

**BİRLEŞİK ZAMAN-FREKANS ANALİZ (BZFA)  
TEKNİKLERİ KULLANILARAK TERS YAPAY  
AÇIKLIKLI RADAR (TYAR) GÖRÜNTÜLERİNDE  
HAREKET TELAFİSİ ALGORİTMALARININ  
GELİŐTİRİLMESİ ve BENZETİMLERİNİN  
GERÇEKLEŞTİRİLMESİ**

**DENİZ ÜSTÜN**

**MERSİN ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ  
ANA BİLİM DALI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**MERSİN  
KASIM – 2009**

**BİRLEŞİK ZAMAN-FREKANS ANALİZ (BZFA) TEKNİKLERİ  
KULLANILARAK TERS YAPAY AÇIKLIKLI RADAR (TYAR)  
GÖRÜNTÜLERİNDE HAREKET TELAFİSİ ALGORİTMALARININ  
GELİŐTİRİLMESİ ve BENZETİMLERİNİN  
GERÇEKLEŞTİRİLMESİ**

**DENİZ ÜSTÜN**

**Mersin Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü**

**Elektrik-Elektronik Mühendisliği  
Ana Bilim Dalı**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

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

**MERSİN  
Kasım - 2009**



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

Tez Danışmanı  
Prof. Dr. Caner ÖZDEMİR

Jüri Üyesi  
Doç. Dr. Ali AKDAĞLI

Jüri Üyesi  
Yrd. Doç. Dr. Mutlu AVCI

Bu tezin Fen Bilimleri Enstitüsü yazım kurallarına uygun olarak yazıldığı Enstitü Yönetim Kurulu'nun 30./12./2009 tarih ve 2009.8/...673... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Mahir TURHAN  
Enstitü Müdürü



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



## ÖZ

Ters Yapay Açıklıklı Radar sistemlerinde, hedefin yüksek dereceli ötelenme ve dönel hareketlerinden kaynaklanan etkileri azaltmak için kullanılan yöntemler hareket telafisi olarak adlandırılmaktadır. Hedefin görüntüsü üzerindeki hareket etkilerini azaltmak için kullanılan, menzil izleme, Doppler izleme, minimum entropi ve zaman frekans tabanlı teknikler mevcuttur.

Bu tezde, üretilen benzetim verileri için adım frekanslı dalga formları kullanılmıştır. Bu benzetim verileri üzerinde Temel Fourier dönüşüm tabanlı teknikler kullanılarak hedefe ait TYAR görüntüsü elde edilmiştir. Hareket telafisi adımlarının tamamında, bu üretilen benzetim verileri kullanılmıştır. TYAR sistemleri içerisinde hedeflerin hareketi, iki ana kategoride gruplanabilir: Ötelenme hareketi ve dönel hareket. Ötelenme ve dönel hareketin telafisi için farklı yöntemler kullanılmaktadır. Bu tezde, ötelenme hareket telafisi için, minimum entropi yöntemi ve zaman frekans tabanlı hareket telafisi incelenmiştir ve incelenen hareket telafisi yöntemlerinin sonuçları üzerinde tartışılmıştır. Dönel hareket telafisi için Kısa Zamanlı Fourier dönüşümü ve Gabor Wavelet dönüşümü araştırılmıştır ve araştırılan hareket telafisi sonuçları üzerinde tartışılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Ötelenme Hareket Telafisi, Dönel Hareket Telafisi, Ters Yapay Açıklıklı Radar, TYAR Görüntü Üretimi, Zaman Frekans Tabanlı Hareket Telafisi, Minimum Entropi.

## ABSTRACT

The methods that are aimed to eliminate effects of the translational and rotational motion of the target on the ISAR image, are called motion compensation techniques. The common techniques are range tracking, Doppler tracking, minimum entropy and time frequency based techniques, to eliminate effects of the motion of the target on the ISAR image.

In this thesis, stepped frequency radar waveforms are used to generate the simulation data. The ISAR image is obtained using fundamental Fourier transform on the these simulation data. All of the motion compensation steps are examined using the simulated synthetic data. The motion of the targets in the ISAR systems can be grouped in two main categories: Translational Motion and Rotational Motion. Different methods are used for translational and rotational motion compensation. In this thesis, the minimum entropy method and time frequency based motion compensation are examined for translational motion compensation and the results of the investigated translational motion compensation methods are discussed. The Short-Time Fourier Transform and Gabor Wavelet Transform are examined for rotational motion compensation. The results of the investigated rotational motion compensation methods are discussed.

**Keywords:** Translational Motion Compensation, Rotational Motion Compensation, Inverse Synthetic Aperture Radar, ISAR Image Generation, Time-Frequency Based Motion Compensation, Minimum Entropy.

## TEŞEKKÜRLER

Yüksek lisans çalışmalarım süresince, araştırmalarımın bilgisi ve deneyimleri ile yön veren ve desteğini eksik etmeyen, değerli hocam Sayın Prof.Dr. Caner ÖZDEMİR'e bütün minnettarlığımıla teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarım esnasında bana her an destek olan ve her zamanda destek olacağına inandığım, hayat arkadaşım sevgili eşim İlkur KARAGÖZ ÜSTÜN'e ve biricik oğlum Duran ÜSTÜN'e gösterdikleri sabırdan ve ilgiden dolayı teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım.

## İÇİNDEKİLER

	<u>SAYFA</u>
<b>ÖZ</b> .....	i
<b>ABSTRACT</b> .....	ii
<b>TEŞEKKÜR</b> .....	iii
<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	iv
<b>ÇİZELGELER DİZİNİ</b> .....	vi
<b>ŞEKİLLER DİZİNİ</b> .....	vii
<b>SİMGE VE KISALTMALAR DİZİNİ</b> .....	xii
<b>1. GİRİŞ</b> .....	1
<b>2. KAYNAK ARAŞTIRMASI</b> .....	3
2.1. TYAR GÖRÜNTÜLEMENİN TEMEL KAVRAMLARI.....	3
2.1.1. Radarda Yüksek Çözünürlük .....	3
2.1.2. Menzilde Yüksek Çözünürlük.....	3
2.1.3. Yancada Yüksek Çözünürlük.....	4
2.2. YÜKSEK ÇÖZÜNÜRLÜKLÜ RADAR DALGA FORMLARI.....	5
2.2.1. Kısa Pals Dalga Formları.....	5
2.2.2. Sıkıştırılmış Sinyal Dalga Formları.....	6
2.2.3. Adım Frekanslı Dalga Formları.....	8
2.3. MENZİL PROFİL KAVRAMI.....	9
2.4. SİNYAL ALMA İŞLEMİ : KARIŞTIRMA VE ÇEYREK EVRE FARKI ALGILAMA.....	12
2.5. YAPAY MENZİL PROFİLİ ÜRETİMİ.....	15
2.6. TYAR GÖRÜNTÜSÜNÜN ÜRETİLMESİ.....	19
2.6.1. Hedef Ötelenme Hareketinin Etkisi.....	20
2.7. HAREKET TELAFİSİ.....	23
2.7.1. TYAR Görüntülemede Hedeflerin Ötelenme ve Dönme Hareketlerinin Etkileri.....	24
<b>3. MATERYAL VE METOT</b> .....	30
3.1. KLASİK BELİRGİN NOKTA İŞLEME TEKNİĞİ.....	31
3.1.1. Kısa Zamanlı Fourier Dönüşümü.....	31
3.1.2. Zaman Frekans Dönüşüm Tabanlı Hareket Telafisi.....	36
3.1.3. Minimum Entropi Yöntemi.....	44
<b>4. BULGULAR VE TARTIŞMASI</b> .....	46
4.1. BENZETİM – 1 : MODEL – 1’E AİT HAREKET SENARYOSU....	46
4.2. BENZETİM – 2 : MODEL – 2’YE AİT HAREKET SENARYOSU.	50
4.3. BENZETİM – 3 : MODEL – 3’E AİT HAREKET SENARYOSU....	54

4.4. BENZETİM – 4 : MODEL – 4'E AİT HAREKET SENARYOSU....	58
4.5. BENZETİM – 5 : MODEL – 5'E AİT HAREKET SENARYOSU....	62
4.6. BENZETİM – 6 : MODEL – 6'YA AİT HAREKET SENARYOSU.	66
4.7. BENZETİM – 7 : MODEL – 7'YE AİT HAREKET SENARYOSU.	70
4.8. BENZETİM – 8 : MODEL – 8'E AİT HAREKET SENARYOSU...	75
4.9. BENZETİM – 9 : MODEL – 9'A AİT HAREKET SENARYOSU...	80
<b>5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....</b>	<b>85</b>
<b>KAYNAKLAR.....</b>	<b>89</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>92</b>



## ÇİZELGELER DİZİNİ

<b>ÇİZELGE</b>	<b><u>SAYFA</u></b>
Tablo 1. Radar Dalga Formuna ait Parametreler	9
Tablo 2. Model-1'e ait Benzetim Parametereleri	39
Tablo 3. Model-1'e ait Benzetim Parametereleri ve Değerleri	47
Tablo 4. Model-2'ye ait Benzetim Parametereleri ve Değerleri	51
Tablo 5. Model-3'e ait Benzetim Parametereleri ve Değerleri	55
Tablo 6. Model-4'e ait Benzetim Parametereleri ve Değerleri	59
Tablo 7. Model-5'e ait Benzetim Parametereleri ve Değerleri	63
Tablo 8. Model-6'ya ait Benzetim Parametereleri ve Değerleri	67
Tablo 9. Model-7'ye ait Benzetim Parametereleri ve Değerleri	71
Tablo 10. Model-8'e ait Benzetim Parametereleri ve Değerleri	76
Tablo 11. Model-9'a ait Benzetim Parametereleri ve Değerleri	81

## ŞEKİLLER DİZİNİ

<b>ŞEKİL</b>	<b><u>SAYFA</u></b>
Şekil 2.1. İletilen Radar Chirp Dalga Formu (a) Sinyal Süresince İletilen Sinyal Frekansı, (b) İletilen Sinyalin Radyo Frekans Dalga Formu	7
Şekil 2.2. Adım Frekans Dalga formu	8
Şekil 2.3. Hedef ile Radar Arasındaki Menzil Profil İlişkisi	9
Şekil 2.4. (a) TYAR Görüntüleme ile Elde Edilen Benzetim Modeli	10
Şekil 2.4. (b) Benzetim Modeline ait Menzil Profilleri	11
Şekil 2.5. (a) TYAR Görüntüleme ile Elde Edilen Benzetim Modeli	11
Şekil 2.5. (b) Benzetim Modeline ait Menzil Profilleri	12
Şekil 2.6. Girişine Uygulanmış Sinüzoidal Sinyalleri Karıştıran Karıştırıcı	13
Şekil 2.7. Süperheterodin Karıştırıcı	13
Şekil 2.8. Çeyrek Evre Farkı Algılayıcı	14
Şekil 2.9. Adım Frekanslı Dalga formu ve Yansıyan Sinyaller	15
Şekil 2.10. (a) Hareketsiz Bir Noktasal Kaynağa ait Menzil Profilleri	19
Şekil 2.10. (b) Hareketsiz Bir Noktasal Kaynağa ait Menzil Değişimi	20
Şekil 2.10. (c) Hareketsiz Bir Noktasal Kaynağa ait TYAR Görüntüsü	20
Şekil 2.11. (a) Hareketli Bir Noktasal Kaynağa ait Menzil Profilleri	21
Şekil 2.11. (b) Hareketli Bir Noktasal Kaynağa ait Menzil Değişimi	22
Şekil 2.11. (c) Hareketli Bir Noktasal Kaynağa ait TYAR Görüntüsü	22
Şekil 2.12. Bir Hedefe ait TYAR Geometrisi	25
Şekil 2.13. Genel Hareketi ile Bir Hedef	29
Şekil 3.1. Kısa Zamanlı Fourier Dönüşümünün Gösterimi	32
Şekil 3.2. Zaman Tanım Kümesinde Orjinal $s(t)$ Sinyali	33
Şekil 3.3. $s(t)$ sinyalinin Fourier Dönüşümü	34
Şekil 3.4. Elli Noktalı Blackman-Harris Pencereli Kısa Zamanlı Fourier Dönüşümüne ait Spektrogramlar	35
Şekil 3.5. Yüz Noktalı Blackman-Harris Pencereli Kısa Zamanlı Fourier Dönüşümüne ait Spektrogramlar	35

Şekil 3.6. Hareketli Bir Hedefin TYAR Görüntüsünün Elde Edilmesi için Kullanılan Zaman Frekans İşleme Tekniği Blok Diyagramı	37
Şekil 3.7. Model-1'e ait Benzetimin Gösterimi	39
Şekil 3.8. Model-1'e ait Benzetimin Hareket Telafisinden Önceki Menzil Profilleri	40
Şekil 3.9. Model-1'e ait TYAR Görüntüsü	40
Şekil 3.10. Model-1'e ait Benzetimdeki Menzil Hücresi İçerisinde Baskın Saçılma Noktasının Zaman Frekans Gösterimi	42
Şekil 4.1. Model-1'e ait Benzetim Gösterimi	46
Şekil 4.2. Model-1'e ait Hareket Telafisinden Önce TYAR görüntüsü	47
Şekil 4.3. Model-1'e ait Hareket Telafisinden Önce Menzil Profili İzleme Görüntüsü	48
Şekil 4.4. Model-1'e ait Zaman Frekans İşlemi Kullanılarak Elde Edilen En İyi Chirp Fonksiyonun Görüntüsü	48
Şekil 4.5. Ötelenme Hareket Telafisinden Sonra Model-1 Benzetimine ait TYAR Görüntüsü	49
Şekil 4.6. Ötelenme Hareket Telafisinden Sonra Model-1 Benzetimine ait Menzil Profillerini İzleme Görüntüsü	49
Şekil 4.7. Model-2'ye ait Benzetimin Gösterimi	50
Şekil 4.8. Model-2'ye ait Hareket Telafisinden Önce TYAR Görüntüsü	51
Şekil 4.9. Model-2'ye ait Hareket Telafisinden Önce Menzil Profili İzleme Görüntüsü	52
Şekil 4.10. Model-2'ye ait Zaman Frekans İşlemi Kullanılarak Elde Edilen En İyi Chirp Fonksiyonun Görüntüsü	52
Şekil 4.11. Ötelenme Hareket Telafisinden Sonra Model-2'nin Benzetimine ait TYAR Görüntüsü	53
Şekil 4.12. Ötelenme Hareket Telafisinden Sonra Model-2'nin Benzetimine ait Menzil Profillerini İzleme Görüntüsü	53
Şekil 4.13. Model-3'ye ait Benzetimin Gösterimi	54
Şekil 4.14. Model-3'e ait Hareket Telafisinden Önce TYAR Görüntüsü	55

Şekil 4.15. Model-3'e ait Hareket Telafisinden Önce Menzil Profili İzleme Görüntüsü	56
Şekil 4.16. Model-3'e ait Zaman Frekans İşlemi Kullanılarak Elde Edilen En İyi Chirp Fonksiyonun Görüntüsü	56
Şekil 4.17. Ötelenme Hareket Telafisinden Sonra Model-3'ün Benzetimine ait TYAR Görüntüsü	57
Şekil 4.18. Ötelenme Hareket Telafisinden Sonra Model-3'ün Benzetimine ait Menzil Profillerini İzleme Görüntüsü	57
Şekil 4.19. Model-4'e ait Benzetimin Gösterimi	58
Şekil 4.20. Model-4'e ait Hareket Telafisinden Önce TYAR Görüntüsü	59
Şekil 4.21. Model-4'e ait Hareket Telafisinden Önce Menzil Profili İzleme Görüntüsü	60
Şekil 4.22. Model-4'e ait Zaman Frekans İşlemi Kullanılarak Elde Edilen En İyi Chirp Fonksiyonun Görüntüsü	60
Şekil 4.23. Ötelenme Hareket Telafisinden Sonra Model-4'ün Benzetimine ait TYAR Görüntüsü	61
Şekil 4.24. Ötelenme Hareket Telafisinden Sonra Model-4'ün Benzetimine ait Menzil Profillerini İzleme Görüntüsü	61
Şekil 4.25. Model-5'e ait Benzetimin Gösterimi	62
Şekil 4.26. Model-5'e ait Hareket Telafisinden Önce TYAR Görüntüsü	63
Şekil 4.27. Model-5'e ait Hareket Telafisinden Önce Menzil Profili İzleme Görüntüsü	64
Şekil 4.28. Model-5'e ait Zaman Frekans İşlemi Kullanılarak Elde Edilen En İyi Chirp Fonksiyonun Görüntüsü	64
Şekil 4.29. Ötelenme Hareket Telafisinden Sonra Model-5'in Benzetimine ait TYAR Görüntüsü	65
Şekil 4.30. Ötelenme Hareket Telafisinden Sonra Model-5'in Benzetimine ait Menzil Profillerini İzleme Görüntüsü	65
Şekil 4.31. Model-6'ya ait Benzetimin Gösterimi	66
Şekil 4.32. Model-6'ya ait Hareket Telafisinden Önce TYAR Görüntüsü	67
Şekil 4.33. Model-6'ya ait Hareket Telafisinden Önce Menzil Profili İzleme Görüntüsü	68

Şekil 4.34. Model-6'ya ait Zaman Frekans İşlemi Kullanılarak Elde Edilen En İyi Chirp Fonksiyonun Görüntüsü	68
Şekil 4.35. Ötelenme Hareket Telafisinden Sonra Model-6'nın Benzetimine ait TYAR Görüntüsü	69
Şekil 4.36. Ötelenme Hareket Telafisinden Sonra Model-6'nın Benzetimine ait Menzil Profillerini İzleme Görüntüsü	69
Şekil 4.37. Model-7'ye ait Benzetimin Gösterimi	70
Şekil 4.38. Model-7'ye ait Hareket Telafisinden Önce TYAR Görüntüsü	71
Şekil 4.39. Model-7'ye ait Hareket Telafisinden Önce Menzil Profili İzleme Görüntüsü	72
Şekil 4.40. Model-7'ye ait Zaman Frekans İşlemi Kullanılarak Elde Edilen En İyi Chirp Fonksiyonun Görüntüsü	72
Şekil 4.41. Ötelenme Hareket Telafisinden Sonra Model-7'nin Benzetimine ait TYAR Görüntüsü	73
Şekil 4.42. Gabor Wavelet Dönüşümü Kullanılarak Gerçekleştirilen Dönel Hareket Telafisinden Sonra Model-7'nin Benzetimine ait TYAR Görüntüsü	73
Şekil 4.43. Kısa Zamanlı Fourier Dönüşümü Kullanılarak Gerçekleştirilen Dönel Hareket Telafisinden Sonra Model-7'nin Benzetimine ait TYAR Görüntüsü	74
Şekil 4.44. Ötelenme ve Dönel Hareket Telafisinden Sonra Model-7'nin Benzetimine ait Menzil Profillerini İzleme Görüntüsü	74
Şekil 4.45. Model-8'e ait Benzetimin Gösterimi	75
Şekil 4.46. Model-8'e ait Hareket Telafisinden Önce TYAR Görüntüsü	76
Şekil 4.47. Model-8'e ait Hareket Telafisinden Önce Menzil Profili İzleme Görüntüsü	77
Şekil 4.48. Model-8'e ait Zaman Frekans İşlemi Kullanılarak Elde Edilen En İyi Chirp Fonksiyonun Görüntüsü	77
Şekil 4.49. Ötelenme Hareket Telafisinden Sonra Model-8'in Benzetimine ait TYAR Görüntüsü	78

Şekil 4.50. Gabor Wavelet Dönüşümü Kullanılarak Gerçekleştirilen Dönel Hareket Telafisinden Sonra Model-8'in Benzetimine ait TYAR Görüntüsü	78
Şekil 4.51. Kısa Zamanlı Fourier Dönüşümü Kullanılarak Gerçekleştirilen Dönel Hareket Telafisinden Sonra Model-8'in Benzetimine ait TYAR Görüntüsü	79
Şekil 4.52. Ötelenme ve Dönel Hareket Telafisinden Sonra Model-8'in Benzetimine ait Menzil Profillerini İzleme Görüntüsü	79
Şekil 4.53. Model-9'a ait Benzetimin Gösterimi	80
Şekil 4.54. Model-9'a ait Hareket Telafisinden Önce TYAR Görüntüsü	81
Şekil 4.55. Model-9'a ait Hareket Telafisinden Önce Menzil Profili İzleme Görüntüsü	82
Şekil 4.56. Model-9'a ait Radar Görüntü Verisinin Entropisini Minimum Yapan Hız Değerinin Grafiği	82
Şekil 4.57. Model-9'a ait Radar Görüntü Verisinin Entropisini Minimum Yapan İvme Değerinin Grafiği	83
Şekil 4.58. Minimum Entropi Yöntemi Kullanılarak Gerçekleştirilen Hareket Telafisinden Sonra Model-9'un Benzetimine ait TYAR Görüntüsü	83
Şekil 4.59. Model-9'a ait Minimum Entropi Yöntemi Kullanılarak Gerçekleştirilen Hareket Telafisinden Sonra Menzil Profili İzleme Görüntüsü	84



## SİMGE VE KISALTMALAR DİZİNİ

$\Delta r_s$	: Menzil Çözünürlüğü
$\beta$	: Radar Sinyalinin Band Genişliği
$c$	: Radar Dalgasının Yayılma Hızı
$\lambda$	: Radar Dalgasının Dalga Boyu
$\Delta f$	: Sinyaller Arasındaki Frekans Farkı
$M$	: Bir Darbe İçerisindeki Ayrık Sinyallerin Sayısı
$N$	: TYAR Görüntülemeye Tarama Sayısı
$T_{STA}$	: Sinyal Tekrar Aralığı
$T_S$	: Sinyal Uygulanma Süresi
MP	: Menzil Profili
RF	: Radyo Frekansı
OSF	: Orta Seviyeli Frekans
LO	: Lokal Osilatör
TYAR	: Ters Yapay Açıklıklı Radar
YAR	: Yapay Açıklıklı Radar
$v_t$	: Hedefin Ötelenme Hızı
$R$	: Hedef ile Radar Arasındaki Uzaklık
$f_i$	: İletilen Sinyalin Frekansı
$\theta_i$	: Sinyalin Fazı
$A_i$	: Sinyalin Genliği
$\tau(t)$	: Hedefin Menzil Kayması
$\psi_0(t)$	: Bir Saçılma Noktasına ait Faz İlerlemesi
$R(t)$	: Bir Hedefin $t$ Süresince Sahip Olduğu Menzil Değişimi
$f_D$	: Frekanstaki Kayma miktarı
$\sigma_p$	: Standart Sapma
$h_p(t)$	: En İyi Temel Fonksiyon
$\omega$	: Hedefe ait Açısız Hız
$\alpha$	: Hedefe ait Ötelenme Hareket Açısı
$d$	: Antenin Boyutu

$E(I)$	: Radar görüntüsünün iki Boyutlu Entropi Fonksiyonu
EM	: Elektromanyetik
HT	: Hareket Telafisi
BZFA	: Birleşik Zaman Frekans Analizi
ZFİT	: Zaman Frekans İşleme Teknikleri
KZFD	: Kısa Zamanlı Fourier Dönüşümü
WVD	: Wigner Ville Dağılımları
SWD	: Sürekli Zaman Wavelet Dönüşümü
UWD	: Uyarlanabilir Wavelet Dönüşümü
FD	: Fourier Dönüşümü

## 1.GİRİŞ

Ters Yapay Açıklıklı Radar – TYAR (Inverse Synthetic Aperture Radar – ISAR), hareketli hedeflerin menzil (range) ve yanca (cross – range) uzaylarında radar görüntülerini çıkaran etkili bir sinyal işleme metodudur [1–3]. Yapay Açıklıklı Radar – YAR (Synthetic Aperture Radar – SAR) genel olarak hedefin sabit ve radar platformunun hareketli olduğu durumu belirtirken; TYAR ise hedefin hareketli ve radar platformunun sabit olduğu durumu belirtmektedir. Bu bağlamda; gemi, uçak ve tank gibi hedeflerin sabit bir radarla hedeflerin hareketinden doğan açılal değişimi ve radarın frekans bant genişliğinin kullanılmasıyla bu tip hedeflerin iki boyutlu (2-B) TYAR görüntüleri elde edilmektedir [1]. TYAR görüntüleme, görüntü kalitesini düşüren en önemli olgu, radardaki hedefin sabit olmayıp hareketli olmasıdır. Radar tarafından hedefe doğru bir elektromanyetik (EM) sinyal gönderildiğinde, sinyalin ön ve arka köşeleri birbirinden farklı yolculuk zamanına sahip olurlar. Bu durumda, geri-saçılan elektromanyetik dalganın fazı (ve dolayısıyla da frekansı) değişir. Sonuç olarak; radarda görüntü hem menzilde hem de yancada kaymış ve bulanık gözükür [1, 4–6]. TYAR görüntülerinde hareketten kaynaklanan bu tür olumsuz etkileri gidermek ya da azaltmak için uygulanan tekniklere genel olarak Hareket Telafisi – HT (Motion Compensation - MOCOMP) teknikleri denilmektedir [4–6].

Bir hedefin TYAR görüntüsü, saçılmaların analizi, radar sinyalinin modellenmesi ve radar hedefinin tanımlanması gibi birçok alanda kullanılır. Radar hedefinin tanımlanmasının en önemli amacı, radar sistemi kullanılarak bir hedeften geri saçılan alanın analiziyle bilinmeyen hedefin ayırt edilmesidir. Eğer hedef karmaşık bir harekete sahip ise, o hedefe ait hareket telafisiz TYAR görüntüsü, hedefi ayırt etmek için yeterli olmayacaktır. Hareket eden bir hedefin TYAR görüntüsünün Hareket Telafisinin gerçekleştirilmesi, ilgili hedefe ait temiz bir radar görüntüsü elde etmek için çok önemli bir adımdır. Klasik HT teknikleri, bütün hedef için faz düzeltmesi kullanarak hareketi telafi eder. Bu işlemi, menzil telafisini uyguladıktan sonra çoğunlukla menzil ve Doppler izleyerek gerçekleştirir. Eğer hedef sade ve yumuşak bir şekilde hareket yapıyorsa, hedefe ait temiz bir radar görüntüsünün elde edilmesi için klasik HT metotları yeterli olacaktır. Ancak, hedef

dalma ve alçalma (pitching), sağa ve sola sapma (yawing) yuvarlanma (rolling) gibi karmaşık manevra sergilediğinde, klasik HT metotları, uygun çözünürlükte radar görüntüsünün elde edilmesi için yeterli olmaz. Bu durumda, her bir saçılma için yeniden kutupsal formatlama (polar formatting) ve alt açıklıklı (sub aperture) yaklaşım gibi gelişmiş HT işlemlerine ihtiyaç vardır. Birleşik Zaman-Frekans Analiz – BZFA (Joint Time-Frequency Analysis – JTFA) teknikleri yada diğer bir deyişle Zaman-Frekans İşleme Teknikleri – ZFİT (Time-Frequency Processing Technique – TFPT) gelişmiş HT metotları olarak kullanılmaktadır [5-9].

Durgun olmayan sinyallerin analizlerini gerçekleştirmek için çeşitli BZFA geliştirilmiştir. Bu tekniklerden, Kısa Zamanlı Fourier Dönüşümü – KZFD (Short Time Fourier Transform – STFT), Wigner-Ville dağılımları – WVD (Wigner-Ville Distribution – WVD)[10], Sürekli Wavelet Dönüşümü – SWD (Continuous Wavelet Transform – CWT)[11] ve Uyarlanabilir Wavelet Dönüşümü – UWD (Adaptive Wavelet Transform – AWT)[12] en iyi bilinenleridir. Chen ve arkadaşları, Fourier Dönüşümünün – FD (Fourier Transform–FT) yerine ZFİT’leri kullanarak karmaşık harekete sahip bir hedefin temiz radar görüntüsünü elde etmiştir [7-9]. KZFD bu zaman frekans analizleri içerisinde en temel olanı ve en iyi bilinenidir. KZFD’nin uygulanması basit ve kolaydır fakat çözünürlük problemi vardır. Dönüşümde kullanılan pencere fonksiyonu zaman ve frekans çözünürlüklerini dengeler. Pencere fonksiyonunun zaman tanım kümesindeki süresi daha küçük alınırsa iyi bir zaman çözünürlüğü elde edilir. Fakat bu işlem frekans çözünürlüğünü düşürecektir. Çünkü zaman çözünürlüğü ile frekans çözünürlüğü arasında ters orantı vardır. WVD’lerinin çözünürlüğü KZFD’ne göre daha iyidir. Fakat çapraz – terim (cross – term) problemi kaçınılmazdır. SWD çoklu çözünürlük özelliği vardır bunun yanında zaman – frekans ızgarası esnek bir yapıya sahip değildir. UWD, SWD’ ne göre çok daha esnek yapılı bir zaman – frekans ızgarası sumaktadır. Ayrıca KZFD, WVD ve SWD parametrik olmayan analiz araçları iken UWD parametrik bir zaman – frekans analiz aracıdır. Çözünürlük ve çapraz – terim problemi yoktur. Geleneksel UWD, Hızlı Fourier dönüşümü – HFD (Fast Fourier Transform – FFT) ve ikiye ayırma araştırma metodunu kullanmaktadır [13].

## 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

### 2.1. TYAR GÖRÜNTÜLEMENİN TEMEL KAVRAMLARI

#### 2.1.1. Radarda Yüksek Çözünürlük

Yüksek çözünürlük genellikle, ayrı hedefleri belirlenmesi yeteneğinin ötesinde, bir hedef üzerindeki saçılma merkezlerinin çözümü için kullanılır. Böylece yüksek çözünürlüklü radarlar, hedefi algılamanın yanı sıra, hedefin belirlenmesinde, sınıflandırılmasında ve diğer görüntüleme uygulamalarında da kullanılır. Yüksek çözünürlüğü, hem menzil ve hemde yarıçapda elde etmek mümkündür. Yüksek menzil çözünürlüğü için, büyük band genişliği olan radar sinyalleri kullanılmaktadır. Yüksek yarıçap çözünürlüğü için ise yapay açıklık işlemi veya çok dar dalga yayın anten kullanılmalıdır [14].

#### 2.1.2. Menzilde Yüksek Çözünürlük

Menzil alanı içerisindeki çözünürlük ile zaman alanı içerisindeki çözünürlük birbirleriyle paraleldir[15]. Zaman içerisindeki yüksek çözünürlük, geniş bant genişliğine sahip radar sinyallerinin dalga formları ile elde edilebilmektedir. Menzil çözünürlüğü  $\Delta r_s$ , radar dalga formunun band genişliği ile ilişkilidir ve denklem 2.1'de ifadesi verilmiştir.

$$\Delta r_s \approx \frac{c}{2\beta} \quad (2.1)$$

Bu ifadede  $c$  radar dalgasının yayılma hızı ve  $\beta$  ise radar sinyalinin band genişliğidir.

