

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**MENZİL-DOPPLER ve ÇIRPI TARAMA
ALGORİTMALARI YARDIMIYLA SAR GÖRÜNTÜ
OLUŞTURULMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Müh. Hatice Banu OKUNAKUL

Anabilim Dalı: Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği

Programı: Telekomünikasyon Mühendisliği

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Selçuk PAKER

MAYIS 2006

ÖNSÖZ

Tez çalışmam boyunca, benden yardımını ve desteğini esirgemeyen çok değerli tez danışmanım Yrd. Doç. Dr. Selçuk PAKER' e en içten teşekkürlerimi sunuyorum.

Ümitsizliğe kapıldığım zaman bana moral veren ve kendime güvenimi sağlayan, bana her zaman destek olan çok değerli dostlarıma da teşekkür ediyorum.

Bana hayata tutunmayı öğreten, her zaman yanımda olan çok sevgili aileme ve nişanlıma sabırları, destekleri, anlayışları ve bundan sonra da hep yanımda olacakları için sonsuz teşekkürler.

Mayıs 2006

Hatice Banu OKUNAKUL

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR	vi
TABLO LİSTESİ	vii
ŞEKİL LİSTESİ	viii
SEMBOL LİSTESİ	xi
ÖZET	xiii
SUMMARY	xiv
1. GİRİŞ	1
1.1 Tezin Amacı ve Kapsamı	1
1.2 Uzaktan Algılama	2
1.3 Uzaktan Algılama Sistemleri	2
1.4 Gerçek Açıklıklı Radar (RAR)	4
1.5 Yapay Açıklıklı Radar (SAR)	4
2.SAR TEORİSİ	8
2.1 Giriş	8
2.2 SAR Görüntüleme Temelleri	8
2.3 Doppler Etkisi	15
2.4 Darbe Sıkıştırması	17
2.5 Çırpı Darbesi ve Özellikleri	18
2.6 SAR Modları	20
2.6.1 Spot Aydınlatmalı (Spotlight) SAR	20
2.6.2 Şerit Taramalı (Stripmap) SAR	21
2.6.3 Taramalı (Scan) SAR	22
3. SAR DATALARI ve GÖRÜNTÜ ALGORİTMALARI	23
3.1 Giriş	23
3.2 SAR Datalarının Alınması ve Özellikleri	23
3.3 SAR İşleme Adımları	27
3.3.1 Filtreleme	27
3.3.2 Örnekleme	28

3.4 Dar Odaklama Algoritması	29
3.5 Geniş Odaklama Algoritması	30
3.6 Çırpı Tarama Algoritması	33
3.7 Genişletilmiş Çırpı Tarama Algoritması	35
3.8 Çırpı Tarama Burg Algoritması	37
3.9 Çırpı Z-Dönüşümü Algoritması	38
3.10 Menzil-Doppler Algoritması	41
3.11 Genişletilmiş Menzil-Doppler Algoritması	44
4. ALGORİTMA UYGULAMALARI	46
4.1 Giriş	46
4.2 Bölgelerin ve Data Setlerinin Tanıtılması	46
4.3 Menzil-Doppler Algoritmasının Tanıtılması	47
4.3.1 Menzil Sıkıştırması	48
4.3.2 Azimutta Fourier Dönüşümü	48
4.3.3 Menzil Hücre Göçü Düzeltmesi	49
4.3.4 Azimut Sıkıştırması	50
4.3.5 Azimutta Ters Fourier Dönüşümü	50
4.4 Nokta Hedef İçin Menzil-Doppler Algoritmasının Uygulanması	50
4.5 Çırpı Tarama Algoritmasının Tanıtılması	58
4.5.1 Menzilde İşleme	59
4.5.2 Azimutta İşleme	60
4.6 Nokta Hedef İçin Çırpı Tarama Algoritmasının Uygulanması	61
5. SONUÇLAR	68
5.1 Sistem Parametrelerinin Görüntü Üzerine Etkileri	68
5.2 Menzil- Doppler Algoritması Çırpı Tarama Algoritmasının Karşılaştırılması	72
5.2.1 Menzil Denklemlerinin Yapısı	73
5.2.2 Azimut Uyumlu Filtre Gerçekleştirme	73
5.2.3 Menzil Hücre Göçü Düzeltmesi Gerçekleştirme	74
5.2.4 Hesaplama Yüğü	74
5.2.5 Görüntü Kalitesi	74
5.2.6 Algoritmaların Avantajları	75
5.2.7 Algoritmaların Dezavantajları	75
KAYNAKLAR	76
EK A. ERS-2 HAKKINDA BİLGİ	78

EK B. KULLANILAN DATALAR HAKKINDA GENEL BİLGİ	80
EK C. TEZDE KULLANILAN DİĞER ÇIRPI TARAMA ALGORİTMALARI	81
ÖZGEÇMİŞ	83

KISALTMALAR

RAR	: Real Aperture Radar
SAR	: Synthetic Aperture Radar
PRF	: Pulse Repetition Frequency
ERS	: European Remote Sensing Satellite
FFT	: Fast Fourier Transform
IFFT	: Inverse Fast Fourier Transform
CBS	: Chirp Burg Algorithm
SCFT	: Range Scaled Fourier Transform
RAM	: Read Access Memory
IDL	: Interactive Data Language
FM	: Frequency Modulation
SRC	: Secondary Range Compression
MDA	: Menzil- Doppler Algoritması
ÇTA	: Çırpı Tarama Algoritması

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 3.1 SCFT ⁻¹ ve Çırpı Z-Dönüşümü Algoritma Çarpanları.....	39

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1 Gerçek Açıklıklı Radar.....	2
Şekil 1.2 SAR Görüntüleme Yöntemi.....	4
Şekil 1.3 SAR Sisteminin Çalışma Prensibi.....	5
Şekil 2.1 Menzil ve Azimut Kavramları.....	7
Şekil 2.2 Yapay Açıklık.....	8
Şekil 2.3 Gerçek Açıklıklı Radar Menzil Çözünürlüğü.....	9
Şekil 2.4 Menzil Çözünürlüğü Geometrisi.....	9
Şekil 2.5 Azimut Çözünürlüğü Gösterilimi.....	10
Şekil 2.6 Azimut Çözünürlüğü Tanımı.....	11
Şekil 2.7 SAR Görüntüsü Koordinat Sistemi.....	12
Şekil 2.8 Noktasal Hedefin Uzaklık Değişimi.....	13
Şekil 2.9 Menzil Hücre Göçü.....	14
Şekil 2.10 Doppler Frekans Tanımı.....	16
Şekil 2.11 Darbe Uzunluğunun Menzil Çözünürlüğüne Etkisi.....	17
Şekil 2.12 Çırpı Darbesinin Zaman Domenindeki Gösterimi.....	18
Şekil 2.13 Çırpı Darbesinin Fourier Dönüşümü.....	18
Şekil 2.14 Spot Aydınlatmalı SAR.....	19
Şekil 2.15 Şerit Taramalı SAR.....	20
Şekil 2.16 Taramalı SAR.....	21
Şekil 3.1 SAR İşleyicisinin Blok Gösterilimi.....	23
Şekil 3.2 İşlenmemiş Veri Dizisinin Diyagramı.....	24
Şekil 3.3 Azimut ve Menzil Örnekleri.....	25
Şekil 3.4 SAR Filtreleme Adımı.....	26
Şekil 3.5 Dar Odaklama Algoritması Blok Diyagramı.....	29
Şekil 3.6 Geniş Odaklama Algoritması Blok Diyagramı.....	31
Şekil 3.7 Çırpı Tarama Algoritması Blok Diyagramı.....	33
Şekil 3.8 Genişletilmiş Çırpı Tarama Algoritması Blok Diyagramı.....	35
Şekil 3.9 Çırpı Burg Algoritması Blok Diyagramı.....	37
Şekil 3.10 SCFT ⁻¹ Algoritması Blok Diyagramı.....	39
Şekil 3.11 Çırpı Z-Dönüşümü Algoritması Blok Diyagramı.....	39
Şekil 3.12 Menzil-Doppler Algoritması Blok Diyagramı.....	42
Şekil 3.13 Genişletilmiş Menzil-Doppler Algoritması Blok Diyagramı.....	44
Şekil 4.1 ERS' ten Elde Edilen İstanbul Datasına Ait Konum Haritası.....	45
Şekil 4.2 Menzil-Doppler Algoritması Blok Diyagramı.....	46
Şekil 4.3 Menzil Sıkıştırması Blok Diyagramı.....	47
Şekil 4.4 Menzil Hücre Göçü Düzeltmesi Blok Diyagramı.....	48
Şekil 4.5 Merkeze Yerleştirilen Nokta hedefin Datası.....	50
Şekil 4.6 Menzil Sıkıştırması sonucu Elde Edilen Data.....	51
Şekil 4.7 Azimutta Fourier Alınmış Data.....	52
Şekil 4.8 Menzil Hücre Göçü Düzeltmesi Sonucu Elde Edilen Data.....	53

Şekil 4.9	Azimut Sıkıştırması Sonucu Elde Edilen Data.....	54
Şekil 4.10	Azimutta Ters Fourier Dönüşümü Uygulanmış Data.....	55
Şekil 4.11	İki Nokta Hedef Yerleştirilerek Oluşturulmuş Data.....	56
Şekil 4.12	Menzil- Doppler Algoritması Sonucunda Elde Edilen Data.....	56
Şekil 4.13	Çırpı Tarama Algoritması Blok Diyagramı.....	57
Şekil 4.14	Azimutta Fourier Dönüşümü Alınmış Data.....	61
Şekil 4.15	Menzilde ourier Dönüşümü Uygulandıktan Sonra Data.....	62
Şekil 4.16	Referans onksiyonu İle Çarpıldıktan Sonra Data.....	63
Şekil 4.17	Menzilde Ters Fourier Alındıktan Sonra Data.....	64
Şekil 4.18	Çırpı Tarama Algoritması Sonucu Elde Edilen Data.....	65
Şekil 4.19	İki Nokta Hedef Yerleştirilerek Oluşturulmuş Data.....	66
Şekil 4.20	Çırpı Tarama Algoritması Sonucu Elde Edilen Data.....	66
Şekil 5.1	Platform Hızının Azalmasının Görüntüye Etkisi.....	68
Şekil 5.2	Platform Hızının Artmasının Görüntüye Etkisi.....	68
Şekil 5.3	PRF' in Azalmasının Görüntüye Etkisi.....	69
Şekil 5.4	PRF' in Artmasının Görüntüye Etkisi.....	69
Şekil 5.5	Örnekleme Frekansının Azalmasının Görüntüye Etkisi.....	70
Şekil 5.6	Örnekleme Frekansının Artmasının Görüntüye Etkisi.....	70

SEMBOL LİSTESİ

c	: Işık hızı
$G(.)$	: Sistemin transfer fonksiyonu
$g(.)$	: Sistemin impuls yanıtı
$H(.)$	: Kaydedilen ham işaretin Fourier dönüşümü
h	: Platform yüksekliği
L	: Gerçek açıklık uzunluğu
L_{az}	: Antenin azimut boyunca uzunluğu
λ	: Çalışma frekansı dalga boyu
$p(.)$	: Olasılık dağılım fonksiyonu
R	: Menzil
R_N	: Yakın menzil
R_F	: Uzak menzil
r	: Minimum menzil uzaklığı
r'	: Azimut menzil koordinatları
r_0	: Görüntü merkezine olan menzil uzaklığı
r_{del}	: Menzil girişi ilk kenar başlama zamanı
t	: Zaman değişkeni
τ	: Çırpı darbe süresi
V	: Alıcının hızı
v	: Efektif sensör hızı
W	: Gerçek anten genişliği
ω	: Açısal frekans
f_c	: Örnekleme frekansı
f_d	: Doppler frekansı
x	: Hedefin azimut koordinatları
x_n	: Gerçek antenin n. pozisyonu
x_R	: Alıcının yeri
x_T	: Hedefin yeri
x'	: Azimut koordinatları
$\sigma(.)$	: Menzilin fonksiyonu olan transfer fonksiyonu
Δ_c	: Menzil eğikliği
Δ_w	: Menzil yolu
Δf	: Çırpı bandgenişliği
Δr_g	: Yer menzil çözünürlüğü
Δr_s	: Eğik menzil çözünürlüğü
Δx	: Azimut çözünürlüğü
Θ	: Bakış açısı
$\Psi(.)$	: Faz değişkeni
Φ	: Menzil yönündeki demet genişliği
$\Gamma(.)$	: Yansıma paterninin Fourier dönüşümü
$\gamma(.)$	: Yansıma paterni
α	: Çırpı oranı

β	: Sapma açısı
ξ	: Azimut örneklerinin Fourier eşleniği
η	: Menzil örneklerinin Fourier eşleniği
σ^2	: Varyans
A_0	: Keyfi kompleks sabit
τ	: Menzil zamanı
η	: Azimut zamanı
η_c	: Işın demeti merkez offset zamanı
$\omega_r(\tau)$	: Menzil zarfı
$\omega_a(\eta)$	: Azimut zarfı
K_r	: Radar çırpı FM oranı
f_0	: Radar merkez frekansı

MENZİL-DOPPLER VE ÇIRPI TARAMA ALGORİTMALARI YARDIMIYLA SAR GÖRÜNTÜSÜ OLUŞTURULMASI

ÖZET

Uzaktan algılama sistemlerinde esas olarak amaçlanan mekansal ve radyometrik olarak yüksek çözünürlükte görüntü elde etmektir. Bu nedenle yüksek çözünürlüklü görüntü elde etme konusunda birçok çalışmalar yapılmıştır. Elde edilen görüntüden daha fazla bilgi çıkarmak ve yüksek çözünürlüklü görüntü elde etmek amacıyla geliştirilen yapay açıklıklı radar (YAR) tekniği ilk olarak SEASAT uydusu üzerinde kullanılmış ve ilk görüntüler elde edilmiştir. Aktif uzaktan algılama sistemi olmasından dolayı gece ve gündüz çalışabilmesi ve bulut, sis, yağmur gibi olumsuz hava koşullarından etkilenmeden yüksek çözünürlükte görüntü elde etme özellikleri yapay açıklıklı radarın orman haritaları, buzul haritaları, okyanus hareketlerinin incelenmesi, arazi çalışmaları, askeri uygulamalar, doğal afetler gibi birçok uygulamada kullanılmasını mümkün kılmaktadır.

Yapay açıklıklı radar daha küçük anten açıklığıyla yüksek çözünürlükte görüntü üretme yeteneği olan bir sistemdir. YAR platformu belli bir yöne doğru hareket ederken, darbeleri gönderir ve eşzamanlı yansıyan darbeleri uygun bir şekilde toplayarak kaydeder. Böylece yapay açıklık oluşturulmuş olur. YAR görüntüleme alıcıları yeryüzüyle ilgili bilgiyi mikrodalga bölgesinde yansıyan enerjiyi kullanarak oluştururlar. YAR, alıcı yüksekliğinden bağımsız olarak yansıyan işaretleri işleyerek yüksek çözünürlüklü görüntüler üretir. YAR sistemleri çoğunlukla uydu üzerine yerleştirilir ve görüntü alırlar. YAR yönteminde yeryüzüne ait her nokta gerçek açıklıktan daha uzun süre gözlenir.

Yapay açıklıklı radar ile elde edilen görüntüler çeşitli algoritmalar kullanılarak oluşturulurlar. Dar odaklama algoritması, geniş odaklama algoritması, çirpi tarama algoritması ve menzıl- Doppler algoritması yaygın olarak kullanılan popüler algoritmalarıdır. Bu tez çalışmasında ERS-2 uydusunun ham uydu verileri, IDL yazılım dili yardımı ile menzıl-Doppler ve çirpi tarama algoritmaları kullanılarak işlenmiş ve görüntü oluşturulmaya çalışılmıştır. Örnek görüntüler İstanbul, Türkiye verileri üzerinde denenmiştir.

SAR IMAGE RECONSTRUCTION BY USING RANGE-DOPPLER AND CHIRP-SCALING ALGORITHMS

SUMMARY

The aim of the remote sensing systems is to obtain high resolution images. Because of this, lots of studies have been done in subject of reconstructing high resolution images. Synthetic aperture radar (SAR) technique, which is developed for this aim, is used on SEASAT satellite at first time and first images are obtained. Working day and night because of being active remote sensing system and obtaining high resolution images not being effected by some weather conditions like clouds, fog and rain enable synthetic aperture radar to being used in some fields like forest mapping, ice mapping, ocean circulation monitoring, land classification, military applications, natural disaster.

Synthetic aperture radar is a system which has an ability to produce high resolution images by small antenna aperture. When SAR is moving toward a certain direction, it sends pulses and records coherently adding the successively reflected pulses. So, synthetic aperture is formed. SAR imaging receivers form information of earth surface by using scattered energy in microwave region. SAR forms high resolution images by producing reflected signals independent from receiver height. SAR systems are mostly placed on satellite and receives images. Every point of earth surface is being watched longer than real aperture radar.

Images are obtained by synthetic aperture radar which are formed by using kinds of algorithms. In this study, raw data of ERS-2 satellite is processed by using range-Doppler and chirp-scaling algorithms and image is formed. Sample algorithm is tried on data Istanbul, Turkey.

1. GİRİŞ

1.1 Tezin Amacı ve Kapsamı

Bu tezde şerit taramalı (stripmap) SAR üzerinde durulmuştur. Şerit taramalı SAR' da anten radar platformuna göre sabit kalır, böylece anten demeti yeryüzünde bir şeridi tarar. Genişbandlı darbeler gönderilip, ham veri olarak adlandırılan geri yansıyan işaretler kaydedilir. Bu veriler işlenirler ve görüntü oluşturulmuş olur.

Kaydedilen ham veri görüntü olarak anlamsızdır. Dolayısıyla aydınlatılan bölgeden yüksek çözünürlüklü görüntü elde etmek için bazı işlemler yapılmalıdır. SAR görüntüsünü elde etmek için ham datanın sistem impuls yanıtıyla ilgili bir filtreleme işlemi yapmak gerekir. Bu işlem alıcının frekans, darbe tekrarlama, bandgenişliği, platform hızı ve uzaklık gibi bazı parametrelerine bağlıdır.

Bu çalışmanın amacı, SAR ham veriyi analiz ederek uygulanan farklı algoritmalarla görüntüyü oluşturmaktır. SAR verisini işlemek için kullanılan metod yansıyan işaretten geriye doğru giderek orijinal işarete ulaşmaktır. Yansıyan işaretten faydalı bilgiyi çıkarmak için bazı düzenlemeler yapılmalıdır.

Esas amacımız aydınlatılan bölgenin yansıma paternini karakterize edebilmektir. Yansıma paterni SAR ham verisi ve impuls yanıtı cinsinden ifade edilebilir. Sistemin impuls yanıtı bize transfer fonksiyonunu verir ve ham veriden elde edilmelidir. Transfer fonksiyonu azimut yönünde çözünürlüğü geliştirmek için uyumlu filtre gibi kullanılır. Menzil yönündeki çözünürlük ise sadece darbe süresiyle belirlendiği için menzil çözünürlüğü üzerinde etkisi yoktur.

Bu tezde menzil-doppler ve çırpı-tarama algoritmaları üzerinde durulmuştur. SAR sistemleri yan bakış açısının mevcut olabileceği sistemlerdir. Ancak tez kapsamında kullanılan algoritmalarda yan bakış açısı göz önüne alınmayacaktır. İlk bölümde uzaktan algılamanın genel tanımı yapılmış, uzaktan algılama sistemlerinin sınıflandırılmasıyla ilgili genel bilgi verilmiştir. İkinci bölümde SAR teorisine

geçilmeden önce SAR görüntüleme temellerine değinilmiş; doppler etkisi, darbe sıkıştırması gibi temel kavramlardan bahsedilmiştir. Daha sonra, SAR sistemlerinde kullanılan çırpı darbesi ve özelliklerine değinilmiştir. Üçüncü bölümde SAR datalarının alınması ve işleme adımlarından bahsedilmiştir. Daha sonra da temel görüntü algoritmalarına ilişkin detaylara yer verilmiştir. Dördüncü bölümde tezde kullanılan bölgeler ve data setleri tanıtılmış, bu datalardan görüntü oluşturmak için kullanılan menzıl-doppler ve çırpı-tarama algoritmaları parametre ve denklemleriyle birlikte verilmiştir. Son bölümde de kullanılan algoritmalar sonucunda elde edilen görüntüler sonuçlarıyla verilmiştir.

1.2 Uzaktan Algılama

Uzaktan algılama cisimle bir temas olmaksızın bir cismin özelliklerini ölçme, kaydetme ve inceleme tekniğidir. Uzaktan algılamada uzaklık için bir kısıtlama olmayıp, cm mertebesindeki yakın mesafeden veya radarla uzay araçlarıyla algılamada olduğu gibi km mertebesinden yapılabilir. Uzaktan algılamada cisim ile bağlantıyı sağlayacak bir algılayıcıya (sensör) ihtiyaç duyulur. Uzaktan algılayıcı çeşitli mesafelerde veri toplayan cihaz olarak tanımlanır. Toplanan veri saklanır ve gerektiğinde çeşitli işlemlerin ardından görüntüye çevrilir. [1]

1.3 Uzaktan Algılama Sistemleri

Uzaktan algılama sistemleri pasif ve aktif sistemler olarak ikiye ayrılabilirler. Kendi kaynaklarına sahip uzaktan algılama sistemleri aktif sistemler olarak isimlendirilir. Aktif uzaktan algılama sistemlerine örnek radardır. Aktif çalışma modu bu algılayıcıların güneş gibi bazı enerji kaynaklarından bağımsız çalışmalarını sağlar. Frekans bantları, algıladıkları cismin üzerindeki bulut, sis ve yağmur gibi etkileri azaltır. Bu özellik radarın gece-gündüz bütün hava koşullarında görüntüleme yapmasına olanak sağlar. Güneş gibi başka enerji kaynaklarını kullanan sistemler ise pasif sistemler olarak isimlendirilir. Pasif sistemlerde algılayıcı, enerjiyi bir dış ışıyım kaynağı ile aydınlatılmış hedeften almaktadır. Bu, hedeften yansıyan güneş ışığı veya yeryüzündeki bir cismin yaydığı enerjidir. Pasif algılayıcıya çok spektrumlu tarayıcılar, ısı tarayıcı ve mikrodalga radyometresi örnek olarak verilebilir.

Görüntünün elde edilmiş şekline göre ise çerçeveleme sistemi ve tarama sistemi olarak iki kısma ayırabiliriz. Çerçeveleme sistemi ile bir alanın görüntüsünü bütün olarak bir çerçeve içinde belli bir sürede elde edebiliriz. Tarama sisteminde ise algılayıcı dar bir alanda bölge boyunca ilerleyerek görüntü üretir.

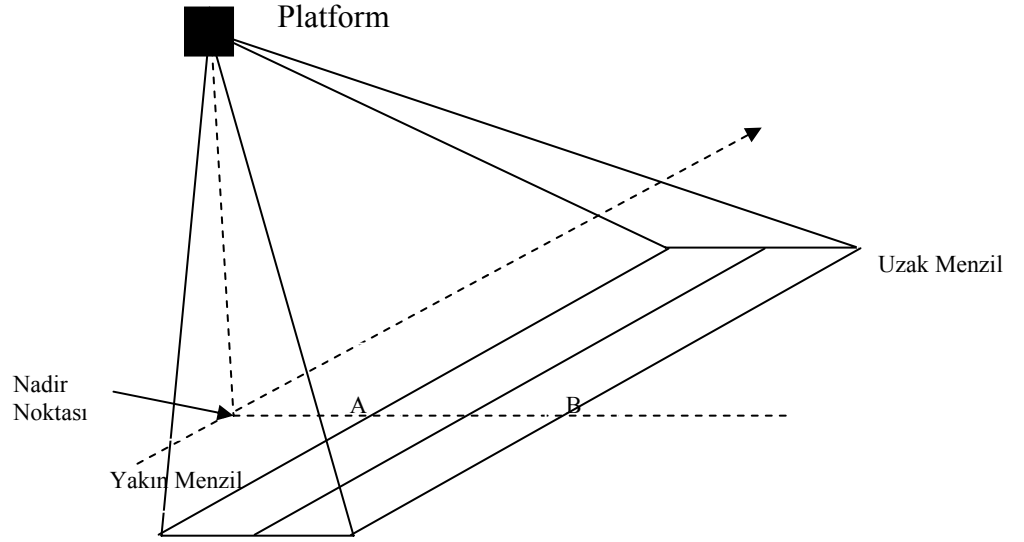
Uzaktan algılama sistemleri anten konumlarına göre ise gerçek açıklıklı radar sistemleri (RAR) ve yapay açıklıklı radar sistemleri (SAR) olmak üzere ikiye ayrılabilirler. [2]

1.4 Gerçek Açıklıklı Radar (RAR)

Gerçek açıklıklı radar menzil yönünde belli açılarla radyo dalga darbelerini dar bir açı demeti ile gönderir. Hedeften geri yansıyan işaretleri de radar görüntüsünü elde etmek amacıyla alır. [3]

Yansıyan darbe genellikle hedeften yansıma süresini saptar ve bu da menzil yönündeki tarama ile ilişkilidir. Radar anteninden yansıyan darbeler dar bir bölgenin görüntüsünü üretmek için kullanılırlar. Taranan şeritten yansıyan işaretler antene aynı anda gelmezler. Daha geniş menzilden yansıyan ışınlar radara daha uzun sürede ulaşırlar ve bu ışınlar görüntünün menzil doğrultusunu oluştururlar.

Görüntü iki boyutlu veri dizisinden oluşur. Şekil 1.1’de yeryüzünde işaretlenmiş bir A noktasından B noktasına kadar olan bölge görüntülenecektir. Nadir doğrultusuna en yakın nokta olan A noktası yakın menzil, en uzak nokta olan B noktası da uzak menzil olarak isimlendirilirler. A ve B noktaları arasındaki uzaklık taranan alanın genişliğini belirler. Taranan alan içindeki herhangi bir nokta ile radar arasındaki uzaklık eğik menzildir. [4]



Şekil 1.1 Gerçek Açıklıklı Radar

Menzil yönündeki çözünürlük darbenin genişliğine bağlıdır. Çözünürlüğü arttırmak için eğer darbe genişliği küçülürse, gönderilen işaretin gücü azalacağı için geri yansıyan dalganın işaret gürültü oranı (S/N) da azalacaktır. Bu durum ileriki bölümde değineceğimiz darbe sıkıştırma tekniği ile düzeltilir.

Uçuş doğrultusunda tarama şeridi genişliği azimut çözünürlüğünü verir. Küçük dalga boyu ve büyük anten genişlikleri kullanmak daha iyi azimut çözünürlüğü verebilir. Büyük antenler kullanmak pratik bir çözüm olmadığı için gerçek açıklıklı radarlarda azimut çözünürlüğü düşük olmaktadır. [3]

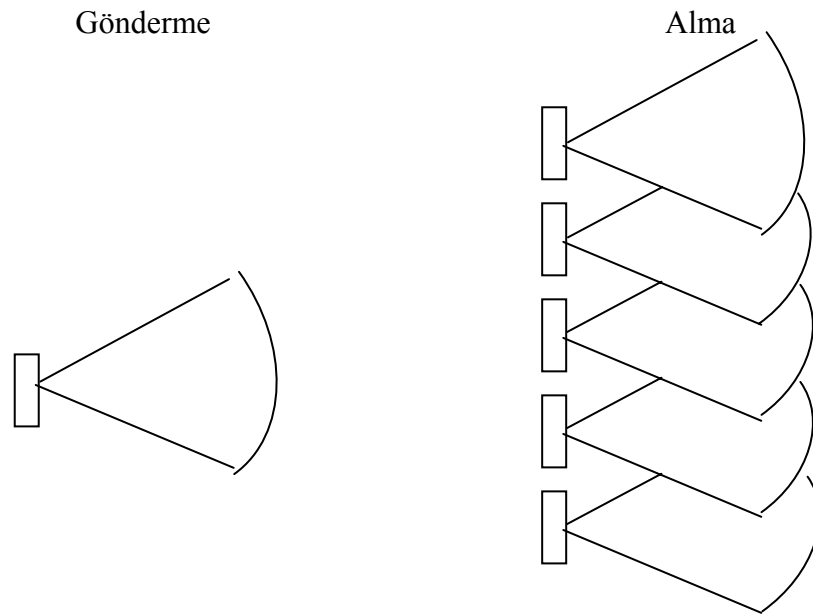
Radar üzerindeki esas sınırlama gerçek açıklıklı radarlardır. Bunlar kabul edilebilir bir görüntü çözünürlüğü için yüksek giriş gücüne ihtiyaç duymalarının yanında ayrıca çok büyük anten uzunlukları gerektirirler. Bu sınırlamaya çözüm olarak yapay açıklıklı radar (SAR) kavramı kullanılır.

