

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**YAPAY AÇIKLIKLI RADAR HAM VERİLERİNDEN GÖRÜNTÜ
OLUŞTURULMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Samir DELİORMANLI

Anabilim Dalı : Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği

Programı : Telekomünikasyon Mühendisliği

HAZİRAN 2009

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**YAPAY AÇIKLIKLI RADAR HAM VERİLERİNDEN GÖRÜNTÜ
OLUŞTURULMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Samir DELİORMANLI
(504041320)**

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih :

Tezin Savunulduğu Tarih : 02 Haziran 2009

**Tez Danışmanı : Prof. Dr. Sedef KENT (İTÜ)
Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Cankut ÖRMECİ (İTÜ)
Doç. Dr. Işın ERER YAZGAN (İTÜ)**

HAZİRAN 2009

Eşime,

ÖNSÖZ

Tez çalışmamı yönlendiren Tez Danışmanım Sayın Prof. Dr. Sedef KENT'e teşekkür ederim.

Tez çalışmam boyunca verdiği destekten dolayı Recep Çağrı Yüzbaşıoğlu'na teşekkür ederim. Ayrıca tez çalışmam kapsamında alt yapılarını kullanmama izin veren Peta Bilgi Teknolojiler şirketinin kurucusu ve çalışanlarına teşekkür ederim.

Bana olan sevgi ve desteklerinden dolayı eşime ve aileme teşekkür ederim.

Haziran 2009

Samir Deliormanlı

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	v
İÇİNDEKİLER	vii
KISALTMALAR	ix
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xi
ŞEKİL LİSTESİ.....	xiii
SEMBOL LİSTESİ.....	xv
ÖZET.....	xvii
SUMMARY	xix
1. GİRİŞ	1
1.1 Tezin Amacı ve Kapsamı	2
1.2 Uzaktan Algılama ve Yapay Açıklıklı Radar.....	3
2. YAR SİSTEMİ VE YAR HAM VERİSİNİN İŞLENMESİ.....	7
2.1 YAR Sistemi	7
2.1.1 YAR görüntüleme geometrisi	7
2.1.1.1 Menzil çözünürlüğü	8
2.1.1.2 Azimut çözünürlüğü	10
2.1.1.3 Cıvıltı darbesi	12
2.1.1.4 YAR sisteminin çalışma modları	14
2.1.1.4.1 Şerit tarama modu	14
2.1.2 YAR işlemcisi	15
2.1.2.1 Şerit tarama modu için uyumlu filtreleme	16
2.2 YAR Ham Verisinin İşlenmesi.....	19
2.2.1 Menzil Doppler Algoritması	19
3. UYGULAMA.....	23
3.1 ERS-2 Uydusu ve YAR Sistemi	23
3.2 ERS-2 Uydusu YAR Ham Verisi	24
3.3 İşlenen YAR Ham Verileri.....	25
3.4 Kaynaklar ve Kullanılan Altyapı.....	27
3.5 MATLAB Ortamında Geliştirilen YAR İşlemcisi	28
4. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	37
4.1 Sonuçlar.....	37
4.2 Öneriler.....	39
KAYNAKLAR	41
EKLER.....	43
ÖZGEÇMİŞ.....	45

KISALTMALAR

DTA	: Darbe Tekrarlama Aralığı
DTF	: Darbe Tekrarlama Frekansı
ERS	: European Remote Sensing Satellite
ESA	: European Space Agency
GAR	: Gerçek Açıklıklı Radar
HFD	: Hızlı Fourier Dönüşümü
MDA	: Menzil Doppler Algoritması
PRF	: Pulse Repetition Frequency
SAR	: Synthetic Aperture Radar
THFD	: Ters Hızlı Fourier Dönüşümü
YAR	: Yapay Açıklıklı Radar

ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 3.1 : ERS-2 YAR görüntüleme sistemine ait parametreler.....	24
Çizelge 3.2 : Harderwijk, Hollanda YAR ham verisine ait detaylar	25
Çizelge 3.3 : L'Aquila, İtalya YAR ham verisine ait detaylar	26

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 1.1 : Gerçek Açıklıklı Radar sistemi	4
Şekil 1.2 : Yapay Açıklıklı Radar sistemi	5
Şekil 2.1 : Temel YAR görüntüleme geometrisi	8
Şekil 2.2 : Menzil doğrultusunda temel YAR görüntüleme geometrisi	9
Şekil 2.3 : Azimut doğrultusunda temel YAR görüntüleme geometrisi.....	10
Şekil 2.4 : Doğrusal cıvıltı	12
Şekil 2.5 : Cıvıltı darbelerinin gönderilmesi ve yansıyan işaretlerin alınması	13
Şekil 2.6 : Şerit tarama modu	14
Şekil 2.7 : Alınan işaret, yansıtıcılık fonksiyonu ve gönderilen işaret	15
Şekil 2.8 : Yansıma fonksiyonunun elde edilmesi	16
Şekil 2.9 : Cıvıltı darbesi ve uyumlu filtrenin çıkışındaki işaret	17
Şekil 2.10 : Şerit tarama modunda çalışan YAR sistemi için azimut doğrultusundaki görüntüleme geometrisi.....	18
Şekil 2.11 : Menzil Doppler Algoritması'nın akış şeması.....	20
Şekil 3.1 : YAR ham verisi.....	25
Şekil 3.2 : Harderwijk, Hollanda ham verisi ile görüntülenen bölge	26
Şekil 3.3 : L'Aquila, İtalya ham verisi ile görüntülenen bölge	27
Şekil 3.4 : Programın akış şeması.....	28
Şekil 3.5 : YAR ham verisi (Harderwijk, Hollanda)	30
Şekil 3.6 : YAR ham verisi (L'Aquila, İtalya)	30
Şekil 3.7 : Menzil doğrultusunda sıkıştırılmış veri (Harderwijk, Hollanda)	31
Şekil 3.8 : Menzil doğrultusunda sıkıştırılmış veri (L'Aquila, İtalya)	32
Şekil 3.9 : Menzil ve azimut doğrultusunda sıkıştırılmış veri (Harderwijk, Hollanda)	33
Şekil 3.10 : Menzil ve azimut doğrultusunda sıkıştırılmış veri (L'Aquila, İtalya)....	33
Şekil 3.11 : Harderwijk, Hollanda optik resim (Google Earth).....	34
Şekil 3.12 : L'Aquila, İtalya optik resim (Google Earth).....	34
Şekil 4.1 : L'Aquila, İtalya YAR ham verisinin işlenmiş ilk 3000 satırı.....	37

SEMBOL LİSTESİ

γ	: Bakış açısı
η	: Radar hüzmesi ile görüntülenen yüzeyin normali arasındaki açı
θ_v	: Radar anteninin dikey yöndeki hüzme genişliği
λ	: Dalgaboyu
c	: Işık hızı
W_a	: Antenin dikey genişliği
W_g	: Süpürme genişliği
R_m	: Eğik menzil
R_s	: Eğik menzil çözünürlüğü
R_g	: Menzil çözünürlüğü
τ_p	: Darbe süresi
L_a	: Antenin azimut doğrultusundaki uzunluğu
L_{ya}	: Yapay açıklığın uzunluğu
θ_H	: Radar hüzmesinin enine genişliği
R_x	: Gerçek açıklıklı anten için azimut çözünürlük
f_D	: Doppler kayması
V_{st}	: Platformun hızı
x	: Nokta hedefin azimut konumu
R	: Alıcı ile hedef arasındaki mesafe
θ	: Hüzmenin maksimum doğrultusunda hedefi görme açısı
R_x	: Azimut çözünürlük
T	: Hedefin hüzme içinde kalma süresi
s	: Azimut doğrultusundaki zaman
s_0	: Hedefin anten hüzmesinin tam merkezinde bulunduğu zaman
H	: Platformun yüksekliği
r_g	: Yerdeki menzil
$r(s)$	: Platform ile hedef arasındaki mesafe
r_0	: Platform ile hedef arasındaki en düşük mesafe
f_{DC}	: Doppler merkezi
f_R	: Doppler hızı
$p(t)$	: Cıvıltı darbesi
$p^*(t)$	: Cıvıltı darbesinin karmaşık eşleniği
$c(t)$	: Azimut cıvıltı darbesi
$c^*(t)$	: Azimut cıvıltı darbesinin karmaşık eşleniği
$s(t)$	: Yansıyan işaret
$f(t)$	: Yansıtıcılık fonksiyonu
f_s	: Menzil örnekleme frekansı
k	: Cıvıltı eğimi
n	: Sütun numarası
$r(s)$	: Menzil

YAPAY AÇIKLIKLI RADAR HAM VERİLERİNDEN GÖRÜNTÜ OLUŞTURULMASI

ÖZET

Uzaktan algılama verileri askeri ve sivil alanlardaki süreçlerin desteklenmesinde kullanılmaktadır. Birçok uzaktan algılama yöntemi ve sistemi geliştirilmiştir. Optik sistemler ve radarlar en önemli uzaktan algılama sistemlerindendir. Radarlar, sundukları farklı yeteneklerden dolayı geniş kullanım alanlarına sahiptirler. Radar sistemleri anten konumlarına göre Gerçek Açıklıklı Radarlar (GAR) ve Yapay Açıklıklı Radarlar (YAR) olmak üzere ikiye ayrılabilirler. YAR sistemleri, GAR sistemlerine göre daha yüksek azimut çözünürlüğü sağlamaktadırlar. Bunu yaparken de gerçekleştirilebilir boyutta antenler kullanılmaktadırlar. Bu sebeple, YAR sistemleri geniş uygulama alanları bulmuştur.

YAR sistemleri, pratikte gerçekleştirilmesi mümkün olmayan anten boyutlarını, gelişmiş işaret işleme yöntemleri sayesinde yapay olarak gerçekleştirmektedirler. YAR sisteminde gönderilen darbelere ait yansıyan işaretler belirli bir süre boyunca kaydedilmektedirler. Kaydedilen yüklü veri üzerinde gelişmiş işaret işleme yöntemleri uygulanarak yüksek çözünürlüklü görüntü elde edilebilmektedir. YAR sisteminin en önemli bileşenleri, uyumlu gönderme ve alma yapabilen radar sistemi ve YAR verilerini işleyerek görüntü oluşturan YAR işlemcisidir.

YAR işlemcileri, YAR ham verisinden görüntü oluşturabilmek için birçok algoritma kullanılmaktadırlar. Bunlardan en yaygın kullanılanı Menzil Doppler Algoritması'dır.

Tez çalışmasının amacı, bir YAR işlemcisi gerçekleştirmektir. YAR sistemlerinin, bu sistemlerin görüntüleme modlarının ve YAR ham verisi işleme algoritmalarının çeşitliliği dikkate alındığında, tüm YAR ham verilerini işleyecek bir program geliştirmenin gerçekçi olmadığı görülmüş ve bazı başlangıç noktaları belirlenmiştir. Başlangıç olarak, ERS-2 uydusunun şerit tarama modunda aldığı, YAR ham verisini Menzil Doppler Algoritması'na göre işleyecek bir YAR işlemcisinin MATLAB ortamında geliştirilmesi kararlaştırılmıştır. Bu bağlamda YAR görüntüleme teorisi, YAR ham verisi işleme algoritmaları incelenmiş ve MATLAB ortamında çalışan sayısal bir YAR işlemcisi geliştirilmiştir. Geliştirilen YAR işlemcisinin, ileride geliştirilecek ve farklı YAR ham verilerini farklı algoritmalar ile işleyebilecek programlara modül olarak ilave edilmesi ön görülmüştür.

IMAGE FORMATION FROM RAW DATA OF SYNTHETIC APERTURE RADAR

SUMMARY

Remote sensing data are used in order to support military and civil applications. Many remote sensing systems and methods have been developed. Optic systems and radars are among the most important remote sensing systems. Radars are widely used due to their differentiating abilities. Considering the position of the antenna radar systems could be separated in two parts as Real Aperture Radar (RAR) and Synthetic Aperture Radar (SAR). SAR systems provide better azimuth resolution compared to the RAR systems. SAR systems use practically realizable antenna size while achieving better azimuth resolution. Therefore, SAR systems are used in many different applications.

SAR systems synthetically realize impractical antenna sizes by means of advanced signal processing methods. Received echoes of transmitted signals are recorded for a certain period of time in SAR system. High resolution images are formed by means of advanced signal processing techniques applied on the recorded data. The most important components of a SAR system are; a coherent radar system and a SAR processor that forms the image from raw data.

Many algorithms are available for SAR processors in order to process SAR raw data. Most commonly used algorithm is Range Doppler Algorithm.

Main objective during the thesis study is to develop a SAR processor. Considering different SAR systems, different imaging modes of those systems and available SAR processing algorithms it is decided to start with a certain system and an algorithm. As a beginning point, it is decided to develop a SAR processor which runs on MATLAB and which can process raw data of ERS-2 satellite using Range Doppler Algorithm. Within this context SAR imaging theory, SAR processing algorithms are studied and a digital SAR processor is developed using MATLAB. Developed SAR processor could be used as a module or sub-program together with another program that processes different SAR data using different SAR processing algorithms.

1. GİRİŞ

Radar temelleri, James Clerk Maxwell tarafından 1864 yılında ortaya atılan Elektromagnetik Alanın Dinamik Teorisi'ne kadar gitmektedir. Radar sisteminin ilk uygulaması ise Robert Watson-Watt tarafından 1935 yılında gerçekleştirilmiştir. Bu sayede İngiltere, İkinci Dünya Savaşı sırasında avantaj elde etmiştir. Geleneksel radar sistemlerinde gönderilen ve alınan işaret arasındaki zaman gecikmesinden hedefin uzaklığı tespit edilmektedir. Daha sonraları, Doppler kaymaları hedeflerin hızlarını belirlemede kullanılmıştır. 1951 yılında, Goodyear Aerospace'te çalışan Carl A. Wiley, radar ile hedefin veya yeryüzünün iki boyutlu görüntüsünün oluşturulabileceğini bulmuştur. Carl Wiley'in önerdiği yöntemde, gerçekleştirilebilir bir anten ile alınan işaretler analiz edilerek pratikte gerçekleştirilemeyecek çok uzun bir anten etkisi yaratılmaktadır. Bu nedenle, yöntem, Yapay Açıklıklı Radar (Synthetic Aperture Radar), kısaca YAR (SAR), olarak adlandırılmaktadır. YAR, 20. yüzyılın en ileri mühendislik buluşlarından birisidir [1].

YAR yöntemine göre çalışan sistemler hem askeri hem de sivil alanlarda görüntüleme, gözetleme ve keşif amaçlı olarak kullanılmaktadır. YAR sistemlerinin yaygın olarak kullanılmasının başlıca sebeplerinden birisi, YAR sistemlerinin gerçek açıklıklı (real aperture) radar sistemlerine göre daha iyi azimut çözünürlüğü sağlamalarıdır. Bununla birlikte çalışmaları için ışığa ihtiyaç duymamaları ve kötü hava koşullarında çalışabilmeleri, YAR sistemlerinin kullanımını yaygınlaştıran diğer sebeplerdir.

