

**YER ÜSTÜ PLATFORMLARA MONTE  
EDİLEBİLECEK SENTETİK AÇIKLIKLI RADAR  
SİSTEMİ OLUŞTURULMASI VE GERÇEK  
KARASAL RADAR GÖRÜNTÜLERİNİN ELDE  
EDİLMESİ**

**ENES YİĞİT**

**MERSİN ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ  
ANA BİLİM DALI**

**DOKTORA TEZİ**

**MERSİN  
HAZİRAN - 2013**

**YER ÜSTÜ PLATFORMLARA MONTE  
EDİLEBİLECEK SENTETİK AÇIKLIKLI RADAR  
SİSTEMİ OLUŞTURULMASI VE GERÇEK  
KARASAL RADAR GÖRÜNTÜLERİNİN ELDE  
EDİLMESİ**

**ENES YİĞİT**

**MERSİN ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ  
ANA BİLİM DALI**

**DOKTORA TEZİ**

**Danışman  
Prof. Dr. Caner ÖZDEMİR**

**MERSİN  
HAZİRAN – 2013**

Enes YİĞİT tarafından Prof. Dr. Caner ÖZDEMİR danışmanlığında hazırlanan “Yer Üstü Platformlara Monte Edilebilecek Sentetik Açıklıklı Radar Sistemi Oluşturulması ve Gerçek Karasal Radar Görüntülerinin Elde Edilmesi” başlıklı bu çalışma aşağıda imzaları bulunan jüri üyeleri tarafından oy birliği ile Doktora Tezi olarak kabul edilmiştir.

İmza

Prof. Dr. Caner ÖZDEMİR

Prof. Dr. Adnan KAVAK

Doç.Dr. Ali AKDAĞLI

Yrd. Doç.Dr. Ali YILDIZ

Yrd.Doç.Dr. Ahmet Naci METE

Handwritten signatures of the jury members in blue ink, each on a dotted line.

Yukarıdaki Jüri kararı Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 11./07/2013 tarih ve 2013.13.../388... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Handwritten signature of Doç. Dr. Mehmet KÜÇÜKASLAN in blue ink, above a blue circular official stamp of the institution.

Doç. Dr. Mehmet KÜÇÜKASLAN  
Enstitü Müdürü

# **YER ÜSTÜ PLATFORMLARA MONTE EDİLEBİLECEK SENTETİK AÇIKLIKLI RADAR SİSTEMİ OLUŞTURULMASI VE GERÇEK KARASAL RADAR GÖRÜNTÜLERİNİN ELDE EDİLMESİ**

**Enes YİĞİT**

## **ÖZ**

Sentetik Açıklıklı Radar (SAR), sabit yer hedeflerinin yüksek çözünürlüklü görüntüsünü üreten ve hareketli hedefleri saptayabilen çok önemli bir uzaktan algılama tekniğidir. Geleneksel SAR sistemlerinin, implementasyon zorluğu, yüksek donanım maliyeti, uzun veri toplama süresi ve sınırlı bant genişliği gibi istenmeyen özellikleri vardır. Diğer yandan, yer tabanlı SAR (YT-SAR) tekniği, klasik SAR uygulamalarına kıyasla, yüksek çözünürlüklü görüntü üretme, geniş bant veri toplama ve geniş açılı tarama gibi bazı üstünlüklerinden ötürü son zamanlarda çok popüler bir hal almıştır. YT-SAR kısa mesafede yüksek hassasiyetli algılama özelliğinden dolayı keşfedildiğinden bu zaman kadar çok farklı uygulamalara yönelik olarak kullanılmış ve birçok amaca yönelik olarak incelenmiştir. Fakat görüntü oluşturma algoritmalarının kısa mesafe YT-SAR verileri için kıyaslanması, düşük açılı tek hatlı tarama sonrası oluşan görüntüdeki üste düşüm ve önden kısalmaların belirlenmesi ve YT-SAR tekniğiyle oluşturulan şehirsel objelerin radar görüntülerindeki bozulmaların yorumlanması gibi pek çok önemli konu bu zamana kadar incelenmemiştir.

Bu tezde, SAR görüntü bozulma etkileri, yakın alan YT-SAR geometrisinin küresel dalga yayılım özelliğinden faydalanılarak, tek hatlı şerit harita tip, eğik tip ve dairesel tip sistemler için karakterize edilerek yorumlanmıştır. Bu amaca yönelik olarak oluşturulan YT-SAR platformu kullanılarak, Mersin Üniversitesinin belirli bölgelerinin YT-SAR ölçümleri elde edilmiştir. Uygulanan algoritmaların ve YT-SAR düzeneğinin performansı, nokta yayılım fonksiyonu, sinyal gürültü oranı, tümleşik yan lob oranı ve hesaplama yükü gibi farklı kalite parametreleriyle karşılaştırılmış ve değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, tüm algoritmalar yeterli görüntü kalitesini sunsa da, geriye izdüşüm algoritmasının (BPA) çok daha iyi bir performansla görüntü oluşturmada fiziksel algılamaya sahip olduğu tespit edilmiştir. Bu nedenle BPA seçilerek eğik mod ve dairesel mod SAR geometrileri için modifiye edilmiş ve ayrıca odaklanmış görüntüdeki yan lob etkilerini azaltmak için, anten demet genişliği filtresi geliştirilmiştir. Böylelikle geliştirilen platform ve modifiye edilmiş BPA'nın kullanımıyla, Mersin Üniversitesinin belirli bölgelerinin yüksek çözünürlüklü kentsel kısa mesafe YT-SAR görüntüleri elde edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler :** Yer Tabanlı Sentetik Açıklıklı Radar, Odaklama Algoritmaları, Radar Görüntüleme

**Danışman :** Prof. Dr. Caner ÖZDEMİR, Mersin Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı

# **CONSTRUCTION OF SYNTHETIC APERTURE RADAR SYSTEM FOR GROUND PLATFORMS AND OBTAINING REAL TERRESTRIAL RADAR IMAGES**

**Enes YİĞİT**

## **ABSTRACT**

Synthetic aperture radar (SAR) is a very important remote sensing technique capable of detecting moving targets and generating high resolution images of stationary objects on the ground. Conventional SAR systems have some undesired features such as implementation difficulties, high cost in hardware, long data collection period and restricted bandwidth. On the other hand, ground based SAR (GB-SAR) systems have recently become popular since they have some advantages over the classical SAR techniques such as, high resolved image generation, wide band data collection and wide angle scanning. Thanks to its short range high sensitivity perception features, variant GB-SAR applications have been executed and explored directed to many objectives since it was discovered. However, many important topics such as comparison of the reconstruction algorithms for short range GB-SAR data, exploration of the layover and foreshortening effects occurred from low depression angled single line scanning geometry and interpretation of image distortions in the reconstructed GB-SAR images of the urban objects have not been examined up to now.

In this thesis, these image distortions effects were characterized and interpreted for single line strip-map, squinted and circular GB-SAR data collection geometries by using spherical wave propagation features of near field GB-SAR geometry. For this purpose, many GB-SAR measurements were done at different places of the Mersin University Campus by the help of constructed GB-SAR platform. The performance of the GB-SAR setup and applied algorithms were quantified and compared by quantifying different parameters such as point spread function, signal to clutter ratio, integrated side lobe ratio and computational complexity. Results demonstrate that although both algorithms produce accurate images of targets, the back projection algorithm (BPA) is shown to be performing better than others as it can provide more physical insights to the image formation. That's why, BPA was chosen and modified for squint mode and circular mod SAR geometries and also restricted beam width filter was developed to reduce side lobe effects in the focused image. Thus, high resolved short range urban GB-SAR images of the particular regions of Mersin University were acquired by using modified BPA and constructed platform.

**Keywords** : Ground Based Synthetic Aperture Radar, Reconstruction Algorithms, Radar Imaging

**Advisor** : Prof. Dr. Caner ÖZDEMİR, Department of Electrical-Electronics Engineering, University of Mersin

## TEŞEKKÜR

Uzun ve meşakkatli bir sürecin neticesinde oraya çıkan bu tezde, yoğun tempolu çalışmalar ve uzun ayrılıklarla çocuklarımı ve kendisini ihmal ettiğim halde, sabır ve teenni ile her vakit bana destek olan ve zorluklar karşısında telkinâtıyla bana moral veren eşime en derin hissiyatımla şükranlarımı bir borç bilirim.

Bu tez süresince beraber çalıştığımız, bilgisi ve deneyimleri ile hiçbir vakit desteğini eksik etmeyen ve ortaya çıkan bu tezin tamamlanmasını sağlayan değerli hocam Sayın Prof. Dr. Caner ÖZDEMİR'e bütün minnettarlığımıla teşekkürlerimi arz ederim.

İleri teknoloji gerektiren tüm araştırma ve uygulamalarda imkânlarından ve yardımlarından faydalandığım TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi Malzeme Enstitüsü, Uluslararası Yüksek Teknoloji Laboratuvarı çalışanlarından, Prof. Dr. Alexey VERTİY'e, Atilla ÜNAL'a, Mustafa TEKBAŞ'a, Harun ÇETİNKAYA'ya, Adem KAYA'ya ve Mustafa KILIÇ'a teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca tez dönemi boyunca birçok uygulama ve çalışmayı beraber yürüttüğümüz Şevket DEMİRCİ'ye ve tezin ortaya çıkmasında ihtiyaç duyulan donanımsal gereksinimleri karşılamasıyla fayda sağlayan Hakan IŞIKER'e teşekkür ederim.

## İÇİNDEKİLER

<b>ÖZ</b> .....	i
<b>ABSTRACT</b> .....	ii
<b>TEŞEKKÜR</b> .....	iii
<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	iv
<b>ÇİZELGELER DİZİNİ</b> .....	viii
<b>ŞEKİLLER DİZİNİ</b> .....	ix
<b>SİMGE VE KISALTMALAR DİZİNİ</b> .....	xii
<b>1. GİRİŞ</b> .....	1
<b>2. KAYNAK ARAŞTIRMALARI</b> .....	5
2.1. SENTETİK AÇIKLIKLIL RADAR KAVRAMINA GENEL BAKIŞ .....	5
2.1.1 SAR’ın Tarihsel Süreci .....	5
2.1.2 SAR’ın Önemi.....	6
2.1.3 Şerit-Harita SAR Tekniği.....	8
2.1.4 Noktasal Aydınlatmalı SAR Tekniği .....	9
2.1.5 Ters Sentetik Açıklıklı Radar Tekniği .....	10
2.1.6 Dairesel SAR Tekniği .....	10
2.2. YER TABANLI SENTETİK AÇIKLIKLIL RADAR (YT-SAR) .....	11
2.2.1 YT-SAR’ın Avantajları.....	11
2.2.1.1 Düşük maliyet .....	11
2.2.1.2 Geniş kapsamlı alan tarama .....	12
2.2.1.3 Yüksek çözünürlük .....	13
2.2.1.4 Değişim algılama .....	13
2.2.1.5 Yabancı enkaz algılama .....	13
2.2.2 YT-SAR’ın Dezavantajları.....	14
2.2.2.1 Yakın alan görüntüleme.....	14

2.2.2.2	Sınırlı tarama mesafesi.....	15
2.2.3	YT-SAR Görüntü Oluşturma Teknikleri .....	15
2.2.3.1	Radar dalga formları .....	15
2.2.3.2	Doğrusal frekans modülasyonlu dalga formu .....	17
2.2.3.3	Adım frekanslı sürekli dalga formu .....	18
2.2.3.4	SAR görüntü oluşturma .....	19
2.2.3.5	Menzil Doppler algoritması .....	23
2.2.3.6	Cıvıltı ölçeklendirme algoritması .....	25
2.2.3.7	Omega-K algoritması.....	28
2.2.3.8	Uyumlanmış filtre algoritması .....	29
2.2.3.9	Geriye izdüşümü algoritması .....	31
2.2.4	Temel SAR parametreleri .....	32
2.2.4.1	Anten ışın demet genişliği .....	33
2.2.4.2	Menzil çözünürlüğü .....	34
2.2.4.3	Çapraz Menzil (Azimut) çözünürlüğü .....	35
2.2.4.4	Örtüşmesiz maksimum menzil mesafesi.....	36
2.2.4.5	Örtüşmesiz maksimum çapraz menzil mesafesi .....	37
2.2.4.6	Yakın ve uzak alan kriterleri.....	37
2.2.4.7	Geniş açı kriteri.....	38
2.2.4.8	Tümleşik yan lob oranı .....	39
2.2.4.9	Sinyal karışıklık oranı .....	41
2.2.5	SAR görüntü bozulmaları .....	41
2.2.5.1	Eğik menzil ölçekleme bozulması .....	42
2.2.5.2	Üste düşüm bozulması .....	43
2.2.5.3	Önden kısalma bozulması.....	44
2.2.5.4	Gölgeleme bozulması .....	46



<b>3. MATERYAL ve YÖNTEM</b> .....	47
3.1. KULLANILAN YAZILIM ve MATERYAL .....	47
3.1.1 Kullanılan Yazılım.....	47
3.1.1.1 Matlab yazılımı .....	47
3.1.2 Kullanılan Materyal .....	48
3.1.2.1 Network Analizör .....	48
3.1.2.2 Radar anteni .....	50
3.1.2.3 Elektromanyetik soğurucu malzeme.....	51
3.1.2.4 Hareketli platform.....	52
3.1.2.5 Diğer materyaller .....	55
3.2. KULLANILAN YÖNTEM .....	56
3.2.1 Uyumlanmış Filtre Algoritması .....	56
3.2.2 Geriye İzdüşümü Algoritması .....	58
3.2.3 YT-SAR İçin Üç Boyutlu Görüntüleme Algoritması .....	61
3.2.4 Eğik Mod SAR Görüntüleme.....	61
3.2.5 Dairesel SAR Görüntüleme.....	63
3.2.6 YT-SAR Görüntülerindeki Üste düşüm Etkisinin Tespiti .....	64
3.2.7 Dairesel SAR görüntülemeye üste düşüm etkisinin incelenmesi.....	69
3.2.8 Işın demeti zarf filtresi ile görüntü kalitesini artırma .....	72
<b>4. BULGULAR ve TARTIŞMA</b> .....	81
4.1. RDA VE CSA BENZETİM VE ÖLÇÜM SONUÇLARI.....	81
4.1.1 Benzetim Sonuçları .....	81
4.1.2 RDA ve CSA için RADARSAT-1 Verisi Ölçüm Sonuçları.....	84
4.2. İÇ ORTAM LABORATUVAR ÖLÇÜMLERİ .....	87
4.2.1 Milimetre dalga deneyleri ve algoritmaların kıyaslanması.....	87
4.2.1.1 W-Bant benzetim sonuçları .....	88

4.2.1.2	W-Bant Ölçüm Sonuçları.....	91
4.2.1.3	K-Bant Ölçüm Sonuçları .....	95
4.2.1.4	K-Bant eğik mod SAR ölçüm sonuçları .....	97
4.2.3	X-Bant deneyleri ve algoritmaların kıyaslanması.....	100
4.2.3.1	X-Bant ölçüm sonuçları .....	100
4.2.3.2	X-Bant dış ortam uzun mesafe ölçümleri .....	103
4.3.	C-BANT DIŞ ORTAM YT-SAR UYGULAMALARI .....	107
4.3.1	MEÜ Mühendislik Fakültesi Otopark Deneyleri .....	108
4.3.1.1	Uygulama 1: MEÜ Mühendislik fakültesi otoparkı .....	108
4.3.1.2	Uygulama 2: MEÜ Mühendislik fakültesi otoparkı .....	110
4.3.1.3	Uygulama 3: MEÜ Mühendislik fakültesi otoparkı .....	111
4.3.1.4	Uygulama 4: MEÜ Mühendislik fakültesi otoyolu .....	115
4.3.2	MEÜ Binalarının YT-SAR ile Görüntülenmesi.....	120
4.3.2.1	Uygulama 1: MEÜ Mühendislik Fakültesi Jeoloji Binası .....	120
4.3.2.2	Uygulama 2: MEÜ Hayvan Barınağı.....	123
4.3.2.3	Uygulama 3: MEÜ Mimarlık fakültesi güney güzergâhı .....	124
4.3.3	MEÜ Güzel Sanatlar Fakültesi CSAR Uygulamaları .....	129
4.3.3.1	Uygulama 1: Binek tipi araç 171°'lik tarama .....	130
4.3.3.2	Uygulama 2: Binek tipi araç 253°'lik tarama .....	133
4.3.3.3	Uygulama 3: Bekho model kepçe, 253°'lik tarama.....	134
<b>5.</b>	<b>SONUÇLAR ve ÖNERİLER .....</b>	<b>136</b>
	<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>141</b>
	<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>148</b>

## ÇİZELGELER DİZİNİ

<b><u>TABLO</u></b>	<b><u>SAYFA</u></b>
Tablo 4. 1. RDA ve CSA benzetiminin radar parametreleri;.....	84
Tablo 4. 2. RADARSAT-1 uydusu temel özellikleri.....	86
Tablo 4. 3. MFA, BPA ve $\omega$ -KA sonucu oluşan W bant YT-SAR benzeti; .....	89
Tablo 4. 4. W-bant YT-SAR ölçüm parametreleri.....	92
Tablo 4. 5. W-bant YT-SAR deneyi ölçüm sonuçları.....	93
Tablo 4. 6. X-Bant dış ortam YT-SAR ölçüm parametreleri.....	105
Tablo 4. 7. Mühendislik Fakültesi Balkonu YT-SAR deney parametreleri-1 .....	110
Tablo 4. 8. MEÜ Mühendislik Fakültesi balkon deney parametreleri-2.....	112
Tablo 4. 9. Otoyol YT-SAR deney parametreleri .....	115
Tablo 4. 10. YT-SAR ile binaların görüntülenmesi için, deney parametreleri .....	121
Tablo 4. 11. MEÜ Mimarlık Fakültesi YT-SAR uygulama parametreleri .....	125
Tablo 4. 12. Dairesel SAR tarama parametreleri .....	131
Tablo 4. 13. Dairesel SAR tarama parametreleri 2. ....	133

## ŞEKİLLER DİZİNİ

<b><u>SEKİL</u></b>	<b><u>SAYFA</u></b>
Şekil 2. 1. Şerit harita SAR tarama geometrisi .....	8
Şekil 2. 2. Noktasal aydınlatmalı SAR tarama geometrisi.....	9
Şekil 2. 3. YT-SAR tarama geometrisi .....	11
Şekil 2. 4. LFM dalga formu.....	17
Şekil 2. 5. Adım frekanslı dalga formu .....	19
Şekil 2. 6. Doppler etkisinin geometrik gösterimi .....	21
Şekil 2. 7. Uyumlanmış filtre blok diyagramı.....	22
Şekil 2. 8. Sıfır Doppler düzlemi geometrisi.....	24
Şekil 2. 9. SAR odaklama algoritmaları akış diyagramları.....	27
Şekil 2. 10. Örnek bir $s(t)$ sinyali için MF'nin darbe cevabı.....	30
Şekil 2. 11. Modüle edilmemiş radar darbesi .....	30
Şekil 2. 12. Modüle edilmemiş darbenin uyumlanmış filtre çıkışı .....	31
Şekil 2. 13. C-Bant Boynuz Antenin ışın diyagramı.....	33
Şekil 2. 14. Boynuz tipi anten için anten genişliği ile demet genişliği bağıntısı .....	34
Şekil 2. 15. Menzil ve azimut çözünürlükleri; .....	35
Şekil 2. 16. FM cıvıltı sinyali darbe tekrarlama süresi .....	36
Şekil 2. 17. 2D YT-SAR veri toplama düzeneği.....	39
Şekil 2. 18. Noktasal hedefin benzetim sonuçları .....	40
Şekil 2. 19. Eğik menzil ölçekleme bozulmasının geometrik gösterimi.....	42
Şekil 2. 20. Üste düşüm, önden kısılma ve gölgeleme bozulmalarının etkileri; (a) grafiksel gösterim, (b) Menzil profil çizimleri.....	44
Şekil 2. 21. İtalya Vezüv dağı SAR görüntüsü. [Treuropa, 2013] .....	45
Şekil 3. 1. Tezde kullanılan VNA'lar.....	49
Şekil 3. 2. Frekans çarpıcılar ve 26.5 – 40 GHz boynuz tipi antenler. ....	50
Şekil 3. 3. Tezde kullanılan antenler .....	51
Şekil 3. 4. Elektromanyetik soğurucu malzeme kaplanmış laboratuvar .....	52
Şekil 3. 5. Tezde kullanılan hareketli platformlar .....	53
Şekil 3. 6. Tezde kullanılan hareketli platformlar .....	54
Şekil 3. 7. YT-SAR deneylerinde kullanılan test araçları .....	55
Şekil 3. 8. 2D SAR veri toplama sistemi .....	56

Şekil 3. 9. (a) MFA için akış diyagramı, (b) BPA için akış diyagramı.....	60
Şekil 3. 10. Eğik mod SAR için 2D tarama geometrisi .....	62
Şekil 3. 11. (a) 2D CSAR tarama geometrisi, (b) 3D CSAR tarama geometrisi .....	63
Şekil 3. 12. 3D YT-SAR tarama geometrisi .....	65
Şekil 3. 13. Üste düşüm ve önden kısılma etkilerinin benzetimi .....	67
Şekil 3. 14. YT-SAR tekniği ile odaklanmış noktasal hedefler .....	68
Şekil 3. 15. CSAR benzetimi için kullanılan noktasal hedefler.....	70
Şekil 3. 16. 3D YT-CSAR benzetimi için BPA ile odaklanmış noktasal hedefler ....	71
Şekil 3. 17. Işın demeti zarf filtresinin kullanımı.....	73
Şekil 3. 18. Üste düşüm bozulmasının tespitinin test geometrisi.....	74
Şekil 3. 19. Radar anteninin küresel dalga yayılım grafiği .....	77
Şekil 3. 20. Üste düşüm etkisinin tespiti için yapılan benzetimde sonuçları .....	78
Şekil 3. 21. Farklı sentetik açıklık noktalarına karşılık gelen SAR sonuçları .....	80
Şekil 4. 1. LFMW SAR için benzetim geometrisi ve parametreleri .....	82
Şekil 4. 2. LFM dalga formlu SAR benzetimi sonucu elde edilen ham SAR verisi ..	82
Şekil 4. 3. SAR benzetimi sonucu odaklanmış görüntüler.....	83
Şekil 4. 4. Delta Britanya kolumbiyası .....	85
Şekil 4. 5. W bant 2D YT-SAR benzetimi için sistem geometrisi.....	88
Şekil 4. 6. İzotropik noktasal hedef benzetim sonuçları .....	89
Şekil 4. 7. YT-SAR uygulamaları için geliştirilen platform ve deney düzeneği .....	91
Şekil 4. 8. W-bant YT-SAR ölçümü, deneysel düzenek geometrisi.....	91
Şekil 4. 9. BPA ve $\omega$ -KA kullanılan W-bant deneyi .....	93
Şekil 4. 10. W-bant YT-SAR ölçümü .....	95
Şekil 4. 11. FOD'ye yönelik K-bant YT-SAR deneysel düzenek geometrisi.....	96
Şekil 4. 12. K-Bant YT-SAR ölçümünün odaklanmış SAR görüntüsü .....	96
Şekil 4. 13. Milimetre dalga radarın ölçüm düzeneği .....	98
Şekil 4. 14. Eğik mod SAR için tarama geometrisi ve segmentlerin gösterimi.....	98
Şekil 4. 15. Eğik mod SAR deneyinde kullanılan hedefler .....	99
Şekil 4. 16. 5 farklı bakış açısı için eğik mod SAR sonuçları.....	99
Şekil 4. 17. X-Bant YT-SAR deneyi.....	101
Şekil 4. 18. 4 adet vidanın YT-SAR verisinin odaklama sonuçları. ....	102
Şekil 4. 19. X-Bant dış ortam YT-SAR uygulaması.....	104

Şekil 4. 20. BPA ve $\omega$ -KA kullanılan X-Bant deneyi sonucu .....	106
Şekil 4. 21. BPA ve $\omega$ KA kullanılan X-bant YT-SAR deneyi .....	107
Şekil 4. 22. MEÜ Mühendislik Fakültesi güney balkonu .....	109
Şekil 4. 23. MEÜ Mühendislik Fakültesi güney balkonu .....	109
Şekil 4. 24. MEÜ Mühendislik Fakültesi deneyi .....	111
Şekil 4. 25. MEÜ Mühendislik Fakültesi otopark deneyi .....	113
Şekil 4. 26. Otoparktaki ağaçların YT-SAR görüntüsü .....	113
Şekil 4. 27. MEÜ Mühendislik Fakültesi otoparkı .....	114
Şekil 4. 28. MEÜ Mühendislik Fakültesi otoyol deneyi .....	116
Şekil 4. 29. Üste düşüm etkisinin geometrik gösterimi .....	117
Şekil 4. 30. Üste düşüm etkisinin tespiti için ardı ardına odaklama işlemi .....	118
Şekil 4. 31. Üste düşüm etkisinin tespit edilmesi .....	120
Şekil 4. 32. Jeoloji bölüm binasının fotoğrafı ve YT-SAR görüntüsü .....	122
Şekil 4. 33. Mersin Üniversitesi hayvan barınağı YT-SAR görüntüsü .....	124
Şekil 4. 34. Mersin Üniversitesi mimarlık fakültesi .....	126
Şekil 4. 35. Mersin Üniversitesi Mimarlık Fakültesi güney güzergâhı .....	127
Şekil 4. 36. MEÜ Mimarlık Fakültesi güney güzergâhı SAR sonuçları .....	128
Şekil 4. 37. Dairesel YT-SAR geometrisi .....	130
Şekil 4. 38. YT-CSAR uygulama sonuçları .....	132
Şekil 4. 39. 253 derecelik CSAR uygulama sonuçları .....	134
Şekil 4. 40. Bekho model kepçe için YT-CSAR uygulaması .....	135

## SİMGE VE KISALTMALAR DİZİNİ

1D	Bir Boyutlu
2D	İki Boyutlu
3D	Üç Boyutlu
A/D	Analog Sayısal
ATR	Otomatik Hedef Tanımlama
BPA	Geriye-İzdüşüm Algoritması
CSA	Cıvıltı Ölçeklendirme Algoritması
CSAR	Dairesel SAR
CW	Sürekli Dalga
EM	Elektromanyetik
FFT	Hızlı Fourier Dönüşümü
FM	Frekans Modülasyonu
FMCW	Frekans Modülasyonlu Sürekli Dalga
FOD	Yabancı Nesne Döküntülerinin Bulunması
FOPEN	Bitkiye Nüfuz Eden
FT	Fourier Dönüşümü
GPR	Yere Nüfuz Eden Radar
IF	Ara Frekansı
IFT	Ters Fourier Dönüşümü
ISAR	Ters SAR
ISLR	Tümleşik Yan Lob Oranı
İHA	İnsansız Hava Araçlarına
LFM	Doğrusal Frekans Modülasyonu
MAM	Marmara Araştırma Merkezi
MF	Uyumlanmış Filtreleme
MFA	Uyumlanmış Filtre Algoritması
MTI	Hareketli Hedef Gösterimi
PRF	Darbe Tekrarlama Frekansı
PRI	Darbe Tekrarlama Aralığı
PRI	Darbe Tekrarlama Aralığı

RCMC	Menzil Hücre Göçü Doğrulaması
RCS	Radar Kesit Alanı
RDA	Menzil Doppler Algoritması
RD	Menzil Doppler
SA	Sentetik Açıklık
SAR	Sentetik Açıklıklı Radar
SCR	Sinyal Karışıklık Oranı
SF	Adım Frekans
SFCW	Adım Frekanslı Sürekli Dalga
SFCWR	Adım Frekanslı Sürekli Dalga Radar
SM-SAR	Şerit Harita SAR
SNR	Sinyal Gürültü Oranı
SRC	İkincil Menzil Sıkıştırma
TOR	Engel Arkası Radar
TÜBİTAK	Türkiye Bilimsel Ve Teknolojik Araştırma Kurumu
TWR	Duvar Arkası Radar
VNA	Vektör Network Analizör
WA	Geniş Açık
WA-SAR	Geniş Açıklı SAR
YT-SAR	Yer-Tabanlı SAR
$\omega$ -KA	Omega-K Algoritması



## 1. GİRİŞ

Sentetik Açıklıklı Radar (SAR), keşfedildiği 1950'li yıllardan itibaren, genellikle hava veya uzay-tabanlı sistemler ile yeryüzü veya yeraltı hedeflerinin yüksek çözünürlüklü elektromanyetik saçılma görüntülerinin elde edilmesinde kullanılan bir sinyal işleme tekniğidir. Büyük yeryüzü alanlarının gözlemlenmesine olanak sağlayan SAR sistemleri, oldukça karmaşık yapıya sahip darbe-Doppler radar cihazlarını içerdiğinden ve maliyetli platform gereksinimlerinden dolayı genel olarak karmaşık ve pahalı sistemlerdir. Öte yandan, bazı uzaktan algılama uygulamalarında, yeryüzünün küçük bir bölgesinin kompakt, düşük-maliyetli yüksek-çözünürlüklü görüntüleme sensörleri ile hızlı keşiflerinin yapılması istenmektedir. Köprü, tünel, mağara girişi, su kanalı, yer-altı mayını, havaalanı pistlerindeki yabancı nesne döküntüsü, otoyol, bitkisel örtü, nehir vb. insan yapımı ve doğal nesnelerin incelenmesi bu uygulamalara örneklerdir. Bu problemlerin bazılarında optik sensörler kullanmak bir çözüm olmakla birlikte, bu sensörlerin her türlü atmosfer (sis, bulut, yangın, yağmur) ve gece-gündüz koşullarında çalışmama gibi kısıtlamalara sahip olması, uygulanabilirliklerini sınırlı hale getirmekte, bu nedenle daha farklı tekniklere ihtiyaç duyulmaktadır. Son yıllarda keşfedilen Yer-Tabanlı SAR (YT-SAR) tekniği ile belirtilen tarzdaki küçük ölçekli yeryüzü gözlem uygulamaları başarılı bir şekilde gerçekleştirilmiştir [Pieraccini vd., 2001; Leva vd., 2003; Zhou, 2003 ].

Tipik olarak antenden 6 km'ye kadar olan mesafelerdeki yeryüzü bölgelerinin görüntülenmesinin amaçlandığı YT-SAR sistemlerinde en ziyade X-bant (8-12 GHz) ve Ku bant (12-18 GHz) frekanslarının kullanıldığı göze çarpmaktadır. Bununla birlikte son zamanlarda yapılan bazı çalışmalarda C-bant (4-8 GHz) ve W-bant (75-110GHz) uygulamaları da görülmektedir [Yigit vd., 2012]. Sentetik açıklık taramaları ise ekseriyetle, kısa (2-10 m) raylı platformlar ile dur-ve-git prensibi uygulanarak veya düşük sabit hızlı platform hareketi ile yapılmıştır. YT-SAR keşfedildiği andan bu zamana kadar birçok farklı alanda kullanılmıştır. Toprak kayması takibi, bitki örtüsünün mevsimsel değişimi [Luzi vd., 2004], dağlık arazilerin üç boyutlu (3D) modellerinin üretilmesi [Nica vd., 2005], arazilerin değişimlerinin incelenmesi [Noferini vd., 2006; Leva vd., 2003], bina benzeri

yapıların zamanla değişiminin incelenmesi [Hamasaki vd., 2004] ve şehirseller yapıların interferometrik SAR ile görüntülenmesi [Soergel vd., 2003] gibi uygulamalar en popüler YT-SAR uygulamaları arasında yer almaktadır. Bu uygulamalar genellikle sabit bir bölgeden kısa mesafeli ve takip amaçlı hedeflere yöneliktir. Diğer yandan yüksek azimut çözünürlüklü SAR görüntülerinin elde edilebilmesine yönelik olarak, sabit hızla hareket eden otomobil tabanlı bir SAR platformu kullanan sistemlerde bulunmaktadır [Kong vd., 2005; Cho vd., 2006; Gonzalez-Partida vd.,2007; Gonzalez-Partida vd.,2008].

Ancak tüm bu uygulamalar arasında, klasik SAR görüntülerinde karşılaşılan ve ancak interferometrik SAR tekniğiyle tespit edilebilen [Richards, 2007] üste düşüm (Layover) ve önden kısalma (Foreshortening) etkilerinin YT-SAR görüntülerinde nasıl yorumlanacağı ve bu etkilerin tespit edilip edilemeyeceği konusu henüz incelenmemiştir. Özellikle dağlık arazilerin klasik SAR görüntülerinde karşılaşılan üste düşüm ve önden kısalma etkilerinin tespitine dair yapılan tüm çalışmalar interferometrik yöntemlerle çözülmektedir. Son yıllarda literatüre giren, çoklu nokta tarama tekniğinin kullanılması [Wang vd., 2007] ve sıkıştırılmış algılama tekniği yoluyla interferometrik SAR datasından üste düşüm etkisinin çözülmesi [Schmitt ve Stilla, 2012] gibi uygulamalarda da benzer prensipten yararlanılarak bu etkilerin çözümü amaçlanmıştır. Fakat tüm bu çözüm yöntemlerinde farklı noktalardan tarama yapılması gerekliliği işlem yükünü ve maliyeti arttırmaktadır. Bu nedenle, interferometri kullanılmadan elde edilen yakın alan YT-SAR görüntülerinde üste düşüm ve önden kısalma etkilerinin tespitine yönelik çalışmaların yapılması önem arz etmektedir. Bununla birlikte YT-SAR verisinin doğru bir şekilde yorumlanabilmesi için, elde edilen sinyalin hatasız bir biçimde modellenerek uygun bir görüntüleme tekniği ile işlenmesi gerekmektedir.

Literatürde yer alan birçok SAR görüntüleme algoritması görüntü oluşturma performansı bakımından benzerlikler içermekle beraber farklı amaçlara yönelik olarak birbirlerine kıyasen avantaj ve dezavantajlara sahiptirler. Uyumlanmış Filtre Algoritması (Matched Filter Algorithm -MFA) [Yigit vd., 2012], Geriye-İzdüşüm Algoritması (Back Projection Algorithm -BPA) [Lopez-Sanchez ve Fortuny, 2000], ve Omega-K Algoritması ( $\omega$ -KA) [Yigit vd., 2007] doğası gereği yakın alan uygulamalarında da kullanılabilen ve YT-SAR'a uygun olan teknikler arasında yer

almaktadır. Bahsi geçen algoritmalar birçok farklı uygulamada kullanılmış olmakla beraber YT-SAR amacına yönelik olarak hangi tekniğin daha uygun ve avantajlı olduğu hala bir soru işareti olarak bulunmaktadır. YT-SAR görüntüleme tekniğinin uygulanmasında en önemli basamaklardan birisi de uygun parametrelerin tespitidir. Radar anteninden hedefe olan mesafe, görüntülenmesi istenen bölgedeki arzulanan maksimum çözünürlük, hedef bölgenin radar platformuna göre uzamsal konumu ve tarama mesafesi gibi etkenlere göre uygun radar parametrelerinin tespiti ve buna yönelik sistem tasarımı ve uygun odaklama algoritmasının belirlenmesi bu tezin başlıca hedefleri arasında yer almaktadır.

Yer üstü platformlara monte edilebilecek SAR sisteminin oluşturulması ve gerçek karasal radar görüntülerinin elde edilmesinin amaçlandığı bu tezde, özgün olarak:

- ❖ Yer üstünde hareket edebilen farklı tiplerde YT-SAR platformları imal edilmiş,
- ❖ MFA,  $\omega$ -KA ve BPA'nın W-bant ve X-bant YT-SAR ölçümleri için performansları birbirleriyle kıyaslanmış ve BPA'nın uygunluğu ve üstünlüğü benzetim ve ölçüm sonuçlarıyla kanıtlanmış,
- ❖ MFA ve BPA'nın, şerit-harita SAR (Strip Map-SM-SAR), eğimli SAR(Squint SAR) ve dairesel SAR (Circular- CSAR) tekniklerine yönelik olarak implementasyonları gerçekleştirilmiş,
- ❖ BPA için anten ışın demet filtresi geliştirilmiş ve görüntü iyileştirme performansı hem benzetim hem de ölçüm sonuçlarıyla gösterilmiş,
- ❖ Havalimanlarındaki yabancı enkazın tespiti (Foreign Object Detection-FOD) için milimetre dalga yakın alan YT-SAR tekniğinin kullanılabilirliği önerilmiş ve deneysel sonuçlarla uygulanabilirliği belirtilmiş,
- ❖ Mersin Üniversitesi Çiftlikköy Yerleşkesinin belirli bölgelerinde bulunan araba, otoyol, kaldırım, elektrik direği, bina, ağaçlar ve balkon katları gibi şehirsal yapıların C-bant YT-SAR görüntüleri elde edilerek yorumlanmış,
- ❖ Düşük alçalış açılı (depression angle) geometriye sahip yakın alan YT-SAR görüntülerinde oluşan üste düşüm ve önden kısalma etkisinin, interferometri kullanmaksızın belirlenebileceği analitik olarak ifade edilerek hem benzetim hem de ölçüm sonuçlarıyla kanıtlanmış,

- ❖ CSAR tekniği kullanılarak, binek tipi araçların ve bekho model kepçenin yüksek çözünürlüklü YT-CSAR görüntüsü elde edilerek, görüntü bozulmaları ve sebepleri yorumlanmış,

ve böylelikle YT-SAR konsepti geniş bir perspektiften ele alınmıştır.

Tezin genel akışı şu şekildedir: 2. bölümde SAR tekniği ve YT-SAR tekniği ele alınarak, SAR odaklanmasına yönelik mevcut çalışmalarla, bulgular kısmındaki sonuçların yorumlanmasında kullanılan eşitlikler verilmiştir. 3. bölümde, deneylerin ve ölçümlerin hangi yöntemle ve hangi cihazlarla yapıldığı belirtilerek, MFA ve BPA için iki boyutlu (2D) ve 3D tarama geometrileri için kendi implementasyonumuz ayrıntılarıyla sunulmuştur. Ayrıca 3D tarama sonrası oluşabilen üste düşüm ve önden kısalma etkisinin hem SM-SAR hem de CSAR için modellenmesi analitik olarak gösterilerek, MFA ve BPA da, sınırlı anten ışın demet filtresinin formülasyonu verilmiştir. 4. bölümde ise, 3. bölümde bahsedilen teknikler, hem benzetim hem de ölçüm verileri için doğrulanmış ve Mersin Üniversitesi Yerleşkesine ait gerçek karasal YT-SAR görüntüleri elde edilmiştir. Sonuçlar bölümünde, yapılan tüm uygulamalar ve sonuçları değerlendirilerek tezin literatüre katkısı açıkça gösterilmiştir.

## 2. KAYNAK ARAŞTIRMALARI

### 2.1. SENTETİK AÇIKLIKLIL RADAR KAVRAMINA GENEL BAKIŞ

#### 2.1.1 SAR'ın Tarihsel Süreci

Radar ilk olarak 2. dünya savaşında, gemileri ve hava araçlarını izlemek amacıyla geliştirilmiştir. Klasik radarlar menzil yönündeki hedeften geri yansıyan sinyalin zamandaki gecikmesinden yola çıkarak menzil boyunca konumunu hesaplamaktaydı. Hedeften geri yansıyan darbelerdeki Doppler kayması yardımıyla hedefin konumunun yanı sıra hızı da tespit edilebilmekteydi. Ancak bu uygulamalar sadece hedeflerin menzil boyunca konumları ve hızı hakkında bilgi verirken, azimutta yani çapraz menzildeki bilgiyi içermemekteydi. 1947 yılında, İngiliz Thomson-Houston da mühendis olarak çalışan Dennis Gabor, dalga-önü yapılandırılması (wavefront reconstruction) ilkesine dayanan ve modern SAR tekniğinin temelini oluşturan holografıyı icat etti. 1951 yılında Carl Wiley, arasında açılabilir fark bulunan iki sabit hedefin hareketli bir platform yoluyla hedeflerin Doppler kaymalarının farkından yararlanarak biri birinden ayırt edilebileceğini keşfetti. Wiley bu tekniğe Doppler ışın keskinleştirme (Doppler beam sharpening) adını verdi fakat bu gün SAR'ın özel bir formu olarak bilinmektedir [Wiley, 1953; Wiley, 1985 ]. Wiley kendi Doppler ışın tekniğini biçimlendirirken, Illinois Üniversitesinden bir grup, aynı Doppler etkisini bir dizi arazi örneğindeki frekans spektrumundan fark ederek 1953 yılında özel bir X-bant radarı inşa ettiler ve ilk 2D radar görüntüsünü ürettiler [Sherwin vd., 1962; Kovaly, 1977; Ausherman vd., 1984].

1950'lerden sonra SAR işleme tekniği çarpıcı bir biçimde gelişme gösterdi. SAR görüntüleme ilk olarak 1974 yılında Lee Graham tarafından interferometrik işlem kullanılarak üçüncü boyuta genişletildi [Graham, 1974]. Bu süreç zarfında en belirgin ilerleme yüksek hızlı dijital bilgisayarlarla birlikte geldi. Zira 1980 öncesi SAR işlemleri optik işlemcilerle yapılırken bilgisayar teknolojisiyle bu süreç yerini dijital işleme bıraktı. Bu ilerlemeyi ilk olarak ortaya koyan 1975 yılında John Kirk oldu [Kirk ve John, 1975]. 1980 yılında, Jack Walker SAR veri toplamasının kutupsal doğasının farkına vararak SAR görüntülerindeki belirgin bir odaklama

hatasını düzeltti. Bu buluş ayrıca ters sentetik açıklıklı radar (Inverse Synthetic Aperture Radar-ISAR)'ın altyapısının sağlanmasına yardımcı oldu [Walker, 1980]. Bir diğer önemli buluş 1983 yılında David Munsonun medikal görüntüleme için kullanılan tomografi tekniğinin ayrıca SAR görüntüleme de kullanılabileceğini göstermesiyle yapıldı [Munson vd., 1983]. Bu buluş BPA'nın gelişmesine yol açtı. Böylelikle yakın alan SAR görüntüleme için kullanılabilen en popüler görüntüleme algoritmalarından birisi ortaya çıktı. Takip eden yıllarda SAR uygulamalarının performanslarının artırılmasına ve görüntülerin iyileştirilmesine yönelik çalışmalar hızla devam etti.

### 2.1.2 SAR'ın Önemi

SAR 1950'li yıllardan itibaren, genellikle hava veya uzay-tabanlı sistemler ile yeryüzü veya yeraltı hedeflerinin yüksek çözünürlüklü elektromanyetik (EM) saçılma görüntülerinin elde edilmesinde kullanılmaya başlamıştır.

SAR sistemlerinin en iyi bilinen uygulaması arazi haritalarının elde edilmesidir. Askeri veya sivil birçok uygulama için, karanlık veya bulut gibi görsel teması engelleyen faktörlere rağmen, dünya yüzeyinin geniş ölçekli haritalarının elde edilmesi çok önem arz etmektedir. Bu uygulamalar arasında kararsız eğimli erozyon riskli bölgelerin izlenmesi, çevrenin takip edilmesi, insan yapımı yapıların araştırılması, taze bitki örtüsünün izlenmesi ve buzul hareketliliğinin takip edilmesi gibi çalışmalar sıralanabilir [Zhou vd., 2004; Pieraccini vd., 2006; Gómez-Dans vd., 2006]. Ayrıca SAR haritaları arazilerin tipinin belirlenmesinden [Belhadj vd., 1994] savaş alanlarının gerçek zamanlı olarak takip edilmesi ve izlenmesine kadar [Fennell vd., 1998; Soumekh, 1995] birçok farklı alanda kullanılmaktadır.

Uzay araçlarına monte edilen SAR sistemi ile dünyamızla birlikte diğer gezegenlerinde 3D haritalarının çıkartılması mümkün kılınmıştır [Strozzi vd., 2003; Hilland vd., 1998]. Ayrıca son yıllarda başlatılan geniş çaplı araştırmalar sayesinde SAR uygulamalarının kapasitesi görsel olarak opak olan materyaller arkasına gizlenmiş nesnelere tespit edilmesine yönelik olarak kullanılmaya başlanmıştır. Genel olarak engel arkası radarı (through the obstacle radar-TOR) terimi ifade edilebilecek bu teknikten faydalanan uygulamalara örnek olarak; anti-personel kara

mayınlarının tespiti, duvar-arkasının görüntülenmesi, enkaz altındaki (beton, toprak, çığ, vb.) kazazedelerin kurtarılması, gösterilebilir. Eğer, incelenen nesne yeraltında ise, teknik yaygın olarak yere nüfuz eden radar (ground penetrating radar-GPR) olarak adlandırılmaktadır [Aubry vd., 2002]. İnsan yapımı yapıların iç taraflarındaki hedefleri, bir dış mesafe uzaklığından görüntüleyerek algılayan sistemlere ise duvar arkası radar (through the wall radar-TWR) sistemleri denilmektedir. Ağaç yaprakları arkasına gizlenmiş sabit veya hareket eden araçların ve/veya yayaların tespiti üzerine geliştirilen radar sistemler de bitkiye nüfuz eden radar (foliage penetrating radar-FOPEN) sistemleri olarak kategorize edilmektedir [Xu ve Ram, 2001]. Bahsedilen bu TOR uygulamalarının tümünde SAR tekniği temel olarak kullanılmaktadır.

Bir diğer aktif SAR araştırma alanı ise otomatik hedef tanımlamadır (automatic target recognition -ATR). Bu teknik bilgisayar algoritmaları sayesinde ilgili bölgedeki hedef tanımlanmasını minimum insan müdahalesi ile yapmaktadır. Böylelikle insan hareketliliği, askeri mühimmat tespiti veya kara ve deniz araçlarının tanımlanması gibi amaçlarda kullanılabilir [Potter ve Randolph, 1997; Chiang vd.,2000]. Bir diğer önemli ve kritik askeri SAR uygulaması ise SAR ile hareketli hedef gösterim (moving target indication -MTI) sistemlerinin birleştirilmesidir. Bu iki sistemin tek bir platformda birleştirilmesi askeri arazide çok büyük bir üstünlük sağlamaktadır. Son yıllarda yapılan birçok çalışma bu alandaki yenilikleri sunmaktadır [Coe ve White, 1995; Jao, 2001].

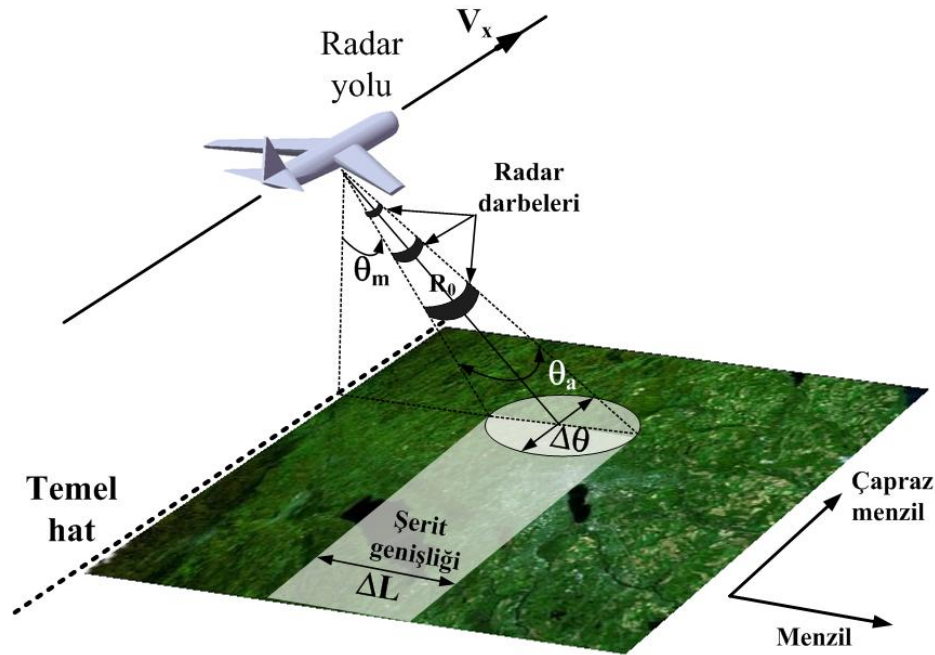
SAR tekniğinde hedef bölge sabitken radar platformu hareketli olduğundan, aynı ilke sabit radar ve hareketli hedef (özellikle dönüş yapan) için uygulandığında ISAR olarak bilinen bir teknik ortaya çıkmaktadır. ISAR tekniği ile hareketli hedeflerin görüntülenmesi ve tanımlanması mümkün kılınmıştır.

Yukarıda bahsedilen SAR uygulamaları en bilinen araştırmalar olmakla beraber daha spesifik alanlarda da SAR tekniği kullanılmaktadır. Ancak uydu veya uçak bazlı SAR uygulamaları süreç zamanı ve maliyet bakımından yüksek olduğu için son yıllarda YT-SAR tekniğine geçilmiş ve böylelikle SAR için yeni bir branş daha oluşmuştur. YT-SAR tekniği diğer geleneksel SAR uygulamalarına elverişli iken, kısa mesafe görüntüleme milimetre dalga kullanımı ve çok yüksek çözünürlük sunma kapasitesinden ötürü bazı üstünlüklere de sahip olan yeni ve çok güncel bir uygulamadır [Yiğit vd., 2012].

### 2.1.3 Şerit-Harita SAR Tekniği

SAR sistemleri genellikle iki farklı mod da çalışırlar. Bunlar şerit-harita (strip-map -SM) ve noktasal aydınlatma (spotlight) SAR olarak ayrılır. SM-SAR sistemi noktasal aydınlatmalı SAR'a göre daha düşük çözünürlüğe sahiptir ancak daha büyük bölgelerin görüntüsünü sunmaktadır. Noktasal aydınlatmalı SAR ise küçük bölgelerde yüksek çözünürlük üretebilmektedir.

SM-SAR sistemi geniş yer şeritlerinin görüntülenmesinde kullanılan bir tekniktir. Yer yüzeyindeki görüntülenmek istenen şeridin genişliği, radar antenin demet genişliği ile platformun yerden yüksekliğine ve antenin bakış açısına bağlıdır. Şeridin uzunluğu ise veri toplama süresiyle doğru orantılıdır. Standart bir SM-SAR geometrisi şekil 2. 1'de görüldüğü gibidir.



Şekil 2. 1. Şerit harita SAR tarama geometrisi

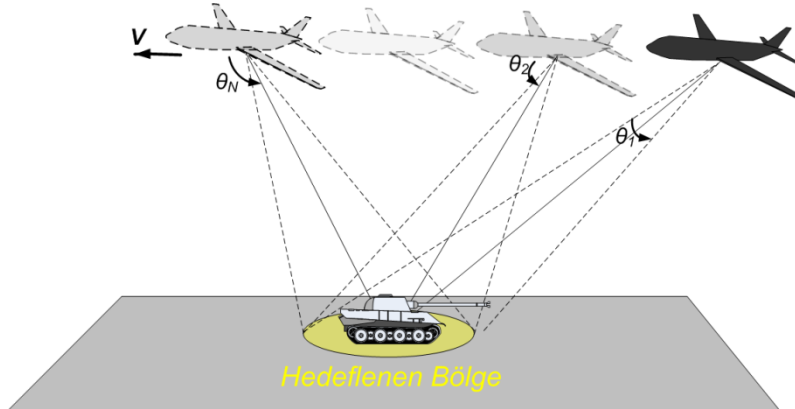
Şekil 2. 1'de görüldüğü gibi radar platformu belirli bir hat boyunca sabit bir hızla hareket ederken, menzil yönünde yer yüzeyini sabit bir açıyla EM olarak aydınlatmaktadır. Şekilde görünen  $\Delta\theta$  antenin ayak izi (foot print) olarak tanımlanır ve radar antenin ışın demet genişliği ile platformun uzaklığına bağlı olarak değişmektedir. SAR tekniğinde menzil yönündeki çözünürlük bant genişliğiyle orantılıken azimut yönündeki çözünürlük anten demet genişliğiyle orantılıdır. Bu



yüzden  $\Delta\theta$  değeri büyüdükçe çapraz menzil (azimut) yönündeki çözünürlükte artacaktır. Tipik şerit harita temelli platformlar doğrusal bir hatta yer yüzeyine paralel olacak şekilde uçarken radar ışın demetleri uçuş hattına göre belirli bir açıyla sabitlenmiş bir şekilde yer yüzeyini aydınlatır. Birçok sistemde radar ışın demetleri uçuş hattına dik bir şekilde ayarlanır ve bu tip bir veri toplama geometrisine borda (broadside) denir. Eğer radar ışınları uçuş hattına dik değilse bu tip bir veri toplama geometrisine eğik-mod (squinted) denir.

#### 2.1.4 Noktasal Aydınlatmalı SAR Tekniği

Noktasal aydınlatmalı (spotlight) SAR son yılların en rağbet gören SAR tekniği olup SAR literatüründe oldukça geniş bir yeri vardır [Ausherman vd., 1984; Carrara vd., 1995]. Şerit-harita SAR sisteminde radar platformu farklı yer bölümlerini aydınlatırken, noktasal aydınlatmalı SAR sisteminde, radar platformu aynı yer parçasını sürekli olarak aydınlatmaktadır. Bu yaklaşım dolayısıyla tarama boyutunu küçültmekte fakat bununla birlikte çok yüksek çözünürlüklü yer görüntüleri üretmektedir. Çünkü aynı toprak parçası birçok farklı bakış açısıyla aydınlatılmakta ve geri saçılım bilgisi toplanmaktadır. Şekil 2. 2’de görüldüğü gibi radar platformu aynı SM-SAR sisteminde olduğu gibi hareket etmekte fakat tek bir bölgeyi aydınlatmaktadır.



Şekil 2. 2. Noktasal aydınlatmalı SAR tarama geometrisi

Noktasal aydınlatmalı SAR sisteminde eğer odaklanan bölge uçuş hattına dik bir şekilde ayarlanmışsa, bu tip bir veri toplama geometrisine borda noktasal

aydınlatmalı SAR denir. Eğer radar ışınları uçuş hattına dik değilse bu tip bir veri toplama geometrisine eğik-mod noktasal aydınlatmalı SAR denir.

#### 2.1.5 Ters Sentetik Açıklıklı Radar Tekniği

Klasik SAR tekniğinde radar platformunun hareketiyle hedeflerin farklı bakış açılarıyla algılanması sağlanırken, ISAR tekniğinde hedefler hareketli olup, radar platformu sabit konumda durmaktadır. Böylelikle hedefin hareketiyle birlikte farklı açılardaki geri saçılımları toplanarak işlenmekte ve böylece, yüksek çözünürlüklü ISAR görüntüsü üretilmektedir. Birçok avantajı bulunan ISAR sabit yer platformlarına monte edilen radarlarla hava araçlarının görüntülerinin üretilmesinde ve okyanus dalgalarında sallanan gemilerin görüntülenmesinde kullanılmaktadır. Fakat ISAR'ın kullanımındaki en önemli araştırma, radar kesit alanı (radar cross section -RCS) radar odası kullanarak, hava tabanlı SAR görevlerine gerek kalmadan, karmaşık hedeflerin yüksek çözünürlüklü görüntüsünün üretilmesidir.

#### 2.1.6 Dairesel SAR Tekniği

Son yıllarda geliştirilen ve noktasal aydınlatmalı SAR tekniğinin farklı bir türü olan CSAR tekniğinde radar platformu doğrusal bir hat yerine, dairesel bir hat boyunca sabit bir bölgeyi EM olarak aydınlatmaktadır [1]. Bu tekniğin sonucu olarak CSAR'ın diğer SAR türlerine göre iki özelliği onu popüler kılmaktadır. Bunlar alt dalga boylarında (cm) yüksek çözünürlük ve tek taramalı CSAR verisinden, hedeflere ait 3D yükseklik verilerinin çıkartılmasıdır. Bu üstünlüklerinden dolayı CSAR çok geniş bir uygulama sahasında kullanılmıştır. Bunlar arasında araçların otomatik olarak tanımlaması ve sınıflandırılması [Ertin vd. 2007], eş zamanlı jeolojik görüntülerin oluşturulması [Liu vd. 2011] ve güvenlik kontrol noktalarında gizlenmiş silahların tespiti [Bertl, vd. 2007] gibi uygulamalar sayılabilir. Fakat CSAR görüntüleme en büyük problem bölüm 3.2.6.1.'de bahsedilen üste düşüm etkisidir. Zira şerit harita SAR sisteminde sadece menzil yönünde kendini gösteren bu etki, CSAR uygulamalarında halkalar şeklinde görülmekte ve görüntüde önemli bir

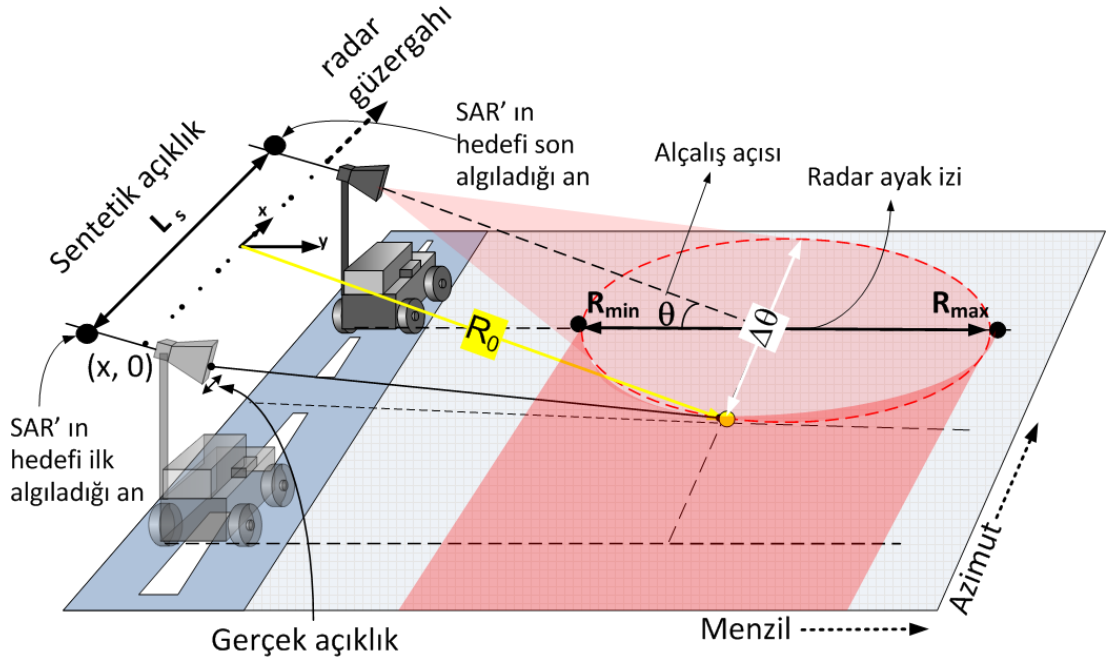
parazit etkisi oluşturmaktadır. Bölüm 3.2.6.1.'de CSAR görüntüleme tekniğiyle birlikte bu etkiler ve sonuçları incelenmiştir.

## 2.2. YER TABANLI SENTETİK AÇIKLIKLI RADAR (YT-SAR)

### 2.2.1 YT-SAR Avantajları

#### 2.2.1.1 Düşük maliyet

YT-SAR temel itibariyle geleneksel hava tabanlı SAR sistemine benzemekle birlikte uygulama alanları bakımından farklılıklar göstermektedir. Monte edildiği radar platformunun yere yakın olmasından dolayı alçalış açısı geleneksel SAR sistemine nazaran daha düşüktür. Şekil 2. 3'de YT-SAR sistem geometrisi gösterilmiştir. Şekilden de anlaşılacağı üzere YT-SAR, standart SAR uygulamaları gibi aynı prensiple çalışmaktadır. YT-SAR platformu belirli bir güzergâh boyunca ilerlerken radar anteni güzergâha göre belirli bir açıda geri saçılım sinyallerini toplayarak uyumlu bir biçimde bu sinyalleri işleyip hedeflenen bölgenin radar görüntüsünü oluşturur.



Şekil 2. 3. YT-SAR tarama geometrisi

YT-SAR, standart SAR sisteminde olduğu gibi, borda, eğik-mod ve dairesel SAR uygulamaları gerçekleştirilebilir olmasıyla beraber, standart SAR sistemine göre birçok üstün yönü bulunmaktadır. Bunların en başında düşük maliyet gelmektedir. Standart SAR sistemlerinde herhangi bir bölgenin radar görüntüsünün elde edilebilmesi için uçak benzeri hava araçlarına monte edilmiş radar platformlarının havalandırılması ve uygulamanın gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Ayrıca hava tabanlı SAR sistemleri yüksek menzil mesafesinden dolayı daha fazla çıkış gücüne ihtiyaç duymaktadır. Bu gereksinimlerinden dolayı üretilecek radarın maliyeti de artmaktadır. Ancak YT-SAR sistemleri yer yüzeyinde hareket edebilen herhangi bir araca kolaylıkla monte edilebilmekte ve bunun için ek bir maliyete ihtiyaç duyulmamaktadır. Bununla birlikte genellikle yakın alan bölgesinde gerçekleştirilen YT-SAR uygulamaları için çok yüksek çıkış gücü gereksinimi yoktur. Uygulamanın gerçekleştirilme zamanı da hesaplanınca YT-SAR sistemlerinin oldukça verimli ve ucuz sistemler olduğu görülmektedir.