1.5 Yapay Açıklıklı Radar (SAR)

Uzaktan algılama alanında yapay açıklıklı radar tekniklerinin ve uygulamalarının üzerinde özellikle son yıllarda daha çok durulmuştur. SAR alıcıları yüksek kalitede görüntüleme kapasitesinden dolayı günden güne artan uygulama alanı bulmuştur. 1950' den beri radarın temelini oluşturan SAR, görüntü işleme tekniklerinin gelişmesinde önemli bir adım olmuştur. Çeşitli amaçlarla uçak ve uydu sistemlerinde

ve uzaktan algılamada etkin olarak kullanılmaktadır. SAR geometrisinde hedefi en iyi şekilde algılamak hiyerarşik bir yönteme dayandırılmıştır. Hiyerarşideki her adım elde edilen veri üzerinde çeşitli algoritmaları kullanarak işlem yapar. [5]

SAR daha küçük anten uzunluğuyla yüksek çözünürlükte görüntü üretme yeteneği olan bir uzaktan algılama sistemidir. SAR belli bir yöne doğru hareket ederken, darbeleri gönderir ve gönderdiği darbeler bir yansıtıcıdan yansır. Radar anteni gerçekleşmesi istenen açıklık boyunca hareket ettirilerek belirli zaman aralıklarında ölçmeler yapılır. Her konumda elde edilen işaretlerin eş-fazlı olarak toplanması sonucunda yapay açıklık oluşturulmuş olur. Böylece gerçek fiziksel açıklığa eş büyük bir açıklık yapay olarak gerçekleşmiş olur. Bu azimut yönünde yüksek çözünürlük elde edilmesini sağlar. Menzil yönündeki çözünürlük ise kısa darbeler veya yüksek band genişlikli (chirp) darbeler gönderilerek elde edilir. Şekil 1.2’ de SAR sistemlerinin darbe gönderimi ve yansıyan darbelerin alınması gösterilmiştir.

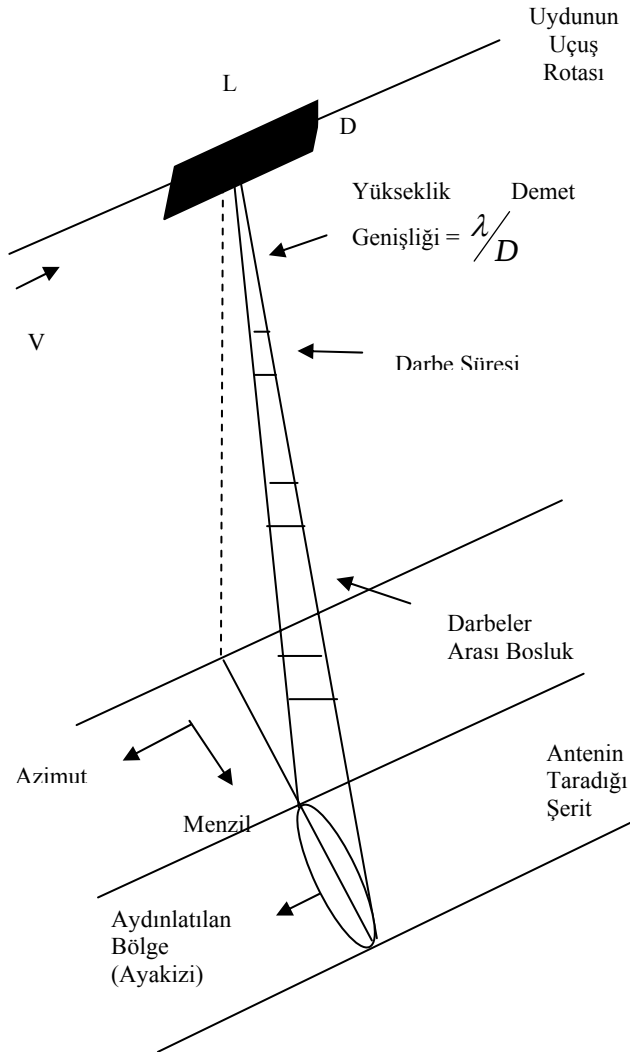


Şekil 1.2 SAR Görüntüleme Yöntemi

SAR görüntüleme alıcıları yeryüzüyle ilgili bilgiyi mikrodalga bölgesinde yansıyan enerji ile verirler. SAR alıcı yüksekliğinden bağımsız olarak yansıyan işaretleri işleyerek yüksek çözünürlüklü görüntüler üretir.

SAR sistemleri çoğunlukla uydu üzerine yerleştirilirler ve görüntü alırlar. SAR yönteminde yeryüzüne ait her nokta daha uzun süre gözlenir. Bütün uydu sistemlerinde işleme ünitesi mevcuttur. Elde edilen işaretler uydu üzerindeki kayıt cihazlarında depolanır ya da uydu istasyonuna gönderilir.

Şekil 1.3' de SAR sistemlerinin çalışma prensibi gösterilmiştir. Bu geometride, anten ışın demetinin simetri eksenini taşıyan hava aracının V hız doğrultusuna dik olarak alınmıştır. Burada SAR, sabit bir V hızıyla yatay bir yol boyunca hareket etmekte olup, belli bir darbe tekrarlama frekansı (PRF) uçuş yoluna paralel uzanan bir yer parçasını aydınlatır.



Şekil 1.3 SAR Sisteminin Çalışma Prensibi

SAR aktif uzaktan algılama sistemi olmasından dolayı gece ve gündüz görüntüleme yapabilmektedir. Bulut, sis, yağmur gibi olumsuz hava koşullarından etkilenmeden çalışıyor olmaları da diğer avantajlarından. Bu avantajlarından dolayı SAR sistemleri orman haritaları, buzul haritaları, okyanus hareketlerinin incelenmesi, arazi çalışmaları, askeri uygulamalar, doğal afetler gibi birçok alanda kullanılırlar.

2. SAR TEORİSİ

2.1 Giriş

Bu bölümde SAR ile ilgili bazı temel kavramlar üzerinde durulmuş böylece SAR teorisinin daha iyi anlaşılması amaçlanmıştır. Daha sonra radar sistemlerinde önemli olan Doppler frekans tanımı yapılmıştır. SAR sistemlerinde kullanılan darbe sıkıştırma tekniğinden bahsedilmiş ve bu yöntemde kullanılan ırpı darbesinin özelliklerine değinilmiştir. SAR sisteminde bulunan modlara değinilmiştir.

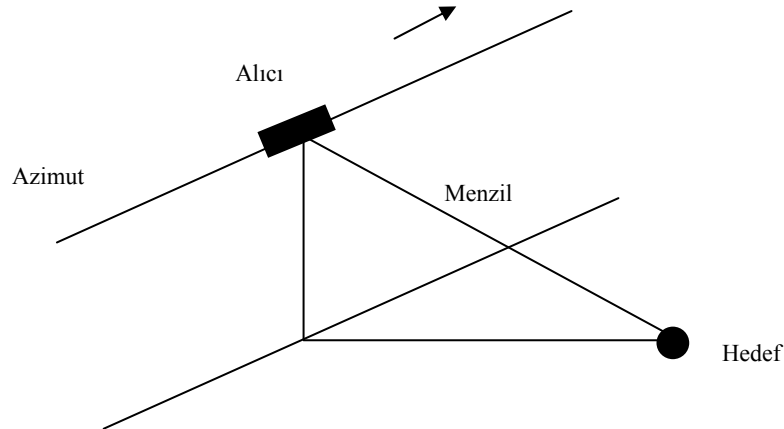
2.2 SAR Görüntüleme Temelleri

SAR teorisine geçmeden önce bazı temel kavramlar üzerinde durulacaktır.

Menzil: Alıcı ve hedef arasındaki uzaklıktır. Radar demetinin doğrultusu genellikle uçuş doğrultusuna diktir. Bu propagasyon doğrultusuna menzil doğrultusu denir.

Azimet: SAR alıcısının hız vektörünün yönüdür. Uçuş yönüne paralel olan doğrultuya azimet doğrultusu denir. [6, 9]

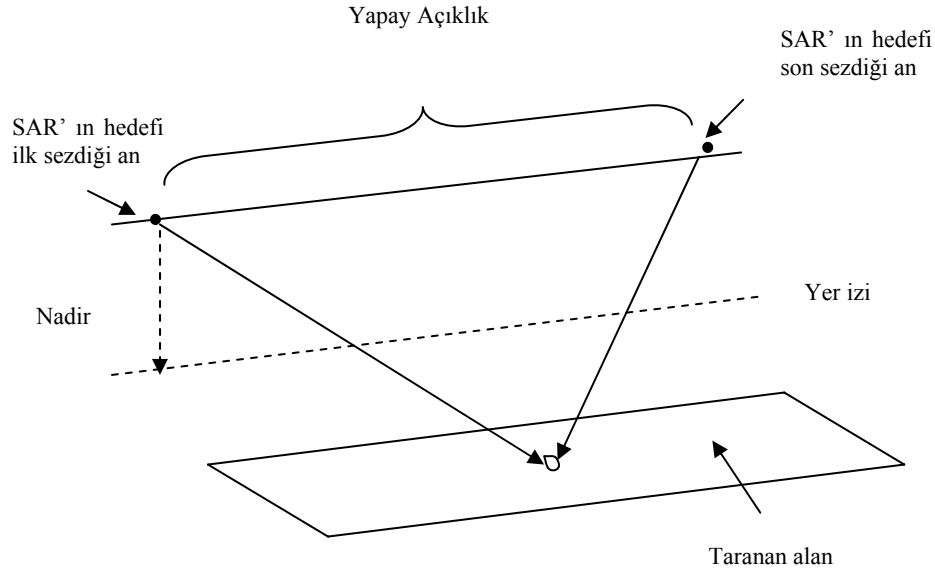
Şekil 2.1 de menzil ve azimet kavramları gösterilmiştir.



Şekil 2.1 Menzil ve Azimet Kavramları

Gerçek Açıklık: Alıcı antenin azimut yönündeki uzunluğudur.

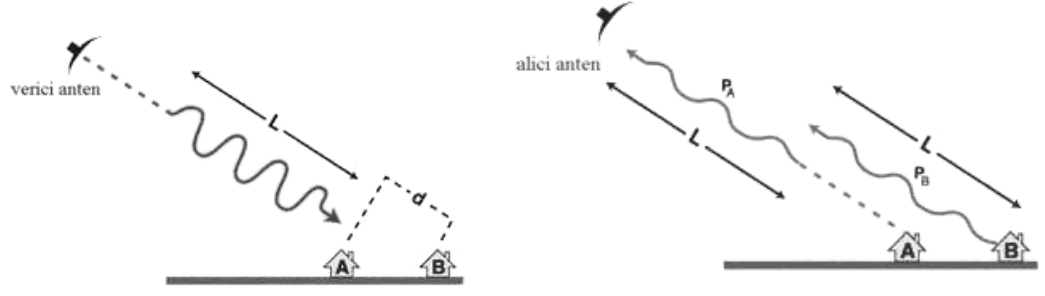
Yapay Açıklık: Verinin alıcı tarafından toplanması sırasında uydunun katettiği mesafedir. Şekil 2.2’ de yapay açıklık gösterilmiştir.



Şekil 2.2 Yapay Açıklık

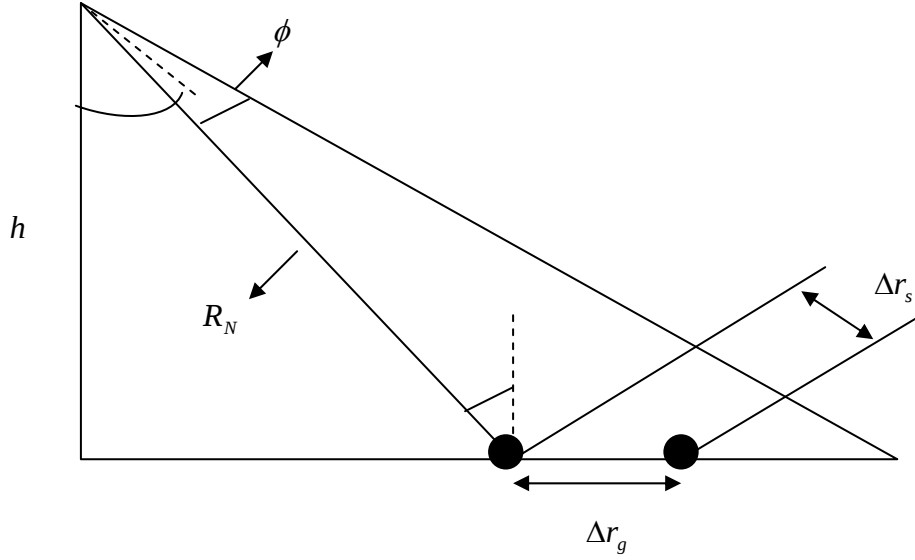
Çözünürlük: Görüntüleme sistemlerinde önemli bir parametre de çözünürlüktür. Görüntülerde temel olarak iki çözünürlükten bahsedilebilir. Mekansal çözünürlük, bir görüntüde birbirine çok yakın iki cismi birbirinden ayırt etme yeteneği olarak tanımlanır.[1] Radyometrik çözünürlük ise radar görüntüsü üzerinde yer alan farklı yansıma özelliklerine sahip bölgelerin sistem tarafından ayırt edilebilme yeteneği olarak tanımlanabilir. Radar çözünürlüğü menzil ve azimut için ayrı ayrı ifade edilir.

- Menzilde çözünürlük; algılanan iki cismin sistem tarafından ayırt edilebilmesi için aralarında bulunması gereken minimum uzaklık olarak tanımlanabilir. Şekil 2.3’ de gönderilen darbenin uzunluğu L , A ve B binaları arasındaki eğik menzil uzaklığı d ’ dir. Sistem tarafından bu iki binanın ayırt edilebilmesi için $d > L/2$ olmalıdır. Eğer eğik menzil uzaklığı $L/2$ ’ den yeterince büyük olursa P_A ve P_B darbeleri çakışmaz ve işaretler sistem tarafından ayrı ayrı kaydedilir. [4]



Şekil 2.3 Gerçek Açıklıklı Radar Menzil Çözünürlüğü

Menzil çözünürlüğüne ilişkin açıklamaları Şekil 2.4' de görebiliriz



Şekil 2.4 Menzil Çözünürlüğü Geometrisi

Şekil 2.4' deki parametreler aşağıdaki denklemlerle ifade edilmiştir;

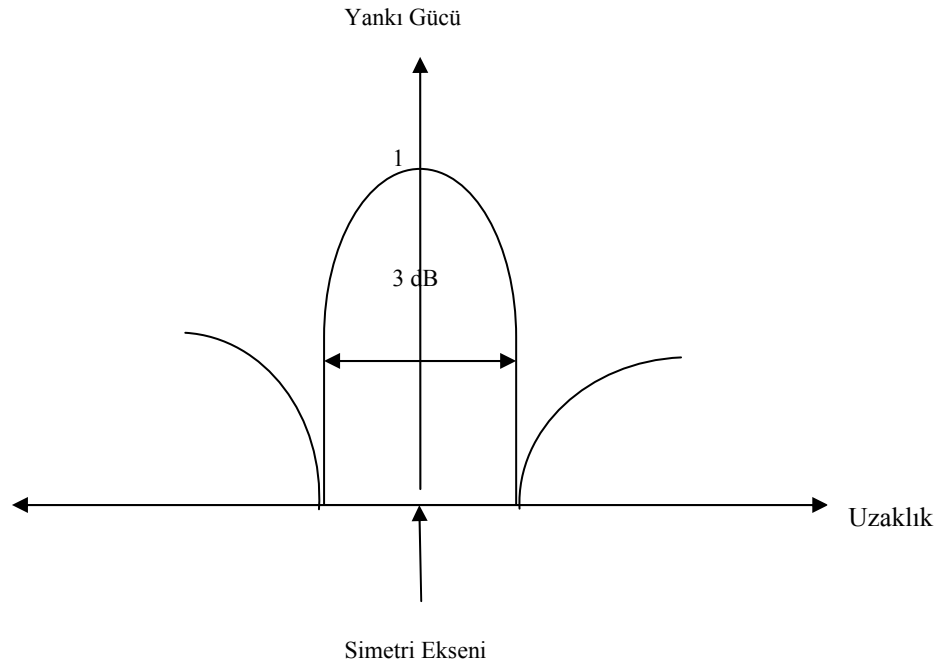
$$\Delta r_s = \frac{c \cdot \tau}{2} \quad (2.1)$$

$$\Delta r_g = \frac{\Delta r_s}{\sin \alpha} = \frac{c \cdot \tau}{2 \cdot \sin \alpha} \quad (2.2)$$

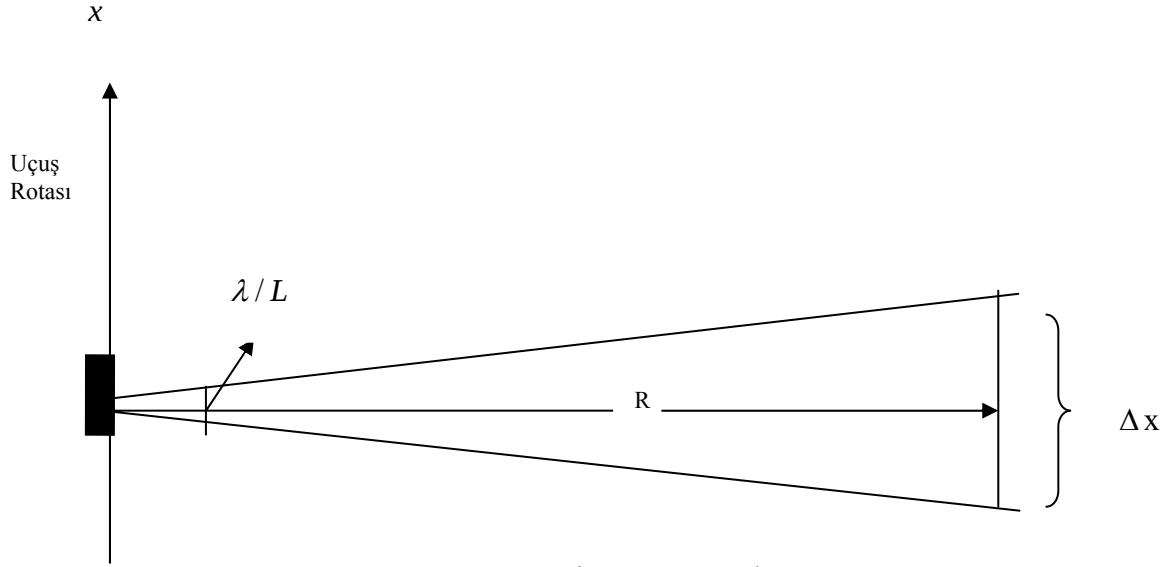
$$\Delta r \approx \frac{c}{2 \cdot \Delta f \cdot \sin \alpha} \quad (2.3)$$

Menzil çözünürlüğünü arttırmak için radar darbeleri olabildiğince kısa süreli olmalıdır. Buna karşın yansıyan darbelerin detekte edilebilmesi için, darbelerin yeterli enerji göndermesi gerekir. Eğer darbe süreleri kısalsın darbe enerjisinin değişmemesi için genliğinin artırılması gerekir. Kısa süreli ve yüksek enerjili darbeler göndermek için gereken donanımın kurulumu zor olduğu için birçok radar sistemi geniş bandlı çarpı darbesi kullanır.

- Azimutta çözünürlük; lineer bir yörüngede ilerleyen radar sisteminde aynı menzildeki iki hedefin aynı anda alınması ancak aynı anda radar demetinde bulunmalarıyla mümkün olabilir. Noktasal bir hedefin güç yanıtının yarıya indiği noktalar arasındaki uzaklık gerçek açıklıklı radarda azimut çözünürlüğünü verir. Bu uzaklıkta iki hedef birbirinden ayırt edilebilir. Bu durum Şekil 2.5’ de gösterilmiştir. Dolayısıyla azimut çözünürlüğü 2.4’ de verilen matematiksel modele sahip olacaktır. Bu durum Şekil 2.6’ da gösterilmiştir. [6]



Şekil 2.5 Azimut Çözünürlüğü Gösterilimi



Şekil 2.6 Azimut Çözünürlüğü Tanımı

Şekil 2.6' da Δx azimut çözünürlüğü olup;

$$\Delta x = R \cdot \text{demet genişliği} \quad (2.4)$$

$$\Delta x = \frac{\lambda \cdot R}{L} \quad (2.5)$$

yukarıdaki denklemlerle ifade edilebilir. Burada R görüş açısındaki menzili, λ çalışma frekansındaki dalga boyunu ve L de azimut boyunca anten boyunu göstermektedir.

Azimut boyunca anten boyu arttırılarak ya da daha kısa dalga boyu kullanılarak daha iyi azimut çözünürlüğü sağlanabilir.

Yapay açıklıklı radar için azimut çözünürlüğü;

$$\Delta x = \frac{L}{2} \quad (2.6)$$

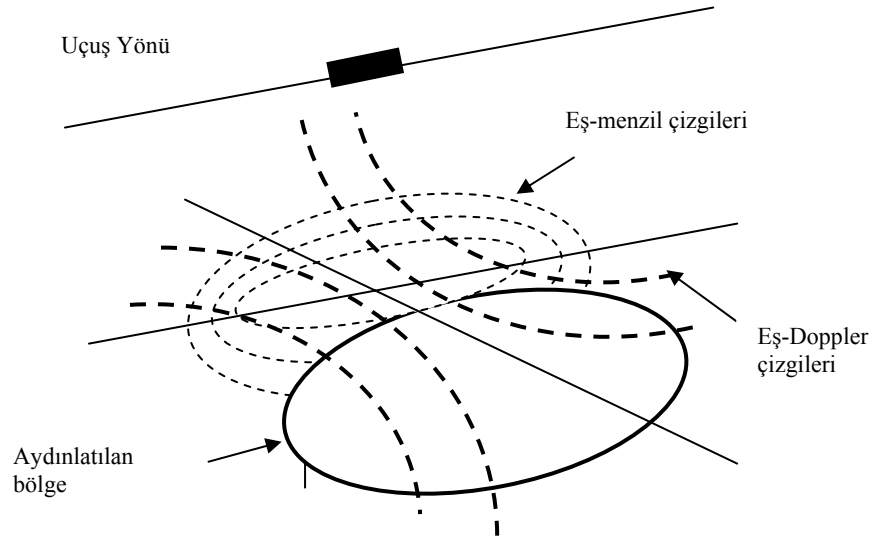
şeklindedir.

Görüldüğü gibi gerçek açıklıklı radarda azimut çözünürlüğü menzile bağlı iken yapay açıklıklı radarda bağlı değildir. Ayrıca, yapay açıklıklı radarda daha küçük anten boyunda daha iyi azimut çözünürlüğü elde edilirken, gerçek açıklıklı radarda daha büyük anten boyuna ihtiyaç duyulmaktadır. Bunu 2.5

ve 2.6 eşitliklerinden de görmekteyiz. Anten boyu azaldıkça noktasal bir hedef için yapay açıklık artar. Yapay açıklık genişliği arttıkça hedef için daha çok örnek elde edilir. Bu da azimut çözünürlüğünü artırır.

Darbe Tekrarlama Frekansı (PRF): Yapay açıklık tekniğinde geriye yansıyan dalganın Doppler bilgisi radar tarafından yüzeyin yüksek çözünürlüklü görüntüsünü elde etmek için zaman gecikme bilgisiyle aynı anda kullanılır.

Hedekten geriye yansıyan dalgalar aynı zaman gecikmesine fakat farklı Doppler karakteristiklerine sahip olacaklardır. Şekil 2.7’ de radardan eşit uzaklıktaki noktalar eşmerkezli küreler üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 2.7 SAR Görüntüsü Koordinat Sistemi

Radar zaman gecikme bilgisini almak için darbe gönderir. Doppler bilgisini düzgün bir biçimde almak için gönderilen darbelerin yansımasının kabul edilebilir bir dalga tekrarlama frekansı (PRF) alınması gerekir. Böylece radar belli bir bölgeyi tararken alınan işaretler yüzeye ilişkin hem Doppler bilgisini, hem de menzil bilgisini içerir. Bu bilgiler uygun işleme adımlarından sonra görüntü elde edilmesini sağlar.

PRF’ in seçiminde bazı sınırlamalar vardır, keyfi olarak seçilemez. PRF, Doppler band genişliğiyle sınırlı olup maksimum uzaklığı sınırlar. Eğer PRF, çok yüksek seçilirse gönderilen darbelere karşılık yansıyan işaretler aynı anda radara ulaşır ve bu da menzil belirsizliğine yol açar. Aynı şekilde PRF çok düşük seçilirse, yansıyan

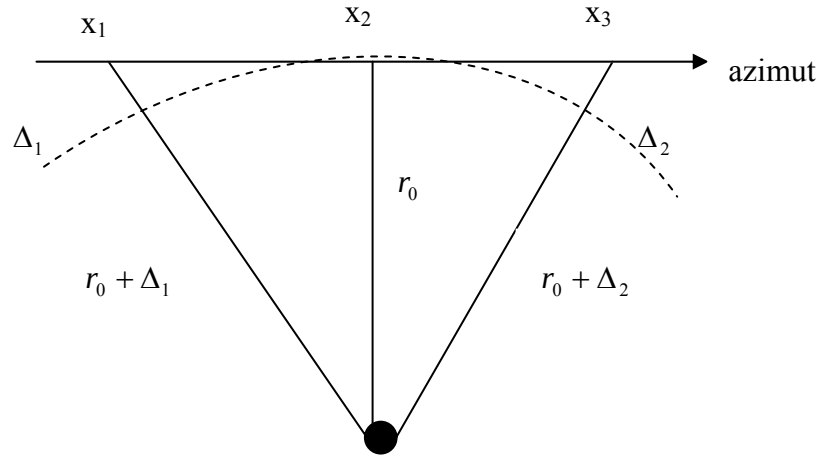
işaretler uygun bir şekilde örneklenemez ve bu da azimut belirsizliğine yol açar. PRF'in değişimi 2.7 denkleminde gösterilmiştir.

$$\frac{2 \cdot \nu}{L} < PRF < \frac{c \cdot W}{2 \cdot \lambda \cdot h} \cdot \frac{\cos^2 \theta}{\sin \theta} \quad (2.7)$$

Menzil Hücre Göçü: Hücre göçü menzil kıvrıklığı ve menzil yolunun etkisinin genel adıdır. Menzil değişiminden kaynaklanan bu etkiler istenmeyen etkilerdir.