YAR sistemlerinin, başta şerit tarama (stripmap) ve spot aydınlatma (spotlight) olmak üzere, farklı çalışma modları vardır. Ancak, YAR yönteminde en temelde yapılan, genellikle bir uçak veya bir uydu ile taşınan radarın, belirli bir süre boyunca belirli aralıklarla gönderdiği yüksek frekanslı darbelere ait, aydınlatılan alandan yansıyan işaretlerin kaydedilmesidir. Radar anteninin merkez eksenini, uçuş doğrultusuna yaklaşık olarak diktir. YAR yönteminde alınan işaretler, en temelde, demodüle edilmekte, ardından sayısallaştırılmakta ve karmaşık değerlerden oluşan iki boyutlu veri olarak kaydedilmektedir. Karmaşık değerlerden oluşan bu iki boyutlu

veri, ham veri (raw data) olarak adlandırılmaktadır. Ham verinin bir boyutu uçuş doğrultusuna dik olan menzil (range) doğrultusunu, diğer boyutu ise uçuş doğrultusuna paralel olan azimut (azimuth), diğer adıyla çapraz-menzil (cross-range), doğrultusunu temsil etmektedir. Ham veri içerisindeki karmaşık değerler ise alınan işaretin genlik ve faz bilgilerini içermektedir. Ham veri, iki boyutlu işleme yardımıyla aydınlatılan alanının yüksek çözünürlüklü görüntüsüne dönüştürülebilmektedir.

YAR ham verisinin iki boyutta işlenmesi büyük bir işlem gücü gerektirmektedir. 1970 yılında Robert O. Harger YAR ham verisinin optik olarak işlenmesi üzerine bir kitap yazmıştır. SEASAT uydusunun geliştirilmesi sırasında YAR ham verisinin sayısal olarak işlenmesi için önemli çalışmalar gerçekleştirilmiştir. 1978 yılında, MacDonald Dettwiler ve Jet Propulsion Lab tarafından Menzil Doppler Algoritması (Range Doppler Algorithm), kısaca RDA (MDA), geliştirilmiştir. O günden bu yana MDA birçok kez uyarlanmış ve geliştirilmiştir ve birçok yeni algoritma ortaya atılmıştır. MDA en çok kullanılan YAR ham verisi işleme algoritmasıdır [2].

YAR ham verisinin işlenmesi için kullanılabilecek yazılım paketleri ve araçlar incelendiğinde bunların birçoğunun ticari amaçlı olduğu ve bilimsel amaçlı olarak kullanılabilecek kaynakların sınırlı olduğu görülmektedir. YAR ham verisi işleyebilen açık kaynak kodlu yazılım paketlerinin birçoğu Linux tabanında çalışmak üzere geliştirilmiştir. Linux işletim sisteminin yaygın işletim sistemi olmaması YAR ham verisinin işlenebilmesi için ilave bir bilgisayar düzeneğinin kurulmasını gerektirebilmektedir. Mevcut yazılım paketlerinden ve araçlarından istenilen sonucu elde edebilmek için kullanıcının YAR ham verisi işleme süreçlerine hâkim olması ve sonuçlar üzerinde bir takım art işleme (post-processing) adımlarını gerçekleştirmesi gerekmektedir.

1.1 Tezin Amacı ve Kapsamı

YAR ham verisini işlemek üzere geliştirilmiş yazılım paketleri ve araçlar incelendiğinde, YAR ham verisinin kullanıcı dostu, yaygın kullanımı olan ve kolay geliştirme imkânı sunan bir araç ile işlenebilmesi ihtiyacı olduğu görülmüştür.

YAR sistemlerinin, bu sistemlerin çalışma modlarının, YAR ham veri türlerinin ve YAR ham verisi işleme algoritmalarının çeşitliliği dikkate alındığında, ilk aşamada

tüm YAR ham verilerini işleyebilecek bir programın geliştirilmesinin mümkün olamayacağı gözlemlenmiştir. Bunun yerine, belirli YAR ham verilerini, belirli algoritmalar ile işleyen program modüllerinin zaman içerisinde geliştirilmesi ve birleştirilmesinin uygun bir yaklaşım olacağı düşünülmektedir. Bu durum tez çalışmasında bazı başlangıç seçimlerinin yapılmasını gerektirmiştir.

Bu tezin amacı, YAR ham verisini kullanıcı dostu, yaygın kullanımı olan ve kolay geliştirme imkânı sunan bir araç ile işlemektir. Bu tez kapsamında işlenen YAR ham verisi, Avrupa Uzaktan Algılama Uydusu (European Remote Sensing Satellite, ERS) ile oluşturulan ve Avrupa Uzay Ajansı (European Space Agency, ESA) tarafından sağlanan ham veridir. İşlenen ham veri şerit tarama modunda alınmıştır. YAR ham verisini işlemek üzere seçilen algoritma ise Menzil Doppler Algoritması'dır. Kullanıcı dostu yapısı, yaygın kullanımı ve kolay geliştirme imkânı sunmasından dolayı, YAR ham verisinin MATLAB ile işlenmesi kararlaştırılmıştır.

Çalışmanın birinci bölümünde uzaktan algılama ve YAR yöntemi ile ilgili temel bilgiler verilmiştir. YAR sistemine ve YAR ham verisinin işlenmesine ait teorik temeller ikinci bölümde verilmiştir. Geliştirilen program üçüncü bölümde anlatılmıştır. Dördüncü bölümde ise sonuçlar irdelenmiş ve öneriler yapılmıştır.

1.2 Uzaktan Algılama ve Yapay Açıklıklı Radar

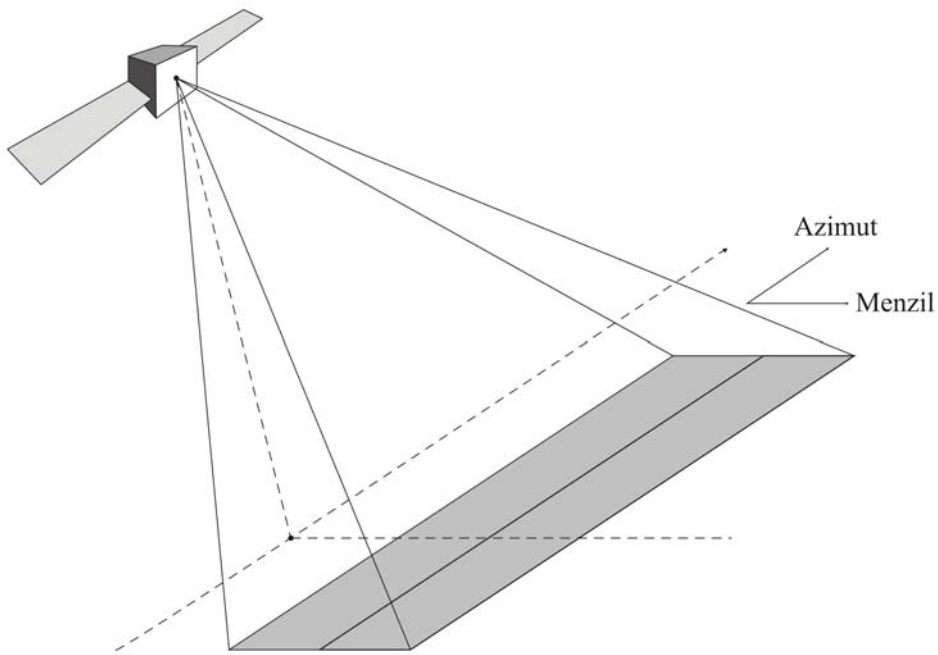
Uzaktan algılama (remote sensing), elektromagnetik spektrumun X-ışınları ile ses dalgaları arasındaki bölümleri aracılığı ile havadan ve uzaydan cisimlerin özelliklerini ölçme, kaydetme ve inceleme tekniğidir. Uzaktan algılamada cisimle bir temas olmamaktadır ve mesafe açısından bir kısıtlama yoktur. Ancak hedef ile bağlantıyı sağlayacak bir algılayıcıya (sensor) ihtiyaç duyulmaktadır [3].

Uzaktan algılama sistemleri pasif ve aktif sistemler olarak ikiye ayrılabilirler. Pasif sistemde algılayıcı enerjiyi bir dış ışınım kaynağı ile aydınlatılmış hedeften almaktadır. Aktif uzaktan algılama sisteminde ise ışınım, sistemin kendisi tarafından yaratılmaktadır. Radar ve lidar aktif sistemlere örnektir [3].

Uzaktan algılama sistemleri anten konumlarına göre Gerçek Açıklıklı Radar (GAR) ve Yapay Açıklıklı Radar (YAR) olarak ikiye ayrılırlar [4].

GAR sisteminde, dar bir enerji hüzmesi (veya demeti), taşıyıcı platformun uçuş doğrultusuna dik olarak yöneltilmektedir. Enerji darbesi radar anteninden

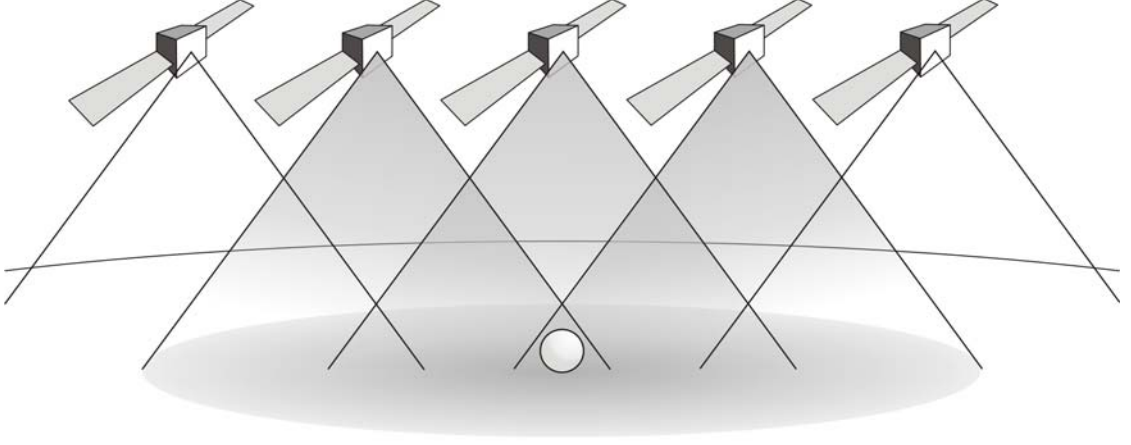
gönderilmektedir ve yansıyan işaretler dar bir şeridin görüntüsünü oluşturmak üzere toplanmakta ve işlenmektedir [5]. GAR sisteminde, uçuş doğrultusuna paralel olan azimut yönündeki çözünürlüğü arttırmak için darbe süresini kısaltmak gerekmektedir. Ancak darbe süresinin kısaltılması işaret-gürültü oranını azaltmaktadır. GAR sistemlerinde arzu edilen çözünürlüğü yakalamak için pratikte gerçekleştirilemeyecek anten boyutları gerekmektedir. GAR sistemi genellikle çözünürlüğün çok önemli olmadığı uygulamalarda tercih edilmektedir. Örnek bir GAR sistemi Şekil 1.1’de gösterilmektedir.



Şekil 1.1 : Gerçek Açıklıklı Radar sistemi

Yapay Açıklıklı Radar, Gerçek Açıklıklı Radar sisteminin kısıtlarını ortadan kaldıran bir yöntem olarak geliştirilmiştir. YAR yönteminde, bir uydu veya bir uçak ile taşınan radar, mümkün olduğunca sabit bir hızla ileri yönde hareket ettirilmektedir. Radar, ileri yönlü hareketi esnasında, belirli bir süre boyuca belirli sayıda darbe göndermektedir. Radar tarafından gönderilen darbelere ait yansıyan işaretler yine radar tarafından toplanmaktadır. Toplanan işaretler, uygun biçimde kaydedilmekte ve birleştirilmektedir. Bu sayede yapay açıklık oluşturulmaktadır. Platformun hızı ve toplam darbe gönderme süresi yapay açıklığın boyunu belirlemektedir. YAR yönteminde her nokta daha uzun süre gözlenmektedir. Bu sayede platformun ilerleme yönüne paralel olan azimut doğrultusunda, aynı boydaki gerçek açıklıklı bir

antene göre, yüksek çözünürlük elde edilmektedir. Örnek bir YAR sistemi Şekil 1.2’de gösterilmektedir.



Şekil 1.2 : Yapay Açıklıklı Radar sistemi

YAR aktif bir uzaktan algılama sistemi olup mikrodalga bölgesine çalışmaktadır.

2. YAR SİSTEMİ VE YAR HAM VERİSİNİN İŞLENMESİ

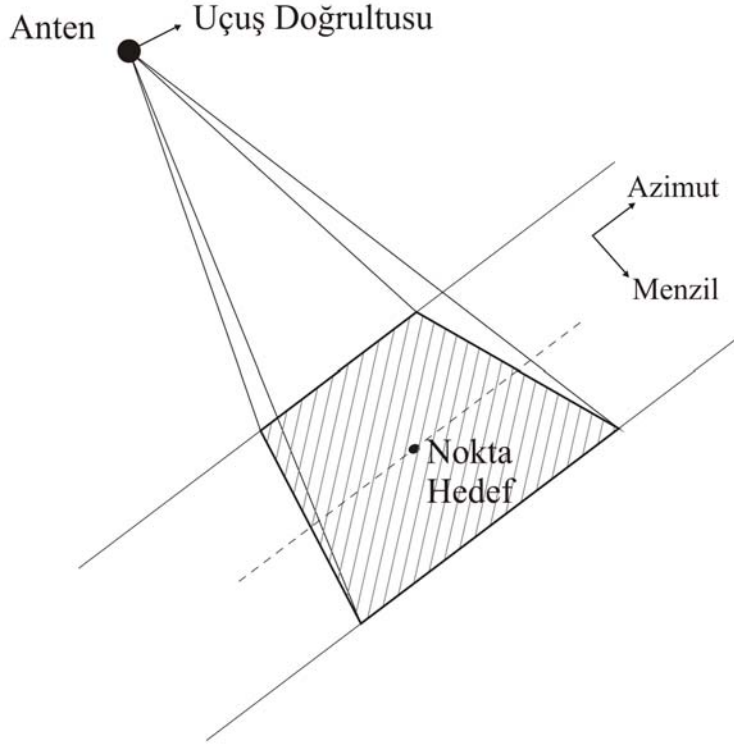
YAR sistemine ve YAR ham verisinin işlenmesine ait teorik temeller bu bölümde iki ayrı alt bölüm olarak tanıtılmaktadır.

2.1 YAR Sistemi

YAR sistemi, en temelde, uyumlu, aktif, yan görüşlü (side-looking) bir radar ve ham veriyi odaklanılmış bir görüntüye çeviren bir YAR işlemcisinden oluşmaktadır [6]. Sabit bir hızla hareket eden bir platform üzerindeki radardan, belirli bir süre boyunca, belirli sayıda gönderilen darbeler hedeflere çarpmakta ve yansımaktadır. Yansıyan işaretler hedeflerin yansıtıcılığı (reflectivity) ile ilgili bilgi taşımaktadır [7]. İletilen darbe kümesine ait yansıyan işaretler radar tarafından alınmakta, demodüle edilmekte, sayısallaştırılmakta ve kaydedilmektedir. Kaydedilen sayısal işaretler ham veri adını almaktadır. YAR işlemcisi ise ham veri üzerinde çeşitli algoritmalar uygulayarak görüntü oluşturmaktadır.