Yüksek menzil çözünürlüğü elde etmek için bazı yaygın olarak kullanılan radar dalga formları :

- Kısa-Sinyal Dalga Formları (Short-Pulse Waveforms)
- Sıkıştırılmış Sinyal Dalga Formları (Pulse-Compression “Chirp” Waveforms)
- Adım Frekanslı Dalga Formları (Stepped Frequency Waveforms)

Radar dalga formunun band genişliği, kısa-puls veya sıkıştırılmış sinyal dalga formlarının içinde gerçektir. Fakat adım frekanslı dalga formlarının içerisindeki radar dalga formunun band genişliği bu dalga formundaki ayrık frekansların sayısından sentezlenerek üretilir [14].

### 2.1.3. Yancada Yüksek Çözünürlük

Gerçek açıklıklı radar içerisinde, yanca menzil çözünürlüğü, kullanılan antenin dalga genişliğine bağlıdır. Bir başka değişle, yanca çözünürlüğünde uygun kriterleri almakta, yanca çözünürlüğü ile doğru orantılı olan 3 dB dalga genişliğini incelenmesi yardımcı olmaktadır. 3 dB ifadesi denklem 2.2’de tanımlanmıştır [14].

$$\phi_{3dB} = \frac{\lambda}{d} \quad (2.2)$$

Bu ifadede  $\lambda$  dalga boyu ve  $d$  antenin boyutunu ifade etmektedir. Denklem 2.2’ye göre yanca çözünürlüğünü artırabilmek için iki yolun olduğu görülmektedir:

- Kullanılmakta olan dalga boyunu azaltmak.
- Anten açıklığının boyutunu arttırmak.

Fakat bu her iki alternatifinde kısıtlamaları vardır. Bunlar atmosferdeki dalga boyu üzerinde meydana gelen yayılma kayıpları ve anten yapay boyundaki fiziksel sınırlamalardır.



Yapay açıklık işleminin yanca menzil çözünürlüğü kavramları ile ilgili bazı temel mantıksal fikirler ve yaklaşımlarda vardır. Yapay açıklığın temel fikri, radar açısı ile hedefin sahip olduğu görelî hareketinden gelir. Radar görüntüsünün üretilmesi için gerekli olan gözlem süresince, oluşan bu görelî açısal hareket yada bir başka değişle açı değişimi, hedef üzerindeki saçılma noktalarının farklı Doppler kaymalarını meydana getirir. Bu aynı zamanda yanca menzil çözünürlüğünde kaynağını oluşturur. Yanca menzil çözünürlüğünün derecesi iki yapıya bağlıdır:

- Radar görüntüsünün oluşturulabilmesi için gerekli olan gözlem süresi.
- Dönme hareketinin açı değeri.

İkinci faktör, tamamen hedefin hareketine bağlıdır ve TYAR görüntüleme işlemleri ile kontrol edilemez. Bundan dolayı, hedef görelî bir dönme hareket sergileyemediği bazı durumlar içerisinde TYAR görüntüleme yapısının kullanılmamasına neden olmaktadır. Eğer bu ikinci faktör bir kenara bırakılırsa, iyi bir yanca çözünürlük için radar gözlem süresi kontrol edilebilir ve arttırılabilir. Radar gözlem süresinin bu şekilde arttırılması, özellikle hedefin hızlı manevra yaptığı durumlarda, hedefe ait radar görüntüsünde, karalanma ve bulanıklık gibi bazı bozulmalara neden olabilir[14].

## 2.2. YÜKSEK ÇÖZÜNÜRLÜKLÜ RADAR DALGA FORMLARI

### 2.2.1. Kısa Pals Dalga Formları

Zaman tanım aralığındaki yüksek çözünürlük, doğrudan doğruya menzildeki yüksek çözünürlükle paraleldir. Zaman tanım aralığında alınan bir  $\Delta t$  çözünürlüğü, menzilde  $\Delta r_s = \frac{c\Delta t}{2}$  kadar çözünürlük ve bu ifadedeki “2” faktörü ise dalganın radardan hedefe ve hedeften tekrar radara yollandığından dolayıdır. Radar tasarımcıları, menzilde çözünürlüğünü arttırmak için ilk yaklaşım olarak sinyal

genişliğini azaltmışlardır. Fakat sinyal genişliğinin azaltılması, tekniğin kullanılışlığını sınırlandıran aşağıdaki problemi beraberinde getirir.

- Yüksek örnekleme oranları
- Düşük ortalama güç

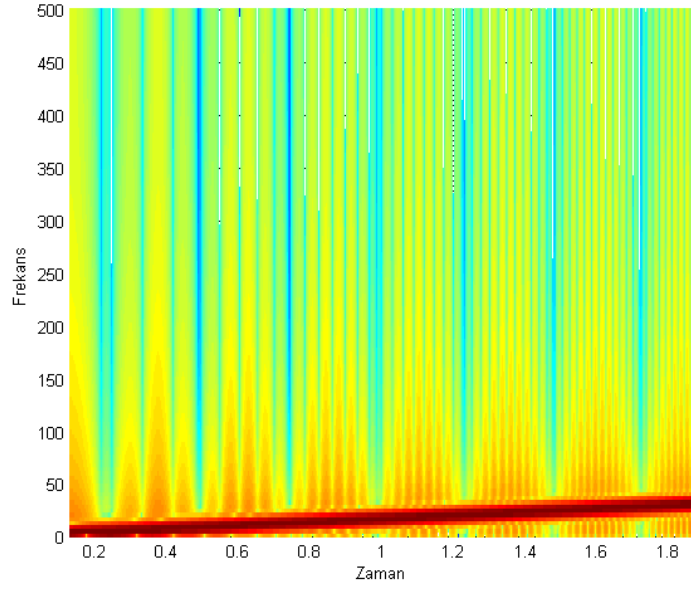
Çok kısa bir sinyal genişliği veya tam anlamıyla denk düşen yüksek bir band genişliği, çok yüksek bir analog-sayısal çevirici örnekleme oranı gerektirir. Örnek olarak  $1\mu s$  boyundaki sinyal için, Nyquist ölçütlerine göre en az 2 MHz örnekleme oranını gerekli kılar. Bir analog-dijital çevirici içerisinde, eş zamanlı olarak yüksek sayıda bitlerin ve yüksek örnekleme oranının elde edilmesi hem güç hem de maliyetlidir [16].

Çok kısa süreli bir sinyal, çok küçük bir ortalama güce sahiptir. Büyük bir ortalama güçle, hedefin gözlemlenebilir menziline karar veren bu dalga formu karakteristiği istenmektedir [2]. Kısa bir sinyal için, ortalama gücün tepe gücü çok büyüktür. İstenen çok yüksek bir tepe gücü, radar sisteminin bileşenlerinde sıkıntı oluşturur ve böyle bir kısa sinyal sisteminin inşa edilmesinin maliyeti çok yüksektir. Kısa sinyaller kullanılmadan, yüksek menzil çözünürlüğü elde etmek için, geniş bant korunuyorken radar dalga formunun enerjisinin yayılmasına gerek duyulmaktadır [14].

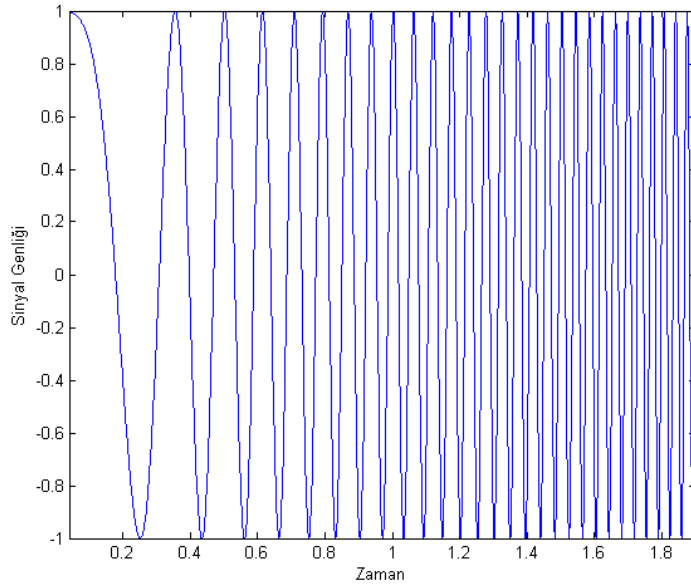
### 2.2.2 Sıkıştırılmış Sinyal Dalga Formları

Sıkıştırılmış bir sinyal sisteminde en önemli yapı, bant genişliği arttırılmış bir dalga formunun iletilmesidir. Bu dalga formuna, zaman içerisindeki yüksek çözünürlüğün verilebilmesi için sıkıştırılmalıdır [16]. Eğer farklı yöntemler kullanarak bant genişliği arttırılmış bir dalga formu üretilebilirse, dar bir sinyalin genişletilmesine gerek kalmayacaktır. Genişletilmiş dalga formuna örnek olarak şekil 2.1’de bir chirp dalga formu gösterilmiştir [15]. Yüksek çözünürlüklü radar uygulamalarında, belirli bir kapsam dahilinde “civıltı” (chirp) dalga formları kullanılmaktadır. Sıkıştırılmış “civıltı” sinyal, bir osilatörden doğrusal olarak artan

yada azalan frekans yardımı ile üretilir. Bant genişliği arttırılmış dalga formlarını üretmek için, sayısal sentezleyiciler kullanılması çok ekonomiktir. Dijital bileşenlerinin kullanımının artması, radar sistemlerinin maliyetlerini düşürür ve aynı zamanda radar sisteminin esnekliğini artırır [14].



(a)

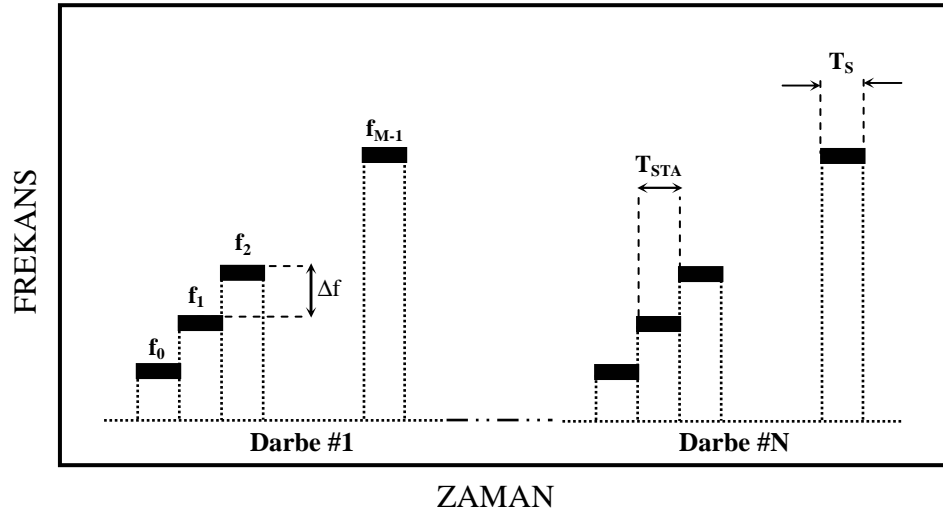


(b)

Şekil 2.1. İletilen Radar Chirp Dalga Formu (a) Sinyal Süresince İletilen Sinyal Frekansı, (b) İletilen Sinyalin Radyo Frekans Dalga Formu

### 2.2.3. Adım Frekanslı Dalga Formları

Zaman tanım kümesi içinde hedef saçılma bilgilerinin toplanması yerine, bir adım frekans dalga formuyla, frekans tanım kümesi içerisinde bilgi toplanır. Zaman tanım kümesi de bir eşdeğer gösterimi içinde dönüşüm yapılarak elde edilen frekans tanım kümesindeki, bilgi toplanmaktadır. Bu dönüşüm, ters ayrık Fourier dönüşümü kullanılarak elde edilir [14]. Adım frekanslı sinyal yapısı şekil 2.2’de gösterilmiştir. Buna göre  $m$  bir darbe içerisindeki iletilen sinyal sayısı,  $\Delta f$  önceki sinyalle ile diğer sinyaller arasındaki frekans farkı,  $\beta = m\Delta f$  ile tanımlı darbedeki etkin band genişliğidir [15]. Her bir sinyal arasındaki zaman farkı bir başka değişle sinyal tekrar aralığı – STA (Pulse Repetition Interval – PRI);  $T_{STA}$ ,  $T_s$  ise her bir sinyalin uzunluğudur. Yancada işleminde en uygun sentetik açıklığı elde etmek için radardan hedefe  $M$  adet darbe iletilir.



Şekil 2.2. Adım Frekans Dalga formu

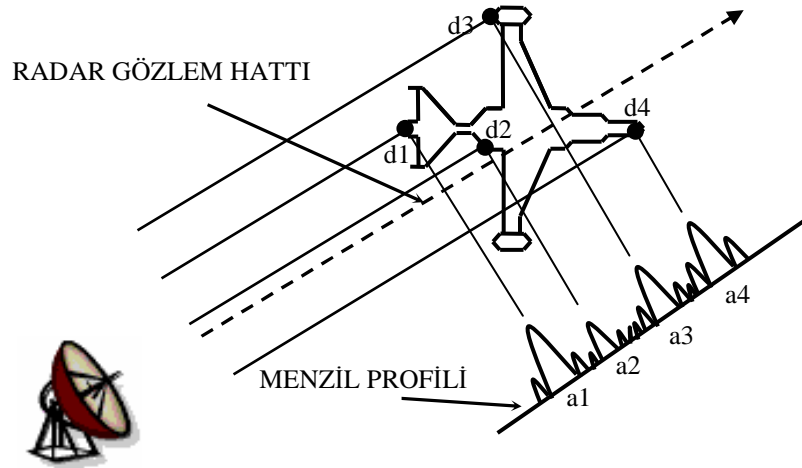
Adım frekans dalga formu kullanılarak, radar dalga formunun parametreler dikkatli bir şekilde seçildiğinde, gerekli olan yüksek menzil çözünürlüğü elde edilir. Radar dalga formuna ait parametreler tablo 1’de verilmiştir.

<i>Radar Dalga Formu Parametreleri</i>	<i>Sembollerin Anlamları</i>
$M$	Bir darbe içerisindeki ayırık sinyallerin sayısı.
$N$	TYAR görüntülemeye tarama sayısı.
$\Delta f$	Bir darbe içerisindeki frekanslar arasındaki artım miktarı
$\beta$	Denklem (2.1)'de tanımlan ifadeye göre menzil çözünürlüğünün karşılaştırılması için etkili band genişliği.
$T_{STA}$	Sinyal tekrar aralığı.
$T_S$	Sinyal uygulanma süresi.

Tablo 1. Radar Dalga Formuna ait Parametreler

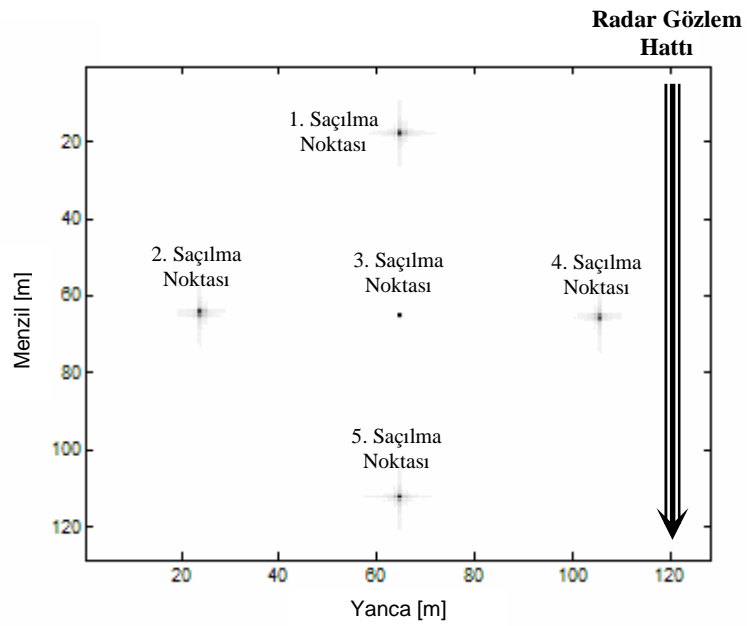
### 2.3. MENZİL PROFİLİ KAVRAMI

Menzil profili (MP), radar gözlem hattı üzerindeki, bir hedefin karmaşık (complex) elektromanyetik cevaplarının, bir boyutlu menzil izdüşümünü gösterir. Menzil profilinin elde edilmesi ile ilgili geometri şekil 2.3'te gösterilmiştir [14].



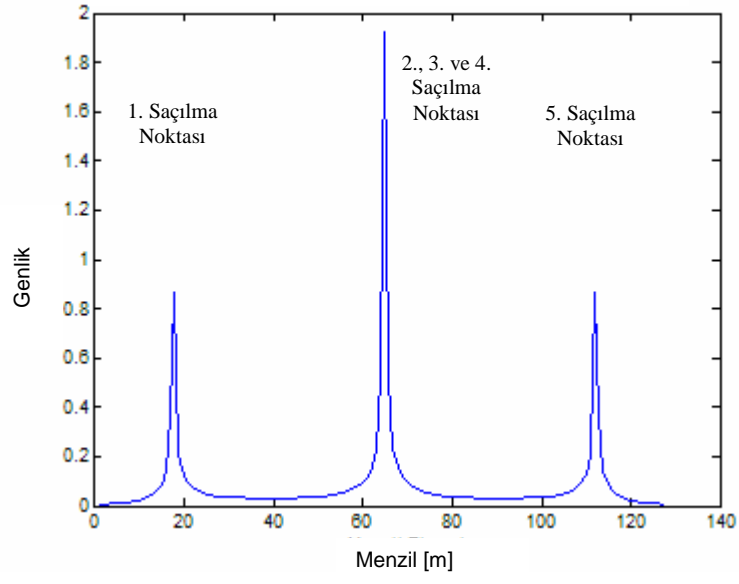
Şekil 2.3. Hedef ile Radar Arasındaki Menzil Profil İlişkisi

$d_1, d_2, d_3, d_4$  uzaklıklarının her biri, hedef üzerinde bulunan saçılma noktalarının radara olan uzaklıklarını göstermektedir.  $a_1, a_2, a_3, a_4$  ifadeleri, ayrı saçılma merkezlerinden geri yansıyan sinyallerin genliğini göstermektedir. Benzetimi yapılan değişik hedeflerden üretilen menzil profillerine ait örnekler şekil 2.4 ve şekil 2.5’de gösterilmiştir.

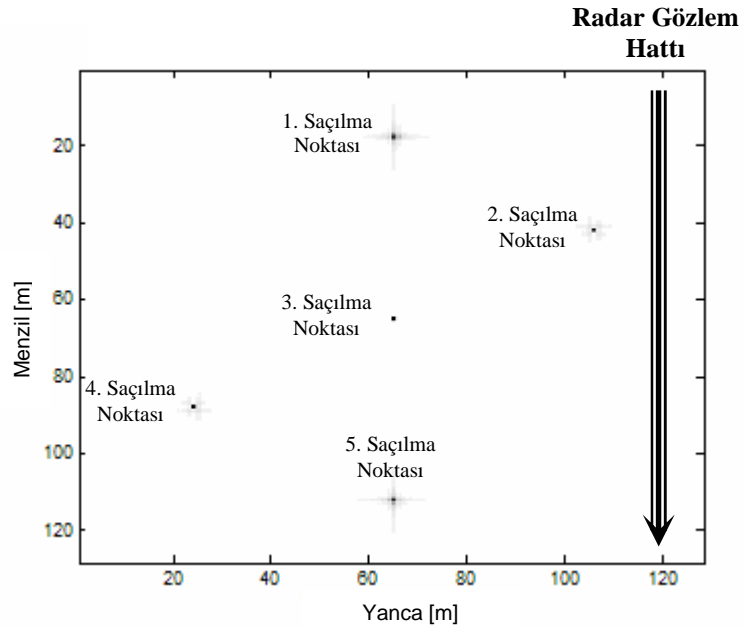


Şekil 2.4. (a) TYAR Görüntüleme ile Elde Edilen Benzetim Modeli

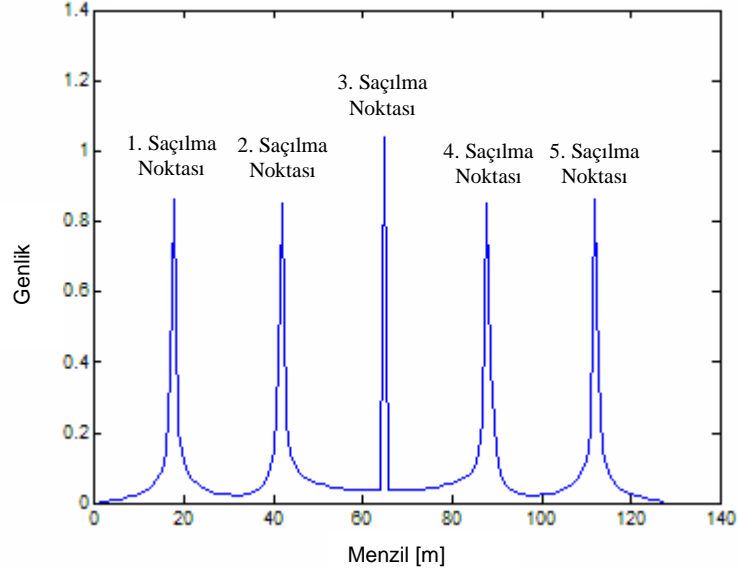




Şekil 2.4. (b) Benzetim Modeline ait Menzil Profilleri



Şekil 2.5. (a) TYAR Görüntüleme ile Elde Edilen Benzetim Modeli



Şekil 2.5. (b) Benzetim Modeline ait Menzil Profilleri

Menzil profili, menzil içerisindeki bulunan hedefin üzerindeki saçılmaları ayırır. Eğer bir menzil hücresi içerisinde hedef saçılma noktalarının sayısı birden fazla ise, radar alıcısına dönen bu saçılmalar birleşik olarak algılanacaktır ve bundan dolayı menzil profili içerisinde, dönen her saçılmanın tanımlanması da imkansız olacaktır. Bu durumla ilgili en iyi örnek şekil 2.5 (a,b)'de gösterilmiştir. Şekilde 2., 3. ve 4. saçılma noktaları, ilgili menzil profili içerisinde aynı menzil hücresine düşen saçılma noktalarıdır ve şekil 2.5 (b)'de gösterildiği gibi her üç saçılma noktası da birleşik olarak alınmıştır. Şekil 2.6 (a)'de ise, aynı menzil hücresinde saçılma noktaları olmadığı için, şekil 2.6 (b)'de görüldüğü üzere her bir saçılma noktasının menzil profili ayrı ayrı yerlerde elde edilmiştir.

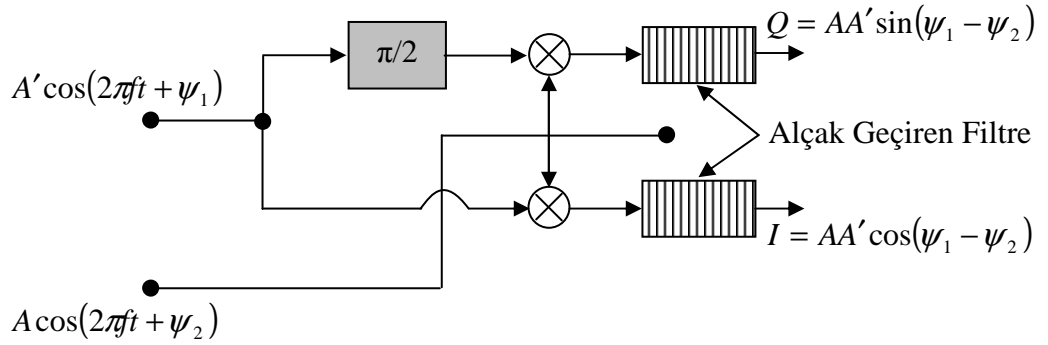
#### 2.4. SİNYAL ALMA İŞLEMİ : KARIŞTIRMA VE ÇEYREK EVRE FARKI ALGILAMA

Radar görüntüleme işleminin diğer önemli kavramlarından biride sinyal alma işlemidir. Sinyal alma işlemi temelde, karıştırma ve çeyrek evre farkı algılama yapısından oluşmaktadır.



Gerekli olan orta seviyeli frekans sinyali, band geçiren filtre ile elde edilebilmektedir. Bu işlem şekil 2.8’de gösterilmiştir. Buna göre filtre çıkışında sadece farklı frekanslı sinyal görünür. Pratik olarak tasarımı incelenecek olursa, girişin birine hedeften alınan cevap, diğer girişine ise lokal osilatörün sabit frekanslı sinyali uygulanır.

Çeyrek evre farkı algılama, iletim taşıyıcısında alınan sinyallerin fazını telafi etmek için kullanılır. Hedefin Doppler kaymalarının içeren alınmış bir sinyalin faz bilgisi, TYAR görüntüleme için gerekli ve çok önemlidir. Çeyrek evre farkı algılama, çeyrek evre farkı formu içerisindeki faz ve genliği telafi etmek için, anabantta alınan bir sinyali dönüştürülmesini sağlayan karıştırma işlemi gibi dikkate alınabilir [15]. Şekil 2.8’de bir çeyrek evre farkı algılayıcısı gösterilmiştir [15]. Çeyrek evre farkı karıştırma işlemi için, LO sinyali ile alınan taşıyıcı sinyalin her ikisi aynı frekanstadır, bunlar arasındaki tek fark ise alınan sinyal içerisinde mevcut olan Doppler kayma ( $\Psi_1 - \Psi_2$ ) bilgisidir [14].

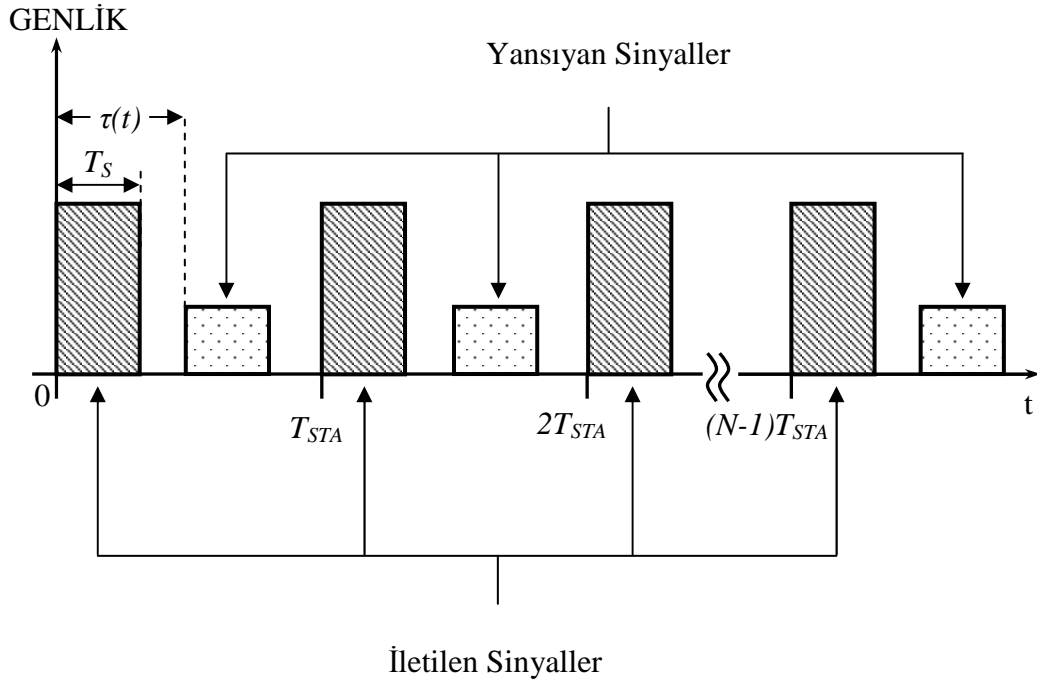


Şekil 2.8. Çeyrek Evre Farkı Algılayıcı

Alçaltıcı karıştırıcının çıkışlarından biri, eş fazlı (Inphase –  $I$ ) çıkış olarak adlandırılır. Diğer ikinci çıkış ise, referans olarak alınan sinyal fazda ( $\pi/2$ ) kadar geciktirilerek üretilir ve çeyrek evre farkı (Quadrature –  $Q$ ) olarak adlandırılır.  $I$  ve  $Q$  anaband sinyal olarak isimlendirilir. Yansıyan bir sinyaldeki Doppler kayma, Doppler frekansın içinde anaband bir sinyal üretecektir [14].

## 2.5. YAPAY MENZİL PROFİLİ ÜRETİMİ

Dar band olarak iletilen adım frekanslı bir sinyalin yansıma sonuçları işlenerek, hedefe ait menzil profilleri yapay olarak elde edilebilmektedir. Hedefe ait sinyal verisinin her bir darbesi, merkez frekans ve aynı band genişliğinde görünen hedefin anlık izgesel işaretinin eşdeğer yaklaşımıdır. Bir darbe içerisinde  $N$  adet adım frekanstan oluşan ve hareket eden bir nokta hedeften yansıyan sinyal sonuçları şekil 2.9’ da gösterilmiştir [15]. Nokta hedefin,  $v_t$  hızına sahip olduğu ve zamanın sıfır olduğu anda hedeften radara doğru uzaklığın  $R$  olduğunu varsayılmıştır.



Şekil 2.9. Adım Frekanslı Dalga formu ve Yansıyan Sinyaller

Birinci adım radar sinyalinin üretilmesi ve iletilmesidir. Üretilen sinyal  $x_i(t)$  olsun, iletilen sinyal frekansı  $f_i$ , her bir iletimde  $\Delta f$  kadar artırılır.

$$x_i(t) = \begin{cases} A_i \cos\{2\pi f_i t + \theta_i\}, & iT_{STA} \leq t \leq iT_{STA} + T_S \\ 0, & \text{Aksi halde} \end{cases} \quad i=0, \dots, (N-1) \quad (2.3)$$

$T_{STA}$  sinyal tekrar aralığı süresi,  $T_S$  sinyal uygulama süresi,  $\theta_i$  faz ve  $A_i$  ise  $i$ 'inci sinyalin genliğidir.