#### 2.2.1.2 Geniş kapsamlı alan tarama

Bir diğer avantaj olarak da yatay taramalı bölgesel görüntüleme kabiliyetinden bahsedilebilir. Standart SAR uygulamalarında hava tabanlı radar yüksek alçalış açısından dolayı arazileri ancak belirli bir kuş bakışıyla görüntüleyebilmekte iken mağaralar köprüler veya radar bakış açısından gizlenmiş olan araziler görüntülenememektedir. Oysaki YT-SAR sistemler yer yüzeyinde çok düşük alçalış açısıyla görüntüleme yapabildiği için, standart SAR sistemlerinden gizlenebilen yapılar YT-SAR sistemlerinden gizlenememektedir. Özellikle askeri sınır bölge karakollarına yakın bölgelerde teröristler, uçakların radar ile tespit edemeyeceği kör noktaları tercih ederek gizlendiklerinden standart SAR uygulamalarıyla yerleri bulunamamaktadır. YT-SAR sistemi ile sınır bölgesinde hareket edebilen bir araca monte edilmiş bir radar platformu, dağlık bölgeyi yataydan tarayabilme ve bölgenin EM haritasını çıkarabilme kabiliyetine sahiptir.

### 2.2.1.3 Yüksek çözünürlük

Her türlü SAR uygulamasında yüksek menzil çözünürlüğü yüksek bant genişliği ile sağlanırken, azimut çözünürlüğü ise yüksek merkez frekansı ile sağlanmaktadır. Milimetre dalga boylarında azimut çözünürlüğü mesafeye bağlı olarak cm seviyesine kadar düşmekte fakat uygulanan frekans arttıkça sönüm oranı da o denli artmaktadır. Ancak YT-SAR genellikle kısa mesafe uygulamalarında kullanıldığından milimetre dalga frekanslarında ölçüm yapılabilmesine ve yüksek çözünürlüklü görüntü elde edilmesine olanak sağlamaktadır.

### 2.2.1.4 Değişim algılama

Herhangi bir araç üzerine monte edilebilen sistemlerinin yanı sıra sabit bir raylı sistem üzerine yerleştirilen ve 1 ila 2 metrelik bir sentetik açıklık boyunca belirli bir mekânı sürekli olarak tarayabilen YT-SAR sistemleri, bu özelliklerinden dolayı aynı mekânı sürekli olarak tarayabilme kabiliyetine sahiptirler. Böylelikle hedeflenen bölgede belirli parametrelerdeki farklılık, değişim algılama (change detection) metotları kullanılarak izlenebilmektedir [Özdemir vd., 2011; Ossberger vd., 2004]. Benzer prensiple ağaç yaprakları arkasına gizlenmiş sabit veya hareket eden araçların ve/veya yayaların tespiti üzerine geliştirilmiş radar sistemleriyle FOPEN radar sistemlerinde de kullanılmaktadır [Sheen vd., 1994].

### 2.2.1.5 Yabancı enkaz algılama

YT-SAR'ın bir diğer önemli avantajı da havaalanları gibi geniş arazilerdeki yabancı nesne döküntülerinin (foreign object debris detection-FOD) temizlenmesindeki potansiyelidir. Fransa havayollarına ait Concorde tipi jetin, 25 Temmuz 2000 tarihinde 4590 sefer sayılı uçuşu sırasında düşerek [www.nytimes.com, 2012], 109 yolcu ve mürettebatının hayatını kaybetmesinden sonra yapılan araştırmalar kazaya FOD'nin sebep olduğu göstermiştir. Bu nedenle, kazadan sonra FOD tespitine yönelik birçok çalışma yapılmıştır [Mazouni vd., 2010; Mazouni vd., 2011]. FOD tipi nesnelere küçük yapılarından dolayı, algılanmaları ve

yer tespitlerinin yapılması ancak çok yüksek çözünürlüklü sensörler ile mümkün olabilmektedir. Şimdiye kadar sahada başarılı olan iki sistem bulunmaktadır [Tarsier–QinetiQ, 2009; Xsight, 2009]. Bu sistemler hali hazırda, milimetre-dalga radar ve dar-ışın demetli antenler kullanarak ve pist sektörlerinin PPI (plan position indicator) radar tekniği ile taramasını yaparak, çok düşük RCS değerlerine sahip FOD nesnelerini tespit edebilmektedir. YT-SAR sistemlerinin yerüstünde bulunan nesnelerin tespiti ve teşhisi ile ilgili çalışmalar literatürde oldukça kısıtlıdır. Çok yeni olan Mohammadpoor'un çalışmasında [Mohammadpoor vd., 2012], düz zemin üzerinde bulunan nesnelerin CSAR tekniği kullanarak tespitine yönelik deneyler gerçekleştirilmiştir. Bu tez sürecinde elde edilen bulgular ve geliştirilen teknikler sayesinde, FOD'ye yönelik olarak, mevcut çalışmalar arasında bulunmayan YT-SM-SAR tekniğiyle bu tür objelerin tespit edilebileceği ön görülmüştür [Yiğit vd., 2012].

## 2.2.2 YT-SAR'ın Dezavantajları

### 2.2.2.1 Yakın alan görüntülemenin zorlukları

Geleneksel SAR uygulamalarında anten hedef arası mesafe farkı çok fazla olduğundan EM dalga yayılım denklemleri uzak alan yaklaşımları yapılarak çözülmektedir. Uzak alan bölgesinde, EM dalga düzlemsel bir yapıya sahip olduğu için geri saçılım denklemlerinin çözümleri analitik olarak basitleşmektedir. Ancak yakın alan bölgesinde düzlemsel dalga yaklaşımları geçersiz olmakta ve küresel dalga yayılım denklemlerinin kullanılması gerekmektedir. YT-SAR uygulamalarının büyük bir çoğunluğu yakın alan bölgesinde gerçekleştiğinden, SAR görüntü oluşturma algoritmalarının yakın alan bölgesine uyarlanması gerekmektedir. Bu nedenle uzak alan bölgesi çözümlerinde kullanılan birçok faydalı yaklaşım yakın alan bölge çözümlerinde kullanılamamaktadır. Ancak literatürde var olan bazı SAR görüntü oluşturma algoritmaları doğası gereği yakın alan uygulamalarında hatasız çalışabilmekte olduğundan bu tez çalışmasında özellikle yakın alan SAR görüntüleme algoritmaları üzerinde durulmuştur.

### 2.2.2.2 Sınırlı tarama mesafesi

SAR uygulamalarının başında gelen yeryüzü şekillerinin haritalandırılması ve yeryüzü hedeflerinin görüntülenmesi gibi hedefler çoğunlukla çok geniş ölçekli tarama geometrisi gereksinimini doğurmaktadır. Uydu veya uçak tabanlı SAR uygulamalarında bu ihtiyaç bir problem teşkil etmemektedir. Zira sınırsız ve engelsiz bir tarama geometrisine sahip olan klasik SAR uygulamalarında uçak tabanlı SAR için tek engel ülkeler arası hava sahası sınırlandırmasıdır. Bunun dışında uydu tabanlı SAR uygulamalarında ise böyle bir sınırlama da yoktur. Ancak YT-SAR uygulamalarında yeryüzünde hareket etmekte olan radar platformunun düzgün bir hareket sergileyebileceği bir yola sahip olması gerektiğinden her türlü yeryüzü şeklinin haritalandırılması mümkün olmamaktadır. Bununla birlikte YT-SAR platformunun hareket ettiği güzergâh üzerindeki yol kaynaklı engebeler ve pürüzler elde edilen veride gürültüye ve çok küçük de olsa faz kaymasına sebep olmaktadır. Ancak bunlar belli başlı sinyal işleme teknikleriyle telafi edilebilmektedir.

### 2.2.3 YT-SAR Görüntü Oluşturma Teknikleri

#### 2.2.3.1 Radar dalga formları

Geçmişteki klasik radar sistemleri 360 derecelik bir azimuttaki hedef hareketliliğini mekanik olarak dönen bir antenle algılayan bir yapıdaydılar. Dalga formunu belirlemedeki ilk karar, çalışma frekansından geçmekte ve bu da teçhizatın boyutlarındaki sınırlandırmalarla arzulanan maksimum mesafeye göre belirlenmekteydi. Örneğin ilk hava trafik kontrol radarları S-bandında çalışmaktaydı. Bu radarlar fiziksel olarak oldukça büyük olduğundan uygun menzil çözünürlüğünü ve Doppler hassasiyetini sağlamaktaydı. Ancak daha yüksek hızlardaki hedeflerin takibi ve yüksek çözünürlük ihtiyacı daha yüksek frekansların kullanımını ve bununla birlikte daha küçük mikrodalga devre ve anten gereksinimini doğurdu.

Bir diğer dalga formu tercihi ise sürekli dalga (continuous wave-CW ) ile darbeli dalga formları arasında olmuştur. Sürekli dalga radarlar yüksek Doppler hassasiyetine sahi olmasına rağmen menzil çözünürlüğü yönünden zayıf kalmaktadır.

Ayrıca EM dalga gönderimi ve alımını aynı anda yapamaması bir diğer dezavantajdır. Darbeli radar tekniği hem menzil hem de Doppler de tam bir belirginlik (unambiguity) sağlayan ve uzun algılama mesafesiyle yüksek çözünürlük sunabilen bir dalga formudur. Hava-tabanlı klasik SAR görüntüleme sistemlerinde genellikle, anten-hedef mesafesinin büyük olmasından dolayı, uzun-menzilde çalışmaya daha elverişli olan darbe-Doppler radarları kullanılmaktadır. Bu tip radarlarda, istenilen hedefi algılamak için gerekli olan enerjinin, gönderilen darbeye yoğunlaşması gerekmesinden dolayı, yüksek tepe iletim güçlerine, dolayısıyla yüksek boyutlu ve ağırlıklı RF cihazlarına gereksinim vardır. Ek olarak, bu sistemlerde kısa zamanlı darbeler ile yüksek çözünürlük gerekliliği oluşmaktadır. Dolayısıyla, yüksek örnekleme oranlı analog-sayısal (A/D) dönüştürücüye sahip alıcı tasarımı gerekmektedir. Diğer yandan YT-SAR sistemlerinde, klasik SAR'dan farklı olarak, anten-hedef arası mesafenin kısa olması, darbe-Doppler radarlarının kullanımını ve buna ilişkin dezavantajlara maruz kalmayı ortadan kaldırır. Bunun yerine, çok daha az iletim gücüne gereksinim duyan ve yüksek menzil çözünürlüğü sunabilen, frekans modülasyonlu (FM) bir sinyalin tüm zaman eksenini boyunca iletiildiği frekans modülasyonlu sürekli dalga (FMCW) veya adım frekanslı sürekli dalga (Stepped Frequency Continuous Wave - SFCW) radarlar iş görebilmektedir.

Yüksek menzil çözünürlüğü darbe sıkıştırma teknikleriyle elde edildiğinden bu tür bir uygulamada menzil çözünürlüğü, darbe genişliğinden ziyade modülasyon bant genişliğiyle belirlenir. Modülasyonlu radarlarda en ziyade kullanılan FM radar olduğundan mesafe ölçümü için, sabit bir referansa göre frekansı sürekli değişen bir sinyal kullanılır. Doğrusal veya logaritmik olarak modüle edilebilen bu dalga formlarında en çok kullanılan teknik doğrusal frekans modülasyonlu (Linear Frequency Modulation-LFM) dalga formudur.

Söz konusu YT-SAR sistemlerinin çoğunda [Tarchi vd., 2003; Brown vd., 2003], radar prensibi olarak FMCW ve vektör network analizörü (VNA) tabanlı adım frekanslı sürekli dalga SFCW tekniği kullanılmıştır. Kullanılan modülasyonun testere biçiminde (saw tooth) olduğu bu radarların en belirgin avantajları da, uygun maliyetli, basit devre yapısı ve düşük örnekleme oranlı A/D dönüştürücü gereksinimleridir. Bununla birlikte, farklı sinyal seviyelerindeki (onlarca dB) iletim ve alım sinyallerinin aynı anda gönderimi ve alımı tekniği ile çalışmasından dolayı,



ileticiden alıcıya giden parazit akı (leakage) sinyali ve bunun sonucu oluşan maksimum radar menzili kısıtlaması, sürekli dalga radarlarının en önemli dezavantajı olarak göze çarpmaktadır. Birçok YT-SAR uygulamalarında, anten-hedef arası mesafenin kısa olması, FMCW radarlarının yukarıda belirtilen kısıtlamalara maruz kalmasını engeller. Dolayısıyla gerçekleştirilen YT FMCW-SAR görüntüleme sistemlerinde, ya VNA tabanlı SFCW radarlar [Nica vd., 2004;Tarchi vd., 2010; Zhou vd., 2004 ], ya da uygulamaya özel tasarımı LFM-CW radarlar [O'donoughue vd., 2008; Gonzalez-Partida vd., 2007; Gonzalez-Partida vd., 2008] kullanılmaktadır.

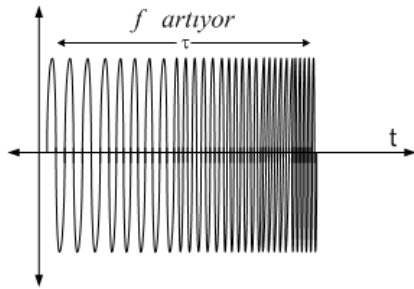
Son yıllarda özellikle test amaçlı olarak kullanılan VNA çok geniş bantta SFCW sinyalini dijital olarak örneklendikten sonra, uyumlanmış filtre kullanarak darbe sıkıştırma işlemini gerçekleştirmektedir. Bu tez kapsamında yapılan tüm çalışmalarda SFCW dalga formu kullanan ve geniş bir bant aralığında çalışabilen farklı tipte VNA'lar kullanılmıştır.

#### 2.2.3.2 Doğrusal frekans modülasyonlu dalga formu

Bir önceki bölümde izah edildiği gibi birçok SAR sistemi LFM dalga formu kullanmaktadır. LFM dalga formu analitik olarak şu şekilde ifade edilir.

$$x(t) = \text{rect}\left(\frac{t}{\tau}\right) \exp[2\pi f_c t + \pi K_r t^2] \quad (2.1)$$

Burada  $\tau$  darbe genişliği,  $f_c$  merkez frekansı ve  $K_r$  ise cıvıltı oranını (chirp rate) ifade etmektedir. Şekil 2. 4'de görüldüğü gibi LFM bir sinyal zaman da belirli bir bant genişliğine sahip ve frekansı doğrusal olarak artan bir sinyaldir.



Şekil 2. 4. LFM dalga formu

Radar dalga formu ekoları uyumlanmış filtre kullanılarak işleme tabi tutulduğu varsayılırsa dalga formu dürtü tepkisi  $\chi(t_e, f_e)$ , zaman-frekans oto korelasyon fonksiyonu ile verilir. Bu fonksiyonun mutlak karesi  $|\chi(t_e, f_e)|^2$  belirsizlik fonksiyonu (ambiguity function) olarak bilinen ve aşağıdaki eşitlikle tanımlanan fonksiyonu vermektedir [IEEE, 1990].

$$|\chi(t_e, f_e)|^2 = \left| \int_{-\infty}^{+\infty} x(t)x^*(t + t_e)\exp(j2\pi f_e t)dt \right|^2 \quad (2.2)$$

$x(t)$  gönderilen dalga formu olmak üzere, \* üst simgesi kompleks eşleniği ifade ederken,  $t_e$  geçici uyumsuzluk hatasını (temporal mismatch error) ve  $f_e$  ise uyumlanmış filtre parametreleriyle saçıcılar arasındaki frekans uyumsuzluk hatasını ifade etmektedir. Belirsizlik fonksiyonu çok önemli bir onaylama aracıdır, çünkü dürtü tepkisini hesaplamak için herhangi bir yaklaşımsal değer değil, gerçek dalga formunu kullanır. Bu fonksiyon çıktısıyla Doppler çözünürlüğü ve menzil çözünürlüğü kolayca tespit edilebilir.

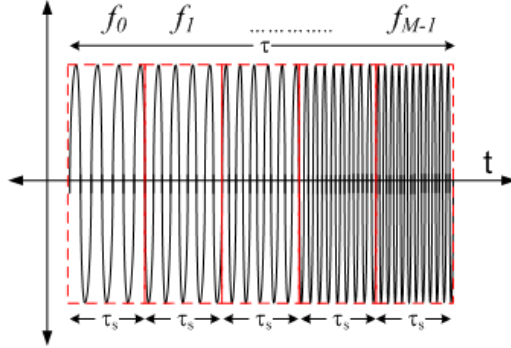
#### 2.2.3.3 Adım frekanslı sürekli dalga formu

SFCW formu, sabit bir  $B$  bant genişliğine ve sıkıştırılmamış  $\tau$  süresine sahip bir sinyalin, tek düze bir genliğe ve sabit frekanslara sahip sinüzoidal olacak şekilde  $N$  adet eşit süreli alt darbelerle bölünmesiyle elde edilir. Böyle bir dalga formunun tüm bant genişliği boyunca  $N$  adet eşit olarak ayrılmış frekanslar bulunmaktadır. Bu frekans sayısı arzu edilen her türlü sıralamaya göre ayarlanabilir. Bir adım frekans (SF) dalga formu analitik olarak aşağıdaki şekilde ifade edilebilir

$$x(t) = \frac{1}{\sqrt{\tau}} \sum_{n=0}^{M-1} \text{rect}\left(\frac{t-n\tau_s}{\tau_s}\right) \exp(2\pi f_n t) \quad (2.3)$$

Bu denklemde  $f_n \in \{f_0, f_1, \dots, f_{M-1}\}$ ,  $n$ ' inci alt darbenin frekansını,  $\tau_s$  ise alt darbe süresini temsil etmektedir.  $\frac{1}{\sqrt{\tau}}$  katsayısı ise SF dalga formunun birim enerjisini

sağlamaktadır. SF dalgı formu bölünecek her bir alt darbenin sayısına göre şekillenmektedir. Burada  $\tau_s = \frac{\tau}{M}$  şeklinde verilir.



Şekil 2. 5. Adım frekanslı dalgı formu

SF dalgı formunda alt darbelerinin sayısı ve frekans bant genişliği, istenilen maksimum menzil mesafesi ve çözünürlüğe göre belirlenmektedir. Maksimum menzil, çapraz menzil ve menzil çözünürlüğü gibi birçok parametre bölüm 2.2.4.'de tanımlanmış ve açıklanmıştır.

#### 2.2.3.4 SAR görüntüsü oluşturma

SAR görüntüsü oluşturma teorisinin iyi anlaşılabilmesi için temel SAR kavramlarının bilinmesi faydalı olacaktır. Bunlar aşağıdaki maddeler halinde sıralanabilir.

**Menzil:** SAR anteni ile hedef arasındaki uzaklık genellikle menzil olarak adlandırılır. Radar demet ışınlarının doğrultusu genellikle SAR platformunun hareket doğrultusuna dik olacak şekildedir. Şekil 2. 1'de görüldüğü gibi platforma dik olacak şekildeki yayılım doğrultusuna menzil doğrultusu adı verilir.

**Çapraz Menzil (Azimut):** SAR platformunun hareket ettiği yöne genellikle azimut yönü denilir. Şekil 2. 1'de görüldüğü gibi, azimut yönü uçuş/hareket hattına paralel olan yöndür.

**Gerçek Açıklık:** Şekil 2. 3'de gösterildiği gibi SAR antenin azimut yönündeki uzunluğu gerçek açıklığı vermektedir.

**Sentetik Açıklık:** SAR platformunun hedeflenen bölgede veri toplamaya başladığı konumu ile veri toplamayı bitirdiği konum arasındaki uzunluk sentetik açıklığı (SA) vermektedir. Çoğu SAR uygulamasında SA anten demet ışınlarının hedefi ilk algıladığı an ile hedefi son algıladığı an arasındaki geçen süreye göre belirlenmektedir. Şekil 2. 3’de bu olgu gösterilmektedir. Bunun sebebi maksimum azimut çözünürlüğünün elde edilmek istenmesidir. Bölüm 2. 2. 4.’de çözünürlük denklemleri çıkartılırken bu olgunun etkisinden bahsedilmiştir.

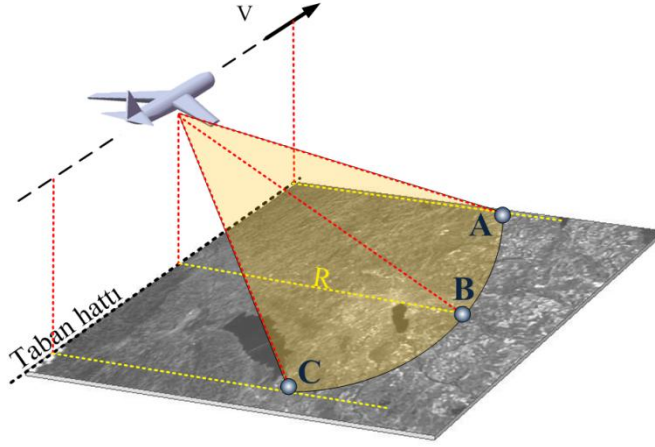
**Alçalış Açısı:** Şekil 2. 3’de gösterilen antenin görüş hattı (line of sight) ile yüzey arasındaki açıya alçalış açısı (depression angle) denilmektedir. Alçalış açısının SAR görüntüsü üzerindeki etkisi ihmal edilemeyecek kadar çoktur. Zira yüksek alçalış açılı tarama geometrilerinde yüzeyden alınan geri saçılım sinyal şiddeti artmakta ve bunun sonucu olarak imajdaki gürültü çoğalmaktadır. Ayrıca üste düşüm ve önden kılma etkileri de alçalış açısının artışıyla artış göstermektedir.

**Çözünürlük:** SAR görüntüleme temel olarak iki farklı çözünürlük söz konusudur. Bunlar Mekânsal çözünürlük ve radyometrik çözünürlüktür. Mekânsal çözünürlük bir görüntüde birbirlerine çok yakın iki cisim birbirinden ayırt etme kabiliyeti olarak ifade edilir. Radyometrik çözünürlük ise radar görüntüsü üzerinde yer alan farklı yansıma özelliklerine sahip bölgelerin sistem tarafından ayırt edilebilme yeteneği olarak tanımlanabilir [Okunakul, 2006]. Mekânsal çözünürlük de kendi arasında menzil ve azimut çözünürlüğü olarak ikiye ayrılır.

**Menzil çözünürlüğü:** Menzil yönünde birbirinden ayrı iki farklı hedefin ayırt edilebilmesi için gerekli olan minimum menzil mesafesidir. Menzil çözünürlüğü SFCWR sistemlerinde bant genişliğine bağlı iken, LFM dalga formlarında darbe süresine bağlıdır. SFCWR sistemlerinde bant genişliği arttıkça menzil çözünürlüğü artarken LFM sistemlerde darbe süresi azaldıkça menzil çözünürlüğü artmaktadır.

**Azimut çözünürlüğü:** Azimut yönünde birbirinden ayrı iki farklı hedefin ayırt edilebilmesi için gerekli olan minimum azimut mesafesidir. SAR da menzil çözünürlüğü uygulanan sinyalin darbe süresine bağlı iken azimut çözünürlüğü hem anten ışın demet genişliğine hem de hedefin antene olan uzaklığına bağlıdır. Anten demet genişliği arttıkça sentetik açıklık mesafesi artacak bununla birlikte çözünürlük artacaktır. Ancak anten ile hedef arasındaki mesafe arttıkça, hedefin demet ışınında kalma süresi azalacağından dolayı çözünürlük azalacaktır.

**Doppler Etkisi:** SAR uygulamaları çoğunlukla hareketli bir platformdan kesintisiz bir darbe gönderimi şeklinde çalışır. Platform hareketli olduğu için, herhangi bir noktada gönderilen radar sinyali hedeflenen bölgeye çarpıp gelinceye kadar radar platformu hareketinden dolayı farklı bir mesafede olacak ve bunun sonucunda alınan sinyalin frekansında bir kayma oluşacaktır. Oluşan bu kaymaya Doppler etkisi adı verilmektedir. Doppler frekans kaymaları antenin hedeften uzaklaşmasına veya hedefe yaklaşmasına göre farklılık gösterdiğinden, bu etki radara aynı uzaklıktaki farklı hedefleri birbirinden ayırt etmede kullanılmaktadır. Şekil 2. 6'da radar platformu  $v$  hızıyla hareket ederken, platform  $B$  noktasında iken, antenin  $A$  ve  $C$  noktalarına olan uzaklığı eşit durumdadır. Ancak platformun hareketinden dolayı, radar platformu  $A$  noktasına yaklaşırken  $C$  noktasından uzaklaşıyor durumundadır.  $A$  noktasından yansıtılarak radara ulaşan sinyallerin gönderilen sinyallerden daha yüksek frekanslı olması ve  $C$  noktasından alınan sinyallerin daha düşük frekansa sahip olması nedeniyle oluşan farklı Doppler frekansları, bu iki noktanın birbirinden ayırt edilmesinde kullanılabilir.



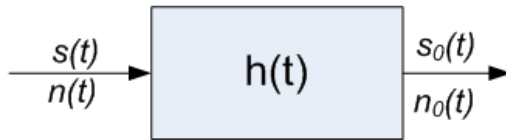
Şekil 2. 6. Doppler etkisinin geometrik gösterimi

Ancak Doppler etkisinin çözülebilmesi için tek bir darbe gönderimi yetersiz olduğunda, SAR platformunun ardı ardına darbeler göndermesi gerekecektir. Bu darbelerin gönderim sıklığı rastgele değil belirli bir amaca yönelik olarak dikkatle seçilmelidir.

**Darbe tekrarlama frekansı (pulse repetition frequency-PRF):** PRF ardı ardına gönderilen darbelerin gönderilme sıklığını veren hem maksimum menzil mesafesine

hem de Doppler etkisine bağlı olan bir parametredir. Eğer PRF çok yüksek seçilirse ardi ardına gönderilen iki sinyalin hangisinin hedefe ait olduğu bilinemeyeceğinden menzil yönünde belirsizlik (ambiguity) oluşur. Zira gönderilen bir darbenin hesaplanan maksimum menzil mesafesi boyunca yayılıp geri gelmesine kadar geçen sürede başka bir darbe gönderimi, alınan sinyalin hangi darbeye ait olduğunu bilmeye mani olacaktır. Bununla birlikte PRF'nin çok küçük seçilmesi de platformun hareketi boyunca hedeflenen bölgenin yeteri kadar EM olarak aydınlatılamamasına neden olacak bunun sonucunda da SAR görüntüsünde azimut yönünde örtüşme (aliasing) oluşacaktır.

**Darbe sıkıştırma:** SAR uygulamalarından hedeflenen bölgeden toplanan geri saçılma verisinden, bölge hakkında bilgi çıkartma problemi, matematikte ters problem (inverse problem) olarak adlandırılan ve herhangi bir sisteme giren bir dizi girdiye mukabil elde edilen bir dizi çıktıdan, sistem parametreleri ve çıktısı yoluyla girdinin bulunması problemidir. SAR'da darbe sıkıştırma teknikleri başlıca bu ters problemin çözümünde rol almaktadır. En temel darbe sıkıştırma uygulaması uyumlanmış filtreleme (match filtering-MF)'dir. MF, bilinmeyen bir sinyal içersinde, bilinen bir sinyalin tespit edilmesine yönelik olarak uygulanan bir filtredir. Radar uygulamaları için, Şekil 2. 7'de görüldüğü gibi,  $s(t)$  sinyali ve  $n(t)$  gürültü sinyali verildiğinde, çıkışında maksimum sinyal-gürültü oranını (SNR) sağlayacak filtreye uyumlanmış filtre denir.



Şekil 2. 7. Uyumlanmış filtre blok diyagramı

Uyumlanmış filtrenin darbe (impulse) cevabını bulmak için, çıkıştaki sinyal gücü ile gürültü gücünün ifadeleri elde edilerek bu ifadeyi maksimize edecek filtre aranır. Gerekli matematiksel çözümlerden sonra [Cumming ve Wong, 2005]  $s(t)$  giriş sinyali için, çıkıştaki SNR oranını maksimize edecek uyumlanmış filtrenin formülü  $h(t) = s * (-t)$  şeklinde, giriş sinyalinin eşleniğinin zamanda ters çevrilmiş hali şeklinde bulunur. Herhangi bir sinyalin, uyumlanmış filtreye konvolüsyonu

sonucu oluşan sinyal sıkıştırılmış sinyal olarak ifade edilir. Tüm SAR odaklama algoritmaları bir çeşit uyumlanmış filtre kullanarak ham SAR verisini odaklamaya çalışır. Bunlar arasında en bilinen ve geleneksel odaklama algoritması RDA ve CSA'dır.

**Menzil profili:** Radar tarafından hedefe doğru gönderilen EM sinyalin geri saçılan sinyalle uyumlanmış filtre çıktısı olarak ifade edilen menzil profili, zaman bölgesi fonksiyonu olup, hedefin radara olan zaman gecikme bilgisini, dolayısıyla konum bilgisini içeren sinyaldir.

### 2.2.3.5 Menzil Doppler algoritması

RDA ilk olarak 1976-1978 yılları arasında SEASAT SAR verisini işleyebilmek için geliştirilen bir algoritmadır [Cumming ve Wong, 2005]. Uzay aracından elde edilen SAR verisini ilk kez dijital olarak işleyen RDA günümüzde hala geniş ölçekli olarak kullanılmaya devam etmektedir. Algoritma SAR verisini blok olarak etkin bir şekilde işleyebilmek üzere tasarlanmış böylelikle hem menzil hem de azimut yönünde frekans bölgesi işlemleri yapılarak bu iki yönde basitliği korunmuştur. Blok işlem verimliliği ayrıca menzil hücre göçü düzeltme (range cell migration correction-RCMC) yöntemi yardımıyla korunmuştur, çünkü bu operasyon menzil-zaman ve azimut-frekans bölgesinde yapılmaktadır. Azimut-frekansın eş anlamlısı Doppler-frekans olduğu için bu bölge "Menzil Doppler" bölgesi olarak adlandırılmaktadır. RDA kısaca şu şekilde özetlenebilir.

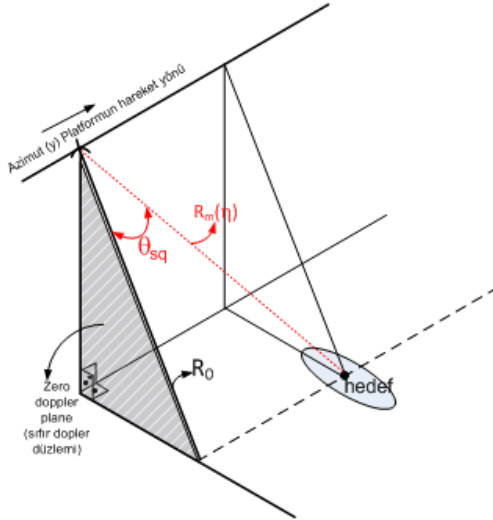
RDA'nın uygulanmasında üç temel basamak vardır. Bunlar menzil sıkıştırması, menzil hücre göç ettirme ve azimut sıkıştırmasıdır. İşlem basamakları şekil 2. 9(a)'da gösterilen algoritmanın analitik çözümleri literatürde [Cumming ve Wong, 2005; Özdemir vd., 2011 ] ayrıntılı bir şekilde verildiğinden burada temel denklemlerin çıkarımına değinilmiştir. RDA'da eğik mod uygulamalarında eğim açısı yüksek ise algoritmaya ikinci bir menzil sıkıştırma (secondary range compression-SRC) prosedürü eklemek gerekmektedir. Bu formülasyonda düşük eğik durumu için denklemler türetildiğinden SRC basamağına ihtiyaç duyulmamıştır. Merkez frekansı  $f_0$  olan ve cıvıltı FM oranı  $K_r$  olan ve menzil yönünde noktasal bir hedeften alınan radar sinyali  $s_0(\tau, \eta)$  analitik olarak şu şekilde modellenilebilir,

$$S_0(\tau, \eta) = A_0 \cdot w_r \left[ \tau - \frac{2R(\eta)}{c} \right] w_a(\eta - \eta_c) \exp \left\{ -\frac{j4\pi f_0 R(\eta)}{c} \right\} \cdot \exp \{ jK_r(\tau - 2R(\eta)/c)^2 \} \quad (2.4)$$

$A_0$  geliş güzel kompleks bir sabit,  $\tau$  menzil zamanı,  $\eta$  azimut zamanı ve  $\eta_c$  ışın demetinin görel konum merkezini ifade etmektedir. Menzil ve azimut zarfları ise sırasıyla  $w_r(\tau)$  ve  $w_a(\eta)$  ile ifade edilmektedir. Anlık eğik menzil (slant range)  $R(\eta)$  aşağıdaki şekilde verilir,

$$R(\eta) = \sqrt{R_0^2 + V_r^2 \eta^2} \quad (2.5)$$

$R_0$  şekil 2. 8’de gösterildiği gibi çapraz menzil eksenindeki sıfır Doppler düzlemi üzerinde anten hedef arasındaki eğik menzil mesafesidir.



Şekil 2. 8. Sıfır Doppler düzlemi geometrisi

$s_0(\tau, \eta)$  sinyali uyumlanmış filtreden geçirildikten sonra, RCMC basamağıyla interpolate edilerek aşağıdaki eşitlik elde edilir.

$$S_2(\tau, f_\eta) = A_0 p_r \left[ \tau - \frac{2R_0}{c} \right] W_a(f_\eta - f_{\eta c}) \cdot \exp \left\{ -j \frac{4\pi f_0 R_0}{c} \right\} \cdot \exp \left\{ j\pi \frac{f_\eta^2}{K_a} \right\} \quad (2.6)$$



$S_2(\tau, f_\eta)$  sinyali azimut yönünde MF'den geçirilerek ve ters Fourier dönüşümü (IFT) uygulanarak, yeniden inşa edilmiş ve odaklanmış SAR verisine ulaşılır.

$$s_{ac}(\tau, \eta) = A_0 p_r \left[ \tau - \frac{2R_0}{c} \right] p_a(\eta) \cdot \exp \left\{ -j \frac{4\pi f_0 R_0}{c} \right\} \cdot \exp \{ j 2\pi f_\eta c \eta \} \quad (2.7)$$

$p_a$  ve  $p_r$  sırasıyla azimut ve menzil tepkilerinin genliğini ifade etmektedir [Cumming ve Wong, 2005].

#### 2.2.3.6 Cıvıltı ölçeklendirme algoritması

RDA verimi, kolaylığı ve doğruluğu gibi olumlu özelliklerinden dolayı hala çok geniş bir kullanım alanına sahip olmasına rağmen bazı koşullarda iki farklı dezavantajı görülmektedir. Birincisi RCMC operasyonu sonucu yüksek doğruluk istendiğinde yüksek hesaplama yükü algoritmanın işlem süresini uzatmaktadır. İkinci dezavantajı ise, SRC operasyonunda azimut frekans bağımlılığını işleme dâhil etmek çok kolay olamadığından, geniş açıklık ve yüksek eğik modlarında sınırlama getirmesidir. Bu gibi dezavantajları gidermek üzere geliştirilen CSA, özellikle RCMC işleminde kullanılan interpolasyon basamağını elimine etmek için geliştirilmiştir. Böylelikle cıvıltı ölçeklendirme ilkesi yoluyla, RDA'nın gerek duyduğu RCMC ve SCR gibi işlemler, interpolasyon kullanılmadan sadece faz çarpımlarıyla gerçekleştirilmiştir. İşlem basamakları Şekil 2. 9(b)'de gösterilen algoritmanın analitik çözümleri literatürde [Cumming ve Wong, 2005; Özdemir vd., 2011] ayrıntılı bir şekilde verildiğinden burada temel denklemlerin çıkarımına değinilmiştir. CSA  $s_0(\tau, \eta)$  sinyalinin azimut Fourier dönüşümünün (Fourier transform-FT) alınmasıyla başlar. Bu işlemin sonucunda FM oranı  $K_m$  aşağıdaki şekilde elde edilir.

$$K_m = \frac{K_r}{1 - K_r \frac{c R_0 f_\eta^2}{2 V_r^2 f_0^2 D^3(f_\eta, V_r)}} \quad (2.8)$$

Burada  $D(f_\eta, V_r)$  menzil hücre göç ettirme parametresi olup şu şekilde gösterilir,

$$D(f_\eta, V_r) = \sqrt{1 - \frac{c^2 f_\eta^2}{4V_r^2 f_0^2}} \quad (2.9)$$

$s_0(\tau, \eta)$  sinyalinin azimut FT alındıktan sonra oluşan RD sinyali  $s_{rd}(\tau, f_\eta)$ , aşağıda verilen ölçeklendirme fonksiyonu (scaling function) ile çarpılır.

$$s_{sc}(\tau', f_\eta) = \exp \left\{ j\pi K_m \left[ \frac{D(f_\eta, V_{rref})}{D(f_\eta, V_{rref})} - 1 \right] (\tau')^2 \right\} \quad (2.10)$$

Burada

$$\tau' = \tau - \frac{2R_{ref}}{cD(f_\eta, V_{rref})} \quad (2.11)$$

şeklinde olup  $R_{ref}$  ise, tarama geometrisinin tam orta noktasında bulunan hedefi temsil etmektedir. Ölçeklendirme fonksiyonu ile çarpılan sinyal aşağıdaki şekilde ifade edilebilir.

$$s_1(\tau, f_\eta) = s_{sc}(\tau', f_\eta) s_{rd}(\tau, f_\eta) \quad (2.12)$$

Daha sonra menzil boyunca FT işlemi gerçekleştirilmiş sinyale yığın RCMC [Cumming ve Wong, 2005] işlemi uygulanarak RD bölgesinde menzil telafili (range-compensated) sinyal elde edilir. Son olarak menzil boyunca IFT gerçekleştirilerek aşağıdaki sinyal elde edilir.

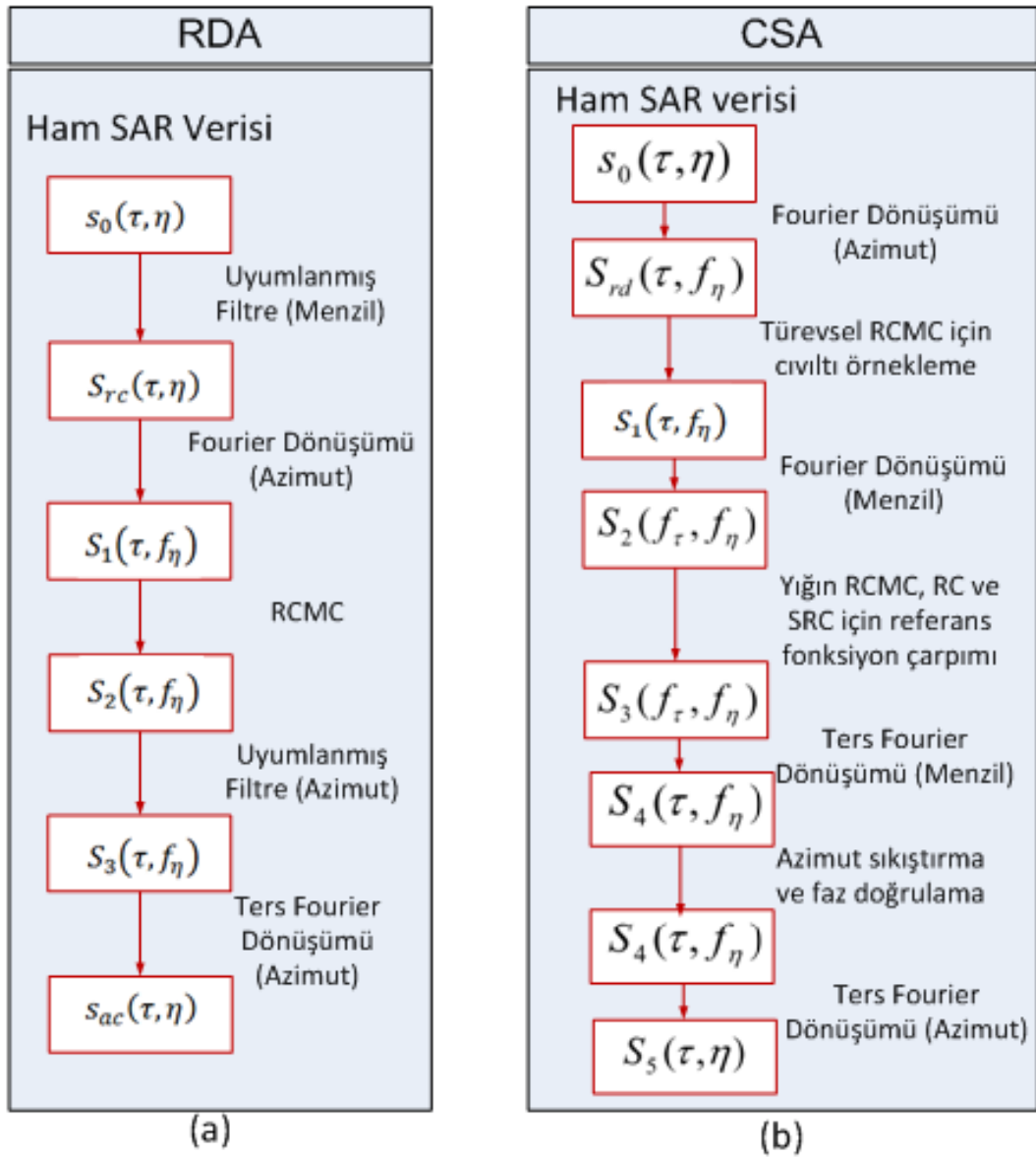
$$s_4(\tau, f_\eta) = A_2 p_r \left( \tau - \frac{2R_0}{cD(f_{\eta ref}, V_{\tau ref})} \right) W_a(f_\eta - f_{\eta c}) \cdot \exp \left\{ -j \frac{4\pi f_0 R_0 D(f_\eta, V_\tau)}{c} \right\} \cdot \exp \left\{ -j \frac{4\pi K_m}{c^2} \left[ 1 - \frac{D(f_\eta, V_{\tau ref})}{D(f_{\eta ref}, V_{\tau ref})} \right] \cdot \left[ \frac{R_0}{D(f_\eta, V_\tau)} - \frac{R_{ref}}{D(f_\eta, V_\tau)} \right]^2 \right\} \quad (2.13)$$

Formülde,  $A_2$  kompleks bir sabit olup, birinci eksponansiyel terimin kompleks eşleniği azimut uyumlanmış filtre fonksiyonunu verirken, ikinci eksponansiyel terimin kompleks eşleniği ise artık faz düzeltme (residual phase correction) çarpanını vermektedir. Böylelikle  $s_4(\tau, f_\eta)$  sinyali azimut sıkıştırma ve artık faz doğrulama

işlemlerinin ardından, yeniden inşa edilmiş azimut zaman bölge sinyali aşağıdaki şekilde elde edilir.

$$s_5(\tau, \eta) = A_4 p_r \left( \tau - \frac{2R_0}{cD(f_{\eta ref}, v_{\tau ref})} \right) p_a(\eta - \eta_c) \exp\{j\theta(\tau, \eta)\} \quad (2.14)$$

Denklem 2. 14.'de  $p_a(\eta)$ ,  $W_a(f_\eta)$  nin IFT sonucu iken,  $\theta(\tau, \eta)$  hedefin fazını vermektedir.



Şekil 2. 9. SAR odaklama algoritmaları akış diyagramları, (a) Menzil Doppler Algoritmasının akış diyagramı, (b) Cıvıltı Ölçeklendirme Algoritmasının akış diyagramı

### 2.2.3.7 Omega-K algoritması

Omega-K algoritması ( $\omega$ -KA) ilk olarak sismik sinyal işlemede kullanılan bir teknik olup, akustik dalga denklemini kullanarak sismik verileri işlemek üzere geliştirilmiştir. Stolt ise hali hazırda kullanılan ve Stolt eşleme (Stolt mapping) olarak adlandırılan [Stolt, 1978], dalga denklemine uygun frekans bölgesi çözümünü geliştirmiştir. RDA ve CSA'da var olan bazı eksiklikler  $\omega$ -KA ile giderilmiştir. CSA algoritmanın her bir basamağında gerçekleştirdiği ölçeklendirme çarpanında bazı yaklaşımlar yapmaktadır. Ancak bu yaklaşımlar geniş açıklık ve yüksek eğim açılı (high squint angle) uygulamalarda geçersiz olmaktadır. Bu eksiklikleri gidermek için  $\omega$ -KA 2D frekans bölgesinde azimut frekans bağımlılığı kadar, menzil azimut kuplajının menzil bağımlılığını doğrulayan özel bir işlem kullanmaktadır.  $\omega$ -KA'nın temel işlem basamakları şu şekildedir.

1. SAR sinyal verisini 2D frekans verisine dönüştürmek için, 2D FT gerçekleştirilir.
2. Algoritmanın ilk odaklama anahtarı *referans fonksiyon çarpımı*'dir. Bu referans çarpımı genellikle şeridin orta noktası olacak şekilde seçilen bir menzil için hesaplanır böylece bu fonksiyon tanımlı menzildeki, frekans modülasyon kaynaklı tüm faz değişimleri için faz bilgisini telafi eder. Bu uygulamadan sonra referans menzildeki hedef doğru bir şekilde odaklanabilir fakat bu noktadan uzaktaki hedefler kısmen odaklanabilir.
3. Algoritmanın ikinci anahtar adımı Stolt interpolasyonudur. Böylelikle menzil frekans yönündeki interpolasyon basamağıyla diğer hedeflerin odaklaması gerçekleştirilir.
4. Son olarak SAR sinyali 2D IFT işlemine tabi tutularak veri zaman bölgesine geri dönüştürülerek odaklanmış SAR verisi elde edilir. Bölüm 4. 2'.de hem benzetim hem de YT-SAR ölçüm verilerinde kullanılan algoritmanın detaylı anlatımı daha önceki çalışmalarda ayrıntılı bir şekilde verilmiştir [Yiğit, 2007].

### 2.2.3.8 Uyumlanmış filtre algoritması

Şekil 2. 7’de görüldüğü gibi,  $s(t)$  sinyali ve  $n(t)$  gürültü sinyali verildiğinde, çıkışında maksimum SNR sağlayacak filtreye MF denir. MF kullanılarak ham SAR datasını odaklayabilmek için kullanılan algoritmaya uyumlanmış filtre algoritması denir. MFA’nın anlaşılabilmesi için MF fonksiyonunun nasıl çalıştığı kavranması gerekmektedir. Uyumlanmış filtrenin darbe cevabını bulmak için, çıkıştaki sinyal gücü ile gürültü gücünün ifadeleri elde edilerek bu ifadeyi maksimize edecek filtre aranır. Bu sebeple çıkıştaki normalize edilmiş anlık sinyal gücü şu şekildedir;

$$P_{s_0}(t) = |s_0(t)|^2 \quad (2.15)$$

MF çıkışında sinyal gücünün tepe değeri ise şu şekildedir;

$$P_s = \max P_{s_0}(t) = P_{s_0}(t_0) = |s_0(t_0)|^2 \quad (2.16)$$

$n_0(t)$  rastgele bir işlem olduğundan MF çıkışındaki ortalama gürültü gücünün ifadesi şu biçimdedir;

$$P_n = E(|n_0(t)|^2) \quad (2.17)$$

Bu durumda, MF tasarım problemi, sinyal gücünün tepe değerinin gürültü gücü ortalamasına olan oranını maksimize edecek filtre bulma problemidir, yani;

$$h(t): \max \frac{P_s}{P_n} \quad (2.18)$$

Eğer  $h(t)$  doğrusal ise, çıkış sinyalleri şu şekildedir;

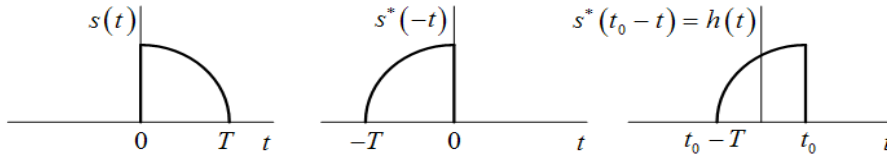
$$s_0(t) = s(t) * h(t) \quad (2.19)$$

$$n_0(t) = n(t) * h(t) \quad (2.20)$$

Optimizasyon problemi çözüldüğü takdirde, uygulanan sinyal ve gürültü sinyali frekans bölgesine taşınırsa  $\frac{P_s}{P_n}$  oranını maksimum yapacak  $h(t)$  ifadesi şu şekilde bulunur,

$$h(t) = K \cdot s^*(t_0 - t) \quad (2.21)$$

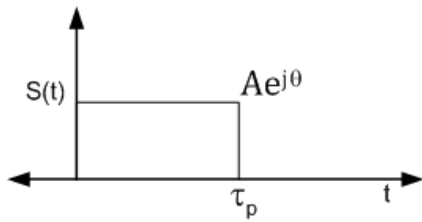
Sonuç olarak MF'nin darbe cevabı, iletilen sinyal  $s(t)$ 'nin zamanda tersi alınmış ve kaydırılmış eşleniğinin ölçeklenmiş versiyonudur. Şekil 2. 10'da örnek bir  $s(t)$  sinyali için MF darbe cevabı görülmektedir.



Şekil 2. 10. Örnek bir  $s(t)$  sinyali için MF'nin darbe cevabı.

Aşağıda şekil 2. 11'de modüle edilmemiş bir radar darbe sinyali görülmektedir. Bu sinyalin matematiksel ifadesi şu şekildedir;

$$s_t = Ae^{j\theta} \text{rect}\left(\frac{t - \frac{\tau_p}{2}}{\tau_p}\right) \quad (2.22)$$



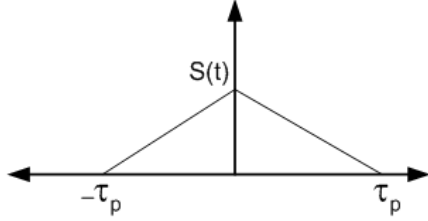
Şekil 2. 11. Modüle edilmemiş radar darbesi.

Bu darbe sinyali için MF darbe cevabı  $K = 1$  ve  $t_0 = 0$  için  $Ae^{j\theta}$  formundadır;

$$h(t) = s^*(-t) \quad (2.23)$$

Uyumlanmış filtre çıkışı konvolüsyon ile aşağıdaki eşitlikle bulunur.

$$s_0(t) = h(t) * s(t) = s^*(-t) * s(t) = \int_{-\infty}^{\infty} s(\alpha)s^*(\alpha - t)d\alpha \quad (2.24)$$



Şekil 2. 12. Modüle edilmemiş darbenin uyumlanmış filtre çıkışı

Şekil 2. 12’de görüldüğü bir kare sinyalin MF tepkisi çıkışında, SNR maksimum olacak şekilde elde edilmiştir. MFA ise ham SAR verisinin her bir pikselini uygun MF fonksiyonu ile çarparak odaklama işlemini gerçekleştirmektedir. MFA piksel bazlı odaklama işlemi gerçekleştirdiğinden, işlem süresi açısından oldukça verimsiz bir algoritmadır. Zira  $N \times N$  lik bir SAR verisinin işlenebilmesi için  $N^2$  farklı noktada MF fonksiyonu ile çarpım işleminin gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Ancak bununla birlikte en temel odaklama algoritması olduğu için, diğer algoritmaların görüntüleme kabiliyetlerinin kıyaslanabilmesi açısından referans olarak alınmaktadır. MFA için kendi uyarlamamız bölüm 3.2.1.’de ayrıntılı bir şekilde anlatılmıştır.

### 2.2.3.9 Geriye izdüşümü algoritması

MFA’nın başarılı odaklama kabiliyetinin yanı sıra sahip olduğu işlemsel yük miktarı nedeniyle var olan dezavantajı BPA ile giderilmiştir. BPA ilk olarak özellikle medikal görüntüleme için geliştirilmiştir [Munson vd., 1983]. Hem MFA hem de BPA yapı itibarıyla MF temelli bir algoritma olduğundan SAR verisinin odaklanma kalitesi bakımından neredeyse aynı sonuçları vermektedir. Bu nedenle MFA’na nazaran oldukça hızlı olan BPA daha popüler bir algoritma olarak SAR literatürüne girmiştir. MFA ham  $N \times N$  lik bir SAR verisinin odaklanabilmesi için her bir pikselle çarpım işlemi gerçekleştirirken, BPA her bir sentetik açıklık noktasına

karşılık gelen frekans vektöründeki  $N$  adet verinin MF çıktısını hızlı Fourier dönüşümü (Fast Fourier Transform-FFT) kullanarak tek bir işlemde gerçekleştirdiğinden MFA'ya nazaran çok daha hızlı bir sonuç vermektedir. BPA'nın ayrıntılı anlatımı bölüm 3.2.2.'de verilmiştir.

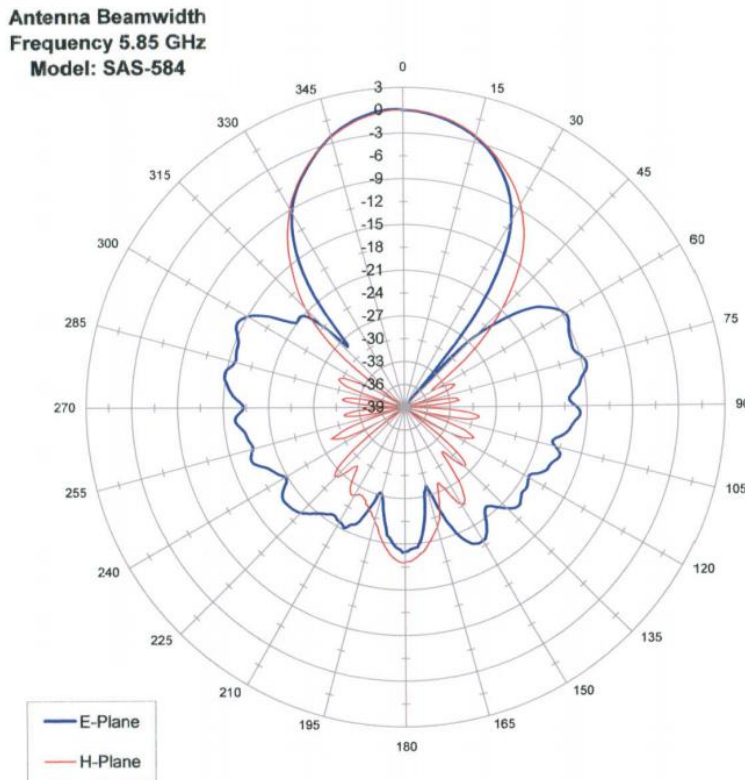
#### 2.2.4 Temel SAR parametreleri

SAR görüntü oluşturma teknikleri geri saçılım sinyallerinin modellenmesi ve ortam hakkında bilgi edinilmesi prensibine dayandığından, farklı modellemeler ile farklı teknikler geliştirilmiştir. Ancak tüm bu teknikler hedeflenen bölgenin SAR görüntüsünü oluştururken temel SAR parametrelerinin izin verdiği aralıkta doğru bir biçimde çalışabilmektedir. Bu nedenle sistem parametreleri arzu edilen amaca yönelik olarak dikkatlice seçilmelidir. En temel SAR parametreleri arasında menzil ve azimut çözünürlüğü, örtüşmesiz maksimum menzil mesafesi, örtüşmesiz maksimum azimut mesafesi, anten ışın demet genişliği, uzak alan kriteri ve geniş açı kriteri gibi maddeler sayılabilir. Herhangi bir SAR görüntüleme algoritmasının performansı ölçülen menzil ve azimut çözünürlüğünün, analitik çözünürlük değerine yakınlığı olarak söylenebilir. Bununla birlikte hedeften yansıyan sinyal ile hedef dışı kaynaklı karışıklık sinyallerine oranı olan, sinyal karışıklık oranı (signal to clutter ratio-SCR) ve yeniden inşa algoritmalarından kaynaklı olan yan lobların hedef yansımalarına etkisini belirlemede kullanılan, tümleşik yan lob oranı (integrated side lobe ratio-ISLR) gibi parametrelerde SAR algoritmalarının performans kriterleri arasında yer almaktadır. Bu tez kapsamında incelenen beş farklı odaklama algoritmasından RDA ve CSA'nın uyarlaması uzak alan SAR uygulamalarına yönelik olarak geliştirilmiş olup sadece benzetim sonuçlarıyla, online olarak yayınlanan RADARSAT-1 verisine uygulanmıştır. Diğer üç algoritma ise SFCWR tabanlı olarak yakın alan SAR geometrisine göre uyarlanmış ve network analizör yordamıyla elde edilen uzamsal-frekans verilerinde test edilmiştir. YT-SAR uygulamalarına yönelik olarak çalışılan bu tez kapsamında tüm deneyler SFCWR kullanılarak gerçekleştirildiğinden radar parametreleri SFCWR uygulamalarına yönelik olarak verilmiştir.



#### 2.2.4.1 Anten ışın demet genişliği

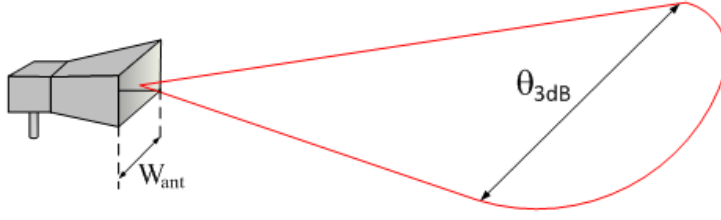
Anten demet genişliği radar anteninin boyutlarının yapısına ve çalışma frekansına bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Anten demet genişliği antenin ışın diyagramının yarı güç genişliği olan -3 dB olduğu noktalar arası radyan genişliğidir. Şekil 2. 13’de YT-SAR uygulamalarında kullandığımız bir adet boynuz tipi antenin 5.85 GHz deki ışın diyagramı görülmektedir. Buna göre bu antenin hem E düzleminde hem de H düzlemindeki anten demet genişliği yaklaşık 32°’dir. Anten demet genişliği YT-SAR uygulamalarında çok önemli bir parametredir. Zira hedeflenen bölgenin minimum ve maksimum menzil mesafeleri, radar platformunun yüksekliğine hedeften olan uzaklığına, antenin bakış açısına ve demet genişliğine göre hesaplanmaktadır. Ayrıca azimut çözünürlüğü anten demet genişliği ile doğrudan orantılıdır. Demet genişliği arttıkça sentetik açıklık mesafesi artacak böylelikle azimut çözünürlüğü de artacaktır.



Şekil 2. 13. C-Bant Boynuz Anteninin ışın diyagramı, dikey paternlerinin 5.85 GHz’de çizimleri (Üretici firma tarafından sağlanmıştır.)

Şekil 2. 14’de gösterildiği gibi yatay uzunluğu  $W_{ant}$  olan bir adet boynuz tipi anten için  $\lambda_c$  uygulanan sinyalin dalga boyu olmak üzere  $\theta_{3dB}$  anten demet genişliği analitik olarak aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$\theta_{3dB} = \frac{\lambda_c}{W_{ant}} \quad (2.25)$$



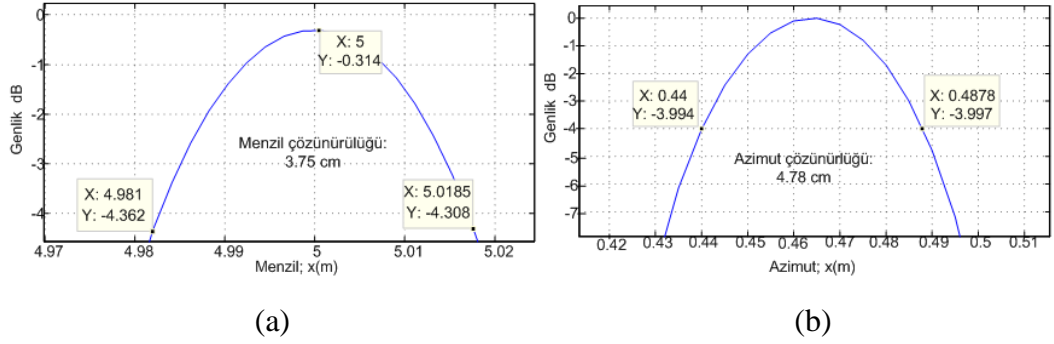
Şekil 2. 14. Boynuz tipi anten için anten genişliği ile demet genişliği bağıntısı

#### 2.2.4.2 Menzil çözünürlüğü

Menzil yönünde birbirinden ayrı iki farklı hedefin ayırt edilebilmesi için gerekli olan minimum menzil mesafesine menzil çözünürlüğü denir. SAR teorisine göre menzil çözünürlüğü  $\delta_x$  şu şekilde hesaplanır [Özdemir, 2012].

$$\delta_x = \frac{c}{2B} \quad (2.26)$$

Bu denklemde  $c$  ışık hızı iken  $B$  bant genişliğidir. Denklem 2. 26.’ya göre, menzil çözünürlüğü doğrudan bant genişliği ile ilintili olup mesafeden bağımsız bir niceliktir. Menzil çözünürlüğü menzil profilinin hedefin olduğu noktadaki -4 dB’lik genişliği ölçülerek de tespit edilebilir. Şekil 2. 15(a)’da görüldüğü gibi, 5 m’deki bir hedeften alınan menzil profilinin -4 dB’deki menzil genişliği menzil çözünürlüğünü vermektedir.