2.1.1 YAR görüntüleme geometrisi

Temel YAR görüntüleme geometrisi Şekil 2.1’de gösterilmektedir. Belirli ve bilinen bir hız ile ilerleyen yan görüşlü radar, yerde uçuş yönüne paralel bir alanı (swath) aydınlatmaktadır. Aydınlatılan alanın genişliği ve alan içerisinde aydınlatılan hedeflerin aydınlatılma süresi YAR anteninin hüzmeye (veya demet) karakteristiklerine bağlıdır [6]. Antenin hareket eksenini azimut (veya çapraz menzil) olarak adlandırılmaktadır. Antenin hareket eksenine dik olan eksen ise menzil olarak adlandırılmaktadır.



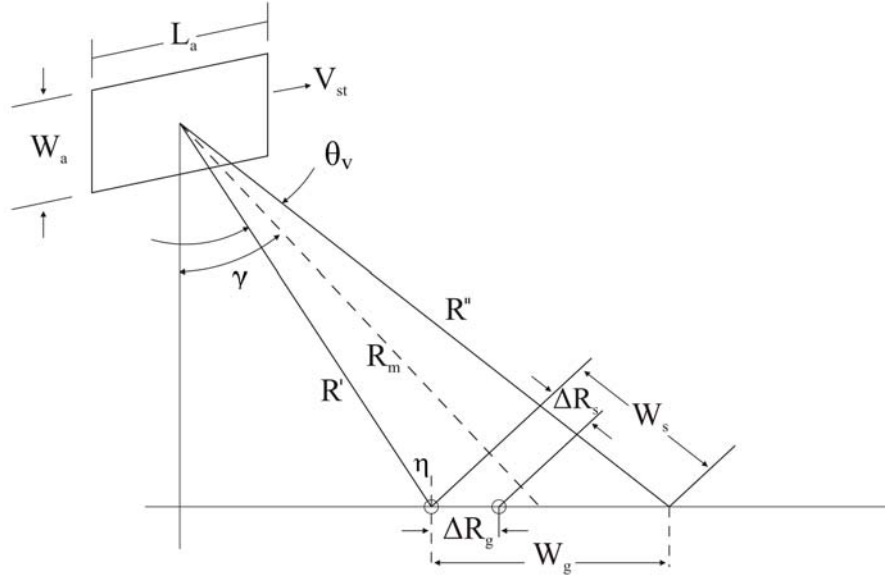
Şekil 2.1 : Temel YAR görüntüleme geometrisi

YAR sistemi için çözünürlük (resolution), farklı iki hedefin birbirinden ayırt edilebilmesi için aralarında bulunması gereken en düşük mesafedir. Bu aynı zamanda uzamsal çözünürlük (spatial resolution) olarak da adlandırılmaktadır. Çözünürlük, YAR sisteminin performansını belirleyen en önemli parametrelerdendir ve iki boyutta, menzil ve azimut, ölçülmektedir.

2.1.1.1 Menzil çözünürlüğü

YAR sisteminde anten, hareketi esnasında, Darbe Tekrarlama Frekansı (Pulse Repetition Frequency), kısaca DTF (PRF), ile darbeler göndermektedir. Aydınlatılan alan içerisinde, antene göre aynı azimut konumunda fakat farklı menzillerde bulunan hedefler, gönderilen işaretlerin gidiş-geliş gecikmesi (round-trip delay) sayesinde ayırt edilmektedir. Hedefin menzili, yani antene olan uzaklığı, arttıkça işaretin gidiş-geliş gecikmesi de artmaktadır [6].

Şekil 2.2’de menzil doğrultusunda temel YAR görüntüleme geometrisi gösterilmektedir.



Şekil 2.2 : Menzil doğrultusunda temel YAR görüntüleme geometrisi

Bakış açısı γ çoğu kez radar hüzmesi ile görüntüleneyen yüzeyin normali arasındaki açı η ile eşit kabul edilmektedir. Radar anteninin dikey yöndeki hüzmeye genişliği $\theta_v = \lambda/W_a$ ile bulunur. Böylece süpürme genişliği,

$$W_g \approx \frac{\lambda R_m}{W_a \cos \eta} \quad (2.1)$$

olarak verilir. Radarın menzil doğrultusundaki çözünürlüğü ise Şekil 2.2’de ΔR_g ile gösterilmektedir. Eğer radar darbesinin süresi τ_p ise aynı menzildeki iki hedefin ayırt edilebilmesi için aralarında bulunması gereken en düşük mesafe, yani menzil çözünürlüğü,

$$\Delta R_g = \frac{\Delta R_s}{\sin \eta} = \frac{c \tau_p}{2 \sin \eta} \quad (2.2)$$

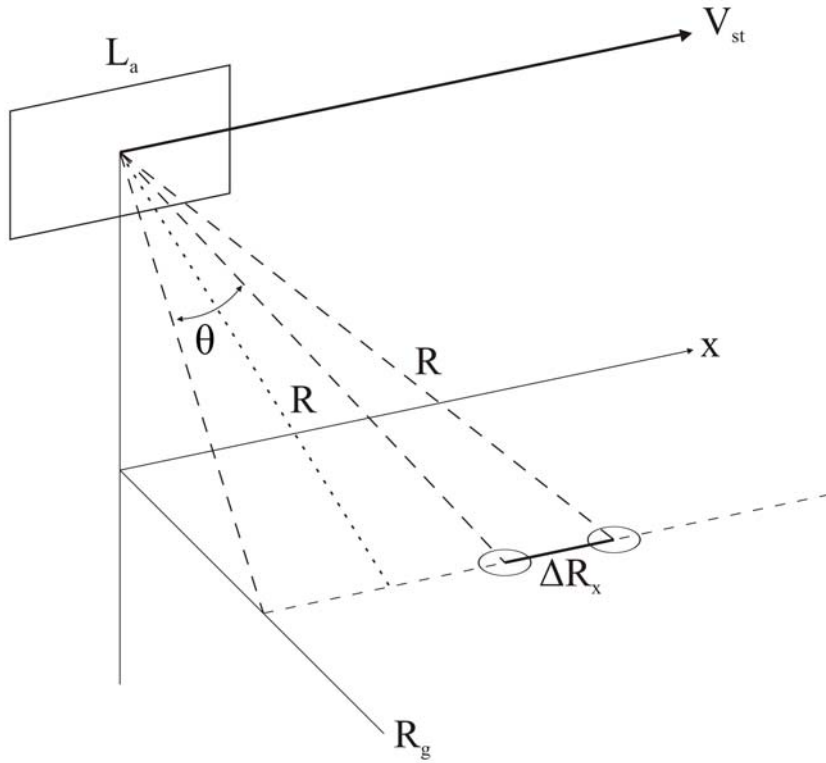
olarak belirlenmektedir. Burada ΔR_s eğik menzil çözünürlüğü, c ise ışık hızıdır [8].

Kullanılan darbelerin süresi kısaltıldıkça menzil çözünürlüğü iyileşmektedir. Ancak istenilen menzil çözünürlüğünü sağlamak için gerekli darbe süresi çok kısa olduğundan işaretin enerjisi de düşük olmaktadır. Bu da işaret-gürültü oranının azalmasına sebep olmaktadır. Frekans modülasyonlu darbeler kullanılarak bu sorunun üstesinden gelinmektedir [6].

2.1.1.2 Azimut çözünürlüğü

Aydınlatılan alan içerisindeki hedefin azimut yanıtı Doppler etkisi ile açıklanmaktadır. Anten belirli menzildeki bir hedefe azimut ekseninde yaklaşırken alınan işaretin frekansı artmaktadır. Anten hedeften uzaklaştıkça alınan işaretin frekansı azalmaktadır [6]. Hedef ile anten aynı azimut konumundayken anlık frekans sıfır olmaktadır [1]. Bu fenomen sayesinde Doppler kaymaları analiz edilerek hedefler birbirinden ayırt edilebilmektedir. YAR görüntüleme geometrisi kullanılarak Doppler kayması zamanın bir fonksiyonu haline gelmektedir. Yani frekans modülasyonlu darbeler, azimut ekseninde YAR görüntüleme geometrisinin bir sonucu olarak oluşmaktadır [6].

Şekil 2.3'te azimut doğrultusunda temel YAR görüntüleme geometrisi gösterilmektedir.



Şekil 2.3 : Azimut doğrultusunda temel YAR görüntüleme geometrisi

Antenin uçuş doğrultusundaki uzunluğu L_a ile gösterilirse anten hüzmesinin enine genişliği $\theta_H = \lambda/L_a$ ile bulunur. Bu enine hüzme genişliği gerçek açıklık için azimut çözünürlüğü belirlemektedir.

$$\Delta R_x = R\theta_H = \frac{R\lambda}{L_a} \quad (2.3)$$

YAR için algılayıcının hareketinden kaynaklanan Doppler kayması gönderilen dalganın frekansına ve hareket doğrultusundaki nokta hedefin konumuna

$$f_D = \frac{2(V_{st} \sin \theta)}{\lambda} = \frac{2V_{st}x}{\lambda R} \quad (2.4)$$

olarak bağlıdır. (2.4) ifadesinde V_{st} algılayıcının hedefe göre hızı, θ hüzmelin maksimum doğrultusunda hedefi görmesi durumunda referansa göre açığı göstermektedir. Enine doğrultudaki çözünürlüğü belirlemek için kullanılan ilk hedefin uçuş yönündeki koordinatı x_1 referansına göre Doppler kaymasına bağlı olarak bulunur.

$$x_1 = \frac{\lambda R f_{D1}}{2V_{st}} \quad (2.5)$$

Benzer şekilde aynı menzilde bulunan diğer hedefin koordinatı x_2 için Doppler kayması F_{D2} olur. Böylelikle eşit menzilde ve aynı hüzmeye içerisinde aynı anda bulunan hedefler, dönen işaretlerin Doppler frekans spektrumu analizi yardımıyla birbirinden ayırt edilebilirler. Buradan hareketle YAR için azimut çözünürlüğü

$$\Delta R_x = \left(\frac{R\lambda}{2V_{st}} \right) \delta f_D \quad (2.6)$$

olarak belirlenmektedir. Frekans boyutundaki çözünürlük zaman boyutunda hedeflerin hüzmeye içinde kalma süresinin (T) tersi olarak alınabilir. $\Delta f_D = 1/T$. Bu süre hüzmeye içindeki belirli bir hedefin hüzmeye kalma süresidir.

$$T = \frac{R\theta_H}{V_{st}} = \frac{R\lambda}{L_a V_{st}} \quad (2.7)$$

(2.7) ifadesi (2.6) ifadesinde yerine konulursa;

$$\Delta R_x = \left(\frac{\lambda R}{2V_{st}} \right) \left(\frac{L_a V_{st}}{R\lambda} \right) = \frac{L_a}{2} \quad (2.8)$$

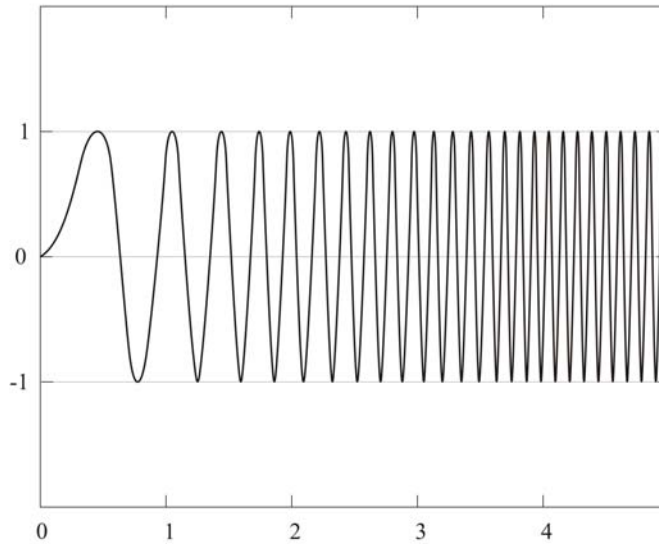
(2.8) ifadesi ile YAR için azimut çözünürlüğü bulunmuş olur [9].

(2.3) ve (2.8) eşitliklerinden görüleceği üzere, GAR sisteminde azimut çözünürlük menzile bağlıdır. Ancak YAR sisteminde azimut çözünürlük menzilden bağımsızdır. YAR sisteminde antenin azimut uzunluğu azaldıkça azimut çözünürlük iyileşmektedir. GAR sisteminde ise antenin azimut uzunluğu arttıkça azimut çözünürlük iyileşmektedir. Bu da GAR sisteminde uygulamayı güçleştiren bir durumdur.

2.1.1.3 Cıvıltı darbesi

Bölüm 2.1.2’de açıklandığı üzere menzil çözünürlüğünü arttırmak için radar tarafından gönderilen darbelerin sürelerinin kısaltılması gerekmektedir. Ancak bu durum darbenin enerjisinin düşmesine sebep olduğundan, işaret gürültü oranının azalmasına yol açmaktadır. İşaret gürültü oranının azalması ise yansıyan işaretlerin algılanmasını güçleştirmektedir. Bu problemler, YAR sistemlerinde cıvıltı, diğer adıyla çırpı, (chirp) karakterli darbelerinin kullanılmasıyla ortadan kaldırılmaktadır [1]. Frekansı zamana göre değişen, yani frekans modülasyonlu, işaretler cıvıltı olarak adlandırılmaktadır.

Şekil 2.4’te örnek bir cıvıltı işareti gösterilmektedir.



Şekil 2.4 : Doğrusal cıvıltı

$\text{Re}\{s(t)\}$ şeklinde tanımlanacak olan cıvıltı

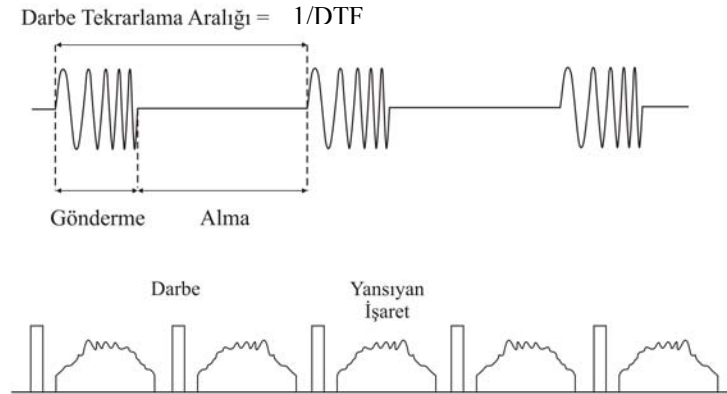
$$s(t) = \exp[j(\omega_0 t + \alpha t^2)] \quad (2.9)$$

ile verilmektedir. $s(t)$, $-\tau_p / 2 \leq t \leq \tau_p / 2$ aralığı dışında sıfırdır. İşaretin sürekli dalga darbesinde olduğu gibi $\omega_0 t$ şeklinde doğrusal faz terimi ve αt^2 ile verilmiş kuadratik faz terimi vardır. Frekans fazın birinci türevi olarak tanımlandığından bu terim doğrusal olarak artan bir frekansı göstermektedir ve bu nedenle doğrusal cıvıltı adını almaktadır. 2α , terimi $\text{radyan}^2 \text{ saniye}^{-2}$ boyutundadır ve cıvıltı hızı olarak adlandırılmaktadır. Cıvıltının frekans aralığı $\omega_0 - \alpha \tau_p$ ile $\omega_0 + \alpha \tau_p$ aralığındadır ve işaretin bant genişliği

$$B_p = \frac{\alpha \tau_p}{\pi} \quad (2.10)$$

Hertz olarak belirlenmektedir [3].