İkinci adım ise hedeften yansıyan cevapların algılanmasıdır. Algılanan sinyal  $y_i$  olsun. Alınan bu sinyal aşağıdaki gibi ifade edilebilir,

$$y_i(t) = \begin{cases} A'_i \cos\{2\pi f_i [t - \tau(t)] + \theta_i\}, & iT_{STA} + \tau(t) \leq t \leq iT_{STA} + T_S + \tau(t) \\ 0, & \text{Aksi halde} \end{cases} \quad (2.4)$$

$A'_i$ ,  $f_i$ 'inci frekansta alınan  $i$ 'inci sinyalin genliğidir. Hedefin  $t=0$  anındaki başlangıç menzili  $R$  ve hedefin menzil kayması,

$$\tau(t) = \frac{R - v_t t}{c/2} \quad (2.5)$$

Anabant karıştırıcı çıktı olarak eş zamanlı karıştırıcı üretir ve aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$m_i(t) = \begin{cases} A_i \cos\{2\pi f_i \tau(t)\}, & iT_{STA} + \tau(t) \leq t \leq iT_{STA} + T_S + \tau(t) \\ 0, & \text{Aksi halde} \end{cases} \quad i=0, \dots, (N-1) \quad (2.6)$$

$A_i$ ,  $i$ 'inci frekanstaki çıkış olarak üretilen karıştırıcının genliğidir. Çıkış karıştırıcının fazı,

$$\psi_i(t) = -2\pi f_i \tau(t) \quad (2.7)$$

Bu formül, (2.5)' teki formül kullanılarak aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\psi_i(t) = -2\pi f_i \left( \frac{2R}{c} - \frac{2v_t t}{c} \right) \quad (2.8)$$

Denklem (2.8),  $i$ 'inci sinyalin iletiminden alınma kadar geçen sürede görünen, toplam yansıyan faz ilerlemesidir.

Bir sonraki adım ise, alınan anaband sinyalin örneklemesidir. Yansıyan sinyalden kararlı bir karmaşık örnek almak için, örnek, yansıyan cevabın orta bölümünden alınmalıdır. Çünkü yansıyan sinyalin başlangıç bölümü hedef cevabının arka kenarını içermeyebilir ve yansıyan sinyalin son bölümü, hedef cevabının ön kenarını içermeyebilir. Buna göre örnekleme zamanı  $S_i$ , aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$S_i = iT_{STA} + \frac{2R}{c} + \tau_r \quad (2.9)$$

$\tau_r$ , alınan sistem aktarım gecikmesi diğer bir değişle buluşmayı sağlayacak olan gerekli süre, genellikle sinyal uygulama süresinin yarısı kadardır; ( $T_s/2$ ).  $S_i$ , anabandda yansıyan cevapların her birinin merkezine yakın bir örnek üretmek için, sinyalden sinyale ilerler. Denklem (2.8)'deki çeyrek evre farklı çıkış karıştırıcısının örnekleme fazı aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$\psi_i \Big|_{t=S_i} = -2\pi f_i \left[ \frac{2R}{c} - \frac{2v_t}{c} \left( iT_{STA} + \frac{2R}{c} + \tau_r \right) \right] \quad (2.10)$$

Eş faz karıştırıcı çıkışının örnekleme  $m_i = A_i \cos(\psi_i)$  olur. Buna göre eş faz ve çeyrek evre farklı karıştırıcı mikserinin her iki çıkışı aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$G_i = A_i (\cos \psi_i + j \sin \psi_i) \quad (2.11)$$

$$G_i = A_i e^{j\psi_i} \quad (2.12)$$

$G_0, \dots, G_{N-1}$ , frekans etki alanı içerisindeki hedeften yansıyan örnekler. Bu kompleks değerler  $G$  isimli bir dizide tutulduğu varsayılmaktadır. Bu  $N$  adet elemandan oluşan diziye ters ayrık Fourier dönüşümü uygulandığında, yansıyan menzil gecikmelerinin hesabını verir. Bu hedefin kompleks menzil profilidir ve aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$H_l = \sum_{i=0}^{N-1} G_i e^{j(2\pi/N)l_i} \quad 0 < l < N-1 \quad (2.13)$$

$l$  eğişik menzil pozisyonudur.

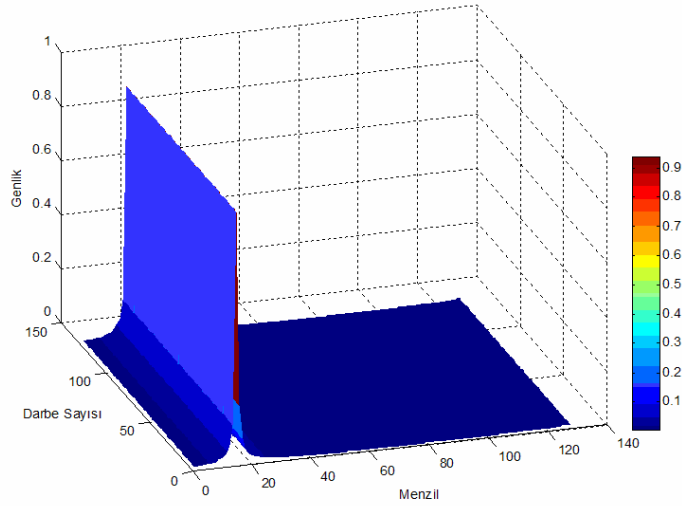
Son olarak  $M$  kez bu işlem tekrar edilmelidir. Bir başka değişle  $M$  adet menzil profili elde etmek gerekmektedir. Bu TYAR görüntünün oluşturulması için gereklidir. Çünkü yanca menzil çözünürlüğünün elde edilebilmesi için, çok fazla sayıda menzil profili alınması gerekir.



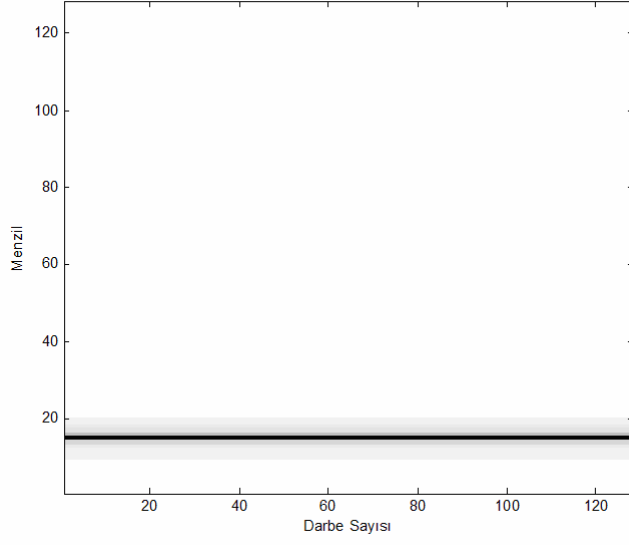
## 2.6. TYAR GÖRÜNTÜSÜNÜN ÜRETİLMESİ

Klasik radar görüntüsü oluşturulurken en önemli yapı, hedeften geri yansıyan sinyallerin radar alıcısı tarafından toplanarak oluşturulan ve hedef üzerinde bulunan saçılma noktalarına ait bilgilerini taşıyan matris üretilmesidir. Bu matris içerisinde, her bir kolon yapısı hedefin cevabını içerir ve bir darbeye karşılık gelir.

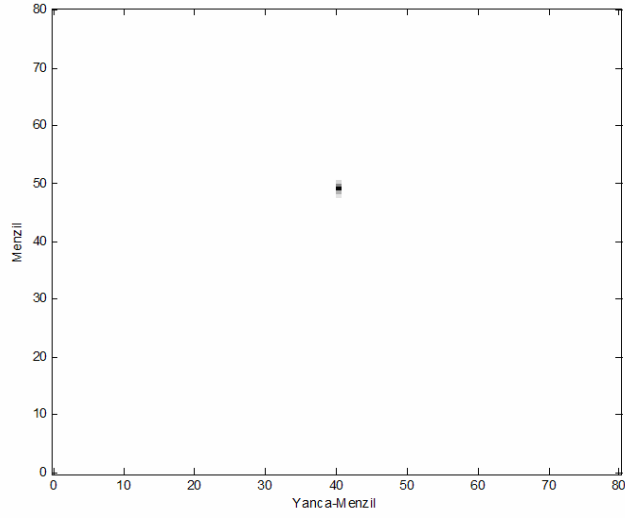
Hedefe ait yapay menzil profilleri ters Fourier dönüşümü kullanılarak elde edilir. Yanca-menzil bilgisi ise, matris içerisindeki satırlara, bir başka değişle menzil hücreleri boyunca Fourier dönüşümü uygulanarak elde edilir. Klasik TYAR görüntüleme elde edilen bu matrisin genliğidir. Bu matrisin her bir elemanı, TYAR görüntüsü üzerinde bir hücreyi gösterir. Bu metoda Fourier tabanlı TYAR görüntü oluşturmada denir. TYAR görüntüsünün elde edilmesi ile ilgili örnekler şekil 2.10 (a,b,c)'de gösterilmiştir. Hareketsiz bir noktasal kaynağa ait üretilmiş sentetik verilere, bir boyutlu ters Fourier dönüşümü kullanılarak elde edilmiş menzil profilleri şekil 2.10 (a)'da, bir boyutlu Fourier dönüşümü kullanılarak elde edilmiş menzil değişimi şekil 2.10 (b)'de ve iki boyutlu Fourier dönüşümü kullanılarak elde edilmiş TYAR görüntüsü şekil 2.10 (c)'de gösterilmiştir.



Şekil 2.10. (a) Hareketsiz Bir Noktasal Kaynağa ait Menzil Profilleri



Şekil 2.10. (b) Hareketsiz Bir Noktasal Kaynağa ait Menzil Değişimi

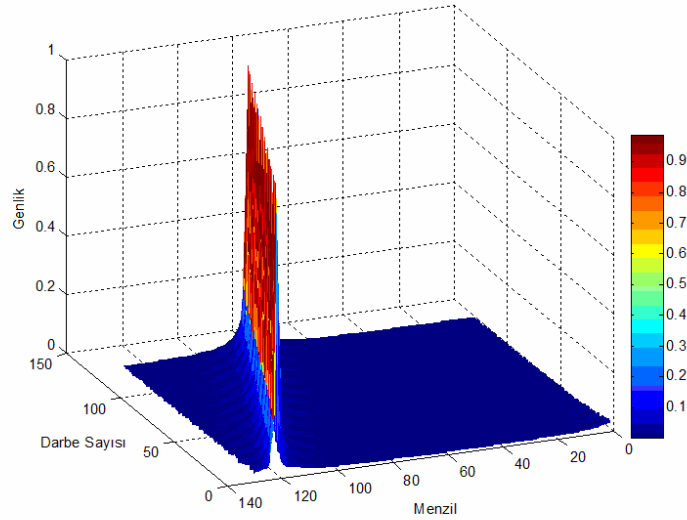


Şekil 2.10. (c) Hareketsiz Bir Noktasal Kaynağa ait TYAR Görüntüsü

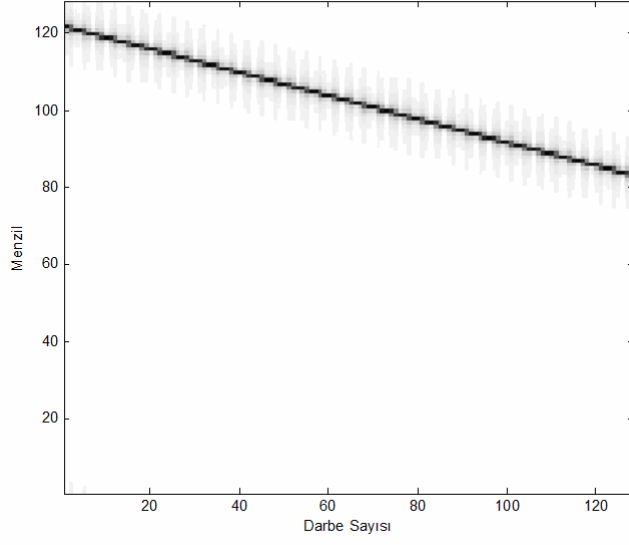
### 2.6.1 Hedef Ötelenme Hareketinin Etkisi

Radar gözlem hattı içerisinde, gözlem süresi boyunca,  $55 \text{ m/sn}$ 'lik sabit bir ötelenme hızına sahip hareketli bir noktasal kaynağa ait üretilmiş sentetik verilere,

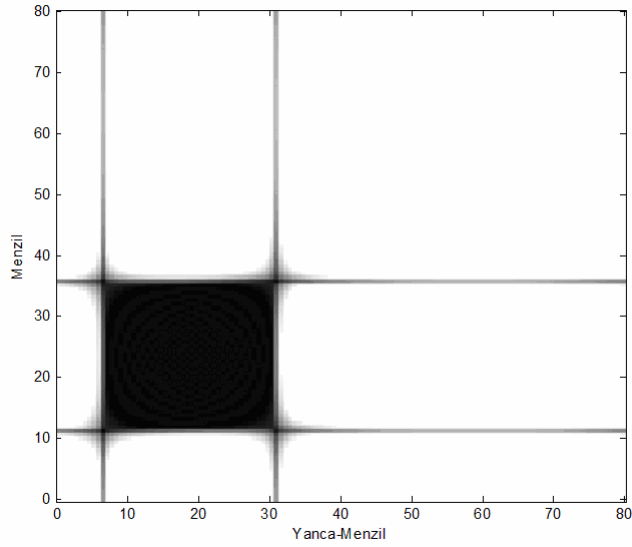
bir boyutlu ters Fourier dönüşümü uygulanarak elde edilmiş menzil profilleri şekil 2.11 (a)'da gösterilmiştir. Şekil 2.10 (a)'da gösterilen ve hareketsiz bir noktasal kaynağa ait menzil profilleri ile karşılaştırıldığında, şekil 2.11 (a)'daki bir darbeden diğer darbeye oluşan menzil profillerinin, hareketli noktasal kaynağın sahip olduğu sabit ötelenme hızına veya diğer bir deyişle ötelenme hareketine bağlı olarak belli oranlarda kaydığı görülmektedir. Literatürde bu duruma menzilde ilerleme (Range walk) denir. Menzil profillerindeki bu kaymalar, hareketli noktasal kaynaktan geri yansıyan radar sinyallerinin içerisindeki frekanslar üzerinde gerçekleşen Doppler olayından meydana gelmektedir. Aynı zamanda kaynağa ait, bir boyutlu Fourier dönüşümü kullanarak elde edilen menzil değişimi şekil 2.11 (b)'de ve iki boyutlu Fourier dönüşümü kullanılarak elde edilen TYAR görüntüsü şekil 2.11 (c)'de verilmiştir. Noktasal kaynağa ait şekil 2.11 (c)'deki TYAR görüntüsündeki bozulmalarda frekans üzerindeki Doppler etkisine bağlı olarak ortaya çıkmaktadır.



Şekil 2.11. (a) Hareketli Bir Noktasal Kaynağa ait Menzil Profilleri



Şekil 2.11. (b) Hareketli Bir Noktasal Kaynağa ait Menzil Değişimi



Şekil 2.11. (c) Hareketli Bir Noktasal Kaynağa ait TYAR Görüntüsü

Radar sinyallerinin frekansları üzerinde meydana gelen Doppler etkisi aşağıdaki hatalara sebep olur.

- Menzil çözünürlüğünde bozulma.
- Menzil doğruluğunda oluşan hatalar (Menzilde kayma).
- Sinyal gürültü oranındaki kayıplar.

Saçılma noktalarının çoğı birbirine yakın yerlerde konumlanır. Bu durumda birbirine yakın olan hedef üzerindeki iki saçılma noktası için, hedefin ötelenme hareketine bağılı olarak hedef TYAR görüntüsünde yayılma oluşur buna bağılı olarak hedef üzerinde bulunan bu iki noktanın çözülmesi mümkün olmaz ve menzil çözünürlüğünde kayıplara neden olur.

Gerçek bir saçılma noktası nokta biçimindedir ve TYAR görüntüsü üzerinde bir menzil ve bir yanca menzil hücresinde bir başka değışle bir piksel yer kaplamak zorundadır. Bu durum şekil 2.10 (c)'de gösterilmiştir. Ama ötelenme hareketinin sonucu olarak TYAR görüntüsü içerisinde yayılma oluşur. Şekil 2.11 (c)'de ortaya çıkan durum gösterilmiştir [14].

## 2.7. HAREKET TELAFİSİ

Hareket telafisinin en önemli amacı, bilinmeyen ve istenmeyen hedef hareketinin doğru olarak tahmin edilmesi ve hedefin radar görüntüsünde oluşan kayma ve bulanıklığın giderilmesi için gerekli çözümlerinin üretilmesidir. Bu biraz karışık bir işlemdir. TYAR işlemleri kapalı bir işlem olması hedefin hareketine ait olan parametrelerin herhangi biri hakkında bilgi edinilmesini oldukça zorlaştırmaktadır. Bundan dolayı hareket telafisi için oluşturulmuş algoritmalar, sadece en uygun çözümleri önermektedir. Buna bağılı olarak bu algoritmalar her zaman başarılı olmayabilir. Hareket telafisi olgusu ve araştırmaları, 80'li yıllara yakın TYAR görüntüleme aktiviteleri ile aynı anda başlamıştır [17,18,19]. Hareket telafisi algoritmaları üzerine yapılan araştırmalar halen devam etmektedir [13].

Yakın zamana kadar, hareket telafisi üzerine yapılan algoritma çalışmaları ötelenme hareketin telafisi üzerinde yapılmaktaydı [18]. Fakat gelişen teknolojik olanaklar ve hızlı işlemciler sayesinde, daha çok araştırma yapılmasına ve dönme hareketinin telafisi üzerine çalışılan algoritma türlerini ortaya konmasına imkan vermiştir.

### 2.7.1. TYAR Görüntülemeye Hedeflerin Ötelenme Ve Dönme Hareketlerinin Etkileri

Bir saçılma noktasına ait toplam faz ilerlemesi, daha önce denklem 2.8'de verildiği üzere aşağıda yeniden gösterilmiştir.

$$\psi_0(t) = -2\pi f_0 \left( \frac{2R}{c} - \frac{2v_t t}{c} \right) \quad (2.14)$$

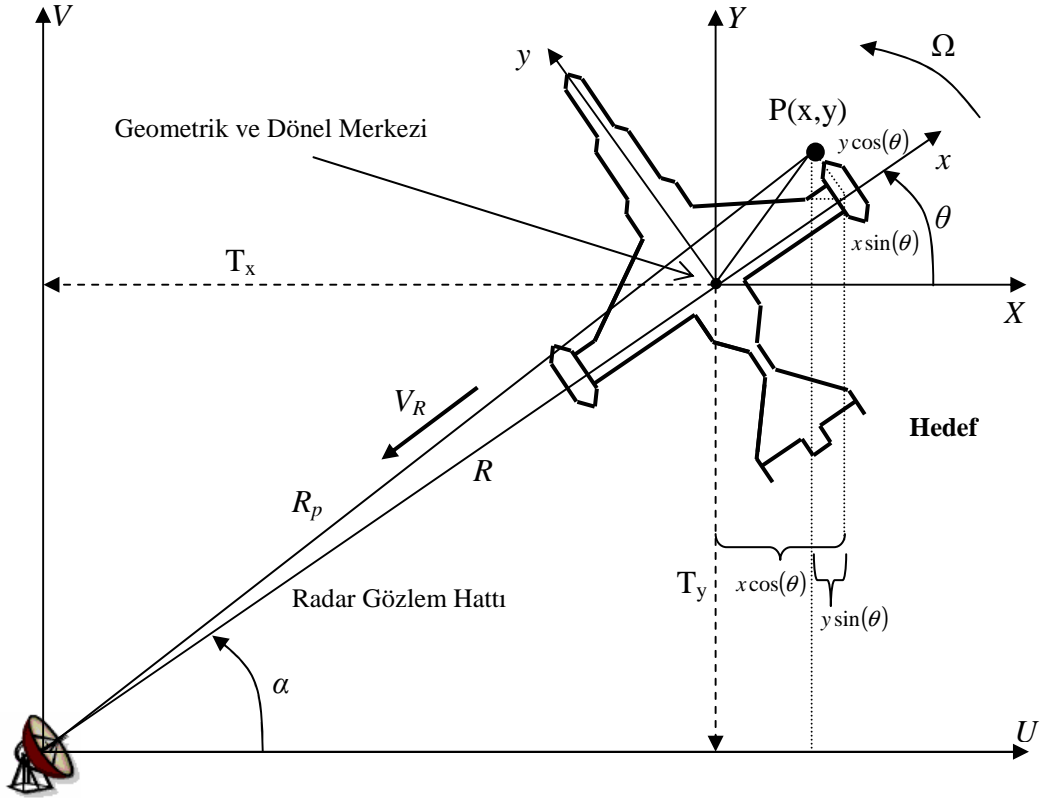
Verilen ifadeye  $v_t$ , saçılma noktasına uygulanan ötelenme hızı, iletilen sinyalin frekansı  $f_0$  ve  $c$  ışık hızıdır. Denklem aşağıdaki gibi de yazılabilmektedir.

$$\psi_0(t) = -2\pi f_0 \left( \frac{2R_p(t)}{c} \right) \quad (2.15)$$

Denklem (2.15)'teki  $R_p(t)$  hedefin başlangıç menzildir. Hedefin geometrisi şekil 2.12'de verilmiştir. Hedef üzerinde nokta biçiminde bir  $P$  saçılma noktası alınmıştır [13]. Hedefin başlangıç menzilinın analizinin yapılabilmesi için hareketsiz bir başka deyişle durağan olduğu varsayılmıştır.  $t=0$  anında hedefin menzil uzaklığı  $R$  olarak ifade edilmiştir. Buna göre  $P$  saçılma noktasının radara olan uzaklığı  $R_p$  denklem (2.16)'daki gibi yazılabilmektedir.

$$\begin{aligned}
R_p &= \left[ (T_x + x \cos \theta_0 - y \sin \theta_0)^2 + (T_y + y \cos \theta_0 + x \sin \theta_0)^2 \right]^{1/2} \\
&= \left\{ R^2 + (x^2 + y^2) + 2R[x \cos(\theta_0 - \alpha) - y \sin(\theta_0 - \alpha)] \right\}^{1/2} \\
&\cong R + x \cos(\theta_0 - \alpha) - y \sin(\theta_0 - \alpha)
\end{aligned} \tag{2.16}$$

$T_x, T_y, T_z = 0$ , radardaki  $(U, V, W)$  koordinatlarına göre  $(x, y, z)$  koordinatlarının orijin çevirimidir.  $\alpha$ ,  $(U, V, W)$  koordinatlarına göre yatay açısı ve  $\theta_0$ ,  $(x, y, z)$  koordinatlarının başlangıç dönme açısıdır.



Şekil 2.12. Bir Hedefe ait TYAR Geometrisi

Hedef, dönel ve ötelenme hareketlerinden meydana gelen karmaşık bir hareket yaptığı varsayılırsa, ilgili hareket parametreleri aşağıda gösterildiğı gibi ifade edilir.

$$R(t) = R_0 + V_R t + \frac{1}{2} a_R t^2 + \dots \quad (2.17)$$

ve

$$\theta(t) = \theta_0 + \Omega t + \frac{1}{2} \gamma^2 + \dots \quad (2.18)$$

$R_0$ , hedefin radar noktasına olan başlangıç uzaklığıdır.  $\theta_0$ , dönel açısıdır. Radyal ve dönel hızlar, ivmeler ve diğerk yüksek terimler denklem (2.17) ve denklem (2.18)'de gösterilmiştir. Buna göre, denklem (2.16) ve (2.17), denklem (2.18) yeniden yazılırsa;

$$R_p(t) = R(t) + x \cos[\theta(t) - \alpha] - y \sin[\theta(t) - \alpha] \quad (2.19)$$

Denklem (2.15)'teki ifadenin fazı zamana göre türev alınarak verilen hedefin hareketine bağlı Doppler kayma aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\begin{aligned} f_D &= \frac{2f_0}{c} \frac{d}{dt} R_p(t) \\ &= \frac{2f_0}{c} V_R + \frac{2f_0}{c} [-x\Omega \sin(\theta_0 + \Omega t - \alpha) - y\Omega \cos(\theta_0 + \Omega t - \alpha)] \\ &= \frac{2f_0}{c} V_R + \frac{2f_0}{c} \left\{ \begin{array}{l} -x\Omega [\sin(\theta_0 - \alpha) \cos \Omega t + \cos(\theta_0 - \alpha) \sin \Omega t] \\ -y\Omega [\cos(\theta_0 - \alpha) \cos \Omega t + \sin(\theta_0 - \alpha) \sin \Omega t] \end{array} \right\} \end{aligned} \quad (2.20)$$



Denklem (2.17) ve (2.18) içindeki sıfıncı ve birinci terimler kullanılır. Dönme oranı ve uygun işlem zamanı  $T$  vermek için, Eğer  $\Omega^2 t^2 \ll 1$  ve  $\Omega^3 t^3 \ll \Omega t$  buna bağlı olarak;

$$\cos \Omega t = 1 - \Omega^2 t^2 / 2 + \dots \cong 1 \quad (2.21)$$

ve

$$\sin \Omega t = \Omega t - \Omega^3 t^3 / 6 + \dots \cong \Omega t \quad (2.21)$$

Böylece, ifade denklem (2.22)'deki gibi yazılabilir.

$$\begin{aligned} f_D &\cong \frac{2f_0}{c} V_R + \frac{2f_0}{c} \left\{ \begin{array}{l} -x\Omega[\sin(\theta_0 - \alpha) + \cos(\theta_0 - \alpha)\Omega t] \\ -y\Omega[\cos(\theta_0 - \alpha) + \sin(\theta_0 - \alpha)\Omega t] \end{array} \right\} \\ &= \frac{2f_0}{c} V_R + \frac{2f_0}{c} \left\{ \begin{array}{l} -[x \sin(\theta_0 - \alpha) + y \cos(\theta_0 - \alpha)]\Omega \\ -[x \cos(\theta_0 - \alpha) - y \sin(\theta_0 - \alpha)]\Omega^2 t \end{array} \right\} \\ &= f_{D_{\text{Ötelenme}}} + f_{D_{\text{Dönel}}} \end{aligned} \quad (2.22)$$

Ötelenme hareketine bağlı oluşan Doppler kayma aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$f_{D_{\text{Ötelenme}}} = \frac{2f_0}{c} V_R \quad (2.23)$$

Dönel harekete bağlı oluşan Doppler kayma denklem (2.24)'te gösterildiği gibi ifade edilmektedir.

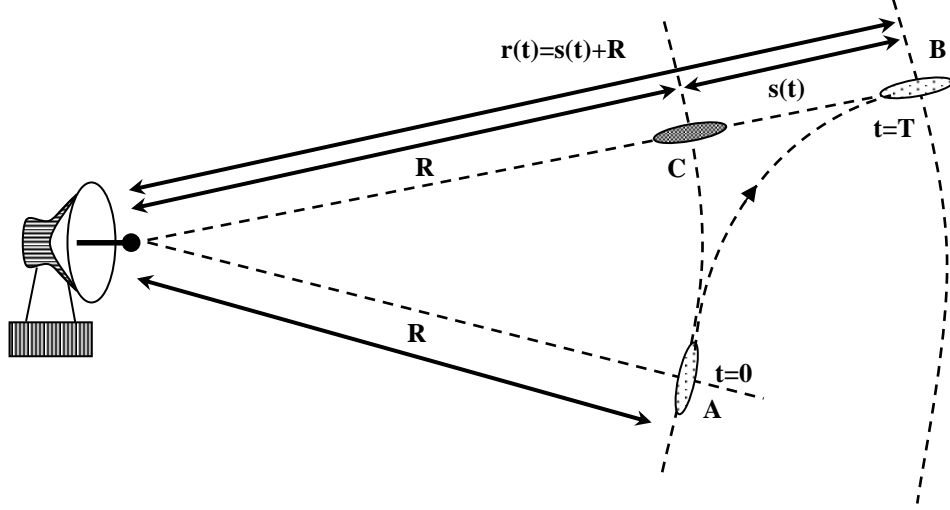
$$f_{D_{Dönel}} = \frac{2f_0}{c} V_R + \frac{2f_0}{c} \left\{ \begin{array}{l} -[x \sin(\theta_0 - \alpha) + y \cos(\theta_0 - \alpha)]\Omega \\ -[x \cos(\theta_0 - \alpha) - y \sin(\theta_0 - \alpha)]\Omega^2 t \end{array} \right\} \quad (2.24)$$

Denklem (2.23)'te verilen ötelenme hareketine bağlı Doppler frekanstaki kayma, hedef üzerindeki bütün saçılma noktaları için sabittir. Bundan dolayı TYAR görüntüleme, bu hareket yanca menzil çözünürlüğüne bir katkı sağlamaz [19]. Alınan sinyal içerisindeki ötelenme hareketinin parametrelerini ve faz bileşenlerini çıkarmak için kullanılan yöntemlere ötelenme hareketi telafisi veya radyal hareket telafisi olarak isimlendirilir.

Denklem (2.24)'te verilen dönel Doppler frekanstaki kaymanın ikinci derece parçası bir zaman fonksiyonudur. Ancak ötelenme hareket telafisi gerçekleştirilmiş olsa bile, hareket telafisine bağlı olan, açisal dönme oranını ( $\Omega$ ) kuvvetine ihtiyaç vardır. Bu işlem, dönel hareket telafisi olarak adlandırılır.

Hedeflerin hareketi şekil 2.13'teki gibi genelleştirilmiştir [19]. Hedefin yörüngesi, A ile B noktaları arasında kesik çizgi ile gösterilmiştir. T, uygun entegrasyon zamanını gösterir.  $R$  ise hedefler ile radar arasındaki menzil değeridir.  $s(t)$  ise uygun entegrasyon zamanındaki kat edilen menzildir. A noktası, görüntüleme işleminin başlama zamanı  $t=0$  anında hedefin pozisyonudur. B noktası, görüntüleme işlemi süresinin belirlenen uygun entegrasyon zamanına eşit olduğunda hedefin ulaştığı pozisyonudur. Bu hedefe ait hareket üç parçaya ayrılabilir.

- Sabit bir  $R$  menzilde, radardaki hedef dairesel bir hareket yapmaktadır;
- Radar gözlem hattı boyunca  $s(t)$  menzil değeri kadar hedef ötelenme hareketi yapmaktadır;
- Referans noktasında bir dönel hareket sergilemektedir.