Menzil değişimi çok fazla değilse menzil kıvrıklığı ve menzil yolu SAR sistemini taşıyan hava araçları için ihmal edilebilir. SAR sistemini taşıyan uzay araçlarında menzilin hedefe olan uzaklığı ve dakikadaki menzil değişikliğinin çok daha fazla olması nedeniyle bu etkiler ihmal edilemez. [7]

Menzil kıvrıklığı ve menzil yolu Şekil 2.8 ve Şekil 2.9' da gösterilmiştir.



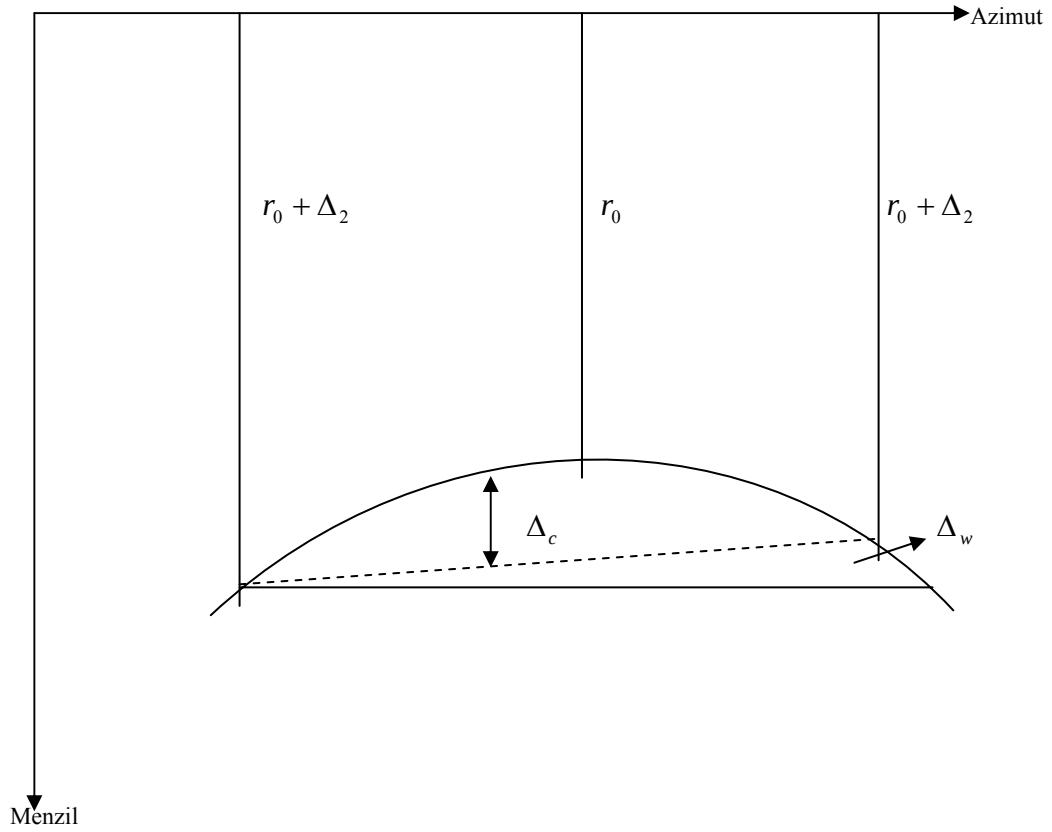
Şekil 2.8 Noktasal Hedefin Uzaklık Değişimi

Şekil 2.9' da Δ_c menzil kıvrıklığını göstermektedir. Menzil yolu nokta hedefi için farklı uzunluktaki menzillerin arasındaki farktır. Şekilde Δ_w ile gösterilmiştir.

x_1

x_0

x_2



Şekil 2.9 Menzil Hücre Göçü

Hücre göçü etkisi genellikle işleme algoritmalarıyla bastırılır. Menzil-Doppler algoritmasında menzil yolu ve menzil göçünün etkisi için ayrı bir adım uygulanmaktadır.

2.3 Doppler Etkisi

Hareketli radar alıcısına göre sabit hedeflerin Doppler frekans kaymaları radara aynı uzaklıktaki farklı hedefleri ayırt etmede kullanılabilirler. Şekil 2.10’ da gösterildiği gibi radar alıcısının bir düzlem boyunca ilerlediğini varsayalım. Sistem λ dalga boyunda radar dalgaları gönderen verici taşır ve anten de saçılan dalgaları alır.

Alıcının arkasındaki bir hedefin (şekilde C noktası), platformdan uzaklaşıyormuş gibi bir etki yaptığı söylenebilir. Doppler etkisi radara bu noktadan yansırarak ulaşan

işaretlerin, gönderilen işaretlerden daha düşük frekanslı olmasına neden olur. Tam tersine alıcının daha önündeki hedef (şekilde A noktası), yine hareket etkisiyle bu noktadan yansıyarak ulaşan işaretlerin gönderilen işaretlerden daha yüksek frekanslı olmasına neden olur. Platform ile aynı hizada olan noktalar (şekilde B noktası), platforma göre hareket etmediği için yansıyan işaretlerin frekanslarında bir değişme olmaz. Bu etki Doppler etkisi olarak tanımlanır.

Şekil 2.10' da A, B ve C noktalarının radardan R menzil uzaklığında olduğu görülmektedir. Dolayısıyla anten aynı anda bu noktadan yansıyan işaretleri alacaktır. Bundan dolayı A, B ve C noktalarını sadece menzil uzaklığına dayanarak birbirinden ayırmak mümkün olmayacaktır. Çözüm, uygun olan birden çok geri yansımayı birleştirmektir.

Şekil 2.10' da gösterildiği gibi platformun hızının V olduğunu varsayalım. Bu durumda platforma göre A noktasının hız bileşeni şu şekilde verilebilir:

$$v_r = \frac{V \cdot (x_R - x_T)}{R} \quad (2.8)$$

x_T : Uçuş doğrultusuna göre hedefin yeri

$$x_T > x_R$$

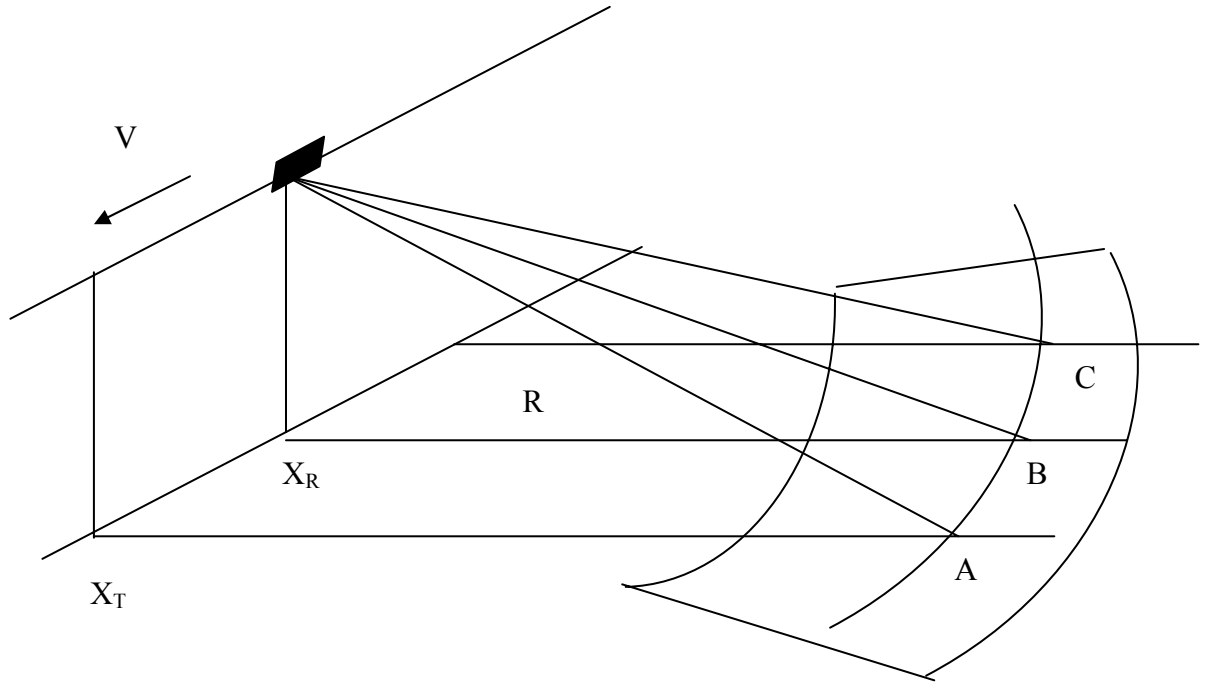
x_R : Uçuş doğrultusuna göre radarın yeri

Doppler etkisine göre, A hedefinden yansıyan işaretin frekansı ile gönderilen işaretin frekansı arasında aşağıdaki ifadedeki kadar bir fark olacaktır:

$$f(x_R) = -\frac{2 \cdot v_r}{\lambda} \quad (2.9)$$

$$f(x_R) = -\frac{2 \cdot V \cdot (x_R - x_T)}{\lambda \cdot R} \quad (2.10)$$

Radar frekansındaki bu değişikliğe Doppler frekansı denir. Doppler frekansı sabit olduğu için x_R anten pozisyonuna göre değişir. Hedeften gelen işaretin, anten demetine girmesinden anten demetinden çıktığı ana kadar Doppler frekansını izleyen darbantlı bir filtre tasarlamak mümkündür. Buna göre hedef, anten demetine girdiği anda pozitif Doppler frekansına sahip olur. Hedef demetin merkezine geldiğinde yani düzgün demetli bir anten için, antenle hedef aynı hizada olduğunda sıfır Doppler frekansında olur. Sonunda demetten çıkarken negatif Doppler frekansına gelir. [8]



Şekil 2.10 Doppler Frekans Tanımı

2.4 Darbe Sıkıştırması

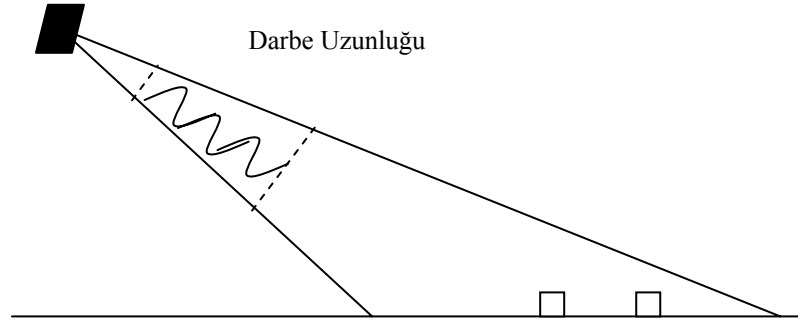
Bir radar sistemi ya sürekli işaret gönderir veya alır ya da işareti gönderdikten sonra yeni işaret göndermek için gönderilen işaretin yansımasının algılanmasını bekler.

SAR sistemi darbeleri radarlardandır. Darbe sıkıştırma tekniği çözünürlüğün iletilen darbe süresine bağlı olmadığı bir yöntemdir. Bu yöntem sürekli dalga darbesi yerine frekansı darbe aralığında değişen uzun ve faz kodlamalı çarpı darbesi kullanır. Modern radarlarda ve haberleşme sistemlerinde çarpı darbesi tercih edilir.

Çırpı darbe şekli kullanan radarlarda işaretin süresi, aynı etkin band genişliğine sahip sürekli dalga darbeleri görüntüleme radarlarına göre daha uzun yapılabilir. Radarın menzil çözünürlüğü iletilen darbenin bandgenişliği ile orantılıdır. Sürekli dalga darbesi yerine çırpı işareti kullanılarak her darbede daha yüksek enerji ile aynı çözünürlük elde edilebilir.

2.5 Çırpı Darbesi ve Özellikleri

SAR sistemlerinde genellikle çırpı diye adlandırılan lineer frekans modülasyonlu işaretler kullanılmaktadır. [9] İşleme için gerekli olan sıkıştırma işlemi, bu darbenin faz kontrollü olması nedeniyle bu darbe üzerinden yapılabilmektedir. Çırpı darbesinin SAR sistemlerinde tercih edilmesinin en önemli nedeni, geniş bandlı bir işaret olması nedeniyle tek bir darbeye geniş bir frekans bandını tarayabilme özelliğidir. Çırpı darbesi faz modülasyonlu bir işaret olduğu için band genişliği zamanla artar. Genlik modülasyonlu darbelerde bu özellik bulunmamaktadır. Darbe uzunluğunun menzil çözünürlüğüne etkisi Şekil 2.11’ de görülmektedir.



Şekil 2.11 Darbe Uzunluğunun Menzil Çözünürlüğüne Etkisi

Çırpı darbesinin zaman domenindeki kompleks notasyonu;

$$f_1(t) = \exp \left[j \left(\omega \cdot t + \frac{\alpha \cdot t^2}{2} \right) \right] \cdot \text{rect} \left[\frac{t}{\tau} \right] \quad (2.11)$$

ω : Taşıyıcı frekansa karşılık gelen açısal frekans

τ : Kare darbenin süresi

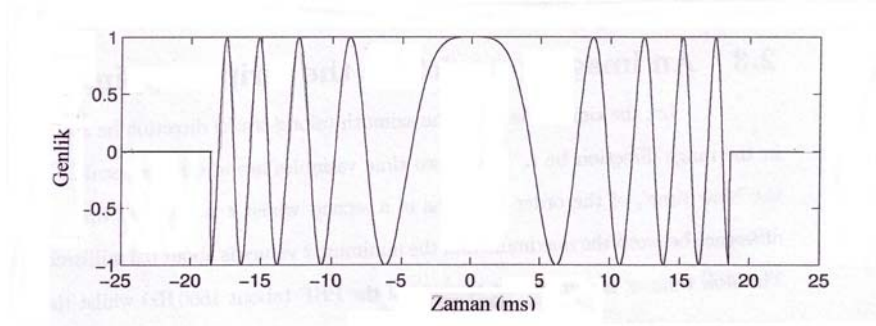
α : Çırpı oranı

Görüntü işleme algoritmalarında Fourier dönüşümünden sıkça yararlanıldığı için çırpı darbesinin Fourier dönüşümü önem kazanmaktadır. Çırpı darbesinin Fourier dönüşümünün matematiksel modeli aşağıda verilmiştir:

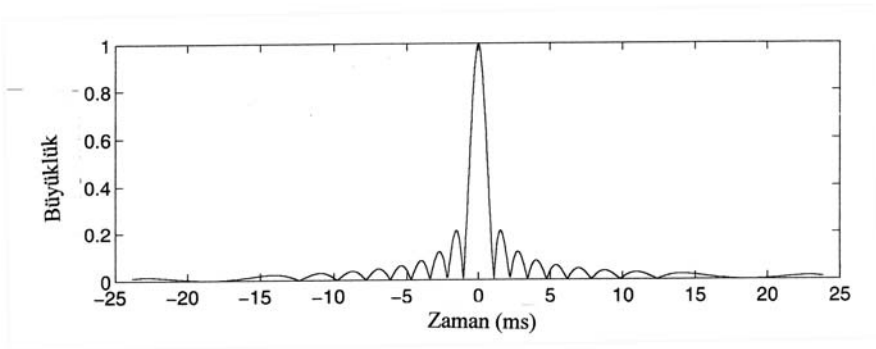
$$p(\tau) = \begin{cases} (T - |\tau|) \cdot \frac{\sin[\pi \cdot \beta \cdot (T - |\tau|)]}{\pi \cdot \beta \cdot (T - |\tau|)} & , \quad -T \leq \tau \leq T \\ 0 & , \quad \text{diger} \\ & \text{durumda} \end{cases} \quad (2.12)$$

Bilgi bileşeni T gibi bir süreye yayılmışken şimdi yaklaşık $1/\beta \cdot T$ 'ye yayılmış olur. Bu da darbenin bandgenişliğinin tersine eşittir. Darbe sıkıştırması bu tip bir işleme uygulanır.

Çırpı darbesi için uygun bandgenişliği seçimi menzilde istenilen yüksek çözünürlüğü verir. Alınan işarete uyumlu filtreyi uygulayarak geri yansıyan gücü menzilin fonksiyonu olarak yeniden elde etmek mümkündür. İstenilen uyumlu filtre gönderilen çırpının kopyası veya bandgenişliği ve darbe süresi gibi bilinen sistem parametrelerinden hesaplanabilir. [8]



Şekil 2.12 Çırpı Darbesinin Zaman Domenindeki Gösterimi



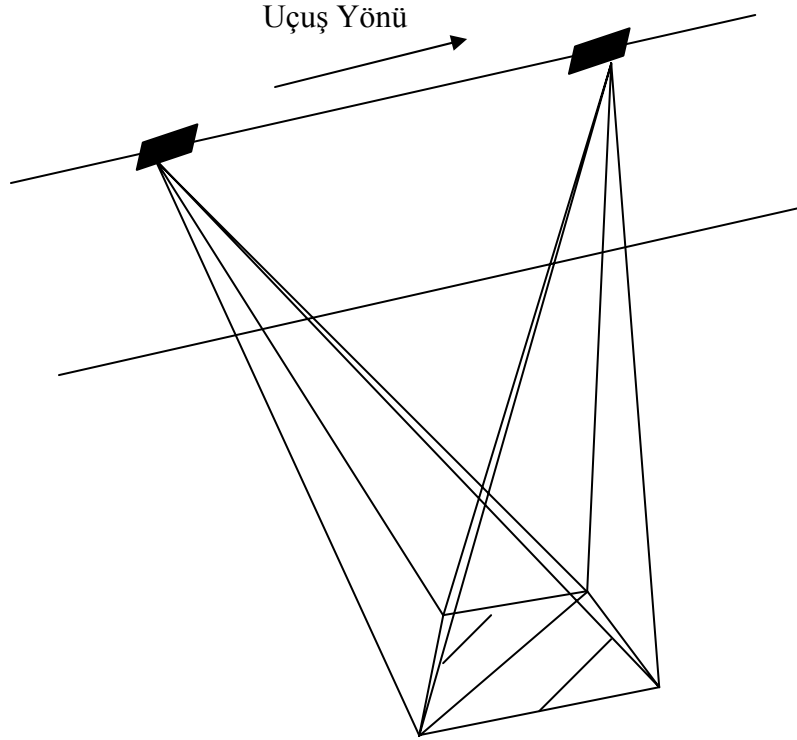
Şekil 2.13 Çırpı Darbesinin Fourier Dönüşümü

2.6 SAR Modları

SAR sisteminde temel olarak Spot Aydınlatmalı (Spotlight), Şerit Haritalamalı (Stripmap) ve Taramalı (Scan) olmak üzere üç ana mod bulunur.

2.6.1 Spot Aydınlatmalı (Spotlight) SAR

Verinin toplanması sırasında görüntülenecek hedef alanı hareketli platform üzerindeki radar anteninin yaydığı ışın demeti tarafından sürekli aydınlatılmaktadır. Böylece aydınlatılan alan görüntülenir. Bu modda daha küçük hedef alanları daha iyi çözünürlükle elde edilir. Görüntüleme birçok açıdan yapılabildiği için açıyla değişen yansıtma özellikleri olan hedeflerde spot aydınlatmalı mod kullanılması avantaj sağlar. Yapay açıklık uzunluğu şerit haritalamalı (stripmap) moda göre artırılabilir. Şekil 2.14’ de spot aydınlatmalı mod gösterilmiştir. Spot aydınlatmalı modda datalar yüzeyde bir nokta referans alınarak toplanır. [6, 9]

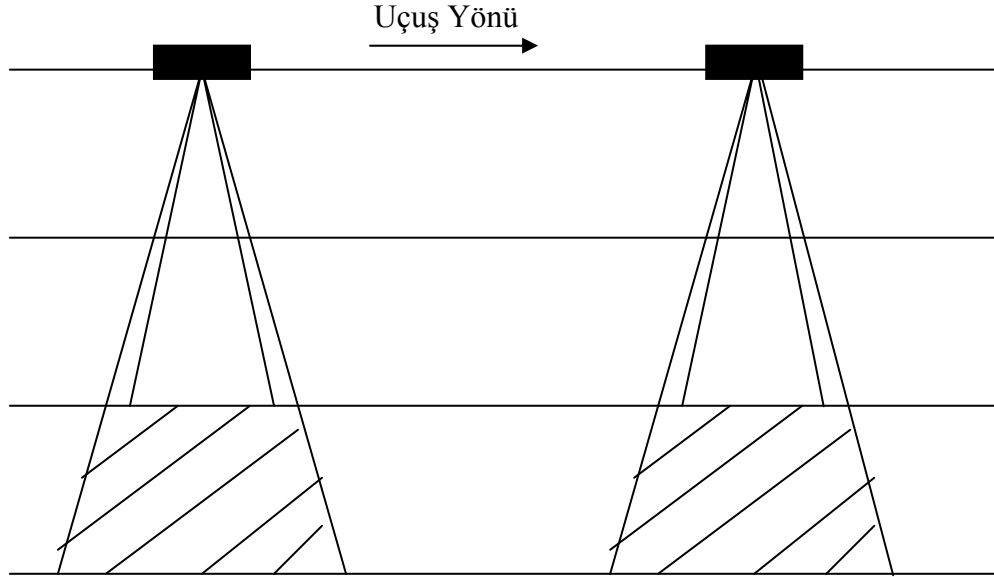


Şekil 2.14 Spot Aydınlatmalı SAR

2.6.2 Şerit Taramalı (Stripmap) SAR

En popüler olan ve en iyi bilinen mod şerit haritalamalı moddur. Burada radar anteni uçuş platformunun izlediği yola göre belli bir yönü gösterir. Platform hareket ettikçe anten ayakizi aydınlatılan yüzeyde bir şeridi kaplar. Şerit haritalamalı SAR görüntüsü menzil yönünde sınırlı, azimut yönünde sınırsızdır.

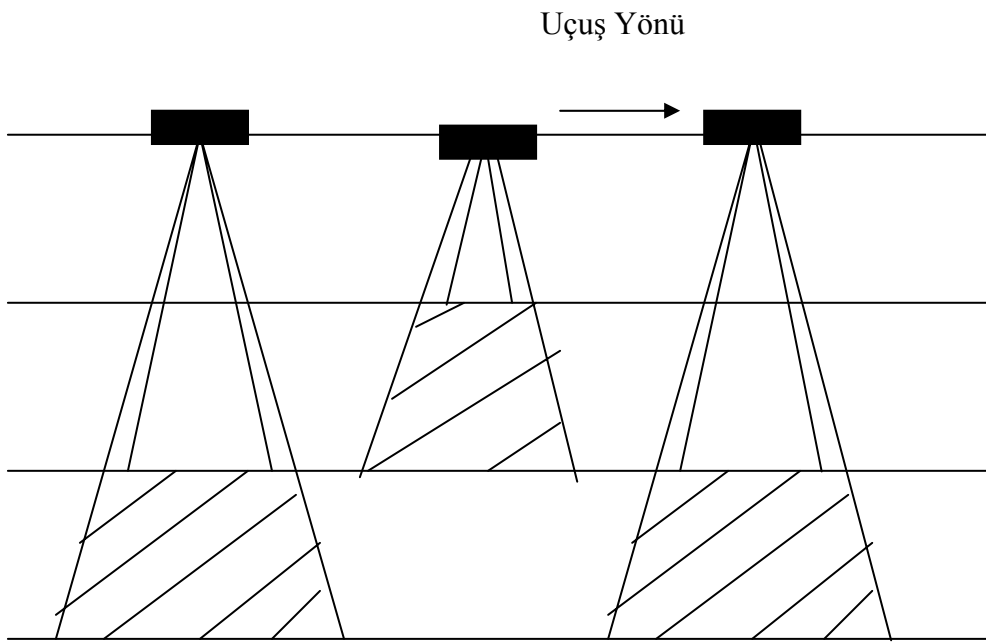
Şerit taramalı SAR sistemlerinde geniş alan (broadside) ve görüntüleme (squinted) olmak üzere iki çeşit görüntüleme geometrisi kullanılmaktadır. Hareket doğrultusuna paralel hedef şeridi boyunca hareketli anten ayakizi ile yapılan tarama şekline geniş alan görüntüleme geometrisi denmektedir. Hareket doğrultusunun normaline göre ileride veya geride olacak şekilde yapılan taramaya da görüntüleme geometrisi denmektedir. Büyük ve geniş hedef alanlarının kaba bir çözünürlükle incelenip görüntülenmesini sağlar. Bölge hakkında çok ayrıntılı bilgi vermez ancak daha kısa zamanda daha geniş bölgeler için iyi sonuçlar verdiğinden tercih edilir. Şekil 2.15’ de şerit haritalamalı SAR gösterilmiştir. [6, 9]



Şekil 2.15 Şerit Taramalı SAR

2.6.3 Taramalı (Scan) SAR

Hareket doğrultusuna göre herhangi bir açıda olan hedef alan şeridinin anten demeti ile tarandığı çok yönlü çalışma modudur. Bir anlamda spot ayınlatmalı ve şerit haritalamalı modun bir arada kullanılmasıyla oluşturulur. Ancak veri işleme sırasında ek işlemlere gereksinim duyması ve sistemin fiziksel gerçeklemesinin kompleks olması nedeniyle daha az tercih edilir. Taramalı SAR Şekil 2.16’ da gösterilmiştir. [6, 9]



3. SAR DATALARI ve GÖRÜNTÜ ALGORİTMALARI

3.1 Giriş

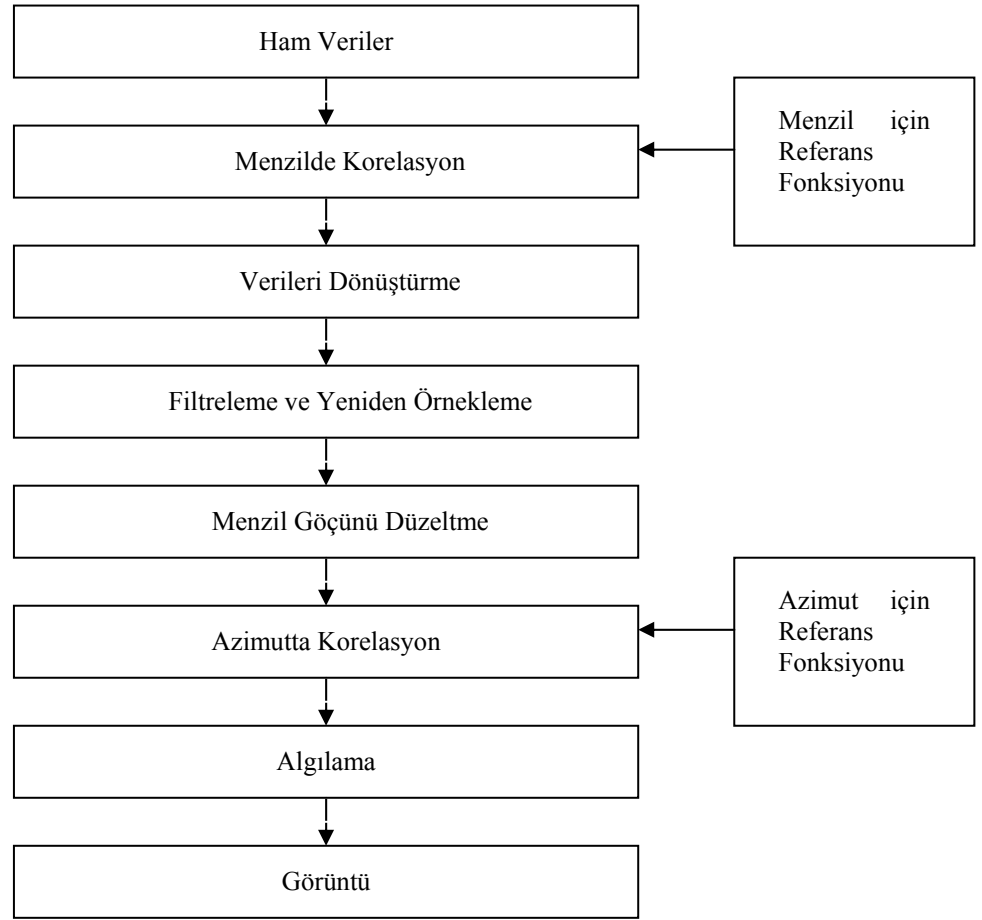
Bu bölümde SAR datalarının alınıp görüntüye dönüştürülmesi sırasında yapılan işlemler ve sıkça kullanılan popüler algoritmalara değinilmiştir. İlk olarak menzil ve azimutta yapılan işlemler, ham veri dizinine ilişkin bilgiler ve işleme adımlarından bahsedilmiştir. Daha sonra da ham datadan SAR görüntüsü elde etmemizi sağlayan algoritmalar hakkında bilgi verilmiştir.