Cıvıltı darbesi kullanan radarlar sürekli dalga darbeleri radarlar ile karşılaştırıldığında, aynı etkin bant genişliğine sahip olmalarına rağmen işaretin süresinin daha uzun yapılabildiği gözlemlenmektedir. Bu, sürekli dalga darbeleri radarlarda görülen uzun süreli darbenin bant genişliğinin dar olmasının gerektirdiği hale ters bir durumdur. YAR sisteminde menzil çözünürlüğü gönderilen darbenin bant genişliği ile orantılıdır. Bu durumda sürekli dalga darbesi yerine cıvıltı darbesi kullanarak her darbeye daha yüksek enerji ile aynı çözünürlüğü elde etmek mümkün olmaktadır. Her darbeye gönderilen enerjinin artması sistemin işaret gürültü oranını arttırmaktadır [3].



Şekil 2.5 : Cıvıltı darbelerinin gönderilmesi ve yansıyan işaretlerin alınması

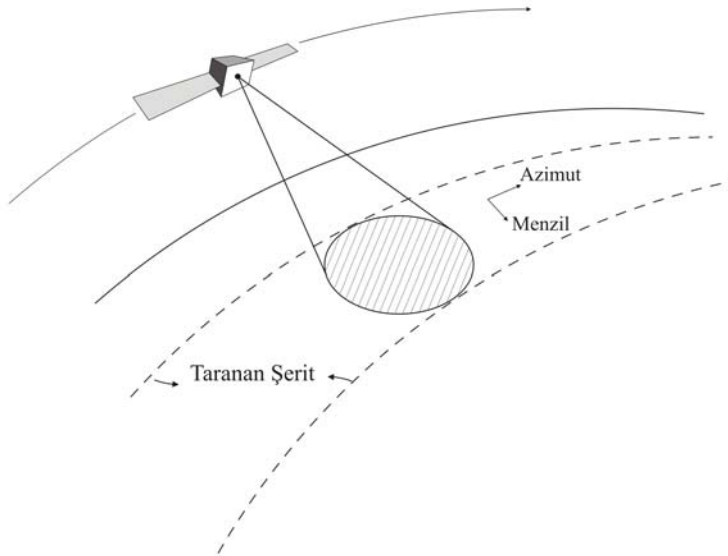
YAR sisteminde cıvıltı darbelerinin gönderilmesi ve yansıyan işaretlerin alınması Şekil 2.5'te gösterilmektedir. YAR sisteminde platform hareket ettikçe cıvıltı darbeleri her $1/DTF$ saniyede gönderilmektedir. Radarın gönderme yapmadığı zaman dilimlerinde ise yansıyan işaretler alınmaktadır.

2.1.1.4 YAR sisteminin çalışma modları

YAR sistemlerinin başta şerit tarama (stripmap) ve spot aydınlatma (spotlight) olmak üzere farklı çalışma modları vardır [10]. Çalışma kapsamında işlenen ham veri şerit taramalı modda alınmış olduğundan sadece şerit taramalı mod tanıtılacaktır.

2.1.1.4.1 Şerit tarama modu

Şerit tarama modunda, radar anteninin merkez eksenini yaklaşık olarak uçuş doğrultusuna dik olarak seçilmektedir [10]. Platform hareket ettikçe antenin bakış açısı değiştirilmemektedir. Dolayısıyla anten, platform ilerledikçe, yerde, menzil yönünde genişliği sabit bir şeridi taramaktadır. Şerit tarama modu Şekil 2.6'da gösterilmektedir.



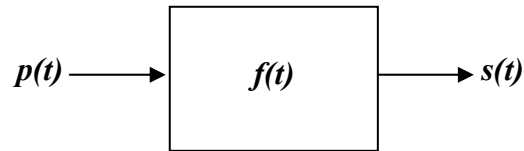
Şekil 2.6 : Şerit tarama modu

Şerit tarama modunda aydınlatılan alanın menzil doğrultusundaki uzunluğu radarın hüzmeye karakteristiğine bağlıdır ve sabittir. Ancak aydınlatılan alanın azimut doğrultusundaki uzunluğu, radarın hüzmeye karakteristiği ile birlikte uçuş süresine de bağlıdır. Bu nedenle de istenildiği kadar arttırılabilmektedir.

2.1.2 YAR işlemcisi

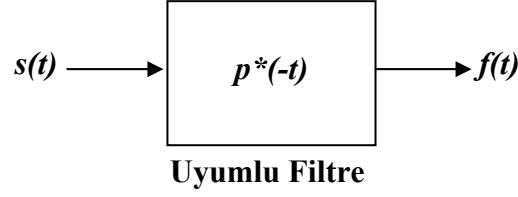
YAR sisteminde gönderilen darbe kümesine ait yansıyan işaretler radar tarafından alınmakta, demodüle edilmekte, sayısallaştırılmakta ve karmaşık değerlerden oluşan iki boyutlu sayısal veri olarak kaydedilmektedir. Karmaşık değerlerden oluşan bu iki boyutlu sayısal veri, ham veri olarak adlandırılmaktadır. Ham verinin bir boyutu uçuş doğrultusuna dik olan menzil doğrultusunu, diğer boyutu ise uçuş doğrultusuna paralel olan azimut doğrultusunu temsil etmektedir. Ham veri içerisindeki karmaşık değerler ise alınan işaretin genlik ve faz bilgilerini içermektedir. YAR işlemcisinin (SAP processor) temel görevi, ham veriden görüntü oluşturma işlemidir. Ancak ham verinin boyutu çok büyüktür ve karmaşık algoritmalar ile işlenmesi gerekmektedir. Bu nedenle YAR işlemcilerinin geliştirilmesi önemli mühendislik problemlerinin çözümünü gerektirmektedir [6].

YAR sisteminde görüntü, hedeflere veya görüntülenen alana ait yansıtıcılık fonksiyonundan (reflectivity function) oluşturulmaktadır. YAR sisteminde, bir platform üzerindeki radardan, belirli bir süre boyunca, belirli sayıda gönderilen darbeler hedeflere çarpmakta ve yansımaktadır. Yansıyan işaretler hedeflerin yansıtıcılığı ile ilgili bilgi taşımaktadırlar. YAR işlemcisi tasarımındaki en önemli nokta da budur; Alınan işaretler, gönderilen cıvıltı darbesi ve yansıtıcılık fonksiyonunun birleşimidir. Dolayısıyla, YAR işlemcisinin en temel görevi, alınan işaretlerden cıvıltı darbelerini ayırt ederek yansıtıcılık fonksiyonunu elde etmektir. Bu problem ters problem (inverse problem) olarak adlandırılmaktadır. Gönderilen işaretin $p(t)$, yansıtıcılık fonksiyonunun $f(t)$ ve alınan işaretin $s(t)$ ile gösterilmesi durumunda, alınan işaret $s(t)$ Şekil 2.7’de gösterilmektedir.



Şekil 2.7 : Alınan işaret, yansıtıcılık fonksiyonu ve gönderilen işaret

Alınan işaretten $s(t)$, gönderilen işaretin $p(t)$ ayırt edilerek yansıma fonksiyonunun $f(t)$ elde edilmesi, yani ters problemin çözümü, bir filtre yardımı ile gerçekleştirilmektedir. YAR sistemlerinde filtre olarak, gönderilen cıvıltı darbesinin karmaşık eşleniği $p^*(-t)$ olan bir uyumlu filtre (matched filter) kullanılmaktadır. Ters problemin çözümüne ait blok diyagram Şekil 2.8’de gösterilmektedir.



Şekil 2.8 : Yansıma fonksiyonunun elde edilmesi

YAR işlemcisi tasarımında dikkat edilmesi gereken nokta, YAR ham verisinin iki boyutlu bir veri olmasıdır. Bu nedenle, filtreleme işleminin her iki boyutta, menzil ve azimut, gerçekleştirilmesi gerekmektedir.

YAR işlemcisi, ters problemi çözmesinin yanında bazı hataları da düzeltmektedir. Bu hataların en önemlisi menzil göçmesidir (range migration) [11].

Özetlenecek olursa, YAR işlemcisi en temelde, iki boyutta filtreleme ve hataların düzeltilmesi işlemlerini gerçekleştirmektedir. Bu sayede YAR ham verisinden yansıtıcılık fonksiyonunu elde etmekte ve görüntü oluşturmaktadır.

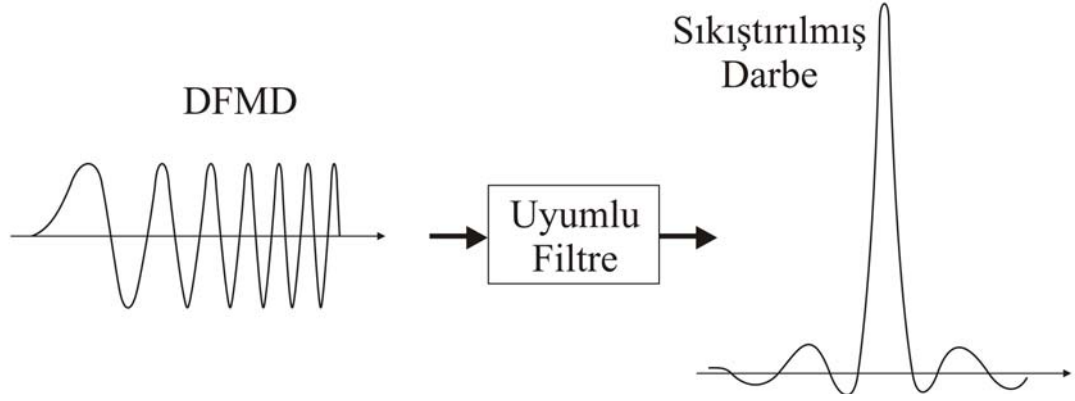
Tez kapsamında işlenen YAR ham verisi şerit tarama modunda çalışan bir YAR sisteminden alındığı için, şerit tarama modu için uyumlu filtrelemenin tanıtılması anlaşılabilirliği arttıracaktır.

2.1.2.1 Şerit tarama modu için uyumlu filtreleme

Uyumlu filtre, bilinmeyen bir işaret içerisinde, bilinen bir işaretin varlığını tespit etmek için kullanılan filtredir. Genellikle, bilinen işaretin, bilinmeyen işaret ile korele edilmesi ile elde edilmektedir. Bu da bilinmeyen işaretin, bilinen işaretin zaman-tersi ile konvolüsyonuna eşdeğerdir. Uyumlu filtrelerin türetilmesine ait teorik temeller [1], [3] ve [12] numaralı kaynaklarda açıklanmaktadır.

YAR sistemlerinde de bilinmeyen bir işaret (alınan işaret) içerisinde, bilinen bir işaret (gönderilen işaret) ayırt edilmeye çalışıldığı için uyumlu filtreler kullanılmaktadır. Uyumlu filtrelerin kullanılmasının bir diğer sebebi de toplamsal stokastik gürültü olması durumunda işaret gürültü oranını arttırmalarıdır.

Uyumlu filtreleme aynı zamanda bir darbe sıkıştırma (pulse compression) tekniğidir. Cıvıltı darbesinin uyumlu filtrelenmesi sonucunda elde edilen işaret daha dar bantlı bir işarettir. Bu da YAR sistemlerinde çözünürlüğü iyileştirmektedir. Örnek bir cıvıltı darbesi ve uyumlu filtrelemeden sonraki işaret Şekil 2.9’da gösterilmektedir.



Şekil 2.9 : Cıvıltı darbesi ve uyumlu filtrenin çıkışındaki işaret

Bölüm 2.1.2’de açıklandığı üzere YAR sistemlerinde filtrelemenin hem menzil hem de azimut doğrultusunda yapılması gerekmektedir. Bu durumda YAR işlemcisinin hem menzil hem de azimut doğrultusunda uyumlu filtreleme yapması gerekmektedir.

Şerit tarama modunda çalışan YAR sisteminde $-\tau_p / 2 \leq t \leq \tau_p / 2$ aralığında tanımlı cıvıltı darbesi,

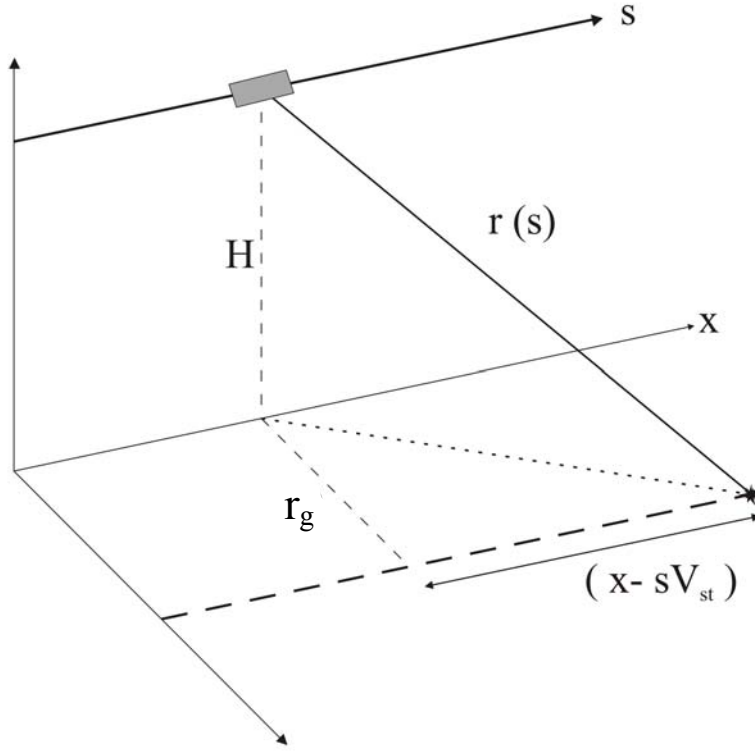
$$p(t) = e^{i\pi kt^2} \quad (2.11)$$

olarak verilmektedir. Burada τ_p darbe süresini, k cıvıltı eğimini göstermektedir. Bu durumda YAR ham verisinin menzilde filtrelenmesi için kullanılacak olan uyumlu filtre,

$$p^*(t) = e^{-i\pi kt^2} \quad (2.12)$$

ifadesi ile verilmektedir. Menzil doğrultusundaki uyumlu filtreleme ile aynı azimut konumundaki fakat farklı menzillerdeki hedefler ayırt edilebilmektedir.