Şekil 2.13. Genel Hareketi ile Bir Hedef

Yukarıda maddeler halinde verilen hareket örnekleri incelendiğinde, ilk maddedeki hareket şeklinin TYAR görüntülemeye bir etkisi söz konusu değildir ve görüntü hareket telafisi gerçekleştirilmeden oluşturulabilir. İkinci maddede verilen hareket, ötelenme hareketi olduğu için menzilde ilerlemeye bağlı olarak TYAR görüntüde bozulmalar oluşacaktır bundan dolayı hareket telafisi yapılmalıdır. Ötelenme hareketinin telafisi, şekil 2.13'teki  $s(t)$ 'nin oluşturduğu etkileri ortadan kaldırır ve hareket telafisinden sonra hedef C noktasına yerleşir. Üçüncü maddedeki verilen harekette mümkün olabilecek TYAR görüntüsü yapılır. Ancak hedefin toplam dönme miktarı, hedefin saçılma noktalarında kayma meydana getirecek kadar yüksek değerde olursa, bu durumda dönel hareket telafi yöntemlerinden uygun olan kullanılarak hareket telafisi yapılmalıdır.

### 3. MATERYAL VE METOT

Zaman tanım kümesindeki bir sinyalin frekans bileşeni, temel Fourier dönüşümü ile karakterize edilir. Ama bu frekans bileşeninin zamana bağlı özellikleri hakkında herhangi bir fikir vermez. Bu eksikliği gidermek amacıyla birleşik-zaman frekans dönüşümleri kullanılır. Buna göre, birleşik-zaman frekans dönüşümleri analiz yöntemiyle, zamanda değişen bir sinyalin frekans bileşenlerini karakterize etmek ve analizini yapmak mümkündür [13].

Birleşik-zaman frekans dönüşümü olarak isimlendirilen ve sinyallerin zaman frekans bileşenlerini karakterize etmek için kullanılan çeşitli analiz teknikleri vardır. Bunlardan: Kısa Zamanlı Fourier Dönüşümü (Short-Time Fourier Transform – STFT), Sürekli Wavelet Dönüşümü (Continuous Wavelet transform – CWT), Uyarlanabilir Zaman-Frekans Gösterimi (Adaptive Time-Frequency Representation), Wigner Ville Dağılımları (Wigner-Ville Distribution), Cohen Sınıfı (Cohen’s Class) ve Zaman Frekans Dağılım Serileri (Time-Frequency Distribution Series) önemli olanlarıdır [14].

Zaman-Frekans analizleri, Doppler izlemeyi ve biçimli olmayan bir dönel hareket telafisini gerçekleştirmeyi amaçlar ve yeniden polar formatlama işlemine yardımcı olur. Zaman-Frekans tabanlı hareket telafisinin temeli, birçok belirgin nokta işleme tekniği [20,21] ve uyarlanabilir Zaman-Frekans gösterimi üzerine kuruludur [13]. Klasik belirgin nokta işleme tekniği oldukça karışıktır ve değişik hareketlerin TYAR görüntüsünde oluşturduğu hataların telafisi için yada bir başka deyişle ötelenme ve dönel hareketlerinin her ikisinin telafilerini gerçekleştirmek için kullanılmaktadır. Uyarlanabilir Zaman-Frekans gösterimleri ileri düzeyde yüksek çözünürlüğe sahip bir Birleşik Zaman-Frekans Dönüşümü tekniğidir ve TYAR görüntüsü içerisinde özellikleri seçip çıkarmak için yaygın olarak kullanılır [22].

### 3.1. KLASİK BELİRGİN NOKTA İŞLEME TEKNİĞİ

Klasik belirgin nokta işleme tekniği, [20] ve [21] referanslarda verilen kaynaklara göre iki ana başlığa ayrılabilir. Bunlar:

- Tek belirgin nokta işleme,
- Birden çok belirgin nokta işleme.

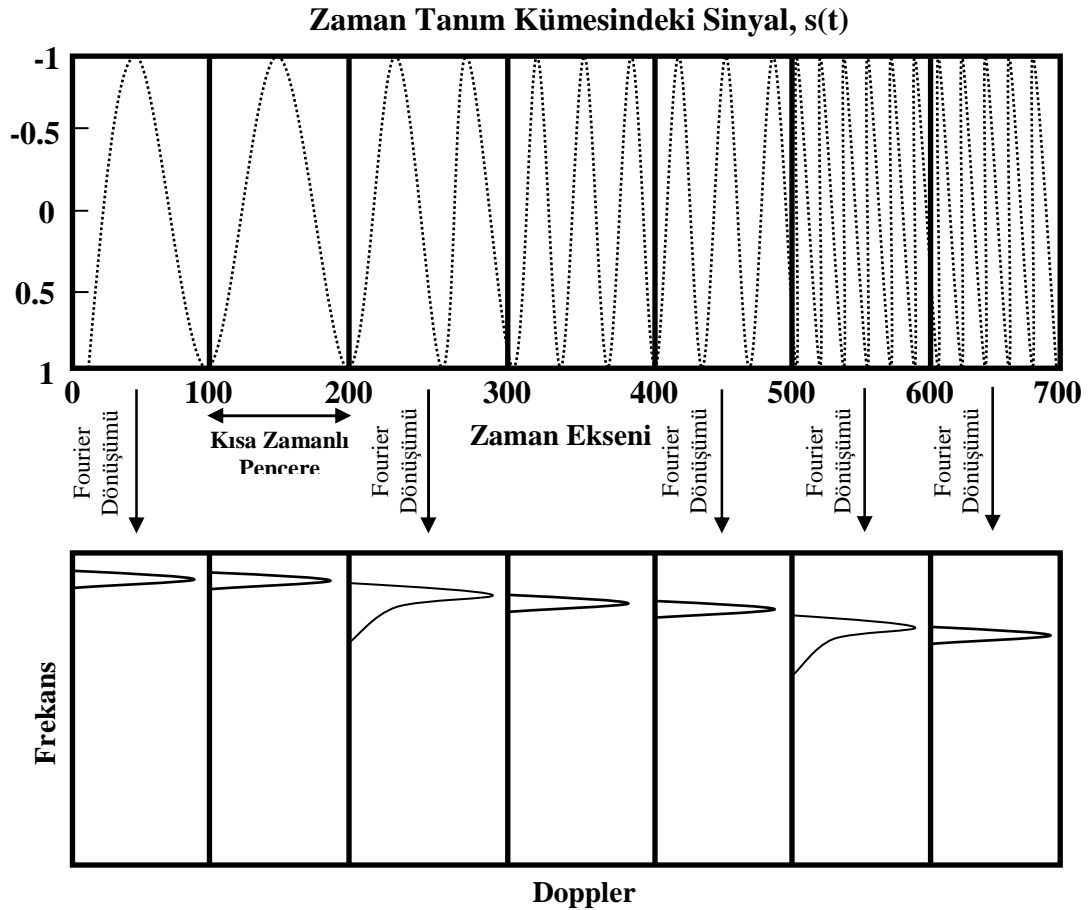
Tek belirgin nokta işleme tekniği, menzil ve Doppler izleme durumlarının her ikisini de içerir ve seçilen belirgin noktanın sahip olduğu faz ve genlik bilgisine başvurur. Bu nedenle, tek belirgin nokta işleme tekniğinin, standart hareket telafisi durumlarının tamamını içerdiğini söylenebilir. Birden çok belirgin nokta işleme tekniğinde, iki yada hedef menzil profilleri üzerinde var olan birden çok belirgin noktalar gerekmektedir. İlk seçilen belirgin nokta, tek belirgin nokta işleme tekniğinde olduğu gibi, aynı tarzdaki yapılarda, ikinci seçilen belirgin nokta ise, hedefin dönel hareket karakteristikleri hakkında bazı bilgileri elde etmek amacıyla kullanılır. İkinci seçilen belirgin noktasının faz bilgisi, hedefin dönme oranı içinde düzenli olmayan etkilerini çıkarmak ve hesaplamak için kullanılmaktadır. Bu nedenle, ikinci belirgin nokta işleme tekniğinden sonra, hedefin radar görüntüsünde meydana gelen, ötelenme ve düzenli olmayan dönel hareketlerinin etkileri kaldırılır.

#### 3.1.2. Kısa Zamanlı Fourier Dönüşümü

Kısa Zamanlı Fourier Dönüşümü, çok kısa zaman aralıkları içerisinde, zaman tanım kümesinde bulunan sinyali bölümlere ayırır ve zaman tanım kümesinde bulunan bu sinyalin frekans bileşenleri, temel Fourier dönüşümü kullanılarak karakterize edilir. Bu ayırma işlemi, incelenen sinyal ve hareketli bir zaman penceresinin çarpımı ile yapılır. Kısa-Zamanlı Fourier Dönüşümünün matematiksel gösterimi denklem (3.1)'de verilmiştir.

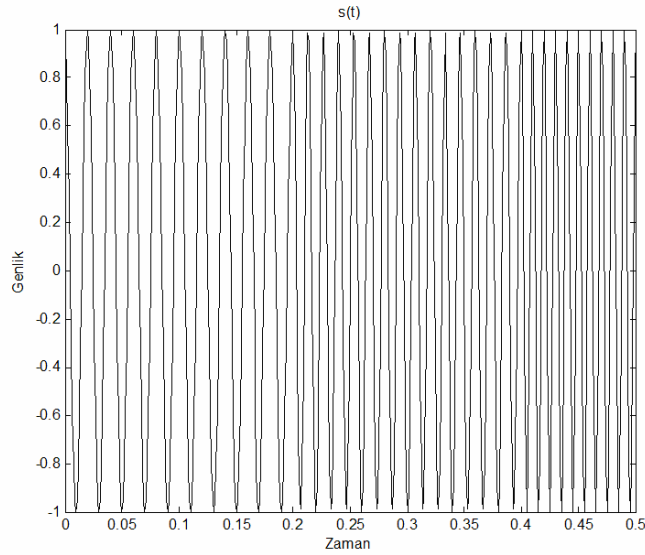
$$S_{KZFD}(t, \omega) = \int_{-\infty}^{\infty} s(\tau)w(\tau - t)\exp(-j\omega\tau)d\tau \quad (3.1)$$

İncelenen sinyal ile elde edilen Kısa-Zamanlı Fourier Dönüşümü gerçek veya karmaşık olabilir. Bundan dolayı Kısa-Zamanlı Fourier Dönüşümünün gösterge büyüklüğüne sinyalin spektrogramı (spectrogram) veya izge grafiği denir. Spektrogramlar iki boyutlu fonksiyonlardır ve bir zaman fonksiyonunda değişen sinyalin frekans spektrumlarının nasıl olduğunu gösterir. Şekil 3.1’de Kısa Zamanlı Fourier Dönüşümü gösterilmiştir [14]. Kısa Zamanlı Fourier Dönüşümünün zaman-frekans çözünürlüğü sınırlıdır ve kısa zaman penceresinin boyutu ile tespit edilir. Zaman ve frekans çözünürlüğü arasında bir ters orantı vardır. Eğer kısa-zamanlı pencerenin boyutu ne kadar büyük olursa, frekans çözünürlüğü o kadar iyi olacak ve buna bağlı olarak zaman çözünürlüğü ise kötüleşecektir [23].



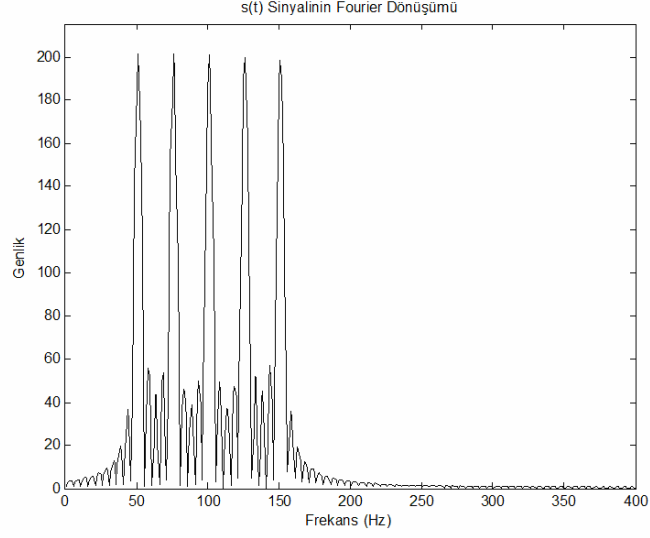
Şekil 3.1. Kısa Zamanlı Fourier Dönüşümünün Gösterimi

Yukarıda da bahsedildiği üzere pencere fonksiyonunun uzunluğu ile zaman ve frekansın çözünürlüğünün sınırlarına karar verilir. Zaman çözünürlüğü ile frekans çözünürlüğü arasında ters orantı vardır ve kısa-zamanlı pencere, zamanda çok iyi bir çözünürlük anlamına gelirken, frekansta ise çok zayıf bir çözünürlüktür. Bu Kısa-Zamanlı Fourier Dönüşümündeki pencereleme işleminde oluşan sakıncalı durum, frekans çözünürlüğü üzerinde kısıtlamalara neden olmaktadır. Bu sakıncalara neden olan yapılar, Birleşik Zaman-Frekans Dönüşüm tekniklerin bazı formlarında çıkarılmıştır ve genişçe kullanılmıştır. Bu tür gelişmiş zaman-frekans tekniklerine Yüksek-Çözünürlüklü Zaman-Frekans Dönüşümleri denir. Pencere fonksiyonunun şekli, frekans tanım kümesinde kenar lopun seviyesini etkiler. Bu nedenle, spektrogram içindeki kenar lop girişimlerini kesmek amacıyla, pencere fonksiyonu uygun bir şekilde sıfırlamak amacıyla inceltir. Şekil 3.2’de  $s(t)$ , zaman tanım kümesinde orijinal bir sinyal gösterilmiştir.  $s(t)$  sinyali bir biriyle üst üste gelmeyen beş adet tepe oluşmuştur.



Şekil 3.2. Zaman Tanım Kümesinde Orijinal  $s(t)$  Sinyali

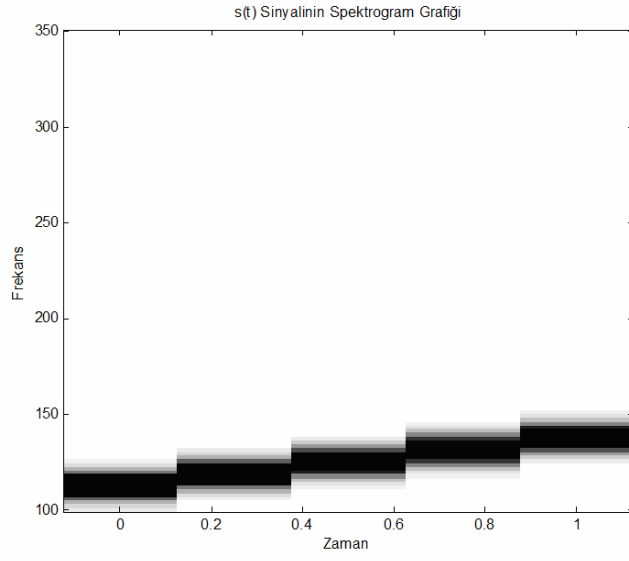
Şekil 3.3'te ise bu sinyale ait Fourier dönüşümü gösterilmiştir.



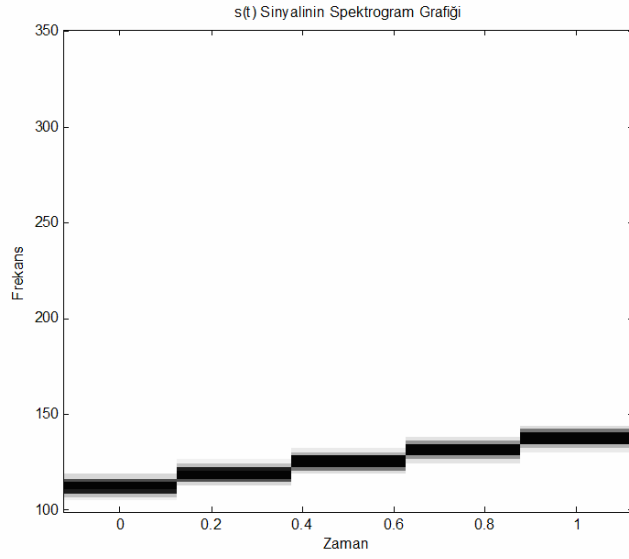
Şekil 3.3.  $s(t)$  sinyalinin Fourier Dönüşümü

Şekil 3.4'te elli noktalı Blackman-Harris pencere fonksiyonu kullanılarak elde edilmiş Kısa Zamanlı Fourier Dönüşümü spektrogramları ile şekil 3.5'te ise yüz noktalı Blackman-Harris pencere fonksiyonu kullanılarak elde edilmiş Kısa-Zamanlı Fourier Dönüşümü spektrogramları gösterilmiştir. Bu iki işlem sonucunda elde edilen spektrogramlar karşılaştırılarak pencere uzunluğunun etkilerinin sonuçları bu iki şekilde somut olarak gösterilmiştir. Şekil 3.5'te görüldüğü üzere daha iyi bir frekans lokalizasyonu oluşmuştur ama daha kötü bir zaman lokalizasyonu mevcuttur.





Şekil 3.4. Elli Noktalı Blackman-Harris Pencerele Kısa Zamanlı Fourier Dönüşümüne ait Spektrogramlar



Şekil 3.5. Yüz Noktalı Blackman-Harris Pencerele Kısa Zamanlı Fourier Dönüşümüne ait Spektrogramlar

### 3.1.2. Zaman Frekans Dönüşüm Tabanlı Hareket Telafisi

Uyarlanabilir Zaman-Frekans gösterimi, Zaman-Frekans analizinden daha karmaşık bir yapıya sahiptir ve uyarlanabilir normalize edilmiş Gaussian penceresi kullanılmaktadır. Zaman ve frekans çözünürlükleri diğer bir deyişle zaman ve frekans merkezleri, sinyale en uygun şekilde ayarlanır [14].

Bu metodun amacı,  $\sigma_p$  ayarlanabilir standart sapma ve bir zaman frekans merkezi  $(t_p, \omega_p)$  ile normalleştirilmiş Gaussian fonksiyonunun terimleri içindeki  $s(t)$  sinyalinin genişletilmesidir ve aşağıda gösterildiği gibidir [13]:

$$s(t) = \sum_{p=1}^{\infty} B_p h_p(t) \quad (3.2)$$

$h_p(t)$  ise aşağıda denklem (3.3)' te verilmiştir.

$$h(t) = (\pi\sigma_p^2)^{-1/4} \exp\left\{-\frac{(t-t_p)^2}{2\sigma_p^2}\right\} \exp\{j\omega_p t\} \quad (3.3)$$

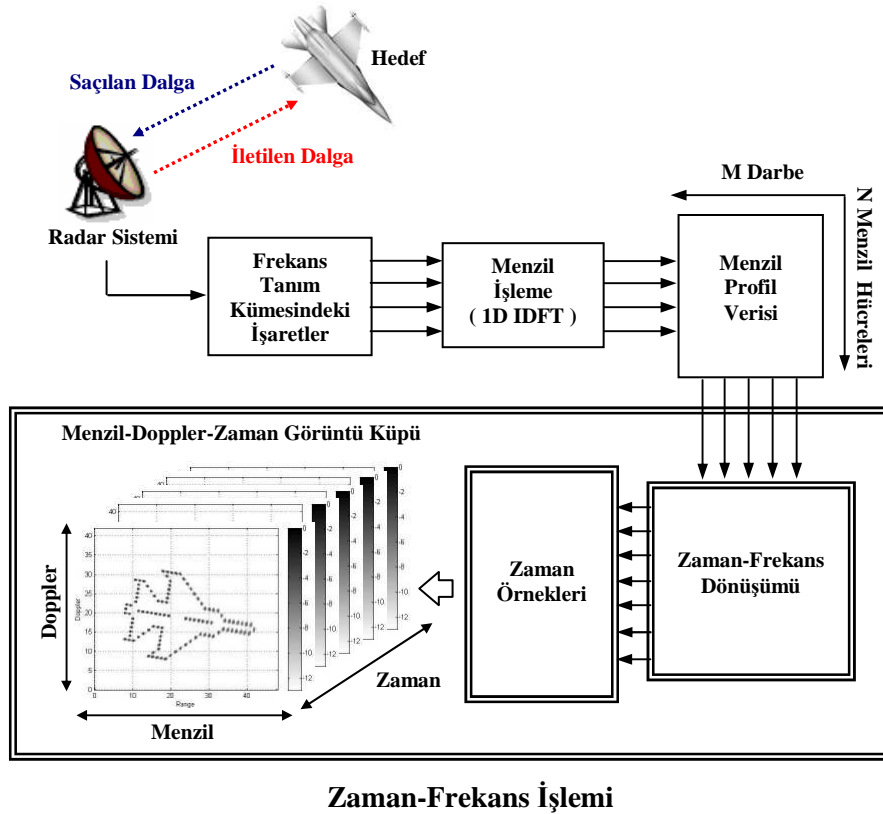
$B_p$ , katsayısını bulmak için yinelemeli bir işleve ihtiyaç vardır. bu işlem birden çok aşama içermektedir.  $p=1$  aşamasında, sinyal üzerinde maksimum izdüşümü sağlayacak olan  $h_p(t)$  temel fonksiyonuna ait parametreler  $\sigma_p$ ,  $t_p$  ve  $\omega_p$  seçilir. Aşağıdaki ifade  $s_0(t)=s(t)$  iken

$$B_p = \max_{\sigma_p, t_p, \omega_p} \int S_{p-1}(t) h_p^*(t) dt \quad (3.4)$$

$p > 1$  için, sinyalden farklı olan  $h_p(t)$  sinyali üzerindeki  $s_{p-1}(t)$ ' nin dikey izdüşümlerinden çıkarılır.

$$s_p(t) = s_{p-1}(t) - B_p(t)h_p(t) \quad (3.5)$$

Yüksek kaliteli çözünürlüğü ve başlangıç frekans spektrumun tarafsız tahminlerini elde etmek için, birleşik zaman frekans dönüşümlerinin zaman frekans özellikleri çok faydalıdır. Bir zaman frekans dönüşümü ile klasik Fourier dönüşümü yerine konularak, iki boyutlu menzil-Doppler çerçevesi, üç boyutlu zaman-menzil-Doppler kübü olur[24]. Zaman içerisinde örneklenen, iki boyutlu menzil-Doppler görüntülerinin dizisi şekil 3.6'da verilmiştir.



Şekil 3.6. Hareketli Bir Hedefin TYAR Görüntüsünün Elde Edilmesi için Kullanılan Zaman Frekans İşleme Tekniği

Bu işlem, orijinal sinyalin gösterimlerinin doğru olarak yapılması için, daha fazla sayıda katsayı üretilmesinde yinelemeli olarak yapılmaktadır.

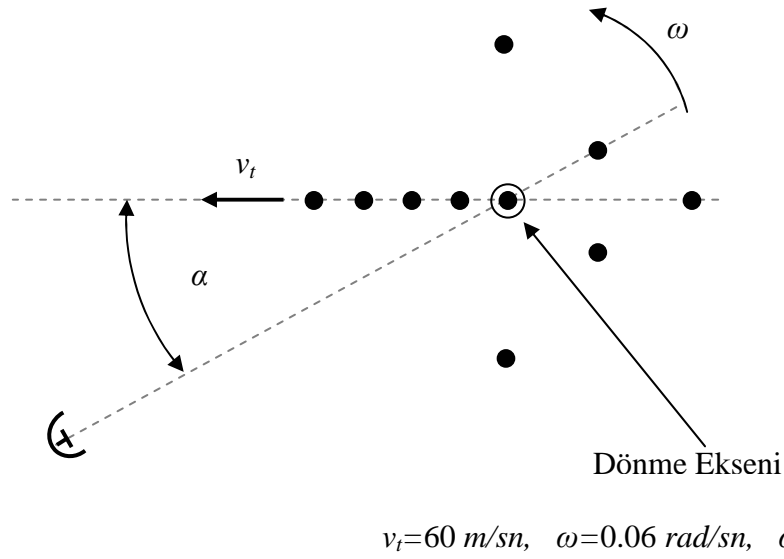
Menzil izleme, menzil profillerinin üretiminden sonra ham veri üzerine uygulanır ve bir  $x$  menzil hücresinde alınan cevap, denklem (3.6)'da gösterildiği gibidir.

$$S_R(t) = \sum_{k=1}^{N_k} A_k \exp \left\{ -j \frac{4\pi f_0}{c} [R(t) + x \cos \theta(t) - y_k \sin \theta(t)] \right\} \quad (3.6)$$

$x$  eksen menzil yönü,  $f_0$  radarın merkez frekansı ve  $t$  ise radar gözlem süresidir.  $N_k$ ,  $x$  menzil pozisyonunda aynı menzil hüresi içerisindeki saçılma noktalarının sayısını ifade etmek için kullanılır.  $A_k$ ,  $k$ 'ninci saçılma noktasına ait genlik değeridir.  $y_k$ ,  $k$ 'ninci saçılma noktasının yanca menzil pozisyonudur.  $R(t)$ , menzil hücresi içerisinde telefı edilmeden önceki arta kalan ötelenme hareketine bağlı uzaklığı temsil etmektedir.  $\theta(t)$ , radar gözlem süresine bağlı, dönme açısıdır. Denklem (3.6), denklem (2.17) ve denklem (2.18) kullanılarak yeniden yazılırsa[13],

$$S_R(t) \Big|_x = \sum_{k=1}^{N_k} A_k \exp \left\{ -j \frac{4\pi f_0}{c} \left[ (R_0 + x) + (V_R + \Omega y_k) t + \frac{1}{2} (a_R - \Omega^2 x + \gamma_k) t^2 + \dots \right] \right\} \quad (3.7)$$

Sabit faz terimi, görüntüleme işlemine katılmaz. Bu nedenle ihmal edilmektedir. Eğer  $R(t)=R_0$ ,  $\theta(t)=\Omega t$  ve  $(\Omega t)^2$  ihmal edilebiliyorsa, diğer bir deyişle bir ötelenme hareketi söz konusu değilse ve çok küçük miktarda da dönme hareketi mevcut ise, faz fonksiyonu, saf bir doğrusal zaman fonksiyondur. Bu ideal olan bir durumdur ve Fourier dönüşümü ile yanca menzil boyutu içerisindeki yanca menzil pozisyonlarında saçılma noktalarına odaklanılır[13]. Şekil 3.7'de model-1'e ait benzetim gösterilmiştir. Bu benzetimin gerçekleştirilmesinde kullanılan parametreler ve parametrelere ait değerler tablo 2'de verilmiştir.

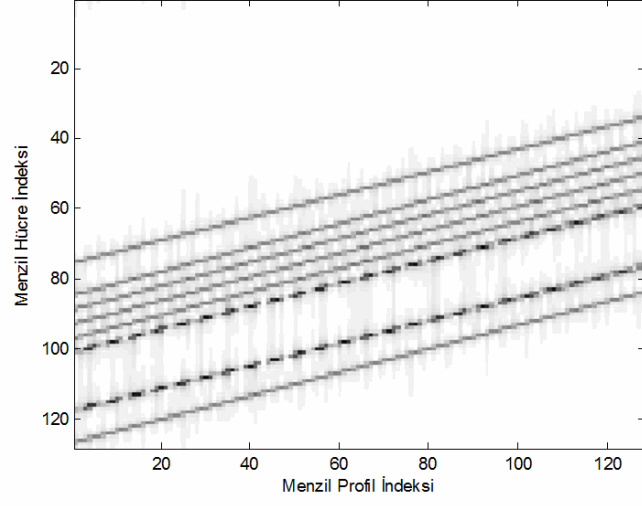


Şekil 3.7. Model-1'e ait Benzetimin Gösterimi

PARAMETRE AÇIKLAMASI	Dönme Hızı $\Omega$ (radyan/sn)	Ötelenme Hızı $v_t$ (metre/sn)	Ötelenme Hareket açısı $\alpha$ (derece)	Frekans Adım Boyutu $\Delta f$ (MHz)	Başlangıç Frekansı $f_0$ (GHz)
DEĞER	0.06	60	25	1	3
PARAMETRE AÇIKLAMASI	Her bir Darbedeki Sinyal Adedi - N -	Darbe Adedi - M -	Bir Darbenin Etkili Band genişliği, $\beta$ (MHz)	Radar Örnekleme Frekansı (kHz)	Radar Gözlem Süresi $T$ (sn)
DEĞER	128	128	128	20	0.8192

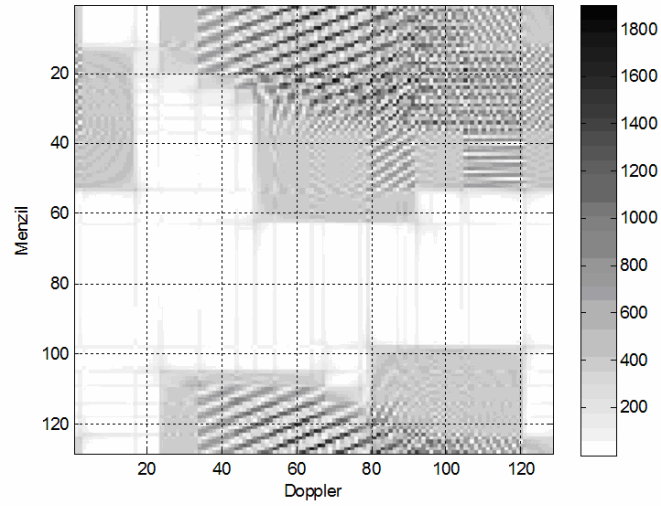
Tablo 2. Model-1'e ait Benzetim Parametreleri ve Değerleri

Model-1'e ait benzetimin hareket telafisinden önceki menzil profilleri şekil 3.8'de verilmiştir.



Şekil 3.8. Model-1'e ait Benzetimin Hareket Telafisinden Önceki Menzil Profilleri

Şekil 3.9'da Model-1'e ait benzetimden elde edilen TYAR görüntüsü verilmiştir.



Şekil 3.9. Model-1'e ait TYAR Görüntüsü

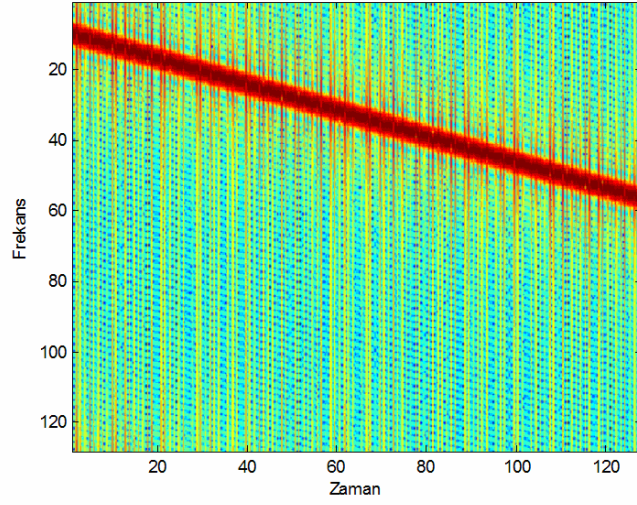
Model-1'e ait benzetimde menzil hücrelerinde mevcut baskın saçılmaların analiz sonucu şekil 3.10'da verilmiştir. Baskın saçılmalara ait olan siyah renkli izler, mevcut buldukları menzil hücreleri içinde iki adet olarak görülmektedir. Açık renkli olan çizgilerin sayısı, o menzil hücresi içerisindeki saçılmaların sayısı ile doğrudan ilişkilidir. Bu önemli örnekle, denklem (3.7) ve zaman frekans tabanlı sinyal analiz sonuçları arasındaki ilişki gösterilmektedir. Denklem (3.7) içinde elde edilen ikinci derece faz terimleri, zaman-frekans düzlemi içerisinde bir "cıvıltı" sinyal gibi davranır. Şekil 3.10'un içerisindeki düz çizginin eğimi ve yer değiştirmesi, sırasıyla denklem (3.7)'deki faz fonksiyonunun ikinci derece katsayıları ve doğrusallığı ile ilişkilidir.

