i, \quad \varphi = kb \cdot \cos \theta_i$$

$$b) \quad |\tan \theta_i \cdot \cos \phi_i| \geq a/b \quad 45^\circ < \phi_i \leq 90^\circ$$

$$\left[\sqrt{\sigma} \right]_{\text{çift}}^{\text{çift}} \geq a/b = \frac{a}{\sqrt{\pi}} \tan \theta_i \cdot \cos \phi_i \cdot \beta \geq 45^\circ \quad (4.31)$$

$$\beta \geq 45^\circ = e^{j\varphi_2} \cdot \sin c(\mu_2) - e^{j\varphi}, \quad \varphi_2 = k \cos \theta_i (b - a / \tan \theta_i \cdot \sin \phi_i)$$

$$\varphi_2 = k \cos \theta_i (b - a / \tan \theta_i \cdot \sin \phi_i)$$

$$c) \quad |\tan \theta_i \cdot \cos \phi_i| \leq a/b \quad \text{ve} \quad 0^\circ < \phi_i \leq 45^\circ \quad \text{yada,} \quad |\tan \theta_i \cdot \cos \phi_i| \leq a/b \quad \text{ile} \\ 45^\circ < \phi_i \leq 90^\circ$$

$$\left[\sqrt{\sigma} \right]_{\text{çift}}^{\text{çift}} \leq a/b = \frac{b}{\sqrt{\pi}} \tan^2 \theta_i \cdot \sin 2\phi_i \cdot \beta \quad (4.32)$$

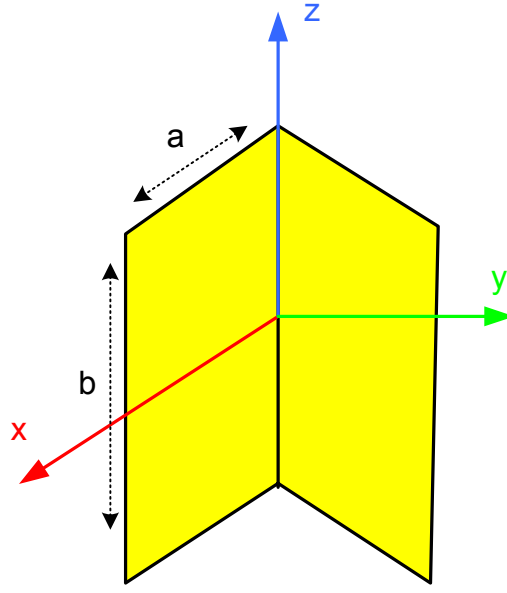
$$\beta = \sin c(\varphi) - e^{j\varphi}$$

Tek yansıma için [9],

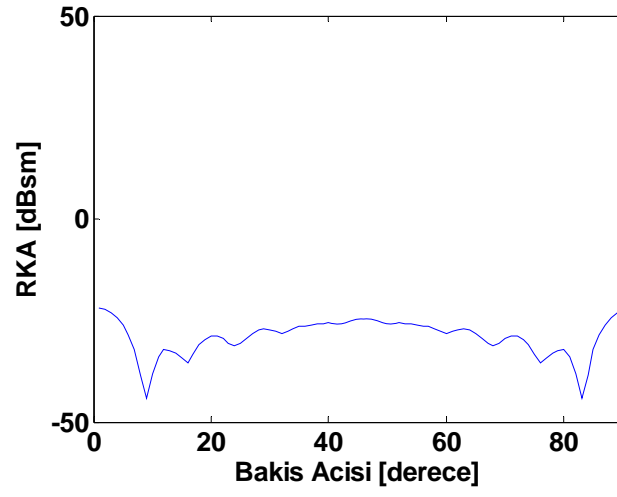
$$\left[\sqrt{\sigma} \right]_{2 \times 2}^{\text{plakalar}} = \frac{2\sqrt{\pi}ab}{\lambda} \sin \theta_i \cdot \sin c(\varphi) \cdot v \quad (4.33)$$

$$v = \cos \varphi_i \cdot \sin c(\varphi_1) \cdot e^{j\varphi_1 - (\pi/2)} + \sin \varphi_i \cdot \sin c(\varphi_2) \cdot e^{j\varphi_2 - (\pi/2)}$$

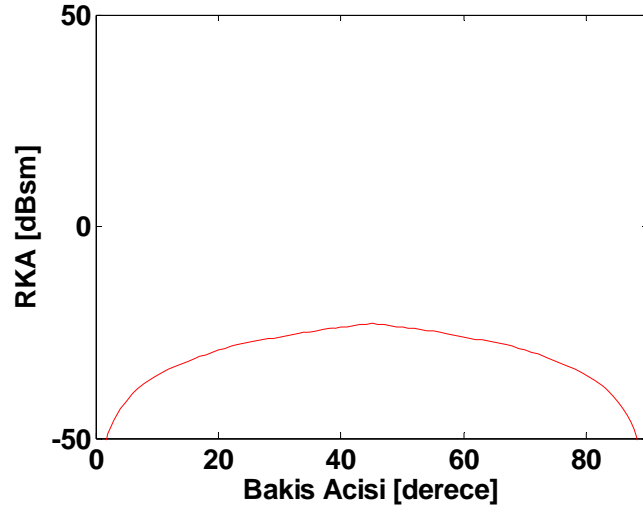
$$\varphi_1 = ka \cdot \sin \theta_i \cdot \sin \phi_i \quad \varphi_2 = ka \cdot \sin \theta_i \cdot \cos \phi_i$$



Şekil 4.5. Dihedral Köşe Yansıtıcısı geometrisi



(a)



(b)

Şekil 4.6. (a) Dihedral Köşe Yansıtıcısı için, kırınımlar ve tek yansımalar hesaplanmadan SIY yöntemiyle elde edilen RKA deseni (b) Dihedral Köşe Yansıtıcısı için, kırınımlar ve tek yansımalar dahil yaklaşık analitik çözümü

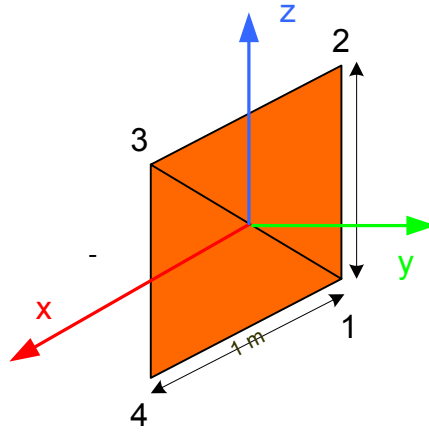
Sonuç olarak $a = 15 \text{ cm}$ ve $b = 30 \text{ cm}$ boyutlarında, $f_c = 10 \text{ GHz}$ de ve $\theta\theta$ polarizasyonunda bir köşe yansıtıcısı için elde edilen RKA deseni Şekil 4.6'da verilmiştir. $\theta_i = 50^\circ$ ve $\phi_i = 0:90^\circ$ farklı bakış açılarında gözlemlenmiştir. SIY yöntemiyle elde edilen RKA deseninin teoride elde edilen desene mükemmel benzediği gözlemlenmiştir. Böylece dihedral'in en büyük yüksekliği, RKA ana lobunu belirtir.

4.3. 2-B TYAR GÖRÜNTÜLERİ BENZETİM SONUÇLARI

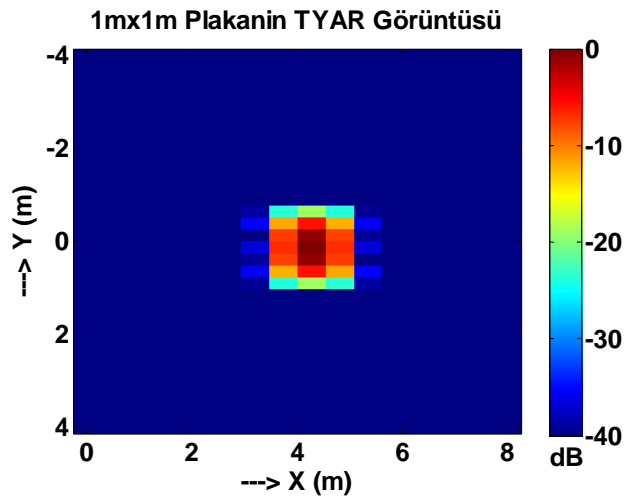
Bu tez çalışmasında, SIY-FO yöntemlerini kullanarak büyük ve karmaşık platformların EM benzetimleri yapılmış ve bu veriler değişik uçak, tank ve gemi gibi hedeflerinin 2-B ve 3-B TYAR görüntülerini elde edilmiştir. TYAR imajlarının fiziksel olgusal yorumları yapılmıştır. Ayrıca elde edilen TYAR imajlarında baskın olarak belirli sayıda noktasal özellik gösteren saçıcılardan oluştuğu görülmüştür. Aşağıda bazı hedefler için yapılan 2-B'li benzetim sonuçları verilmektedir.

4.3.1. Plaka İçin Oluşturulan Benzetim Sonucu

1 m x 1 m lik bir plaka hedefinin frekans uzayında $f_c = 6$ GHz (5.2511 – 11.1416) de $M = 16$, açısıl uzayda da $\theta_c = 90^\circ$ civarı (87.9857 – 92.1486) $N = 32$ örnek olarak, TYAR görüntüsü elde edilmiştir.



Şekil 4.7. Görüntüsü oluşturulan 1 m x 1 m boyutlu Plaka hedefi



Şekil 4.8. Plaka hedefi için elde edilen TYAR görüntüsü

4.3.2. Uçak İçin Oluşturulan Benzetim Sonucu

4.3.2.1. Uçağın $\theta = 90^\circ$, $\phi = 0^\circ$ İçin Oluşturulan Benzetim Sonucu

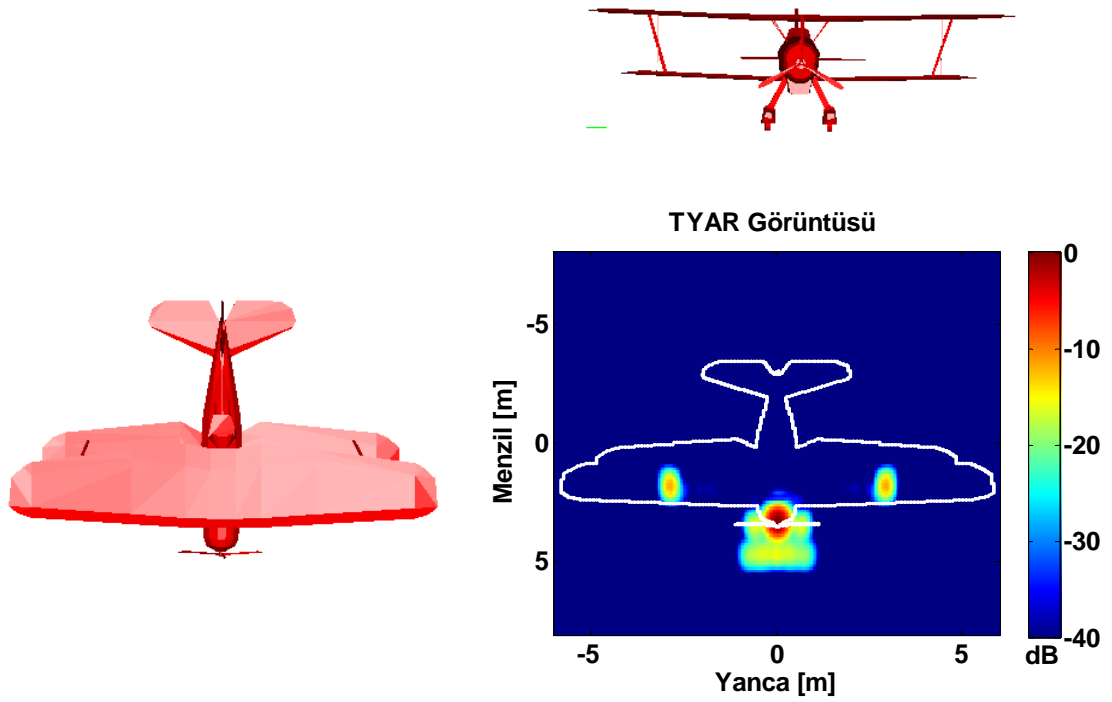
Uçağın 1214 üçgen oluşturarak yapılan simülasyon verileri aşağıdaki tablodaki gibidir.

Platform	Uçak
Boyutlar	X = 7 m, Y = 11,6830 m, Z = 3,2986 m
Frekans	5,8 – 6,1875 (32 nokta)
Bakış Açısı	$\theta_c = 90$ derece $\phi = -2,8648 - 2,7753$ (64 nokta)
Menzil ve Çapraz Menzil Uzaylarındaki Bant-Genişlikleri	$BW_x = 12$ m, $BW_r = 16$ m
Işın Yoğunluğu	3
Polarizasyon	VV

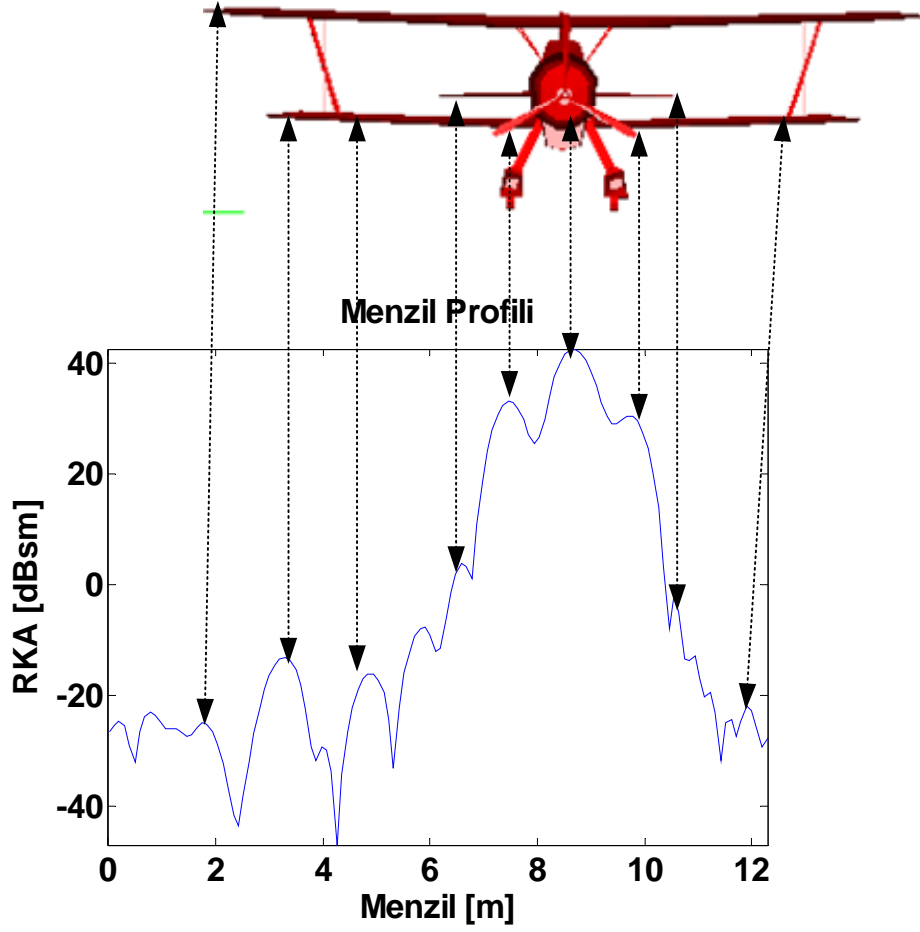
Tablo 2. Uçağın $\theta = 90^\circ$, $\phi = 0^\circ$ için oluşturulmuş simülasyon parametreleri

İlk olarak, uçağın SIY-FO yöntemiyle 6 GHz civarında benzetimi yapılmıştır. Buna göre saçılan elektrik alan 5,800 – 6,1875 GHz frekans bandında 32 değişik nokta için ve $(\theta = 90^\circ, \phi = 0^\circ)$ civarında 5.64°lik bir açı bandında toplam 64 eşit aralıklı açı için toplandı. Sonuç olarak 32x64'lük çoklu frekans-çoklu açı elektrik alan saçılma verisi toplandı. Daha sonra Bölüm.3'de anlatılan 3-B TYAR görüntüleme algoritmasının, 2-B TYAR görüntüleme algoritmasına indirgenmesiyle

elde edilen TYAR görüntüsü Şekil 4.9’da gösterilmektedir. Bu şekilden de açık bir şekilde görüleceği gibi, platform üzerinde oluşan saçılma merkezleri 2-B TYAR görüntüsünden rahatça seçilebilmektedir. Şekilden de görüleceği üzere önemli saçılma merkezleri burun, kanat direklerinden oluşmaktadır.



Şekil 4.9. Uçağın ($\theta = 90^\circ, \phi = 0^\circ$) için 2-B TYAR Görüntüsü



Şekil 4.10. Uçağın ($\theta = 90^\circ, \phi = 0^\circ$) için oluşturulan Menzil Profili

4.3.2.2. Uçağın $\theta = 90^\circ$, $\phi = 45^\circ$ İçin Oluşturulan Benzetim Sonucu

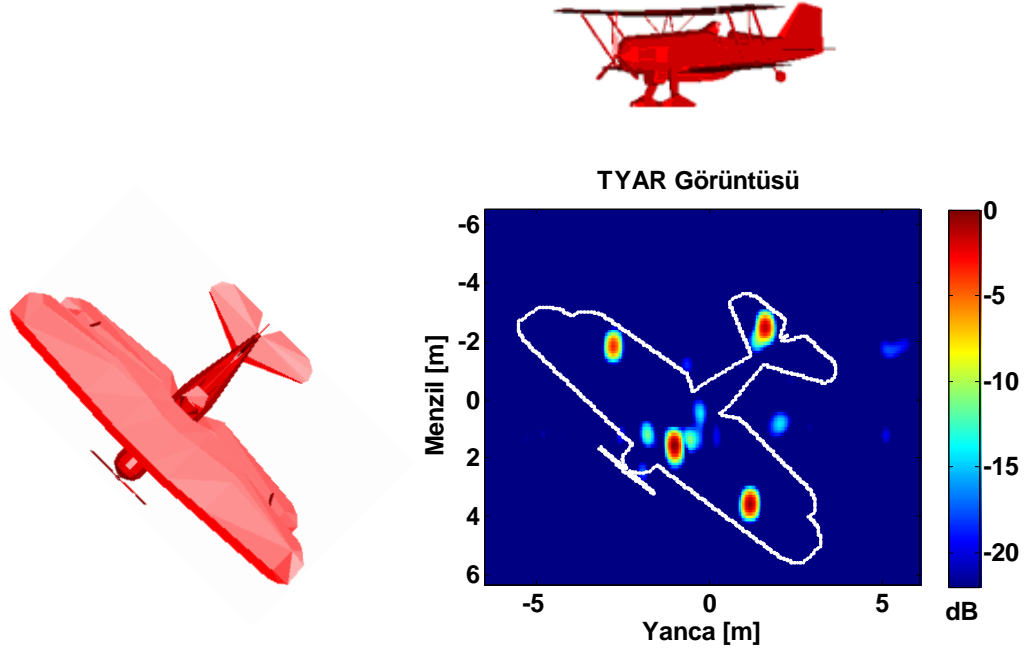
Aynı uçağın farklı bakış açılarında benzetimleri yapıldı. Kullanılan parametreler aşağıdaki tabloda mevcut olup, hedefin elde edilen TYAR görüntüsü ve hedefin menzil profili Şekil 4.11 ve Şekil 4.12’de verilmiştir.