Azimut doğrultusundaki uyumlu filtrelemede kullanılacak uyumlu filtre için azimut doğrultusundaki cıvıltı darbesinin oluşturulması gerekmektedir. Şerit tarama modunda çalışan YAR sistemin azimut doğrultusundaki görüntüleme geometrisi Şekil 2.10’de gösterilmektedir.



Şekil 2.10 : Şerit tarama modunda çalışan YAR sistemi için azimut doğrultusundaki görüntüleme geometrisi

Burada, s azimut yönündeki zamanı, x azimut konumu, V_{st} platformun hızını, s_0 hedefin radar anteninin hüzmelerinin tam merkezinde bulunduğu zamanı, H platformun yüksekliğini, r_g yer menziline, $r(s)$ platform ile hedef arasındaki mesafeyi, r_0 ise platform ile hedef arasındaki en düşük mesafeyi göstermektedir.

Şerit tarama modunda çalışan YAR sistemi için azimut doğrultusundaki cıvıltı darbesi

$$C(s) = \exp\left\{i \frac{4\pi r_0}{\lambda}\right\} \exp\left\{i 2\pi \left[\frac{-2V_{st}}{\lambda} \frac{(x - s_0 V_{st})}{r_0} (s - s_0) + \frac{2V_{st}^2}{\lambda r_0} (s - s_0)^2 / 2 \right]\right\} \quad (2.13)$$

olarak verilmektedir. Burada

$$\frac{-2V_{st}}{\lambda} \frac{(x - s_0 V_{st})}{r_0} \quad (2.14)$$

ifadesi Doppler merkezi f_{DC} olarak adlandırılmaktadır.

$$\frac{2V_{st}^2}{\lambda r_0} \quad (2.15)$$

ifadesi ise Doppler hızı f_R olarak adlandırılmaktadır.

Şerit tarama modunda çalışan YAR sistemi için azimut doğrultusunda kullanılacak uyumlu filtre ise $C^*(-s)$ olarak belirlenmektedir. Bu sayede aynı menzilde fakat farklı azimut konumundaki hedefler ayırt edilebilmektedir.

Uyumlu filtreleme, zaman boyutunda bir konvolüsyon işlemidir. Frekans boyutunda ise bir çarpma işlemidir. Bu nedenle, uyumlu filtrelemenin frekans boyutunda yapılması büyük işlemsel kolaylık getirmektedir. Uyumlu filtreleme, YAR ham verisi üzerinde yapıldığından Fourier dönüşümleri ham verinin zaman boyutundan frekans boyutuna taşınmasında kullanılmaktadır.

2.2 YAR Ham Verisinin İşlenmesi

YAR işlemcileri, YAR ham verisini işlemek için farklı algoritmalar kullanmaktadırlar. Bu algoritmalarından en önemlileri Menzil Doppler Algoritması, Cıvıltı Ölçekleme (Chirp Scaling) Algoritması, SPECAN ve Omega-K algoritmaları olarak sıralanabilirler. Her bir algoritmanın kendine özgü avantajları ve dezavantajları bulunmaktadır. [13] numaralı referansta bu algoritmalara ait detaylar bulunabilir.

Menzil Doppler Algoritması tek boyutlu işleme kolaylığı sağlamaktadır [13]. Bu nedenle tez kapsamında, YAR ham verisinin işlenmesi için Menzil Doppler Algoritması kullanılmaktadır.

2.2.1 Menzil Doppler Algoritması

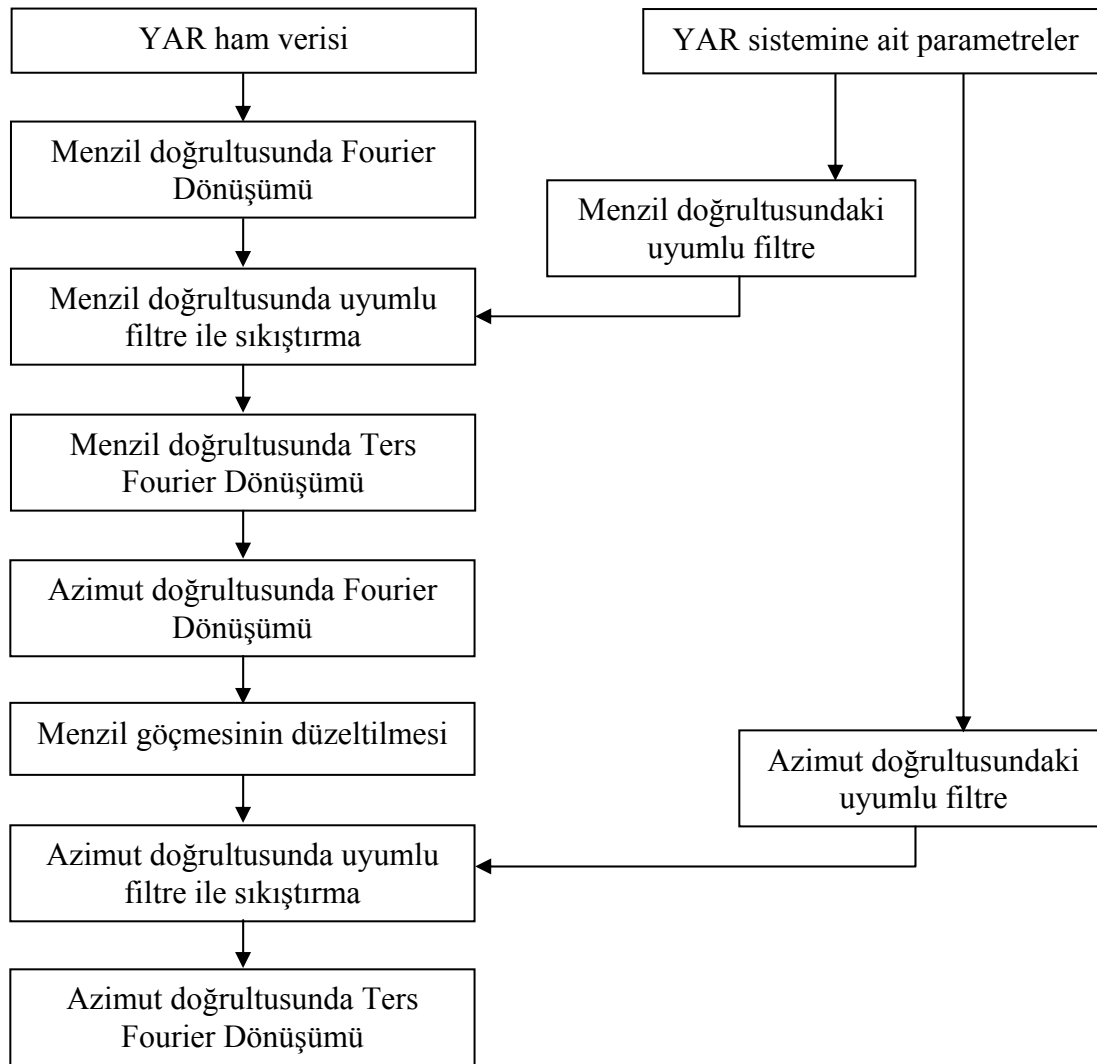
MDA, 1976–1978 yılları arasında SEASAT uydusunun YAR ham verisinin işlenmesi için geliştirilmiştir. MDA halen YAR ham verisi işlemede kullanılan en popüler algoritmadır [14].

YAR ham verisinin işlenmesi iki boyutlu bir problemdir. YAR ham verisinde nokta hedefin enerjisi menzil ve azimutta dağılmaktadır. YAR ham verisinin işlenmesinde odaklamanın amacı da dağılan bu enerjiyi çıkış görüntüsünde tek bir piksele toplamaktır. Enerji, menzilde cıvıltı darbesinin süresi boyunca dağılmaktadır.

Azimutta ise enerji, hedefin anten hüzmesi tarafından aydınlatılması süresince, yani yapay açıklık boyunca, dağılmaktadır [5]. Bununla birlikte antenin, azimutta hareketinden kaynaklanan bir menzil göçmesi oluşmaktadır. MDA hem iki boyutta odaklama hem de menzil göçmesi problemlerini çözmektedir.

MDA'nın doğru çalışması için Doppler merkezine (f_{DC}) ihtiyaç duyulmaktadır. f_{DC} YAR verisinden dinamik olarak belirlenmektedir. Bununla birlikte MDA, menzil ve azimut doğrultusundaki uyumlu filtre ile sıkıştırmada kullanılacak uyumlu filtrelerin doğru oluşturulabilmesi için gönderilen cıvıltı darbesine ve YAR sisteminin görüntüleme geometrisine ait parametrelere ihtiyaç duymaktadır [5].

MDA'nın akış şeması Şekil 2.11'de gösterilmektedir.



Şekil 2.11 : Menzil Doppler Algoritması'nın akış şeması

MDA, YAR ham verisinin okunması ve YAR sistemi parametrelerinin girilmesi ile başlamaktadır. Farklı YAR sistemleri, farklı formatlarda YAR ham verileri sağlamaktadırlar. Dolayısıyla bu iki adımın, işlenecek spesifik YAR ham verisine ve bu verinin sağlandığı sisteme uygun biçimde gerçekleştirilmesi gerekmektedir.

Ardından, YAR ham verisine menzil doğrultusunda Fourier Dönüşümü uygulanmaktadır. Bu sayede frekans boyutundaki işlemsel kolaylıklardan yararlanılabilmektedir. Frekans boyutundaki YAR ham verisine, menzil doğrultusunda uyumlu filtreleme uygulanmaktadır. Bu sayede YAR ham verisi menzil doğrultusunda sıkıştırılmaktadır. Bu işlem, menzil doğrultusundaki uyumlu filtrenin ham veri ile menzil boyunca çarpılması ile gerçekleştirilmektedir. Ardından menzilde sıkıştırılmış YAR verisine Ters Fourier Dönüşümü uygulanarak veri zaman boyutuna taşınmaktadır.

Menzil göçmesinin düzeltilmesi adımı, menzilde sıkıştırılmış zaman boyutundaki veriye, azimut doğrultusunda Fourier Dönüşümü uygulandıktan sonra gerçekleştirilmektedir. Menzil göçünün düzeltilmesi, menzil boyunca Fourier Dönüşümü, doğrusal faz çarpanı ve menzil boyunca Ters Fourier Dönüşümü ile gerçekleştirilebilmektedir [11].

Menzil göçü düzeltildikten sonra, azimut doğrultusunda uyumlu filtre ile sıkıştırma adımı gerçekleştirilmektedir. Bu adımda, azimut doğrultusundaki uyumlu filtre ile frekans boyutundaki veri çarpılmaktadır. En son adımda veriye tekrar azimut doğrultusunda Ters Fourier Dönüşümü uygulanmakta ve veri zaman boyutuna taşınmaktadır.

Yöntem tamamlandığında ortaya çıkan veri, menzil ve azimut yönlerinde odaklanması uyumlu filtre ile sıkıştırılma vasıtasıyla gerçekleştirilmiş ve menzil göçü hatası düzeltilmiş bir veridir. Bu veri bir görüntü verisidir ve çeşitli araçlarla görüntüye çevrilebilmektedir.

3. UYGULAMA

Bölüm 1.1’de belirtildiği üzere, bu tezin amacı, YAR ham verisini kullanıcı dostu, yaygın kullanımı olan ve kolay geliştirme imkânı sunan bir araç ile işlemektir. Bu tez kapsamında işlenen YAR ham verisi, Avrupa Uzaktan Algılama Uydusu (European Remote Sensing Satellite, ERS) ile oluşturulan ve Avrupa Uzay Ajansı (European Space Agency, ESA) tarafından sağlanan ham veridir. İşlenen ham veri şerit tarama modunda alınmıştır. YAR ham verisini işlemek üzere seçilen algoritma ise Menzil Doppler Algoritması’dır. Kullanıcı dostu yapısı, yaygın kullanımı ve kolay geliştirme imkânı sunmasından dolayı, YAR ham verisinin MATLAB ile işlenmesi kararlaştırılmıştır.

Bu bağlamda, ERS-2 uydusu ile şerit tarama modunda alınmış ham verinin Menzil Doppler Algoritması ile işlenebilmesi için MATLAB ortamında bir YAR işlemcisi geliştirilmiştir.

Şerit tarama modu ve Menzil Doppler Algoritması ile ilgili teorik bilgiler Bölüm 2’de açıklanmaktadır. Geliştirilen YAR işlemcisinin daha iyi anlaşılabilmesi için ERS-2 uydusunun, yani YAR sisteminin ve bu uyduya ait ham verinin karakteristiklerinin bilinmesinde fayda vardır.

3.1 ERS–2 Uydusu ve YAR Sistemi

ERS 1 ve 2, Avrupa Uzay Ajansı’nın (European Space Agency, ESA) yer gözlem uydularındandır. ERS-1 uydusu 1991 yılında yörüngeye oturtulmuş ve 2000 yılında kullanım dışı kalmıştır. ERS-1 uydusu üzerinde birçok uzaktan algılama aracı bulunmaktaydı. Bunların arasında C bandında çalışan bir YAR algılayıcısı da mevcuttu.

ERS–2 uydusu ise 1995 yılında yörüngeye oturtulmuştur. ERS-2 uydusu, ERS-1 uydusunda bulunan araçların yanında bazı ilave uzaktan algılama araçları da taşımaktadır.

ERS-2 uydusunda bir YAR algılayıcısı da bulunmaktadır. Bu algılayıcı, C bandında, 5.3 GHz frekansında, VV polarizasyonunda, 15.5 MHz bant genişliği ile çalışmaktadır. Görüntüleme ve dalga olmak üzere iki çalışma durumu vardır. Görüntü alma durumunda menzil çözünürlüğü 26 metre, azimut çözünürlüğü ise 6 – 30 metre arasındadır. YAR algılayıcısı şerit tarama modunda çalışmaktadır ve yeryüzünde 100 km genişlikli bir şeridi taramaktadır.

Çizelge 3.1 : ERS–2 YAR görüntüleme sistemine ait parametreler

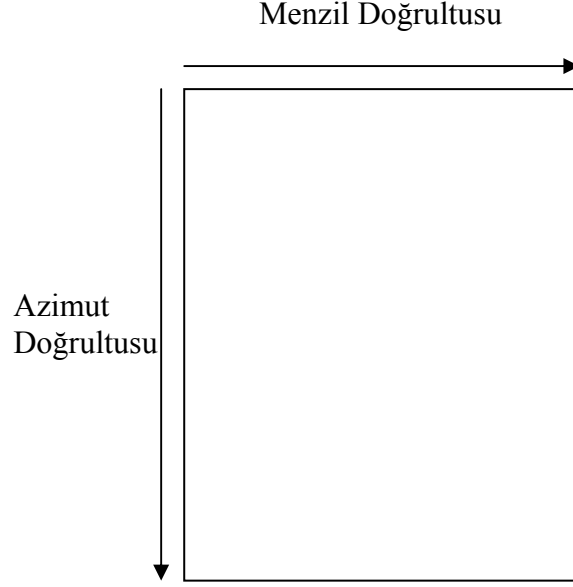
	$V_{st}(m/sn)$	$\lambda (m)$	DTF (Hz)	$r_0(km)$	$L_a(m)$	$L_{ya}(m)$
ERS–2	7125	0.057	1679	850	10	4850

ERS–2 uydusunun YAR görüntüleme sistemine ait bazı değerler Çizelge 3.1’de verilmektedir. ERS-2 uydusunun YAR algılayıcısına ve sistemine ilişkin detaylı bilgiye [5] numaralı referanstan ulaşılabilmektedir.