3.2 SAR Datalarının Alınması ve Özellikleri

Önceleri SAR işaretleri optik işlemciler aracılığıyla görüntüye dönüştürülüyordu. Daha sonraları, SAR verilerinin işlenmesi elektronik olarak gerçekleştirilmeye başlandı. Elektronik işlem, analog veya sayısal olabilir. Sayısal işleme yüksek bir doğruluk verir. Bilgisayarların gelişmesiyle de daha çok uygulanan bir işlem haline gelmiştir.

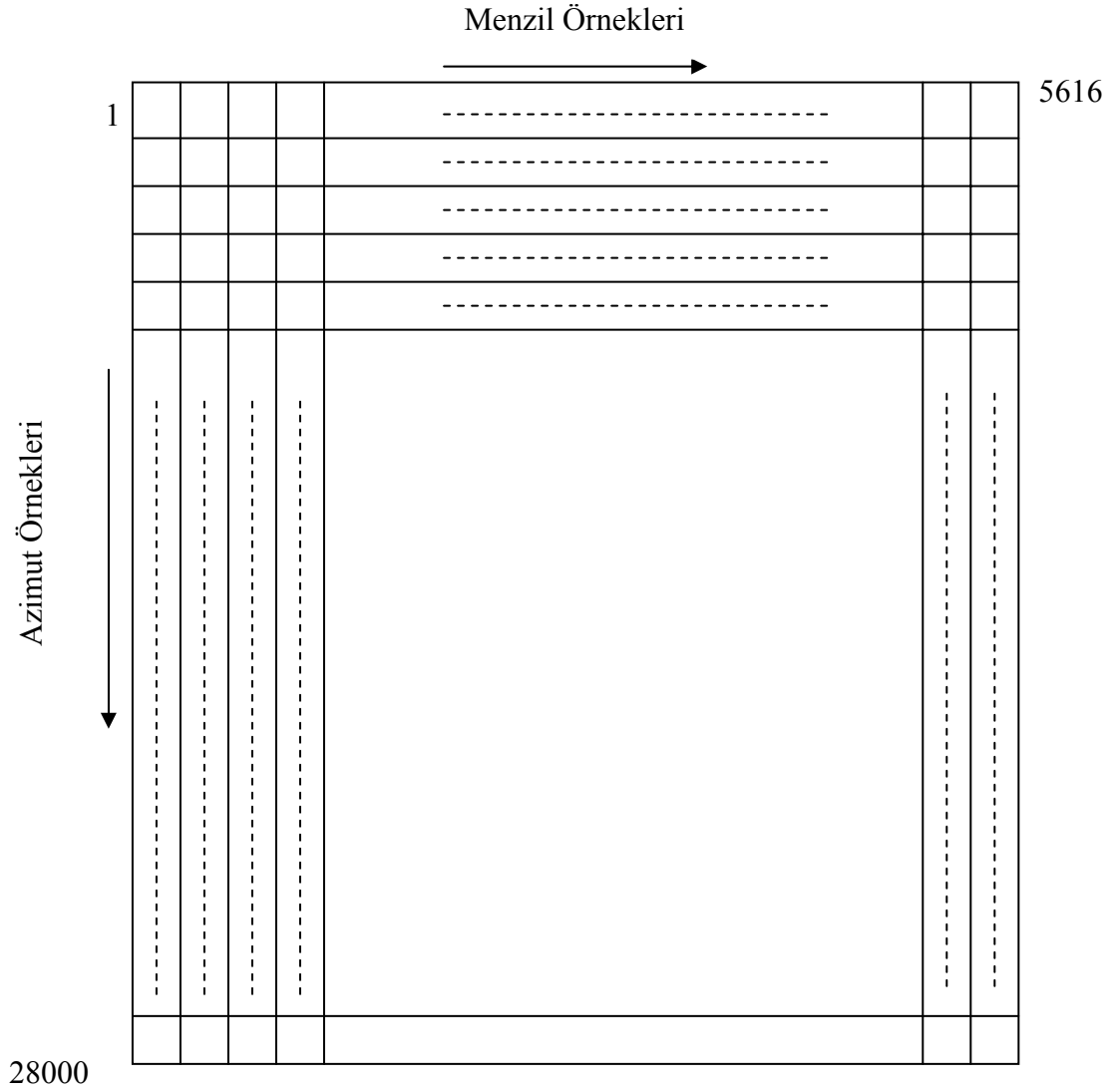
Sayısal işlemede karşılaşılabilecek ana problemler işleme sırasında ortaya çıkabilecek performans sorunu ve data setlerinin depolanma sorunudur. Tek bir görüntü için bile olabildiğince doğru sonuç elde etmek işlemcinin çok fazla efor sarfetmesine neden olur. Görüntü çözünürlüğünü düşürerek işleme adımlarını kolaylaştırmak için bazı yaklaşımlar yapılır.

Sayısal işlemler korelasyon ve sıkıştırma gibi yöntemlerle yapılabilir. Menzil ve azimutta korelasyon zaman veya frekans domeninde hesap edilebilir. Korelasyon, Fourier dönüşümünün katlanma yazılımına göre de yapılabilir. Burada alınan işaret ve referans fonksiyonu frekans ortamına dönüştürülür ve böylece korelasyon bir çarpım olur. Korelasyon işleminde Fourier dönüşümünün uygulanmasının faydası, gerekli hesap yükünün oldukça azaltılmasıdır. Şekil 3.1’ de menzil ve azimutta yapılan işlemlerin blok diyagramı verilmiştir.[10]



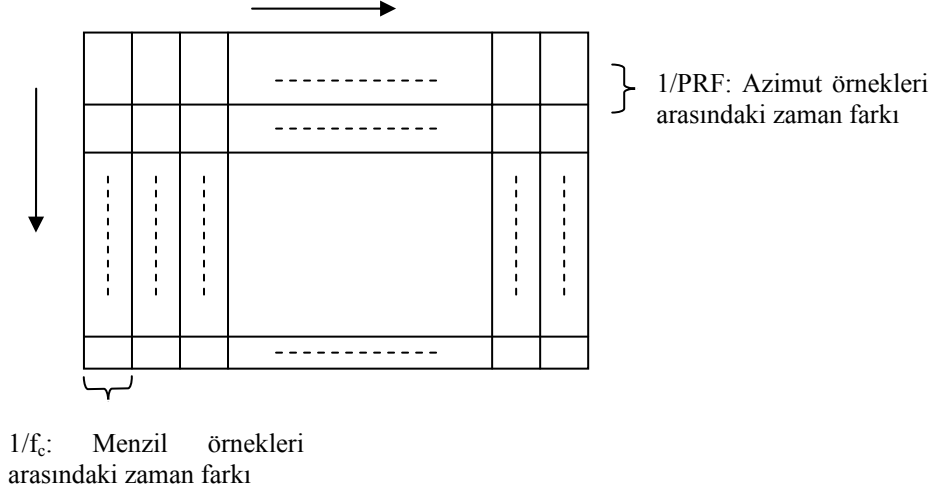
Şekil 3.1 SAR İşleyicisinin Blok Gösterilimi

Bir radar darbesi iletildiğinde alıcı dönen darbeleri alır ve sayısal olarak örnekler. Gönderilen darbeye karşılık toplanan sayısal örneklerin oluşturduğu her set bir çizgi olarak tanımlanır. Böylece her çizgi uygun işlemeden sonra menzil uzaklığının bir fonksiyonu olarak geri yansımış işaretin gücünü verir. Bu çizgiler Şekil 3.2’ de gösterilen iki-boyutlu ham data setini oluştururlar. Toplam çizgi sayısı uydunun veri toplamak için harcadığı süreye bağlıdır ve bu sayı görüntülenen şeridin uzunluğunu verir.



Şekil 3.2 İşlenmemiş Veri Dizisinin Diyagramı

Örneğin 100x100 km' lik bir ERS görüntüsünde 28000 çizgi ve her çizgide 5616 örnek yer alır. Görüntülenecek bölgeyi aydınlatmak için 28000 darbe üretilmiştir. Geri dönen radar darbeleri alınmış ve her geri yansıyan işaret uygun örnekleme frekansında örneklenmiştir. Sonuçta 5616 değer elde edilmiştir. Elde edilen veri 5 bit ile kuantalanmıştır. Şekil 3.3' de gösterildiği gibi azimut örneklerinin arasındaki zaman farkı $1/PRF$ kadardır. Azimut örneklerinin arasındaki uzaklık ise $V \cdot 1/PRF$ kadardır. V platformun hızını göstermektedir. Menzil örneklerinin arasındaki zaman farkı ise $1/f_c$ kadardır. f_c örnekleme frekansını göstermektedir.



Şekil 3.3 Azimut ve Menzil Örnekleri

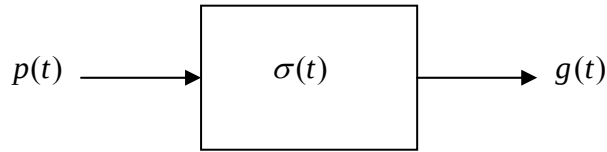
SAR data işlemede genel metod, çeşitli ters teknikler uygulayarak geri yansımış radar işaretlerinin uygun matematiksel modellerinden orijinal işarete ulaşmaktır. Ancak bu teknikler kullanılırken karşılaşılabilecek ana problem alınan veriden çıkarılan orijinal işaret bilgisinin bazı hatalara sahip olmasıdır. Bunun için bazı hatalar kontrol altında tutulabilmelidir.

Belirli bir bölgeden farklı iki günde alınan SAR datası işleme adımında yeni bir gereksinimi ortaya çıkarmaktadır. SAR işlemcileri faz korumalı olmalıdır. Yeryüzündeki belli bir nokta ile radar arasındaki menzil uzaklığı hedefin boyuna ve radarın yerine bağlıdır. Sonuç olarak menzil uzaklığındaki bir değişiklik hedefin boyuyla da ilgili olabilir. Bu durumda her hedefin boyu aynı olmadığı için yansıyan işaretlerin arasında da faz farkları olacaktır. Orijinal işaret elde edilirken her işaret için farklı bir ters teknik uygulanamayacağından SAR işlemcileri faz korumalı olmalıdır.

3.3 SAR İşleme Adımları

3.3.1 Filtreleme

Bir radar sisteminde $p(t)$ gönderilen işaret, $g(t)$ de buna karşılık alınan işaret olsun. $\sigma(t)$ ise menzilin fonksiyonu olan bir tür transfer fonksiyonudur. $g(t)$ Şekil 3.4’ deki gibi tanımlanabilir:



Şekil 3.4 SAR Filtreleme Adımı

$$g(t) = \sigma(t) * p(t) \quad (3.1)$$

$$g(t) = \int_{-\infty}^{\infty} \sigma(\tau) \cdot p(t - \tau) d\tau \quad (3.2)$$

Burada $\tau = 2r/c$ şeklinde tanımlanır. (c: ışık hızı)

Alınan işaret beyaz Gauss gürültüsü ile bozulmuş bir işarettir. $g(t)$ ’ yi işlemek için kullanılacak en uygun filtre 3.3’ de formülize edilmiştir.

$$h(t) = k \cdot p^*(-t) \quad (3.3)$$

$g(t)$ ’ nin $h(t)$ ile filtrelenmesiyle elde edilen $m(t)$ işaretinin matematiksel ifadesi ise 3.4’ de verilmiştir.

$$m(t) = k \cdot \int_{-\infty}^{\infty} \sigma(\tau) \cdot p(t - \tau) d\tau \quad (3.4)$$

Bu ifadede geçen $p(\tau)$ ’ nun matematiksel ifadesi ise 3.5’ de verilmiş olup $p(\tau)$ gönderilen işaret olan $p(t)$ ’ nin otokorelasyon fonksiyonu olarak tanımlanır.

$$p(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} p(t) \cdot p^*(t - \tau) dt \quad (3.5)$$

Radar çözünürlüğü sadece gönderilen işaretin otokorelasyon fonksiyonuna bağlı olduğundan, gönderilen işaretin uygun şekilde değiştirilmesiyle radar menzil çözünürlüğü ayarlanabilir.

Yapılan işlemlerde genel olarak Fourier domeni kullanıldığı için 3.1 ifadesi Fourier özellikleri kullanıldığında 3.6 ifadesine dönüşür.

$$G(\omega) = \Gamma(\omega) \cdot P(\omega) \quad (3.6)$$

Buradan 3.7 ifadesi elde edildiğinde $P(\omega)$ 'nın sıfır olabilme koşuluna karşılık $\gamma(\omega)$ şeklinde bir düzeltme parametresi eklenerek 3.8' deki yaklaşık ifade elde edilir.

$$\Gamma(\omega) = \frac{G(\omega)}{P(\omega)} \quad (3.7)$$

$$\Gamma'(\omega) = \frac{G(\omega) \cdot P^*(\omega)}{\gamma(\omega) + P(\omega) \cdot P^*(\omega)} \quad (3.8)$$

Pratikte $\gamma(\omega)$ parametresinin frekans bandı içinde sabit olduğu, band dışında da sıfır olduğu yaklaşımı yapılabilir. Bu durumda 3.9' daki ifade elde edilir.

$$\Gamma'(\omega) = k \cdot G(\omega) \cdot P^*(\omega) \quad (3.9)$$

3.3.2 Örneklemeye

Ana ışın demeti içinde farklı konumlarda olan dağıtıcılar arasında, açılardaki küçük farklılıktan ve bunun içinde radara göre biraz farklı hızlarından dolayı farklı doppler kayması olur. Bu kayma değeri sensörün yerine göre farklı frekans değerlerine sahip olabilir. Doppler frekansının en büyük ve en küçük değerleri arasındaki fark Doppler band genişliği olarak tanımlanır. İşaret gönderildikten sonra işaretin gelmesi beklendiğinden çakışma olmaması için Doppler spektrumu darbe tekrarlama frekansında örneklenir.

Gerçel işaret için, Doppler spektrumu sıfır noktasına göre simetrik olduğu için negatif ve pozitif bileşenleri ayırmak pek mümkün olmamaktadır. SAR' da ise işleme sırasında negatif ve pozitif bileşenleri arasındaki fark önem taşır. Bu farkı yakalayabilmek için gerçel işareti analitik işarete dönüştüren devrelerden yararlanılır.

3.4 Dar Odaklama Algoritması

Hedef analizimizi noktasal bir hedef yerine aydınlatılmış bir alan üzerinde yaptığımızı varsayalım. $r = r_0$ kabulüyle darbe yanıtının menzilden bağımsız olmasını sağlayalım. Burada r_0 görüntülenecek olan bölgenin merkezinin menzil uzaklığıdır. Bu tanımlama noktasal hedef analizi tanımından farklıdır. Dar odaklamalı algoritmada transfer fonksiyonunun menzil bağımlılığı ihmal edilebilir. $r = r_0$ kabulüyle sistem darbe yanıtı;

$$h(x', r') = \iint \gamma(x, r) \cdot g(x' - x, r' - r, r_0) dx dr \quad (3.10)$$

şeklinde olur.

Aşağıda verilen 3.11 ifadesiyle, SAR işaret fonksiyonunun formu 2-boyutlu konvolüsyona, SAR veri işlemi de 2-boyutlu dekonvolüsyona dönüşür. Dekonvolüsyon işlemini Fourier domeninde uygulamak hesaplamadaki kolaylık açısından oldukça uygundur.

Frekans domeninde ifademiz;

$$H(\xi, \eta) = \Gamma(\xi, \eta) \cdot G_0(\xi, \eta) \quad (3.11)$$

$$G_0(\xi, \eta) = G(\xi, \eta, r_0) \quad (3.12)$$

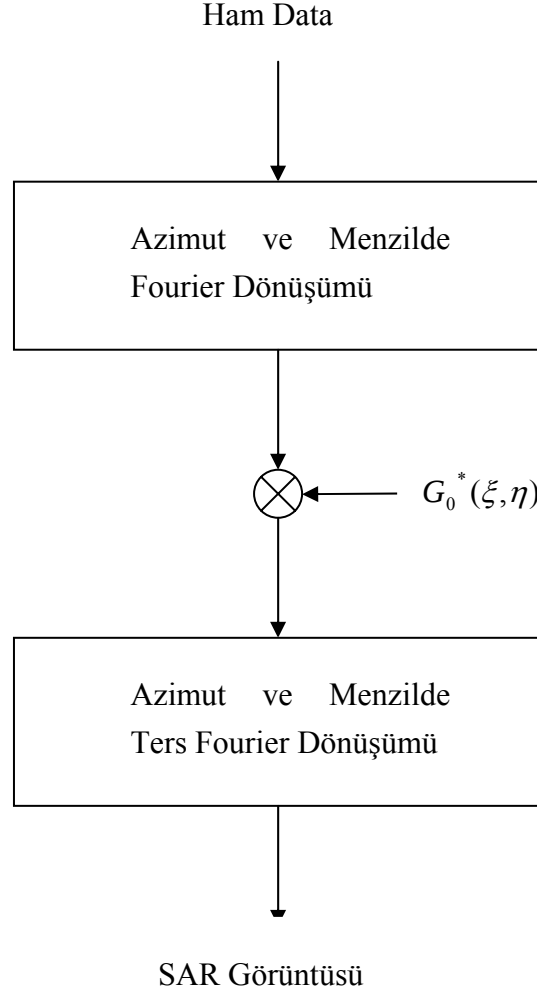
şekline dönüşür.

$G_0(\xi, \eta)$, $g(x', r', r_0)$ ifadesinin 2-boyutlu hızlı Fourier dönüşümüdür. 3.11 ifadesinden de;

$$\Gamma(\xi, \eta) = H(\xi, \eta) \cdot G_0^*(\xi, \eta) \quad (3.13)$$

ifadesini yazabiliriz. 3.13 ifadesine dayanan algoritmanın blok diyagramı Şekil 3.5' de gösterilmiştir.

Bu algoritmanın esası $r = r_0$ kabulünü yapmaktır. Bu nedenle bu algoritma dar odaklama algoritması olarak isimlendirilir. Çünkü görüntünün merkez kısmı $r = r_0$ düzgün bir biçimde odaklanmaktadır. [2]



Şekil 3.5 Dar Odaklama Algoritması Blok Diyagramı

3.5 Geniş Odaklama Algoritması

Dar odaklamadaki esas sorun $r = r_0$ yaklaşıklığı altında sadece görüntünün merkez kısmının odaklanmasıydı. Bu da birçok durumda kabul edilemeyeceği için geniş odaklama algoritması kullanılmaktadır. r 'ye bağlı faz ifadesi 3.14' de verilmiştir.

$$\psi(\xi, \eta, r) = \psi_0(\xi, \eta) + (r - r_0) \cdot K(\xi, \eta) \quad (3.14)$$

Burada,

$$K(\xi, \eta) = -\frac{2 \cdot a}{r_0} \cdot \left(\frac{L}{\lambda}\right)^2 \cdot \left(1 + \varepsilon \cdot \frac{\eta}{2 \cdot b}\right) + \frac{L}{\lambda \cdot r_0} \cdot \sqrt{\left(2 \cdot a \cdot \frac{L}{\lambda}\right)^2 \cdot \left(1 + \varepsilon \cdot \frac{\eta}{2 \cdot b}\right) - \xi^2} \quad (3.15)$$

$K(\xi, \eta)$ seriye açılım şeklinde yazılacak olursa;

$$K(\xi, \eta) = \mu(\xi) + \eta \cdot \nu(\xi) \quad (3.16)$$

Burada $\mu(\xi)$ menzildeki değişikliklerden dolayı oluşan faz değişim miktarıdır. $\nu(\xi)$ ise menzil göçü etkisidir. Menzil göçü etkisi ihmal edilirse, $K(\xi, \eta)$ ifadesi 3.17' deki gibi $\mu(\xi)$ ifadesine indirgenir.

$$K(\xi, \eta) = \mu(\xi) = -\frac{2 \cdot a}{r_0} \cdot \left(\frac{L}{\lambda}\right)^2 + \frac{L}{\lambda \cdot r_0} \cdot \sqrt{\left(2 \cdot a \cdot \frac{L}{\lambda}\right)^2 - \xi^2} \quad (3.17)$$

Genlik terimleri ihmal edilerek;

$$G(\xi, \eta, r) = \exp(-j \cdot \psi(\xi, \eta, r)) \quad (3.18)$$

$$G(\xi, \eta, r) = G_0(\xi, \eta) \cdot \exp(-j \cdot (r - r_0) \cdot \mu(\xi)) \quad (3.19)$$

Transfer fonksiyonu menzile bağlıdır. Geniş odaklama algoritmasının blok diyagramı Şekil 3.6' da verilmiştir.

İlk adımda 2-boyutlu SAR ham verinin spektrumu hesaplanır. Daha sonra $H(\xi, \eta)$ 3.11' deki yaklaşıklığa göre $G_0^*(\xi, \eta)$ ile çarpılır.

$$\Gamma[\xi, \eta + \mu(\xi)] \approx H(\xi, \eta) \cdot G_0^*(\xi, \eta) \quad (3.20)$$

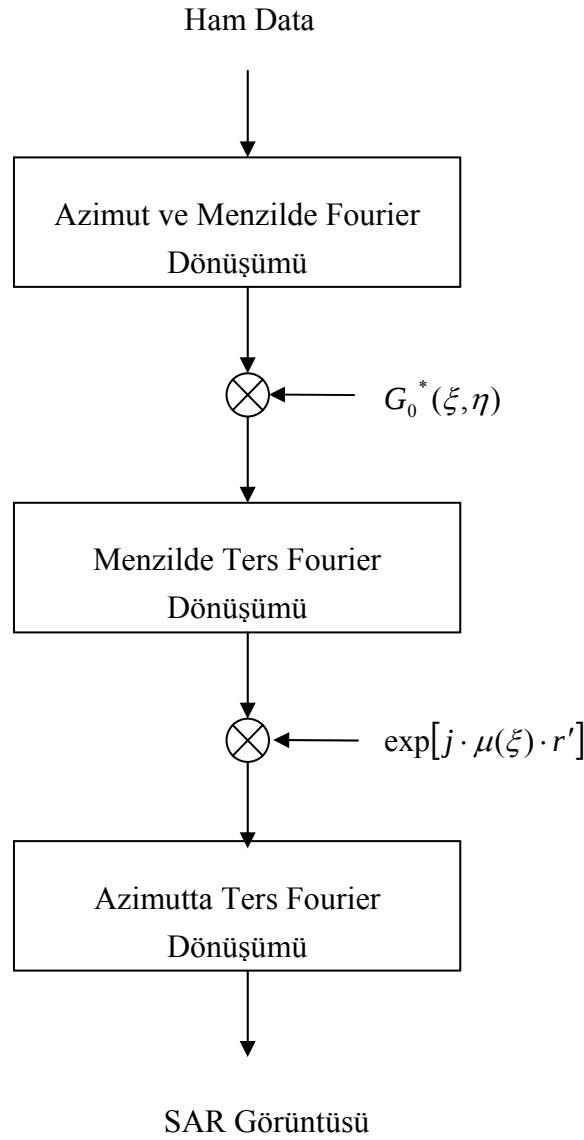
İkinci adımda menzilde hızlı ters Fourier transformu hesaplanır.

$$FFT^{-1}\left[H(\xi,\eta) \cdot G_0^*(\xi,\eta)\right] \approx \exp(-j \cdot \mu(\xi) \cdot r') \cdot \hat{\gamma}(\xi, r') \quad (3.21)$$

$\mu(\xi)$ ifadesinin değişim miktarı azimut yönündeki örneklerin sayısının bir fonksiyonudur. Amacımız $\hat{\gamma}(\xi, r')$ ' nü elde etmek olduğu için üçüncü adımda $\exp(j \cdot \mu(\xi) \cdot r')$ çarpanı ile çarpılır.

$$\hat{\gamma}(\xi, r') = FFT^{-1}\left[H(\xi,\eta) \cdot G_0^*(\xi,\eta)\right] \cdot \exp(+j \cdot \mu(\xi) \cdot r') \quad 3.22$$

Son adımda ise $\hat{\gamma}(x', r')$ ifadesine geçilerek istenilen SAR görüntüsü elde edilmiş olur. [2]



Şekil 3.6 Geniş Odaklama Algoritması Blok Diyagramı

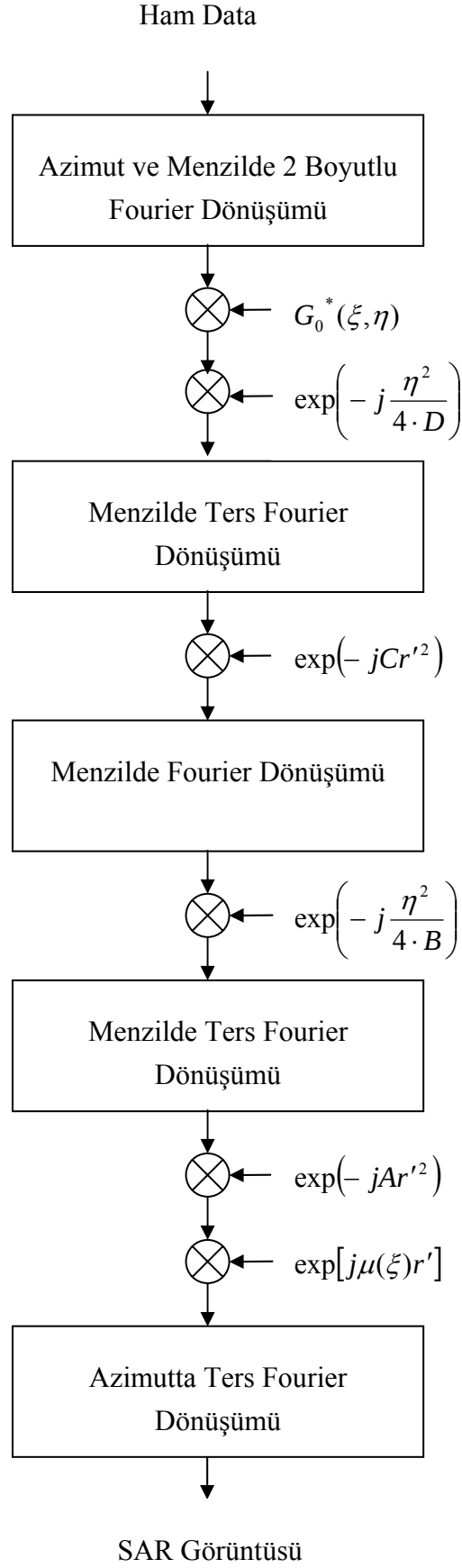
3.6 Çırpı Tarama Algoritması

İlk olarak; menzil hücre kompanzasyonu yapılırken, başka bir kod ile SAR datanın interpolasyonuna ihtiyaç duyulmasıyla önerilmiş bir algoritmadır. Görüntüleme modeli olarak Menzil-Doppler algoritması ile aynıdır.