Platform	Uçak
Boyutlar	$X = 7$ m, $Y = 11,6830$ m, $Z = 3,2986$ m
Frekans	5,8154 – 6,1731 (32 nokta)
Bakış Açısı	$\theta_c = 90$ derece $\phi = 42,4252 - 47,5817$ (64 nokta)
Menzil ve Çapraz Menzil Uzaylarındaki Bant-Genişlikleri	$BW_x = 13$ m, $BW_r = 13$ m
Işın Yoğunluğu	3
Polarizasyon	VV

Tablo 3. Uçağın $\theta = 90^\circ$, $\phi = 45^\circ$ için oluşturulmuş simülasyon parametreleri

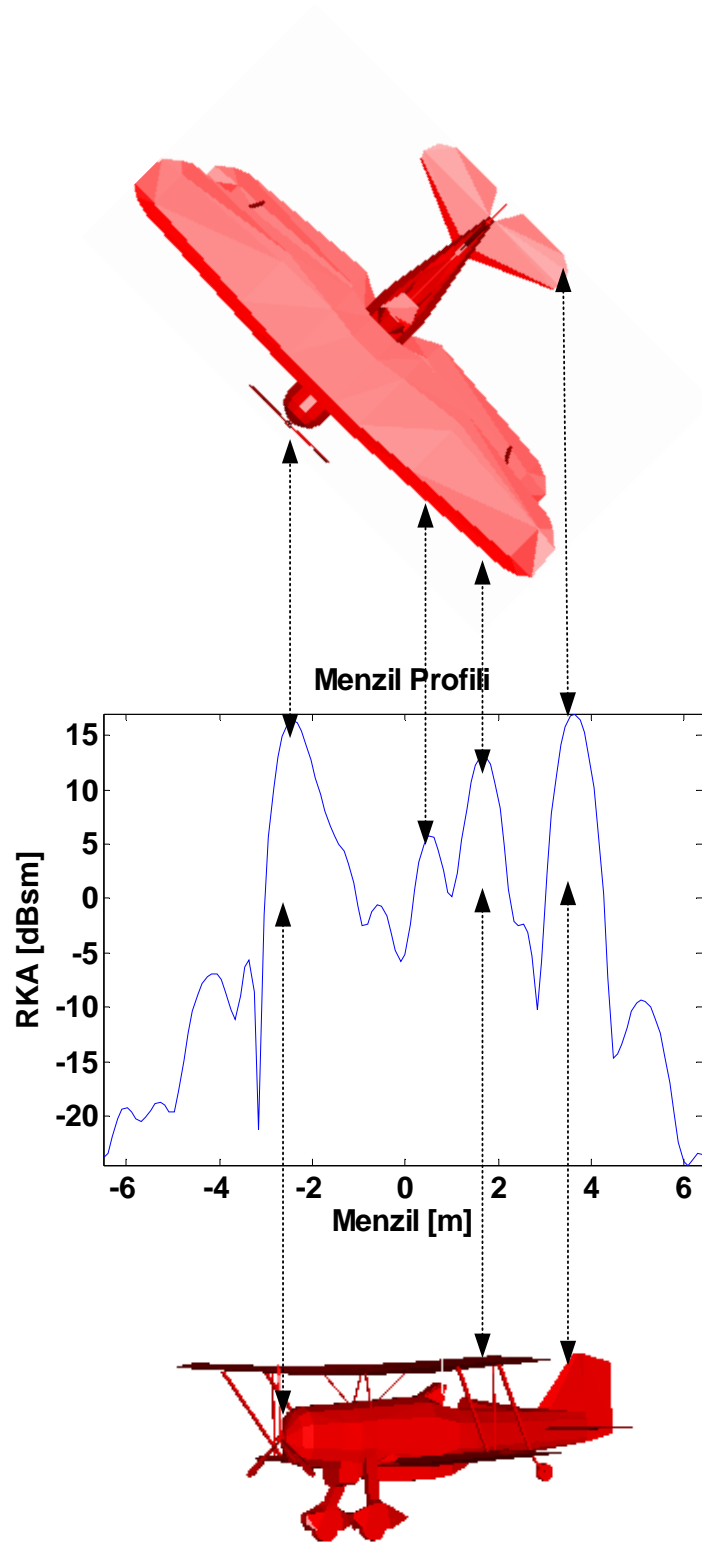
Uçağın aynı yöntemle 6 GHz civarında benzetimi yapılmıştır. Yukarıdaki tablodan da anlaşılacağı üzere saçılan elektrik alan 5,8154 – 6,1731 GHz frekans bandında 32 değişik nokta için ve $(\theta = 90^\circ, \phi = 45^\circ)$ civarında 5.1565° lik bir açı bandında toplam 64 eşit aralıklı açı için toplandı. Elde edilen TYAR görüntüsü

Şekil 4.10'da gösterilmektedir. Şekil incelendiğinde, hedeften yansıyan önemli saçılma merkezleri burun, kanat direkleri ve kuyruk kısmından oluşmaktadır.



Şekil 4.11. Uçağın $(\theta = 90^\circ, \phi = 45^\circ)$ için 2-B TYAR Görüntüsü

Ters Yapay Açıklıklı radar ile frekans bölgesinde toplanan veriler, bir boyutlu olarak işlenerek, menzil profilleri elde edilmektedir. Frekans bölgesindeki verileri zaman bölgesine dönüştürmek için en yaygın kullanılan yöntem *Ters Hızlı Fourier Dönüşümü*dür.



Şekil 4.12. Uçağın ($\theta = 90^\circ, \phi = 45^\circ$) için oluşturulan Menzil Profili

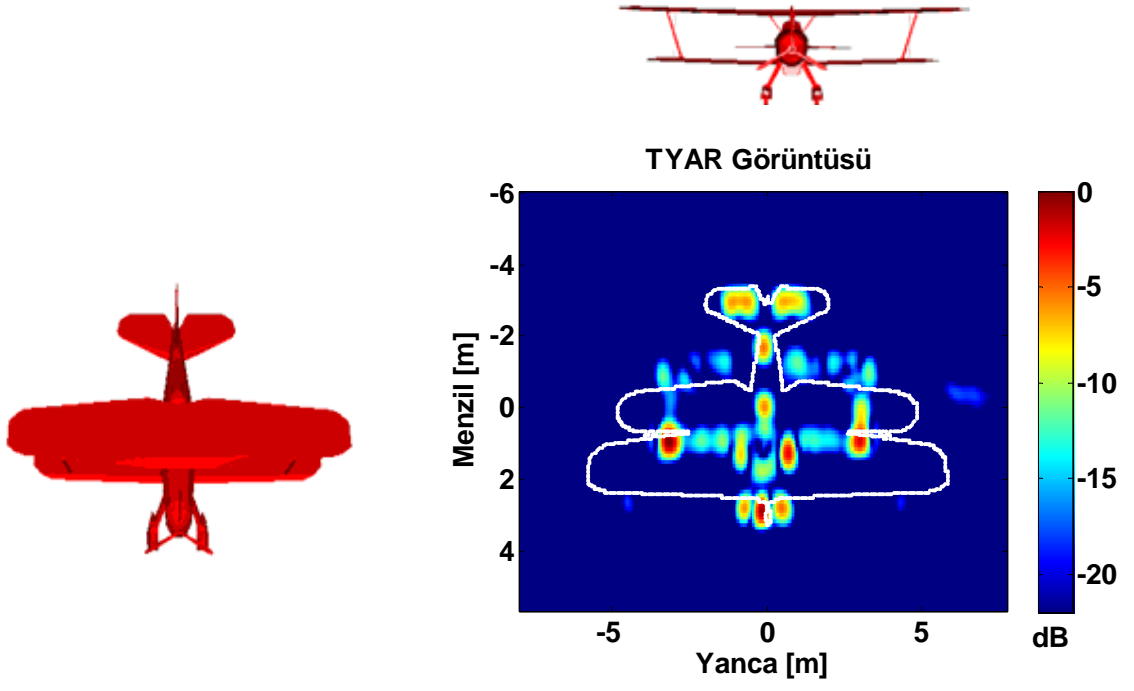
4.3.2.3. Uçağın $\theta = 60^\circ$, $\phi = 0^\circ$ İçin Oluşturulan Benzetim Sonucu

Yine aynı uçak için yapılmış farklı bir benzetim verilmiştir.

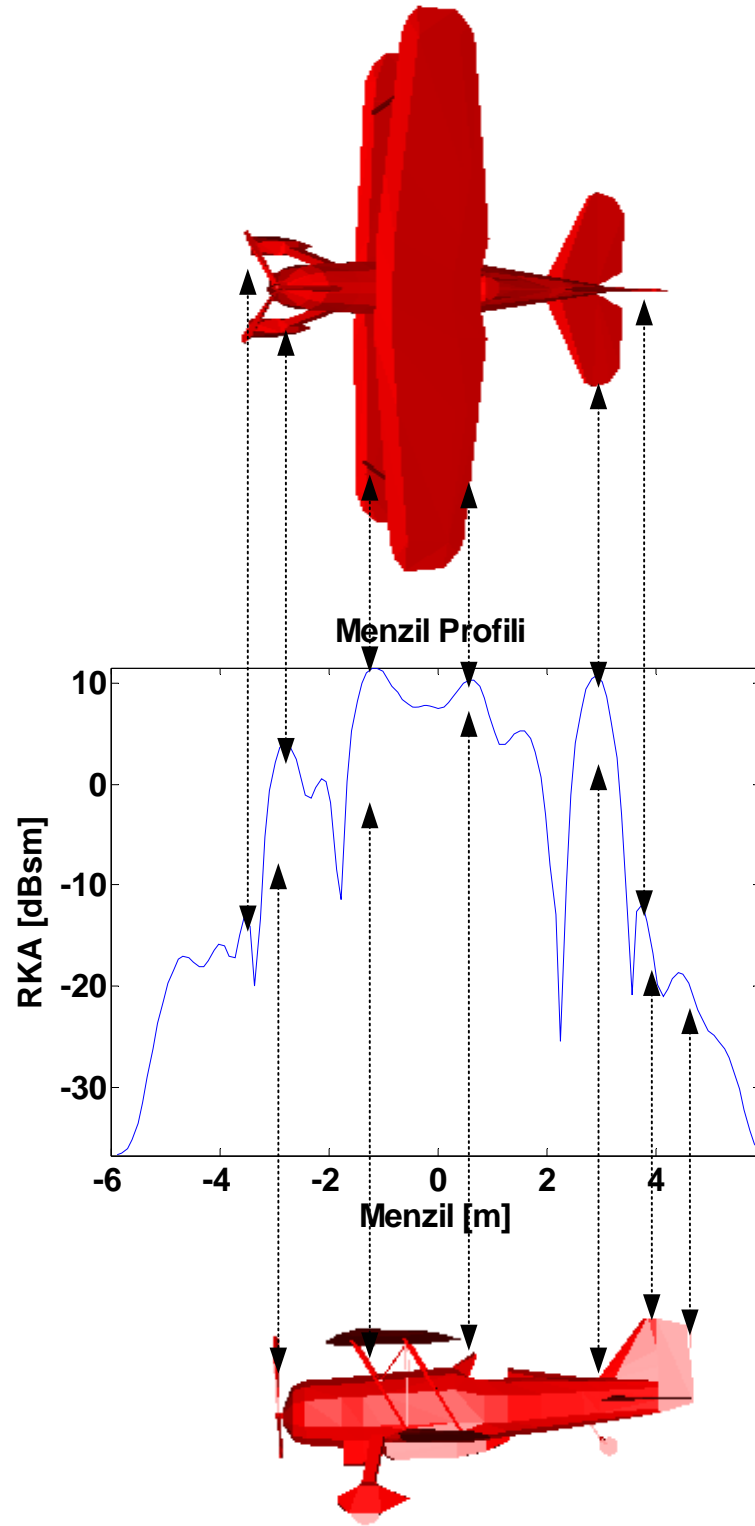
Platform	Uçak
Boyutlar	X = 7 m, Y = 11,6830 m, Z = 3,2986 m
Frekans	5,8 – 6,1875 (32 nokta)
Bakış Açısı	$\theta_c = 60$ derece $\phi = -2,8648 - 2,7753$ (64 nokta)
Menzil ve Çapraz Menzil Uzaylarındaki Bant-Genişlikleri	$BW_x = 12$ m, $BW_r = 16$ m
Işın Yoğunluğu	3
Polarizasyon	VV

Tablo 4. Uçağın $\theta = 60^\circ$, $\phi = 0^\circ$ için oluşturulmuş simülasyon parametreleri

Elde edilen TYAR görüntüsü Şekil 4.13’de verilmektedir. Buna göre hedef üzerinde yansımaya sebep olan önemli saçılma merkezleri burun, kanat direkleri, pervaneler ve kuyruk kısımlarından oluşmaktadır. Bölüm 4.3’de bu benzetim için CLEAN algoritması kullanılarak SM analizi yapılmıştır.



Şekil 4.13. Uçağın ($\theta = 60^\circ, \phi = 0^\circ$) için oluşturulmuş 2-B TYAR Görüntüsü



Şekil 4.14. Uçağın ($\theta = 60^\circ, \phi = 0^\circ$) için oluşturulan Menzil Profili

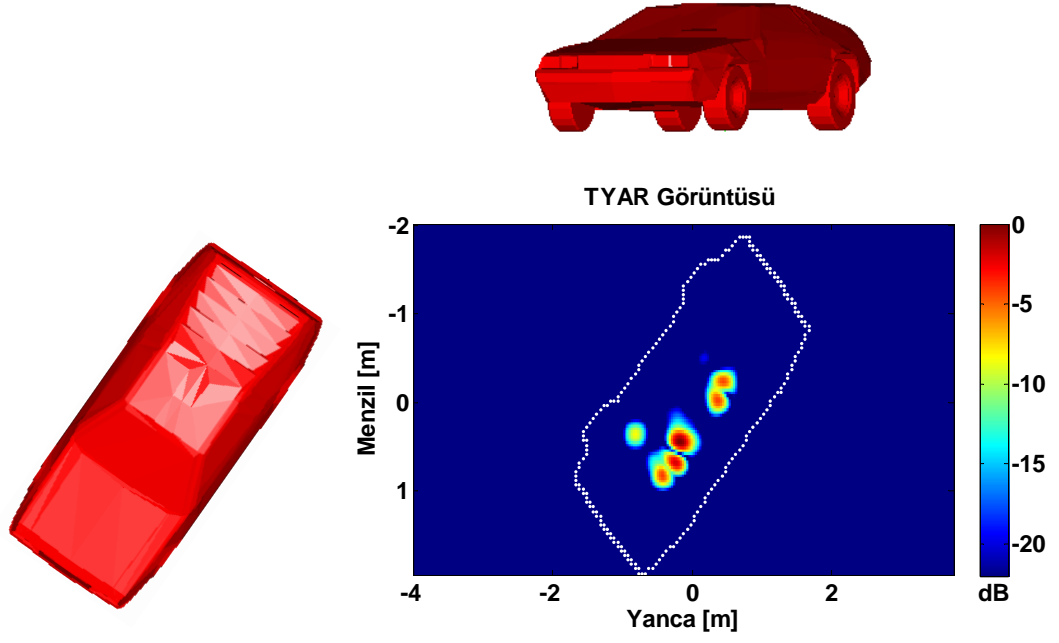
4.3.3. ARABA İÇİN OLUŞTURULAN BENZETİM SONUCU

2-B'lu TYAR görüntüsünü oluşturmak için kullanılan bir başka hedefte arabadır. Tablo 5. de araba hedefi için kullanılan benztim parametreleri verilmektedir. Buna göre;

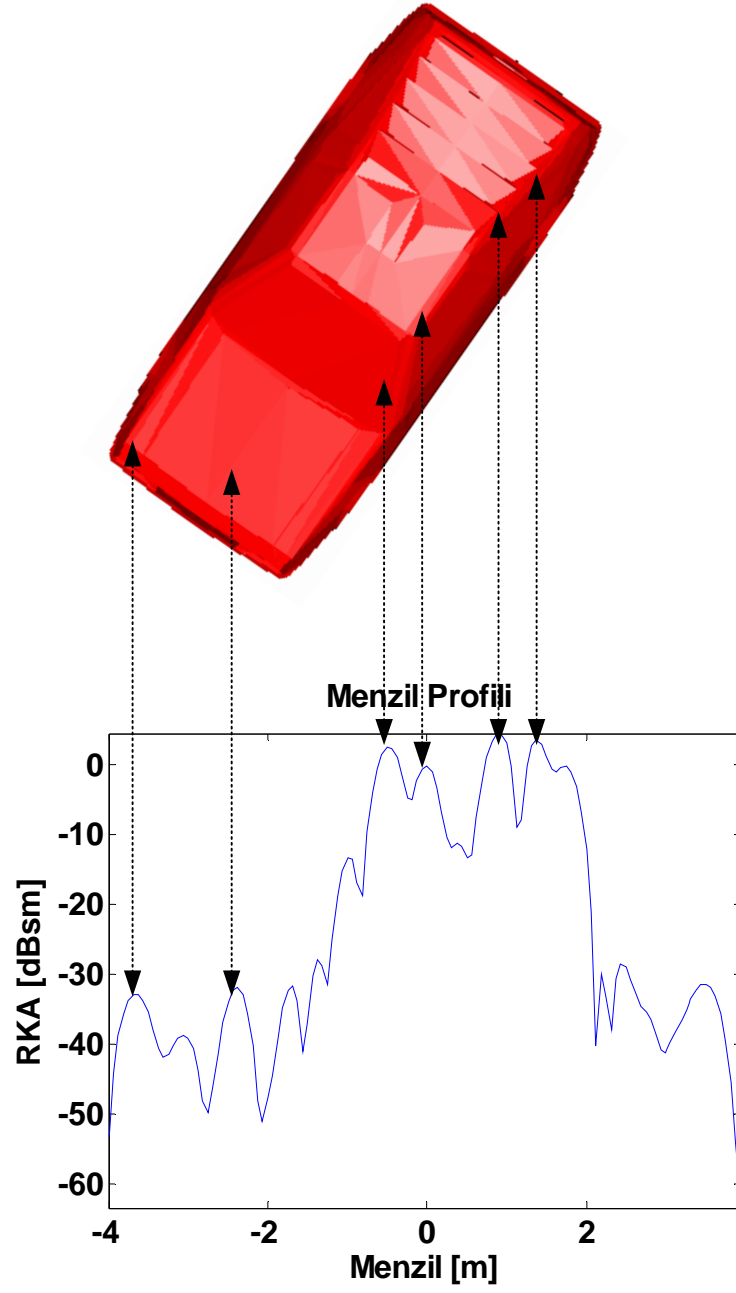
Platform	Araba
Boyutlar	$X = 4$ m, $Y = 1,7814$ m, $Z = 1,1342$ m
Frekans	5,7 – 6,2813 (32 nokta)
Bakış Açısı	$\theta_c = 60$ derece $\phi = 42,4331 - 47,5894$ (64 nokta)
Menzil ve Çapraz Menzil Uzaylarındaki Bant-Genişlikleri	$BW_x = 8$ m, $BW_r = 4$ m
Işın Yoğunluğu	3
Polarizasyon	VV

Tablo 5. Araba hedefi için $\theta_c = 60^\circ$, $\phi_c = 45^\circ$ de oluşturulmuş simülasyon parametreleri.