3.2 ERS-2 Uydusu YAR Ham Verisi

ERS–2 uydusunun YAR algılayıcısının görüntüleme durumunda oluşturduğu ham veri, yaklaşık olarak, menzilde 100 azimutta 110km’lik bir alana aittir. Ham veri iki boyutlu sayısal bir veridir ve karmaşık değerler içermektedir. Verinin satırları menzil doğrultusunu, sütunları ise azimut doğrultusunu temsil etmektedir. ERS–2 uydusunun YAR algılayıcısının DTF’ı 1679,9 Hertz’dir ve algılayıcı yaklaşık olarak 16,5 saniye boyunca görüntüleme yapmaktadır. Bu durumda toplam 28000 darbe gönderilmektedir. 28000 darbe YAR ham verisinin satırlarını oluşturmaktadır. Her bir satırda ise 5616 örnek bulunmaktadır. Dolayısıyla ortaya çıkan YAR ham verisi 28000 satır ve 5616 sütundan oluşan iki boyutlu bir veridir.

YAR ham verisinin her bir satırında 11644 bayt veri bulunmaktadır. İlk 412 bayt zamanlama verisidir ve görüntü oluşturma açısından gerekli değildir. Sonraki 11232 bayt ise ham verinin satırını oluşturan veridir. Bu 11232 bayt, 5161 adet karmaşık sayının gerçek ve sanal kısımlarını temsil etmektedir.



Şekil 3.1 : YAR ham verisi

Temsili YAR ham verisi Şekil 3.1’de gösterilmiştir. YAR ham verisine ait detaylı parametrelere [5] numaralı referanstan ulaşılmaktadır.

3.3 İşlenen YAR Ham Verileri

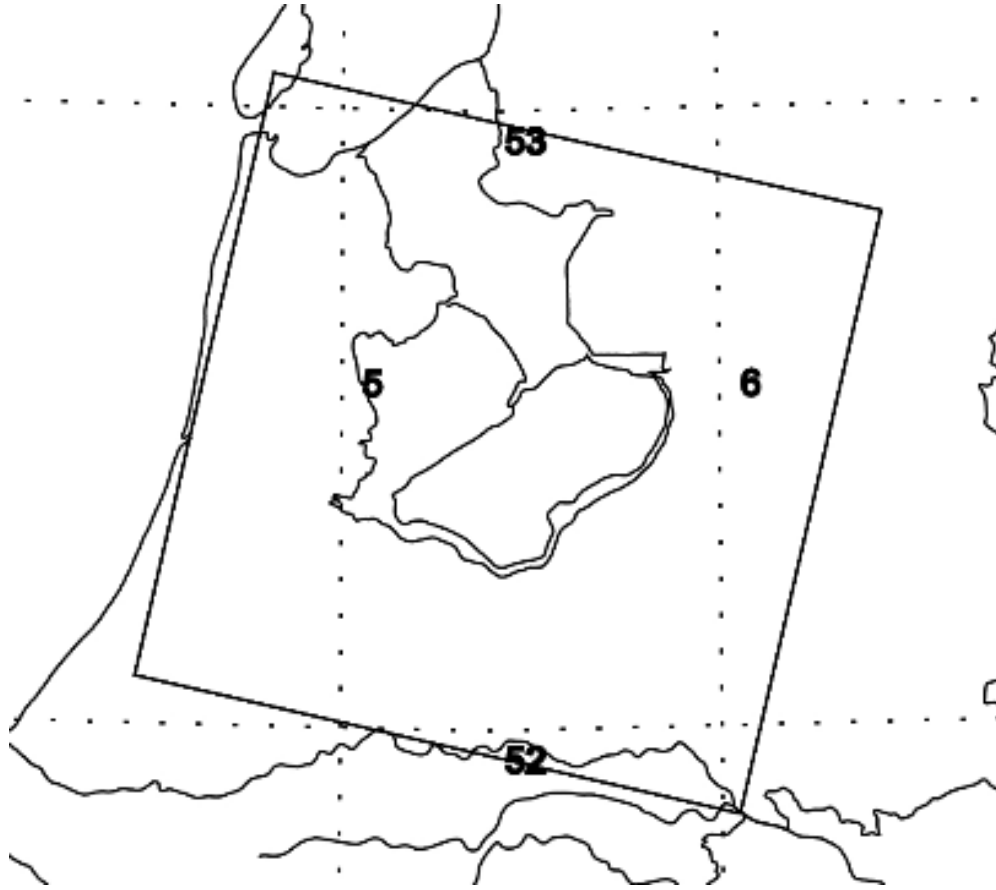
Tez çalışması kapsamında Harderwijk, Hollanda ve L’Aquila, İtalya’ya ait iki farklı ham veri işlenmiştir.

Harderwijk, Hollanda’ya ait olan ham verinin merkez koordinatları Oostvaardersplassen bölgesine yakındır. Hollanda’nın Flevoland isimli bölgesi tamamen görülebilmektedir. Harderwijk, Hollanda’ya ait olan ham veriye ait detaylar Çizelge 3.2’de verilmektedir.

Çizelge 3.2 : Harderwijk, Hollanda YAR ham verisine ait detaylar

Yörünge	Tarih	Saat	Enlem	Boylam
01508	04.08.1995	10:35.01- 10:35.18	K 52.474	D 5.377

Harderwijk, Hollanda’ya ait ham veri ile görüntülenen bölge Şekil 3.2’de görülmektedir. Ham veri dosyasının boyutu 318.4 Mbayt’tır.



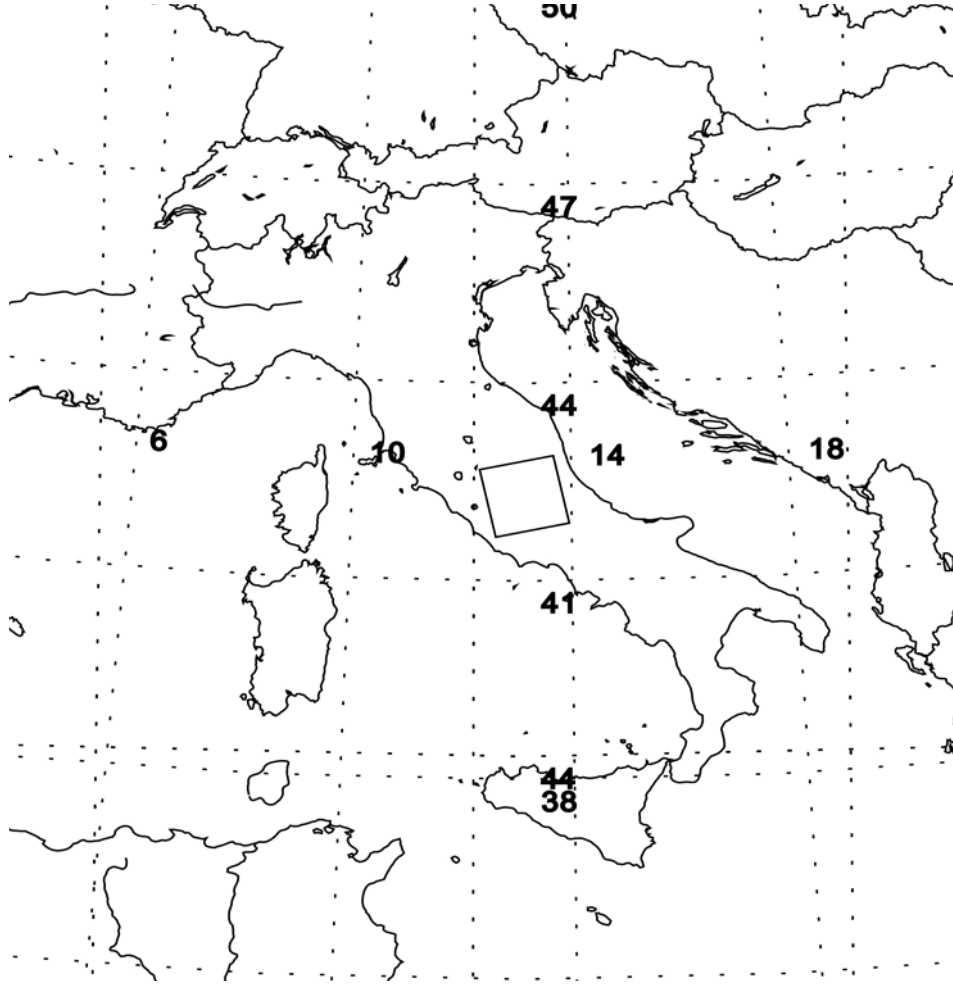
Şekil 3.2 : Harderwijk, Hollanda ham verisi ile görüntülenen bölge

L'Aquila, İtalya'ya ait olan ham verinin merkez koordinatları L'Aquila bölgesine yakındır. 06 Nisan 2009 yılında meydana gelen ve L'Aquila depremi olarak anılan depremin olduğu bölgenin görüntülenmesi amacıyla alınmış ve Avrupa Uzay Ajansı tarafından bilimsel amaçlı kullanım için ücretsiz olarak kullanıma sunulmuş bir ham veridir.

Çizelge 3.3 : L'Aquila, İtalya YAR ham verisine ait detaylar

Yörünge	Tarih	Saat	Enlem	Boylam
72900	30.03.2009	21:21.30- 21:21.48	K 42.2	D 13.1

L'Aquila, İtalya'ya ait olan ham veriye ait detaylar Çizelge 3.3'de verilmektedir.



Şekil 3.3 : L'Aquila, İtalya ham verisi ile görüntülenen bölge

L'Aquila, İtalya'ya ait ham veri ile görüntülene bölge Şekil 3.3'de görülmektedir. Ham veri dosyasının boyutu 332 Mbayt'tır

3.4 Kaynaklar ve Kullanılan Altyapı

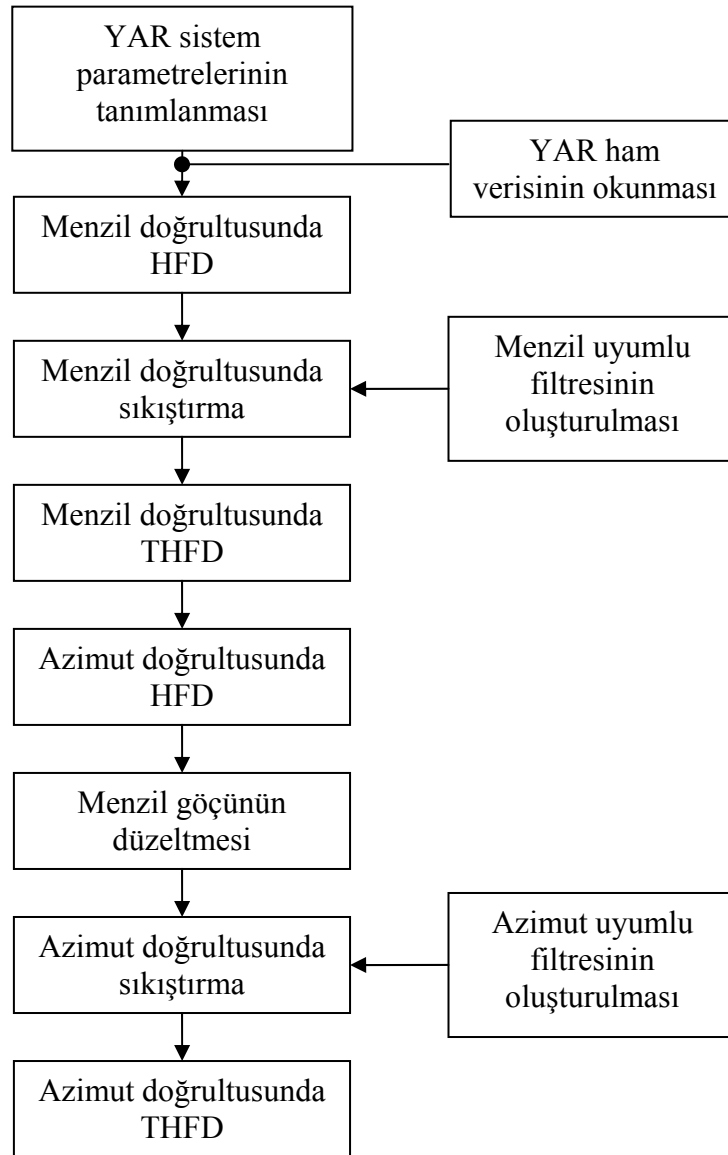
Tez kapsamında işlenen YAR ham verileri Avrupa Uzay Ajansı tarafından sağlanmıştır. Tez içerisinde kullanılan optik resimler Google Eart uygulamasından alınmıştır. YAR ham verileri Peta Bilgi İşlem Teknolojileri'nin alt yapısı kullanılarak işlenmiştir.

YAR ham verilerinin işlendiği bilgisayarda Intel i7 ailesi bir ana işlemci ve 12 GB geçici bellek bulunmaktadır. Ayrıca YAR ham verilerinin işlendiği bilgisayarda 64-bit Windows Vista ve 64-bit MATLAB (2007b) kuruludur. Bu konfigürasyonda YAR ham verilerinin işlenme süresi 5-6 dakika aralığında değişmiştir.

3.5 MATLAB Ortamında Geliştirilen YAR İşlemcisi

Tezin amacı doğrultusunda, ERS-2 uydusu ile şerit tarama modunda alınmış ham verinin Menzil Doppler Algoritması ile işlenebilmesi için MATLAB ortamında bir YAR işlemcisi geliştirilmiştir.

Bölüm 2.2.1’de açıklanan MDA’na göre çalışan program, bir YAR işlemcisinin temel adımlarını yerine getirmektedir. Programın akış şeması Şekil 3.4’te gösterilmektedir.