Şekil 2. 15. Menzil ve azimut çözünürlükleri; Menzilde 5 m azimutta 0.46 m'ye konuşlandırılmış noktasal hedefin a) menzildeki kesitin logaritmik gösterimi b) azimuttaki kesitin logaritmik gösterim

### 2.2.4.3 Çapraz Menzil (Azimut) çözünürlüğü

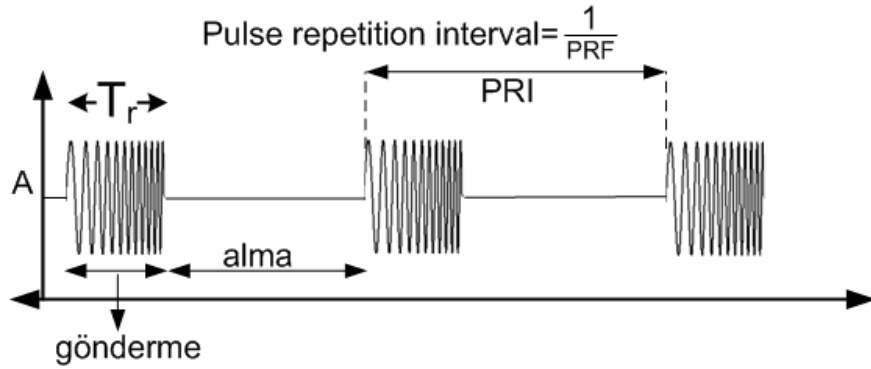
Azimut yönünde birbirinden ayrı iki farklı hedefin ayırt edilebilmesi için gerekli olan minimum azimut mesafesidir. Şekil 2. 15(b)'de görüldüğü gibi azimut çözünürlüğü de aynı menzil çözünürlüğünün tespiti gibi -4 dB'lik genişliğin ölçümüyle bulunabilir. Azimut çözünürlüğü  $\delta_y$  analitik olarak şu şekilde ifade edilir.

$$\delta_y = \begin{cases} W_{ant}/2 & L_s \geq \Delta\theta \\ R_0 \frac{\lambda_c}{2L_s} & \text{diğer} \end{cases} \quad (2.27)$$

Burada  $W_{ant}$  antenin azimut yönündeki genişliği iken, Şekil 2. 3'de verilen  $R_0$ ,  $L_s$  ve  $\Delta\theta$  sırasıyla anten ile hedef arasındaki mesafe, sentetik açıklık mesafesi ve radar ayak izinin azimuttaki genişliğidir. Denklem 2. 27'den de anlaşılacağı üzere azimut çözünürlüğü dalga boyu ile doğrudan ilintili olup dalga boyu azaldıkça çözünürlük artmaktadır. Bununla birlikte anten ile hedef arasındaki mesafe arttıkça azimut çözünürlüğü de azalmaktadır. Dolayısıyla uzak mesafelerde yüksek azimut çözünürlüğü istendiği takdirde merkez frekansın da o nispette artırılması gerekmektedir. Literatürde özellikle FOD uygulamalarında milimetre dalganın kullanılmasının başlıca sebepleri arasında yüksek azimut çözünürlüğü ihtiyacı yer almaktadır [Yiğit vd., 2013].

#### 2.2.4.4 Örtüşmesiz maksimum menzil mesafesi

Örtüşmesiz maksimum menzil mesafesi radar tarafından üretilen darbe sinyallerinin ardı ardına gönderilme süresine bağlı bir niceliktir. Örneğin Şekil 2.16'da görülen bir cıvıltı treninde her bir darbenin gönderilme süresi menzil mesafesine göre belirlenmektedir. Her bir darbenin tekrarlanma aralığı (pulse repetition interval-PRI) buna göre seçilmektedir.



Şekil 2. 16. FM cıvıltı sinyali darbe tekrarlaması süresi

Cıvıltı taramalı radar sistemlerinde iki cıvıltı arası bekleme aralığı yeterince geniş olmadığı bir durumda, birinci darbeden sonra geri yansıyan sinyal alınmadan ikinci darbe yollanırsa, bu durumda geri yansıyan sinyalin, gönderilen hangi darbeye ait olduğu bilinemeyeceğinden alınan sinyalde belirsizliğe (ambiguity) yol açacaktır. Bundan kaçınmak için PRF dikkatli seçilmelidir. PRF'nin seçimi ile maksimum menzil ilişkisi şu şekildedir;

$$R_{max} = \frac{c * PRI}{2} = \frac{c}{2 * PRF} \quad (2.28)$$

FM dalga formulu radar uygulamalarında  $R_{max}$  bu şekilde ifade edilirken, SFCWR uygulamalarında maksimum menzil ifadesi şu şekildedir.

$$R_{max} = M \delta_x = \frac{Mc}{2B} \quad (2.29)$$

Burada  $N$ , bölüm 2.2.3.3.'de eşitliği verilen SFCWR'nin adım sayısıdır. Bu nedenle SFCWR'da menzil mesafesini arttırmak için uygulanan frekans adım sayısını arttırmak gerekmektedir.

#### 2.2.4.5 Örtüşmesiz maksimum çapraz menzil mesafesi

SAR görüntülerinde menzil yönünde belirsizlik olmaması için SFCWR'nin adım sayısını dikkatlice belirlemek gerektiği gibi aynı olgu azimutta da geçerlidir. Azimutta sentetik açıklık boyunca gerçekleştirilen veri toplama sayısı azimut yönündeki örtüşmeyi etkilemektedir. Örtüşmesiz maksimum çapraz menzil mesafesi  $A_{max}$ , analitik olarak şu şekildedir,

$$A_{max} = N\delta_y = \frac{NR_0\lambda_c}{2L_s} \quad (2.30)$$

burada  $N$  sentetik açıklıktaki veri toplama sayısıdır. Bu nedenle yüksek frekans uygulamalarında dalga boyu çok küçüleceğinden, azimuttaki örtüşmesiz menzilin büyütülebilmesi için sentetik açıklıktaki veri toplama noktasını arttırmak gerekmektedir.

#### 2.2.4.6 Yakın ve uzak alan kriterleri

SAR tekniğinde radar anteninden yayılan EM dalgalar Maxwell denklemleri yoluyla hesaplanmaktadır. Dalga yayılım denklemleri yakın alan veya uzak alanda matematiksel olarak belirli yaklaşımlarla sadeleştirilebilirler. Uzak alan için yapılan bu sadeleştirmeler sayesinde yaklaşık parametreler elde edilebilir. Çünkü mekanik olarak uzak alan bölgesinde dalga yayılımı düzlemsel dalga şeklinde olmakta ve aynı menzil konumundaki saçıcılara çarpan dalgaların saçıcıların yanca konumlarına bağlı olmadan aynı fazda olduğu kabul edilmektedir. Bunun bir sonucu olarak yakın alan bölgesindeki dalgalar herhangi bir  $r$  uzaklığında  $r^n$  polinomunun  $n$  inci kuvvetinin büyük değerleri ile ifade edilirken, uzak alanda polinomun ilk terimi diğer terimlerden çok çok büyük olduğundan, diğer terimler ihmal edilebilir. Böylelikle uzak alan denklemlerinin analitik çözümü oldukça basitleşmektedir. Oysaki yakın

alan bölgesinde  $r$  uzaklığında, dalga denkleminde  $r^2$ ,  $r^4$  ve  $r^8$  gibi kuvvetler yer alırlar. Bu nedenle yakın alan terimi olarak ifade edilen terimler uzaklık arttıkça hızla azalmakta olan terimler olduğundan çok uzakta bulunan nesnelere için hesaplamaya dâhil edilmezler. Literatürde uzak alan bölgesi Fraunhofer- bölgesi yakın alan ise Rayleigh- zonu olarak adlandırılmaktadır. Aşağıdaki eşitlik uzak alan bölgesinin sınırlarını belirlemektedir.

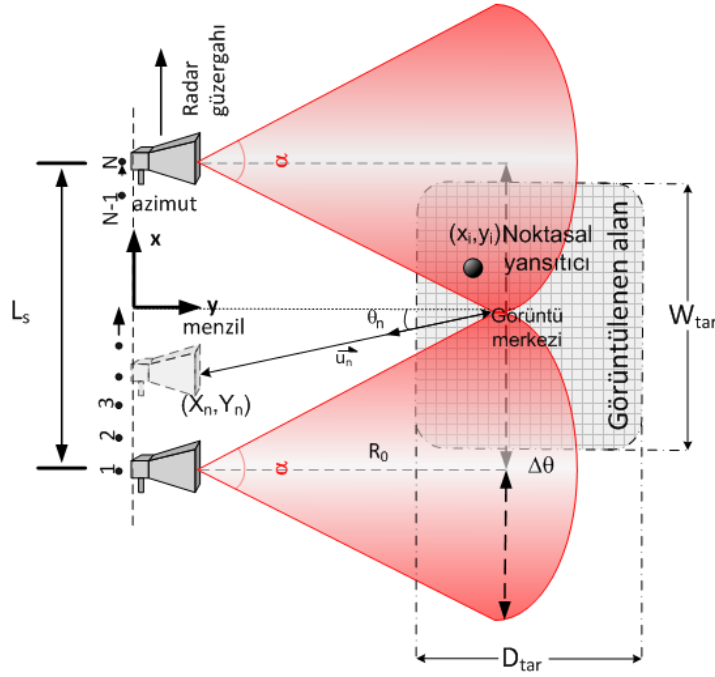
$$\begin{aligned} R_0 &\geq \frac{2W_{tar}}{\lambda} \\ R_0 &\approx 8.7D_{tar} \end{aligned} \quad (2.31)$$

Burada,  $W_{tar}$  ve  $D_{tar}$  şekil 2. 17’de verildiği gibi sırasıyla hedefin azimuttaki ve menzildeki genişliğidir. Bu denklemdeki eşitliğin sağlanmadığı bölgeye yakın alan bölgesi denir ve hedefin boyutuna ve dalga boyuna göre değişmektedir. SAR görüntüleme algoritmalarının birçoğu uzak alan kriterine göre yaklaşımlar yaparak odaklama sağladığından, yakın alan uygulamaları için yakın alan odaklama algoritmalarının kullanılması gerekmektedir. Bu tez kapsamında incelenen  $\omega$ -KA, MFA ve BPA doğası gereği hem yakın hem de uzak alan SAR verisini odaklayabilmektedir.

#### 2.2.4.7 Geniş açı kriteri

Şekil 2. 17’de verilen SAR veri toplama düzeneğinde görüldüğü gibi radar anteni sabit bir hat boyunca ilerlerken antenin demet genişliği boyunca hedef bölgenin EM verisi toplanmaktadır. Geleneksel SAR uygulamalarında  $\alpha$  anten demet açısı genellikle aşağıdaki eşitlikle verilen geniş açı (wide angle) kriterini sağlamamakta ve dar açılı tarama yapmaktadır.

$$\alpha > 2\sin^{-1}\left(\frac{B}{2f_c}\right) \quad (2.32)$$



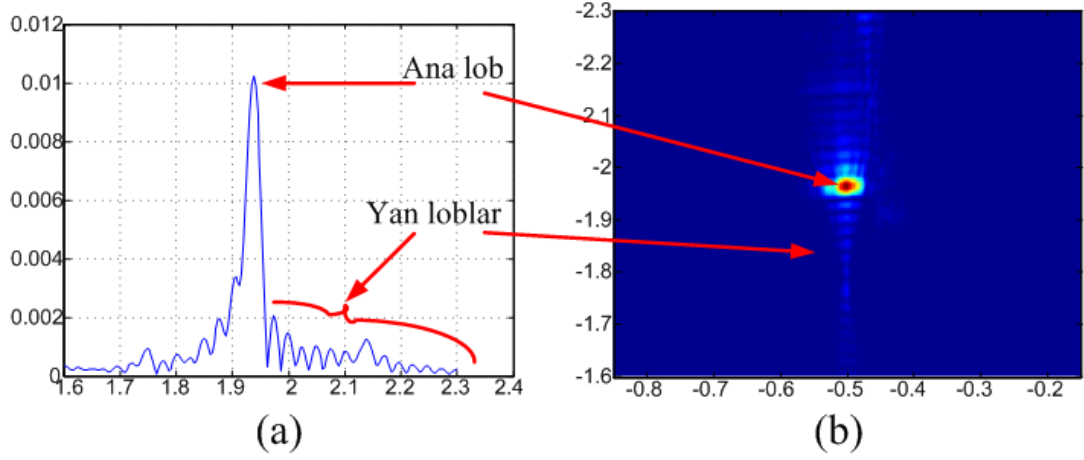
Şekil 2. 17. 2D YD-SAR veri toplama düzeneği

Geniş açı (WA)'lı SAR (WA-SAR) uygulamalarının birçok avantajı bulunmaktadır. Çok geniş kapsama alanı, yüksek azimut çözünürlüğü ve geniş kapsamlı değişim algılama gibi özellikleri WA-SAR tekniğinin avantajları arasında yer almaktadır. Ancak WA-SAR uygulamaları avantajlarının yanı sıra, büyük veri depolama ihtiyacı, uzun veri toplama süresi ve radar sinyal işleme zorlukları gibi dezavantajlarına sahiptir. Tüm bu özellikleriyle birlikte literatürde çok yeni bir konu olan WA-SAR verisinin geliştirilmesine yönelik yeni çalışmalar yapılmaktadır [Luminati, 2005; Randolph, 2004]. Denklem 2. 32.'den de anlaşılacağı üzere, kullanılan radar antenin demet genişliği her frekansta farklı bir değer aldığından, radar frekans bant genişliği azaldıkça WA kriterinin sağlanma koşulu artmaktadır. Bu tez kapsamında yapılan uygulamaların tümünde denklem 2. 32.'de verilen şart sağlandığından, kullanılan algoritmalar WA-SAR uygulamasına göre implemente edilmiştir.

#### 2.2.4.8 Tümlleşik yan lob oranı

Herhangi bir frekans datasının MF çıktısı sıkıştırılmış bir zaman bölgesi sinyali olduğu bölüm 2.2.3.8'de verilmiştir. Sıkıştırılmış sinyal hedefin olduğu

noktalarda maksimum bir tepe değerine sahipken bu nokta dışında kalan yerlerde yan loblar görülmektedir.



Şekil 2. 18. Noktasal hedefin benzetim sonuçları; (a) Noktasal bir hedefin tek boyutlu menzil profili, (b) Noktasal bir hedefe ait 2D YT-SAR verisinin odaklanmış görüntüsü

Şekil 2. 18(b)'de bir adet noktasal hedefin BPA sonucu odaklanmış imajı görülmekte iken şekil 2. 18(a)'da, tek bir noktadaki menzil profili verilmektedir. Buradan da anlaşılacağı üzere, noktasal hedefe ait menzil profilinde hedefin olduğu konuma karşılık gelen yerde maksimum şiddet elde edilirken, diğer noktalarda daha düşük şiddetli yan loblar görülmektedir. Burada ana lobun şiddetinin yan lobların toplam şiddetine oranı tümleşik yan lob oranı (ISLR) olarak ifade edilebilir. Bu nedenle ISLR yan lobları bastırma kabiliyeti olarak da ifade edilebilir [Martinez ve Marchand, 1993]. Ancak literatürde ISLR'nin birçok tanımı bulunmaktadır. Bu tez kapsamında yaptığımız çalışmalarda Sanchez'in [Sanchez, 1991] tanımı üzerinden formülasyon belirlendi. Buna göre ISLR, bir radar görüntüsündeki ana lobun maksimum olduğu merkez etrafında tanımlanan ve -3 dB genişliğinde olan bir dörtgenin içindeki toplam enerjinin, geri kalan tüm enerjiye oranı olarak tanımlanmaktadır. Bu tanımlamaya göre ISLR'nin formülü şu şekildedir;

$$ISLR = 10 \log_{10} \left( \frac{\int_{-3dB} I dx' dy'}{\int_{-\infty}^{+\infty} I dx' dy' - \int_{-3dB} I dx' dy'} \right) \quad (2.33)$$



burada,  $I$  odaklanmış SAR datasını temsil ederken  $dx'$  ve  $dy'$  sırasıyla 2D imajdaki azimut ve menzil yönündeki her bir pikselin konumunu ifade etmektedir.

#### 2.2.4.9 Sinyal karışıklık oranı

SAR uygulamaları için en önemli parametrelerden birisi de SCR'dir. SCR en genel ifadesi ile hedeften alınan sinyal gücünün hedef harici karıştırıcı unsurlardan alınan sinyal gücüne oranıdır [Barton, 1988]. Bu tezde sunulan uygulamalarda arka plan yansımaları ile hedef yansımaları ayrı ayrı elde edildiğinden SCR, hedeften alınan enerji değerinin arka plandan alınan enerjiye oranı şeklinde tanımlanmıştır. Buna göre SCR analitik olarak şu şekilde ifade edilir:

$$SCR = 20 \log_{10} \left( \frac{A_{tar}}{A_{bck}} \right) \quad (2.34)$$

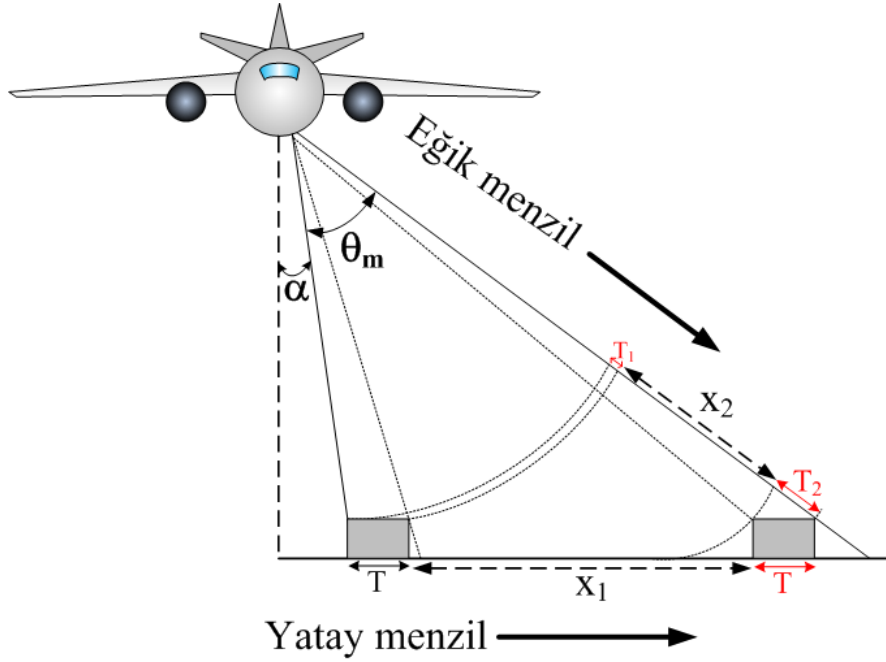
burada,  $A_{tar}$  ve  $A_{bck}$  sırasıyla hedeften ve arka plandan alınan tepkilerin toplam genlik ifadesini vermektedir. SCR parametresi kullanılarak SAR odaklama algoritmalarının hedef sinyalini arka plan sinyalinden ne derece ayırt edebildiği ölçülebilmektedir.

#### 2.2.5 SAR görüntü bozulmaları

Her türlü uzaktan algılama sisteminin sonucunda elde edilen görüntüde, sensorun tarama geometrisinden kaynaklı, geometrik bozulmalar oluşmaktadır. Belirli bir hat boyunca ilerlerken yana bakarak tarama yapan ve hedeflerin menzil bilgilerini elde eden SAR sisteminde de tarama geometrisinden kaynaklı olarak menzilsel bozulmalar oluşmaktadır. Odaklanmış SAR imajlarında rastlanılan en dikkat çekici bozulmalar, eğik menzil ölçek bozulması (slant-range scale distortion), üste düşüm bozulması (layover distortion), önden kısalma bozulması (foreshortening distortion) ve gölgeleme (shadowing) olarak sıralanabilir [Richards, 2007].

### 2.2.5.1 Eğik menzil ölçekleme bozulması

Şekil 2.19’da görüldüğü gibi SAR platformu sabit bir hat boyunca ilerlerken eğik menzil yönünde alfa kadar bir açı ile yana bakarak hedeflerden saçılan geri yansıma sinyallerini toplamaktadır. Yatay menzilde aralarında  $x_1$  birim uzaklık olan iki hedefin, eğik menzildeki farkı  $x_2$  olarak azalmaktadır.



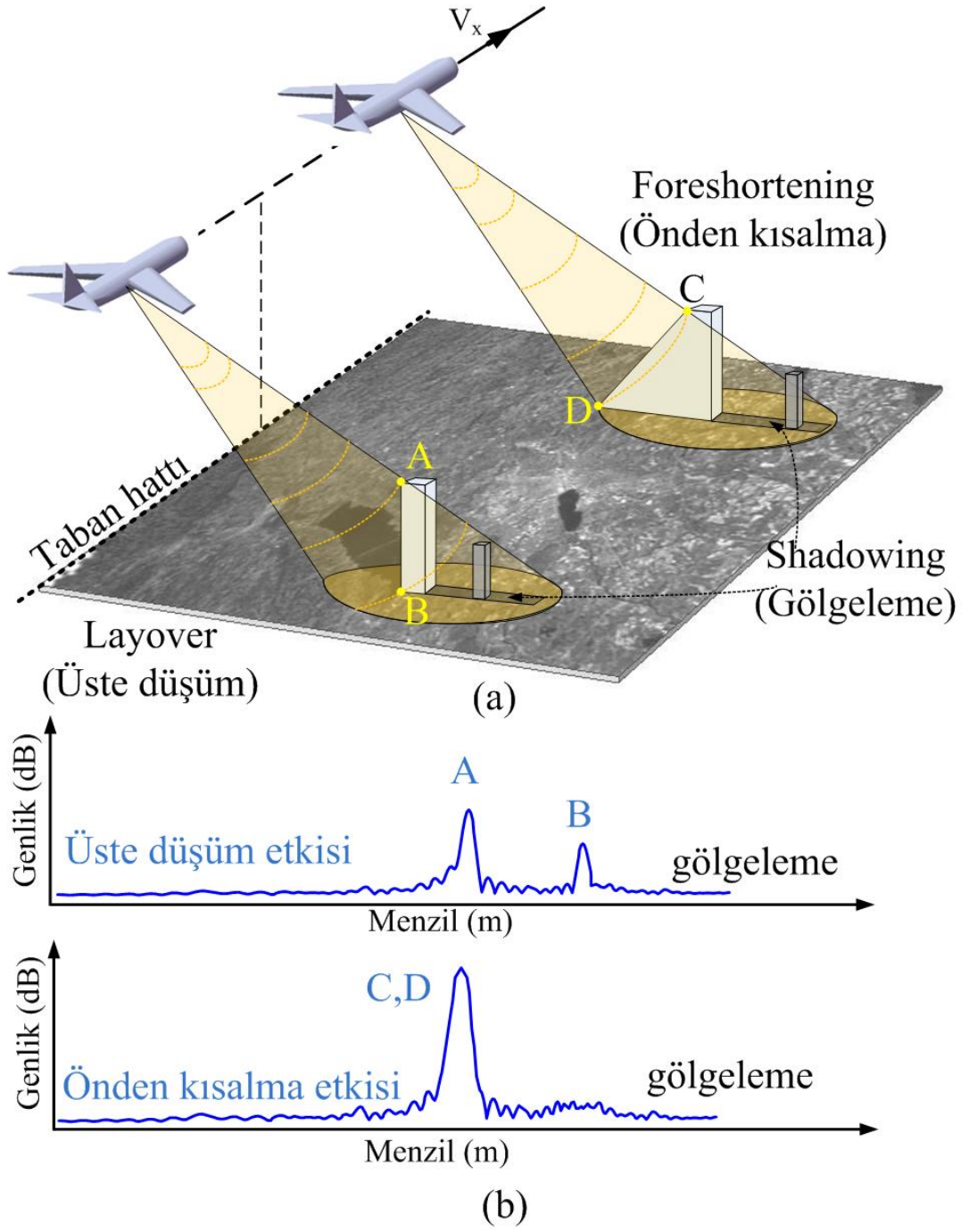
Şekil 2. 19. Eğik menzil ölçekleme bozulmasının geometrik gösterimi

Bunun sonucu olarak, oluşan radar görüntüsü menzil yönünde sıkıştırılmış bir biçimde görülecektir. Bir diğer bozulma etkisi ise, hedeflerin menzil boyunca uzunluklarının radar imajındaki değişimleridir. SAR platformunun uçuş güzergâhına yakın hedefler daha dar açıyla tarandığından, hedeflerin yatay menzil yönündeki genişlikleri, eğik menzilde oldukça dar bir şekilde oluşurken, platformdan uzaktaki hedefler, daha geniş açıyla tarandığından, eğik menzildeki görüntüleri daha geniş olacaktır. Şekil 2. 19’da  $T$  genişliğindeki iki hedef, eğik menzilde  $T_1$  ve  $T_2$  genişliğinde görülmektedir. Bu nedenle, odaklanmış SAR verilerinin incelenmesinde ve yorumlanmasında, tarama geometrisinin parametreleri gözden kaçırılmamalıdır. YT-SAR sistemlerinde, tarama açısı  $\alpha$  klasik SAR geometrisine nazaran çok daha büyük olduğu için,  $T_1$ ,  $T_2$  ve  $X_1$ ,  $X_2$  arasındaki hata oranı düşmektedir. Bu

özelliğinden dolayı, YT-SAR imajları ek bir işlem yapılmaya bile gerçeğe yakın görüntüler oluşturmaktadır.

#### 2.2.5.2 Üste düşüm bozulması

Şekil 2. 20(a)'da görüldüğü gibi yer düzleminden belirli bir yükseklikte tarama yapan SAR platformu hedeflenen bölgedeki nesnelere ait EM saçılmaları toplarken, aynı yatay menzildeki hedefin tepe noktasındaki yansıma, alt tarafındaki yansımadan daha yakın görülmektedir. Şekil 2. 20(a)'da ki *A* ve *B* noktaları aynı yatay menzil koordinatına sahip oldukları halde, şekil 2. 20(b)'deki menzil profilinde, *A* noktası *B* noktasından daha yakında görülmektedir. Dolayısıyla, eğer taranan bölge hakkında optik görüntü önceden mevcut değilse, menzil boyunca iki farklı hedef varmış izlenimi oluşacak ve bunun sonucunda veri yanlış yorumlanacaktır. Klasik SAR görüntüleme tekniklerinde oluşan üste düşüm etkisinin çözülebilmesi için yapılan çalışmaların tümünde, birden fazla tarama geometrisine ihtiyaç duyulan interferometri yöntemi kullanılmaktadır [Richards, 2007]. Aynı güzergahı iki defa taramak yerine, birden fazla anten kullanılarak da yapılabilen teknik sayesinde hedeflenen bölgenin farklı açılardan saçılım bilgisi toplanarak uyumlu bir şekilde işlenmekte ve böylelikle üste düşüm etkisi tespit edilebilmektedir. Ancak tek geçişli taramalarla bu etkinin tespiti yapılamamıştır. Bölüm 3.2.3.'de yakın alan taramalı YT-SAR geometrisinden faydalanılarak üste düşüm etkilerinin çözülebileceği gösterilmiştir.

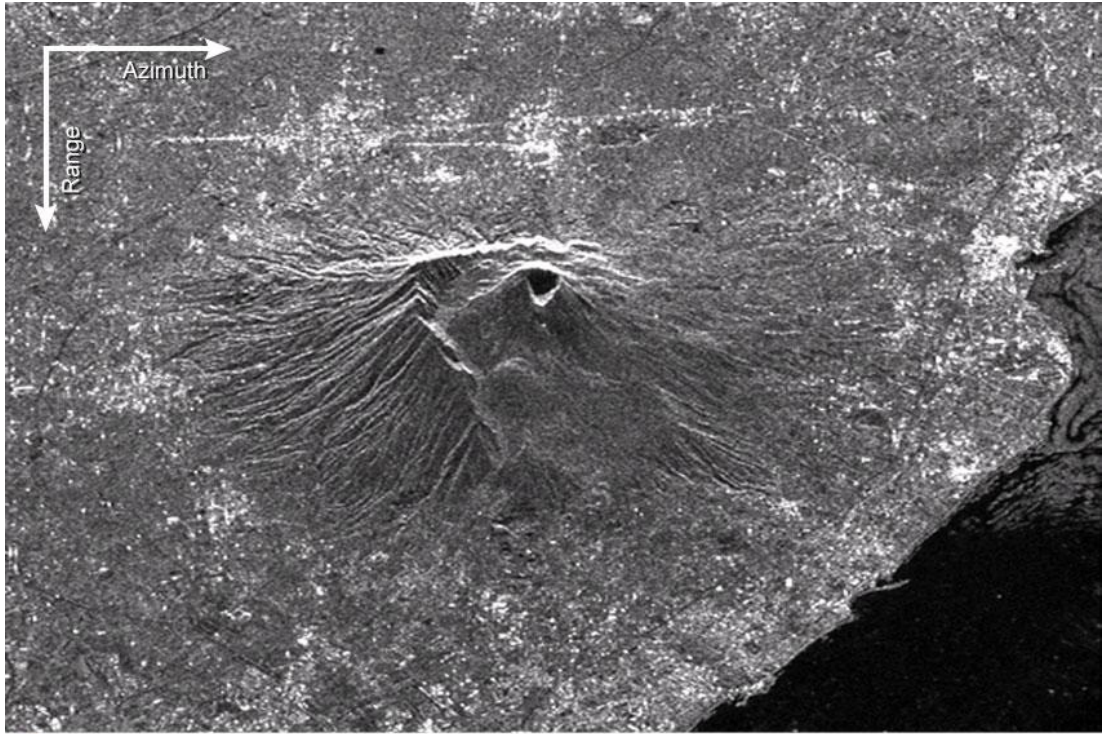


Şekil 2. 20. Üste düşüm, önden kısalma ve gölgeleme bozulmalarının etkileri; (a) grafiksel gösterim, (b) Menzil profil çizimleri

### 2.2.5.3 Önden kısalma bozulması

Temel itibariyle üste düşüm etkisine benzeyen ancak aralarında çok küçük bir fark bulunan önden kısalma etkisi, eğik menzil boyunca, aynı menzil mesafesinde kalan

hedeflere ait yansımaların üst üste binmesi olarak ifade edilebilir. Şekil 2. 20(a)'da görülen üçgenimsi hedefin *C* ve *D* noktaları platforma eşit uzaklıkta olduğu için, bu iki noktanın geri saçılım sinyalleri üst üste toplanmakta ve bunun sonucunda şekil 2. 20(b)'de verilen menzil profili oluşmaktadır. Şekil 2. 20(b)'de verilen iki menzil profili kıyaslandığında, önden kısalma etkisi sonucunda oluşan yansımada tek bir tepki görülürken, üste düşüm sonrası iki noktanın da tepkisi görülmektedir. Ancak önden kısalma etkisinin menzil profilindeki genliği daha şiddetli olduğunda, 2D radar imajında yüksek parlaklıklı hedefler olarak görülecektir. Şekil 2. 21'de İtalya Vezüv dağına ait SAR imajından da [Treuropa, 2013] anlaşıldığı gibi dağın radar platformuna bakan yüzeyinde yüksek parlaklıkta yansımalar görülmektedir. Bu önden kısalma etkisi sonucu oluşan yüksek kontrast, aslında dağın fiziki yapısı hakkında da bilgi verirken, oluşan SAR görüntüsüne de derinlik hissi katmaktadır.



 © 2011 Tele-Rilevamento Europa

Şekil 2. 21. İtalya Vezüv dağı SAR görüntüsü. [Treuropa, 2013]

#### 2.2.5.4 Gölgeleme bozulması

SAR görüntülerinde sıkça karşılaşılan bir diğer bozulma türü de gölgelemedir. Şekil 2. 20(a)'da görüldüğü gibi, SAR ışın demetleri belirli bir bölgeyi EM olarak aydınlatırken, büyük hedeflerin arkasında kalan bölgelere ait yansımalar elde edilememektedir. Bunun sonucunda perdelenmiş bölgeden herhangi bir sinyal bilgisi alınmadığından, menzil profilinde herhangi bir sinyal görülemeyecektir. Bu olgu gerçek SAR dadasında karanlık bir şekilde kendisini gösterecektir. Şekil 2. 21'de SAR görüntüsü verilen volkanın ağız kısmı, bu gölgeleme etkisinden dolayı siyah bir şekilde görüntülenmiştir. Dolayısıyla radar platformunun bakış açısı  $\alpha$  ne kadar artarsa gölgeleme de o denli azalacak fakat bununla birlikte, üste düşüm etkisi artacaktır. Bu nedenle SAR uygulamalarında radar parametreleri ve tarama geometrisi belirli amaçlara yönelik olarak belirlenmektedir.

### **3. MATERYAL ve YÖNTEM**

#### **3.1 KULLANILAN YAZILIM ve MATERYAL**

##### **3.1.1 Kullanılan Yazılım**

###### **3.1.1.1 Matlab yazılımı**

Tez çalışmasında, tüm hesaplamalar, algoritmalar, veri analizleri ve grafikler için Matlab [Matlab, 2011] yazılım paketi kullanılmıştır. Spesifik olarak sinyal işleme ve simulink araç kutularının Matlab kodları, çalışmalarda yararlı olmuştur.

Matlab teknik hesaplamalar ve programlamayı, problemlerin ve çözümlerin benzer matematiksel gösterimleri ile ifade edildiği kolay kullanılabilir bir ortama dönüştürür. Matlab'ın temel kullanım alanları arasında matematik ve hesaplama, algoritma geliştirimi, veri edinme, modelleme, benzetim ve prototiplendirme, veri analizi, açınama ve görüntüleme, bilimsel ve mühendislik tabanlı grafikleme gibi maddeler sayılabilir. Matlab, temel veri elemanını dizi ve matris olarak işleyebilen interaktif bir sistemdir. Bu, birçok teknik hesaplama problemlerini, özellikle matris ve vektör formüllü olanları çok az bir zamanda çözmeyi sağlar. Matlab, kullanıcılara sunulduğu zaman zarfında birçok kullanıcıların katkısıyla daha da gelişerek üniversite ortamlarında, matematik, mühendislik ve bilimdeki temel ve ileri dersleri için standart bir eğitimsel araç haline gelmiştir.

Matlab, araç kutuları (toolbox) olarak adlandırılan eklenebilir uygulama-spesifik çözümler ailesi özelliğine sahiptir. Matlab kullanıcıların birçoğu için çok önemli olan araç kutuları, spesifik teknolojiyi öğrenme ve uygulamaya olanak tanır. Bu nedenle araç kutuları, Matlab ortamını, hususi problem sınıflarını çözmek için genişleten Matlab fonksiyonlarının (M-dosyaları) kapsamlı bir koleksiyonu haline almıştır. Sinyal işleme, kontrol sistemleri, sinir ağları, bulanık mantık, dalgacıklar, görüntü işleme, benzetim ve birçok başka alanlarda araç kutularına sahip Matlab mühendislik alanından en önde ve temel yazılım olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu nedenle bu tez kapsamında yapılan tüm uygulamalar gerek benzetim datası

uygulamaları gerekse gerçek zamanlı uygulamalar Matlab yordamıyla gerçekleştirilmiştir.

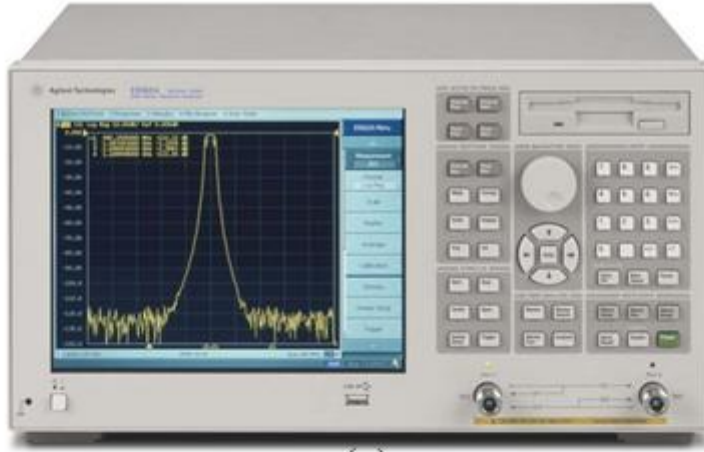
### 3.1.2 Kullanılan Materyal

Bu çalışma esnasında YT-SAR hareketli platformu (raylar, tekerlekler, hareketi sağlayacak motor ve sürücüsü, taşıyıcı iskelet), VNA, antenler, anten ve hedef konumlandırma cihazları, uygun frekans bandında çalışan kablolar ve deneysel test odaları ve düzenekler kullanılmıştır. Gerçek zamanlı SAR verilerinin kaydedilebilmesi ve işlenebilmesi için yüksek performanslı bir diz üstü bilgisayarlar ve elektronik cihazlarla bağlantıyı sağlayan genel amaçlı arabirim yolu (general purpose interface bus-GPIB) gibi ara elemanlar da kullanılmıştır. Yapılan deneylerin bir kısmı Mersin Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliğinin de dâhil olduğu, Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) Marmara Araştırma Merkezi (MAM) Malzeme Enstitüsü tarafından yürütülen "İleri Teknoloji için Elektromanyetik Tomografi Görüntüleme Cihaz ve Sistemleri" projesi kapsamında MAM'da gerçekleştirilirken diğer yarısı da Mersin Üniversitesi yerleşkesinde gerçekleştirilmiştir.

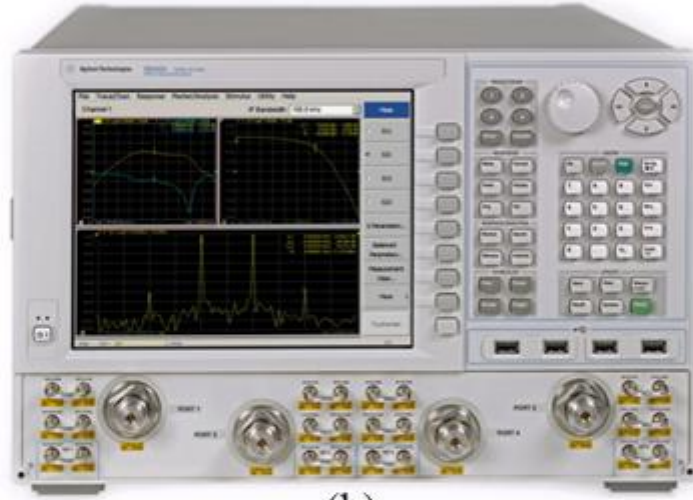
#### 3.1.2.1 Network Analizör

Bu tez kapsamında, farklı parametrelere ayarlanabilme ve geniş spektrumda kullanılabilme gibi özelliklerinden dolayı SFCW üreten VNA kullanılmıştır. Tez süresince çok geniş bir frekans spektrumunda deneyler yapıldığından C (4 – 8 GHz) bandıyla W (75 – 110 GHz) bandı arasını destekleyebilen farklı tipte VNA'lar kullanılmıştır. Şekil 3. 1(a)'da Mersin Üniversitesi mühendislik bölümüne ait olan Agilent 5071B model VNA görülmektedir. 300 KHz – 8.5 GHz bandında çalışan bu VNA tüm S parametrelerini desteklemektedir. Şekil 3. 1(b)'de TÜBİTAK MAM uygulamalarında kullanılan Agilent N5242A modelindeki VNA görülmektedir. Bu VNA, 10 MHz – 26.5 GHz frekans bandını desteklemektedir. Ancak şekil 3. 2'de görülen frekans çarpıcıları yardımıyla VNA'nın frekansı 120 GHz'e kadar yükseltilebilmektedir.





(a)



(b)



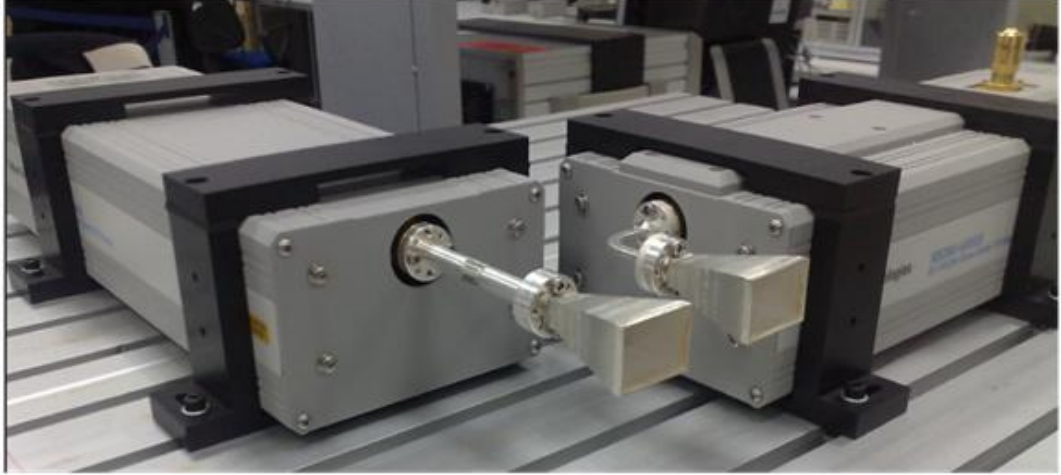
(c)

Şekil 3. 1. Tezde kullanılan VNA'lar; (a) Agilent 5071B model VNA, (b) Agilent N5242A model VNA, (c) Anritsu MS2026C model VNA

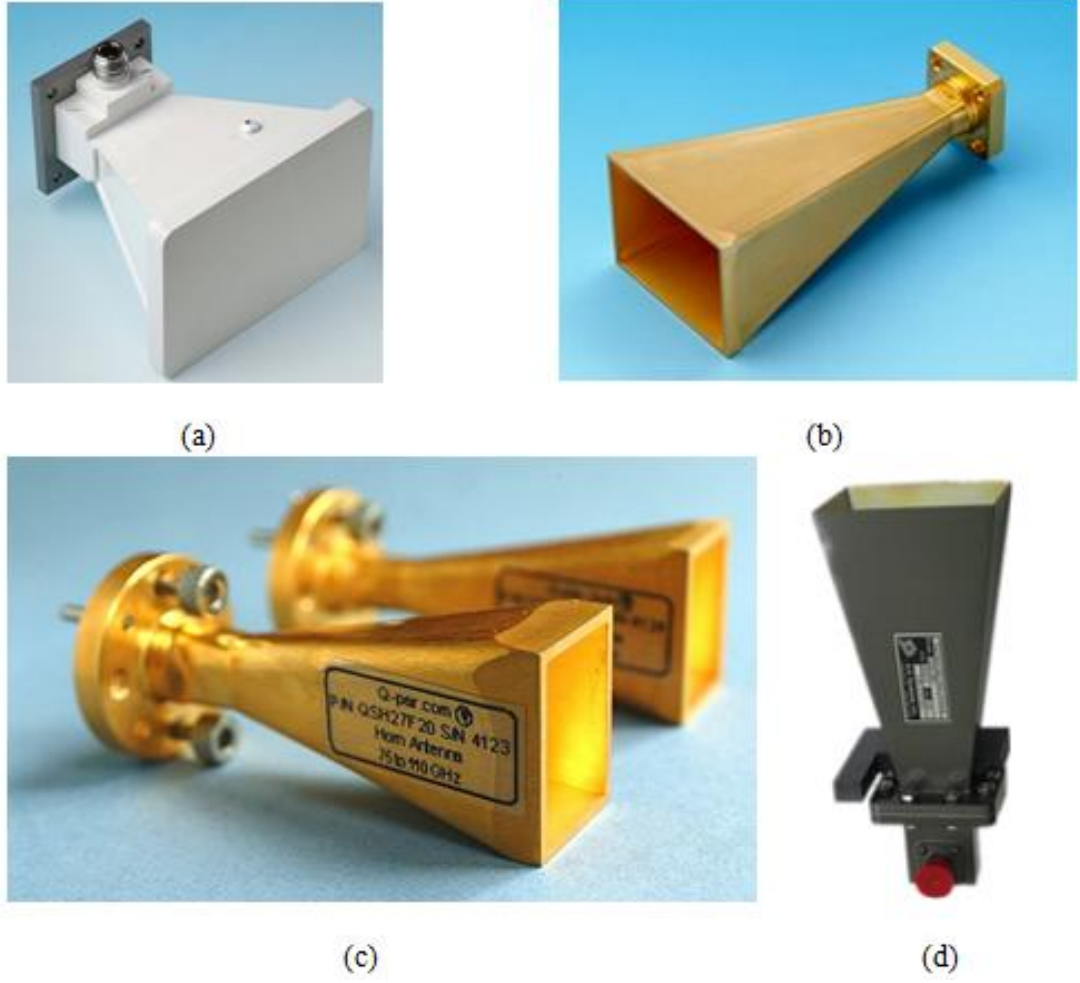
Şekil 3. 1(c)'de ise, Mersin Üniversitesi yerleşkesinde yapılan YT-SAR deneylerinde kullanılan el tipi Anritsu MS2026C model VNA görülmektedir. Bu model 0.5 – 6 GHz bandında çalışabilen ve tüm S parametrelerini destekleyebilen bir model olup, dış ortam kullanımına uygun olarak imal edilmiştir.

### 3.1.2.2 Radar anteni

YT-SAR uygulamalarının en önemli materyallerinden biriside kullanılan anten tipidir. Zira her frekans bandına göre antenin şekli ve performansı değişim göstermektedir. Bu nedenle farklı frekans bantlarında farklı anten tipleri kullanılmalı ve o anten karakteristiğine göre SAR yeniden inşa algoritmalarının yapısı değiştirilmelidir. Bölüm 2.2.4.1'de bahsedilen anten ışın demet genişliği hem azimut çözünürlüğünü hem de geniş açı kriterini etkilediği için amaca yönelik anten kullanımı önem arz etmektedir. Bu tez kapsamında farklı tipte boynuz antenler kullanılmıştır. Şekil 3. 2'de 26.5 – 40 GHz frekans bandını destekleyen boynuz tipi antenlerle birlikte frekans yükselticiler birlikte görülmektedir. Şekil 3. 3'de ise, bu tez boyunca kullanılan tüm anten çeşitleri ve modelleri verilmiştir.



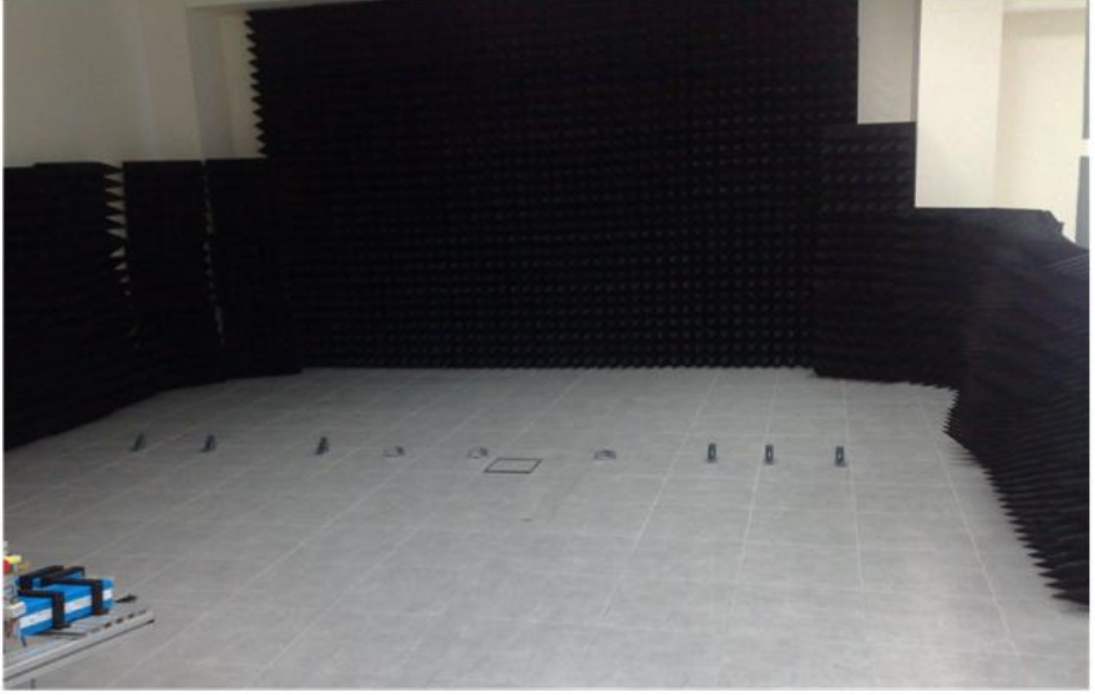
Şekil 3. 2. Frekans çarpıcılar ve 26.5 – 40 GHz boynuz tipi antenler.



Şekil 3. 3. Tezde kullanılan antenler; (a) Q-PAR, 2 – 18 GHz boynuz tipi anten, (b) Q-PAR 90 – 140 GHz boynuz tipi anten, (c) Q-PAR 75 – 110 GHz boynuz tipi anten, (d) A.H. Systems 4.5 – 8.5 GHz boynuz tipi anten

### 3.1.2.3 Elektromanyetik soğurucu malzeme

SAR için geliştirilen algoritmalar öncelikle bilgisayar ortamında benzetim verileri üzerinde test edilmiştir. Benzetim sonuçları başarılı olan yazılımlar daha sonra, ideal şartlar altında gerçekleştirilen SAR deney verilerine uygulanmıştır. Bu nedenle dışarıdan kaynaklı gürültü ve karışıklık etkilerini elimine etmek için EM soğurucu malzeme ile kaplanmış ortamlarda deneyler gerçekleştirildi. Laboratuvar ortamının bir bölümü bu tip malzeme ile kaplanarak dış etkiler minimize edildi. Şekil 3. 4’de görülen siyah materyal 10 – 110 GHz frekans bandında EM soğurma yapmaktadır.



Şekil 3. 4. Elektromanyetik soğurucu malzeme ile kaplanmış laboratuvar

#### 3.1.2.4 Hareketli platform

Bölüm 2.1.3’de bahsedilen SAR tekniğini kullanarak görüntüleme yapan sistemlerde, radar antenleri hareketli bir platform üzerine monte edilerek belirli bir azimut hattı boyunca ilerlerken menzil yönündeki EM saçılımları toplamaktadır. Platformun hassasiyeti ve hızı elde edilen görüntü kalitesini etkilemektedir. Çoğunlukla uzay araçlarına ve uçaklara monte edilen SAR sistemi bu çalışmada yer tabanlı hareketli bir platform üzerine monte edilmiştir. Bu tez süresince birden fazla platform geliştirilmiş ve her birisi üzerinde farklı amaçlara yönelik YT-SAR uygulamaları gerçekleştirilmiştir.



(a)



(b)

Şekil 3. 5. Tezde kullanılan hareketli platformlar; (a) AC motor kontrollü demir rayda hareket edebilen YT-SAR platformu, (b) Step motor kontrollü çekme halatlı tekerlekli YT-SAR platformu

Şekil 3. 5(a)'da görülen sistem ilk olarak Mersin üniversitesi deneyleri için geliştirilmiştir. Bu sistem 3 katlı bir mekanizmaya sahip olup, 1. Katında AC motor ve hareketi kayışlarla tekere aktaran düzenek yer almaktadır. Motorun sürücüsü olmadığından standart dur ve git komutlarıyla yönlendirilebilmektedir. Bu nedenle bu sistemde sabit bir hızla belirli bir hat boyunca sürekli veri toplama deneyleri gerçekleştirilebilmiştir. Düzenegin ikinci katında network analizör konuşlandırılmış üçüncü katında ise kontrol bilgisayarıyla antenler monte edilmiştir. 3 m ray uzunluğuna sahip sistem çok rahat taşınabilir bir sistem olmadığından ancak bina için deneylerde sistem geliştirilmesine yönelik olarak kullanılmıştır. Şekil 3. 5(b)'de görülen sistem TUBİTAK çalışmalarında üretilen bir sistem olup platformun hareketi 5 m uzaklıkta konuşlandırılmış bir makaraya bağlı halat yardımıyla sağlanmaktadır. Sistem kauçuk tekerleklerden oluştuğu için toprak zeminde de kullanıma müsait bir sistemdir. Ancak makara hattına dolanan ipin miktarı arttıkça platformun hareketindeki değişim doğrusallığını yitirdiğinden SAR görüntüleme algoritmasına bu etkinin dâhil edilmesi gerekmektedir. Bu nedenle uzun mesafeler için kullanışsız bir sistem olmuştur. Şekil 3. 6(a)'da ki sistem, geliştirilen 3. tip olup en kararlı ve

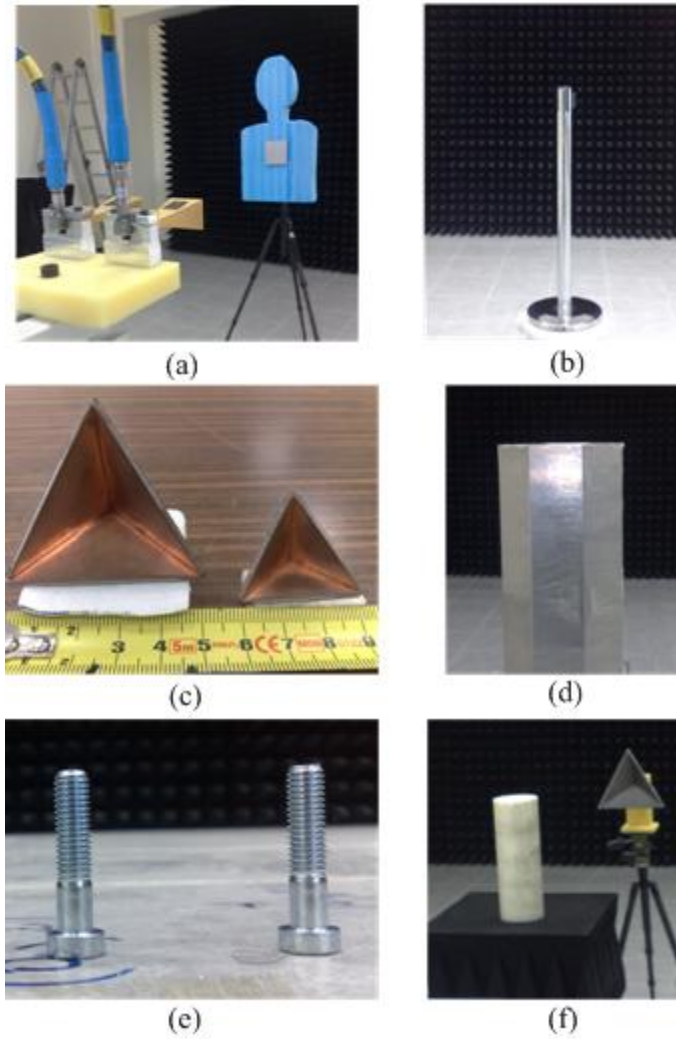
hassas yapıya sahip sistemdir. Bu sistemde Lead Shineb marka ve 86HS85 model numaralı, 6 – 8.5 Nm tork üretebilen step motor kullanılmıştır. Bu motor hareket kabiliyetini raylara monte edilmiş çarklı sisteme aktarmaktadır. Sistemin hareketi ince dişli çarklı sisteme dayandığı için sistem 1 mm hassasiyetinde hareket edebilmektedir. 1 m'lik sentetik açıklık boyunca 1001 noktada SAR verisi toplayabilme kabiliyetine sahip platform özellikle milimetre dalga deneylerinde sıkça kullanılmıştır. Platform ağır yük taşıyabilme kabiliyeti sayesinde aynı anda iki farklı VNA taşıyabilmekte bununla birlikte çok farklı anten konfigürasyonlarının montajına izin vermektedir. Ancak diğer üç platform gibi sabit bir hat üzerinde doğrusal bir hareket dışında hareket kabiliyeti olmayan platformla yapılabilecek uygulama alanı sınırlıdır. Bu nedenle her türlü ortamda harekete müsaade edebilen, hafif ve kolay kurulabilen bir platforma ihtiyaç duyulmuş ve şekil 3. 6(b)'de gösterilen sistem tasarlanmıştır. Bu sistem 300 g ağırlığında olup üzerine iki adet boynuz tipi anten monte edilmiştir. Bu sistem sayesinde Mersin Üniversitesi yerleşkesinin bina balkonlarında, sentetik açıklık mesafesinin oranla yirmi kata kadar daha uzak mesafelerde YT-SAR uygulamaları yapılabilmiş ayrıca dairesel taramada da kullanılabilen yapısıyla CSAR uygulamaları da gerçekleştirilebilmiştir.



Şekil 3. 6. Tezde kullanılan hareketli platformlar; (a) Step motor kontrollü, dişli hareket düzeneğine sahip 1 mm hassasiyetli veri toplama kabiliyetinde olan YT-SAR platformu, (b) Balkon ve duvar üstü manüel kontrol ettirilebilir YT-SAR platformu

### 3.1.2.5 Diğer materyaller

YT-SAR deneylerinde VNA ile antenlerin bağlanmasında farklı tipte koaksiyel kablolar ve konektörler kullanılmıştır. Bunlar N tipi ve SMA tipi olarak ikiye ayrılmıştır. Ayrıca test amaçlı olarak RCS değerleri bilinen hedefler kullanılmış bunun içinde köşe yansıtıcılar tercih edilmiştir. Bunlar dışında çok farklı materyaller test amaçlı olarak incelenmiş ve YT-SAR görüntüleri elde edilmiştir. Kullanılan materyallerin bazıları şekil 3. 7’de verilmiştir.



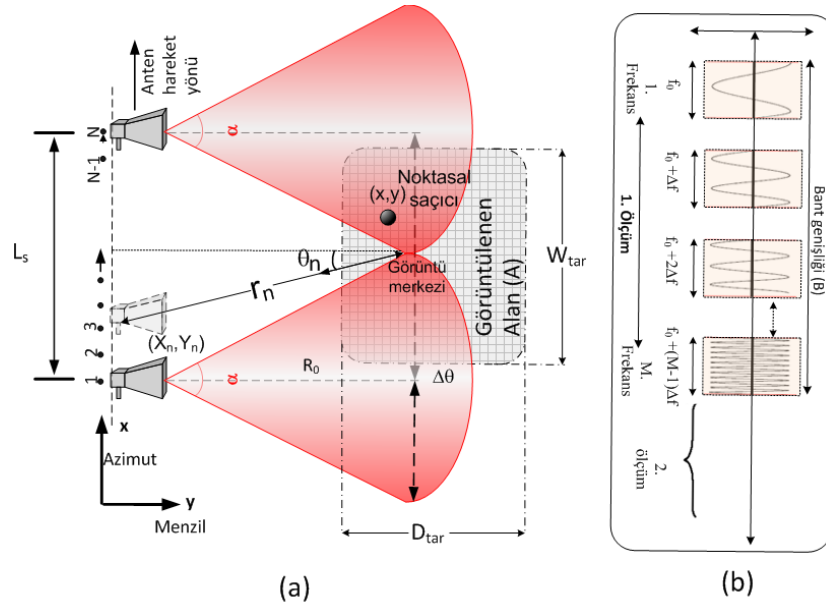
Şekil 3. 7. YT-SAR deneylerinde kullanılan test araçları; (a) İnsan boyutlarında kesilmiş köpük model üstüne monte edilmiş metal plaka; (b) Silindirik metal yansıtıcı; (c) 3 ve 4.5 cm ebatlarında köşe yansıtıcılar; (d) Altıgen metal yansıtıcı (e) 2 cm uzunluğunda metal vidalar, (f) 30 cm genişliğinde köşe yansıtıcı ve kestamit malzemeden imal edilmiş 30 cm çapında silindirik hedef

### 3.2 KULLANILAN YÖNTEM

Bu çalışmada bölüm 2.2.3’de bahsedilen tüm odaklama algoritmaları kullanılarak YT-SAR uygulamalarına yönelik olarak en uygun algoritma tespit edilmiştir. Bu algoritmalarından RDA, CSA ve  $\omega$ -KA algoritmaları literatürdeki formülasyonuna göre geliştirilmişken MFA ve BPA üzerinde YT-SAR deneylerine yönelik modifikasyonlar yapılmıştır. Bu nedenle bu kısımda MFA ve BPA algoritmalarının uyarlanması ve yapılan modifikasyonlar ayrıntılı bir şekilde verilmiştir.