Araba için yapılan benzetim sonucunda elde edilen TYAR görüntüsü Şekil 4.15’de verilmektedir.



Şekil 4.15. Araba hedefinin $(\theta = 60^\circ, \phi = 45^\circ)$ için oluşturulmuş 2-B TYAR Görüntüsü



Şekil 4.16. Araba hedefinin ($\theta = 60^\circ, \phi = 45^\circ$) için oluşturulan Menzil Profili

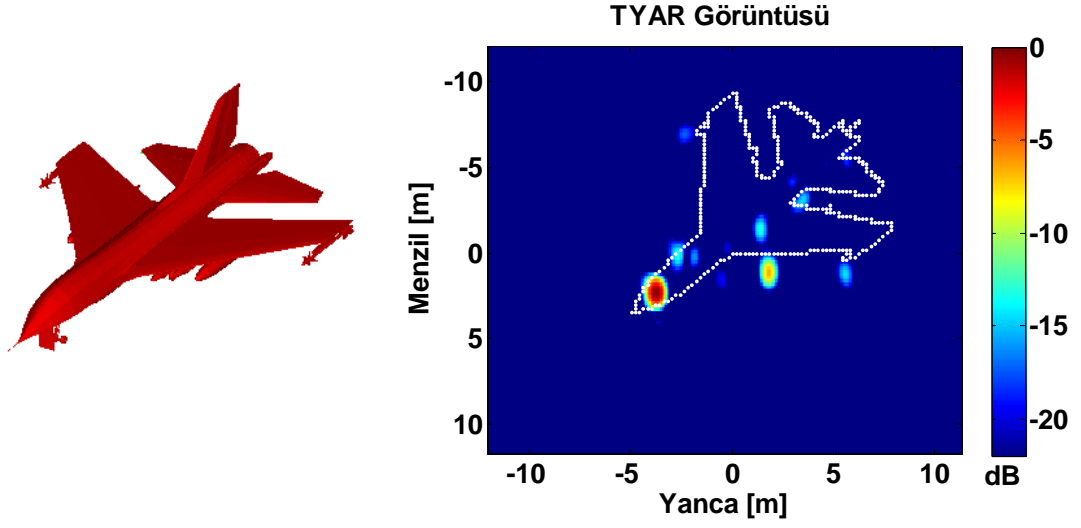
4.3.4. XPLANEH UÇAĞI İÇİN OLUŞTURULAN BENZETİM SONUCU

Dördüncü hedef olarak xplaneh uçağının TYAR görüntüsü elde edildi. Xplaneh hedefi 15894 üçgen yüzeycikden oluşmaktadır. Uçağın benzetimde kullanılan parametre değerleri Tablo 6. da yer almaktadır.

Platform	XPLANEH
Boyutlar	X = 20 m, Y = 14,2320 m, Z = 5,7030 m
Frekans	5,9 – 6,0938 (32 nokta)
Bakış Açısı	$\theta_c = 60$ derece $\phi = 43,0901 - 46,8502$ (64 nokta)
Menzil ve Çapraz Menzil Uzaylarındaki Bant-Genişlikleri	$BW_x = 24$ m, $BW_r = 24$ m
Işın Yoğunluğu	3
Polarizasyon	VV

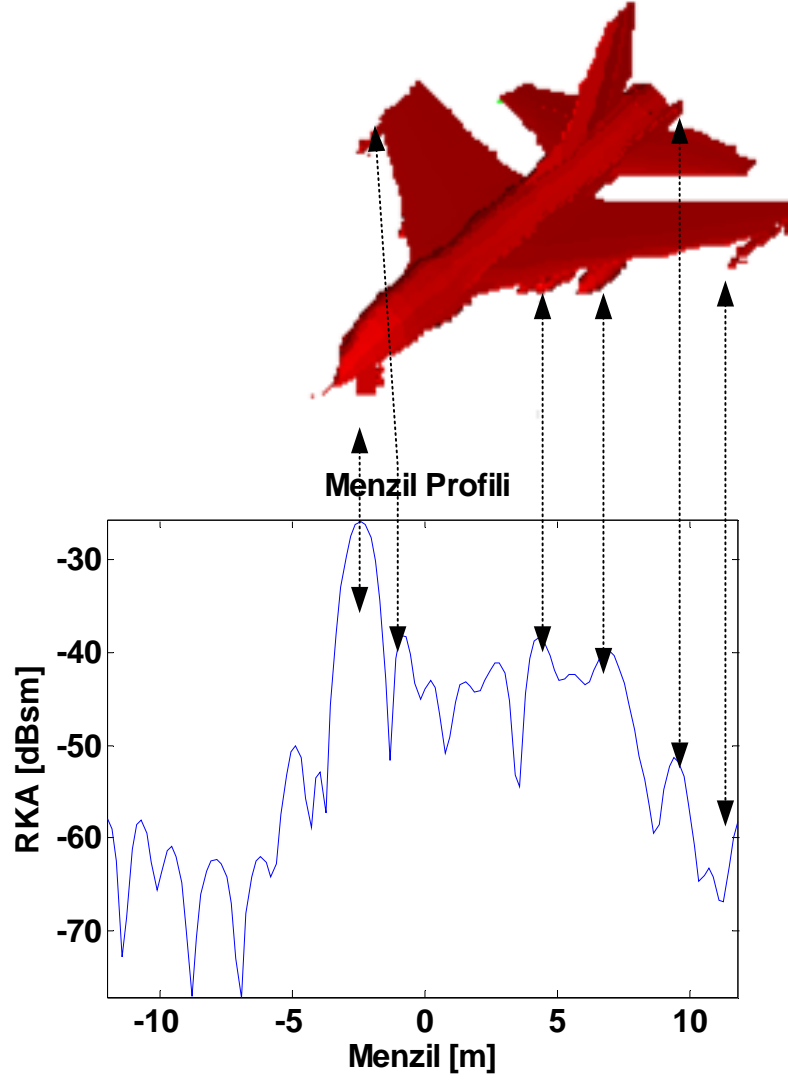
Tablo 6. XPLANEH hedefi için $\theta_c = 60^\circ$, $\phi_c = 45^\circ$ de oluşturulmuş simülasyon parametreleri.

Savaş uçağı modeli ve TYAR algoritmasının uygulanması sonucu elde edilen 2-B TYAR görüntüsü Şekil 4.16'da verilmiştir. Bölüm 4.3'de CLEAN algoritması uygulanarak XPLANEH TYAR imajından toplam bir miktar SM'leri çıkarılıp, tekrar görüntünün oluşumu anlatılmıştır.



Şekil 4.17. XPLANEH savaş uçağının ($\theta = 60^\circ, \phi = 45^\circ$) için oluşturulmuş 2-B TYAR Görüntüsü

Hedef üzerinde yansımaya sebep olan önemli saçılma merkezleri burun, kanatlar, füzeler ve kuyruk kısımlarından oluşmaktadır.



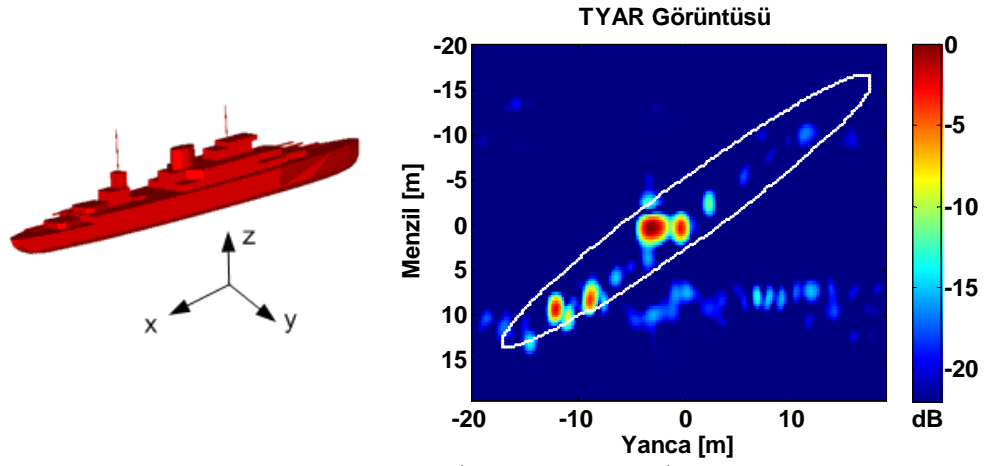
Şekil 4.18. XPLANEH savaş uçağının ($\theta = 60^\circ, \phi = 45^\circ$) için oluşturulan Menzil Profili

4.3.5. MALAYA SAVAŞ GEMİSİ İÇİN OLUŞTURULAN BENZETİM SONUCU

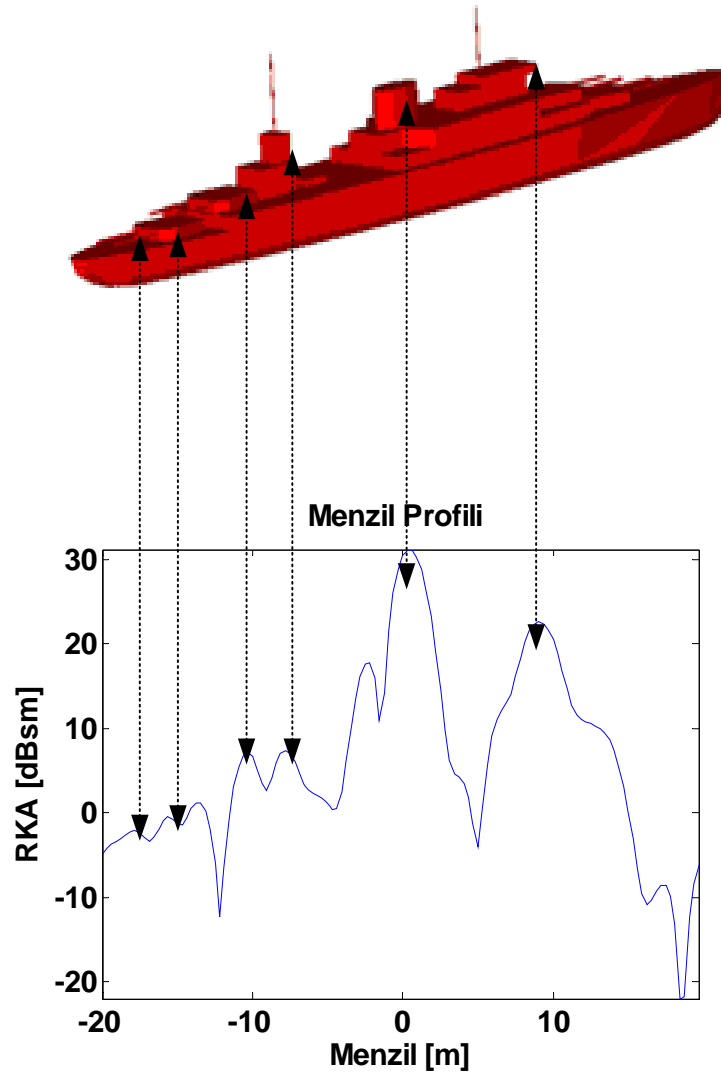
Bir savaş gemisinin aynı yöntemle 3 GHz ve $(\theta = 60^\circ, \phi = 45^\circ)$ civarında benzetimi yapılmıştır. Saçılan elektrik alan 2.94 – 3.0562 GHz frekans bandında 32 değişik nokta için ve geminin burun yönünde 4.51°'lik açı genişliğinde yine toplam 64 eşit aralıklı açı değeri için toplandı. Sonuç olarak elde edilen 2-B TYAR görüntüsü Şekil 4.19'da gösterilmektedir. Bu imajda da, önemli saçıcı merkezler geminin ön tarafındaki toplardan, orta bölümündeki ikili ve üçlü köşe yansıtıcı gibi çalışan yapılardan oluşmaktadır.

Platform	BATTLESHIP_MALAYA
Boyutlar	X = 48,75 m, Y = 6 m, Z = 10 m
Frekans	2,94 – 3,0562 (32 nokta)
Bakış Açısı	$\theta_c = 60$ derece $\phi = 42,7082 – 47,2202$ (64 nokta)
Menzil ve Çapraz Menzil Uzaylarındaki Bant-Genişlikleri	$BW_x = 40$ m, $BW_r = 40$ m
Işın Yoğunluğu	4
Polarizasyon	VV

Tablo 7. MALAYA savaş gemisi için $\theta = 60^\circ$, $\phi = 45^\circ$ de oluşturulmuş simülasyon parametreleri



Şekil 4.19. MALAYA savaş gemisinin $(\theta = 60^\circ, \phi = 45^\circ)$ için oluşturulmuş 2-B TYAR Görüntüsü



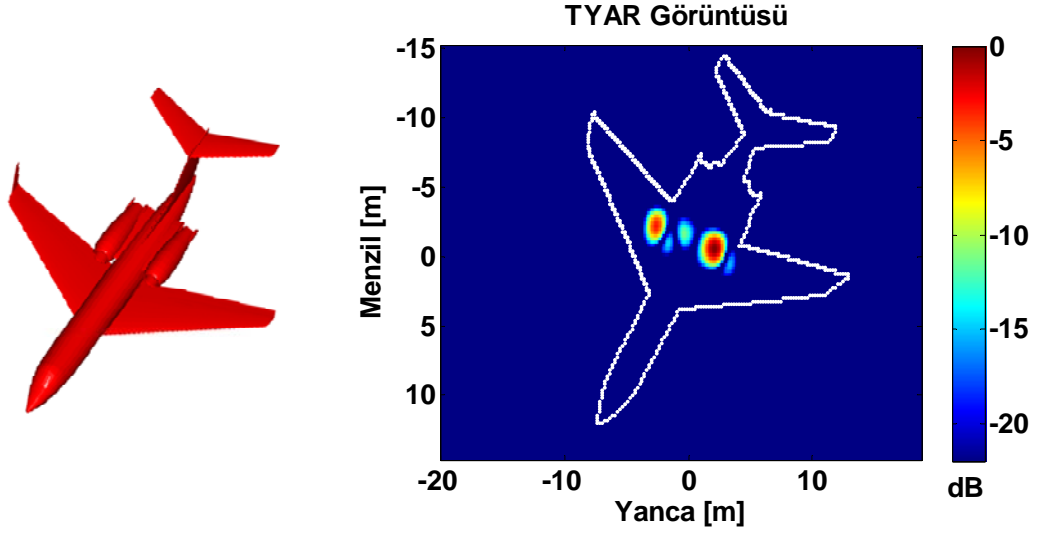
Şekil 4.20. MALAYA savaş gemisinin $(\theta = 60^\circ, \phi = 45^\circ)$ için oluşturulan Menzil Profili

4.3.6. JET UÇAĞI İÇİN İÇİN OLUŞTURULAN BENZETİM SONUCU

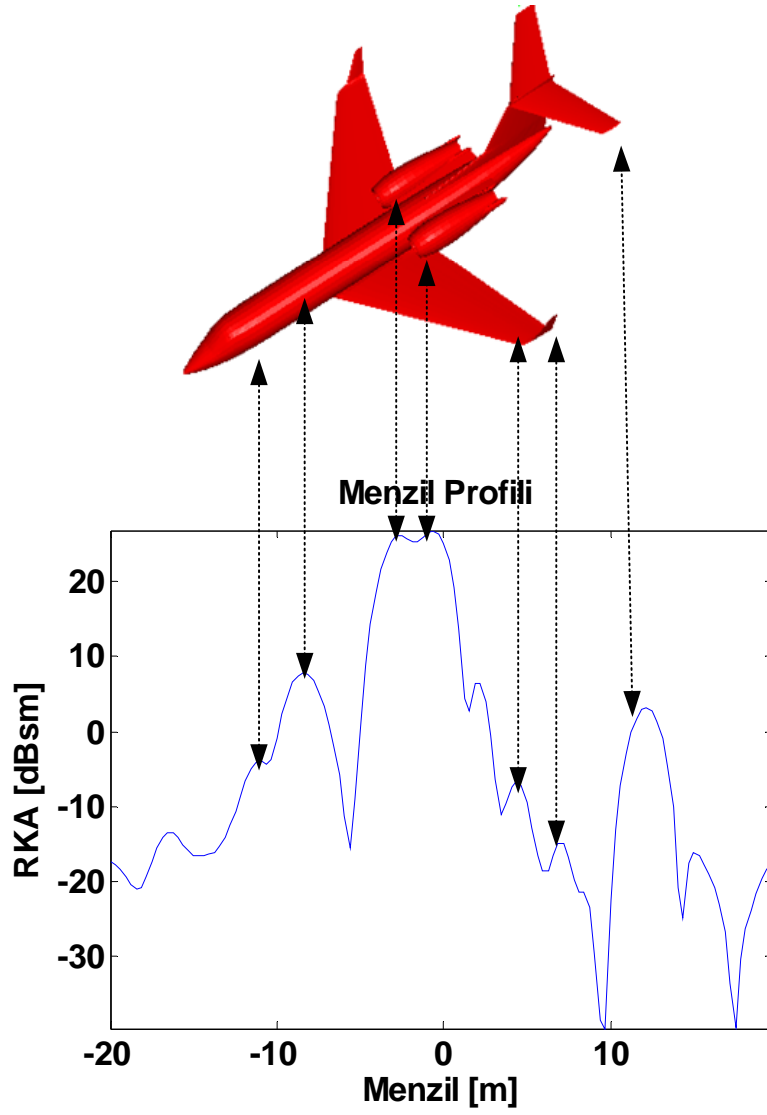
Altıncı hedef olarak bir jet uçağı benzetimi yapıldı. Kullanılan parametreler tabloda verildiğı şekildedir. Uçağı $\theta = 80^\circ$ ve $\phi = 30^\circ$ bakış açılarında bakıldığında Şekil 4.21’de verilen hedefin 2-B’lu TYAR görüntüsünden de görüleceğı gibi, güçlü saçılma merkezleri, cismin yan üst kısımlarında yer alan füzelerden gelmektedir.