Şekil 3.4 : Programın akış şeması

Bölüm 2.2.1’de belirtildiği üzere MDA’nın uygulanabilmesi için bazı parametrelere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu parametreler, menzil ve azimut doğrultusundaki sistem

parametreleridir. Menzil parametreleri menzil örnekleme frekansı (f_s), darbe süresi (τ_p) ve cıvıltı hızıdır (k). Menzil parametreleri, menzil uyumlu filtresinin $p^*(-t)$ oluşturulmasında kullanılmaktadır. Azimut parametreleri ise, DTF, radar çalışma dalgaboyu (λ) ve platform hızıdır (V_{st}). Azimut parametreleri azimut uyumlu filtresinin $c^*(-s)$ oluşturulmasında kullanılmaktadır. Tüm bu parametreler Avrupa Uzay ajansı tarafından ham veri ile birlikte sağlanmaktadır. Bu parametrelerin yanında azimut uyumlu filtresinin $c^*(-s)$ oluşturulabilmesi için Doppler merkezi (f_{DC}), Doppler hızı (f_R) ve menzil ($r(s)$) değerinin de bilinmesi gerekmektedir. Doppler merkezi (f_{DC}) Avrupa Uzay Ajansı tarafından ham veri ile birlikte sağlanmaktadır. Menzil,

$$r(s) = r_0 + n.C / 2 f_s \quad (3.1)$$

ifadesi ile hesaplanmaktadır. n , sütun numarasını göstermektedir. Doppler hızı ise

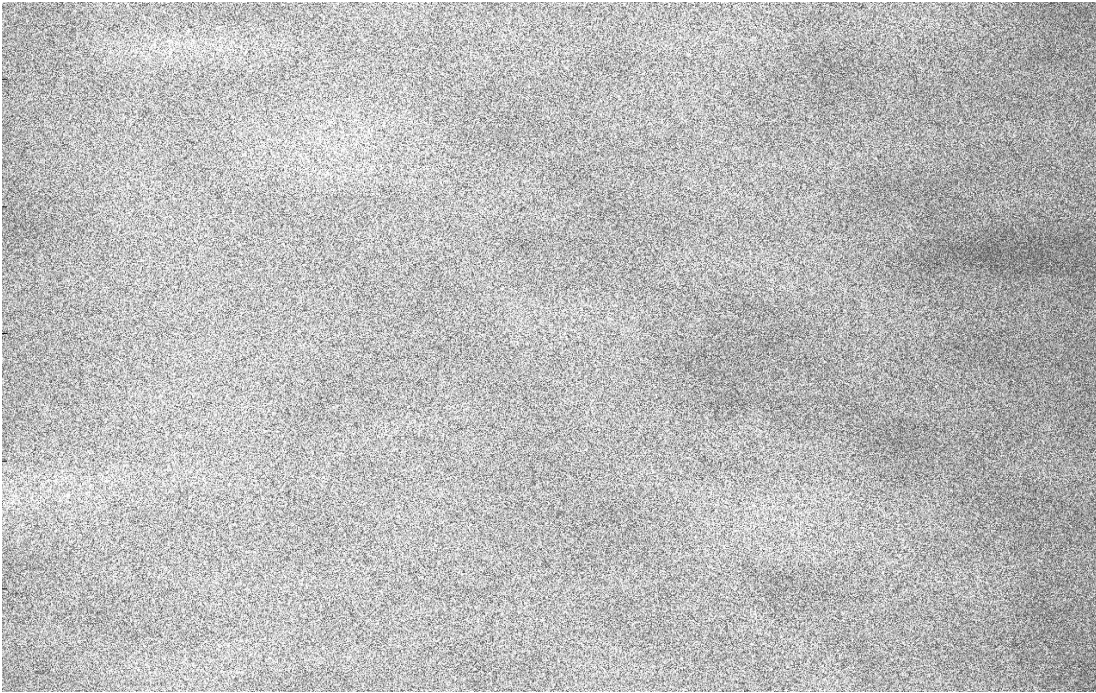
$$f_R = 2V_{st}^2 / \lambda r \quad (3.2)$$

ifadesi ile hesaplanmaktadır.

Parametreler tanımlandıktan ve hesaplandıktan sonra program, ham verinin okunması adımı ile devam etmektedir. YAR ham verisinin okunması dikkat gerektiren bir adımdır ve işlenecek spesifik veriye göre uyarlanmalıdır. ERS-2 uydusunun YAR ham verisi 28000 satır ve 5616 sütundan oluşmaktadır. Ayrıca her bir satırdaki ilk 412 bayt gereksizdir. Bu nedenle ham verinin uygun biçimde okunması ve düzenlenmesi gerekmektedir. Ham verinin okunması için MATLAB'ın *fread*, *reshape* ve *complex* fonksiyonlarından yararlanılmıştır. Ham veriyi içeren dosya *fread* fonksiyonu ile okunmuştur. Ardından *reshape* ve *complex* fonksiyonları ile gereksiz kısımlar çıkartılmış ve ham veri iki boyutlu, karmaşık değerlerden oluşan bir matris haline dönüştürülmüştür. Şekil 3.5 ve Şekil 3.6'da işlenen iki farklı YAR ham verisi gösterilmektedir.



Şekil 3.5 : YAR ham verisi (Harderwijk, Hollanda)



Şekil 3.6 : YAR ham verisi (L'Aquila, İtalya)

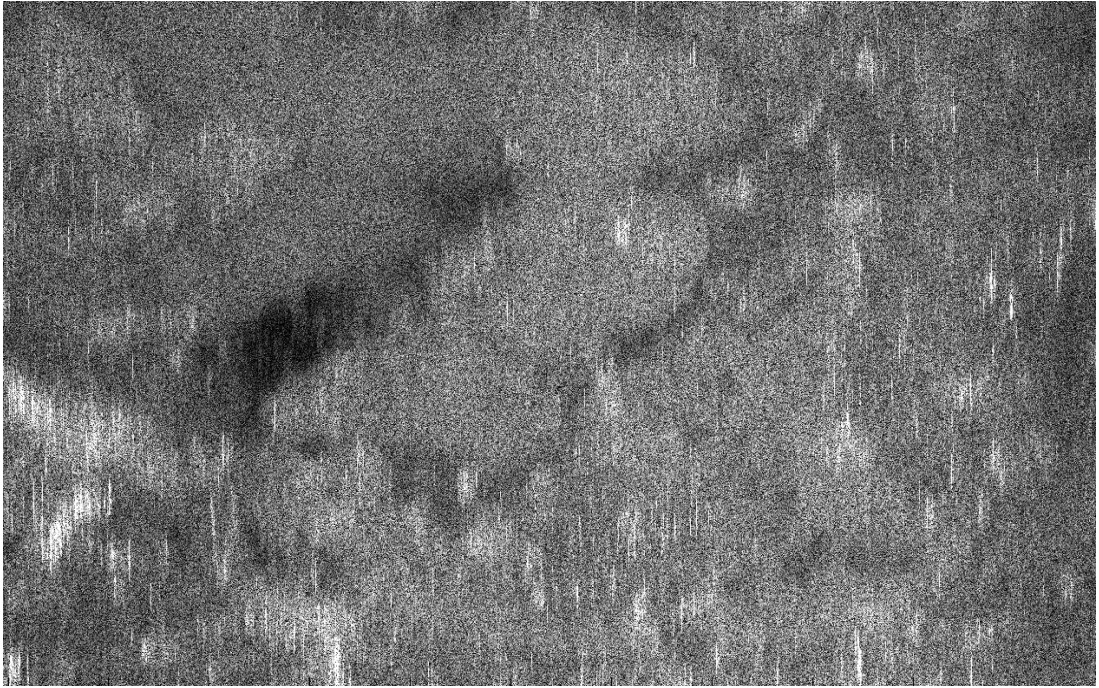
Bir sonraki adımda, okunan ham verinin her bir satırına Hızlı Fourier Dönüşümü (HFD) uygulanmalıdır. Bunun için MATLAB'ın *fft* (Fast Fourier Transform) fonksiyonu tercih edilmiştir. Burada dikkat edilmesi gereken nokta HFD'nün ham verinin satırları üzerinden gerçekleştirilmesi gerekliliğidir. Bunun için bir önceki adımda ham verinin boyutlarının doğru bir şekilde biliniyor olması gerekmektedir.

Zira MATLAB'ın *fft* fonksiyonu sadece sütunlar üzerinde HFD gerçekleştirmektedir. Bunun için bir önceki adımdaki verinin transpozisinin alınması gerekebilmektedir.

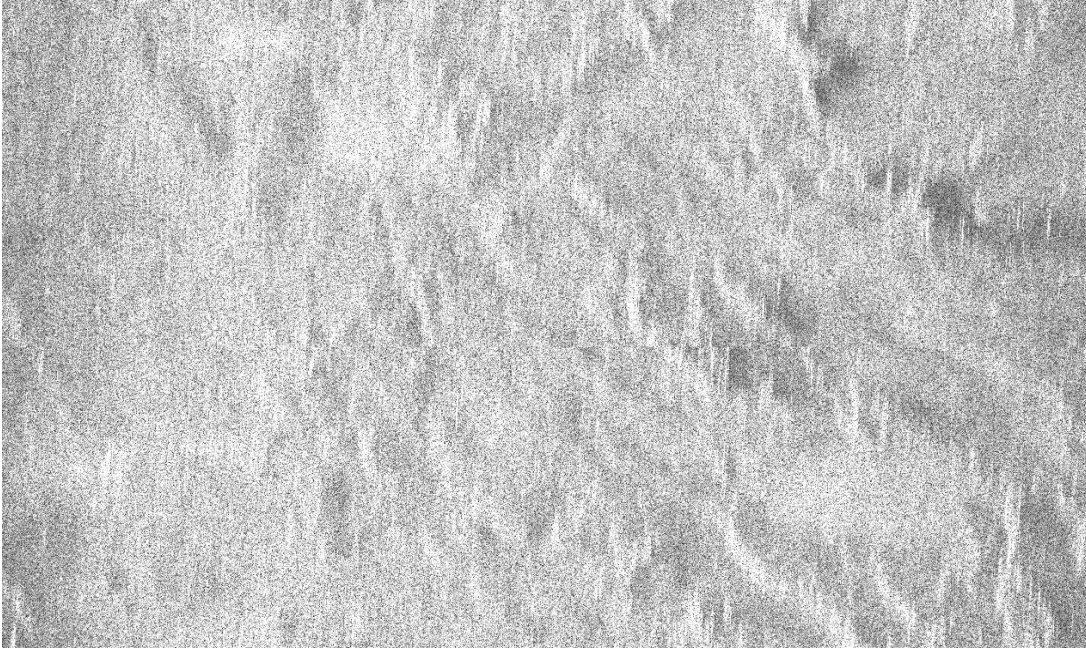
Menzil doğrultusunda sıkıştırma adımından önce, menzil uyumlu filtresinin oluşturulması gerekmektedir. Menzil uyumlu filtresi menzil parametreleri kullanılarak 2.12 ifadesine göre oluşturulmaktadır. İşlemler frekans boyutunda yapıldığı için menzil uyumlu filtresinin HFD ile frekans boyutuna taşınması gerekmektedir.

Menzil doğrultusunda uyumlu filtre ile sıkıştırma işlem zaman boyutunda bir konvolüsyon, frekans boyutunda ise bir çarpma işlemidir. Yapılması gereken menzil uyumlu filtresi ile ham verinin satırlarının (28000 adet) çarpılmasıdır. Bu MATLAB ortamında bir *for* döngüsü ve “.” operatörü ile gerçekleştirilebilmektedir. YAR ham verisinde her bir satırın bir radar darbesine karşılık geldiği düşünülürse menzil doğrultusunda sıkıştırmanın her bir radar darbesine uygulandığı anlaşılabacaktır.

Ardından menzil doğrultusunda sıkıştırılmış veri THFD ile zaman boyutuna taşınmaktadır. Bunun için MATLAB'ın *ifft* fonksiyonu kullanılabilir. İşlenen iki farklı ham veriye ait menzil doğrultusunda sıkıştırılmış ve zaman boyutuna taşınmış veriler Şekil 3.7 ve Şekil 3.8'de verilmektedir.



Şekil 3.7 : Menzil doğrultusunda sıkıştırılmış veri (Harderwijk, Hollanda)



Şekil 3.8 : Menzil doğrultusunda sıkıştırılmış veri (L'Aquila, İtalya)

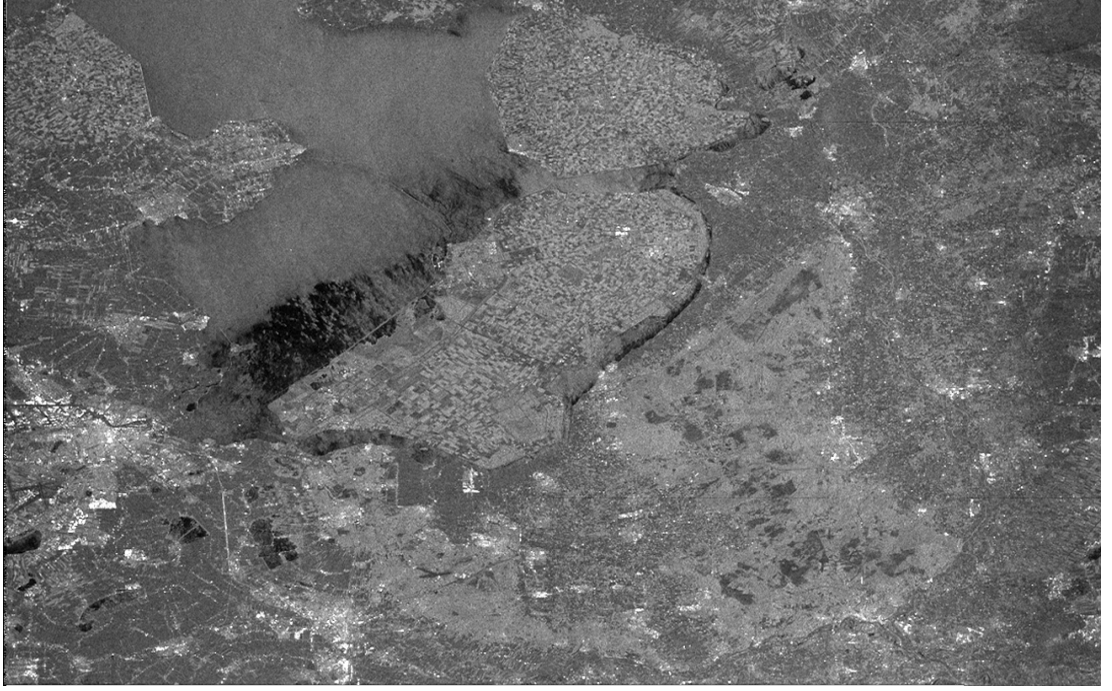
Menzil doğrultusunda sıkıştırılmış veriye azimut doğrultusunda HFD uygulanmalıdır. Bunun için yine *fft* fonksiyonu kullanılmaktadır. Ancak verinin boyutlarına dikkat edilmelidir. Zira *fft* fonksiyonunun bu sefer verinin sütunları (5616 adet) boyunca çalışması gerekmektedir. Bunun için verinin transpozisinin alınması gerekebilmektedir. Menzil göçünün düzeltilmesi menzil doğrultusunda HFD, doğrusal faz çarpanı ve menzil doğrultusunda THFD ile gerçekleştirilebilmektedir.

Azimut doğrultusunda sıkıştırmanın gerçekleştirilebilmesi için azimut uyumlu filtresinin oluşturulması gerekmektedir. Azimut uyumlu filtresi, azimut parametreleri ve 2.13-2.15 ifadeleri kullanılarak oluşturulabilmektedir. Azimut uyumlu filtresinin *fft* fonksiyonu ile frekans boyutuna taşınması unutulmamalıdır.