Buradaki işlem, bir menzil hücresi içerisindeki baskın saçılma noktası için bu katsayıların belirlenmesidir. Bu işlem, birleşik zaman-frekans işlemi ile sonuçlanabilir. Bu işlemin temel fikri, denklem (3.7)'de verilen güçlü sinyal bileşenine çok benzeyen temel fonksiyonu bulmaktır. Bu problem için, aşağıda verilen temel fonksiyon formu kullanılır.

$$h_p(t) = \exp\left[-j \frac{4\pi f_0}{c} \left( f_1 t + \frac{1}{2} f_2 t^2 + \frac{1}{3} f_3 t^3 + \dots \right)\right] \quad (3.8)$$

Yukarıda verilen temel fonksiyonun kümesi, farklı yer değiştirmesi ve eğimi olan birim chirp sinyalinin toplamı gibi düşünülebilir. En iyi fonksiyon, temel fonksiyon üzerinde, radar sinyalindeki izdüşümleri maksimum yapan, yinelemeli araştırmasıyla  $f_1, f_2, f_3, \dots$  parametreleri ile bulunur[13].

$$\langle f_1, f_2, f_3, \dots \rangle = \arg \max \left| \int S_R(t) \Big|_x h_p^*(t) dt \right| \quad (3.9)$$



Şekil 3.10. Model-1'e ait Benzetimdeki Menzil Hücresi İçerisinde Baskın Saçılma Noktasının Zaman Frekans Gösterimi

Bu yineleme işlemi, bir menzil hücresi içerisindeki sadece güçlü saçılma noktaları üzerinde gerçekleştirilmektedir. Bu işlemin sadece güçlü saçılma noktaları üzerinde yapılması, zayıf saçılmaların hatalarının kestiriminden kaçınmak içindir.  $f_1$ , doğrusal katsayısının araştırılması, hızlı Fourier dönüşümü kullanılarak gerçekleştirilebilir. Bu işlemden sonra  $f_2$ , ikinci derece katsayısını bulmak için bir boyutlu bir araştırma yapılması gereklidir. Performans açısından algoritma, toplam uyumlu işlem zamanı ile sunulan tam Doppler çözünürlüğü ile zaman frekans düzleminde güçlü sinyalleri seçer. Aynı zamanda algoritmanın izdüşümleri, bir menzil içerisindeki baskın saçılma noktalarına uygulanır [13].

Bir sonraki adım, uyarlanabilir birleşik zaman frekans işlemi ile tek bir saçılma noktasının faz tahminleri yapmak ve bütün saçılmalar için ikinci dereceden faz terimlerinin elimine edilmesidir. Faz içerisindeki,  $(\Omega t)^2 \ll 1$  olduğu durumlarda, bu terim ihmal edilebilir. Bu genellikle yüksek frekanslı radarlarda, mutlak terimleri sayı içerisinde çok küçük değerde yeterli yanca menzili çözünürlüğü ile bir görüntüyü biçimlemek için kullanılan çok iyi bir yaklaşımdır. Bu yaklaşıma göre denklem (3.6) aşağıdaki gibi olur [13].



$$S_R(t) \Big|_x = \sum_{k=1}^{N_k} A_k \exp \left\{ -j \frac{4\pi f_0}{c} \left[ (V_R + \Omega y_k) t + \frac{1}{2} (a_R + \gamma_k) t^2 \right] \right\} \quad (3.10)$$

Buradan iki terim içeren ikinci derece bir katsayı elde edilir. İlk terim olan  $\frac{1}{2} a_R t^2$  ile, ötelenme hareketinin hareketinin hatasını temsil eder ve yanca menzilden ( $y$ ), bağımsızdır. Yanca menzile bağlı olan İkinci terim,  $\frac{1}{2} \gamma_k t^2$  ile, dönel harekete bağlı hatayı temsil eder. İlk olarak, Uyarlanabilir Birleşik Zaman Frekans işlemiyle,  $(x_I, y_I)$  koordinat noktasına konumlandırılmış bir belirgin saçılma noktasının faz bilgisi çıkarılır ve bu bilgi ile ötelenme hareket telafisi gerçekleştirilir. Bu faz tahmin işlemi aşağıda verilen ifade de gösterilmiştir[13].

$$\exp \left[ -j \frac{4\pi f_0}{c} \left( f_{11} t + \frac{1}{2} f_{21} t^2 \right) \right] \quad (3.11)$$

Yinelemeli araştırmadan sonra en iyi fonksiyonu üreten katsayılar denklem (3.11)'de yerine yazılır. Daha sonra radar verisi, denklem (3.11)'den elde edilen veri ile çarpılır. Yapılan bu işlemle, model üzerinde mevcut saçılma noktalarının faz değerleri azaltılır ve böylece ötelenme hareketine bağlı olarak oluşan hata giderilir ve sadece denklem (3.12)'de gösterilen dönel hareketin hata terimlerini içeren ifade kalır.

$$\exp\left\{-j\frac{4\pi f_0}{c}\left[(y_i - y_1)\left(\Omega t + \frac{1}{2}\mathcal{R}^2\right)\right]\right\} \quad (3.12)$$

$(x_2, y_2)$  noktasında alınan ikinci bir belirgin saçılma noktasına ait faz bilgisi çıkarılarak, dönel hareketin telafisi gerçekleştirilir.

$$\exp\left[-j\frac{4\pi f_0}{c}\left(f_{12}t + \frac{1}{2}f_{22}t^2\right)\right] \quad (3.13)$$

Denklem (3.12) ile (3.13) karşılaştırıldığında, çıkarılan faz bilgisinin, gözlem süresi ile dönme açısı arasındaki istenen bilgiyi verdiğini görülebilir.

$$\theta(t) = \Omega t + \frac{1}{2}\mathcal{R}^2 \approx f_{12}t + \frac{1}{2}f_{22}t^2 \quad (3.14)$$

Bu ilişki bir defada bulunur ve gözlem zamanı içerisinde bağımlı ikinci derece faz bilgisinin elimine edilip radar verisinin yeniden formatlanması mümkündür. yeniden formatlama işleminden sonra, her bir saçılma noktasının fazı, veriden çıkarılan düzenli olmayan dönme oranının neden olduğu arta kalan hareket ve açı ile doğrudan ilişkilidir [13,25].

### 3.1.3. Minimum Entropi Metodu

Entropi, herhangi bir sistemin düzensizliğidir ve herhangi bir sistemin düzensizliğini hesaplamak için kullanılan bir yoldur. Entropi, bir sinyalin düzensizlik derecesini hesaplanmasını sağlar [23]. Saçılma verisinin bir boyutlu entropi fonksiyonu aşağıda verildiği gibi tanımlanmıştır [26,27].

$$X = \{x_1, x_2, \dots, x_N\} \quad (3.15)$$

$$E(X) = -\sum_{i=1}^N p_i \cdot \log_{10} p_i \quad (3.16)$$

$p_i$ ,  $X$ 'in olasılık fonksiyonunu gösterir ve aşağıdaki gibi gösterilir.

$$p_i = \frac{|x_i|}{\sum_{i=1}^N |x_i|} \quad (3.17)$$

Eğer bir dalga formunun enerjisi bütün noktalar üzerinde aynı tarzda dağılım gösteriyorsa, dalga formunun entropisi maksimum değere ulaşır. Bu söylemin tersine, eğer enerji sadece birkaç nokta üzerine yoğunlaşıyorsa, o noktalar ait genlikler diğerlerine göre çok büyük olacaktır ve dalga formunun entropisi minimuma ulaşacaktır [23].

Bir görüntünün temiz ve kaliteli olması, minimumu entropi yöntemi kullanılarak belirlenebilir. Radar görüntüsünün iki boyutlu entropi fonksiyonu denklem (3.18)'de gösterilmiştir[28].

$$E(I) = -\sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N I_{m,n} \cdot \log_{10}(I_{m,n}) \quad (3.18)$$

$I_{m,n}$ , görüntünün normalize edilmiş şeklidir ve aşağıda verildiği gibi tanımlanır.

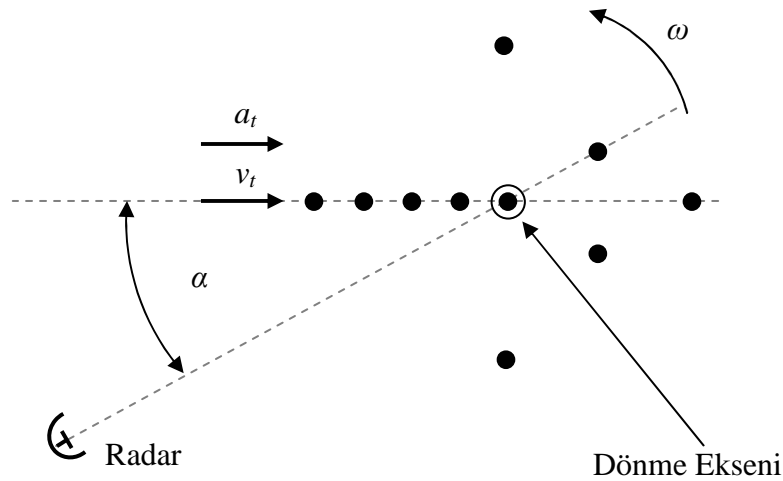
$$I_{m,n} = \frac{U_{m,n}}{\sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N U_{m,n}} \quad (3.19)$$

## 4. BULGULAR VE TARTIŞMASI

Bu bölümde değişik modeller üzerinde toplam 15 adet benzetim gerçekleştirilerek sentetik radar verileri elde etmiştir. Bu veriler üzerinde birleşik zaman frekans tekniklerini kullanan hareket telafisi algoritmaları uygulanarak benzetimlerde mevcut olan hedeflerin ötelenme ve dönme hareketlerine bağlı görüntü hatalarının azaltılması veya tamamen giderilmesi sağlanmıştır.

### 4.1. BENZETİM – 1 : MODEL – 1'E AİT HAREKET SENARYOSU

Birinci benzetime ait modelin ilgili parametreleri şekil 4.1 ve tablo 3'de verilmiştir. Hareket telafisinden önce hedefe ait TYAR görüntüsü şekil 4.2'de, hedefe ait menzil profil izlenmesi ile ilgili görüntü şekil 4.3'de gösterilmiştir. Model-1'e ait radar verisi üzerinde zaman frekans analiz işlemi ve  $f1$  ve  $f2$  parametreleri üzerinde yapılan yineleme araştırması sonucunda elde edilen en iyi chirp sinyalin görüntüsü şekil 4.4'de gösterilmiştir. Zaman frekans işlemiyle elde edilen şekil 4.4'deki en iyi "civıltı" fonksiyonu ile sentetik radar verisi çarpıldıktan sonra ötelenme hareketine ait hatalar azaltılır bu hareket telafisi işleminden sonra benzetim modeline ait TYAR görüntüsü şekil 4.5'de ve menzil profilleri izleme görüntüsü şekil 4.6'da verilmiştir.

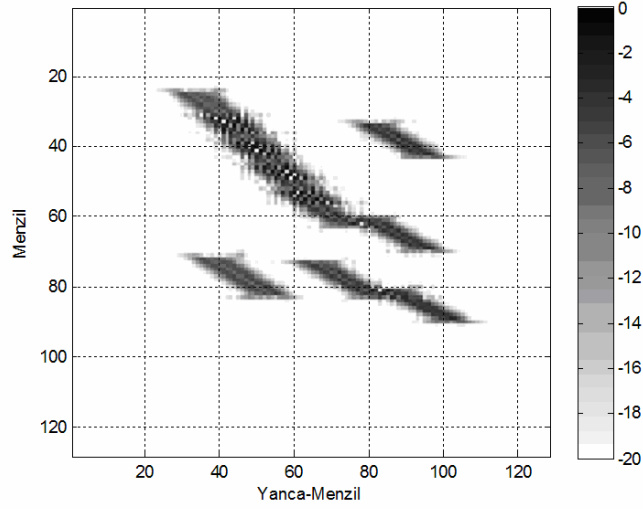


$$v_t=11 \text{ m/sn}, a_t=0.7 \text{ m/sn}^2, \omega=0.04 \text{ rad/sn}, \alpha=45^\circ$$

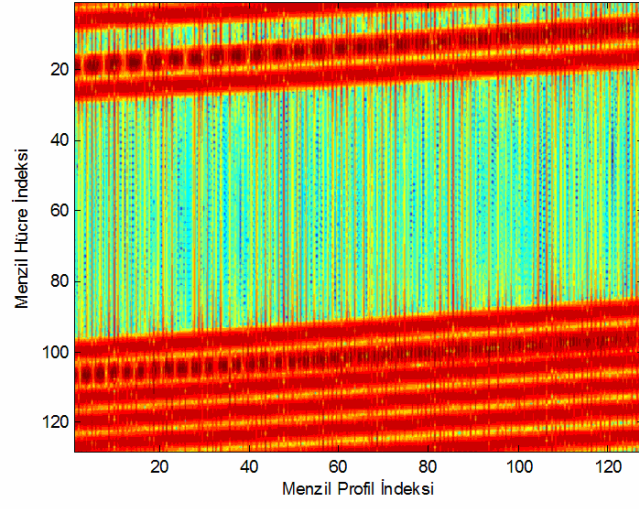
Şekil 4.1. Model-1'e ait Benzetim Gösterimi

PARAMETRE AÇIKLAMASI	Dönme Hızı $\Omega$ ( <i>radyan/sn</i> )	Ötelenme Hızı $v_t$ ( <i>metre/sn</i> )	Ötelenme İvmesi $a_t$ ( <i>metre/sn<sup>2</sup></i> )	Ötelenme Hareket açısı $a$ ( <i>derece</i> )	Frekans Adım Boyutu $\Delta f$ ( <i>MHz</i> )	Başlangıç Frekansı $f_0$ ( <i>GHz</i> )
DEĞER	0.04	11	0.7	45	1	3
PARAMETRE AÇIKLAMASI	Darbedeki Sinyal Adedi – $N$ –	Darbe Adedi – $M$ –	Hedefin Saçılma Nokta Sayısı	Band genişliği $\beta$ ( <i>MHz</i> )	Radar Örnekleme Frekansı ( <i>kHz</i> )	Radar Gözlem Süresi $T$ ( <i>sn</i> )
DEĞER	128	128	10	128	15	0.8192

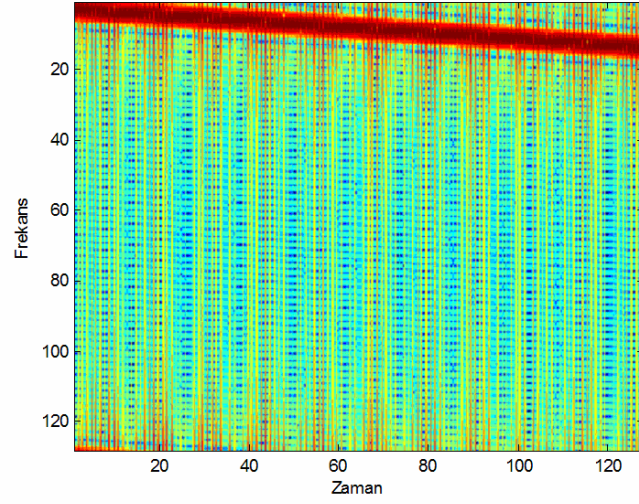
Tablo 3. Model-1'e ait Benzetim Parametreleri ve Değerleri



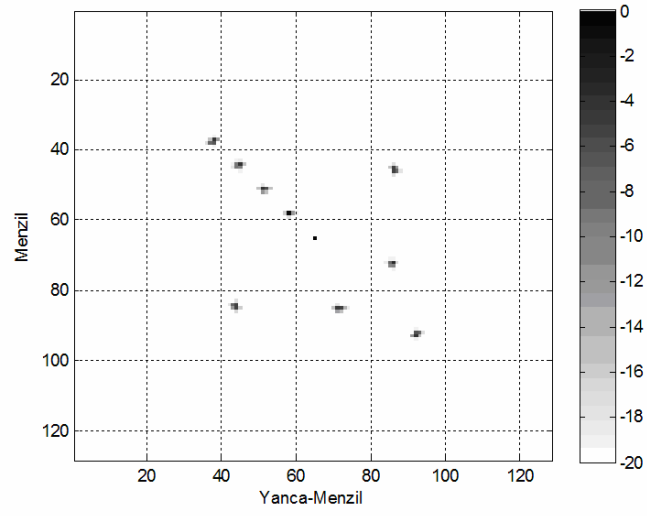
Şekil 4.2. Model-1'e ait Hareket Telafisinden Önce TYAR görüntüsü



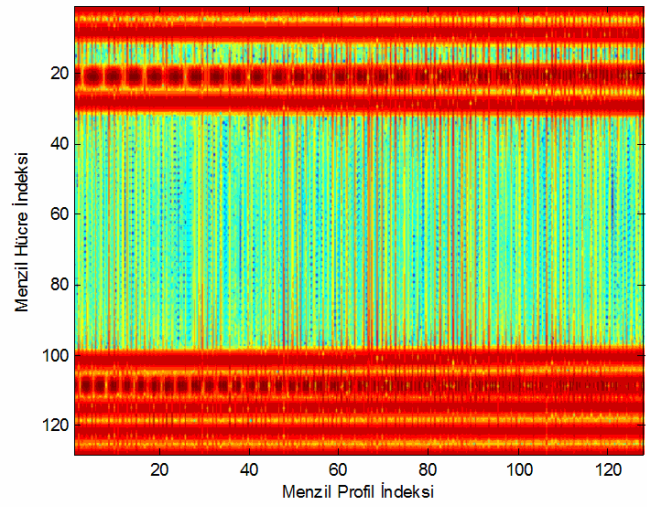
Şekil 4.3. Model-1'e ait Hareket Telifisinden Önce Menzül Profili İzleme Görüntüsü



Şekil 4.4. Model-1'e ait Zaman Frekans İşlemi Kullanılarak Elde Edilen En İyi Chirp Fonksiyonun Görüntüsü



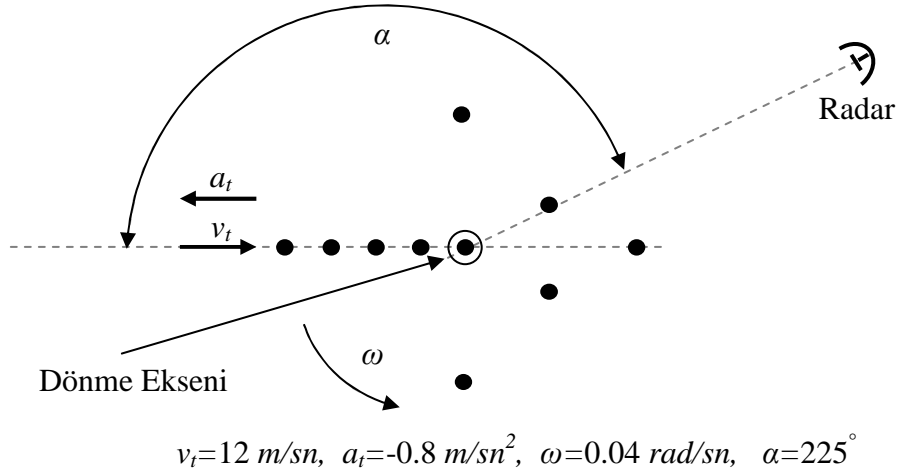
Şekil 4.5. Ötelenme Hareket Telafisinden Sonra Model-1 Benzetimine ait TYAR Görüntüsü



Şekil 4.6. Ötelenme Hareket Telafisinden Sonra Model-1 Benzetimine ait Menzil Profillerini İzleme Görüntüsü

#### 4.2. BENZETİM – 2 : MODEL – 2'YE AİT HAREKET SENARYOSU

İkinci benzetime ait modelin ilgili parametreleri şekil 4.7 ve tablo 4'de verilmiştir. Model-2 üzerinde toplam 10 adet saçılma noktası seçilmiştir. Hareket telafisinden önce hedefe ait TYAR görüntüsü şekil 4.8'de, hedefe ait menzil profil izlenmesi ile ilgili görüntü şekil 4.9'da gösterilmiştir. Model-2'ye ait radar verisi üzerinde zaman frekans analiz işlemi ve  $f1$  ve  $f2$  parametreleri üzerinde yapılan yineleme araştırması sonucunda elde edilen en iyi chirp sinyalin görüntüsü şekil 4.10'da gösterilmiştir. Zaman frekans işlemiyle elde edilen şekil 4.10'daki en iyi chirp fonksiyonu ile sentetik radar verisi çarpıldıktan sonra ötelenme hareketine ait hatalar azaltılır bu hareket telafisi işleminden sonra benzetim modeline ait TYAR görüntüsü şekil 4.11'de ve menzil profilleri izleme görüntüsü şekil 4.12'de verilmiştir.

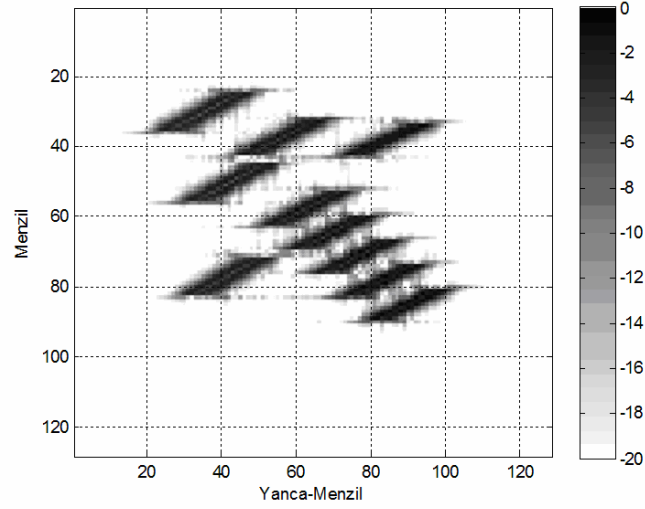


Şekil 4.7. Model-2'ye ait Benzetimin Gösterimi

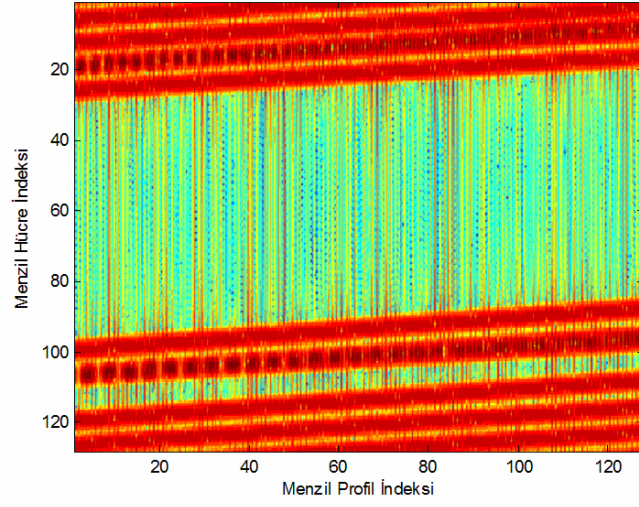


PARAMETRE AÇIKLAMASI	Dönme Hızı $\Omega$ ( <i>radyan/sn</i> )	Ötelenme Hızı $v_t$ ( <i>metre/sn</i> )	Ötelenme İvmesi $a_t$ ( <i>metre/sn<sup>2</sup></i> )	Ötelenme Hareket açısı $a$ ( <i>derece</i> )	Frekans Adım Boyutu $\Delta f$ ( <i>MHz</i> )	Başlangıç Frekansı $f_0$ ( <i>GHz</i> )
DEĞER	0.04	12	-0.8	225	1	3
PARAMETRE AÇIKLAMASI	Darbedeki Sinyal Adedi – $N$ –	Darbe Adedi – $M$ –	Hedefin Saçılma Nokta Sayısı	Band genişliği $\beta$ ( <i>MHz</i> )	Radar Örnekleme Frekansı ( <i>kHz</i> )	Radar Gözlem Süresi $T$ ( <i>sn</i> )
DEĞER	128	128	10	128	15	0.8192

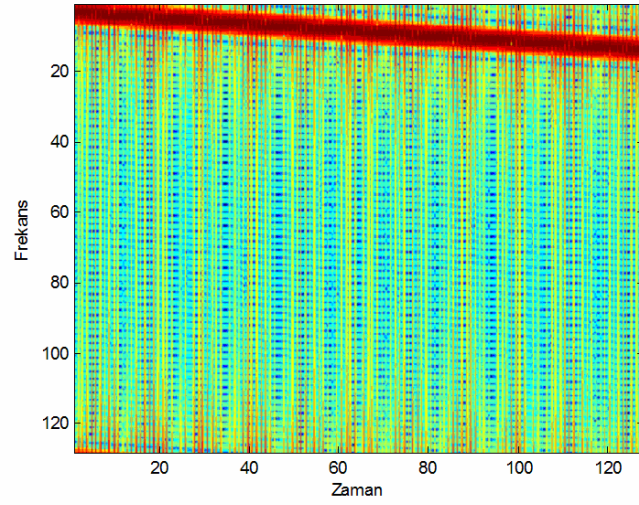
Tablo 4. Model-2'ye ait Benzetim Parametreleri ve Değerleri



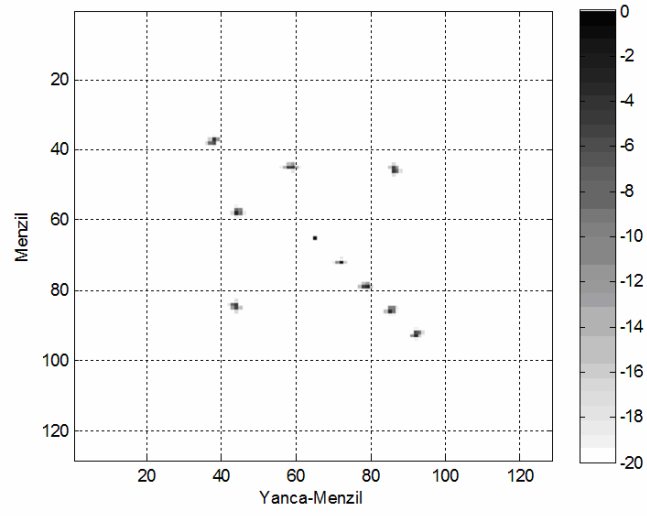
Şekil 4.8. Model-2'ye ait Hareket Telafisinden Önce TYAR Görüntüsü



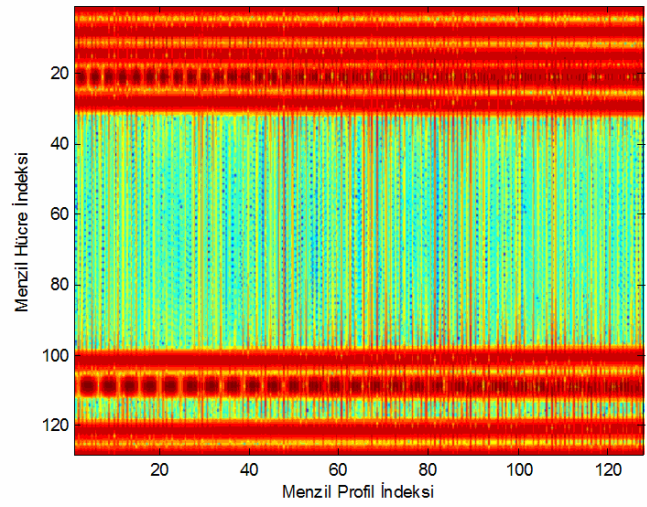
Şekil 4.9. Model-2'ye ait Hareket Telifisinden Önce Menzül Profili İzleme Görüntüsü



Şekil 4.10. Model-2'ye ait Zaman Frekans İşlemi Kullanılarak Elde Edilen En İyi Chirp Fonksiyonun Görüntüsü



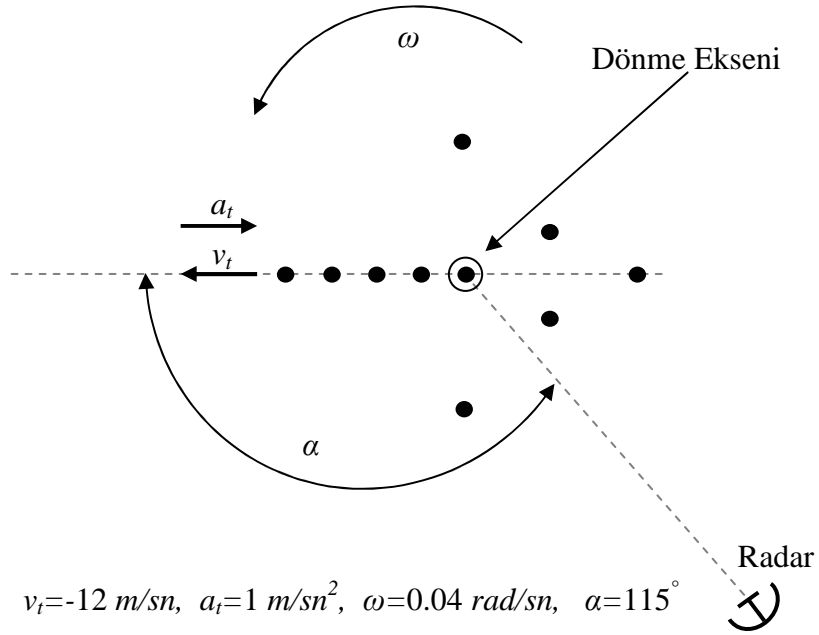
Şekil 4.11. Ötelenme Hareket Telafisinden Sonra Model-2'nin Benzetimine ait TYAR Görüntüsü



Şekil 4.12. Ötelenme Hareket Telafisinden Sonra Model-2'nin Benzetimine ait Menzil Profillerini İzleme Görüntüsü

### 4.3. BENZETİM – 3 : MODEL – 3'E AİT HAREKET SENARYOSU

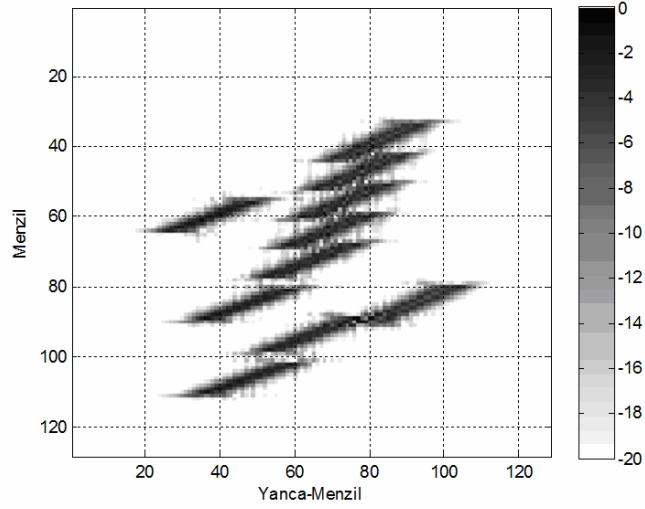
Üçüncü benzetime ait modelin ilgili parametreleri şekil 4.13 ve tablo 5'de verilmiştir. Model-3 üzerinde toplam 10 adet saçılma noktası seçilmiştir. Hareket telafisinden önce hedefe ait TYAR görüntüsü şekil 4.14'de, hedefe ait menzil profil izlenmesi ile ilgili görüntü şekil 4.15'da gösterilmiştir. Model-3'e ait radar verisi üzerinde zaman frekans analiz işlemi ve  $f1$  ve  $f2$  parametreleri üzerinde yapılan yineleme araştırması sonucunda elde edilen en iyi chirp sinyalin görüntüsü şekil 4.16'da gösterilmiştir. Zaman frekans işlemiyle elde edilen şekil 4.16'daki en iyi chirp fonksiyonu ile sentetik radar verisi çarpıldıktan sonra ötelenme hareketine ait hatalar azaltılır bu hareket telafisi işleminden sonra benzetim modeline ait TYAR görüntüsü şekil 4.17'de ve menzil profilleri izleme görüntüsü şekil 4.18'de verilmiştir.