Platform	JET UÇAĞI
Boyutlar	$X = 29$ m, $Y = 24$ m, $Z = 6,6$ m
Frekans	5,94 – 6,0563 (32 nokta)
Bakış Açısı	$\theta_c = 80$ derece $\phi = 28,4721 - 31,4801$ (64 nokta)
Menzil ve Çapraz Menzil Uzaylarındaki Bant-Genişlikleri	$BW_x = 40$ m, $BW_r = 30$ m
Işın Yoğunluğu	5
Polarizasyon	VV

Tablo 8. JET Uçağı için $\theta = 80^\circ$, $\phi = 30^\circ$ de oluşturulmuş simülasyon parametreleri



Şekil 4.21. JET Uçağı için $(\theta = 80^\circ, \phi = 30^\circ)$ için oluşturulmuş 2-B TYAR Görüntüsü



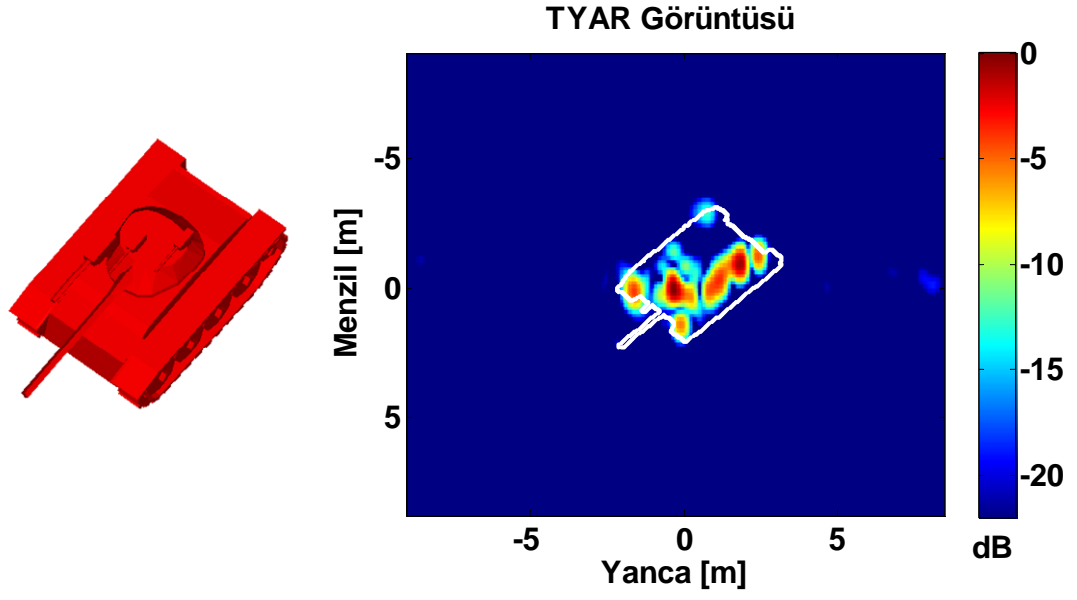
Şekil 4.22. JET Uçağı için $(\theta = 80^\circ, \phi = 30^\circ)$ için oluşturulmuş Menzil Profili

4.3.7. TANK İÇİN OLUŞTURULAN BENZETİM SONUCU

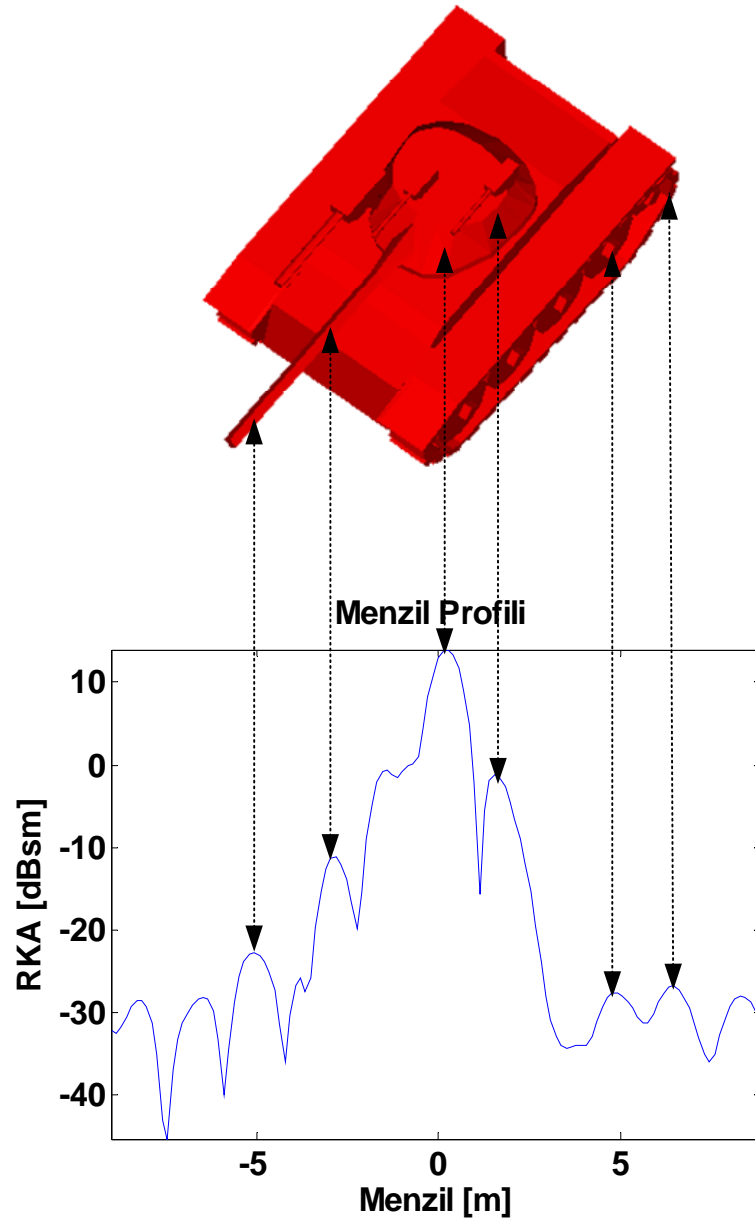
Tez çalışmasında uçak ve gemi gibi hedeflerin dışında gene askeri amaçlı kullanılan tankların da benzetim sonuçları değerlendirilmiştir. Buna göre tankın aynı yöntemle 8 GHz ve $(\theta = 70^\circ, \phi = 45^\circ)$ civarında benzetimi yapılmıştır. Saçılan elektrik alan 7,8667 – 8,1250 GHz frekans bandında 32 değişik nokta için ve tankın burun yönünde 3,76°'lik açı genişliğinde yine toplam 64 eşit aralıklı açı değeri için toplandı. Bu imajda da, önemli saçıcı merkezler tankın ön kapak kısmında yoğunlaşmıştır. Tank için yapılan benzetim sonucunda elde edilen 2-B'lu TYAR görüntüsü Şekil 4.23'de verilmektedir.

Platform	TANK
Boyutlar	X = 6 m, Y = 3,1406 m, Z = 2,4036 m
Frekans	7,8667 – 8,1250 (32 nokta)
Bakış Açısı	$\theta_c = 70$ derece $\phi = 43,0901 - 46,8502$ (64 nokta)
Menzil ve Çapraz Menzil Uzaylarındaki Bant-Genişlikleri	$BW_x = 18$ m, $BW_r = 18$ m
Işın Yoğunluğu	5
Polarizasyon	VV

Tablo 9. TANK için $\theta_c = 70^\circ$, $\phi_c = 45^\circ$ de oluşturulmuş simülasyon parametreleri



Şekil 4.23. Tank için $(\theta = 70^\circ, \phi = 45^\circ)$ de oluşturulmuş 2-B TYAR Görüntüsü



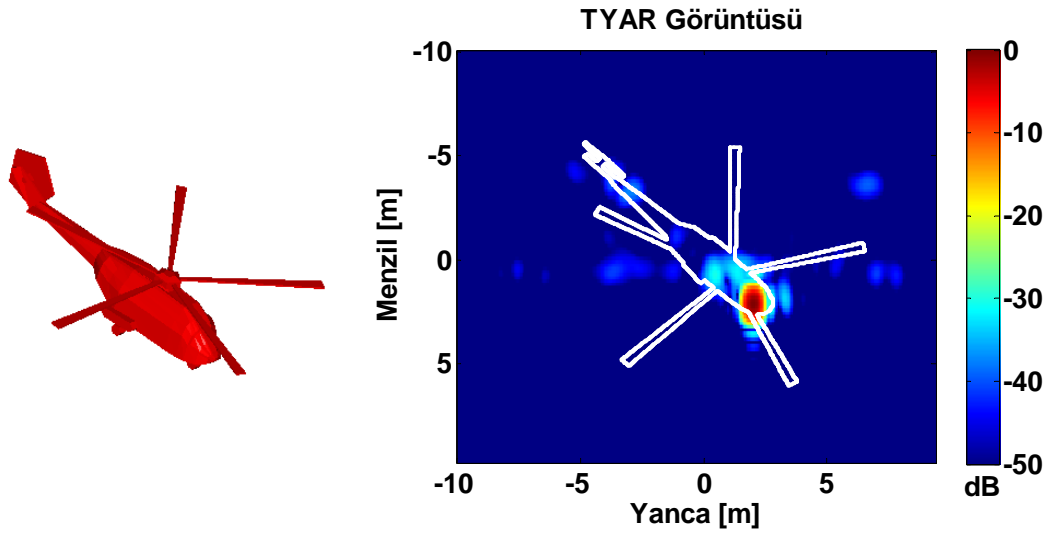
Şekil 4.24. Tank için ($\theta = 70^\circ, \phi = 45^\circ$) de oluşturulan Menzil Profili

4.3.8. HELİKOPTER İÇİN OLUŞTURULAN BENZETİM SONUCU

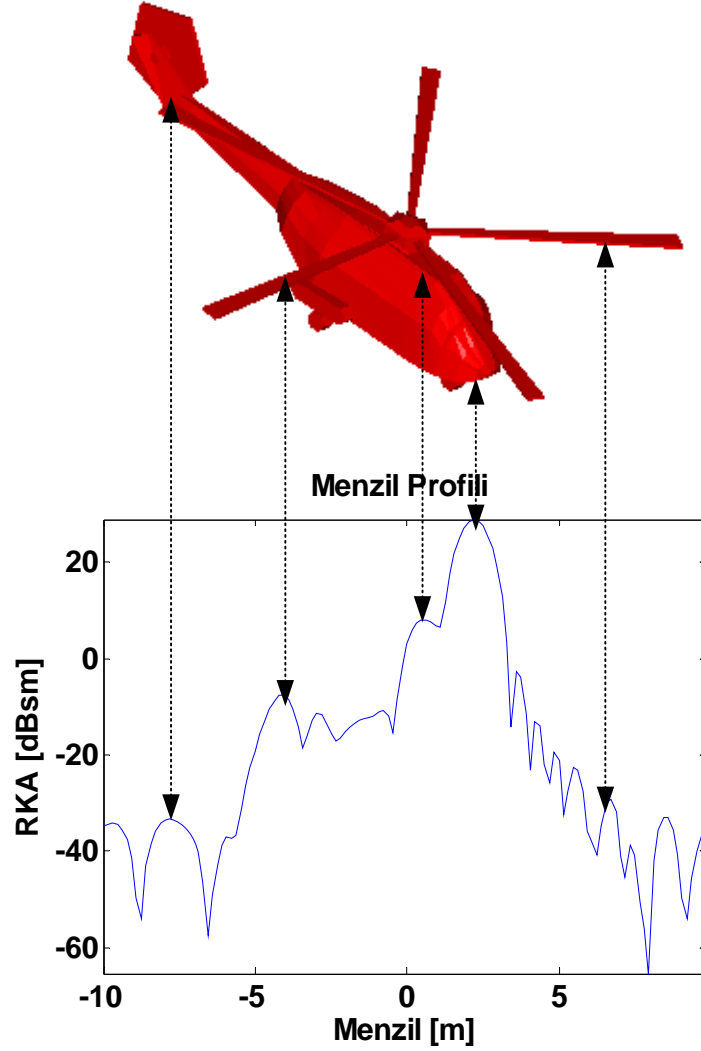
Helikopter modeli 594 üçgen yüzeyle oluşturulmuştur. SIY-FO yöntemiyle yapılan benzetim analizinde elde edilen hedefin 2-B'lu TYAR görüntüsü verilmektedir. Tablo 10'da helikopter analizinde kullanılan parametreler yer almaktadır.

Platform	HELİKOPTER
Boyutlar	$X = 14,3344$ m, $Y = 10,9664$ m, $Z = 3,3994$ m
Frekans	9,88 – 10,1125 (32 nokta)
Bakış Açısı	$\theta_c = 60$ derece $\phi = -46,3751 - -43,6679$ (64 nokta)
Menzil ve Çapraz Menzil Uzaylarındaki Bant-Genişlikleri	$BW_x = 20$ m, $BW_r = 20$ m
Işın Yoğunluğu	8
Polarizasyon	VV

Tablo 10. Helikopter modeli benzetim analizi için kullanılan parametreler



Şekil 4.25. Helikopter için $(\theta = 60^\circ, \phi = -45^\circ)$ de oluşturulmuş 2-B TYAR Görüntüsü



Şekil 4.26. Helikopter için $(\theta = 60^\circ, \phi = -45^\circ)$ de oluşturulmuş Menzil Profili

Şekil 4.25 ve 4.26'dan da açıkça görüleceği gibi helikopterin 22 dB de bakılarak elde edilen 2-B'lu TYAR görüntüsünde en güçlü saçılma burun kısmından gelmektedir.

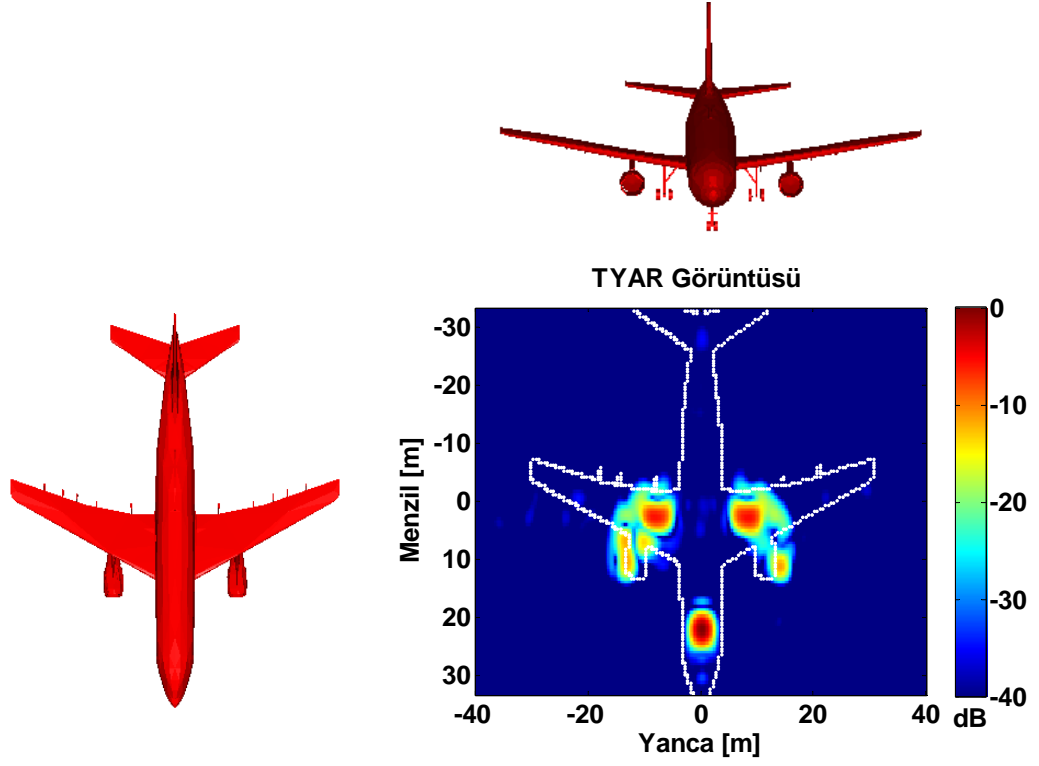
4.3.9. AIRBUS UÇAĞI İÇİN OLUŞTURULAN BENZETİM SONUCU

2-B TYAR görüntü elde etmede son olarak Airbus uçağı modelinin benzetim analizi yapılmıştır. Bu benzetim için hedef parametreleri Tablo 11’de verilen şekildeki gibidir.