#### 3.2.1 Uyumlanmış Filtre Algoritması

Şekil 3. 8’de verilen mono statik bir tarama düzeneği için, radar anteni doğrusal bir yolda ilerlerken, sentetik açıklık boyunca  $\{t_n | n = 1, 2, \dots, N\}$  şeklinde verilen eşit aralıklarla EM saçılımları toplamaktadır. Görüntülenecek olan alanın “A”, yansıtıcılık fonksiyonu  $\rho(x, y)$  şeklinde tanımlanmaktadır. Yapılan ölçüm VNA ile gerçekleştirildiğinden, sentetik açıklıktaki her bir  $n$ ’inci noktada elde edilen menzil profili, SFCW formunda olduğundan şekil 3. 8’de gösterildiği gibi “M” adet farklı frekans bilgisini içermektedir.



Şekil 3. 8. 2D SAR veri toplama sistemi; (a) Sistem geometrisi, (b) Adım frekanslı sürekli dalga radar gösterimi



Adım frekans radarın frekans değişimi  $\{f_m | m = 0, 1, 2, \dots, M - 1\}$  şeklinde vektörel olarak ifade edilir. Burada  $\Delta f$  frekans çözünürlüğünü ifade etmek kaydıyla herhangi bir “ $m$  inci” frekans bilgisi  $f_m = f_0 + m\Delta f$  formülüyle bulunur. Böylece antenin herhangi bir  $n$ . pozisyonunda elde edilen bir boyutlu (1D) geri saçılma sinyali  $S(n, f_m)$  şu şekilde ifade edilir.

$$S(n, f_m) = \int_A \rho(x, y). e^{-jk_r r_n} dA \quad (3.1)$$

burada  $k_r$  radyal uzamsal frekans olup iki yönlü yayılımı ifade etmektedir ve  $k_r = \frac{4\pi f}{c}$  şeklinde formülize edilir.  $r_n$  ise antenin anlık konumundan herhangi bir  $(x, y)$  noktasına olan mesafeyi tanımlarken  $c$  ise ışık hızını belirtmektedir. SAR anteninden görüntülenmek istenen bölgedeki herhangi bir noktanın uzaklığı analitik olarak şu şekilde ifade edilir;

$$r_n = \sqrt{(X_n - x)^2 + (Y_n - y)^2} \quad (3.2)$$

burada  $X_n$  ve  $Y_n$  antenin görüntü merkezine göre olan konumlarını verirken  $x$  ve  $y$  ise görüntülenecek bölgenin her bir pikselin koordinat bilgisini vermektedir. Denklem 3. 1’in 1D kesikli FT ardından 1D menzil profili elde edilir.

$$S(n, r) = \int_A \rho(x, y). e^{-jk_r r_n} \left[ \frac{1}{M} \sum_{m=0}^{M-1} e^{-j2\pi m \left( \frac{-r}{M} + \Delta f \frac{2r_n}{c} \right)} \right] dA \quad (3.3)$$

Tek bir  $n$ . azimut pozisyonu için elde edilen  $S(n, r)$  sinyali,  $n$ . azimut noktasının kompleks menzil profili olarak ifade edilir. Bu durumda  $(x_0, y_0)$  noktasında konuşlandırılmış ve yansıtırlığı  $\rho_0$  olan tek bir noktasal hedef için 1D menzil profili şu şekilde yazılabilir.

$$S(n, r) = \rho_0. e^{-jk_r r_n} \left[ \frac{1}{M} \sum_{m=0}^{M-1} e^{-j2\pi m \left( \frac{-r}{M} + \Delta f \frac{2r_n}{c} \right)} \right] \quad (3.4)$$

Denklem 3. 4.'de verilen 1D vektörel sinyalin maksimum değeri  $r = M\Delta f \frac{2r_n}{c}$  eşitliğiyle sağlanmaktadır. Böylece 1D vektörel sinyalin spesifik bir  $r$  için noktasal karşılığı  $S(n)$  şu şekilde ifade edilir.

$$S(n) = \rho_0 \cdot e^{-jk_r r_n} \quad (3.5)$$

Denklem 3. 5.'deki  $\rho_0$ 'ı hesaplayabilmek için denklem 3. 5, bölüm 2.2.3.8'de açıklandığı gibi uyumlanmış filtre fonksiyonu ile çarpılmalıdır. Buna göre denklem 3. 5'in uyumlanmış filtre fonksiyonu  $MF(r_n)$  şu şekilde bulunur.

$$MF(r_n) = e^{jk_r r_n} \quad (3.6)$$

Eşitlik 3. 6'da verilen MF fonksiyonu  $MF(r_n)$ , denklem 3. 2.'de verildiği gibi hem antenin hem de hedefin konumuna bağlı bir fonksiyondur. Bu nedenle MFA ile SAR verisinin odaklanması istendiğinde, ham SAR verisinin her bir pikselinin uygun MF fonksiyonu ile çarpılması gerekmektedir. Bu çarpımın analitik gösterimi eşitlik 3. 7'de verildiği şekliyledir.

$$\rho(x, y) = \sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^M S(t_n, f_m) e^{jk_r r_n} \quad (3.7)$$

### 3.2.2 Geriye İzdüşümü Algoritması

Şekil 3. 8'deki gibi bir düzenekte radar anteninin anlık konumu  $(X_n, Y_n)$  ile tanımlanırken antenin herhangi bir konumdaki birim vektör ile menzil yönündeki  $y$  ekseninde kalan açı  $\theta_n$  ile tanımlanmaktadır. Buna göre tüm açıklık boyunca hedeflenen bölgeden saçılan ve anten tarafından toplanan 2D geri yansıma sinyali aşağıdaki şekilde ifade edilir.

$$S(t_n, f_m) = E_{\theta_n}(k_r) = \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} \rho(x, y) \cdot e^{-jk_r r_n} dx dy \quad (3.8)$$

EM olarak aydınlatılan alanın menzil profili, denklem 3. 8'in IFT sonrası elde edilir ve matematiksel olarak şu şekilde ifade edilir.

$$e_{\theta_n}(r) \equiv IFT\{E_{\theta_n}(k_r)\} = \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} \rho(x, y) \cdot \delta(r_n - r) dx dy \quad (3.9)$$

Denklem 3. 9. herhangi bir  $\theta_n$  gözlem noktası için, sahnenin 1D menzil profilinde temsil edilmesinin ifadesi, Radon Dönüşümü olarak bilinmektedir. Bu noktada BP algoritması Kartezyen koordinatlarda verilen  $\rho(x, y)$  yansıtırlık fonksiyonunun IFT ile başlar.

$$\rho(x, y) = \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} G(k_x, k_y) \cdot e^{j(k_x x + k_y y)} dk_x dk_y \quad (3.10)$$

Denklem 3. 10'daki  $\rho(x, y)$ 'nin 2D FT,  $G(k_x, k_y)$  ile ifade edilir. Uzamsal frekans verisi kutupsal koordinatlarda toplandığı için denklem 3. 10. kutupsal koordinatlar  $(k_r, \theta_n)$  cinsinden aşağıdaki gibi tekrar yazılabilir.

$$\rho(x, y) = \int_{-\pi}^{+\pi} \int_0^{+\infty} G(k_r, \theta_n) \cdot \exp(jk_r r_n) k_r dk_r d\theta_n \quad (3.11)$$

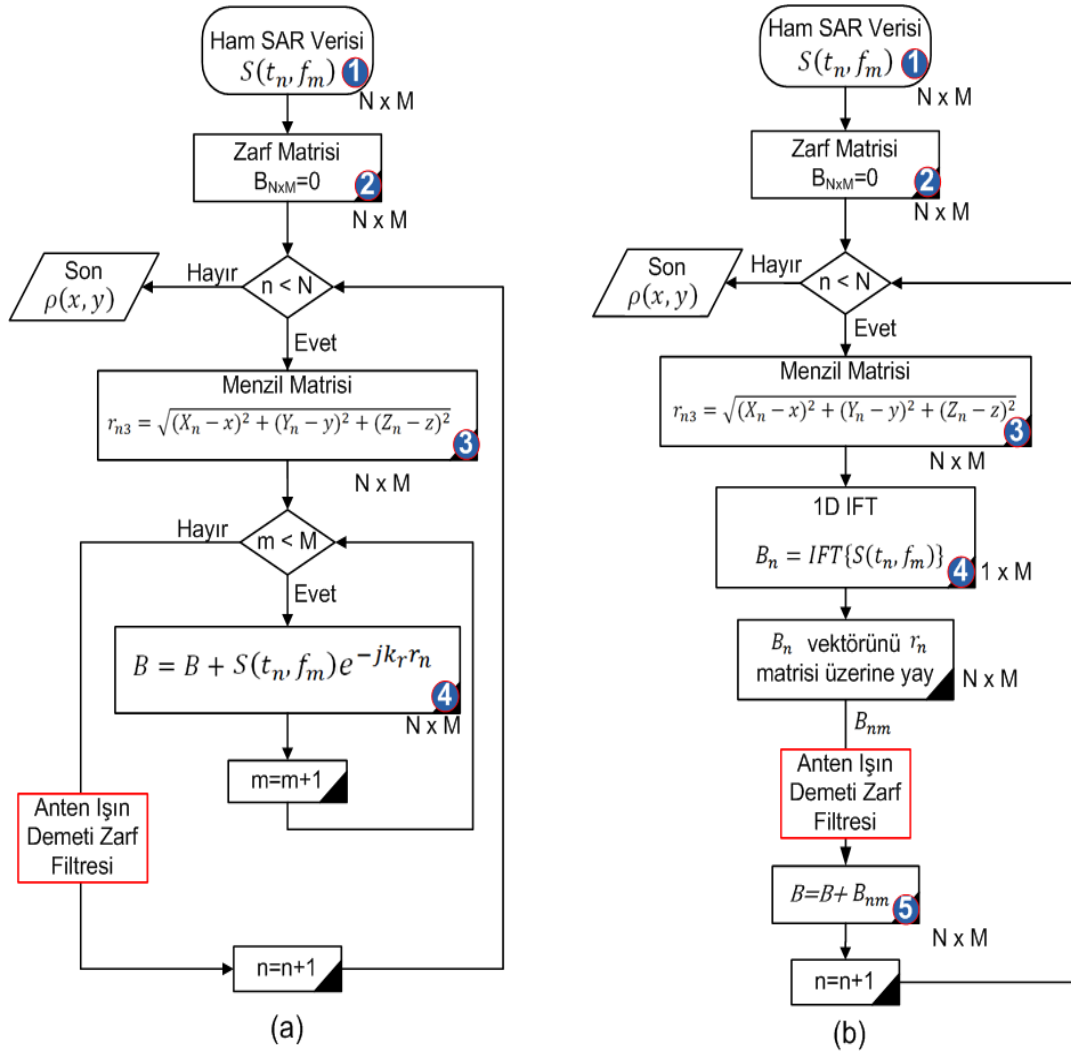
Bu noktada, hedeflerin FT'nü ölçüm datası  $E_{\theta}(k_r)$  ile ilişkilendirmek için kesit izdüşümü (projection-slice) teoremi [Mersereau, 1974] kullanılır. Basitçe teorem şunu ifade eder, herhangi bir  $\theta$  açısındaki izdüşümün 1D FT, aynı açıdaki izdüşümün 3D FT'nün kesitini temsil eder, yani  $E_{\theta}(k_r) \equiv G(k_r, \theta)$ . Bu prensip kullanılarak, Denklem 3.11'deki ters Fourier bağıntısı şu şekilde tekrar yazılabilir.

$$\rho(x, y) = \int_{-\pi}^{+\pi} \left[ \int_0^{+\infty} E_{\theta_n}(k_r) \exp(jk_r r_n) k_r dk_r \right] d\theta_n \quad (3.12)$$

Denklem 3.12'deki iç entegral  $Q_{\theta_n}(k_r) = E_{\theta_n}(k_r) k_r$  fonksiyonunun 1D IFT'nün  $r_n$  de hesaplanması olarak görülebilir.  $q_{\theta_n}(r)$  bu fonksiyonun IFT olarak tanımlanırsa denklem 3. 12. şu şekilde ifade edilebilir

$$\rho(x, y) = \int_{-\pi}^{\pi} q_{\theta_n}(r_n) d\theta_n \quad (3.13)$$

Böylelikle 2D geriye izdüşüm algoritmasının son hali denklem 3. 13. ile elde edilir. Formülasyon ve uyarlama bakımından farklılık göstermelerine rağmen MFA ve BPA odaklama performansı bakımından neredeyse aynı sonuçlara sahiptir. Ayrıca eğik mod SAR veya CSAR uyarlamaları da benzerlik göstermektedir. Şekil 3. 9'da verilen akış diyagramlarından anlaşılacağı üzere, MFA SAR verisini piksel bazlı işlediğinden  $N \times M$  lik bir matris için  $N \times M$  adet uyumlanmış filtre çarpımı gerekmektedir. Ancak BPA için aynı sonuca  $N$  adet IFT ile ulaşılabilmektedir. Zira denklem 3. 3'de verilen menzil profilini elde etmek için MFA'sı  $M$  adet çarpma işlemi yaparken BPA bunu tek bir IFT ile gerçekleştirebilmektedir. Bu nedenle çok fazla işlem yüküne sahip MFA yerine BPA kullanımı yaygındır.



Şekil 3. 9. (a) MFA için akış diyagramı, (b) BPA için akış diyagramı

### 3.2.3 YT-SAR İçin Üç Boyutlu Görüntüleme Algoritması

2D tarama geometrisi için formülasyonu verilen algoritmaların 3D tarama geometrisiyle elde edilen SAR verilerini odaklayabilmesi ve 3D verinin 2D düzleme projeksiyonun doğru yapılabilmesi için matematiksel formülasyonunda üçüncü boyutunda hesaba katılması gerekmektedir. Bu tez kapsamında kullanılan MFA ve BPA'nın üçüncü boyuta yeniden modellenmesi için eşitlik 3. 2'de verilen  $r_n$  konum matrisine üçüncü boyut ifadesi eklenmelidir.

$$r_{n3} = \sqrt{(X_n - x)^2 + (Y_n - y)^2 + (Z_n - z)^2} \quad (3.14)$$

Burada  $r_{n3}$  3D tarama geometrisine göre antenin görüntülenecek olan bölgedeki her bir noktaya uzaklığını tutan bir matristir. Böylelikle YT-SAR uygulaması sonunda elde edilen 3D ham veri, 2D bir düzleme projeksiyon edilirken, denklem 3.14'deki  $z$  seçilerek istenilen düzleme projeksiyonu gerçekleştirilebilir.

### 3.2.4 Eğik Mod SAR Görüntüleme

Birçok SAR sisteminde radar ışın demetleri uçuş hattına dik bir şekilde ayarlanır ve bu tip bir veri toplama geometrisine borda (broadside) denir. Eğer radar ışınları uçuş hattına dik değilse bu tip bir veri toplama geometrisine eğik-mod (squinted) denir. Eğik-Mod SAR sisteminin birçok avantajı vardır. Uçak tabanlı sistemlerde, hava sahası ihlali gibi nedenlerden dolayı girilemeyecek bölgeler radar anteninin yönü değiştirilerek taranabilmektedir. Ayrıca eğik mod sayesinde sınırlı bir sentetik açıklıkta çok geniş bir bölgenin radar görüntüsünü çıkartmak mümkün olmaktadır. Özellikle yabancı enkaz temizlemeye yönelik olarak önerdiğimiz YT-SAR sisteminde eğik mod uygulamasıyla çok geniş araziler görüntülenmektedir. MFA ve RDA için yapılan modifikasyonlarla [Yiğit vd., 2011], algoritmaların eğik mod için de uygun hale getirilmesi sağlanmıştır.

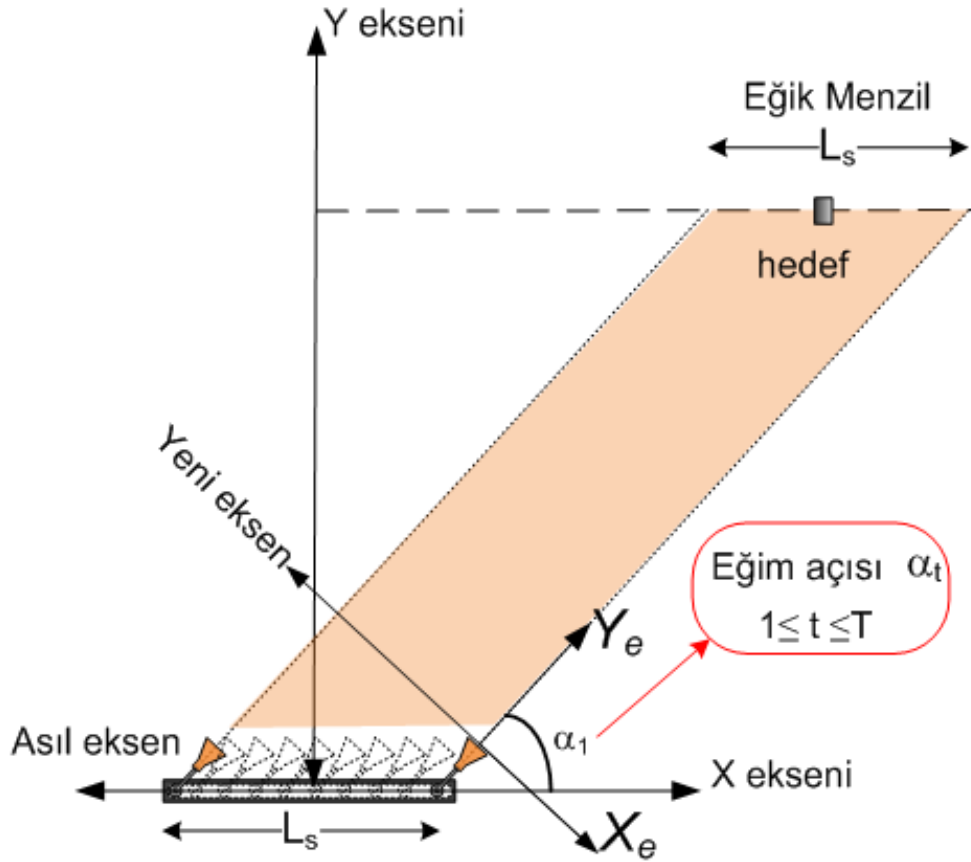
Şerit harita SAR sisteminde borda düzeninde antenlerin yönü uçuş hattına dik olacak şekilde ayarlandığından, her bir sentetik açıklık noktasında anten faz merkezi sabit kalmaktadır. Bu nedenle toplanan veri doğrudan FT dönüşümleri yoluyla

hatasız bir şekilde işlenebilmektedir. Ancak eğik mod durumunda antenin faz merkezi verilen eğim kadar kaymakta olduğundan, antenin hareket yönü doğrusal bir hat üzerinde gibi görülse de, eğim açısı kadar kayan bir hatta ilerlemiş şeklindedir. Bu etkiden dolayı geliştirilen algoritmalar çalışmamaktadır. Bu çalışmada “eğik mod” için yapılan modifikasyon ise şu şekildedir.  $L_s$  sentetik açıklığı boyunca tarama yapan bir anten için  $\alpha_t$  eğik açı olmak kaydıyla antenlerin konumları aşağıdaki denklemlerle yeniden tanımlandığı takdirde algoritma “eğik mod” için adapte edilmiş olacaktır.

$$X_e = \cos\left(\frac{\pi}{2} - \alpha_t\right) \cdot L_s \quad (3.15)$$

$$Y_e = \sin\left(\frac{\pi}{2} - \alpha_t\right) \cdot L_s \quad (3.16)$$

Burada  $X_e$  ve  $Y_e$ , şekil 3. 13’de gösterildiği gibi antenlere verilen eğik açılara göre yeniden tanımlanmış eksenleri belirtmektedir.

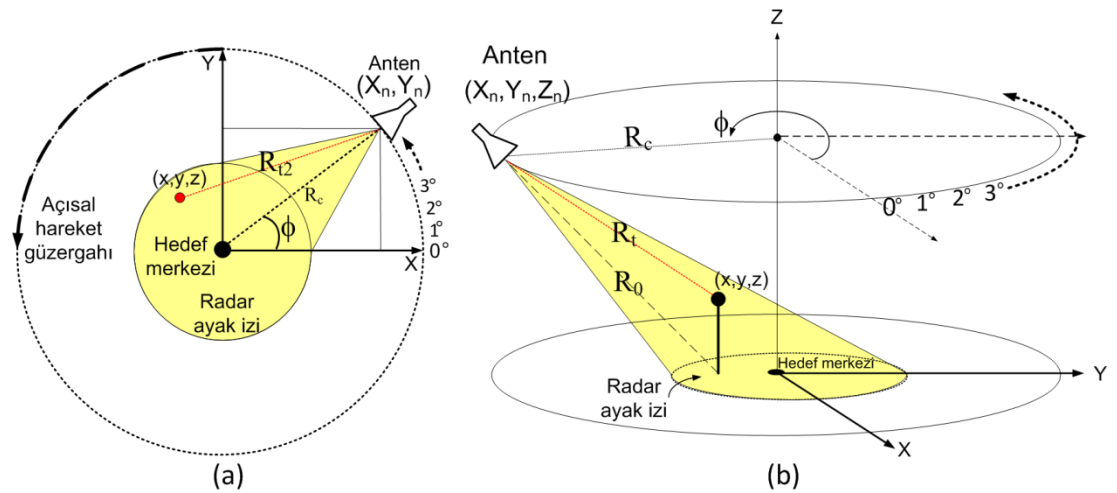


Şekil 3. 10. Eğik mod SAR için 2D tarama geometrisi

Böylelikle hem denklem 3. 2’de hem de 3. 14.’de ki  $X_n$  ve  $Y_n$  yerine yeni tanımlanan konumlar  $X_e$  ve  $Y_e$  konularak hem MFA nın hem de BPA nın eğik mod adaptasyonu 2D ve 3D YT-SAR verisi için sağlanmış olacaktır. Şekil 3.10’da görüleceği üzere bu implementasyon sayesinde antenlerin faz merkezleri hep aynı doğrultuda olacak şekilde ayarlanarak, antenlerin konumlarının değişimi faza eklenmiştir. Standart bir şerit harita SAR sisteminde anten tek bir doğrultuda hareket ederken bu uyarlama ile anten sanki hem  $x$  hem  $y$  ekseninde hareket ediyormuş şeklinde konumları yeniden tanımlanmıştır. Eğik mod SAR deneyleri ve sonuçları bölüm 4. 5’de tartışılmıştır.

### 3.2.5 Dairesel SAR Görüntüleme

Son yıllarda geliştirilen CSAR tekniğinde radar platformu doğrusal bir hat yerine, dairesel bir hat boyunca sabit bir bölgeyi EM olarak aydınlatmaktadır. Böylelikle hedeflenen bölge veya nesnenin,  $360^\circ$ ’lik bir tarama ile alt dalga boyları seviyesinde çözünürlüğe sahip CSAR görüntüleri elde edilebilir. CSAR görüntüleme teknikleri prensip olarak ISAR görüntüleme tekniğiyle benzerlik içermektedir. Ancak özellikle yer tabanlı ve yakın alan CSAR uygulamalarında, antenin yerden yüksekliği ve EM dalganın alçalış açısı gibi etkenler hesaplamaya katılmalıdır. Bunun nedeni bölüm 3.2.6’da bahsedilen üste düşüm etkisinin yorumlanabilmesidir.



Şekil 3. 11. (a) 2D CSAR tarama geometrisi, (b) 3D CSAR tarama geometrisi

Şekil 3. 11(a)'da görüldüğü gibi radar anteni sabit bir dairesel hat üzerinde belirli açılarda değişimlerle hedeflenen bölgedeki radar ayak izi içinde kalan hedeflerden saçılan EM yayılımları toplamaktadır. Eğer radar antenin konumu sıfır düzleminin üzerinde olursa, şekil 3. 11(b)'de görüldüğü gibi 3D bir tarama geometrisiyle geri saçılımları toplar. Şekil 3. 11(b)'de  $X_n, Y_n, Z_n$  şeklinde verilen anten koordinatları, antenin açılarda konumu  $\varphi$  cinsinden aşağıdaki şekilde yazılabilir;

$$X_D = R_c \cos \varphi \quad (3.17)$$

$$Y_D = R_c \sin \varphi \quad (3.18)$$

$$Z_D = Z_n \quad (3.19)$$

Gerekli dönüşümler yapıldıktan sonra silindirik koordinatlarda ifade edilen anten konumları eşitlik 3. 2. ve eşitlik 3. 14'de yerine yazılarak 2D ve 3D CSAR görüntülemeye uygun hale getirilebilir.

$$R_{t2} = \sqrt{(X_D - x)^2 + (Y_D - y)^2} \quad (3.20)$$

$$R_t = \sqrt{(X_D - x)^2 + (Y_D - y)^2 + (Z_D - z)^2} \quad (3.21)$$

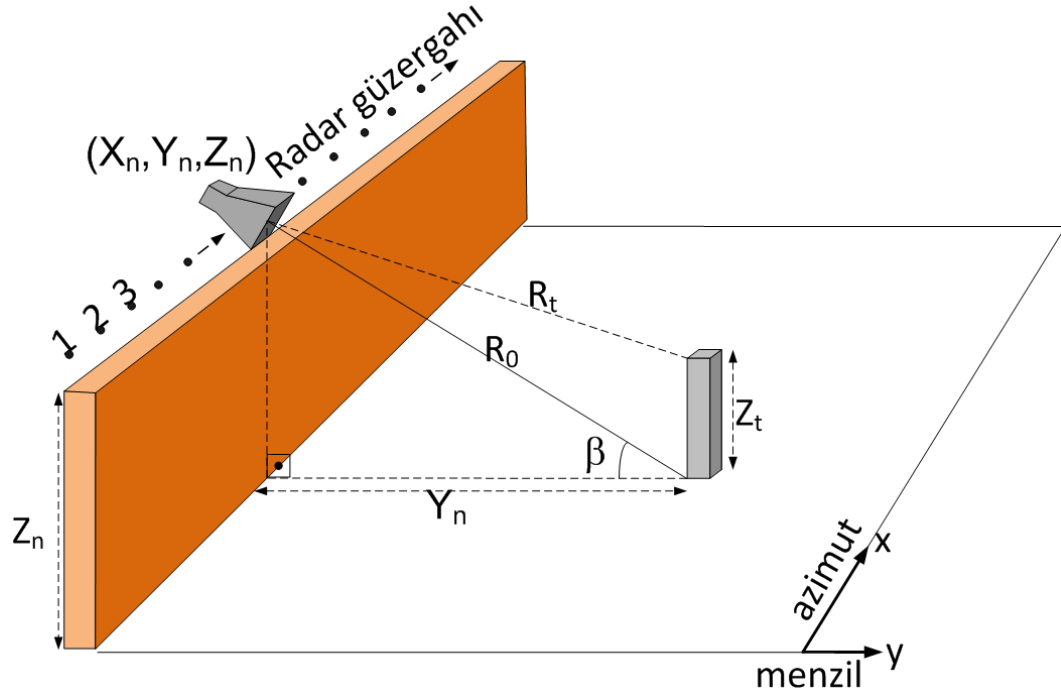
Denklem 3. 21.'de ki  $z$  ifadesi, elde edilen verinin  $z$  ekseninde hangi düzleme projeksiyon edileceğini belirlemektedir. CSA, RDA ve  $\omega$ -KA için oldukça fazla işlem yükü gerektiren [Fortuny ve Lopez, 2001; Nguyen,2011; Cumming ve Wong, 2005] eğik mod, 3D tarama ve Dairesel tarama gibi uygulamalara, MFA ve BPA, Şekil 3. 9'da ki üçüncü numaralı adımdaki menzil matrisindeki basit dönüşümlerle adapte edilmiştir.

### 3.2.6 YT-SAR Görüntülerindeki Üste düşüm Etkisinin Tespiti

Birçok SAR uygulamasında, platform ile taranan bölge aynı düzlemde olmayıp aralarında yükselti farkı bulunmaktadır. Bu nedenle SM-SAR veya CSAR geometrilerine sahip uygulamalarda tek geçişli bir tarama sonrası elde edilen veri 2D bir düzlemde görüntülenmektedir. Klasik SAR görüntülerinde ortaya çıkan ve bölüm 2.2.5'de bahsedilen bozulmaların başlıca nedeni budur. Zira 3D bir koordinat



sisteminde elde edilen veri 2D bir koordinat sisteminde görüntülenmektedir. SAR görüntülerinde ortaya çıkan bu bozulma etkilerinden eğik menzil ölçekleme hatası basit bir yeniden ölçeklemeyle (re-scaling) giderilebilirken, gölgeleme etkisi ancak 360°'lik bir taramayla yok edilebilir. Üste düşüm ve önden kısalma etkileri ise, interferometrik SAR tekniğiyle çözümlenebilmektedir.



Şekil 3. 12. 3D YT-SAR tarama geometrisi

Üste düşüm etkisinin analitik olarak incelenebilmesi için şekil 3. 12'de verilen grafikten yararlanılabilir. Şekilde görüldüğü üzere  $\beta$  alçalış açısıyla aydınlatılan bir bölge  $Y_n$  birim uzaklıktaki bir hedefin tabanının antene olan doğrudan görüş mesafesi  $R_0$  iken, hedefin tepe noktasının antenle arasındaki mesafesi  $R_t$  dir.  $Z_n$  antenin yükseklik bilgisini vermek üzere  $R_t$  ve  $R_0$  analitik olarak şu şekilde ifade edilir.

$$R_t = \sqrt{(Z_n - Z_t)^2 + Y_n^2} \quad (3.22)$$

$$R_0 = \sqrt{Z_n^2 + Y_n^2} \quad (3.23)$$

Eşitlik 3.22'deki köklü ifade açılırsa,

$$R_t = \sqrt{Z_n^2 + Y_n^2 + Z_t^2 - 2Z_n Z_t} \quad (3.24)$$

eşitliğine ulaşılır. Eşitlik 3. 23., eşitlik 3.24.'de yerine yazılırsa,  $R_t$  ifadesi  $R_0$  cinsinden aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$$R_t = \sqrt{R_0^2 + Z_t^2 - 2Z_n Z_t} \quad (3.25)$$

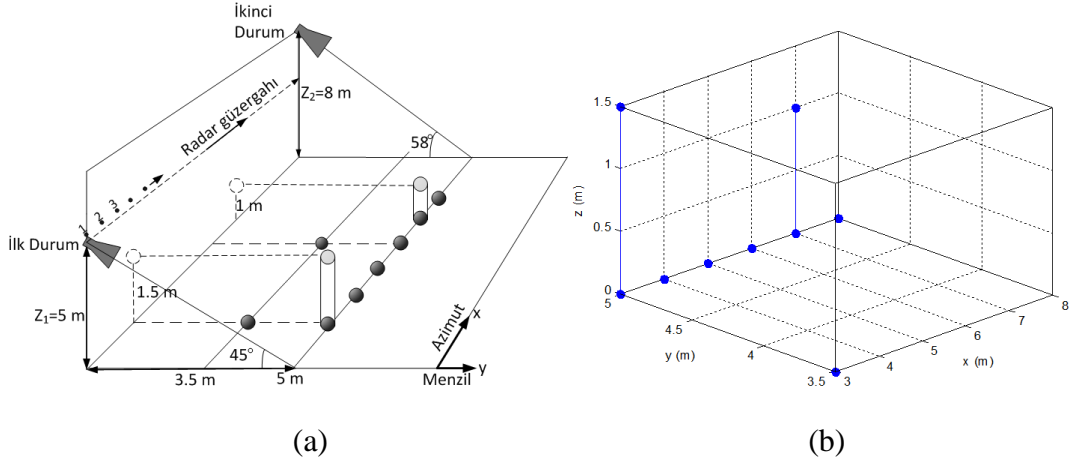
Eşitlik 3.25'de  $R_0$  kökün dışına çıkarılırsa,  $R_t$  ifadesinin yeni hali şu şekildedir.

$$R_t = R_0 \sqrt{1 + \frac{Z_t^2}{R_0^2} - \frac{2Z_n Z_t}{R_0^2}} \quad (3.26)$$

SAR platformunun hedeften çok çok uzakta olduğu durum için  $R_0 \gg Z_t$  eşitsizliğinde, denklem 3.26'nın karekök içindeki ikinci ve üçüncü terimi sıfıra yaklaşılarak aşağıdaki sonuca ulaşılır

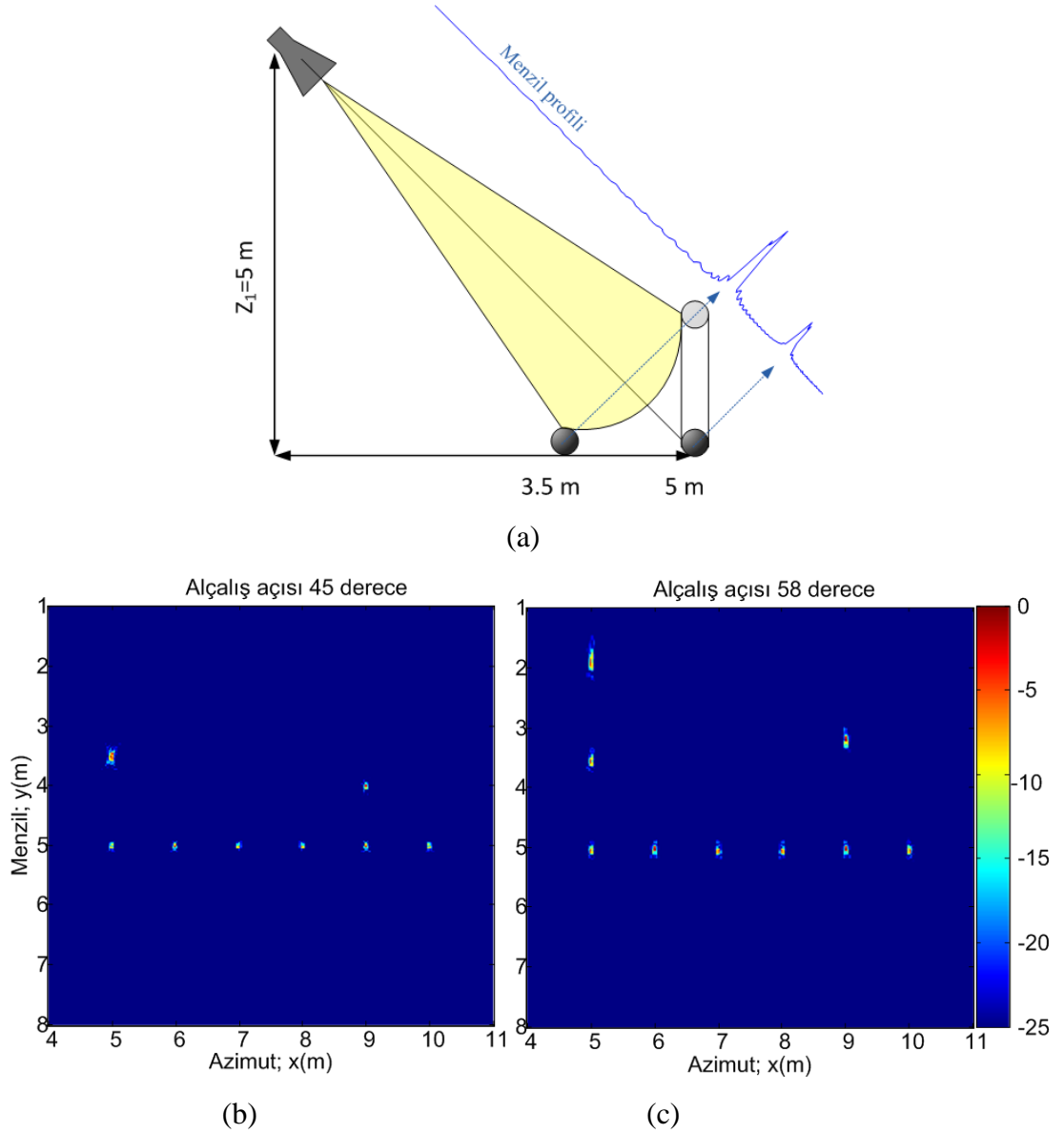
$$R_t \cong R_0 \sqrt{1 + 0} = R_0 \quad (3.27)$$

Bu sonuç uzak alan görüntüleme düşük yükseklikli hedeflerde üste düşüm etkisinin görülmemesi sonuçlarıyla uyumaktadır. Ancak YT-SAR gibi yakın alan görüntüleme geometrilerinde bu yaklaşım geçersiz olmakta ve SAR imajında odaksız etkiler görülmektedir. Üste düşüm ve önden kısalma etkilerinin SAR görüntülerindeki davranışının ve tespitinin anlaşılmasına yönelik olarak şekil 3.13'deki sistemin benzetiminden faydalanılabilir.



Şekil 3. 13. Üste düşüm ve önden kısılma etkilerinin benzetimi; (a) Tarama geometrisi, (b) Hedeflerin konumları.

Şekil 3. 13’de görülen düzenek için yapılan benzetimde iki farklı tarama yüksekliği için SAR tekniği uygulanmıştır. İlk durumda radar anteni 5 m yükseklikte ve 45°’lik bir alçalış açısıyla hedefe doğru yöneltilerek 10 m’lik bir sentetik açıklık boyunca tarama gerçekleştirildi. İkinci durum da antenin yüksekliği 8 m’ye ayarlanarak 58°’lik bir alçalış açısı ile tarama gerçekleştirildi. Elde edilen ham SAR verileri BPA ile odaklandıktan sonra şekil 3.12’deki görülen sonuçlar elde edilmiştir. Şekil 3. 12(a)’da açıkça görüldüğü gibi, 1.5 m yüksekliğindeki hedefin antene olan uzaklığı ile sıfır düzleminde 3.5 m’ye konuşlandırılan hedefin uzaklığı aynı olduğu için, bu iki hedeften alınan yansımalar üst üste toplanmıştır. Böylelikle şekil 3. 12(b)’de görülen SAR imajında sadece 8 hedef yansıması elde edilmiş ancak azimutta  $x = 5 m, y = 3.5 m$  de görülen yansıma şiddetinin diğerlerinden daha yüksek olduğu fark edilmiştir. Bu sonuç bölüm 2.2.5’de bahsedilen önden kısılma etkisinin bir sonucudur.



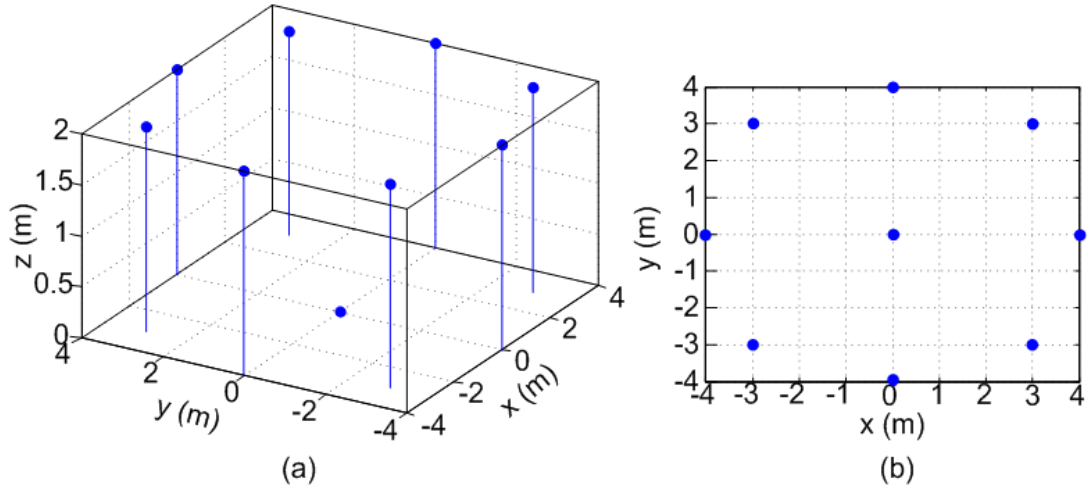
Şekil 3. 14. YT-SAR tekniği ile odaklanmış noktasal hedefler; (a) 45°lik alçalış açısıyla oluşan önden kısalma etkisinin menzil profilindeki etkisinin benzetimi, (b) 45°lik alçalış açısıyla taranan odaklanmış SAR görüntüsü, (c) 58°lik alçalış açısıyla taranan odaklanmış SAR görüntüsü

Aynı şekilde, azimutta 9 m’de bulunan hedefin taban yansması açıkça görüldüğü gibi, yaklaşık 4 m’de bir yansıma daha elde edilmiştir. Bu yansıma da şekil 3. 13’de koordinatı gösterilen 1 m yüksekliğe sahip noktasal hedefe aittir. Tek bir tarama sonrası oluşan şekil 3. 14(b) görüntüsündeki bu bozulmalar, sanki menzil yönünde başka hedefler varmış izlenimi oluşturmaktadır. Bunların tespiti için, farklı bir yükseklikten yapılan ikinci bir tarama gerektiğinden, 58°lik bir tarama için

benzetim yapılmış ve sonucu şekil 3. 14(c)'de gösterilmiştir. Şekilden de anlaşılacağı üzere, 3.5 m'deki hedef önden kısılma etkisinden tamamen kurtulmuş olarak doğru konumunda görülürken,  $x = 5 m$ ,  $z = 1.5 m$  deki hedef üste düşüm etkisi sonucu yaklaşık  $y = 2 m$  de, ayrıca  $x = 9 m$ ,  $z = 1 m$ 'de bulunan hedef yaklaşık  $y = 3.2 m$ 'de görülmüştür. Dolayısıyla aynı bölgeye ait iki farklı alçalış açısıyla elde edilmiş SAR görüntüsünden yararlanılarak, odaklanmış imajdaki yansımalar doğru bir şekilde tespit edilebilmektedir. Mevcut çalışmalarda, tek bir tarama sonrası ek işlem yapılarak üste düşüm ve önden kısılma etkisinin tespitine yönelik herhangi bir çalışma bulunmamaktadır. Ancak bu çalışmada yakın alan YT-SAR geometrisinin bazı yaklaşımlarından yararlanılarak bu etkilerin tespit edilebileceği gösterilmiştir.

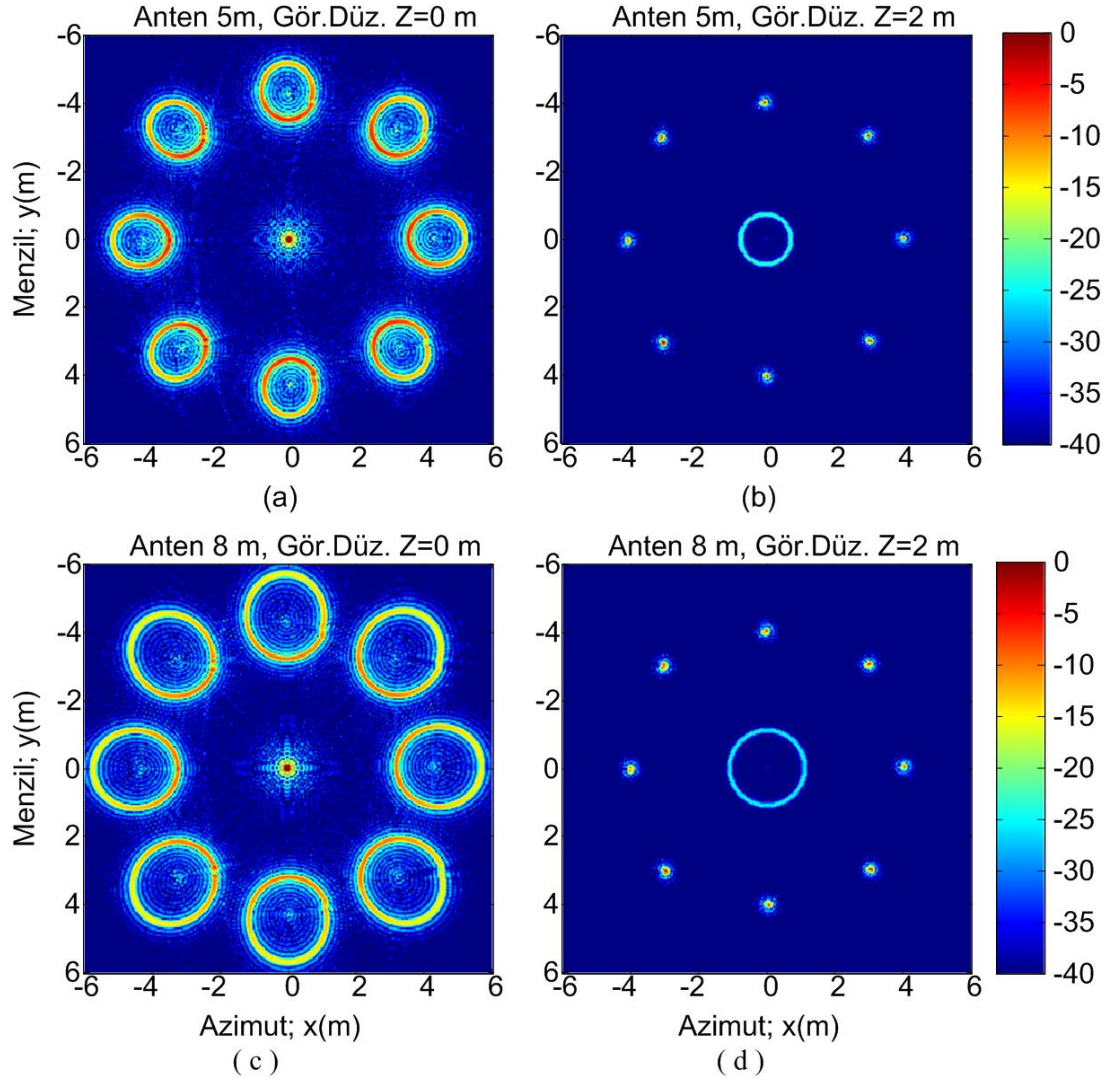
### 3.2.7 Dairesel SAR görüntüleme üste düşüm etkisinin incelenmesi

3D tarama geometrisine sahip YT-SAR uygulamaların sonucunda ortaya çıkan üste düşüm etkisinin CSAR verilerindeki yapısının incelenmesi için, şekil 3.11(b)'de verilen tarama geometrisine göre benzetim yapılmıştır. Buna göre, yarıçapı 10 m olan bir dairesel düzlemin merkezinde olacak şekilde 9 farklı noktasal hedef 3D uzayda farklı noktalara konuşlandırılmıştır. Hedeflerin konumları şekil 3. 15(a)'da görülmektedir. Bu hedefler için, iki farklı anten yüksekliğiyle  $z_1 = 5 m$  ve  $z_2 = 8 m$  olacak şekilde,  $360^\circ$ 'lik bir açıklıkta CSAR benzetimi gerçekleştirildi. Elde edilen ham CSAR verisi BPA kullanılarak odaklanırken eşitlik 3. 21'de verilen  $z$  projeksiyon düzlemi, hem  $z = 0 m$  hem de  $z = 2 m$  olarak belirlendi. Böylelikle toplanan ham CSAR verisi iki farklı düzleme projeksiyon edilerek odaklandı.



Şekil 3. 15. CSAR benzetimi için kullanılan noktasal hedefler; (a) 3D uzayda konumlarının gösterimi, (b) 2D düzlemde konumlarının gösterimi

Şekil 3. 16(a)'da, tam merkezde olan noktasal hedefin odaklandığı, ancak 2 m yüksekliğe sahip diğer 8 hedefin odaklanamadığı ve halka şeklinde odaksız bir etki oluşturduğu görülmektedir. Şekil 3. 16(b)'de ise, projeksiyon düzlemi  $z = 2 m$  olarak seçildiği için, 2 m yüksekliğinde bulunan 8 hedefin odaklandığı ancak, merkezdeki sıfır düzlemindeki hedefin, halka şeklinde odaksız bir etki oluşturduğu gözlemlenmiştir. Benzer sonuçlar Şekil 3. 16(c) ve (d)'de görülürken, alçalış açısının artmasının, odaksız halkaların çaplarının büyümesine neden olduğu gözlemlenmiştir. Şekil 3. 16'daki halkalar incelendiğinde, merkezde bulunan hedefe ait üstte düşüm etkisinin tam bir daire oluşturduğu gözlemlenirken, merkezi olmayan hedeflere ait bozulmaların eliptik bir hal almıştır. Şekil 3. 12'de verilen geometriye göre türetilen formülasyonda,  $R_0 - R_t$  farkı, SM-SAR görüntüsündeki bozulmayı verirken, CSAR uygulamalarında merkezde konuşlandırılmış bir hedef için  $R_0 - R_t$  farkı dairenin yarıçapını vermektedir. Bu benzetimde verilen geometriye göre  $z_1 = 5 m$  durumu için tam merkezdeki hedefe olan  $R_0$  mesafesi 11.18 m hesaplanırken,  $R_t$  mesafesi 10.44 m olarak bulunur. Buna göre Şekil 3. 16(b)'de merkezde görülen dairenin yarıçapı  $R_0 - R_t = 0.74 m$  olarak hesaplanır. Şekil 3. 16(b)'de oluşan dairenin yarıçapı figür üzerinden ölçüldüğünde aynı sonuca ulaşılır. Benzer şekilde  $z_1 = 8 m$  durumu için Şekil 3. 16(d)'de görülen dairenin yarıçapı 1.14 m olarak bulunur.



Şekil 3. 16. 3D YT-CSAR benzetimi için BPA ile odaklanmış noktasal hedefler; (a) Anten 5m yükseklikte iken  $z=0$  düzlemine projeksiyonu, (b) Anten 5 m yükseklikte iken  $z = 2$  düzlemine projeksiyonu, (c) Anten 8 m yükseklikte iken  $z = 0$  düzlemine projeksiyonu, (d) Anten 8 m yükseklikte iken  $z = 2$  düzlemine projeksiyonu

Fakat şekil 3. 16(a) ve (c)'de görülen halkalar merkezde yer almadığı için, dairesel değil eliptik bir bozulma göstermişlerdir. Bunun sebebi, dairesel taramada, merkezde olmayan hedefler için  $R_0 - R_t$  farkının sürekli değişim göstermesidir. Anten, dairesel hat üzerinde ilerlerken, hedefe yaklaşırken alçalış açısı artacak, hedeften uzaklaşırken de alçalış açısı azalacaktır. Böylelikle her bir sentetik açıklık noktasına karşılık gelen üste düşüm etkisi farklı ölçekte olacak ve dairesel olmayan bir yapı gösterecektir. Eşitlik 3. 17, 3. 18, 3. 19 ve 3. 21 kullanılarak antenin her bir  $\varphi$  açısına

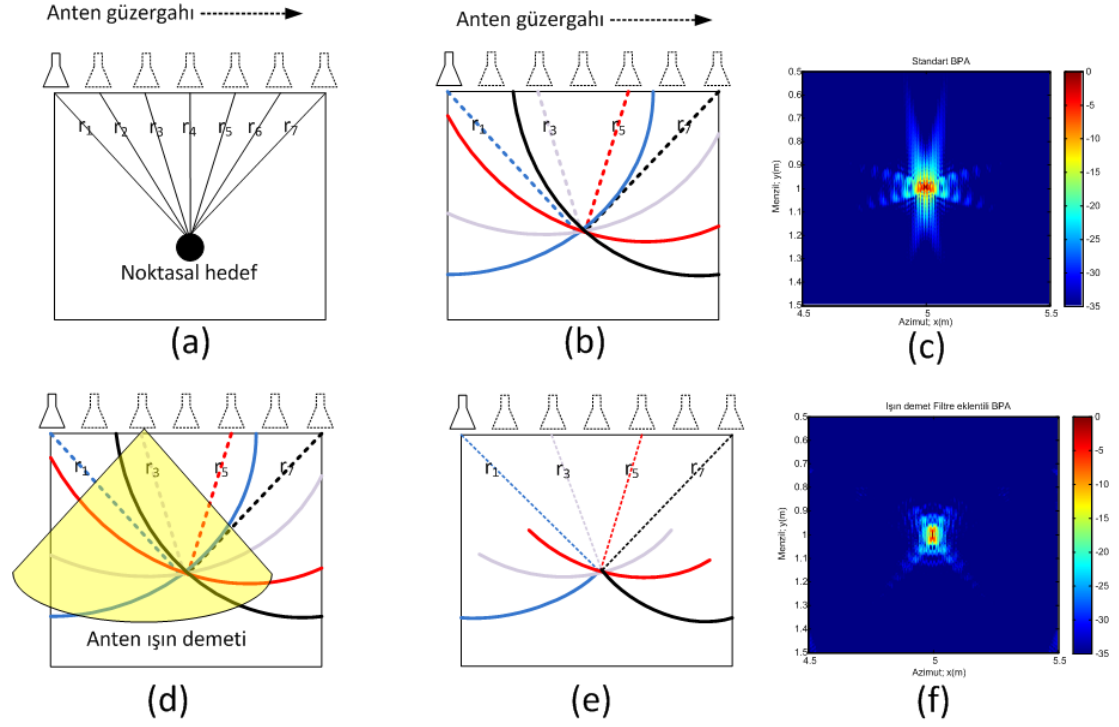
karşılık gelen  $R_0 - R_t$  farkı hesaplanıp  $x, y, z$  koordinatlarına sahip noktasal hedefin üste düşüm bozulma miktarı belirlenebilir.

### 3.2.8 Işın demeti zarf filtresi ile görüntü kalitesini artırma

SAR görüntü odaklama algoritmalarından olan MFA ve BPA, odaklama prosedürünü her bir sentetik açıklık noktasına karşılık gelen menzil profilleri üzerinden yapmaktadır. Her bir menzil profili görüntülenmek istenen bölgenin boyutlarıyla çerçevelenmiş bir matris ızgara üzerine yayılarak uyumlu bir şekilde toplanmaktadır. Şekil 3. 17(a)'da noktasal bir hedef için standart SAR taraması esnasında her bir sentetik açıklığa karşı gelen menzil uzunlukları betimlenmiştir. Şekil 3. 17(b)'de ise MFA ve BPA çıktısının nasıl çalıştığı gösterilmiştir. Şekil 3. 17(b)'den de görüleceği üzere, her bir açıklığa karşılık gelen menzil profili, yeni bir ızgara üzerine interpolate edilerek hiperbolik bir yay oluşmaktadır. Her bir farklı açıklığa karşılık gelen yaylar, üst üste uyumlu bir şekilde toplandığında hedefin bulunduğu noktadaki genlik diğer noktaları bastıracağı için görüntü hedefin bulunduğu noktada odaklanmaktadır. Şekil 3. 17(c)'de standart bir odaklanmış SAR görüntüsü görülmektedir. Ancak 35 dB'lik dinamik aralıkta yan lobların etkisi kendini göstermektedir. Fakat önerilen filtreleme ile anten demet genişliği de algoritmaya dahil edildiğinde, şekil 3. 17(d)'de görüldüğü gibi 50°'lik bir ışın demet genişliği durumunda, bu demetin dışında kalan yayların etkileri sıfırlanmaktadır. Çünkü gerçek bir SAR uygulamasında anten sabit bir güzergahta ilerlerken, demet genişliği boyunca hedef yansımalarını toplamaktadır. Böylelikle filtre uygulandıktan sonra şekil 3. 17(e)'de görüldüğü gibi, yayların boyutları demet alanını içinde kalan miktarı kadar olmaktadır. Bunun sonucu odaklanmış yeni SAR görüntüsü şekil 3. 17(f)'de görüldüğü gibi, daha düşük yan loblara sahip bir görüntü olmaktadır.

Noktasal bir hedef için yapılan benzetim sonuçlarındaki farklılık çok büyük olmasa da YT-SAR uygulamalarında anten ayak izinin süpürdüğü tüm alandan geri saçılım etkileri menzil profilinde toplanmaktadır. Bu nedenle SAR tekniğini kullanan bir çok uygulamada [Demirci vd., 2012] bu filtreleme tekniği görüntü kalitesini artırmada oldukça başarılı bir sonuç vermektedir.





Şekil 3. 17. Işın demeti zarf filtresinin kullanımı; (a) Noktasal hedef için her bir sentetik açıklıktaki menzil mesafesi, (b) Her bir noktadaki menzil profilinin iki boyutlu ızgaraya interpolasyonu, (c) Standart BPA sonrası odaklanmış görüntüsü, (d) Anten ışın demeti filtresinin kullanımı, (e) Filtre sonunda kısaltılmış yeni hiperbolik izler, (f) Filtrelenmiş BPA sonrası odaklanmış görüntü

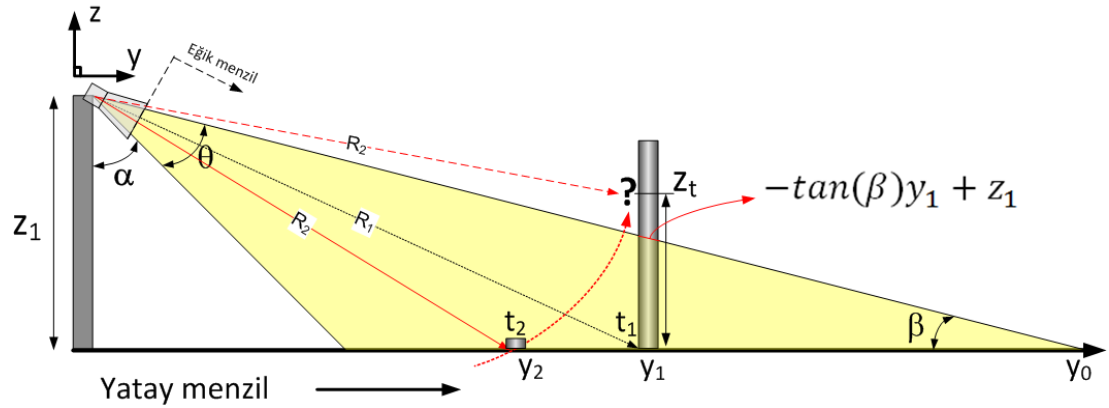
Şekil 3. 9’da verilen akış diyagramındaki 4. basamaktan sonra yer alan filtre şu şekilde çalışmaktadır;  $\theta$  demet genişliğine sahip bir anten için  $X_n$  antenin konumunu,  $x$  ve  $y$  görüntülenmesi istenen bölgenin menzil ve azimut koordinatlarını vermek kaydıyla,  $x$  ve  $y$  noktalarının antenle arasındaki  $\gamma$  açısı şu şekilde hesaplanır.

$$\gamma = \arccos\left(\frac{y}{\sqrt{(X_n - x)^2 + y^2}}\right) \quad (3.28)$$

Şekil 3. 9’da verilen akış diyagramının 4. basamağından sonraki  $B$  matrisinin  $\gamma > \theta$  için, anten ışın demeti dışında kalan elemanları sıfırlanarak filtreleme gerçekleştirilir. Bu filtre kullanılarak elde edilen YT-SAR imajlarının ektisi şekil 4. 14’de ve şekil 4. 29’da gösterilmiştir.

### 3.2.9 Yakın alan YT-SAR görüntülerinde üste düşüm etkisinin tespiti

Bölüm 2.2.5’ de bahsedilen üste düşüm ve önden kısalma etkilerinin tespiti için birden fazla tarama gereksiniminin olduğu bölüm 3.2.6’da deneysel olarak ispatlanmıştır. Ancak EM dalganın küresel yayılım geometrisinden faydalanılarak, tek bir tarama sonrası elde edilen SAR verisinden de bu etkilerin tespit edilebilmesi mümkün olmaktadır. Ancak bu tespit belirli koşullar ve varsayımlar altında geçerlidir. EM dalganın küresel yayılımından yola çıkılarak yapılan bu tespit için, yakın alan SAR uygulamasının gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Zira uzak alan SAR durumunda, EM dalga düzlemsel yakın bir hal aldığı için, bu tezde önerilen teknik çalışmamaktadır. Bir diğer varsayım ise, radar antenin demet genişliği ile bakış açısının toplamının  $90^\circ$ ’den küçük olması şartıdır ( $\alpha + \theta < 90$ ). Bu şartlar altında önerilen teknik şekil 3. 18’e göre türetilir.