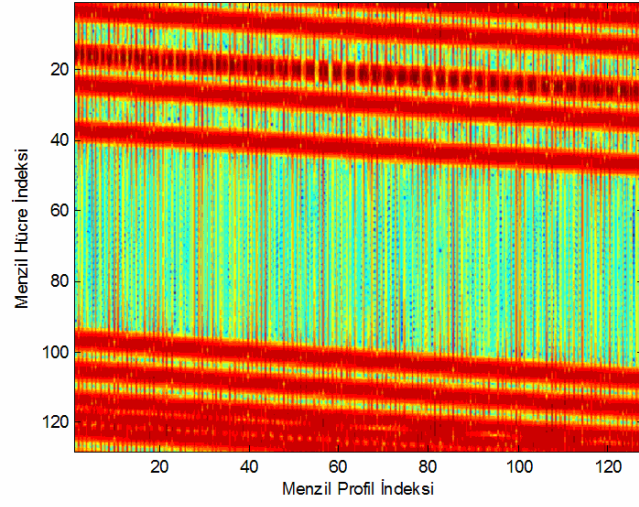
Şekil 4.13. Model-3'ye ait Benzetimin Gösterimi

PARAMETRE AÇIKLAMASI	Dönme Hızı $\Omega$ ( <i>radyan/sn</i> )	Ötelenme Hızı $v_t$ ( <i>metre/sn</i> )	Ötelenme İvmesi $a_t$ ( <i>metre/sn<sup>2</sup></i> )	Ötelenme Hareket açısı $a$ ( <i>derece</i> )	Frekans Adım Boyutu $\Delta f$ ( <i>MHz</i> )	Başlangıç Frekansı $f_0$ ( <i>GHz</i> )
DEĞER	0.04	-12	1	115	1	3
PARAMETRE AÇIKLAMASI	Darbedeki Sinyal Adedi – $N$ –	Darbe Adedi – $M$ –	Hedefin Saçılma Nokta Sayısı	Band genişliği $\beta$ ( <i>MHz</i> )	Radar Örnekleme Frekansı ( <i>kHz</i> )	Radar Gözlem Süresi $T$ ( <i>sn</i> )
DEĞER	128	128	10	128	15	0.8192

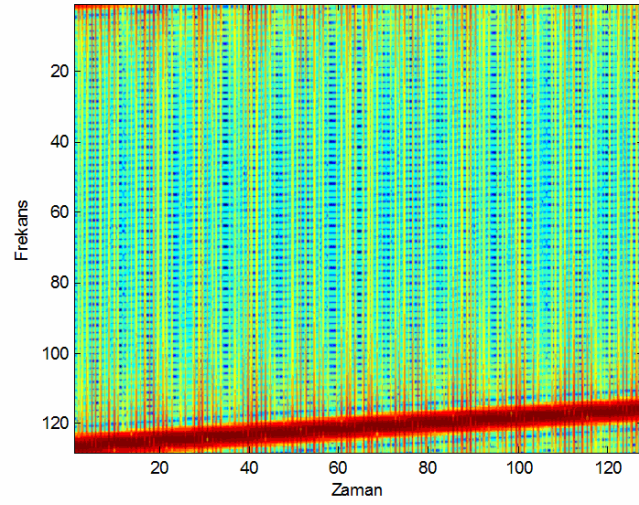
Tablo 5. Model-3'e ait Benzetim Parametreleri ve Değerleri



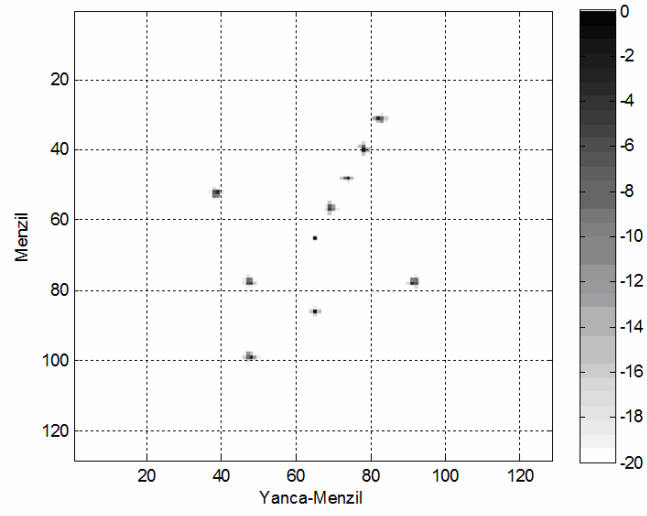
Şekil 4.14. Model-3'e ait Hareket Telafisinden Önce TYAR Görüntüsü



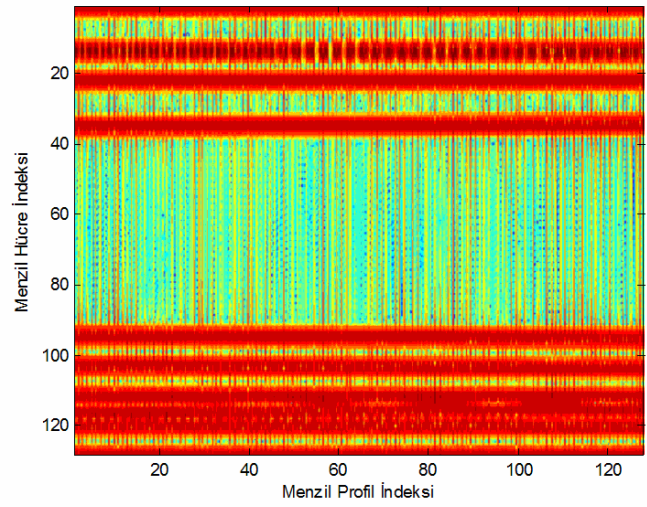
Şekil 4.15. Model-3'e ait Hareket Telifisinden Önce Menzül Profili İzleme Görüntüsü



Şekil 4.16. Model-3'e ait Zaman Frekans İşlemi Kullanılarak Elde Edilen En İyi Chirp Fonksiyonun Görüntüsü



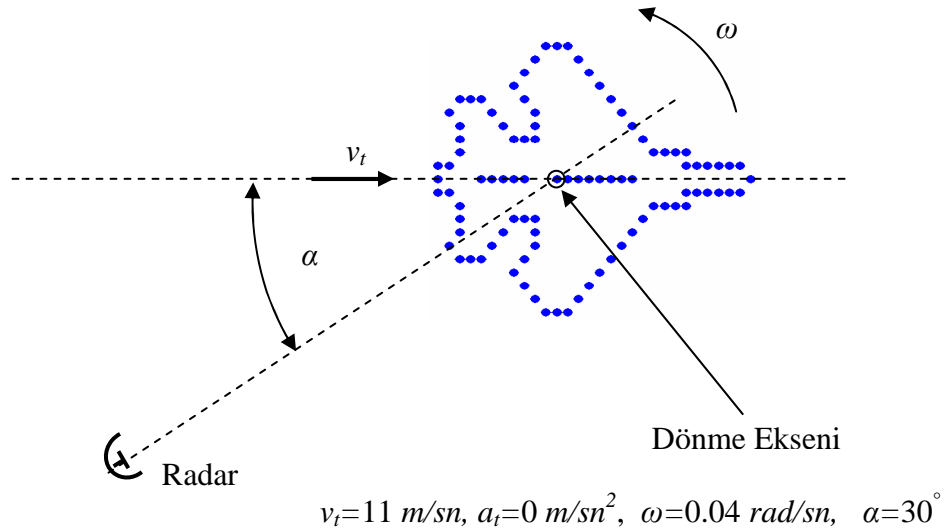
Şekil 4.17. Ötelenme Hareket Telafisinden Sonra Model-3'ün Benzetimine ait TYAR Görüntüsü



Şekil 4.18. Ötelenme Hareket Telafisinden Sonra Model-3'ün Benzetimine ait Menzil Profillerini İzleme Görüntüsü

#### 4.4. BENZETİM – 4 : MODEL – 4'E AİT HAREKET SENARYOSU

Dördüncü benzetime ait modelin ilgili parametreleri şekil 4.19 ve tablo 6'da verilmiştir. Model-4 üzerinde toplam 95 adet saçılma noktası seçilmiştir. Hareket telafisinden önce hedefe ait TYAR görüntüsü şekil 4.20'de, hedefe ait menzil profil izlenmesi ile ilgili görüntü şekil 4.21'de gösterilmiştir. Model-4'e ait radar verisi üzerinde zaman frekans analiz işlemi ve  $f1$  ve  $f2$  parametreleri üzerinde yapılan yineleme araştırması sonucunda elde edilen en iyi chirp sinyalin görüntüsü şekil 4.22'de gösterilmiştir. Zaman frekans işlemiyle elde edilen şekil 4.22'deki en iyi chirp fonksiyonu ile sentetik radar verisi çarpıldıktan sonra ötelenme hareketine ait hatalar azaltılır bu hareket telafisi işleminden sonra benzetim modeline ait TYAR görüntüsü şekil 4.23'de ve menzil profilleri izleme görüntüsü şekil 4.24'de verilmiştir.

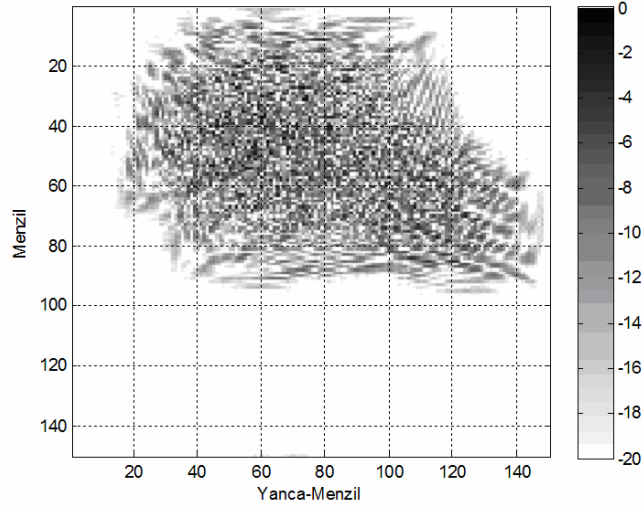


Şekil 4.19. Model-4'e ait Benzetimin Gösterimi

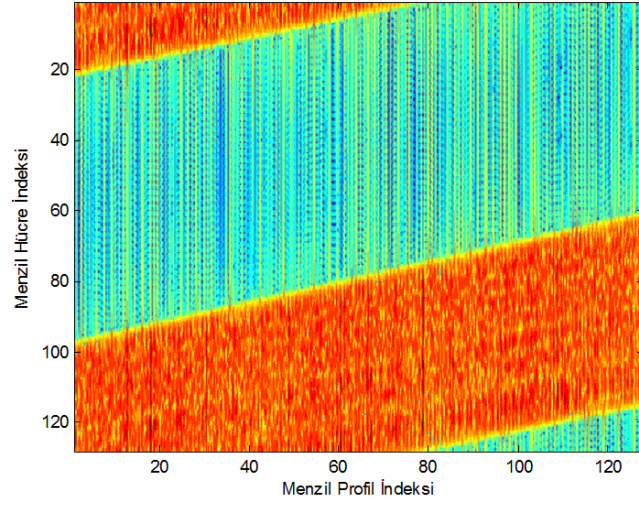


PARAMETRE AÇIKLAMASI	Dönme Hızı $\Omega$ ( <i>radyan/sn</i> )	Ötelenme Hızı $v_t$ ( <i>metre/sn</i> )	Ötelenme İvmesi $a_t$ ( <i>metre/sn<sup>2</sup></i> )	Ötelenme Hareket açısı $a$ ( <i>derece</i> )	Frekans Adım Boyutu $\Delta f$ ( <i>MHz</i> )	Başlangıç Frekansı $f_0$ ( <i>GHz</i> )
DEĞER	0.04	11	0	30	2.57	8
PARAMETRE AÇIKLAMASI	Darbedeki Sinyal Adedi – $N$ –	Darbe Adedi – $M$ –	Hedefin Saçılma Nokta Sayısı	Band genişliği $\beta$ ( <i>MHz</i> )	Radar Örnekleme Frekansı ( <i>kHz</i> )	Radar Gözlem Süresi $T$ ( <i>sn</i> )
DEĞER	150	150	95	384	15	1.49

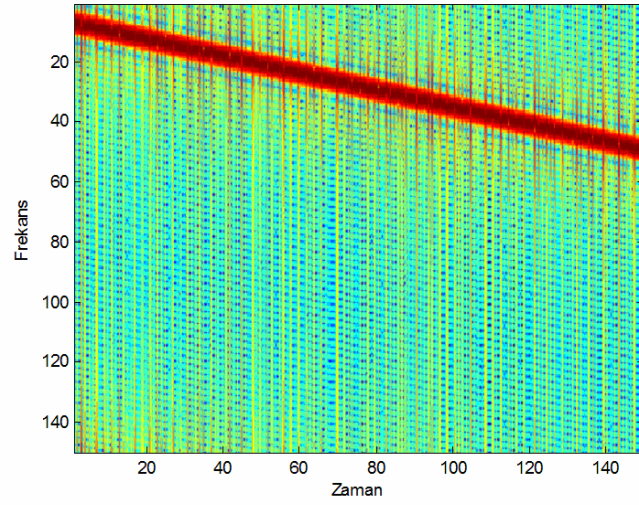
Tablo 6. Model-4'e ait Benzetim Parametreleri ve Değerleri



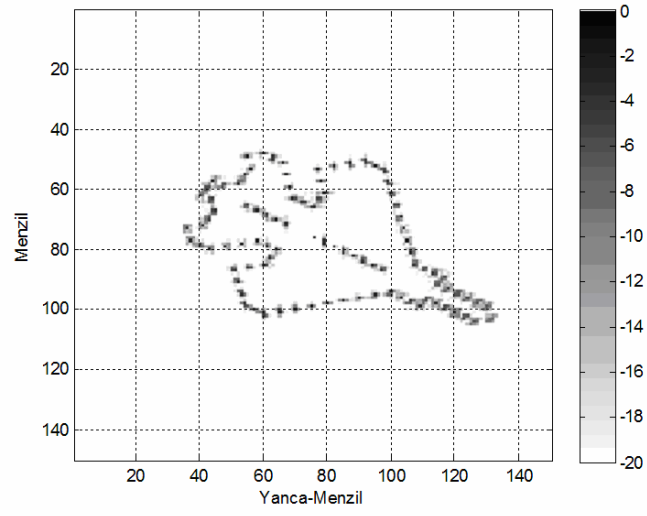
Şekil 4.20. Model-4'e ait Hareket Telafisinden Önce TYAR Görüntüsü



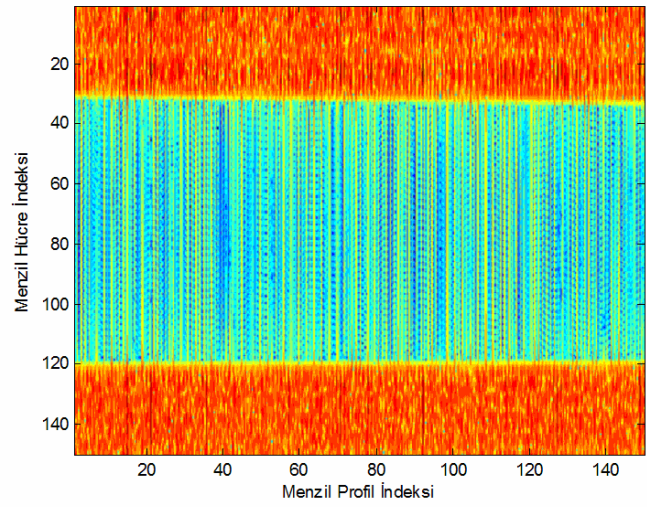
Şekil 4.21. Model-4'e ait Hareket Telifisinden Önce Menzül Profili İzleme Görüntüsü



Şekil 4.22. Model-4'e ait Zaman Frekans İşlemi Kullanılarak Elde Edilen En İyi Chirp Fonksiyonun Görüntüsü



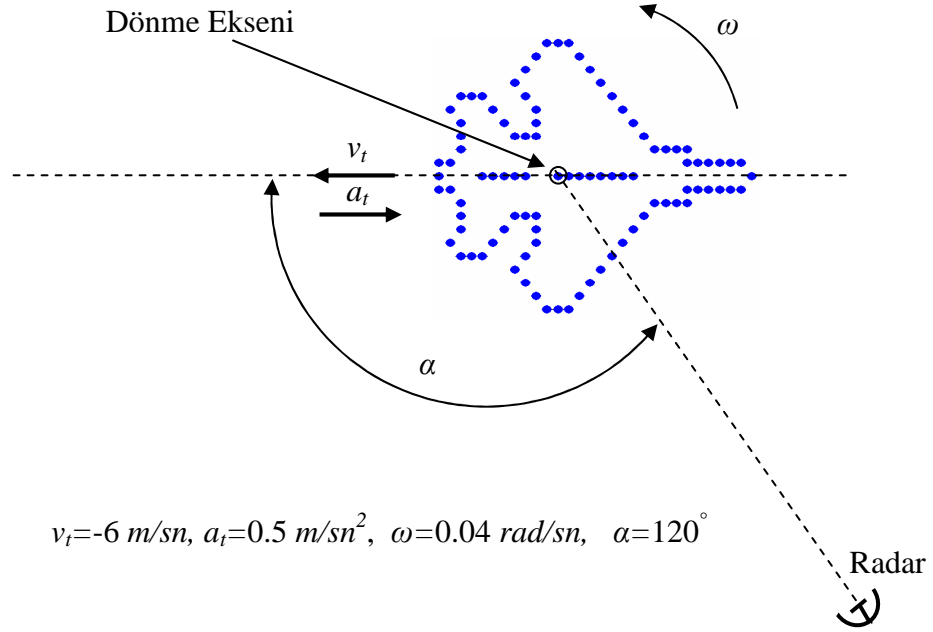
Şekil 4.23. Ötelenme Hareket Telafisinden Sonra Model-4'ün Benzetimine ait TYAR Görüntüsü



Şekil 4.24. Ötelenme Hareket Telafisinden Sonra Model-4'ün Benzetimine ait Menzil Profillerini İzleme Görüntüsü

#### 4.5. BENZETİM – 5 : MODEL – 5'E AİT HAREKET SENARYOSU

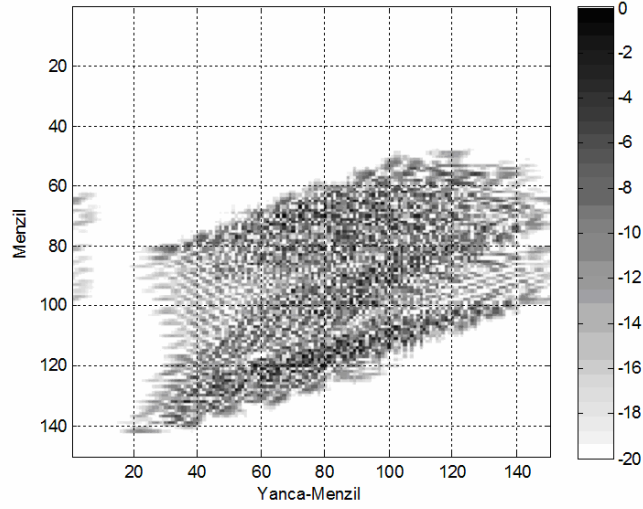
Beşinci benzetime ait modelin ilgili parametreleri şekil 4.25 ve tablo 7'de verilmiştir. Model-5 üzerinde toplam 95 adet saçılma noktası seçilmiştir. Hareket telafisinden önce hedefe ait TYAR görüntüsü şekil 4.26'da, hedefe ait menzil profil izlenmesi ile ilgili görüntü şekil 4.27'de gösterilmiştir. Model-5'e ait radar verisi üzerinde zaman frekans analiz işlemi ve  $f1$  ve  $f2$  parametreleri üzerinde yapılan yineleme araştırması sonucunda elde edilen en iyi chirp sinyalin görüntüsü şekil 4.28'de gösterilmiştir. Zaman frekans işlemiyle elde edilen şekil 4.28'deki en iyi chirp fonksiyonu ile sentetik radar verisi çarpıldıktan sonra ötelenme hareketine ait hatalar azaltılır bu hareket telafisi işleminden sonra benzetim modeline ait TYAR görüntüsü şekil 4.29'de ve menzil profilleri izleme görüntüsü şekil 4.30'de verilmiştir.



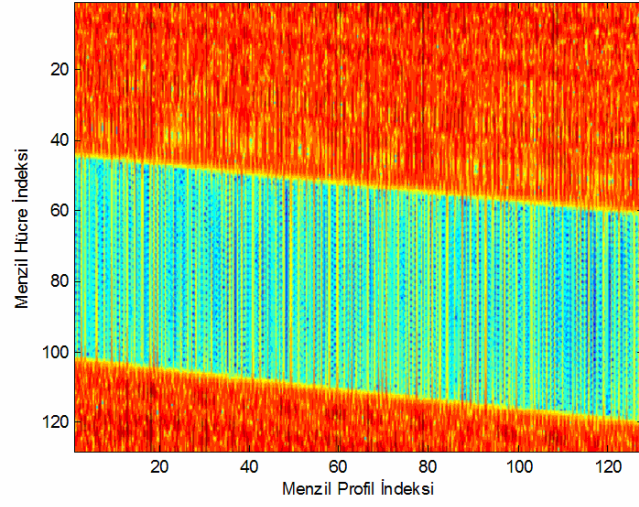
Şekil 4.25. Model-5'e ait Benzetimin Gösterimi

PARAMETRE AÇIKLAMASI	Dönme Hızı $\Omega$ ( <i>radyan/sn</i> )	Ötelenme Hızı $v_t$ ( <i>metre/sn</i> )	Ötelenme İvmesi $a_t$ ( <i>metre/sn<sup>2</sup></i> )	Ötelenme Hareket açısı $a$ ( <i>derece</i> )	Frekans Adım Boyutu $\Delta f$ ( <i>MHz</i> )	Başlangıç Frekansı $f_0$ ( <i>GHz</i> )
DEĞER	0.04	-6	0.5	120	2.57	8
PARAMETRE AÇIKLAMASI	Darbedeki Sinyal Adedi – $N$ –	Darbe Adedi – $M$ –	Hedefin Saçılma Nokta Sayısı	Band genişliği $\beta$ ( <i>MHz</i> )	Radar Örnekleme Frekansı ( <i>kHz</i> )	Radar Gözlem Süresi $T$ ( <i>sn</i> )
DEĞER	150	150	95	384	15	1.49

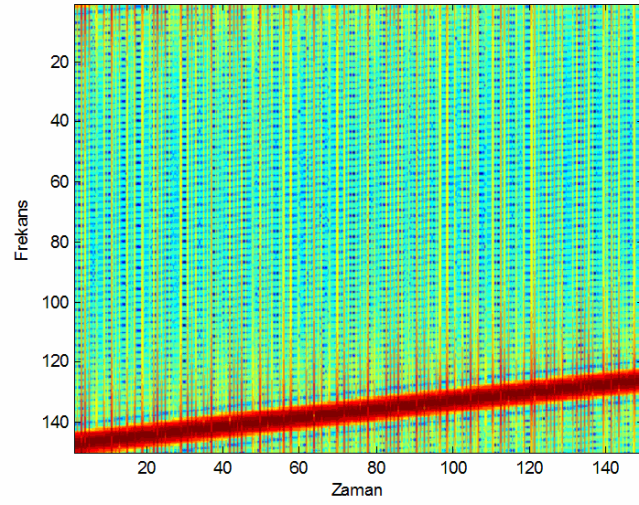
Tablo 7. Model-5'e ait Benzetim Parametreleri ve Değerleri



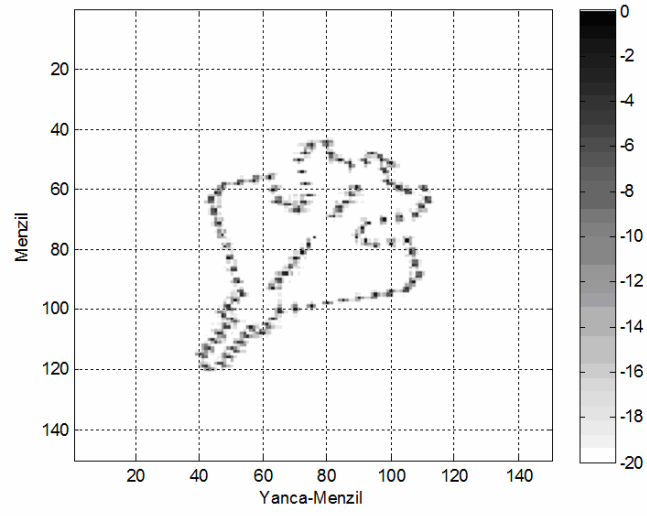
Şekil 4.26. Model-5'e ait Hareket Telafisinden Önce TYAR Görüntüsü



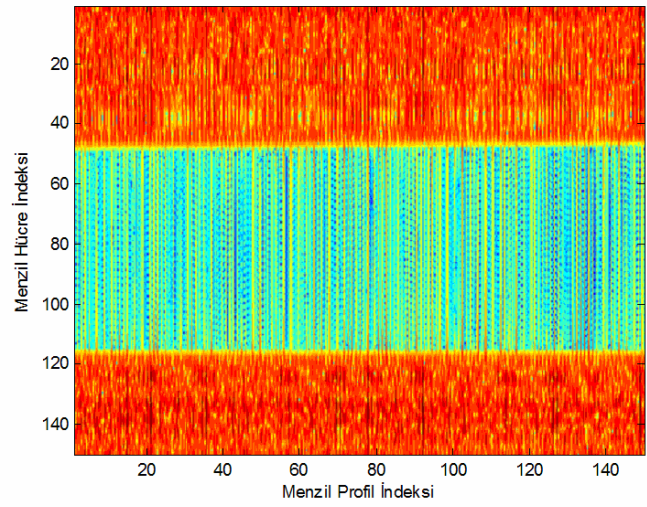
Şekil 4.27. Model-5'e ait Hareket Telifisinden Önce Menzül Profili İzleme Görüntüsü



Şekil 4.28. Model-5'e ait Zaman Frekans İşlemi Kullanılarak Elde Edilen En İyi Chirp Fonksiyonun Görüntüsü



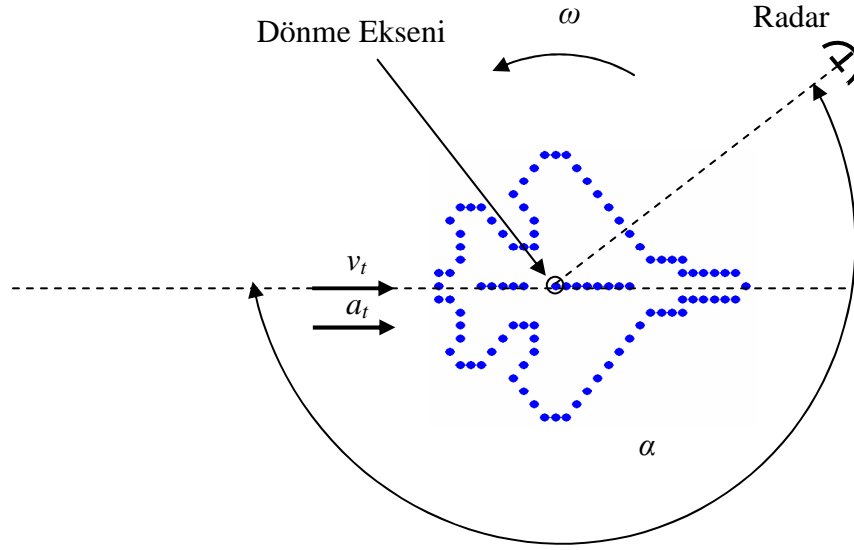
Şekil 4.29. Ötelenme Hareket Telafisinden Sonra Model-5'in Benzetimine ait TYAR Görüntüsü



Şekil 4.30. Ötelenme Hareket Telafisinden Sonra Model-5'in Benzetimine ait Menzil Profillerini İzleme Görüntüsü

#### 4.6. BENZETİM – 6 : MODEL – 6’YA AİT HAREKET SENARYOSU

Altıncı benzetime ait modelin ilgili parametreleri şekil 4.31 ve tablo 8’de verilmiştir. Model-6 üzerinde toplam 95 adet saçılma noktası seçilmiştir. Hareket telafisinden önce hedefe ait TYAR görüntüsü şekil 4.32’de, hedefe ait menzil profil izlenmesi ile ilgili görüntü şekil 4.33’de gösterilmiştir. Model-6’ya ait radar verisi üzerinde zaman frekans analiz işlemi ve  $f1$  ve  $f2$  parametreleri üzerinde yapılan yineleme araştırması sonucunda elde edilen en iyi chirp sinyalin görüntüsü şekil 4.34’de gösterilmiştir. Zaman frekans işlemiyle elde edilen şekil 4.34’deki en iyi chirp fonksiyonu ile sentetik radar verisi çarpıldıktan sonra ötelenme hareketine ait hatalar azaltılır bu hareket telafisi işleminden sonra benzetim modeline ait TYAR görüntüsü şekil 4.35’de ve menzil profilleri izleme görüntüsü şekil 4.36’da verilmiştir.