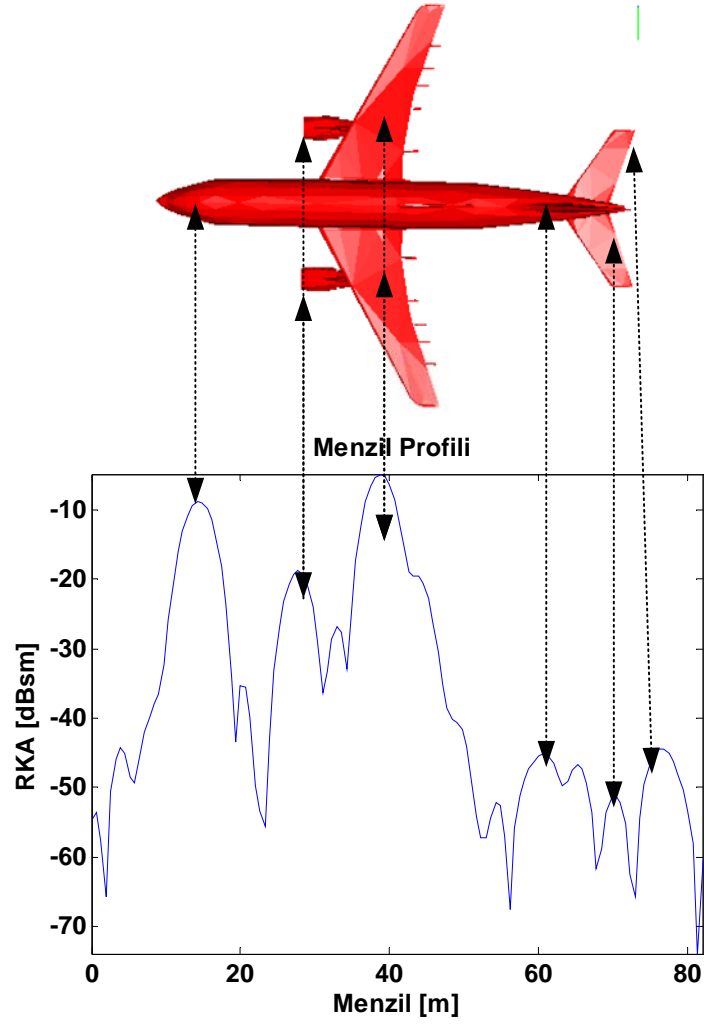
Platform	AIRBUS UÇAĞI
Boyutlar	$X = 72,8$ m, $Y = 61,1748$ m $Z = 22,5324$ m
Frekans	3,97 – 4,0281 (32 nokta)
Bakış Açısı	$\theta_c = 80$ derece $\phi = -1,0417 - 1,0092$ (64 nokta)
Menzil ve Çapraz Menzil Uzaylarındaki Bant-Genişlikleri	$BW_x = 80$ m, $BW_r = 66$ m
Işın Yoğunluğu	3
Polarizasyon	VV

Tablo 11. Airbus uçağı modeli, benzetim analizi için kullanılan parametreler

Şekil 4.27’de oluşturulan 2-B TYAR görüntüsü mevcut olup, hedefe $\theta = 80^\circ, \phi = 0^\circ$ bakış açılarında dalganın yollanmasıyla, geri saçılmaların en fazla burun, kanatlar ve kanatların altında yer alan füzelerden geldiği açıkça gözükmektedir. Şekil 4.28’de de uçağa ait menzil profili yer almaktadır.



Şekil 4.27. Airbus uçağının ($\theta = 80^\circ, \phi = 0^\circ$) da oluşturulmuş 2-B TYAR görüntüsü



Şekil 4.28. Airbus uçağı için ($\theta = 80^\circ, \phi = 0^\circ$) de oluşturulmuş Menzil Profili

2-B'lu TYAR görüntülerini oluştururken uçak, gemi, tank gibi büyük ve karmaşık platformların yüksek frekans EM benzetimlerini yapılması, günümüz bilgisayar imkânlarıyla bile aylar, hatta yıllar süren bilgisayar koşumlarını gerektirmektedir. Bu nedenden dolayı yüksek frekanslarda, bu tip platformlardan saçılma kestirimi yapabilen en etkin yöntem olarak SIY yöntemi öne çıkmaktadır.

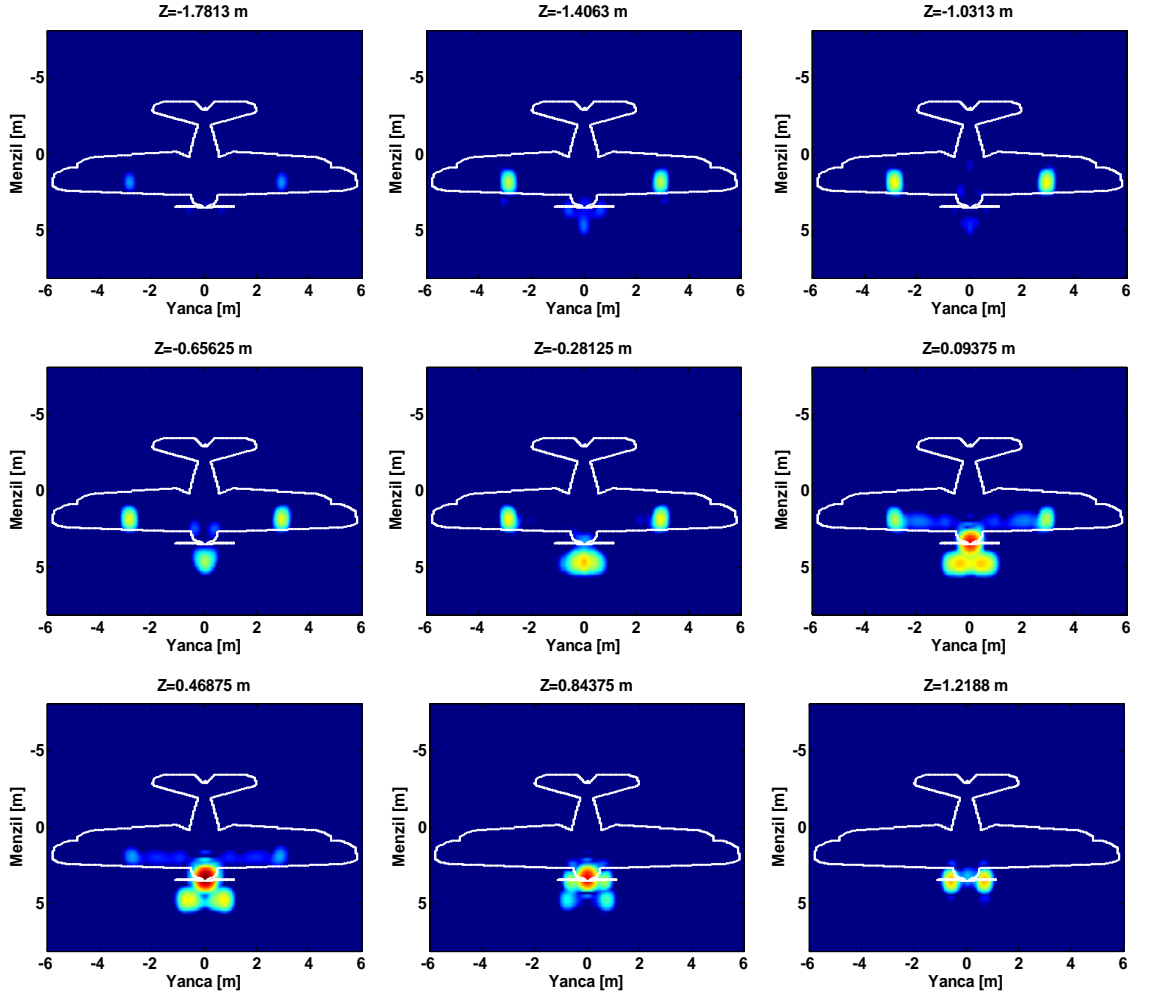
Bu çalışmada, değişik askeri ve sivil platformlarının Fiziksel-Optik (FO) ve SIY kullanan bir kod sayesinde EM elektrik alan saçılma benzetimleri ve benzetim sonucu elde edilen verilerin işlenmesiyle elde edilen 2-B TYAR görüntüleri sunulmuştur.

4.4. 3-B TYAR GÖRÜNTÜLERİ BENZETİM SONUÇLARI

3-B örnek TYAR görüntüsünün elde edilmesi amacıyla, CAD dosyası Şekil 4.12’de verilen uçağın monostatik elektrik-alan benzetimi 5,8 – 6,1875 GHz arasındaki değişik 32 frekans adımı ve 2-B açılızgarasında yapıldı. Buna göre elektrik alan verisi dikey açıda $88,0901^\circ - 91,6711^\circ$ arasında 16 değişik açı ve yatay açıda 64 değişik açı için toplandı. Böylece 32x16x64’lük 3-B elektrik alan saçılma verisi toplandı. Daha sonra, Bölüm 3’de anlatılan formülasyon kullanılarak planörün 3-B TYAR görüntüsü elde edildi. Şekil 4.29’da değişik z değerleri için 2-B X-Y düzlemi TYAR görüntüleri sunulmaktadır.

Platform	Uçak
Boyutlar	X = 7 m, Y = 11,6830 m, Z = 3,2986 m
Frekans	5.8000 – 6.1875 (32 nokta)
Bakış Açısı	$\theta_c = 88,0901^\circ - 91,6711^\circ$ derece $\phi = -2.8648 - 2.7753$ (64 nokta)
Menzil ve Çapraz Menzil Uzaylarındaki Bant-Genişlikleri	$BW_x = 12$, $BW_r = 16$ m, $BW_z = 6$
Işın Yoğunluğu	5
Polarizasyon	VV

Tablo 13. Uçak modelinin, 3-B’lu benzetim analizi için kullanılan parametreler

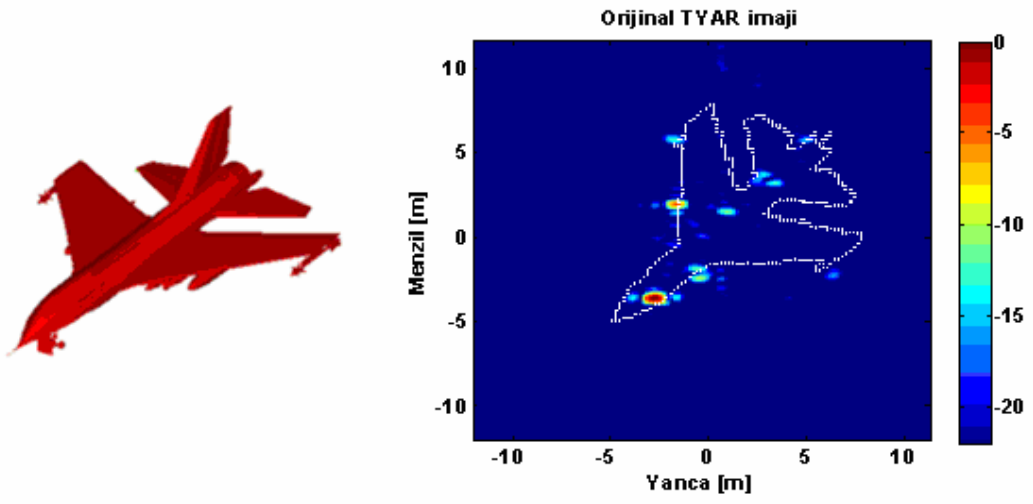


Şekil 4.29. Bir Uçağın 3-B TYAR görüntüsünden elde edilmiş, değişik z değerleri için X-Y düzlemindeki 2-B YTAR görüntüleri

4.5. SAÇILMA MERKEZİ ANALİZİ BENZETİM SONUÇLARI

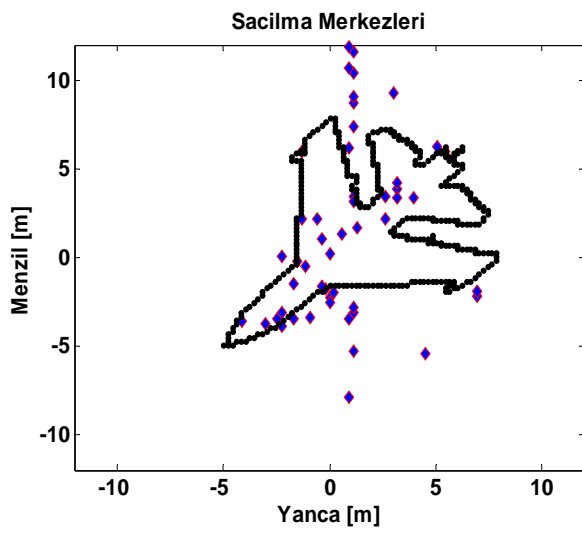
Radar görüntüleme, görüntü verisini daha seyrek bir gösterimle sunabilen ve veri sıkıştırması, sonsuz çözünürlükte elektrik-alan tahmini gibi önemli avantajlar sağlayan Saçılma Merkezi (SM) analizi de sunulmaktadır. SM gösterimi sayesinde, hem TYAR görüntüsü, hem de çoklu frekans-açı EM saçılma alanları istenilen çözünürlükte yüksek doğrulukla çok hızlı bir şekilde hesaplanmakta ve bu tez çalışmasında paylaşılmaktadır.

Örnek olarak, bir savaş uçağının 6GHz ve $(\theta = 60^\circ, \phi = 45^\circ)$ civarında EM benzetimi sonucunda elde edilen TYAR imajına SM analizinin uygulanması gösterilmiştir. Savaş uçağı modeli Şekil 4.30(a)'da ve TYAR algoritmasının uygulanması sonucu elde edilen 2-B TYAR görüntüsü Şekil 4.30(b)'de verilmiştir. Daha sonra CLEAN algoritması uygulanarak TYAR imajından toplam 50 adet SM çıkarılmıştır. Çıkarılan SM'lerinin yeri Şekil 4.30 (c)'de ve bu SM kullanarak tekrar oluşturulan yeni TYAR imajı da Şekil 4.30(d)'de verilmiştir. Şekil 4.30(b) ve (d) karşılaştırıldığında, SM gösteriminin ne kadar iyi bir model olduğu ve TYAR imajını tekrar oluşturmada ne derecede başarılı olduğunu göstermektedir. Son olarak da Şekil 4.30(e)'de, orijinal TYAR imajından çıkartılan SMlerinin genlikleri bir grafik halinde sunulmuştur. Bu şekilden de görüleceği üzere, TYAR görüntüsü ancak sınırlı sayıda SMlerinden oluştuğundan, imajdan 20 kadar SMi çıkarıldıktan sonra daha sonraki çıkarılan SMleri hemen hemen görüntünün gürültü seviyesinde bulunmaktadır. Bu analizde, söz konusu TYAR imajı için veri sıkıştırma oranı $[(32*4)*(64*4)*8 \text{ byte}] / [20*5*4 \text{ byte}] = [262,1 \text{ KB}] / [0.4\text{KB}] \approx 655$ olarak bulunmaktadır.

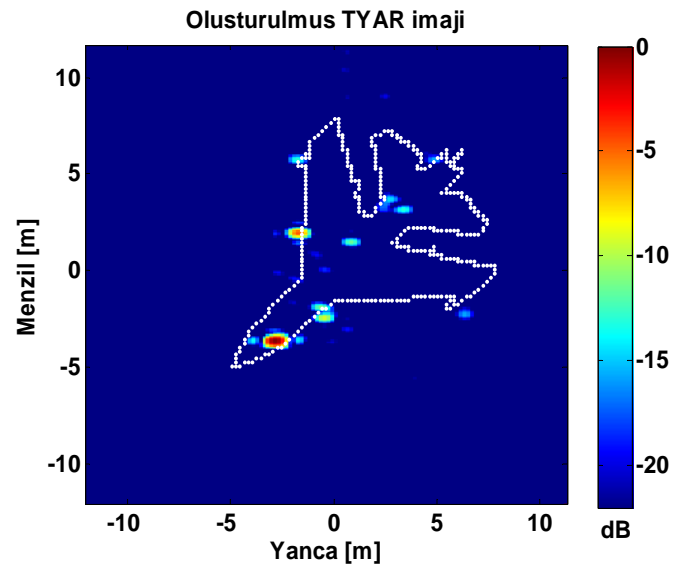


(a)

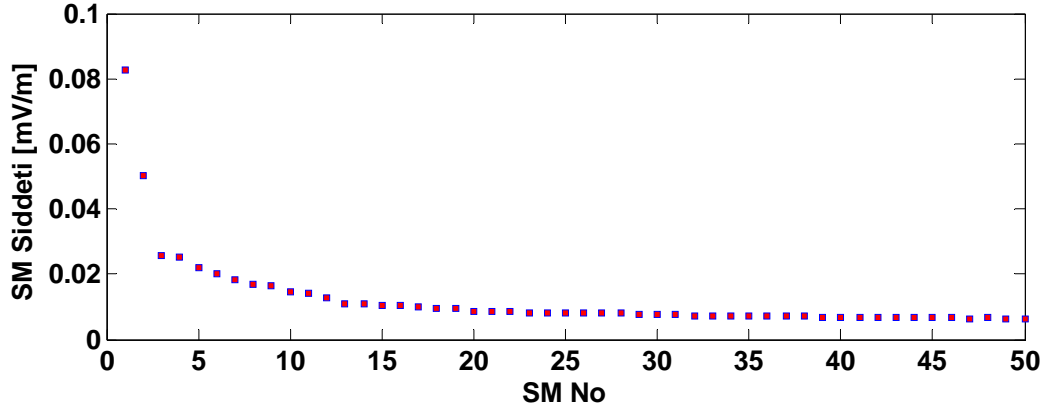
(b)



(c)



(d)



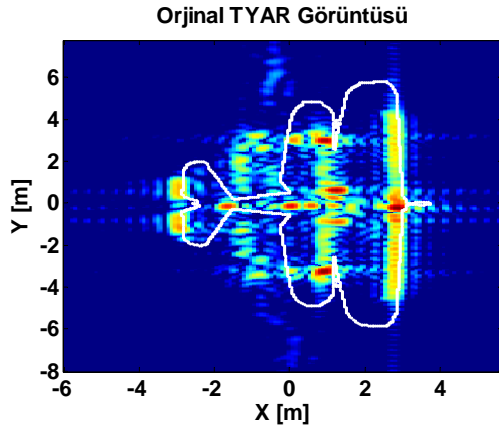
(e)

Şekil 4.30. Bir savaş uçağının (a) CAD dosyası, (b) Orijinal TYAR görüntüsü. (c) Çıkarılan 50 adet SMlerin yeri (d) SMlerinden oluşturulmuş yeni TYAR görüntüsü (e) Çıkarılan 50 SMlerin genlikleri.