Şekil 3. 18. Üste düşüm bozulmasının tespitinin test geometrisi

Şekil 3. 18’de verilen geometriye göre, sıfır düzleminden  $Z_1$  birim yükseğe konuşlandırılan,  $\theta$  demet genişliğine sahip bir anten,  $\alpha$  bakış açısıyla yeryüzünün belirli bir bölgesine bakacak şekilde sabitlenmiştir. Yatay menzilde konuşlandırılmış iki farklı  $t_1$  ve  $t_2$  hedefleri için, antenden hedeflere, doğrudan görüş mesafesi ise sırasıyla  $R_1$  ve  $R_2$  şeklindedir. Anten ışın demetinin yatay düzlemde  $y_0$  noktasını kesme açısı  $\beta$  olarak verilmiştir. Bu geometriye göre  $x$  eksenini boyunca yapılan SAR tarama sonrası elde edilen görüntüde hem  $t_1$  hem de  $t_2$  hedefinden kaynaklı iki yansıma görülecektir. Ancak taranan bölge hakkında görsel bilginin olmadığı bir

koşul için,  $t_2$  hedefinden kaynaklı yansımanın, bölüm 3.2.6’da bahsedilen üste düşüm sonucu oluşan bir bozulma olup olmadığı tespit gerekmektedir. Şekil 3. 18’de görüldüğü gibi, antenden  $t_2$  hedefine olan  $R_2$  uzunluğunun dairesel bir hat üstünde  $t_1$  hedefiyle kesiştiği noktanın konumuna göre,  $y_2$  noktasında tespit edilen yansımanın türü belirlenebilir. Eğer  $R_2$  ’nin izdüşümü, şekil 3. 18’de “?” ile gösterildiği gibi, anten ışın demetinin dışında kalmışsa bu durumda üste düşüm etkisi olmadığı hükmüne varılabilir. Çünkü fiziksel olarak, anten demetinin dışındaki bir noktanın, radar imajında üste düşüm etkisi oluşturması imkânsızdır. Bu problemi matematiksel olarak ifade edebilmek için anten ışın demeti içinde kalan hedeflerin analitik olarak modellenmesi gerekmektedir. Şekil 3. 18’de verilen geometriye göre, anten ışın demetinin  $\beta$  eğimli üst sınır doğrusunun  $Y = 0$  ve  $Z = z_1$  koordinatlarındaki denklemi şu şekilde ifade edilebilir.

$$z - z_1 = -\tan(\beta)y \quad (3.29)$$

Eşitlik 3. 29’daki  $z$  yalnız bırakılırsa, anten ışın demetinin, yatay menzildeki herhangi bir  $y$  noktasına karşılık gelen  $z$  koordinatının fonksiyonu aşağıdaki şekilde elde edilir.

$$z = -\tan(\beta)y + z_1 \quad (3.30)$$

Eşitlik 3. 30’da,  $y$  değişkeni yerine  $y_1$  yazılarak, şekil 3. 18’de verildiği gibi, ışın demetinin  $t_1$  hedefini kestiği en son nokta bulunabilir. Bu durumda,  $t_1$  hedefi üzerinde, antenden  $R_2$  uzunluğun karşılık gelen  $z_t$  ifadesi elde edilerek, eşitlik 3. 30’la kıyaslanabilir. Şekil 3. 18’e göre,  $R_2$  ’nin,  $t_1$  üzerindeki izdüşüm noktasının  $z_t$  uzunluğu;  $y_1$  ve  $R_2$  cinsinden,

$$z_t = -\sqrt{R_2^2 - y_1^2} + z_1 \quad (3.31)$$

şekliyle ifade edilir. Eşitlik 3. 31’de bulunan  $z_t$  değerinin, eşitlik 3. 30’da ki değerden büyük çıkması durumunda radar imajında  $y_2$  noktasında görülen

yansımanın üste düşüm etkisi olmadığı sonucuna varılabilir. Bu şartın sağlanması için aşağıdaki eşitsizliğe bakılmalıdır.

$$-\sqrt{R_2^2 - y_1^2} + z_1 > -\tan(\beta)y_1 + z_1 \quad (3.32)$$

Eşitsizlik 3. 32'nin her iki tarafındaki  $z_1$ 'ler sadeleştirilip, eşitsizlik "-" ile çarpılırsa ve her iki tarafın kareleri alınır aşağıdaki eşitsizliğe ulaşılır.

$$R_2^2 - y_1^2 < \tan(\beta)^2 y_1^2 \quad (3.33)$$

Eşitsizlik 3. 33'de  $R_2$  yalnız bırakılır ve eşitsizliğin sağ tarafı  $y_1$  parantezine alınır,

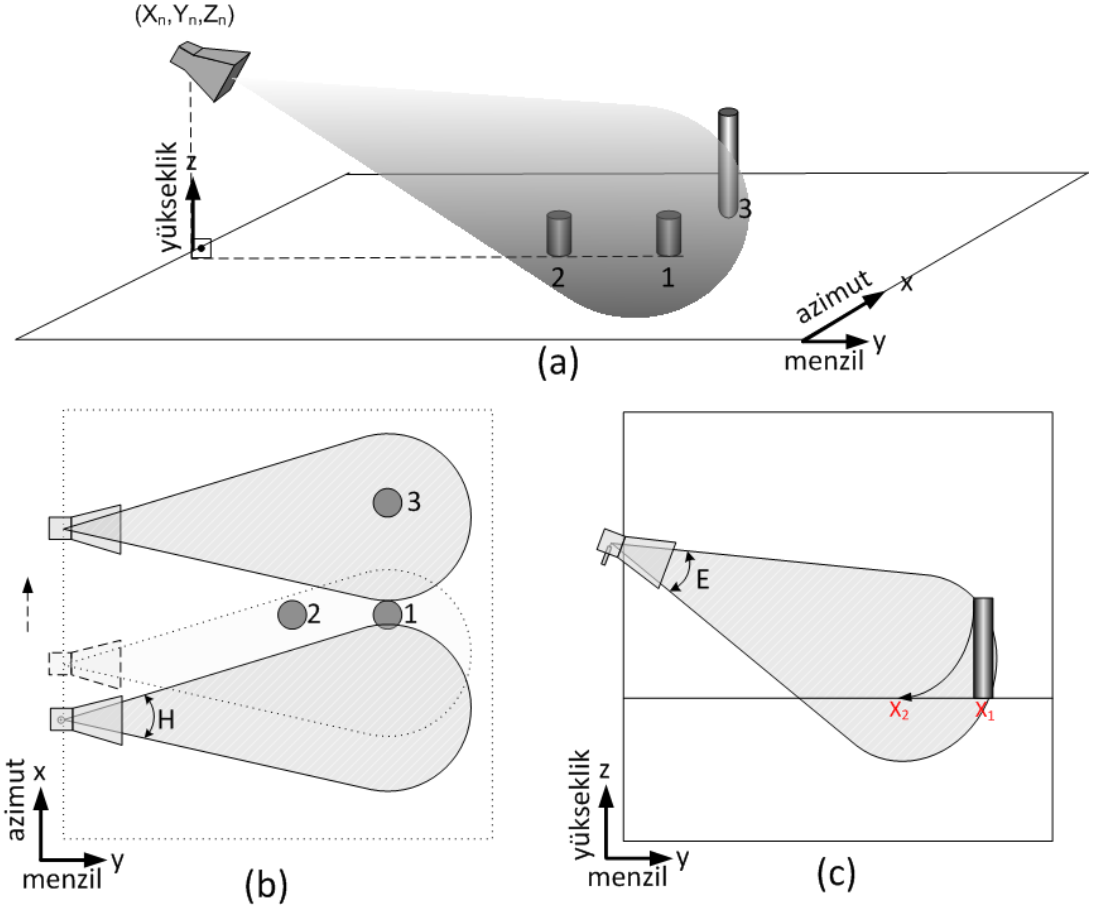
$$R_2 < y_1(\sqrt{\tan(\beta)^2 + 1}) \quad (3.34)$$

elde edilir. Bu sonuca göre, radar görüntüsünde ölçülen  $R_2$  değeri, eğer denklem 3. 34'ü sağlıyorsa kesinlikle üste düşüm etkisi değildir. Ancak  $R_2$  değeri,  $y_1(\sqrt{\tan(\beta)^2 + 1})$  değerine eşit veya büyük ise, bu durumda üste düşüm etkisi olma ihtimali vardır.

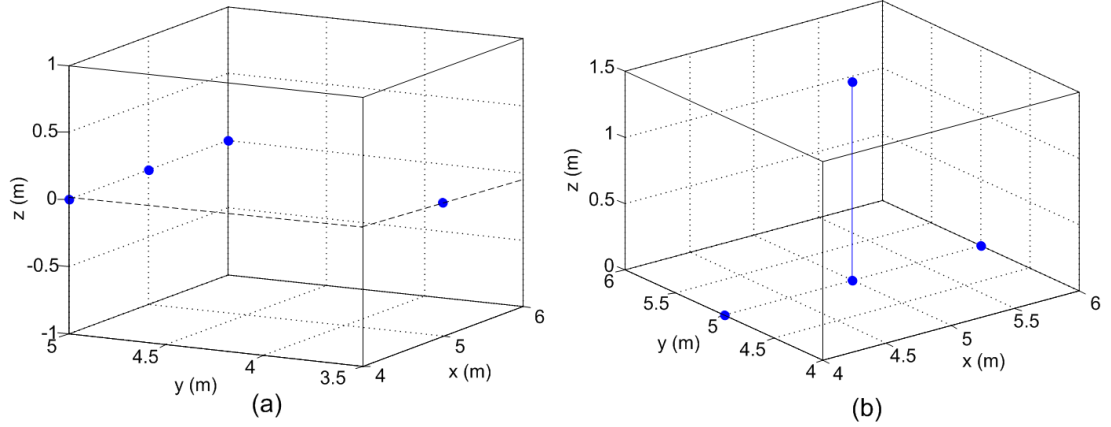
$$R_2 \geq y_1(\sqrt{\tan(\beta)^2 + 1}) \quad (3.35)$$

Denklem 3. 35'in geçerli olduğu durumlar da anten ışın demetinin yakın alandaki küresel yayılım özelliğinden yararlanılarak, şüpheli yansımanın kesin hükmüne varılabilir. Şekil 3. 19'da görüldüğü gibi, SAR anteni azimut yönünde ilerlerken, hem  $x - y$  hem de  $x - z$  düzleminde küresel bir yayılım yapmaktadır. EM dalganın  $H$  manyetik alan paterni,  $E$  elektrik alan paternine dik bir şekilde yayıldığından, dikey polarizasyonlu bir tarama için şekil 3. 19(b)'de görülen durum oluşmaktadır. Bu duruma göre, SAR anteni  $x$  yönünde ilerlerken, ilk olarak 1 numaralı hedefi algılayacak ve sonra 2 numaralı hedefi tespit edecektir. Her ikisi aynı azimut koordinatı üstünde olmasına rağmen, anten ışın demeti tarafından algılanma zamanları farklı olacaktır. Ancak 3 numaralı hedefin sahip olduğu yükseltisinden

ötürü, şekil 3. 19(c)'de görülen hedefin taban ve tepe noktaları, SAR imajında  $x_1$  ve  $x_2$  şeklinde ve aynı anda oluşacaktır. Böylelikle BPA'nın odaklama basamakları gerçek zamanlı takip edilerek, SAR görüntüsündeki şüpheli etkiler belirlenebilir. Bu tezi doğrulamak için, şekil 3. 20'de verilen iki hedef konfigürasyonu için SAR benzetimi yapıldı.



Şekil 3. 19. Radar antenin küresel dalga yayılım grafiği; (a) 3D küresel dalga yayılım modellenmesi, (b) EM dalga yayılımının manyetik alan düzeliindeki benzetimi, (c) EM dalga yayılımının elektrik alan düzeliindeki benzetimi

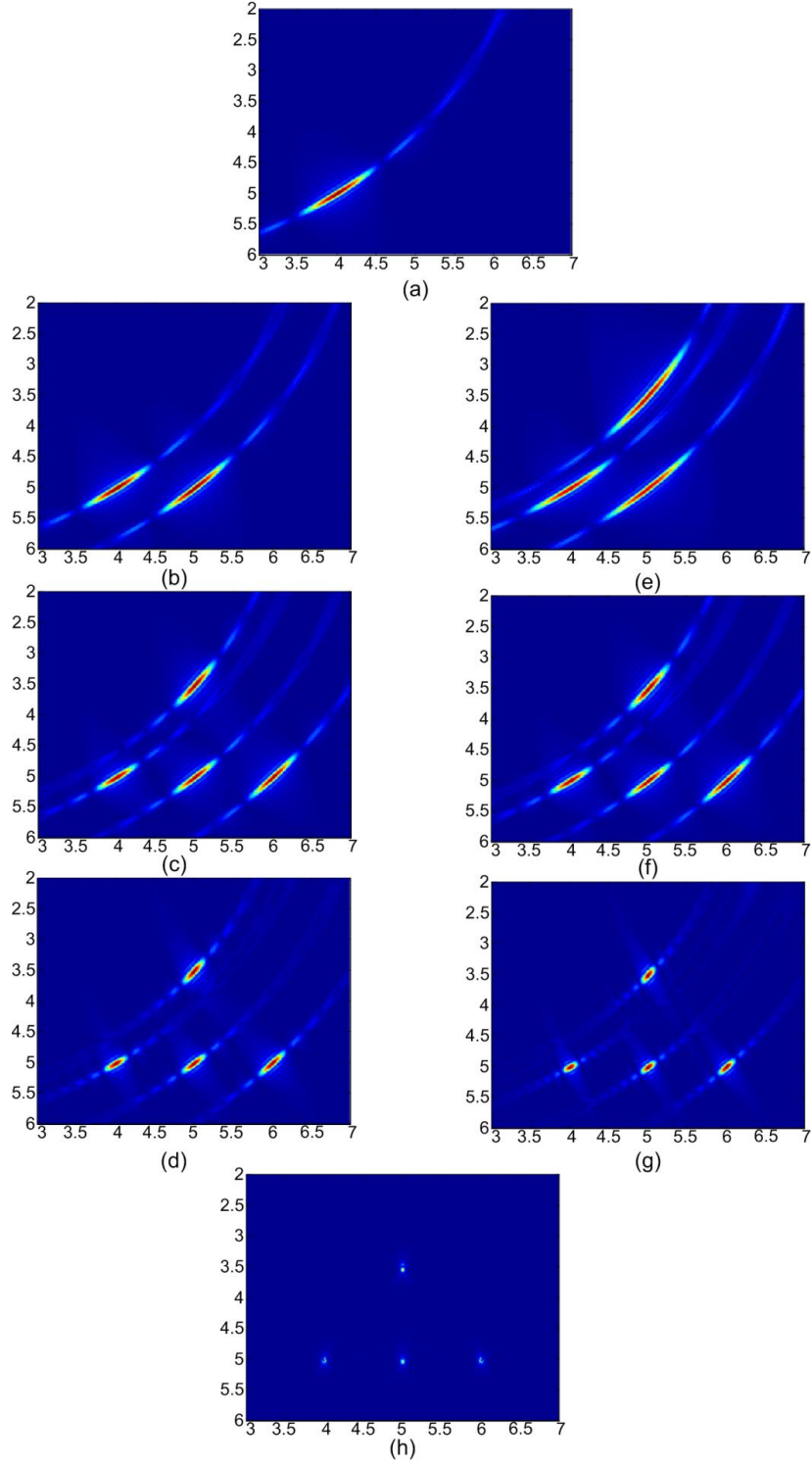


Şekil 3. 20. Üste düşüm etkisinin tespiti için yapılan benzetimde sonuçları; (a)  $x$ ,  $y$  ve  $z$  koordinatlarında yayılmış dört adet noktasal saçıcı, (b)  $x$  ve  $y$  düzleminde konuşlandırılmış dört adet noktasal saçıcı

Şekil 3. 20(a)'da üç hedef  $x - y$  düzleminde konuşlandırılırken bir tanesi  $z$  ekseninde yükseltilmiştir. Böylelikle  $45^\circ$ 'lik bir bakış açısıyla taranan bu hedefin üste düşüm etkisi incelenmiştir. Şekil 3. 20(b)'de verilen hedeflerin tümü  $x - y$  düzleminde konuşlandırılarak  $y = 3.5 m$ 'deki hedefin tepkisinin, üste düşüm etkisinden ayırt edilmesi hedeflenmiştir. Bahsi geçen konfigürasyonlar için SAR antenin konumu  $z = 0$  düzleminde  $5 m$  yukarıda olacak şekilde belirlendi. Anten demet genişliği  $E$  ve  $H$  düzleminde  $50^\circ$  olacak şekilde ayarlandı. Antenin yere bakış açısı  $\alpha = 20^\circ$  olacak şekilde  $x = 0 m$ 'den başlayarak  $10 m$  boyunca her  $2 cm$ 'de bir geri saçılım verisi toplandı. Benzetim sonucunda elde edilen odaklanmış SAR görüntüsü Şekil 3. 21(h)'de görülmektedir. Bu şekle göre  $x = 5 m, y = 3.5 m$ 'de görülen yansımanın herhangi bir üste düşüm etkisi sonucu olup oluşmadığının tespiti için öncelikle denklem 3. 34'de verilen eşitsizliğe bakılır. Verilen parametrelere göre  $R_2 = \sqrt{5^2 + 3.5^2} \cong 6.1$  olarak bulunur. Şekil 3. 21(h)'den  $y_1 = 5 m$  olarak ölçülür. Şekil 3. 18'den  $\beta = 90 - \alpha - \theta = 20^\circ$  olarak bulunur. Bu parametreler  $y_1(\sqrt{\tan(\beta)^2 + 1})$  denkleminde yerine yazılırsa yaklaşık sonuç  $3.72$  bulunur. Bu değer  $R_2$  den küçük olduğu için, denklem 3. 34'ün değil, denklem 3. 35.'in sağlandığı ve  $y = 3.5 m$ 'deki yansımanın herhangi başka bir hedeften kaynaklanmış olabileceği sonucuna ulaşılır. Çözümüne şekil 3. 19'da bahsedilen yöntemle ulaşılabilir. Şekil 3. 20(a)'da ki hedefler aynı düzlem üzerine konuşlandırıldığı için, SAR anteni ilerlerken sırayla hedefleri algılayacak ve imaj

penceresi üzerine yayacaktır. Bu olgu şekil 3. 21(b)'de görülmektedir. Radar anteni sentetik açıklıkta 3 m'de iken, sadece iki hedefi algılamakta ancak  $y = 3.5$  m'de ki hedefi görmemektedir. Şekil 3. 21(c)'de ise üçüncü ve dördüncü hedef görülmektedir. Bu sonuç şekil 3. 20(b)'de gösterilen olgu ile tamamen uyuşmakta olduğundan, şekil 3. 21(c) ve (d)'de elde edilen sonuçların herhangi bir üste düşüm etkisi içermediği kesin bir şekilde ifade edilebilir. Diğer yandan, şekil 3. 20(b)'de ki hedef konumlarına göre elde edilen odaklama sonuçları incelendiğinde, şekil 3. 21(e)'de,  $y = 3.5$  m'de ki ve  $y = 5$  m'de ki iki hedefin de aynı sentetik açıklık noktasında belirlediği görülmektedir. Bu netice, şekil 3. 19(c)'de gösterilen mekanizmayla tutarlı olup,  $y = 3.5$  m'de görülen yansımanın tamamen üste düşüm etkisiyle oluştuğu kesin olarak ifade edilebilir.

Önerilen bu yöntem sayesinde, görsel fotoğraf bilgisine sahip olunmayan sadece EM saçılım bilgisi sonucu odaklanmış SAR görüntülerindeki şüpheli ve yorumlanamayan yansımalar tespit edilebilir. YT-SAR tekniğinin yakın alan düşük açılı taramasının doğasından yararlanılarak bulunan bu teknik sayesinde, ikinci bir taramaya ihtiyaç kalmadan, odaklanmış SAR görüntüleri yorumlanarak üste düşüm ve önden kısıltı etkileri tespit edilebilir. Bölüm 4.3.1.4'te verilen gerçek YT-SAR imajındaki üste düşüm etkisi sonucu oluşan yansımalar, önerilen bu teknik sayesinde bulunarak bu tekniğin sonuçları değerlendirilmiştir. Diğer yandan CSAR verilerinde üste düşüm etkisi, odaklanmış imajda halkasal bir şekilde görüntülendiğinden, tespitine yönelik ek bir işleme gerek kalmamaktadır. Bölüm 3. 2. 7'de CSAR verilerinde oluşan üste düşüm etkisi ve oluşan halkaların geometrik bozulmaları ayrıntılarıyla incelenmiştir.



Şekil 3. 21. Farklı sentetik açıklık noktalarına karşılık gelen sonuçlar; (a) Anten 2 m'de, (b) Anten 3 m'de, (c) Anten 3.7 m'de, (d) Anten 4.5 m'de, (e) anten 3 m'de, (f) Anten 3.7 m'de, (g) Anten 4.5 m'de, (h) Anten 10 m'de. **NOT:** Bu şekildeki a ve h sonuçları şekil 3.20'de verilen her iki durumun ortak sonucu iken, b,c ve d sonuçları şekil 3.20(a)'da ki konfigürasyona göre e,f ve g sonuçları da şekil 3.20(b)'de ki konfigürasyona göre elde edilmiştir.



## 4. BULGULAR VE TARTIŞMA

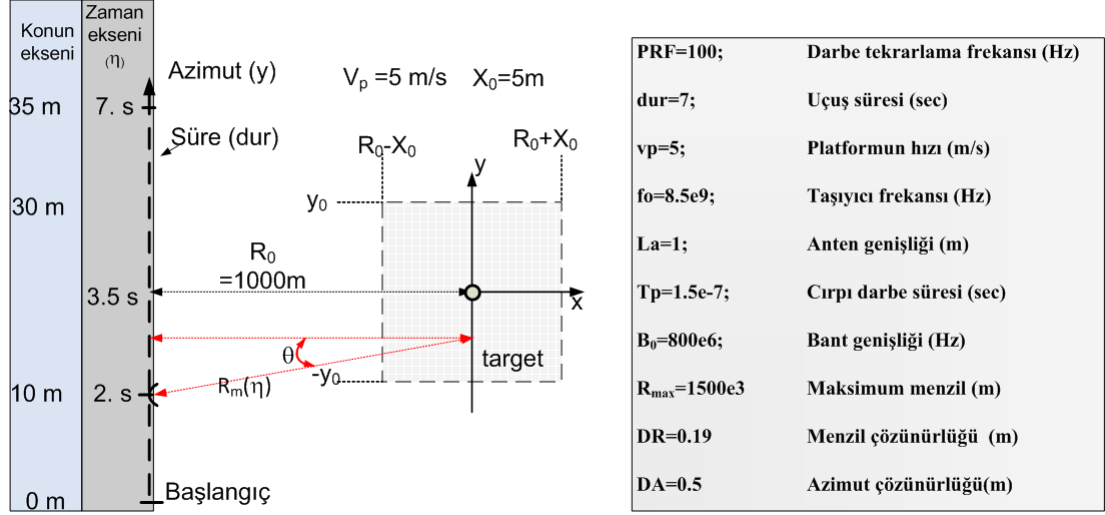
Bu bölümde materyal ve metot kısmında anlatılan teknikler için hem benzetim hem de ölçüm sonuçları farklı uygulamalara yönelik olarak doğrulanmıştır. Bölüm 3'te bahsedilen RDA ve CSA uzak alan düzlemsel dalga yaklaşımı kullanan ve LFM dalga formuna göre implementasyonu yapılan algoritmalar olduğu için bu iki teknik kendi aralarında kıyaslanmıştır. Bu tez çalışması sonucunda uygulanan RDA ve CSA sonraki çalışmalarda uzak alan SAR uygulamalarında kullanıma hazır hale getirilmiştir. MFA,  $\omega$ -KA ve BPA teknikleri ise yakın alan geniş açılı tarama geometrisine göre geliştirilmiş ve SFCW radar uygulamalarına göre uyarlanmıştır. Bu nedenle bahsi geçen bu 3 teknik özellikle YT-SAR amacına yönelik olarak, işlem hızı, çözünürlük kalitesi, noktadan noktaya görüntü oluşturma (point to point reconstruction), ISLR ve SCR gibi performans kriterleri açısından değerlendirilerek YT-SAR uygulamaları için en uygun görüntüleme algoritması önerilmiştir. Tüm SAR modları için modifiye edilen BPA'na dâhil edilen anten ışın demet filtresiyle görüntüleme kalitesi artırılmıştır. Ayrıca bölüm 3.2.9'da önerilen teknik sayesinde, YT-SAR görüntülerinde oluşan üste düşüm etkisi tespiti gerçek SAR verileri üzerinde gösterilmiştir.

### 4.1 RDA VE CSA BENZETİM VE ÖLÇÜM SONUÇLARI

#### 4.1.1 Benzetim Sonuçları

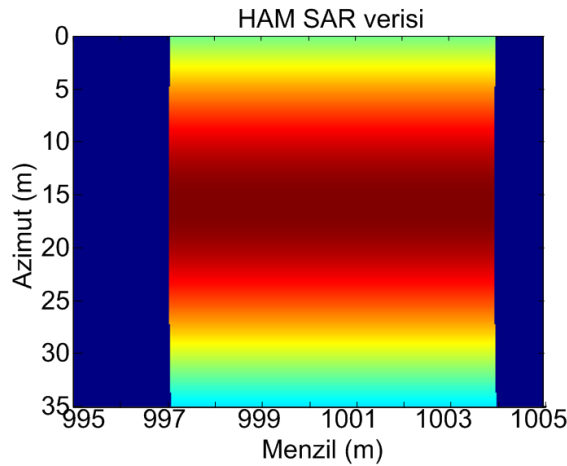
RDA ve CSA algoritmalarının benzetimi için Şekil 4. 1'de geometrisi ve parametreleri verilen sistem tasarlandı. Buna göre radar platformundan 1000 m uzaklıktaki noktasal bir hedefin SAR uygulaması için benzetim yapıldı. Benzetimde dur-git yaklaşımı yerine sürekli veri alımı gerçekleştirilerek 5 m/s hızla giden bir platform için 7 s'lik radar verisi toplandı. Darbe tekrarlama frekansı PRF 100 Hz olarak ayarlandığı için, 7 s'lik uçuş benzetiminde 700 kesikli nokta için radar geri saçılım verisi elde edildi. Çırpı sinyalinin merkez frekansı 8.5 GHz olmak üzere anten genişliği 1m olarak belirlendi. Böylelikle, anten ışın demet genişliği denklem

2. 25 yoluyla yaklaşık olarak  $5.46^\circ$  olarak elde edildi. Buna göre anten ayak izinin hedeflenen bölgedeki genişliği yaklaşık olarak 95.3 m olarak hesaplandı.



Şekil 4. 1. LFMW SAR için benzetim geometrisi ve parametreleri

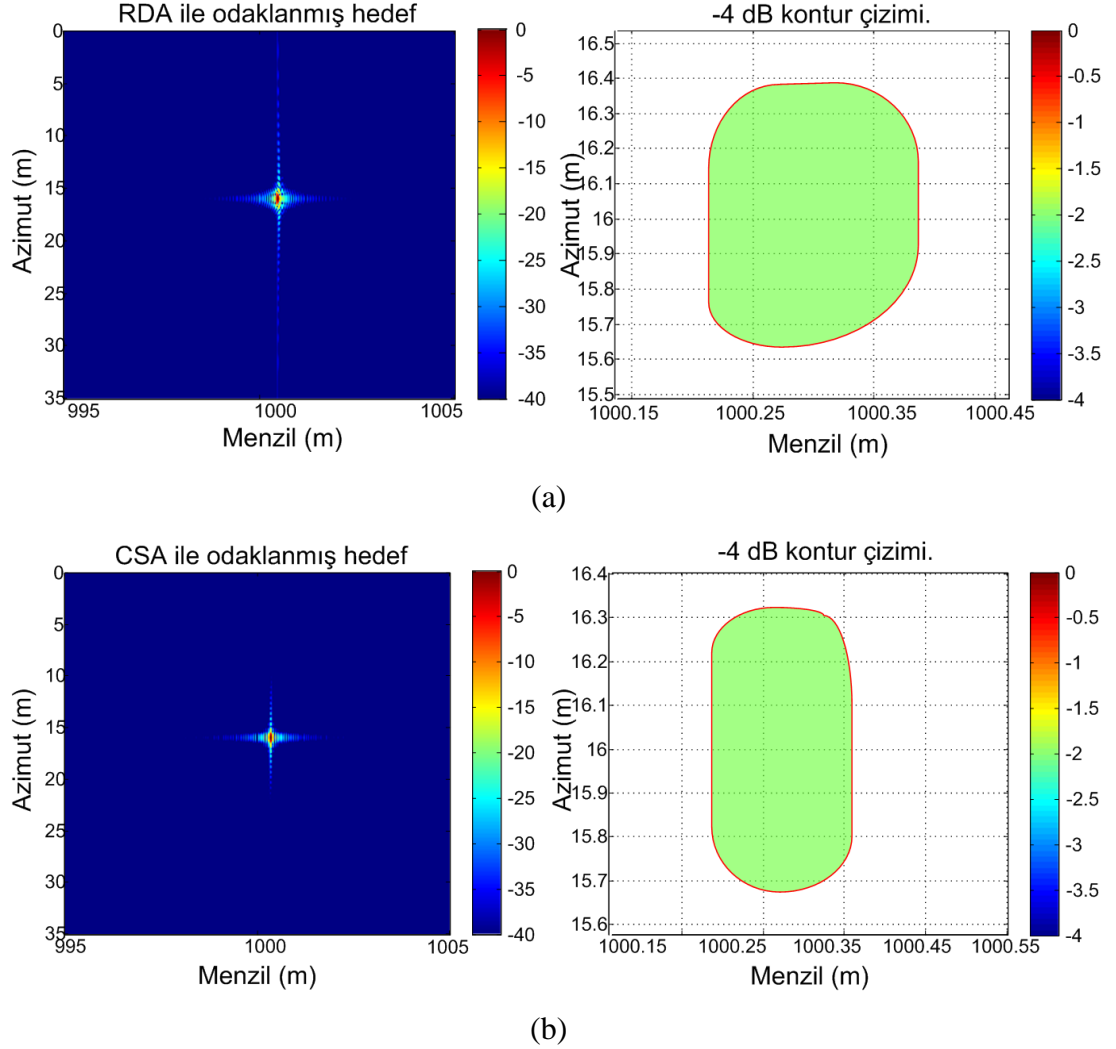
LFM dalga formulu SAR taramasının benzetiminin sonunda elde edilen ham SAR görüntüsü şekil 4. 2'de görülmektedir. Şekildeki renkli bölge benzetim esnasında hedeflerin bulunması muhtemel menzil aralığını göstermektedir. Bu nedenle sadece o menzil aralığından gelmesi muhtemel sinyaller örneklenmiş, diğer kısımlar ihmal edilmiştir.



Şekil 4. 2. LFM dalga formulu SAR benzetimi sonucu elde edilen ham SAR verisi

Benzetim sonunda elde edilen ham SAR verisi hem RDA hem de CSA ile odaklanmıştır. Şekil 4. 3(a)'da RDA sonucu odaklanmış görüntü ve çözünürlük

ölçümü için -4 dB konturu görülmektedir. Şekil 4. 3(b)'de ise CSA sonucu odaklanmış görüntü verilmiştir.



Şekil 4. 3. SAR benzetimi sonucu odaklanmış görüntüler; (a) RDA ile odaklanmış SAR görüntüsü ve noktasal hedefin -4 dB'lik kontur çizim, (b) CSA ile odaklanmış SAR görüntüsü ve noktasal hedefin -4 dB'lik kontur çizimi.

Şekil 4. 3'den anlaşılacağı üzere standart bir SAR taraması için RDA ve CSA neredeyse aynı sonuçları üretmektedir. Odaklama sonucu elde edilen görüntülerin işlem süresi, menzil ve azimut çözünürlükleri ve ISLR değerleri ölçülerek Tablo 4. 1'de verilmiştir. Tablo 4. 1'de görüldüğü üzere iki algoritma arasındaki en büyük farklılık işlem süresi olmaktadır. Bunun nedeni, CSA'nın RCMC işlemini interpolasyon kullanmadan, sadece ölçeklendirme fonksiyonları çarpımı ile

yapmasıdır. Ayrıca azimut çözünürlüğü ve ISLR değeri bakımından da CSA'nın RDA algoritmasına nazaran daha iyi bir sonuç sunduğu görülmektedir. Tablo 4. 1'deki sonuçlar şekil 4. 3(a) ve (b) arasındaki görsel farktan da anlaşılabilir.

Tablo 4. 1. RDA ve CSA benzetiminin radar parametreleri; Teorik ve ölçüm sonuçları.

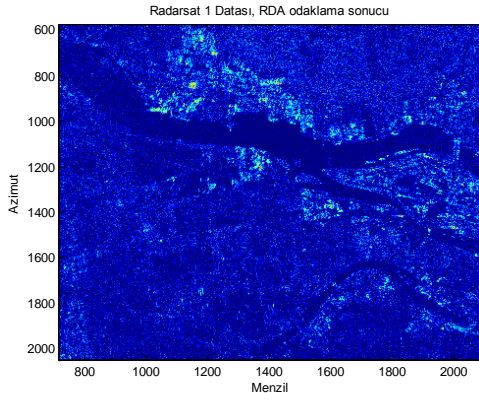
RADARSAT-1 Datası	Teorik	Ölçüm Sonuçları	
		RDA	CSA
Menzil çözünürlüğü	18.75 cm	19 cm	19 cm
Azimut çözünürlüğü	50 cm	76 cm	64 cm
ISLR		-47.82 dB	-47.57 dB
İşlem süresi		0.3986 saniye	0.1997 saniye

#### 4.1.2 RDA ve CSA için RADARSAT-1 Verisi Ölçüm Sonuçları

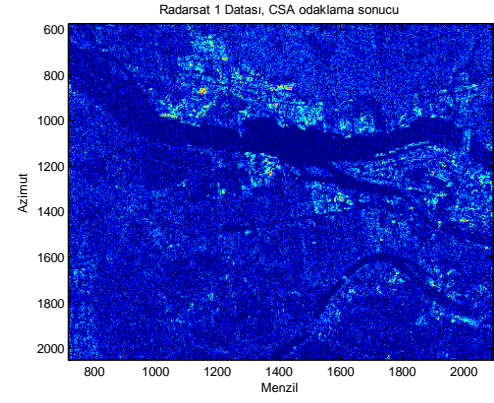
RDA ve CSA'nın çalışma performanslarının gerçek SAR verisinde kıyaslanabilmesi için ücretsiz sunulan RADARSAT-1 uydu datası kullanıldı. 400 MB büyüklüğündeki data 360 milyon reel ve kompleks veri içerdiğinden ve kişisel bilgisayarlarda işlenemeyecek kadar büyük olduğundan bu verinin ancak bir kısmı işleme tabi tutuldu. RADARSAT-1 uydu verisinin tüm parametreleri 2004'de yayınlan RADARSAT-1 teknik rapordan temin edildi [Radarsat, 2004]. Verinin 3000 x 3000'lik bir kısmı hem RDA hem de CSA ile odaklandı. Radar parametreleri tablo 4. 2'de verilen datanın, RDA ve CSA ile işlenmesi için geçen süre sırasıyla 3.99 s ve 2.75 s olarak ölçüldü. Benzetim sonuçlarıyla da tutarlı olan işlem süresindeki bu farklılık, işlenecek veri miktarı fazlaştıkça artmaktadır. Şekil 4. 4'de 40 dB dinamik aralıkta görüntülenen RADARSAT-1 verisinin hem RDA hem de CSA sonrası odaklanmış sonuçları görülmektedir. İki görüntü birbiriyle kıyaslandığında, tablo 4.1'in sonuçlarıyla tutarlı olarak CSA sonrası oluşan imajın kontrastının RDA sonucunda oluşan imajdan daha fazla olduğu görülmektedir.



(a)



(b)



(c)

Şekil 4. 4. Delta Britanya kolumbiyası; (a) Uydu fotoğrafı (Kırmızı dörtgen içindeki bölgenin SAR verisi işlenmiştir), (b) RDA, (c) CSA ile odaklanmış SAR görüntüsü

Tablo 4. 2. RADARSAT-1 uydusu temel özellikleri

<b>RADARSAT 1 ÖZELLİKLERİ</b>	
Uydu Adı	RADARSAT 1
İşletmeci	Radarsat International
Fırlatılma Tarihi	4 Kasım 1995
Tasarım Ömrü	5 yıl
Toplam Kütle	3100 kg.
Ana Yapının Boyutları	1.34 m. x 1.34 m. x 3.2 m.
Güneş Panelleri	2.5 kW.
Yörünge Özellikleri	Dairesel Kutupsal Güneş Eş-Zamanlı
Yörünge Yüksekliği	798 km.
Yörünge Eğimi	98.6 Derece
Yörünge Periyodu	100.7 dakika (14 yörünge/gün)
Tekrarlama Periyodu	24 Gün
Görüntü İletimi Taşıyıcı Frekansı	8105 MHz. gerçek-zamanlı veri 8230 MHz. kaydedilmiş veri
Veri İletim Hızı	85 Mbit/saniye kaydetme hızı 105 Mbit/saniye gerçek zamanlı iletim
Algılayıcıları	Sentetik Açıklıklı Radar (SAR)
<b>RADARSAT 1 SAR VERİSİNİN PARAMETRELERİ</b>	
F0 Merkez frekansı	5.3 GHz
B Bant genişliği	30.111 MHz
Tp Cırpı darbe süresi	4.1750 e-5 s
R0 hedef merkezine olan mesafe	9886.46 km
Vs platform hızı	7062 m/s
PRF Darbe tekrarlama frekansı	1.2570 KHz

## 4.2 İÇ ORTAM LABORATUVAR ÖLÇÜMLERİ

YT-SAR uygulamalarına yönelik olarak teorileri üçüncü bölümde verilen algoritmalar, gerçek saha uygulamalarından öncelikle ideal ortamlarda test edilmiştir. Bu amca yönelik olarak TUBITAK MAM ME ileri teknoloji laboratuvarının imkânlarından faydalanılmıştır. Laboratuvar testlerinde C-bant ile W-bant arasındaki birçok farklı frekans bandında testler yapılmış ve YT-SAR kavramı incelenmiştir. Yapılan çalışmalar arasında ilk kez bu tez sürecinde önerilen YT-SAR tekniği ile FOD tespiti yer almaktadır. Bu amca yönelik olarak milimetre dalga bandında farklı uygulamalar yapılmış ve odaklama algoritmaları birbirleriyle kıyaslanmıştır. Daha sonra X-bant deneylerine geçilerek, sentetik açıklık mesafesine oranla daha uzak mesafelerdeki hedeflerin görüntülenmesi amaçlanmış ve yine uygun algoritma tespiti devam etmiştir. İç ortam laboratuvar ölçümleri sonrası, YT-SAR için belirlenen en uygun teknik dış ortam deneylerinde kullanılmıştır.

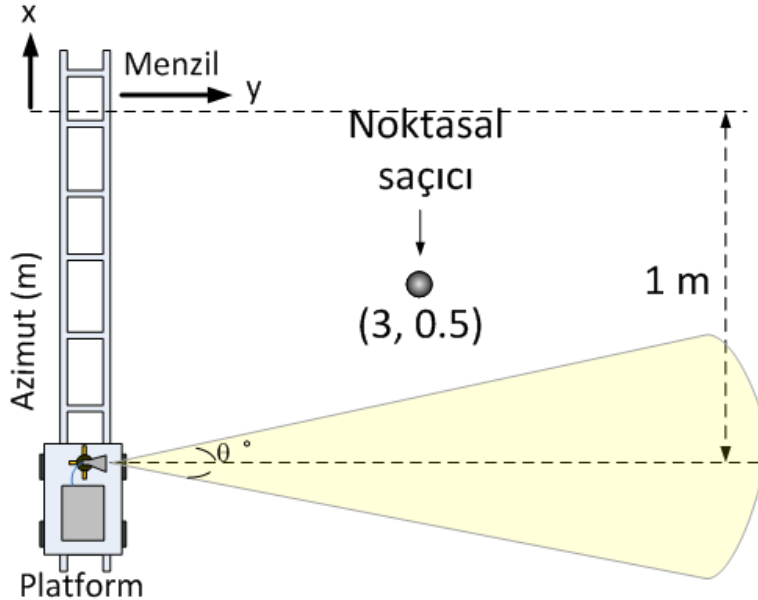
### 4.2.1 Milimetre dalga deneyleri ve algoritmaların kıyaslanması

YT-SAR tekniği yeryüzü şekillerinin tespitinden, değişim algılama ve takip uygulamalarına kadar pek çok farklı amaca yönelik olarak kullanılmaktadır. Çoğunlukla X-bant ve Ku-bantta yapılan YT-SAR çalışmalarında, son zamanlarda milimetre bandı kullanımı artmaya başlamıştır. Son yıllarda hız kazanan ve özellikle hava alanı pistlerindeki FOD'ye yönelik olarak yapılan birçok çalışmada milimetre bandında çalışan radarlar en temel araç olmaya başlamıştır. Mevcut sistemler hâlihazırda, milimetre-dalga radar ve dar-ışın demetli antenler kullanarak ve pist sektörlerinin PPI (plan position indicator) radar tekniği ile taramasını yaparak, çok düşük RCS değerlerine sahip FOD nesnelere tespit edebilmektedir [Tarsier–QinetiQ, 2009; Xsight, 2009]. Radar, pist üzerindeki farklılığı tespit edince, motor kontrollü bir kamera o bölgeye odaklanarak, yabancı enkazı görsel olarak tespit etmektedir. Ancak bu sistem sis ve duman gibi hava muhalefeti nedeniyle görsel temasın olmadığı durumlarda kullanışsız olmaktadır. Bu tez kapsamında yapılan çalışmalar sonucunda, havalimanlarındaki yabancı enkaz döküntülerinin YT-SAR ile

tespit edilebileceği önerilmiş[Yiğit vd., 2012] ve milimetre dalga bandında YT-SAR uygulamaları gerçekleştirilmiştir.

#### 4.2.1.1 W-Bant benzetim sonuçları

Milimetre dalga YT-SAR uygulamalarında kullanılacak en uygun teknik için öncelikle benzetim sonuçları incelenmiştir. Benzetim için şekil 4. 5’de verilen tarama geometrisine göre noktasal izotropik bir saçıcı için milimetre dalga bandına göre veri toplama parametreleri belirlendi. Geri saçılım elektrik alanı doğrusal bir hat boyunca  $x = 0 m$  den  $x = 1 m$  ye kadar toplam 501 kesikli noktada toplandı. Adım frekansı  $90 GHz$  ile  $95 GHz$  arasında toplam 251 noktada değiştirildi. Böylelikle, konumu şekil 4. 5’de verilen izotropik noktasal hedef için gerçekleştirilen benzetim sonunda  $501 \times 251$ ’lik 2D SAR verisi elde edildi. Elde edilen bu veri MFA, BPA ve  $\omega$ -KA ile odaklandı. Odaklanmış SAR görüntüleri şekil 4. 6’da verilmiştir. Buna göre benzetim sonuçlarından yararlanılarak ölçülen menzil ve azimut çözünürlükleriyle, ISLR değerleri tablo 4. 3’de verilmiştir. Tabloda verilen teorik sonuçlar denklem 2.26, 2.27 ve 2.33 kullanılarak hesaplanmıştır

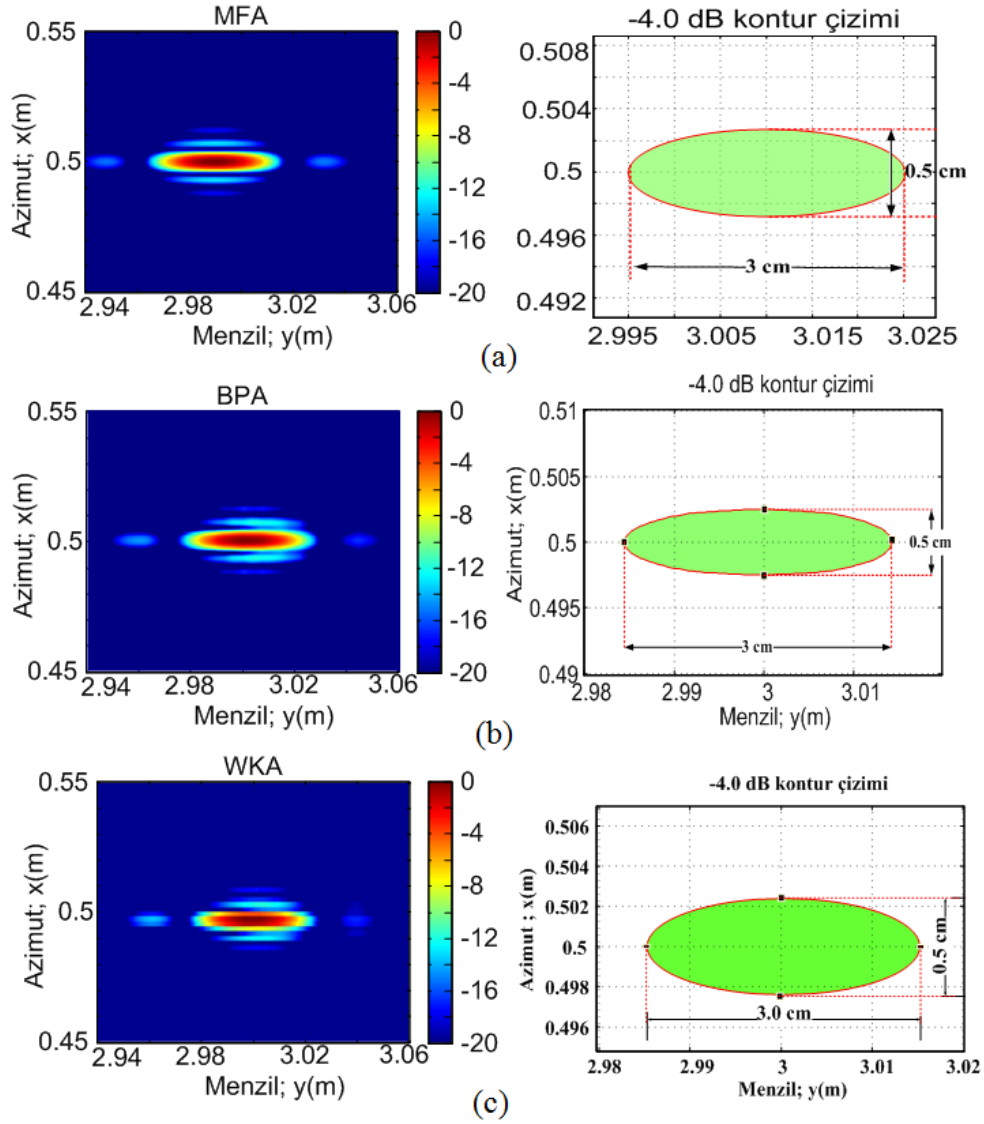


Şekil 4. 5. W bant 2D YT-SAR benzetimi için sistem geometrisi



Tablo 4. 3. MFA, BPA ve  $\omega$ -KA sonucu oluşan W bant YT-SAR benzetimi; Radar parametrelerinin teorik ve ölçüm sonuçları.

W-bant benzetim sonuçları	Teorik	Ölçüm Sonuçları		
		MFA	BPA	$\omega$ -KA
Menzil çözünürlüğü	3 cm	3 cm	3 cm	3 cm
Azimut çözünürlüğü	0.49 cm	0.5 cm	0.5 cm	0.5 cm
ISLR	-----	-8.37 dB	-8.53 dB	-13.93 dB
İşlem süresi	-----	176.63 saniye	5.24 saniye	1.93 saniye

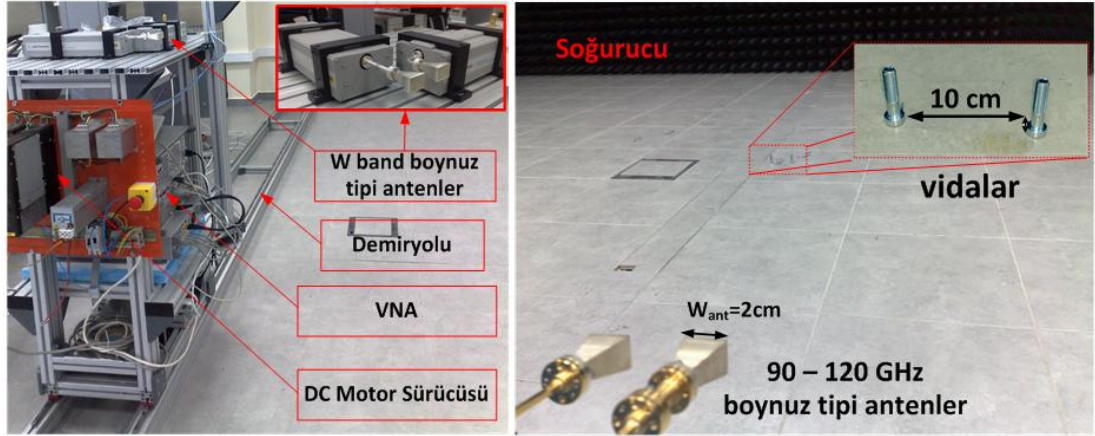


Şekil 4. 6. İzotropik noktasal hedef benzetim sonuçları; (a) MFA, (b) BPA, (c)  $\omega$ -KA ile odaklanmış sonuçlar ve -4 dB azimut ve menzil çözünürlük ölçümleri

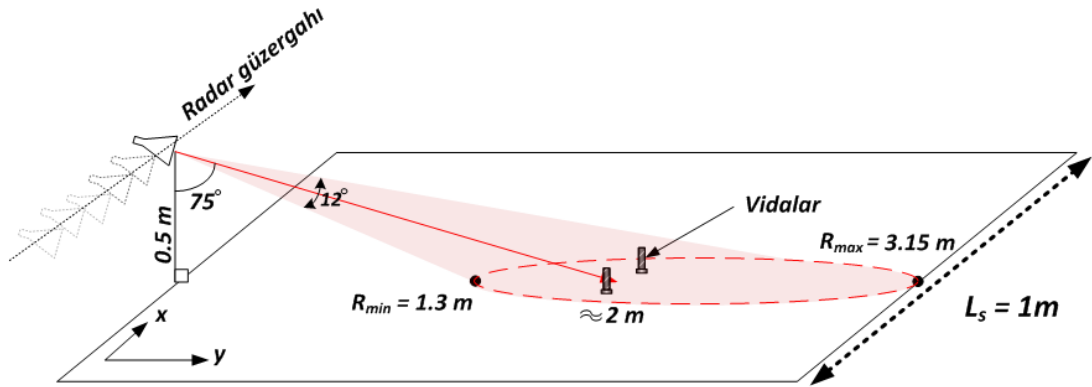
Şekil 4.6(a) ve (b)'ye dikkat edilerek tablo 4.3'deki sonuçlar incelendiği takdirde BPA ve MFA'nın neredeyse aynı sonuçları verdiği görülmektedir. İki algoritma arasındaki ISLR değerindeki ihmal edilebilen küçük bir farklılık Şekil 4. 6(b)'de, görülmektedir. Bu farklılık BPA'nın kullanmış olduğu interpolasyon işleminden kaynaklanmaktadır. MFA ise her bir pikseli tek tek uyumlanmış filtre fonksiyonuyla çarptığından, interpolasyon bağımsız bir odaklama gerçekleştirmektedir. Böylelikle BPA'da ortaya çıkan yan loblardaki küçük bozulma etkisi MFA'da görülmemektedir. Ancak bu farklılık ihmal edilebilir düzeydedir. MFA ile BPA arasındaki en büyük ve ihmal edilemeyecek fark ise, işlem süresidir. Yapılan benzetim için aynı veriyi BPA, MFA'dan yaklaşık 30 kat daha hızlı işlemiştir.  $501 \times 251$  lik bir matris için oluşan bu farklılık, daha büyük data setlerinde daha da artacak olduğundan MFA pratikte kullanıma uygun bir algoritma olmamaktadır. Ancak bölüm 2.2.3.8'de ifade edildiği gibi, MFA bir referans odaklama algoritması olarak, geliştirilen algoritmaların performanslarının kıyaslanmasına yönelik olarak kullanılabilen en temel ve doğru sonucu veren algoritmadır. MFA ve BPA SAR görüntüsü oluşturma kaliteleri neredeyse aynı olduğundan, bundan sonraki bölümlerde BPA ve  $\omega$ -KA sonuçları verilecektir. Tablo 4.3'te  $\omega$ -KA'nın da odaklama performansının oldukça başarılı olduğu ve hatta işlem süresi bakımından çok hızlı bir algoritma olduğu görülmektedir. Fakat ISLR değeri BPA'ya nazaran daha düşüktür. Çünkü,  $\omega$ -KA 2D interpolasyon kullandığından, ham SAR verisini 2D bir ızgaraya atarken kullanılan interpolasyon çekirdeğinden kaynaklı hatalar oluşmaktadır. Sonraki bölümlerde anlatılacağı üzer,  $\omega$ -KA blok olarak datayı işlemek durumunda olduğundan, büyük data setlerinde yakın menzildeki hedeflerin odaklanmasında kusursuz bir başarı sağlarken, göreceli olarak uzak menzil noktalarında odaklamada bozulmalar olmaktadır. Bu nedenle  $\omega$ -KA için her bir menzil penceresine göre interpolasyon çekirdeğinde RCMC yapılması gerekmektedir [Cumming ve Wong, 2005 ].

#### 4.2.1.2 W-Bant Ölçüm Sonuçları

Benzetim sonuçlarına göre kıyaslanan algoritmaların, gerçek ölçüm sonuçlarıyla kıyaslanabilmesi için şekil 4.7’de verilen ve bölüm 3.2’de özellikleri anlatılan hareketli prototip imal edildi. Şekil 4.8’de gösterilen geometriye göre, 2 cm yüksekliğinde ve 0.5 m çapında iki adet metal vida aralarında 10 cm mesafe olacak şekilde, platformdan 2 m uzağa konuşlandırıldı.



Şekil 4.7. YT-SAR uygulamaları için geliştirilen platform ve deney düzeneği



Şekil 4.8. W-bant YT-SAR ölçümü, deneysel düzenek geometrisi

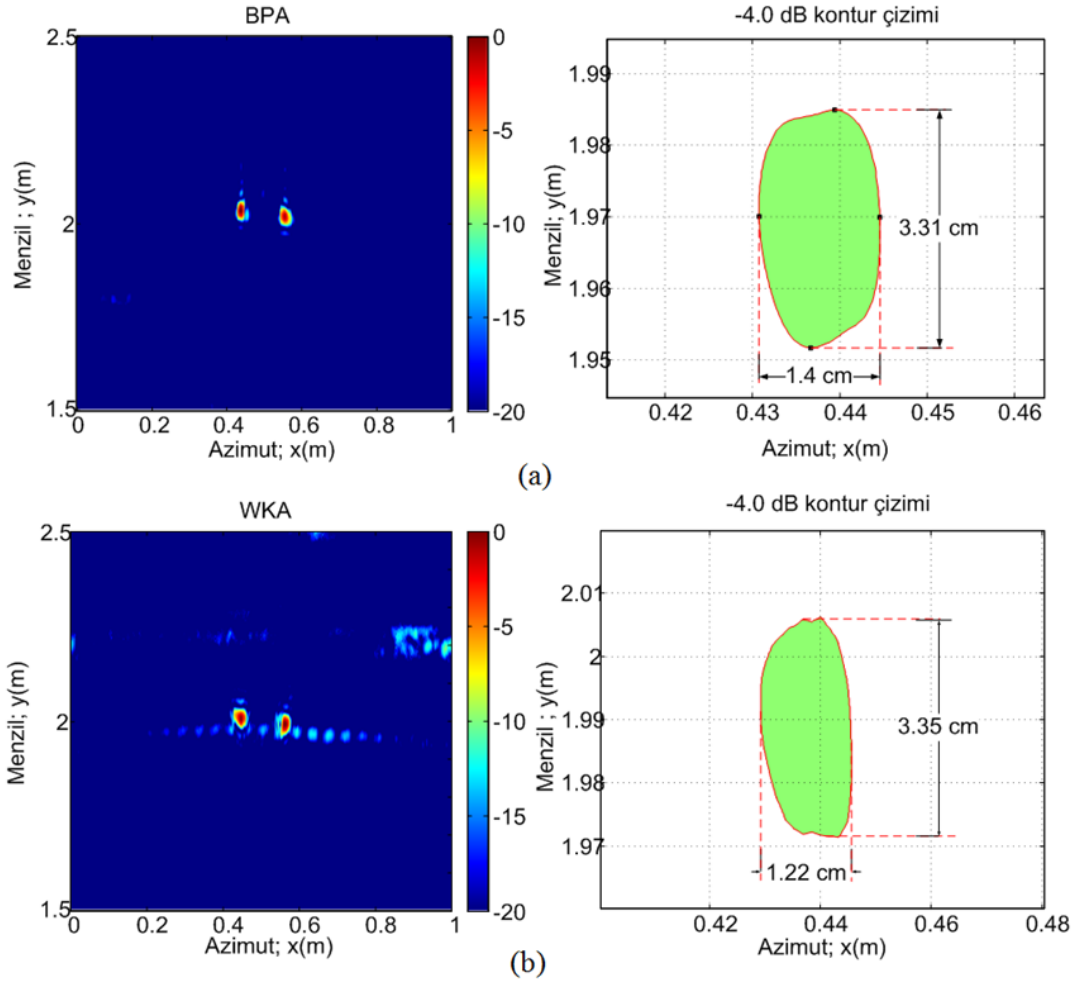
Geri saçılım sinyali  $x = 0$  m’den  $x = 1$  m ye kadar toplam 626 kesikli noktada toplandı. Adım frekansı 90 GHz ile 95 GHz arasında toplam 101 noktada değiştirildi. Böylelikle,  $626 \times 101$ ’lik 2D uzamsal frekans SAR verisi elde edildi.

Aynı ölçüm, bölgeden hedeflerin kaldırılmasıyla tekrarlandı ve bunun sonucunda zemine ait arka plan EM saçılma bilgisi elde edilerek algoritmaların SCR değerleri kıyaslanabildi. Tüm parametreleri tablo 4. 4’de ayrıntılı bir şekilde verilen tarama sonucu elde edilen ham SAR verisi, BPA ve  $\omega$ -KA yoluyla odaklandı.

Tablo 4. 4. W-bant YT-SAR ölçüm parametreleri

RADAR PARAMETRELERİ							
$c = 3.10^8$	$B = 5GHz$ $W_{ant} = .02$	$\lambda_c = 0.0032$ $\alpha = 12^\circ$	$M = 101$	$N = 626$	$R_0 = 2$	$W_{tar} = 1$ $D_{tar} = 1$	$L_s = 1$
Denklem No:	Denklem				Teorik sonuç		
(2.26)	$\delta_x = \frac{c}{2B}$				3 cm		
(2.27)	$\delta_y = \begin{cases} W_{ant}/2 & L_s \geq \Delta\theta \\ R_0 \frac{\lambda_c}{2L_s} & \text{diğer} \end{cases}$				1 cm		
(2.29)	$R_{max} = M\delta_x = \frac{Mc}{2B}$				3.03 m		
(2.30)	$A_{max} = N\delta_y = \frac{NR_0\lambda_c}{2L_s}$				2.03 m		
(2.31)	$R_0 \geq \frac{2W_{tar}}{\lambda}$ $R_0 \approx 8.7D_{tar}$				633 m		
(2.32)	$\alpha > 2\sin^{-1}\left(\frac{B}{2f_c}\right)$				3°		

Tablo 4. 4’e göre hedeflerin uzak alan bölgesinde olabilmesi için 633 m’den sonra konuşlandırılması gerekmektedir. Ayrıca yapılan uygulama geniş açılı YT-SAR uygulaması olduğu yine tablodan anlaşılmaktadır. Zira anten demet genişliği  $12^\circ$  olup denklem 2.32 sonucundan çok geniş olduğu görülmektedir. Bu parametreler ışığında yapılan YT-SAR uygulamasının sonuçları şekil 4. 9’da görüldüğü gibidir. Her iki algoritma sonucunda hedefler doğru konumlarında ve yüksek çözünürlüklü hassasiyetle görüntülenmiştir.  $\omega$ -KA sonunda odaklanmış görüntüde, menzilde 2.1 m civarında ve azimut hattı boyunca uzanan yan loblar görülmektedir. Bunun nedeni 2D interpolasyon sonucu kaynaklanan nümerik gürültüdür. Her iki algoritmanın performanslarının kıyaslanması tablo 4. 5’de verilmiştir.