Şekil 3.7’de algoritmanın genel blok diyagramı görülmektedir. Bu diyagram doğrultusunda menzil hücre göçü düzeltmesinin yayılması Fourier dönüşümünün bir özelliğidir. Buna göre iki boyutlu bir fonksiyonun iki boyutlu Fourier dönüşümü ile ayrı ayrı alınmış Fourier dönüşümleri eşittir. Ancak iki boyutlu fonksiyonlar için blok diyagramda gösterilmeyen bir adım daha söz konusudur. Hızlı Fourier dönüşümünün bir özelliği olarak, dönüşüm yapıldıktan sonra bir işlem uygulanmadan önce görüntü üzerinde bir düzeltme işlemi yapılması gerekir. Bu algoritma menzil yönünde zaman boyutunda uygun bir ölçekleme yapıldığında, menzil hücre göçünün menzile bağımlılığının kompanze edilebileceğinin görülmesiyle ortaya çıkmıştır.[8] Algoritmayı basitleştirmek için menzil hücre düzeltmesi işlemi, kompleks eksponansiyel ifadelerle çarpılarak, iki boyutlu frekans boyutundan taşınabilmektedir.

Çırpı tarama ismini veren özellik; kullanılan fonksiyonun, bir fonksiyonun kendine uygun çırpı oranları olan lineer çırpı işaretleri ile modüle edilerek veya konvolüsyon kombinasyonları alınarak elde edilmesidir. Buna göre önce çırpı oranı $-\alpha$ olan bir çırpı işareti ile konvüle edilirken, $-(k-1)\alpha$ ile modüle edilir. Sonra oranı $k\alpha$ olan üçüncü çırpı işareti ile tekrar konvülasyonu alındıktan sonra, son olarak çırpı oranı $k(k-1)\alpha$ olan dördüncü bir çırpı işareti ile modüle edilir. Bu şekilde girişteki fonksiyonumuzun $f(t)$ olduğu düşünüldüğünde, bütün konvolüsyon ve modülasyon işlemlerinin ardından elde edilen fonksiyonun matematiksel olarak, $kf(kt)$ olduğu görülür. Ancak bu durum, kullanılan farklı çırpı oranlarına sahip çırpı darbelerinin lineer olması ile geçerlilik kazanır. Oysa çoğu sistem ilk çırpı darbesi hariç lineer çırpı darbeleri kullanmaz. İlk çırpı darbesi menzil çözünürlüğünü etkilediğinden lineer olmak zorundadır. Bu durumda, gerekli ölçekleme faktörünün hesaplanmasının ardından, buna göre gerekli üç çırpı darbesinin seçilmesi gerekir.

İletilen çırpı işaretinin lineer bir çırpı darbesi olması gerekir. Ayrıca çırpı tarama algoritması işlemciye ek bir yük getirmektedir. [8]



Şekil 3.7 Çırpı Tarama Algoritmasının Blok Diyagramı

3.7 Genişletilmiş Çırpı Tarama Algoritması

Algoritmadaki ilk adım bir referans menzili için faz hata düzeltmesidir. Doğrudan ham dataya uygulanır. Faz hata düzeltmesini uygulayarak, düzlem yörüngesi sadece referans menzili için düz bir çizgiye düzeltilir. Gerçek işleme SAR işaretinin menzil-doppler domenine dönüştürülmesiyle başlar.

İkinci adımda ise faz terimiyle çarpma adımıyla çırpı tarama işlemi gerçekleştirilir. Çırpı taramanın amacı tüm menzil taşıma yörüngelerini referans menzilininkine eşitlemektir. Taram ile menzil merkezi yeni bir konuma kaydırılmış olur.

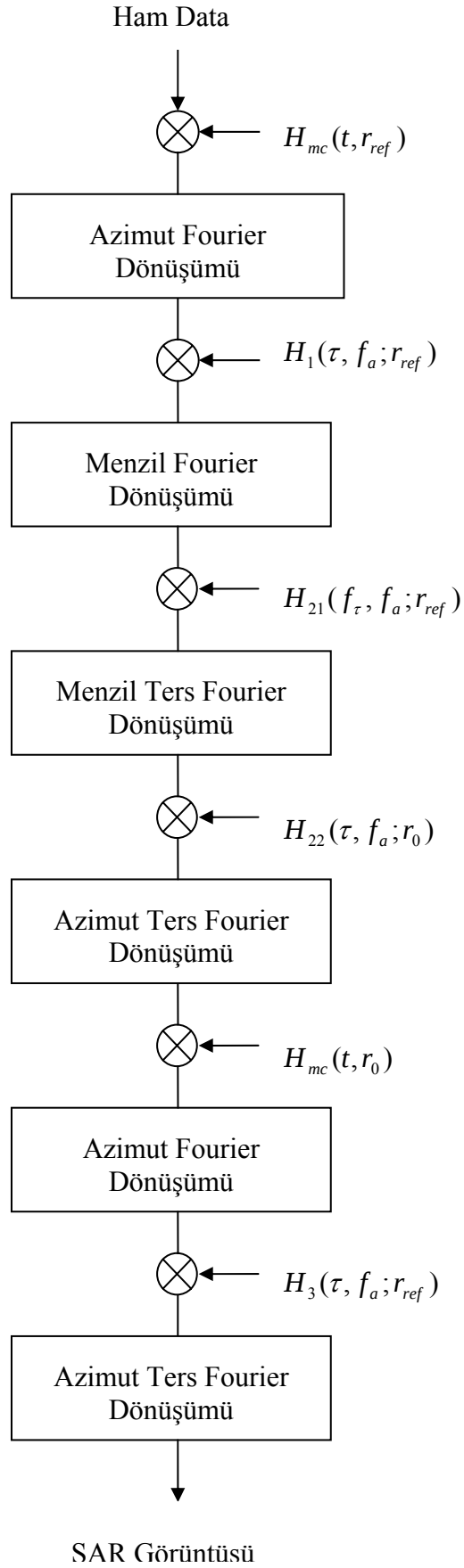
Genişletilmiş çırpı tarama algoritmasının temel bir karakteristiği wavenumber domeninde azimut sıkıştırması gerçekleştirilmemesidir. Çünkü ikinci dereceden hareket kompanzasyonu menzildeki kaydırmadan dolayı menzil sıkıştırmasından sonra ve azimut sıkıştırmasından önce gerçekleştirilmelidir. Bu domende sadece menzil sıkıştırma ve menzil hücre göçü gerçekleştirilir.

SAR işareti menzil-Doppler domenine geri dönüştürüldüğünde azimut fazını dengeleyen bir faz düzeltmesi uygulanır. Düzeltmeden sonra, SAR işareti doğru hareket dengelemesi sağlamak için işaret domenine dönüştürülebilir.

Atmosferik etkenler SAR sistemleri için önemli bir problemdir. Düzeltilmediği takdirde görüntü kalitesi oldukça düşer. Bunun için zaman domeni faz düzeltme fonksiyonu uygulanarak yörünge düz bir çizgiye düzeltilir. Birinci dereceden hareket kompanzasyonu referans menzili için faz düzeltmesi olarak tanımlanır. İkinci dereceden hareket dengelemesi menzil uzaklığının bir fonksiyonu olarak faz düzeltmesinin güncellenmesini içerir.

Menzil sıkıştırmalı SAR verisinin işaret domenine dönüşümünden sonra uygulanan ikinci dereceden hareket kompanzasyonundan sonra sadece tek boyutlu azimut sıkıştırması gerçekleştirilmelidir.

Genişletilmiş çırpı algoritmasının temel diyagramı Şekil 3.8' de gösterilmiştir. [11, 12]



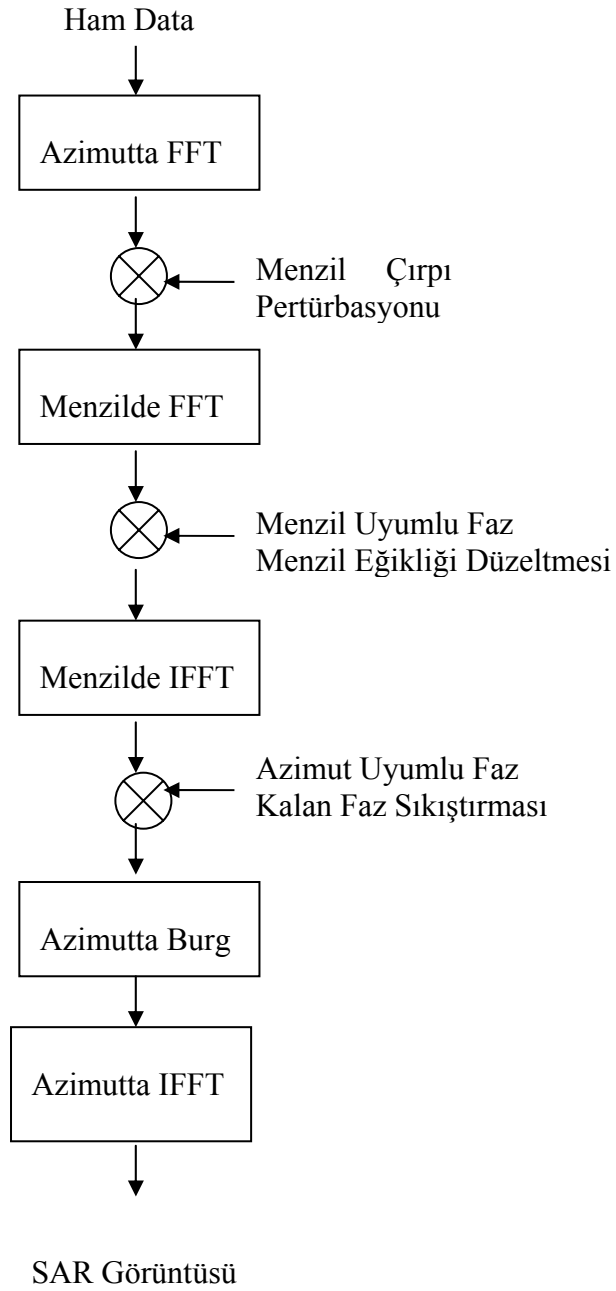
Şekil 3.8 Genişletilmiş Çırpı Tarama Algoritması Blok Diyagramı

3.8 ırpı Tarama Burg (CBS) Algoritması

SAR görüntüsü elde etmek için uygulanan algoritmalarda iki-boyutlu uyumlu filtre adımına da yer verilmelidir. Ancak işlemciye ek bir yük getiren bu adımı basitleştirme yoluna gidilmiştir. Bu da algoritma adımlarında basitle tirilmi  faz çarpanlarına ve tek boyutlu ters Fourier d n   mlerine yer verilerek gerçekleştirilmiştir.

ırpı tarama algoritmasının çözünürlüğünü arttırmak için burg algoritması geliştirilmiştir. ırpı tarama burg algoritması uygulanarak daha yüksek çözünürlük aynı yapay açıklıkla sağlanabilir. Yani  ırpı tarama algoritmasının sağladığı çözünürlük,  ırpı tarama burg algoritmasıyla daha küçük yapay açıklıkla sağlanabilir. [13]

Şekil 3.9' da algoritmanın blok diyagramı verilmiştir.



Şekil 3.9 Çırpı Tarama Burg Algoritması

3.9 Çırpı Z-Dönüşümü Algoritması

Algoritmanın ilk adımında iki-boyutlu spektrum $H(\xi, \eta)$, $G_0^{-1}(\xi, \eta)$ çarpanı ile çarpılır.

$$\hat{H}(\xi, \eta) = H(\xi, \eta) \cdot G_0^{-1}(\xi, \eta) = \Gamma[\xi, \Omega(\xi)\eta + \mu(\xi)] \quad (3.23)$$

3.23 denkleminde menzil (η) yönünde ters Fourier dönüşümünü $\exp(j\eta r')$ yerine $\exp(j\Omega(\xi)\eta r')$ kullanarak uygularsak;

$$SCFT^{-1}(\hat{H}(\xi, \eta)) = \frac{1}{2\pi} \int \hat{H}(\xi, \eta) \cdot \exp(j\Omega(\xi)\eta r') d\Omega(\xi) \eta \quad (3.24)$$

$$= \frac{1}{2\pi} \int \Gamma[\xi, \Omega(\xi)\eta + \mu(\xi)] \exp(j\Omega(\xi)\eta r') d\Omega(\xi) \eta \quad (3.25)$$

$$\approx \Gamma[\xi, r'] \exp(-j\mu(\xi)r') \quad (3.26)$$

Son adımda da 3.26 ifadesini $\exp(j\mu(\xi)r')$ ile çarpıp azimuta (ξ) göre ters Fourier alarak algoritmayı tamamlarız. Algoritmanın blok diyagramı Şekil 3.10' da gösterilmiştir.

Bluenstein formülünü genişletecek olursak;

$$\exp(j\Omega(\xi)\eta r') = \exp(j\Omega(\xi)r'^2/2) \cdot \exp(j\Omega(\xi)\eta^2/2) \cdot \exp(-j\Omega(\xi)(\eta - r')^2/2) \quad (3.27)$$

3.27 eşitliğini kullanarak 3.24 eşitliğini tekrar yazarsak;

$$SCFT^{-1}(\hat{H}(\xi, \eta)) = \frac{1}{2\pi} \int \Gamma[\xi, \Omega(\xi)\eta + \mu(\xi)] \exp(j\Omega(\xi)\eta r') d\Omega(\xi) \eta \quad (3.28)$$

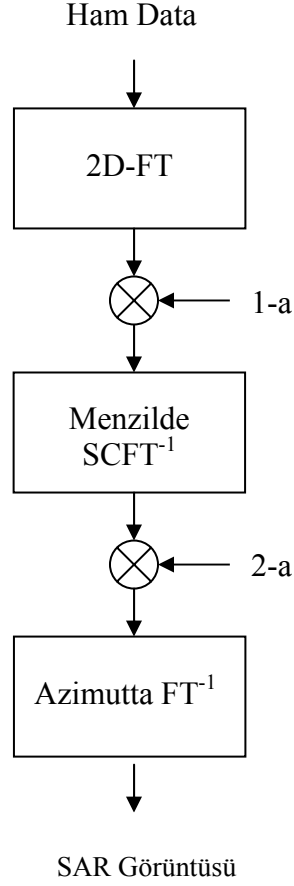
$$= \frac{1}{2\pi} \Omega(\xi) \exp(j\Omega(\xi)r'^2/2) \cdot \quad (3.29)$$

$$\int (\Gamma[\xi, \Omega(\xi)\eta + \mu(\xi)] \exp(j\Omega(\xi)\eta^2/2)) \dots$$

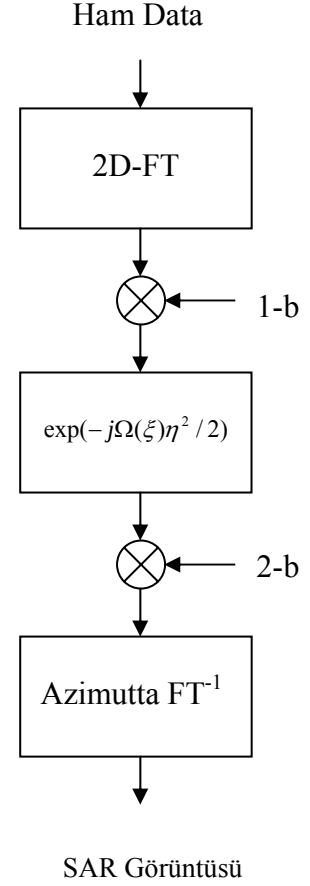
$$\exp(-j\Omega(\xi)(\eta - r')^2/2) d\eta$$

3.28 eşitliğini kullanarak $SCFT^{-1}$ adımını iki faz terimi ile çarpma ve bir konvolüsyon işlemine dönüştürmüş oluruz. İki-boyutlu spektrum $H(\xi, \eta)$ önce cırpı fonksiyonu $\exp(j\Omega(\xi)\eta^2/2)$ ile çarpılır. Sonra elde edilen fonksiyon

$\exp(-j\Omega(\xi)\eta^2/2)$ ifadesi ile konvolüsyon işlemine tabi tutulur. Son adımda elde edilen ifade faz çarpanı ile çarpılır. $SCFT^{-1}$ adımının kaldırılmasıyla oluşturulan bu algoritma Çırpı Z-Dönüşümü algoritması olarak isimlendirilir. Algoritmanın blok diyagramı Şekil 3.11’ de gösterilmiştir.



Şekil 3.10 $SCFT^{-1}$ Algoritması



Şekil 3.11 Çırpı Z-Dönüşümü Algoritması

Tablo 3.1 Algoritma Çarpanları

1-a	$G_0^{-1}(\xi, \eta)$
2-a	$\exp(j\mu(\xi)r')$
1-b	$G_0^{-1}(\xi, \eta) \exp(j\Omega(\xi)\eta^2/2)$
2-b	$\frac{1}{2\pi} \Omega(\xi) \exp(j\mu(\xi)r' + j\Omega(\xi)r'^2/2)$

Algoritmalarla ilişkin çarpanlar tablo 3.1’ de verilmiştir. Menzil sıkıştırma işlemi yapılmışsa ve SAR sistemi lineer çarpı darbesinden farklı bir işaret göndermişse algoritma yapısında herhangi bir değişikliğe gerek yoktur. Sadece $G(\cdot)$ fonksiyonunun değiştirilmesi yeterli olmaktadır. [14]

3.10 Menzil-Doppler Algoritması

Sayısal işaret işleme yaygınlaştıkça bu gelişime paralel olarak, farklı ihtiyaçları karşılayan farklı algoritmalar üretilmiştir. Elde edilecek görüntünün kalitesi, yapılan işlemlerin karmaşıklığı ve kolay gerçekleştirilebilirliği gibi bir çok etken, uygulanacak algoritmalar üzerinde optimizasyon yapılmasına yardımcı olur.

Menzil-Doppler algoritması ilk geliştirilen algoritma olup SAR görüntülerini işlemek için kullanılan popüler bir yöntemdir. Azimut odaklama ve menzil hücre göçü düzeltme problemlerini çözer.[15] Menzil-Doppler algoritması azimut frekans domeni işlemini menzil zaman domeni korelasyonu ile birleştirir. [16] Algoritma 1-boyutlu Fourier dönüşümü ile başlar, böylece menzil-Doppler domenine geçiş sağlanmış olur. Menzildeki her piksel benzer faz gecikmesine sahip olduğu için menzil-Doppler domenindeki sıkıştırma aynı menzildeki bütün piksellere uygulanır. Bu da menzil-Doppler algoritmasının avantajlarındanıdır. [17] Algoritma verilen eğik menzildeki bütün hedeflerin işleme hızında zaman domeni korelasyon yaklaşıklığına göre azimutta eşzamanlı odaklamayla artış sağlar. Algoritma, bazı yaklaşıklıklarla işleme zamanını azaltırken odaklama kalitesi de artar. Menzil-Doppler işlemcileri faz korumalı olarak tasarlanmalıdır. [18] Sert menzil kıvrıklığı ve menzil yolundan dolayı yöntemin başarısı sınırlandırılmakta ve data doğru bir şekilde işlenememektedir. Sınırlamalar, menzil-Doppler domeninde işaret enerji yayılımından ve azimut Fourier dönüşümünden kaynaklanır. [19]

SAR işlemede ana problem, zaman/ zaman domeninde aynı menzildeki hedeflerin menzil göç eğrilerinin aynı zamana rastlamamasıdır. Bundan dolayı hedeflerin menzil göçü eğrileri farklı menzillerdeki eğrilerle çakışır. Odaklama parametreleri menzil bağımlı olduğu için zaman/ zaman domeninde işleme tek pikselde yapılabilir. Zaman/ frekans domeninde aynı menzilde bulunan hedeflerin menzil göç eğrileri aynı zamana rastlar ve farklı menzildeki hedeflerin menzil göç eğrileri çakışmaz.

Menzil-Doppler algoritması menzil yönündeki sıkıştırmadan sonra işaret verisi zaman/ frekans domenine dönüştürülür. Bütün hedefler için verilen menzildeki yansımalar uygun menzil göç eğrilerinden elde edilir ve standart FFT konvolüsyon teknikleri kullanılarak sıkıştırılır.

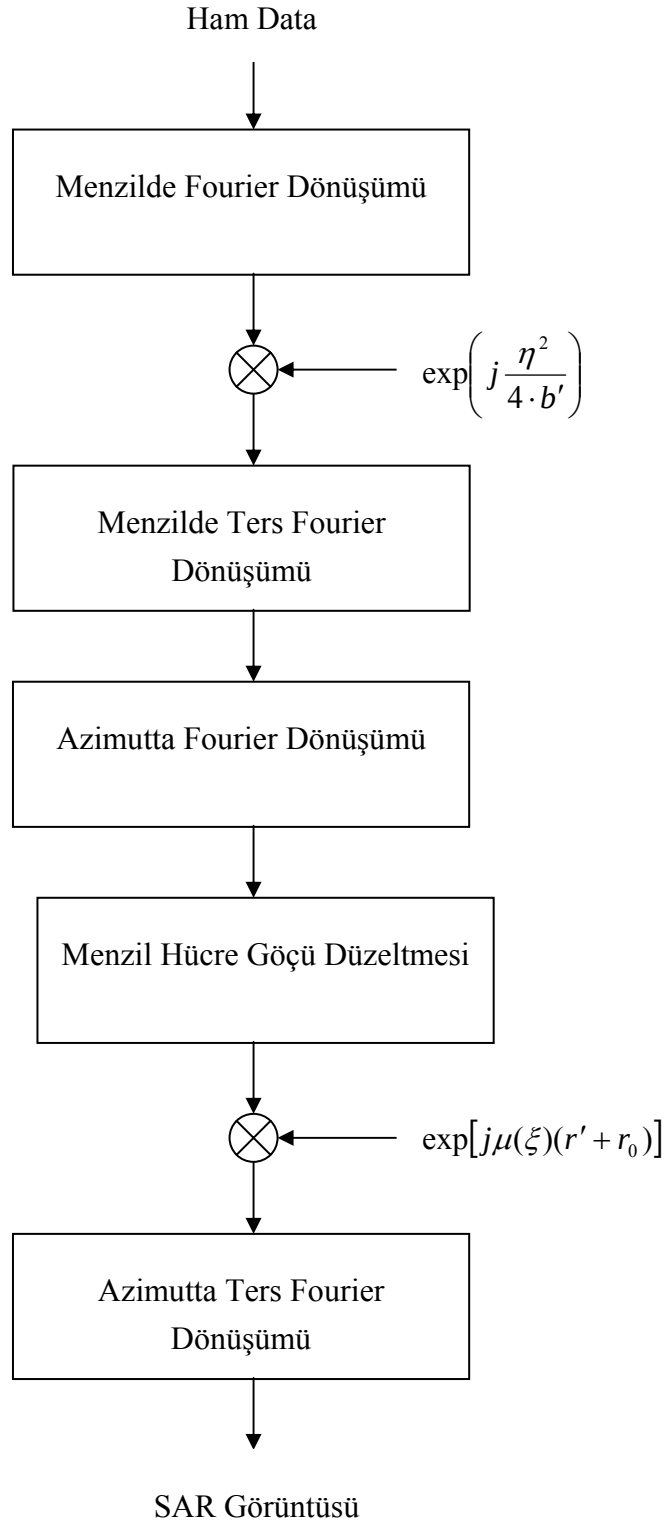
Menzil-Doppler algoritmasının iki temel dezavantajı vardır. Menzil göç eğrileri paralel olmadığı için interpolasyon hızlı konvolüsyon teknikleri ile gerçekleştirilemez. İkincisi ise noktasal hedeften yansıyan, zaman/ frekans domeninde menzil göç eğrisi üzerinde toplanmaz fakat Doppler frekansına bağlı olarak yayılır. Bu yayılmalar menzil odaklamada azalmaya neden olur. Bu durum frekans bağımlı referans fonksiyonu ile konvolüsyon işlemiyle düzeltilebilir. Ancak bu işlem frekans bilgisinin olmadığı zaman/ zaman domeninde yapılır. Dolayısıyla tek bir referans fonksiyonu kullanılarak frekans bağımlı fonksiyonların bir yaklaşıklıkla yapılır. Bu yaklaşıklık odaklamanın ve faz koruma özelliğinin bozulmasına neden olur. [18]

Menzil-Doppler algoritmasının daha iyi anlaşılması için Şekil 3.12’de verilen ham datanın alınmasından sonra SAR datanın oluşturulmasına kadar gerçekleştirilen işlemleri gösteren diyagram incelenmelidir. Şekil 3.12’de de gösterildiği gibi (ξ, r') boyutlarında tanımlıdır. ξ parametresi Doppler frekans kaymasının anlamına karşılık gelir. (ξ, r') boyutları zaman domeninde azimut ve menzile karşılık düşürülebilir.

Algoritmanın adımlarından biri de, menzil hücre düzeltmesidir. Menzil kıvrıklığı ve menzil yolunun menzil ve azimut pozisyonlarına bağıllığı ihmal edilirse, algoritmanın menzil hücre düzeltme adımı basitleştirilebilir. Bunun için algoritmadaki faz terimine yaklaşıklıklar doğrultusunda, bir düzeltme faktörü eklenmelidir.

Menzil-Doppler algoritması; sabit faz yaklaşımı doğrultusunda tanımlıdır. Ancak bu koşul altında, menzilde sıkıştırılmış datanın Fourier dönüşümü, zaman domenindeki ile benzer olabilir ve bu benzerlik dolayısıyla menzil hücre düzeltmesi basitleştirilebilir. Oysa doppler merkez frekansının yüksek olması durumunda sabit faz yaklaşımı doğru olmaz. Özellikle SAR anteninin dünyanın dönüşünü kompanze edemeyecek şekilde olması durumunda merkez frekans büyük değerler aldığından, menzil-Doppler algoritmasının geçerliliği kalmaz. Ancak bu durum için de

algoritma üzerinde bir düzeltme ile, uygun ve doğru işleme için yeni bir algoritma gerçekleştirilebilir. [8]



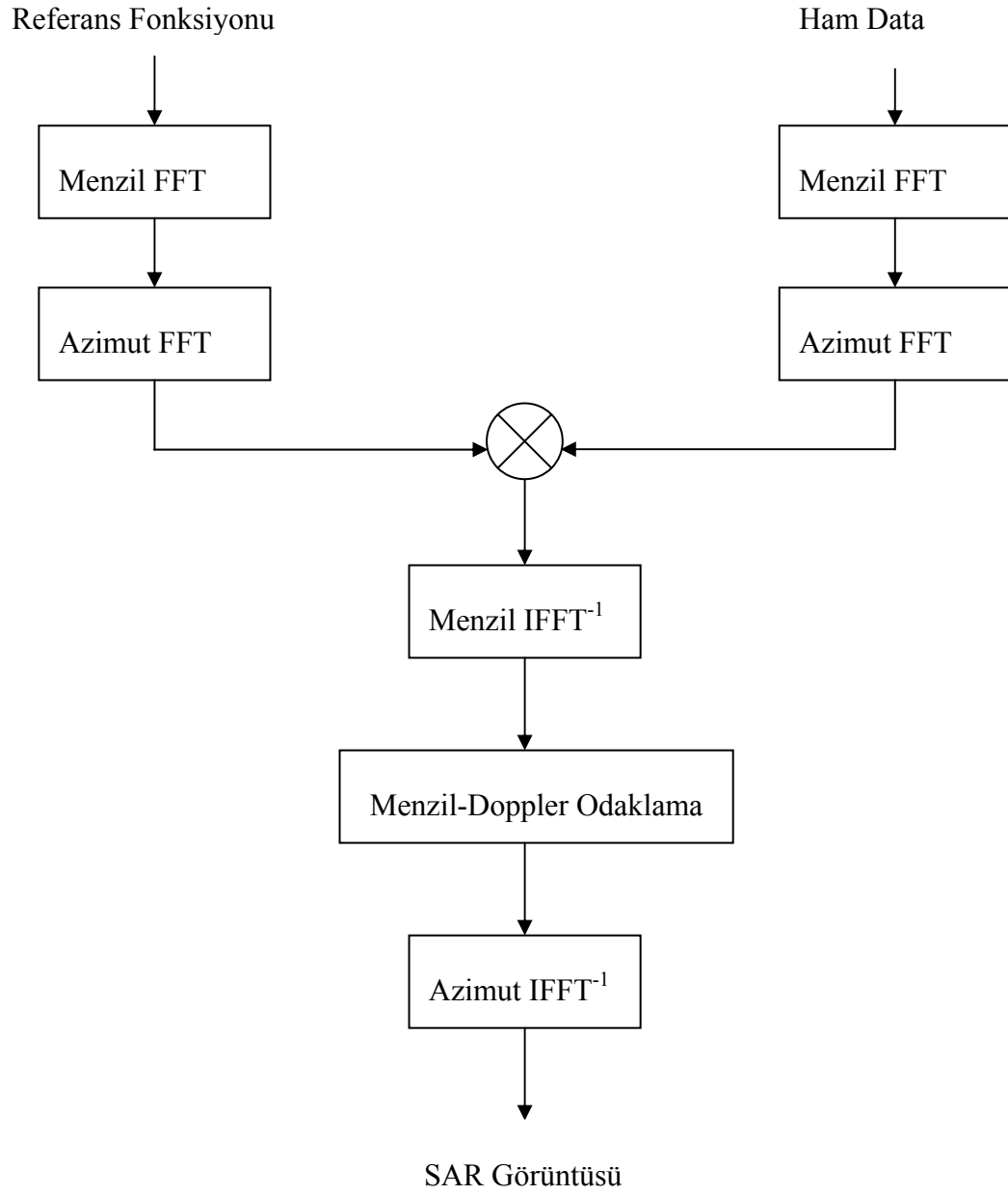
Şekil 3.12 Menzil-Doppler Algoritması Blok Diyagramı

3.11 Genişletilmiş Menzil-Doppler Algoritması

şekil 3.13’ de genişletilmiş menzil-Doppler algoritmasının temel adımları verilmiştir. En dikkate değer adım iki-boyutlu referans fonksiyonunun referans menziline uydurulması işlemidir. Verimi arttırmak için bu işlem iki-boyutlu frekans domeninde yapılır. Bu işlem referans menzilinedeki Doppler faz gecikmesini ve menzil kıvrımlarını tüm geri yansımalar için ortadan kaldırır.