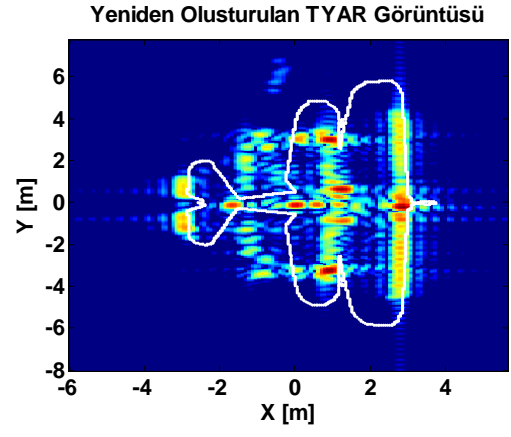
Diğer bir örnek olarak bir uçağın 6GHz ve $(\theta = 60^\circ, \phi = 0^\circ)$ civarında EM benzetimi sonucunda elde edilen TYAR imajına SM analizinin uygulanması gösterilmiştir. CLEAN algoritması uygulanarak TYAR imajından toplam 200 adet SM çıkarılmıştır. Uçağın 2-B'lu orjinal TYAR görüntüsü ve çıkarılan SM'leri ile yeniden oluşturulan görüntü Şekil 4.31(b) ve (c) de verilmektedir. Şekil 4.31'den de anlaşılacağı gibi SM gösteriminin ne kadar iyi bir model olduğu ve TYAR imajını tekrar oluşturmada ne derecede başarılı olduğunu göstermektedir. Son olarak da Şekil 4.31(d) ve (e)'de, orijinal TYAR imajından çıkartılan SMlerinin genlikleri ve yerleri bir grafik halinde sunulmuştur.



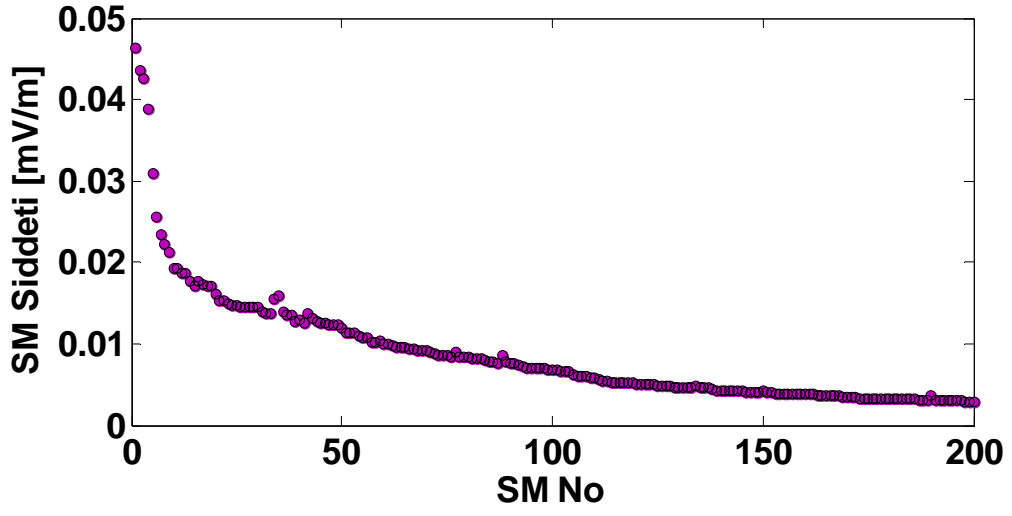
(a)



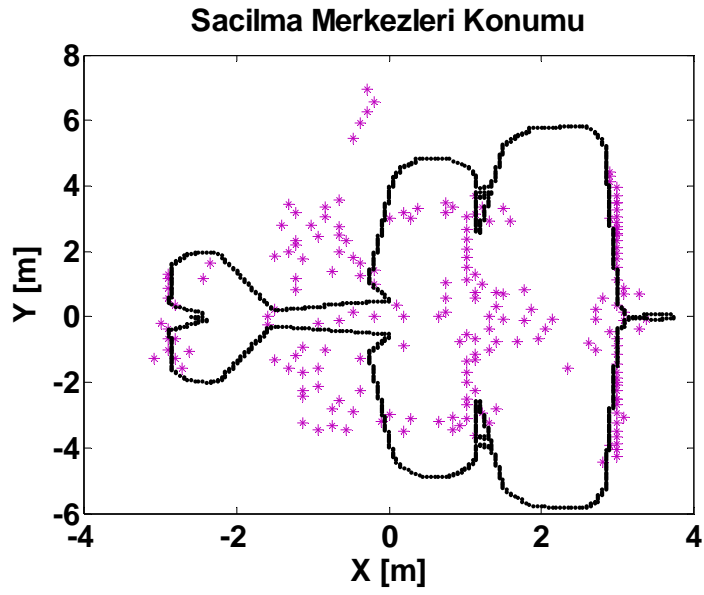
(b)



(c)



(d)



(e)

Şekil 4.31. Uçağın (a) CAD dosyası, (b) Orijinal TYAR görüntüsü.

SMlerinden oluşturulmuş yeni TYAR görüntüsü (d) Çıkarılan 200 SMlerin genlikleri (e) Çıkarılan 200 adet SMlerin yeri

Sonuç olarak TYAR görüntüleri baskın olarak belirli sayıda noktasal özellik gösteren saçıcılardan oluştuğu görülmüştür. Bir savaş uçağı ve planör uçağına SM analizi uygulanmış ve çıkarılan toplam sırasıyla 50 ve 200 adet SM ile TYAR imajı tekrar başarılı bir şekilde oluşturulmuştur.

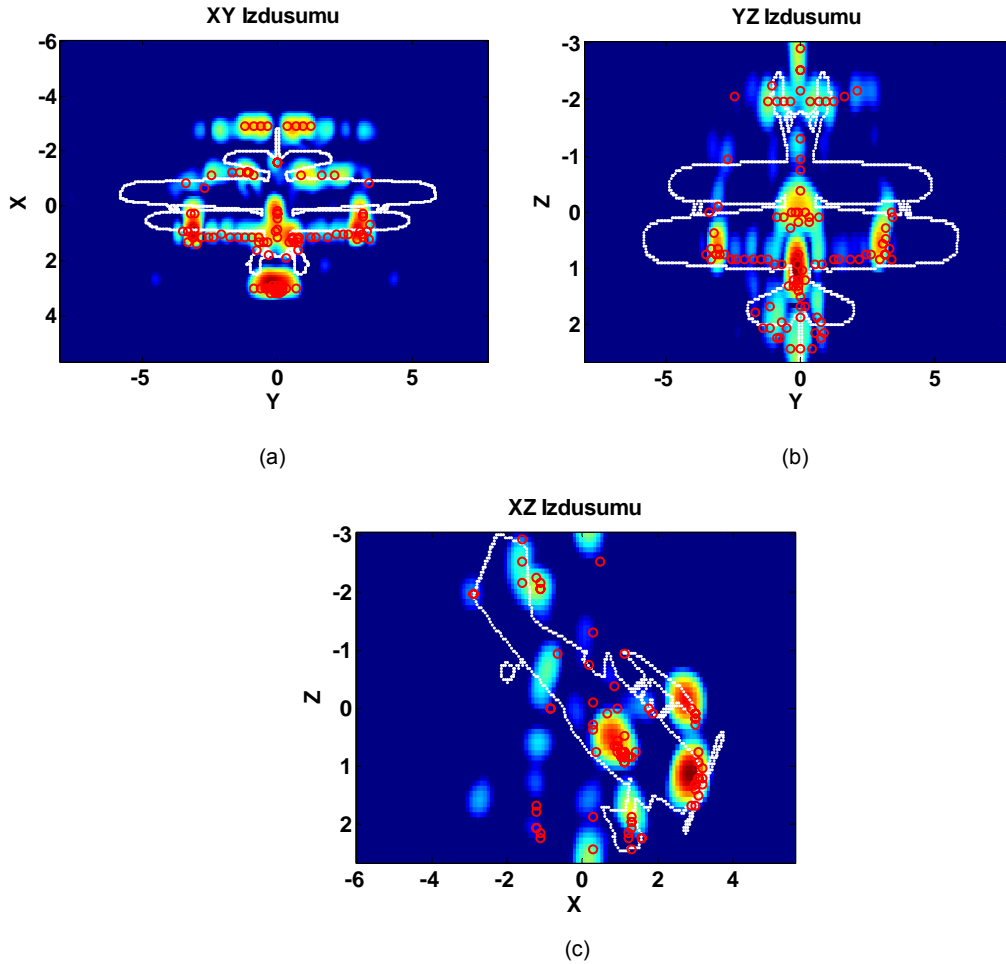
4.6. PLATFORMLARIN RADAR SOĞURUCU MALZEME İLE KAPLANARAK RKA'LARININ AZALTILMASINA İLİŞKİN BENZETİM SONUÇLARI

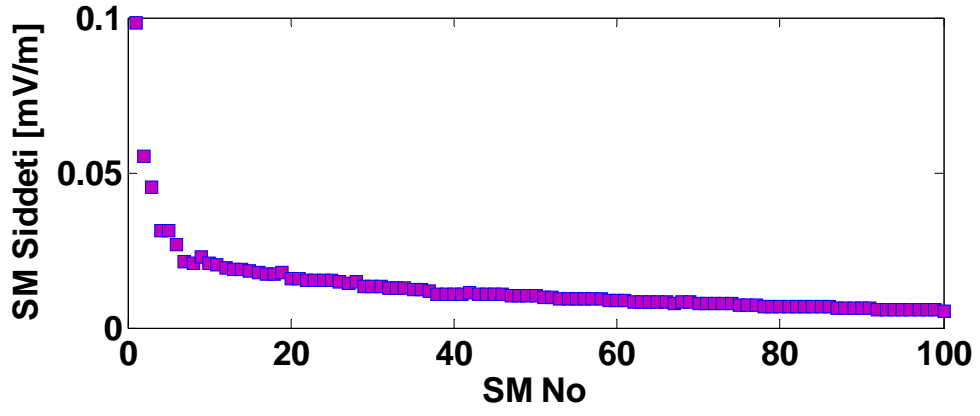
SM'lerinin yerlerinin belirlenmesiyle, bu bölgelerin Radar Soğurucu Malzeme (RSM)'lerle kaplanarak platformun RKA değerinin azaltılması sağlanabilir. Bu çalışmada; nümerik elektromanyetik yöntemler kullanarak gemi ve uçak gibi büyük ve karmaşık platformdan elektrik alan saçılımı sonrasında elde edilen TYAR görüntülerinden Saçılma merkezleri analizi ile hedefler üzerindeki sıcak bölgelerin tespit edilmesi ve bu bölgelerin RSM ile kaplanarak, RKA'larının azaltılması sağlanmaktadır.

Değişik uçak ve gemi hedeflerin çoklu-frekans, çoklu-açı EM benzetimleri sonucunda elde edilen TYAR görüntülerine SM analizi uygulanması neticesinde bulunan saçılma merkezleri civarına Mükemmel Soğurucu (MS) malzeme kaplanmıştır. MS malzeme kaplanmış yeni hedefin EM benzetimi tekrar gerçekleştirilerek, 2-B yeni TYAR görüntüsü çıkarılmıştır. Hedefin eski ve yeni RKA değerleri ve benzer olarak eski ve yeni TYAR görüntülerinin karşılaştırılmasıyla; saçılma merkezleri analizinin RKA değerinin azaltılmasındaki performansı incelenmiştir.

Örnek olarak bir uçağın 6 GHz ve $(\theta = 60^\circ, \phi = 0^\circ)$ civarında bu sefer 3-B'lu benzetimi yapılmıştır. SM analizi uygulanarak uçağın XY, YZ ve XZ düzlemlerindeki izdüşümleri elde edilmiştir. SM analizinde toplam 100 adet SMLeri çıkarıldı. Daha sonra 3-B analizinin XY, YZ ve XZ düzlemlerindeki 2-B'lu izdüşümleri SM yerleri ile birlikte sunulmuştur. Uçak modeli 1214 üçgen yüzeyden oluşmaktadır. Elde edilen SM'lerinden 0.3 metre uzaklıktaki üçgen yüzeyler MS malzeme ile kaplanarak hedefin EM benzetimi tekrar gerçekleştirilmiştir. Sonuç

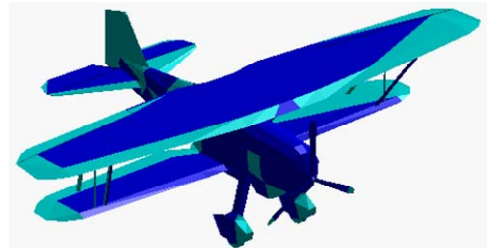
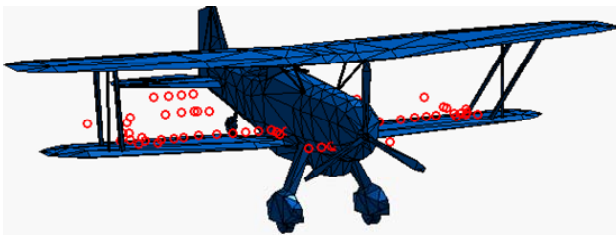
olarak hedefin elde edilen eski RKA değeri ve TYAR görüntüsüyle, yeni TYAR görüntüleri karşılaştırılmıştır. Böylelikle SM analizinin RKA değerinin azaltılmasındaki etkisi gözlemlenmiştir. Ekte yeni CAD dosyası oluşturulurken, 0,3 metre uzaklıktaki noktaları tespit etmek için yazılan *.m dosyası ve bu analiz için kullanılan diğer *.m dosyaları sunulmaktadır. Aşağıdaki şekilde 3-B'lu benzetim sonrası bulunan izdüşümler, SM yerleri, uçağın MS malzeme ile kaplanmış şekli ve eski ve yeni TYAR görüntüleri yer almaktadır.

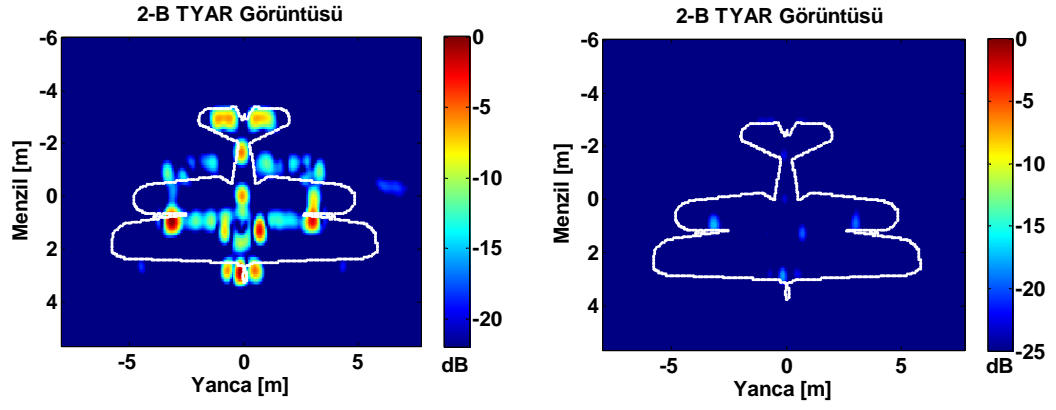




(d)

Şekil 4.32. Uçağın ($\theta = 60^\circ, \phi = 0^\circ$) bakış açılarında 3-B benzetiminde elde edilen (a) xy düzlemindeki izdüşümü, (b) yz düzlemindeki izdüşümü, (c) xz düzlemindeki izdüşümü (d) çıkarılan 100 tane saçılma merkezlerinin şiddetleri.





Şekil 4.33. (a) Uçak modeli ve SMLerinin konumu, (b) SM'lerine 0.3 metre uzaklıktaki yüzeylerin RSM ile kaplanmış şekli, (c) Uçağın RSM ile kaplanmadan önce elde edilen 2-B TYAR görüntüsü, (d) RSM ile kaplandıktan sonra elde edilen 2-B TYAR görüntüsü.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tezde, büyük ve karmaşık yapılardaki hedeflerin yüksek frekanslarda EM saçılmalarının hesaplanması Seken Işın Yöntemine dayanan bir kod sayesinde gerçekleştirilmiştir. İlk olarak, söz konusu askeri önem arzeden hedeflerin Bilgisayar Destekli Tasarımları (CAD) gerçekleştirilmiştir. Bu işlemi yaparken mevcut CAD dosyaları bulunabilen hedef tasarımlarından faydalanılabileceği gibi, CAD dosyaları hali hazırda bulunmayan hedeflerin CAD tasarımları Rhinoceros gibi yazılımlar sayesinde yapılmıştır. Daha sonra bu hedeflerden oluşacak EM saçılmaların hesabı, değişik EM simülatörlerin yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Saçılmalar monostatik durumlar için ve değişik bakış açılarında Matlab programlama dili kullanılarak hesaplanmıştır. Daha sonra her bir hedef için RKA'lar hesaplanmıştır. Hedeflerin radar görüntülerinin elde edilmesi için iki boyutlu (2-B) ve üç boyutlu (3-B) TYAR algoritması geliştirilmiş; dolayısıyla hedef algılama ve hedef tanımlama işlevleri için gerekli olarak yöntem tamamlanmış olmuştur.