Şekil 4. 9. BPA ve  $\omega$ -KA kullanılan W-bant deneyi; (a) BPA ile odaklanmış YT-SAR görüntüsü ve hedefin -4 dB kontur çizimi, (b)  $\omega$ -KA ile odaklanmış YT-SAR görüntüsü ve hedefin -4 dB kontur çizimi

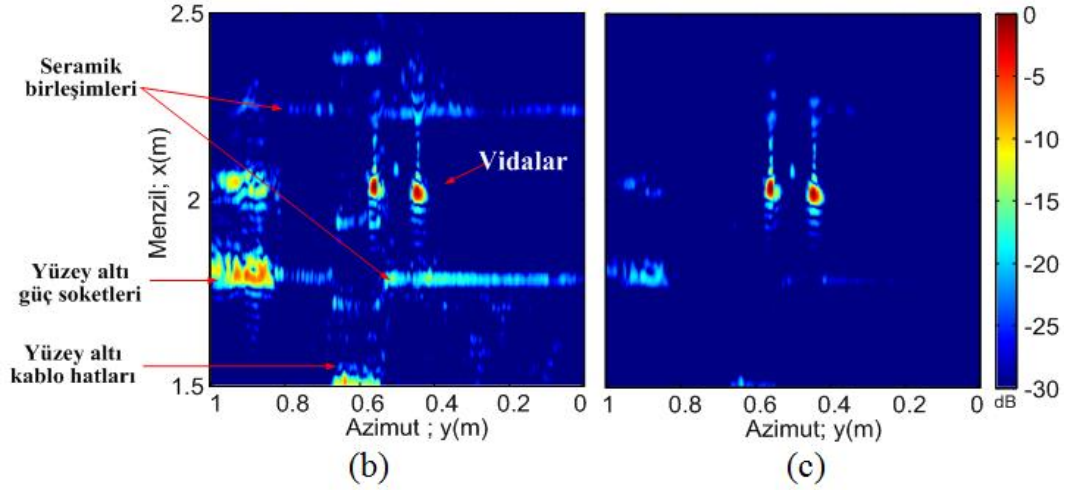
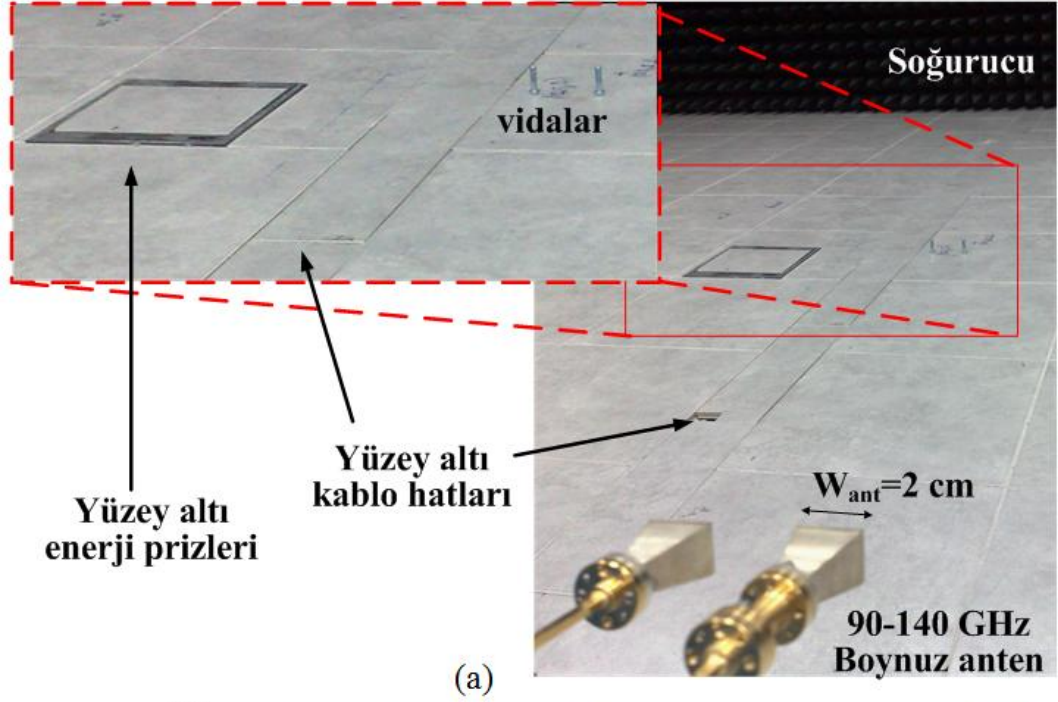
Tablo 4. 5. W-bant YT-SAR deneyi ölçüm sonuçları

W bant YT-SAR deneyi	Teorik	Ölçüm sonuçları	
		BPA	$\omega$ KA
Menzil Çözünürlüğü (-4 dB)	3 cm	3.31 cm	3.35 cm
Azimut Çözünürlüğü (-4 dB)	1 cm	1.4 cm	1.22 cm
ISLR dB		-10.9 dB	-15.49 dB
SCR dB		-6.55 dB	-12.04 dB
İşlem süresi		14.13 s	1.78 s

Tablo 4. 5 sonuçlarına göre her iki algoritma da benzetim verileriyle tutarlı sonuçlar sunmaktadır. Burada dikkati çeken nokta  $\omega$ -KA'nın azimut çözünürlüğünün

BPA'dan daha iyi olduğudur. Ancak milimetre seviyesindeki bu fark gerçekçi uygulamalarda ihmal edilebilir bir farklılıktır. Bunun dışında BPA'nın hedef kaynaklı sinyalle, arka plan sinyalini ayırt etme kabiliyeti  $\omega$ -KA'dan çok daha iyi olduğu ve ISLR değerinin yine  $\omega$ -KA'dan yüksek olduğu gerçek ölçüm sonuçlarında da görülmektedir.

Bu uygulamayla birlikte elde edilen sonuçlar, YT-SAR tekniğinin taranan yüzey hakkında ne denli bilgi sağladığını da göstermektedir. Şekil 4. 10(a)'da taranan yüzeye ait saçıcı mekanizmalar görülmektedir. Şekil 4. 10(b)'de, arka plan çıkarımı yapılmadan elde edilen odaklanmış YT-SAR görüntüsünde, yer yüzeyindeki seramik bağlantı noktaları, yüzey altı kablo hatları ve güç soketleri net bir şekilde görülmektedir. Bu uygulamada tüm yüzey etkilerinin tespit edilmesi iki maddeyle yorumlanabilir. Vidaların RCS değeri oldukça küçük olduğu için, yüzeye ait saçıcı noktaların şiddetinin yoğunluğunun kendisini imajda göstermesi ve  $\alpha = 60^\circ$ 'lik bakış açısıyla tarama sonrası, yüzey saçıcılarına ait yeterli geri yansıma şiddetinin elde edilmesidir.

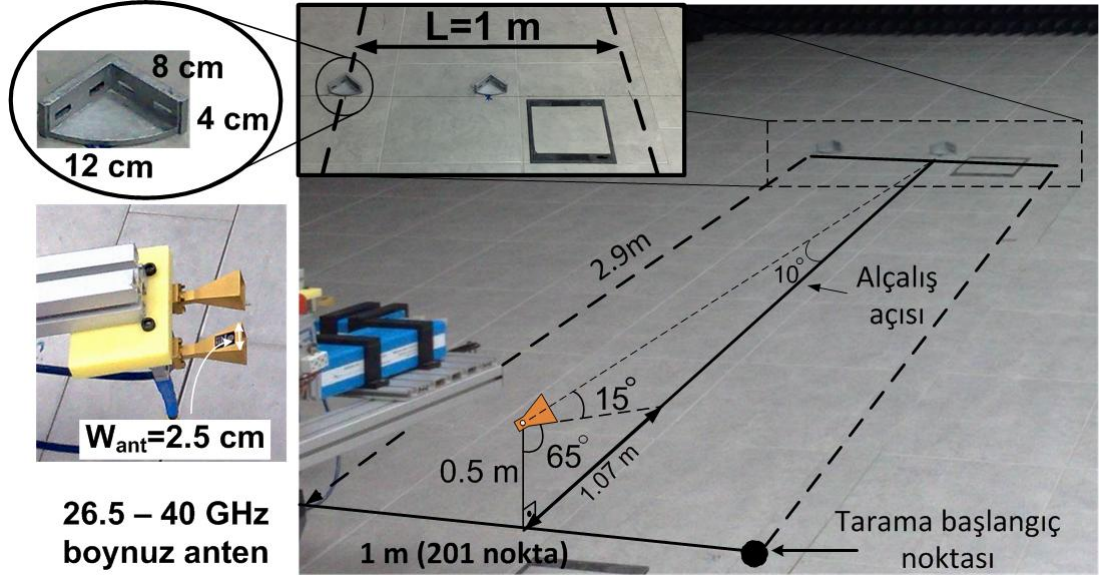


Şekil 4. 10. W-bant YT-SAR ölçümü; (a) Taranan bölgenin ve hedeflerin fotoğrafı, (b) Arka plan çıkarımı yapılmadan elde edilen SAR görüntüsü, (c) Arka plan çıkarımı sonrası elde edilen SAR görüntüsü

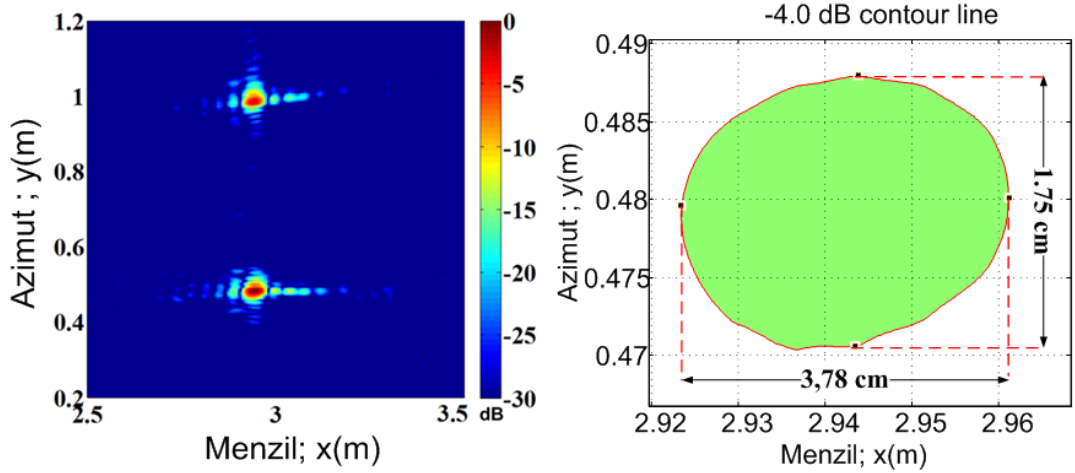
#### 4.2.1.3 K-Bant Ölçüm Sonuçları

YT-SAR tekniği kullanılarak FOD tespitine yönelik olarak küçük nesnelere görüntülenebilmesi için yapılan bu uygulamada şekil 4.11'de verilen sistem geometrisi kullanılmıştır. 34 GHz'de anten ışın demet genişliği  $23.6^\circ$  olan antenler, YT-SAR platformuna yerden 50 cm yüksekliğe  $\alpha = 65^\circ$ lik bakış açısıyla monte

edilmiştir. Örnekleme gereksinimleri dikkate alınarak 1 m'lik sentetik açıklık 201 adımda taranmıştır. VNA'nın adım frekansı 32 GHz'den 36 GHz'e toplam 201 adımda değiştirilmiştir.



Şekil 4. 11. FOD'ye yönelik K-bant YT-SAR deneysel düzenek geometrisi



Şekil 4. 12. K-Bant YT-SAR ölçümünün odaklanmış SAR görüntüsü ve (y = 0.48 m, x = 2.94 m) noktasındaki hedefin -4 dB kontur çizimi

Elde edilen ham K-bant YT-SAR verisi BPA ile odaklandıktan sonra şekil 4. 16'da gösterilmiştir. Şekilde den anlaşıldığı üzere iki hedef de gerçek konumlarında ve verimli bir görüntü kalitesiyle odaklanmıştır. Ayrıca figür -30 dB'lik dinamik



aralıkta görüntülenmesine rağmen hala yer yüzeyine ait herhangi bir yansıma görülmemektedir. Bunun sebebi köşeli yapıya sahip hedeflerin güçlü yansımalarından ötürü yüzey yansımalarını bastırması ve düşük alçalış açılı ölçüm nedeniyle yüzey yansımalarının bir derece elimine edilmesinden kaynaklıdır. Bu ölçümde kullanılan parametrelere göre menzil ve azimut çözünürlükleri denklem 2.26 ve 2.27 kullanılarak sırasıyla  $3.75\text{ cm}$  ve  $1.32\text{ cm}$  olarak hesaplanmıştır. Odaklanmış YT-SAR görüntüsünden çözünürlükleri ölçebilmek için, hedefe ait  $-4\text{ dB}$  kontur çiziminden faydalanılabilir. Şekil 4.16'da verilen çizimden, sırasıyla menzil ve azimut çözünürlükleri  $3.78\text{ cm}$  ve  $1.75\text{ cm}$  olduğu bulunur. Bu sonuç teorik sonuçla uyuşmakta ve sistemin performansını göstermektedir.

Elde edilen bu sonuçlar YT-SAR sistemiyle havalimanlarındaki yabancı enkaz döküntülerinin tespit edilebileceğini göstermektedir. Teorikte mümkün olan bu sistemin pratikte bazı zorlukları bulunmaktadır. Standart bir şerit harita SAR sistemi ile tüm pistin YT-SAR görüntüsünün çıkarılması için, pist boyunca hareket edecek bir araç gerekmektedir. Bu iste havaalanı işletmesi tarafından kabul görmemekle birlikte uçuş güvenliğini de riske atmaktadır. Ancak belirli noktalarda sabit sitemlere izin verilmektedir. Bu nedenle sabit ve sınırlı bir hat üstünden tüm pistin veya herhangi bir yerin taranabilmesi için, eğik mod SAR tekniğinin kullanılması gerekmektedir. Bu tez kapsamında uyarlamasını yapmış olduğumuz eğik mod YT-SAR algoritması bu amaca yönelik olarak geliştirilmiştir [Yiğit vd., 2011].

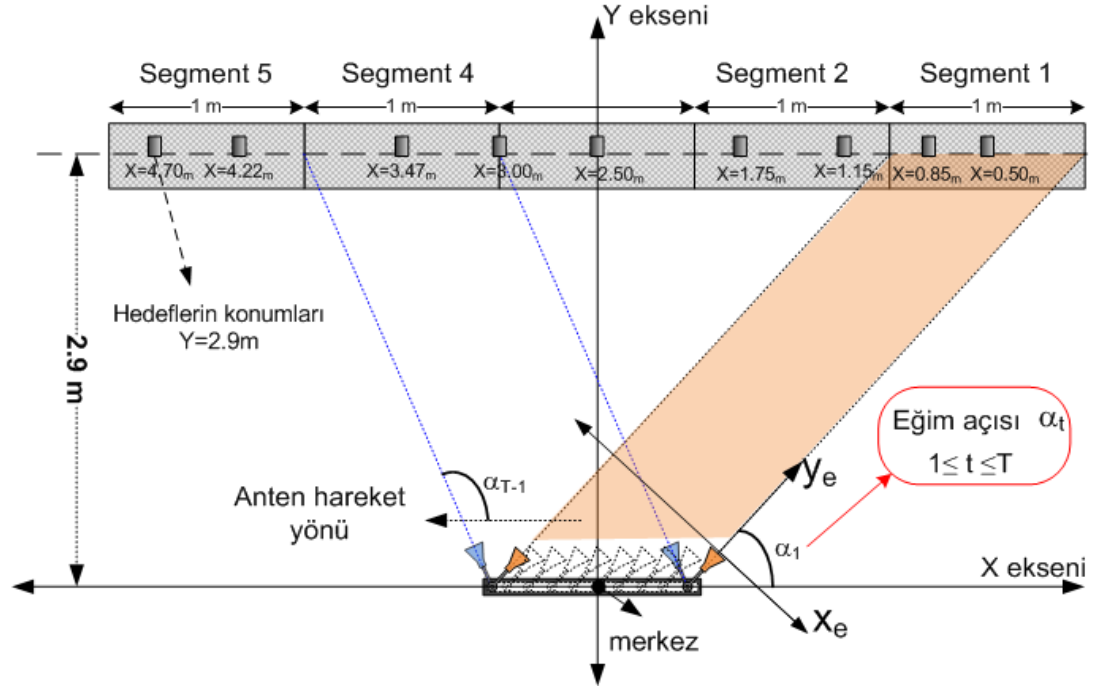
#### 4.2.1.4 K-Bant eğik mod SAR ölçüm sonuçları

Borda (broadside) SAR sisteminde radar ışın demetleri uçuş hattına dik bir şekilde ayarlanırken eğik-mod (squinted) SAR sisteminde radar ışınları uçuş hattıyla dik olmayacak şekilde ayarlanmaktadır. Ayrıntıları ve teorisi bölüm 3.2.5 de verilen sistem için laboratuvar ortamından yapılan deney düzeneği şekil 4.13'te verilmiştir. Deneyde  $40^\circ$  ışın demet genişliği olan boynuz tipi antenler yer ile yaklaşık  $10$  derecelik alçalış açısı olacak şekilde konuşlandırıldı. Deneyde adım frekanslı radar  $32\text{ GHz}$  ile  $36\text{ GHz}$  arasında toplamda  $201$  eşit adımda değiştirildi.  $1\text{ m}$ 'lik yapay açıklık  $101$  eşit aralıkta tarandı. Bu uygulamayla geniş bir alan, dar bir sentetik

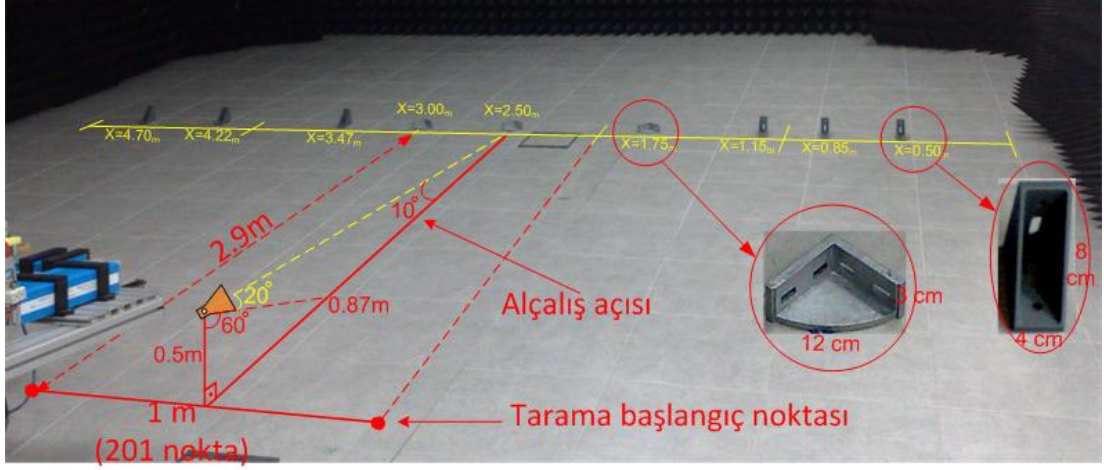
açıklıkla tarandığından 5 m'lik bir hat 1 m'lik sentetik açıklıkla, fakat farklı eğik açılarla görüntülenebildi. Deneyin geometrisi şekil 4. 14'de görülmektedir.



Şekil 4. 13. Milimetre dalga radarın ölçüm düzeneği (Sol). Antenlerin eğik açılarının ayarlanması (Orta), Boynuz antenler (sağ)

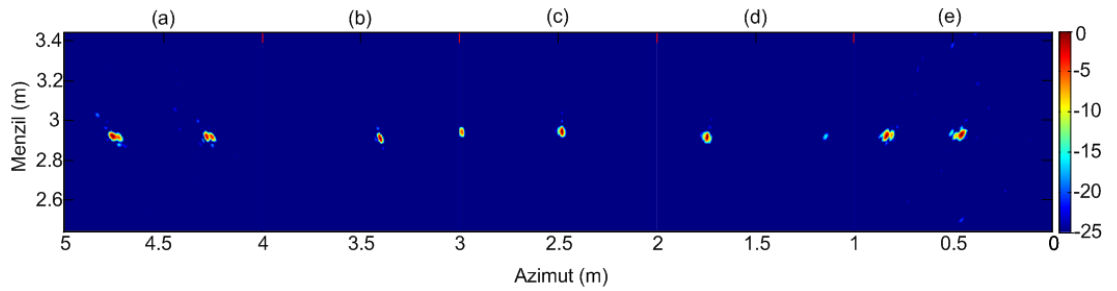


Şekil 4. 14. Eğik mod SAR için tarama geometrisi ve segmentlerin gösterimi



Şekil 4. 15. Eğik mod SAR deneyinde kullanılan hedeflerin boyutları ve konumları

Şekil 4. 15’de görüldüğü gibi deney de 30 mm boyunda 3 adet, 80 mm boyunda 6 adet, metal köşebent 5 metrelik hat üstüne farklı noktalara konuldu. YT-SAR platformundan hedef merkezine olan uzaklık 3 m olarak ayarlandı. Eğim açıları 5 farklı segment için  $\alpha_1 = 56.3^\circ$ ,  $\alpha_2 = 71.5^\circ$ ,  $\alpha_3 = 90^\circ$ ,  $\alpha_4 = 108.5^\circ$ ,  $\alpha_5 = 123.7^\circ$  olarak hesaplandı. Her bir segment için ham YT-SAR verisi elde edilerek eğik mod BPA algoritması ile işlenmesinin ardından tüm segmentlerin sonuçları tek bir görüntüde birleştirilerek eğik mod YT-SAR görüntüsü elde edildi. Şekil 4. 16’da görüldüğü gibi 5 m’lik bir hat boyunca tüm hedefler, doğru konumlarında ve yüksek çözünürlüklü olarak net bir şekilde görüntülenmiştir.



Şekil 4. 16. 5 farklı bakış açısı için eğik mod SAR sonuçları; (a) Segment 5, (b) Segment 4, (c) Segment 3, (d) Segment 2, (e) Segment 1

Şekil 4. 16’da verilen ve 2 numaralı segment olan (d) segmentindeki iki hedeften azimut da 1.15 m’ye konuşturulan metal köşebentten alınan yansıma şiddeti,

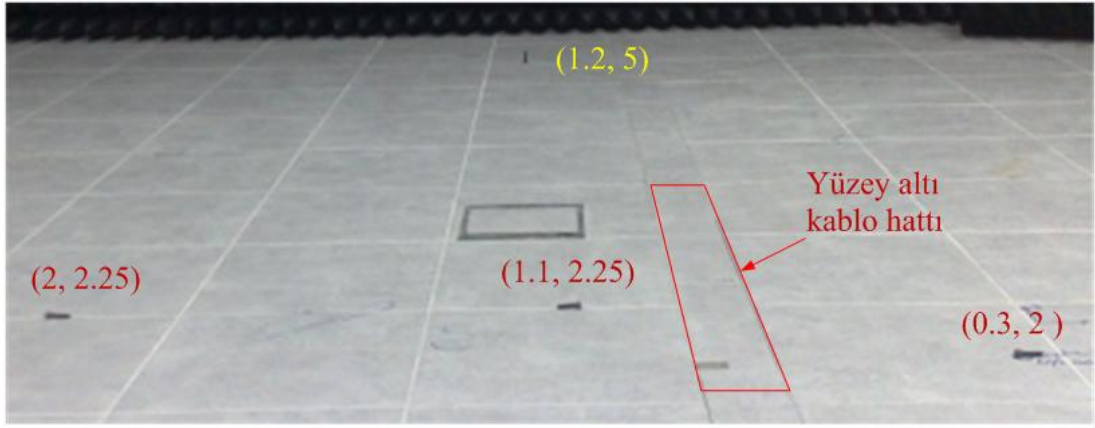
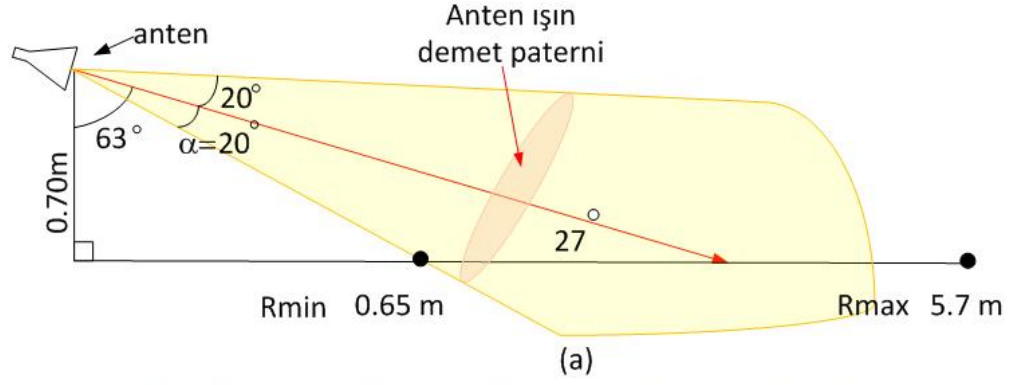
diğer hedeflere nazaran oldukça düşük kalmaktadır. Bunun sebebi, her segmentteki hedefler, birbirinin aynı iken, (d) segmentindeki hedeflerden birisi 4 cm genişliğindeki köşebent olup diğeri 12 cm genişliğindeki köşebenttir. Eğik mod YT-SAR sistemi, her bir segmenti kendi içinde bireysel olarak odakladıktan sonra, gerekli rotasyonları verip tüm görüntüyü birleştirmektedir. Bu nedenle aynı segmentte bulunan farklı hedeflere ait güçlü yansıtırlık karakteristiği, zayıf olanları bastırabilir. Bu bulgu geniş ölçekli görüntülerin, belirli segmentlere ayrılarak görüntülenmesinin, tümünün tek seferde görüntülenmesine nazaran daha etkili olacağını göstermektedir. Bu yüzden özellikle eğik mod YT-SAR tekniği laboratuvar koşullarında yapılan testlerle, FOD'ye yönelik olarak uygulanabilir görülmektedir.

#### 4.2.3 X-Bant deneyleri ve algoritmaların kıyaslanması

Milimetre dalga uygulamaları başarılı bir şekilde sonuçlandırıldıktan sonra, daha düşük frekanslarda ölçüm yapabilmek için X-bant deneyleri gerçekleştirilmiştir. Milimetre dalga uygulamaları yüksek çözünürlük sunma kabiliyeti bakımından üstünlük taşımakla birlikte, donanımsal maliyeti ve örnekleme kriteri sebebiyle fazla veri toplama yükü gibi dezavantajlara sahip olduğundan daha ucuz ve pratik olan düşük frekans bantları tercih edilmektedir. Bu nedenle YT-SAR'da kullanılacak algoritmaların X-bant performansları incelenmiştir.

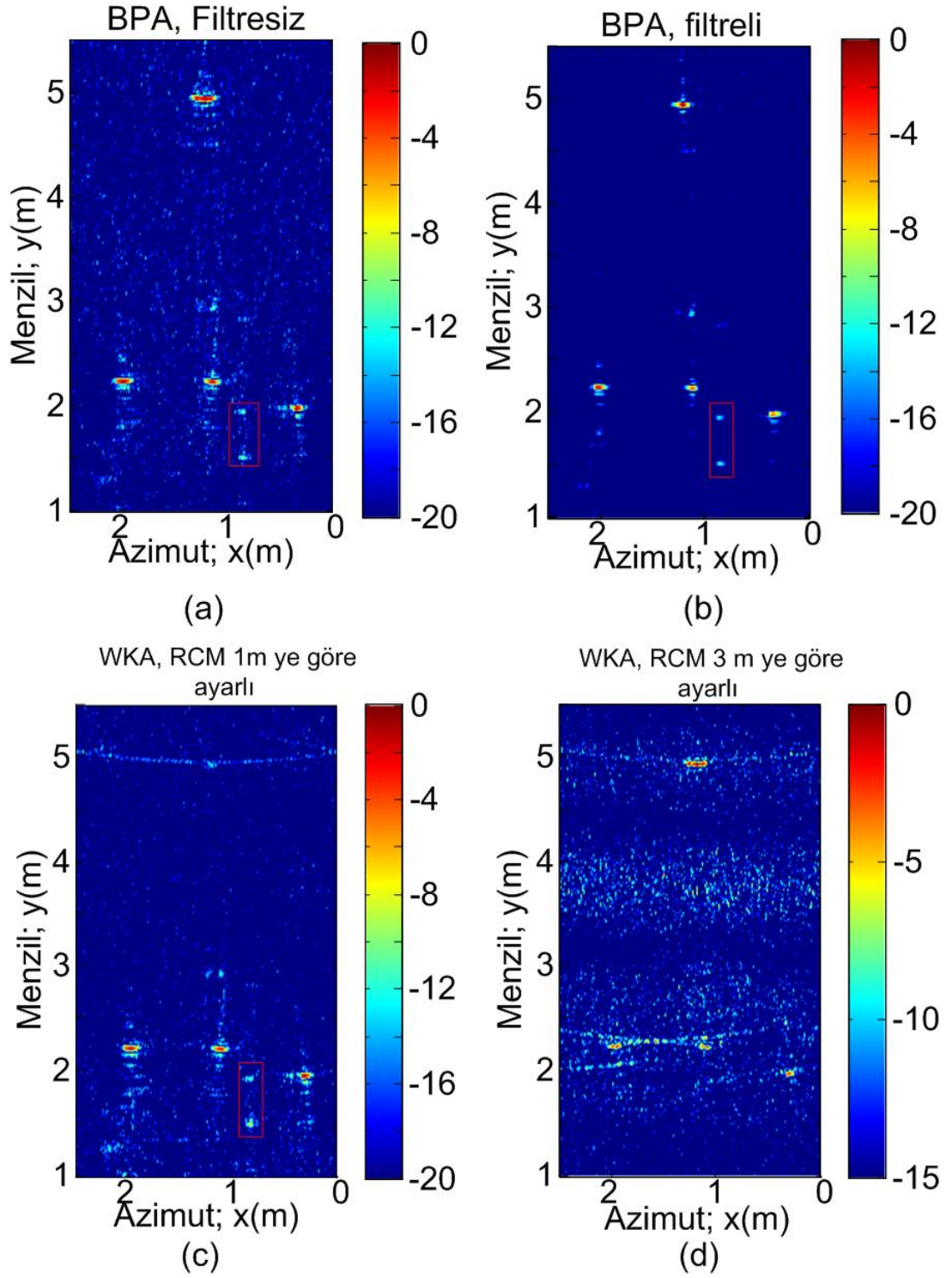
##### 4.2.3.1 X-Bant ölçüm sonuçları

Bu uygulama, cm boyutlarındaki hedeflerin X-bandında tespitine yönelik olarak yapılmıştır. Şekil 4. 17(a)'da gösterildiği gibi, deneyde 40° demet genişliği olan boynuz tipi anten yaklaşık 27°'lik bir açılış açısını sağlayacak şekilde platforma monte edildi. 2.5 m'lik sentetik açıklık boyunca her 1 cm'de geri saçılım verisi toplamak kaydıyla, toplam 251 noktada SAR verisi toplandı. Deneyde adım frekanslı radar 14 ile 18 GHz arasında toplamda 201 eşit adımda değiştirildi. Bu parametreler ışığında örtüşmesiz maksimum menzil mesafesi yaklaşık 7.5 m olarak hesaplanmasına rağmen, Şekil 4.17(a)'da görüldüğü gibi anten ışın demetinin yer ile kesiştiği mesafe 5.7 m olarak hesaplandı.



Şekil 4. 17. X-Bant YD-SAR deneyi; (a) Kısa mesafe YD-SAR tarama geometrisi, (b) Deney esnasında kullanılan vidaların konum ve şekillerini gösteren deney fotoğrafı.

Böylelikle şekil 4. 17(a)'da verilen duruma göre 2 cm uzunluğunda ve 0.5 cm çapında 4 adet vida YD-SAR tekniğiyle tarandı. Vidalardan üçü yatay olarak konuşturılırken diğeri dik bir şekilde konuşturıldı. Dik olarak konuşturılan vida antenden yaklaşık 5 m öteye yerleştirilirken, yatay vidalar 2 m civarında şekil 4. 17(b)'de görüldüğü gibi yerleştirildi. Vidalarla yapılan taramanın hemen ardından, vidalar kaldırılarak arka plan boş olarak tekrar tarandı. Böylelikle arka plan verisi çıkartılarak, sadece vidalardan kaynaklı etkilerin tespiti hedeflendi.



Şekil 4. 18. 4 adet vidanın YT-SAR verisinin odaklama sonuçları; (a) filtresiz BPA sonucu, (b) filtreli BPA sonucu, (c) RCM değeri 1 m'ye göre ayarlı  $\omega$ -KA sonucu, (d) RCM değeri 3 m'ye göre ayarlı  $\omega$ -KA sonucu odaklanmış SAR görüntüleri.

Şekil 4. 18(a)'da BPA için odaklama prosedüründe anten ışın demet filtresi kullanılmadan yapılan odaklama sonrası YT-SAR imajı 20 dB'lik dinamik aralıkta görülmektedir. Şekil 4. 18(b)'de ise, bölüm 3.2.8'de bahsedilen anten ışın demet filtresi kullanılarak odaklanmış YT-SAR verisi görülmektedir. Bu iki şeklin kıyasından da anlaşılacağı üzere, filtreleme tekniği odaklanmış SAR verisindeki yan loblardan kaynaklı gürültüyü oldukça etkili bir şekilde temizlemektedir. Şekil 4. 18(c)'de  $\omega$ -KA sonucu elde edilen YT-SAR imajında 5 m'de ki dik şekilde konulan vidanın tam olarak odaklanamadığı ve azimut hattı boyunca bozulma etkisinin olduğu görülmektedir. Bu olgu  $\omega$ -KA'nın doğasında var olan RCMC basamağıyla ilgilidir. Bu etkiyi telafi etmek için RCMC değeri 1 m'den 3 m'ye değiştirildiği takdirde şekil 4. 18(d)'de görülen sonuç elde edilmiştir. Bu doğrulama sonrası 5 m'de ki hedef oldukça yüksek bir dinamik fark ile odaklanmış ancak 2 m'de konuşlandırılmış vidaların yansıma şiddeti azalarak görüntünün geneline dağılan bir gürültü oluşmuştur. RCM değeri daha da artırılarak, görüntüde temiz menzil aralıkları elde edilebilirken, şekil 4. 21(b)'de  $\omega$ -KA sonucunda görüldüğü gibi, bu aralıklar dışında kalan bölge tamamen odaksız görülmektedir.  $\omega$ -KA oldukça hızlı bir algoritma olmasına karşın, amaca göre RCM doğrulamasında, hedeflerin bulunduğu gerçek menzil bilgisinin girilmesi gerekmektedir. Bu deneyde karşılaşılan bir diğer bulgu ise, arka plan çıkarımının yapılmasına rağmen, arka plana ait yansımaların kendisini göstermesidir. Şekil 4.17(b)'de kırmızı dörtgen ile çevrelenen bölgenin altında geçen kablo hattından dolayı, seramik üste düşümün altında boşluklar bulunmaktadır. Arka plan verisi çıkartılarak yapılan odaklama sonrası bu etkilerin kendisini göstermesi, ardı ardına gerçekleştirilen iki SAR taramasında veri toplama noktalarının tam olarak kesişmemesinden kaynaklanmaktadır. Zira dişli bir sistemle kontrol edilen platform, her tarama sonrası başladığı noktaya geri gelmekte fakat bu harekette milimetre seviyelerinde farklılıklar olmaktadır. Bunun sonucu oluşan çok küçük farklılıklar, arka plan çıkarımında kendisini göstermektedir.

#### 4.2.3.2 X-Bant dış ortam uzun mesafe ölçümleri

Bir önceki deneyde kısa mesafe YT-SAR uygulaması yapıldığından, bu uygulamada daha geniş ölçekli menzil mesafelerinde algoritmaların performansları

incelenmiştir. X-bant deneyleri için şekil 3. 3(a)'da verilen antenler kullanılarak 14 – 18 GHz bandında dış ortam deneyleri yapıldı. Şekil 4. 19' da görüldüğü gibi 7 cm çapına bir metal hedef platformdan 7.5 m uzaklığa yerleştirilirken 8 cm yüksekliği ve 4 cm genişliği olan 2 adet metal köşebent 20 m uzaklığa ve aralarında 45 cm açıklık bulunacak şekilde konuşlandırıldı ve tablo 4. 6'da verilen parametrelere göre SAR datası toplandı.



Şekil 4. 19. X-Bant dış ortam YT-SAR uygulaması; 7 cm çapında silindirik metal hedef ve 2 adet 8 cm boyunda metal köşebent ve YT-SAR platformu

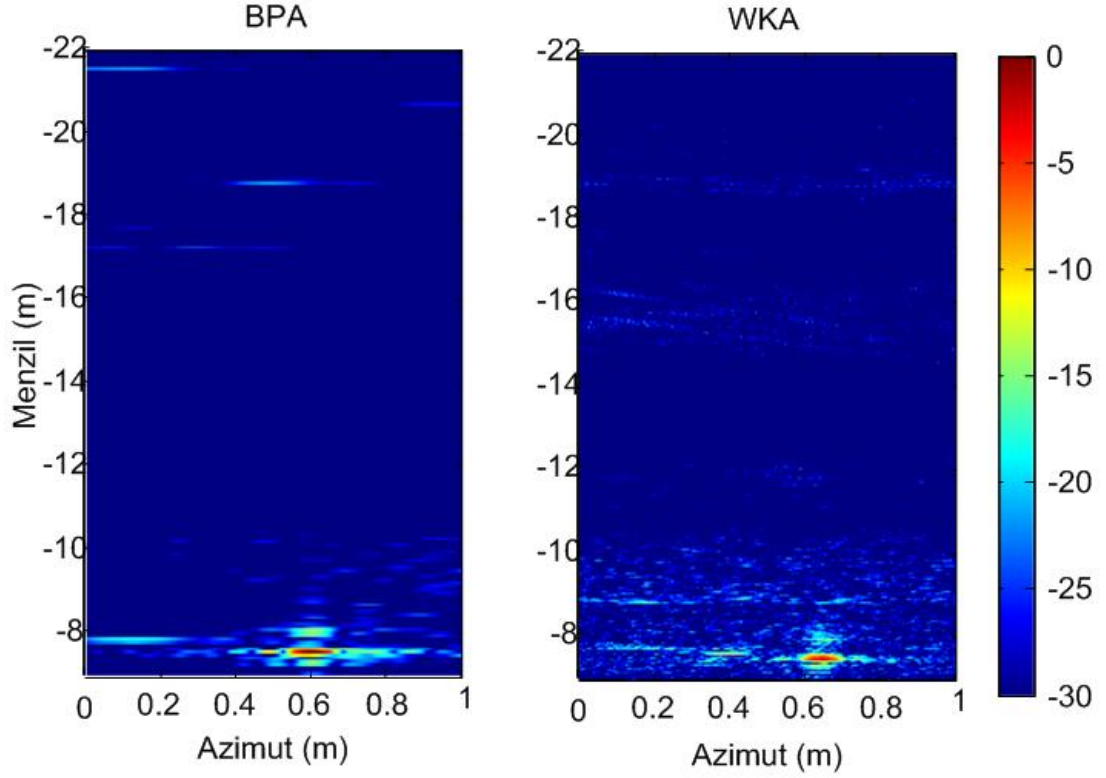
BPA ve  $\omega$ -KA kullanılarak hedeflerin bulunduğu menzili içine alan bir pencere için görüntüleme yapıldı. Buna göre pencere boyutları 7 ile 22 m arası seçildi. Elde edilen odaklanmış SAR görüntüsü şekil 4. 20'de verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi her iki sonuçta da silindirik metal nesne doğru konumunda tespit edilmiştir. Ancak metal köşebentler imajda görülmemektedir. Bunun nedeni, EM dalga yayılım gücünün mesafenin karesiyle azalması ve yakın hedeflerden alınan yansıma şiddetinin, görüntüde diğer düşük şiddetli yansımaları bastırmasıdır. Görüntü penceresi 7 ile 8 m arası seçildiğinde, iki algoritma sonucunda da hedeflerin doğru konumlarında net bir şekilde odaklandığı Şekil 4. 21(a)'da görülmektedir.



Tablo 4. 6. X-Bant dış ortam YT-SAR ölçüm parametreleri

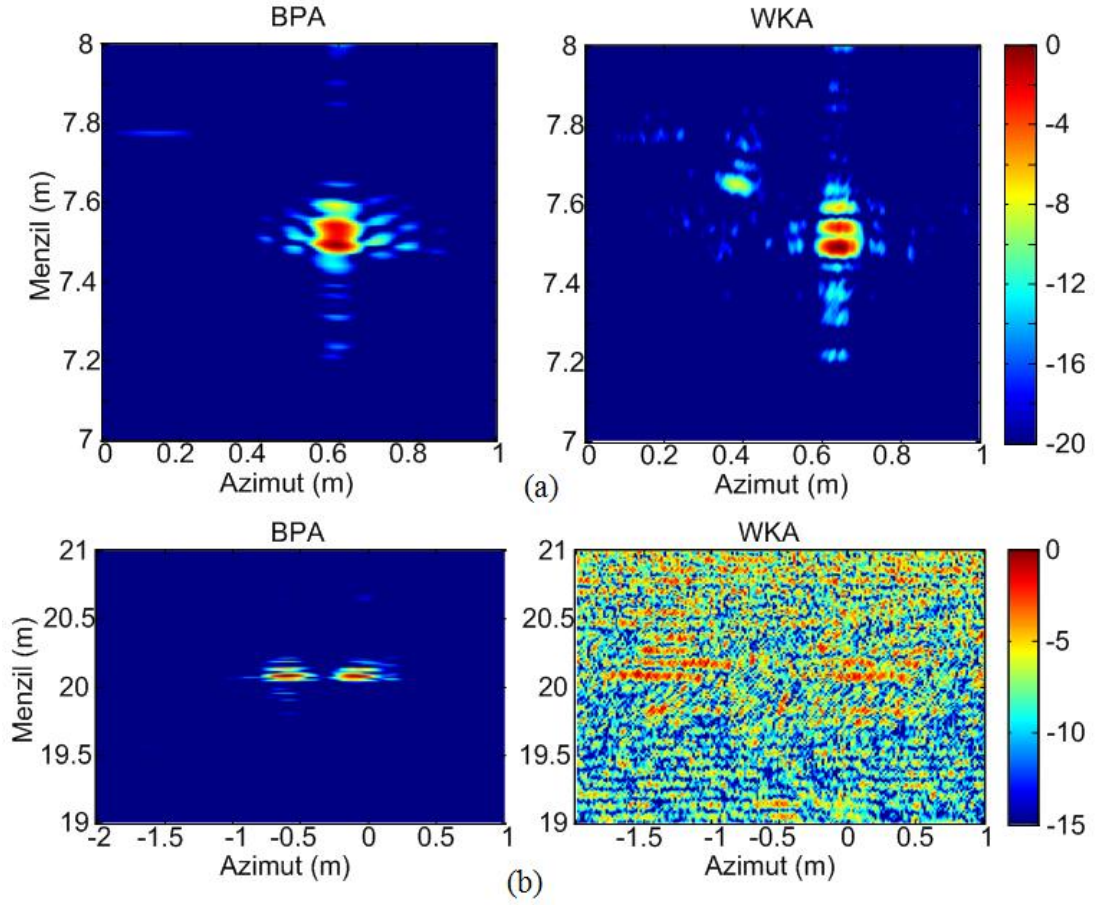
RADAR PARAMETRELERİ						
$c$ $= 3.10^8$	$B = 4 \text{ GHz}$ $W_{ant} = 0.1$	$\lambda_c = 0.0187$ $\alpha = 14.18^\circ$	$M = 701$	$N = 201$	$W_{tar} = 1$ $D_{tar} = 1$	$L_s = 1$
<b>Denklem No:</b>	<b>Denklem</b>			$R_0 = 7.5$	$R_0 = 20$	
(2.26)	$\delta_x = \frac{c}{2B}$			3.75 cm	3.75 cm	
(2.27)	$\delta_y = \begin{cases} W_{ant}/2 & L_s \geq \Delta\theta \\ R_0 \frac{\lambda_c}{2L_s} & \text{diğer} \end{cases}$			7 cm	18 cm	
(2.29)	$R_{max} = M\delta_x = \frac{Mc}{2B}$			26.28 m	26.28 m	
(2.30)	$A_{max} = N\delta_y = \frac{NR_0\lambda_c}{2L_s}$			14.13 m	37.68 m	
(2.31)	$R_0 \geq \frac{2W_{tar}}{\lambda}$ $R_0 \approx 8.7D_{tar}$			120 m	120 m	
(2.32)	$\alpha > 2\sin^{-1}\left(\frac{B}{2f_c}\right)$			14.36 °	14.36 °	

Pencere boyutu 19 ile 21 m arasında değiştirildiğinde, 20 m’de konuşlandırılmış metal köşebentler, BPA sonucunda tam olarak doğru konumlarında görüntülenirken,  $\omega$ -KA sonucunda, odaklanamamış bir imaj görülmektedir. Bunun sebebi BPA’nın nokta dan noktaya yeniden inşa (point to point reconstruction) özelliğidir. BPA’da ham SAR datası işlenirken, her bir sentetik açıklık noktasına karşılık gelen menzil profili, projeksiyon yapılması istenen bölge üzerine yayılırken, yeni bir ızgara üzerinde yeniden inşası mümkündür. Böylelikle tüm SAR verisinin değil, sadece ilgilenilen menzil aralığının projeksiyonu sağlanmış olmaktadır. Ancak şekil 4. 21(a)’da görülen ve  $\omega$ -KA sonucu oluşan imaj bu şekilde elde edilmemiştir.  $\omega$ -KA’da tüm SAR verisi algoritmaya girdi olarak verildikten sonra odaklanmış verinin ilgili kısımları görüntülenmiştir. Bu nedenle 19 ile 21 m arasındaki görüntü odaksız bir şekilde görülmektedir. Fakat  $\omega$ -KA’nın interpolasyon çekirdeğinde menzil hücre göçü miktarı ayarlanarak odak bölgesi değiştirilebilir ve böylelikle diğer bölgelerde görüntülenebilir. Bu olay bölüm 4.2.3.1’de gösterilmiştir.



Şekil 4. 20. BPA ve  $\omega$ -KA kullanılan X-Bant deneyi sonucu 15 m'lik bir menzil penceresinde odaklanmış YT-SAR görüntüsü

Ancak bu süreç her seferinde yeni bir kalibrasyon ve odaklama işleminin tekrarı demektir. Klasik SAR uygulamalarında uydu veya uçak üzerine monte edilmiş platform ile hedef merkezi arasındaki menzil sürekli sabit kaldığı ve belirli bir alçalış açısıyla yeryüzü şekilleri ve hedefleri EM olarak aydınlatıldığı için uzak alan bölge uygulamalarında böyle bir kalibrasyona gerek kalmamaktadır. Fakat YT-SAR verileri çoğunlukla yakın alan bölgesinde olduğu için sürekli değişen bir menzil aralığında görüntüleme yapabilen bir teknik avantaj sağlamaktadır. Bu uygulama sonunda doğrulanan bir diğer bulgu ise, menzille değişen azimut çözünürlüğüdür. Şekil 4. 21(a)'da görülen silindirik hedefin  $-4$  dB kontur hattının azimut çözünürlüğü yaklaşık 7 cm ölçülürken, şekil 4. 21(b)'de görülen 4 cm genişliğindeki köşebentlerin  $-4$  dB azimut çözünürlüğü yaklaşık 18 cm olarak ölçülmüştür. Bu sonuçlar tablo 4. 6'da verilen sonuçlarla tamamen uyumaktadır.



Şekil 4. 21. BPA ve  $\omega$ KA kullanılan X-bant YT-SAR deneyi; (a) 7 ile 8 metre arası odaklanmış görüntü; (b) 19 ile 21 metre arası odaklanmış görüntü

#### 4.3 C-BANT DIŞ ORTAM YT-SAR UYGULAMALARI

Yeryüzü şekillerinin ve hedeflerinin YT-SAR sistemiyle görüntülenmesine yönelik olarak şekil 3. 5 ve 3. 6(a)'da gösterilen prototipler üretilmiş ve her birisiyle farklı testler ve ölçümler gerçekleştirilmiştir. Şekil 3. 5(a)'da üretilen prototip en yavaş ve hantal olan sistem olmasına rağmen ön denemelerde başarılı sonuçlar sunmuştur. Şekil 3. 5(b)'de üretilen prototip ise doğrusal olmayan hız değişimi, kauçuk lastik kaynaklı sarsıntılar ve halatla çekme prensibine bağlı kullanışsız tasarımından dolayı dış ortam uygulamalarında kullanılmamıştır. Şekil 3. 6(a)'da ki prototip çok yüksek hassasiyette YT-SAR görüntüleri elde edebilmesine rağmen taşınması mümkün olmaması ve sadece doğrusal bir hat boyunca sınırlı bir mesafede hareket edebilmesinden dolayı, dış ortam YT-SAR çalışmalarına uygun

olmadığından, Şekil 3. 6(b)'deki sistem üretilmiştir. Bu sistemle birlikte şekil 3. 1(c)'de verilen el tipi, hafif ve taşınabilir olan VNA kullanılmıştır. Tüm uygulamalarda şekil 3. 3'de verilen 4.5 – 8.5 GHz bandında çalışan ve 5.85 GHz'de ışımaya karakteristiği şekil 2. 13'de gösterilen boynuz tipi anten kullanılmış ve böylelikle Mersin Üniversitesi Çiftlikköy yerleşkesinin muhtelif yerlerinin gerçek karasal dış ortam YT-SAR görüntüleri elde edilmiştir. Uygulamalar betonarme yapıların üzerinde gerçekleştirildiğinden yer düzleminden belirli yüksekliklerde taramalar yapılmış olup, 3D YT-SAR görüntüleme algoritması olarak avantajları bulgularla ispatlanan ve modifikasyonlarla geliştirilen BPA kullanılmıştır.

#### 4.3.1 MEÜ Mühendislik Fakültesi Otopark Deneyleri

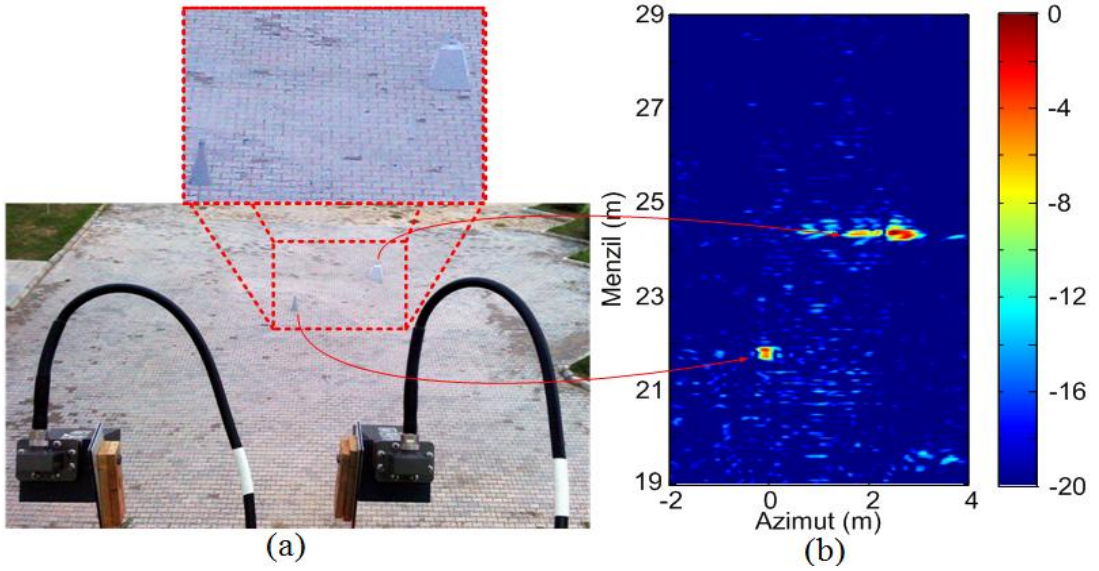
Mersin Üniversitesi Mühendislik fakültesi balkonunun hemen güneyinde bulunan otopark arazisi geniş ve düzgün yapısı nedeniyle uzak mesafeli FOD amaçlı deneylere uygun bir zemin sunmaktadır. Bu nedenle radar parametreleri tablo 4. 7'de verilen sisteme göre farklı nesnelerin görüntülenmesi hedeflenmiştir.

##### 4.3.1.1 Uygulama 1: MEÜ Mühendislik fakültesi otoparkı

Bu uygulamada, mühendislik fakültesinde bulunan 25 cm yüksekliğinde 2 adet boynuz tipi anten hedef olarak antenden 22 m ve 24.5 m uzaklığa yerleştirildi. Şekil 4. 23'de görüldüğü gibi antenler 23°'lik alçalış açısını sağlayacak şekilde hedefe doğru yönlendirildi. Tablo 4. 7'deki parametrelere göre gerçekleştirilen tarama sonrası elde edilen odaklanmış YT-SAR görüntüsü şekil 4. 23(b)'de görülmektedir. Şekildeki hedeflere ait azimut çözünürlüğünün mesafe arttıkça bozulduğu görülmektedir. Bu sonuç önceki bölümlerde de verilen ve YT-SAR taraması sonrası beklendiği bir olgudur. Hedef geri saçılım sinyalleri incelendiğinde herhangi bir üste düşüm etkisi görülmemektedir. Eşitlik 3. 26'ya göre hedef yüksekliğinin, antenle hedef arası mesafeye göre çok düşük olmasından dolayı, odaklanmış SAR görüntüsünde herhangi bir üste düşüm etkisine rastlanmamıştır.



Şekil 4. 22. MEÜ Mühendislik Fakültesi güney balkonu, YT-SAR deney fotoğrafı



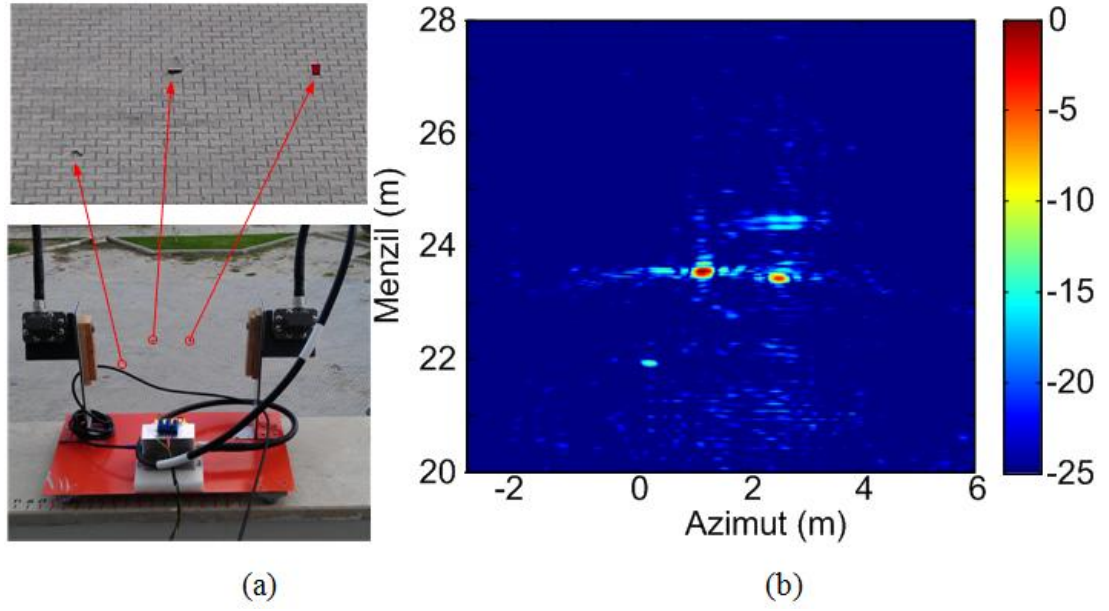
Şekil 4. 23. MEÜ Mühendislik Fakültesi güney balkonu; a) Deney esansında alınan fotoğraflar ve hedeflerin konumları, b) BPA ile odaklanmış YT-SAR görüntüsü

Tablo 4. 7. Mühendislik Fakültesi Balkonu YT-SAR deney parametreleri-1

C-Bant YT-SAR parametreleri			
Parametre	Notasyon	Birim	Değer
Başlangıç frekansı	$F_{start}$	GHz	4.5
Bitiş frekansı	$F_{stop}$	GHz	6
Adım frekans sayısı	M	-	401
Sentetik açıklık uzunluğu	$L_s$	Metre	3
Sentetik açıklık veri toplama sayısı	N	-	150
Antenden hedefe olan mesafe	$R_0$	Metre	23
Menzil çözünürlüğü	$\delta_x$	Metre	0.05
Azimut çözünürlüğü	$\delta_y$	Metre	0.22
Antenin yerden yüksekliği	$Z_n$	Metre	9

#### 4.3.1.2 Uygulama 2: MEÜ Mühendislik fakültesi otoparkı

İlk uygulamada başarılı bir şekilde hedeflerden alınan geri saçılım sinyalinin odaklanmasının ardından, daha küçük nesnelere tespit edilmesine yönelik olarak 3 farklı metal nesne (genişlikleri sırayla 12 cm, 7 cm ve 5 cm) hedef olarak belirlendi. 5 cm genişliğindeki metal nesne 22 m’de konuşlandırılırken, diğer ikisi yaklaşık 23.5 m civarına yerleştirildi (Şekil 4. 24(a)). Hedeflerin antenlere olan uzaklıkları, lazer göstergesi kullanılarak milimetre hassasiyetinde ölçüldü. YT-SAR işlemi için tablo 4. 7’de verilen tarama parametreleri uygulandı. Geliştirilen BPA sonrası odaklanmış YT-SAR imajı şekil 4. 24(b)’de görülmektedir. Bu şekilde de anlaşılacağı üzere, cm boyutlarındaki hedeflerden saçılan sinyaller SAR geometrisi ve odaklama algoritması sayesinde belirgin bir şekilde görüntülenmiştir. EM dalganın alçalış açısının, iç ortam laboratuvar uygulamalarına göre yüksek olması ve zeminin fiziki yapısının EM girişime müsait olmasından dolayı arkaplanaya ait yansımalar da, şekil 4. 24(b)’de görülmektedir. Ayrıca odaklanmış SAR datasındaki 23.5 m’deki hedefe ait  $-4$  dB kontur çiziminin menzil ve azimut yönündeki genişlikleri, tablo 4. 7’de verilen ve analitik olarak hesaplanan çözünürlük değerleriyle birebir uyumaktadır.



Şekil 4. 24. MEÜ Mühendislik Fakültesi deneyi; (a) 3 adet metal hedeflerin konumları, (b) BPA ile odaklanmış YT-SAR görüntüsü

Bu uygulamada gözlemlenen bir diğer bulgu ise, anten ışın demet genişliği sayesinde, sentetik açıklıktan daha geniş bölgelerin BPA ile doğrudan görüntülenebilmesidir. Şekil 4. 24(b)'de verilen sonuçlar yaklaşık 9 m'lik bir pencerede sunulmuştur. Tarama mesafesi 3 m olmasına rağmen, 23 m uzaklıkta çok daha geniş bir mesafede görüntüleme yapılabilmektedir.

#### 4.3.1.3 Uygulama 3: MEÜ Mühendislik fakültesi otoparkı

Bu uygulamada otoparkın genel bir YT-SAR görüntüsü elde edilmek istenmiş ve 5 metrelik bir yapay açıklık boyunca deney parametreleri tablo 4. 8'de verildiği şekilde, SAR verisi toplanmıştır. Tarama bölgesi boş bırakılmış ancak balkondan 14 metre uzaklığa bir araç yerleştirilmiştir. Bu uygulamayla, otoparkta bulunan, kaldırımların ve ağaçlık arazilerin görüntülenmesi hedeflenmiştir. Anten demet genişliği 5 GHz'de yaklaşık 40° olduğundan, 5 m'lik bir tarama geometrisiyle 20 m menzil mesafesinde 19 m'lik azimut mesafesi algılanırken, 40 m menzil mesafesinde 34 m'lik azimut genişliği görüntülenebilmiştir. Odaklama performansını test etmek için, belirli referansların antenlere olan uzaklıkları lazer göstergesiyle hassas bir şekilde ölçülmüştür. Şekil 4. 25(a)'da verilen fotoğrafta,

kaldırım üzerindeki lazerin noktası görülmektedir. Şekil 4. 25(c)'de ise lazer göstergesinin ekran görüntüsü verilmiştir. Şekil 4. 25(b)'de verilen YT-SAR görüntüsünde ise kaldırımın tam olarak gerçek konumunda odaklandığı görülmüştür. Ayrıca şekil 4. 25(a)'da görülen kaldırım ve ağaçların, SAR görüntüleri sönük çıktığından, sadece ağaçların olduğu bölgenin imajı, BPA ile yeniden inşa edilmiş ve şekil 4. 26'da verildiği gibi daha yüksek yoğunluklu YT-SAR görüntüleri elde edilmiştir.