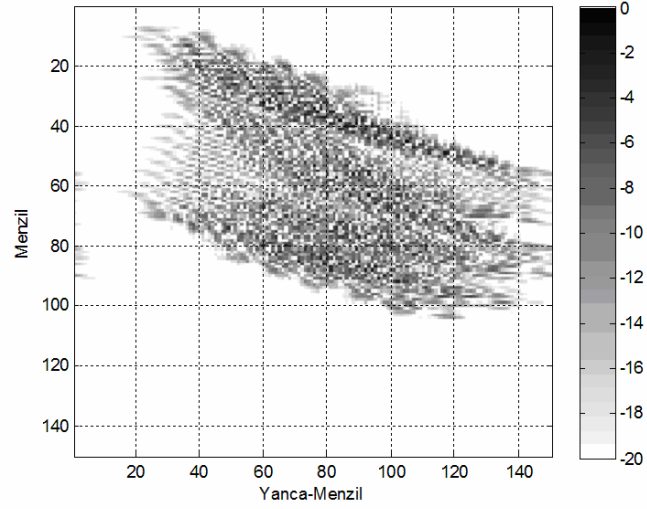
$$v_t=5 \text{ m/sn}, a_t=0.5 \text{ m/sn}^2, \omega=0.04 \text{ rad/sn}, \alpha=240^\circ$$

Şekil 4.31. Model-6’ya ait Benzetimin Gösterimi

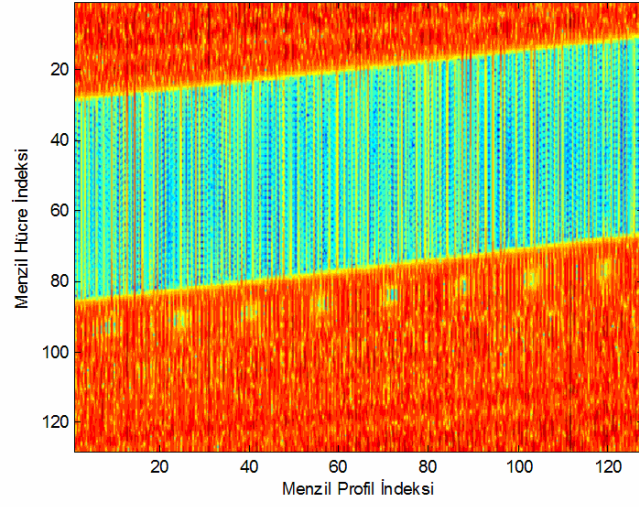


PARAMETRE AÇIKLAMASI	Dönme Hızı $\Omega$ ( <i>radyan/sn</i> )	Ötelenme Hızı $v_t$ ( <i>metre/sn</i> )	Ötelenme İvmesi $a_t$ ( <i>metre/sn<sup>2</sup></i> )	Ötelenme Hareket açısı $a$ ( <i>derece</i> )	Frekans Adım Boyutu $\Delta f$ ( <i>MHz</i> )	Başlangıç Frekansı $f_0$ ( <i>GHz</i> )
DEĞER	0.04	5	0.5	240	2.57	8
PARAMETRE AÇIKLAMASI	Darbedeki Sinyal Adedi – $N$ –	Darbe Adedi – $M$ –	Hedefin Saçılma Nokta Sayısı	Band genişliği $\beta$ ( <i>MHz</i> )	Radar Örnekleme Frekansı ( <i>kHz</i> )	Radar Gözlem Süresi $T$ ( <i>sn</i> )
DEĞER	150	150	95	384	15	1.49

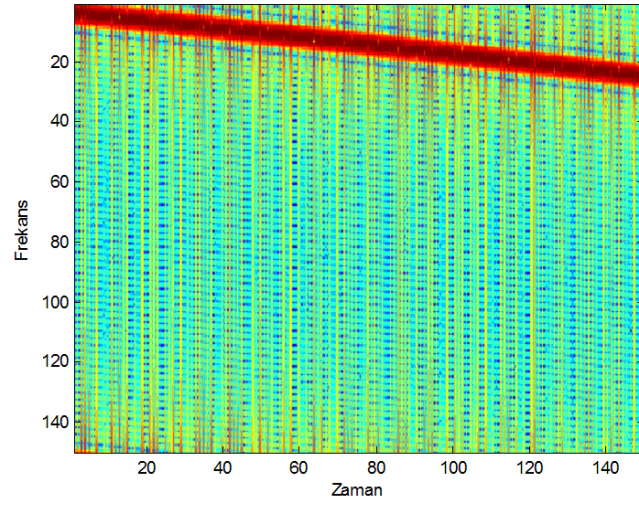
Tablo 8. Model-6'ya ait Benzetim Parametreleri ve Değerleri



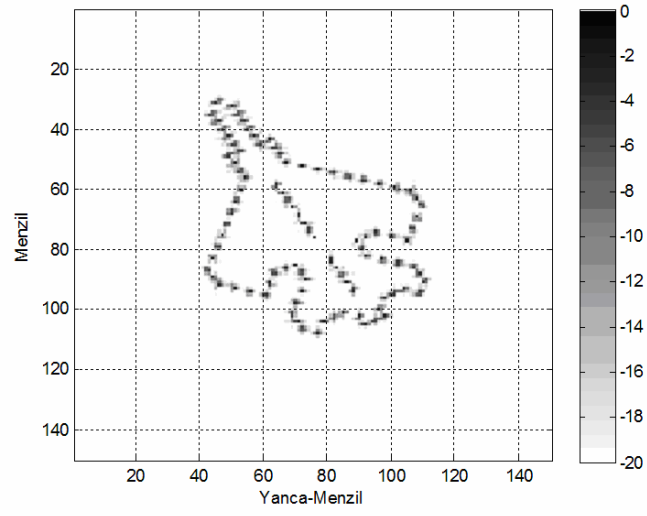
Şekil 4.32. Model-6'ya ait Hareket Telifisinden Önce TYAR Görüntüsü



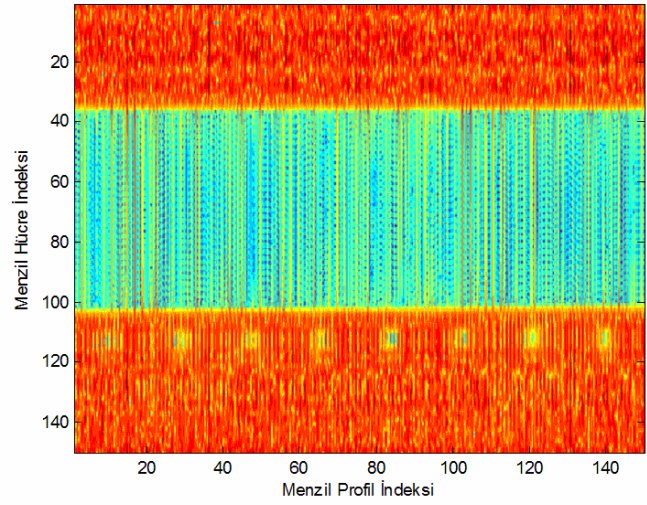
Şekil 4.33. Model-6'ya ait Hareket Telafisinden Önce Menzül Profili İzleme Görüntüsü



Şekil 4.34. Model-6'ya ait Zaman Frekans İşlemi Kullanılarak Elde Edilen En İyi Chirp Fonksiyonun Görüntüsü



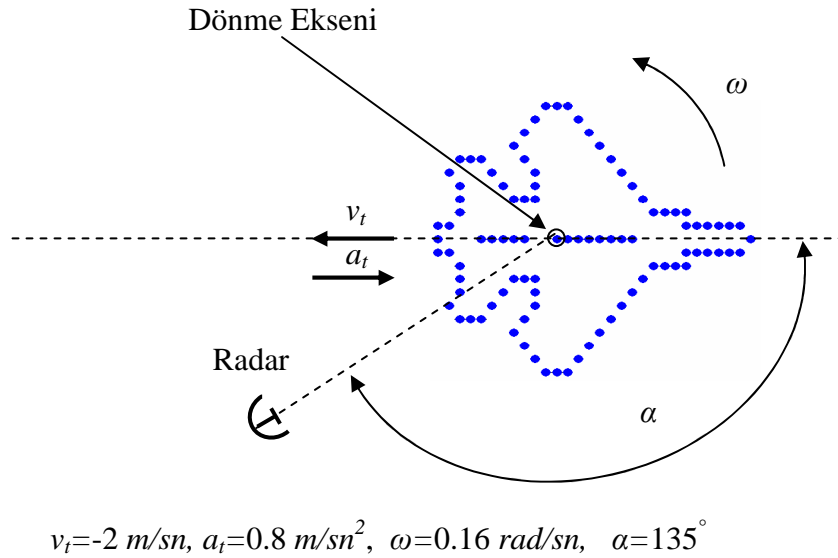
Şekil 4.35. Ötelenme Hareket Telafisinden Sonra Model-6'nın Benzetimine ait TYAR Görüntüsü



Şekil 4.36. Ötelenme Hareket Telafisinden Sonra Model-6'nın Benzetimine ait Menzil Profillerini İzleme Görüntüsü

#### 4.7. BENZETİM – 7 : MODEL – 7'YE AİT HAREKET SENARYOSU

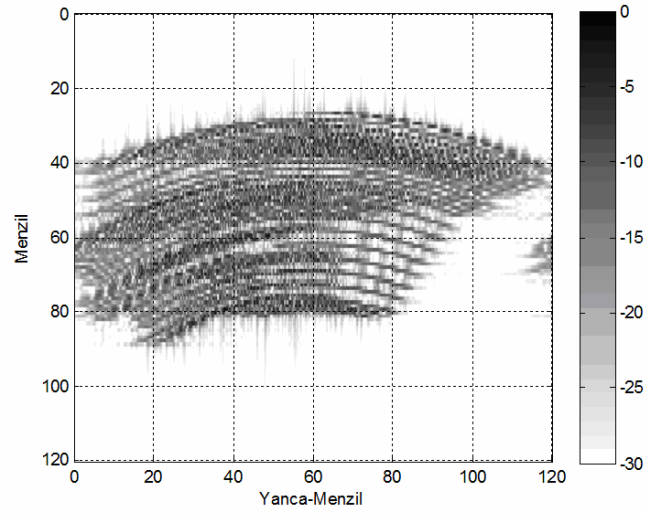
Yedinci benzetime ait modelin ilgili parametreleri şekil 4.37 ve tablo 9'da verilmiştir. Model-7 üzerinde toplam 95 adet saçılma noktası seçilmiştir. Benzetimde ötelenme hareketi ile yüksek oranda açısal hıza bağlı dönme hareketi üretilmiştir. Hareket telafisinden önce hedefe ait TYAR görüntüsü şekil 4.38'de, hedefe ait menzil profil izlenmesi ile ilgili görüntü şekil 4.39'da gösterilmiştir. Model-7'ye ait radar verisi üzerinde zaman frekans analiz işlemi ve  $f1$  ve  $f2$  parametreleri üzerinde yapılan yineleme araştırması sonucunda elde edilen en iyi chirp sinyalin görüntüsü şekil 4.40'da gösterilmiştir. Zaman frekans işlemiyle elde edilen şekil 4.34'deki en iyi chirp fonksiyonu ile sentetik radar verisi çarpıldıktan sonra ötelenme hareketine ait hatalar azaltılır bu hareket telafisi işleminden sonra benzetim modeline ait TYAR görüntüsü şekil 4.41'de verilmiştir. Ötelenme hareket telafisinden sonra döne hareketin telafi Gabor Wavelet ve Kısa Zamanlı Fourier dönüşümü kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.42'de Gabor Wavelet dönüşümü kullanılarak gerçekleştirilen döne hareket telafisi sonucu ve şekil 4.43'de ise Kısa Zamanlı Fourier dönüşümü kullanılarak gerçekleştirilen döne hareket telafisi sonucu verilmiştir. Ötelenme ve döne hareket telafisinden sonra model-7'nin benzetimine ait menzil profillerini izleme görüntüsü şekil 4.44'de verilmiştir.



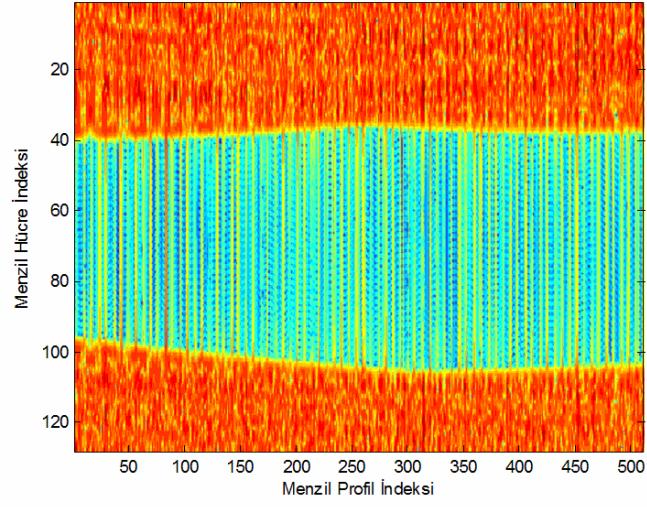
Şekil 4.37. Model-7'ye ait Benzetimin Gösterimi

PARAMETRE AÇIKLAMASI	Dönme Hızı $\Omega$ ( <i>radyan/sn</i> )	Ötelenme Hızı $v_t$ ( <i>metre/sn</i> )	Ötelenme İvmesi $a_t$ ( <i>metre/sn<sup>2</sup></i> )	Ötelenme Hareket açısı $a$ ( <i>derece</i> )	Frekans Adım Boyutu $\Delta f$ ( <i>MHz</i> )	Başlangıç Frekansı $f_0$ ( <i>GHz</i> )
DEĞER	0.16	-2	0.8	135	3.023	3
PARAMETRE AÇIKLAMASI	Darbedeki Sinyal Adedi – $N$ –	Darbe Adedi – $M$ –	Hedefin Saçılma Nokta Sayısı	Band genişliği $\beta$ ( <i>MHz</i> )	Radar Örnekleme Frekansı ( <i>kHz</i> )	Radar Gözlem Süresi $T$ ( <i>sn</i> )
DEĞER	128	512	95	384	20	3.27

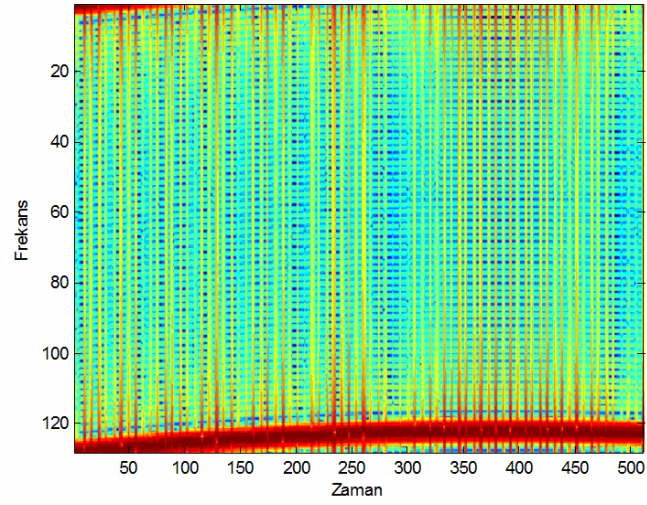
Tablo 9. Model-7'ye ait Benzetim Parametreleri ve Değerleri



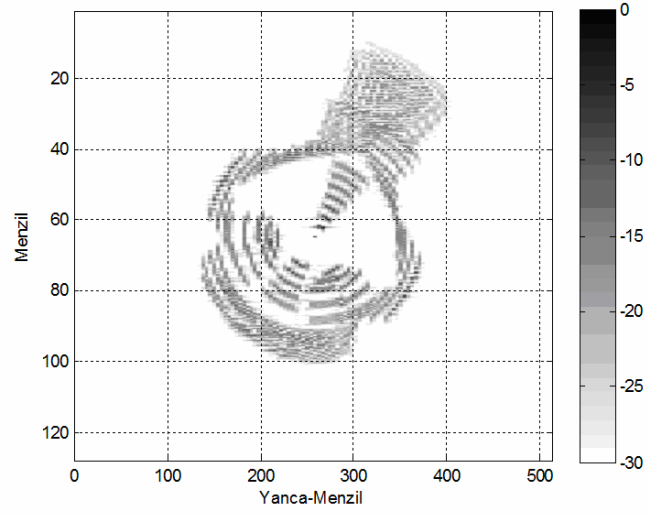
Şekil 4.38. Model-7'ye ait Hareket Telifisinden Önce TYAR Görüntüsü



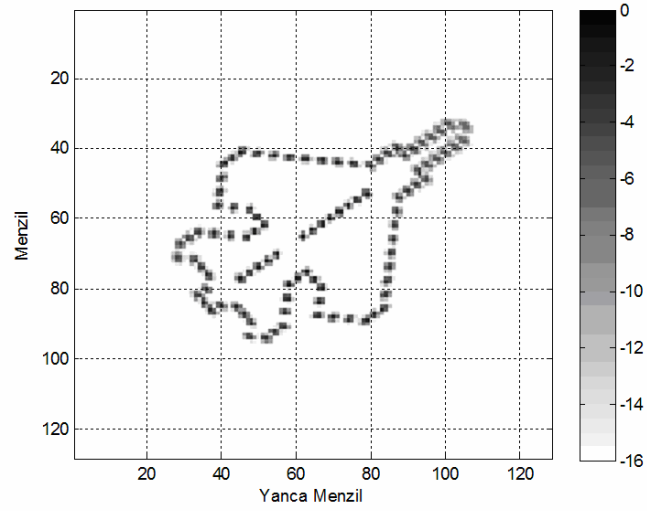
Şekil 4.39. Model-7'ye ait Hareket Telafisinden Önce Menzül Profili İzleme Görüntüsü



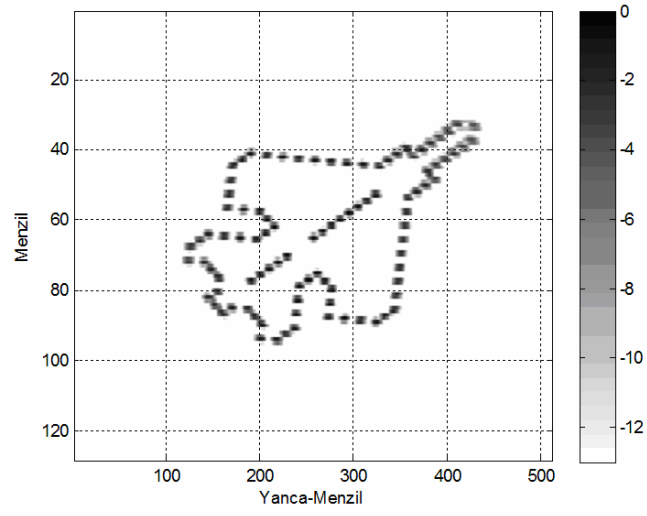
Şekil 4.40. Model-7'ye ait Zaman Frekans İşlemi Kullanılarak Elde Edilen En İyi Chirp Fonksiyonun Görüntüsü



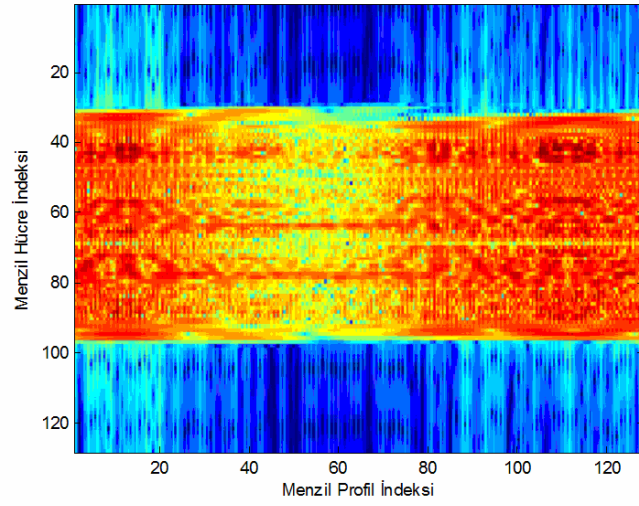
Şekil 4.41. Ötelenme Hareket Telafisinden Sonra Model-7'nin Benzetimine ait TYAR Görüntüsü



Şekil 4.42. Gabor Wavelet Dönüşümü Kullanılarak Gerçekleştirilen Dönel Hareket Telafisinden Sonra Model-7'nin Benzetimine ait TYAR Görüntüsü



Şekil 4.43. Kısa Zamanlı Fourier Dönüşümü Kullanılarak Gerçekleştirilen Dönel Hareket Telafisinden Sonra Model-7'nin Benzetimine ait TYAR Görüntüsü

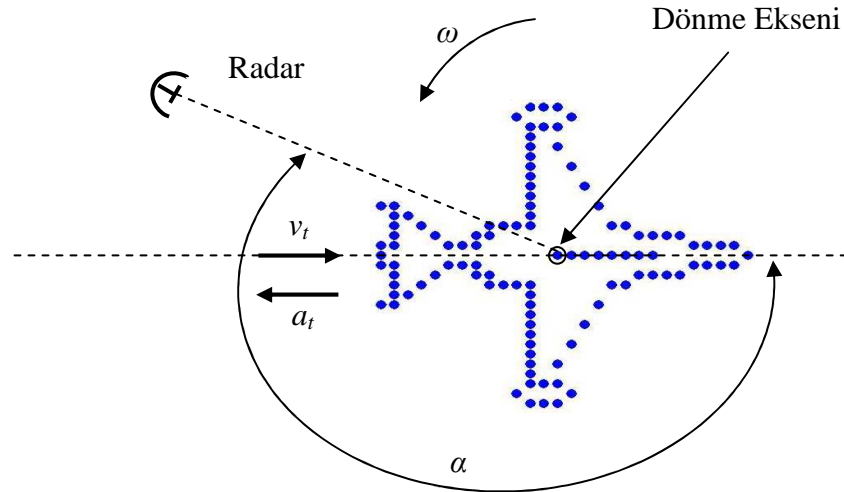


Şekil 4.44. Ötelenme ve Dönel Hareket Telafisinden Sonra Model-7'nin Benzetimine ait Menzil Profillerini İzleme Görüntüsü



#### 4.8. BENZETİM – 8 : MODEL – 8'E AİT HAREKET SENARYOSU

Sekizinci benzetime ait modelin ilgili parametreleri şekil 4.45 ve tablo 10'da verilmiştir. Model-8 üzerinde toplam 110 adet saçılma noktası seçilmiştir. Benzetimde ötelenme hareketi ile yüksek oranda açısal hıza bağlı dönme hareketi üretilmiştir. Hareket telafisinden önce hedefe ait TYAR görüntüsü şekil 4.46'da, hedefe ait menzil profil izlenmesi ile ilgili görüntü şekil 4.47'de gösterilmiştir. Model-8'e ait radar verisi üzerinde zaman frekans analiz işlemi ve  $f1$  ve  $f2$  parametreleri üzerinde yapılan yineleme araştırması sonucunda elde edilen en iyi chirp sinyalin görüntüsü şekil 4.48'de gösterilmiştir. Zaman frekans işlemiyle elde edilen şekil 4.48'deki en iyi chirp fonksiyonu ile sentetik radar verisi çarpıldıktan sonra ötelenme hareketine ait hatalar azaltılır bu hareket telafisi işleminden sonra benzetim modeline ait TYAR görüntüsü şekil 4.49'da verilmiştir. Ötelenme hareket telafisinden sonra dönel hareketin telafi Gabor Wavelet ve Kısa Zamanlı Fourier dönüşümü kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.50'de Gabor Wavelet dönüşümü kullanılarak gerçekleştirilen dönel hareket telafisi sonucu ve şekil 4.51'de ise Kısa Zamanlı Fourier dönüşümü kullanılarak gerçekleştirilen dönel hareket telafisi sonucu verilmiştir. Ötelenme ve dönel hareket telafisinden sonra model-8'in benzetimine ait menzil profillerini izleme görüntüsü şekil 4.52'de verilmiştir.

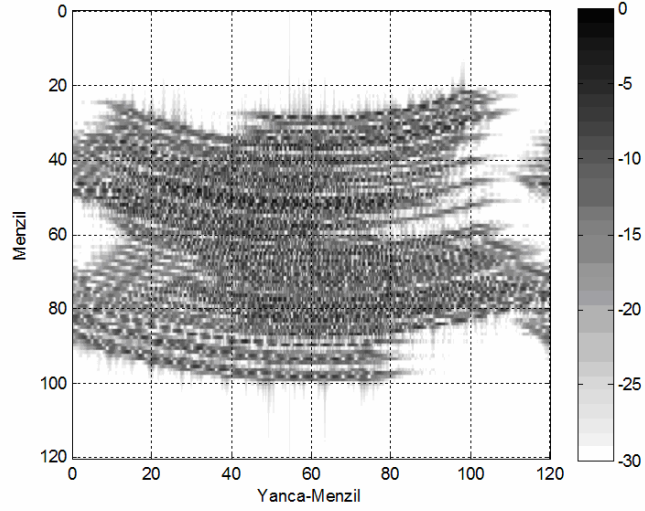


$$v_t=2 \text{ m/sn}, a_t=-1.3 \text{ m/sn}^2, \omega=0.14 \text{ rad/sn}, \alpha=200^\circ$$

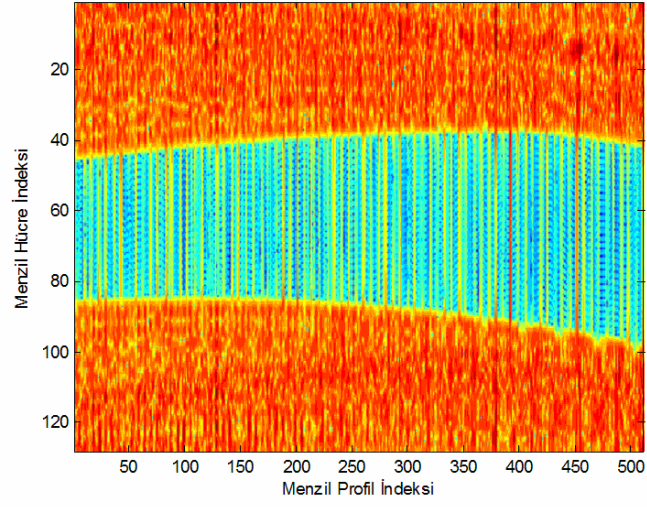
Şekil 4.45. Model-8'e ait Benzetimin Gösterimi

PARAMETRE AÇIKLAMASI	Dönme Hızı $\Omega$ ( <i>radyan/sn</i> )	Ötelenme Hızı $v_t$ ( <i>metre/sn</i> )	Ötelenme İvmesi $a_t$ ( <i>metre/sn<sup>2</sup></i> )	Ötelenme Hareket açısı $a$ ( <i>derece</i> )	Frekans Adım Boyutu $\Delta f$ ( <i>MHz</i> )	Başlangıç Frekansı $f_0$ ( <i>GHz</i> )
DEĞER	0.14	2	-1.3	200	3.023	3
PARAMETRE AÇIKLAMASI	Darbedeki Sinyal Adedi – $N$ –	Darbe Adedi – $M$ –	Hedefin Saçılma Nokta Sayısı	Band genişliği $\beta$ ( <i>MHz</i> )	Radar Örnekleme Frekansı ( <i>kHz</i> )	Radar Gözlem Süresi $T$ ( <i>sn</i> )
DEĞER	128	512	110	384	20	3.27

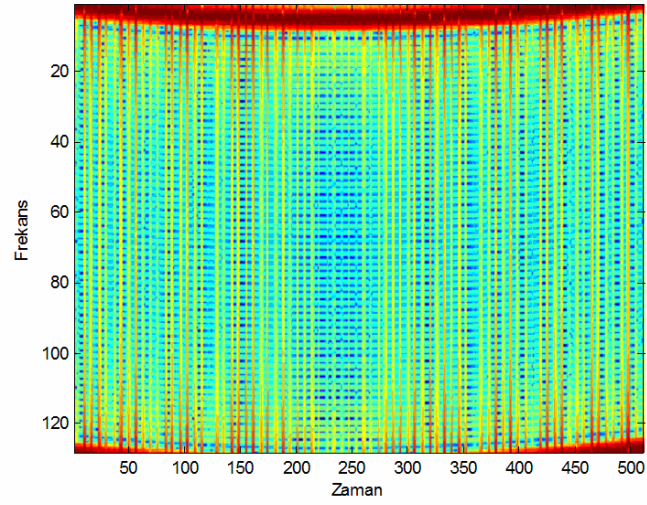
Tablo 10. Model-8'e ait Benzetim Parametreleri ve Değerleri



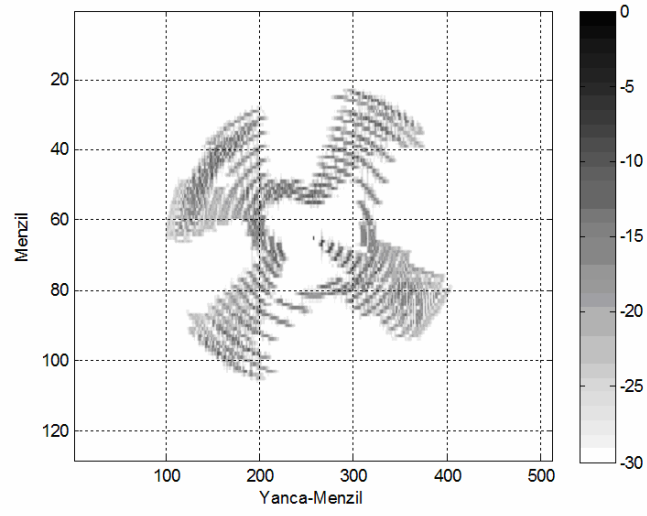
Şekil 4.46. Model-8'e ait Hareket Telafisinden Önce TYAR Görüntüsü