Bu hesaplamalar sonunda hedeflerin RKA'ları çıkarılmış ve değişik bakış açılarında TYAR görüntüleri elde edilmiştir. Bazı analitik çözümü bilinen basit geometriye sahip cisimlerin SIY-FO tekniğine dayanan kodumuz sayesinde RKA değerleri oluşturulmuş ve analitik çözümleri ile karşılaştırılmıştır. Sonuçta kodla elde edilen RKA değeri ile analitik çözüm arasında mükemmel yakın uyum olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca, radar görüntüleme, görüntü verisini daha seyrek bir gösterimle sunabilen ve veri sıkıştırması, sonsuz çözünürlükte elektrik-alan tahmini gibi önemli avantajlar sağlayan Saçılma Merkezi (SM) analizi de sunulmaktadır. Radar Kesit Alanı çalışmalarında, elektriksel olarak büyük bir hedeften elektromanyetik saçılma, hedef üzerinde saçılma merkezi olarak adlandırılan ayrık noktalardan oluştuğu kabulüyle yaklaşık olarak modellenabilir. Saçılma merkezi modeli birçok radar uygulamalarında gerçek karmaşık hedefin seyrek soyutlamasını sağlar. Büyük veri setlerini saklamak yerine, saçılma merkezinin konumu ve şiddeti bilgisiyle hedefin bir boyutlu (1-B) menzil profili ve iki boyutlu (2-B) Ters Yapay Açıklıklı Radar İmgesi ve RKA değeri gerçek zamanlı olarak kolaylıkla elde

edilebilir. Uçak, gemi, helikopter, tank gibi büyük, karmaşık ve askeri önem arzeden hedeflerin 2B lu ve 3B lu TYAR görüntüleri elde edilmiştir.

SM gösterimi sayesinde, hem TYAR görüntüsü, hem de çoklu frekans-açı EM saçılma alanları istenilen çözünürlükte yüksek doğrulukla çok hızlı bir şekilde hesaplanmaktadır. TYAR görüntülerinden SM çıkarımında CLEAN algoritması uygulanmıştır ve SM'lerinin uygulanması ile TYAR imajını tekrar oluşturmada ne derecede başarılı olduğu gösterilmiştir. CLEAN, imajdaki en büyük noktayı bulan, bunu bir SM olarak kabul eden ve ilgili noktasal yayılım fonksiyonu, NYF, (point-spread-function - PSF) nu imajdan ayıklayan iteratif bir tekniktir.

Son olarak TYAR görüntülerinden Saçılma merkezleri analizi ile hedefler üzerindeki sıcak bölgelerin tespit edilmesi ve bu bölgelerin Radar Soğurucu Malzeme ,RSM, [Radar Absorbing Material, RAM] ile kaplanarak, RKA'larının azaltılması araştırılmış ve hedeften yansıyan gücün hesaplanmasında, radar kesit alanının ne kadar azaldığı gözlemlenmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] Ergül Ö., Gürel L., "On the Accuracy of MFIE and CFIE in the Solution of Large Electromagnetic Scattering Problems," European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP 2006), Nice, France, (2006).
- [2] 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).
- [3] 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).
- [4] Wikipedia, the free encyclopedia, http://en.wikipedia.org/wiki/Radar_cross_section, (2007).
- [5] Segalovitz A., Frieden B.D., "A 'CLEAN' Type Deconvolution Algorithm", Astron. Astrophys., **70**: 335-343, (1978).
- [6] Özdemir C., "Synthetic Aperture Radar", Encyclop. of RF and Microw. Engin., New York, Wiley, 5716 s., (2005).
- [7] Antenna Measurements, RCS Measurements and Measurements on Pulsed Signals with Vector Network Analyzers R&S ZVM, R&S ZVK, [http://www.rohdeschwarz.com/www/downcent.nsf/ANFileByANNoforInternet/95C92F360122C68BC1256F0B0028C147/\\$file/1EZ52_0E.pdf](http://www.rohdeschwarz.com/www/downcent.nsf/ANFileByANNoforInternet/95C92F360122C68BC1256F0B0028C147/$file/1EZ52_0E.pdf) (2005).
- [8] Chatzigeorgiadis F., "Development of Code for a Physical Optics Radar Cross Section Prediction and Analysis Application" M.S. Thesis, Naval Postgraduate School, Monterey, California, (2004).
- [9] Wang S.Y., Jeng S.K., "A Compact RCS Formula For A Dihedral Corner Reflector At Arbitrary Aspect Angles", IEEE Trans Antennas Propagat, **46**: 1112-1113, (1998).
- [10] Bhalla R., Ling H., "Three – Dimensional Scattering Center Extraction Using The Shooting And Bouncing Ray Technique", IEEE Trans Antennas Propagat, **44**: 1445–1453, (1996).
- [11] Balanis C.A., "Advanced Engineering Electromagnetics", John Wiley & Sons, New York, 969 s.(1989).

- [12] Bhalla R., Ling H., “Time Domain Ray Tube Integration Formula For The Shooting And Bouncing Ray Technique”, Tech. Rep., Univ.Texas, Austin,(1993).
- [13] Bhalla R., Ling H., “Image Domain Ray Tube Integration Formula For The Shooting And Bouncing Ray Technique”, Radio Science., **30**: 1435–1446, (1995).
- [14] Harrington R.F., “Time Harmonic Electromagnetic Fields”, John Wiley & Sons, (2001).
- [15] Knott E. F., Shaeffer J. F., Tuley M. T., “Radar Cross Section (2nd Edition)”, SciTech Publishing, 601 s.(2004).
- [16] Bayer S.E., Ergin A., “A Stable Marching-on-in-time Scheme for Wire Scatterers Using a Newmark-Beta Formulation” IV. International Workshop on Electromagnetic Wave Scattering, Gebze, Turkey, (2006).
- [17] Bhalla R., Ling H., Nussbaum H., “Multi Aspect Range Profile Extrapolation For The Shooting And Bouncing Ray Technique ”, J. Electromagn. Waves Appl., to be published.
- [18] Jenn D.C., “Radar And Laser Cross Section Engineering”, American Institute Of Aeronautics And Astronautics Inc., (1995).
- [19] Ergin A.A., “Görünmezlik Teknolojileri: Radar Kesit Alanı Nedir?”, Savunma ve Havacılık Dergisi, (2007).
- [20] Chew W.C., Jin J.M., Michielssen E., Song J., “Fast and Efficient Algorithms in Computational Electromagnetics”, Artech House, Boston, (2001).
- [21] Jeffreys H., Bullen K.E., “Radar Systems and Analysis and Design Using Matlab”, 533 s. (2001).

EKLER

Ek-1: Bir Küreden Saçılan Alanların Analitik Çözümü ve RKA değeri Hesaplamada Kullanılan .m Dosyası

```
1 | %---kure sbr-----
2 |
3 |
4 | - f=.06:((0.96-0.06)/49):0.96;
5 | - th=90;
6 |
7 | - for k=1:50;
8 |
9 |     s='f';sk=num2str(k);
10 |    s1=[s sk '.out2'];
11 |    a=load(s1);
12 |    a1=a(:,4)+j*a(:,5);
13 |    data(k,:)= a1;
14 |
15 | - end
16 |
17 | - lam=.3./f;
18 | - rcs=data.^2*(4*pi);
19 | - a=.5;
20 | - x=a./lam;
21 | - y=(a^2);
22 |
23 | %-----theory-----
24 | - k=2*pi*f/.3;
25 |
26 | - sigma=pi*(a.^2)*(1 - exp(-j*k*a).*sinc(k*a/pi)).^2;
27 | - y1=pi*(a^2);
28 |
29 |
30 | - plot(x, (sigma/y1), 'r');
31 | - set(gca, 'FontName', 'Arial', 'FontSize', 16, 'FontWeight', 'Bold');
32 | - ylabel('Menzil [m]'); xlabel('Yanca [m]');
33 | %colorbar;
34 | - grid off; title('2-B TYAR Görüntüsü ');
35 |
36 | - hold
37 | - plot(x, abs(rcs/y));
38 |
```

**Ek-2: Dihedral Köşe Yansıtıcısı İçin Saçılan Alanların Analitik Çözümü
ve RKA değeri Hesaplamada Kullanılan .m Dosyası**

```
1 - c=3e8;
2 - f=10e9;
3 - lambda=c/f;
4 - a=15e-2;
5 - b=3e-1;
6 - k=2*pi/lambda;
7 - thi=50*pi/180;
8 - phi1=(1:1:45)*pi/180;
9 - phi2=(46:1:90)*pi/180;
10 - fi=1:1:90;
11
12 - x=(k*a*cos(thi))/tan(thi);
13 - m1=x./cos(phi1);
14 - d=sinc(m1);
15 - y=k*cos(thi)*((b-a)/(tan(thi)));
16 - psi1=y./cos(phi1);
17 - psi=k*b*cos(thi);
18 - psi2=y./sin(phi2);
19 - m2=x./sin(phi2);
20 - beta=sinc(psi)-exp(j*psi);
21 - beta145=(exp(j*psi1).*d)-exp(j*psi);
22 - beta245=(exp(j*psi2).*d)-exp(j*psi);
23
24 - for phi=0:90;
25 -     if abs(tan(thi).*cos(phi))>a/b;
26 -         rcs(1:45)=(a/sqrt(pi))*tan(thi)*sin(phi1).*beta145;
27
28 -         rcs(46:90)=(a/sqrt(pi))*tan(thi)*cos(phi2).*beta245;
29 -     else
30 -         rcs(1:90)=(b/sqrt(pi))*(tan(thi)).^2*sin(2*phi).*beta;
31 -     end
32 - end
33
34
35 - dbrcs=20*log10(abs(rcs));
36 - plot(fi,dbrcs,'r');
37 - set(gca,'FontName','Arial','FontSize',16,'FontWeight','Bold');
38 - ylabel('RKA [dBsm]'); xlabel('Bakis Acisi [derece]');
39 - axis([0 90 -50 50]);
40 - %grid
41
```

Ek-3: 2-B TYAR Görüntüsü Elde Etmede Kullanılan Örnek bir .m Dosyası, Örnek, Planör Uçağının ($\theta = 60^\circ, \phi = 0^\circ$) de hazırlanmış dosyasıdır.

```
1
2
3
4 %---PLANOR sbr-----
5
6
7 c=.3; % speed of light
8 % _____ PRE PROCESSING OF ISAR _____
9 %Find spatial resolutions
10 BWx=12; BWy=16; M=32; N=64; fc=6;
11 phic=0;
12
13 dx=BWx/M; dy=BYy/N;
14
15 % Form spatial vectors
16 X=-dx*M/2:dx:dx*(M/2-1);
17 Y=-dy*N/2:dy:dy*(N/2-1);
18
19 %Find resolutions in freq and angle
20 df=c/(2*BWx); dk=2*pi*df/c; kc=2*pi*fc/c;
21 dphi=pi/(kc*BYy);
22
23 %Form F and PHI vectors
24 F=fc+[-df*M/2:df:df*(M/2-1)];
25 PHI=phic+[-dphi*N/2:dphi:dphi*(N/2-1)];
26
27 for k=1:32;
28
29     s='d:\MATLAB71\work\MDOSYA\planorteta60phi\tumfrekanslar\f';sk=num2str(k);dismi='\rka';
30     file=[s sk dismi '.out2'];
31     [pathstr, name, ext, versn] = fileparts(file);
32     S=importdata(file);
33     a=S.data;
```

```

34 -     a1=a(:,4)+j*a(:,5);
35 -     a2=a(:,6)+j*a(:,7);
36 -     Es(k,:)= a1;
37 -     %Es(k,:)= a2;
38 -     %Es(k,:)= sqrt(a1.^2+a2.^2);
39 - end
40
41 - % see the collected Es field
42 - figure;
43 - imagesc(k,PHI*180/pi,abs(Es));
44
45 - % _____ POST PROCESSING OF ISAR _____
46
47 - ISAR=fftshift(fft2(Es)); ISAR=ISAR/M/N;
48 - figure;
49 - imagesc(X,Y,abs(ISAR));
50 - xlabel('X (m)'); ylabel('Y (m)');grid on; colorbar
51
52
53 - %windowing;
54
55 - w=hanning(M)*hanning(N)';
56 - Ess=Es.*w;
57 - figure;
58 - %zero padding;
59 - Enew=Ess;
60 - Enew(M*4,N*4)=0;
61
62 - % ISAR image formation
63 - ISARnew=fftshift(fft2(Enew)); ISARnew=ISARnew/M/N;
64 - figure;
65 - imagesc(X,Y,abs(ISARnew));
66 - xlabel('X (m)'); ylabel('Y (m)');grid on; colorbar

```



```

67
68 - figure;
69 - load planorteta60_2_xyout.mat
70 - matplot2(Y,X,abs(ISARnew),22);
71 - h=line(xyout_yout,xyout_xout-.5,'Color','w','LineStyle','.');
72 - set(gca,'FontName','Arial','FontSize',16,'FontWeight','Bold');
73 - ylabel('Menzil [m]'); xlabel('Yanca [m]');
74 - colorbar; grid off; title(' 2-B TYAR Görüntüsü ')
75
76 %rka ve menzil profili çizimi
77 - figure;
78 - rka=Enew(:,33);
79 - rp=fftshift(fft(rka));
80 - FF=F(1):df/4:(F(1)+127*df/4);
81 - dx=X(2)-X(1);XX=X(1):dx/4:(X(1)+127*dx/4);
82 %subplot(211);
83 - A=10*log10(abs(4*pi*rka(1:32).^2));
84 - plot(F,A);
85 - axis([min(F) max(F) min(A) max(A)])
86 %subplot(212);
87 - B=(abs(4*pi*rp.^2));
88 - plot(-XX,B);
89 - set(gca,'FontName','Arial','FontSize',16,'FontWeight','Bold');
90 %plot(-XX,B);
91 - xlabel('Menzil [m]'); ylabel('RKA [dBsm]'); title('Menzil Profili ')
92 - axis([min(XX) max(XX) min(B) max(B)]);

```

Ek-4: Hedefe 2-B CLEAN Algoritması Uygulanması

```
1 %---PLANOR sbr-----
2 %cd D:\betuly\Planor60;
3 - c=.3; % speed of light
4 % _____PRE PROCESSING OF ISAR_____
5 %Find spatial resolutions
6 - BWx=12; BWy=16; M=32; N=64; fc=6; nx=M; ny=N;
7 - phic=0;
8 - thc=90*pi/180;
9
10 - dx=BWx/M; dy=BYy/N;
11
12 % Form spatial vectors
13 - X=-dx*M/2:dx:dx*(M/2-1);XX=-dx*M/2:dx/4:-dx*M/2+dx/4*127;
14 - Y=-dy*N/2:dy:dy*(N/2-1);YY=-dy*N/2:dy/4:-dy*N/2+dy/4*255;
15
16 %Find resolutions in freq and angle
17 - df=c/(2*BWx); dk=2*pi*df/c; kc=2*pi*fc/c;
18 - dphi=pi/(kc*BYy);
19
20 %Form F and PHI vectors
21 - F=fc+[-df*M/2:df:df*(M/2-1)];
22 - PHI=phic+[-dphi*N/2:dphi:dphi*(N/2-1)];
23
24 - load Es60
25
26 % see the collected Es field
27 - imagesc(k,PHI*180/pi,abs(Es));
28 % ISAR
29 - ISAR=fftshift(fft2(Es)); ISAR=ISAR/M/N;
30 - imagesc(X,Y,abs(ISAR));
31 - xlabel('X (m)'); ylabel('Y (m)');grid on; colorbar
32
```

```

33 % ISAR 4x UPSAMPLED-----
34 - Enew=Es;
35 - Enew(nx*4,ny*4)=0;
36 - ISARnew=fftshift(fft2(Enew)); ISARnew=ISARnew/M/N;
37
38 %-----
39 %--- 2D-CLEAN -----
40 % --prepare 2D sinc functions---
41 - sincx=ones(1,nx); sincx(1,nx+1:nx*4)=0; hsncF=fft(sincx)/nx;
42 - sincy=ones(1,ny); sincy(1,ny+1:ny*4)=0; hsncPHI=fft(sincy)/ny;
43
44 % -----initilize---
45 - hh=zeros(4*nx,4*ny);
46
47 - ISARres=ISARnew.'; Amax=max(max(ISARnew));
48 - ISARbuilt=zeros(ny*4,nx*4);
49 % -----Clean loop-----
50 - for nn=1:200;nn
51 -     A=0;
52 -     [A,ix]=max(max(ISARres));
53 -     [dum,iy]=max(max(ISARres.'));
54
55 -     hsincX=shft(hsncF,ix);
56 -     hsincY=shft(hsncPHI,iy);
57 -     hhsinc=hsincX.'*hsincY;
58 -     ISARres=ISARres-A*hhsinc.';
59 -     Ss(nn,1:3)=[A XX(ix) YY(iy)];
60 -     II=ISARres; II(1,1)=Amax;
61 % Image Cleaning
62 - subplot(211);
63 - matplot(X,Y, abs(II),30);
64 - drawnow;
65 - set(gca,'FontName','Arial','FontSize',16,'FontWeight','Bold');