İlave olarak referans fonksiyonu uygun seçilerek menzil sıkıştırma işlemi de aynı anda gerçekleştirilerek sert menzil yolu etkilerini ortadan kaldırır. Bu adımdan sonra menzilde ters Fourier dönüşümü gerçekleştirilir. Bir sonraki adımda ise kalan menzil kıvrımları ve faz düzeltmeleri menzil-Doppler domeninde gerçekleştirilir.

Algoritma menzil-Doppler algoritmasına göre daha çok hesaplama gerektirmesine raęmen iki-boyutlu frekans domeni referans fonksiyonu bellekte tutulur. Algoritma için daha büyük RAM kapasitesine sahip işlemciler tercih edilmelidir. [19]



Şekil 3.13 Genişletilmiş Menzil-Doppler Algoritması

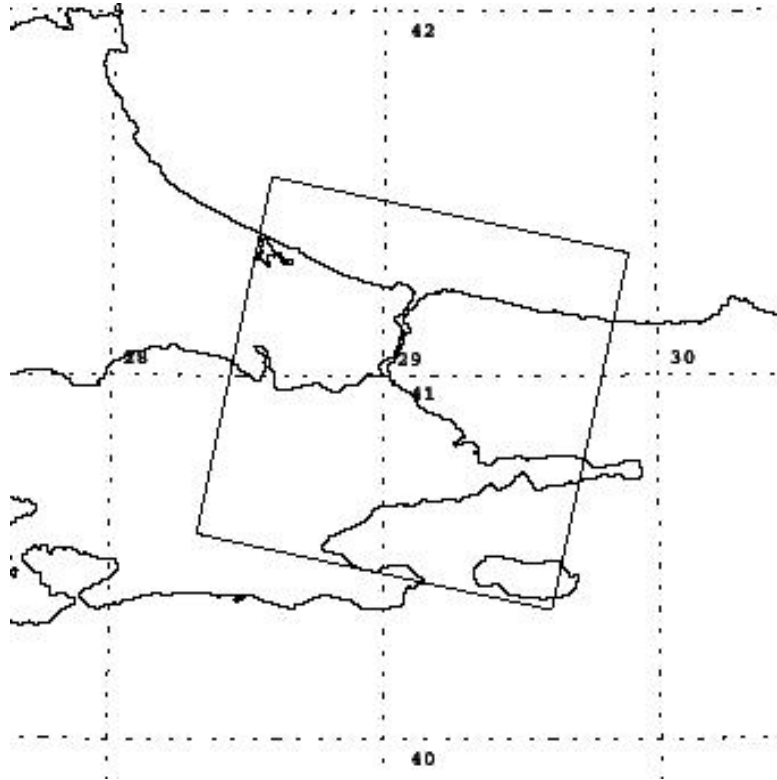
4. ALGORİTMA UYGULAMALARI

4.1 Giriş

Bu bölümde önceki bölümde değinilen algoritmalarından menzil-Doppler algoritması ile çırpı tarama algoritmaların uygulamalarına yer verilecektir.

4.2 Bölgelerin ve Data Setlerinin Tanıtılması

Menzil-Doppler ve çırpı tarama algoritmalarını uygulamak için ERS2' den elde edilen İstanbul bölgesi kullanılmıştır. Algoritmalar görüntü işleme uygulamalarında zaman ve uygulanabilirlik açısından kolaylık sağlayan IDL programında yazılmıştır. Görüntünün alındığı data setinin genel görünüşü Şekil 4.1' de verilmiştir.



Şekil 4.1 ERS'ten elde edilen İstanbul datasına ait konum haritası

4.3 Menzil-Doppler Algoritmasının Tanıtılması

Bu tezde kullanılacak olan menzil-Doppler algoritması, Şekil 4.2’ deki işleme adımları kullanılarak gerçekleştirilmiştir. [20]

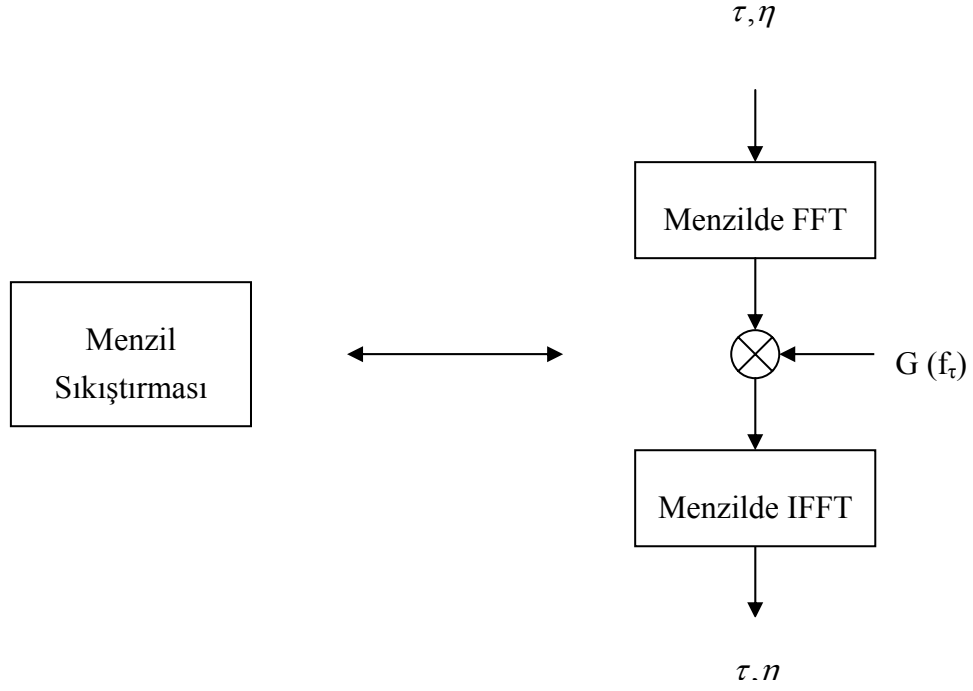


Şekil 4.2 Menzil-Doppler Algoritması Blok Diyagramı

Bu algoritmada uygulanan işleme adımları şu şekilde özetlenmiştir:

4.3.1 Menzil Sıkıştırması

Menzil sıkıştırması; menzilde Fourier dönüşümü, menzil frekans domeninde uyumlu filtre ile çarpma ve menzilde ters Fourier dönüşümünü kapsar.



Şekil 4.3 Menzil Sıkıştırması Blok Diyagramı

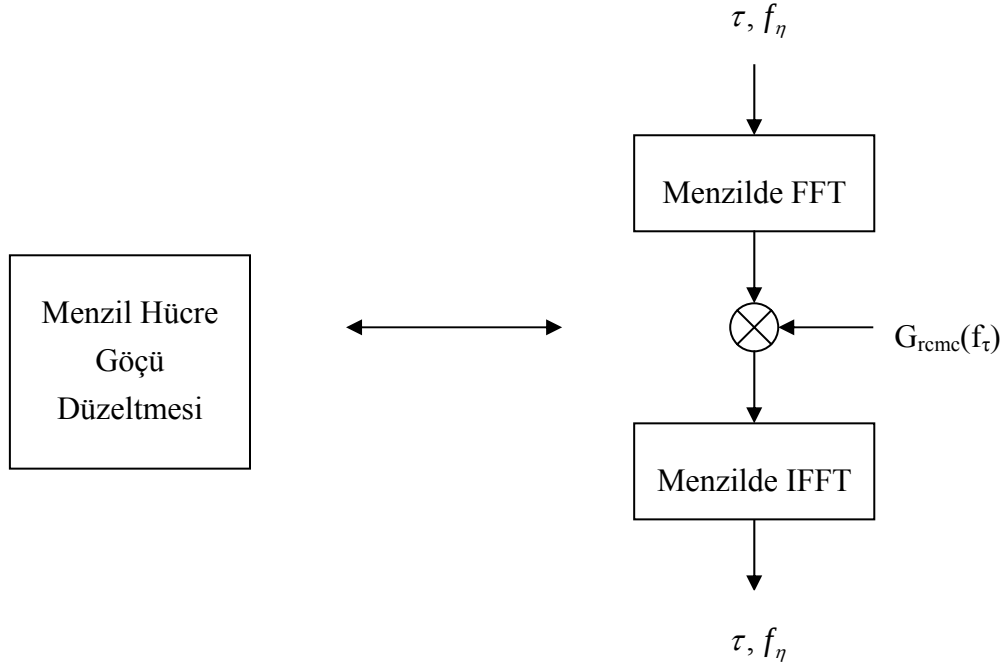
$$G(f_\tau) = \text{rect}\left(\frac{f_\tau}{KT}\right) \cdot \exp\left\{-j\pi \frac{f_\tau^2}{K}\right\} \quad (4.1)$$

4.3.2 Azimutta Fourier Dönüşümü

Azimutta Fourier dönüşümü uygulanarak (τ, η) domeninden (τ, f_η) domenine geçilir.

4.3.3 Menzil Hücre Göçü Düzeltmesi

Menzil hücre göçü düzeltmesi; menzilde Fourier dönüşümü, lineer faz çarpanı ve menzilde ters Fourier dönüşümü uygulanarak gerçekleştirilir.



Şekil 4.4 Menzil Hücre Göçü Düzeltmesi Blok Diyagramı

$$G_{rcmc}(f_\tau) = \exp\left\{j \frac{4\pi f_\tau \Delta R(f_\eta)}{c}\right\} \quad (4.2)$$

$$\Delta R(f_\eta) = \frac{\lambda^2 \cdot R_0 \cdot f_\eta^2}{8 \cdot V_r^2} \quad (4.3)$$

4.3.4 Azimut Sıkıştırması

Menzil hücre göçü düzeltmesinden sonra datayı azimut yönünde toplamak için uyumlu bir filtre uygulanır. Menzil hücre göçü düzeltmesinden sonra data menzil-Doppler domenindedir ve bu domende en uygunu azimut uyumlu filtre uygulamaktır.

Uygulanan filtre aşağıda verilmiştir:

$$H_{az}(f_\eta) = \exp\left\{-j\pi \frac{f_\eta^2}{K_a}\right\} \quad (4.4)$$

$$K_a \approx \frac{2 \cdot V_r^2}{\lambda \cdot R_0} \quad (4.5)$$

4.3.5 Azimut Ters Fourier Dönüşümü

Son adımda da azimutta ters Fourier dönüşümü uygulanarak menzil ve azimutta tekrar (τ, η) zaman domenine geçilir. uygulamaktır.

Bu algoritma İstanbul datasına uygulanmış, ancak istenilen görüntü elde edilememiştir.

4.4 Nokta Hedef İçin Menzil-Doppler Algoritmasının Uygulanması

Radar sistemlerinde alınan data ham data olarak adlandırılır. Daha önce temel banda demodüle edilerek menzil frekans merkezi sıfıra getirilir. Noktasal hedeften alınan demodüle edilmiş radar sinyali aşağıdaki gibi modellenenebilir:

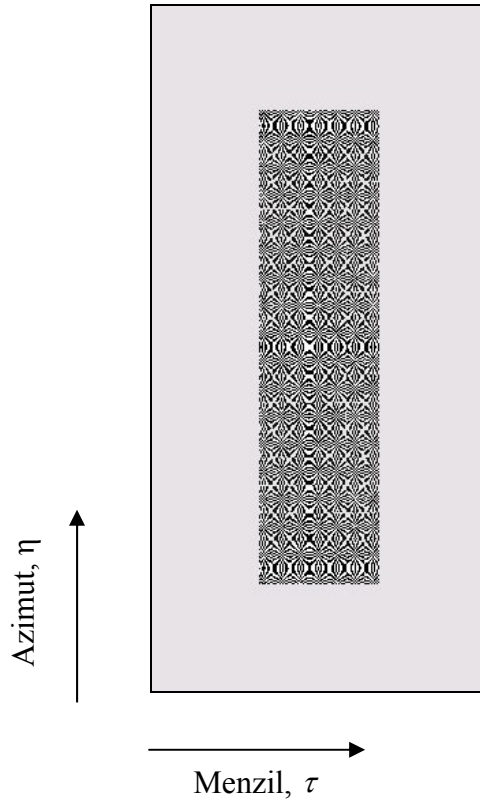
$$s_0(\tau, \eta) = A_0 \omega_r [\tau - 2R(\eta)/c] \omega_a (\eta - \eta_c) \times \exp\{-j4\pi f_0 R(\eta)/c\} \exp\{j\pi K_r (\tau - 2R(\eta)/c)^2\} \quad (4.6)$$

Radar sinyali 4096x2048' lik bir data seti için oluşturulmuştur. Görüntülenecek olan bölgenin merkezinden azimut doğrultusunda 1390' ar örnek uzaklıkta ve menzil doğrultusunda ise 350' şer örnek uzaklıktaki bölgede bir nokta hedef oluşturulmuştur. Oluşturulan bu bölge menzilde darbe süresi ile azimutta ise anten demet genişliği ile orantılıdır. Menzil- Doppler algoritmasının işleme adımlarını oluşturulan noktasal hedefe uygulayalım.

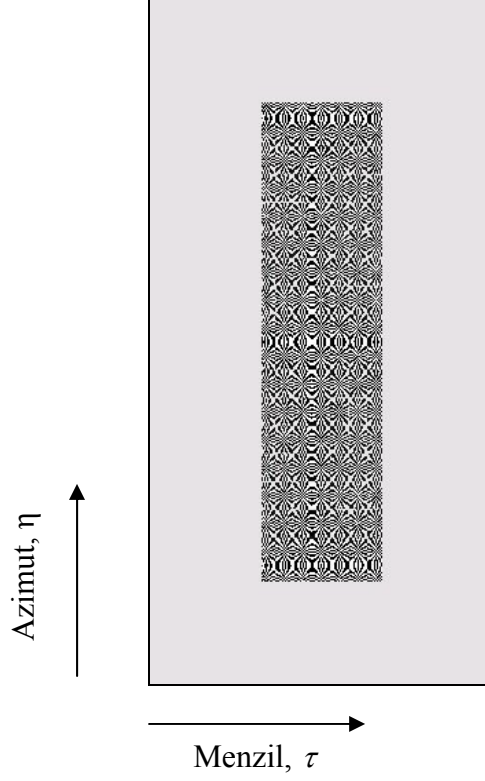
- Menzil sıkıştırmasında $s_0(\tau, \eta)$ ' nün menzilde Fourier dönüşümü alınarak $s_0(f_\tau, \eta)$ domenine geçmesi sağlanır. Frekans domenindeki $G(f_\tau)$ filtresi ile çarpılıp tekrar menzilde ters Fourier dönüşümü alınarak bu adım tamamlanmış olur.

$$s_{rc}(\tau, \eta) = IFFT_\tau \{S_0(f_\tau, \eta)G(f_\tau)\} \quad (4.7)$$

$$s_{rc}(\tau, \eta) = A_0 p_\tau [\tau - 2R(\eta)/c] \omega_a(\eta - \eta_c) \exp\{-j4\pi f_0 R(\eta)/c\} \quad (4.8)$$



Şekil 4.5 Merkeze Yerleştirilen Nokta Hedefin Datası



Şekil 4.6 Menzil Sıkıştırması Sonucu Elde Edilen Data

- Azimut Fourier transformu datayı menzil Doppler domenine taşımak için uygulanır. Eğer genişlik çok fazla değilse;

$$R(\eta) = \sqrt{R_0^2 + V_r^2 \eta^2} \approx R_0 + \frac{V_r^2 \eta^2}{2R_0} \quad (4.9)$$

yaklaşıklığı ile menzil sıkıştırılmış datanın ifadesi aşağıdaki gibi gösterilebilir:

$$s_{rc}(\tau, \eta) \approx A_0 p_r [\tau - 2R(\eta)/c] \omega_a (\eta - \eta_c) \quad (4.10)$$

$$\times \exp\{-j4\pi f_0 R_0 / c\} \exp\left\{-j\pi \frac{2V_r^2}{\lambda R_0} \eta^2\right\}$$

Menzil- Doppler domeninde 4.10 denkleminde verilen hedef için ilk üssel terim bir sabit olduğundan, ikinci üssel terim önem kazanmaktadır.

Azimet frekansı ve zamanı arasındaki bağıntı;

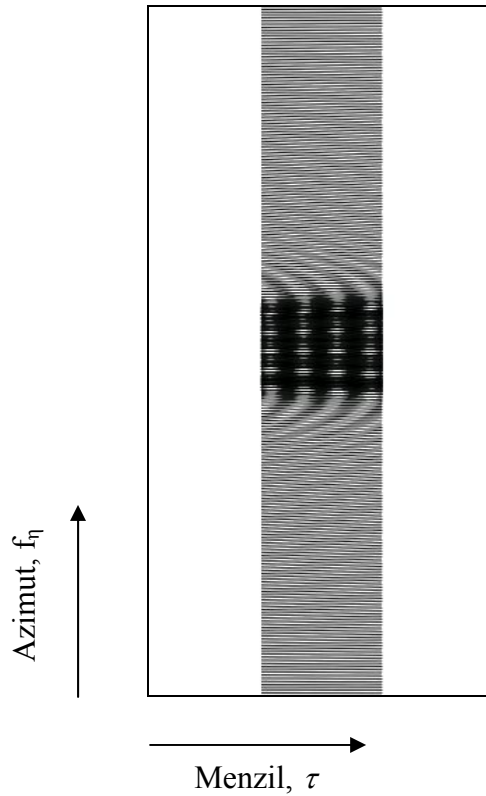
$$f_{\eta} = -K_a \cdot \eta \quad (4.11)$$

şeklinde ifade edilecek olursa azimutta Fourier transformu uygulandıktan sonra datanın ifadesi 4.13' deki gibi ifade edilebilir.

$$S_1(\tau, f_{\eta}) = FFT_{\eta} \{s_{rc}(\tau, \eta)\} \quad (4.12)$$

$$S_1(\tau, f_{\eta}) = A_0 p_r \left[\tau - \frac{3R_{rd}(f_{\eta})}{c} \right] W_a(f_{\eta} - f_{\eta c}) \\ \times \exp \left\{ -j \frac{4\pi f_0 R_0}{c} \right\} \exp \left\{ j\pi \frac{f_{\eta}^2}{K_a} \right\} \quad (4.13)$$

Şekil 4.7 azimutta Fourier transformu sonunda noktasal hedefi göstermektedir.

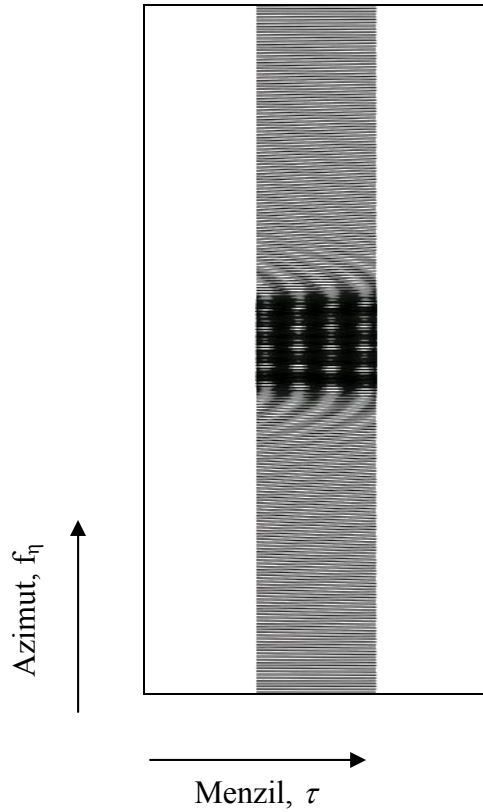


Şekil 4.7 Azimutta Fourier Alınmış Data

- Menzil hücre göçü düzeltmesi sonucunda elde edilen işaret 4.14 denkleminde verilmiştir.

$$S_2(\tau, f_\eta) = A_0 p_r \left(\tau - \frac{2R_0}{c} \right) W_a(f_\eta - f_{\eta c}) \quad (4.14)$$
$$\times \exp \left\{ -j \frac{4\pi f_0 R_0}{c} \right\} \exp \left\{ j\pi \frac{f_\eta^2}{K_a} \right\}$$

Bunun sonucunda enerji $\tau = 2R_0 / c$ ' de toplanmıştır. Şekil 4.8, menzil hücre göçü düzeltmesi sonucunda noktasal hedefi göstermektedir.



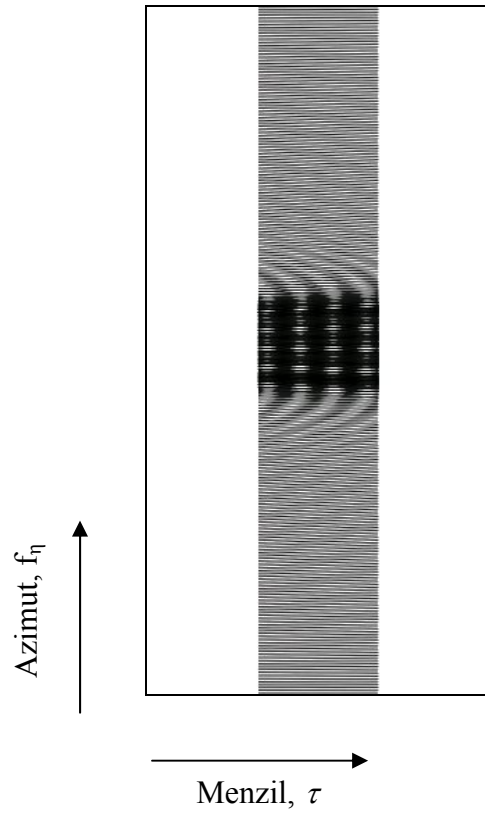
Şekil 4.8 Menzil Hücre Göçü Düzeltmesi Sonucu Elde Edilen Data

- Azimut sıkıştırması, datayı azimut yönünde odaklamak amacıyla uygulanan filtre ile çarpma adımıdır. Menzil hücre göçü düzeltmesinden sonra elde

edilen data frekans domenindeki filtre ile çarpılarak 4.15' deki ifade elde edilir.

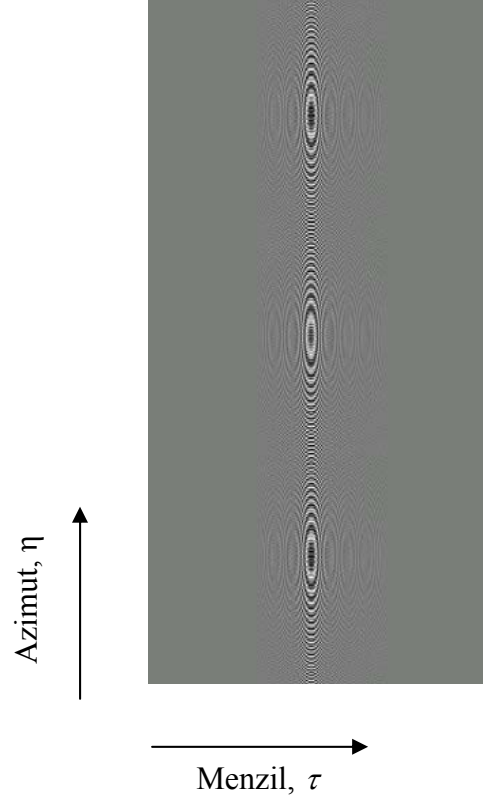
$$S_3(\tau, f_\eta) = S_2(\tau, f_\eta)H_{az}(f_\eta) \quad (4.15)$$

$$S_3(\tau, f_\eta) = A_0 p_r(\tau - 2R_0/c)W_a(f_\eta - f_{\eta c})\exp\left\{-j\frac{4\pi f_0 R_0}{c}\right\} \quad (4.16)$$



Şekil 4.9 Azimut Sıkıştırması Sonucu Elde Edilen Data

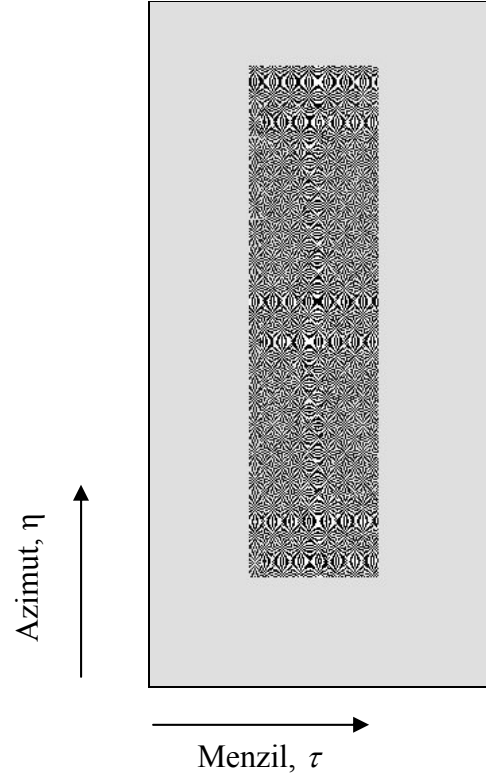
- Azimutta ters Fourier dönüşümü uygulanarak algoritma işleme adımları tamamlanmış olur.