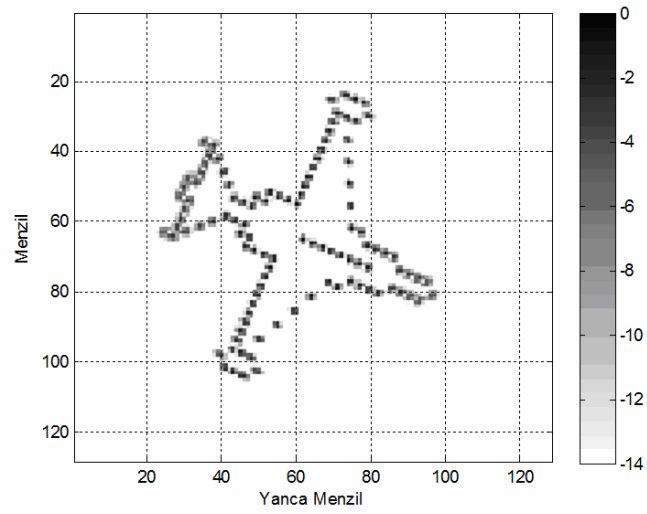
Şekil 4.47. Model-8'e ait Hareket Telifisinden Önce Menzül Profili İzleme Görüntüsü



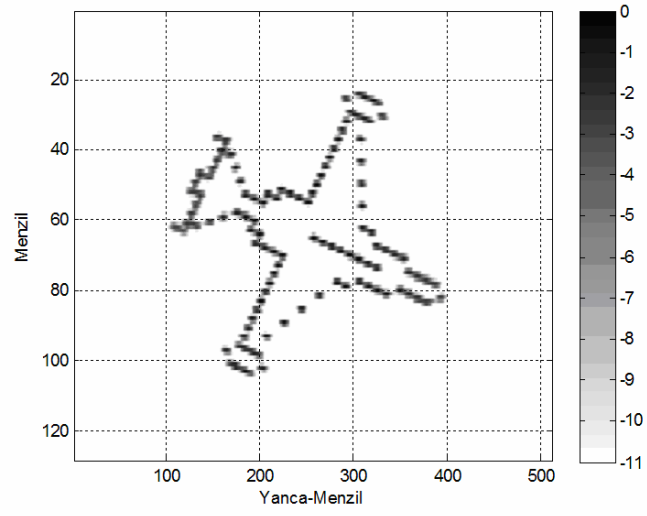
Şekil 4.48. Model-8'e ait Zaman Frekans İşlemi Kullanılarak Elde Edilen En İyi Chirp Fonksiyonun Görüntüsü



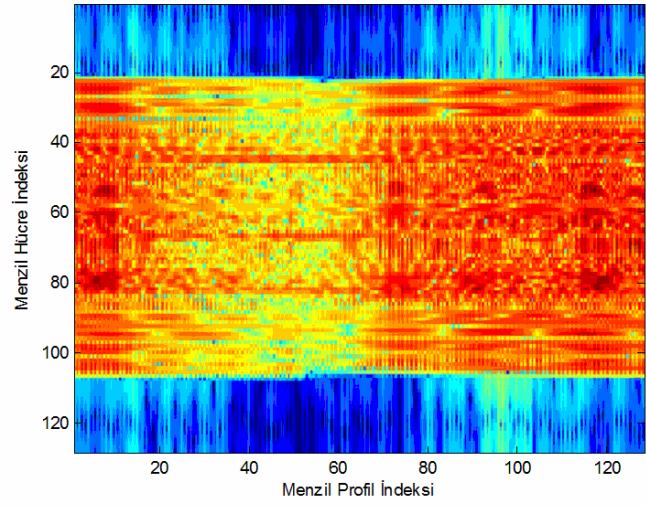
Şekil 4.49. Ötelenme Hareket Telifisinden Sonra Model-8'in Benzetimine ait TYAR Görüntüsü



Şekil 4.50. Gabor Wavelet Dönüşümü Kullanılarak Gerçekleştirilen Dönel Hareket Telifisinden Sonra Model-8'in Benzetimine ait TYAR Görüntüsü



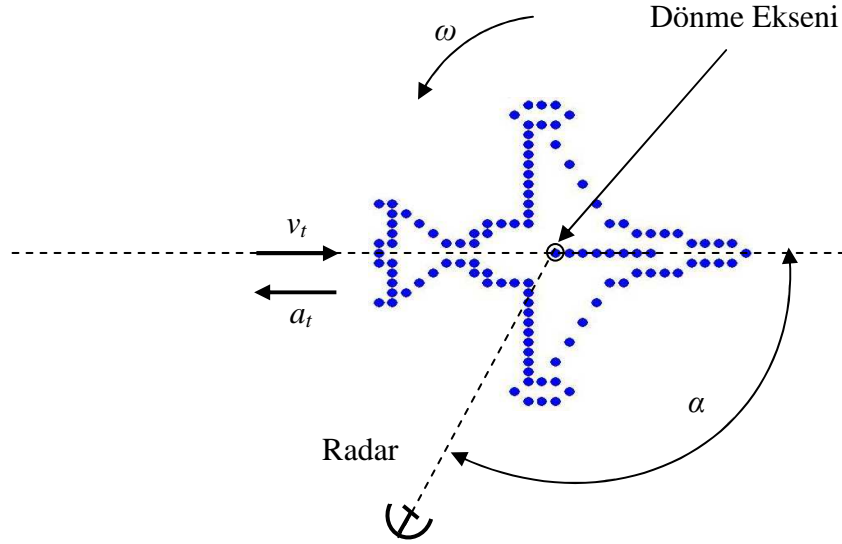
Şekil 4.51. Kısa Zamanlı Fourier Dönüşümü Kullanılarak Gerçekleştirilen Dönel Hareket Telafisinden Sonra Model-8'in Benzetimine ait TYAR Görüntüsü



Şekil 4.52. Ötelenme ve Dönel Hareket Telafisinden Sonra Model-8'in Benzetimine ait Menzil Profillerini İzleme Görüntüsü

#### 4.9. BENZETİM – 9 : MODEL – 9'A AİT HAREKET SENARYOSU

Dokuzuncu benzetime ait modelin ilgili parametreleri şekil 4.53'te ve tablo 11'de verilmiştir. Model-9 üzerinde toplam 110 adet saçılma noktası seçilmiştir. Minimum entropi yöntemi kullanılarak gerçekleştirilen hareket telafisinden önce hedefe ait TYAR görüntüsü şekil 4.54'de, hedefe ait menzil profil izlenmesi ile ilgili görüntü şekil 4.55'de gösterilmiştir. Model-9'a ait radar görüntü verisi üzerinde gerçekleştirilen minimum entropi yöntemi sonucu, radar görüntü verisinin entropisini minimum yapan hız ve ivme değerlerini gösteren grafikler sırasıyla şekil 4.56 ve şekil 4.57'de gösterilmiştir. Buradan elde edilen hız ve ivme değerleri kullanılarak, hıza ve ivmeye bağlı hatalar azaltılır. Minimum entropi yöntemi kullanılarak gerçekleştirilen hareket telafisi işleminden sonra benzetim modeline ait TYAR görüntüsü şekil 4.58'de ve hedefe ait menzil profil izlenmesi ile ilgili görüntü şekil 4.59'da verilmiştir.

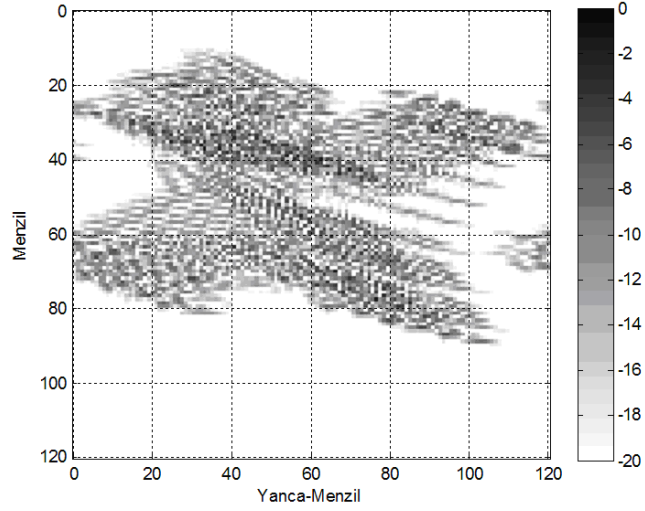


$$v_t=4 \text{ m/sn}, a_t=0.6 \text{ m/sn}^2, \omega=0.06 \text{ rad/sn}, \alpha=125^\circ$$

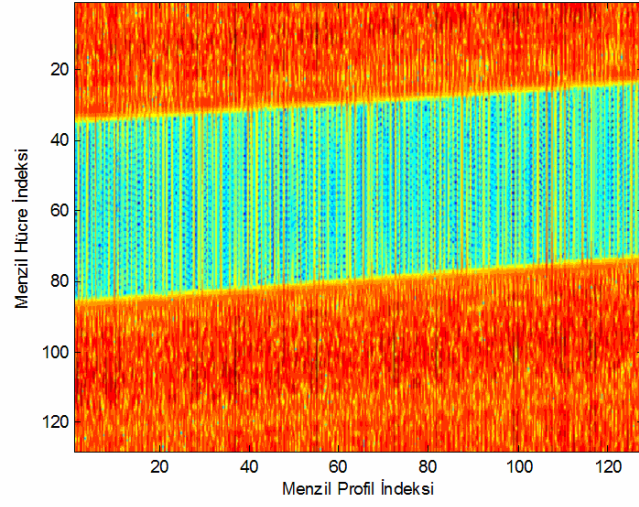
Şekil 4.53. Model-9'a ait Benzetimin Gösterimi

PARAMETRE AÇIKLAMASI	Dönme Hızı $\Omega$ ( <i>radyan/sn</i> )	Ötelenme Hızı $v_t$ ( <i>metre/sn</i> )	Ötelenme İvmesi $a_t$ ( <i>metre/sn<sup>2</sup></i> )	Ötelenme Hareket açısı $a$ ( <i>derece</i> )	Frekans Adım Boyutu $\Delta f$ ( <i>MHz</i> )	Başlangıç Frekansı $f_0$ ( <i>GHz</i> )
DEĞER	0.06	4	0.6	125	3.023	8
PARAMETRE AÇIKLAMASI	Darbedeki Sinyal Adedi – $N$ –	Darbe Adedi – $M$ –	Hedefin Saçılma Nokta Sayısı	Band genişliği $\beta$ ( <i>MHz</i> )	Radar Örnekleme Frekansı ( <i>kHz</i> )	Radar Gözlem Süresi $T$ ( <i>sn</i> )
DEĞER	128	128	110	384	15	1.092

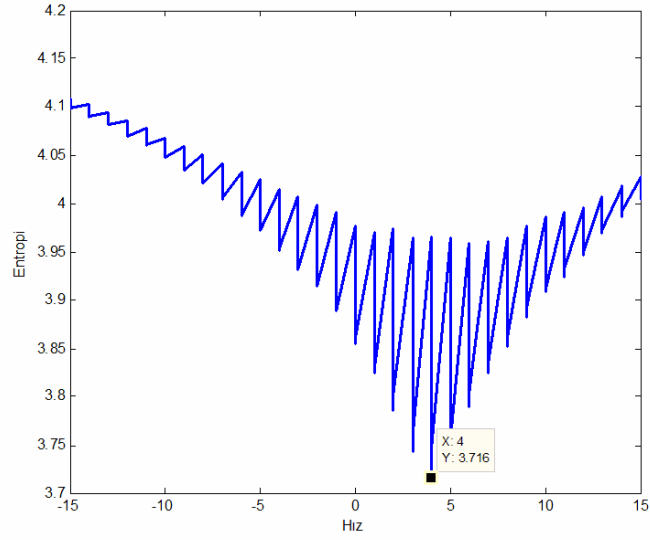
Tablo 11. Model-9'a ait Benzetim Parametreleri ve Değerleri



Şekil 4.54. Model-9'a ait Hareket Telafisinden Önce TYAR Görüntüsü

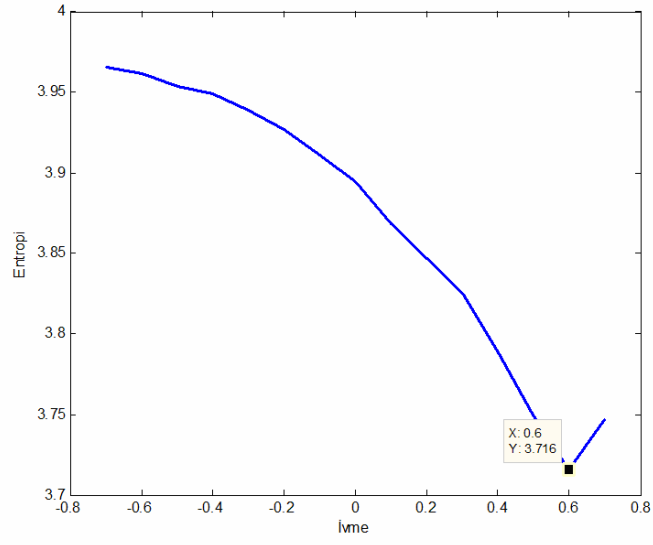


Şekil 4.55. Model-9'a ait Hareket Telifisinden Önce Menzil Profili İzleme Görüntüsü

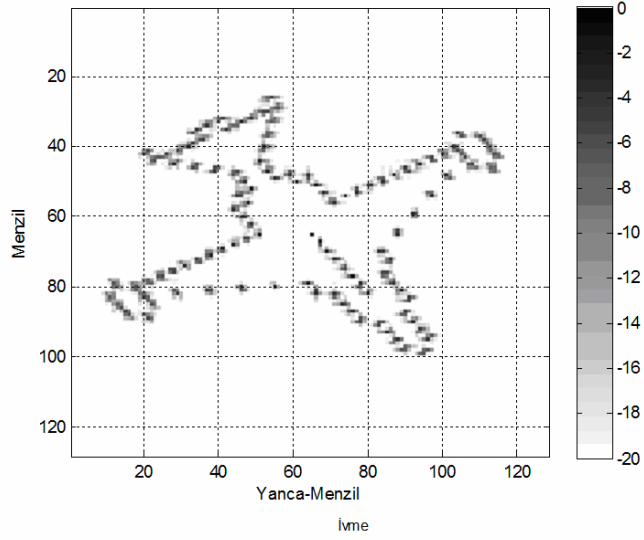


Şekil 4.56. Model-9'a ait Radar Görüntü Verisinin Entropisini Minimum Yapan Hız Değerinin Grafiği

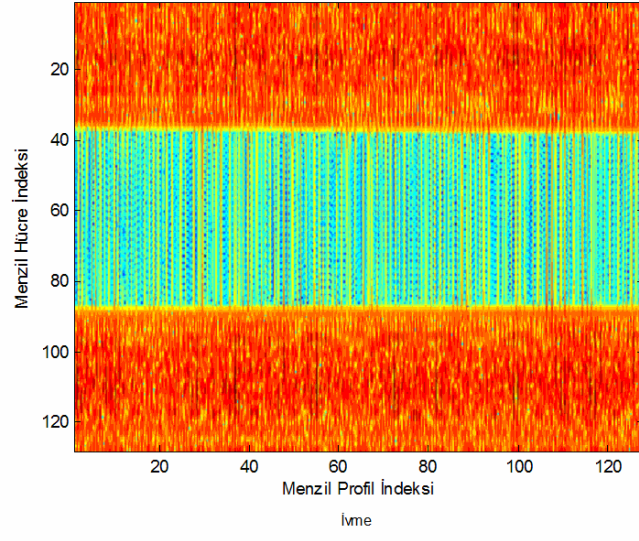




Şekil 4.57. Model-9'a ait Radar Görüntü Verisinin Entropisini Minimum Yapan İvme Değerinin Grafiği



Şekil 4.58. Minimum Entropi Yöntemi Kullanılarak Gerçekleştirilen Hareket Telafisinden Sonra Model-9'un Benzetimine ait TYAR Görüntüsü



Şekil 4.59. Model-9'a ait Minimum Entropi Yöntemi Kullanılarak Gerçekleştirilen Hareket Telifinden Sonra Menzil Profili İzleme Görüntüsü

## 5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

TYAR sistemler, hedeflerden yansıyan radar dalgaları üzerinde sinyal işleme ve görüntü işleme teknikleri kullanarak, iki boyutlu görüntüler elde etmek için kullanılır. TYAR görüntüleme sistemleri, menzil-Doppler (yanca-menzil) üzerinde bulunan elektromanyetik saçılma noktalarının yerinin belirlenmesi için çalışır. Diğer bir deyişle menzil-Doppler (yanca-menzil) düzlemi üzerinde hedefe ait ölçeklendirilmiş bir görüntü elde etmektedir.

Bu tez içerisinde toplam 9 adet hareket telafisi senaryosunun benzetimi gerçekleştirilmiştir ve bu benzetimlerin tamamında, adım frekanslı radar dalga formları ve ilgili saçılma cevapları kullanılmıştır.

Radar gözlem hattı üzerindeki hedef bir ötelenme hareketine sahipse ve bu hareket, hedef ile radar arasındaki menzilin değişimine neden oluyor ise, hedefe ait TYAR görüntüsünde bulanıklık ve bozulmalar meydana getirecektir. Bu menzil değişiminin, radar dalga formuna ait frekanslar üzerinde gerçekleştirdiği etkilerden kaynaklanır. Bu durumda ötelenme hareketinin, görüntü üzerinde oluşturduğu hataların etkilerinin azaltılması veya tamamen giderilmesi gerekmektedir. Bu tezde ötelenme hareket telafisi için iki yöntem kullanılmıştır. Ötelenme hareket telafisi için birinci yöntem olarak birleşik zaman frekans analiz yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntem hareket eden bir hedef için TYAR görüntüsü içerisinde mevcut olan bir veya birden çok saçılma noktasının Doppler izlemesini otomatik olarak gerçekleştiren zaman frekans tabanlı sıkıştırılmış sinyal kavramına dayalı bir yöntemdir. Burada amaç baskın saçılma noktalarının faz bileşenlerinin ölçülmesidir. Buradan elde edilen faz bilgilerine göre görüntüde meydana gelen hataların etkileri azaltılır. Bu yöntem, tezin bulgular ve tartışması bölümünde verilen ilk altı benzetime uygulanmıştır. Bu benzetimlerdeki hedefler, farklı hız ve ivme değerlerine sahiptir TYAR görüntülerinde sahip oldukları ötelenme hareketine bağlı hataların, birleşik zaman frekans analiz yöntemi kullanılarak tamamen azaltıldığı görülmektedir.

Ötelenme hareket telafisi için kullanılan ikinci yöntem minimum entropi yöntemidir. Bu yöntem, temelinde yine birleşik zaman frekans analiz yöntemlerini kullanmaktadır. Fakat burada önemli olan her hız ve ivme değerleri için elde edilen TYAR görüntüsünün entropi değerleridir. Entropiyi minimum yapan hız ve ivme değerleri kullanılarak ötelenme hareketine bağlı görüntüde oluşan hataların etkisi azaltılabilir veya tamamen giderilebilmektedir. Bu yöntem, tezin bulgular ve tartışması bölümünde verilen dokuzuncu benzetime uygulanmıştır. Bu benzetimlerdeki hedefin, hız ve ivme değerlerine ait grafikler incelendiğinde entropiyi minimum yapan değerler açıkça görülecektir. Bu bulunan hız ve ivme değerleri hedefin sahip olduğu hız ve ivme değerlerine eşittir. Bulunan bu değerler kullanılarak, hedefe ait TYAR görüntüsünde meydana gelen ötelenme hareketine bağlı hatanın etkisinin azaltıldığı görülmektedir.

Hareket telafileri iki adım içermektedir. birinci adım ötelenme hareketinden kaynakların hataların etkilerinin azaltılması, ikinci adım ise dönel hareketin görüntü üzerinde meydana getirdiği hataların azaltılmasıdır.

TYAR görüntüleme sistemlerinde, hedefe ait iki boyutlu görüntünün elde edilmesi için, hedefin bir miktar açısal hıza sahip olması gerekir. Çünkü TYAR görüntüleme sistemlerinde elde edilen hedefe ait görüntünün yanca menzil çözünürlüğü hedefin sahip olduğu açısal hıza bağlıdır. Bu açısal hız uygun miktardan fazla olursa hedefin TYAR görüntüsünde bulanıklık ve bozulmalar meydana getirecektir. Bu hatalar, Gabor Wavelet dönüşümü ve Kısa Zamanlı Fourier dönüşümleri kullanılarak azaltılabilir veya tamamen giderilebilmektedir. Bu yöntemler, her bir menzil hücresinin zaman frekans analizi üretilir ve bu işlem ile zaman-menzil-Doppler küp yapısı çıkartılır. bu küpten ise iki boyutlu dilimler elde edilebilmektedir. Buna göre, menzil çözünürlüğüne ait frekans bileşenleri, zamana bağlı olarak analiz edilebilir ve incelenebilir. Bu işlem, materyal ve metot bölümünde şekil 3.5'in içerisinde gösterilmiştir. Bu zaman frekans tabalı görüntü elde etme işlemi doğal bir hareket telafisi olarak görülür. Hedef, çok hızlı bir dönme hareketine sahipse, hedefin görüntüsünün yanca menzilde bulanıklık meydana gelmektedir ve bu yöntem ile hedefin menzildeki kaymalar sınırlı derecede telafi edilebilmektedir.

Eğer hedef, çok yüksek bir ötelenme hızına sahipse bu yöntemin kullanılması bir anlam ifade etmez. Öncelikle hedefin sahip olduğu ötelenme hareketinin telafi edilmesi gerekmektedir. Bu yöntem, tezin bulgular ve tartışması bölümünde yedinci ve sekizinci benzetimlerde kullanılmıştır. Bu benzetimlerde modeller, farklı ötelenme ve açısal hızlara sahiptirler. Bu benzetimlerde öncelikle ötelenme hızına ait telafiler birleşik zaman frekans analiz yöntemi kullanılarak giderilmiş daha sonra dönel hareket telafisi için kıza zamanlı Fourier ve Gabor Wavelet dönüşümleri kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, hedefe ait TYAR görüntüsünde meydana gelen ötelenme hareketine ve dönme hareketine bağlı hataların etkisinin azaltıldığı görülmektedir.

Ötelenme hareket telafisi için kullanılan minimum entropi yöntemi TYAR görüntüsünün entropi değerlerine göre hız ve ivme değerlerini tespit etmektedir. Bundan dolayı TYAR görüntüsünün çözünürlüğünün yüksek olması gerekmektedir. Çözünürlüğü düşük olan TYAR görüntülerinde minimum entropi yöntemi, hareket telafisinin gerçekleştirilmesinde çok başarılı olamamaktadır. Ötelenme hareket telafisi için kullanılan maksimum argüman yöntemi doğrudan menzil profillerini izleme yöntemini kullanarak hareket telafisini gerçekleştirmektedir. Alınan radar sinyallerine uygulanan bir boyutlu Fourier dönüşümü sayesinde menzil profilleri yüksek doğrulukla elde edilmektedir. Buna bağlı olarak menzil izlemeye bağlı gerçekleştirilen bu hareket telafisi yöntemi, minimum entropi yöntemine göre görüntü üzerinde harekete bağlı bozulmaların ve kaymaların giderilmesinde daha başarı sağlamaktadır.

Dönel hareket telafisi için kullanılan kısa zamanlı Fourier dönüşümünün zaman ızgara çözünürlüğü iyi değildir. Bundan dolayı zaman örneklemeleri ile oluşturulan zaman – menzil – Doppler küpü içerisinde oluşan iki boyutlu menzil – Doppler TYAR görüntülerindeki odaklanmalar çok iyi derecede gerçekleşmemektedir. Gabor Wavelet dönüşüm yöntemi daha esnek bir zaman ızgarasına sahiptir ve zaman ızgarası çözünürlüğü kısa zamanlı Fourier dönüşümüne göre oldukça yüksektir. Gabor Wavelet yöntemi kullanılarak alınan zaman örneklemeleri ile oluşturulan

zaman – menzil –Doppler küpü içerisindeki menzil – Doppler iki boyutlu TYAR görüntülerine odaklanma daha iyi derecede gerçekleştirilmektedir.

Ötelenme hareket telafisi için menzil izleme yöntemleri de kullanılmaktadır. menzil izleme, toplam menzil hücrelerinin sayısı içerisinde, menzil profil izlemeleri ortaya çıkarılmaktadır. Bu işlem için olası bir çok yöntem vardır. Bununla ilgili Kalman süzgeci incelenebilir [29,30,31]. Bu tez içerisinde, Doppler izleme amacıyla zaman frekans tabanlı algoritmalar kullanılmıştır. Bu çalışmanın devamında, Özyineli Çoklu Saçılma algoritması [29], alt açıklıklı yaklaşım [32,33] ve Faz Eğimine Otomatik Odaklanma [34] gibi bir çok teknik kullanılabilir.

## KAYNAKLAR

- [1] Özdemir, C., Chang, K., “Synthetic Aperture Radar The Wiley Encyclopedia of RF and Microwave Engineering”, New York: Wiley-Interscience (2005).
- [2] Skolnik, M. I., “Introduction to Radar Systems”. McGraw Hill College Div, New York, USA, (1980).
- [3] Mensa, D. L., “High Resolution Radar Imaging”, Artech House Inc.,(1981).
- [4] Zhu, Z. D., Wu, X. Q., “Range-Doppler Imaging and Multiple Scatter-Point Location”, Chinese Aeronautical Scientific and Technological’, Literature, HJB910953.
- [5] Chen, V., Miceli, W. J., “Time-varying spectral analysis for radar imaging of manoeuvring targets”, IEE Proc., Radar Sonar Navig., 145(5), 262-268, (1998).
- [6] Berizzi, E., Diani, M., “Target angular motion effects on ISAR imaging”, IEE Proc. , Radar Sonar Navig., 144(2): 87-95, (1997).
- [7] Chen, V.C., Qian, S., “Joint time-frequency transform for radar range-doppler imaging”, IEEE Trans Aerospace Electron Syst, 34 (2): 486–499, (1998).
- [8] Chen, V.C., “Applications of time-frequency processing to radar imaging”, ProcSPIE , 2762: 23–31, (1996).
- [9] Chen, V.C., “Reconstruction of inverse synthetic aperture radar image using adaptive time-frequency wavelet transform”, Proc. SPIE-Int Soc. Opt. Eng., 2491: 373-386, (1995).
- [10] Chen, V.C., Miceli, W. J., “Time-varying spectral analysis for radar imaging of manoeuvring targets”, IEE Proc. Radar sonar Navig., 145(5): 262-268, (1998).
- [11] Kim, H., Ling, H., “Wavelet analysis of radar echo from finite-size target”, IEEE Trans Antennas Propag., 41(2): 200-207, (1998).
- [12] Kim, K.T., Choi, I.S., Kim, H.T., “Efficient radar target classification using adaptive joint time–frequency processing”, IEEE Trans. Antennas Propag., 48(12) : 1789–1801, (2000).
- [13] Chen, V.C., Ling, H., “Time-frequency transforms for radar imaging and signal analysis”, Artech House, Boston, MA, (2002).

- [14] Küçükılıç, T., “Isar Imaginig and Motion Compensation”, Yüksek Lisans Tezi, (2006).
- [15] Wehner, D.R., “High-Resolution Radar”, Arctect House, Boston, (1995).
- [16] Zyweck, A., “Preprocessing Issues in High Resolution Radar Range Profiles”, Doktora Tezi, (1995).
- [17] Walker, J.L., “Range-Doppler Imaging of Rotating Objects”, IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, 16(1), (1980).
- [18] C.C.Chen, H.C.Andrews, “Target-Motion-Induced Radar Imaging”, IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, 16(1): 2-14,(1980).
- [19] M.J.Prickett, C.C.Chen, “Principles of Inverse Synthetic Aperture Radar (ISAR) Imaging”, IEEE EASCON '80 Record, 340-344, (1980).
- [20] Carrara, W.G., Goodman, R.S., Majeovski, R.M., “Spotlight Synthetic Aperture Radar: Signal Processing Algorithms”, Artech House, (1995).
- [21] Werness, S., Carrara, W., Joyce, L., Franczak, D., “Moving Target Imaging Algorithm for SAR Data”, IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, 26:57-67, (1990).
- [22] Qian, S., Chen, D., “Joint-Time Frequency Analysis: Methods and Applications”, Prentice Hall PTR, (1996).
- [23] Shin, S.Y., Myung, N.H., “The application of motion compensation of ISAR image for a moving target in radar target recognition”, Microwave and Optical Technology Letters, 50: 1673-1678, (2008).
- [24] Chen, V. C., Qian, S., “Time-frequency transform vs. Fourier transform for radar imaging”, Proceedings of the IEEE-SP International Symposium, 389 – 392, (1996).
- [25] Wang, Y., Ling, H., Chen, V.C., “ISAR Motion Compensation via Adaptive Joint Time-Frequency Technique”, IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, 34(2), (1998).
- [26] Wang, G. Y., Bao, Z., “The minimum entropy criterion of range alignment in ISAR motion compensation.”, Proc. Radar Conf., 236-239, (1999).
- [27] Liu, Z., Zhang, S., “A novel method of translational motion compensation for hopped-frequency ISAR imaging”, IEEE Int Radar Conf., 255-260, (2000).



- [28] Xi, L., Guosui, L., Ni, J., “Autofocusing of ISAR image based on entropy minimisation”, *IEEE Trans Aerospace Electron Syst*, 35, 1240-1252, (1999).
- [29] Wu, H., Grenier, D., Delisle, G.Y., Fang, D.G. “Translational Motion Compensation in ISAR Image Processing”, *IEEE Transactions on Image Processing*, 4(11):1561-1571, (1995).
- [30] Singer, R.A., “Estimating optimal tracking filter performance for manned maneuvering targets”, *IEEE Trans. Aerospace Electron. Syst.*, 6:473-483, (1970).
- [31] Fitzgerald, R.J., “Simple Tracking filters: steady-state filtering and smoothing performance”, *IEEE Trans. Aerospace Electron. Syst.*, 16(6), (1980).
- [32] Ausherman, D.A., Kozma, A., Walker, J.L., “Developments in Radar Imaging”, *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, 20(4): 363-400, (1984).
- [33] Calloway, T.M., “Subaperture Autofocus for Synthetic Aperture Radar”, *IEEE Trans. Aerospace Electronic Systems*, 30:,617-621, (1994).
- [34] Wahl, D.E., “Phase Gradient Autofocus – A Robust for High Resolution SAR Phase Correction”, *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, 30:827-835, (1994).

## ÖZGEÇMİŞ

Deniz ÜSTÜN, 26 Nisan 1976'da Konya Ereğli'de doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Tarsus'ta tamamladı. 2001 yılında, İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Bilgisayar Bilimleri Mühendisliği bölümünde lisans öğrenimini bitirdi. Evli ve bir çocuk babasıdır.