```

```

66 - title('Kalan Görüntü')
67 - %title('Residual image')
68 - % Image Reconstruction
69 - ISARbuilt=ISARbuilt-Â*hhsinc.'; ISARbuilt(1,1)=Âmax;
70 - subplot(212);matplot(X,Y,abs(ISARbuilt),30);drawnow;
71 - set(gca,'FontName','Arial','FontSize',16,'FontWeight','Bold');
72 - title('Yeniden Olusturulan Görüntü')
73 - %title('Reconstruction image')
74 - for m=1:1e6;end;
75 - end
76
77 - %-----IMAGE COMPARISON-----
78 - figure; matplot(X,Y,abs(ISARnew.'),30);
79 - set(gca,'FontName','Arial','FontSize',16,'FontWeight','Bold');
80 - xlabel('X [m]'); ylabel('Y [m]'); title('Orjinal TYAR Görüntüsü')
81 - %xlabel('X [m]'); ylabel('Y [m]'); title('Original ISAR image')
82
83 - figure; matplot(X,Y,abs(ISARbuilt),30);
84 - set(gca,'FontName','Arial','FontSize',16,'FontWeight','Bold');
85 - xlabel('X [m]'); ylabel('Y [m]'); title('Yeniden Olusturulan Görüntü')
86 - %xlabel('X [m]'); ylabel('Y [m]'); title('Reconstructed ISAR image')
87
88 - %-----SCATTERING CENTER INFO DISPLAY-----
89 - plot(abs(SSs(:,1)),'.');
90 - set(gca,'FontName','Arial','FontSize',16,'FontWeight','Bold');
91 - xlabel('Saçılma Merkezi Numarası'); ylabel('Genlik');
92 - %xlabel('Scat. Center no'); ylabel('Amplitude');
93
94 - figure;
95 - plot(SSs(:,2),SSs(:,3),'*');
96 - set(gca,'FontName','Arial','FontSize',16,'FontWeight','Bold');
97 - xlabel('X [m]'); ylabel('Y [m]'); title('Saçılma Merkezleri Konumu')
98 - %xlabel('X [m]'); ylabel('Y [m]'); title('Scat. Center Locations')

```

Ek-5: Hedefe 3-B CLEAN Algoritması Uygulanması

```
1 | %---PLANOR sbr-----
2
3 - cd D:\MATLAB7\work\MDOSYA\PLANOR_3D;
4 - c=.3; % speed of light
5 | % _____ PRE PROCESSING OF ISAR _____
6 | %Find spatial resolutions
7 - BWx=12; BWy=16; BWz=6; M=32; N=64; P=16; fc=6;
8 - phic=0;
9 - thc=90*pi/180;
10
11 - dx=BWx/M; dy=BWy/N; dz=BWz/P;
12
13 | % Form spatial vectors
14 - X=-dx*M/2:dx:dx*(M/2-1); XX=-dx*M/2:dx/4:-dx*M/2+dx/4*127;
15 - Y=-dy*N/2:dy:dy*(N/2-1); YY=-dy*N/2:dy/4:-dy*N/2+dy/4*255;
16 - Z=-dz*P/2:dz:dz*(P/2-1); ZZ=-dz*P/2:dz/4:-dz*P/2+dz/4*63;
17
18 | %Find resolutions in freq and angle
19 - df=c/(2*BWx); dk=2*pi*df/c; kc=2*pi*fc/c;
20 - dphi=pi/(kc*BWy);
21 - dth=pi/(kc*BWz);
22 | %Form F and PHI vectors
23 - F=fc+[-df*M/2:df:df*(M/2-1)];
24 - PHI=phic+[-dphi*N/2:dphi:dphi*(N/2-1)];
25 - TET=thc+[-dth*P/2:dth:dth*(P/2-1)];
26
27 | % CANERCANERCANERCANERCANERCANERCANERCANERCANER
28 - load Es3D;
29 - w2=hanning(16)*hanning(64).';
30 - w22=hanning(32)*ones(1,16384);
31 - clear Es1 Es2 Es3 Ess
```

```

32 %-----3d FFT-----
33 - for m=1:32;
34 -     Es1=Es(m,:);
35 -     Es1=cevir2(Es1,16,64);Es1=Es1.*w2;
36 -     Es1(16*4,64*4)=0; Es1=Es1.';
37 -     Es2=fftshift(fft2(Es1));
38 -     Es2=Es2(:);
39 -     Es3(m,:)=Es2.';
40 - end;
41 - Es3=Es3.*w22;
42 - Es3(32*4,16384)=0;
43 - Es3=fft(Es3);
44 - ESS=Es3(65:128,:);
45 - ESS(65:128,:)=Es3(1:64,:);
46
47 %-----movieXY-----
48 - A=(max(max(ESS)));
49 - load Planor_xyout.mat;
50 - for m=1:16*4;
51 -     EE=ESS(:,(m-1)*256+1:m*256); EE(1,1)=A;
52 -     zp=num2str(ZZ(m));
53 -     zpp=['Z=' zp 'm'];
54 -     matplot2(Y,X,EE,50);
55 -     h=line(xy_yout,xy_xout,'Color','w','LineStyle','.');
56 -     set(gca,'FontName','Arial','FontSize',16,'FontWeight','Bold');
57 -     xlabel('Y'); ylabel('X');title(zpp);
58 -     drawnow;
59 -     for kk=1:1e7;end;
60 - end
61

```

```

62 %-----izdüşümXY-----
63 - EExy=zeros(32*4,64*4);
64 - load Planor_xyout.mat
65 - for m=1:16*4;
66 -     EE=ESS(:,(m-1)*256+1:m*256);
67 -     EExy=EExy+EE;
68 - end
69     %EExy=fliplr(EExy. ');
70 -     matplot2(Y,X,EExy,40);
71 -     h=line(xy_yout,xy_xout,'Color','w','LineStyle','.');
72 -     set(gca,'FontName','Arial','FontSize',16,'FontWeight','Bold');
73 -     xlabel('Y'); ylabel('X');title('XY Izdüşümü')
74
75
76 %-----movie YZ-----
77 - A=(max(max(ESS)));
78 - load Planor_yzout.mat;
79 - for m=1:32*4;
80 -     EE=ESS(m,:); EE(1,1)=A;
81 -     Eyz=cevir2(EE,64,256); Eyz=Eyz. ';
82 -     xp=num2str(XX(m));
83 -     xpp=['x=' xp 'm'];
84 -     matplot2(Y,Z,Eyz. ',50);
85 -     h=line(yz_yout,-yz_zout,'Color','w','LineStyle','.');
86 -     set(gca,'FontName','Arial','FontSize',14,'FontWeight','Bold');
87 -     xlabel('Y'); ylabel('X');title(xpp);drawnow;
88 -     for kk=1:1e5;end;
89 - end

```

```

92 %-----izdüsüm YZ-----
93
94 %EExy=zeros(64*4,16*4);
95 - load Planor_yszout.mat
96 - Eyz=sum(ESS);
97 - Eyz=cevir2(Eyz,64,256); Eyz=Eyz.';
98 - matplot2(Y,Z,Eyz.',30);
99 - h=line(yz_yout,-yz_zout,'Color','w','LineStyle','.');
100 - set(gca,'FontName','Arial','FontSize',16,'FontWeight','Bold');
101 - xlabel('Y'); ylabel('Z');title('YZ Izdusumu')
102
103
104 %-----movie XZ-----
105
106 - A=(max(max(ESS)));
107 - load Planor_xzout.mat;
108 - for m=1:64*4;
109 -     EE=ESS(:,m:256:16384);
110 -     EE(1,1)=A;
111 -     yp=num2str(YY(m));
112 -     ypp=['Y=' yp 'm'];
113 -     matplot2(X,-Z,EE.',50);
114 -     h=line(xz_xout,-xz_zout,'Color','w','LineStyle','.');
115 -     set(gca,'FontName','Arial','FontSize',16,'FontWeight','Bold');
116 -     xlabel('Y'); ylabel('X');title(ypp);drawnow;
117 -     for kk=1:1e5;end;
118 - end
119
120 %-----izdügüm XZ-----
121
122 - EExz1=zeros(32*4,16*4);
123 - for m=1:16*4;
124 -     EE=ESS(:,(m-1)*256+1:m*256);
125 -     EEE=sum(EE.');
126 -     E1=EEE.'
127 -     EExz(m,:)=E1;
128 -     %EExz2=EExz.'+EExz1;
129 - end
130 - load Planor_xzout.mat;
131 - matplot2(X,Z,EExz,40);
132 - h=line(xz_xout,-xz_zout,'Color','w','LineStyle','.');
133 - set(gca,'FontName','Arial','FontSize',16,'FontWeight','Bold');
134 - xlabel('Z'); ylabel('X');title('XZ Izdüsümü')
135

```


Ek-6: Kullanılan BDT Dosyalarının Birbirlerine Dönüştürülmesi İçin Yazılan .m Dosyası

a) Facet dosyasının Raw dosyasına dönüştürülmesi için yazılan .m dosyası

```
1 function verts=Facet2raw(fname);
2 - fid=fopen(fname, 'r');
3 - version=fgetl(fid)
4 - tmp=fgetl(fid);
5 - nobj=sscanf(tmp, '%12i\n', 1)
6 - for i=1:nobj,
7 -     disp(i/nobj*100);
8 -     Title=fgetl(fid)
9 -     %Is this right?:
10 -    tmp=fgetl(fid);
11 -    eltype=sscanf(tmp, '%i\n', 1);
12 -    tmp=fgetl(fid);
13 -    nv=sscanf(tmp, '%i\n', inf);
14 -    nv=nv(1);
15 -    vert=fscanf(fid, '%g', [3, nv]).';
16 -    % convert from inches to meters:
17 -    %vert=vert*2.54e-2;
18 -    mm=[max(vert)+min(vert)]/2;
19 -    % shift plane to center of the image:
20 -    % vert(:,1)=vert(:,1)-mm(1);
21 -    % vert(:,2)=vert(:,2)-mm(2);
22 -    %vert(:,3)=vert(:,3)-mm(3);
23 -    tmp=fgetl(fid);
24 -    tmp=fgetl(fid);
25 -    np=sscanf(tmp, '%i', 1)
26 -    nf=0;
27 -    p=1;
28 -    fid1=fopen('out1.raw', 'w');
29 -    for m=1:np,
30 -        % disp(m/np*100);
31 -        pname=fgetl(fid);
32 -        tmp=fgetl(fid);
33 -        nf2=sscanf(tmp, '%i', 1);
```

```

34 -     nf2=nf2(1);
35 -     face=fscanf(fid,'%i\n',[6,nf2]).';
36 -     face=face(:,1:3);
37 -     [max(max(face)) min(min(face))]
38 -     fprintf(fid1,'%s','Object');
39 -     fprintf(fid1,'%8.0f\n',m);
40 -     for i=1:nf2;
41 -         % disp(round(i/nf2*100));
42 -         v=face(i,1:3);
43 -         P=vert(v,:);
44 -         P=P.';P=P(:).';
45 -         fprintf(fid1,'%6.4f %6.4f %6.4f %6.4f %6.4f %6.4f %6.4f %6.4f %6.4f\n',P);
46 -         end;end;
47
48 - end;
49 - fclose(fid1);
50 - fclose(fid);
51 %-----Writing for vert-----
52
53
54 %for i=1:2100;
55     % vv=vert(i,:);
56     % fprintf(fid1,'%6.3f %6.3f %6.3f\n',vv);
57     % end;

```

b) Raw dosyasının Facet dosyasına dönüştürülmesi için yazılan .m dosyası

```
1 - clear;
2 - file='D:\MATLAB7\work\rawyeni\jet.raw';
3 - [pathstr, name, ext, versn] = fileparts(file);
4 - %S=importdata(file,skip);
5 - S=uiimport(file);
6 - data=S.data;
7 - [x,y]=size(data)
8
9 - data=data.';
10 - data1=data(:);
11 - data1=cevir2(data1',3*x,3);
12 - data2=data1;
13
14 - clear vert nodes
15 - verts=data1(1:3,:);
16 - nodes=[ 1 2 3];
17
18 - s=3;
19 - for n=4:3*x;%n
20 -     s=s+1;
21 -     get=data2(s,:);
22 -     p=s;
23 -     cik=0;
24 -     for ww=1:s-1;
25 -         if (cik==0)
26 -             karsilastir=data2(ww,:);
27 -             a=get-karsilastir;
28 -             %a=get-data2(ww,:);
29 -             if (a==0)
30 -                 dum=data2(1:s-1,:);
31 -                 dum(s:length(data2)-1,:)=data2(s+1:length(data2),:);
32 -                 data2=dum;
```

```

33 -             s=s-1; %s noktasi silindi... endeksine kadar karsilastir
34 -             p=ww;
35 -             cik=1;
36 -             end;
37 -         end;
38 -     end
39 -     if (cik==0) %verts deki hiç bir değere eşit değil!
40 -         verts(s,1:3)=get;
41 -     end;
42 -     nodes(n)=p;
43 -     %pause
44 - end
45
46 - Nvert=length(verts)
47 - nodes2=cevir2(nodes,x,3);nodes2(x,6)=0;
48
49 - ext='.FACET';
50 - file2=fullfile(pathstr,[name ext versn]);
51 - file_open=fopen(file2,'w+');
52 - fprintf(file_open,'%s\n','FACET FILE v1.0')
53 - fprintf(file_open,'%s\n','1')
54 - fprintf(file_open,'%s\n','Polyhedral Collection')
55 - fprintf(file_open,'%c\n','0')
56 - fprintf(file_open,'%i\n',Nvert)
57 - for i=1:Nvert
58 -     fprintf(file_open,'%f %f %f\n',verts(i,:));
59 - end
60 - fprintf(file_open,'%c\n','1')
61 - fprintf(file_open,'%s\n','Polyhedral Collection')
62 - fprintf(file_open,'%i\n',x)
63 - for i=1:x
64 -     fprintf(file_open,'%i %i %i %i %i %i\n',nodes2(i,:));
65 - end
66 - fclose(file_open);
67

```

Ek-7: Kullanılan Hedeflerin Modellerini İstenilen Bakış Açılarında Çizmek İçin Yazılan .m Dosyası (XY Düzlemlerinde)

```
1 filename='planorson.FACET';dx=.02;dy=.02;az=0; el=6;
2 fid=fopen(filename,'r');
3 version=fgetl(fid)
4 tmp=fgetl(fid);
5 nobj=sscanf(tmp,'%12i\n',1)
6 for i=1:nobj;
7     disp(i/nobj*100);
8     Title=fgetl(fid)
9     %Is this right?:
10    tmp=fgetl(fid);
11    eltype=sscanf(tmp,'%i\n',1);
12    tmp=fgetl(fid);
13    nv=sscanf(tmp,'%i\n',inf);
14    nv=nv(1);
15    vert=fscanf(fid,'%g',[3,nv]).';
16    % convert from inches to meters:
17    %vert=vert*2.54e-2;
18
19    % ROTATION IS DONE HERE
20    [AZ,EL,R] =cart2sph(vert(:,1),vert(:,2),vert(:,3));
21    AZ=AZ-az*pi/180;
22    [vert(:,1),vert(:,2),vert(:,3)]=sph2cart(AZ,EL,R);
23
24    [THETA,RHO] = cart2pol(vert(:,1),vert(:,3));
25    THETA=THETA-el*pi/180;
26    [vert(:,1),vert(:,3)] = pol2cart(THETA,RHO);
27
28
29    % shift plane to center of ISAR image:
30    vert(:,2)=vert(:,2)+0;
31    vert(:,1)=vert(:,1)+0;
32    % project on z=0 plane:
33    vert=vert(:,1:2);
34    maxx=max(vert(:,1))+2*dx;
35    minx=min(vert(:,1))-2*dx;
36    maxy=max(vert(:,2))+2*dy;
37    miny=min(vert(:,2))-2*dy;
```

```

38     Nx=ceil((maxx-minx)/dx);
39     Ny=ceil((maxy-miny)/dy);
40     x=minx+(0:(Nx-1))*dx;
41     y=miny+(0:(Ny-1))*dy;
42     x=x(:);
43     y=y(:);
44     S=zeros(Ny,Nx);
45     tmp=fgetl(fid);
46     tmp=fgetl(fid);
47     np=sscanf(tmp,'%i',1);
48     nf=0;
49     p=1;
50     for m=1:np;
51         disp(m/np*100);
52         pname=fgetl(fid);
53         tmp=fgetl(fid);
54         nf2=sscanf(tmp,'%i',1);
55         nf2=nf2(1);
56         face=fscanf(fid,'%i\n',[6,nf2]).';
57         face=face(:,1:3);
58         for i=1:nf2;
59             % disp(round(i/nf2*100));
60             v=face(i,1:3);
61             X=[vert(v,1);vert(v(1),1)];
62             Y=[vert(v,2);vert(v(1),2)];
63             v=vert(v,1)+j*vert(v,2);
64             x1=min(real(v));
65             x2=max(real(v));
66             y1=min(imag(v));
67             y2=max(imag(v));
68             indx=find((x>=x1).*(x<=x2));
69             indy=find((y>=y1).*(y<=y2));
70             v21=v(2)-v(1);
71             v31=v(3)-v(1);
72             v32=v(3)-v(2);
73             if (abs(v21)*abs(v31)*abs(v32))>0,
74                 L21=abs(v21).^2;

```

```

75     [u01,u02]=meshgrid(x,y);
76     u1=u01+j*u02;
77     u1=u1-v(1);
78     u1=u1*v21'/L21;
79     v31=v31*v21'/L21;
80     u2=(real(u1)-imag(u1)*real(v31)/imag(v31))+...
81         j*imag(u1)/imag(v31);
82     ind=find((real(u2)>=0) .* (imag(u2)>=0) .* (imag(u2)<=(1-real(u2))));
83     S(ind)=ones(size(ind));
84     %   clf;
85     %   imagesc(x,y,S),line(X,Y,'Color',[0 1 1]);
86     %   hold, plot(x,u02,'.','Color',[1 0 0]);
87     %   drawnow;
88     end;
89     end;
90     SS=[abs(diff(S')) , zeros(Ny,1)]+[abs(diff(S)) ; zeros(1,Nx)];
91     [iy,ix]=find(SS);
92     verts=[x(ix)+dx/2,y(iy)+dy/2];
93
94     X=verts(:,1);
95     Y=verts(:,2);
96     h=line(X,Y,'LineStyle','.');
97     drawnow;
98     end;
99
100 end;
101 fclose(fid);
102

```

ÖZGEÇMİŞ

Betül YILMAZ, 13 Mayıs 1983'de İstanbul'da doğdu. 2000 yılında Erciyes Üniversitesi Elektronik Mühendisliği Bölümünde lisans öğrenimine başladı. 2005 yılında lisans diplomasını ve mühendis ünvanını aldı. 2005 yılı Eylül ayında Mersin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalında Yüksek Lisansına başladı. 2006 Aralık ayından itibaren Mersin Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümünde Araştırma Görevlisi olarak görev yapmaktadır.