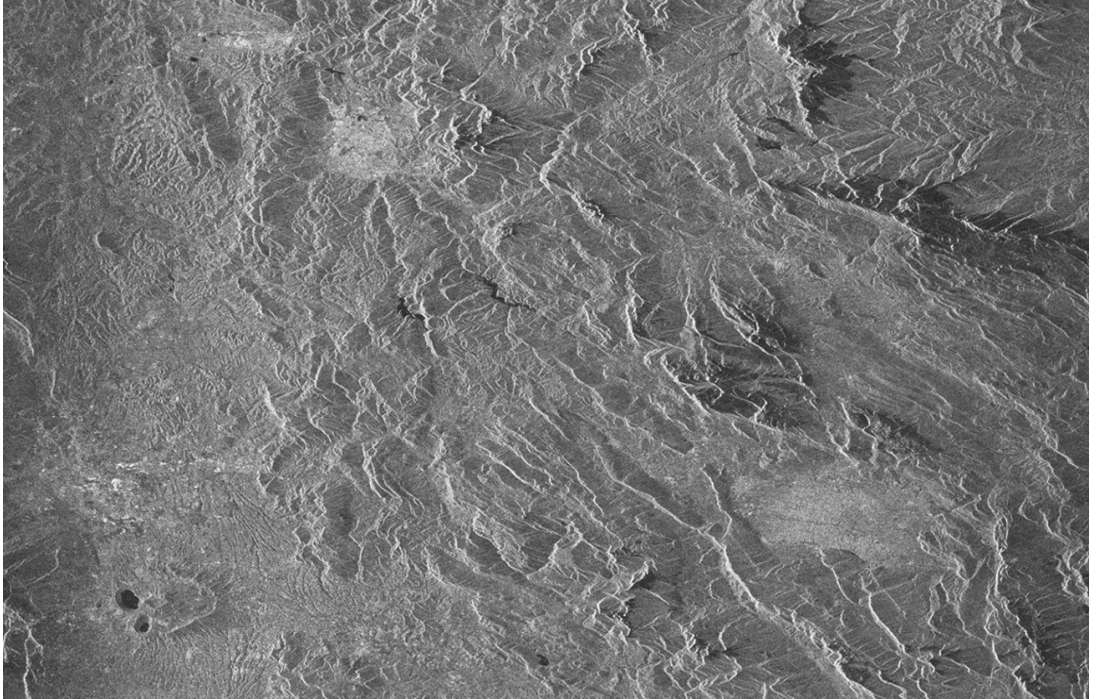
Azimut doğrultusunda uyumlu filtre ile sıkıştırma işlem zaman boyutunda bir konvolüsyon, frekans boyutunda ise bir çarpma işlemidir. Yapılması gereken azimut uyumlu filtresi ile menzil doğrultusunda sıkıştırılmış verinin sütunlarının (5616 adet) çarpılmasıdır.

Bu aşamada YAR ham verisi, menzil ve azimut doğrultusunda sıkıştırılmış ve menzil göçü düzeltilmiştir. Dolayısıyla bu veriden bir görüntü oluşturulabilmektedir. Son adım olarak verinin *ifft* fonksiyonu ile zaman boyutuna taşınması gerekmektedir.

İşlenen iki farklı ham veriye ait menzilde ve azimutta sıkıştırılmış ve zaman boyutuna taşınmış veriler Şekil 3.9 ve Şekil 3.10'de gösterilmektedir.



Şekil 3.9 : Menzil ve azimut doğrultusunda sıkıştırılmış veri
(Harderwijk, Hollanda)



Şekil 3.10 : Menzil ve azimut doğrultusunda sıkıştırılmış veri
(L'Aquila, İtalya)

Elde edilen menzil ve azimut doğrultusunda sıkıştırılmış verilerin daha iyi anlaşılabilmesi için aynı bölgelerden alınmış optik resimler Şekil 3.11 ve Şekil 3.12’de gösterilmektedir.



Şekil 3.11 : Harderwijk, Hollanda optik resim (Google Earth)



Şekil 3.12 : L'Aquila, İtalya optik resim (Google Earth)

MDA tek boyutta operasyonlar yapma imkânı ve kolaylığı sunan bir algoritmadır. Ham veri önce menzil doğrultusunda ardından azimut doğrultusunda işlenmektedir. Bunun için birkaç aşamada verinin içindeki sayısal değerler değişmeden boyut

dönüşümü yapılması gerekmektedir. Bu nedenle algoritmada veri işleme adımlarının iyi bir şekilde takip edilerek operasyonların uygun boyutlarda gerçekleştirilmesi önem taşımaktadır.

YAR ham verisi okunduktan sonra geçici bellekte büyük yer kaplamaktadır. YAR işlemcisinin de MATLAB ortamında gereksiz değişkenleri saklayarak tasarlanması durumunda geçici belleğin gereksiz kullanımı sorunu ortaya çıkabilmektedir. Bu sorun özellikle HFD, THFD ve uyumlu filtre ile sıkıştırma operasyonlarının tamamlanamamasına yol açabilmektedir. Bu nedenle programın akışı içerisinde mümkün mertebe geçici değişkenler yaratılmamalı veya fonksiyonunu tamamlayan geçici değişkenler silinmelidir. Ayrıca HFD, THFD ve uyumlu filtre ile sıkıştırma operasyonlarının da optimize edilmesinde fayda bulunmaktadır.

YAR ham verilerinde satır sayısı zaman zaman değişebilmektedir. Bu nedenle geliştirilen YAR işlemcisi satır sayısı açısından parametrik olarak geliştirilmiştir. Bu da işlenecek olan spesifik ham veriye özel bir değer girişi yapma ihtiyacını ortadan kaldırmaktadır.

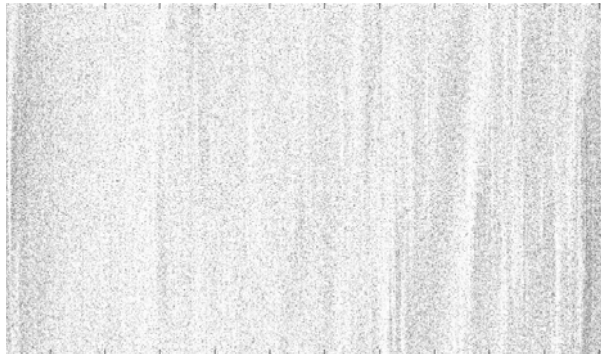
4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu bölümde çalışma ile ilgili sonuçlar ve öneriler paylaşılmaktadır.

4.1 Sonuçlar

Tez çalışması kapsamında, ERS-2 YAR ham verisini işlemek üzere, Menzil Doppler Algoritması'na göre çalışan bir YAR işlemcisi MATLAB ortamında geliştirilmiştir.

YAR işlemcisinin geliştirilmesi esnasında karşılaşılan geçici bellek sorununu çözmek adına YAR ham verisinin parça parça işlenip işlenemeyeceği değerlendirilmiştir. YAR ham verisi okunduktan sonra karmaşık değerlerden oluşan iki boyutlu bir matris haline getirilmektedir. Benzer şekilde menzil ve azimut uyumlu filtreleri de sırasıyla 5616x1 ve 28000x1 boyutunda matrislerdir. Matrislerin parça parça işlenmesi durumunda sadece işlenen parçaların değerleri değişmektedir. Dolayısıyla YAR işlemcisinin, YAR ham verisini parça parça işleyebilecek şekilde geliştirilebileceği düşünülmüştür. Ardından işlenen parçaların birleştirilerek görüntünün tamamının oluşturulması planlanmıştır. Bu amaçla YAR ham verisinin 28000 satırının ilk 3000 tanesi okunarak Menzil Doppler Algoritması çalıştırılmıştır. Ancak sonuçlar değerlendirildiğinde azimut doğrultusunda uyumlu filtre ile sıkıştırmanın gerçekleşmediği görülmüştür. Sonuç Şekil 4.1'de gösterilmektedir.



Şekil 4.1 : L'Aquila, İtalya YAR ham verisinin işlenmiş ilk 3000 satırı

Programın akışı incelendiğinde problemin HFD operasyonundan kaynaklandığı tespit edilmiştir. Zira Menzil Doppler Algoritması'nda azimut doğrultusunda yapılan HFD

operasyonunun anlamlı bir sonuç üretebilmesi için her bir sütunun 28000 değerinin tamamının HFD operasyonuna katılması gerekmektedir. Bu nedenle, azimut doğrultusunda uyumlu filtre ile sıkıştırma istenilen seviyede gerçekleşmemiştir. Elde edilen görüntünün menzil doğrultusunda sıkıştırılmış görüntü ile çok yakın olmasının sebebi budur. Menzil doğrultusunda uyumlu filtre ile sıkıştırma işleminin gerçekleşmesinin sebebi ise okunan 3000 satır için menzildeki 5616 değerinin tamamının okunması ve menzil doğrultusundaki HFD işlemine katılabilmesidir. Yapılan bu gözlem YAR ham verisinin tamamının programın akışı boyunca en az bir kere okunmasının zorunlu olduğunu göstermektedir.

YAR ham verisi her bir satırında 11644 bayt içeren ve 28000 satırdan oluşan bir veridir. Bu verinin tamamı işlenmek üzere geçici belleğe yazıldığında büyük yer kaplamaktadır. YAR işlemcisi, Menzil Doppler Algoritması'nı uygularken, en büyük işlem gücünü gerektiren operasyonlar çarpma ve fft operasyonlarıdır. Bu operasyonlar program içerisinde uygun biçimde gerçekleştirilmezse geçici bellek yetersizliğinden dolayı program tamamlanamayabilmektedir. Bu hatanın engellenmesi için yapılabilecek en temel işlem program boyunca gereksiz değişkenler yaratılmamasıdır. Yaratılan geçici değişkenlerin fonksiyonu tamamlandıkça silinmesi geçici belleğin gereksiz yere kullanılmasını engelleyecektir. Ayrıca fft ve çarpma operasyonlarının verinin üstüne yazma yöntemi ile yapılması da geçici bellek problemini ortadan kaldırabilmektedir. Kısacası, YAR işlemcisinin geçici belleği verimli bir biçimde kullanacak şekilde tasarlanması gerekmektedir.

MATLAB ortamında geliştirilen YAR işlemcisinin çalışabileceği bilgisayar düzeneğinin büyük bir geçici belleği ve yüksek işlem kapasitesi olmalıdır. Bu tür bilgisayar düzenekleri çok pahalı olduğundan dolayı, YAR işlemcisi, pazarda tüketiciye sunulan bilgisayar düzeneklerinde (3-4 Gbayt geçici bellek içeren) çalışabilecek şekilde geliştirilmeye çalışılmıştır. Bunun için öncelikle YAR ham verisinin okunması esnasında daha az yer kaplayan değişkenler (int8, int16, single gibi) ile okunması denenmiştir. Ancak bu yöntem, verilerin hassasiyetini bozmaktadır. Bu amaçla denenilen bir diğer yöntem ise fft ve çarpma operasyonlarının parça parça gerçekleştirilmesidir. Bu denemelerde de işletim sisteminin geçici bellek yönetiminden kaynaklanan bazı problemlerle karşılaşmıştır. İşletim sisteminin bellek yönetiminden kaynaklanan problemlerin sebepleri tespit edilemediği için çözüm de geliştirilememiştir. Bu nedenle, MATLAB ortamında geliştirilen YAR

işlemcisinin pazarda tüketicinin kullanımına sunulan bilgisayar düzeneklerinde çalışacak şekilde geliştirilmesi mümkün olmamıştır.

4.2 Öneriler

Tez kapsamında, MATLAB ortamında geliştirilen YAR işlemcisi ERS-2 YAR ham verisini Menzil Doppler Algoritması ile işlemek üzere geliştirilmiştir. Kullanıcı dostu, yaygın kullanımı olan ve kolay geliştirme imkânı sunan MATLAB ortamında geliştirilmiş olması bir avantajdır. Geliştirilen YAR işlemcisinin bir program modülü olarak düşünülerek farklı veri türlerini, farklı algoritmalar ile işleyebilecek şekilde geliştirilmesi faydalı olacaktır. Ayrıca programın MATLAB ortamından C++ veya Java ortamına taşınması da faydalı olabilecektir. Bu sayede MATLAB'ın veri boyutları ile ilgili bazı kısıtlarının ortadan kaldırılması ve geçici bellek sorunun hafifletilmesi sağlanabilecektir.

KAYNAKLAR

- [1] **Soumekh, M.**, 1999. *Synthetic Aperture Radar Signal Processing with MATLAB Algorithms*, John Wiley & Sons, Inc., USA.
- [2] **Dastgir, N.**, 2007. Processing SAR Data Using Range Doppler and Chirp Scaling Algorithms, *Master of Science Thesis*, School of Architecture and Built Environment, Royal Institute of Technology (KTH), Sweden.
- [3] **Kent, S.**, 2004, *Uzaktan Algılama*
- [4] **Franceschetti, G. and Lanari, R.**, 1999. *Synthetic Aperture Radar Processing*, CRC Press., Florida.
- [5] European Space Agency (ESA), Web sayfası: <http://earth.esa.int>
- [6] **Schotter, R.**, 1987. Data processing aspects of synthetic aperture radar, *Instrument Science and Technology*, 20, 829-834.
- [7] **Kasapoğlu, G.**, 2000. İşlenmemiş Yapay Açıklıklı Radar Verilerinin Sıkıştırılması, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- [8] **Cumming, I. and Wong, F.**, 2005. *Digital Processing of SAR Data*, Artech House, Norwood.
- [9] **Curlender, J. and McDonough, R.**, 1991. *Synthetic Aperture Radar Systems and Signal Processing*, John Wiley & Sons, Inc., USA.
- [10] **Gough, P.T. and Hawkins, D.W.**, 1997. Unified Framework for Modern Synthetic Aperture Imaging Algorithms, *IJIST*, 4, 343-358.
- [11] **Okunakul, H.B.**, 2006. Menzil Doppler ve Çırpı Tarama Algoritmaları Yardımıyla SAR Görüntüsü Oluşturulması, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [12] **North D.O.**, 1943. *An Analysis of the factors which determine signal/noise discrimination in pulsed carrier systems*, RCA Labs., Princeton, NJ.
- [13] **Raney, R.K., Runge, H., Bamler, R., Cumming, I. and Wong, F.**, 1994. Precision SAR Processing Using Chirp Scaling, *IEEE Transactions on Geosciences and Remote Sensing*, 32, 786-799.

- [14] **Kayserilioğlu, C.**, 1997. *Modern Radar Sistemleri*, İ.T.Ü., İstanbul.
- [15] **Runge, H., and Bamler, R.**, 1994. Method for resolving ambiguity in determination of antenna angle of view and Doppler Frequency in synthetic aperture radar, *United States Patent*, No:5307070, Date: 26.04.1994.
- [16] **Moriera, A.** 1997. Method of image generation by means of two-dimensional data processing in connection with a radar with synthetic aperture, *United States Patent*, No:5627543, Date: 06.10.1997.

EKLER

EK A : Bilgisayar Programı

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad: Samir Deliormanlı

Doğum Yeri ve Tarihi: Bulgaristan / 18.12.1981

Adres: Grundig Elektronik A.Ş., 34520 Beylikdüzü – İstanbul

Lisans Üniversite: Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği, Yıldız Teknik Üniversitesi