Tablo 4. 8. MEÜ Mühendislik Fakültesi balkonu deney parametreleri-2

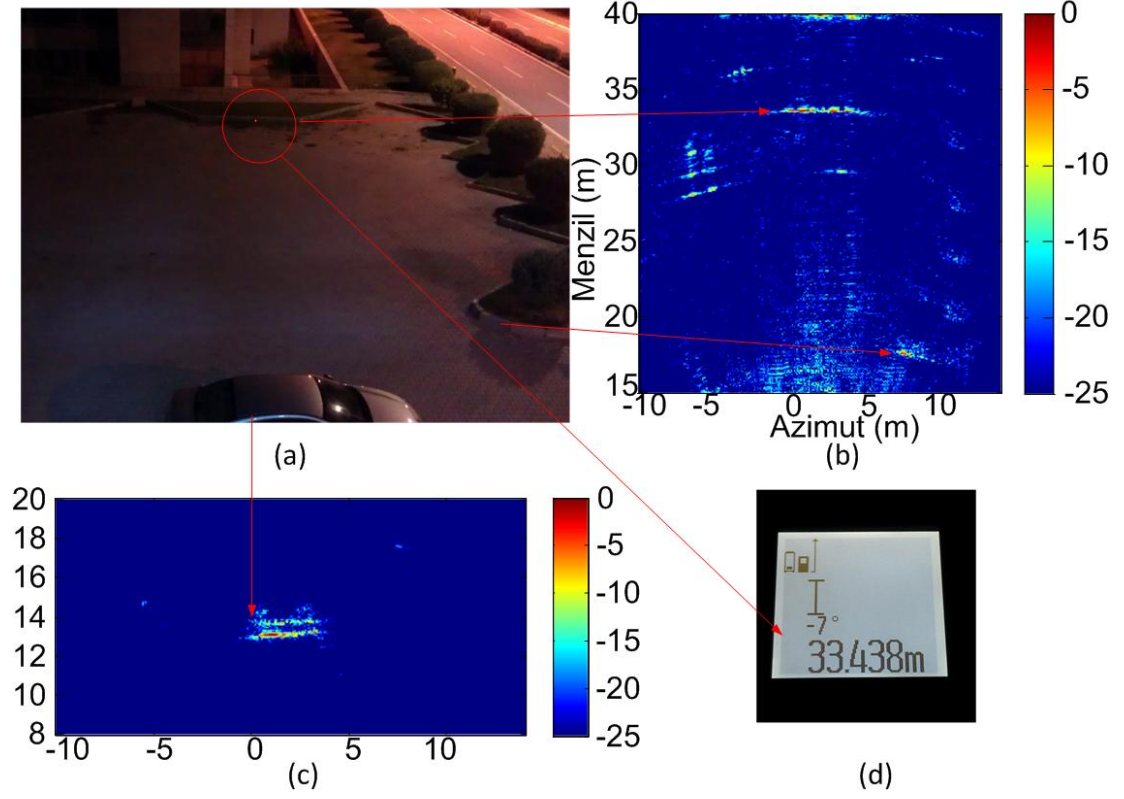
C-Bant YT-SAR parametreleri			
Parametre	Notasyon	Birim	Değer
Başlangıç frekansı	$F_{start}$	GHz	4.5
Bitiş frekansı	$F_{stop}$	GHz	6
Adım frekans sayısı	M	-	451
Sentetik açıklık uzunluğu	$L_s$	Metre	5
Sentetik açıklık veri toplama sayısı	N	-	250
Hedeflerin menzil aralığı	$R_0$	Metre	10 – 40
Menzil çözünürlüğü	$\delta_x$	Metre	0.05
Azimut çözünürlüğü aralığı	$\delta_y$	Metre	0.057 – 0.23
Antenin yerden yüksekliği	$Z_n$	Metre	9

Otoparkın genel görünüşüyle, odaklanmış SAR imajı kıyaslandığında, otoparka ait tüm özelliklerin elde edildiği görülmektedir. Otoparkın sağ tarafında bulunan ve araçlar için tasarlanan üçgenel park yerleri, kaldırım taşları ve ağaçlar fark edilmektedir. Bölgenin daha yüksek çözünürlüklü SAR imajının elde edilebilmesi için 5 m'lik sentetik açıklığın artırılması gerekmektedir.

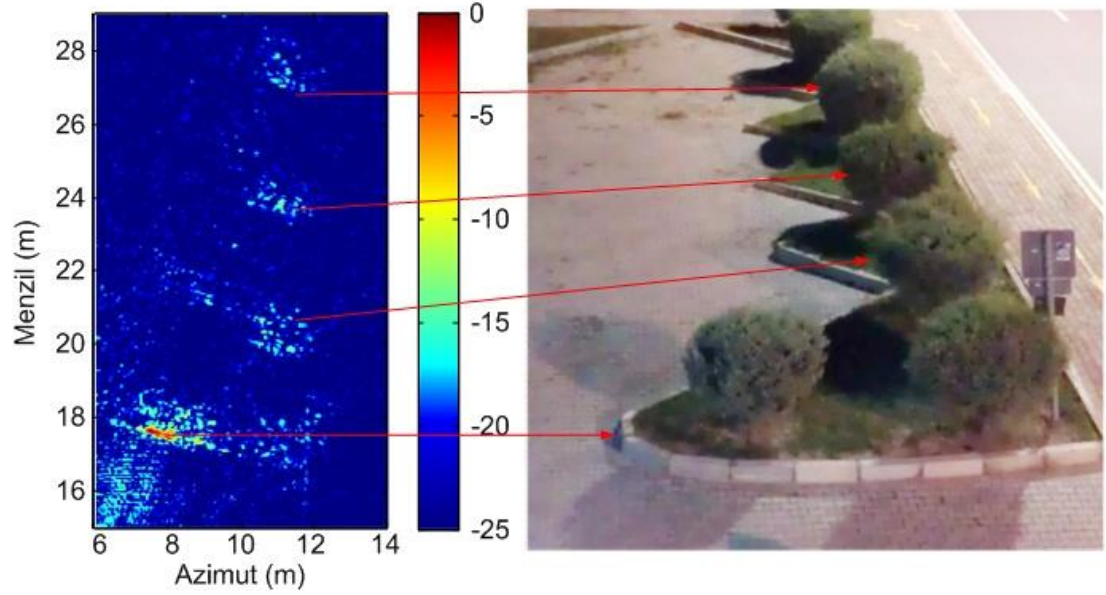
Şekil 4. 26(c)'de aracın tepe noktasından alınan iki paralel yansıma görülmektedir. 67°'lik bir açı ile, sıfır düzlemde 21 m'lik bir menzil için yönlendirilmiş antenin sahip olduğu 40°'lik demet genişliği nedeniyle, yatayda 10.6 m uzağa yerleştirilen aracın tepesinden ve tabanından alınan geri yansıma sinyalleri, kendini bu şekilde göstermektedir. Bölüm 3.2.3'de bahsedilen üste düşüm etkisi



nedeniyle, belirli yüksekliklere sahip cisimlerin hem tepe, hem de taban yansımaları SAR görüntüsünde belirlemektedir.

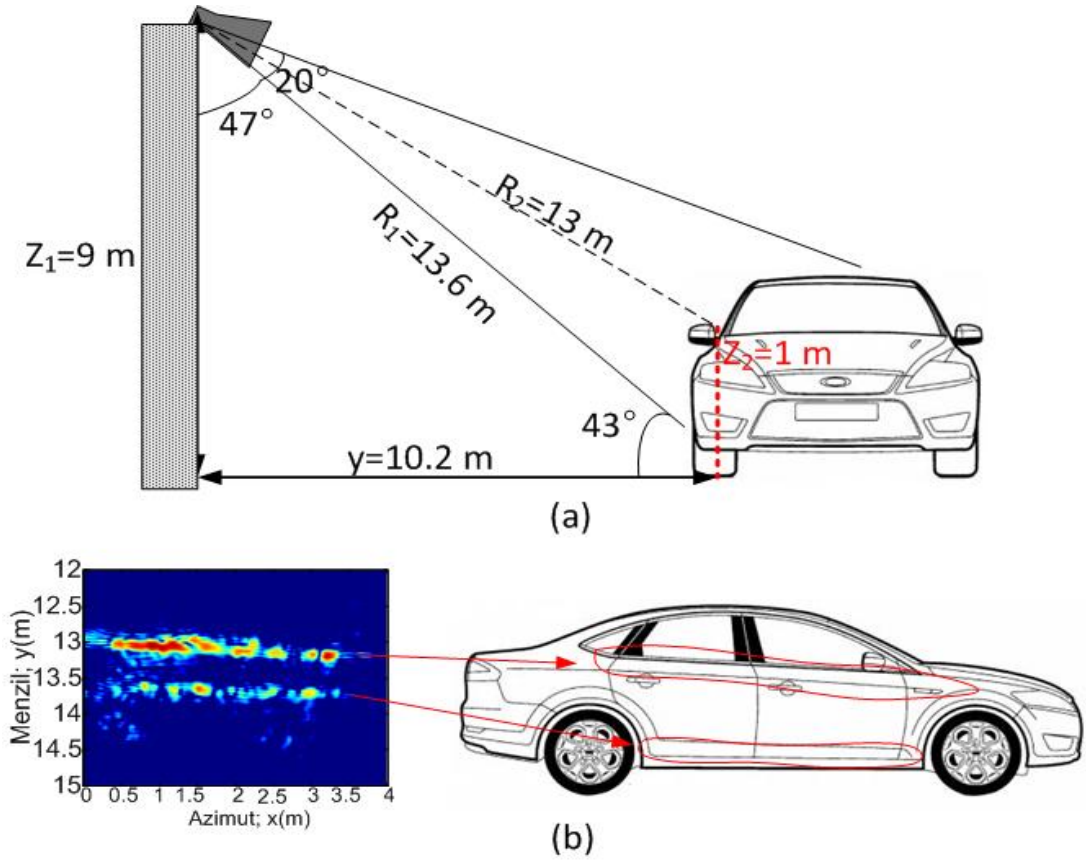


Şekil 4. 25. MEÜ Mühendislik Fakültesi otopark deneyi; (a) Deney esnasında taranan bölgenin görüntüsü, (b) 15 – 40 metre arası YT-SAR görüntüsü, (c) 8-20 metre arası YT-SAR görüntüsü, (d) Lazer gösterge ekran görüntüsü



Şekil 4. 26. Otoparktaki ağaçların YT-SAR görüntüsü

Şekil 4. 27’de aracın sıfır düzlemdeki konumu, yüksekliği ve antenin yüksekliği verilmiştir. Buna göre antenden yaklaşık 10.2 m uzaklıktaki aracın alt kısmının antene olan mesafesi yaklaşık 13.6 m iken, 1 m yüksekliğindeki aracın kapıları ve camlarının birleşme hattının antenle olan mesafesi yaklaşık 13 m’dir. Bu farklılıktan dolayı, şekil 4. 26(c)’de azimut boyunca 13 ve 13.6 m menzillerinde yansımalar görülmektedir. Burada 13.6 m’de görülen yansıma, aracın taban yansıması iken, 13 m’de görülen yansıma, aracın yan tarafındaki eğimden kaynaklı bir yansımadır.



Şekil 4. 27. MEÜ Mühendislik Fakültesi otoparkı; (a) Araç yansımasındaki üstü düşüm etkisinin geometrik gösterimi, (b) Odaklanmış SAR görüntüsü

Şekil 4. 27(a)’da aracın yandan görüntüsü ve SAR verisindeki odaklı görüntüsü beraber verilmiştir. Şekilde aracın yan tarafındaki eğimin, arkadan öne doğru azaldığı ve bu etkinin SAR görüntüsünde de net bir şekilde olduğu görülmektedir. Ayrıca elde edilen SAR imajından araca ait yansıtıcı merkezlerin tespiti de yapılabilmektedir. Zira şekil 4.27(b)’de aracın alt kısmına ait yansımaların, tekerlek kısmında kaybolduğu net bir şekilde anlaşılmaktadır. Araca ait teknik çizim

tablosunda, iki teker arası mesafenin yaklaşık 2.4 m olduğu verilirken, odaklanmış SAR görüntüsündeki 13.6 m’de ki yansımanın 2.4 m genişliğinde olduğu ölçülmüştür. Elde edilen SAR imajı sayesinde aracın geometrik yapısı net bir şekilde tespit edilebildiğinden bu çalışma, üste düşüm etkisinden faydalanılarak araç tanımlama yapılabileceğine dair ön sonuçları sunmaktadır.

#### 4.3.1.4 Uygulama 4: MEÜ Mühendislik fakültesi otoyolu

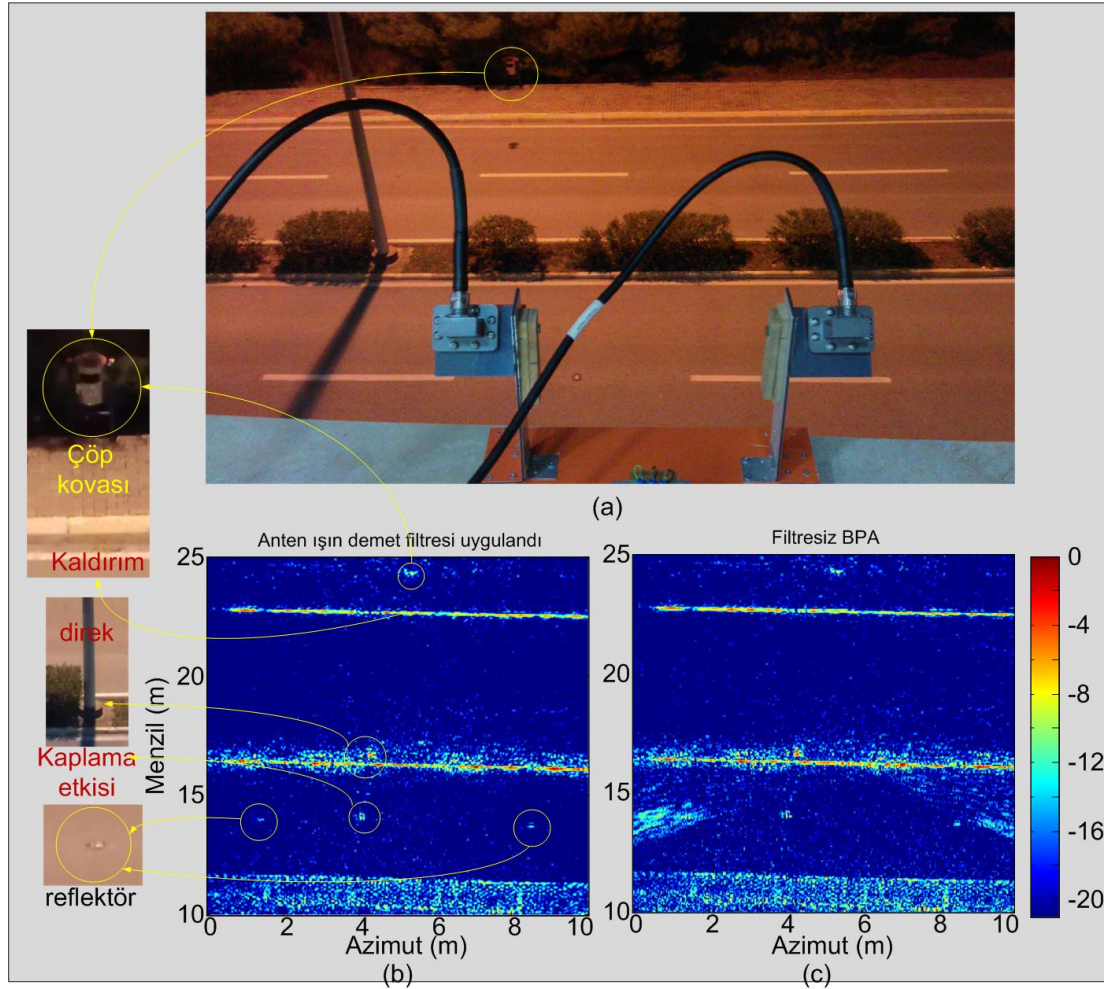
Bu uygulama mühendislik fakültesi balkonunun batı güzergahı boyunca gerçekleştirildi. Deney parametreleri tablo 4. 9’da verildiği şekilde seçilerek 10 m boyunca radar geri saçılma verileri toplandı. Elde edilen veri hem standart BPA ile hem de geliştirilen filtreli BPA ile odaklandı. Şekil 4. 28(a)’da deney esnasında çekilen otoyolun fotoğrafı görülmektedir. Şekil 4. 28(b)’de filtrelenmiş BPA sonucu odaklanmış YT-SAR datası verilirken, şekil 4. 28(c)’de filtresiz geleneksel BPA sonucu odaklanmış imaj görülmektedir.

Tablo 4. 9. Otoyol YT-SAR deney parametreleri

C-Bant YT-SAR parametreleri			
Parametre	Notasyon	Birim	Değer
Başlangıç frekansı	$F_{start}$	GHz	4.5
Bitiş frekansı	$F_{stop}$	GHz	6
Adım frekans sayısı	M	-	301
Sentetik açıklık uzunluğu	$L_s$	Metre	10
Sentetik açıklık veri toplama sayısı	N	-	200
Hedeflerin menzil aralığı	$R_0$	Metre	12 – 22
Menzil çözünürlüğü	$\delta_x$	Metre	0.05
Azimut çözünürlüğü aralığı	$\delta_y$	Metre	0.034 – 0.063
Antenin yerden yüksekliği	$Z_n$	Metre	9

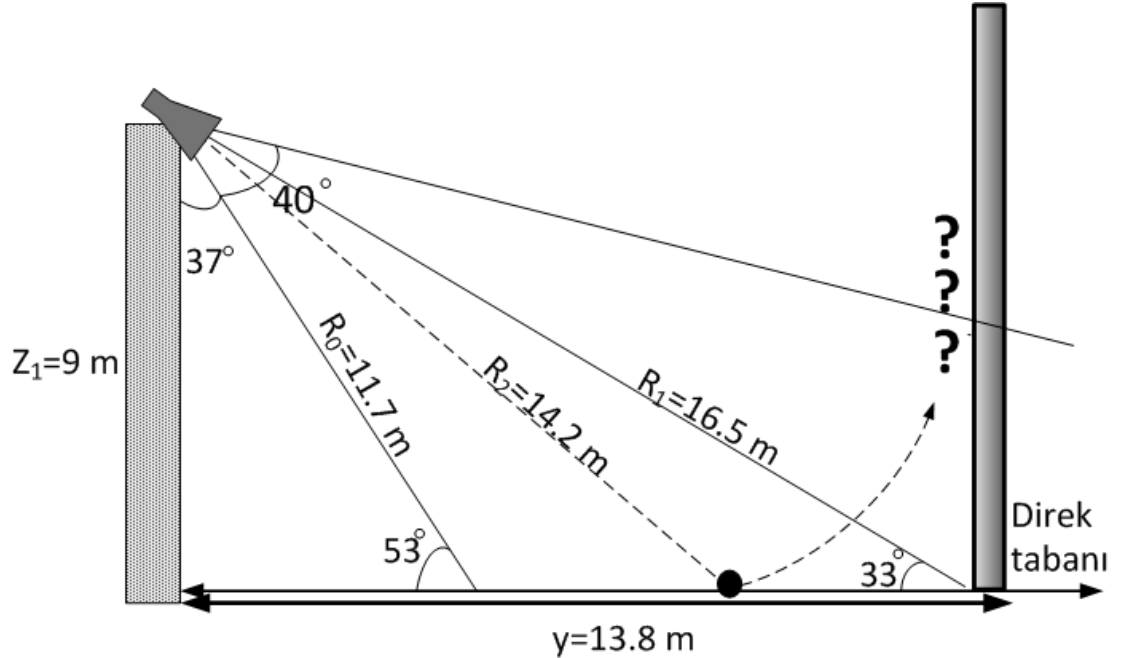
Bu uygulama sonucunda bir çok farklı bulgudan bahsetmek mümkündür. İlk olarak şekil 4. 28’e dikkat edildiğinde, odaklanmış SAR görüntüsünde sağa doğru bir rotasyon görülmüştür. Taramaya başlanan nokta için, yolun karşı kaldırımının

uzaklığı 22.88 m ölçülürken, 10 m sonra aynı kaldırımın uzaklığı 22.48 m olarak ölçülmüştür. Tarama yapılan balkon duvarı sıfır eğime sahip olduğu için, bu sonuç yolun eğimli olduğunu göstermektedir. Nitekim 10 m'lik uzunlukta 40cm'lik bir değişim, yolun yaklaşık 2.3°'lik bir eğime sahip olduğunu göstermektedir. Ayrıca şekil 4.28(b) ve (c)'de menzil yönünden yaklaşık 10 ile 12 m'lik kısımdak kaldırı, otoyola kıyasla daha yoğun şiddetli görüntülenmiştir. Çünkü sentetik açıklık hattının hemen altında bulunan yaya yoluna düşen EM dalga açısı, otoyola düşen EM dalga açısından daha yüksek olduğundan, mekanik olarak geri yansıma sinyal şiddeti de o nisbette fazla olmuştur.



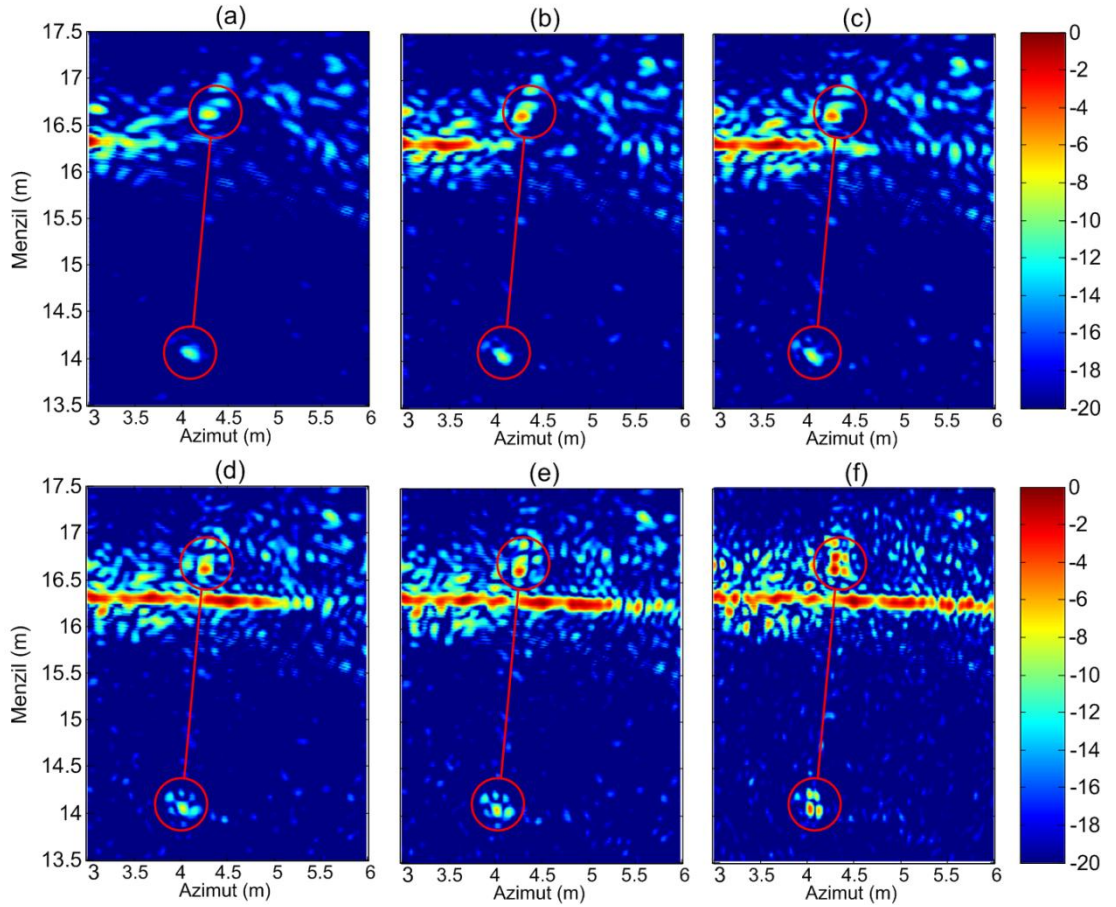
Şekil 4. 28. MEÜ Mühendislik Fakültesi otoyol deneyi; (a) Deney esnasında taranan bölgenin fotoğrafı, (b) Filtrelenmiş BPA ile odaklanmış YT-SAR verisi, (c) Filtresiz BPA sonucu odaklanan YT-SAR verisi

Şekil 4. 28(b) ve (c)' ye dikkat edilirse, filtreli BPA sonucu oluşan imaj, filtresiz sonuçla kıyaslandığı takdirde, otoyolun alt bölümünde oldukça bozucu bir gürültü kendisini göstermektedir. Anten ışın demet genişliği kadar bir fitler açısı algoritmaya dâhil edildikten sonra elde edilen ve şekil 4. 28(b)'de verilen görüntüde, tüm bozucu etkiler temizlenmiş ve diğer hedeflerden herhangi bir veri kabı olmamıştır. Bu filtreleme sonrası otoyolun tam ortasında, her 8 m de bir yerleştirilen ve araçlar için gece vaktinde de yolun ortasını bildiren reflektörler de görülmüş ve bu yansımaların reflektörlere ait olduğu, bölüm 3.2.9'da önerilen metotla doğrulanmıştır. Boyutları çok küçük olan bu reflektörlerin filtrelenmiş BPA sonrası daha net bir şekilde görülmesi, kullanılan YT-SAR sisteminin başarısını göstermektedir. Yol boyunca kaldırım taşının etkisinin kesintisiz bir biçimde görülüyor olması ve özellikle yolun üst kısmında bulunan çöp tenekesinden alınan geri saçılım sinyalinin belirgin bir şekilde odaklanması, değişken menzil mesafelerinde dahi algoritmanın mükemmel çalıştığının bir göstergesidir. Ayrıca yolun orta kısmı, bitki örtüsü ile dolu olduğu için, 10 m boyunca yolun orta kısmı gürültülü bir şekilde görüntülenirken, çöp tenekesinin bulunduğu yolun üst kısmı, tamamen kaldırımdan oluştuğu için temiz bir görüntü elde edilmiştir.



Şekil 4.29. Üste düşüm etkisinin geometrik gösterimi; Otoyolda bulunan elektrik direğinden kaynaklı üste düşüm etkisinin anlaşılabilmesi için, tarama geometrisinin grafiksel gösterimi.

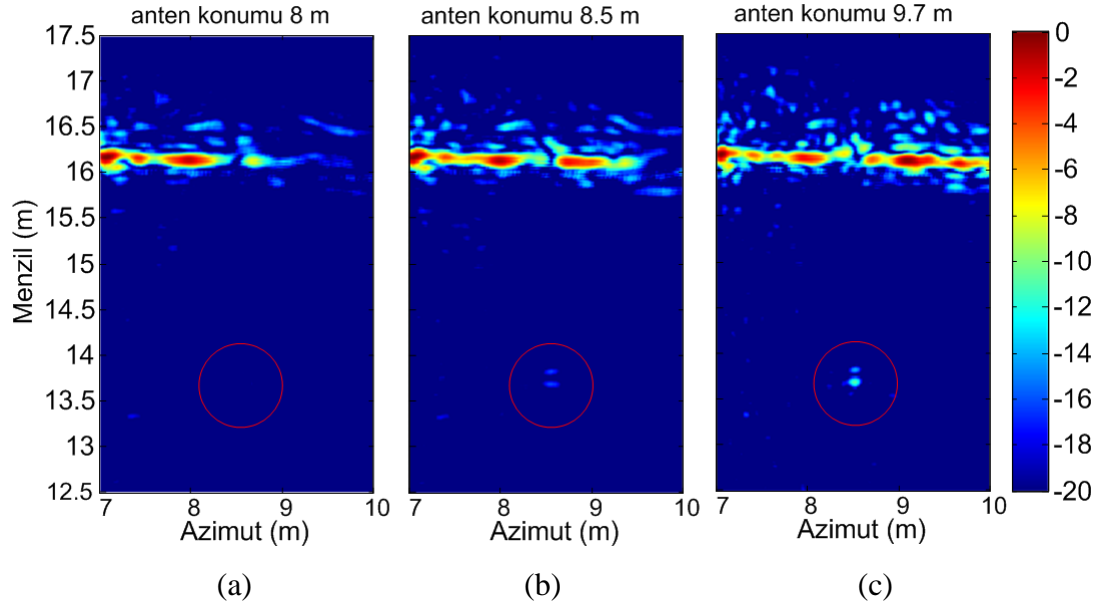
Bir diğer bulgu ise, yolun ortasında konuşlandırılmış elektrik direğinden kaynaklı olması muhtemel üste düşüm etkisidir. Şekil 4.28(b)'de görüldüğü gibi, orta refüjde bulunan direğin tabanından alınan yansıma tam olarak doğru yerinde görülürken, direk ile aynı azimut koordinatında bulunan fakat menzil de yaklaşık  $14.2\text{ m}$ 'de görülen başka bir yansıma bulunmaktadır. İlk kez bu tezde önerilen bölüm 3.2.9'da verilen denklem 3. 34'e göre, bu yansımanın çözümü incelenebilir. Şekil 4.29'da görüldüğü üzere  $9\text{ m}$  yüksekliğe sahip platform için  $\alpha = 37^\circ$  lik bakış açısıyla  $R_1 = 16.5\text{ m}$  olarak ölçüldüğünden,  $y_1 = 13.8\text{ m}$  olarak hesaplanır.  $\theta = 40^\circ$  için  $\beta = 90 - 40 - 10 = 13^\circ$  olarak bulunur.



Şekil 4. 30. Üste düşüm etkisinin tespiti için ardı ardına odaklama işlemi; Radar anteninin sentetik açıklıktaki konumları; (a)  $2.5\text{ m}$ , (b)  $3.5\text{ m}$ , (c)  $3.8\text{ m}$ , (d)  $4.3\text{ m}$ , (e)  $5\text{ m}$ , (f)  $6\text{ m}$

Bu değerler,  $y_1(\sqrt{\tan(\beta)^2 + 1})$  ifadesinde yerine yazılırsa sonuç,  $13.8(\sqrt{\tan(13)^2 + 1}) = 14.16$  olarak bulunur. Elde edilen sonuca göre  $R_2 \geq y_1(\sqrt{\tan(\beta)^2 + 1})$  durumu sağlandığından, incelenen yansımanın üste düşüm bozulması olma olasılığı devam etmektedir. Bu nedenle şekil 3. 19'da anlatılan yöntem kullanılarak, 14.2 m'de görülen yansımanın, herhangi bir cisimden kaynaklı olup olmadığı anlaşılabilir. Bunun için, radar anteninin, sentetik açıklıkta her bir ardındaki BPA ile odaklanmış görüntüsü incelenmiştir. Şekil 3. 30(a)'da, anten konumu yaklaşık 2.5 m iken, hem kaldırım yansıması hem de direk taban yansıması ve 14.2 m'deki yansıma aynı anda oluşmuştur. Şekil 3. 30(c), (d), (e) ve (f)'de direk tabanından alınan yansıma ile 14.2 m'de görülen yansımanın eş zamanlı olarak değiştiği ve odaklandığı tespit edilmiştir. Bu bulgular ışığında, 14.2 m'de ki yansımanın, üste düşüm etkisiyle oluştuğu sonucuna varılır.

Önerilen metodun tutarlılığı şekil 4. 28(b)'de verilen imajda,  $x = 8.5 m$ ,  $y = 13.5 m$  de görülen yansımanın aynı prosedüre tabi tutulmasıyla anlaşılabilir. Bunun için, ham SAR verisinin,  $x = 8.5 m$ ,  $y = 13.5 m$ 'yi kapsayan küçük bir bölümü, ardı ardına odaklanarak görüntü, analiz edilebilir. Şekil 3. 31(a)'da verilen imajda, anten 8 m'de iken, 16 m'de ki kaldırım neredeyse tüm azimut hattında oluştuğu halde, 13.5 m'deki yansıma henüz görülmemektedir. Şekil 3. 31(b)'de anten, 8.5 m'ye geldiğinde henüz görülmeye başlanan yansıma, ancak anten 9.5 m konumunda iken tam olarak odaklanmıştır. Elde edilen bu sonuç, bahsedilen yansımanın kesinlikle otoyolda bulunan bir hedefe ait olduğunu ve herhangi bir üste düşüm sonucuyla oluşmadığını göstermektedir. Ayrıca, denklem 3. 35'e göre,  $R_2 = 13.5 m$  olup,  $y_1(\sqrt{\tan(\beta)^2 + 1})$  değeri 14.16 m olarak bulunduğu için  $R_2 < y_1(\sqrt{\tan(\beta)^2 + 1})$  eşitsizliğinin sağlandığı görülür ve bu yansımanın üste düşüm bozulması olmadığı analitik olarak da ispatlanmış olur. Böylelikle önerilen bu yöntemle, YT-SAR görüntüleri hatasız bir şekilde yorumlanabilir.



Şekil 4. 31. Üste düşüm etkisinin tespit edilmesi için yapılan odaklama sonuçları;  $x = 8.5 m$ ,  $y = 13.5 m$ 'de görülen yansıma için radar anteninin sentetik açıklıktaki konumları; (a) 8 m, (b) 8.5 m, (c) 9.7 m

#### 4.3.2 MEÜ Binalarının YT-SAR ile Görüntülenmesi

Bu bölümde verilen ölçümler, önceki bölümde verilen uygulamalara göre daha uzak mesafelerin görüntülenmesini içermektedir. Çoğunlukla bina benzeri yapıların YT-SAR görüntülerindeki etkileri incelenmiştir.

##### 4.3.2.1 Uygulama 1: MEÜ Mühendislik Fakültesi Jeoloji Binası

Bu uygulamada 10 m'lik sentetik açıklık boyunca menzilde 100 m'ye varan mesafelerdeki karasal YT-SAR görüntülerinin elde edilmesi amaçlanmıştır. Fakat kullanılan frekans bandında VNA'nın çıkış gücü maksimum  $-3 dBm$  olup [Antritsu, 2013] bu güç yeterli olmadığından, VNA'nın ara frekansı (intermediate frequency - IF) değeri 20 Hz olarak ayarlandı. Böylelikle VNA her bir adım frekansını çok daha düşük frekanslarla sentezlediğinden ölçüm süresi uzadı ancak dinamik menzil (Dynamic Range) artırıldı. Bunun sonucu olarak, denklem 2. 29(a)'ya göre, algılanacak örtüşmesiz maksimum mesafe arttıkça VNA'nın aynı bant genişliğinde, adım frekans sayısının da artırılması gerektiğinden her bir ölçüm için geçen zaman



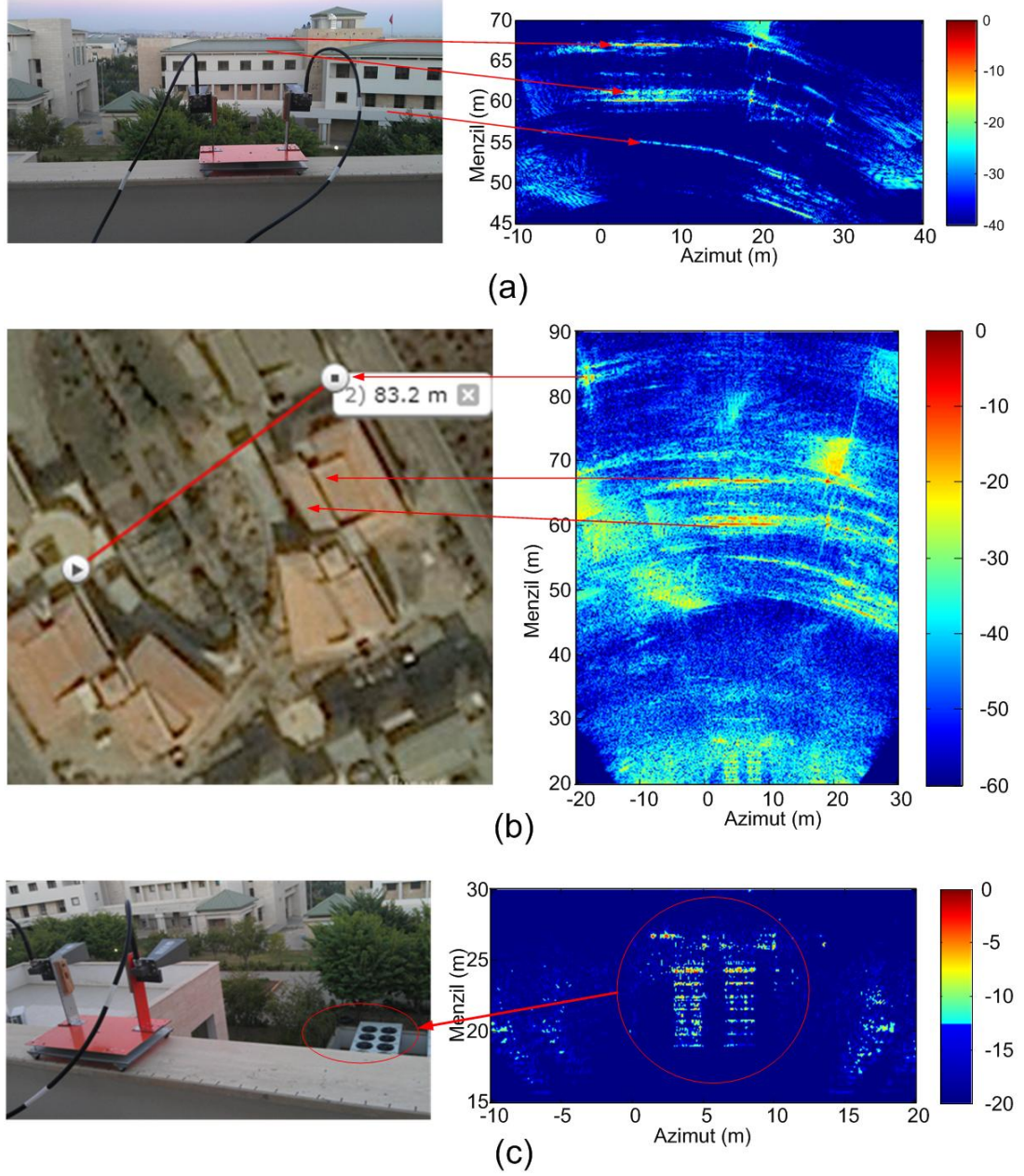
yaklaşık bir dakika sürdü. 10 m'lik sentetik açıklık için her 5 cm'de bir ölçüm alındığından, toplam 200 noktada yapılan bu ölçüm yaklaşık 3 saat kadar sürmüştür. Kullanılan frekans bandında anten demet genişliği ortalama 35° olduğu için azimutta 10 m'lik bir taramaya karşın, uzak mesafelerde 60 m'ye kadar azimut verisine ulaşılmıştır. Yapılan uygulamanın parametreleri tablo 4. 10'da verilmiştir.

Tablo 4. 10. YT-SAR ile binaların görüntülenmesi için, deney parametreleri

<b>C-Bant YT-SAR parametreleri</b>			
<b>Parametre</b>	<b>Notasyon</b>	<b>Birim</b>	<b>Değer</b>
Başlangıç frekansı	$F_{start}$	GHz	5
Bitiş frekansı	$F_{stop}$	GHz	6
Adım frekans sayısı	M	-	651
Sentetik açıklık uzunluğu	$L_s$	Metre	10
Sentetik açıklık veri toplama sayısı	N	-	200
Hedeflerin menzil aralığı	$R_0$	Metre	15 – 80
Menzil çözünürlüğü	$\delta_x$	Metre	0.15
Azimut çözünürlüğü aralığı	$\delta_y$	Metre	0.041 – 0.22
Antenin yerden yüksekliği	$Z_n$	Metre	12

Tablo 4. 10'daki tarama parametrelerine göre gerçekleştirilen YT-SAR uygulamasında diğer deneylerden farklı olarak anten bakış açısı 90° olarak ayarlanmıştır. Böylelikle 0°lik bir alçalış açısıyla, şekil 4. 32(a)'da görüldüğü gibi doğrudan karşı tarafa yönlendirilen antenlerle YT-SAR tekniği uygulanmıştır. Elde edilen ham SAR verisi BPA ile farklı menzil mesafeleri için odaklanmıştır. Şekil 4. 32(a) 45 ile 70 m arasında görüntülenmiştir. Bu görüntüde jeoloji binasının çatısının, üst ve alt kenarlarıyla birlikte, binaya ait eğimli balkonun yansıması net bir şekilde anlaşılmaktadır. Ayrıca binaya ait köşeli yapılardan alınan şiddetli yansımalar parlak bir şekilde kendisini göstermektedir. Şekil 4. 32(b)'de ise, jeoloji binasının uydu fotoğrafıyla birlikte, elde edilen YT-SAR görüntüsü birlikte verilmiştir. Bu şekilde özellikle antenin bulunduğu nokta ile 83.2 m uzaklıkta bulunan makine mühendisliği binasının köşesinden alına yansımanın konumu uydu fotoğrafıyla

birebir örtüşmektedir. Ayrıca 10 m'lik bir tarama geometrisiyle, 80 m menzilde, 50 m'lik bir azimut görüntüsü elde edilmiştir.



Şekil 4. 32. Jeoloji bölüm binasının fotoğrafı ve YT-SAR görüntüsü; (a) Çatı ve balkon yansımalarının 40 dB'lik görüntüsü, (b) Uydu fotoğrafıyla birlikte jeoloji binasının YT-SAR görüntüsü, (c) Elektrik Elektronik mühendisliği binasının merkezi soğutma sisteminin fotoğrafı ve YT-SAR görüntüsü

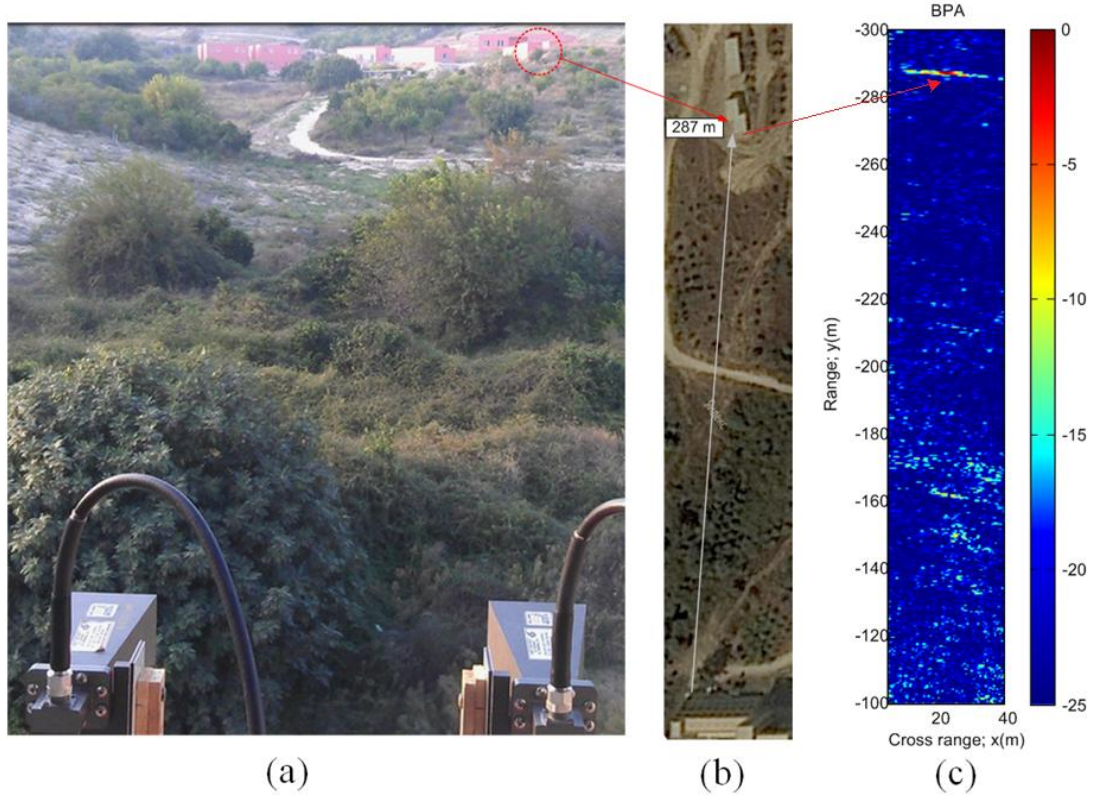
Şekil 4. 32(c)'de ise, YT-SAR tekniğinin gerçekleştirildiği binaya ait olan, soğutma sistemi 20 ile 25 metre arasında kendini göstermektedir. Lazer göstergesiyle yapılan

mesafe ölçümleri, SAR görüntülerinde elde edilen sonuçlara uyuşmaktadır. Antenler her ne kadar, doğrudan karşı tarafa yönlendirilmiş olsalar da, 20 m menzilde, anten demet genişliği, antenin yüksekliğini telafi ettiğinden, yer yüzeyine ait nesnelere de YT-SAR görüntüleri elde edilmiştir.

#### 4.3.2.2 Uygulama 2: MEÜ Hayvan Barınağı

Mühendislik fakültesi doğu güzergahında gerçekleştirilen YT-SAR uygulamasından sonra çok daha uzak hedeflerin YT-SAR imajları elde edilmeye çalışılmıştır. Kullanılan VNA'nın 3 – 6 GHz bandında maksimum çıkışı gücü  $-3 \text{ dBm}$  seviyesinde olduğundan, 400 m menzil mesafesinde bulunan bir hedeften geri saçılan ve anten tarafından algılanan güç  $-80 \text{ dBm}$  seviyelerine kadar düştüğünden VNA'nın IF bant genişliği 20 Hz'den 10 Hz'e düşürülmüştür. Şekil 4. 33'de fotoğrafı ve uydu görüntüsü verilen hayvan barınağının tespiti için, Mersin Üniversitesi Teknopark binası birinci katının batı bölümünde SAR taraması gerçekleştirilmiştir. YT-SAR görüntüsü çıkarılacak olan yapının genişliği 5 m civarında olduğu için, kullanılan frekans bandına göre 400 m mesafede bulunan hedefler denklem 2. 31'e göre yakın alan bölgesinde bulunmaktadır. Örtüşmesiz menzil mesafesinin sağlanabilmesi için VNA, frekans bandı 5.7 ile 6 GHz arasında 801 adımda değişecek şekilde ayarlandı. VNA'nın IF bandı en düşük seviyeye ayarlandığı için, her bir ölçüm süresi yaklaşık 2.5 dakika sürdüğünden, 2.4 m lik bir sentetik açıklık her 6 cm'de bir ölçüm yapılmak kaydıyla toplamda 40 adımda tarandı. Böylelikle  $801 \times 40$ 'lık bir YT-SAR verisi yaklaşık 2 saatlik bir süre sonunda elde edildi.

Bu parametreler için maksimum menzil 400.5 metre olarak hesaplanırken menzil çözünürlüğü denklem 2. 26'ya göre 0.5 metre, 287 metre mesafe için çapraz menzil çözünürlüğü ise denklem 2. 27'ye göre 3.06 metre olarak hesaplandı. Tarama yapılan bölgede bulunan binaya ait köşeli yapı şekil 4. 33(b)'de görüldüğü gibi sentetik açıklık güzergahının 30 m sağına düşmektedir. Ancak anten ışın demetinin içine girdiği için, şekil 4. 33(c)'de tam olarak doğru konumunda tespit edilmiştir. Şekilde görülen SAR imajı, tam bir açıklık boyunca taranamadığı için, düşük çözünürlüklü olarak görüntülenmiştir.



Şekil 4. 33. Mersin Üniversitesi hayvan barınağı YT-SAR görüntüsü, (a) Tarama esnasında alınan bölgenin fotoğrafı, (b) Uydu fotoğrafı, (c) BPA ile odaklanmış YT-SAR görüntüsü

#### 4.3.2.3 Uygulama 3: MEÜ Mimarlık fakültesi güney güzergâhı

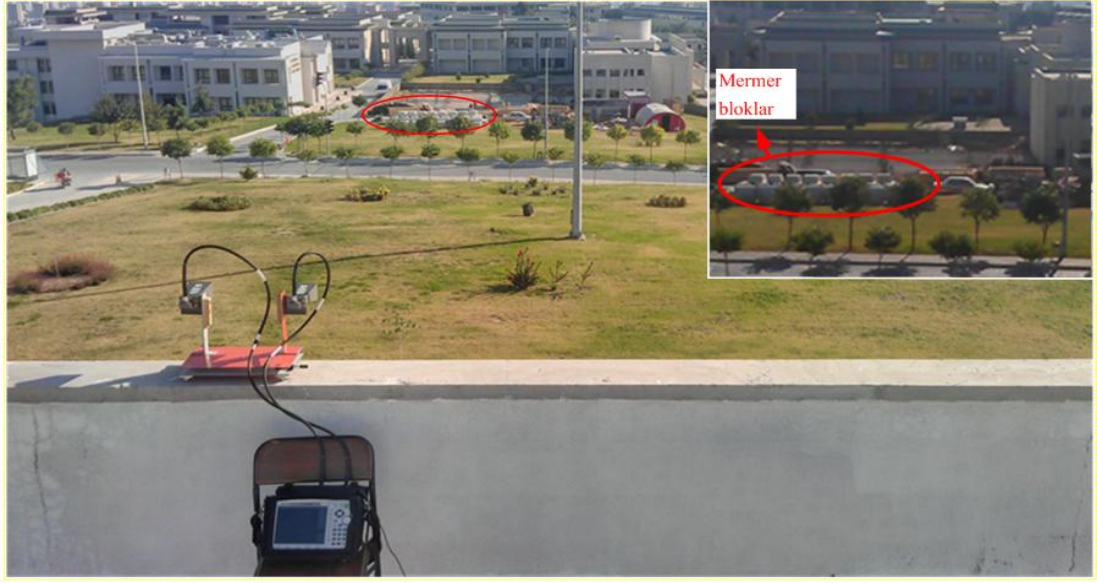
Deney parametreleri tablo 4. 11’de verilen uygulama, Mersin Üniversitesi Mimarlık Fakültesi balkonunda gerçekleştirildi. VNA’nın IF bant genişliği 20 Hz olarak ayarlandı. Şekil 4. 35’de görülen başlama ve bitiş noktaları arasında yerden 15 m yükseklikteki fakülte balkonunda gerçekleştirilen deneyde, yapay açıklık mesafesi 15 m olarak belirlendi. Her 5 cm’de bir veri almak kaydıyla toplamda 311 farklı noktada geri saçılım verisi toplandı. Menzil yönünde yaklaşık 250 m’lik bir bölge ile çapraz menzilde 120 m’lik bir bölge görüntülediğinden, tüm bölgenin SAR görüntüsü şekil 4. 34(c)’de verilmiştir. Şekil 4. 34(b)’de, odaklanmış SAR imajı, transparan bir şekilde, uydu fotoğrafı üzerine giydirilerek, yansımaların kaynakları tespit edilmiştir. Ancak bu tür bir görüntüleme çok geniş bir alanı kapladığı ve hedeflenen bölge, yapı itibariyle çok fazla saçıcı içerdiği için, ham SAR datası parçalı olarak tekrar görüntülenerek, yüksek çözünürlüklü imajlar elde

edilmiştir. Şekil 4. 34(a)'da verilen fotoğraf, perspektif bir görüntüye sahip olduğu için şekil 4. 35'de her bir bölge uydu fotoğrafı üzerinde işaretlenerek, odaklanmış SAR görüntüsü yanına eklenmiştir.

Tablo 4. 11. MEÜ Mimarlık Fakültesi YT-SAR uygulama parametreleri

C-Bant YT-SAR parametreleri			
Parametre	Notasyon	Birim	Değer
Başlangıç frekansı	$F_{start}$	GHz	5.7
Bitiş frekansı	$F_{stop}$	GHz	6
Adım frekans sayısı	M	-	501
Sentetik açıklık uzunluğu	$L_s$	Metre	15.05
Sentetik açıklık veri toplama sayısı	N	-	311
Hedeflerin menzil aralığı	$R_0$	Metre	10 – 250
Menzil çözünürlüğü	$\delta_x$	Metre	0.5
Azimut çözünürlüğü aralığı	$\delta_y$	Metre	0.045 – 0.43
Antenin yerden yüksekliği	$Z_n$	Metre	12

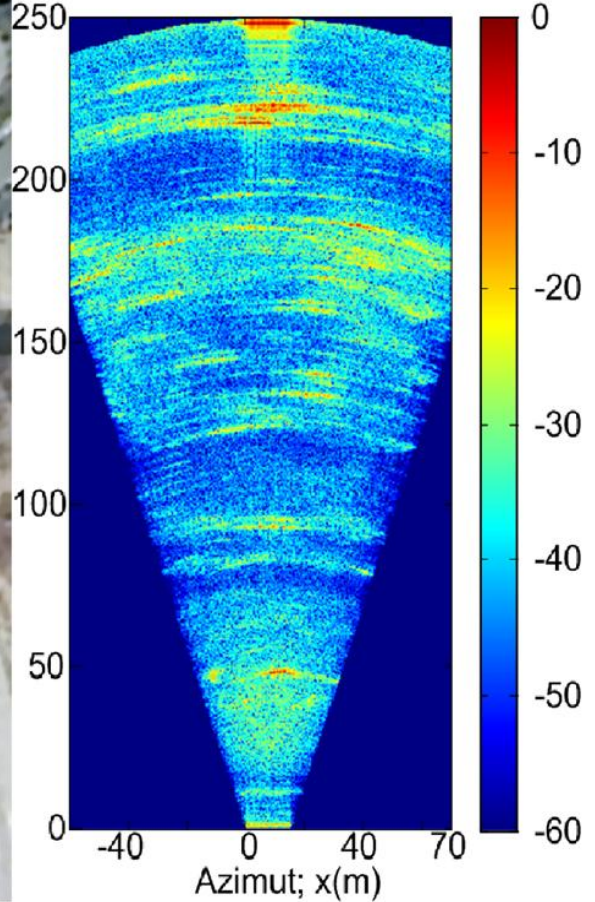
Şekil 4. 34(a)'da görülen bayrak direğinin yansıması, şekil 4. 35'de ve 4. 36(a)'da aynı bölgede görülmektedir. Yaklaşık 47 m'de bulunan direk için azimut çözünürlüğü 18 cm iken direğin olduğu noktadaki odaksız görüntünün sebebi direğin hareketinden kaynaklanmaktadır. Rüzgârlı bir havada yapılan uygulamada, rüzgârla birlikte sallanan direk, her bir veri alımı esnasında hareketli olduğundan, şekildeki gibi odaksız bir etki oluşmuştur. Şekil 4. 35'de görülen imajdaki bir diğer bulgu ise, yüzeye ait yansıma sinyallerinin, yüzey hakkında bilgi vermesidir. Zira şekil 4. 35'de görüldüğü gibi, 15 m yükseklikten yapılan tarama sonrası, EM dalganın yere temas ettiği nokta şiddetli bir şekilde kendisini göstermiştir. Bunun aksine olarak, hem şekil 4. 35(a)'da hem de şekil 4. 36(b)'de 60 m ile 90 m arasındaki menzilde, yer yüzeyi otoyola doğru eğimli bir yapıda olduğundan, radar görüntüsünde eğimli bölgeden herhangi bir geri yansıma sinyali alınmamıştır. Şekil 4. 34(c)'de verilen aynı menzil aralığındaki yansısız bölgeden de bu sonuca ulaşılmaktadır.



(a)



(b)

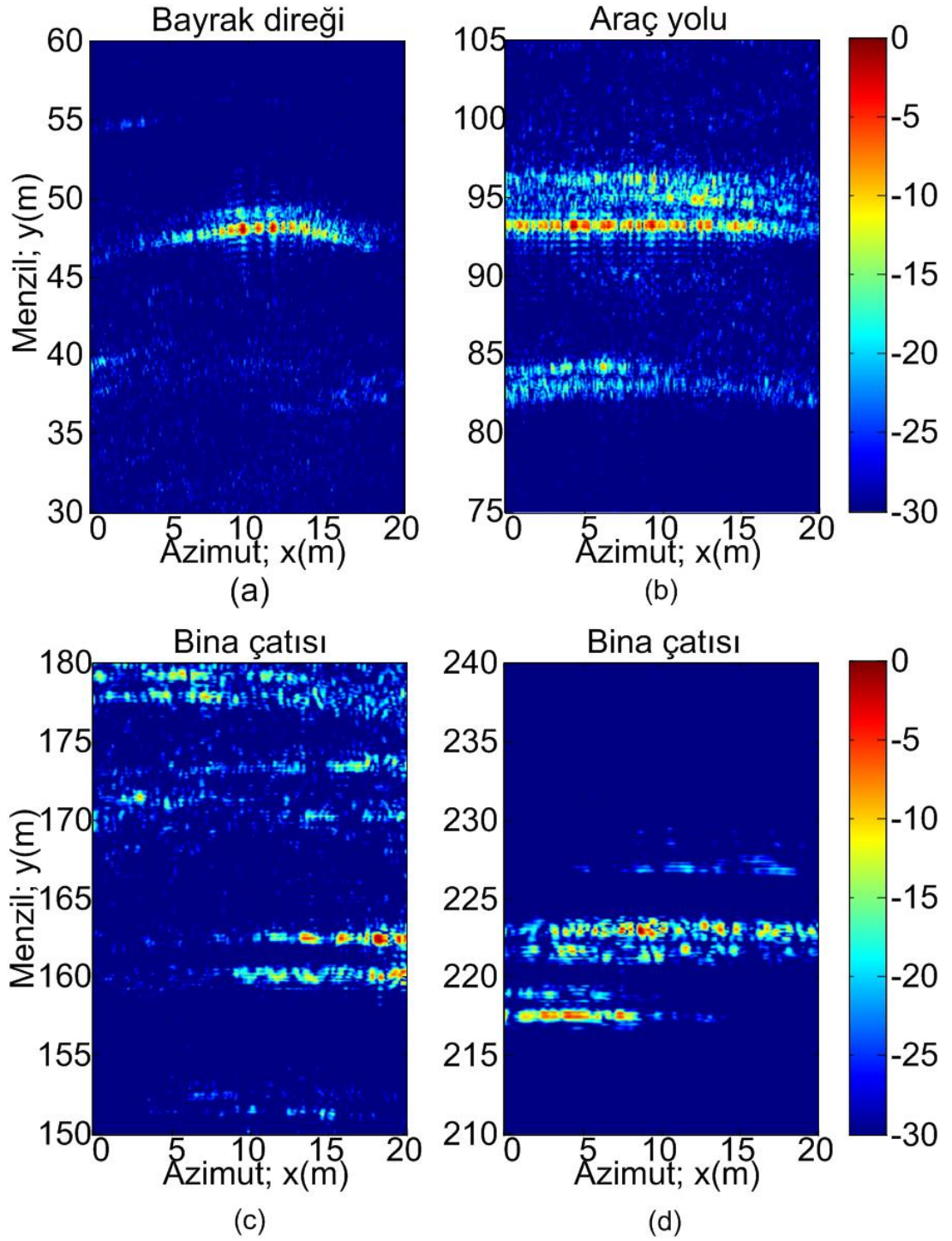


(c)

Şekil 4. 34. Mersin Üniversitesi mimarlık fakültesi; (a) Balkonun güney güzergâhının fotoğrafı, (b) Uydu fotoğrafı üzerine eklenmiş SAR görüntüsü, (c) Odaklanmış YT-SAR verisi



Şekil 4. 35. Mersin Üniversitesi Mimarlık Fakültesi güney güzergâhı; (a) Uydu fotoğrafı üzerine bindirilmiş odaklanmış YT-SAR imajları, (b) Uydu fotoğrafı



Şekil 4. 36. MEÜ Mimarlık Fakültesi güney güzergâhı odaklanmış SAR sonuçları; (a) bayrak direğinin SAR görüntüsü, (b) Araç otoyolu SAR görüntüsü, (c) 160 m'deki binanın çatısına ait SAR görüntüsü, (d) 210 m'deki binanın çatısından saçılan yansımaya ait SAR görüntüsü



Şekil 4. 34(a)'da görülen otoyolun kuzey ve güney sınırları, şekil 4. 36(b)'de net bir şekilde görülürken, güney sınırındaki bitki örtüsü ve kaldırım taşı kaynaklı yansıma şiddetleri de 15 m lik azimut hattı boyunca net bir şekilde görülmektedir. Şekil 4. 35'de verilen görüntü, uydu fotoğrafı [Yandex, 2013] olduğundan, bölgedeki güncel faaliyetler görülmektedir. Şekil 4. 34(a)'da ki görüntü, deney esnasında çekilen bir fotoğraf olduğundan, radar imajındaki tüm tepkiler bu fotoğrafa göre yorumlanmalıdır. Buna göre menzilde 120 m ile 180 m arasında devam eden inşaattan ötürü, araç otoparkının hemen önünde yerleştirilen mermer bloklar, şekil 4. 35'de 125 m ile 130 m arasında görülmektedir. Ayrıca yine uydu fotoğrafında görülmeyen, ama bölgede bulunan inşaat malzemeleri 180 ile 210 m arasında algılanmıştır. Bununla birlikte Fen Edebiyat fakültesinin 217 ve 220 m menzillerinde bulunan çatı yansımaları, şekil 4. 36(d)'de çözünürlüklü olarak görüntülenmiştir. Yapılan bu uygulamada dikkate çarpan en önemli nokta, binalar ait taban yansımalarının algılanamamasıdır. Normal şartlar altında, bina benzeri yapıların hem çatı kenarlarından hem de yer ile birleşim noktalarında alınan yansımalar, radar imajında algılanırken, yapılan uygulamada bu şekilde bir tepkiye rastlanmamıştır. Bunun sebebi çatıdan yansıyan sinyallerinin, taban sinyallerini bastırmasıdır. Zira şekil 4. 34(a)'da görüldüğü gibi, fakülte binalarının çatı bağlantı noktaları köşeli bir geometriye sahip olduğunda, bu bölgeler köşe yansıtıcı gibi davranmakta ve kendisine gelen sinyali çok yoğun bir şekilde geri yansıtmaktadır.