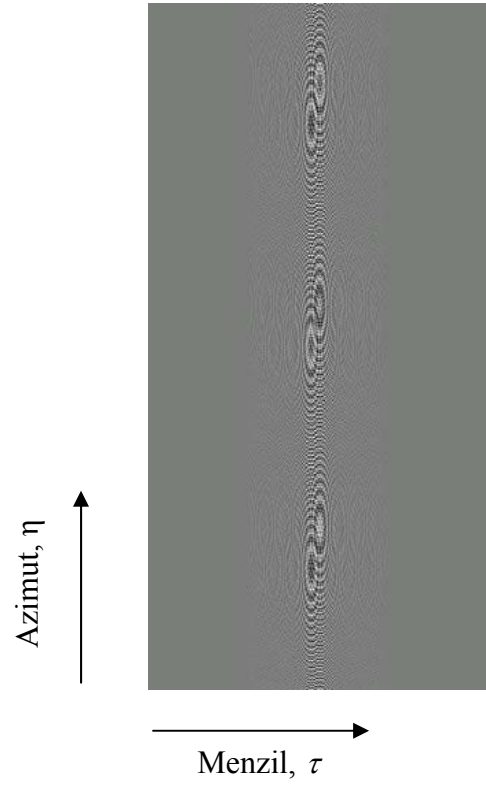
Şekil 4.10 Azimutta Ters Fourier Dönüşümü Uygulanmış Data

Seçilen data setine göre belirlenen merkeze yerleştirilmiş nokta hedef, menzil-Doppler algoritması işleme adımları gerçekleştirildikten sonra elde edilen datada da sezilebilmektedir.

Aynı data seti için birbirine göre çapraz konumlanmış iki nokta hedef belirlenmiş ve algoritma adımları uygulanmıştır. Oluşturulan data ve algoritma sonunda elde edilen noktalara ait şekiller bir sonraki sayfada verilmiştir. Böylece algoritmanın birden fazla hedef için de başarılı bir sonuç verdiği, hedeflerin birbiriyle girişim yapmadan ayrı ayrı sezilebildiği gösterilmiştir.



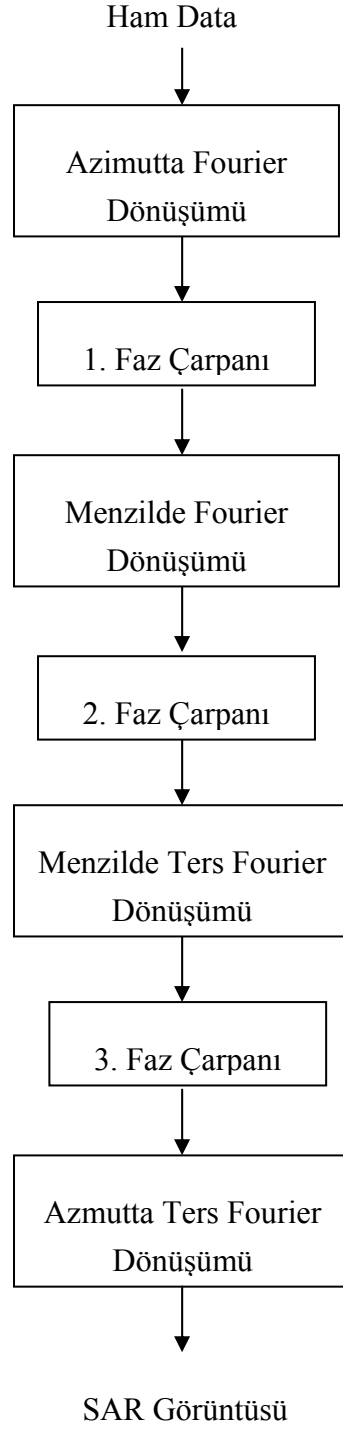
Şekil 4.11 İki Nokta Hedef Yerleştirilerek Oluşturulmuş Data



Şekil 4.12 Menzil- Doppler Algoritması Sonucunda Elde Edilen Data

4.5 Çırpı- Tarama Algoritması

Bu tezde çırpı- tarama algoritması Şekil 4.13’ deki işleme adımları kullanılarak dataya uygulanmıştır. [20]



Şekil 4.13 Çırpı- Tarama Algoritması Blok Diyagramı

Bu algoritmada uygulanan işleme adımları şu şekilde özetlenmiştir:

4.5.1 Menzilde İşleme

Ham dataya azimutta Fourier dönüşümü uygulandıktan sonra menzil- Doppler domenindeki datanın ifadesi aşağıda verilmiştir.

$$\begin{aligned}
 S_{rd}(\tau, f_\eta) &= A\omega_r \left\{ \tau - \frac{2R_0}{cD(f_\eta, V_r)} \right\} W_a(f_\eta - f_{\eta c}) \\
 &\times \exp \left\{ -j \frac{4\pi f_0 R_0 D(f_\eta, V_r)}{c} \right\} \\
 &\times \exp \left\{ j\pi K_m \left[\tau - \frac{2R_0}{cD(f_\eta, V_r)} \right]^2 \right\}
 \end{aligned} \tag{4.17}$$

Bu tezde tarama fonksiyonunun lineer FM fonksiyonu olduğu durum gözönüne alınmıştır. Ham dataya azimutta Fourier transformu uygulandıktan sonra data menzil- Doppler domenine geçer ve menzil işleme adımları uygulanır.

- Menzil- Doppler domenindeki işaret, 4.18' de verilen tarama fonksiyonu ile çarpılır.

$$s_1(\tau', f_\eta) = \exp \left\{ j\pi K_m \left[\frac{D(f_{\eta ref}, V_{ref})}{D(f_\eta, V_{ref})} - 1 \right] (\tau')^2 \right\} \tag{4.18}$$

Tarama fonksiyonunda geçen ifadeler şu şekilde verilmiştir:

$$D(f_\eta, V_r) = \sqrt{1 - \frac{c^2 f_\eta^2}{4V_r^2 f_0^2}} \tag{4.19}$$

$$\tau' = \tau - \frac{2R_{ref}}{cD(f_\eta, V_{ref})} \tag{4.20}$$

- Menzilde Fourier dönüşümü alınarak datanın menzil ve azimutta frekans domenine geçmesi sağlanır.
- Menzil uyumlu filtre, ikincil menzil sıkıştırması (SRC) ve toplu menzil hücre göçü düzeltmesi uygulanır. Bunlar iki-boyutlu frekans domenindeki çarpanlar olup 4.21' de verilen tek bir çarpan altında birleştirilebilirler.

$$s_2 = \exp \left\{ j \frac{\pi D(f_\eta, V_r)}{K_m D(f_{\eta ref}, V_r)} \cdot f_\tau^2 \right\} \times \exp \left\{ j \frac{4\pi}{c} \left[\frac{1}{D(f_\eta, V_{rref})} - \frac{1}{D(f_{\eta ref}, V_{rref})} \right] R_{ref} \cdot f_\tau \right\} \quad (4.21)$$

Son olarak da menzilde ters Fourier dönüşümü uygulanarak datanın tekrar menzil-Doppler domenine geçmesi sağlanır. işlenmesine öncelik verilmiştir.

4.5.2 Azimutta İşleme

Azimutta işleme Şekil 4.16' daki diyagramın son iki bloğunu kapsar ve üç temel adımdan oluşur:

- Azimutta uyumlu filtre
- Kalan Faz Düzeltmesi
- Azimutta Ters Fourier

Şekil 4.16' daki blok diyagramda üçüncü çarpan azimutta uyumlu filtre ve kalan faz düzeltmesi adımlarını kapsar. Bu çarpan 4.22 denkleminde verilmiştir. Buna göre çarpanın ilk üssel terimi azimutta uyumlu filtre, ikinci üssel terimi ise kalan faz düzeltmesine denk düşmektedir.

$$s_3 = \exp \left\{ j \frac{4\pi R_0 f_0 D(f_\eta, V_r)}{c} \right\} \times \exp \left\{ j \frac{4\pi K_m}{c^2} \left[1 - \frac{D(f_\eta, V_{rref})}{D(f_{\eta ref}, V_{rref})} \right] \times \left[\frac{R_0}{D(f_\eta, V_r)} - \frac{R_{ref}}{D(f_\eta, V_r)} \right]^2 \right\} \quad (4.22)$$

Son olarak azimutta ters Fourier dönüşümü alınarak tekrar (τ, η) domenine geçilir.

Bu algoritma İstanbul datasına uygulanmış, ancak istenilen görüntü elde edilememiştir.

4.6 Nokta Hedef İçin Çırpı Tarama Algoritmasının Uygulanması

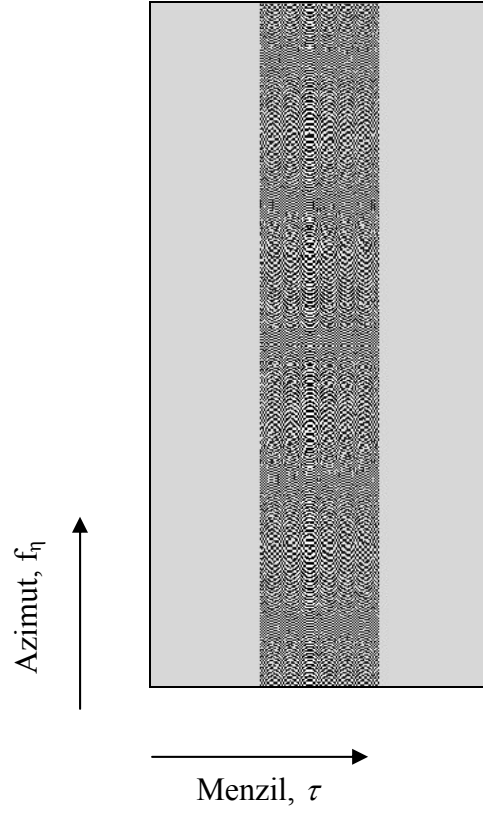
Noktasal hedeften alınan demodüle edilmiş radar sinyalinin 4.6' daki gibi modellenebileceğinden bahsetmiştik. Aynı radar sinyali kullanılarak çırpı tarama algoritmasının adımlarını uygulayalım.

$$s_0(\tau, \eta) = A_0 \omega_r \left[\tau - 2R(\eta)/c \right] \omega_a(\eta - \eta_c) \times \exp\{-j4\pi f_0 R(\eta)/c\} \exp\{j\pi K_r (\tau - 2R(\eta)/c)^2\} \quad (4.23)$$

- Nokta hedef dataya yerleştirildikten sonra azimutta Fourier dönüşümü uygulanarak datanın (τ, η) domeninden (τ, f_η) domenine geçmesi sağlanır. Radar işareti menzil- Doppler domeninde 4.24' deki gibi ifade edilebilir.

$$S_{rd}(\tau, f_\eta) = A \omega_r \left\{ \tau - \frac{2R_0}{cD(f_\eta, V_\tau)} \right\} W_a(f_\eta - f_{\eta c}) \times \exp\left\{-j \frac{4\pi f_0 R_0 D(f_\eta, V_\tau)}{c}\right\} \times \exp\left\{j\pi K_m \left[\tau - \frac{2R_0}{cD(f_\eta, V_r)} \right]^2\right\} \quad (4.24)$$

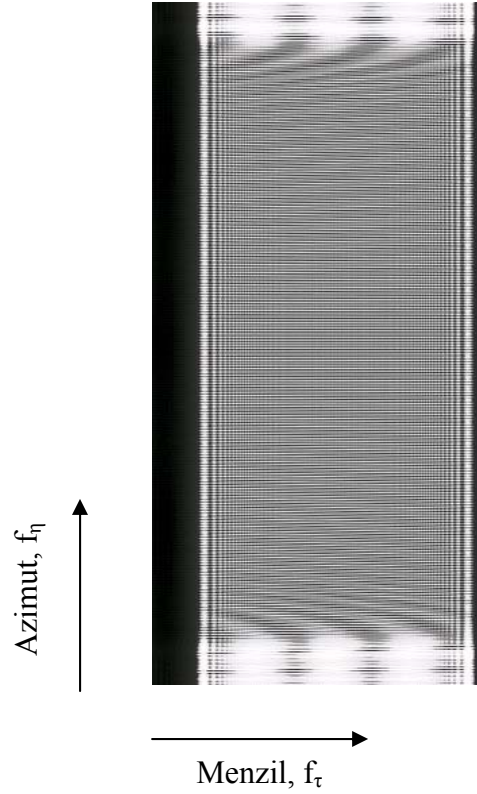
Şekil 4.14' de nokta hedefin Fourier dönüşümünden sonraki şekli gösterilmiştir.



Şekil 4.14 Azimutta Fourier Dönüşümü Alınmış Data

- Menzil-Doppler domeninde tarama fonksiyonu ile çarpıldıktan sonra menzilde Fourier dönüşümü uygulanarak datanın (f_τ, f_η) domenine geçmesi sağlanır. 4.25’ de iki boyutlu frekans domenindeki işaretin ifadesi verilmiştir. Şekil 4.15’ de menzilde Fourier dönüşümü uygulandıktan sonra data gösterilmiştir.

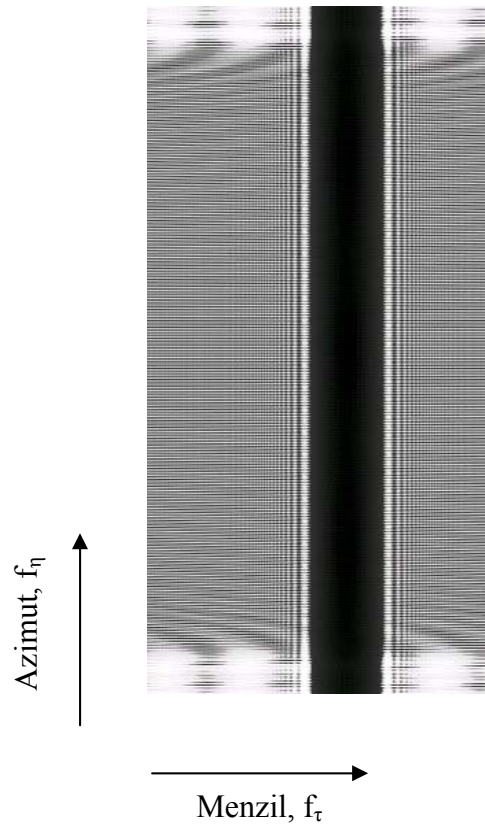
$$\begin{aligned}
S_2(f_\tau, f_\eta) = & A_1 W_r(f_\tau) W_a(f_\eta - f_{\eta c}) \\
& \times \exp \left\{ -j \frac{4\pi R_0 f_0 D(f_\eta, V_\tau)}{c} \right\} \\
& \times \exp \left\{ -j \frac{\pi D(f_\eta, V_\tau)}{K_m D(f_{\eta ref}, V_\tau)} \cdot f_\tau^2 \right\} \\
& \times \exp \left\{ -j \frac{4\pi R_0}{c D(f_{\eta ref}, V_{\eta ref})} \cdot f_\tau \right\} \\
& \times \exp \left\{ -j \frac{4\pi}{c} \left[\frac{1}{D(f_\eta, V_{\eta ref})} - \frac{1}{D(f_{\eta ref}, V_{\eta ref})} \right] \cdot R_{ref} f_\tau \right\} \\
& \times \exp \left\{ j \frac{4\pi K_m}{c^2} \left[1 - \frac{D(f_\eta, V_{\eta ref})}{D(f_{\eta ref}, V_{\eta ref})} \right] \times \left[\frac{R_0}{D(f_\eta, V_\tau)} - \frac{R_{ref}}{D(f_\eta, V_\tau)} \right]^2 \right\}
\end{aligned} \tag{4.25}$$



Şekil 4.15 Menzilde Fourier Dönüşümü Uygulandıktan Sonra Data

- İki boyutlu frekans domeninde menzilde Fourier dönüşümünden sonra 4.21'deki menzil sıkıştırma, ikincil menzil sıkıştırması ve toplu menzil hücre düzeltmesi adımlarını içeren çarpanla çarpılır ve 4.26' daki ifade elde edilir. Şekil 4.16' da data gösterilmiştir.

$$\begin{aligned}
S_3(f_\tau, f_\eta) &= A_1 W_r(f_\tau) W_a(f_\eta - f_{\eta c}) \\
&\times \exp \left\{ -j \frac{4\pi R_0 f_0 D(f_\eta, V_\tau)}{c} \right\} \\
&\times \exp \left\{ -j \frac{4\pi R_0}{c D(f_{\eta ref}, V_{\tau ref})} \cdot f_\tau \right\} \\
&\times \exp \left\{ j \frac{4\pi K_m}{c^2} \left[1 - \frac{D(f_\eta, V_{\tau ref})}{D(f_{\eta ref}, V_{\tau ref})} \right] \times \left[\frac{R_0}{D(f_\eta, V_\tau)} - \frac{R_{ref}}{D(f_\eta, V_\tau)} \right]^2 \right\} \quad (4.26)
\end{aligned}$$

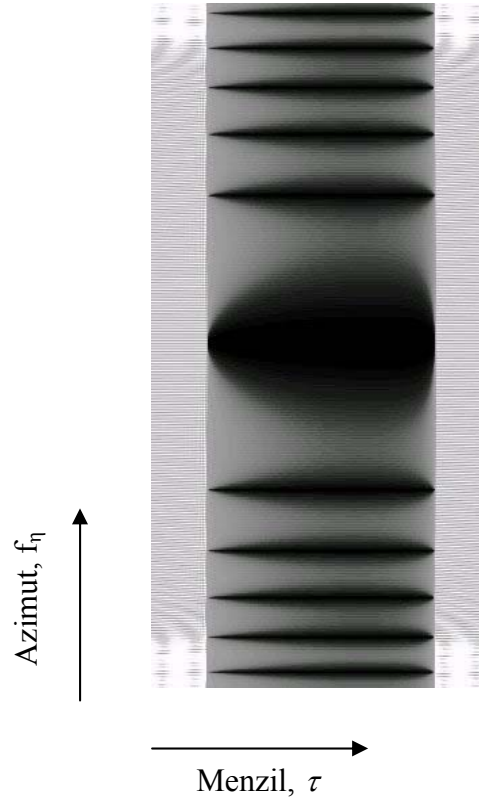


Şekil 4.16 Referans Fonksiyonu İle Çarpıldıktan Sonra Data

- Bu işlemten sonra menzilde ters Fourier dönüşümü alınarak data (τ, f_η) domenine geçer. Menzil- Doppler domenindeki işaretin ifadesi 4.27' de verilmiştir.

$$\begin{aligned}
 S_4(\tau, f_\eta) = & A_2 p_\tau \left(\tau - \frac{2R_0}{cD(f_{\eta ref}, V_{\pi ref})} \right) W_a(f_\eta - f_{\eta c}) \\
 & \times \exp \left\{ -j \frac{4\pi R_0 f_0 D(f_\eta, V_\tau)}{c} \right\} \\
 & \times \exp \left\{ j \frac{4\pi K_m}{c^2} \left[1 - \frac{D(f_\eta, V_{\pi ref})}{D(f_{\eta ref}, V_{\pi ref})} \right] \times \left[\frac{R_0}{D(f_\eta, V_\tau)} - \frac{R_{ref}}{D(f_\eta, V_\tau)} \right]^2 \right\}
 \end{aligned} \quad (4.27)$$

Şekil 4.17' de ters Fourier dönüşümünden sonra elde edilen data verilmiştir.

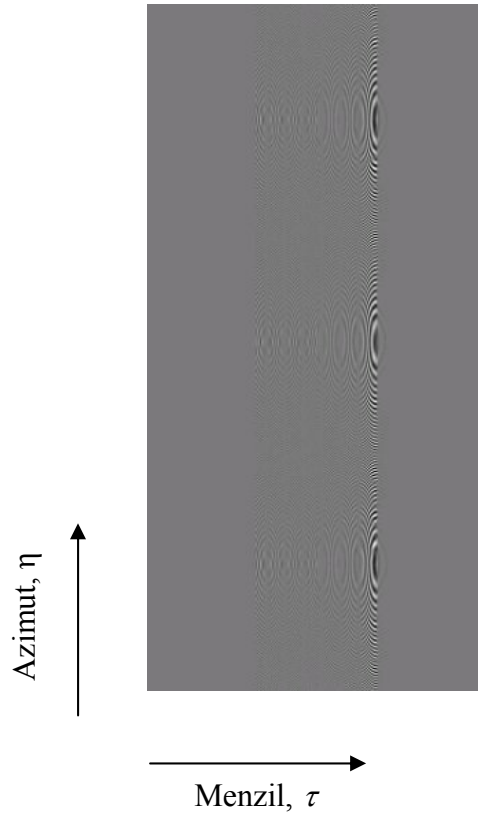


Şekil 4.17 Menzilde Ters Fourier Alındıktan Sonra Data

- Bundan sonraki adımlar ise azimut işleme olarak adlandırılan işleme adımlarıdır. Azimutta uyumlu filtre, kalan faz düzeltmesi ve azimutta ters Fourier' den oluşan bu işlemlerin ardından elde edilen nokta hedefe ilişkin ifade 4.28' de verilmiştir.

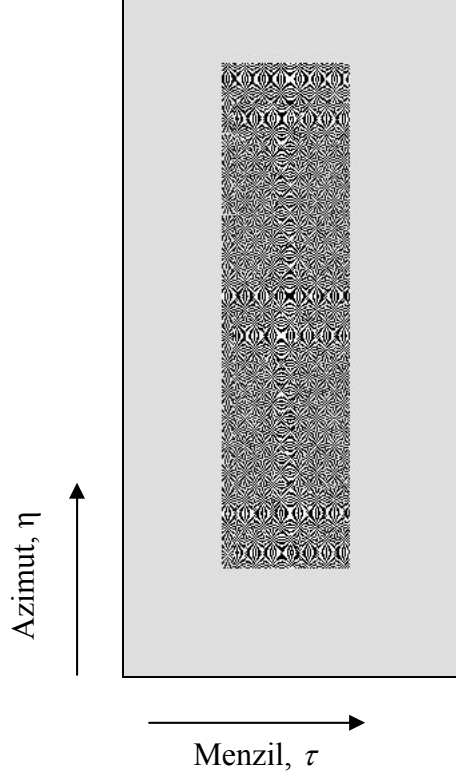
$$S_5(\tau, \eta) = A_4 p_\tau \left(\tau - \frac{2R_0}{cD(f_{\eta ref}, V_{\pi ref})} \right) p_a(\eta - \eta_c) \exp\{j\theta(\tau, \eta)\} \quad (4.28)$$

Şekil 4.18' de azimut işleme adımlarından sonra elde edilen data verilmiştir.

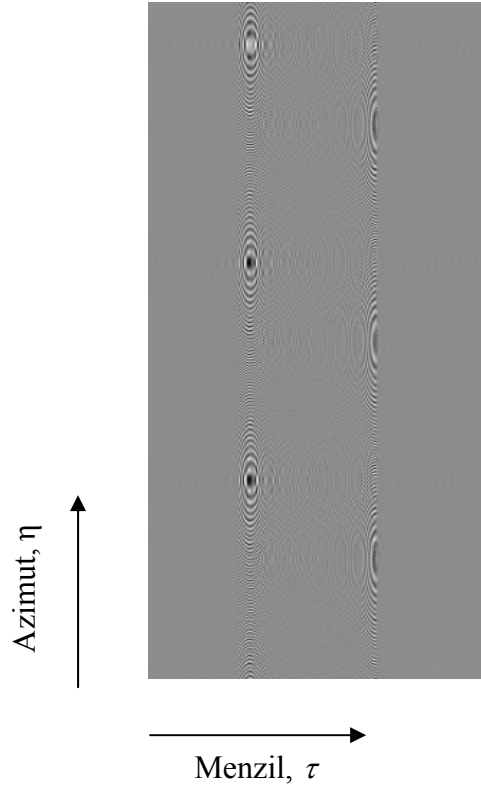


Şekil 4.18 Çırpı Tarama Algoritması Sonucu Elde Edilen Data

Data setinde oluşturulan iki nokta hedef için çırpı tarama algoritması uygulanmış ve elde edilen sonuç Şekil 4.20' de gösterilmiştir.



Şekil 4.19 İki Nokta Hedef Yerleştirilerek Oluşturulmuş Data



Şekil 4.20 Çırpı Tarama Algoritması Sonucunda Elde Edilen Data

5. SONUÇLAR

Bu tez çalışmasında uydudan alınan SAR verilerini kullanarak görüntü oluşturmak için menzıl- Doppler ve ırpı tarama algoritmaları ayrıntılı olarak açıklanmış ve ERS-2 İstanbul ham verisi üzerinde kullanılmıştır. IDL dilinde hazırlanan algoritmalar ile istenilen görüntüler elde edilememiştir.

Kullanılan algoritmalar yapay olarak oluşturulan noktasal hedeflerin temel band ham verileri üzerinde test edilmiştir. Nokta hedeflerin işlenmesi sonucunda başarı ile sezilebildikleri görülmüştür. Aynı algoritmalar birden çok nokta hedef için de uygulanmış ve hedeflerin işleme adımları sonucunda birbirinden ayırt edilebildikleri ve algoritmaların başarılı sonuç verdiği görülmüştür.

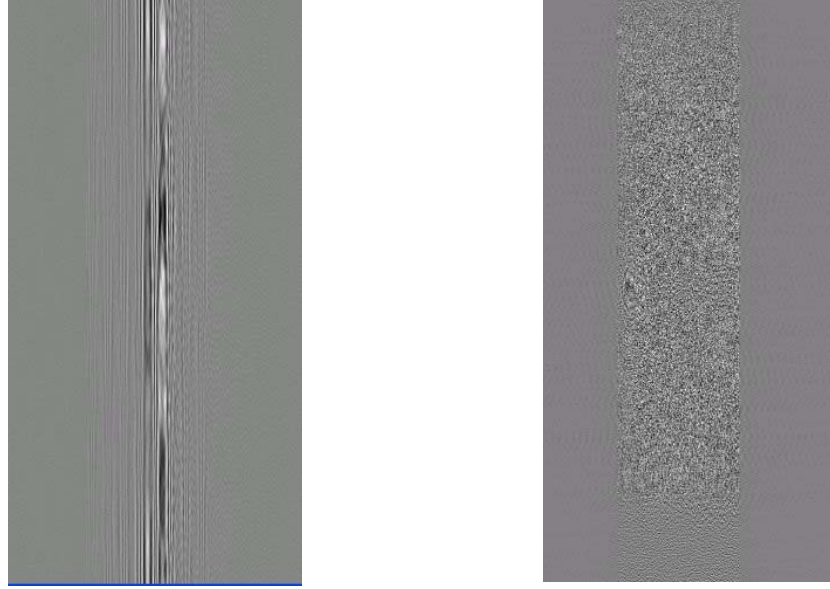
Değişik kaynaklar tarafından verilen ırpı tarama algoritmaları farklılıklar içerdiği için ayrı ayrı incelenmiş ve bunlardan üç adedi tez içinde ve eklerinde ayrıntıları ile verilmiştir.

Bu bölümde nokta hedef göz önüne alınarak sistem parametrelerindeki değişimlerin menzıl- Doppler ve ırpı tarama algoritmaları sonucu elde edilen görüntü üzerine etkilerine değinilmiş, iki algoritma bazı özellikleri bakımından karşılaştırılmış ve birbirine göre avantajları üzerinde durulmuştur.

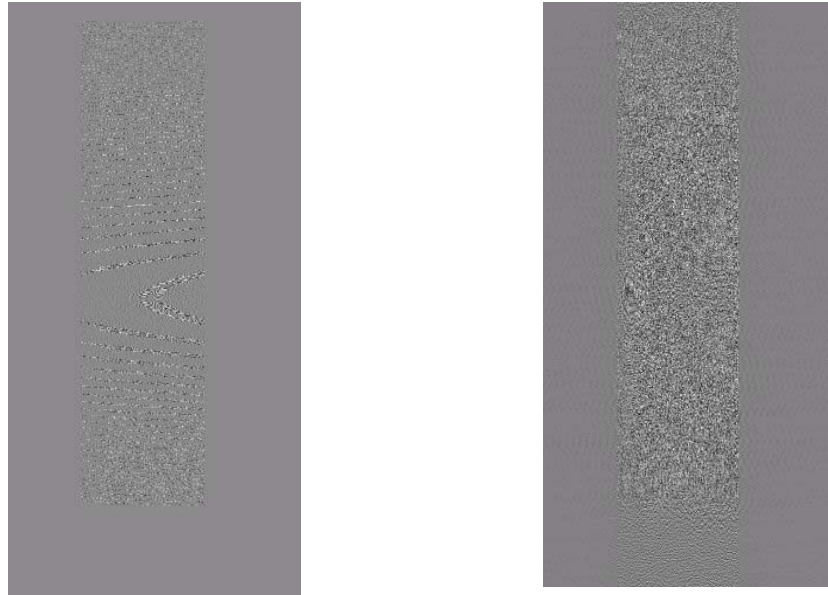
5.1 Sistem Parametrelerinin Görüntü Üzerine Etkileri

Bazı sistem parametrelerindeki değişimlerin merkeze yerleştirilen iki nokta hedef sonucu oluşturulan görüntü üzerine etkileri sırasıyla menzıl- Doppler ve ırpı tarama algoritmaları için incelenmiştir.

- Platform hızındaki değişikliğin görüntüye olan etkisi Şekil 5.1 ve 5.2’ de gösterilmiştir.

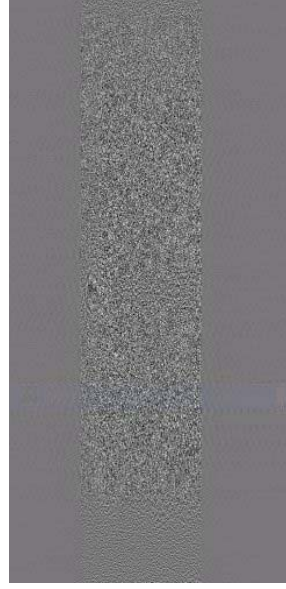
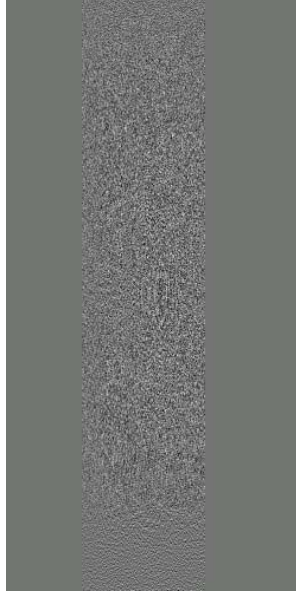


Şekil 5.1 Platform Hızının Azalmasının Görüntüye Etkisi

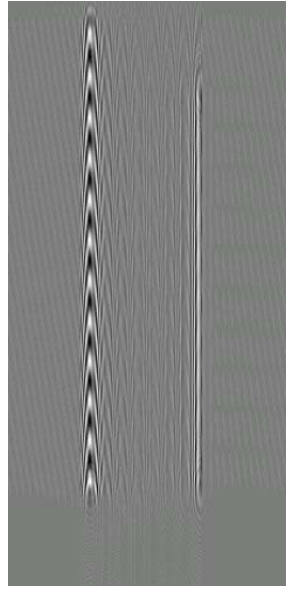
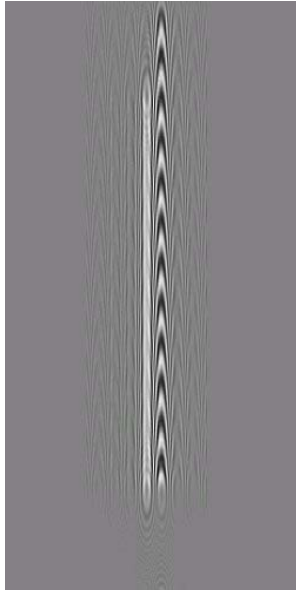


Şekil 5.2 Platform Hızının Artmasının Görüntüye Etkisi

- Darbe tekrarlama frekansındaki (PRF) değişimin görüntüye olan etkisi Şekil 5.3 ve 5.4’ de gösterilmiştir.

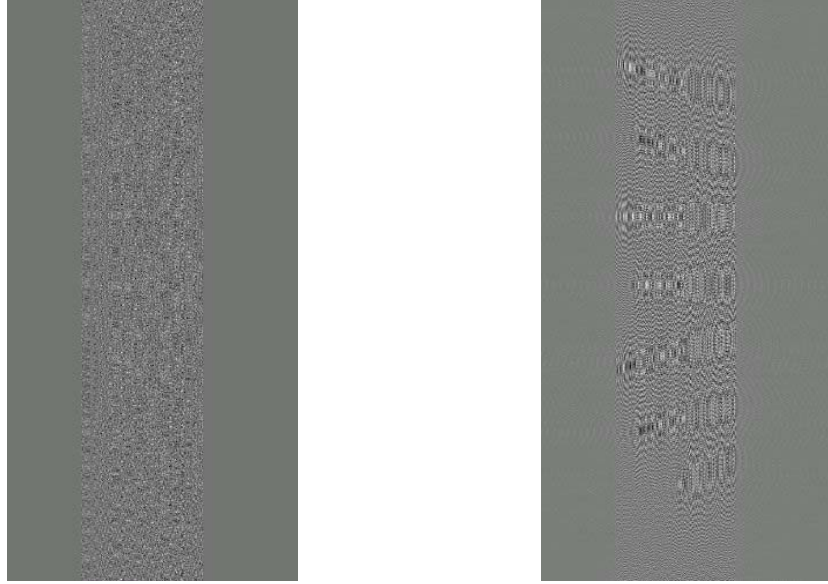


Şekil 5.3 PRF’ in Azalmasının Görüntüye Etkisi

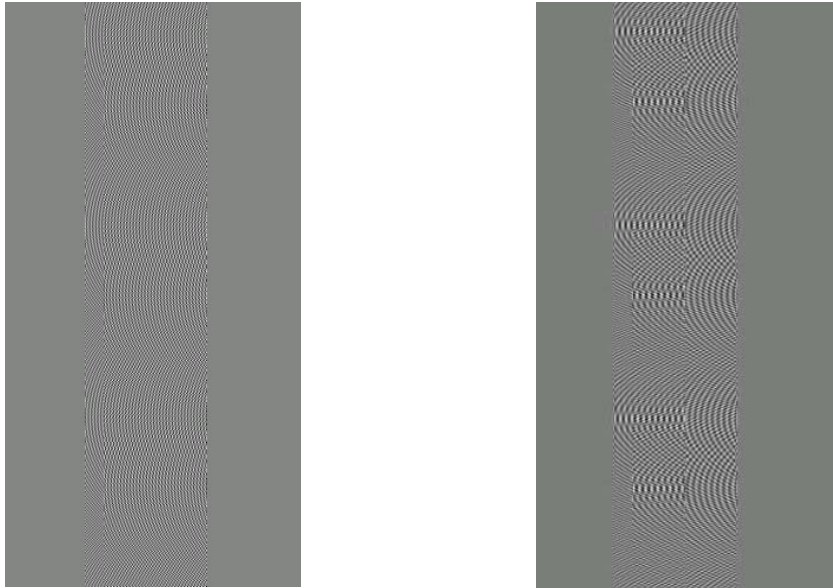


Şekil 5.4 PRF’ in Artmasının Görüntüye Etkisi

- Örnekleme frekansındaki (f_c) değişimin görüntüye olan etkisi Şekil 5.5 ve 5.6’ da gösterilmiştir.



Şekil 5.5 Örnekleme Frekansının Azalmasının Görüntüye Etkisi



Şekil 5.6 Örnekleme Frekansının Artmasının Görüntüye Etkisi

5.2 Menzil- Doppler Algoritması ile Çırpı Tarama Algoritmasının Karşılaştırılması

Menzil- Doppler algoritması SAR verilerinin işlenmesinde uzun zamandır kullanılan popüler bir algoritmadır. Bu algoritmanın yaygın bir şekilde kullanılmasının nedeni kavramsal açıdan basitliğine ve yapılan bazı yaklaşıklıklarla hesaplamaadaki karmaşıklığı azaltmasına bağlıdır. Menzil- Doppler algoritmasında yaygın olarak kullanılan bu yaklaşıklıklar düşük kaliteli görüntü elde edilmesine neden olmaktadır. Son yıllarda çırpı tarama algoritması menzil- Doppler algoritmasına alternatif olarak kullanılmaya başlanmıştır. Çırpı tarama algoritması menzil- Doppler algoritmasında kullanılan karmaşık ve hesaplama açısından yük getiren interpolasyonları önler ve doğal olarak faz korumalıdır.

Menzil- Doppler algoritması SAR verilerini sayısal olarak işlemede kullanılan bir algoritmadır. Algoritma belli bir zaman domeninde azimuta odaklanarak işleme hızında artış sağlar. Bununla beraber algortmada yapılan bazı yaklaşıklıklar işleme süresini düşürürken, yeterli kalitede odaklama gerçekleştirmektedir. Yine de görüntünün faz doğruluğu odaklamadan önce bozulmuş olduğundan iyi bir odaklama yapılması tam olarak faz bilgisini almak için yeterli olmayacaktır. Menzil- Doppler işlemcisi faz korumalı olsa da menzil- Doppler algoritmasının faz korumalı olduğu söylenemez.

SAR işlemede temel problem iki boyutlu zaman domeninde aynı menzilde bulunan hedeflerin menzil göçü eğrilerinin uyumlu olmaması ve farklı menzillerdeki hedeflerin menzil göçü eğrilerinin çakışmasıdır. Menzil- Doppler algoritması zaman/ frekans domeninde aynı menzildeki hedeflerin menzil göçü eğrilerinin uyumlu olduğunu, farklı menzillerdeki hedeflerin menzil göçü eğrilerinin ise çakışmadığını kabul eder. Menzil- Doppler algoritmasında menzilde sıkıştırma işleminden sonra zaman/ zaman domeninden zaman/ frekans domenine geçilir. Verilen menzildeki bütün hedeflerden geri dönüşler menzil göçü eğrilerinden çıkarılır ve Fourier dönüşüm teknikleri kullanılarak sıkıştırılır.

Menzil- Doppler algoritmasının iki sakıncası vardır. Menzil göçü eğrilerinden bilginin çıkarılması için interpolasyon yapılmalıdır. Menzil göçü eğrileri paralel olmadığı için bu interpolasyon işlemi hızlı konvolüsyon methodları kullanılarak

gerçekleştirilemez. Bu yüzden interpolasyon işlemi yavaştır ve işleme adımı bazı hatalara yol açar.

Diğer bir sakınca ise nokta hedeften yansımalar zaman/ frekans domeninde menzil göçü eğrileri üzerinde tam olarak toplanmaz. Fakat Doppler frekansına bağlı olarak bir kısmı saçılır. Bu saçılma menzil odaklamada bozulmaya yol açar. Frekans bağımlı referans fonksiyonu ile konvolüsyon sonucu bu bozulma dengelenebilir. Buna ikincil menzil sıkıştırması denir. Ancak bu işlem frekans bilgisinin yer almadığı zaman/ zaman domeninde gerçekleştirilir. Dolayısıyla birden çok frekans bağımlı fonksiyonu için tek bir referans fonksiyonu kullanılır ve bu durum odaklamada bozulmaya ve faz kayıplarına yol açar.

Algoritma, fazdaki ufak değişimlerin sıkıştırılmış darbeye ihmal edilebilir odaklama kayıplarıyla kaymaya yol açacağı prensibine dayanır. Farklı menzillerdeki saçıcıların menzil göçü eğrileri paraleldir. Hızlı konvolüsyon teknikleri kullanılarak menzil göçü düzeltilebilir. [18]

Menzil- Doppler ve çarpı tarama algoritmaları bazı özelliklerine göre karşılaştırılmıştır: [20]

5.2.1 Menzil Denklemlerinin Yapısı

- MDA; işleme denklemlerinde daha çok hiperbolik yapı kullanılır. Parabolik yapı ise zaman zaman işlemlerde basitlik sağlaması amacıyla kullanılır. Böylece düşük bakış açılı ve dar açıklıklı durumlarda iyi bir yaklaşıklık sağlanmış olur.
- ÇTA; genellikle hiperbolik yapı kullanılır. MDA' da olduğu gibi parabolik yapı da zaman zaman kullanılır. dağılımı anlatılmıştır.

5.2.2 Azimut Uyumlu Filtre Gerçekleştirme

- MDA; azimut uyumlu filtrenin çarpanları her menzil geçişinde türetilebilir. Böylece bütün menzil bağımlı parametreler uyumlu hale getirilir.

- ÇTA; uyumlu filtre iki adımda uygulanır. Yığın uyumlu filtreleme, iki boyutlu frekans domenindeki referans fonksiyonu çarpanı ile yapılır. Diğerisi ise tekrar menzil- Doppler domenine geçtikten sonra uygulanır.

5.2.3 Menzil Hücre Göçü Düzeltmesi Gerçekleştirme

Menzil hücre göçü alınan datanın en temel özelliği olup SAR görüntü işlemede karşılaşılan önemli bir sorundur. Bu özellik her algoritmada farklı bir işleme adımıyla düzeltilmeye çalışılır. Algoritmalar arasındaki farklılıklara yol açan en önemli adım da menzil hücre göçü düzeltmesi adımıdır.

- MDA; menzil hücre göçü düzeltmesi menzil- Doppler domeninde gerçekleştirilir. Bu domende çalışarak menzildeki istenmeyen etkiler tam olarak düzeltilmiş olur.
- ÇTA; menzil hücre göçü düzeltmesi iki bölümden oluşur. Diferansiyel menzil hücre göçü düzeltmesi, çarpı tarama referans fonksiyonu çarpanı kullanılarak menzil- Doppler domeninde gerçekleştirilir. Daha sonra toplu menzil hücre göçü düzeltmesi iki boyutlu frekans domeninde gerçekleştirilir.

5.2.4 Hesaplama Yüğü

Bütün SAR algoritmaları bir takım temel işlemleri gerektirirler. Fourier dönüşümü, ters Fourier dönüşümü, faz çarpanı ile çarpma gibi işlemler işlemciye belli bir yük getirir. Algoritmanın istenen sonuca en yakın görüntü vermesinin yanında işlemciye getirdiği işlem yükü de önem taşımaktadır. Menzil- Doppler algoritması ve çarpı tarama algoritmaları işleme adımları incelendiğinde içerdikleri işlemlerin işlemciye getirdiği yük açısından birbirine hemen hemen denk olduğu görülmektedir. Yine de çarpı tarama algoritmasının uygulanması işlemciye biraz daha ağır bir yük getirmektedir.

5.2.5 Görüntü Kalitesi

İki algoritmanın görüntü kalitesi arasındaki fark çoğu zaman ihmal edilebilir boyutta olsa da bazı durumlarda çarpı tarama algoritması daha iyi kalitede görüntü vermektedir.

5.2.6 Algoritmaların Avantajları

- MDA; birçok SAR görüntü işlemede kullanılan bir algoritma olup açıklık ve yan bakış açısı çok fazla olmadığı sürece her görüntüye uygulanabilir. Karmaşıklığı düşük bir algoritma olması açısından uygulanması ve anlaşılması en kolay algoritmadır. İşlemlerin çoğu tek boyutlu frekans domeninde yapıldığı için hız açısından verimli bir algoritmadır.
- ÇTA; menzil hücre göçü düzeltmesi bir faz çarpanı ile gerçekleştirilir. İkincil menzil sıkıştırması azimut frekansına bağlıdır. Azimut uyumlu filtrenin menzil bağımlılığı menzil- Doppler algoritmasında olduğu gibi uyumlaştırılır.

5.2.7 Algoritmaların Dezavantajları

- MDA; anten açıklığı ve yatay bakış açısı üzerinde diğer algoritmalara göre bazı sınırlayıcı etkileri vardır. Yapılan bazı yaklaşıklıklar algoritmanın görüntü kalitesi üzerinde olumsuz etkiler yapar.
- ÇTA; eğer menzil sıkıştırması gerçekleştirilmişse veya çırpı kullanılmamışsa çırpı tarama algoritması uygulanmadan önce data çırpı ile genişletilmelidir. Eğer menzil uyumlu filtre çok uzunsa menzilde ters Fourier adımı kadar hafızada saklanması gereken data olacağından verimlilik düşer. Data iki boyutlu frekans domenine geçtiğinde sıkıştırma işlemi yapılmadığı için menzil- Doppler algoritmasına göre daha büyük boyutlarda diziye ihtiyaç duyar.

Sonuç olarak menzil- Doppler ve çırpı tarama algoritmaları SAR görüntü işlemede kullanılan en popüler algoritmalarlardır. Menzil- Doppler algoritması daha çok uygulamadaki kolaylıklar açısından çırpı tarama algoritması da görüntü kalitesi açısından tercih edilmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] **Kent, S.**, 2000. Uzaktan Algılama.
- [2] **Franceschetti, G. and Lanari, R.**, 1999. *Synthetic Aperture Radar Processing*, CRC Press, Florida.
- [3] Yuras, G., ‘Remote Sensing’, web sayfası: <http://www.profc.udec.cl/~gabriel/tutoriales>
- [4] European Space Agency (ESA), ‘The Applications of SAR Data’, web sayfası: <http://earth.esa.int>.
- [5] **Aydemir, M., Günel, T., Kargın, S., Erer, I., and Kurnaz, S.**, 2005. SAR Image Processing by a Memetic Algorithm, *IEEE Proceedings of 2nd International Conference on Recent Advances in Space Technologies*, 9-11 June, 684-687.
- [6] **Erbaş, C.**, 2003. Analysis and Image Reconstruction of Synthetic Aperture Radar Raw Data, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [7] **Carrara, W. K., Goodman, R. S., and Majewski, R. M.**, 1995. *Spotlight Synthetic Aperture Radar*, Artech House, Boston.
- [8] **Heng, W.C.A.**, 1997. Synthetic Aperture Radar (SAR) Data Processing, *MSc. Thesis*, National University of Singapore, Singapore.
- [9] **Gürmen, G.**, 2003. Yapay Açıklıklı Radar (SAR) ile Görüntü Oluşturma, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [10] **Kayserilioğlu, C.**, 1997. *Modern Radar Sistemleri*, İ.T.Ü., İstanbul.
- [11] **Moreira, A., and Huang, Y.**, 1994. Airborne SAR Processing of Highly Squinted Data Using a Chirp Scaling Approach with Integrated Motion Compensation, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, **32**, 1029 – 1040.
- [12] **Moreira, A., Mittermayer, J., and Scheiber, R.**, 1996. Extended Chirp Scaling Algorithm for Air and Spaceborne SAR Data Processing in Stripmap and ScanSAR Imaging Modes, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, **34**, 1123 – 1136.
- [13] **Qiu, X., and Zhu, Z.**, 1996. Super-Resolution Imaging Used in Chirp Scaling Algorithm, *IEEE Aerospace and Electronics Conference*, **1**, 355 – 358.

- [14] **Lanari, R.**, 1995. A New Method for the Compensation of the SAR Range Cell Migration Based on the Chirp Z-Transform, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, **33**, 1296 – 1299.
- [15] **Raney, R. K., Runge, H., Bamler, R., Cumming, I. G., and Wong, F. H.**, 1994. Precision SAR Processing Using Chirp Scaling, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, **32**, 786 – 799.
- [16] **Runge, H., and Bamler, R.**, 1992. A Novel High Precision SAR Focusing Algorithm Based on Chirp Scaling, *IEEE Geoscience and Remote Sensing Symposium*, 1992. IGARSS '92, 26-29 May, 372 – 375.
- [17] **Gough, P. T., and Hawkins, D. W.**, 1997. Imaging Algorithms for a Strip-Map Synthetic Aperture Sonar: Minimizing the Effects of Aperture Errors and Aperture Undersampling, *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, **22**, 27 – 39.
- [18] **Hughes, W., Gault, K., and Princz, G. J.**, 1996. A Comparison of the Range-Doppler and Chirp Scaling Algorithms with reference to RADARSAT, *IEEE Geoscience and Remote Sensing Symposium*, IGARSS '96, 27-31 May, 1221 - 1223.
- [19] **Horrell, J. M.**, 1999. An Extension to Range-Doppler SAR Processing to Accommodate Severe Range Curvature, *IEEE Geoscience and Remote Sensing Symposium*, IGARSS '99, 28 June-2 July, 535 - 537.
- [20] **Cumming, I. G.**, 2005. *Digital Processing of Synthetic Aperture Radar Data*, Artech House, Boston.

EK A. ERS HAKKINDA BİLGİ

SAR görüntüleme modundaki parametreler şunlardır:

Anten boyutları	10m uzunluk, 1m genişlik
Uydunun ortalama yüksekliği	780km
Taranan bölgenin genişliği	100km
Tarama konumu	Yörünge izinin 244.5km sağında
Frekans	5.25GHz (C bandı)
Dalgaboyu	5.7cm
Çırpı bandgenişliği	15.55MHz
Darbe boyu	37.1µs
Darbe tekrarlama frekansı (PRF aralığı)	1640-1720Hz
Örnekleme frekansı	18.96MHz
Veri hızı	105Mbps
Bakış açısı	23° (Tarama alanının ortasında)
Eğim	98.5°
Kuantalama	5 bit
Polarizasyon	Dikey-dikey

ERS-2 Avrupa Uzay Ajansı ESA (European Space Agency) tarafından işletilen ve yapay açıklıklı radar (SAR) kullanarak yeryüzünün ve okyanusların gözlendiği

uydudur. ERS-2 uydusu 21 Nisan 1995’ te yörüngeye yerleştirilmiştir. Uydu üzerinde aşağıdaki algılayıcılar bulunur:

- Aktif Mikrodalga Düzenegi (AMI)
 - Yapay Açıklıklı Radar
 - Rüzgar Saçılımölçer
- Radar Altimetresi
- Boyuna Tarama Radyometresi (ATSR)
- Mikrodalga Radyometresi
- PRARE
- Laser Reflektörü
- GOME

Görüntüleme modunda çalışan SAR, 100 km genişliğinde taranan alanların yüksek çözünürlüklü görüntülenmesini sağlar. 10 m uzunluğunda ve uydunun yörüngesine paralel olan anten dar bir radar demetini yeryüzüne gönderir. Görüntüleme yüzeyin dielektrik özelliklerine ve düzgünsüzlüğün bi fonksiyonu olan dönen işaret şiddetlerinden elde edilir. Taranan alanı ortasında bakış açısı 23°’ dir. Uydunun deneysel amaçla yere 35°’ lik bir açı ile bakması mümkündür.

Uydu tam kapasite çalışması halinde 1 kW’ lık güç tüketmektedir. Görüntü modunda enerji harcaması fazla olduğundan her yörüngede yaklaşık 10 dakika bu modda çalışır.

EK B. KULLANILAN DATALAR HAKKINDA GENEL BİLGİ

İstanbul datası ERS-2 uydusundan alınmış ham datadır.

Sıra numarası	982127
Yörünge numarası	20230
Çerçeve numarası	2781
İşleme zamanı	04.03.1999
Çizgi sayısı	28000
Çizgi başına örnek sayısı	5616
Geçiş yönü	Kuzey-Güney

EK C. TEZDE KULLANILAN DİĞER ÇIRPI TARAMA ALGORİTMALARI

Birçok kaynaktan çırpı tarama algoritmasıyla ilgili bilgi bulunmuş ve her kaynağın kendine göre farklı işleme adımları izlediği görülmüştür. Bunlardan bir tanesine dördüncü bölümde değinilmiş ve detayları verilmiştir. Diğer ikisine ilişkin algoritma adımları aynı olup çarpanlar farklılık göstermektedir. Blok diyagramları tezde detaylı incelenen çırpı tarama algoritmasının blok diyagramıyla aynı olduğu için sadece çarpanlarındaki farklılıklar verilmiştir. Bu iki yöntem de İstanbul datasına uygulanmış ancak başarılı bir sonuç elde edilememiştir.

- Çırpı Tarama algoritması – 1 [16]

$$\begin{aligned}
 S_1(\tau, f; r_{ref}) &= \exp\{j\pi k'(f) \cdot a(f) \cdot (\tau - \tau_{ref}(f))^2\} \\
 S_2(v, f; r_{ref}) &= \exp\left\{j\pi \frac{v^2}{k \cdot (1 + a(f))}\right\} \\
 &\times \exp\left\{j2\pi \cdot r_{ref} \cdot \left[\sqrt{\left(\frac{v_0 + v}{c/2}\right)^2 - \left(\frac{f}{v}\right)^2} - \frac{v_0 + v}{c/2}\right]\right\} \\
 S_3(\tau, f; r_{ref}) &= \exp\left\{-j\pi \cdot k''(f) \cdot a(f) \cdot \left(\tau - \frac{2}{c} \cdot r_{ref}\right)^2\right\} \\
 &\times \exp\left\{j\frac{4\pi}{\lambda} \cdot \left(\frac{c}{2} \cdot \tau - r_{ref}\right) \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{\lambda}{2} \cdot \frac{f}{v}\right)^2}\right\}
 \end{aligned}$$

Bu çarpanlarda geçen ifadeler aşağıda verilmiştir.

$$a(f) = \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{\lambda}{2} \cdot \frac{f}{v}\right)^2}} - 1$$

$$\tau_{ref}(f) = \frac{2}{c} \cdot r_{ref} \cdot (1 + a(f))$$

$$\frac{1}{k'(f)} \approx \frac{1}{k} - \frac{\lambda^3}{2c^2} \cdot r \cdot \frac{f^2}{V^2}$$

$$k''(f) := k'(f) \cdot (1 + a(f))$$

- Çırpı tarama algoritması – 2 [15]

$$\Phi_1(\tau, f; r_{ref}) = \exp\left\{-j\pi K_s(f; r_{ref}) C_s(f) [\tau - \tau_{ref}(f)]^2\right\}$$

$$\Phi_2(f_\tau, f; r_{ref}) = \exp\left\{-j\pi \frac{f_\tau^2}{K_s(f; r_{ref}) [1 + C_s(f)]}\right\} \cdot \exp\left\{j \frac{4\pi}{c} f_\tau r_{ref} C_s(f)\right\}$$

$$\Phi_3(\tau, f) = \exp\left\{-j \frac{2\pi}{\lambda} c \tau \left[1 - \left[1 - \left(\frac{\lambda f}{2V(r = \tau c/2)}\right)^2\right]^{1/2}\right] + j\theta_\Delta(f; r)\right\}$$

Bu çarpanlarda geçen ifadeler aşağıda verilmiştir.

$$C_s(f) = \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{\lambda f}{2V(r)}\right)^2}} - 1$$

$$K_s(f; r) = \frac{K}{1 + Kr \frac{2\lambda}{c^2} \frac{\left(\frac{\lambda f}{2V(r)}\right)^2}{\left[1 - \left(\frac{\lambda f}{2V(r)}\right)^2\right]^{3/2}}}$$

$$\tau_{ref}(f) = \frac{2}{c} r_{ref} [1 + C_s(f; r)]$$

$$\theta_\Delta(f; r) = \frac{4\pi}{c^2} K_s(f; r_{ref}) [1 + C_s(f)] C_s(f) (r - r_{ref})^2$$

ÖZGEÇMİŞ

Hatice Banu Okunakul, 30 Haziran 1979 tarihinde İstanbul’ da doğmuştur. İstanbul Teknik Üniversitesi Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü’nde 1999 yılında başladığı lisans eğitimini 2003 yılında tamamlayarak Elektronik ve Haberleşme Mühendisi ünvanını aldı. Mezun olduktan sonra 2 ay İTÜ SAGRES’ te çalıştıktan sonra 2004’ te Nortel NETAŞ’ ta çalışmaya başladı. Halen Nortel NETAŞ’ta AR-GE mühendisi olarak çalışmaktadır.