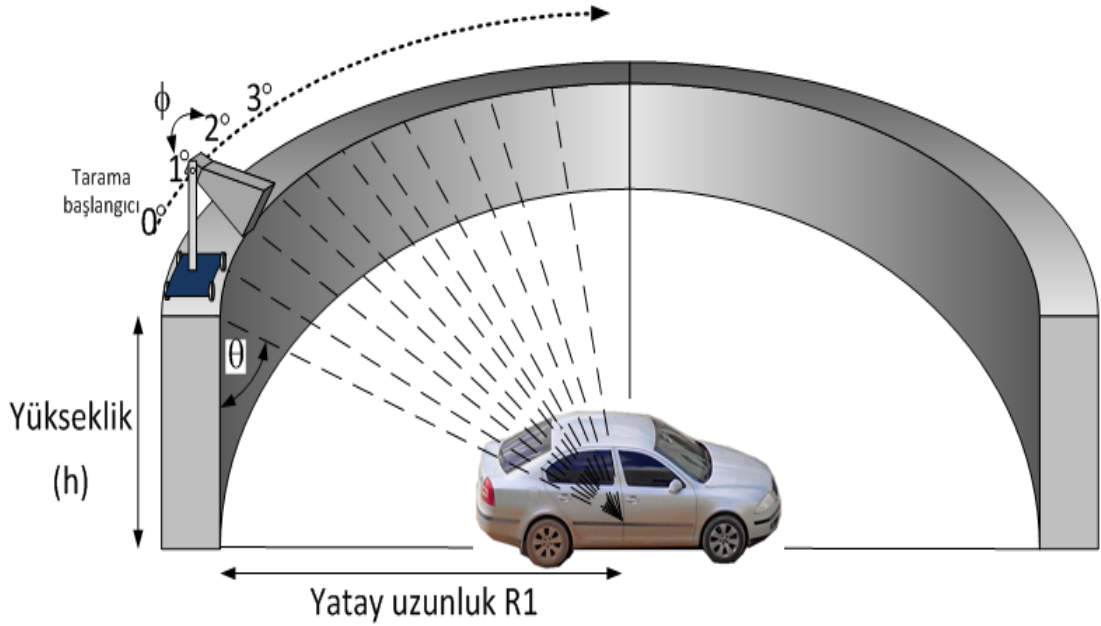
#### 4.3.3 MEÜ Güzel Sanatlar Fakültesi CSAR Uygulamaları

Son yıllarda geliştirilen Dairesel SAR (CSAR) tekniğinde radar platformu doğrusal bir hat yerine, dairesel bir hat boyunca sabit bir bölgeyi EM olarak aydınlatırken, hedeflenen bölgeden saçılan geri yansımaları toplamak kaydıyla, hedeflerin yüksek çözünürlüklü SAR görüntüsünü oluşturur. Bu çalışmada YT-CSAR tekniği, Mersin Üniversitesi güzel sanatlar fakültesinin dairesel yapısından faydalanılarak, farklı hedefler ve tarama geometrileri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Şekil 4. 37'de CSAR uygulamasının geometrik olarak gösterimi verilmektedir. Tarama yapılan yapının yerden yüksekliği 9.54 m ve yarı çapı da 21.9 m olarak lazer göstergesiyle hassas bir şekilde ölçülmüştür. Şekil 4. 38(a)'da güzel sanatlar

fakültesinin uydu fotoğrafı ve dairesel yapısı görülmektedir. Bu geometrik yapıdan faydalanılarak üç farklı deney gerçekleştirilmiş, bunlardan ilk ikisi farklı tarama açılarıyla taranan octavia model araçla, üçüncüsünde bekho model kepçe ile yapılmıştır.

#### 4.3.3.1 Uygulama 1: Binek tipi araç 171°'lik tarama

CSAR tarama parametreleri tablo 4. 12'de verilen uygulama gerçekleştirilirken, şekil 4.36'da verildiği gibi, araç dairesel yapının tam ortasına park edildi. Yerden 9.5 metre yükseklikte bulunan antenler 66.5°'lik bir açıyla araca doğru yöneltildi. Böylelikle araç 23.5°'lik bir alçalış açısıyla EM olarak aydınlatıldı.

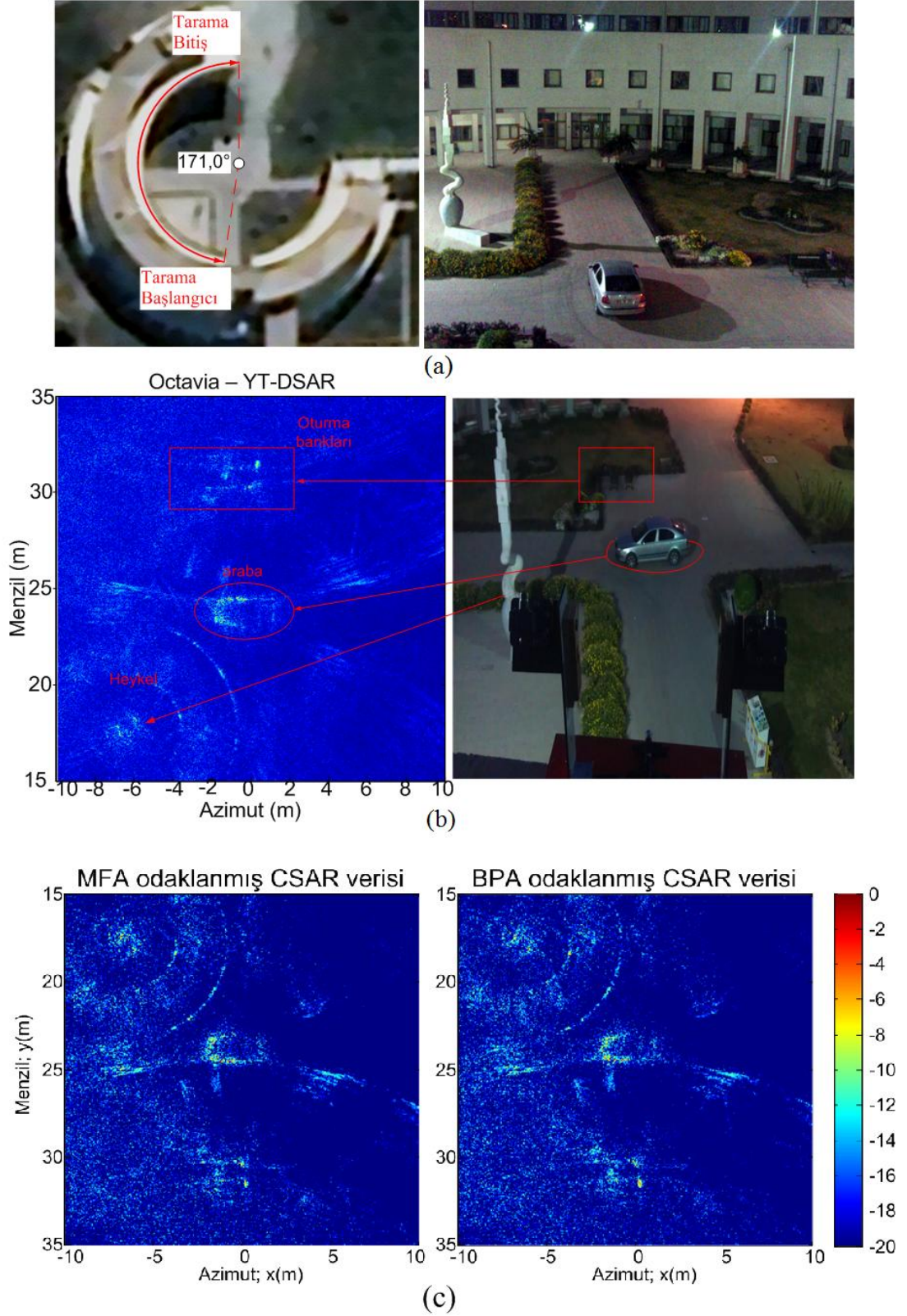


Şekil 4. 37. Dairesel YT-SAR geometrisi

Tablo 4. 12. Dairesel SAR tarama parametreleri

C-Bant CSAR parametreleri			
Parametre	Notasyon	Birim	Değer
Başlangıç frekansı	$F_{start}$	GHz	4.5
Bitiş frekansı	$F_{stop}$	GHz	6
Adım frekans sayısı	M	-	501
Toplam tarama alanı	$\varphi$	Derece	171
Tarama alanı adım sayısı	N	-	621
Tarama alanının yarıçapı	$R_1$	Metre	21.9
Antenin yerden yüksekliği	$Z_n$	Metre	9.54
Aracın boyutları	Uzunluk - Genişlik	Metre	4.57 – 1.78
Radar ayak izi	Çap	Metre	12

CSAR uygulaması için tarama başlangıç ve bitiş noktası şekil 4. 38(a)'da verildiği şekilde seçilerek, toplamda  $171^\circ$  lik bir geniş açıda toplam 621 noktada, radar geri saçılım verisi toplandı. Elde edilen CSAR verisi, bölüm 3.2.6'da anlatılan tekniklerle odaklanarak, hedeflenmiş bölgenin ve aracın 2D YT-CSAR görüntüsü Şekil 4. 38(b)'de görüldüğü şekliyle elde edildi. Bununla beraber Şekil 4. 38(a)'da görülen mermer heykele ait yansımalar, üste düşüm ektisinden dolayı, dairesel halkalar şeklinde SAR imajında görülmektedir. Şekil 4. 38(b)'de ise aracın ön kısmı net bir şekilde elde edilirken, arka kısmının tam olarak odaklanamadığı görülmektedir. Bunun nedeni  $171^\circ$  lik tarama geometrisinden kaynaklanmaktadır. Bu sebeple bir sonraki uygulama daha geniş bir tarama açısıyla gerçekleştirilmiştir. SM-SAR tekniğinde kıyaslanan BPA ve MFA'nın CSAR verisindeki performansları, şekil 4. 38(c)'de ki sonuçlar incelenerek anlaşılabilir. Şekilde verilen, MFA ve BPA ile odaklanmış CSAR verisi kıyaslandığında aralarında neredeyse hiç fark olmadığı görülmüştür. Sadece, aracın sağında bulunan tabureden kaynaklı yansımanın BPA'da biraz daha yoğun olduğu fark edilmektedir. Bu sonuç, bölüm 4.2.1.1'de bulunan sonuçlarla tutarlılık göstermektedir. Bu uygulamada da BPA ile MFA arasında işlem zamanı dışında başka bir fark olmadığı görülmektedir. Zira bu veri BPA ile 21 saniyede işlenirken, MFA ile yaklaşık 15 dakikada işlenebilmiştir.



Şekil 4. 38. YT-CSAR uygulama sonuçları; (a) Uydu fotoğrafı ve deneyde kullanılan aracın fotoğrafı, (b) Araca ait CSAR görüntüsü (doğrusal görüntüleme), (c) MFA ve BPA ile odaklanmış CSAR görüntüsü (Logaritmik görüntüleme)

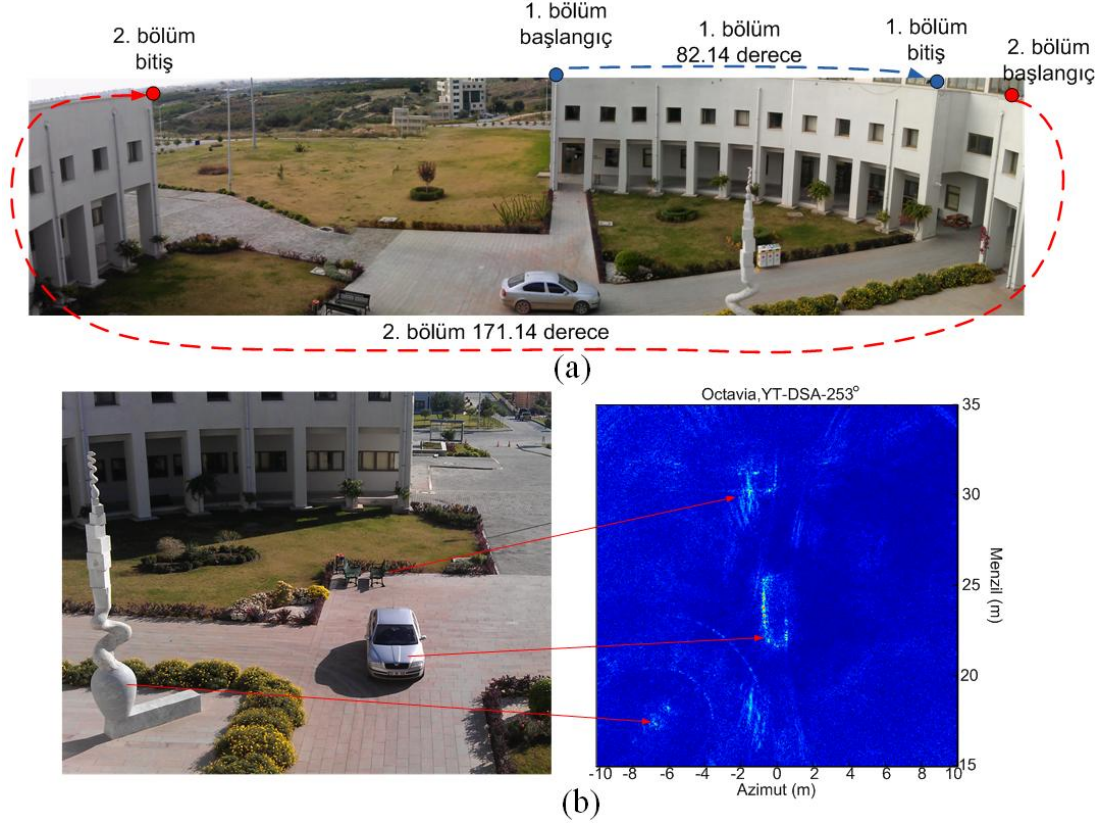
#### 4.3.3.2 Uygulama 2: Binek tipi araç 253°'lik tarama

Bu uygulamada öncekinden farklı olarak aracın ön kısmı doğuya değil, kuzeye bakacak şekilde park edilerek ve 253°'lik tarama geometrisi kullanılarak tablo 4. 13'de verilen radar parametrelerine göre YT-CSAR datası elde edilmiştir.

Tablo 4. 13. Dairesel SAR tarama parametreleri 2.

<b>C-Bant CSAR parametreleri</b>			
<b>Parametre</b>	<b>Notasyon</b>	<b>Birim</b>	<b>Değer</b>
Başlangıç frekansı	$F_{start}$	GHz	4.5
Bitiş frekansı	$F_{stop}$	GHz	6
Adım frekans sayısı	M	-	401
Toplam tarama alanı	$\varphi$	Derece	253
Tarama alanı adım sayısı	N	-	934
Tarama alanının yarıçapı	$R_1$	Metre	21.9
Antenin yerden yüksekliği	$Z_n$	Metre	9.54
Aracın boyutları	Uzunluk - Genişlik	Metre	4.57 – 1.78
Radar ayak izi	Çap	Metre	12

Güzel sanatlar fakültesinin yapısı nedeniyle tam 270°'lik tarama gerçekleştirilememiştir çünkü şekil 4. 39(a)'da verilen fotoğrafta görüldüğü üzere, dairesel yapının yaklaşık 17°'lik bir bölümü 3 m'lik bir iç çıkıntıya sahip olduğu için, tarama iki farklı adımda gerçekleştirildi. İlk olarak 82.14°'lik bir kısım tarandı, daha sonra yaklaşık 17°'lik bir kısım atlanarak 171°'lik ikinci kısım tarandı. MFA doğası gereği, her bir sentetik açıklıktaki menzil profilini görüntülenecek bölge üzerinde topladığından, iki farklı bölgeye ait veriler ardı ardına eklenerek tam bir odaklama işlemi gerçekleştirildi. Şekil 4. 39(b)'de deney fotoğrafıyla birlikte odaklanmış görüntü verilmiştir. Şekil 4. 38(b)'deki YT-CSAR görüntüsü, Şekil 4. 39(b)'deki görüntüyle kıyaslandığında, tarama açısının etkisi açıkça fark edilmektedir. Zira ikinci şekilde aracın neredeyse 270 derecelik kısmı ayrıntılı bir şekilde odaklanmış iken, ilk görüntüde bu etki görülmemektedir.

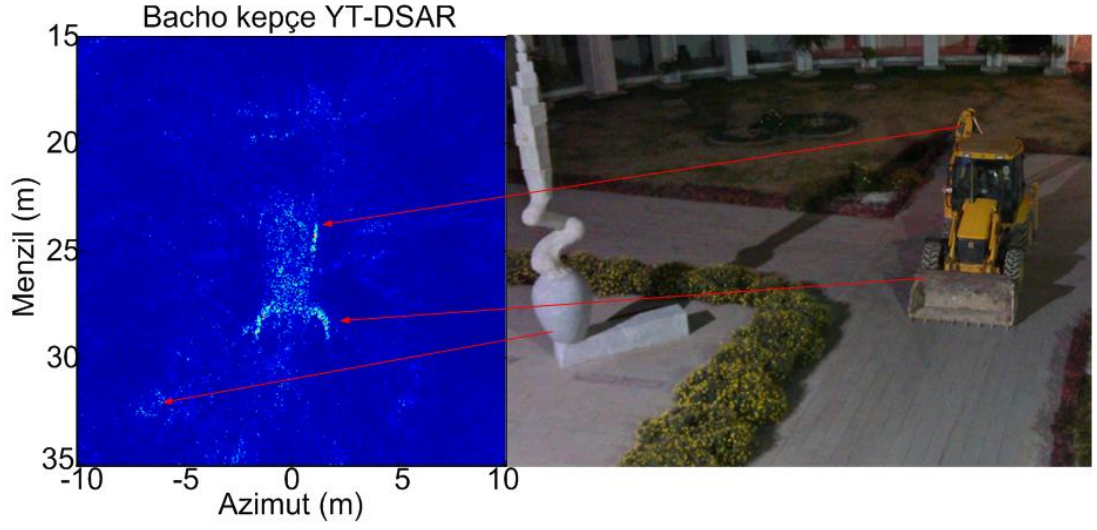


Şekil 4. 39. 253 derecelik CSAR uygulama sonuçları; (a) CSAR deneyi tarama geometrisi, (b) odaklanmış CSAR verisi ve aracın fotoğrafı.

Ayrıca şekil 4. 39(b)'deki odaklanmış CSAR imajında, hem aracın arkasındaki oturma bankları hem de mermer heykelden kaynaklı üste düşüm etkileri, dairesel halkalar şeklinde daha belirgin bir şekilde görülmektedir.

#### 4.3.3.3 Uygulama 3: Bekho model kepçe, 253°'lik tarama

Binek tip araçlara ait, YT-CSAR görüntülerinin başarılı bir şekilde elde edilmesinden sonra, daha kompleks yansıtırlık geometrisine sahip bir aracın odaklanmış YT-CSAR görüntüsünü elde etmek için, 2. Uygulamadaki parametrelerin aynısı kullanılmış ve hedef olarak Şekil 4. 40'da gösterilen bekho model kepçe seçilmiştir.



Şekil 4. 40. Bekho model kepçe için YT-CSAR uygulaması; Deney esnasında çekilmiş fotoğrafı ve odaklanmış YT-CSAR görüntüsü

Tarama sonrası elde edilen bekho model kepçenin odaklanmış YT-CSAR imajı şekil 4. 40'da görüldüğü gibi doğru konumunda elde edilmiş, ancak çok farklı saçıcı noktalarına sahip olan kepçenin çevresi net bir şekilde elde edilmemiştir. Özellikle kepçenin ön kısmı köşeli bir geometriye sahip olduğundan, ön kürek kısmından kaynaklı yansıma şiddeti, CSAR görüntüsündeki diğer yansımaları bastırmış bunun sonucu olarak, kepçenin arkasında bulunana oturma banklarından alınan sinyal şiddeti ve heykelden kaynaklı üste düşüm etkileri perdelenmiştir.

## 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmayla birlikte literatürde çok yeni bir uygulama alanı olan YT-SAR tekniği araştırılmıştır. Bu amaca yönelik olarak yer üstünde hareket edebilen dört farklı prototip imal edilmiş ve özellikleri ayrıntılı bir şekilde bölüm 3.1.1.5’de sunulmuştur. Elde edilen YT-SAR verisinin işlenebilmesi için geleneksel SAR odaklama algoritmaları araştırılarak uzak alan SAR uygulamalarında kullanılan en popüler tekniklerden olan RDA ve CSA’nın implementasyonu gerçekleştirilmiştir. Algoritmalar öncelikle benzetim verileriyle doğrulanmış daha sonra, RADARSAT-1 verisiyle test edilmiştir. Böylelikle ileride yapılması muhtemel uzak alan SAR sistemleri için, gerçekleştirilen algoritmalar bir ön hazırlık hükmüne geçmiştir.

Klasik uzak alan SAR görüntüleme tekniklerinden sonra özellikle yakın alan uygulamalarına sahip YT-SAR tekniği incelenmiş ve bu sistemde kullanılacak yakın alan geniş açılı SAR odaklama algoritmaları araştırılmıştır. Uzak alan dalga yayılım modellerine nispeten, herhangi bir yaklaşım ve sadeleştirmeye müsaade etmeyen ve küresel dalga yayılım modellemesini kullanan yakın alan SAR görüntüleme algoritmalarından, en temel ve doğru sonucu veren ve referans odaklama algoritması olarak nitelendirilebilen MFA geliştirilmiş ve implementasyonu sağlanmıştır. Yapılan testler neticesinde, ideal odaklama performansı ve teorik hesaplamalara çok yakın uzamsal çözünürlük sonuçları sunabilen MFA, işlem hızı bakımından verimsiz olduğundan gerçek YT-SAR verilerine uygulanmamış, ancak diğer algoritmalara referans olarak kıyaslamada kullanılmıştır. MFA’nın işlem hızı noktasındaki dezavantajından ötürü,  $\omega$ -KA ve BPA araştırılarak geniş açılı yakın alan SAR için implementasyonu gerçekleştirilmiştir.

İlk olarak sismik sinyal işlemede kullanılan bir teknik olan ve akustik dalga denklemini kullanarak sismik verileri işlemek üzere geliştirilen  $\omega$ KA, uzamsal çözünürlük ve işlem hızı bakımından oldukça avantajlı bir teknik olduğu tespit edilmiştir. Ancak algoritmanın interpolasyon çekirdeğinde var olan *referans fonksiyon çarpımı* YT-SAR görüntülerinin odaklanmasında bir dezavantaj olarak öngörülmüştür. Genellikle tarama şeridinin orta noktası olacak şekilde seçilen bir menzil için hesaplanan bu fonksiyon, tanımlı menzildeki FM kaynaklı tüm faz



değişimleri için faz bilgisini telafi ederek, referans menzil civarındaki hedefleri doğru bir şekilde odaklarken, bu noktadan uzaktaki hedefleri kısmen odaklayabilmektedir. Klasik uydu veya uçak tabanlı SAR sistemlerinde, yer yüzeyindeki radar ayak izi, anten ışın demet genişliğine göre sabit bir aralıkta kaldığından,  $\omega$ -KA'nın referans fonksiyonu bir kereye mahsus olarak hesaplanmaktadır. Ancak YT-SAR sistemlerinde menzil yönünde çok farklı bölgelerin görüntülenmesinde algoritmanın referans fonksiyonu tekrardan tanımlanarak algoritmanın çalıştırılması gerektiğinden, pratik uygulamalarda kullanışsız olmaktadır. Bunun dışında  $\omega$ -KA, toplanan tüm SAR verisini blok olarak tek seferde işleyebildiğinden, gerçek zamanlı ve paralel işleme müsaade etmeyen ve tüm tarama işleminden sonra veriyi odaklayabilen bir algoritmadır. Bunun sonucu olarak, odaklanan büyük ölçekli SAR verisinin belirli bölgeleri yeni bir pencerede görüntülediğinde, görüntüdeki çözünürlük düşmektedir. Bu olay kısaca, bir resimdeki herhangi bir bölgenin dijital olarak zum yapılmasıyla karşılaşılan olguyla aynı sonucu veren ve zum edilen bölgenin mutlak çözünürlüğünü değiştirmeyen bir işlemdir. Bu nedenden dolayı büyük veri setlerinde, hedeflerin ve bölgelerin belirli parçalarının ayrıntılı bir şekilde incelenmesi pek mümkün olmamaktadır. Son olarak bölüm 4. 3 ve 4. 4'de elde edilen bulgulara göre,  $\omega$ -KA, BPA ile kıyaslandığında ISLR ve SCR değerleri açısından da geri kalmakta olduğu görülmektedir.

BPA ise, sentetik açıklık boyunca her bir kesikli azimut noktasına karşılık gelen, frekans vektörünü ayrı ayrı işlediğinden, 2D blok veri üzerinden değil, 1D menzil profili üzerinden odaklama gerçekleştirmektedir. Böylelikle YT-SAR platformu hareket halinde iken, her bir kesikli sentetik açıklık noktasında elde ettiği veriyi, gerçek zamanlı olarak, görüntülenmesi istenen bölgenin koordinatlarına sahip ızgara üzerine interpolate ederek gerçek zamanlı odaklama sağlayabilir. Ayrıca bu özelliğinden dolayı odaklama prosesi, farklı işlemciler üzerine dağıtılarak, paralel prosese müsaade etmektedir. BPA, tek tek menzil profillerini kullanarak odaklama yaptığından,  $\omega$ -KA gibi herhangi bir referans menzil çarpanına ihtiyaç duymamaktadır. Böylelikle, tek seferde elde edilen bir YT-SAR verisini çok geniş bir menzil penceresinde ayrı ayrı görüntülemek mümkün olmaktadır. Bölüm 4. 4'te bu sonuçlar gösterilmiştir. BPA'nın bir diğer avantajı toplanan ham SAR verisini işlerken, tüm veriyi işleme zorunluluğu olmaması ve verinin belirli parçalarının ayrı

ayrı işlenebilmesidir. Böylelikle büyük veri setlerinde, hedeflenen alanda hususi bir bölgenin yüksek çözünürlüklü SAR görüntüsü elde edilmek istendiğinde, sadece o bölgenin koordinatları üzerine projeksiyon yapılarak görüntüleme gerçekleştirilebilmektedir. Böylelikle her bir alt görüntü penceresi yüksek çözünürlüklü olarak yeniden inşa edilebilir. Bu olay kısaca, bir resimdeki herhangi bir bölgenin dijital olarak zum edilmesi yerine, fotoğraf makinesinin o bölgeyi optik olarak zum ederek yeniden resim haline dönüştürmesiyle ifade edilebilir. Ancak bu uygulama, SAR verisine ait ve teorik olarak hesaplanan çözünürlük değerlerini değiştirmeyip sadece görsel iyileştirme yapmaktadır. Bu gibi üstünlüklerinden dolayı BPA, YT-SAR uygulamalarında rahatlıkla kullanılabilir pratik bir tekniktir.

BPA'nın yukarıda bahsedilen avantajlarının yanı sıra  $\omega$ -KA'ya göre yavaş olması ve doğası gereği her bir menzil profilini görüntülenecek tüm alana yayması sonucu görüntüde oluşan gürültü gibi dezavantajları da mevcuttur. Son yıllarda bu problemlerin çözümüne dair bazı çalışmalar yapılmış [Barrie, 2004; Yegulalp, 1999; Yves, 2008], ve BPA'nın işlem hızı arttırılmıştır. Bu çalışmada bölüm 3.2.1'de sunulan teknikle gerçek SAR verileri üzerindeki standart BPA sonucu oluşan gürültü giderilmiş ve filtreli BPA sonuçları verilmiştir. Şerit harita SAR geometrisine göre uyarlamasını yaptığımız BPA ayrıca eğik mod SAR ve CSAR geometrilerine göre modifiye edilerek, hem benzetim hem de ölçüm sonuçlarıyla tüm SAR modları için uygulanabilirliği ispatlanmıştır.

Laboratuvar koşullarında gerçekleştirilen deneyler sonunda tüm teorik altyapısı tamamlanan YT-SAR görüntüleme teknikleri dış ortamda uzak mesafelerde uygulanarak, YT-SAR ölçüm sonuçlarında karşılaşılan etkiler incelenmiş ve yorumlanmıştır. 3D tarama geometrisi sonucunda oluşan üste düşüm bozulmalarının SAR imajında tespit edilebilmesi için kullanılan mevcut yöntemler dışında, ilk kez yeni bir teknik önerilerek üste düşüm etkisinin tespiti sağlanmıştır. Sunulan teknik, yakın alan küresel dalga yayılım geometrisinden faydalanarak, odaklanmış SAR görüntüsünde şüpheli bölgeyi ardı ardına işlemek kaydıyla, bozulma olup olmadığının tespitini yapmaktadır. Böylelikle, interferometri kullanmadan tek bir tarama ile SAR imajlarındaki üste düşüm etkisi yorumlanmıştır. Bu teknik sayesinde, özellikle otoyol benzeri sabit ve düzgün uzantılara sahip yapıların kenarında bulunan, elektrik direkleri, telefon direkleri ve ağaçlar gibi üste düşüm etkisi oluşturabilecek

bozucu yansımalarla, yollarda bulunması muhtemel diğer objelerden kaynaklı yansımalar tespit edilebilir.

Bu çalışma süresince yapılan tüm uygulamalar VNA ile gerçekleştirildiğinden karşılaşılan en büyük problem, uzak mesafelere yeterli gücün gönderilebilmesi ve veri toplama süresi olmuştur. Bunun başlıca sebebi VNA'nın bir test aleti olup, sahada kullanım için elverişsiz olmasından kaynaklanmaktadır. Ancak günümüz imkânları itibariyle, test ve ölçümlerde çok geniş bir spektrumda uygulama yapabilmek için VNA kaçınılmaz bir cihazdır. Çıkış gücü sınırlı olan bu cihazlara bağlanacak güç yükseltici (power amplifier) ve düşük gürültülü yükseltici (low noise amplifier) ile çıkış gücü problemi aşılabılır. Fakat örtüşmesiz maksimum menzil mesafesi arttıkça ve yüksek çözünürlük ihtiyacı doğdukça, VNA'nın frekans adım sayısının o nispette artırılması gerekmektedir. Bu da çok fazla ölçüm süresi ve büyük ham SAR verisi demektir ki işlem süresini uzatan bir etkidir. Fakat yakın zamanlarda literatüre giren ve sıkıştırılmış algılama (compress sensing) [Joachim, 2010] olarak adlandırılan tekniklerle örnekleme gereksinimlerinin onda biri kadar bir veri toplamayla benzer sonuçlara ulaşılmaktadır. Henüz yeni olan bu konu üzerine gidilerek gerçek YT-SAR verileri için benzer çalışmalar yapılabilir.

YT-SAR tekniğinin çok geniş bir perspektifte incelendiği bu çalışmada özgün olarak;

- ❖ Yeryüzü platformlarına monte edilebilen SAR sisteminin prototipi üretilmiş ve mekâna kayıtlı olmadan birçok farklı yerde YT-SAR verileri elde edilmiştir.
- ❖ Uzak alan SAR görüntülemeye kullanılan RDA ve CSA'nın uyarlaması gerçekleştirilerek benzetim ve ölçüm verileriyle kıyaslanmıştır.
- ❖ Yakın alan YT-SAR görüntülemeye kullanmak üzere MFA,  $\omega$ -KA ve BPA'nın W-bant ve X-bant ölçümleri için performansları birbirleriyle kıyaslanmış ve BPA'nın avantajları bulgusal olarak gösterilmiştir.
- ❖ MFA ve BPA'nın, geniş açılı, şerit-harita SAR (Strip Map-SM-SAR), eğimli SAR (Squint SAR) ve dairesel SAR (Circular- CSAR) uygulamalarına yönelik olarak algoritmaları geliştirilerek, gerçek ölçüm verilerinde uygulanmıştır.

- ❖ BPA için anten ışın demet filtresi geliştirilerek, gerçek karasal YT-SAR verilerinde performansı ve sonuçları gösterilmiştir.
- ❖ Yakın alan geniş açılı YT-SAR görüntülerinde oluşan üste düşüm ve önden kısıalma etkisinin belirlenmesi için yeni bir teknik geliştirilmiş ve gerçek YT-SAR verilerinde başarıyla uygulanmıştır.
- ❖ FOD için, milimetre dalga YT-SAR tekniğinin kullanılabileceği önerilmiş ve deneysel sonuçlarla uygulanabilirliği gösterilmiştir.
- ❖ Mersin Üniversitesi Çiftlikköy Yerleşkesinin 5 farklı bölgesinin yaklaşık 17500 metrekarelik alanında araba, otoyol, kaldırım, elektrik direği, bina, ağaçlar ve balkon katları gibi şehirselle yapıların C-bant YT-SAR görüntüleri elde edilmiştir.
- ❖ CSAR tekniği kullanılarak, binek tipi araçların ve bekho model kepçenin yüksek çözünürlüklü YT-CSAR görüntüsü elde edilerek, görüntü bozulmaları ve sebepleri incelenmiştir.

## **KAYNAKLAR**

- Anritsu VNA, “Master Handheld MS2026C Technical Data sheet” Anritsu Company, USA, (2013)
- Aubry, W. M., R. J. Bonneau, R. D. Brown, E. D. Lynch, M. C. Wicks, R. A. Schneible, A. D. George, and M. A. Krumme. “Airborne Sensor Concept to Image Shallow-Buried Targets”. Proceedings of the IEEE Radar Conference, 233–236, (2002).
- Ausherman, D. A., Adam K., Jack L. W., Harrison M. J., and Enrico C. P., “Developments in Radar Imaging”. IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, AES-20(4):363–400, (1984).
- Barrie G., “Through-Wall Synthetic Aperture Radar (TWSAR) 3D Imaging Algorithm Design”, Defence R&D Canada, Technical Memorandum,1-38, (2004).
- Barton D. K., “Modern Radar System Analysis”, Artech House, 583 s., (1988).
- Belhadj Z. A., Saad, S. El Assad, J. Saillard, and D. Barba. “Comparative Study of Some Algorithms for Terrain Classification using SAR Images”. IEEE International Conference on Acousitcs Speech and Signal Processing, ICASSP94, 165–168, (1994).
- Bennett, J. R. and I. G. Cumming, “A digital processor for the production of Seasat synthetic aperture radar imagery,” Proc. SURGE Workshop, Frascati, ESA-SP-154, (1979).
- Bertl, S., A. Dallinger, and J. Detlefsen, “Broadband circular interferometric millimetre-wave ISAR for threat detection”, Advances in Radio Science, (5): 147-151, (2007).
- Brown S.C.M., Quegan S., Morrison K., Bennett J.C., Cookmartin G., High-Resolution Measurements of Scattering in Wheat Canopies: Implications for Crop Parameter Retrieval, IEEE T. Geoscience and Remote Sensing, 41(7): 1602-1610, (2003).
- Carrara, W. G., Ron S. G., and Ronald M. M., “Spotlight Synthetic Aperture Radar: Signal Processing Algorithms”. Artech House, Norwood, MA, 549 s., (1995).
- Chang, C. Y., M. Jinand J. C. Curlander, “ Squint Mode SAR Processing Algorithms,” Proc. IGARSS ’89, Vancouver, 1702-1706, 1989.
- Chiang, H. C., Randolph L. Moses, and Lee C. Potter. “Model-Based Classification of Radar Images”, IEEE Transactions on Information Theory, 46(5): 1842–1854, (2000).
- Cho B.L., Kong Y.K., Kim Y. S., Automobile-Based SAR/InSAR System for Ground Experiments, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 3(3): 401-5, (2006).
- Coe, D. J. and White R. G., “Moving Target Detection in SAR Imagery: Experimental Results”, IEEE International Radar Conference, 644–649, (1995).

- Cumming I., Wong F., and Raney K., “A SAR processing algorithm with no interpolation,” Proc. IGARSS '92, Houston, 376-379, (1992).
- Cumming, I. G., Wong F. H. ,Digital Processing of Synthetic Aperture Radar Data, Artech House Remote Sensing Library, (2005).
- Demirci S., Yiğit E., Eskidemir I.H. ve Ozdemir C., “Ground penetrating radar imaging of water leaks from buried pipes based on back-projection method”, NDT & E International, (47): 35-42, (2012).
- Edrich M., “Ultra-Lightweight Synthetic Aperture Radar based on a 35 GHz FMCW Sensor Concept and Online Raw Data Transmission”, IEE Proc.-Radar Sonar Navig., 153-155, (2006).
- Ertin E., Austin C. D., Sharma S., Moses R. L. L., Potter C., “GOTCHA Experience Report: Three-dimensional SAR Imaging with Complete Circular Apertures,” Algorithms for Synthetic Aperture Radar Imagery XIV, ed: Zelnio E. G., Garber F. D., SPIE Defense and Security Symposium, Orlando-FL, (2007).
- Fennell, M. T. and R. P. Wishner. “Battlefield Awareness via Synergistic SAR and MTI Exploitation”. IEEE AES Systems Magazine, 39–45, (1998).
- Fortuny J., ve Lopez-Sanchez J. M., “Extension of the 3-D range migration algorithm to cylindrical and spherical scanning geometries,” IEEE Trans. on Antennas and Propagation , 49(10): 1434-1444, (2001).
- Gómez-Dans J. L., Quegan S. and Bennett J. C., “Indoor C-Band Polarimetric Interferometry Observations of a Mature Wheat Canopy”, IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing, 44(4): 768- 777, (2006).
- Gonzalez-Partida J.T., Almorox-Gonzalez P., Burgos-Garcia M., Dorta-Naranjo B.P., Ground SAR system with Tunable Distance Limits and Low Sampling Rate”, Radar 2007, the IET International Conference on Radar Systems, 15-18, (2007).
- Gonzalez-Partida J.T., Almorox-Gonzalez P., Burgos-Garcia M., Dorta-Naranjo B.P., “SAR System for UAV Operation with Motion Error Compensation beyond the Resolution Cell” Sensors (8): 3384-405, (2008).
- Graham, L. C. “Synthetic Interferometric Radar for Topographic Mapping”, Proceedings of the IEEE, 62(6): 763–768, (1974).
- Hamasaki T., Zhou Z. S., Sato M., “Development and Applications of an Interferometric Ground-Based SAR System”, Earth Esa. Int. Workshops, (2004).
- Hilland, Jefferey E., Frederick V. Stuhr, Anthony Freeman, David Imel, Yuhshyen Shen, Rolando L. Jordan, and Edward R. Caro. “Future NASA Spaceborne SAR Missions”. IEEE AES Systems Magazine, 9–16, (1998).
- Treuropa, <http://treuropa.com/technique/what-can-be-measured/> (12.05.2013)
- Nytimes, <http://www.nytimes.com/2010/12/07/world/europe/07concorde.html> (01.05. 2012).
- IEEE. IEEE Standard Radar Definitions. Technical Report 686-1990, (1990)

- Jao, J. K., “Theory of Synthetic Aperture Radar Imaging of a Moving Target”, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 39(9): 1984–1992, (2001).
- Joachim H.G. Ender, “On compressive sensing applied to radar” Signal Processing 90:1402–1414, (2010).
- Kirk Jr., John C. “A Discussion of Digital Processing in Synthetic Aperture Radar”. IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, AES-11(3): 326–337, (1975).
- Kong Y.K., Cho B.L., Kim Y. S., “An Experimental Automobile-based SAR/InSAR”, Proc. IGARSS, 4061–4065. (2005).
- Kovaly, J.J. High Resolution Radar Fundamentals. Artech House, Boston, MA, 577 s., (1977).
- Lee H., Cho S. J., Sung N. H., And Kim J. H. “Development of a Ground-based Synthetic Aperture Radar System for Highly Repeatable Measurements”, Kangwon National University, RS-GIS Lab. GB-SAR project (2008)
- Leva D. , Nico G., Tarchi D., Fortuny-Guasch J., and Sieber A. J. , “Temporal analysis of a landslide by means of a ground-based SAR interferometer”, IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing,(41): 745–752, (2003).
- Leva D., Nico G., Tarchi D., Fortuny-Guasch J., Sieber A.J., Temporal Analysis of a Landslide by means of a Ground-based SAR Interferometer, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 41(4): 745-57, (2003).
- Liu Q., Hong W., Tan W. X., Lin Y., Wang Y. P., Wu Y. R., “An Improved Polar Format Algorithm with Performance Analysis for Geosynchronous Circular SAR 2D Imaging,” Progress In Electromagnetics Research, (119): 155-70, (2011).
- Lopez-Sanchez, J. M. ve Fortuny, J. “3-D radar imaging using range migration techniques”, IEEE Trans. Antennas Propagat.,(48): 728– 737, (2000).
- Luminati, J. E., “Wide-Angle multistatic synthetic aperture radar: focused image formation and aliasing artifact mitigation,” Ph.D. Thesis, Department of the Air Force Air University at Air Force Institute of Technology, July 2005.
- Luzi G., Pieraccini M., Mecatti D., Noferini L., Guidi G., Moia F., and Atzeni C."Ground-Based Radar Interferometry for Landslides Monitoring: Atmospheric and Instrumental Decorrelation Sources on Experimental data" IEEE transactions on geoscience and remote sensing, (42)11: 2454-2466, (2004).
- Martinez A. and Marchand J.L., “SAR image quality assessment” Revista de Teledeteccion ,1-7, (1993).
- MATLAB için kullanıcı referansı, ver. R2011b, (2011).
- Mazouni K., Kohmura A., Futatsumori S., Yonemoto N., Dauvignac J-Y., Pichot C., Migliaccio C., “77 ghz fm-cw radar for fods detection”, Proc. of the 7th European Radar Conf., Paris, France, 451-454. (2010)

- Mazouni K., Zeitler A., Lanteri J., Pichot C., Dauvignac J.-Y., Migliaccio C., Yonemoto N., Kohmura A., Futatsumori S., “76.5 Ghz Millimeter-Wave Radar For Foreign Object Debris Detection On Airport Runways”, Proc. of the 8th European Radar Conf., Manchester, Uk, 222-226, (2011).
- Mersereau R, Oppenheim “A. Digital reconstruction of multidimensional signals from their projections”. P IEEE, 62(10): 1319–38, (1974).
- Mohammadpoor M., Raja Abdullah R.S.A., Ismail A., Abas A.F., “A Circular Synthetic Aperture Radar For On-The-Ground Object Detection”, Progress In Electromagnetics Research, 122: 269-92, (2012).
- Munson Jr., David C., James Dennis O’Brian, and W. K. Jenkins. “A Tomographic Formulation of Spotlight-Mode Synthetic Aperture Radar”. Proceedings of the IEEE, 71(8): 917–925, (1983).
- Nguyen M. P., “Omega-K Algorithm – A Generalization for Highly Squinted Spotlight SAR Imaging with Dechirp-on-Receive”, Asia-Pacific Conference on Synthetic Aperture Radar, Seoul, Korea, 137-140, (2011).
- Nico G., Leva D., Fortuny-Guasch J., Antonello G., and Tarchi D., “Generation of Digital Terrain Models With a Ground-Based SAR System”, IEEE transactions on geoscience and remote sensing, 43(1): 2454-2466, (2005).
- Nico G., Leva D., Antonello G., Tarchi D., “Ground-based SAR interferometry for Terrain Mapping: Theory and Sensitivity Analysis”, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 42(6): 1344-50, (2004).
- Noferini L., Pieraccini M., Luzi G., Mecatti D., Macaluso G., and Atzeni C. “Ground-based radar interferometry for terrain mapping” IEEE Conference (2006).
- O'donoghue N., Moura J. M. F., Jin Y., “Signal-Domain Registration for Change Detection in Time-Reversal SAR”, 42nd Asilomar Conference on Signal, Systems and Computers, Pacific Grove, CA, 26-29, (2008).
- Okunakul H. B., “Menzil-Doppler ve Çırpı Tarama Algoritmaları Yardımıyla SAR Görüntü Oluşturulması”, İTÜ, Fen Bilm. Enst. Yüksek Lisan Tezi, (2006)
- Ossberger, G., Buchegger, T., Schimback, E., Stelzer, A., Weigel, R., “Non-invasive respiratory movement detection and monitoring of hidden humans using ultra wideband pulse radar”, International Workshop on Ultra Wideband Systems, 395-399, (2004).
- Ozdemir C., “Inverse Synthetic Aperture Radar Imaging With Matlab Algorithms”, John Wiley & Sons, Inc., Newyork (2012).
- Ozdemir C., Demirci Ş., Yiğit E., “Radar Teknolojileri Kullanılarak Duvar Arkası Hareketliliğin Tespiti ve görüntülenmesi” Doğu Akdeniz Üniversiteleri Bölgesel AR-GE Proje Pazarı, Kahramanmaraş, (2011).
- Ozdemir, C., Yiğit, E., Demirci, Ş, “A Comparison of Focusing Algorithms for Ground Based SAR System”, Proceedings of Progress In Electromagn. Research Symposium, Marrakech, Morocco, 548-553, (2011)



- Pieraccini M., Luzi G., Atzeni C., “Terrain Mapping by Ground-based Interferometric Radar”, *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, 39(10): 2176–81, (2001).
- Pieraccini M., Luzi G., Mecatti D., Noferini L. and Atzeni C., “Ground-based SAR for short and long term monitoring of unstable slopes” *Proceedings of the 3rd European Radar Conference*, 92- 95, (2006).
- Potter, Lee C. and Randolph L. Moses. “Attributed Scattering Centers for SAR ATR”. *IEEE Transactions on Image Processing*, 6(1): 79–91, (1997).
- Randolph L. M., Lee C. P. ve Mujdat C., “Wide Angle SAR Imaging”, *SPIE Proceedings*, 5427: 164-175, (2004).
- Raney R.K., Runge H., Bamler R., Cumming I.G., Wong F.H. “Precision SAR Processing Using Chirp Scaling.” *IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing*, 32(4): 786-799, (1994).
- Richards M. A., “A Beginner’s Guide to Interferometric SAR Concepts and Signal Processing”, *IEEE A&E Systems Magazine*, 22(9): 5-29,(2007).
- Sanchez J.I., “Software tools for quality measurements in SAR images”, *ESA – ESTEC-X-853*, (1991).
- Schmitt M. ve Stilla U., “Layover Separation in Airborne Single Pass Multi-baseline InSAR Data Based on Compressive Sensing”, *EUSAR*, Berlin (2012).
- Sheen D. R., Malinas N. P., Kletzli Jr. D. W., Lewis T. B., Roman J. F., “Foliage transmission measurement using a ground-based Ultrawide band (300-1300 MHz) SAR system,” *IEEE Trans. on Geoscience and Remote Sensing*, 32(1): 118-130, (1994).
- Sherwin, C.W., J.P. Ruina, and R. D. Rawcliff. “Some Early Developments in Synthetic Aperture Radar Systems”. *IRE Transactions on Military Electronics*, MIL-6, (1962).
- Smith, A. M., “A new approach to range-Doppler SAR processing,” *Int. J. Remote Sensing*, 12: 235-251, (1991).
- Soergel U., Thoennesen U., Stilla U., “Reconstruction of Buildings Interferometric SAR Data of Built-up Areas”, *ISPRS Archives*, 34: 17-19, (2003).
- Soumekh, M., “Reconnaissance with Ultra Wideband UHF Synthetic Aperture Radar”. *IEEE Signal Processing Magazine*, 21–40, (1995).
- Stolt, R. H., “Migration by Transform”, *Geophysics*, 43(1): 23-48, (1978).
- Strozzi, Tazio, Urs Wegmuller, Charles L. Werner, Andreas Wiesmann, and Volker Spreckls. “JERS SAR Interferometry for Land Subsidence Monitoring”. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 41(7): 1702–1708, (2003).
- Tarchi D., Casagli N., Fanti R., Leva D., Luzi G., Pasuto A., Pieraccini M., Silvano S, “Landslide Monitoring by Using Ground-based SAR Interferometry: An Example of Application to the Tessina Landslide in Italy”, *Engineering Geology*, 68: 15-30, (2003).

- Tarchi D., Lukin K., Fortuny-Guasch J., SAR Imaging with Noise Radar, IEEE. Trans Aerosp Electron Syst. 46(3): 1214–25, (2010).
- Tarsier–QinetiQ, Automatic Runway Debris Detection 2009 [Online]. Available: <http://www.qinetiq.com/home/products/tarsier.html>
- Walker, J. L. “Range-Doppler Imaging of Rotating Objects”. IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, AES-16(1): 23–52, (1980).
- Wang B., Wang Y., Hong W. and Wu Y., “Application of Spatial Spectrum Estimation Technique in Multibaseline SAR for Layover Solution”, IEEE International Geoscience & Remote Sensing Symposium, IGARSS, 8-11, (2008).
- Wiley, C. A. “Pulsed Doppler Radar Methods and Apparatus”. U.S. patent no.3, 196-436, (1953).
- Wiley, C. A. “Synthetic Aperture Radars”. IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, AES-21(3): 440–443, (1985).
- Xsight–Advanced Radar and Optic Sensors for FOD Detection and Homeland Security 2009 [Online] <http://www.xsightsys.com/> (15.06.2013)
- Xu, X. and Ram M. Narayanan. “FOPEN SAR Imaging Using UWB Step Frequency and Random Noise Waveforms”. IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, 37(4): 1287–1299, (2001).
- Yandex/haritalar/Mersin Üniversitesi, <http://harita.yandex.com.tr> (15.06.2013)
- Yegulalp A.F., “Fast backprojection algorithm for synthetic aperture radar”, IEEE Radar Conference, Waltham, MA, USA, 60-65, (1999).
- Yigit E., Demirci S., Unal A., Ozdemir C. ve Vertiy A. , “Millimeter-wave Ground-based Synthetic Aperture Radar Imaging for Foreign Object Debris Detection: Experimental Studies at Short Ranges” Journal of Infrared, Millimeter and Terahertz Waves, (33): 1227–1238, (2012).
- Yigit E., “Elektromagnetik Alan Ölçüleriyle Yeraltındaki Nesnelerin Tespit Edilmesi Ve Yere Nüfuz Eden Radar (YNR) Görüntülerinin Elde Edilmesi”, Mersin Üniversitesi Fen Bilimleri Enst. Yüksek Lisans Tezi, (2007).
- Yigit E., Demirci S., Ozdemir C. and Kavak A., “A synthetic aperture radar-based focusing algorithm for B-scan ground penetrating radar imagery,” Mic. Opt. Tech. Letters, (49): 2534-2540, (2007).
- Yigit E., Unal A., Demirci S., Vertiy A. ve Ozdemir C, “An Adapted Matched Filter Algorithm for Millimeter Wave Ground Based Squint Mode SAR Applications”, The International Conference on Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves, Houston Texas,. 1- 2, 2011
- Yves H., “A Study of Fast Back projection Algorithm for UWB SAR and a Comparison between Fast- and Global Back projection” School of Signal Processing Blekinge Institute of Technology Sweden, Master Thesis, (2008)
- Zaugg E. C., Hudson D. L., Long D. G., “The BYU micro SAR: A Small, Student-built SAR for UAV Operation”, Proc. IGARSS, TBD, Denver, Colorado, 411-414, (2006).

Zhou Z. S., Boerner V., Sato M., “Development of a Ground-Based Polarimetric Broadband SAR System for Non- Invasive Ground-truth Validation in Vegetation Monitoring”, IEEE Trans. Geoscience and Remote Sensing, 42(9): 1803-1810, (2004).

Zhou Z. S., Sato M., Ground-Based Polarimetric SAR Systems for Environment Study, IEEE AP-S 2003 Digest, 1, 202-205, Columbus, (2003).

## ÖZGEÇMİŞ VE ESERLER LİSTESİ

**Adı Soyadı:** Enes YİĞİT

**Doğum Tarihi:** 31/12/1981

**Öğrenim Durumu:**

Derece	Bölüm/Program	Üniversite/Lise	Yıl
Lise	Anadolu Lisesi	Niğde Anadolu Lisesi	200
Lisans	Elektrik Elektronik Müh.	Mersin Üniversitesi	2004
Yüksek Lisans	Elektrik Elektronik Müh.	Mersin Üniversitesi	2007

**Görevler:**

Görev Unvanı	Görev Yeri	Yıl
Araştırma Görevlisi	Mersin Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliği	2004-2007
Öğretim Görevlisi	Mersin Üniversitesi Teknik Bilimler MYO	2007- ...

### ESERLER (Makaleler ve Bildiriler)

1. Yiğit, E., Demirci, Ş, Özdemir, C., Kavak, A., "A Synthetic Aperture Radar Based Focusing Algorithm For B-Scan Ground Penetrating Radar Imagery," Microwave Opt. Tech. Letters, (49)10: 2534-2540, (2007).
2. Özdemir, C., Demirci, Ş, Yiğit, E., Kavak, A., "A Hyperbolic Summation Method to Focus B-Scan Ground Penetrating Radar Images: An Experimental Study with a Stepped Frequency System," Microwave Opt. Tech. Letters, 49(3): 671-676, (2007).
3. Özdemir, C., Demirci, Ş, Yiğit, E., "Practical Algorithms to Focus B-Scan Gpr Images: Theory and Application to Real Data," Progress in Electromag. Research B(6): 109-122, (2008).
4. Demirci, S, Özdemir, C., Akdağlı, A., Yiğit, E., "Clutter Reduction in Synthetic Aperture Radar Images With Statistical Modeling: An Application to Mstar Data," Microwave Opt. Tech. Letters, 50: 1514-1520, No.6, (2008).

5. Demirci S., Yigit E., Eskidemir I.H. and Ozdemir C., “Ground penetrating radar imaging of water leaks from buried pipes based on back-projection method”, *NDT & E International*, 47: 35-42, (2012).
6. Demirci S., Cetinkaya H., Yigit E., Ozdemir C., and Vertiy A., “A Study On Millimeter-Wave Imaging Of Concealed Objects: Application Using Back-Projection Algorithm”, *Progress In Electromagnetics Research*, 128: 457-477, (2012).
7. Yigit E., Demirci S., Unal A., Ozdemir C., Vertiy A., “Millimeter-wave Ground-based Synthetic Aperture Radar Imaging at Short Ranges”, *Journal of Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves* December, (33)12: 1227-1238, (2012).
8. Yiğit, E., Demirci, Ş., Özdemir, C., "Ground Penetrating Radar Image Focusing Using Frequency-Wavenumber Based Synthetic Aperture Radar Technique", *Intern. Conf. On Electromagnetics in Adv. Applic. (Iceaa 07)*, Torino, Italy, 17-21 Eylül (2007).
9. Özdemir, C., Yiğit, E., Demirci, Ş., "Ground Penetrating Radar Studies at Mersin University", *IV. International Workshop on Electromagnetic Wave Scattering, Gebze*, 18-22 Eylül (2006).
10. Özdemir, C., Demirci, Ş., Yiğit, E., "A Focusing Method For B-Scan GPR Image" *11th International Conference On Ground Penetrating Radar*, Columbus, Oh, ABD (2006).
11. Özdemir, C. Demirci, Ş., Yiğit, E., "High Resolution 2-D and 3-D Image Generation at Microwave Frequencies: Application to Real Soil Measurements", *Symp. Geophysics Remote Sens. in Determination Of Near-Surface Structures (Gars 2008)*, İzmir, Türkiye 30 Nisan- 2 Mayıs (2008).
12. Özdemir, C., Demirci, S., Yılmaz, B., Ak, C., Yiğit, E., "A New And Practical Formulation Of Bistatic Inverse Synthetic Aperture Radar Imaging And Verification Of The Formulation Using Numerical Examples ", *Int. Conference On Electrical And Electronics Engineering - Eleco'2009* , Bursa , Vol. 2, Pp. 161-163, Bursa, (2009).
13. Yiğit, E., Demirci, Ş., Özdemir, C. “On the Imaging Applications of Ground Penetrating Radar”, *2010 International Symposium on Electromagnetic Theory*, 285-288, Berlin, Germany, (2010) (davetli)
14. Yiğit, E., Ünal, A., Kaya, Demirci, Ş., A., Çetinkaya, H., Özdemir, C., Vertiy, A., “Millimeter-Wave Ground Based Synthetic Aperture Radar Measurements”, *2011 URSI General Assembly and Scientific Symposium*, Istanbul, Turkey, 13-20 August, (2011).
15. Çetinkaya, H., Kızılhan, A., Tekbaş, M., Demirci, Ş., Yiğit, E., Özdemir, C., Vertiy, A., “The Millimeter-Wave ISAR Imaging Of Concealed Objects”, *2011 URSI General Assembly and Scientific Symposium*, Istanbul, Turkey, accepted for publication, 13-20 August, (2011).
16. Tekbaş M., Cetinkaya, H., Yiğit, E., Demirci, Ş, Özdemir, C., Vertiy, A., “Back-Projection Algorithm For ISAR Imaging Of Near-Field Concealed

- Objects”, 2011 URSI General Assembly and Scientific Symposium, Istanbul, Turkey, accepted for publication, 13-20 August, (2011).
17. Cetinkaya, H., Kızıllhan, A., Vertiy, A., Demirci, Demirci, Ş, Özdemir, C., Yiğit, E., “The Millimeter-wave Imaging of Concealed Objects”, IEEE Antennas and Propagat. Society Int. Symp., Spokane, accepted for publication, IEEE, (2011).
  18. Özdemir, C., Yiğit, E., Demirci, Ş, “A Comparison of Focusing Algorithms for Ground Based SAR System”, Proceedings of Progress In Electromagn. Research Symposium (PIERS 2011), 548-553, Marrakech, Morocco, 25-27 March (2011).
  19. Demirci, Ş., Yiğit, E., Özdemir, C. “ Detection of Movement and Impedance Changes behind Surfaces Using Ground Penetrating Radar”, Proceedings of Progress In Electromagn. Research Symposium (PIERS 2011), 1526-1529, Marrakech, Morocco, 25-27 March (2011).
  20. E. Yıgıt, A. Unal, S. Demirci, A. Vertiy, And C. Ozdemir, “An Adapted Matched Filter Algorithm for Millimeter Wave Ground Based Squint Mode SAR Applications”, The International Conference on Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves, Houston Texas, pp. 1- 2, (2011).
  21. Vertiy, A., Cetinkaya, H., Panin, S., Pavlyuchenko, A., Tekbas, M., Unal, A., Kizilhan, A., Kaya, A., Ozdemir, C., Demirci, S., Yigit, E., “Image reconstruction in SAR, ISAR and tomography applications at millimeter-wave band”, Microwaves, Radar and Remote Sensing Symposium (MRRS)-2011, Kiev, Ukraine, pp. 184-189, August 25-27, (2011).
  22. Özdemir, C., Yiğit, E., Demirci, Ş., “A Review on the Migration Methods in B-scan Ground Penetrating Radar Imaging”, Proceedings of Progress in Electromagn. Research Symposium (PIERS 2012), Kuala Lumpur, 767-771, 27-30 March, (2012). (davetli-sözlü)
  23. Yiğit, E., Demirci, Ş., Özdemir, C., Ünal, A., Vertiy, A., “Application of efficient Back projection algorithm to millimeter wave Ground Based Synthetic Aperture Radar systems”, Mediterranean Microwave Symposium (MMS 2012), İstanbul, 2-5 September, (2012).
  24. Yigit, E. Sevket Demirci, Betul Yilmaz, and Caner Ozdemir, “Short-range Ground-based SAR Imaging Experiments: Application of Back-projection Algorithm” PIER Stockholm, 12-15 August, (2013).
  25. Yilmaz B., Yigit E., Demirci S. and Ozdemir C., “An Experimental Study of Through-the-Wall Radar for Lifesign Detection”PIERS Stockholm, 12-15 August, (2013).
  26. Ozdemir C., Demirci S., Yigit E. and Yilmaz B. “Compressed Sensing Based Near-field Inverse Synthetic Aperture Radar Imaging” PIERS Stockholm, 12-15 August, (2013).
  27. Demirci S., Yigit E., Yilmaz B., and Ozdemir C., “Wide-field Circular SAR Imaging Studies Based on Ground-based Experiments” PIERS Stockholm, 12-15 August, (2013).

- 28.** Ozdemir C., Demirci S., and Yigit E., "Wide-Field Circular SAR Imaging: 2D Imaging Results for Simulation Data" RAST 2013, Recent Advances in Space Technology, İstanbul 12-14 June (2013).
- 29.** Özdemir, C. Demirci, Ş., Yiğit, E., "3-Boyutlu C-Tarama Görüntülerinin Elde Edilmesi," Elektr., Elektron. Ve Bilgisayar Müh. Semp., Eleco-2006, Bursa (2006).
- 30.** Yiğit, E., Özdemir, C., Demirci, Ş., "Bir Yapay Açıklıklı Radar Tekniği İle Odaklanmış Yere Nüfuz Eden Radar Görüntülerinin Ede Edilmesi," URSI-Türkiye-2006 Bilimsel Kongresi, S. 229-231, Ankara, 06-08 Eylül (2006).
- 31.** Özdemir, C., Demirci, Ş., Yiğit, E., "B-Tarama Yere Nüfuz Eden Radar Görüntüleri İçin Bir Odaklama Algoritması," URSI-Türkiye-2006 Bilimsel Kongresi, S. 244-246, Ankara, 06-08 Eylül (2006).